

20
19

**GELECEĞİN DÜNYASINDA
BİLİMSEL VE MESLEKİ
ÇALIŞMALAR**

MÜHENDİSLİK ve DOĞA BİLİMLERİ

EDİTÖRLER

DOÇ. DR. OKTAY ERDOĞAN

DOÇ. DR. MUNİSE DİDEM DEMİRBAŞ

DR. ÖĞR. ÜYESİ SERDAR ÖZYÖN

DR. BARAN TOPRAK

EKİN 
Basım Yayın Dağıtım

**GELECEĞİN DÜNYASINDA
BİLİMSEL VE MESLEKİ ÇALIŞMALAR
2019
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ**

EDİTÖRLER

DOÇ. DR. OKTAY ERDOĞAN
DOÇ. DR. MUNİSE DİDEM DEMİRBAŞ
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERDAR ÖZYÖN
DR. BARAN TOPRAK

EKİM 2019
BURSA / TÜRKİYE

EKİN 
Basım Yayın Dağıtım

Editörler

DOÇ. DR. OKTAY ERDOĞAN
DOÇ. DR. MUNİSE DİDEM DEMİRBAŞ
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERDAR ÖZYÖN
DR. BARAN TOPRAK

Birinci Baskı • © Ekim 2019 / Bursa

ISBN • 978-605-327-988-4

© copyright

All Rights Reserved

Ekin Basım Yayın Dağıtım

Tel: 0224 223 04 37

Mail: info@ekinyayinevi.com

Web: www.ekinyayinevi.com

Adres: Şhreküstü Mahallesi Cumhuriyet Caddesi
Durak Sokak No:2 Osmangazi - Bursa

EKİN 
Basım Yayın Dağıtım

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ.....	1
1. GİRİŞ.....	1
2. SOSYAL ORMANCILIĞIN DÜNYA ÖLÇEĞİNDE GELİŞİMİ.....	3
2.1. Ülkelerin Dünya Ormancılığı İçindeki Genel Durumu.....	3
2.2. AGÜ 'ler Kalkınmasında Orman Kaynakları ve Ormancılık.....	7
2.3. Sosyal Ormancılığın Ortaya Çıkışına Öncülük Eden Olaylar ve İlk Uygulama Örnekleri.....	9
2.4. Sosyal Ormancılık Tanımları ve Analizi.....	12
2.5. Sosyal Ormancılığın Uygulama Şekilleri.....	16
3. SONUÇ.....	18
4. KAYNAKÇA.....	18
GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER.....	20
1. GİRİŞ.....	20
2. GLUTEN PROTEİNİ.....	20
2.1. Çölyak Hastalığı.....	21
2.2. Glutenin Sebep Olduğu Diğer Rahatsızlıklar.....	22
2.3. Glutensiz Ürünlerde Kullanılan Hammaddeler.....	23
2.4. Diğer Glutensiz Hammaddeler İle Bazı Çalışmalar.....	28
3. SONUÇ.....	30
4. KAYNAKÇA.....	31
ALGDEN İZOLE EDİLEN MOLEKÜLÜN KUANTUM KİMYASAL HESAPLAMALARI.....	35
1. GİRİŞ.....	35
2. MATERYAL VE METOD.....	36
2.1. Teorik Hesaplama Yöntemi.....	36
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
3.1. Moleküler Geometri.....	37
3.2. Frontier Molekül Orbitaller (FMO) ve Elektronik Özellikler.....	39
3.3. Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP).....	41
3.4. Doğal Popülasyon Analizi ve Mülliken Atomik Yükleri.....	43
3.5. Hirshfeld Yüzey Analizi.....	44
4. SONUÇLAR.....	46
5. KAYNAKÇA.....	46
KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER.....	49

1. GİRİŞ.....	49
2. MATERYAL VE METOD	53
2.1. Kimyasal.....	53
2.2. Spektroskopik Ölçümler.....	53
3. SONUÇLAR	53
4. KAYNAKÇA	62
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ.....	64
1. GİRİŞ.....	64
1.1. Seramik Sağlık Gereçleri.....	64
1.2. Seramik Sağlık Gereci Üretim Süreci	64
1.3. Ar-Ge.....	77
1.4. Tasarım.....	77
1.5. Alçı Kalıp ve Polimer Kalıp Hazırlama	78
2. KAYNAKÇA	78
SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ.....	80
1. GİRİŞ.....	80
2. SiAlON SERAMİKLERİ.....	80
2.1. SiAlON Seramikleri ve Kullanım Alanları	80
2.2. SiAlON Seramiklerinin Kırılma Tokluğu	81
2.3. SiAlON Seramiklerinin Üretimi ve Kırılma Tokluğu Ölçümleri.....	82
3. İSTATİSTİKSEL ARAÇLAR	83
3.1. Seriler	84
3.2. Merkezi Eğilim(Yer) Ölçüleri	84
3.3. Değişim-Değişkenlik Ölçüleri.....	85
3.4. Verilerin Örnekleme Dağılımı Olarak İncelenmesi ve Güven Aralığı.....	85
4. VERİLER VE İSTATİSTİKSEL ANALİZİ	86
4.1. Veri Derlemesi	86
4.2. Seriler	87
4.3. Verilere ait Betimleyici İstatistikler(Yer Ölçüleri).....	90
4.4. Verilere ait Betimleyici İstatistikler(Değişimi Ölçüleri).....	91
4.5. Verilerin (X_1 - X_2) nin Örnekleme Dağılımı Olarak İncelenmesi ve Güven Aralığının Oluşturulması	93
5. KAYNAKÇA	94
GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ	96
1. GİRİŞ.....	96
2. BOZA	96

2.1. Bozannın Tarihçesi.....	97
2.2. Bozannın Üretimi	97
2.3. Bozannın Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri	99
2.4. Bozannın Muhafazası	101
2.5. Bozannın Sağlık Üzerine Etkisi	102
3. SONUÇLAR	103
4. KAYNAKÇA	103
TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN <i>SALSOLA KALİ</i> BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE	106
1. GİRİŞ.....	106
2. MATERYAL VE METOT	107
2.1. İndüktif olarak Eşleşmiş Plazma - Kütle Spektrometresi (ICP-MS).....	107
3. ÇALIŞMA ALANI VE JEOLJİSİ.....	107
4. <i>SALSOLA KALİ</i> SUBSP. RUTHENICA (YEREL İSMİ: DİKENLİ DÖNGELE VEYA ADI SODA OTU) BİTKİSİ	109
5. BİTKİ VE TOPRAK ÖRNEKLERİNİN ALIMI VE ANALİZE HAZIRLANMASI ...	110
5.1. Kalite Kontrol / Güvenilirlik (Quality control / Assurance) (QA/QC)	111
6. DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİ	111
6.1. Biyoakümülyasyon Katsayısı (BAC)	111
6.2. Transklyasyon Faktörünün Saptanması.....	112
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	112
7.1. Bitki ve Toprak Örneklerinde Cu Değerleri.....	112
8. SONUÇLAR	119
9. KAYNAKÇA	120
TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	123
1. GİRİŞ.....	123
2. ÇALIŞMA ALANI VE JEOLJİSİ.....	124
2.1. Birimin Petrografik Özellikleri	125
3. KATI ATIKLAR	126
4. MATERİYAL VE METOT	126
5. DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİ	128
5.1. Verilerin Analizi.....	128
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	130
7. SONUÇLAR	136
8. KAYNAKÇA	136
SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ	141

1. GİRİŞ.....	141
2. SİLON-TİN KOMPOZİTLER	141
3. TOZ KARIŞTIRMA ORTAMININ ETKİSİ.....	145
4. SONUÇLAR	169
5. KAYNAKÇA	172
HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ.....	175
1. GİRİŞ.....	175
2. HİERAPOLİS.....	176
2.1. Antik Kent Tarihi	176
2.2. Genel Jeoloji.....	177
2.3. Hierapolis Kentinde Kullanılan Doğal Taşların Petrografik Özellikleri.....	181
2.4. Hierapolis Kentinde Kullanılan Dağal Taşların Kimyasal Özellikleri.....	199
3. SONUÇLAR	217
4. KAYNAKÇA	218
BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA	220
1. GİRİŞ.....	220
2. BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELER VE SENTEZİ	223
2.1. Birim Eleman (BE) ve Dağılmış Parametrelili Devre Elemanı.....	223
2.2. İletim Hattı Teorisi – Özet.....	224
2.3. <i>Bemes</i> - Birim Eleman Mikrodalga Devre Empedansı Sentez Algoritması.....	230
3. SONUÇLAR	237
4. KAYNAKÇA	237
BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI.....	239
1. GİRİŞ.....	239
2. BİRİM ELEMAN MİKRODALGA FİLTRE TASARIMI.....	242
2.1. Kayıpsız İki-Kapılılar İçin Richards Uzay Fonksiyonları.....	242
2.2. Bemfita - Birim Eleman Mikrodalga Filtre Tasarım Programı	247
3. SONUÇLAR	260
4. KAYNAKÇA	261

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

Ahmet Tolunay

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta, Türkiye

ahmettolunay@isparta.edu.tr

1. GİRİŞ

İnsan; dünya üzerinde var olduğu günden bu yana yaşamını kolaylaştırmanın, refah ve mutluluğunu artırmanın çabası içerisinde olmuştur. Gelişen zaman ile bu çabaların boyutu ve çerçevesi değişse bile, yaşamı kolaylaştırmanın yollarını bulmak, refah ve mutluluğu artırmak insanlığın en önemli uğraşlarından. Var olduğu ilk günlerde insan, bireysel olarak karnını doyurmayı ve kendisine gelebilecek tehlikelere karşı korunmayı amaç edinmiş, refah ve mutluluk ölçütü bunlarla sınırlı kalmıştır. Zamanla insan, en küçük sosyal ve ekonomik birim olan aileyi kurarak toplumsallaşmış, bireysel refah ve mutluluktan, aile düzeyinde refah ve mutluluğun sağlanmasına yönelmiştir. İnsan, yerleşik düzene geçtiğinde siyasi ve hukuki olarak kendine özgü bir kurumsal yapısı olan bir düzeyde refah ve mutluluğu aramaya başlamıştır. Bu kurumsal yapı; "devlet" olup, refah ve mutluluğun arandığı düzey ise; "ülke" dir.

Bugün dünya üzerinde irili ufaklı birçok ülke bulunmaktadır. Her ülkenin sosyal, siyasi ve ekonomik anlamda farklı sorunları vardır. Ülkeler, sosyal ve siyasal konumlarıyla uluslararası düzeyde bağımsız ve aynı hukuk kurallarına tabi olsalar bile, ekonomik durumları açısından "**gelişmiş ülke**" (developed country) ve "**gelişmekte olan ülke**" (developing country) olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu ayrımın dışında üçüncü dünya ülkeleri (third world nations) olarak tanımlanan "**geri kalmış ülkeler**" (underdeveloped country) kategorisi de bulunmaktadır.

Ülkelerin gelişmişliğini ya da az gelişmişliğini ortaya koyan ölçütler; ulusal gelir, büyüme oranı, ithalat-ihracat oranları, enflasyon, ödemeler dengesi, gibi makroekonomik göstergelerdir. Bu göstergeler gelişmişlik açısından ülkelerin dünya üzerindeki konumunu yansıtabilmektedir. Bu nedenle, ülkelerin gelişmiş ülkeler (**GÜ**) ve az gelişmiş ülkeler (**AGÜ**) olarak sınıflandırılması anlamlı olmaktadır. Bu göstergelerin yanında; sosyal, siyasal, kültürel ve nüfus özelliklerine ait ülke göstergeleri de; gelişmiş ülke ve az gelişmiş ülke ayrımında belirleyicidir. Öte yandan bir ülkede nüfusun ağırlıklı olarak kentlerde veya kırsal yörelerde yaşaması ya da geçimlerini sağladıkları uğraşların nüfusa göre dağılımı, ülkelerin gelişmiş veya az gelişmişliğinin belirlenmesinde yol göstericidir. Örneğin; gelişmiş ülkelerde tarımsal üretimden gelir sağlayan kişi sayısı; ülke genel nüfusunun % 10 'u veya daha altındaki rakamlarda olurken, az gelişmiş ülkelerde bu oran % 80 'lere kadar yükselebilmektedir. **AGÜ** 'ler genel olarak: tarımsal işgücünün fazlalığı, tarımsal verimliliğin düşüklüğü, yapısal, teknolojik, sosyolojik ikili (dual) yapı, hızlı nüfus artışı ve yetersiz kapital birikimi ile kendini göstermektedir.

Sahip oldukları göstergeler hangi konumu yansıtırsa yansıtın, her ülke gelişme çabasından vazgeçmemektedir. **GÜ** 'ler ekonomilerinin büyümesini hedeflerken, **AGÜ** 'ler en azında gelişmiş ülkeler seviyesine ulaşmak arzusundadırlar. **GÜ** ve **AGÜ** 'lerin birbirlerine göre farklı özelliklere sahip olması, karşılaştıkları sorunların çözüm yollarının da farklı olacağını göstermektedir. Örneğin; **GÜ** 'ler büyüme kavramı üzerinde dururken, **AGÜ** 'ler kalkınma kavramı üzerinde durmaktadır. **AGÜ** 'ler kendi aralarında da homojen değildir. Fakat tarımsal üretimin gerek **GSMH** içindeki pay ve nüfus bakımından yüksek oranda bulunması, gizli işsizliğin yaygınlığı, adam başına düşen sabit sermaye ve tasarrufların düşüklüğü, ihracatın tarıma ve diğer doğal kaynaklara, ithalatın endüstri ürünlerine bağlı olması ve fert başına ulusal gelirin düşüklüğü, gibi ana çizgiler **AGÜ** 'lerin ortak noktalarıdır. Bu

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

nedenle AGÜ 'ler ne kadar heterojen olurlarsa olsunlar, gelişmiş ekonomilerden ayrı bir yapıya sahiptirler. Bu ayrılık AGÜ 'lerde, gelişmiş ülke ekonomileri için uygulanan politikalar dışında bazı farklı politikaların ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Çünkü AGÜ 'lerin gelişme sorunu, bir yapı değişikliği sorunudur (Manisalı, 1982).

AGÜ 'lerde, piyasa ekonomisinin kaynak dağılımı ile ilgili aksaklıkları, toplumsal yatırımlarda (karayolu, barajlar, enerji tesisleri için yapılan yatırımlar) devlete düşen sorumluluklar, planlı kalkınma stratejisinin benimsenmesine yol açmıştır. AGÜ 'ler, kalkınma politikalarıyla bir taraftan endüstriyel ve teknolojik gelişmeyi sağlamaya çalışırken, diğer taraftan ülke içerisinde büyük bir orana sahip kırsal nüfusun sorunlarına çözüm getirmek durumundadır. AGÜ 'lerde, kırsal nüfusun sorunlarına çözüm getirmeye yönelik kalkınma uğraşları; kırsal kalkınma (rural development) adıyla bilinmektedir. Kırsal kalkınma; ülke kalkınması ile bağlantılı olarak, kırsal yörede yaşayan insanların yaşam koşullarının iyileştirilmesine yönelik kalkınma çabalarının ortak adıdır. Kırsal kalkınma çabalarında temel amaç; kırsal çevre içerisinde elde edilebilir ve ulaşılabilir bütün kaynakların, bu çevrede yaşayan insanların refah ve mutluluğunun sağlanması için, etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasıdır. Kırsal kalkınma çalışmalarında; kırsal toplumların sosyal ve kültürel gelişmelerinin sağlanması, beslenme ve sağlık sorunlarının çözülmesi, altyapı olanaklarının geliştirilmesi, tarımsal verimliliğin artırılması, çevresel dengenin korunması, gibi konular öne çıkmaktadır.

Bugün ülkemizde, kırsal yörelerdeki kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanıldığı söylenemez. Bu nedenle kırsal yörelerin kalkınma açısından sorunları, yanlış kaynak kullanımında yoğunlaşmaktadır. Kırsal yörede yaşayan insanların kullanabilecekleri kaynaklar denilince; tarım alanları, meralar, ormanlar ve su kaynakları ilk akla gelen kaynaklar olmaktadır. Zaten kırsal yörelerde yaşayan insanlar, kurdukları üretim düzeni içerisinde, bu kaynakları kullanmaktadır. Fakat her AGÜ ' de olduğu gibi, kırsal yörelerdeki kaynaklar; üretim tekniklerinin ilkel, tarımsal verimliliğin düşük oluşu, hızlı nüfus artışı, eğitimsizlik, örgütsüzlük, gizli işsizlik ve tarım dışı sektörlerde istihdam olanağının kısıtlılığı nedeniyle, verimli bir şekilde kullanılamamaktadır. Bu nedenle **yoksulluk çemberi** kırılmamakta, kullandığı kaynaklara yeniden yatırım yapamamakta ve bilinçsizce yok ettiği kaynakların yerine, yenilerini koyarak yaşamını sürdürmeye çalışmaktadır. Bozulan denge, kendi iç dinamiği ile tepki göstermekte ve bu tepki doğrudan doğruya kırsal yöre insanlarına olumsuz olarak yönelmektedir. Sonuç; yine yoksulluk olmaktadır. Bu nedenle; son yıllarda kırsal kalkınma çalışmaları kaynak kullanımı üzerinde yoğunlaşmış ve kırsal yöredeki kaynakların kullanımında; **verimlilik** (productivity), **dengellik** (stability), **sürdürülebilirlik** (sustainability) ilkelerinin temel politika olarak izlenmesi benimsenmiştir.

Orman kaynakları, kırsal yörede bulunan diğer kaynaklar gibi, verimli kullanılması gereken kaynaklar arasındadır. Gelişmekte olan ülkelerde, kırsal nüfusun oldukça büyük bir kısmının orman kaynaklarına bağımlı bir şekilde yaşaması, bu kaynağın kırsal kalkınma çalışmalarında önemli bir yerinin olduğunu ortaya koymuştur. Öte yandan orman kaynakları, bu kaynağa sahip olan ülke için taşıdığı önem kadar, bozulan dünya dengesi ve artan çevre sorunları nedeniyle stratejik bir kaynak konumuna gelmiştir. Doğal dengenin bozulmasını ve ormanların azalmasını geç de olsa fark eden ülkeler, hükümet programlarında bu sorunların çözümünü sağlayacak çalışmalara yer vermeye ve özellikle ormancılık politikalarını yeniden gözden geçirmeye başlamışlardır. Günümüzde orman kaynakları, ülke ve sınır tanımaz bir kaynak konumuna gelmiştir. Bu gerekçe ile uluslararası alanda faaliyet gösteren birçok resmi ve gönüllü kuruluş, orman kaynaklarının azalması ve çevre bozulmasının önüne geçilmesi için, çeşitli çalışmalar yapmaya başlamışlar ve bu çalışmaları çeşitli programlar ve projeler altında çeşitli ülkelerde yaygınlaştırmışlardır. Ülke kalkınmasıyla bağlantılı olarak, kırsal kalkınma alanında değişik ad ve farklı yaklaşımlarla, çeşitli ülkelerde yapılan ve yaygınlaşan bu uygulamalar genelde **sosyal ormancılık (social forestry)** terimi ile adlandırılmaktadır (Arnold, 1991).

Dünya ormancılığında büyük ilgi ve kabul gören sosyal ormancılık kavramı ve uygulamalarının kalkınma ve kırsal kalkınma çalışmaları ile ilişkisinin sergileneceği, ormancılık alanında uygulama modellerinin geliştirileceği bir çalışmanın yapılması gerekmektedir. Bu çalışma bu gerekçelerden yola çıkılarak ele alınmıştır.

2. SOSYAL ORMANCILIĞIN DÜNYA ÖLÇEĞİNDE GELİŞİMİ

2.1. Ülkelerin Dünya Ormanlığı İçindeki Genel Durumu

Toplumun orman kaynaklarına yönelik taleplerini mümkün olduğu ölçüde karşılama sanatı olarak tanımlanan ormancılık; **barınma ve beslenme, düzensiz ağaç kesimi, ormanı koruma ve teknik ormancılık** olarak dört evreden geçerek günümüze gelmiştir (Özdönmez ve Ark., 1989).

İlk insan yaşamını sürdürebilmek için gerekli besinlerini ormandan sağlamayı, her türlü araç ve gerecini ağaçtan yapmayı öğrenmiştir. Böylece orman kaynaklarının insanlar tarafından ilk kullanım şekli ve orman alanları içindeki ilk yaşama biçimi ortaya çıkmıştır.

İnsanların hayvan beslemeye ve tarıma başlaması, ormanlarda hayvan otlatılmasına ve açmalara neden olmuş, açılan alanlar verimsiz duruma düşünce terk edilmiş ve yeni alanlara geçilmiştir (Dinler, 1993). İnsanların ormanları tahrip edici ilk etkilerinin ortaya çıktığı bu noktada barınma ve beslenme evresi sona ermiştir.

Düzensiz ağaç kesimi evresinde ormanlar, serbest ve düzensiz bir şekilde yararlanılan kaynak konumundadır. Ormanlar üzerinde kollektif mülkiyetin sözkonusudur. Bu evrede Avrupa 'da, orman alanlarından tarımsal arazi elde etmek için **brandwirtschaft** denilen bir açmacılık metodu kullanılmıştır. Kuzey Avrupa 'daki yapraklı ormanlarda güç uygulanan bu metod, Akdeniz Ormanları 'nda kolaylıkla uygulanmış ve ormanlar tahrip edilerek tarımsal alana dönüştürülmüştür. Brandwirtschaft metodu ile yakılan orman alanlarında, yanan organik madde toprak verimini bir miktar artırdığından ilk yıllar tatmin edici bir tarımsal ürün alınabilmiş, fakat zamanla toprak verimliliğinin azalması nedeniyle yeni orman alanlarında açmacılık yapılmıştır. Brandwirtschaft metodu ile tarımsal alan elde edilmesine yönelik uygulamalar bütün Ortaçağ boyunca devam etmiş ve İskandinav Ülkelerinde 19. yüzyıla kadar sürmüştür. Bu evrede fizyografik düşüncenin de etkisiyle tarım alanlarının, orman alanları aleyhine genişlemesi büyük kabul görmüş ve ülke kalkınmasının tarımsal kalkınmaya bağlı olduğu belirtilmiştir. Amerika kıtasının keşfi ile bu kıtaya ilk olarak göç eden göçmenler, brandwirtschaft metodunu 18. yüzyıla kadar burada da uygulamışlardır (Lowry, 1977).

Ormanlardan faydalanmayı düzenlemek ve ormanların mülkiyet durumunu belirleme gereği, ormanı koruma evresini ortaya çıkarmıştır. Feodalizm, ormanlardan herkesin özgürce yararlanmasına olanak veren ortak mülkiyet anlayışına son vermiştir. Avrupa 'daki ormanlar, feodal yönetimin çeşitli kurumları tarafından (krallık, derebeylik, kilise, manastır gibi), feodal arazi yapısı içerisine alınmıştır. Fakat köylülük olayının yaygınlaşması ve artan köylü nüfusunun ormanlar üzerinde ekonomik baskı oluşturması sonucunda, köylüler ile ormanı sahiplenen kurumlar arasında sürtüşmeler yaşanmıştır. Feodal yönetimler, egemenlikleri altına aldıkları ormanların güvenliğini sağlamak için, ormanlarda açmacılık ve hayvan otlatmasını yasaklayan hukuksal düzenlemeler getirmişlerdir. Bu hukuksal düzenlemeler köylülerin direnişlerine neden olmuştur. Köylüler, feodal yöneticilerden nefret etmeye başlamışlar ve bu nefret 1789 Fransız İhtilaline kadar devam etmiştir. Bunun sonucunda ormanlardan yararlanma hakları sistemi ortaya çıkmış ve köylülere, daha önce serbestçe yararlanılan ormanlardan otlatma, meyve toplama, yakacak odun temini gibi bir takım haklar verilmiştir (Özdönmez ve Ark., 1989). Ormancılık mevzuatının temelini oluşturan ilk hukuksal düzenlemeler 13. ve 14. yüzyıllarda Almanya ve Fransa 'da yapılmıştır. Bu hukuksal düzenlemeler bir taraftan ormanların mülkiyet durumunu ve köylülerin ormanlardan yararlanma haklarını belirlerken, diğer taraftan ormanlara zarar verici eylemlerin yasaklanmasını ve suçluların cezalandırılmasını hedeflemiştir. Avrupa 'da ormanların korunmasına yönelik gelişmelerin benzerleri, farklı zaman kesitleri içinde ABD Ormancılığı 'nda yaşanmıştır. Fakat ABD Ormancılığı 'nda ormanı koruma evresi kısa sürmüş ve kısa zamanda teknik ormancılık evresine geçilmiştir.

Teknik ormancılık; sosyal, siyasal, ekonomik ve kültürel açıdan AGÜ 'lere üstünlükleri olan GÜ 'lerin ulaştığı ormancılık evresidir. Bu evrenin yaşandığı ülkelerde orman kaynakları, toplumdan gelen taleplere göre saptanmış ormancılık politikaları çerçevesinde işletilmektedir. Sahip olunan bilimsel bilgi birikimi ve teknolojik kolaylıklar, orman alanlarının sınırlarının belirlenmesini ve

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

kadastro-mülkiyet sorunlarının kısa sürede çözümlenmesini sağlamıştır. Ormancılık bilimi ve teknolojisi; tohum ve ağaç ıslahı, doku kültürü, silvikültürel teknikler, üretimin mekanizasyonu, odun teknolojisi, gibi konulara yönelmiştir. Bu çalışmalar, üniversite ve ormancılık araştırma kurumları tarafından yapılmakta ve yararlanacak kişi ve kurumlara sunulmaktadır.

Ülkeler, ormancılığın gelişim evreleri açısından hangi evrede bulunurlarsa bulunsunlar, toplumun orman kaynaklarına yönelik taleplerini karşılama çabası içindedir. Ülke ormancılık örgütleri toplumun orman kaynaklarına yönelik taleplerini karşılarken, ormancılık politikası amaçları doğrultusunda hareket etmektedirler. Toplumsal taleplerden yola çıkılarak belirlenen ormancılık politikası amaçları, ormancılık çalışmalarını yöneten ve yürüten kişilere rehberlik etmekte ve orman kaynakları bu amaçlara ulaşmak için işletilmektedir. Orman kaynaklarına yönelik toplumsal talepler ülkeden ülkeye farklılıklar gösterdiğinden, ülkelerin ormancılık politikalarında da farklılıklar olmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak her ülkenin kendine özgü ormancılık tipi ortaya çıkmaktadır. Ormancılık tiplerinin; **endüstriyel ormancılık** (industrial forestry), **kent ormancılığı** (urban forestry), **koruma ormancılığı** (protection forestry) ve **sosyal ormancılık** (social forestry) olduğu belirtilmektedir (Özdönmez ve Ark., 1989; İlater, 1993).

Endüstriyel ormancılık; GÜ 'lere özgü bir ormancılık tipidir. Bu ülkelerde, odun hammaddesini işleyen gelişmiş bir endüstri bulunmaktadır. Toplumsal talepler AGÜ 'lerdeki gibi yarı mamul halde yapacak ve yakacak odun talebi olarak değil, odunun türevleri olan orman ürünlerinin karşılanması olarak şekillenmiştir. Isınma ve pişirme için yeni enerji kaynakları var olduğundan, üretimle elde edilen orman ürünleri endüstriyel amaçlar için kullanılmaktadır. Bu ülkelerde, orman ürünleri endüstrisinin odun hammaddesi ihtiyaçlarının karşılanmasına özel önem verilmektedir.

Günümüzde nüfusun büyük bir çoğunluğunun kentlerde yaşaması insanlara, çevre bozulması, hava kirliliği ve gürültü gibi, sosyal ve psikolojik olumsuzluklar getirmiştir. Kentlerde yaşayan insanlar, rahat nefes alabilecekleri ve çeşitli açık hava rekreasyonu aktivitelerini yapabilecekleri yeşil alanlara gereksinim duymaktadır. Bu gereksinimler, kentlerin içerisinde ya da kenarında ağaçlık ve koruluk olarak yeşil alanların tesisini ve artan nüfus ile yenilerinin eklenmesini zorunlu kılmaktadır. Tüm bunlar farklı bir ormancılık anlayışını ortaya çıkarmış ve bu ormancılık tipine "**kent ormancılığı**" denmiştir. Bu ormancılık uygulamalarında, kent içinde ve civarında arboretumlar ve botanik bahçeleri kurulmakta, yol kenarı ağaçlandırmaları yapılmakta ve yeşil kuşaklar oluşturulmaktadır (Özdönmez ve Ark., 1989).

Bir ülkede toplumdaki gelen talepler doğanın ve çevrenin korunmasını ağırlık veriyorsa, bu durumda koruma ağırlıklı bir ormancılık tipi ortaya çıkmaktadır. Koruma ormancılığında orman, dağ ve yaban yaşamı ekosistemlerinin doğal etkilerden ve insan müdahalesinden korunması amaçlanmaktadır (Özdönmez ve Ark., 1989).

Öte yandan Dünya 'da pek çok ülkede nüfusun büyük bir bölümü orman kaynaklarına bağımlı olarak yaşamaktadır. Orman içi ve kenarı köylerde yaşayan insanların, yaşam koşullarını iyileştirmek ve ormanla ilişkilerini düzenlemek için yapılan ormancılık uygulamaları **sosyal ormancılık** olarak tanımlanmaktadır (Arnold, 1991).

Bugün avcılık ve toplayıcılık olarak belirtilebilecek **barınma ve beslenme evresi** bazı ilkel toplumlarda halen sürmektedir. AGÜ 'ler **düzensiz ağaç kesimi** ve **ormanı koruma** evrelerini birlikte yaşamaktadırlar. Bazı AGÜ 'ler kalkınma yolunda aldıkları mesafe ölçüsünde **teknik ormancılığa** doğru yönelişe geçmişlerdir.

Düzensiz ağaç kesimi evresinin belirtilerini, Asya-Pasifik Rejyonu 'nda bulunan AGÜ 'lerde görebilmek mümkündür. Bu ülkelerde orman alanları brandwirtschaft metodunun bir benzeri olan shifting cultivation metodu ile tarımsal alana dönüştürülmektedir. Tablo 1'de Asya-Pasifik Rejyonu 'nda bulunan bazı ülkelerin 1980-1990 yılları arasındaki ormansızlaşma miktarları ve oranları verilmiştir.

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

Tablo 1. Asya-Pasifik 'de Bazı Ülkelerde Ormansızlaşma Miktarları ve Oranları (FAO/RAPA, 1992)

Ülkeler	Orman Alanı Miktarı (1990) (Ha)	Orman Alanı Oranı (1990) (%)	Yıllık Ormansızlaşma Miktarı (Ha)	Yıllık Ormansızlaşma Oranı (Ha)
Endonezya	108 044 000	59.6	1 332 000	1,10
Tayland	12 735 000	24.9	515 000	2,88
Burma	28 856 000	43.9	401 000	1,22
Malezya	17 583 000	53.5	396 000	1,84
Hindistan	51 729 000	17.4	339 000	0,62
Filipinler	7 831 000	26.3	316 000	2,88
Vietnam	8 312 000	25.4	137 000	1,41

AGÜ'lerdeki ormansızlaşmanın nedenleri; açmacılık, düzensiz ağaç kesimi, otlatma, hükümetlerin orman alanları içerisinde yerleşim programları uygulaması, yol ve baraj yapımları olmaktadır (FAO/RAPA, 1992).

Bugün birçok AGÜ 'de **ormanı koruma evresi** sürmektedir. Çünkü

- AGÜ 'lerde orman varlığının mülkiyet durumu çözümlenememiştir. Hukuksal olarak orman mülkiyeti şekilleri ortaya konulmuş olsa bile, ormanların sınırları kadastro çalışmaları ile belirlenememiştir. Bu nedenle ormancılık sahibi ve sınırları belirlenmiş alanlar üzerinde yapılamamaktadır.
- AGÜ 'lerde nüfusun büyük çoğunluğu kırsal bölgelerde bulunmaktadır. Bu kırsal nüfusun azımsanmayacak bir kısmı, orman içi ve kenarında yaşamaktadır. Ormancılık politikaları oluşturulurken, olan bu nüfus kitlesinin orman kaynaklarına bağımlılığı gözardı edilememektedir. Bu nedenle bir taraftan orman köylülerinin orman alanlarından yararlanmalarını düzenlenirken, diğer taraftan ormanların korunmasına yönelik önlemler alınmaktadır.
- AGÜ 'lerde; hızlı nüfus artışı, ekonominin tarıma dayalı olması ve artan nüfusun istihdamının ve geçiminin tarımsal üretimle sağlanması, orman alanları içinde yaşayan insanları tarımsal alan elde etmek amacıyla orman alanlarına yönlendirmektedir. Bu nedenle, ülkeler ormancılık politikalarında ormanların azalmasını yasaklayıcı hükümler getirmektedir.

Tüm bunlar, AGÜ 'lerin ormancılık politikalarına yansımakta ve ormancılık uygulamaları koruma ormancılığı ağırlıklı bir yapı kazanmaktadır. Bu nedenle AGÜ 'lerin ormancılık örgütleri: bir taraftan teknik ormancılığın gereği olarak ormanları işletilmesi, toplumun mal ve hizmet şeklindeki orman ürünü taleplerinin karşılanması görevini üstlenirken; diğer taraftan orman varlığının korunması, kadastro-mülkiyet sorunlarının çözümlenmesi ve orman köylülerinin durumlarının iyileştirilmesine yönelik görevleri de üstlenmek zorunda kalmaktadır.

Genel olarak endüstriyel ormancılık ve kent ormancılığı GÜ 'lerde, koruma ormancılığı ve sosyal ormancılığa AGÜ 'lerde rastlanılmaktadır.

Endüstriyel ormancılık tipinin var olduğu ülkelerde, az gelişmişlik olgusundan kaynaklanan sorunlar (ulusal gelirin düşüklüğü, hızlı nüfus artışı) bulunmamakta ve bu ülkeler teknik ormancılık evresini yaşamaktadır. Ayrıca orman kaynaklarına bağımlı kırsal nüfus bulunmamaktadır. Ormancılık politikaları ve uygulamaları, sağlıklı bir çizgi içerisinde yürümektedir. Bu ormancılık tipi Finlandiya, Kanada gibi verimli ve geniş orman varlığı olan ülkelerde rastlanılmaktadır. Fakat verimli ve geniş bir orman varlığına sahip olmanın, bu ormancılık tipinin oluşmasında bir etkisi bulunmamaktadır. Örneğin, Asya-Pasifik Rejyonunda bulunan Brunei, Kamboçya, Endonezya, Laos, Burma gibi

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

ülkelerin orman varlığı ülke genel alanının % 60 'nın üzerinde olmasına rağmen, bu ülkelerin ormancılıkları endüstriyel ormancılık tipi ile tanımlanamamaktadır (Rao, 1992).

Kent ormancılığı da GÜ 'lerde görülen bir ormancılık tipidir. Çünkü orman kaynaklarına yönelik talepler, ülkenin kalkınma yolunda aldığı mesafe ile değişmiş ve orman kaynaklarının farklı kullanım alternatifleri ortaya çıkmıştır.

Koruma ormancılığı hem GÜ 'lerde ve hem de AGÜ 'lerde görülebilen bir ormancılık tipidir. Fakat ortaya çıkışının farklı nedenleri vardır.

Koruma ormancılığı GÜ 'lerde; sosyal, siyasal ve kültürel açıdan belli bir değişim geçirmiş olan toplumun, çevre duyarlılığından hareketle ortaya çıkmıştır. GÜ insanların korunmasını istediği doğal kaynakların başında, **orman kaynakları** gelmektedir. Ormansızlaşmanın temel nedenleri, çevre kirliliği ve endüstrileşmenin getirdiği sorunlardır. Örneğin Batı Avrupa 'da özellikle Almanya ve Fransa 'da, asit yağmurları ormanlara zarar vermektedir. Ayrıca hızlı kentleşme, doğal ortamların yerleşime açılması, endüstriyel atıklar, aşırı tarımsal ilaç kullanımı gibi olaylar çevresel dengeyi bozmaktadır. Bu nedenle gelişmiş ülkelerdeki insanlar, doğal kaynakların özellikle orman kaynaklarının korunması yönünde toplumsal tavır koymaktadır. Ayrıca orman ürünlerinin ikamesi olan endüstriyel ürünler üretilebildiğinden, orman kaynakları hizmet üretimine yönlendirilmiştir. GÜ 'ler odun hammaddesi gereksinimlerini, diğer ülkelerden ithal yoluyla karşılamak istemektedirler. Böylece GÜ 'lerde ormanlar, korunarak hizmet üreten kaynak konumuna gelmiştir. Gerek gelişmiş ülke olmanın getirdiği sorunlar ve gerekse orman kaynaklarına yönelik toplumsal taleplerin değişimi, GÜ 'lere özgü bir koruma ormancılığı anlayışını ortaya çıkarmıştır.

AGÜ 'lerde koruma ormancılığı anlayışının ortaya çıkışı ise, GÜ 'lere göre farklılıklar göstermektedir. AGÜ 'ler hem az gelişmişlik olgusundan kurtulmak, hem de teknik ormancılık evresine ulaşmak arzusundadırlar. Fakat az gelişmişlik sorunları ormancılık uygulamalarına yansdığından, bu amaçlara ulaşmakta güçlük çekilmektedir. Orman içi ve kenarında yaşayan insan kitlelerinin sosyoekonomik gerekçelerle orman kaynaklarına bağımlılığı ve bu bağımlılığın orman kaynaklarını azaltan eylemlere dönüşmesi, AGÜ 'ler ormancılığının koruma ormancılığı ağırlıklı bir yapı kazanmasının temel nedenidir. AGÜ hükümetleri, ormansızlaşmanın nedeni olan olayları önlemek için, ormancılık politikalarını koruma ormancılığı ağırlıklı bir yapıya dönüştürmüşlerdir.

Bazı ülkelerin ormancılık tiplerine ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ormancılık Tiplerine Göre Ülkeler

Ülke Adı	Gelişmişlik Ölçütü	Ormancılık Tipi
ABD	Gelişmiş Ülke	Koruma Ormancılığı Kent Ormancılığı Endüstriyel Ormancılık
Finlandiya	Gelişmiş Ülke	Kent Ormancılığı Endüstriyel Ormancılık
Kanada	Gelişmiş Ülke	Kent Ormancılığı Endüstriyel Ormancılık
Japonya	Gelişmiş Ülke	Koruma Ormancılığı Kent Ormancılığı
Tayland	Gelişmekte Olan Ülke	Koruma Ormancılığı Sosyal Ormancılık
Bangladeş	Az Gelişmiş Ülke	Koruma Ormancılığı
Hindistan	Az Gelişmiş Ülke	Koruma Ormancılığı Sosyal Ormancılık

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

2.2. AGÜ 'ler Kalkınmasında Orman Kaynakları ve Ormancılık

AGÜ 'lerin kırsal yörelerinde yaşayan insanların olumsuz yaşam koşullarını ortadan kaldırılması için, kırsal yöredeki kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Orman kaynakları kırsal yörede insanların, yaşam koşullarının iyileştirilmesinde kullanılabilecek kaynaklar arasındadır. Çünkü orman kaynakları kırsal üretim sisteminin temel girdileri olan; gıda, yapacak ve yakacak odun, ot ve hayvan yemi gibi ürünleri ve kırsal yöre insanların istihdamını sağlayabilmektedir. Ayrıca ormanların gıda (özellikle; tarımsal üretim) ve yaşam güvenliği (özellikle; erozyon ve sel felaketlerinin önlenmesi) açısından önemli çevresel fonksiyonları bulunmaktadır. Orman kaynaklarının insanlara sağladığı bu faydalar, kırsal kalkınma çalışmaları içerisinde yer verilecek ormancılık uygulamalarının farklı bir anlayış içerisinde ele alınmasını gerektirmektedir.

AGÜ 'lerde orman kaynakları üzerindeki sosyal baskı nedeniyle, yapılan ormancılık uygulamalarından istenilen sonuçlar alınamamaktadır. Çünkü hem orman idaresinin ve hem de kırsal yöre insanların aynı orman kaynağı üzerinde farklı beklentileri ve kullanım istekleri bulunmaktadır. Her iki taraf beklentileri ve isteklerinde ısrarcı olduklarında, kaynakların kullanımından rasyonel bir sonuç elde edilememektedir. Bu nedenle orman kaynaklarının kullanımında her iki tarafından kazançlı çıkacakları ormancılık uygulamalarının yapılması gerekmektedir.

AGÜ 'ler ormancılık uygulamaları açısından, klasik ormancılık yapan ülkeler ve kırsal kalkınma kapsamında sosyal ormancılık anlayışına yer veren ülkeler olarak ayrılmaktadır. Her iki ormancılık anlayışının özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Klasik AGÜ Ormancılığı ve Sosyal Ormancılığın Farklı Sonuçları (Ohe, 1991)

<p>Orman idaresi kaybetmektedir.</p> <p>Orman köylüleri kazanmaktadır.</p> <p>* Verimli ormanlar azalmaktadır.</p> <p>* Orman köylülerin tarım alanları artmaktadır.</p>	<p>Her ikisi de kazanmaktadır.</p> <p>* Orman idaresi köylülerin odun olan ihtiyaçlarını kabul etmektedir. Muhtemelen, köye yakın düşük verimli bir orman alanını köylülerin yararlanmasına tahsis etmektedir.</p> <p>* Buna karşılık köylüler, orman idaresinin koyduğu kuralları uymayı kabul etmektedir.</p> <p>* Ormansızlaşma ve erozyon azalmaktadır.</p> <p>* Her iki taraf birim alandan daha yüksek verim almaktadır.</p> <p style="text-align: center;">SOSYAL ORMANCILIK</p>
<p>Her ikisi de kaybetmektedir. Ormansızlaşma ve bunu takip eden erozyon</p> <p>havza tahribatı sonucu;</p> <p>* Verimli ormancılıkta hasıllar düşmektedir</p> <p>* Çiftçilerin tarımsal üretimleri azalmaktadır.</p> <p style="text-align: center;">KLASİK AGÜ ORMANCILIĞI</p>	<p>Orman idaresi kazanmakta,</p> <p>Orman köylüleri kaybetmektedir.</p> <p>* Orman köylüleri orman dışına yerleştirilmektedir.</p> <p>* Geniş orman alanları, saf ormanlara dönüşmektedir. Bu sahalar köylülere kapalı ve daha önemlisi ulaşımı güçtür.</p>

Klasik AGÜ Ormancılığı;

- Bu ekonomik ve sosyal yapıda merkezi yönetim anlayışı hakimdir. Ülke ormancılık örgütleri, bu merkezin tek temsilcisidir. Ormancılık uygulamalarına ilişkin yetki ve sorumluluklar, bu merkezde toplanmıştır.

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

- Orman kaynakları temel olarak, ülkeye gelir sağlamak amacıyla işletilmektedir. Bu geliri elde eden kişi orman mülkiyetinin niteliğine göre; devlet, özel kişiler ya da kurumlar olabilmektedir.
- Orman kaynaklarından odun üretimi yapmak, orman işletmeciliğinin temel amacıdır. Bu ürünler ağırlıklı olarak; tomruk, maden direği, tel direk, sanayi odunu gibi ürünlerdir.
- Ormancılık çalışmaları ve uygulamaları geniş orman alanlarını kapsayacak şekilde ele alınmakta ve planlanmaktadır.
- Ülke ormancılık politikalarının saptadığı hedeflere ulaşmak için ormancılık yapılmaktadır. Fakat bu hedeflere ulaşılırken, ormancılık çalışmalarının özellikle ormancılık üretimin sürdürüldüğü aşamalar dikkate alınmamaktadır. Örneğin; ormancılık politikaları ülkenin odun ürünü gereksiniminin sürekli olarak karşılanmasını temel hedef olarak belirlemiş ise, önemli olan bu hedefin ulaşılmasıdır.
- Ormancılıkla ilgili kararlar, tek yönlü olarak alınmaktadır. Bu kararları alan kişi ya da kurumlar, devletin ormancılık uygulamalarını yapmakla görevlendirildiği temsilcileri olan ormancılık örgütleridir.
- Ormancılık uygulamaları mevzuat desteği ile kırsal yöre halkının orman alanlarına karşı hareket ve davranışlarını denetim altına alınmasını hedeflemektedir. Bazen çok katı kuralları da kapsayabilen bu mevzuat, insanları birçok konuda sınırlamaktadır.
- Ağaçlandırma ve silvikültür tekniği açısından asli orman ağacı türlerine önem verilmekte ve monokültüre gidilmektedir.

Sosyal Ormancılık Anlayışı;

- Merkezi yönetim anlayışının tersi bir uygulama söz konusudur. Yetki ve sorumluluklar ormancılık örgütü içinde dağıtılmıştır. En alt kademedeki bulunan ormancılık birimine, geniş yetki ve sorumluluk verilmiştir. Bu birim baskı altında kalmadan, yetki ve sorumluluklarını kullanabilmektedir.
- Bu ormancılık anlayışında, gelirden önce kaynağın verimli bir şekilde işletilmesi öncelik kazanmaktadır. Orman kaynaklarında yapılan üretimin sürdürülebilirliği (sustainability) esastır. Tek bir idare süresi ile değil, orman kaynaklarının temel bileşenlerine zarar vermeden süreklilik içinde üretim ve faydalanma temel amaçtır.
- Ana orman ürünleri birlikte geniş kullanım alanı olan ve özellikle kırsal yöre halkının çeşitli gereksinimlerini karşılayan orman ürünlerinin üretimine yer verilmektedir. Üretimde ürün çeşitliliği vardır. Bu ürünler; odun, yem, gıda gibi ürünler olabilmektedir.
- Ormancılık çalışmalarının yürütüldüğü alanlar, küçük ölçeklidir. Makroplanlamadan ziyade mikroplanlamaya önem verilmektedir.
- Ormancılık üretim süreci içinde yer alan ormancılık çalışmaları, belirli aşamalara ayrılmıştır. Ormancılık politikasının saptadığı hedeflere ulaşılırken, bu aşamalarda karşılaşılan darboğazlar aşmaya ve sorunlar giderilmeye çalışılmaktadır.
- Ormancılık ile ilgili kararların alınmasında katılımcılık (participation) temel esastır. Katılımcı kişi ve kuruluşlar yerine göre; üniversiteler, meslek örgütleri, gönüllü kuruluşlar (NGO) ve orman köylüleri olabilmektedir.
- Ormancılık mevzuatları ceza yaptırımlarından çok, kişi ve kurumların önlerini açan ve sorunların çözümünde kolaylıklar sağlayan hükümlerle donatılmıştır.
- Kırsal yöre halkının orman alanlarına yönelik temel taleplerini karşılamayı amaçlayan ormancılık uygulamalarına yer verilmektedir.
- Asli orman ağaçlarına yer veren monokültür uygulamalarından çok, tür zenginliği ve biyolojik çeşitlilik sağlayan ormancılık uygulamaları yapılmaktadır.
- Ormanların yönetim ve işletmesinde, kırsal yöre insanların oluşturduğu kurum ve kuruluşlar da görev alabilmektedir.

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

- İşte bu ormancılık anlayışı sosyal ormancılık olarak ortaya çıkmış, birçok ülkede yapılan uygulamaları ile kendini göstermiştir.

2.3. Sosyal Ormancılığın Ortaya Çıkışına Öncülük Eden Olaylar ve İlk Uygulama Örnekleri

Sosyal ormancılığın gelişimine öncülük eden önemli olaylar kronolojik sıra içerisinde aşağıda verilmiştir;

1970 'li YILLARIN ORTALARI;

* Enerji temini ve kullanımında yaşanan krizler ve Sri Lanka (Seylan) 'daki kuraklık, tüm dünya insanların orman kaynaklarına son derece bağlı olduğunu ortaya koymuştur.

*Afrika 'da kuraklığın yaygınlaşması, Asya 'da taşkın ve sel felaketlerinin artışı, ormansızlaşma çevre bozulmasının ulaştığı korkunç boyutu gözler önüne sermiştir.

* Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (Food and Agriculture Organization, **FAO**) ve İsveç Uluslararası Kalkınma Kurumu (Swedish International Development Authority, **SIDA**); m"Ormancılık ve Kırsal Kalkınma" konulu bir toplantı düzenlemiş ve çeşitli ülkelerde sosyal ormancılık adı altında yapılan ilk uygulama örneklerinin uzman kişiler tarafından tartışılmasını sağlamışlardır.

1970 ' li YILLARIN SONLARI;

* Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı "Kırsal Halk İçin Ormanlar" programını (Forests for Local Community Development, **FLCD**) uygulamaya koymuştur.

* Sosyal ormancılığın teknik çerçevesi ile ilgili konularda hizmet veren bir kurum olan "Uluslararası Agroforestry Araştırmaları Konseyi" nin (International Council for Research in Agroforestry, **ICRAF**) kuruluşu Kenya 'da gerçekleşmiştir.

* 1978 yılında yapılan "Dünya Ormancılık Kongresi" (World Forestry Congress) sosyal ormancılık ile ilgili gelişmeleri dikkat çekmiş ve "Ormanlar İnsanlar İçindir" prensibini benimsemiştir.

* 1979 yılında, FAO Teşkilatı 'nın uluslararası bir konferansı "Tarımsal Reform ve Kırsal Kalkınma" konusu üzerine yapılmıştır.

1980 ' li YILLARIN BAŞLARI;

* 1981 yılında FAO Teşkilatı tarafından "Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları" (New and Renewable Sources of Energy) konusu üzerine bir konferans yapılmış ve enerji sağlanan doğal kaynaklar içerisinde, orman kaynaklarının yeri ve önemine dikkat çekilmiştir.

* İlk sosyal ormancılık projeleri, kırsal yörede yaşayan insanlara, ağaçlandırma çalışmaları ile yeni geçim kaynakları yaratılması hedefi dikkate alınarak uygulanmaya başlanmıştır.

1980 ' li YILLARIN SONLARI;

* Uygulanan ilk sosyal ormancılık projeleri ve yapılan ilk araştırmalar; kırsal yörede yaşayan insanların, istihdam ve diğer faydalar açısından ağaç ve orman kaynaklarına son derece bağımlı olduklarını ortaya koymuştur.

* Daha sonra ele alınan sosyal ormancılık projeleri; orman ve diğer doğal kaynakların işletilmesinde, kırsal yörede yaşayan insanların taleplerinin dikkate alınması gerektiğini ve ağaçların tarımsal üretim sistemi içerisinde, çok yönlü fonksiyonlarının bulunduğu belirtilmiştir.

* Sosyal ormancılık uygulamalarının, kırsal yörede faaliyet gösteren kuruluşlar ve orman köylüleriyle birlikte yürütülmesi gerektiği vurgulanmıştır (Arnold, 1991; Viriyasakultorn,1993).

Yukarıda belirtilen olaylar, dünya ölçeğinde sosyal ormancılık anlayışının oluşumuna öncülük etmiştir. Bu gelişmelerden sonra, sosyal ormancılık adı altındaki uygulamalar birçok ülkede

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

yaygınlaşmıştır. Bu yaygınlaşmada, FAO Teşkilatının izlediği ormancılık politikaları etkili bir rol oynamıştır. FAO Teşkilatı'nın ele aldığı ve uyguladığı program ve projeler çerçevesinde, sosyal ormancılığın nasıl bir gelişme gösterdiği Tablo 4 'de verilmiştir (Arnold, 1991).

Kavram olarak sosyal ormancılık ilk defa 1968 yılında **Westoby** tarafından kullanılmış (Twari, 1983) ve aynı ad altında ilk uygulamalara 1976 yılında Hindistan 'da yapılmaya başlanmıştır. Hindistan Ulusal Tarım Komisyonu (National Commission of Agriculture); yakacak odun, hayvan yemi ve diğer orman ürünleri gereksinimi olan ve bu nedenle ormancılık çalışmaları üzerinde sosyal darboğaz oluşturan insanların, temel gereksinmelerini karşılamak için, bir sosyal ormancılık programı hazırlamış ve uygulamaya koymuştur. Hindistan 'da ortaya çıkan bu uygulamalardan sonra, dünyanın çeşitli bölgelerinde aşağıda verilen ülke örnekleri de görülmeye başlanmıştır;

-**GÜNEY KORE**; kırsal yörede yaşayan orman köylüleri bir araya gelerek, yakacak ve yapacak odun ihtiyaçlarını temin edecekleri köy koruluklarını kurmuşlardır.

-**KOSTARİKA**; tarımsal uğraşlarla geçimlerini sağlayan köylüler, yakacak odun temin etmek için tarlalarının kenarına ağaç dikmişler ve rüzgâr zararına karşı canlı çitler oluşturmuşlardır.

-**FİLİPİNLER**; çiftçiler elde edecekleri orman ürünlerini Filipinler Kâğıt Endüstrisi Kurumu 'na satmak üzere, ağaçlandırma çalışmalarıyla orman kurmaya başlamışlardır.

-**BANGLADEŞ**; kırsal yörede yaşayan ve toprağı olmayan köylüler, kendilerine parasal gelir ve çeşitli faydalar sağlamak üzere devletin tahsis ettiği araziler üzerinde, ağaçlandırma çalışmalarına başlamışlardır.

-**NİJER**; Majjia Vadisi 'nde yaşayan köylüler tarımsal verimi artırmak ve yakacak odun sağlamak amacıyla, tarımsal arazilerinin sınırlarına ağaç dikerek, rüzgar perdeleri oluşturmuşlardır.

-**KENYA**; kırsal yörede yaşayan bir kadın grubu, ağaçlandırma çalışmalarında ihtiyaç duyulan fidan miktarını artırmak için, kendi kendilerine küçük bir orman fidanlığı kurmuşlardır.

-**NEPAL**; toprağı olmayan köylüler, devlet arazileri üzerinde köy korulukları kurmak amacıyla ağaçlandırma yapmışlar; toprağı olan köylülerde yapacak odun, hayvan yemi ve diğer orman ürünü gereksinimlerini karşılamak amacıyla, kendi arazilerinin üzerinde ağaç dikmeye başlamışlardır.

-**GUATEMALA**; kahve tarımı ile uğraşan çiftçiler, üretim tekniğı gereğı yetişmesi için gölge gereksinimi olan kahve ağaçlarının arasına, hem bu fonksiyonu sağlamak, hem de yakacak odun elde etmek için ağaç dikmeye başlamışlardır.

-**TAYLAND** ve **NİJERYA**; köylüler çeşitli gıda ürünlerini elde etmek amacıyla, tarımsal alanlar üzerinde, hem orman ve hem de tarım ürünlerinin birlikte üretilmelerini sağlayan üretim tekniklerini kullanmaya başlamışlardır (Arnold, 1991; Viriyasakultron, 1993).

Yukarıda verilen ülke örnekleri, sosyal ormancılık olarak 1970 'li yılların ortalarında çıkmış örneklerdir. Bu örneklerle birlikte, literatüre çoğunluğu tipik ülke uygulamaları olarak giren birçok kavram ortaya çıkmıştır. Bu kavramlar, sosyal ormancılık ile ilgili konu ve uygulamaların, değişik ülke ve kurumlarca benimsenmesi ve yaygınlaşması ile günden güne çeşitlenmiştir. Dünya ölçeğinde literatürde ve uygulamalarda rastlanılan kavramlar, Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo (5) ' den de görüleceğı üzere, literatür ve uygulamada sosyal ormancılık ile ilgili bir çok kavram bulunmaktadır

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

Tablo 4. Sosyal Ormanlığın Gelişimi ile İlgili Üç Ana FAO Programı (Arnold, 1991)

	FLCD PROGRAM (1978) KIRSAL HALK İÇİN ORMANLAR PROGRAMI	FPPP 1 PROGRAMI ORMANLAR AĞAÇLAR VE HALK PROGRAMI (1987)	FPPP 2 PROGRAMI ORMANLAR AĞAÇLAR VE HALK PROGRAMI (1991)
PROBLEMLER	ORMANIN SAĞLADIĞI HİZMETLERDEN KIRSAL YÖREDE YAŞIYAN İNSANLARIN YARARLANDIRILMASI YERİNE ORMAN VE AĞAÇLARA ÖNEM VERİLEREK ORMANCILIK YAPILMASI VE İNSAN UNSURUNUN DIŞLANMASI	SOSYAL ORMANCILIK UYGULAMALARINDA İLGİSİZLİK SOSYAL ORMANCILIK UYGULAMALARI İÇİN YAKLAŞIM VE ARAÇLARIN YOKLUĞU. SOSYAL ORMANCILIK İLE İLGİLİ KARMAŞIK KONULARIN ANLAŞILAMAMASI	YENİ YAKLAŞIM VE ARAÇLARIN UYGULANMASINDA YÖRESEL KAPASİTENİN YETERSİZLİĞİ
YAKLAŞIMLAR	KIRSAL KALKINMADA ORMAN KAYNAKLARININ YERİ VE ÖNEMİNİN ORMANCILIK MENSUBU KİŞİLERE ANLATILMASI VE İLGİLİ KİŞİLERİN UYARILMASI	SOSYAL ORMANCILIK İÇİN GELİŞTİRİLMESİ GEREKEN YAKLAŞIM VE ARAÇLAR.	İLETİŞİM VE HABERLEŞMEYE ÖNEM VERİLMESİ YÖRESEL PLANLAMANIN DESTEKLENMESİ ÇEŞİTLİ KURUMLARIN VE PROJELERİN YAYGINLAŞTIRILMASINDA İŞBİRLİĞİ
YAPILAN ÇALIŞMALAR	POLİTİK VE KARIYER DÜZEYİ YÜKSEK KİŞİLERE BAŞVURARAK PROBLEMLERİN VE YAKLAŞIMLARIN ANLATILMASI VE ULUSLARARASI DÜZEYDE KARŞILIKLI İŞBİRLİĞİNİ SAĞLAYACAK KISA SÜRELİ GEZİLER. BİRÇOK ÜLKEDE PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK İLK UYGULAMALAR	ÜST DÜZEY YÖNETİCİLER İLE ULUSLARARASI TOPLANTILAR BİLGİ VE DENEYİM SAĞLAMAK İÇİN PİLOT PROJELER BAZINDA ARAŞTIRMALAR . KARŞILIKLI İLETİŞİM VE HABERLEŞME AĞININ KURULMASI	WORKSHOP VE EĞİTİM ÇALIŞMALARININ YAPILMASI PROJELERDE ARAŞTIRMALARA YER VERİLMESİ BİLGİ ALIŞVERİŞİNİN ARTIRILMASI
BAŞARILAR	KIRSAL HALK İLE AĞAÇLANDIRMA İSİMLİ DOKÜMAN YAYINLANMIŞTIR. SOSYAL ORMANCILIĞA YÖNELİK İLGİ YARATILMIŞTIR	SOSYAL ORMANCILIK ANLAŞILIR HALE GELMİŞTİR . YENİ YAKLAŞIM VE ARAÇLARIN GELİŞTİRİLMESİNDE UĞRAŞ VERİLMEME BAŞLANMIŞTIR. BİLGİ BİRİKİMİ YAYIN HALİNE GETİRİLMİŞTİR.	BİLGİ BİRİKİMİ YAYIN HALİNE GETİRİLMİŞTİR KIRSAL YÖRE HALKINA FAYDA SAĞLANMAYA BAŞLANMIŞTIR.

Bu tablonun ortaya çıkış nedenlerini şu şekilde vermek mümkündür;

* Ormansızlaşma çevre bozulmasının ulaştığı boyut nedeniyle, her ülke bu sorunları ortadan kaldıracak, farklı çözüm arayışlarına girmektedir. Bu çözüm arayışı esnasında, ülkelerin; sosyal, siyasal, kültürel ve ekonomik özellikleri çerçevesinde, farklı isimlerle nitelendirilen kavramlar ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5. Sosyal Ormanlık İle İlgili Kavramlar

Kavramın İngilizce Adı	İlk Olarak Ortaya Çıktığı Ülke
Social Foetry	Hindistan
Community Forestry	Tayland
Farm Forestry	Kenya
Joint Forest Management	Hindistan
Community Forestry Extension	Nepal
Forest Villages Programmes	Tayland
Agroforestry	Filipinler
Extensions Forestry	Nepal
Village Woodlots	Güney Kore
Village Afforestation	Tanzanya
Village Forestry	Senegal
Cooperative Forestry	Nepal
Fuelwood Management	Honduras

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

*Ormansızlaşma ve çevre bozulmasının farkına varan hükümetler, karşılıklı anlaşmalar çerçevesinde uluslararası kurum ve kuruluşlardan elde ettikleri teknik yardım ya da finans kuruluşlarından elde ettikleri (Örneğin; International Money Fund, IMF) kalkınma kredileri ile farklı, ad ve yaklaşımları içeren projeleri uygulamaya koymaktadırlar. Her proje farklı isimle adlandırıldığından yeni bir kavramın ortaya çıktığı zannedilmektedir.

*Plan ya da projeler bazında ele alınmamış ve belli uygulama stratejisi bulunmayan, fakat ülke içerisinde var olan potansiyel ile kendiliğinden ortaya çıkmış örnekler, farklı isimlerle anılmaktadır.

2.4. Sosyal Ormancılık Tanımları ve Analizi

Sosyal ormancılık üzerine yapılan tanımlar; tanımın yapıldığı yıl, tanımı yapan kişi, üzerinde durulan amaçlar, uygulamada seçilen yaklaşım şekli ve hedef kitle dikkate alınarak analiz edilmiş ve bu analiz kronolojik sıra halinde Tablo (6) 'da verilmiştir. Sosyal ormancılığın kavram olarak ortaya çıkışı, ilk uygulama örnekleri ve Tablo (6) 'da verilen sosyal ormancılık tanımları incelendiğinde, kavramların sayısal olarak azaldığı ve tanımların **sosyal ormancılık** kavramı üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Böylece dünya ölçeğinde sosyal ormancılık ile ilintili kavramların en önemlileri; social forestry, community forestry, farm forestry, extension forestry, agroforestry olmaktadır. Literatürde bu kavramlar içerisinde, kırsal kalkınma bağlantılı ormancılık uygulamaları için, ABD kuruluşlarının "farm forestry" kavramını; FAO teşkilatına bağlı birimlerin ise, "community forestry" kavramını ön plana çıkartmaları dikkat çekicidir. Bu beş kavram içerisinde, anlam açısından diğerlerine göre en farklı olanları; "extension forestry" ve "agroforestry " kavramlarıdır. Zira bu kavramlar, sosyal ormancılığın uygulama çerçevesine ilişkin teknik kavramlar olup, tek başlarına belirli bir anlam ifade etmemektedirler. Sonuç olarak sosyal ormancılık kavramları içinde üzerinde durulması gereken kavramlar; **social forestry**, **community forestry** ve **farm forestry** kavramlarıdır.

Tablo 6'da verilen tanımların hemen hepsinde benzer tanım elemanları kullanılmasına rağmen, öngörülen amaçlar ve uygulamada seçilen yaklaşım şekilleri açısından birbirleri ile bazı farklılıklarının bulunduğu görülmektedir. Yapılan bu tanımların büyük çoğunluğunda, social forestry terimi kullanılmıştır. Fakat tanımlarda, üzerinde durulan amaç, uygulamada seçilen yaklaşım şekli ve hedef kitle açısından farklılıklar vardır.

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

Tablo 6. Sosyal Ormanlık Tanımlarının Analizi

TANIMI YAPILAN YIL	TANIMI YAPAN KİŞİ VEYA KURUM	KULLANILAN TERİM	ÜZERİNDE DURULAN AMAÇ	UYGULAMADA SEÇİLEN YAKLAŞIM ŞEKLİ	HEDEF KİTLE
1968	Westoby (Tiwari, 1983)	Social Forestry	ORMANLARIN REKREASYON VE ORMANIN SAĞLADIĞI DİĞER HİZMETLERİN ÜRETİLMESİ VE TOPLUMA AKTARILMASI	-	TÜM TOPLUM
1976	Hindistan Ulusal Tarım Komisyonu (NCA, 1976)	Social Forestry	YAPACAK VE YAKACAK ODUN, HAYVAN YEMİ, GIDA VB. GİBİ ÜRÜNLER ÜRETEREK YÖRESEL TOPLUM İHTİYAÇLARININ KARŞILANMASI	-	EKONOMİK AÇIDAN HASTA İNSANLAR
1978	Gıda Ve Tarım Teşkilatı (FAO, 1978)	Community Forestry	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN İNSANLARIN YÖRESEL İHTİYAÇLARININ ORMAN KAYNAKLARINDAN KARŞILANMASI	HALKIN KATILIMI	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN HALK
1983	Tiwari (1983)	Social Forestry	HALKIN BİR DİZİ MAL VE İHTİYAÇLARINI KARŞILAMAK İÇİN HALK İLE BİRLİKTE ORMAN YETİŞTİRMEK VE İŞLETMEK	HALKIN GÖNÜLLÜ VE İSTEKLİ KATILIMI	TÜM TOPLUM
1984	Backheti (1984)	Social Forestry	ORMAN ALANLARI İÇERİSİNDE YAŞAYAN İNSANLARIN TEMEL İHTİYAÇLARININ KARŞILANMASI VE EKOLOJİK DENGENİN KORUNMASI	-	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN HALK
1984	Pelinc ve Arkadaşları (1984)	Community Forestry	İNSANLARIN ORMANLARDAN KENDİLERİNE YARAR SAĞLAYACAK ŞEKİLDE BİLGİ VE SORUMLULUKLARININ GELİŞTİRİLMESİ	HALKIN BİLGİ VE BİLİNÇ DÜZEYİNİ ARTTIRAN VE SORUMLULUKLARINI GELİŞTİREN ÇALIŞMALAR	TÜM TOPLUM
1984	Weirsum (1984)	Social Forestry	HALIKIN ORMAN VE ORMAN ALANLARI İLE İLGİLİ YÖRESEL İHTİYAÇLARININ KARŞILANMASI	KIRSAL YÖREDE YAŞIYAN İNSANLARIN DOĞRUDAN KATILIMI	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN HALK
1984	Foley ve Barnard (1984)	Farm Forestry Community Forestry	KIRSAL YÖREDE TARIMLA UĞRAŞAN KİŞİLERİN KENDİLERİNİN VEYA KÖYLERİNİN ÇEVRESİNDEKİ ARAZİLER ÜZERİNDE AĞAÇ DİKEREK ÇEŞİTLİ GEREKSİNİMLERİNİN KARŞILANMASI	KÖYLÜLERİN KARŞILAŞTIKLARI PROBLEMLERİN ÇÖZÜMÜNE YARDIMCI OLACAK UYGULAMALAR	KIRSAL YÖREDE TARIMLA UĞRAŞAN KİŞİLER
1985	Carnea (1985)	Social Forestry	GENİŞ BİR HALK KİTLESİNDE KÜLTÜREL VE DAVRANIŞSAL DEĞİŞİKLİLER YARATARAK AĞAÇ VE ORMAN KAYNAKLARI NIN ARTTIRILMASI VE KORUNMASI	TOPLUMDA KÜLTÜREL VE DAVRANIŞSAL DEĞİŞİMİ GETİRECEK AKTİF ÇALIŞMALAR	TÜM TOPLUM

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

TANIMI YAPILAN YIL	TANIMI YAPAN KİŞİ VEYA KURUM	KULLANILAN TERİM	ÜZERİNDE DURULAN AMAÇ	UYGULAMADA SEÇİLEN YAKLAŞIM ŞEKLİ	HEDEF KİTLE
1985	Noranha ve Spears (1985)	Social Forestry	YÖRESEL TOPLUM İHTİYAÇLARININ KARŞILANMASI	HALKIN AKTİF İLGİSİ	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN HALK
1985	Vergara (1985)	Social Forestry	YALIN ORMANCILIK ÇALIŞMALARI YANINDA AGROFORESTRY TEKNİKLERİNİ KULLANARAK HALKIN ORMAN İLE İLİŞKİLİ TEMEL İHTİYAÇLARININ KARŞILANMASI	HALKIN SORUNLARI KENDİ KENDİNE ÇÖZÜMLEMESİ	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN HALK
1988	Hadley (1988)	Extension Forestry	ORMANCILIKLA İLGİLİ YÖRESEL TOPLUM İHTİYAÇLARININ KARŞILANMASI	İHTİYAÇ DUYULAN KONULAR ÇERÇEVESİNDE TOPLUMUN EĞİTİMİ	EĞİTİLMELERİ HEDEFLENEN KİŞİLER
1991	Arnold (1991)	Community Forestry	KIRSAL YÖREDE HANE VE KÖY HALKI DÜZEYİNDE TEMEL İHTİYAÇLARIN KARŞILANMASI, GELİR GÜVENLİĞİ, GELİR VE İŞLENDİRME OLANAKLARI YARATILMASI	HALKIN KATILIMI İLE YAPILAN UYGULAMALAR	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN HALK
1993	Nair (1993)	Social Forestry	AĞAÇ VE ORMAN KAYNAKLARINDA YAPILAN BİR DİZİ ÜRETİM FAALİYETİ İLE BAZI SOSYAL AMAÇLARA ULAŞMAK	HALKIN KATILIMI	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN FAKİR VE YOKSUL HALK
		Community Forestry	BAZI AĞAÇ VE ORMAN ÜRÜNÜ GEREKSİNİMLERİNİN KARŞILANMASI MAKSADI İLE HALKIN KENDİ KENDİSİNE DEVLET VE KÖY ORTAK ARAZİLERİNDE ORMAN KURMASI VE YETİŞTİRMESİ	HALKIN KATILIMI	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN FAKİR VE YOKSUL HALK
			BAZI İHTİYAÇLARIN KARŞILANMASI MAKSADIYLA TARIMSAL ARAZİLER ÜZERİNDE ÇEŞİTLİ AĞAÇ TÜRLERİNİN YETİŞTİRİLMESİ	HALKIN KATILIMI	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN FAKİR VE YOKSUL HALK
Tarihsiz	Alavalapati ve Gill	Social Forestry	İNSANLARIN GÜNLÜK GEÇİM, PARASAL GELİR VE ÇEVRE GÜVENLİĞİ GİBİ İHTİYAÇLARININ KARŞILANMASI	HALKIN KATILIMI	KIRSAL YÖREDE YAŞAYAN FAKİR VE YOKSUL HALK

Örneğin; Hindistan Ulusal Tarım Komisyonu (NCA) sosyal ormancılık uygulamaları için; "ekonomik açıdan hasta ve başkalarına sağlanan olanaklara sahip olmayan insanları" hedef kitle olarak seçerken; **Westoby** (1968), **Tiwari** (1983), **Pelincik ve Ark.** (1984), **Carnea** (1985); bütün toplumu hedef kitle olarak kabul etmişlerdir. Bunların dışındaki tanımlarda hedef kitle "kırsal yörede yaşayan halk" olarak belirtilmektedir. Sosyal ormancılık uygulamaları açısından, kırsal yörede yaşayan halk deyimi çok geniş bir hedef kitle yelpazesi verdiği için, bu deyimi "orman alanları içerisinde yaşayan kırsal yöre halkı" olarak düzeltmek yerinde olacaktır.

Tablo (5) 'de analizi yapılan tanımların uygulamada seçtiği yaklaşım şekli incelenirse, diğer tanımları aksine; **Westoby** (1968), **NCA** (1976) ve **Bachtheti** (1984) 'nin "katılımcılık" (participation) düşüncesini açık bir şekilde ifade etmediği gözlenmektedir. Fakat **Westoby** (1968) 'in tanımında "toplum için üretim", **Bachtheti** (1984) 'nin tanımında "insanların temel ihtiyaçlarının karşılanması ve ekolojik dengenin korunması" düşüncelerine önem verilmektedir.

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

Tanımlarda, **Hadley** (1988) 'in extension forestry kavramını kullanması ilgi çekmektedir. **Pelinck ve Ark.** (1984) ve **Cernae** (1985) extension forestry kavramını kullanmasalar bile, Hadley (1988) 'in yaptığı tanımın paralelinde, "halkın eğitimi, bilgi ve bilinç düzeyinin artırılması ve sorumluluklarının geliştirilmesi" gibi ifadelerle ağırlık verilmektedir.

Foley ve Barnard (1984) ile **Nair** (1993), sosyal ormancılık kavramını "community forestry" ve "farm forestry" olarak iki kısma ayırarak tanımlamaktadır. Sosyal ormancılığın uygulama şekilleri bölümünde, bu konu üzerinde ayrıntılı bir şekilde durulmaktadır.

Tablo 6'da analizi yapılan tanımları hemen hemen hepsinde; **insan** (people), **insan ihtiyaçları** (people needs) ve **katılımcılık** (participation) kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Öte yandan tanımlarda yer alan ifadeler, sosyal ormancılığı bir uygulama tekniğinden ziyade; halkın sürekli katılımını temel alarak, kalkınma yolunda toplumda sosyoekonomik değişim yaratmayı hedefleyen uygulamalar olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 6 'da verilen tanımların analizi ile aşağıda belirtilen sonuçları çıkarılabilir;

Tanımların Temel Çıkış Noktaları;

* Kırsal yörede, orman kaynakları içerisinde veya kenarında, yerleşik düzeyde yaşayan insan kitlelerinin varlığı ve bu insan kitlelerinin yaşamlarının orman kaynaklarına bağımlı oluşu,

* Ormancılık uygulamalarında, kırsal yöre halkının taleplerinin dikkate alınmaması ya da orman kaynaklarına olan bağımlılıklarının gözardı edilmesi,

* Temel insan ihtiyaçlarının karşılanması için, orman kaynaklarının bilinçsiz ve düzensiz yararlanma şekli ile kullanılması ya da kullanılmak istenmesi,

* Ormansızlaşma ve çevre bozulması nedeniyle, halkın yaşam güvenliğinin tehlikeye düşmesi ve kırsal yörede yoksulluğun meydana gelişi ya da artışı,

Tanımlarda Üzerinde Durulan Amaçlar;

* Kırsal yöre halkının, orman kaynaklarına yönelik temel gereksinimlerinin karşılanması,

* Kırsal yörede sosyal, siyasal, kültürel ve çevresel değişimi getiren bir kalkınma sürecinin başlatılması,

* Ormansızlaşmanın ve çevre bozulmasının önlenmesi,

* Toplumsal refah için, orman kaynaklarından en iyi yararlanma şekline ulaşılması,

Uygulamada Seçilen Yaklaşım Şekilleri;

* Halkın katılımının sağlanması,

* Halkın eğitilmesi, bilgi ve bilinç düzeyinin artırılması ve sorumluluklarının öğretilmesi,

* Halkın girişimci ve üretken kılınması,

Hedef Kitle;

* Kırsal yörede yaşayan ve geçimleri orman kaynaklarına bağlı olan insanlar.

Buraya kadar yapılan açıklamalardan sonra, dünya ölçeğinde sosyal ormancılık kavramı ve uygulamaları için, aşağıdaki genel sonuçlara ulaşmak mümkündür;

(1) Birçok ülkede kırsal kalkınma bağlantılı ormancılık uygulamalarında en çok kullanılan kavram; sosyal ormancılık (social forestry) kavramıdır.

(2) Sosyal ormancılık çok geniş kapsamı ve içeriği olan bir terimdir (comprehensive).

(3) Çeşitli bilim dalları ile çok yakından ilişkili olup, bu bilim dallarından yararlanmaktadır (interdisciplinary).

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

(4) Toplumsal katılım ile yapılan, ormancılık çalışmalarına atıfta bulunmaktadır (people's participation).

2.5. Sosyal Ormancılığın Uygulama Şekilleri

Dünya ölçeğinde sosyal ormancılık ile ilgili kavram ve tanımların incelenmesinden sonra, üzerinde detaylı analizlerin yapılması gereken iki kavram ortaya çıkmaktadır. Bunlar; **community forestry** ve **farm forestry** kavramlarıdır. Kavramları anlaşılabilir hale sokmak için; öne çıkardıkları bakış açılarının ortaya konması ve uygulama alanındaki konumlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Community forestry ve farm forestry kavramlarının uygulama alanındaki konumlarını belirleyen dört ana unsur vardır. Bunlar; katılım şekli (participation), orman mülkiyetinin niteliği (land tenure), orman kaynağının işletme ve yönetim şekli (forest management and exploitation) ve faydalanma hakkı, olmaktadır. Bu unsurların, ekonominin cevap arama durumunda olduğu temel sorularla yakın ilişkisi vardır. Hatırlanacağı üzere, bir ekonominin cevap arama durumunda olduğu temel sorular; (a) Hangi mallar üretilmelidir? (b) Ne kadar üretilmelidir? (c) Hangi teknoloji ile üretilmelidir? (d) Bölüşüm nasıl olmalıdır? şeklindedir. Bu sorulara; (e) Hangi mülkiyet üzerinde üretilmelidir? ve (f) Üretim kim tarafından yapılmalıdır? soruları da eklendiğinde, community forestry ve farm forestry kavramlarının anlamları netleşecektir. Böylece, community ve farm forestry kavramları, gereksinim duyulan malların (yapacak ve yakacak odun, hayvan yemi, gıda ürünleri, vb gibi) mevcut kaynaklarla, kimler tarafından, hangi mülkiyet üzerinde üretilecek ve bölüşüm nasıl olacak, sorularının yanıtlanması ile belirginleşecektir.

Sosyal ormancılık tanımlarının analizinin yapıldığı bölümde, uygulamada seçilen yaklaşım şekillerinden halkın katılımı (people's participation), üzerinde en çok durulan yaklaşım şeklidir. Bu katılım, üretimin kim ya da kimler tarafından yapıldığına ya da yapılacağına açıklık getirmektedir.

Weirsum (1984); sosyal ormancılık uygulamalarında, orman idaresi ve halkın katılım ölçütüne göre, dört özel durumun var olduğunu belirtmekte ve bu dört özel durumu aşağıdaki gibi açıklamaktadır;

(1) **Participatory Forestry**; Halkın en basit katılım şeklidir. Bu katılım şeklinde ormancılık örgütü uyarıcı bir aktif rol üstlenerek, halkın katılımını sağlamaya çalışmaktadır. Örneğin, herhangi bir orman kaynağından, halkın yapacak ve yakacak odun ihtiyacını karşılamaya yönelik bir uygulama düşünüldüğünde, orman kaynağının yönetim ve işletme görevi orman idaresinde kalırken; halkın katılımı, koruma ve bazı silvikültürel uygulamalarda işgücü sağlanması şeklinde kendini göstermektedir.

(2) **Village Forestry**; Ormancılık örgütünün icra görevinden ziyade, danışmanlık görevi üstlendiği bir katılım şeklidir. Bu katılım şeklinde halk ya da toplum, yapılacak olan görevlerin daha fazlasını üstlendiği taraftır. Village forestry, köy bazında bütün toplumu hedef kitle olarak kabul eden uygulamaları ile kendini göstermektedir. Halkın bir orman kaynağından yararlandırılması ya da bu orman kaynağından, bazı temel gereksinimlerin karşılanmasına yönelik bir sosyal ormancılık uygulaması düşünüldüğünde, orman idaresinin katılımı danışmanlık görevi ile sınırlı kalırken, halkın katılımı orman kaynağının yönetim ve işletilmesini üstlenmek şeklinde ortaya çıkmaktadır. Öteyandan; orman işletme ve yönetimine ilişkin plan ve projeler orman köylüleri tarafından hazırlanmakta ve yapılması gereken silvikültürel uygulamalar yine orman köylüleri tarafından yapılmaktadır.

(3) **Community Forestry**; Yukarıda açıklanan village forestry uygulamalarının özel bir formu olan katılım şeklidir. Buradaki katılımcılık köy bazından ziyade, belirli bir orman köylüsünün katılımı ile sınırlıdır. Bu form daha çok dağınık yerleşime sahip köyler (örneğin; mahalleler olarak dağınık) ya da aynı köy içerisinde gelir ya da mülkiyet açısından farklılığı olan insan kitlelerini, hedef kitle olarak kabul eden uygulamalarla kendini göstermektedir.

(4) **Farmer's Forestry**; Bu katılım şeklinde ağaç ve orman kaynaklarının yönetim ve işletmesini, bir köy halkı ya da toplumsal gruptan ziyade, toprakla uğraşan küçük çiftçiler, fakir hane

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

halkları veya bunların üyeleri üstlenmektedir. Yani, katılımcılık geniş bir halk kitlesi ya da belirli bir toplumsal kitle doğrultusunda değil, küçük gruplar veya kişiler düzeyindedir.

Weirsum (1984) tarafından verilen bu dört durum incelendiğinde, ilk üç katılım şeklinde benzer anlam ve özelliklerin bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Çünkü sosyal ormancılık uygulamaları için belirlenen hedef kitlenin sayısal olarak katılım düzeyi, bir köy ya da kırsal toplumu (community) içine alan boyutlardadır. Ayrıca, ilk üç katılım şekline ait uygulamalarda, kaynakların kontrol ve yönetimini, bireylerden ziyade toplum üstlenmektedir. Öte yandan, daha önemlisi kaynakların mülkiyeti toplumda ya da devlet kuruluşlarında kalmakta, bireysel ya da özel mülkiyet söz konusu olmamaktadır. Fakat ilk üç katılım şeklinde, yönetim açısından farklılıklar bulunmaktadır. Yine ilk üç katılım şekline ait uygulamaların başlatılmasında, aktif rol üstlenen taraf orman idaresi ve onun profesyonel üyesi olan ormancılar olmaktadır. Fakat orman idaresi ve ormancıların görevi; toplumsal hareketi uyarmak, başlatmak ve bu harekete kolaylıklar sağlamak şeklinde sınırlanmaktadır. Bu açıklamalardan sonra ilk üç katılım şekline ait uygulamaları, **community forestry** kavramı altında gruplandırmak gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır.

Weirsum 'un sosyal ormancılık uygulamalarına halkın katılım şekline göre yaptığı ayrımın dışında, bazı yazarlar community forestry kavramı ve uygulamalarını çeşitli ülke örnekleri ile açıklamaktadırlar. **Rebigio** (1985); community forestry uygulamalarını, Hindistan ve Nepal 'de olduğu gibi Panchayatlar tarafından köy koruluklarının işletilmesi olarak örneklendirmekte ve sosyal ormancılığın özel bir uygulama formu olduğunu açıklamaktadır. **Foley ve Barnard** (1984) benzer şekilde, community forestry programlarının ve bu programlara ait uygulamaların, kırsal yörede orman köylerinde yaşayan insan toplulukları tarafından devlet arazileri ve köy ortak alanları üzerinde orman kurulması ve ağaç yetiştirilmesine yönelik uygulamalar olduğunu belirtmektedir.

Son olarak, Weirsum 'un katılım şekillerinin dördüncüsü olan farmer's forestry; katılım şekli üzerinde durmak gerekmektedir. Birçok yazar bu katılım şekline ait uygulamaları, farm forestry olarak adlandırmaktadır. **Rebigio** (1985) farm forestry kavramını; bireysel ya da hane halkı düzeyindeki katılım ile yapılan sosyal ormancılık uygulamaları olduğunu, Hindistan ve Filipinler 'deki gibi, küçük ölçekli kuru ya da küçük orman parçacıklarında ağaç yetiştirme çalışmaları ile kendini gösterdiğini ifade etmektedir. **Foley ve Barnard** (1984); farm forestry uygulamalarının community forestry uygulamalarından farklı olduğunu belirterek, kırsal yöredeki kişilerin kendilerinin ya da devletin hüküm ve tasarrufu altındaki arazilerde, gerek kendi tüketimleri ve gerekse ticari amaçlar için, orman kurmaları ve ağaç yetiştirmelerine ilişkin uygulamaların, farm forestry uygulamaları olduğunu ifade etmektedir.

Community forestry ve farm forestry uygulamalarının yapıldığı araziler, katılımcı kişilerin ya da toplumların kendi tasarruf hakkının bulunduğu araziler olabileceği, mülkiyeti devlete ya da hazineye ait araziler olabilmektedir. Arazi mülkiyeti kişilerin ya da toplumların kendi tasarruflarında olmayıp, sadece community forestry ve farm forestry uygulamaları için kendilerine tahsis edilmiş arazi niteliğinde ise, iki tür mülkiyet söz konusu olmaktadır. Bunlar; **arazi mülkiyeti** (land tenure) ile **ağaç ve orman mülkiyeti** (tree tenure) olarak adlandırılmaktadır. Sosyal ormancılık uygulamalarının yapıldığı birçok ülkede, devlet ve hazine arazileri, kırsal yöredeki kişilere ya da toplumlara ağaç yetiştirmeleri ve orman kurmaları için tahsis edilmektedir. Bu tahsis işleminde, arazi mülkiyeti devletin kendisinde kalırken, ağaç ve ormanın mülkiyeti kişiler ya da toplumda kalmakta ve hukuki düzenlemeler yapılarak karşılıklı olarak anlaşma sağlanmaktadır.

Buraya kadar yapılan açıklamalardan sonra; Dünya ölçeğinde, sosyal ormancılığın, iki farklı uygulama şeklinin olduğu belirtilmelidir. Bunlar; **community forestry** (toplum ormancılığı) ve **farm forestry** (çiftlik ormancılığı) uygulamalarıdır. Bunların dışında kalan ve daha önceki bölümlerde de söz edilen kavramların bilimsel niteliği bulunmamaktadır.

Community forestry (toplum ormancılığı) ve **farm forestry** (çiftlik ormancılığı), sosyal ormancılığın ana uygulama şekilleri olmasına rağmen, bazı ülkelerde ele alınan ve uygulanan sosyal ormancılık programları ve projelerinin içerisinde, ülkenin ormancılık sorunlarının niteliği, ormansızlaşmanın ulaştığı boyut ve kırsal yoksulluğun şiddetine göre, yine sosyal ormancılık

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

uygulama şekilleri olarak nitelendirilmesi gereken uygulamalara da yer verilmektedir. Kırsal yoksulluğu önlemek maksadıyla; gelir getiren ve gıda güvenliği sağlayan çalışmalar (income generating & food security) bu uygulama şekillerine en çarpıcı örnektir. Bunların yanında, bazı ülkeler orman içlerine düzensiz ve bilinçsiz yerleşimleri önlemek maksadıyla, orman içi yerleşim programları uygulamaktadır. Öte yandan, çeşitli ülkelerde ormanlardan aşırı ve düzensiz yararlanmalar, hızlı bir ormansızlaşma ve çevre bozulmasına neden olmaktadır. Bazı Afrika ve Latin Amerika Ülkeleri ile Asya-Pasifik Rejyonu 'nda bulunan ülkelerde, bu durumu rahatlıkla görmek mümkündür. Ormansızlaşma ve çevre bozulmasını belirli sınırlarda tutmak isteyen ve tropikal orman rezervlerini korumak isteyen ülkeler, tampon zon orman yönetimi (buffer zone management) uygulamalarını çeşitli sosyal ormancılık projelerinde yer vermektedir (Gilmour ve Blockhus, 1993).

3. SONUÇ

Bir ülkenin orman alanları içerisine orman kaynaklarına bağımlı olarak yaşam sürdüren kırsal nüfus bulunuyor ve ülke ormancılık örgütü kırsal nüfusun varlığı nedeniyle temel ormancılık uğraşlarını yapamaz durumda ise, bu ülkede kırsal kalkınma kapsamında ormancılık kalkınmasını gerektiren uygulamalar gündeme gelecektir. Yani ülke ormancılık örgütü **temel ormancılık uğraşları ile birlikte ormancılık kalkınmasını** yapmak zorundadır. Bu nedenle ülke kalkınması ile bağlantılı olarak yapılan kırsal kalkınma çalışmalarının, ormancılık uygulamaları içerisine yansımış şekli olan **sosyal ormancılık** uygulamaları karşımıza çıkmaktadır.

Böylece ana başlıklar halinde sosyal ormancılığın uygulama şekilleri;

- Toplum ormancılığı (community forestry) uygulamaları,
- Çiftlik ormancılığı (farm forestry) uygulamaları,
- Orman içi yerleşim (land tenure) sorunlarının çözülmesi,
- Gelir artıran (income generating) ve gıda güvenliği (food security) sağlayan uygulamalar,
- Tampon zon orman yönetimi (buffer zone forest management) uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır.

4. KAYNAKÇA

Alavalapati, R.R., Janaki & Gill, S. Dhara, (Tarihsiz). Social Forestry: A Conceptual and Theoretical Analysis, Staff Paper; 91-07, Department of Rural Economy, University of Alberta, Edmonton.

Arnold, J. E. M., (1991). Community Forestry: ten years in review, Forests, Trees and People (FTPP), Community Forestry Note: 7, FAO, Rome, Italy.

Bachkheti, N.D. (1984). Social Forestry in India: Problems and Prospects, Birla Institute of Scientific Research, New Delhi, India.

Carnea, M. M. (1985). Alternative Units of Social Organization Sustaining Afforestation Strategies, in Putting People First: Sociological Variables in Rural Development, Edited by Cernea M. M., Oxford University Press, New York, USA.

Dinler, Z., (1993). Tarım Ekonomisi (Üçüncü Baskı), Ekin Kitapevi Yayınları, Yayın No: 13, Divit Matbaası, İstanbul, Türkiye.

FAO, (1978). Forestry for Local Community Development, FAO Forestry Paper No:7, Rome, Italy.

FAO/RAPA, (1992). Selected Indicators of Food and Agriculture Development In Asia-Pacific Region, 1981-1991, RAPA Publication 1992/15 Bangkok, Thailand.

SOSYAL ORMANCILIK: ORTAYA ÇIKIŞI, TANIMLARIN ANALİZİ VE UYGULAMA ŞEKİLLERİ

Foley, G., & Barnard, G., (1984). Farm and Community Forestry, Erathscan Tecnical Report, No:3, London, England.

Gilmour, D., A., & Blockhus, J., M., (1993). Buffer Zone Management: Concepts and Issues, A Lecture Presented to Buffer Zone Management Consultation at RECOFTC, July 10-11 1993, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.

Hadley, Melisca J., (1988). Extension Forestry: The Second Bridge, The Forestry Chronicle 64 (3), pp.203-207

İlter, E., (1993). Ormancılık Politikasının Formüle Edilmesi, Bolu, Türkiye.

Lowry, S., Todd, (1977). The Nature of Pre-Industrial Planning, Forestry and Long Range Planning, (s. 18-31), edited by Frank J. Convey and Charles W. Ralston, School of Forestry and Enviromental Studies, Duke University, Durham, Nort Carolina, USA.

Manisalı, E., (1982). Gelişme Ekonomisi (Üçüncü Baskı), Ar Yayın Dağıtım, İstanbul, Türkiye.

Nair, N.P.K., (1993). An Introduction to Agroforestry, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland.

NCA-National Commission on Agriculture, (1976). Report of the NCA-Part IX-Forestry, Ministry of Agriculture, Government of India, New Delhi, India.

Noranha, R. & Spears, J.S., (1985). Sociological Variables in Forestry Project Design in Putting People First: Sociological Variables in Rural Development, (Editoried by M.M. Carnea), Oxford University Press, New York, U.S.A.

Ohe, Von Der, W., (1991). Socioeconomic Surveys as an Essential Source of Basic Information for Deciding on Social Forestry Activities in Forest Villages, Lecture for Rural Development and Community Forestry in Turkey, Seminar (11-12 March 1991), Turkish-German Forestry Project, Ankara, Türkiye.

Özdönmez, M., İstanbullu, T., Akesen, A., (1989). Ormancılık Politikası, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3553, Or. Fak. Yayın No: 401, Taş Matbaası, İstanbul, Türkiye.

Pelinck, E., P.K., Manandhar & R.H.Gecolea, (1984). Forestry Extension Community Development in Nepal, Unasylva, 36 (143), pp.2-7, Nepal.

Rao, Y., S., (1992). Forestry Profiles, Forest News, Tigerpaper, Vol: XIX-XX, FAO/RAPA, Bangkok, Thailand.

Rebugio, L.L., (1985). Social Forestry: For What and For Whom?, Tropical Forests, 2 (3), pp.28-35.

Tiwari, K.M., (1983). Social Forestry in India, Natraj Publishers, Dehradun, India.

Vergara, N.T., (1985). Expanding Populations and Shrinking Resources: The Economic Setting and Development Potential for Social Forestry, in Community Forestry: Socio-Economic Aspects, Edited by RAO, Y.S., N.P., Vergara and G.W., Lovelace, FAO Regional Office for Asia and the Pasific, Bangkok, Thailand, pp.3-12.

Viriyasakultorn, V., (1993). Why Community Forestry? Issues in Community Forestry (Unpublished A Lecture), Regional Community Forestry Training Center, Bangkok, Thailand.

Weirsum, K.F., (1984). Developing Strategies for Social Forestry: A Conceptual Approach, East-West Environment and Policy Institute, Resaerch Report No: 14, Honolulu, Hawaii, USA.

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

Alev Yüksel Aydar^{1*}, Ayça Akgün², İsmail Tolga Dengiz³

^{1,2,3} Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Manisa- Türkiye

alevyuksel.aydar@cbu.edu.tr

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Çölyak hastalığı, çevre faktörleri ve genetik faktörlerin etkileşmesi sonucu, bağışıklık sistemine bağlı bağırsak problemiyle ayırt edilen, bağışıklık sistemiyle ilgili bir rahatsızlık olup, glutene duyarlılığı olan kişilerde gluten içerikli gıdaların tüketimi sonucunda ortaya çıkan bir emilim bozukluğudur (Ergin, 2011). Çölyak hastalığı belirtileri genellikle bağırsaklar ve sindirim sisteminde görülür ancak vücudun diğer bölgelerini de etkileyebilir. Çocuklarda ve yetişkinlerde belirtiler değişiklik gösterir. Yetişkinlerde eklem ağrısı ve sertliği, yorgunluk, cilt rahatsızlıkları, ellerde ve ayaklarda uyuşma ve karıncalanma, düzensiz adet dönemleri gibi belirtilerle ortaya çıkabilmekte olup küçük çocuklarda kilo kaybı, kusma, karında şişkinlik, karın ağrısı, kalıcı ishal veya kabızlık, açık renkli, yağlı ve kötü kokulu dışkı gibi birçok farklı belirtilerle de kendini gösterebilmektedir. Çölyak hastası bireylerde kansızlık, demir, folat, B12, E ve K vitamini eksikliği ortaya çıkmakta ve saç dökülmeleri görülmektedir (Yarpuz, 2011). Dünya da eskiye kıyasla çölyak hastalığının teşhisi gün geçtikçe artmaktadır. Toplumda çölyak hastası olan bireylerin beslenmelerine dikkat etmeli ve gluten içeren tahıl ürünlerini tüketmemelidirler. Beslenmemizde en önemli tahıl çeşitleri buğday, çeltik ve mısırdır. Sağlıklı bireyler buğday ve buğday içeren ürünleri tüketebilir fakat çölyak hastalarının besinlerinde yulaf, çavdar, arpa ve buğday ürünleri bulunmamalıdır. Batı Avrupa ve Kuzey Amerika'da yaşayan her üçyüz bireyden birinin çölyak hastası olduğu belirtilmektedir (Hatipoğlu, 2016). Buğdayda depo proteinlerinin %80-85 lik kısmını gluten proteinleri oluşturmaktadır. Buğday proteinlerini albumin, globülin, gliadin ve glutenin olmak üzere 4'e ayırmak mümkündür. Gliadin ve glutenin su ile karıştırıldığında bir araya gluteni meydana getirmektedirler (Türksoy ve Özkaya, 2006).

Gluten unlu mamül ürün çeşitlerinde görünüş ve içi yapıya katkıda bulunmaktadır. Unda kaliteli ve yeterli miktarda gluten olması, kuvvetli, elastik yapıda bir hamur elde edilmesini ürün hacmini gaz tutma yeteneği ile artırmasını, gözeneklerin küçülüp homojen görünüm kazanmasını, yapının iyileşmesini sağlamaktadır (Ergin, 2011). Glutensiz ürünlerde kalite kusurlarının ortadan kaldırılması, gerekli ağ yapının oluşturulması, raf ömrünün geliştirilmesi ve lezzetin artırılması amacıyla, hidrokoloidler, süt ürünleri, gamlar, nişasta ve gluten olmayan diğer proteinler ve bunların kombinasyonlarını içeren hammaddelerle ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaktadır (İşleroğlu ve ark., 2009). Ülkemizde 250.000 ile 750.000 arasında çölyak hastası olduğu tahmin edilmektedir (HSGM, 2015). Hem çölyak hastası olan hem de glutensiz beslenmek isteyen kişilerin tüketebilecekleri unlu mamullerin çeşitliliğini artırtmak için kullanılan hammaddelerin incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, glutensiz ürünlerde kullanılan hammaddelerin araştırılıp, ürün çeşitliliğinin artırılması ve bu hammaddelerin kullanıldığı ürünlerdeki kalite özelliklerini araştırarak derlemektir.

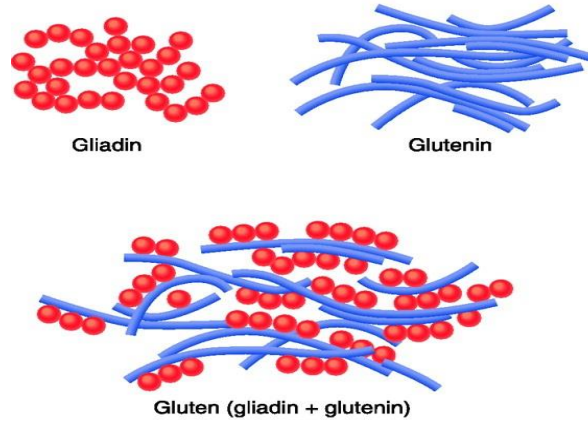
2. GLUTEN PROTEİNİ

Gluten buğdayın içerisinde yer alan bir proteindir. Buğday proteinleri albumin, globülin, gliadin, ve glütenin olmak üzere dörde ayrılabilir. Gliadin ve glütenin su ile karıştırıldığında bir araya gelerek gluteni oluştururlar. Hamurda uzayabilirlik, vizkozite ve akışkanlığı gliadin sağlarken, elastik ve yapışkanlığı glutenin sağlamaktadır (Hayıt, 2018).

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

Gluten yalnızca buğdayda bulunan bir protein çeşidi değildir. Arpa, çavdar, yulaf gibi tahıllarda da eser miktarlarda gluten bulunabilmektedir (Türksoy ve Özkaya, 2006). Buğdayın depo proteinlerinin prolaminler alt sınıfına dahil olan gluten proteinleri toplam depo proteinlerinin %80-85 lik gibi çok büyük bir kısmını meydana oluşturmaktadır. Nişasta granüllerinin etrafında bir matriks oluşturan gluten proteinleri su ve tuzlu suda çözünmezler. Tanede yaklaşık eşit oranlarda bulunan monomerik gliadin ve polimerik glutenin gluten proteinlerinin temel iki fraksiyonunu oluşturmaktadır (Türksoy ve Özkaya, 2006).

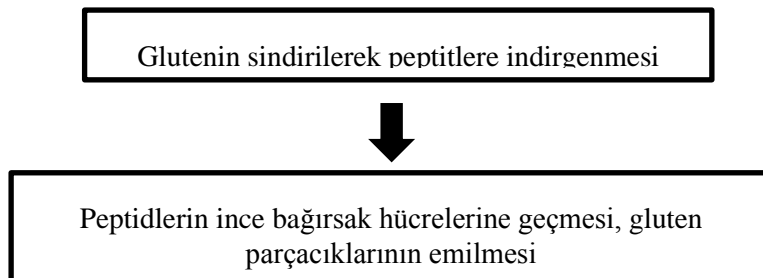
Undan nişastanın ve küçük bileşenlerin yıkanması ile uzaklaştırılabilen ve %65 oranında su içeren gluten, kuru temelde incelendiğinde %75- 86 civarında proteinden meydana gelmektedir. Kalan kısımda protein matriksi içinde karbonhidrat ve lipidler tutulmaktadır. Gluten hamura viskoelastik özellik kazandırmaktadır. Gluten aynı zamanda hamurun fermantasyon sürecinde gaz tutma kapasitesini de arttırmaktadır (Ergin, 2011).Gluten birçok unlu yiyecek çeşitlerinde ürünün iç yapısına ve dış görünüşüne katkı sağlamaktadır. Unun kaliteli ve yeterli miktarda gluten içermesi; güçlü ve esnek yapıda hamur eldesi ve ürünün hacminin iyi gaz tutma kapasitesiyle artışı, homojen ve küçük gözenek görünümü kazanmasını bunların sayesinde iyi yapıda ürün elde edilmektedir. Hidrofobik yan zincirler glutenin yapısındaki aminoasitlerin %35'lik kısmını oluşturmaktadır. Bu sayede gluten proteinlerinin arasındaki hidrofobik ilişkiler çoğalmaktadır. Bu ilişkinin çoğalmasıyla glutenin yapısında stabilizasyon elde edilmekte, hamurun reolojik özelliklerinde ve pişmesinde önemli bir yer almaktadır (Ergin, 2011).



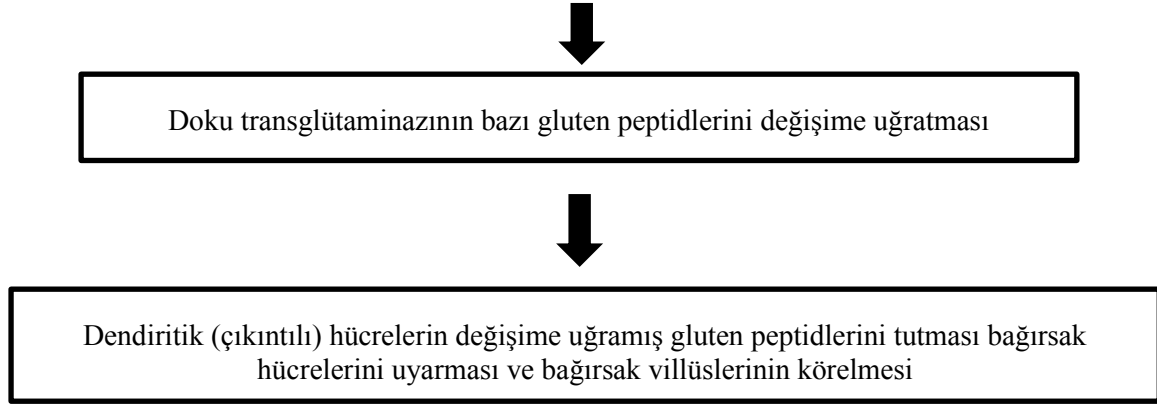
Şekil 1. Glutenin Yapısı

2.1. Çölyak Hastalığı

Çölyak hastalığı buğday proteini olarak da adlandırılan gluten proteinine karşı ince bağırsakta gelişen, yaşam süresince devam eden ve kronikleşen alerji biçimi olarak adlandırılır. Gıdalar ince bağırsakta bileşenlerine ayrıştırılarak bağırsak mukozası üzerinden kana karışmaktadır. Vücudun yeterli gıda alması, ince bağırsakta çok sayıda bulunan villus adı verilen çıkıntılar sayesinde gerçekleşir. Çölyak hastalığında ise glutenli yiyecekler tüketildiğinde bağırsak mukozasındaki alerji sebebiyle villus çıkıntıları ve kıvrımları tahrip olarak azalmakta ve küçülmektedir. Bağırsak yüzölçümü azaldığı için alınan gıdalar emilemez ve beslenme yetersizliği ardından hastalık belirtileri ortaya çıkmaktadır.(REF)



GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER



Şekil 2. Çölyak hastalığının oluşma mekanizması (Ergin, 2011)

Çölyak hastalığının oluşma mekanizması Şekil 2’de özetlenmiştir. Buna göre, glutenin vücuda girmesinin ardından ince bağırsağın mukozasında bulunan ve besinlerin emilimini sağlayan villuslar kısalmakta veya tamamen yok olmaktadır. Villusların yüzeyindeki kripta hücrelerinin ise kalınlaşmasıyla besin emiliminin gerçekleştiği bölge hasara uğrar ve böylece sindirim zorlaşmaktadır (Özer ve Tuncel, 2016).

2.1.1. Tanı şekli ve tedavisi

Her yaşta teşhis edilebilen çölyak hastalığının insan sağlığı üzerinde sebep olduğu önemli değişikliklerden dolayı teşhisi çok taşıyan birçok değişimlere neden olmasından dolayı erken teşhis edilmesi önemlidir. Çölyak hastalığı hayatın herhangi bir döneminde temel belirtilerle ortaya çıkabilirken, bazı vakalarda yıllarca hiçbir belirti göstermeden hafif bir seyirde devam edebilmektedir. Bu vakalarda hastalığın teşhisi oldukça zorlaşmaktadır. Tanı amacıyla ilk olarak kanda antigliadin antikorları (AGA), endomizyum antikorları (EMA) ve transglutaminaz antikorlarının (TGA) varlığı araştırılır. Bu antikorlardan en az birisinin pozitif olması çölyak hastalığı şüphesini doğurur ve hastalığın kesin tanısı için ince bağırsak biyopsisi yapılır (Türksoy ve Özkaya, 2006).

Glutensiz diyet çölyak hastalığının tek tedavisidir. Glutensiz bir diyet programı sayesinde hastaların şikayetleri azalmakta ve tedavide süreci iyileşebilmektedir. Şikayetlerin kaybolma süresi hastalığın ilerleme şekli, glutensiz diyetin sağlıklı ve düzgün bir şekilde uygulanması gibi faktörlere göre değişkenlik gösterebilir. Çölyak hastalarında glutensiz diyetin yanı sıra medikal tedavi olarak anemi olanlara demir verilmesi, D vitamini desteği veya villus atrofisine bağlı olarak sekonder laktoz intoleransı gelişen hastaları için bir süre süt ve ürünlerinin diyetlerinden çıkarılması tavsiye edilmektedir. Glutensiz bir diyetle buğdayı yanı sıra arpa, çavdar ve yulaf unu içeren diğer besin maddelerinin de yenilmemesi gerekmektedir. Gluten, çölyak hastaları için “zehir” olarak kabul edilmekte ve hastalığın tedavisinde gluten içeren tüm gıdaların diyetten çıkarılması çok önemlidir. Toksik olmayıp diğerlerinin yerlerine en sık kullanılan hammaddeler mısır ve pirinç gelmektedir (Urgancı, 2004).

2.2. Glutenin Sebep Olduğu Diğer Rahatsızlıklar

Gluten duyarlılığı olan kişilerde glutenin bağırsağa verdiği harabiyetten dolayı emilim bozukluklarından kaynaklanan rahatsızlıklar ortaya çıkmaktadır. Çölyak hastalığı ve gluten intoleransı gibi bazı glutene bağlı bozuklukların semptomlarının da kadınlarda genel olarak erkeklerden daha fazla görülmesi muhtemeldir. Bu semptomların genel olarak kadınlarda görülmesinin sebepleri arasında kadınlarda daha az kemik dokusu varlığı ve menopoza bağlı değişiklikler nedeniyle daha hızlı kemik kaybetmeleri, otoimmün rahatsızlıkların yaklaşık %75’inin kadınlarda görülmesi, depresyon ve kaygı bozukluklarının erkeklere oranla kadınlar arasında daha yaygın olması vardır.

Kemik sağlığı ile ilişkisinde osteopeni veya osteoporoz riski, kadınlar için erkeklerden daha fazladır; kadınlarda daha az kemik dokusu vardır ve menopoza bağlı değişiklikler nedeniyle daha hızlı

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

kemik kaybederler. Çölyak hastalığında kemik yoğunluğu sıklıkla tehlikeye girer, çünkü bağırsak hasar görmüş hücreler kalsiyum ve kemik sağlığı için gerekli diğer besin maddelerini yeterince ememez.

Anemi ile ilişkisi çocuk doğurma çağındaki kadınlar, menstrüasyon sırasında kan kaybına bağlı olarak demir eksikliği anemisi riski altındadır. Gluten intoleransı olan bireyler ve çölyak hastalarında bağırsakta oluşan harabiyet sonucu normal demiri ememekten kaynaklanır. Kronik yorgunluğun görülme oranı kadınlarda erkeklerden üç kat fazladır. Depresyon ve anksiyete de kadınlarda erkeklere oranla daha sık görülmektedir. Bunlar hem çölyak hastalığının hem de çölyak olmayan gluten intoleransının bir belirtisi olabilir. Otoimmün rahatsızlıklarla olan ilişkisine bakıldığında çölyak hastalığı otoimmün bir durumdur. Bir otoimmün hastalığı olanlarda, bir diğerinin daha gelişmesi riski yüksektir. Otoimmün hastalıkların %75'ine kadınlarda rastlanır. Bu sebeple kadınlara olan etkisi daha yüksektir.

Yapılan bir diğer araştırmada ise çölyak hastalığının doğurganlığa etkisi gözlenmiştir. Araştırma, tedavi edilmemiş çölyak hastalığı ile doğurganlığın azalması arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir (GIG, 2016).

2.3. Glutensiz Ürünlerde Kullanılan Hammaddeler

2.3.1. Pirinç

Pirinç, dünyadaki en önemli tahıllardan biridir. Yüksek nişasta seviyesine sahiptir ve gluten içermez. Genellikle İnsanlar pirinci direkt tüketir. Çoğu zamanda farklı ürün çeşitlerinde kullanılmak için un veya irmik haline getirilir. Beyaz renklidirler ve yağ içeriği bakımından düşük oldukları için iyi depolanma özelliklerine sahiptirler (Mert, 2014). Pirinç unu kabuksuz, renksiz ve yavan bir tada sahip bir hammaddedir. Pirinç, yüksek lizin içeriğine sahip olduğu için yetersiz lizin ve triptofan içeren buğday proteinine göre daha dengeli bir aminoasit profiline sahiptir. Pirinç unu %80.1 g karbonhidrat, %5.9 g protein, %2.4 g besinsel lif, %1.4 g yağ, %0.6 g kül ve bunlar dışında kalsiyum, demir, magnezyum, fosfor, potasyum, vitamin E, tiamin, niasin, piridoksin folat ve pantotenik asit gibi mineral ve minör bileşenlerden oluşmaktadır (Yarpuz, 2011).

İnsanlar unlu mamuller için pirinç unu kullanmaya başlamaktadır. Bunun sebebi buğday tüketemeyenler için iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Pirincin kolay sindirilebilir karbonhidratların yüksek olması, düşük sodyum miktarı ve alerjik olmaması, pirinci gluten intoleransı olan insanlar için iyi bir seçim haline getirmektedir. Ekmek, kek, erişte, kraker gibi dünya çapında sayısız ürün pirinç unu kullanılarak veya kestane, karabuğday ve diğer un türleriyle karıştırılarak yapılabilmektedir (Mert, 2014).

Gluten içermeyen ekmek üretimi için yapılan bir çalışmada %30 kestane unu, %70 pirinç unu kullanılmış, üretilen ekmeğin kaliteli ve beğenilebilir olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada ksantan gam ilavesi ve emülgatör ilavesi ile tekstürü iyileştirme yapılmıştır (Demirkesen ve ark., 2010).

Pirinç unu, mısır nişastası ve hurma unu kullanılarak glutensiz bisküvi üretimi yapılan bir çalışmada farklı oranlarda hurma unu ilavesi yapılmıştır. Hurma unu ilavesi ile besin değeri açısından zenginleştirildiği bildirilmiştir. En iyi sonucun %20 hurma unu içeren bisküvilerde olduğu belirlenmiştir (De Simas ve ark., 2009). Glutensiz ekmekte ekmeğin fiziksel, duyuşal, besinsel kalitesini artırtmak amacıyla yapılan bir çalışmada ürün formülasyonuna protein ve yağ içeren pirinç kepeği ve diyet lif ilavesi yapılmıştır. Ekmek hamuruna kabul edilebilir tekstürel ve duyuşal yapıyı kazandırabilmek için %2 yumurta akı ve %3 hidroksipropil metil selüloz ilavesi yapılmıştır. İyi ekmek rengi, yüksek hacim, yumuşak ekmek içi ve iyi bir gözenek yapısı elde edildiği bildirilmiştir (Özer ve Tuncel, 2016).

2.3.2. Mısır

Türkiye'de buğday ve arpadan sonra en geniş ekim alanına sahi mısır, hem insan beslenmesinde hem de hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde en temel gıda maddesi olan ekmek yapımında en çok buğday kullanılırken, bazı bölgelerimizde ise mısır da ekmek yapımında

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

sıklıkla tüketilmektedir (Şahin, 2001). Glutensiz makarna üretimi için kahverengi pirinç unu ve mısır unu kullanılan bir çalışmada %60 pirinç unu, %40 mısır unu ile duyusal açıdan en beğenilen makarnalar üretilmiştir. Bu makarnaların lif ve yağ içeriği açısından zengin olduğu bildirilmiştir (Silva ve ark., 2016). Mısır ve pirinç unu kullanılarak tarhana üretimi yapılan bir diğer çalışmada ise bazı duyusal özellikler açısından mısır ve pirinç unu kullanımının kabul edilebilir çorba özelliklerine sahip olduğunu bildirmişlerdir (Durmuş, 2015). Glutensiz muz ekmeği üretilen bir çalışmada farklı varyasyonda mısır unu ve pirinç unu ile muz ekmeği hazırlanmıştır. %25 mısır unu ve %75 pirinç unu, %50 mısır unu ve %50 pirinç unu ve %75 mısır unu ve %25 pirinç unu. Bu çalışmada %75 mısır %25 pirinç unu ile üretilen ekmeğin duyusal açıdan en beğenilen olduğu bildirilmiştir (Tiwari ve Shukla, 2015). Gambus ve arkadaşları bisküvi üretimi üzerine yaptıkları çalışmada mısır unu kullanmışlardır. Mısır ununun karabuğday ve amarant unu ile karşılaştırıldığında daha düşük sertlikte olduğu belirlenmiştir. Mısır unu, karabuğday unu ve amarant unu ile birlikte kullanıldığında sertliğin arttığı bildirilmiştir (Gambus ve ark., 2009).

2.3.3. Psyllium

Psyllium, dünyanın ılıman bölgelerinde yaygın olarak dağılmış 200 türün bulunduğu *Plantago* cinsinin bitkilerinin tohumlarında bulunur. Psyllium aynı zamanda, tohumun şeklini açıklayan Hindistan'da "at kulak" anlamına gelen *Isabgol* olarak da adlandırılır. Hindistanda her yıl yaklaşık 39.000 ton psyllium tohumu üretiliyor ve %85 oranında dünya pazarına hükmediyor. Psyllium kabuğu, psyllium tohumundan ayrılan ana üründür ve tohumun geri kalanı genellikle hayvan yemi olarak kullanılmaktadır (Guo ve ark., 2009). Psyllium, dünyanın birçok bölgesinde yetişen ve geleneksel olarak insanlar tarafından yerel iyileştirme amaçlı kullanılan yıllık bir bitkidir. Biyobozunabilirlik, kolay kullanılabilirlik, sindirilebilirlik gibi psilyumun kendine özgü özellikleri, özellikle biyomedikal ve çevresel alanlarda bir dizi alanda kullanılmasını sağlamıştır (Mishra ve ark., 2002). Psyllium kabuğu geleneksel Hint tıbbi sisteminde cilt tahrişleri, hemoroidler, kabızlık ve ishalin önlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Jel oluşturma yapısından dolayı yüksek su tutma kapasitesine sahiptir. Tohum kabuğu yaklaşık %78 çözünür lif ve %13 çözünmeyen lif içerir (Cheng ve ark., 2008).

Zandonadi ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları bir çalışmada ekmeğin hamurunda glutenin sağladığı yapının yerini psyllium ile sağlanmasını araştırmışlardır. Psyllium ile üretilen ekmekte çölyak hastaları ve hasta olmayan bireyler tarafından denendiğinde %93 oranında beğenilmiştir. Duyusal analizlerde yapılan skalada standart beyaz ekmeğe 7 üzerinden verilen değer ortalama 4.5 iken psyllium ile üretilmiş ekmeğin değeri ortalama 6.5 gibi yüksek bir değer olmuştur. Psyllium ile üretilmiş glutensiz ekmeğin tüm niteliklerinin yüksek düzeyde kabul edilebilir olduğunu bildirmişlerdir (Zandonadi ve ark., 2009).

Psyllium ile mısır nişastası, amarant unu ve bezelye ununun birlikte kullanıldığı bir çalışmada glutensiz ekmeğin hamurları üretilip bunların özellikleri incelenmiştir. Psyllium lifinin hamurların fiziksel özelliklerini geliştirdiği ve film yapısına sahip olması nedeniyle iyi kalitede ekmekler üretildiği gözlemlenmiştir. Psyllium ile üretilen ekmeklerin piyasadaki ticari glutensiz ekmeğin karışımlarından çok daha yüksek besleyici değere sahip olduğu bildirilmiştir (Mariotti ve ark., 2009).

2.3.4. Nohut

Birçok dünya ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de en iyi bitkisel protein kaynağı olan baklagillerin diyetinde önemli bir yeri vardır. Baklagillerden özellikle nohutun, ülkemizde et kaynaklı proteinlere göre daha ucuz olması ve depolamadaki kolaylıklarından dolayı, nohutun tüketimini artırmaktadır. Fabaceae familyasından olan nohut, 100 gramının bileşimi yaklaşık olarak; 38.1-73.3 g karbonhidrat, 16.4-31.2 g protein, 1.6- 9.0 g selüloz, 1.5-6.8 g yağ ve 2.1-11.4 g külden oluşmaktadır (Demir, 2008).. Ortalama %17 protein ve %42-45 oranında nişasta içeren nohut unu önemli bir protein kaynağı olarak kabul edildiğinden dolayı ekmeğin ve tortilla gibi yüksek karbonhidratlı gıdaların zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır (Ulukut, 2010).

Glutensiz ekmeğe nohut mayası ekleyerek etkisinin araştırıldığı bir çalışmada formülasyonlara %15, %30 ve %45 oranlarında nohut mayası sıvısı eklenerek nohut mayası katkılı ekmekler üretilmiştir. Duyusal testler sonucu gene olarak değerlendirildiğinde ekmeklerde en iyi

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

sonucu %30 nohut mayası sıvısı ilavesinde elde edilmiştir. Ayrıca nohut mayası eklemek kısmen bayatlama geciktirici ve lezzet geliştirici etki göstermiştir (Şahin ve ark., 2018).

Glutensiz bisküvi, erişte ve pide üretimi üzerine yapılan bir çalışmada nohut unu pirinç unu, mısır unu, patates unu, mısır ve patates nişastası farklı oranlarda kullanılmıştır. Üretilen ürünlerin fiziksel, kimyasal, duyuşal ve tekstürel özellikleri tespit edilmiştir. Bisküvi üretiminde %35 pirinç unu, %35 mısır nişastası, %10 patates unu, %10 nohut unu ve %10 patates nişastası içeren örnek duyuşal olarak en çok beğenilen ve kabul gören örnek olmuştur (Ergin, 2011).

Glutensiz ekmek üretimi yapılan bir diğere çalışmada nohut unu ilavesinin pirinç bazlı glutensiz ekmeklerin kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Glutensiz ekmek formülasyonlarında yapılan analizler sonucunda nohut unu miktarının artması ekmekte özgül hacim ve pişme kaybını azaltmıştır. Aynı zamanda nohut unu miktarındaki artış depolama süresini ve sertlik değerlerini de arttırmıştır. Duyusal analizler sonucunda %40 nohut unlu ekmek örneği en beğenilen örnek olmuştur (Barışık ve Tavman, 2018).

2.3.5. Patates

Patates dünya üretiminde buğday, pirinç ve mısırdan sonra en çok üretilen 4. ürün olarak yer almaktadır. Patates, protein ve diyet lifi bakımından zengindir, pek çok mineral, iz elementler ve hayati öneme sahip vitaminler içerir. Yağ açısından bakıldığında ise çok az ya da önemsenmeyecek kadar düşük düzeyde yağ içeriğine sahiptir. Patates %75.5 su, %19.4 karbonhidrat, %2 protein, %1 kül ve %0.1 yağ içerir. (Hatipoğlu, 2016). Uzun raf ömrüne sahip olan bir gıda ürünü olan patatesin gelişmiş ülkelerde ortalama günlük enerjisinin 130 kcal, gelişmekte olan ülkelerde ise 41 kcal'ını karşıladığı belirtilmiştir. Karbonhidratlar günlük diyetle kalorisinin %40-75'ini sağlamaktadır bu sebeple insan beslenmesinde temel enerji kaynağıdır (Nazlım ve Tuncel, 2018). Patates, karbonhidratca zengin olmasının yanı sıra protein bakımından da diğere tahıllarla kıyaslandığında lizin proteinince zengindir. Patates unu soyulmuş bütün patatesin tüm özelliklerini kapsamaktadır. Patates unu fırıncılık ürünlerinde önemli bir hamur geliştiricisi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Patates unu su kaldırma kapasitesini önemli düzeyde etkilemektedir. Patates unu katkısının nem kaybı açısından bayatlamayı oda koşullarında iki gün, buzdolabı koşullarında üç gün geciktirdiği bulunmuştur (Hatipoğlu, 2016).

Patates, nişastaca çok zengin olmasının yanında tekstürün iyileştirilmesi, kıvam artırılması gibi birçok amaçla tercih edilmektedir. Tekstür geliştirmede yüksek viskozite sağlayan patates nişastası, hamurun iyi kabarmasını sağlamaktadır. Patates nişastası yüksek oranda su ve yağ bağlama gücüne, düşük oranda jelatinizasyon sıcaklığına sahip olması ve iyi bir jel oluşturma potansiyelinden dolayı emülsifiye ürünlerde, tüketime hazır toz ürünlerde ve ekstrüde ürünlerde sık sık kullanılmaktadır (Nazlım ve Tuncel, 2018).

Glutensiz pide üretimi yapılan bir çalışmada nohut unu pirinç unu, mısır unu, patates unu, mısır ve patates nişastası farklı oranlarda kullanılmıştır. Üretilen ürünlerin fiziksel, kimyasal, duyuşal ve tekstürel özellikleri tespit edilmiştir. Üretilen pide örneklerinde patates unu kül oranını düşürürken patates unu kullanımı kül oranını arttırmıştır. Nohut unu ve yumurta kullanılan örneklerde yağ ve protein içeriği daha yüksek bulunmuştur. Yumurtanın nohut ve mısır unuyla birlikte kullanıldığı örneklerde en yüksek hacim değeri tespit edilmiştir. Duyusal analizler sonucu %40 pirinç unu, %40 mısır nişastası ve %20 patates unu içeren yumurtasız ve yumurtalı örnekler en çok beğenilen ve kabul gören örnekler olmuştur (Ergin, 2011).

Glutensiz ekmek yapımı üzerine bi çalışmada patates unu ve gam ilavesinin ekmek üzerindeki kalite etkisi araştırılmıştır. Patates unu, pirinç unu, nohut unu, mısır nişastası farklı oranlarda kullanılarak formülasyonlar geliştirilmiş bunlarla ekmek üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada %0-30 oranında patates unu, %1-3 oranında guar gamı kullanılmıştır. Bu çalışmada patates ununun glutensiz ekmeklerde bayatlama süresini uzattığı gözlemlenmiştir. Duyusal analizlerde glutensiz ekmek formülasyonlarının genel kabul edilebilirliği yüksek bulunmuş, patates ununun %2-3 oranında guar gam ilavesiyle kullanımının lezzet ve genel beğeni açısından daha uygun olduğu görülmüştür (Hatipoğlu, 2016). Gambus ve arkadaşları glutensiz bisküvi üretimi yaptıkları bir çalışmada patates nişastası ve mısır unu kullanarak bisküvi üretmişlerdir. Patates nişastası kullanılarak üretilen

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

bisküviler panelistler tarafından mısır unu içeren örneklere göre daha çok beğenilmiştir (Gambus ve ark., 2009).

2.3.6. Lüpen

Lüpen (*Lupinus albus* L.) Türkiye’de çeşitli isimlerle anılmaktadır. Bunlar delice bakla, gavur baklası ve termiye gibi isimlerdir. Besin içeriği bakımından protein, vitamin, mineraller ve lif açısından oldukça zengin bir baklagildir. Gluten içermeyen ve yüksek besinsel değere sahip olan lipen son yıllarda glutensiz ürünler için alternatif bir hammadde haline gelmiştir. Lüpenin kimyasal bileşimi üzerine yapılan araştırmalar sonucunda %30-35 oranları ile protein içerdiği görülmüştür. Bunun yanında %5-10 oranında yağ, %16.2 lif ve %5.8 şeker içerdiği bildirilmiştir. Yüksek su ve yağ tutma kapasitesi lüpeni hububat ürünleri için önemli bir hammadde yapmaktadır (Yarpuz, 2011). Lüpen, yüksek oranda protein içermesi, yağ, diyet lif, mineral madde ve vitaminler açısından zengin olması sebebiyle çok iyi bir kaynaktır. Yaygın tüketimi olan baklagillerde bulunan proteinlerin yaklaşık iki katı miktarda protein içermektedir. Lüpen dengeli bir esansiyel aminoasit kaynağıdır. Diyet lifi lüpende diğer birçok baklagilden daha yüksek seviyede bulunmakta ve tane ağırlığının %40’ını oluşturmaktadır (Beğen, 2012).

Lüpen birçok ürün için hammadde olarak kullanılabilir. Bunlara örnek olarak ekmekek, bisküvi, kek, makarna verilebilir. (Yarpuz, 2011). Ülkemizde yapılan bir çalışmada Antalya Gazipaşa’da yetiştirilen lüpenin (*Lupinus albus* L.) kimyasal bileşimi, %32.2 protein, %16.2 lif, %5.95 yağ ve %5.82 şeker olarak belirlenmiştir. Tane yağının %13.5 ‘i doymuş, %55.4’ü tekli doymamış, %31.1 ‘i ise çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşmaktadır. Tane toplam şekerinin %71’i süktrozdur. Lüpen taneleri 3.9 mg/kg tiyamin, 2.3 mg/kg riboflavin ve 39 mg/kg niasin içermektedir (Beğen, 2012). Glutensiz bisküvi üretimi yapılan bir çalışmada formülasyonlara farklı miktarlarda karabuğday ve lüpen unları ile farklı emülgatör kullanımının bisküvinin bazı duyuşsal özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Duyusal analizler sonucunda genel kabul edilebilirlik olarak %10 Karabuğday veya %15-20 lüpen unu ilavesinin yüksek puanlar aldığı gözlemlenmiştir. Karabuğday ununun %10 üzerine çıkması duyuşsal puanları düşürmüştür (Yıldız, 2012).

Lif oranı yüksek bisküvi üretimi için yapılan bir çalışmada lüpen kepeği kullanılmıştır. Çıkan sonuçlarda buğday ununa göre diyet lifi ve mineraller açısından ürünün daha da zenginleştiği rapor edilmiştir (Beğen, 2012).

2.3.7. Kinoa

Anavatanı Güney Amerika’nın And Dağları olan kinoa, Arjantin, Şili, Bolivya, Peru, Ekvador ve Kolombiya gibi birçok ülkede yetiştirilmektedir. Amerika kıtasından sonra Avrupa ve Asya kıtalarında da yetiştirilmeye başlanan ve genetik çeşitliliği fazla olan kinoa, gıdalarda yüksek adaptasyon kabiliyetine sahiptir. Birleşmiş Milletler Tarım Örgütü (FAO) tarafından 2013 ‘‘Uluslararası Kinoa Yılı’’ olarak ilan edilmiş olup ülkemizde de son yıllarda tanınmaya başlayan bir hammaddedir. Kinoanın bileşimi genel olarak yaklaşık %10-18 protein, %4.50-8.75 yağ, %54.1-64.2 karbonhidrat, %2.40-3.65 kul ve %2.1-4.9 lifden oluşmaktadır. E vitamini, B vitaminleri, lizin ve esansiyel yağ asitlerince zengin olan kinoadan elde edilen ürünlerin besin değeri de yüksektir. Bileşiminde bulunan acılık veren saponinler ve gluten içermemesi fırıncılık ürünlerinde kullanımını kısıtlamaktadır. Saponinlerden uzaklaştırıldıktan sonra, ekmekek, kek, bisküvi gibi fırın ürünlerinin besin ve tekstür özelliklerini iyileştirmek amacıyla buğday ununa belli oranlarda eklenebilmektedir. Ayrıca çölyak hastaları için ekmekek yapımında nişasta kaynağı olarak da kullanılabilir (Keskin ve Evlice, 2015).

Kinoa, amaranth ve pirinç unu kullanılarak yüksek kaliteli glutensiz makarna yapımının amaçlandığı bir çalışmada üretilen makarnalar zaten ticarileştirilmiş glutensiz makarnalar ile karşılaştırılmıştır. %40 kinoa unu, %10 amaranth unu ve %50 pirinç unu kullanılmıştır. Yapılan analizle sonucunda tüketicilerin %80’i tekrar bu makarnayı yiyebileceklerini, domates sosu ile hazırlanmış iki makarnada (kinoa unu ile hazırlanan ve diğer ticari glutensiz makarna) bir fark görmediklerini bildirmişlerdir (Makdoud ve Rosentrater, 2017).

Kinoa unu ile glutensiz ekmekek üretimi üzerine bir çalışmada, %100 , %72 , %36 oranlarında kinoa unu ile ekmekek üretilmiştir. Piyasada glutensiz ekmekeklerin çoğu besin değeri açısından kinoadan

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

daha zayıf olan pirinç unu ile üretildiğinden kinoa unu ile besleyiciliği yüksek glutensiz ekmek üretimi hedeflenmiştir. %100 kinoa unu ile üretilen ekmeklerin su aktivitesinin ve hacminin az olduğu gözlemlenmiştir. Duyusal analizler sonucunda %100 kinoa unu ile üretilen ekmeğin genel beğenilirliği düşük bulunurken %36 ve %72 oranların kabul edilebilir seviyede olduğu bildirilmiştir (Chase, 2014).

2.3.8. Karabuğday

Ülkemizde tarımı yapılmayan karabuğday, dünyanın birçok ülkesinde yetiştirilmektedir (Acar ve ark., 2011). Karabuğday Polygonaceae familyasından bir bitkidir. Tahıllarla hem benzer hem de farklı özellikler taşımaktadır. Bu sebeple tahıl benzeri olarak isimlendirilmektedir. Karabuğdayın tahıllardan ayrılmasındaki en temel yapısal farklılık çift çenekli bir bitki olmasıdır (Hayıt ve Gül, 2015). Yüksek rakımlarda kısa sürede gelişmeye uyum sağlayabilme özelliği de karabuğdayı diğer tahıllardan ayırmaktadır (Kan, 2011). Karabuğday içeriğinde yüksek miktarda protein, diyet lifi, vitamin, mineral madde, temel çoklu doymamış yağ asitleri, antioksidanlar barındıran, yüksek kalitede önemli bir gıda hammaddesidir. Fonksiyonel gıda sanayii için çok önemli bir potansiyele sahiptir (Acar ve ark., 2011).

Karabuğday proteinleri en yüksek biyolojik değere sahip kaynaklar arasındadır (Yıldız, 2012). Karabuğdayın nişasta ve lif içeriği tahıllar ile neredeyse aynı miktarlardadır. Yüksek miktarda linoleik asit gibi temel çoklu doymamış yağ asitlerini içerir (Bilgiçli, 2008).

Genel karabuğday tanelerinin kimyasal kompozisyonuna bakıldığında içeriklerin nişasta, protein, lif ve nem açısından yüksek olduğu görülmüştür. %55-75 nişasta, %10-12 protein, %9.6-13.8 nem, %7.0-10.7 lif içermektedir (Dizlek ve ark., 2009). Karabuğday gıda sanayinde büyük potansiyele sahip fonksiyonel bir gıda maddesi olmasıyla beraber gluten içermeyen bir üründür (Bilgiçli, 2008). Çölyak hastaları glutenin bağırsaklarına verdiği zarardan dolayı gluteni beslenmelerinde çıkarmak zorundadır (Torbica ve ark., 2010). Karabuğday çölyak hastaları ve glutensiz beslenmeyi günlük diyetlerine sokmuş insanlar için üretilen gıdaların besin içeriğinin zenginleştirilmesinde önemli rol almaktadır (Mariotti ve ark., 2013).

Glutensiz erişte yapımında %20 oranında kullanılan karabuğday unu ile yapılan örneklerin duyusal olarak beğenildiği; tam karabuğday ununun, kül içeriğini artırdığı gözlemlenmiş bu sebeple ürünlerde mineral madde içeriği yönünden zenginleştirmek amacıyla kullanılabilirliği bildirilmiştir. Erişte örneklerinde renk değeri dışında duyusal özellikleri bakımından beğenildiği bildirilmiştir (Bilgiçli, 2008).

Karabuğday unu kullanılarak ekmek üretimi yapılan bir çalışmada formülasyona %10,20,30,40,50 oranlarında karabuğday eklenmiştir. Karabuğday ununun oranının artmasıyla ekmek içi gözenek yapısının geliştiği gözlemlenmiştir (Fujarczuk ve Zmijewski, 2009). Glutensiz bisküvi üretiminde karabuğdayın kullanıldığı bir çalışmada formülasyona %10 karabuğday eklenmiştir. Glutensiz bu bisküvilerin yapılan duyusal analizler sonucunda kuru ve kumsu bir tat verdiği bildirilmiştir (Schober ve ark., 2003). Karabuğday ile kek üretimi yapılan bir çalışmada tatar karabuğdayı ve yaygın karabuğday unları beraber kullanılmıştır. Kekler buharda pişirilip kaliteleri karşılaştırılmıştır. Tatar karabuğdayı ile yapılan kekin renk değerleri en yüksek ve yumuşaklık, tat, nem gibi değerlerinde tatar karabuğdayıyla yapılan kekten en iyi olduğu bildirilmiştir (Cho ve ark., 2007).

2.3.9. Soya

Soya, diğer hububat ve baklagillerle kıyaslandığında yüksek oranda (%38-40) protein içermektedir (Anaç ve Ertürk, 2003). Bu nedenle protein ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yer almaktadır. %18-20 civarında yağ oranı ile de baklagiller arasında önemli yere sahip yağlı bir tohumdur. Son zamanlarda, soya fonksiyonel gıda olarak önem kazanmıştır. Soya yüksek kalite protein, diyet lifi ve izoflavonlar içeriği, kolesterol ve doymuş yağ içermeyişi gibi sebeplerden dolayı tercih nedeni olmuştur (Nilüfer ve Boyacıoğlu, 2007). Soya unu; bisküvinin yayılması, gevrekliği ve sertliği, hamur yapısı ve elastikiyeti ile istenmeyen esmerleşme reaksiyonları üzerine en az etki etmesi nedeniyle daha fazla kullanılmaktadır (Alp, 2006).

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

Soya ortalama olarak %40 protein içeriğiyle günlük protein ihtiyacının önemli kısmını karşılamaktadır. Soya unu yaklaşık %50 protein içeriğiyle buğday ununa kıyasla daha yüksek biyolojik değere sahiptir (Ercan, 1987). Bisküvi üretimi üzerine yapılan bir çalışmada pirinç unu, soya unu, mısır ve patates nişastası karışımlarıyla bisküvi üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu bisküvilerin beğenildiği ancak soya unu miktarı arttıkça beğenirlik değerinin azaldığı bildirilmiştir (Schober ve ark., 2003).

Gallagher ve arkadaşları glutensiz ekmek üretimi üzerine yaptıkları çalışmada %17.2 pirinç unu, %74.2 mısır nişastası, %8.6 manyok nişastası kullanmışlardır. Bu ekmeklerin hacmi düşük bulunmuştur. Formülasyona %0.5 soya unu ilavesiyle hacimde artık gerçekleşmiştir (Gallagher ve ark., 2004). Mısır, pirinç, soya, darı, karabuğday ve patates nişastalarının farklı miktarda yağ katkılarıyla kombinasyonlanması sonucu üretilen bisküvi formülasyonlarının kullanıldığı bir çalışmada soya, patates, mısır ve pirinçin yüksek oranda yağ içeren süt ve krema tozları ile birlikte kullanılması sonucunda kolay şekil alabilen bisküvi hamuru oluşturduğu gözlemlenmiştir (İşleroğlu ve ark., 2009). Yağlı ve yağsız soya unu ilavesi ile bisküvi üretimi yapılan bir çalışmada %2, 4, 6 ve 10 oranlarında yağlı ve yağsız soya unu kullanılmıştır. Yağlı soya unu katkısı arttıkça bisküvilerde acılaşıma görüldüğü bildirilmiştir. %10 yağlı ve yağsız soya unu katkısında duyuşal özellikler üzerine olumsuz özellikler gözlenmiş, %2 yağlı-yağsız ve %4 yağsız soya unu ilavesiyle en iyi duyuşal sonuçların alındığı belirtilmiştir (Gürsu ve ark., 1997).

2.3.10. Teff Unu

Teff, Etiyopya ve Eritre'deki (Afrika) yerli ve önemli bir gıda ürünüdür. Teff, diğer birçok tahıllara göre doğal olarak daha yüksek bir besin değerine sahiptir. Doğal olarak glutensiz, teff tanesi buğday unu ve diğer tahılların yerini alabilir. Teff tane boyutunun oldukça küçük olduğu bilinmektedir ortalama uzunluğu 0.61-1.17 mm arasındadır ve besinsel değerleri nedeniyle üstün bir tane olarak kabul edilir. İçerik açısından oldukça zengindir. Karbonhidrat, lif, buğday, arpa ve diğer tahıl tanelerinden daha fazla demir, kalsiyum ve çinko içerir. Teff, esansiyel amino asitlerin mükemmel dengesine sahiptir ve iyi bir kalsiyum ve demir kaynağıdır.

Bütün tahıl unu içine öğütülmüş olabilir mayalı düz kraker çubukları için hammadde olarak kullanılmaktadır. Enjektör olarak, çorba ve soslara koyulaştırıcı olarak eklenebilmektedir. Bira ve etnik içecek yapmak için fermente edilmiş veya yapılmış yulaf lapası ve pudingler içine eklenebilir (Nascimento ve Augusta, 2018). Teff unu ile glutensiz şekerli ve yerfıstığı ezmesi kurabiyelerin üretildiği bir çalışmada kurabiyelerin fiziksel, dokusal ve duyuşal özellikleri incelenmiştir. Panelistler şeker kurabiyesi yerine kontrol ve %25 teff kurabiyesini tercih ettiklerini bildirmişlerdir. Fıstık ezmesi kurabiyeleri durumunda böyle bir tercih gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, teff ununun iyi bir alternatif olabileceğini ve glutensiz çerezlerin tadını ve lezzetini artırabileceğini göstermektedir (Nascimento ve Augusta, 2018).

Teff unu ile ekmek üretimi yapılan bir çalışmada %5,10 ve %20 oranlarında teff unu kullanılmıştır. Teff ile birlikte karabuğday ve pirinç unları ve ekşi maya hamur da kullanılmıştır. Yapılan duyuşal analizler sonucunda %20 teff unu içeren ekmekler görsel açıdan beğenilirken, %10 teff, pirinç unu ve ekşi maya içeren ekmeklerin tadı en beğenilen olduğu bildirilmiştir (Campo ve ark., 2016).

2.4. Diğer Glutensiz Hammaddeler İle Bazı Çalışmalar

Yeşil muz ve kabuğundan un üretilerek, glutensiz kek üretimi yapılan bir çalışmada muz ve muz kabuğu unları farklı oranlarda karıştırılmıştır. En iyi sonucu %20-40 yeşil muz unu ve %5-10 yeşil muz kabuğu unu hazırlanan kekte elde edildiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada muz kabuğu unu dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulup öğütme yoluyla elde edildiğinden besin öğeleri ve muz aromasının korunması sağlanmıştır (Türker ve ark., 2017).

Badem iğde ve dut unu kullanılarak kurabiye üretimi yapılan bir çalışmada iğde unuyla ve dut unuyla yapılan kurabiyenin çölyak hastaları tarafından çölyak olmayanlara göre daha çok beğenildiği bildirilmiştir (Durlu-Özkaya ve ark., 2015).

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

Gölevez yumrusundan elde edilen unun glutensiz ekmek üretiminde kullanılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Formülasyonlarında %0, %3.5, %6.30, %12.5, %18.7 ve %25.0 oranlarında kullanılan gölevez unlarına karşılık, glutensiz ekmek için nişastalı karışım kullanılmıştır. Üretilen ekmeklere uygulanan kapsamlı analizler sonucunda gölevez unu katkısının ekmeklerin besinsel ve fonksiyonel özelliklerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir (Arıcı ve ark., 2016).

Tablo.1. Glutensiz ürün üretiminde kullanılan hammaddelerin kalite etkileri

Formülasyon	Temel Sonuçlar	Referanslar
%30 kestane unu, %70 pirinç unu, ksantam gam ve emülgatör ilavesiyle üretilen glutensiz ekmek	Kaliteli ve beğenilir olduğu bildirilmiş ve tekstürde iyileştirme sağlanmıştır.	De Simas ve ark., 2009
%60 pirinç unu, %40 mısır unu ilavesiyle üretilen glutensiz makarna	Lif ve yağ içeriği bakımından ürünün değerlerinin yükselmesi sağlanmıştır.	Silva ve ark., 2016
%40 nohut unlu, pirinç bazlı glutensiz ekmek üretimi	Depolama süresi ve sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir.	Barışık ve Tavman., 2018
Lüpen kepeği kullanılarak yüksek lifli bisküvi üretimi	Son üründe Diyet lifi, Ca ve Mg gibi mineraller açısından ürünü daha da zenginleştirdiği bildirilmiştir.	Beğen, 2012
%36, 72, 100 kinoa unu ile üretilen glutensiz ekmek	Duyusal analizler sonucunda %100 kinoa unu ile üretilen ekmeğin genel beğenilirliği düşük bulunurken %36 ve %72 oranların kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür.	Chase, 2014
%20 oranında kullanılan karabuğday unuyla yapılan glutensiz erişte	Erişte örneklerinde renk değeri dışında duyusal özellikleri bakımından beğenildiği bildirilmiştir.	Bilgiçli, 2008
%17.2 pirinç unu, %74.2 mısır nişastası, %8.6 manyok nişastası ve %0.5 soya unu ilavesiyle üretilen glutensiz ekmek	Son üründe hacimde artış gerçekleşmiştir.	Gallagher ve ark., 2004
%25 teff unu ve yerfıstığı ezmesi ilavesiyle glutensiz kurabiye üretimi	Çıkan sonuçlara göre teff ununun iyi bir alternatif olabileceğini ve glutensiz çerezlerin tadını ve lezzetini artırabileceğini göstermektedir.	Nascimento ve Augusta, 2018
Pirinç unu, mısır nişastası ve hurma unu kullanılarak bisküvi üretimi	Besin değeri açısından zengin bisküviler üretilmiştir. Duyusal olarak en beğenilen %20 hurma unu içeren bisküviler olmuştur.	De Simas ve ark., 2009
Pirinç kepeği ilavesi ile glutensiz ekmek üretimi	İyi ekmek rengi, yüksek hacim, yumuşak ekmek içi ve iyi bir gözenek yapısı elde edildiği bildirilmiştir.	Özer ve Tuncel, 2016
Mısır ve pirinç unu kullanılarak tarhana üretimi	Kabul edilebilir özelliklere sahip çorba elde edilmiştir.	Durmuş, 2015
%25 mısır unu ve %75 pirinç unu, %50 mısır unu ve %50 pirinç unu ve %75 mısır unu ve %25 pirinç unu ile muz ekmeği üretimi	%75 mısır %25 pirinç unu ile üretilen ekmeğin duyusal açıdan en beğenilen olduğu bildirilmiştir.	Tiwari ve Shukla, 2015
Mısır ununun karabuğday ve amarant unu ile bisküvi üretimi	Yüksek sertlikte bisküviler elde edilmiştir.	Gambus ve ark., 2009
.Psyllium ile ekmek üretimi	Duyusal skalada genel beğenilirlik 7 üzerinden 6.5 olmuştur.	Zandonadi ve ark., 2009

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

Psyllium, mısır nişastası, amaranth unu ve bezelye unu ile ekmek üretimi	Ticari glutensiz ekmek karışımlarından çok daha yüksek besleyici değere sahip olduğu bildirilmiştir.	Mariotti ve ark., 2009
%35 pirinç unu, % 35 mısır nişastası, %10 patates unu, %10 nohut unu ve %10 patates nişastası kullanılarak bisküvi üretimi	Duyusal açıdan genel beğenilirliği yüksek bisküviler elde edilmiştir.	Ergin, 2011
Patates nişastası ve mısır unu kullanarak bisküvi üretimi	Patates nişastası kullanılarak üretilen bisküviler panelistler tarafından mısır unu içeren örneklerle göre daha çok beğenilmiştir.	Gambus ve ark., 2009
%40 kinoa unu, %10 amaranth unu ve %50 pirinç unu ile makarna üretimi	Yapılan analizle sonucunda tüketicilerin %80' i tekrar bu makarnayı yiyebileceklerini bildirmişlerdir.	Makdoud ve Rosentrater, 2017
%10, 20, 30, 40, 50 oranlarında karabuğday ile ekmek üretimi	Karabuğday ununun oranının artmasıyla ekmek içi gözenek yapısının geliştiği gözlemlenmiştir	Fujarczuk ve Zmijewski, 2009
Tatar karabuğdayı ve yaygın karabuğday unları ile kek üretimi	Tatar karabuğdayı ile yapılan kekin renk değerleri en yüksek ve yumuşaklık, tat, nem gibi değerlerin en iyi olduğu bildirilmiştir.	Cho ve ark., 2007
Mısır, pirinç, soya, darı, karabuğday ve patates nişastalarının farklı miktarda yağ katkılarıyla kombinasyonlanması ile üretilen bisküvi	Kolay şekil alabilen bisküvi hamuru oluşturduğu gözlemlenmiştir.	İşleroğlu ve ark., 2009
%2, 4, 6 ve 10 oranlarında yağlı ve yağsız soya unu ile bisküvi üretimi	%10 yağlı ve yağsız soya unu katkısında duyuusal özellikler üzerine olumsuz özellikler gözlenmiş, %2 yağlı-yağsız ve %4 yağsız soya unu katkılarıyla en iyi duyuusal sonuçların alındığı belirtilmiştir.	Gürsu ve ark., 1997
%5,10 ve %20 oranlarında teff unu ile ekmek üretimi	Yapılan duyuusal analizler sonucunda %20 teff unu içeren ekmekler görsel açıdan beğenilirken, %10 teff içeren ekmeklerin tadı en beğenilen olduğu bildirilmiştir.	Campo ve ark., 2016
Yeşil muz ve kabuğundan un üretilerek, glutensiz kek üretimi	En iyi sonucu %20- 40 yeşil muz unu ve % 5-10 yeşil muz kabuğu unu hazırlanan keklerde elde edildiğini bildirmişlerdir.	Türker ve ark., 2017
Badem iğde ve dut unu kullanılarak kurabiye üretimi	İğde unuyla ve dut unuyla yapılan kurabiye için çölyak hastaları tarafından çölyak olmayanlara göre daha çok beğenildiği bildirilmiştir.	Durlu-Özkaya ve ark., 2015
%0, %3.5, %6.30, %12.5, %18.7 ve %25 oranlarında kullanılan göleveze unlarına karşılık, nişastalı karışım ile ekmek üretimi	Göleveze unu katkısının ekmeklerin besinsel ve fonksiyonel özelliklerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.	Ancı ve ark., 2016

3. SONUÇ

Çalışmamızda çölyak hastaları, gluten intoleransı olan bireyler ve glutensiz beslenmek isteyen bireyler için besleyici değeri yüksek ürünlerin üretilebilmesi amacıyla farklı hububat ya da hububat benzeri ürünlerinin hammadde olarak araştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışmalarca kullanılan hammaddelerin oluşturulmak istenen glutensiz ürünlerde son üründe besin değerlerinin artabildiği ve yapılmış olan duyuusal testlerle de son üründe kaliteli ve lezzetli ürün elde edildiği görülmüştür. Günümüzde artan çölyak hastalığı ve diyetlerine glutensiz ürünler eklemek isteyen tüketicilerin sayısı artmaktadır. Buna bağlı olarak da bir ürün ihtiyacı doğmaktadır. Gelişen teknolojiyle bu ürünlerin çeşitliliğinin artmakta ve gıda firmaları da bu alanda çalışmaya başlamaktadır. Bu çalışmalar yalnızca ekmek, makarna, atıştırmalıklarla sınırlı kalmadığı yaptığımız araştırmalarla

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

görülmüştür. Birçok ülkede glutensiz restoranlar ve bu restoranları destekleyen organizasyonlarda kurulmaya başlanmıştır.

Yapılan araştırmalar sonucunda, bu pazarın gün geçtikçe genişleyeceğini, bu konuda çalışmaların artacağını, ürün yelpazesinin zenginleşeceğini öngörmekteyiz.

4. KAYNAKÇA

Acar, R., Güneş, A., Gummadov, N., Topal, İ., (2011). Farklı bitki sıklıklarının karabuğdayda verim ve bazı verim unsurlarına etkisi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 25 (3): 47-51.

Alp, H. (2006) Yağsız süt tozu ve soya ürünleri ile zenginleştirilmiş kek özelliklerine transglutaminaz enziminin etkisi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 65 s.

Alvarez, L., Arendt, E.K and Gallagher E.(2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional glutenfree ingredients. *Trends in Food Science & Technology* 21: 106-113.

Arıcı M., Yıldırım R.M., Özküllü G., Yaşar B., Toker Ö.S.. (2016). Physicochemical and nutritional properties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flour as affected by drying temperature and air velocity. *Food Science & Technology* 74: 434-440.

Anaç H, Ertürk YE. (2003). Soya fasulyesi. *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü Dergisi* 2: 1-4.

Barışık, D., Tavman, Ş., (2018). Glutensiz ekmek formülasyonlarında nohut unu kullanımının ekmeğin kalitesi üzerine etkisi. *Gıda*, 16(1): 33-41.

Beğen,F.,(2012). Yüksek lif içerikli bisküvi üretiminde lüpen (*Lupinus albus* L.) kepeği kullanımı üzerine bir araştırma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1 s.

Bilgiçli N. (2008). Utilization of buckwheat flour in Turkish traditional foods. Bosphorus 2008 ICC International Conference, İstanbul, 176: 24-26.

Boyacıoğlu, D., Nilüfer D., (2008). Soya ve soya ürünlerinin fonksiyonel gıda bileşenleri, *Gıda*, 33 (5) : 241-250.

Campo, E., Arco, L., Urtasun, L., Oria, R., Ferrer- Marial, A., (2016). Impact of sourdough on sensory properties and consumers' preference of gluten-free breads enriched with teff flour, *Journal of Cereal Science*, 67: 75-82.

Chase, C.B. (2014). Comparison and acceptability of gluten-free yeast breads made with quinoa flour. For the Degree of Master of Science, Department of Food Science and Human Nutrition, Colorado State University, Colorado.

Cheng, Z., Blackford, J., Wang, Q., & Yu, L. (2008). Acid Treatment to Improve Psyllium functionality. *Journal of Functional Foods* 44-49.

Cho, E., W. Kim ve M. Yang. (2007). A study on quality properties of steamed cake added with common and tartary buckwheat flour. *East Asian Soc Dietary Life*, 17: 219-226.

Demir, B., (2008). Nohut Ununun Geleneksel Erişte Ve Kuskus Üretiminde Kullanım İmkanlar Üzerine Bir Araştırma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya 8 s.

Demirkesen İ., Mert B., Sumnu G., Sahin S., (2010). Utilization of Chestnut Flour in Gluten-free Bread Formulations. *Journal of Food Engineering* 101: 329-336.

De Simas K.N., Vieira L. N., Podesta R., Müller C.M.O., Veira M.A., Beber R.C., Reis M.S., Barreto P.L.M., Amante E.R., Amboni R.D.M.C., (2009). Effects of king palm flour incorporation on physicochemical and textural characteristics of gluten-free cookies. *International Journal of Food Properties*, 44: 531- 538.

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

De Souza Montes,S. (2015). Tapioca and rice flour cookies: technological,nutritional and sensory properties, *Ciencia e Agrotecnologia*

Dizlek, H., Özer, M.S., İnanç, E., Gül, H. (2009). Karabuğdayın bileşimi ve gıda sanayiinde kullanım olanakları. *GIDA*, 34 (5): 317-324.

Durmuş, Y., (2015). Glutensiz tarhana üretiminde hidrokolloid kullanımının kalite üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, 67s.

Durlu-Özkaya, F., Akbulut, B.A., Tulga, D. (2017). Gastronomi turizmi engelleri kapsamında çölyak. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi* 9(16) : 213-228.

Ercan R., (1987). Bazı oksidan maddeler ve emülgatörler ile birlikte katılan soya ununun hamurun reolojik özellikleri üzerine etkisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Bilimi ve Teknolojisi., *GIDA* (1987) 12 (2): 103-109

Ergin, A., (2011). Çölyak hastalarına özel bisküvi erişte ve pide üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2-4 s.

Fujarczuk, M. ve M. Zmijewski. (2009). Wheat bread quality depending on the addition of bran derived from various buckwheat varieties. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc*, 6: 91–101.

Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. (2004). Recent Advances in the Formulation of Gluten-free Cerebased Products. *Trends Food Sci & Tech*, 15: 143–152.

Gambus, H., Gambus, F., Pastuszka, D., Wrona, P., Ziobro, R., Sabat, R., Mickowska, B., Nowotna, A., Sikora, M., (2009). Quality of gluten- free supplemented cakes and biscuits. *International Journal of Food Properties*, 60(4): 31-50.

Guo, Q., Cui, S. W., Wang, Q., Goff, H. D., & Smith, A. (2008). Microstructure and Rheological Properties of Psyllium Polysaccharide Gel . *Food Hydrocolloids* , 1542-1547.

Gürsu, Ö., Ercan, R., Denli, E. (1997). Soya unu katkısının bisküvi kalitesine ve raf ömrüne etkisi. *GIDA*, 22(2): 95-103.

Hatipoğlu, S. (2016). Patates Unu ve Gam İlavesinin Glutensiz Ekmek Kalitesi Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli 7 s.

Hayıt, F., (2018).Çölyak hastalarına yönelik kısmi pişirilerek dondurma yöntemiyle glutensiz ekmek üretimi ve kalitesinin araştırılması. Doktora Tezi ,Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 1 s.

Hayıt, F., Gül, H., (2015). Karabuğdayın sağlık açısından önemi ve unlu mamüllerde kullanımı. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi* (29)1 : 123-131

http://www.istanbul saglik.gov.tr/w/dergi/basinpdf/kasim2004/18_19_20.pdf (Erişim tarihi:05.11.2018).

<https://gluten.org/> (Erişim tarihi:14.11.2018).

<https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/beslenmehareket-haberler/20-9-may%C4%B1s-d%C3%BCnya-%C3%A7%C3%B6lyak-g%C3%BCn%C3%BC.html> (Erişim tarihi:20.10.2018).

İşleroğlu, H., Dirim S.D ve Ertekin, F. (2009). Gluten İçermeyen, Hububat Esaslı Alternatif Ürün Formülasyonları Ve Üretim Teknolojileri. Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir.,*Gıda* 34 (1): 29-36

Kan, A. (2011). Konya ekolojik koşullarında yetiştirilen karabuğdayın bazı kalite özelliklerinin araştırılması. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 25: 67-71.

Keskin,Ş., ve Evlice A., (2015). Fırın Ürünlerinde Kinoa Kullanımı. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü., Bolu Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi* 24 (2):150-156

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

Mariotti, M., M. A. Pagani ve M. Lucisano. (2013). The role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures. *Food Hydrocolloids* 30: 393-400.

Mariotti, M., Lucisano, M., Pagani, M.A., Perry, K.W.N. (2009). The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and *Psyllium* flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs. *Food Research International* 42(8) : 963-975.

Makdoud, S., Rosentrater, K. A., (2017). Development and testing of gluten-free pasta based on rice, quinoa and amaranth flours. , Iowa State University, Agricultural and Biosystems Engineering, Food Science and Human Nutrition, *Journal of Food Research* 6(4) : 1927-0887

Mert, S.,(2014). Effect Of Different Flours On Quality Of Gluten-Free Wafer Sheets. In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science , A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, Ankara 5 s

Mishra , A., Srinivasan, R., Dubey, R., (2002). Flocculation of Textile Wastewater by Plantago psyllium Mucilage. Department of Chemistry, Institute of Engineering and Technology, CSJM University. *Macromol. Mater. Eng.* 2002, 287, 592–596.

Nascimento, K., Augusta, I.M. (2018). Teff: Suitability for different food applications and as a raw material of gluten-free, a literature review. *Research Gate*.

Nazlım, B.A ve Tuncel N.B. (2018). Isıl İşlem Uygulamasının Dehidre Patates ve Patates Ununun Fizikokimyasal ve Fonksiyonel Özellikleri Üzerine Etkisi. *Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 4(1) : 88- 98

Özer, M., Tuncel N.B. (2016). Pirinç ve pirinç yan ürünlerinin glutensiz tahıl ürünlerinde kullanımı. *Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2(2): 29- 44

Schober, T.J., O'Brien C.M., McCarthy, D., Darnedde, A., Arendt, E.K. (2003) Influence of gluten-free flour mixes and fat powders on the quality of glutenfree biscuits. *Eur. Food Res. Technol.*, 216: 369-376.

Silva, E.M.M., Ascheri J.L.R., Ascheri D.P.R., (2016). Quality Assessment of Gluten-free Pasta Prepared with A Brown Rice and Corn Meal Blend via Thermoplastic Extrusion. *Food Science and Technology* 68: 698-706.

Şahin, S.,(2001). Türkiye’de Mısır Ekim Alanlarının Dağılışı ve Mısır Üretimi. G.Ü. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi* 21(1): 73-90

Şahin, N., Koyuncu, M., Sayaslan, A., (2018). Glutensiz ekmekte nohut mayası kullanımının etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 22(4): 513-524.

Torbica, A., M. Hadnadev ve T. Dapcevic. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids* 24: 626-632.

Türker, B., Savlak, N., Kaşıkçı, M.B., (2017). Effect of green banana peel flour substitution on physical characteristics of gluten free cakes.1.International Multidisciplinary Conference on Nutraceuticals and Functional Foods, 4, s 197-204 .

Twari, S., Shukla, S., (2015). Physicochemical properties of gluten-free banana bread from corn and rice flours. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 4(10) : 635-645.

Türksoy, S., ve Özkaya, B., (2006). Gluten ve Çölyak Hastalığı. Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu, 24-26 Mayıs.

Ulukut, A., (2010). Çerezlik mısır hamuruna nohut unu, yer fıstığı unu ve kırmızıbiber tohumu unu eklenmesi sonucu ısıl ve reolojik özelliklerde meydana gelen değişimin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 11 s.

GLUTENSİZ DİYETDE KULLANILAN ALTERNATİF HAMMADDELER

Yarpuz, D.,(2011). Glutensiz Ekmek Üretimi Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya 6-11 s.

Yıldız, M., (2012). Karabuğday ve lüpen unlarının glutensiz bisküvi üretiminde kullanımı üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 7 s.

Yalçın, S., Başman, A., (2006). Glutensiz Makarna ve Erişte Üretimi. Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu, 24-26 Mayıs.

Zandonadi, R.P., Bothello, R.B., Coelho, W.M. (2009). Psyllium as a substitute for gluten in bread, *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 109(10): 1781-1784.

ALGDEN İZOLE EDİLEN MOLEKÜLÜN KUANTUM KİMYASAL HESAPLAMALARI

Cem Cüneyt Ersanlı

Sinop Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

ccersanli@sinop.edu.tr

1. GİRİŞ

Latince deniz otu kelimesinin çoğulu anlamına gelen alg, tatlı, tuzlu ve acı sularda, hayvanlar veya bitkiler üzerinde, nemli-ışık alan mağaralarda, hatta kar üzerinde yaşayabilen canlılar olup çok geniş yayılış alanına sahiptirler. Tek hücreli veya çok hücreli olabilirler. Thallophyta grubundan olup klorofil taşımaları ile karakterize edilirler. Algler ihtiva ettikleri renge göre beş ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar; *mavi-yeşil algler*; hücre çekirdeği ihtiva etmeyen prokaryot canlılardır. Klorofil ile birlikte mavi renk veren pigmentler de ihtiva ettikleri için mavi-yeşil renktedirler. Zaman zaman az miktarda kırmızı pigment de ihtiva edebilirler. Hem tuzlu hem de tatlı sularda gelişmektedirler. *Yeşil algler*, algler içinde en büyük grubu oluşturmaktadır. Genellikle tatlı sularda bulunurlar, fakat çok az bir kısmına nemli kaya ve ağaç gövdelerinde de rastlanmaktadır. Hücre çekirdeğine ve kloroplastlara sahiptirler. Renkleri yeşilden sarımsı yeşile kadar değişmektedir. *Diatomeler*, hem tatlı hem de tuzlu sularda gelişebilen yaygın bir alg grubudurlar. Renkleri bazen yeşil olmakla beraber genellikle altın sarısı-kahverengidir. Dikdörtgenimsi, üçgenimsi, dairesel ve oval şekillerde olabilirler. *Kırmızı algler*, tuzlu sularda, bulunurlar. Suda diğer alglere oranla daha derinlerde yaşadıkları için diğerleri kadar fazla tanınmamaktadırlar. Kırmızı renkleri ve dallanmış şekilleriyle kolayca ayırt edilebilirler. *Kahverengi algler*, büyük bir grubu oluşturmaktadırlar. Sığ sularda ve med cezir olan yerlerde dibe tutundukları gibi genellikle soğuk sularda yayılış gösterirler [1].

Su ortamında primer üretici canlı olan algler besin zincirinin önemli bir parçasını oluştururlar [2]. Algler yapısal olarak prokaryotik ve ökaryotik olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar. Prokaryotik algler “mavi-yeşil algler (Cyanophyta)” olarak bilinirler. Ökaryotik algler ise; Chlorophyta, Charophyta, Euglenozoa, Bacillariophyta, Cryptophyta, Haptophyta, Miozoa, Ochrophyta ve Rhodophyta gruplarında sınıflandırılmaktadır [3]. Alglerden biyodizel, biyoetanol, biyogaz gibi enerji ürünleri elde edilmekle beraber gıda ürünleri, besin takviyeleri, ilaç hammaddeleri, hayvan yemleri, kozmetik ürünleri ve gübre gibi değişik sektörlerle yönelik ürünler de elde edilmektedir. Algler, özellikle yeni farmasötik ajanların geliştirilmesinde önem taşıyan yüksek biyolojik aktiviteli sekonder metabolitlere sahiptirler [2,4]. Ayrıca algler fotosentez sonucu suyun karbondioksit miktarını azaltmakta, oksijen miktarını yükseltmektedir. Böylece suda yaşayan hayvanların ihtiyacı olan oksijen sürekli olarak sağlanmaktadır [5]. İnsan sağlığı açısından çok önemli bir konu olması nedeniyle özellikle içme, sulama suyu ve rekreasyonel amaçlı kullanılan baraj, akarsu ve nehirlerde mavi-yeşil alg artışlarının düzenli örnekler alınarak izlenmesi hayati önem taşımaktadır. Su içerisindeki alg florası ile ilgili önemli çalışmalar literatürde mevcuttur [6-8]. Alglerin besin olarak kullanımında; örneğin, zengin lif, mineral, protein, düşük yağ ve sindirilebilir karbonhidrat içeriği sebebiyle *Ulva* türleri, düşük kalorili bir diyet olarak kilo verme amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle bazı ülkelerde alglerin guatr tedavisinde, çeşitli böbrek rahatsızlıklarının tedavisinde ve antihelmintik olarak yaygın şekilde kullanıldığına dair bilgiler mevcuttur. Örneğin Güney Amerika’da *Ulva lactuca*, A vitamini yönünden zengin olduğu için guatra karşı direnci arttırmak amacıyla kullanılmaktadır [9]. Bununla birlikte algler son yıllarda biyoremediasyon araştırmalarında kullanılmakta ve gelecek vaat eden biyosorbent materyaller olarak değerlendirilmektedir. *Spirogyra* sp. ve *Rhizoclonium* sp.’nin sucul ortamdaki sentetik boya kirliliğinin biyolojik arıtımı için potansiyel bir biyosorbent materyali olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur [10]. Yine başka bir çalışmada; doğal makroalg konsorsiyumu

ALGDEN İZOLE EDİLEN MOLEKÜLÜN KUANTUM KİMYASAL HESAPLAMALARI

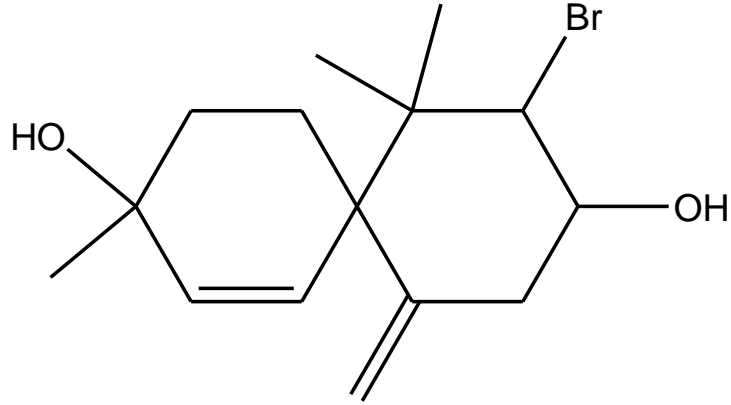
(*Chaetomorpha* sp., *Polysiphonia* sp., *Ulva* sp. ve *Cystoseira* sp.) potansiyel biyosorbent olarak araştırılmıştır [11-14].

Laurencia (Rhodophyta), ılık suların gelgit arası kayalarında yaygın olarak yetiştirilir [15]. Algal veritabanı, 421 türün tanımlandığını belirtirken, sadece 146 sı taksonomik olarak kabul edilir [3]. *Laurencia*, benzeri görülmemiş moleküler özelliklere sahip çeşitli sekonder metabolit dizilerini biyosentezleme kabiliyeti ile bilinir [16]. Bu cins, savunma mekanizmalarına [17] önemli ölçüde katkıda bulunan, farklı terpenoidal iskeletlerin [18] polihalojenli türevlerinde zengindir. Ayrıca, halojenli metabolitler, örneğin anti-feedant, antelmintik, anti-malaral, anti-fouling, anti-mikrobiyal ve sitotoksit gibi birçok biyolojik aktivite özelliğe sahiptir [19]. Bu çalışmada; *Laurencia scoparia*'dan izole edilen chamigren tipi metabolitin (spiro[5.5]undekan türevi) yapısı tanımlanmıştır. Seskiterpen isorigidol [(8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol), C₁₅H₂₃BrO₂] molekülü [20] ilk olarak *Laurencia rigida*'dan izole edilen yeni bir rigidol izomeridir. Moleküler yapının [20] en kararlı hali Yoğunluk Fonksiyoneli Kuramı (YFK) kullanılarak, Becke tipi 3 parametrelili Lee-Yang-Parr modeli B3LYP ve 6-311G(d,p) baz seti seçilerek elde edilerek optimize edilmiş ve bileşiğe ait teorik olarak geometrik parametreleri (bağ uzunlukları, bağ açıları ve burulma açıları) hesaplandı. En yüksek dolu moleküler orbital (HOMO) ve en düşük boş moleküler orbital (LUMO) enerji değerleri arasındaki farkı belirlemek için B3LYP/6-311G(d,p) seviyesinde gaz fazında hesaplamalar yapıldı. Global kimyasal aktivite hesaplaması sonucunda HOMO ve LUMO öncü moleküler orbital enerjileri kullanılarak sertlik, yumuşaklık, elektrofilik indeks ve kimyasal potansiyel parametrelerine ulaşılarak kimyasal aktivite ve kinetik stabilite yakınlığı gaz fazında belirlendi. Moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) haritası ile molekülün elektronca zengin ve fakir bölgelerinin belirlenmesi ve kimyasal aktivite yakınlığı tespit edildi. Mulliken popülasyon ve doğal popülasyon metodlarını kullanarak atomlara ait net yükler hesaplandı. Bunlara ek olarak; X-ışını kırınım verileri kullanılarak Hirshfeld yüzeyleri parmak izi çizimleri ile incelendi.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Teorik Hesaplama Yöntemi

Hesaplamalı kimya yöntemleri son yıllarda moleküler ve kimyasal davranışların aydınlatılmasında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuramsal hesaplamalar deneysel olarak elde edilemeyen kimyasal aktivite hesaplamalarında, yeni materyallerin sentezlenmesinde yol gösterecek olan kimyasal aktif bölgelerin tayininde ve reaksiyon hızlarının belirlenmesinde oldukça başarılıdır. Hesaplamalı kimya yöntemlerinden en çok tercih edilen ve doğruluğu literatürde desteklenen Yoğunluk Fonksiyonel Kuramıdır (YFK). Molekülün geometri optimizasyonunu hesaplamak için; gaz fazında yaklaşık üç boyutlu geometrisi, GaussView 5.0 [21] ara yüz görüntüleme paket programında çizilerek; Gaussian 09W paket programına [22] giriş verisi olarak kullanılmıştır. Molekülün optimizasyonu B3LYP/6-311G(d,p) yöntemi ile yapılarak, geometrik optimizasyonu YFT/Becke'nin 3 parametrelili hibrit değiş-tokuş fonksiyoneli (B3) [23] ile Lee-Yang ve Parr'ın korelasyon fonksiyoneli [24] oluşan B3LYP teori seviyesinde olmak üzere 6-311G(d,p) temel seti [25] ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada seçilen YFK/B3LYP/6-311G(d,p) sonuçları X-ışınları kırınımı yöntemiyle elde edilen geometrik parametreleri kısmen başarılı bir şekilde temsil etmiştir. Optimize yapının enerjisinden elde edilen özellikler olan öncü moleküler orbitaller, sertlik, yumuşaklık, elektrofilik indeks, kimyasal potansiyel, Mulliken yükleri ve MEP çalışılan 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol yapısı için elde edildi. Bunlara ilave olarak; Hirshfeld yüzey analizi ile elde edilen atomların % etkileşimleri ve 2-boyutlu parmak izi tayini [26] CrystalExplorer17 [27] programı kullanılarak elde edilmiştir. İncelenen molekülün kimyasal diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.

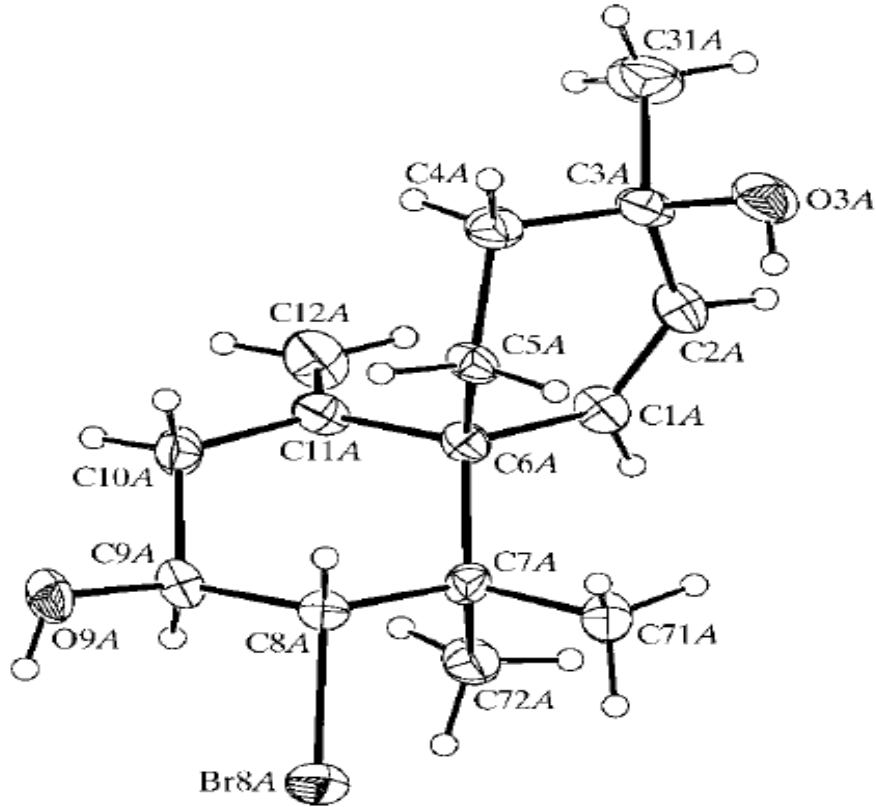


Şekil 1: 8-Bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülün kimyasal diyagramı [20]

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Moleküler Geometri

Algden izole edilen moleküle ait kristalografik çalışma Suescun ve ark. [20] tarafından yapılmıştır. 8-Bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol bileşiğinin ORTEP-III gösterimi [20] Şekil 2’de verilmiştir. Çalışılan moleküle ait geometrik parametreler olan bağ uzunluğu, bağ açısı ve burulma açı verileri X-ışını kırınımı [20] ve YFK/B3LYP/6-311G(d,p) sonuçlarına göre karşılaştırmalı olarak Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’e göre; C1A=C2A çift bağ uzunluğu deneysel olarak 1.327(7) Å [20], kuramsal olarak ise 1.33448 Å olarak gözlenmiştir.

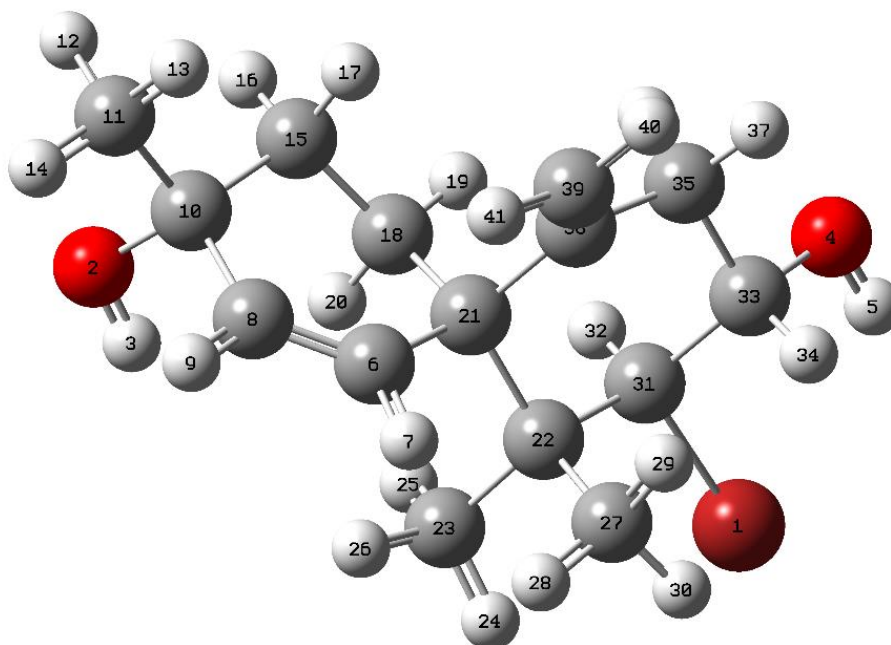


Şekil 2: 8-Bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülün ORTEP-III diyagramı [20]

ALGDEN İZOLE EDİLEN MOLEKÜLÜN KUANTUM KİMYASAL HESAPLAMALARI

Tablo 1: 8-Bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne ait seçilmiş deneysel ve teorik bağ uzunlukları, bağ açıları ve burulma açıları

Bağ uzunluğu (Å), bağ açısı (°) ve burulma açısı (°)	X-ışını kırınımı [20]	YFK/B3LYP/6-311G(d,p)
Br8A-C8A	1.978(5)	1.99140
O3A-C3A	1.437(6)	1.43722
O9A-C9A	1.438(5)	1.42785
C1A-C2A	1.327(7)	1.33448
C1A-C6A	1.517(6)	1.51894
C2A-C3A	1.482(7)	1.51100
C3A-C31A	1.544(7)	1.53777
C3A-C4A	1.535(7)	1.53705
C4A-C5A	1.525(6)	1.52994
C5A-C6A	1.543(6)	1.55007
O3A-C3A-C4A	111.4(4)	110.633
O3A-C3A-C2A	109.2(4)	108.862
O3A-C3A-C31A	104.1(4)	104.689
C9A-C8A-Br8A	108.2(3)	107.258
O9A-C9A-C8A	112.3(4)	112.354
O9A-C9A-C10A	104.6(4)	106.102
C1A-C2A-C3A-O3A	115.8(6)	114.652
O3A-C3A-C4A-C5A	-82.9(5)	-78.449
C71A-C7A-C8A-Br8A	-55.2(5)	-55.667
C72A-C7A-C8A-Br8A	63.4(5)	-63.939
C6A-C7A-C8A-Br8A	-175.7(3)	-176.001
Br8A-C8A-C9A-O9A	61.9(5)	60.049
Br8A-C8A-C9A-C10A	177.6(4)	177.689
O9A-C9A-C10A-C11A	171.6(4)	170.043



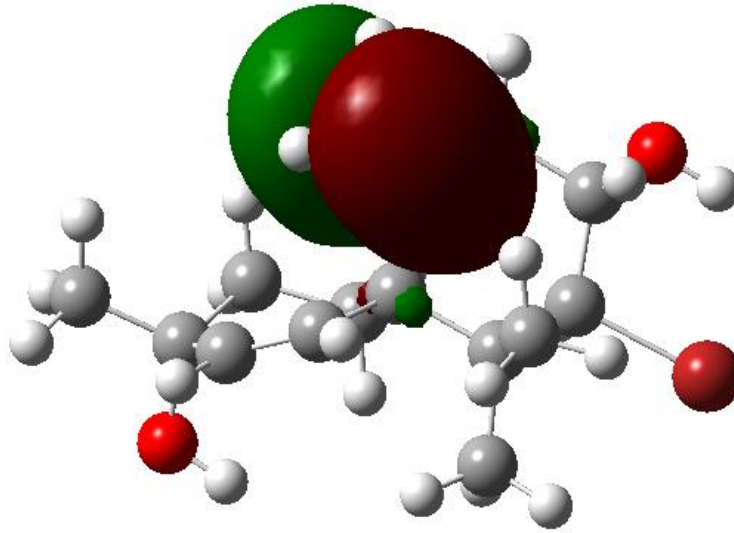
Şekil 3: 8-Bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülünün optimize yapı görünümü

ALGDEN İZOLE EDİLEN MOLEKÜLÜN KUANTUM KİMYASAL HESAPLAMALARI

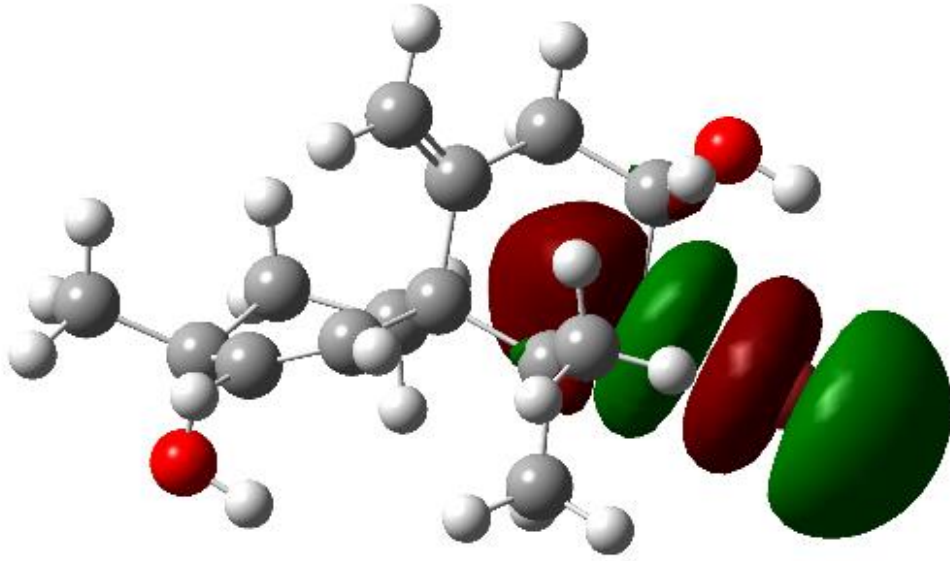
Tablo 1'e bakıldığında; YFK sonuçlarının X-ışını kırınımı verilerini kısmen başarılı bir şekilde temsil ettiği görülmektedir. Geometrik parametrelerde gözlenen ufak farklılıklar kuramsal hesaplamaların moleküler yapıyı gaz fazında, yalıtılmış bir ortamda ve tüm etkileşimleri dikkate almadan hesaplamasından kaynaklanmaktadır. 8-Bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne ait optimize yapı görünümü Şekil 3'de verilmiştir.

3.2. Frontier Molekül Orbitaler (FMO) ve Elektronik Özellikler

Frontier molekül orbitaler (FMO); bir molekülün moleküler reaktifliği, ışık soğurabilirliği, optik ve elektrik özelliklerin tanımlanmasında önemlidir [28]. HOMO, elektronlar tarafından işgal edilmiş en dış molekül orbitalidir ve bir elektron vericisi gibi davranır. LUMO ise elektronlar tarafından işgal edilmemiş ilk boş molekül orbitalidir ve bir elektron alıcısı gibi davranır. Bu nedenle HOMO enerjisi doğrudan iyonlaşma potansiyeli ile ilgilidir ve molekülün elektron verme yeteneğini temsil eder. LUMO enerjisi ise doğrudan elektron ilgisi ile ilgilidir ve molekülün elektron alma yeteneğini temsil eder. HOMO ve LUMO kimyasal tepkimelerde ana molekül orbitaleri olarak görev yaparlar. Bu yüzden frontier molekül orbitaler olarak adlandırılırlar. HOMO ve LUMO arasındaki enerji farkı, molekülün kimyasal kararlılığının göstergesidir. 8-Bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülünün YFT/B3LYP/6-311G(d,p) baz setinde hesaplanmış, HOMO ve LUMO orbitaleri Şekil 4'te verilmiştir. E_{HOMO} ve E_{LUMO} enerjileri arasındaki fark enerji aralığı ΔE ile tanımlanır ve optimize yapının kararlılığını belirler. Şekil 2'den de anlaşıldığı üzere HOMO ve LUMO arasındaki enerji farkı 6.59441 eV'tur. Bu büyük enerji aralığı, molekülün kararlı bir yapıda olduğunu gösterir. Optimize edilmiş 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol yapısına ait elektronlar tarafından işgal edilmiş en dış molekül orbital (HOMO) ve elektronlar tarafından işgal edilmemiş ilk boş molekül orbital (LUMO) yüzey gösterimleri Şekil 4'de verilmiştir. Enerji aralığı ne kadar küçükse yapının yüksek kimyasal aktivite ve düşük kinetik stabilite ile kimyasal aktiviteye yatkın olduğunu belirler. Yapının yüksek enerji aralığına sahip olması ise yüksek sertlik ve düşük yumuşaklık parametresine sahip olduğunu ve oldukça yüksek kinetik stabilite ile oldukça kararlı olduğunu gösterir [29].



a) HOMO orbitali



b) LUMO orbitali

Şekil 4: Optimize yapıya ait HOMO ve LUMO orbital görünümü

Burada;

$I = -E_{\text{HOMO}}$: Molekülden bir elektronu uzaklaştırmak için gerekli olan minimum enerji olan iyonizasyon enerjisi,

$A = -E_{\text{LUMO}}$: Gaz fazında moleküle bir elektron eklendiğinde yükselen enerji miktarı olan elektron ilgisi,

$\eta = (I-A)/2$: Molekül içerisindeki yük transferinin engellenmesinin bir ölçüsü olan sertlik değeri,

$s = 1/2\eta$: Sertliğin tersi yumuşaklık parametresi

ile temsil edilmektedir. Kimyasal sertliği yüksek olan moleküllerin molekül içi yük transferi azdır veya hiç gerçekleşmemektedir. Sertlik ve yumuşaklık parametrelerine ek olarak moleküldeki bir atomun elektronları çekme gücünü ifade eden

$\chi = (I+A)/2$: Mulliken elektronegatiflik parametresi olarak tanımlanır. Bunlara ek olarak;

$w = \mu^2/2\eta$: Elektrofilik indeks,

$\mu = -(I+A)/2$: Kimyasal potansiyeldir.

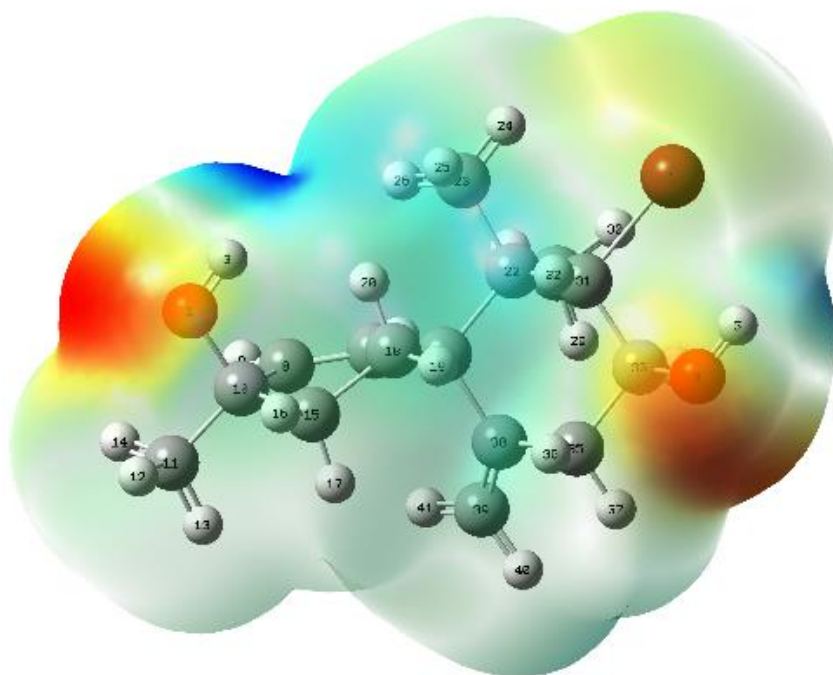
Böylelikle, 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne ait global kimyasal aktivite parametreleri belirlenmiş olmaktadır. Çalışılan 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne ait diğer global kimyasal aktivite parametreleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2: 8-Bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne ait global kimyasal aktivite parametreleri

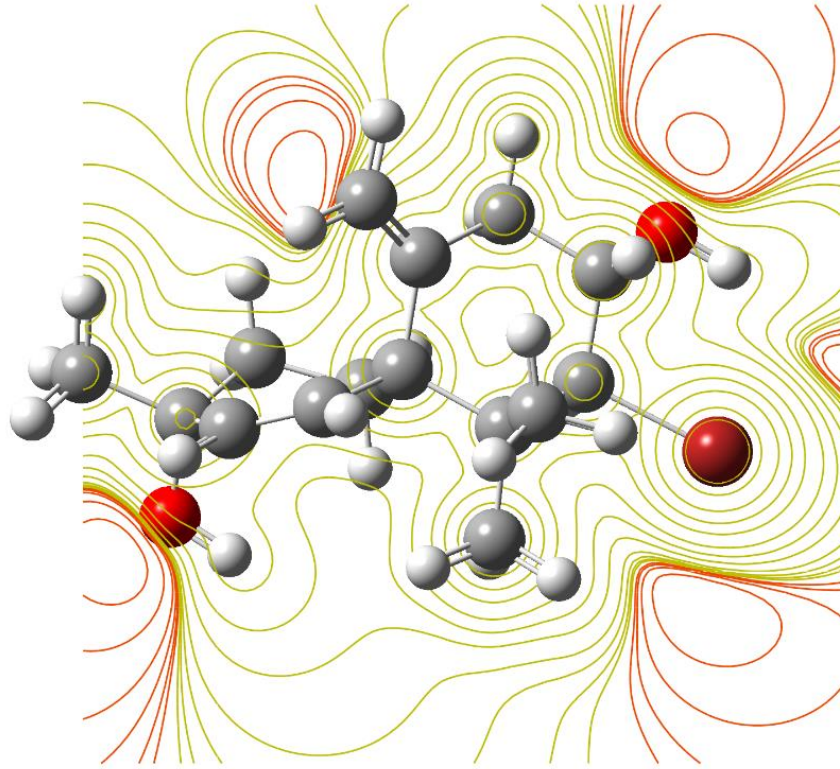
YFK/B3LYP/6-311G(d,p) sertlik ve yumuşaklık parametreleri	
E_{HOMO}	-7.29837 eV
E_{LUMO}	-0.70396 eV
İyonizasyon enerjisi (I)	7.29837 eV
Elektron ilgisi (A)	0.70396 eV
Enerji aralığı (ΔE)	6.59441 eV
Elektronegatiflik (χ)	4.00116 eV
Kimyasal potansiyel (μ)	-4.00116 eV
Kimyasal sertlik (η)	3.29720 eV
Kimyasal yumuşaklık (s)	$0.15164 (eV)^{-1}$
Elektrofilik indeks (w)	2.42771 eV

3.3. Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP)

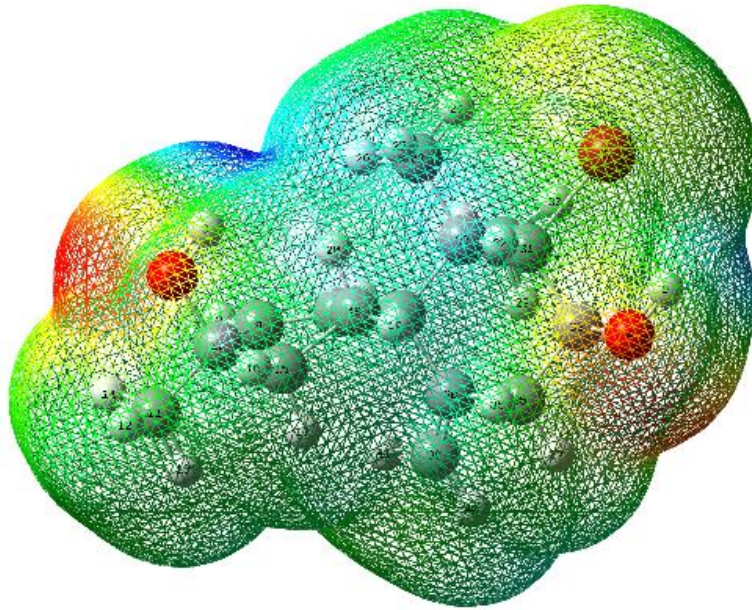
Bileşik için moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) oldukça önemlidir. Moleküler elektrostatik potansiyel moleküler davranışların reaktivliği, yapı aktifliği ve hidrojen bağlarının açıklanmasında kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca MEP haritası, aynı zamanda molekülerin şekli, büyüklük ve elektrostatik potansiyel değerini de gösterir. İncelenen yapıya ait elektrofilik ve nükleofilik bölge tayininde renk kodları kullanılmaktadır. MEP haritasında nötral molekülde elektronca fakir bölge mavi, elektronca zengin bölge kırmızı renkli gözükmemektedir. Kırmızı bölgeler elektrofilik (elektron seven) yatkinlığın fazla olduğu, (-) yüklü elektrostatik potansiyel bölgeleri gösterirken, molekülün tamamı üzerinden çekirdeğe göre elektron yoğunluğunun en fazla olduğu bölgedir. Şekil 5a'da optimize yapıya ait MEP görünümü verilmiştir. Şekil 5.a'dan görüldüğü gibi, nötral yapı için elektron yoğunluğunun en yoğun olduğu bölgelerin oksijen atomları etrafında ve elektron yoğunluğunun da en az olduğu başta O3A'ya bağlı hidrojen olmak üzere diğer hidrojen atomları üzerinde maviye kayma gözlenmiştir. MEP kontör ve MESH görünümü ise Şekil 5b ve Şekil 5c'de görülmektedir. MEP kontör yüzeyine ait potansiyel çizgileri (1000) yüzeyinde gösterilmiştir.



a) MEP



b) MEP kontör



c) MESH

Şekil 5: Optimize yapıya ait MEP, MEP kontör ve MESH görünümü

MEP haritalarının yorumlanması molekülün kimyasal bağlanmadaki aktif bölgelerin tayini ve yeni kimyasalların sentezi aşamasında anahtar rol oynamaktadır [30].

3.4. Doğal Popülasyon Analizi ve Mülliken Atomik Yükleri

Moleküler sistemlerdeki elektron yoğunluk dağılımının analizleri ortonormal atomik orbitallere dayanmaktadır. Doğal popülasyonlarda $n_i(A)$; herhangi bir atomik orbitalin doluluk miktarını göstermektedir ve Pauli'nin dışarılama ilkesine göre bu doluluk $0 < n_i(A) < 2$ ile verilir. Bir atomun popülasyonu ise doğal popülasyonlarının toplamı olarak;

$$n(A) = \sum_A n_i(A)$$

eşitliği ile verilir. NPA yönteminin farklı olan özelliği ise Mülliken Popülasyon Analiz yönteminde karşılaşılan problemleri büyük ölçüde temel set ile çözmesidir [31]. Mülliken atomik yükleri popülasyon analizi yöntemlerinden en eski olan ve hala en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. İki atom arasındaki toplam yük, atom tipi ve elektronegatiflik gibi özelliklerine bakılmaksızın atomlar arasında eşit olarak paylaşılır. Mülliken yükleri temel set ile çok fazla değişik sonuçlar vermesine rağmen hesaplama açısından kolay olduğundan dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır [32-34]. Çalışılan 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol moleküle ait net yükler Mülliken popülasyon ve doğal popülasyon yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Popülasyon analiz metodları sisteme ait elektron yoğunluğunun çekirdekler arasında paylaşımını ifade eder. Bu işlem her bir çekirdek üzerindeki atom yükünü hesaplamayı sağlar. Atomik yük için kuantum mekaniksel bir işlemci bulunmadığından yük dağılım işlemi keyfidir. Net yük analizi ile molekülün polarlığı, elektronik yapısı, atomik yapıların dipol momentleri, atomlar üzerindeki yük dağılımı, moleküldeki yük transferini sağlayan donör ve akseptör çiftleri ve moleküler yapıların farklı özellikleri hakkında geniş bir veriye ulaşmamızı sağlamaktadır. Verilen bir atomda yerleşmiş tüm atomik orbitallerden gelen katkıların toplamı ilgili atomdaki elektron sayısını verir. Bu durumda, farklı atomlar üzerindeki baz fonksiyonlarını içeren bir katkının nasıl paylaşılacağını belirleyen bir yaklaşımın bulunması gerekmektedir. Mülliken popülasyon analizinde kullanılan ve bilinen en basit yol, katkıyı iki atom arasında eşit olarak paylaşmaktır. Toplam yükün iki atom arasında eşit paylaşımı düşüncesi bazı elementlerin daha elektronegatif olmasını göz ardı etmektedir [35]. Eksikliklerine rağmen net yük analizi elektrofilik ve nükleofilik doğanın anlaşılması, elektron yoğunluk dağılımı ve kimyasal aktif bölgelerin tespitinde oldukça etkin bir yöntem olarak kullanılmaktadır. 8-Bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülü optimize yapının net yük hesaplaması sonucunda tüm karbon atomları üzerinde negatif yükler, tüm hidrojen atomları üzerinde ise pozitif yükler baskındır. Her iki yöntemde ait en negatif ve en pozitif bölgeler aynı fonksiyonel gruplar üzerinde yerleşmiştir (Tablo 3).

ALGDEN İZOLE EDİLEN MOLEKÜLÜN KUANTUM KİMYASAL HESAPLAMALARI

Tablo 3: Optimize edilmiş 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne ait net yük değerleri (Atomların isimlendirilmesi GaussView 5.0 [21] ara yüz görünümüne göre yapılmıştır).

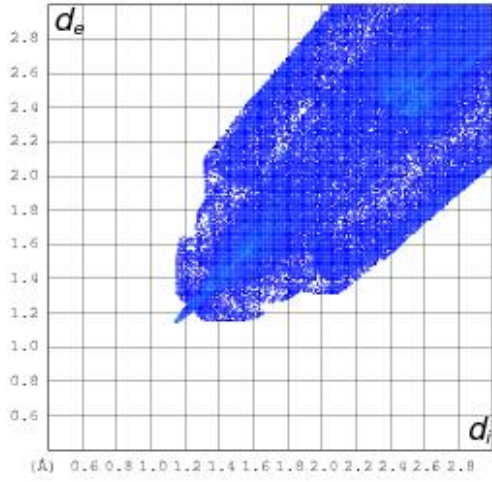
Mulliken popülasyon net yükleri (e)	Doğal popülasyon net yükleri (e)
1 Br -0.094908	Br 1 -0.06699
2 O -0.387807	O 2 -0.74653
3 H 0.229015	H 3 0.45037
4 O -0.404746	O 4 -0.74240
5 H 0.243865	H 5 0.46271
6 C -0.047434	C 6 -0.18700
7 H 0.095407	H 7 0.20688
8 C -0.016182	C 8 -0.20882
9 H 0.081333	H 9 0.20152
10 C -0.056950	C 10 0.29009
11 C -0.176001	C 11 -0.57728
12 H 0.095963	H 12 0.20551
13 H 0.092037	H 13 0.19906
14 H 0.099395	H 14 0.20330
15 C -0.118486	C 15 -0.40538
16 H 0.114303	H 16 0.21102
17 H 0.110500	H 17 0.20407
18 C -0.148970	C 18 -0.38243
19 H 0.113304	H 19 0.20362
20 H 0.095547	H 20 0.19259
21 C -0.236776	C 21 -0.08972
22 C -0.261232	C 22 -0.03802
23 C -0.150736	C 23 -0.58567
24 H 0.116125	H 24 0.21758
25 H 0.093242	H 25 0.19902
26 H 0.094891	H 26 0.20681
27 C -0.165464	C 27 -0.59967
28 H 0.095795	H 28 0.20266
29 H 0.094987	H 29 0.20937
30 H 0.112297	H 30 0.21751
31 C -0.204641	C 31 -0.20712
32 H 0.177684	H 32 0.21321
33 C 0.084934	C 33 0.14132
34 H 0.130624	H 34 0.17331
35 C -0.101653	C 35 -0.42201
36 H 0.128039	H 36 0.21280
37 H 0.113214	H 37 0.21923
38 C -0.103321	C 38 -0.00009
39 C -0.076119	C 39 -0.37234
40 H 0.066368	H 40 0.18954
41 H 0.072558	H 41 0.19840

3.5. Hirshfeld Yüzeysel Analizi

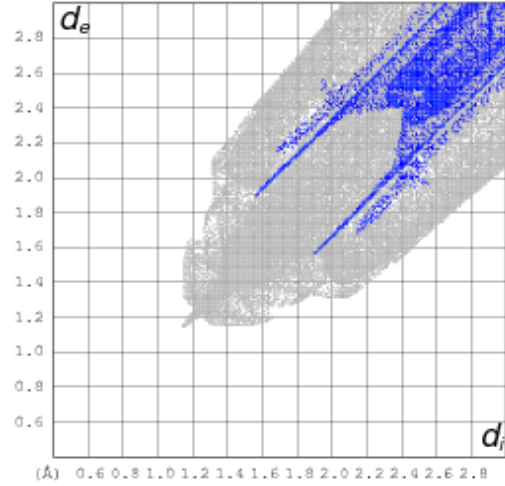
2-Boyutlu parmak izi gösterimi ile atomların birbirleriyle etkileşimlerinin % katkısı Hirshfeld yüzeysel analizi ile belirlenmektedir. Parmak izi bölgesi tayini ile çalışılan optimize edilmiş 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne ait atomların birbirlerine olan katkıların yüzdesi hesaplanmakta ve görsel hale getirilmektedir. 2-Boyutlu parmak izine ait gösterim

ALGDEN İZOLE EDİLEN MOLEKÜLÜN KUANTUM KİMYASAL HESAPLAMALARI

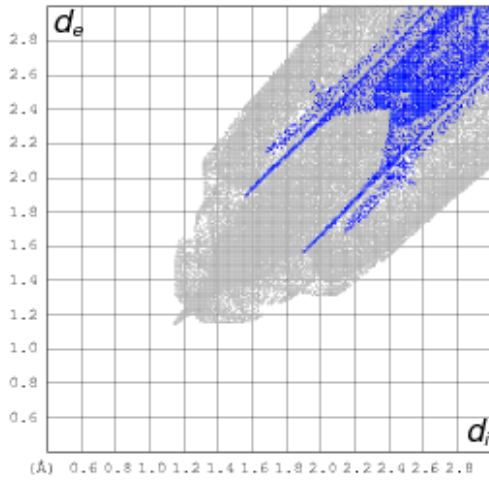
Şekil 6'da verilmiştir. Toplam Hirshfeld yüzeyine ait katkılar H...H/H...H (%75), O...H/H...O (%15.1), Br...H/H...Br (%9.7) ve C...H/H...C (%0.2) etkileşimlerine aittir.



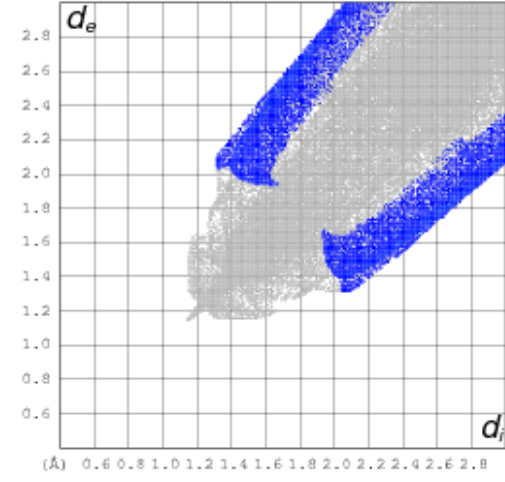
All atoms...All atoms (%100)



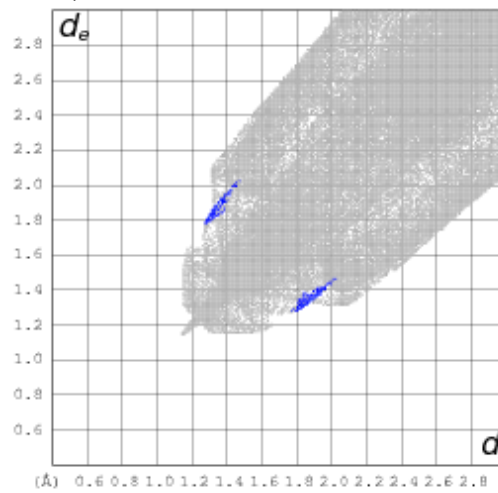
H...H/H...H (%75)



O...H/H...O (%15.1)



Br...H/H...Br (%9.7)



C...H/H...C (%0.2)

Şekil 6: Optimize edilmiş 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne ait atomların % katkısının 2-boyutlu parmak izi görünümü

4. SONUÇLAR

8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne ait tüm kuramsal hesaplamalar YFK/B3LYP/6-311G(d,p) baz seti kullanılarak yapılmıştır. Optimize edilmiş yapıya ait geometrik parametreler X-ışını kırınımı [20] sonuçlarını başarılı bir şekilde temsil etmiştir. Lokal ve global kimyasal aktivite hesaplamaları sonucunda 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne yapısı moleküler ve kimyasal olarak ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Global kimyasal aktivite parametreleri sonucunda oldukça yüksek enerji aralığı (6.59441 eV), yüksek sertlik (3.29720 eV) ve düşük yumuşaklık (0.15164 (eV)⁻¹) verileri optimize 8-bromo-3,7,7-trimetil-11-methylenespiro [5.5] undek-1-en-3,9-diol molekülüne yapısının düşük kimyasal aktivite ve yüksek kinetik kararlılık ile oldukça kararlı bir formda olduğunu göstermiştir. Lokal kimyasal aktivite hesaplamaları yapının elektrofilik yatkınlığının daha baskın olduğunu göstermiştir. MEP analizinde oksijen atomları üzerinde negatif bölgelerin yerleştiğini hidrojen atomları üzerinde ise pozitif nükleofilik atağa baskın bölgelerin olduğunu göstermiştir. Net yük analizinde ise Mulliken popülasyon ve doğal popülasyon verileri tüm karbon atomları üzerinde negatif yüklerin, tüm hidrojen atomları üzerinde ise pozitif yüklerin varlığını öngörmüştür. Ayrıca, 2-boyutlu parmak izi gösterimi ile atomların birbirleriyle etkileşimlerinin % katkısı Hirshfeld yüzey analizi ile belirlenmiştir. incelenmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Akkayan, C. (1987). Selüloz Üretiminde Mikrobiyolojik Problemler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, B, 37:1, 141-159.
- [2] Cirik, Ş., Cirik, S. (2011). Su bitkileri I-Deniz Bitkilerinin Biyolojisi, Ekolojisi ve Yetiştirme Teknikleri, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, 58, 135-145.
- [3] Guiry, M.D., Guiry, G.M. (2015). Algaebase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Available online: <http://www.algaebase.org> (accessed on 29 November 2015).
- [4] Gümüş, G. (2006). Deniz Marulunun Kimyasal Kompozisyonunun Araştırılması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s 65.
- [5] Zeybek, N., Zeybek, U., Saygıner, B. (2003). Farmasötik Botanik, Meta Basımevi, İzmir, p. 102-103.
- [6] Tezel Ersanlı, E., Hasırcı Mustak, S. (2017a). Distribution Dynamics of Vegetative Cells and Cyst of *Ceratium hirundinella* in Two Reservoirs, Turkey, Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences, 21:1, 247-253.
- [7] Tezel Ersanlı, E., Öztürk, R. (2017b). Ecological and Statistical Evaluation of Algal Flora and Water Quality of Karasu Stream, KSU J. Nat. Sci., 20(3), 193-200.
- [8] Baytut, Ö., Gümüş, F., Ersanlı, E., (2018). Molecular phylogeny of a thycoplanktonic naviculoid diatom, *Haslea howeana*, from the Black Sea: a new record for the Turkish Algal Flora, Genetics of Aquatic Organisms, 2, 49-52.
- [9] Serrano, A., Palacios, C., Roy, G. et al. (1998). Derivatives of gallic acid induce apoptosis in tumoral cell lines and inhibit lymphocyte proliferation, Archives of Biochemistry and Biophysics, 350, 49-54.
- [10] Deniz, F., Tezel Ersanlı, E., (2016a). Removal of colorant from simulated wastewater by phyco-composite material: Equilibrium, kinetic and mechanism studies in a lab-scale application, Journal of Molecular Liquids, 220, 120-128.
- [11] Deniz, F., Tezel Ersanlı, E., (2016b). Simultaneous bioremoval of two unsafe dyes from aqueous solution using a novel green composite biosorbent, Microchemical Journal, 128, 312-319.

ALGDEN İZOLE EDİLEN MOLEKÜLÜN KUANTUM KİMYASAL HESAPLAMALARI

[12] Deniz, F., Tezel Ersanli, E., (2018a). Application of a novel phyco-composite biosorbent for the biotreatment of aqueous medium polluted with manganese ions, *International Journal of Phytoremediation*, 20:2, 138-144.

[13] Deniz, F., Tezel Ersanli, E., (2018b). An ecofriendly approach for bioremediation of contaminated water environment: Potential contribution of a coastal seaweed community to environmental improvement, *International Journal of Phytoremediation*, 20:3, 256-263.

[14] Deniz, F., Tezel Ersanli, E., (2018c). A natural macroalgae consortium for biosorption of copper from aqueous solution: Optimization, modeling and design studies, *International Journal of Phytoremediation*, 20:4, 362-368.

[15] Masudai, M., Abe, T., Suzuki, T., Suzuki, M. (1996). Morphological and chemotaxonomic studies on *Laurencia composita* and *L. okamurae* (Ceramiales, Rhodophyta). *Phycologia*, 35, 550-562.

[16] Suzuki, M., Takahashi, Y., Nakano, S., Abe, T., Masuda, M., Ohnishi, T., Noya, Y., Seki, K.-I. (2009). An experimental approach to study the biosynthesis of brominated metabolites by the red algal genus *Laurencia*. *Phytochemistry*, 70, 1410-1415.

[17] Kurata, K., Taniguchi, K., Agatsuma, Y., Suzuki, M. (1998). Diterpenoid feeding-deterrents from *Laurencia saitoi*. *Phytochemistry*, 47, 363-369.

[18] Paul, V.J., Ritson-Williams, R., Sharp, K. (2011). Marine chemical ecology in benthic environments. *Nat. Prod. Rep.*, 28, 345-387.

[19] Davyt, D., Fernandez, R., Suescun, L., Momburu, A.W., Saldana, J., Dominguez, L., Coll, J., Fujii, M.T., Manta, E. (2001). New sesquiterpene derivatives from the red alga *Laurencia scoparia*. Isolation, structure determination, and anthelmintic activity. *J. Nat. Prod.*, 64, 1552-1555.

[20] Suescun, L., Momburu, A.W. Mariezcurrena, R.Â., Davyt, D., Fernandez, R., Manta, E. (2001). Two natural products from the algae *Laurencia scoparia*, *Acta Cryst. C57*, 286-288.

[21] Dennington, R., Keith, T., Millam, J. (2009). Semichem Inc., GaussView, Version 5, Shawnee Mission KS.

[22] Frisch, M.J., Trucks, G.W., Schlegel, H.B., Scuseria, G.E., Robb, M.A., Cheeseman, J.R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G.A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X., Hratchian, H.P., Izmaylov, A.F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J.L., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda, Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Montgomery Jr., J.A., Peralta, J.E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd, J.J., Brothers, E., Kudin, K.N., Staroverov, V.N., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J.C., Iyengar, S.S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, J.M., Klene, M., Knox, J.E., Cross, J.B., Bakken, V., Adamo, C., Jaramillo, J., Gomperts, R., Stratmann, R.E., Yazyev, O., Austin, A.J., Cammi, R., Pomelli, C., Ochterski, J.W., Martin, R.L., Morokuma, K., Zakrzewski, V.G., Voth, G.A., Salvador, P., Dannenberg, J.J., Dapprich, S., Daniels, A.D., Farkas, O., Foresman, J.B., Ortiz, J.V., Cioslowski, J., D.J. Fox, Gaussian 09, Revision E.01, Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2009.

[23] Becke A.D., (1988). Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior, *Physical Review A*, 38: 3098-3100.

[24] Lee, C.T., Yang, W.T., Parr, R.G., (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density, *Physical Review B*, 37, 785-789.

[25] Franck, M.M., Pietro, W.J., Hehre, W.J., Binkley, J.S., Gordon, M.S., DeFrees, D.J., Pople, J.A. (1982). Self consistent molecular orbital methods. XXIII. A polarization type basis set for second row elements, *Chemical Physics*, 77: 3654-3665.

[26] Spackman, M., McKinnona, J.J. (2002). Fingerprinting intermolecular interactions in molecular crystals, *Crystal Engineering Communication*, 4: 378-392.

ALG DEN İZOLE EDİLEN MOLEKÜLÜN KUANTUM KİMYASAL HESAPLAMALARI

[27] Turner, M.J., McKinnon, J.J., Wolff, S.K., Grimwood, D.J., Spackman, P.R., Jayatilaka, D., Spackman, M.A. (2017). CrystalExplorer17, University of Western Australia.

[28] Fleming, J. (1976). *Fron Orb and Org Chem React.* 249.

[29] Buyukuslu, H., Akdogan, M., Yildirim, G., Parlak, C. (2010). *ab initio* Hartree-Fock and density functional theory study on characterization of 3-(5-methylthiazol-2-ylidiazonyl)-2-phenyl-1H-indole. *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, 75, 1362.

[30] Demircioğlu, Z., Albayrak Kaştaş, Ç., Büyükgüngör, O. (2015). Theoretical analysis (NBO, NPA, Mulliken Population Method) and molecular orbital studies (hardness, chemical potential, electrophilicity and Fukui function analysis) of (E)-2-((4-hydroxy-2-methylphenylimino)methyl)-3-methoxyphenol. *J. Mol. Struct.*, 1091, 183-195.

[31] IUPAC Compendium of Chemical Terminology, 1999, V. 71, s. 1954.

[32] Cramer, C.J. (2004). *Essentials of Computational Chemistry*, Second Edition, John Wiley&Sons, Ltd. England, p. 315.

[33] Sigfridsson, E., Ryde., U.J. (1998). *Comput. Chem.* 19, 377-395.

[34] Lowe, J.P., Peterson, K.A. (2005). *Quantum Chemistry*, Third Edition, Elsevier Academic Press, London, 335.

[35] Mulliken, R.S.J. (1955). Electronic Population Analysis on LCAO-MO Molecular Wave Functions. *Chem. Phys.* 23, 1833.

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER

Ebru Yabaş

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, SİVAS

eyabas@cumhuriyet.edu.tr

1. GİRİŞ

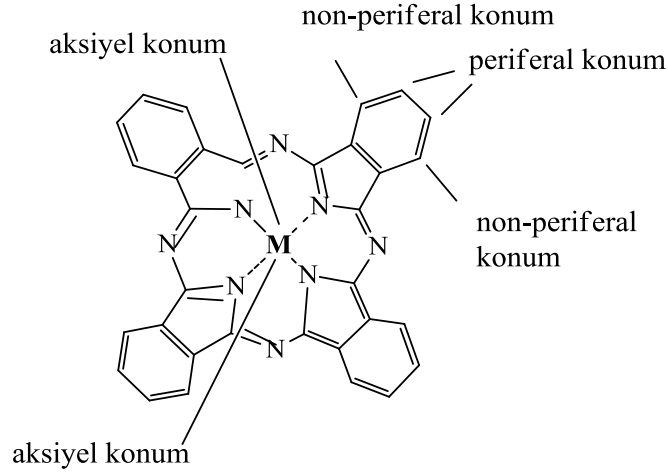
Sensör teknolojisinde, analitlerin yüksek hassasiyet ve seçicilikle hızlı bir şekilde tespit edilmesi oldukça önemli ve zorlayıcı olmasına rağmen, kolorimetrik sensörler, çeşitli analitlere karşı yüksek duyarlılığı ve seçiciliği ile oldukça ilgi görmektedir [1]. Sensör uygulamalarında, geliştirilecek yöntemin hızlı sonuç vermesi ve düşük maliyetli olması istenir. Tespit edilmesi gereken analit için kolorimetrik yaklaşıma dayalı sensörlerin geliştirilmesi bu açıdan oldukça avantajlıdır. Örneğin bazı sensörler, işlem birimi, tespit birimi vb. gibi farklı fonksiyonel bloklar gerektiren uzun süreli algılama özelliğine sahip karmaşık bir cihaz sistemine sahiptir. Aksine kolorimetriye dayalı sensör teknolojileri, küçük boyutlu, düşük maliyetli ve hızlı sonuç vermesi gibi özelliklerinden dolayı günümüzde kullanımı daha çok tercih edilen ve geliştirilmesi için üzerine yoğun çalışma yapılan alanlardır [1]. Genel olarak sensörler, kimyasal ya da biyolojik moleküllerin etkileşim türüne göre sırasıyla kimyasal sensörler ya da biyosensörler olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada kimyasal sensör sınıfından sayılan yeni kolorimetrik gaz sensör üzerine çalışma yapıldı.

Kimyasal sensörler, tüm canlılar ve çevre için tehlike yaratan gaz moleküllerini, uçucu organik bileşikler, toksik endüstriyel kimyasalları ve ağır metalleri algılamak gibi farklı kimyasal bileşiklerin algılanması için geliştirilen sistemlerdir [1-4]. Bu kimyasal algılama sistemi, kullanılacak kimyasal molekül ile analit arasındaki asit-baz etkileşimleri, π - π etkileşimleri, dipol-dipol ve hidrojen bağı gibi etkileşimlerin sonucundaki değişkenlerin incelenmesi temeline dayanmaktadır. Kolorimetrik sensörler de bahsedilen bu etkileşimler sonucunda oluşan renk değişimlerini takip ederek kullanılan bir uygulamadır [3-5].

Bu kapsamda bakıldığında, sensör teknolojisinde kullanılacak yeni kimyasal bileşiklerin geliştirilmesi çalışmaları umut vaat edicidir. Günümüzde gelişen teknolojiye katkı sağlaması açısından da önemlidir. İleri teknolojik uygulamalardaki pek çok alanda kullanılabilme potansiyeline sahip olan ve porfirin sınıfından olan ftalosiyanın (Pcs) kimyasal sensörler alanındaki uygulamalarda kullanımı da ilgi çekicidir. Bu nedenle, bu çalışmada farklı bir ftalosiyanın türü olan sandviç ftalosiyanın bileşiklerinin bu alandaki kullanılabilme potansiyeli incelendi. Bu kapsamda ftalosiyanın ve sandviç ftalosiyanın genel özellikleri aşağıda açıklanmaktadır.

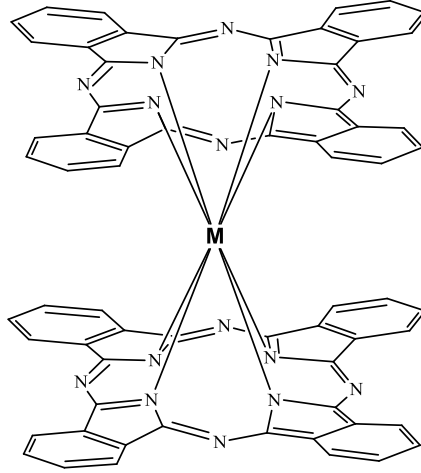
En önemli boyar madde gruplarından olan Pcs ilk kez 1907 yılında Braun ve Tcherniac isimli araştırmacılar tarafından ftalimid ve asetik anhidrit ile o-siyanobenzamid sentezi sırasında yan ürün olarak tesadüfen elde edilmiştir. 1929 yılında Linstead ve arkadaşları ftalosiyanın konusunda çalışmaya başlamışlar ve bu maddenin yapısı, porfirinlerle olan ilişkileri, düzlemsel özellikleri incelenmiştir. Robertson tarafından yapılan X-ray analizleriyle de düzlemselliği kanıtlanmış, boyutları açıklanmıştır. Belirgin renk ve yüksek kararlılık ftalosiyanın iki önemli özelliği olarak belirtilebilir. Ftalosiyanın birçoğunun rengi onun kimyasal yapısına bağlı olarak koyu maviden metalik bronz yeşile kadar çeşitlilik göstermektedir. Ftalosiyanın yüksek termal kararlılığa sahiptirler. Ftalosiyanın bileşiklerinin çoğunun erime noktası tayin edilemediğinden dolayı bilinmemektedir. Ftalosiyanın şekil 1'de de gösterildiği gibi periferel, non-periferel ve aksiyel konumlarından bağlanacak sübstitüye grupların özelliklerine bağlı olarak çözünürlükleri ve özellikleri tamamen değişebilmektedir. Benzer şekilde ftalosiyanın merkezine bağlı metal türlerine bağlı olarak da özellikleri değiştirilebilir [6-9].

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER



Şekil 1: Ftalosiyanın genel gösterimi

Sandviç türü ftalosiyaninler ise ilk olarak 1960'ların ortalarında sentezlenmiştir. İki ftalosiyanin halkası üzerinde delokalize olmuş π orbitalinde ortaklanmamış bir elektron bulunan kararlı radikaller olarak bilinen sandviç ftalosiyanin kompleksleri (Şekil 2), $\text{Ln}^{3+}(\text{Pc}^{2-})(\text{Pc}^{\cdot-})$ ya da $\text{Ln}^{3+}(\text{Pc}_2)^{3-}$ şeklinde gösterilebilmektedir. Bu tür yapılarda güçlü π - π etkileşimleri gözlenir. Sandviç ftalosiyaninler de, oldukça iyi termal ve kimyasal kararlılığa sahiptir. Şekil 1'de monoftalosiyaninlerde gösterildiği gibi sandviç ftalosiyaninlerin periferal ve non-periferal konumlardan bağlı sübtütüye grupların ve metal merkezinin türüne bağlı olarak özellikleri değiştirilebilmektedir [8,10].



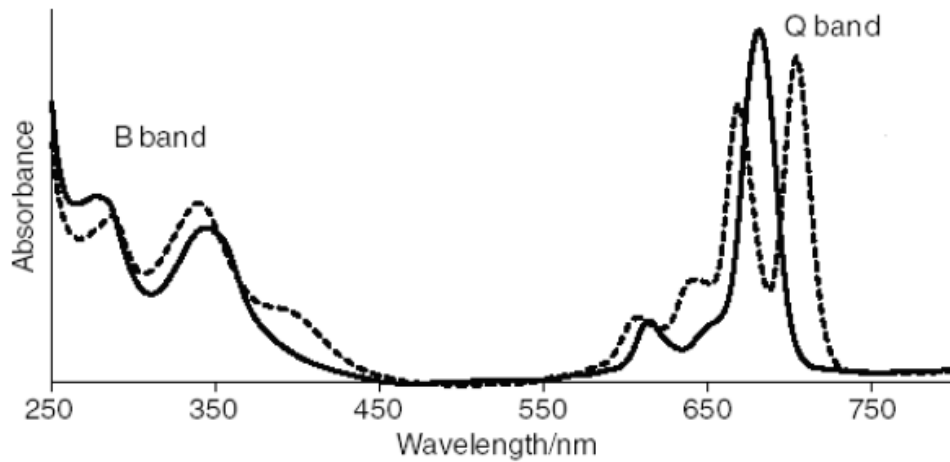
Şekil 2: Sandviç ftalosiyanın genel gösterimi

Ftalosiyaninler halkaya bağlı metal merkezine ve sübtütüentlere bağlı olarak farklı iletkenlik özelliği gösterirler. Ftalosiyaninlerin iletkenliği, aynı zamanda indirgen ve yükseltgen gazlara maruz kaldığında da değişebilir. Eğer belli bir ortamdaki gaz, film tarafından absorplanırsa iletkenliği etkiler ve gazın varlığı iletkenlik değişimi olarak tesbit edilebilir. Akseptör özellikli gazlar, ftalosiyanin iletkenliğinde artışa neden olur ve UV spektrumunda yük transfer bandları olarak ortaya çıkar. Donör özellik gösteren gazlar ise birçok ftalosiyaninin iletkenliğinde azalmaya neden olur. Bu özelliklerinden faydalanarak ftalosiyaninler özellikle *gaz sensör* alanında yaygın kullanım alanı bulmaktadır [6-11].

Sandviç ftalosiyaninler, metalli ftalosiyanin türleriyle karşılaştırıldıklarında çok daha iyi elektrokimyasal ve elektrokromik özelliklere sahiptirler. Bu özellikleri sandviç ftalosiyaninlerin yüksek duyarlılıkta elektrokimyasal sıvı sensörleri ve optik sensörlerin hazırlanmasında önem teşkil eder [8,10,12,13].

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER

Ftalosiyanimler oldukça keskin renkli olup görünür ve ultraviyole bölgede karakteristik absorpsiyon pikleri verirler. Ftalosiyanimler, Şekil 3’de görüldüğü gibi görünür bölgede 600-700 nm’de (Q bandı) ve yaklaşık 300-400 nm’de (B bandı) olmak üzere tipik iki UV-Vis spektrumuna sahiptirler. Ftalosiyanimler’de, ~600-700 nm civarında ortaya çıkan Q-bandı; Pc² halkasının, en yüksek enerjili dolu molekül orbitali’nden (HOMO) en düşük enerjili boş molekül orbitali’ne (LUMO) gerçekleşen π - π^* geçişine ait iken, 300-400 nm civarında ortaya çıkan B bandı daha düşük seviyelerinden (deeper π -levels)→LUMO geçişlerine karşılık gelmektedir. Ftalosiyanimlerin karakteristik Q-bandları metalli veya metallsiz oldukları hakkında bilgi vermektedir. Metalli ftalosiyanimler şiddetli tek band veririrken metallsiz ftalosiyanimler moleküler simetriden dolayı ikiye bölünmüş çift band vermektedir (Şekil 3) [6-9,14].



Şekil 3: Metallsiz (---) ve metalli (—) ftalosiyanim türlerinin UV-Vis spektrumu [14]

Radikalik sandviç ftalosiyanimlerde ise ek olarak π -radikal anyon bandları olan 440-520 nm arasında karakteristik bir omuz ortaya çıkmaktadır. Bu omuz, HOMO (En yüksek enerjili dolu molekül orbital) dan SOMO ya (Singly dolu molekül orbital) ve SOMO dan LUMO ya (En düşük enerjili boş molekül orbital) gerçekleşen geçişler sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, 700 ve 1500 nm arasında Q-bandının yanında da ortaya çıkabilir. Metalli ftalosiyanimlerden farklı olarak UV-Vis spektrumlarındaki bu karakteristik pikler sandviç ftalosiyanim oluşumu hakkında bilgi vermesi yönünden önemlidir [6-9].

Ftalosiyanim halkasına bağlı süstitüye gruplara ve metal merkezinin türüne bağlı olarak bu değerler değişkenlik göstermektedir. Örneğin, elektron sağlayıcı gruplar, HOMO enerji seviyesinde artışa neden olacağından Q-bandının kırmızıya kaymasına neden olmaktadır. Elektron çekici gruplar ise tam karşıt etki göstermektedirler.

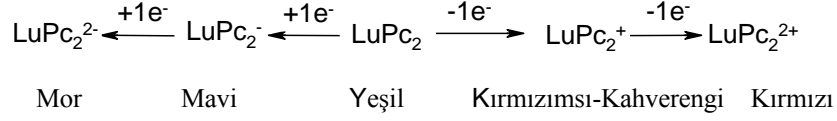
Ftalosiyanim ve türevleri mavi ve yeşil renklerinden dolayı renklendirici olarak yaygın kullanılmalarının yanı sıra, ilginç katalitik, elektronik ve optik özelliklerinden dolayı da çok farklı uygulama alanında görülmektedir. Başlangıçta sadece boyar madde olarak bilinen ftalosiyanimler, son yıllarda sanayinin birçok dalında, özellikle tıpta ve ileri teknolojik ürünlerinin hazırlanmasında çok değişik kullanım alanları bulmuştur [6-9].

Sandviç türü ftalosiyanimlerde bunlara ek olarak; makrohalkaların π -elektron sistemler arasındaki güçlü etkileşimler yüzünden elektrik, manyetik, optik ve elektrokromik özellikleri ile öne çıkmaktadırlar. Bu özellikleri yüzünden son yıllarda bu türlere olan ilgi artmaktadır.

Redoks potansiyelleri incelendiğinde, sandviç ftalosiyanimlerin oksidasyonu metalli ftalosiyanimlerden çok daha kolaydır. Sandviç ftalosiyanim moleküllerinin elektrokimyasal potansiyelleri metal merkez atomuyla ve ftalosiyanim halkasındaki süstitüentlerin varlığıyla etkilenir. Örneğin; oksidasyon elektron verici grupların varlığıyla kolaylaştırılabilir. Lantanid serisinde

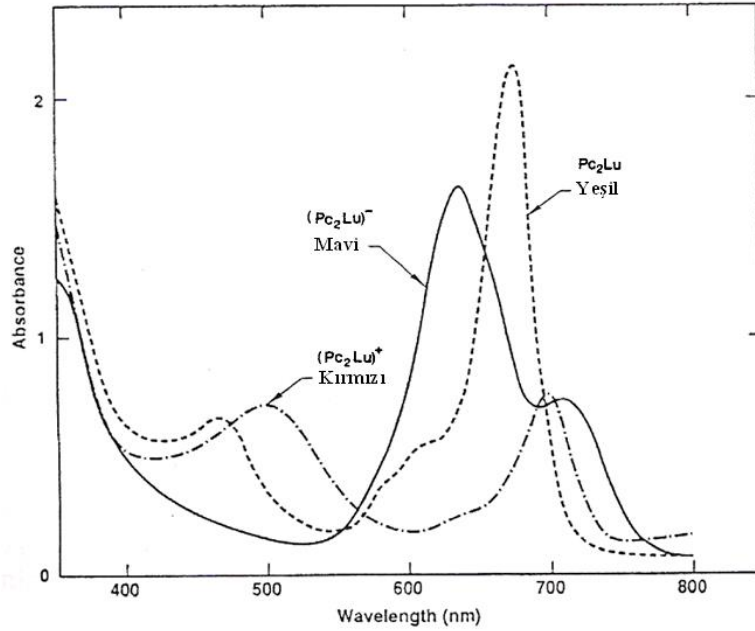
KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER

ilerledikçe daha kolay yükseltgenebilir. Farklı oksidasyon basamaklarındaki renk değişimlerinden kaynaklanan elektrokromik özelliklerinden dolayı sandviç metal kompleksleri elektrokromik display uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Örneğin, aşağıda görüldüğü gibi lutesyum sandviç ftalosiyanın (LuPc_2) farklı oksidasyon basamaklarında farklı renk dönüşümleri gösterebilir (Şekil 4) [8,15,16].



Şekil 4: LuPc_2 bileşiklerinin farklı oksidasyon basamaklarındaki renk değişimlerinin gösterimi [8,16]

Sandviç türü ftalosiyanın bileşiklerinin yükseltgenme ve indirgenme sonrası UV-Vis spektrumlarında da belirgin değişimler gözlenmektedir. Şekil 5'deki örnekte görüldüğü gibi karakteristik piklerde farklılıklar gözlenmektedir [8].



Şekil 5: Nötral, yükseltgenmiş ve indirgenmiş formlardaki lutesyum sandviç bileşiklerinin UV-Vis spektrumları [8,16]

Sandviç ftalosiyaninler, organik yarı iletkenlerdir. Yarı iletken türler, duyarlı malzemeler olarak da kullanılmaktadır. Ftalosiyanın elektronik özellikleri üzerine yapılan teorik çalışmalar HOMO ve LUMO arasındaki enerji aralığının diğer bileşiklerden daha küçük olduğunu göstermişlerdir. Böylece, iletkenlik ölçümleri metali ftalosiyaninlerdekinden daha yüksek değerlerde elde edilebilir. Ftalosiyaninlerin iletkenliği, aynı zamanda indirgen ve yükseltgen gazlara maruz kaldığında değişebilir. Bu özelliklerinden faydalanarak sandviç ftalosiyaninler gaz sensör alanında kullanılmaktadır. Sandviç ftalosiyaninler, elektrokimyasal sensörler olarak da kullanılırlar. İlginç elektrokimyasal davranışlardan dolayı voltametrik sensörlerin hazırlanmasında ilgi çekmektedir [8,11].

Literatürde sandviç lutesyum ftalosiyaninlerin gaz sensör özelliklerinin incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [12,17-19].

Bu çalışmada, karbondioksit (CO_2) ve karbon monoksit (CO) gazları başta olmak üzere lutesyum sandviç ftalosiyanın türlerinin çözelti ortamında kolorimetrik gaz sensör özellikleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Kimyasal

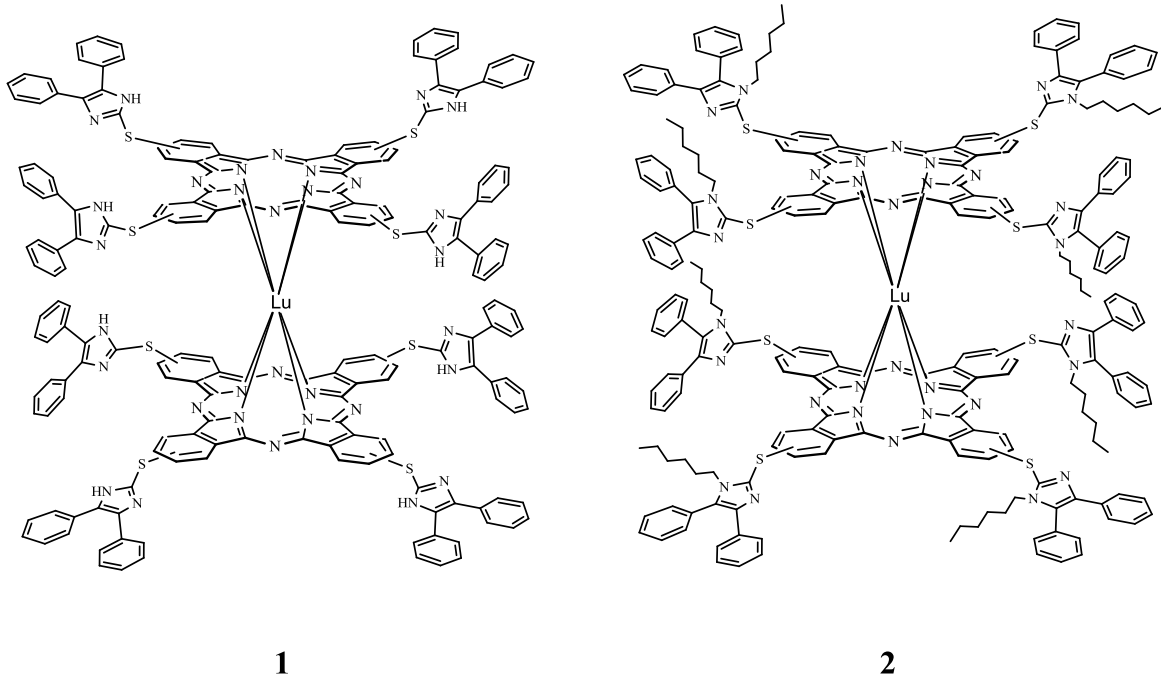
Bu çalışmada kullanılan ftalosiyanın türevleri ilgili literatüre [20] göre hazırlandı. UV-Vis spektrofotometresi ile yapılan ölçümlerde, UV-HPLC spektroskopik çözücüler kullanıldı. Çözelti ortamındaki ftalosiyanın bileşiklerinin; CO₂ ve CO gazları başta olmak üzere bazı gazlara maruz kaldıktan sonraki kolorimetrik ve spektroskopik değişimleri incelendi.

2.2. Spektroskopik Ölçümler

Tüm UV spektrumları, Ocean Optics HR4000 CG UV-NIR UV-VIS spektrofotometresinde ölçüldü.

3. SONUÇLAR

Kolorimetrik gaz sensör özellikleri incelenen lutesyum sandviç ftalosiyanın bileşiklerinin (1, 2) açık yapıları şekil 6'da gösterilmektedir. Bu bileşiklerin ayrı ayrı tetrahidrofuran'da (THF) hazırlanan çözeltileri içerisinde yine ayrı ayrı CO₂ ve CO gazları geçirildi. İçerisinden gaz geçirilen çözeltilerin UV-Vis spektrumları ölçüldü. Ardından, gaz geçirilen çözeltilerden 5 dakika kadar argon gazı geçirilerek ortamdaki gazlar uzaklaştırıldı. Bu işlemler sırasında ayrı ayrı UV-Vis spektrumları ölçülerek incelendi. Bu işlemler sırasındaki renk değişimleri de incelendi. Her bir gaz için sandviç ftalosiyanın bileşiklerinin incelenen kolorimetrik gaz sensör davranışları aşağıda açıklanmıştır.

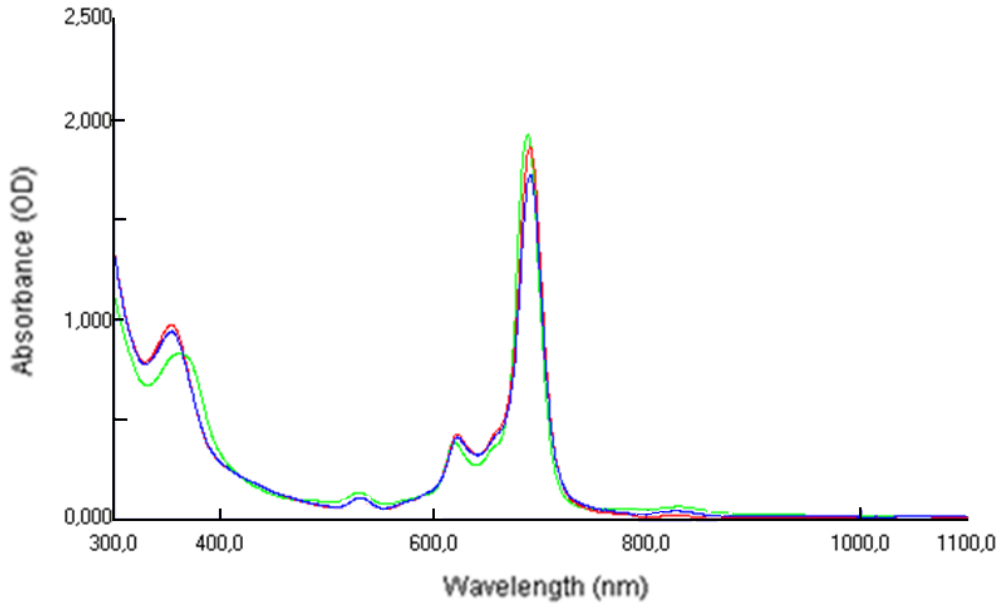


Şekil 6: Lutesyum sandviç ftalosiyanın bileşiklerinin açık yapıları [20]

Sandviç ftalosiyanın bileşiklerinin kolorimetrik CO₂ sensör özellikleri;

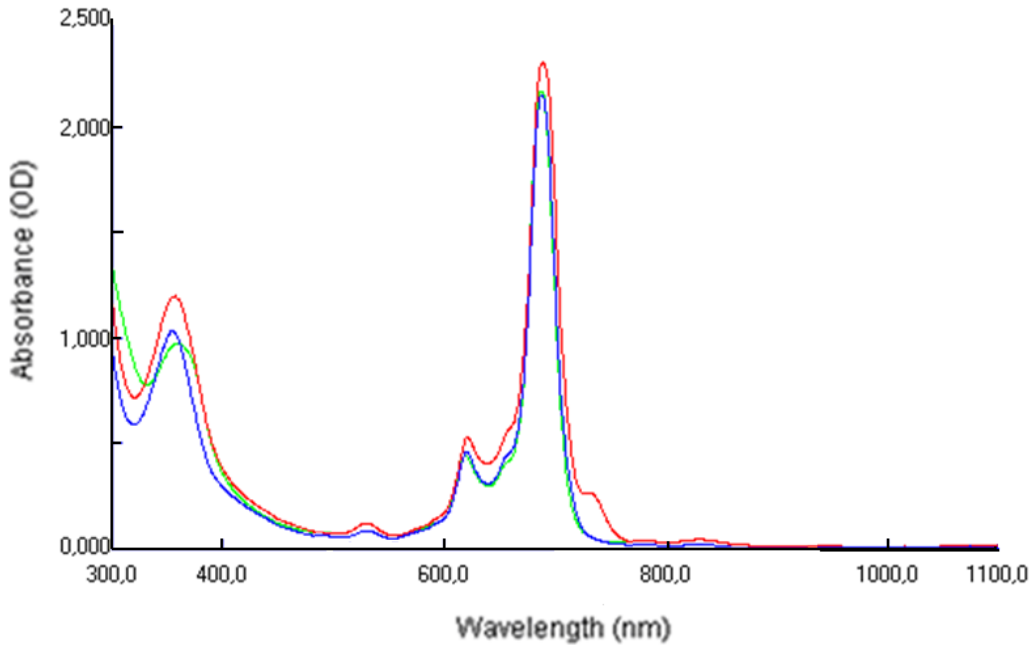
Küresel ısınmaya neden olan ve sera etkisi yaratan CO₂ gazı için lutesyum sandviç ftalosiyanın bileşiklerinin gaz sensör özelliği, CO₂ ve ftalosiyanın bileşiklerinin etkileşiminde kolorimetrik ve spektroskopik değişimleri incelenerek belirlendi.

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER



Şekil 7: Sandviç ftalosiyanın 1 bileşiğinin CO₂ sensör davranışının UV-Vis spektrumu (1 (—); 1 + CO₂ (—); 1 + CO₂ çözeltilisinden CO₂ uzaklaştırıldıktan sonra (—))

1 bileşiğinin ortamdan CO₂ geçirildikten sonra ve ortamdan CO₂ uzaklaştırıldıktan sonraki çözeltilerinin ölçülen UV-Vis spektrumlarında (Şekil 7) ve renklerinde herhangi bir değişim gözlenmedi.



Şekil 8: Sandviç ftalosiyanın 2 bileşiğinin CO₂ sensör davranışının UV-Vis spektrumu (2 (—); 2 + CO₂ (—); 2 + CO₂ çözeltilisinden CO₂ uzaklaştırıldıktan sonra (—))

2 bileşiğinin ortamdan CO₂ geçirildikten sonra ölçülen UV-Vis spektrumunda 731 nm'de yeni bir pik ortaya çıkarken Q-bandında bir miktar kırmızıya kayma gözlemlendi (Şekil 8). Ardından CO₂ içeren çözeltilerden argon gazı geçirilerek ortamdaki CO₂ uzaklaştırıldı ve tekrar UV-Vis spektrumu

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER

ölçüldü. Spektrumdan da görüldüğü gibi ortamdan CO₂ gazı uzaklaştırıldığında 731 nm’de ortaya çıkan omuzun kaybolduğu ve spektrumun eski haline döndüğü gözlemlendi.



Şekil 9: Sandviç ftalosiyanın 2 bileşiğinin CO₂ sensör davranışının renk değişimi (2 (a); 2 + CO₂ (b); 2 + CO₂ çözeltisinden CO₂ uzaklaştırıldıktan sonra (c))

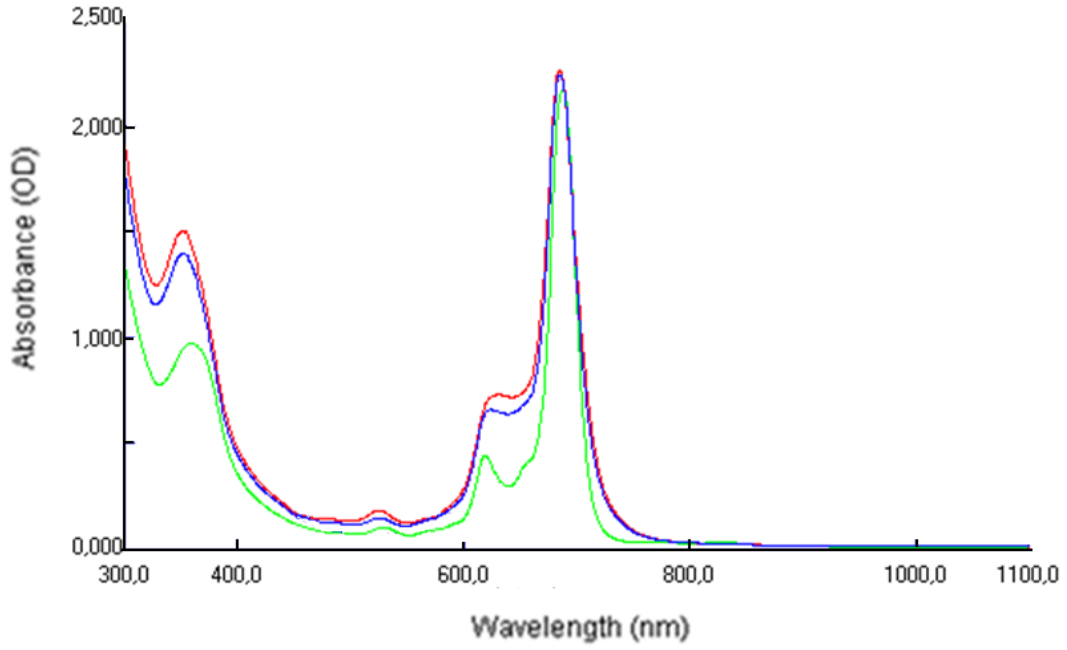
UV-Vis spektrumu ölçülen örneklerin renk değişimleri de incelendi ve şekil 9’da gösterildiği gibi ortamdan CO₂ geçirilen çözeltinin rengi sarımsı-yeşil renge dönüşürken, CO₂’in ortamdan uzaklaştırılması ile çözeltinin rengi eski haline dönüştü. Geri dönüşümlü değişim gösteren bu sistem tekrarlı kullanımlara da olanak sağlamaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre lutesyum sandviç ftalosiyanın 2 bileşiğinin CO₂ gazı için kolorimetrik sensör özelliğine sahip olduğu ve bu tür uygulamalarda kullanılabilme potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sandviç ftalosiyanın bileşiklerinin kolorimetrik CO sensör özellikleri;

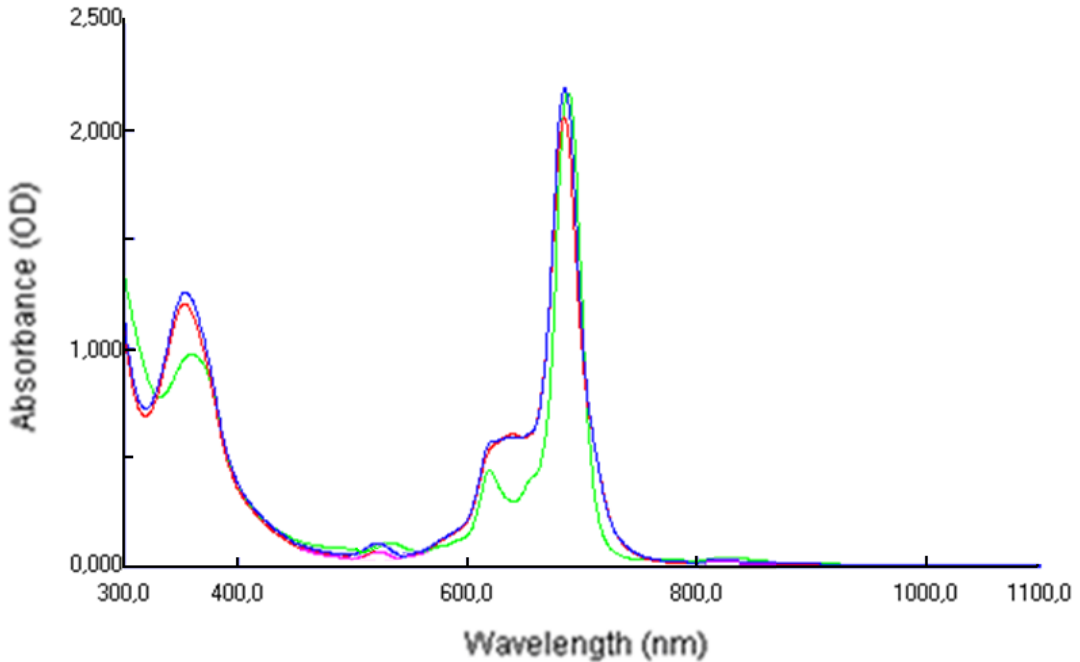
CO gazı için lutesyum sandviç ftalosiyanın bileşiklerinin gaz sensör özelliği, CO ve ftalosiyanın bileşiklerinin etkileşiminde kolorimetrik ve spektroskopik değişimleri incelenerek belirlendi.

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER



Şekil 10: Sandviç ftalosiyanın 1 bileşiğinin CO sensör davranışının UV-Vis spektrumu (1 (—); 1 + CO (—); 1 + CO çözeltisinden CO uzaklaştırıldıktan sonra (—))

1 bileşiğinin ortamdaki CO geçirildikten sonra ve ortamdaki CO uzaklaştırıldıktan sonraki çözeltilerin ölçülen UV-Vis spektrumlarında (Şekil 10) ve renklerinde herhangi bir değişim gözlenmedi.



Şekil 11: Sandviç ftalosiyanın 2 bileşiğinin CO sensör davranışının UV-Vis spektrumu (2 (—); 2 + CO (—); 2 + CO çözeltisinden CO uzaklaştırıldıktan sonra (—))

2 bileşiğinin ortamdaki CO geçirildikten sonra ve ortamdaki CO uzaklaştırıldıktan sonraki çözeltilerin ölçülen UV-Vis spektrumlarında (Şekil 11) kayda değer bir değişim gözlenmezken 400-

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER

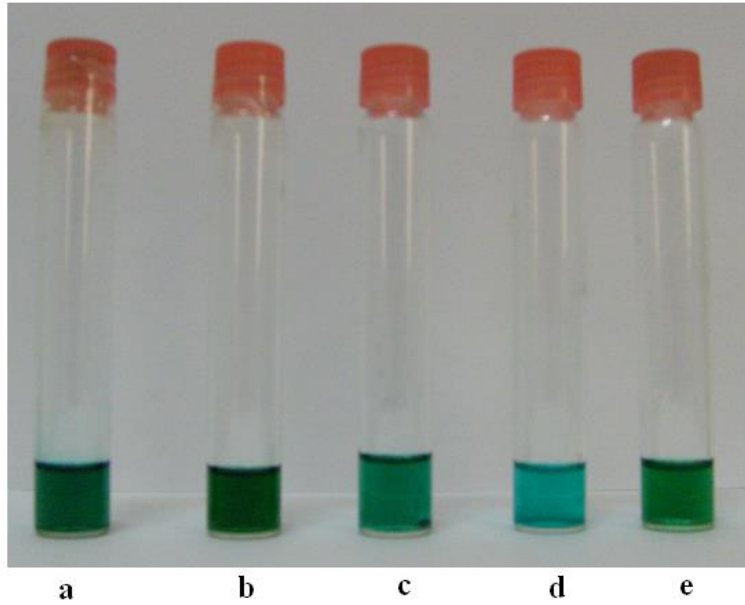
600 nm arasında sandviç ftalosiyanimler için karakteristik olan omuzda çok küçük bir kayma gözlemlendi. Çözeltilerin renklerinde ise herhangi bir değişim gözlemlenmedi.

Elde edilen sonuçlara göre lutesyum sandviç ftalosiyanimin **1** ve **2** bileşiklerinin CO gazı için kayda değer herhangi bir kolorimetrik sensör özelliği göstermediği gözlemlendi.

Sandviç ftalosiyanim bileşiklerinin diğer gazlar için renk dönüşüm özellikleri;

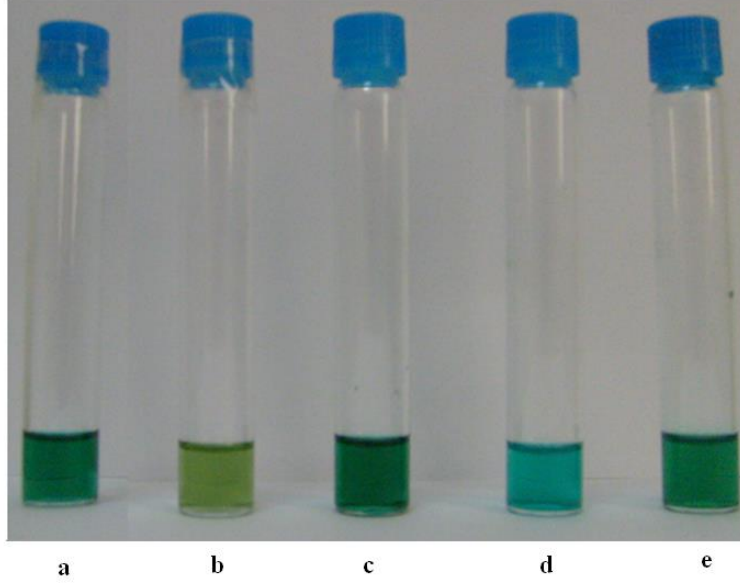
1 ve **2** bileşiklerinin NH_3 ve Cl_2 gazları ile etkileşimi sonucu renk dönüşümü özellikleri incelenmiştir. Şekil 12'de görüldüğü gibi **1** bileşiğinin NH_3 ile gazı ile muamele edildikten sonra renk dönüşümü gözlenirken, Cl_2 ile muamele edildikten sonra herhangi bir renk dönüşümü gözlenmemektedir. Renk dönüşümleri CO_2 ve CO ile elde edilen renk dönüşümleri ile karşılaştırıldığında birbirinden tamamen farklı davranış sergiledikleri gözlenmiştir. Ayrıca **1** bileşiğinin NH_3 ile muamele edildikten sonraki renk dönüşümünün CO_2 ve CO ile olan etkileşimlerinin aksine tersinir olmadığı gözlenmiştir.

2 bileşiğinin NH_3 ve Cl_2 gazları ile muamelesi sonucu **1** bileşiğinkine benzer sonuçlar gözlemlendi. **2** bileşiğinin NH_3 ile gazı ile muamele edildikten sonra mavimsi-yeşil renk dönüşümü gözlenirken, Cl_2 ile muamele edildikten sonra herhangi bir renk dönüşümü gözlenmedi. Renk dönüşümleri CO_2 ve CO ile elde edilen renk dönüşümleri ile karşılaştırıldığında birbirinden tamamen farklı davranış sergiledikleri gözlenmiştir (Şekil 13). **2** bileşiğinin **1** bileşiğinkine benzer şekilde, NH_3 ile muamele edildikten sonraki renk dönüşümünün CO_2 ve CO ile olan etkileşimlerinin aksine tersinir olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 12: Sandviç ftalosiyanimin **1** bileşiğinin farklı gazlar için sensör davranışının renk değişimleri (1 (a); 1 + CO_2 (b); 1 + CO (c); 1 + NH_3 (d); 1 + Cl_2 (e))

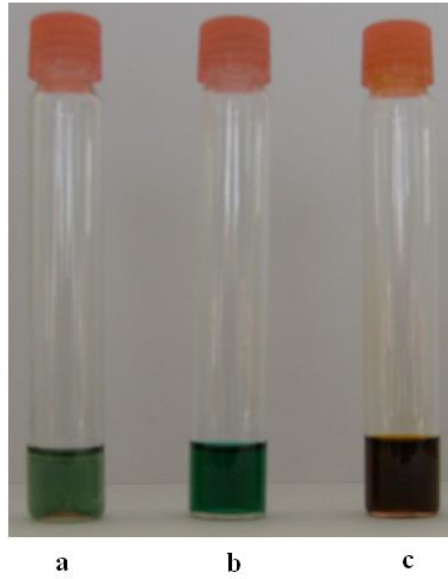
KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER



Şekil 13: Sandviç ftalosiyanın 2 bileşiğinin farklı gazlar için sensör davranışının renk değişimleri (2 (a); 2 + CO₂ (b); 2 + CO (c); 2 + NH₃ (d); 2 + Cl₂ (e))

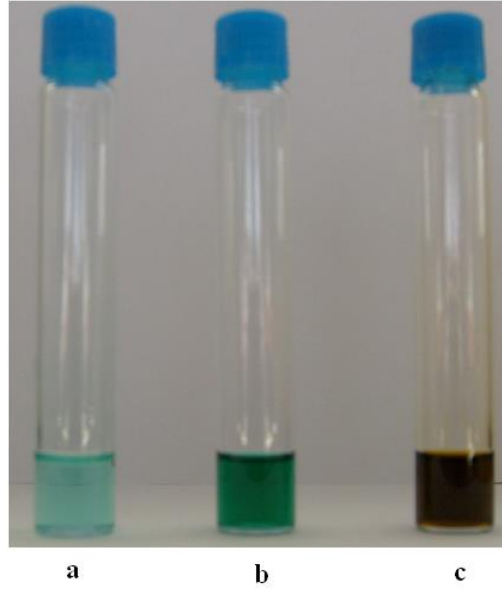
Sandviç ftalosiyanın bileşiklerinin NaBH₄ ve Br₂ ile renk dönüşüm özellikleri;

1 ve 2 bileşiklerinin NaBH₄ ve Br₂ ilavelerinden sonraki renk dönüşümleri incelendiğinde (Şekil 14 ve 15) her iki bileşik içinde renk dönüşümlerinin olduğu gözlemlenmiştir. Fakat renk dönüşümleri tersinir değildir.



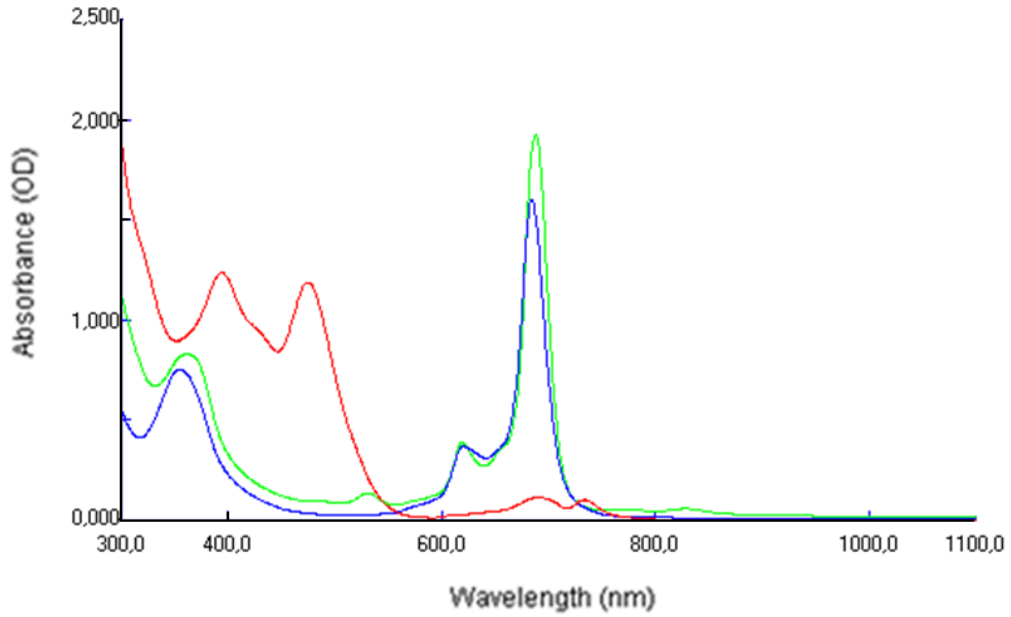
Şekil 14: Sandviç ftalosiyanın 1 bileşiğinin NaBH₄ ve Br₂ ile muamele edildikten sonraki renk değişimleri (1 + NaBH₄ (a); 1 (b); 1 + Br₂ (c))

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER



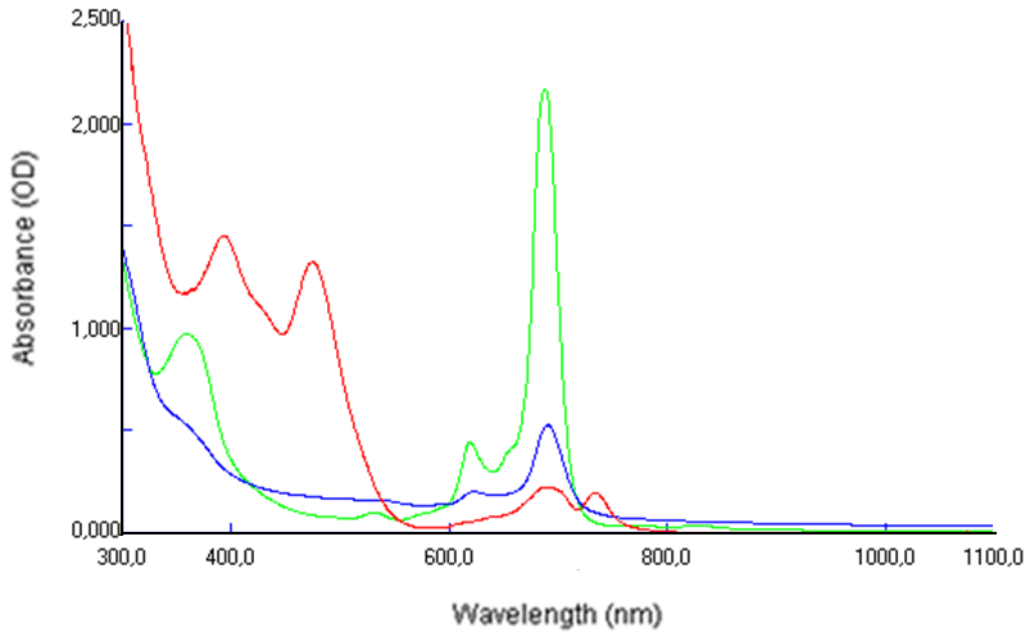
Şekil 15: Sandviç ftalosiyanın 2 bileşiğinin NaBH_4 ve Br_2 ile muamele edildikten sonraki renk değişimleri (2 + NaBH_4 (a); 2 (b); 2 + Br_2 (c))

Yukarıda renk değişimleri incelenen sandviç ftalosiyanın 1 ve 2 bileşiklerinin ayrı ayrı NaBH_4 ve Br_2 ile muamelesinden sonra ölçülen UV-Vis spektrumlarında da belirgin değişimler olduğu gözlenmiştir (Şekil 16 ve 17).



Şekil 16: Sandviç ftalosiyanın 1 bileşiğinin NaBH_4 ve Br_2 ile muamele edildikten sonraki UV-Vis spektrumları (1 (—); 1 + NaBH_4 (—); 1 + Br_2 (—))

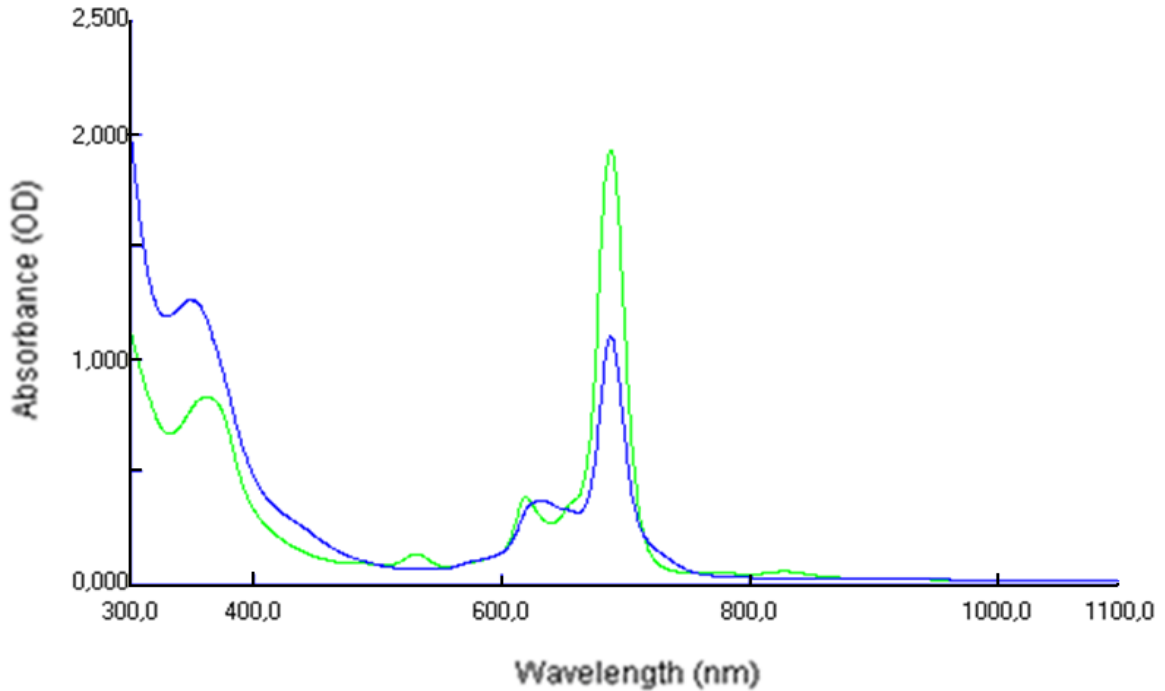
KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER



Şekil 17: Sandviç ftalosiyanin 2 bileşiğinin NaBH₄ ve Br₂ ile muamele edildikten sonraki UV-Vis spektrumları (2 (—); 2 + NaBH₄ (—); 2 + Br₂ (—))

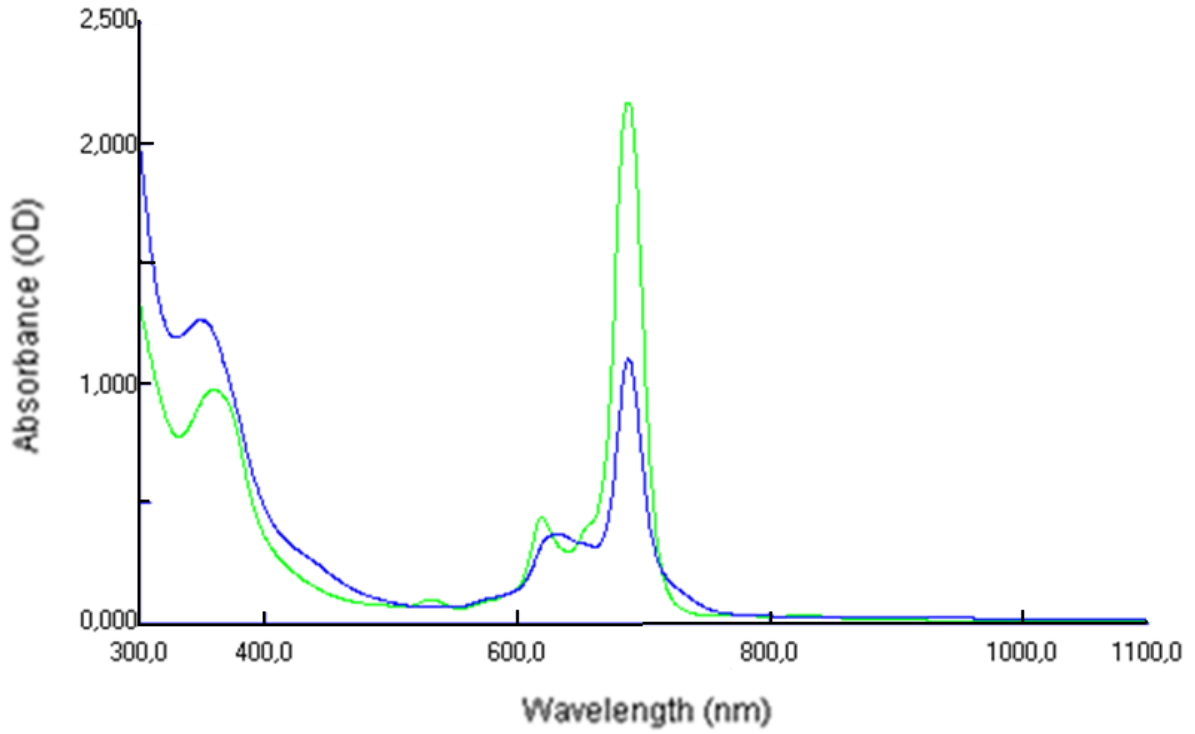
Sandviç ftalosiyanin bileşiklerinin hidrazin hidrat ile spektroskopik değişimi;

İndirgeyici özellik gösteren hidrazin hidrat ile **1** ve **2** bileşikleri muamele edildikten sonra herhangi bir renk değişimi meydana gelmezken indirgenme sonrası ölçülen UV-Vis spektrumlarında belirgin değişimler gözlenmiştir (Şekil 18 ve 19). Spektrumlardan da gözlemediği gibi sandviç ftalosiyanin **1** ve **2** bileşiklerinin indirgendiği fakat herhangi bir renk dönüşümünün olmadığı gözlenmiştir.



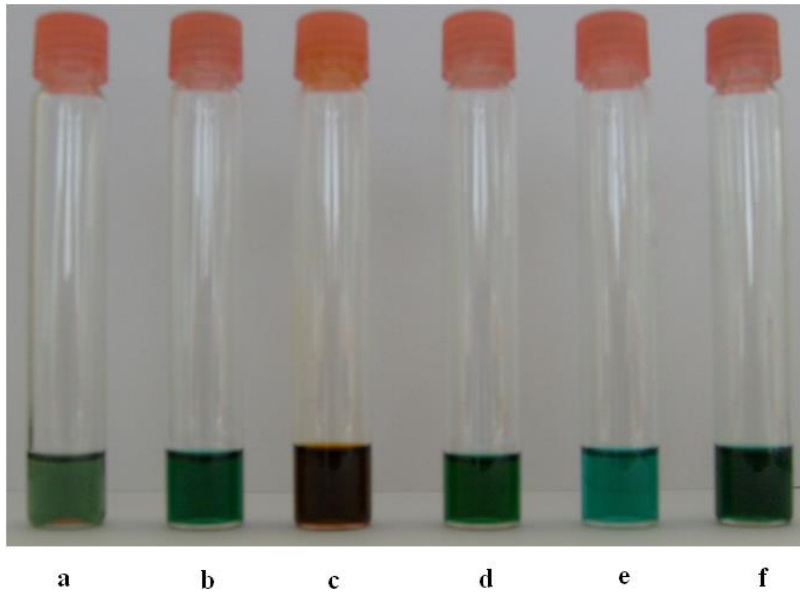
Şekil 18: Sandviç ftalosiyanin 1 bileşiğinin hidrazin hidrat ile UV-Vis spektrumu (1 (—); 1 + hidrazin hidrat (—))

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER

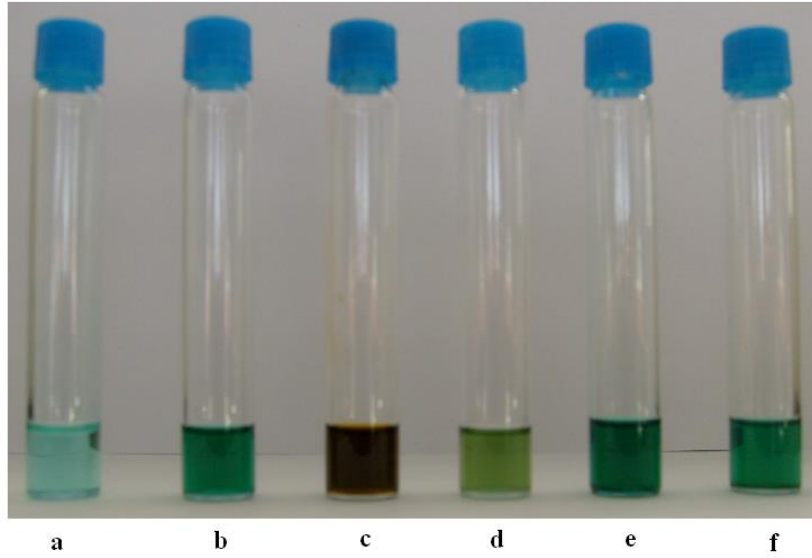


Şekil 19: Sandviç ftalosiyanın 2 bileşiğinin hidrazin hidrat ile UV-Vis spektrumu (2 (—); 2 + hidrazin hidrat (—))

Bu çalışmada, özellikle 2 bileşiğinin CO₂ gazına karşı gösterdiği geri dönüşümlü kalorimetrik gaz sensör özelliği oldukça ilgi çekicidir. Şekil 20 ve şekil 21’de 1 ve 2 bileşiklerinin için incelenen kolorimetrik değişimler toplu olarak gösterilmiştir. Deneysel olarak incelenen, kolorimetrik sensör özelliği gösteren bu sistemler endüstriyel uygulamalar, savunma sanayi ve çevresel uygulamalar başta olmak üzere ileri teknolojinin pek çok alanında kullanılma potansiyeline sahiptir.



Şekil 20: Sandviç ftalosiyanın 1 bileşiğinin farklı ortamlarda çözelti fazındaki renk değişimleri (1 + NaBH₄ (a); 1 (b); 1 + Br₂ (c); 1 + CO₂ (d); 1 + NH₃ (e); 1 + Cl₂ (f))



Şekil 20: Sandviç ftalosiyanın 2 bileşiğinin farklı ortamlarda çözelti fazındaki renk değişimleri (2 + NaBH₄ (a); 2 (b); 2 + Br₂ (c); 2 + CO₂ (d); 2 + NH₃ (e); 2 + Cl₂ (f))

4. KAYNAKÇA

- [1] Ajay Piriya, V.S., Joseph, P., Kiruba, Daniel, S.C.G., Lakshmanan, S., Kinoshita, T., Sivakumar M. (2017). Colorimetric sensors for rapid detection of various analytes. *Materials Science & Engineering C*, 78, 1231-1245.
- [2] Oweyung, R. E., Panzer, M. J., Sonkusale, S. R. (2019). Colorimetric Gas Sensing Washable Threads for Smart Textiles. *Scientific Reports*, 9, 5607-5615.
- [3] LaGasse, M. K., McCormick, K., Li, Z., Khanjian, H., Schilling, M., Suslick, K. S. (2018). Colorimetric sensor arrays: development and application to art conservation. *Journal of the American Institute For Conservation*, 57, 127-140.
- [4] Feng, L., Musto, C. J., Kemling, J. W., Lim, S. H., Zhong, W., Suslick, K. S. (2010). Colorimetric Sensor Array for Determination and Identification of Toxic Industrial Chemicals. *Analytical Chemistry*, 82, 9433-9440.
- [5] Kangas, M. J., Burks, R. M., Atwater, J., Lukowicz, R. M., Williams, P., Holmes, A. E. (2017). Colorimetric Sensor Arrays for the Detection and Identification of Chemical Weapons and Explosives. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 47,138-153.
- [6] Lenzoff, C.C., Lever, A.B.P. (1989). *Phtalocynines Properties and Applications*, Cilt 1, VCH publishers.
- [7] Lenzoff, C.C., Lever, A.B.P. (1993). *Phtalocynines Properties and Applications*, Cilt 2, VCH publishers.
- [8] Lenzoff, C.C., Lever, A.B.P. (1993). *Phtalocynines Properties and Applications*, Cilt 3, VCH publishers.
- [9] Lenzoff, C.C., Lever, A.B.P. (1993). *Phtalocynines Properties and Applications*, Cilt 4, VCH publishers.
- [10] Ishikawa, N., Kaizu, Y. (2002). Synthetic, Spectroscopic and Theoretical Study of Novel Supramolecular Structures Composed of Lanthanide Phthalocyanine Double-Decker Complexes. *Coordination Chemistry Review*, 226, 93-101.

KİMYASAL TEMELLİ YENİ KOLORİMETRİK GAZ SENSÖRLER

[11] Saja, J. A., Rodriguez-Mendez, M. L. (2005). Sensors Based on Double-Decker Rare Earth Phthalocyanines. *Advanced Colloid Interface Science*, 116, 1-11.

[12] Ceyhan, T., Altındal, A., Özkaya, A. R., Erbil, M. K., Bekaroğlu, Ö. (2007). Synthesis, characterization, and electrochemical, electrical and gas sensing properties of a novel tert-butylcalix[4]arene bridged bis double-decker lutetium(III) phthalocyanine. *Polyhedron*, 26, 173-84.

[13] Kobayashi, N. (2002). Dimer, Trimer, and Oligomers of Phthalocyanines and Related Compounds. *Coordination Chemistry Review*, 227, 129-152.

[14] Nyokong, T. (2010). Electronic Spectral and Electrochemical Behavior of Near Infrared Absorbing Metallophthalocyanines. *Structure Bonding*, 135, 45-88.

[15] Ishikawa, N. (2001). Electronic structures and spectral properties of double- and triple-decker phthalocyanine complexes in a localized molecular orbital view. *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*, 5, 87-101.

[16] Yabaş, E. (2011). İmidazol Süstitüye Ftalosiyanınlerin Sentezi Ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Malatya.

[17] Açıkbaş, Y., Evyapan, M., Ceyhan, T., Çapan, R., Bekaroğlu, Ö. (2009). Characterization and organic vapor sensing properties of Langmuir-Blodgett film using a new three oxygen-linked phthalocyanine incorporating lutetium. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 135, 426-429.

[18] Gümrükçü, G., Üstün, Özgür, M., Altındal, A., Özkaya, A. R., Salih, B., Bekaroğlu, Ö. (2011). Synthesis and electrochemical, electrical and gas sensing properties of novel mononuclear metal-free, Zn(II), Ni(II), Co(II), Cu(II), Lu(III) and double-decker Lu(III) phthalocyanines substituted with 2-(2H-1,2,3-benzotriazol-2-yl)-4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl) phenoxy. *Synthetic Metals*, 161, 112-123.

[19] Kılınç, N., Atilla, D., Gürek, A. G., Öztürk, Z. Z., Ahsen, V. (2009). Volatile organic compounds sensing properties of tetrakis(alkylthio)-substituted lutetium(III) bisphthalocyanines thin films. *Talanta*, 80, 263-268.

[20] Yabaş, E., Sülü, M., Dumludağ, F., Özkaya, A. R., Salih, B., Bekaroğlu, Ö. (2012). Electrical and electrochemical properties of double-decker Lu(III) and Eu(III) phthalocyanines with four imidazoles and N-alkylated imidazoles. *Polyhedron*, 42, 196-206.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

Gökhan Açıkbaz^{1*}, Nurcan Çalış Açıkbaz²

^{1*} Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Merkez, Bilecik

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Merkez, Bilecik

gokhan.acikbas@bilecik.edu.tr

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Bu çalışmada seramik sağlık gereçleri üretim süreci ve üretilen ürünlere, karşılaşılan bazı üretim sorunlara ve kalite kontrol işlemlerine dair bilgiler verilecektir.

1.1. Seramik Sağlık Gereçleri

Seramik sektörü geleneksel seramikler ve teknik seramikler adı altında iki grupta toplanmaktadır. Geleneksel seramikler, metal oksit bileşiklerini içeren kaolin, kil, feldspat, kuvars, dolomit, kalsit, ve benzeri inorganik hammaddelerin belirli miktarlarda karıştırılıp şekillendirilerek yüksek sıcaklıklarda sinterlenmesi ile elde edilen ürünlerdir. Seramik sağlık gereci ürünleri, özellikle banyolarda ve mutfaklarda kullanılan lavabolar, klozetler, rezervuarlar gibi inşaat sektörünün girdisi olan malzemeleri, modern bilim ve teknolojinin ürünlerini ve teknolojilerini üreten sektörlerden biridir. Seramik sağlık gereçleri sektöründe, dünya üzerinde büyük küresel üreticiler ön saflarda yer almakta ve Türkiye deki üreticilerde her geçen gün artan Ar-Ge altyapısı ve bilgi birikimi ile bu pastadaki payını arttırmaya çalışmaktadır. Seramik sağlık gereçleri üretimi tüm üreticiler düşünüldüğünde yılda yaklaşık 200 milyon adettir. Bu nedenle seramik sağlık gereçleri sektörü ülkemiz için önem arz eden bir konumda olup burada seramik sağlık gereçleri üretim süreci incelenecektir.[1, 2].

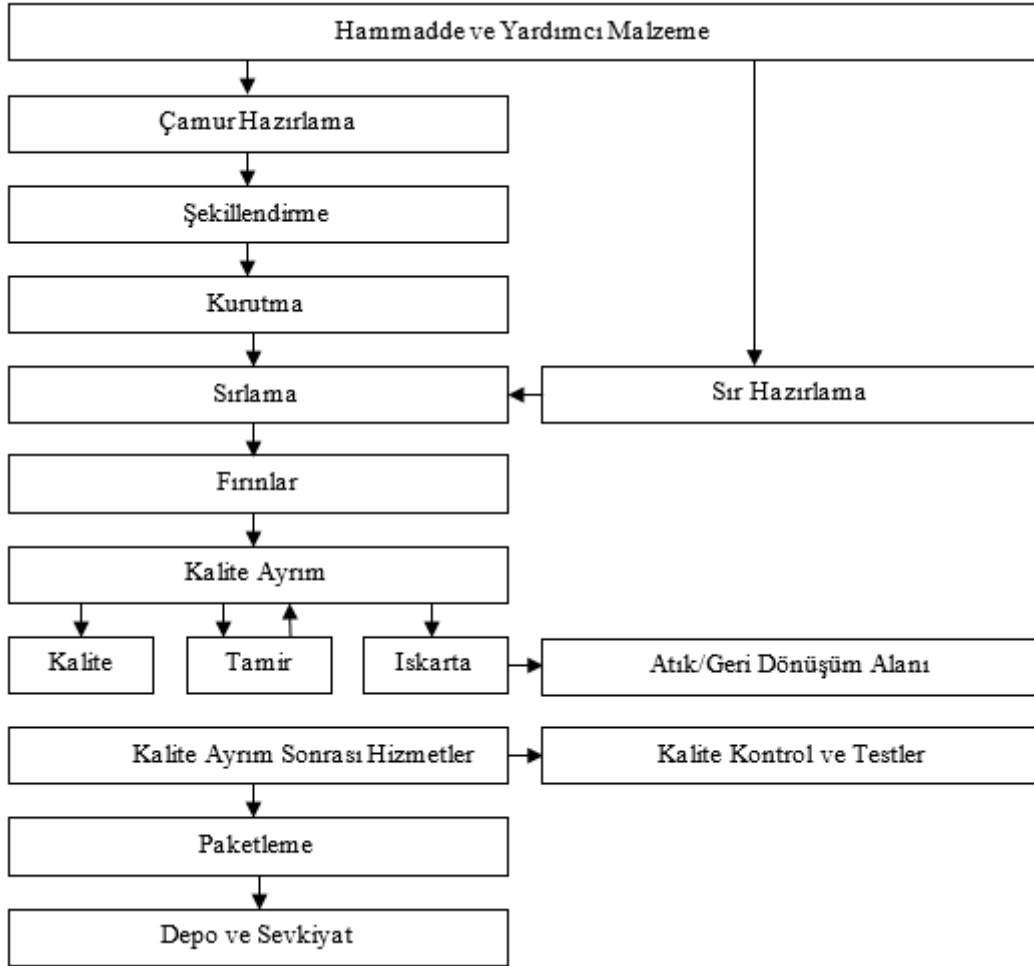
1.2. Seramik Sağlık Gereci Üretim Süreci

Seramik sağlık gereçleri üretim akış şeması incelendiğinde bu süreç firmaya hammadde temini ve hammaddelerin stoklanması ile başlamakta olup firma bir önceki yılda yapmış olduğu stratejik plana göre üretim miktarlarını ve buna göre de temin edeceği hammaddeyi aylık/belirlenmiş sürelerde temin etmektedir. Seramik sağlık gereçleri ürünleri incelendiğinde sırlık, çamurluk ve yardımcı malzemeler başlığı altında bu hammaddeleri toplamak mümkündür. Hammadde temini sonrasında gerekli kontroller ve denemeler firmada bulunan geliştirme/ araştırma-geliştirme birimi tarafından gerçekleştirilir. Temin edilen hammaddeler ve yardımcı malzemeler kontroller sonrası sıvı ve çamur hazırlama departmanlarında bulunan stok alanlarında depolanır. Çamur Hazırlama kısmın genel iki tip çamur üretimi yapılır. Bunlardan biri 'vitreous china' VC çamuru diğeri 'fine fire clay' FFC çamurudur. Çamur reçetesine uygun olarak hammaddeler tartılır. İlk olarak özsüz hammaddeler ve bir miktar özlü hammadde ve su ve yardımcı malzemelerle değirmenlerde öğütme işlemine tabi tutulur sonrasında özlü hammaddeler su ve yardımcı malzemelerle birlikte belirli bir sırada açıcılarda birlikte karıştırılarak değirmen çamuru ile karıştırılıp istenilen çamur karışımı elde edilir. Açıcıdaki çamur belirli bir hızda karıştırılarak dinlenme için ara stok havuzlarına miknatıslardan ve eleklerden geçirilerek depolanır. Ara stok havuzlarında hem dinlenen çamur hemde düşük hızda da olsa karıştırılan çamur ana stoklara buradanda tüketime bağlı olarak işletme stok havuzlarına alınarak döküm için hazır hale getirilir. Döküm işlemi alçı ve basınçlı polimer kalıplarda olmak üzere iki

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

sistemde şekillendirme gerçekleştirilir. Şekillendirilen ürünler şartlandırılmış ortam koşullarında bir miktar kurutulur ve bu esnada rötüş işlemleri yapılarak kurutma fırınlarına girer buradan çıkan ürünler sırlama işlemine hazır hale getirilmiş olur. Sırlama hazırlama departmanında reçeteye göre özlü ve yüksek miktarda özsüz daha saf ve ve fazla hammadde kullanılarak hammaddeler değirmenlerde hem karıştırma hemde öğütme işlemine tabi tutularak hazırlanır. Hazırlanan sır işletmelerden gelen isteğe bağlı olarak işletmelerdeki sırlama birimlerinde kurutulmuş ürünlere robot, manuel ve elektrostatik sırlama gibi yöntemler kullanılarak uygulanır.

Sırlama sonrası ürünler sinterleme işlemi için fırınlar bölgesine taşınarak bu fırınlarda 10-20 saat arasında 1190-1250 °C sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutularak son sertliklerine ulaşırlar. Fırında çıkan ürünler kalite kontrol birimine gönderilerek burada her bir ürün belirli kalite parametreleri dahilinde kontrol edilerek ıskarta, tamir yada kalite verilerek sonraki aşama geçerler, ıskarta ürünler atık alanına tamir ürünlerde hatanın boyutu, şekli ve yerine göre sıcak yada soğuk tamire giderler. Kalite alan ürünler öncelikle kalite ayırım sonrası işlemlere ve buradanda paketleme alanına sonrasında depo ve sevkiyat alanına gönderilerek ürünler müşteri ile buluşturulur. Belirli zamanlarda ürünlerin fonksiyon testleri, boyut kontrolleri ve benzeri işlemler ilgili birimler tarafından gerçekleştirilir. Seramik sağlık gereci üretim iş akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Seramik sağlık gereci üretim iş akış şeması

1.2.1. Hammaddeler ve Hammadde Stok Alanı

Seramik sağlık gereci ürünlerin üretiminde en temel maliyet kaynaklarının başında hammadde gelir. Seramik hammaddeleri özlü, özsüz olarak iki gruba ayrılrsa da 3. cü bir grup olarak kullanımı daha az olan yardımcı hammaddeler i bu gruba ekleyerek sınıflandırmayı genişletebiliriz. Seramik sağlık gereci üretiminde hammaddenin özellikleri ürünün döküm yöntemiyle üretilmesi

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

açısından önemlidir. Bu nedenle üretim problemlerinin daha az yaşanması açısından özellikle özlü hammaddeler önceden işlem görmüş olarak alınır. Hammadde gelişlerinde, gelen hammaddeye gerekli testler Ar-Ge tarafından yapılarak, standart değer aralığında olup olmadığı kontrol edilir. Kabul edilen yeni hammaddelerden gerekli analiz, kontroller ve işletme denemesi yapılarak, son ürün hammadde kabulü için değerlendirmeye tabi tutulup hammadde kullanımına karar verilir[3].

Seramik sağlık gereci üretiminde VC çamuru ve FFC çamuru olmak üzere iki tip çamur kullanılır. FFC çamurunun VC çamurundan farkı daha refrakter karakterli bir çamur olup büyük boyutlu ürünlerin üretilmesine izin vermesidir. Fakat getirdiği bu avantajın yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Aşağıda FFC ve VC çamurunda kullanılan hammaddeler aşağıda Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: Çamur Hazırlamada Kullanılan Hammaddeler

VC Çamuru			FFC Çamuru		
Özlü Hammadde	Özsüz Hammadde	Yardımcı Hammadde/ Malzemeler	Özlü Hammadde	Özsüz Hammadde	Yardımcı Hammadde/ Malzemeler
Kil	Kuvars	Na-Silikat	Kil	Kuvars	Na-Silikat
Kaolin	Feldspat	BaCO ₃	Kaolin	Feldspat	BaCO ₃
		Soda		Molokit	CaCl ₂
	vb.		Şamot	Soda
				vb.

Bu hammaddeler reçeteye uygun olarak belirli dönemlerde hammadde stok sahalarında depolanır. Hammadde depolamada öncelik işlemi daha fazla kullanılan hammaddeler değirmen ve açıcılara daha yakın olan hammadde stok bölgelerine konur. Hammadde stok alanından her gün ilgili birimler(ar-ge ve çamur hazırlama) tarafından nem kontrolü için örnekler alınarak nem değerleri hesaplanarak değirmen ve açıcılarda su verilirken bu veriler göz önüne alınarak yapılır. Hammadde alanından değirmen ve açıcılara konveyör bant ile taşınan hammaddeler değirmene girmeden önce elektrostatik mıknatıslardan geçer ve belirli sürelerde ilgili süreç personel tarafından da kontrol edilir.

Hammaddenin açıcı ve değirmenlere beslenmesinde kutulu yada otomatik besleme sistemleri kullanılarak besleme işlemi yapılır. Aşağıda Şekil 2’de kutulu besleme sistemine bir örnek verilmiştir[4].



Şekil 2 : Kutulu besleme sistemi[4]

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

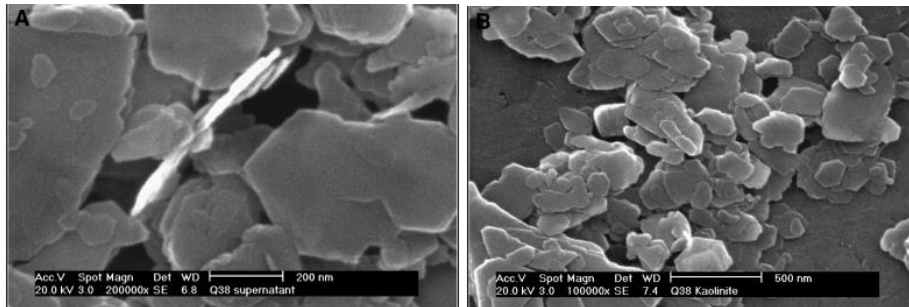
1.2.1.1 Kil-Kaolin

En eski seramik hammaddesi hiç şüphesiz ki kildir. Kil, suyla karıştırıldığında tutarlı, yapışkan bir kütle oluşturan bir toprak olarak tanımlanmıştır; Islandığında ise bu kütle kolayca kalıplanabilir, fakat kurursa sertleşir, kırılğan hale gelir ve aldığı şekli korur[5].

Seramik hammadde olarak kil mineralleri mineralojik açıdan tabaka yapılı silikat mineralleridir. Bilindiği üzere kil ve kil mineralleri ayrı tanımlamalardır. Genel olarak bu mineralin öteden beri mineralojik sınıflandırması ve isimlendirilmesi her zaman tartışma konusu olmuştur ve halen üzerinde tartışmalar devam etmektedir. Seramik kil grubu hammaddelerinin elde edildiği yataklar ise oluşum koşullarına göre birincil(yerinde) veya ikincil(sedimanter) yataklar olarak tanımlanmaktadır. Bulunduğu yerde oluşmamış olan ikincil oluşum killeri, bir takım etkilerle taşınarak depolanmış olduğu için tane boyutu birincil oluşum olan killere göre daha küçüktür ve bu nedenle plastikliği yüksek olan bu tipteki kil hammaddeleri İngilizce tabir olarak ball clay olarak ifade edilirken bizde ise ball kili yerine seramik killeri veya sadece kil olarak adlandırılmıştır. Yerinde olan birincil oluşum kil olan kaolinit minerallerinin başat mineral olarak bulunduğu killeri ise “kaolinit” İngiltere’de ve literatürde ise çin kil china clay olarak adlandırılmaktadır bizde karşılığı Düvertepe kili yada sadece Kaolin dir. Şekil 3’de kaolinit mineraline ait mikroyapı resmi görülmektedir. Kaolinit mineralini levha yapılı olduğu, en büyük boyutunun 1000nm nin altında olup mikroyapıda iken, en küçük boyutu ise nanoboyutta tadır[6-8].

Seramik endüstrisinde kullanılan kil ve kaolin mineralojik açıdan kaolinit mineral içermekte olup, kaolinler daha saf, temiz, beyaz renkli ve birincil oluşum bir hammadde iken, killeri daha fazla organik, inorganik safsızlık içeren, daha ince parçacık boyutlu, daha plastik, ikincil oluşum bir hammadde kaynağıdır. Temel olarak saf bir kaolinit mineralinin bileşimi ~%46,5 SiO₂, ~%39,5 Al₂O₃, ~%14 H₂O içerir. Mineralin saflık derecesi, yapısına giren alkali(Na, K,..) ve toprak alkali iyonlar(Ca, Mg,...) ile Fe₂O₃, TiO₂ gibi renk verici oksitler ve organik madde içeriğine bağlı olarak düşer. Kaolin hammaddesi bu nedenle daha beyaz ürünler elde etmede tercih edilirken, killere göre plastikliğinin düşük oluşu da dezavantajdır. Bu nedenle seramik üretiminde kil ve kaolin hammaddesi birlikte kullanılır. Kullanılan kil ve kaolinin temininde firmalar hammadde üreticileri hammadde kalitesinde değişkenliği azaltmak için birden fazla yataktan aldıkları farklı türdeki kil ve kaolinlerin karışımını kullanarak bu hammaddeleri üretirler böylece bir yatağın bitmesi sonucu bir başka yatak karışıma alınarak değişkenliğin minimum düzeyde tutulması sağlanır.

Seramik kompozisyonlarında kullanılan kil-kaolin hammaddesinin miktarı ve türü, viskozite, tiksotropi, kalınlık alma süresi, plastiklik, yaş mukavemet, kuru küçülme, vb. çamur karakteristikleri ile ilgili değişikliklerin yapılmasında kullanılır. Plastiklik özelliği yüksek killeri kullandıkça seramik ürünün küçülmesi artarken, kurumada kaynaklı sıkıntılarda artar. Bu hammaddeler içerdikleri yüksek alümina ve az miktardaki mika ve/veya feldspat içeriklerinden dolayı seramik bünyenin pişme sıcaklığını artırırlar[2].



Şekil 3: Kaolinit mineraline ait mikroyapı resmi a) 200.000x b)100.000x,(7)

Özel ve Hopa yapmış oldukları çalışmada iki farklı kaolin hammaddesinin sabit bir değerde farklı oranları kullanılarak reçeteler oluşturulmuş, kaolin türünün piropplastik deformasyona etkisi oluşan camsı faz kompozisyonu ve kimyasal yapısına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Alkali oksit içeriği yüksek olan kaolinin camsı faz miktarını arttığı, benzer kristal ve cam faz içeriğine sahip

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

reçete kompozisyonlarının farklı piropplastik davranış sergilediklerini ve bu durumunu camı faz kompozisyonundan kaynaklı olduğunu belirlemişlerdir. Koalin türü ve miktarının ayarlanması ile seramik bünyenin fiziksel özelliklerinin kontrol edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır[9].

1.2.1.2 Kuvars

Kuvarşa zengin magmatik, metamorfik kayaların ayrışması neticesinde meydana gelen, tane boyutu 2.00 mm ile -50 µm arasında değişen kuvars tanelerinden oluşmaktadır. Kuvars kumu oldukça beyaz renkli olup, ihtiva ettiği demir oksit içeriğine bağlı olarak rengi pembe tonlarından kırmızı tonlarına yada kahverengi tonlarına kadar değişmektedir. Silisten oluşan kuvars kumu az miktarda kil, feldspat, demir oksitler ve karbonatlar içerebilirler Beyaz renkli daha saf ve ince seramik üretiminde kullanılırken rengi daha sütlü kahveye kayan tonları ve kaba boyutlu hali çamur üretiminde kullanılır[10].

Seramik sağlık gereçleri reçetesinde kullanılan sert ve özgül kütle önemli bir hammadde olup VC çamurunda yüksek miktarlarda kullanılırken, FFC çamurunda ise daha düşük miktarlarda kullanılır. Seramik çamurunda, plastik bir malzeme olmadığı için plastikliği azalır ve çamurun plastikliğini düzenler. Safsızlık olarak düşük miktarda demirli ve titanyumlu bileşikler içerdiği için son ürünün beyazlığını artırır. Seramik bünyenin termal genleşme katsayısını değiştirmeye imkan verir. Seramik bünyenin sinterleme sıcaklığını artırır. Seramik çamurunda diğer hammaddelerle birlikte, kısmen feldspatik cam, mullit ve kalıntı kuvars ile birlikte seramik bünyenin iskeletinin oluşturur.

Silika molekülü, SiO₂ kuvars, tridimit ve kristobalit olmak üzere farklı kristalin formlarda bulunur. Bunların dışında amorf silika olarak camı yapıda bulunmaktadır. Kuvarsın sıcaklığa bağlı olarak oluşan farklı allotropik formları olsada gerçekte sıcaklık tek başına bir alotropik formdan diğerine dönüşüm için yeterli değildir. Aslında yapıda katalizör görevi gören alkali ve toprak alkali hammadde kaynaklarına ihtiyaç vardır. Seramik bünyede, bir fazdan diğerine dönüşüm hızı da kuvars taneciklerinin inceliği ile büyük oranda düzenlenebilir. Çoğu endüstriyel üretimde kuvarsın 573 °C alfa ve beta karşılıklı dönüşümleri önem taşır. Çünkü bu sıcaklıkta hacimde hızlı bir değişim meydana gelir. Bu faz dönüşümü, parça hacminin tamamında eşzamanlı olarak gerçekleşmezse seramik gövdesinin kırılmasına neden olabilir. Bu durum, özellikle sağlık gereci üretiminde, pişirim ve yeniden pişirim eğrisini büyük ölçüde etkiler.

Bragança ve ark. ları farklı kuvars tane boyutlarının seramik porselen bünyenin mukavemet ve kırılma tokluğu üzerine etkisini araştırmışlar kuvars tane boyutu küçüldükçe kırılma tokluğu ve mukavemetinin belirli bir noktaya kadar arttığını sonrasında ise azaldığını göstermişlerdir. Tokluk artışının camı matrisin mikroçatlak toklaştırması kaynaklı olduğu, mikro çatlakların ise soğuma esnasında kuvars partikülleri ile camı matris arasında oluşan termal uyumsuzluk kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Yapılan denemelerde ideal kuvars tane boyutunun 20-30 µm aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Özel ve ark. ları yapmış oldukları çalışmada feldspat ve kuvars gibi sert hammadde tane boyutlarının seramik ürünün piropplastik deformasyonu ve fiziksel özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Tane boyutu düşürülen kuvars ve feldspat gibi sert hammaddelerin seramik bünyenin sinterlenme davranışı etkilediğini göstermişlerdir. Özellikle düşük sinterlenme sıcaklıklarında çalışma ile standarda göre düşük piropplastik deformasyon elde edilebildiğini belirtmişlerdir. Tüm mekaniksel, fiziksel ve mikroyapısal sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde öğütme ile sert hammadde boyutlarının azaltılması ile, pişirim sıcaklığı düşürülebileceği, düşük su emmeye, yüksek mukavemet değerine sahip sağlık gereci porseleni üretilebileceği sonucuna varılmışlardır. Kuvars ve benzeri özgül kütle hammaddeler üzerine yapılmış birçok çalışma düşünüldüğünde, seramik üretimi dahil birçok sektör için önemli, oldukça ucuz ve kolay temin edilebilir bir hammadde kaynağıdır[11, 12].

1.2.1.3 Feldspat (Na-K-Li)

Feldspatlar yer kabuğunda en fazla bulunan mineral grubudur. Yer kabuğunun hemem hemen %50'sini oluşturan feldspat grubu mineraller, metamorfik ve magmatik kayaların %90'ını, ikincil oluşum sedimanter kayaların ise %10'unu oluşturur. Feldspatlar, oluşum özelliklerine ve izomorf

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

karışımlarına bağlı olarak plajiyoklazlar ve alkali feldspatlar olmak üzere ikiye başlık altında toplanır[9].

Feldspat, alkali yada toprak alkaliden oluşan bir alümina silikat yapıli hammaddelelerdir. Sodyum feldspat olarak bilinen albit($\text{Na}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.6\text{SiO}_2$) ve potasyum feldspat olarak bilinen ortoklaz($\text{K}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.6\text{SiO}_2$) seramik sağlık gereçleri endüstrisinde en yaygın olarak kullanılanlarıdır. Bu en endüstride kullanılan feldspatlar asla saf değildir ve genel olarak albit ve ortoklazın birlikte kullanımını ile yapıya bir miktar kuvars ve anortitte girer. Potasyum feldspat vitrifiye bünye geniş bir erime intervali sapladığı için yüksek viskoziteli bir camlaşma sağlayarak ürün piroplastik deformasyonu ve sonuç olarak son ürün özelliklerini olumlu etkiler. Saf potasyum feldspat 1150 °C uyumsuz bir erime davranışı gösterirken, saf sodyum feldspat 1118 °C'de oldukça uyumlu bir erime davranışı gösterir buda daha düşük viskoziteli cam oluşumuna dar bir erime intervaline neden olur. Seramik ürünlerdeki camsı fazın viskozitesi feldspatın ergimesi ile kontrol edilir ki bu kontrolde feldspat hammaddesinin tipi, miktarı ve tane boyutu etkilidir. Feldspat seramik bünyenin pişmesinde kuvars ile birlikte cam fazı oluşturarak bünyenin mukavemet gücünü artırır[2, 3].

1.2.1.4 Şamot

Şamot, kaolinin döner fırında yüksek sıcaklıkta (1350-1400 °C) pişirilmesi ve pişirilen ürünün kontrollü bir termal genişleme ve boyut dağılımı elde etmek için öğütülmesi sonucu elde edilen endüstriyel bir hammaddelelerdir. 20-25 yıl öncesine kadar ağırlıklı olarak refrakter sanayinde kullanılırken son yıllarda seramik sanayinde de yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. Şamot nispeten yüksek bir termal genişleme değerine sahip olup bu değer 600 °C'de ~%0.4 dür. Bu durum, seramik bünyede yüksek miktarda kuvarsa ihtiyaç duymadan bünye ile sır genişleme uyumu sağlayarak çatlama eğilimini minimize etmede yardımcı olur. Endüstriyel uygulamalarda şamot miktarı azaltılarak yerine atık seramik ürünler öğütülerek kullanılabilirlerdir. Özellikle son zamanlarda yurtdışı kaynaklı hammaddelere yönelik alternatif ürünler geliştirmek üzere çok fazla çalışma olup şamot'a yönelik çalışmalarda mevcuttur. Şamot seramik bünyeye daha refrakter bir özellik katarak pişme sıcaklığını yükseltse de daha büyük boyutlu ürünlerin üretimindeki deformasyon problemin alt edebilmek için tercih edilmektedir. Getirdiği bu avantajlar yanında su emmeyi artırarak daha poroz yapıli bir bünye oluşturması sonucu ürün özelliklerini olumsuz etkilemesi ise en önemli dezavantajıdır. Şamot, sahip olduğu yüksek miktardaki müllit fazı nedeniyle önemini artırırken kristobalit gibi genişlemesi yüksek istenmeyen faz ile birlikte bir miktar kuvars fazıda içermektedir. Şamot hammaddesi VC bünye reçetesinde yer alan bir kısım kuvars ve feldspat hammaddesinin yerine girerek FFC bünye reçetesini oluşturur. Şamot tane boyutu azaltılması ile seramik bünyenin su tutma kapasitesini ve dolayısıyla yaş ve pişme küçülmesini artırır. Pişmiş bünyenin mekanik dayanımını ve deformasyonu artırır. Pişmiş ürünün porosite miktarını azaltıp termal şok direncini düşürür. Yaş ürüne daha iyi bir yüzey kalitesi verir[2, 13].

1.2.1.5 Baryum Karbonat

Vitrifiye çamurunda, BaCO_3 sülfat seviyesini kontrol etmek için kullanılan yardımcı bir malzemedir. BaCO_3 kullanımının ana ve alt nedenleri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

Suda çözünür sülfat iyonlarını çözünürlüğü çok az olan ve dekompozisyon sıcaklığı çok yüksek olan BaSO_4 şeklinde çöktürmektir[14].

- Suda çözünür sülfatın miktarı, çamurun reolojisini belirli bir değerin altında ve üstünde olması durumunda çok fazla etkiler. Yani sülfat için bir alt sınır ve birde üst sınır vardır. Kimyasal prosesin ve üretim prosesinin karmaşıklığı bunu kesin olarak belirlemeyi imkânsız kılmaktadır. Bu durumda ölçülebilir parametreler kullanılarak sorun giderilmeye çalışır.
- Suda çözünür sülfat, üründe pinol, blister, toplanma gibi yüzey hatalarına neden olur. Pinol ve blister benzer hatalar olup bunlar boyutlarına göre Tablo 2'de sıralanmaktadır. Özellikle sülfat iyonların dekompozisyonun vb. nedenlerin vitrifiye ürünün ateş bölgesi civarlarına denk gelmesi bu hataların oluşumunda diğer bir unsurdur.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

Tablo 2: Blister ve Pinol hatasının boyuta bağlı olarak tanımlaması

Seramik Yüzeyinde Oluşan Ortalama Çukurlaşma Boyutu, μm	Hata İsmi
400-800	Blister (büyük kabarcık)
200-400	Orange Peel (portakal kabuğu görünümü)
100-200	Eggshell (yumurta kabuğu görünümü)
80-100	Bubbles (hava kabarcığı)

- Toplanma hatasının bir nedeni de, çözünür tuz ve sülfatların yarı mamul şekillendirme sonrası bünyenin nemini atması ile ürün yüzeyine çıkmalarıdır. Bu durumda sır ile bünye arasındaki arayüzey etkileşimini engelleyen bir tabaka oluşur. Bu tabakanın yarattığı yüzey gerilimi farkı nedeniyle sır kendini bu bölgeden çeker. Özellikle keskin köşelerin bulunduğu bölgelerde bu durum daha rahat görülmektedir.

Baryum karbonat, dekompoze olurken gaz çıkışı olur. Baryum karbonat 900°C’de dekompoze olmaya başlar ve ~1400°C’de ergir. Bu durum bazen sırlarda çok sayıda pinol veya blister hatasına yol açabilir. Baryum karbonat genellikle killi bünyelere az miktarda (ağ.%0,1 – 0,8) eklenir. Suda çok az çözünür, bu çözünme ile suya geçen Ba^{+2} iyonları SO_4^{-2} iyonları ile birleşerek suda çözünürlüğü daha az olan, kuruma esnasında yüzeye hareketi olmayan ve bünye içinde kalan BaSO_4 formunu oluşturur. BaSO_4 ’ın yüksek sıcaklıklarda (~1510°C) bozunması da sinterleme esnasında olası pinol, blister gibi hataların oluşumunu da engeller[14].

1.2.1.6 Sodyum Silikat

Seramik çamurunda yüksek katı konsantrasyonlarında istenilen akışkanlık için en yaygın kullanılan yardımcı malzemedir. Sodyum silikat, Na_2O (sodyum oksit) ve SiO_2 (kuvars) içeren bileşiklerden biridir başka bir tabirle $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ katı içerikleri ve viskozite oranları değişen sodyum silikatların bir karışımıdır. Genel olarak, sodyum silikatlar üretildikleri aside göre, tetrasilikat, ortosilikat, metasilikat ve disilikat olarak isimlendirilirler. Tüm bu bileşikler transparan, renksiz olup camsı olan bu madde, şurupsu viskoz bir çözelti olarak elde edilir. Çözeltiler kuvvetli alkalidirler. Başlıca kum ve sodyum karbonatın çeşitli oranlarında eritilmesiyle üretilirler[15].

1.2.1.7 Sodyum Karbonat, Kalsiyum Klorür

Seramik çamurunda, Na_2CO_3 , sodyum silikattan daha az etkili bir akışkanlaştırıcıdır. Bu rağmen alkalitesi yüksek olduğu için çamurda kullanılan sodyum silikat miktarını azaltığı için kullanılan bir yardımcı malzemedir. Seramik sağlık gereci çamur üretiminde kullanılan killerde bulunan kolloidal yapıli karbonu harekete geçirerek çamurun plastik özelliğine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle seramik çamurunda sodyum silikat ile birlikte bir miktarda sodyum karbonat kullanılmaktadır. Son zamanlarda çamurun yüksek katı konsantrasyonlarında akış özelliğini ayarlamak için hüminat esaslı yada poliakrilat bileşikleri katkı malzemeleri olarak kullanılmaktadır.

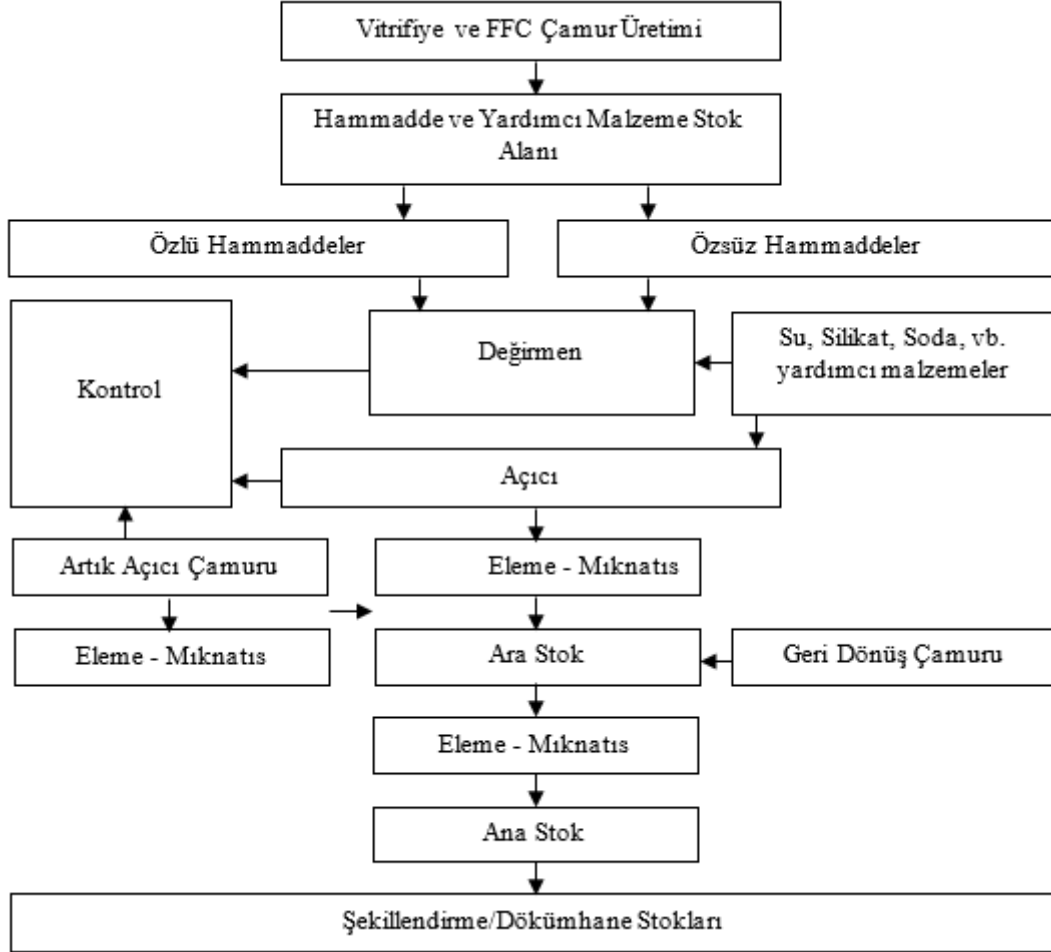
Kalsiyum klorür, seramik çamurunda ince tane boyutlu kil tanelerini floküle ederek, kalıpta oluşan kekin geçirgenliğini yanı döküm hızı arttıran bir katkı malzemesidir. Özellikle seramik çamurlarında yüksek döküm hızları seramik bünyede düşük plastikiğe ve mukavemet değerine neden olmaktadır. Kalsiyum klorürün doğru miktar ve zamanda ilavesi ile seramik kekin plastikiğini ve mukavemet değerini azaltmadan geçirgenlik değeri ve sonucunda üretimdeki döküm hızı yükseltilebilmektedir.

1.2.2. Çamur Hazırlama

Çamur hazırlama üretim süreci Şekil 4’de verilmiştir. Süreç incelendiğinde seramik sağlık gereçlerinde üretilen iki farklı çamur kullanılmaktadır. VC ve FFC çamuru üretiminde üretilen ürün gereği farklı tip hammadde kullanılmaktadır. FFC ürünler daha refrakter karakterli olup sinterleme sıcaklığında düşük deformasyon ama daha yüksek su emme değerlerine sahip vitrifiye faz içeriği daha

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

düşük, kristal faz içeriği yüksek ve büyük boyutlu ürünlerin üretiminde tercih edilirken, vitrifiye ürünler sinterleme sıcaklığında daha yüksek deformasyon değerlerine sahip ama su emmesi daha düşük vitrifiye faz içeriği yüksek kristal faz içeriği daha düşük ürünlerdir. Bu nedenle FFC çamur üretiminde yukarıda da değinildiği gibi molokit, şamot tarzı önceden ısıtılmış kaolonit minerali içerikli hammaddeler kullanılmaktadır.



Şekil 4: Bilya yüklü bir değirmene ait kesit görüntüsü

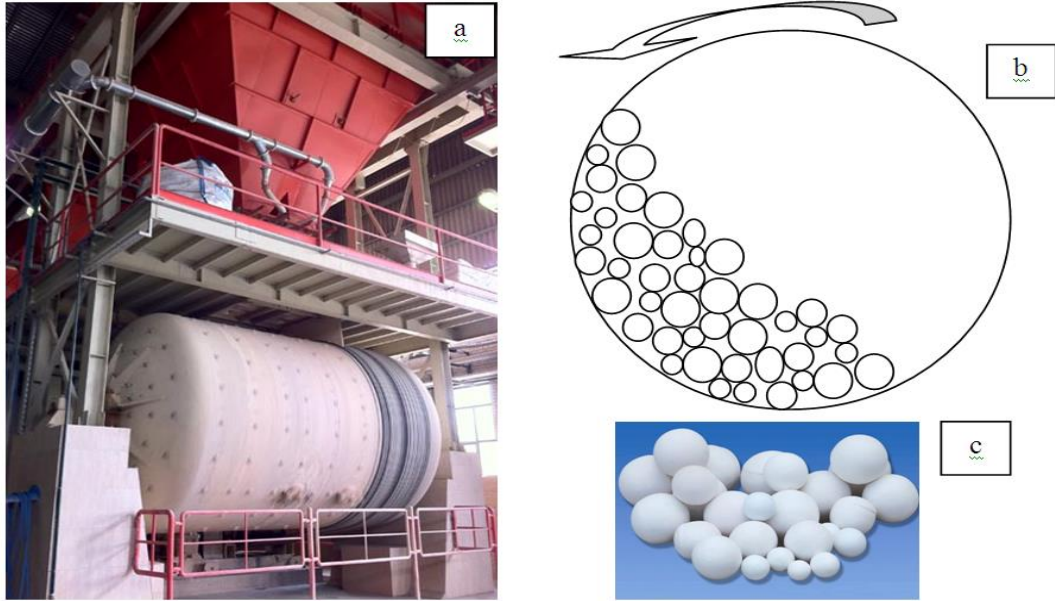
1.2.3. Değirmenler ve Açıcılar

Değirmenlere reçeteye ve değirmen kapasitesine uygun olarak özsüz hammaddenin yanında bir miktar ağ.%3-10 arasında özlü hammadde yüklenerek öğütme ve karıştırma işleminin daha efektif gerçekleşmesi sağlanır. Üretimde ihtiyaca göre 10 – 40m³ hacimler arasında boyutlara sahip değirmenler kullanılır. Bu hacmin ~%30-40'ı boşluk, geri kalan kısmı su, hammadde ve bilyalar tarafından doldurulmaktadır. Ortalama 25m³'lük bir değirmende ~15.000 kg alümina bilya bulunmaktadır. Kullanılan bilyaların kullanım oranlarına baktığımızda bilyaların kendi içindeki hacim oranları Tablo 3'de verilmektedir. Şekil 5'de bilya yüklü bir değirmenin kesit görüntüsü verilmiştir.

Tablo 3: Bilya kullanım hacim oranları

Bilya Boyutu, mm	Bilya, hacimce %
25	5-15
30	25-35
40	25-35
50	20-30

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ



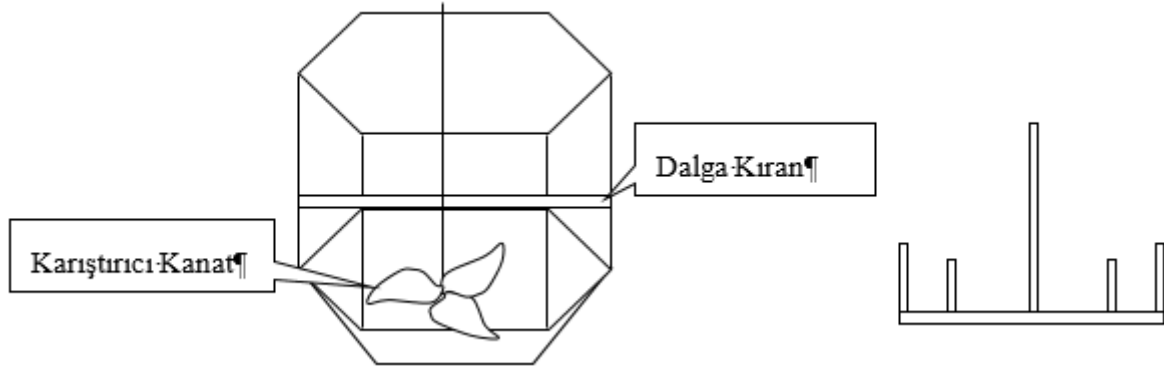
Şekil 5: a) Şarjlı bir değirmene ait resim[4], b) bilya yüklü bir değirmene ait kesit görüntüsü, c) alümina bilya görüntüsü[16]

Değirmenlerin içi ya sileks taşı ile yada kauçuk malzeme ile kaplıdır. Sileks kaplı değirmenlerde değirmen içleri zaman zaman kontrol edilip aşınması fazla olan bölgelerin değişimi yapılır. Böylece bir değirmen ~2000 kez kullanılmış olur ki, buda üretim miktarlarına bağlı olarak değirmenlerin 2-5 sene arasında bir sürede sileks taşı değişimi yapılarak daha uzun süre kullanımı ve bakımını yapmayı sağlar.

Değirmenlerde her şarj sonrası içindeki bilyalarda aşınma olur. Ortaya çıkan rakamlar ışığında değirmenlere yeni bir şarja başlamadan önce mutlaka bilya ilavesi yapılır. Eğer değirmenin şarjı istenen elek bakiye değerine getirme süresi çok uzarsa değirmen içindeki tüm bilyalar çıkarılıp yeniden boyutlandırma yapılip değirmene yeniden bilya yüklemesi yapılır.

Değirmene reçeteye uygun olarak özsüz hammadde, reolojik özellik için bir miktar kil, su ve BaCO₃ ilave edilerek değirmen 700-1100 dev./saat ile 3000-6000 devir arasında istenilen elek bakiyeye gelecek şekilde ~3-6 saat öğütülür. Ayrıca küçük bir mezürde elek bakiye kontrolü yapılarak istenilen bakiyeye gelmiş mi kolay yoldan kontrol edilmektedir. İstenilen elek bakiyeye gelen çamurun litre ağırlığı da kontrol edilir. Uygunsa değirmen direkt açıcıya alınır. Değirmenden alınan çamur açıcılara alındıktan sonra ona göre ilaveler yapılır. Değirmenlerden çamur alınırken çamuru açıcıya götürecekt hortum tarafına filtre konarak bilyaların açıcıya geçmesi engellenir. Yukardan hava basılarak çamur açıcıya gönderilir. Açıcıların kapasitesi 10-30 m³ arasında olup kanatlı pervaneler kullanılarak belirli hızlarda sürekli karıştırılmaktadır. Reçete uygun olarak açıcılara özlü hammadde ve yardımcı hammaddeler belirli bir sırada ve miktarda ilave edilerek homojen bir karışımın elde edilmesi sağlanır. Vitrifiye çamuru üretilirken çamurda soda, silikat ve kolloidal karbon içerikli katkıları kullanılırken, FFC çamurunda ayrıca CaCl₂ benzeri katkı maddeleri de kullanılarak döküm özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Açıcıdan ara stok havuzuna gerekli reolojik özellikleri ayarlanmış çamur 100-300 mikron arasında değişen elek açıklığına sahip eleklerden elenerek ve mıknatıslardan geçirilerek gönderilir. Çamur burada ve ana stok havuzlarında bir süre dinlendirilir. Açıcı yapısına ve kullanılan karıştırıcı tipine ait görüntü ile stok havuzu içinde kullanılan karıştırıcı türü Şekil 6'da gösterilmiştir. Üretimden gelen taleplere göre ana stok havuzundaki çamur şekillendirme yada dökümhane bölümündeki işletme stoklarına gönderilir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ



Şekil 6: a) Açıcı ve karıştırıcı sistem görünüşü b) Stok havuzu karıştırıcı şekli

Aşağıda değirmen çamuru, kil ilaveli çamur ve kil+kaolen ilaveli çamura ait litre ağırlığı ve silikat ilavesi sonrası viskozite sonuçları verilmiştir. Değirmen çamurunun 28 °C sıcaklıktaki litre ağırlığı 1650-1670 g/lt dir. Tablo 4’de görüldüğü gibi değirmen çamuruna çok düşük miktarda kil/kaolin ilavesi olduğu için silikat ilavesinin etkisinin olmadığı görülmektedir.

Tablo 4: Değirmen çamuru silikat miktarına bağlı viskozite değerleri

Silikat miktarı, ml	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Viskozite (Brookfield), (3.nolu spindle)	50	40	40	-	-	-	60

Değirmen çamuruna kil ilavesi sonrası elde edilen çamurun 27 °C’deki litre ağırlığı 1776 g/lt olarak ölçülmüş ve çamurun katı konsantrasyonu artmıştır. Tablo 5’de görüldüğü üzere kil ilaveli çamurun silikat ilavesi sonrası viskozitesinin azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 5: Değirmen çamuru silikat miktarına bağlı viskozite değerleri

Silikat miktarı, ml	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Viskozite (Brookfield), (3.nolu spindle)	525	150	<u>150</u>	190	250	-	-

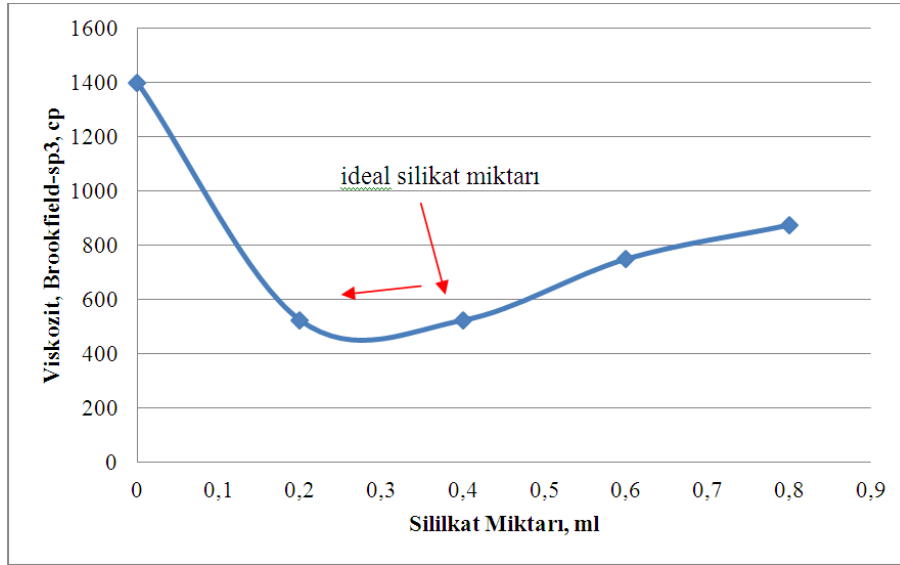
Değirmen çamuruna kil+kaolin ilavesi sonrası elde edilen çamurun 27 °C’deki litre ağırlığı 1814g/lt olarak ölçülmüş ve çamurun katı konsantrasyonu artmıştır. Tablo 6’de görüldüğü üzere kil+kaolin ilaveli çamurun silikat ilavesi sonrası viskozitesinin azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 6: Değirmen çamuru silikat miktarına bağlı viskozite değerleri

Silikat miktarı, ml	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Viskozite (Brookfield), (3.nolu spindle)	1400	525	<u>525</u>	750	875	-	-

Burada ince ayar yapılmamış çamur olduğu için değerler yüksektir. Yukarıda verilen Tablo 2 ve 3’teki sonuçlarda 0.4 ml’lik silikat ilavesi optimum deflokulasyon noktasını göstermektedir. Döküm özelliklerinin iyi olması için sağlık gereçlerinde ideal deflokulant miktarının hafif gerisinde biraz flokule çamur istenir. Şekil 7’de kil+kaolin ilaveli çamura ait viskozite-silikat eğrisi görülmektedir. İdeal silikat miktarının altında bir silikat ilavesi ile döküm özellikleri daha iyi az flokule bir çamur elde edilmiş olur.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ



Şekil 7: kil+kaolin ilaveli çamura ait viskozite-silikat eğrisi

1.2.4. Sır Hazırlama

Çamur hazırlamada olduğu gibi sırlık hammaddeler Ar-Ge'den gelen reçete uygun olarak daha küçük hacimli değirmenlerde çamur hazırlamada olduğu gibi karıştırma ve öğütme işlemine tabi tutulur. Üretim gereği en çok beyaz renkli sır üretimi yapılır. Sırlık hammaddelere baktığımızda çamurdan farklı olarak, ZnO, ZrSiO₄, CaCO₃, Al₂O₃ ve benzeri hammaddelerin yanında farklı yardımcı katkı malzemeleri(peptapon, cmc, vb.) kullanılır. Hazırlanan sırlar gerekli kontrol yapıldıktan sonra işletme talebine göre işletmelerdeki sırlama ünitelerine yönlendirilir.

1.2.5. Şekillendirme

Seramik ağırlık gereçleri üretiminde alçı ve basınçlı kalıp olmak üzere iki farklı teknik ve farklı sistemler kullanılarak üretilen çamur şekillendirilir. Alçı kalıp üretim maliyeti daha ucuz ve üretimi daha kolay olan fakat kullanım ömrü oldukça kısıtlı bir malzemedir. Üretilen alçı kalıplardan üretimde 80-110 arasında döküm alınırken, üretimi daha zor ve üretim maliyeti çok yüksek olan polimer esaslı basınçlı kalıplardan oldukça fazla sayıda(~20.000 ve üzeri) ve uygulanan basınç nedeniyle daha kısa sürede daha fazla sayıda döküm alınabilmektedir. Bu nedenle polimer kalıplar üretim sayısı fazla ve daha basit şekilli ürünlerde firmalar için avantaj sağlamaktadır. Gelişen teknoloji, şekillendirmede daha düşük basınçlarda döküm yapabilen, günlük üretim sayısı basınçlıdan daha düşük ama alçı kalıptan daha yüksek kalıpları da firmaların hizmetine sunmaya başlamıştır.

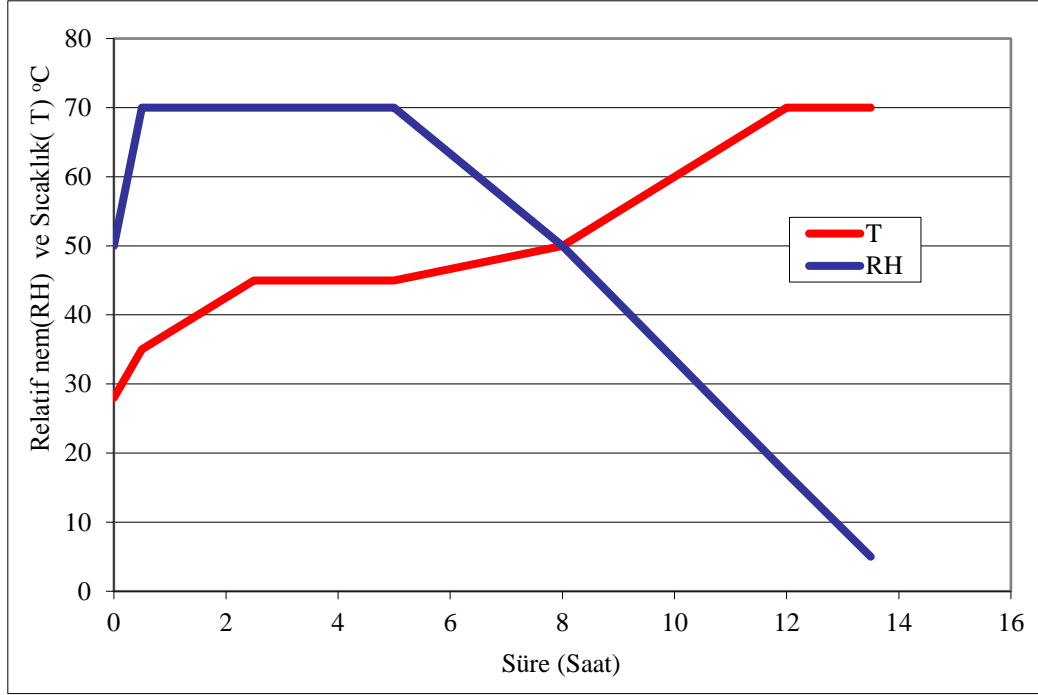
Kalıptan çıkan ürünler plastik taşıyıcılarla rötuşlama tezgâhlarına alınıp burada ürüne gerekli rötuş delik açma ve parça ekleme işlemleri şartlandırılmış ortam koşulları (sıcaklık, nem ve hava akımı) altında yapılmaktadır. Sonrasında ürünler bu ortamda bir süre bekledikten sonra taşıyıcı arabalarla kurutma fırınlarına girmektedir.

1.2.6. Kurutma

Kurutma işlemi, seramik üründen fiziksel olarak bağlı olan suyun uzaklaştırılmasıdır. En yaygın kurutma metodu ise termal kurutmadır. Bu yöntemde kurutma havası yarı mamul içindeki nemi toplayarak egzoz gazı olarak sistemden uzaklaşır. Kurutucularda gerçekleşen ısı transferi, kurutucu tipine bağlı olarak taşınım, iletim, ışınlım veya bunların kombinasyonu biçiminde olabilir. Genelde ısı katı maddenin dış yüzeyinden iç kısımlara doğru geçer. Bu esnada gerçekleşen kütle transferi ile de kurutma gerçekleşir. Yaş yarı mamul içindeki nem içeriği ne kadar düşük olursa yarı mamul yumuşaklığı o kadar azalacaktır. Bu da kurutma için gerekli enerjinin azalması ve kurutmanın daha kolaylaşması anlamını taşır. Bazı firmalar açısından ürünlerin kurutma ortamına girmeden daha uzun bekletilerek kurutmadan tasarruf edileceği düşünülse de homojen gerçekleşmeyen kurutma nedeniyle üretimde şişirim esnasında sorunlara ve verimlilikte azalmaya neden olmaktadır.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

Aşağıda Şekil 8’de seramik sağlık gereçleri ürünlerinin kurutma fırınında kurutulmasında kullanılan örnek bir kurutma rejimi eğrisi verilmiştir. Bu eğriden görüleceği gibi kritik noktaya kadar ürün nemi dolayısıyla ortamdaki nem yavaş yavaş azaltılırken kritik noktadan sonra daha hızlı bir kurutma sağlanmaktadır. Bu nedenle kurutma fırınlarında nem, sıcaklık ve hava akımı kontrolü düzgün bir şekilde yapılmalıdır.



Şekil 8: Kurutma Rejimi

1.2.7. Sırlama

Seramik ürünler kurutmadan çıktıktan sonra son rötuş işlemleri yapıp ürün kontrol işlemlerinden geçtikten sonra sırlamaya hazır hale gelmiş olur. Seramik ürünlerin sırlamasında, robot, pistole, elektrostatik sırlama gibi püskürtme ile sırlama yanında ürün tipine göre çalkalama ile sırlama işlemi yapılmaktadır. Seramik ürünlerin sırlamasında genel olarak beyaz renkli sır kullanımı yanında azda olsa renkli sırlarda kullanılmaktadır. Pistole ile kabin sırlamasında sır tankına daha düşük ve pistoleye ise daha yüksek basınç uygulanarak kabin içerisinde ürünlerin sırlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda bu sırlamada işçinin çıkan tozla direkt irtibatı olmakta olup bu sistemlerde emiş sistemleri ile toz dışarı atılmaktadır. Bu sistemin daha efektif hale gelmesi için tek tek sırlama yerine kişi veriminden ve zamandan kazanç için birden fazla ürünün bulunduğu sistemlerde tasarlanmıştır. Bu işlemde ürünün sırlanması sonrası kalite, kullanılan sır miktarı ve kalınlığı gibi unsurlar işçinin yeteneğine bağlı olduğu için kalite gereği işçi bağımsız teknikler geliştirilmiştir. Robot sırlama ise ürünün taşınması ve götürülmesi esnasında bantların kullanıldığı her ürün için alanında uzmanlaşmış sırlamacı personelin hareketlerini baz alarak sırlama aynı kalite sırlama yapan, ürüne uygun programı manuel/otomatik seçen sistemler kullanılarak püskürtmeli sistemle sırlama yapan bir tekniktir. Üretim kapasitesi, işçi kullanımına göre oldukça arttırmış(3 kat) bir sistem olup, ilk yatırım maliyeti yüksek bir metot dur. Elektrostatik sırlama, 1960'lı yıllardan beri kullanılan bir sırlama tekniğidir. Bu sistemin hedefi seramik bünye üzerinde daha kaliteli bir sır yüzeyi sağlamak, işçiliği minimize ederek tasarruf sağlamak ve böylece iş verimini arttırmaktır. Geleneksel püskürtme teknolojisi ile sırlamada yüksek hava basınçlarına çıkıldığı için ürünün sırlanacak tüm yüzeylerinde optimum sır kalınlığını kontrol altında tutmak güçleşmektedir. Bunun aksine elektrostatikteki temel felsefe seramik bünyeyi daha düşük hava basınçları kullanarak (normal basınçların yarısı gibi), elektrikselsel bir alan uygulayıp, elektrik yükü altında sır taneciklerinin seramik ürün yüzeyine yapışmasını sağlamaya dayanmaktadır. Bu nedenle sır tankı içinde bulunan sır'a yaklaşık 100.000 voltluk bir statik elektrik yükü verilmektedir. Böylece, zıt kutuplarda (+, -) bulunan sır molekülleri

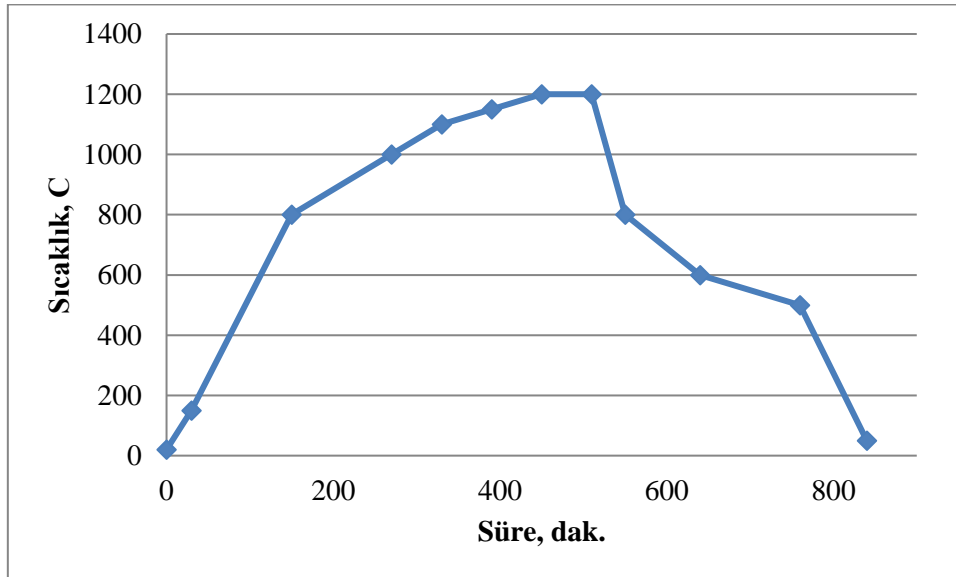
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

aynı kutuplara (+, + gibi) getirilmektedir. Bu elektrik yükünden dolayı gerekli olan hava basıncı da 2 - 3 atmosfere indirilmekte, daha kaliteli ve hızlı bir sırlama yapılmaktadır[17].

1.2.8. Fırınlara-Pişirim

Sırlamadan çıkan seramik ürünlerin sinterlenerek son sertliğine açık yada kapalı tip fırınlarda ulaşır. Önceden kapalı tip, refrakter tuğlanın yoğun olduğu fırınlar yaygın bir şekilde kullanılsa da şimdilerde daha hızlı açılıp kapatılan, açık alevli, daha az miktarda refrakter içeren daha kontrollü ve enerji verimliliği yüksek fırınlar seramik sektörüne hizmet etmektedir.

Seramik fırınında 20-150 °C arasında sırlama sürecinde emilen su ile seramik bünyede bulunan su buharlaştırılır. Ürüne buharın zarar vermemesi için kademeli olarak ısıtma yaklaşık olarak 300 °C/saat yapılır. 150-800 °C arasında ısıtma yaklaşık olarak 350 °C/saate yükseltilebilir. Bu aşamada organik madde yanması, kristal su kaybı gibi reaksiyonlar meydana gelir. Ürün kalınlığıyla ters orantılı olarak sıcaklığı/artış hızına ayarlamak gerekir. 800 °C ile 1200-1220 °C lere daha efektif dekarbonasyon ve sinterleme için artış hızı 60-70 °C/saate düşürülür. Böylece sır ergimesinden gerekli reaksiyonlar tamamlanmış olur. Bu tepe sıcaklığındaki bekleme süresi seramik ürünün yapısındaki bileşenlerin tane boyut dağılımına bağlıdır. Tepe sıcaklığı optik dilatometre gibi sistemler kullanılarak yeni reçete denemelerinde kullanılarak endüstriyel fırın eğrilerinin ayarlanmasında kullanılabilir. Bekleme süresinin kısaltılması halinde tepe sıcaklığını bir miktar arttırmak uygun vitrifikasyon düzeyinin elde edilmesi için gereklidir. Tepe sıcaklığından 800 °C lere maksimum bir hızda soğutma yapılır ki burada soğutma hızı 800 °C/saat düzeylerine ulaşır. Bu hız sırların parlaklığını olumlu etkiler. 800-600 °C arası soğutma hızı yaklaşık 150 °C/saat dir ki burada beta kuvarsdan alfa kuvarsa dönüşüm için ürünün her bölgesinde sıcaklığın homojen olması istenir. 600-500 °C arası sıcaklık kuvars dönüşümü esnasındaki hacimsel küçülme kaynaklı gerilimi önlemek için soğutma hızı yaklaşık 60 °C/saat e düşürülür. 500-50 °C arası soğutma hızı 300-500 C/saat gibi bir hızla tekrar yükseltilecek pişirim süreci tamamlanır. Fırınlarda gerçekleşen pişirim sürecine ait sinterleme rejimi eğrisi aşağıda Şekil 9'da gösterilmiştir. Fırınlardan çıkan ürünler kalite kontrol bölümüne taşıyıcı sistemler sayesinde ulaştırılır. Kalite kontrol çalışanları tarafından ürünler belirli kalite parametrelerine göre tekrar kontrol edilerek kalite, ıskarta yada sıcak ve soğuk tamire gönderilir. Soğuk tamire gelen ürünler gerekli tamir işlemleri yapıldıktan sonra ürünler normal ürünlerden farklı şarjlı dolmuş fırınlarda daha düşük bir sıcaklıkta pişirim gerçekleştirilir. Bu nedenle tamirde kullanılan sır kompozisyonunun farklılıkları vardır[18].



Şekil 9: Sağlık Gereci Ürün Pişirim Fırını Sinterleme Rejimi Eğrisi

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

1.2.9. Kalite Ayırım ve Kontrol

Fırından çıkan ürünler fırın arabalarından alınarak taşıyıcı bantlarla kalite kontrol bölümüne gönderilir. Kalite ayırım bölümünde ürünler görünüş yönünden kontrol edilerek, kalite, ıskarta ve soğuk ve sıcak tamir olmak üzere ayrılır. Kalite ayırımı ürünler, leke, kabarık yüzey, çukur yüzey, donuk ve yumurta kabuğu görünümlü yüzey, tamirli yüzey görünüşü, dalgalı sırlı yüzey, renk bozukluğu, çarpıklık, mamulde kopmuş kısımlar ve ezikler, mamul gövdesinde çatlak vb. gibi parametreler açısından kontrol edilir. Kalite almış ürünler ya doğrudan paketleme birimine yada gerekli ise kalite ayırım sonrası işlemler için kalite ayırım sonrası hizmetler birimine giderek burada gerekli işlem ve kontroller yapılarak paketleme birimine gider. Örnek kalite ayırım sonrası hizmetler biriminde, lavabo ve klozetlerde taban taşlaması, kontrol sonrası kaçak varsa soğuk tamir, sırsız yüzeylerde kılcal çatlak tamiri vb. işlemler yapılarak ürünler paketleme birimine gönderilir. ıskarta ürünler geri dönüşüm yada atılmak üzere atık alanına gönderilir. Tamir olacak ürünler soğuk ve sıcak tamir olmak üzere iki işlem yapılır, soğuk tamirde ürün üzerindeki küçük hatalar uygun ekipmanlarda aşındırılıp oyularak boşluklara seramik sır renginde akrilik esaslı seramik takviyeli ışıkla kürlenmiş bir dolgu malzemesi uygulanarak tamir yapılır. Bu tamirde hatanın bölgesi ve boyutu önemlidir. Sıcak tamirde ise ürün işletme sırrına göre daha düşük sıcaklıkta sinterlenen bir sırla tamir edilerek işletme fırınından farklı şarjlı bir fırında daha düşük sıcaklıkta pişirilir. Daha sonra ürünler tekrar kalite ayırım biriminde kontrol edilip yukarıda anlatılan işlem sırası tekrardan uygulanır. Seramik ürünler çeşitli testler için ilgili birimlerce kontrol edilir. Örneğin, fonksiyon testleri için farklı ülke standartlarına göre testler gerçekleştirilir. Seramik ürünlere uygulanan bazı fonksiyon testleri şunlardır; talaş testi, kâğıt testi, su sıçratma testi, bağırsak testi, son yıkama suyu testi, boya testi, bilya testi, top testi, granül testi, drenaj testi, yıkama suyu hacmi ve yıkama zamanı testi, granül testi, yüzey yıkama testi, vb. dir.

1.2.10. Paketleme

Paketleme birimine gelen ürünler, kapalı ya da açık koşullarda depolanmak veya sevkiyat için paletlere konarak 100-200 µm kalınlık aralığında şekil hafızalı mekanik ya da termal uygulama kullanılarak işlem gören shrink naylonu kullanılarak paketlenir. Paketlenen ürünler etiketlenerek depolama ya da sevkiyat alanına gönderilir.

1.3. Ar-Ge

Seramik sağlık gereçlerinde Araştırma ve geliştirme birimi öncelikli olarak çamurluk, sırlık hammaddelerin fabrikaya girişi itibarı ile kontrol, test ve analizlerini yaparak devreye alınması ile başlayan ve son ürün olarak fabrikadan çıkmasına kadarki tüm süreçlerde üretime destek olan bir birimdir. Ar-Ge birimi, çamurluk ve sırlık hammaddelerde ilgili üretim birimleriyle beraber rutubet kontrolü, litre ağırlığı kontrolü, lehman-brookfield viskozite ölçümleri, tiksotropi ölçümleri, kalınlık alma kontrolü, silikat eğrisi kontrolü, elek bakiyesi ölçümü, tane boyut dağılımı analizi, kimyasal analiz, mineralojik analiz, termal analiz, mikroyapı analizleri, sırda akma kontrolü, renk ve yüzey kontrolü, su emme testi, deformasyon testi harkod testi, kuru küçülme ve toplu küçülme testi, alçı donma testi ,alçı yayılma testi, alçı genleşme testi, alçı blok su emme testi, yarı mamul sertlik ve mukavemet kontrolleri ,renk ve parlaklık ölçümleri vb. ile üretimdeki tüm yardımcı malzeme test, analiz, uygulama ve kontrollerini rutin olarak yapar. Bunun dışında alternatif malzemeler ve ürünler, maliyet düşürücü, kalite ve verimliliği artırıcı proje ve çalışmalar gibi faaliyetleride ilgil birimlerle beraber yürütür.

1.4. Tasarım

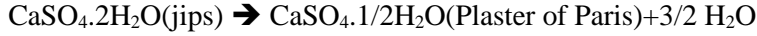
Tasarım bölümü, önceden bilgisayarda üç boyutlu tasarımı yapılmış ürünlerin işletmenin boyutsal küçülme değerleri göz önüne alınarak teknik resmi çizilen seramik sağlık gereci ürünlerinin modelinin ve model kalıbının yapıldığı birimdir. Bu birimde oluşturulan model kalıplarda üretim birimleriyle beraber çamur dökümü yapılarak yaş ürün kontrol edilir, kontrol sonrası sırlanıp pişirilerek pişmiş ürüne kontroller ve fonksiyon testleri uygulanır. Bu testlerden başarısız olursa model ve kalıba gerekli tadilat ve tamiratlar yapılarak gerekli kontrollerden tekrar geçirmek üzere

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

denemeler yapılır olumlu sonuç alınır model kalıbın tüm parçalarının kalıbı çıkarılır. Oluşturulan bu kalıba teksir kalıp denir. Teksir kalıbı uygun alçı ve sentetik polimer malzemeler kullanılarak oluşturulur. Bu işlemler alçı kalıp hazırlama birimi ile birlikte yürütülür. Teksir kalıp hazırlandıktan sonra alçı kalıp biriminde alçı kalıplar ve destek ürünler üretilir.

1.5. Alçı Kalıp ve Polimer Kalıp Hazırlama

Tasarım bölümüyle beraber oluşturulan teksir kalıplardan alçı kalıplar üretilir. Alçı kalıp üretiminde kalıp malzemesi olarak Plaster of Paris kullanılır. Plaster of Paris, jips mineralinin kalsinasyonu ile elde edilir . Kalsinasyon ile jipste 1,5 mol su bünyeden uzaklaştırılır ve β yarı hidratı($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) oluşur.



Alçı kalıbın özellikleri eklenen alçı/su oranıyla beraber değişiklik gösterir. Su/alçı karışımının içerdiği su miktarı ağırlık cinsinden her yüz parça ağırlığı için katılan su miktarıyla kıvam olarak ifade edilir. Örneğin 1,35 kıvam için, 270 kg alçı/200kg su kullanılır.

Teksir kalıba döküm için alçı karışım hazırlanırken alçıyı karıştırma haznesine elenerek dökülmesi ve su ile karıştırılırken vakum uygulaması yapılması gözeneksiz iyi kalitede bir alçı yüzeyi elde etmek için önemlidir. Hazırlanan alçı hızlı bir şekilde önceden gerekli hazırlık yapılmış teksir kalıplara dökülür ve alçı sertleştikten sonra kalıptan çıkarılarak kurutma için kurutma arabalarına alınır. Çoğu kalıp sisteminde hem dökümhanedeki üretim hemde alçı kalıp bölümünde hızlı kurutma için gözenekli kumaşdan yapılmış boru şekilli makaron sistemleriyle donatılmıştır. İlk olarak bu makaron sistemlerine hava verilerek kalıplardaki su bir miktar kalıptan uzaklaştırılıp kurutma odalarına alınır. Alçı kalıplar kurutma odasında ilk olarak yüksek nem içerdikleri için yüksek sıcaklıkta kurutma işlemine maruz bırakılırken kurutma ile üründe azalan su miktarına bağlı olarak alçı kalıbın zarar görmesi için sıcaklık düşürülür. Alçı kalıplar kurutma odasında 48-96 saat arasında bir kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Kurutmada işlemde fırınlarda oluşan atık ısı kullanılarak bir miktar tasarrufta sağlanmaktadır. Kurutmadan çıkan kalıplar ortamda bir süre bekleyip nem dengesi sağlandıktan sonra işletmelerde şekillendirme bölümlerine gönderilerek montajları yapılarak döküm için hazır hale getirilir.

Bilindiği gibi seramik sağlık gereçleri, döküm yoluyla şekillendirilmektedir. Bu amaçla uzun yıllardır poroz alçı kalıplar kullanılmaktadır. Bu tip kalıpların en önemli dezavantajları olarak; çok az sayıda döküm (80-110 adet) yapılabilmesi ve döküm süresinin çok uzun olması verilebilir. Alçı kalıpların diğer önemli bir dezavantajı ise kalıp yüzeylerinin aşınma problemidir. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için döküm çamurunun belli bir basınç altında belirli bir miktar ve boyutta açık kanallı poroziteye sahip bir kalıba gönderildiği basınçlı döküm sistemleri geliştirilmiştir. Bu basınçlı kalıp sistemleri polimetilmetaakrilat(PMMA) esaslı polimer malzemenin farklı yardımcı malzemeler kullanılarak belirli bir reçeteye uygun tartılıp karıştırılarak kalıplara dökülmesi, kalıplarda kürlenip sertleşen polimer malzemenin kalıptan çıkarılması esası ile bu kalıplar elde edilir. Kalıplar üretime bağlanmadan önce istenilen özelliklerin daha iyi sağlanması amacıyla birtakım işlemlerden geçirilir. Elde edilen kalıpların su geçirgenlikleri kontrol edilir. Bunun için belirli kalınlık ve şekildeki polimer kalıp parçası belirli bir basınç altında suya maruz bırakılarak belirli bir sürede geçen su miktarına bakılır. Gerekli kontrollerden geçen kalıplar işletmelerde basınçlı kalıp tezgâhlarına bağlanır.

2. KAYNAKÇA

1. T.C. Kalkınma Bakanlığı, Seramik Çalışma Grubu.(2015). Onuncu Kalkınma planı(2014-2018), *Seramik Çalışma Grubu Raporu*(Yayın No. KB: 2940- ÖİK: 758). Erişim adresi: http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/10/10_SeramikCalismaGurubu.pdf

2. Fortuna, D. (2000). Sanitaryware. *Gruppo Editoriale Faenza Editrice SPA*.

3. Kibici, Y. (2002). *Seramik hammaddeleri ve teknolojik özellikleri*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları, Yayın No:41, Afyon Türkiye.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ ÜRETİM SÜRECİNİN KISA BİR DEĞERLENDİRMESİ

4. Remas A.Ş., Ürünler, Seramik Makineleri, Masse Hazırlama, Şarjlı Değirmenler, Erişim adresi: <https://www.remas.com.tr/masse-hazirlama/>
5. Worrall, D. M. (1986). *Clays and ceramic raw materials*. Springer Science & Business Media. London, England.
6. MTA Genel Müdürlüğü, Endüstriyel Hammaddeler, Seramik Killer – Kaolin, Bilgi Merkezi Raporları, Erişim adresi: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/seramik-killer>
7. Du, J., Pushkarova, R. A., & Smart, R. S. C. (2009). A cryo-SEM study of aggregate and floc structure changes during clay settling and raking processes. *International Journal of Mineral Processing*, 93(1), 66-72.
8. Sazcı, H. (2001) . Seramikte kullanılan killerin tanımı. *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 28-42.
9. Hopa, D. Y. T. & Özel, E. (2016). Kaolen türünün sağlık gereçleri porselen bünyesinin piropplastik deformasyonu üzerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 313-322.
10. Şişecam, Kimyasallar, Faaliyet Alanları, Maden, Kuvars Kumu, Erişim adresi: <http://www.sisecamkimyasallar.com/tr/faaliyet-alanlarimiz/maden/sisecam-silis-kumu>
11. Bragança, S. R., Bergmann, C. P., & Hübner, H. (2006). Effect of quartz particle size on the strength of triaxial porcelain. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(16), 3761-3768.
12. Özel, E., Tunçel, D., & Kara, M. (2011). Sert Hammadde Tane Boyutunun Sağlık Gereçleri Porseleninin Fiziksel Özelliklerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2), 299-306.
13. Kaolin Endüstriyel Mineraller San. ve Tic. A.Ş., Ürünler, Şamot, Erişim adresi: http://www.kaolin.com.tr/samot_p_tr_14_.aspx
14. Martin Jr, J. L. (1997). *Colloid modifiers: Soluble and admixture salts and their contribution to clay slurry properties*. Thesis (Ph.D.), Rutgers The State University of New Jersey - New Brunswick.
15. PI-Dess Chemicals, Products: sodyum silikat. Erişim adresi: <http://www.pldesskimya.com.tr/en/urundetay.asp?UrunID=345&GrupID=0>
16. Sermet Ltd Şti, Ürünler, Yardımcı malzemeler, Alümina Bilya, Erişim adresi: <http://www.sermettrading.com/alumi%CC%87na-bi%CC%87lya>
17. Mercan, M.(1999). Sırlama Teknikleri. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 23, 18-22.
- 18.SERSA.(2010). Seramik Teknolojisi-Seramik Sağlık Gereçleri. Sacmi Imola S.C., Italy.

SiALON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Gökhan Açıkbaş

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Merkez, Bilecik

gokhan.acikbas@bilecik.edu.tr

1. GİRİŞ

Mühendislik istatistiği, verileri analiz etmek için bilimsel yöntemleri kullanarak mühendislik ve istatistik dallarının sinerjik olarak çalıştığı bir bilim dalıdır. Mühendislik istatistiği, malzeme üretim süreçleri malzeme özelliklerinin değerlendirilmesi ile ilgili verilerin analizinde de yaygın olarak kullanılır. Yapılan çalışmada mühendislik seramiklerinden olan SiAlON seramikleri gaz basınçlı sinterleme tekniği ile üretilmiş ve sinterleme sonrası farklı gaz basınçlarında (22 ve 100 bar) ısıl işlem uygulanarak, ısıl işlem basıncının malzemenin kırılma tokluğu üzerindeki etkisi istatistiksel metotlar kullanılarak irdelenmiştir.

2. SiALON SERAMİKLERİ

2.1. SiAlON Seramikleri ve Kullanım Alanları

SiAlON seramikleri sahip oldukları mikroyapısal özellikler nedeniyle seramik malzemeler arasında yüksek tokluğa (4-11 MPam^{1/2}) ve sertliğe (14-20 GPa) sahip malzemelerdir [1-4]. Bu nedenle endüstriyel olarak birçok uygulama alanında (kesici uçlar, rulmanlarda bilya, aşınma parçaları, nozüller, metal şekillendirme parçaları, vb.) yaygın olarak kullanılmaktadırlar [4-6]. Şekil 1’de farklı türdeki SiAlON ürünler verilmiştir.



Şekil 1 : Farklı geometrideki SiAlON ürünler

SiAlON seramiklerinin endüstriyel olarak kullanılan en iyi bilindik α -SiAlON ve β -SiAlON olmak üzere iki farklı polimorfu vardır. α -SiAlON seramikleri kristal yapıları nedeniyle yüksek sertlik gösterirken, β -SiAlON seramikleri genelde iğnemsiz tanelere sahip oldukları için yüksek kırılma tokluğuna sahiptirler [8-10]. Her iki faz termodinamik olarak aynı anda kararlı

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

olabildiklerinden α -SiAlON ve β -SiAlON fazlarını aynı anda tek bir malzemede elde etmek mümkündür. Böylece hem sert hem de kırılma tokluğu yüksek malzeme gelişimi mümkün olmaktadır.

SiAlON seramikleri basınçsız sinterleme, gaz basınçlı sinterleme, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, spark plazma sinterleme, mikrodalga sinterleme gibi teknikler ile yoğunlaştırılarak ürünler elde edilmektedir [11-15]. Bu malzemeler oldukça kuvvetli kovalent bağlara sahip olduklarından tamamen yoğun malzeme eldesi kullanılan sinterleme ilave türü, miktarı ve sinterleme parametrelerine bağlıdır [16-18].

SiAlON seramiklerinin kullanımını sınırlayan konulardan birisi başlangıç α -Si₃N₄ toz maliyetinin yüksek oluşu ve sinterleme için kullanılan fırınlarının maliyetinin yüksek olmasıdır. Dünyada ve ülkemizde daha ekonomik, ancak safsızlık oranı yüksek diğer Si₃N₄ tozlarının kullanımıyla endüstriyel ürünün istenen özelliklerinde (mukavemet, yüksek sıcaklık özellikleri, sertlik, kırılma tokluğu vb.) gelişimi üzerine çalışmalar yapılmaktadır [19-21]. Bu çalışmalarda, kompozisyon tasarımı, prostele yapılan yenilik, sinterleme parametreleri vb. değişkenler ile ekonomik ve üstün özelliklerde malzeme gelişimi amaçlanmaktadır.

2.2. SiAlON Seramiklerinin Kırılma Tokluğu

Malzemelerin, tarafına uygulanan kuvvetler nedeniyle oluşturduğu tepki mekanik davranış olarak adlandırılır. Malzemelerin mekanik özelliklerin temelinde atomlararası bağ kuvvetleri var olmak ile birlikte iç yapısı ve çevre şartları da etkilidir. Malzemenin mukavemeti, kırılma tokluğu, sertliği, ısıl şok dayanımı, sürünme direnci, mekanik özellikleridir [22].

Çeşitli zorlamaların nedeniyle malzeme yapısında oluşan şekil değişiklikleri ve gerilmeler ölçüm ve gözlemlerle belirlenebilir. Şekil değiştirme eğer çok küçük bir gerilme altında meydana gelmişse elastik deformasyon söz konusu olur. Fakat belirli bir sınır değer üstündeki gerilmeler malzeme üzerinde kalıcı şekil değiştirme(plastik deformasyon) oluşturur [23].

Malzemenin çatlak ilerlemesine karşı gösterdiği direnç kırılma tokluğu olarak adlandırılır. Mikroyapıya (tane şekli, boyutu, yüzey morfolojisi, tane sınır fazı kimyası, ve mukavemeti) bağlı bir özellik olup, malzeme sabitidir. Yapı içindeki porlar, yüzey çatlakları gibi hataların varlığı bölgesel gerilme konsantrasyonlarının artmasına neden olur [24].

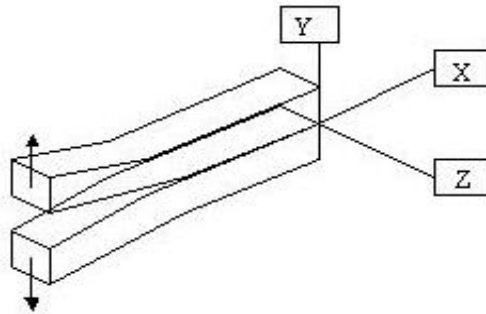
Kırılma tokluğunu denklemsel olarak ifade edecek olursak aşağıdaki şekilde gösterebiliriz [22].

$$K_1 = \sigma_a \cdot Y \cdot c^{1/2}$$

σ_a = Uygulanan gerilim, c = Çatlak uzunluğu, K_1 = Kırılma tokluğu

Y = Birimsiz bir sabit (çatlak konfigürasyonu ve yük geometrisine göre hesaplanır.)

Üç farklı türde kırılma için, yük uygulama yönü literatürde verilmiştir. Seramiklerde en çok görülen mode-1(K_1)'dir. Şekil 2'de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 2 : XYZ düzleminde stress şiddet faktörünün gösterimi, Mode-1 [22]

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Malzemede oluşan bir çatlak ve bu çatlağın ilerlemesi malzemenin kırılmasına yol açacaktır. Bu tür hatalar malzemelerin kırılma tokluğunun artmasına neden olur ve çatlağın oluşmasından sonra kırılma tokluğu mekanizmalarıyla malzemede çatlak ilerlemesi yavaşlatılır. Toklaştırma mekanizmaları birkaç faktöre bağlıdır. Bunlar: *tane boyutu*, *tane yüzey morfolojisi*, *tane sınır fazı ve mukavemeti*, *arayüzey bağ mukavemetidir*. Tane boyutu yeteri kadar büyük olduğunda, çatlağın yön değiştirmesi daha mümkün olup kırılma tokluğunun artmasına neden olur. Yüzeyi pürüzlü taneler kullanıldığında çatlağın tane sınırlarından ilerlemesi zor olacağı için çatlak tane üzerinden (transgranular) geçecektir ve böylece malzeme daha çabuk kırılır. Tane ile matris arasında arayüzey bağ mukavemeti yeteri kadar düşük olduğunda malzemede oluşan çatlak, taneye ulaştığında kolaylıkla arayüzeye doğru yön değiştirerek köprüleme (bridging), çatlak yönlendirilmesi (crack deflection) ve fiber çıkması (pull-out) gibi mekanizmalarla tokluğun artırılması sağlanacaktır (intergranular kırılma). Burada çatlağın ilerlemesi için gereken enerji azalacağından kırılma gecikecektir¹⁴. Arayüzey enerjisi yüksek olduğunda, oluşan çatlak taneye ulaştığında arayüzeye doğru ilerlemekten çok taneyi keserek geçecek (transgranular kırılma) ve bahsedilen tokluk mekanizmaları aktif olmayacaktır. Mikro çatlakların oluşumu bir diğer kırılma tokluğunu artırma mekanizmasıdır. Mikroçatlaklar, uygulanan gerilimle oluşan ana çatlağın taneler ve arayüzeyinde ayrışmasıdır. Çatlak saptırma mekanizmasında; iğnemsiz tanelerinin varlığı ile çatlağın yönünün değişerek kırılmanın gecikmesidir. Malzemede oluşan bir çatlak ve çatlağın taneye doğru ilerlemeye başlamasıyla çatlak ucunun taneye değdiği yerde gerilimler oluşur. Tane/matris arayüzeyi zayıf ise arayüzeyde kayma ve çatlağın yönüne dik gerilimler oluşur ve sonuçta debonding ve çatlak yönü saptırılır. Fakat gerilimler devam ettikçe tane/matris arayüzey delaminasyonu devam eder ve zayıf bir noktada tane kırılır. Fakat tane ile matris gerilimleri nedeniyle tane parçalanırsa bile matris faz fiberi bağlar ve pull-out görülür. Çatlak köprüleme mekanizmasında ise, uzamış tanelerin çatlağın ilerlemesini zorlaştırması ile çatlağın tanenin üzerinden geçerek ilerlemesidir. Uygulanan gerilim altında çatlak açıldıkça, gerilimin bir kısmı tanelere transfer edilir ki bu elastik olarak taneleri deforme eder. Köprüleme ile çatlak ucundaki gerilimler azalır ve çatlak ilerlemesi engellenir [22].

2.3. SiAlON Seramiklerinin Üretimi ve Kırılma Tokluğu Ölçümleri

SiAlON seramikleri başlangıç tozu olarak ağırlıkça %50 reaktivitesi yüksek diimide metoduyla üretilen α -Si₃N₄ tozu (UBE-SN E-10, UBE Industries Ltd., Tokyo, Japonya) ve %50 SHS yöntemiyle Si'un nitrürlenmesi sonucu oluşan $\sim 100\beta$ Si₃N₄ faz oranındaki başlangıç tozu (Beijing Chanlian-Dacheng Trade Co., Ltd) kullanılarak üretilmişlerdir. Sinterleme ilavesi, mikroyapı ve istenen faz gelişimini (30 α :70 β) sağlamak için Al₂O₃ (Alcoa (A16SG), AlN (H Type, Tokuyama Corp. Japonya), Sm₂O₃ (Stanford Materials Corp., USA), CaCO₃ (Reidel-de Haen) ve Y₂O₃ (H.C. Starck Berlin, Almanya) tozlarının Si₃N₄ tozları ile belli oranlarda karıştırılarak, izopropil alkol ortamında eksenel değirmende karıştırma sonrası çamur eldesi, döner kurutucuda kurularak granül eldesi ve tek eksenli presleme ile şekillendirme, gaz basınçlı sinterleme fırında sinterleme işleminin yapılmasıyla elde edilmişlerdir [25]. Sinterlenmiş numunelerin özelliklerini iyileştirmek amacıyla sinterleme sonrası 22 ve 100 bar azot gaz basınçlarında ısıtılma uygulanmıştır.

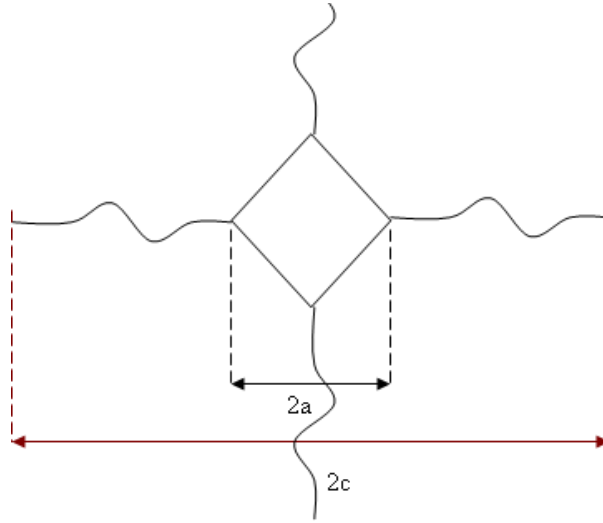
Yapılan çalışmada sinterleme sonrası uygulanan gaz basıncının kırılma tokluğuna etkisi, çok sayıda kırılma tokluğu ölçümleri yapılarak değerlendirilmiştir. Kırılma tokluğu ölçümleri indentasyon metodu ile gerçekleştirilmiştir. İndentasyon metodunda, elmas diagonal uç, parlatılmış numune yüzeyine 10 kg yük uygulanarak, 10 sn süre ile numune yüzeyinde beklenmesi sonucu, diagonalin dört ucunda oluşan çatlak uzunluklarının ölçülmesiyle aşağıdaki Evans & Charles tarafından geliştirilen formül ile hesaplanmıştır [26].

$$K_{Ic} = \frac{0.15k(c/a)^{-3/2} H_V \sqrt{a}}{\Phi}$$

Formülde K_{Ic}, kırılma tokluğunu (MPam^{1/2}), Φ faktör (≈ 3), H_V Vickers sertliğini (GPa), c radyal çatlakların ortalama uzunluğunu, a diagonalın yarısını, k ise düzeltme faktörünü (mevcut c/a değerleri

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

için ≈ 3.2). Şekil 3’de vikers indentasyonunda elde edilen iz şekli ve çatlak oluşumunun şekilsel gösterimi verilmiştir.



Şekil 3. Vikers indentinin ve oluşan çatlakların şematik gösterimi

22 bar ve 100 Bar da ısıl işlem görmüş numunelerden elde edilen 36 şar adet kırılma tokluğu sonucu istatistiksel analizde kullanılmıştır.

Daha önceden yaptığımız çalışmada, ekonomik ve safsızlık oranı yüksek β -Si₃N₄ tozu kullanılarak geliştirilen SiAlON seramiklerinin tekrar edilebilirliği incelenmiştir. Numuneler dört defa farklı zamanlarda gaz basınçlı sinterleme fırınında sinterlenerek üretilmiştir. MİNİTAB programıyla Vickers sertliği ve indentasyon kırılma tokluğu verilerinin istatistiksel analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak farklı zamanlarda ve aynı sinterleme koşullarında üretilen SiAlON seramiklerinin mikroyapıların benzer olduğu, sertlik ve kırılma tokluğu değerlerinde istatistiksel olarak çok az değişimlerin olduğu görülmüştür[27].

3. İSTATİSTİKSEL ARAÇLAR

İstatistik kavramını, yapılan araştırma ve çalışmaların amacına yönelik olarak var olan bir durum yada problemin belirlenmesi, bunun için uygun istatistik birimlerinin tanımlanması ve değişkenlerinin belirlenmesi, bu değişkenlerle ilgili olarak gerekli veri setlerinin toplanması, toplanan bu verilerin seriler, tablolar yada grafikler kullanılarak gösterilmesi, ve verilerin bu bilgiler ışığında incelenerek, çözümlenmesi, yorumlanması ve doğru kararlar alınması sürecini içeren bir bilimdir. İstatistik bilimi belirli olayların, süreçlerin ya da sistemlerin gözlemlenmesi yoluyla sağlanan verilerin düzenli bir şekilde toplanması, uygun metotlarla işlenmesi ve bu verilerden bir çıkarım yapılarak sonuca ulaşılabilmesi amacıyla faydalanılan tekniklerin tümünü içermektedir. Bu bilimde gelecek hakkında doğru kararlar alabilmek için mevcut durum ve öncesi sayısal metotlar kullanılarak analiz edilir. İstatistik biliminde incelenen olaylar ya da durumlar tipik ve kolektif olay olarak ikiye ayrılır. Tipik olaylar bir birbirine benzeyen uygun şartlar oluştuğunda tekrar eden olaylar iken kolektif olaylar arasında ortak noktalar bulunmasına rağmen benzerliğin olmadığı farklı olaylardır. Kimyasal, termal ve fiziksel olaylar tipik bir olayı gösterirken insan nüfusu kolektif bir olaydır. Na ve Cl’un uygun şartlarda tuzu oluşturması tipik bir olay iken, aynı şehirde yaşayan insanların farklı yaş, iş, cinsiyete sahip olması kolektif bir duruma örnektir. Aslen, istatistik biliminin içeriğini kolektif olayların oluşturduğunu söyleyebiliriz[28].

Yapılan gerek deneysel gerek hesaplamalı analiz yöntemlerinde elde edilen veriler genellikle dağınık ham verilerdir. Bu veriler ilgilenilen değişkenin almış olduğu değerler, açısından rastgele sıralanmış olduğu şekliyle gösterilmesi sonucu elde edilen bu tabloya da liste denir. Elde edilen bu verilerin iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için düzenlenmesi gerekir. Bu düzenleme birçok farklı

SİAION SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

şekillerde gerçekleştirilebilir. Verileri sıralayıp düzenli hale getiren yöntemlerden bazıları verilerin basit seri olarak gösterimi, frekans serisi olarak gösterimi ve sınıflandırılmış seri olarak gösterimi şeklinde olabilir[28].

3.1. Seriler

3.1.1. Basit Seri

Basit seride veriler büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe şeklinde sıralanarak veriler düzenli hale getirilir. Böylece bir seri dizilimine bakarak en küçük ya da en büyük değerler rahatlıkla görülebilir [28].

3.1.2. Frekans Serisi

Frekans serisi elde edilen verilerin almış olduğu farklı değerlerin küçükten büyüğe sıralanması ve sıralanmış bu değerlerin karşısına kaç defa tekrar ettiğinin yazılmasıyla oluşturulan seri türüdür. Bu tablo düzenlenip sonuçlar incelendiğinde en çok tekrar eden değer rahatlıkla görülebilir. Yalnızca elde edilen veri sayısı arttıkça sonuçları değerlendirmek zorlaşabilir [28].

3.1.3. Sınıflandırılmış Seri

Veri sayısının çok fazla olduğu frekans serilerinde verileri sınıflandırarak ya da gruplandırarak inceleme yapılır, bu seriler sınıflandırılmış yada gruplandırılmış seri olarak adlandırılır. Veri sayısının fazla olduğu böyle bir seride elde edilen değerlerinin, belirli sınıflara ayrılarak, bu sınıflara giren değerlere ait sayıların miktarı karşılıklarına yazılması ile sınıflandırılmış seri elde edilir. Sınıflandırılmış veride sınıf aralıkları Sturges Kuralı kullanılarak oluşturulur. Sınıflandırılmış seri oluşturulurken dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da verilerin sürekli veya kesikli olması durumunda sınıfların belirlenmesidir. Eğer değerler sürekli ise sınıflar belirlenirken her sınıfın üst sınır değeri sınıfa dâhil edilmez, fakat o değer izleyen sınıfın alt sınır değeri olur. Kesikli değerler söz konusu olduğunda ise ilgili sınıfın üst sınır değeri o sınıfa aittir. Bu seriye ait tablonun oluşturulması ile ilgilenilen veriye ait değerlerin aldığı en büyük ve en küçük değer, elde edilen verinin nerelerde yoğunlaştığı ve dağılım gösterdiği hakkında bilgi edinilir. Sınıflandırılmış serilerin grafikte gösteriminde histogramlar kullanılarak durum daha iyi inceleme açısından görselleştirilebilir [28].

3.2. Merkezi Eğilim(Yer) Ölçüleri

Elde edilen verilerin seriler şeklinde tablo olarak sunulması ya da grafikte gösterilmesi iyi bir değerlendirme yapmak açısından yeterli değildir. Bu nedenle elde edilen verilere ait değerlerin merkezinin ve merkez etrafında nasıl bir dağılım sergilendiğinin incelenmesi gerekir. Bu inceleme kullanılan ölçülere merkezi eğilim(yer) ölçüleri denir. Merkezi eğilim ölçülerini, aritmetik ortalama, geometrik ortalama, harmonik ortalama, mod, medyan, vb. dir [28].

3.2.1. Aritmetik Ortalama

Hayatımızın her alanında kullandığımız aritmetik ortalama elde edilen verilere ait değerler toplamının serideki değer sayısına bölünmesi ile elde edilir. Aritmetik ortalama hesabı ile verilerin hangi değerler çevresinde toplandığını gösteren sayısal bir ifadedir [28].

3.2.2. Medyan

Elde edilen veriler küçükten büyüğe sıralandığında ortada kalan veriye ait değer meydana değeri olup ortanca olarak da ifade edilir. Veri serisinde çift değer sayısı bulunması durumunda ortadaki iki değer aritmetik ortalaması alınarak medyan değeri bulunur. Verilerin %50 sinin hangi veri değerinden önce ya da %50 sinin hangi veri değerinden sonra geldiğini belirtir [28].

3.2.3. Mod

Mod, ise elde edilen veriler içinde en çok tekrar eden veriye ait değerdir. Basit bir seri frekans serisine çevrilerek mod değeri kolayca belirlenebilir. Gruplandırılmış yada sınıflandırılmış seri içinde

SiAION SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

mod hesaplamak oldukça basittir. Bazı verilerde birden fazla mod bulunabilir bu durumda çok mod dağılımlarla karşılaşılabilir. Mod değeri, merkezi eğilimin ya da en çok tercih edilenin gösterildiği bir ölçüm sistemidir [28].

3.3. Değişim-Değişkenlik Ölçüleri

Merkezi eğilim(yer) ölçüleri elde edilen verilerin frekans dağılımını iyi bir şekilde gösteremeyebilir. Kısaca ortalamaları aynı iki veri grubunun değişkenliği birbirlerinde oldukça farklı olabilir. Bu durumda elde edilen verileri değerlendirirken sadece yer ölçüleriyle değil değişim/değişkenlik ölçüleri ile de ifade etmek daha faydalıdır. Bu amaçla elde edilen veriler incelenirken değişim aralığı, varyans, standart sapma ve değişim katsayısı değişkenlik ölçüleri kullanılır[28,29].

3.3.1. Değişim Aralığı

Değişim aralığı elde edilen veriler içindeki en büyük değere sahip veri ile en küçük değere sahip verinin değerleri arasındaki farktır. Bu değişkenlik ölçüsü tüm veri grubundaki sadece iki veriyi kullandığı için değişkenlik ile ilgili olarak yeterli bir bilgi sunama ve aynı zamanda en uçtaki değerlerle bulunduğu için sıra dışı sonuçlara karşı oldukça hassastır[28].

3.3.2. Varyans ve Standart Sapma

Elde edilen serilerin aritmetik ortalamaya göre sapmaları her zaman sifıra eşit olduğundan, elde edilen verilerin aritmetik ortalamadan olan sapmalarının kareleri alınıp bu karelerin toplamının verideki değer sayısına bölünmesi ile elde edilen değişim ölçüsü varyansdır. Varyans değerinin karekökü hesaplanarak elde edilen verilere ait standart sapma değişim ölçüsü elde edilir. Değişkenliğin az olduğu veri setlerinde elde edilecek dağılım merkeze yakın iken değişkenliği fazla olan bir veri seti için elde edilecek dağılım merkezden daha uzak olacaktır [28].

3.3.3. Değişim Katsayısı (Ortalama Başına Sapma)

Elde edilen farklı veri setlerine ait serilerin değişkenliklerinin karşılaştırılmasında farklı birimlerle ölçülmüş verilerin standart sapmalarının belirlemek yeterli ve uygun olmayabilir. Bu durumda ilgili serilerin standart sapma değerleri ilgili serilerin ortamla değerlerinin yüzdesi şeklinde belirlenir. Böylece elde edilen verilerin farklı veri seti olduğu için bu verilerin aldığı değer büyüklüklerin den kaynaklanan fark kaldırılmış olup değerlendirme daha doğru yapılabilir. Bu değişkenlik ölçüsü, veri setlerinden elde edilen serilerin birbirlerine göre değişkenlikleri ya da benzerlikleri hakkında daha doğru bir yorum yapılmasını sağlar [28].

3.4. Verilerin Örnekleme Dağılımı Olarak İncelenmesi ve Güven Aralığı

Bilinen iki evrenden hesaplanan ortalamaların(aritmetik) birbirlerinden anlamlı bir derecede farklılaşıp farklılaşmadıklarının belirlenmesi z testi kullanılarak gerçekleştirilir. Güven aralığı kavramı, bir verinin istatistiksel olarak anlamlılık derecesini güven aralığı tahminlerine bağlı olarak tartışılır. Bu kavram bir anakütle parametresi için aralık kestirimine dayalı olan çıkarımsal bir çözümdür. Böylece anakütle parametrenin tek bir sayı ile kestirimi gerçekleştirileceğine bu parametre değerini içerecek şekilde alt ve üst sınır olmak üzere iki sayıdan oluşan bir aralıkla ifade edilir. Buda yapılan kestirimin ne kadar güvenilir olduğunu ortaya çıkarır. Güven aralığı, istatistikçiler, mühendisler yada tıbbi sektör vb. alanlarda çalışan kişiler tarafından %99, %95, ve %90 gibi bir yüzde orantı ifadesi şeklinde kullanılır. Bir çalışmada güven düzeyini yükseltmek, güven aralığı değerinin genişlemesine sebep olur[28,29].

Bu anlamda yapılan çalışmalarda istatistiksel araçlardan yararlanarak elde edilen verileri kullanarak karar vermek daha mantıklı ve doğru çıkarımların elde edilmesine sağlamaktadır. Bu amaçla bu çalışmada SiAION seramiklerinin üretimini özelliklerinde öneme sahip sinterleme basıncı miktarının SiAION seramiğinin tokluk değerine olan etkisi istatistiksel araçlar kullanılarak elde edilen veriler tartışılmıştır.

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

4. VERİLER VE İSTATİKSEL ANALİZİ

4.1. Veri Derlemesi

Aşağıda Tablo 1’de veri derlemesinde, birinci elden veri elde etme yöntemi olan deneysel çalışma tekniği kullanılarak veriler elde edilmiştir.

Tablo 1: SiAlON kompozitine ait tokluk değerleri

	α,β -SiAlON Kompoziti Kırılma Tokluğu Değerleri, (MPa.m ^{1/2})	
	Isıl İşlem Basıncı: 22 BAR	Isıl İşlem Basıncı: 100 BAR
1	5.0	7.0
2	5.0	7.0
3	5.1	6.9
4	5.1	6.9
5	5.2	7.1
6	5.2	7.0
7	5.0	7.0
8	5.1	7.0
9	5.0	6.9
10	5.3	6.9
11	4.9	6.9
12	5.3	6.8
13	5.2	6.9
14	5.0	6.8
15	5.2	7.0
16	5.0	7.0
17	5.0	7.2
18	5.3	7.1
19	5.2	6.9
20	5.0	6.8
21	5.0	6.8
22	5.4	7.3
23	5.2	7.3
24	4.8	7.1
25	4.9	7.1
26	5.0	6.8
27	5.0	7.0
28	5.0	7.0
29	5.1	7.1
30	5.4	7.1
31	5.2	6.9
32	5.1	7.3
33	4.9	7.0
34	5.1	7.0
35	5.0	7.4
36	5.2	7.1

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

4.2. Seriler

4.2.1. Verilerin Basit Seri Olarak Düzenlenmesi

SiAlON kompozitine ait iki farklı basınç için verilen basit seri tablosu, Tablo 2’de görüldüğü üzere küçük değerden büyük değere doğru incelendiğinde 22 Bar ve 100 Bar için en küçük değerler sırası ile 4.80 (MPa.m^{1/2}) ve 6.80 (MPa.m^{1/2}) en büyük değerler ise sırası 5.40(MPa.m^{1/2}) ve 7.40(MPa.m^{1/2}) olarak elde edilmiştir. Sonuçlardan 100 Balık numunelerin daha yüksek tokluk değerine sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 2: SiAlON kompozitine ait tokluk değerlerinin basit seri olarak gösterimi

α,β -SiAlON Kompoziti Kırılma Tokluğu Değerleri, (MPa.m ^{1/2})		
	Isıl İşlem Basıncı: 22 BAR	Isıl İşlem Basıncı: 100 BAR
1	4.8	6.8
2	4.9	6.8
3	4.9	6.8
4	4.9	6.8
5	5	6.8
6	5	6.9
7	5	6.9
8	5	6.9
9	5	6.9
10	5	6.9
11	5	6.9
12	5	6.9
13	5	6.9
14	5	7
15	5	7
16	5	7
17	5	7
18	5.1	7
19	5.1	7
20	5.1	7
21	5.1	7
22	5.1	7
23	5.1	7
24	5.2	7
25	5.2	7.1
26	5.2	7.1
27	5.2	7.1
28	5.2	7.1
29	5.2	7.1
30	5.2	7.1
31	5.2	7.1
32	5.3	7.2
33	5.3	7.3
34	5.3	7.3
35	5.4	7.3
36	5.4	7.4

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

4.2.2. Verilerin Frekans Serisi Olarak Düzenlenmesi

SiAlON kompozitine ait iki farklı basınç için verilen frekans serisi tablosu, Tablo 3’de küçük değerden büyük değere doğru incelendiğinde en çok tekrar eden tokluk verisinin 22 barda sinterlenen örnekler için 5.00 (MPa.m^{1/2}) 100 barda sinterlenen örnekler için 7.00 (MPa.m^{1/2}) olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3: SiAlON kompozitine ait tokluk değerlerinin frekans serisi olarak gösterimi

α, β -SiAlON Kompoziti Kırılma Tokluğu Değerleri, (MPa.m ^{1/2})				
	22 BAR		100 BAR	
	Kırılma Tokluğu	Frekans (f)	Kırılma Tokluğu	Frekans (f)
1	4.8	1	6.8	5
2	4.9	3	6.9	8
3	5	13	7	11
4	5.1	6	7.1	7
5	5.2	8	7.2	1
6	5.3	3	7.3	3
7	5.4	2	7.4	1

4.2.3. Verilerin Sınıflandırılmış Seri Olarak Düzenlenmesi

Sınıflandırılmış seride sınıf sayısı Sturges Kuralı kullanılarak bulunmuştur. Sturges kuralı ile bulunan sınıf sayısı aşağıdaki formül(4.1) kullanılarak hesaplanmıştır. Bulunan sınıf sayısı değeri formül(4.2)’de kullanılarak sınıf aralığı tespit edilmiştir.

$$\text{Sturges Kuralı} \rightarrow (m : 1 + 3.322 \cdot \log n) \quad (4.1)$$

m: sınıf sayısı

n : örnek sayısı

$m : 1 + 3.322 \cdot \log 36 \rightarrow m : 6.17 \approx 7$ (Bütün verileri kapsamı için 7 alınır.) Örnek sayıları her iki grup içinde aynı olduğu için sınıf sayıları m’de aynıdır.

$$h : (X_{\text{enb}} - X_{\text{enk}}) / m \quad (4.2)$$

h: sınıf aralığı

X_{enb} : en büyük örnek değeri

X_{enk} : en küçük örnek değeri

$$h : (5.4 - 4.8) / 7 : 0.086 \approx 0,09 \quad (22 \text{ Bar veri grubu için})$$

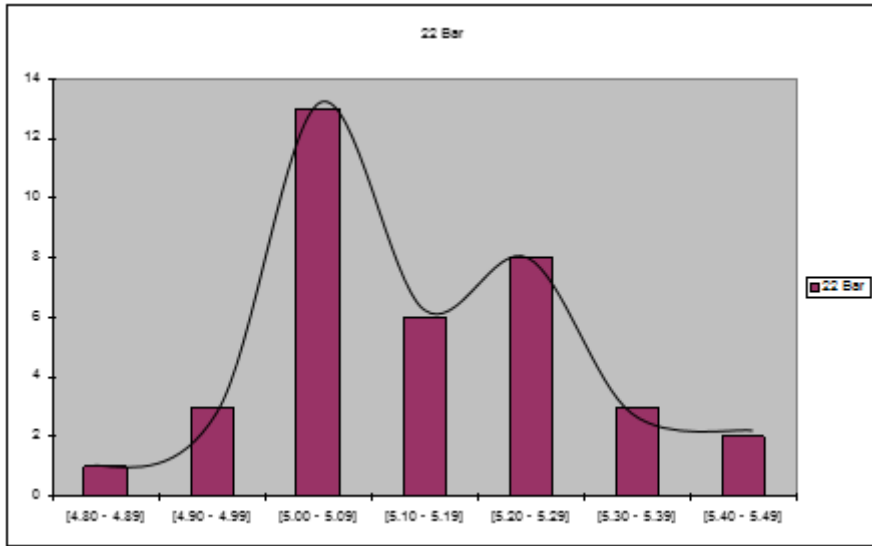
$$h : (7.4 - 6.8) / 7 : 0.086 \approx 0,09 \quad (100 \text{ Bar veri grubu için})$$

SiAlON kompozitine ait iki farklı basınç için verilen sınıflandırılmış serisi tablosu, Tablo 4 ve grafikleri Şekil 4 ve 5 incelendiğinde en çok tekrar eden tokluk verisinin 22 barda sinterlenen örnekler için 5.00-5.09 (MPa.m^{1/2}) arasında olduğu değerlerin üst değerlere doğru dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. 100 barda sinterlenen örnekler için değerlerin 7.00-7.09 (MPa.m^{1/2}) arasında olduğu verinin alt değerlere doğru dağılım gösterdiği belirlenmiştir.

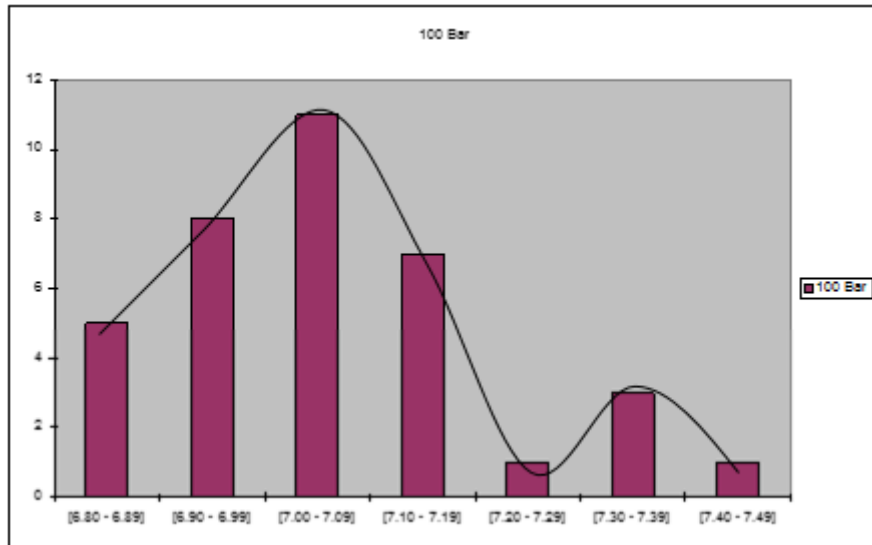
SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Tablo 4: SiAlON kompozitine ait tokluk değerlerinin sınıflandırılmış seri olarak gösterimi

α,β -SiAlON Kompoziti Kırılma Tokluğu Değerleri, (MPa.m ^{1/2})				
	22 BAR		100 BAR	
	Kırılma Tokluğu Sınıfları	Frekans (f)	Kırılma Tokluğu Sınıfları	Frekans (f)
1	[4.80 – 4.89]	1	[6.80 – 6.89]	5
2	[4.90 – 4.99]	3	[6.90 – 6.99]	8
3	[5.00 – 5.09]	13	[7.00 – 7.09]	11
4	[5.10 – 5.19]	6	[7.10 – 7.19]	7
5	[5.20 – 5.29]	8	[7.20 – 7.29]	1
6	[5.30 – 5.39]	3	[7.30 – 7.39]	3
7	[5.40 – 5.49]	2	[7.40 – 7.49]	1



Şekil 4: 22 Bar'lık verilere ait histogram grafiği



Şekil 5: 100 Bar'lık verilere ait histogram grafiği

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

4.3. Verilere ait Betimleyici İstatistikler(Yer Ölçüleri)

4.3.1. Ortalamalar

SiAlON kompozitine ait iki farklı basınç değeri için elde edilen tokluk verisi seti için aritmetik ortalama hesaplanması yeterli olduğu için kareli, geometrik ve harmonik ortalamalara bakılmayacaktır. Tablo 5 incelendiğinde 22 barda sinterlenen numune için aritmetik ortalama değeri 5.09(MPa.m^{1/2}) iken 100 barda sinterlenen numune için 7.01 (MPa.m^{1/2}) olup artan basınç ile tokluk değerinin ~%40 arttırdığı görülmektedir. Aritmetik ortalama hesabı eşitlik 4.3’de verilmiştir. Eşitlikte X değişkenin aldığı değerleri, n değişken sayısı yada toplam frekans olarak ifade edilir.

$$\text{Aritmetik Ortalama: } \frac{X_1+X_2+\dots+X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4.3)$$

Tablo 5: α,β -SiAlON Kompoziti Kırılma Tokluğuna ait Aritmetik Ortalama değerleri

Kırılma Tokluğu Aritmetik Ortalama Değerleri, (MPa.m ^{1/2})	
22 Bar	100 Bar
5.09	7.01

4.3.2. Medyan(Ortanca Değer)

SiAlON kompozitine ait iki farklı basınç değeri için elde edilen tokluk verisi setinin ortanca değeri, veri setini iki eşit parçaya bölen değerdir. Bu anlamda basit, frekans ve sınıflandırılmış seriye ait medyan değerleri her iki veri grubu için aşağıda Tablo 6 ve 7’de verilmiştir. Basit seri ve frekans serisinde her iki veri grubu için aynı değerler elde edilmesine rağmen sınıflandırılmış seride farklı değerler elde edilmesinin nedeni sınıf aralıklarından kaynaklanmaktadır. Eşitlik 4.4, 4.5 ve 4.6’da sırası ile basit seri, frekans serisi ve sınıflandırılmış seriye hesaplamada kullanılacak eşitlikler verilmiştir. Sınıflandırılmış seride, L_m: medyanı içeren sınıf aralığının alt sınırını, n: toplam frekansı, F: medyan sınıftan önceki tüm sınıfların frekansları toplamı, f_m: medyanı içeren sınıfın frekansı, h: medyan sınıfının büyüklüğüdür.

Basit Seri	Frekans Serisi	Sınıflandırılmış Seri
$(X_{(n/2)}+X_{(n/2+1)})/2$	$(X_{(n/2)}+X_{(n/2+1)})/2$	$((n/2 - F)/f_m)*h + L_m$
(4.4)	(4.5)	(4.6)

Birikimli Frekans Değeri bulunur.

Tablo 6: 22 Bar’a ait Kırılma Tokluğu Medyan Değerleri

22 Bar		
Basit Seri	Frekans Serisi	Sınıflandırılmış Seri
Medyan Değerleri		
5.100	5.100	5.115

Tablo 7: 100 Bar’a ait Kırılma Tokluğu Medyan Değerleri

100 Bar		
Basit Seri	Frekans Serisi	Sınıflandırılmış Seri
Medyan Değerleri		
7.000	7.000	7.075

SiAION SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

4.3.3. Mod

En çok tekrar eden veri değeridir. Basit, frekans ve sınıflandırılmış seriye ait mod değerleri her iki veri grubu için aşağıda Tablo 8’de verilmiştir. Basit seri ve frekans serisinde her iki veri grubu için aynı değerler elde edilmesine rağmen sınıflandırılmış seride farklı değerler elde edilmesinin nedeni sınıf aralıklarından kaynaklanmaktadır. Bu sonuç tokluk değerlerindeki eğilimin sınıflandırılmış seri değerlendirildiğinde 22 Barda olan için ortalamadan aşağı yönlü, 100 barda olan için yukarı yönlü olduğu söylenebilir. Eşitlik 4.7’de sınıflandırılmış seriye ait denklem verilmiştir. Denklemde, L_1 : mod sınıfının alt sınırı, Δ_1 : mod sınıfının frekansı ile ondan bir önce gelen sınıfın frekansları arasındaki fark, Δ_2 : mod sınıfının frekansı ile ondan bir sonra gelen sınıfın frekansları arasındaki fark, h : sınıf aralığıdır.

Tablo 8: 22 Bar ve 100 Bar’a ait Kırılma Tokluğu Mod Değerleri

22 Bar		
Basit	Frekans	Sınıflandırılmış
En çok tekrar eden değer	Frekansı en yüksek olan değer	$L_1+(\Delta_1/(\Delta_1+\Delta_2))*h$ (4.7)
Mod Değeri		
5.000	5.000	5.053
100 Bar		
Basit	Frekans	Sınıflandırılmış
En çok tekrar eden değer	Frekansı en yüksek olan değer	$L_1+(\Delta_1/(\Delta_1+\Delta_2))*h$ (4.7)
Mod Değeri		
7.000	7.000	7.039

4.4. Verilere ait Betimleyici İstatistikler(Değişimi Ölçüleri)

4.4.1. Değişim Aralığı (Range)

SiAION kompozitine ait iki farklı basınç değeri için elde edilen tokluk verisi setinin değişim katsayısı değeri incelendiğinde her iki veri grubu içinde 0.6 olup değişkenliğin benzer olduğu söylenebilir. Fakat diğer değişkenlik ölçüleri kullanılarak sonuçlar elde edip değişkenlik için birlikte yorum yapmak daha doğru olacaktır.

Range : $X_{enb}-X_{enk}$	Range _{22 Bar} : 5.4 - 4.8 : 0.6	Range _{100 Bar} : 7.4 - 6.8 : 0.6
---------------------------	---	--

Her iki veri grubu içinde değişim aralığı değeri 0.6’dır.

4.4.2. Varyans/Std. Sapma

Veriler deneysel olduğu için ana kütle parametreleridir. Basit, frekans ve sınıflandırılmış serilere ait standart sapma ve varyans değerleri Tablo 9 ve 10’da gösterilmiştir. Eşitlik 4.8’de standart sapmaya ait denklem verilmiştir.

$$\text{Std. Sapma} \rightarrow s = ((\sum f_i*(X_i-M)^2)/n-1)^{1/2} \quad (4.8)$$

SiAION kompozitine ait iki farklı basınç değeri için elde edilen tokluk verisi setinin standart sapma değeri incelendiğinde 22 barda sinterlenen numuneler için 0.1440 (MPa.m^{1/2}) iken 100 barda sinterlenen numuneler için 0,1530 (MPa.m^{1/2}) dir. Bu sonuçlardan 100 barlık numunelere ait verilerin değişkenliğinin daha fazla olduğu söylenebilir.

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Tablo 8: 22 Bar'a ait Kırılma Tokluğu Standart Sapma ve Varyans Değerleri

α,β -SiAlON Kompoziti Kırılma Tokluğu Değerleri, (MPa.m ^{1/2})					
	22 BAR	Frekans	(X-X)	(X-X)*2	f.((X-X)*2)
	Kırılma Tokluğu	(f)			
1	4,80	1	-0,31	0,096	0,096
2	4,90	3	-0,21	0,044	0,132
3	5,00	13	-0,11	0,012	0,157
4	5,10	6	-0,01	0,000	0,001
5	5,20	8	0,09	0,008	0,065
6	5,30	3	0,19	0,036	0,108
7	5,40	2	0,29	0,084	0,168
					0,728
					0,0208
Std Sapma (22Bar)		0,1440			

Tablo 9: 100 Bar'a ait Kırılma Tokluğu Standart Sapma ve Varyans Değerleri

α,β -SiAlON Kompoziti Kırılma Tokluğu Değerleri, (MPa.m ^{1/2})					
	100 BAR	Frekans	(X-X)	(X-X)*2	f.((X-X)*2)
	Kırılma Tokluğu	(f)			
	6,80	5	-0,210	0,044	0,221
	6,90	8	-0,110	0,012	0,097
	7,00	11	-0,010	0,000	0,001
	7,10	7	0,090	0,008	0,057
	7,20	1	0,190	0,036	0,036
	7,30	3	0,290	0,084	0,252
	7,40	1	0,390	0,152	0,152
					0,816
					0,0233
Std Sapma (100 Bar)		0,1530			

4.4.3. Değişim Katsayısı (Ortalama Başına Sapma)

Eşitlik 4.9'da değişim katsayısına ait denklem gösterilmiştir.

$$DK: (s/x)*100 \quad (4.9)$$

$$22 \text{ Bar için} \quad DK : 0.144/5.09*100 = 2.83$$

$$100 \text{ Bar için} \quad DK : 0.153/7.01*100 = 2.18$$

Bu sonuçlara bakıldığında, 22 Bar'da sinterlenen numunelerde değişkenliğin daha fazla olduğu söylenebilir. Fakat değişim katsayısı farklı özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanıldığı için burada karşılaştırılan tokluk değerleri olduğu için çok da doğru olmayacaktır.

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

4.5. Verilerin (X_1-X_2) nin Örnekleme Dağılımı Olarak İncelenmesi ve Güven Aralığının Oluşturulması

SiAlON ait iki farklı basınç değeri için verilen Tokluk değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir. 22 barda sinterlenen numuneler ile 100 barda sinterlenen numunelerin örnek tokluk değerleri arasındaki farkın $2 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ‘dan fazla olma olasılığı bulunmak istendiğinde tokluk değerleri arasında böyle bir farkın olma ihtimalinin aşağıda hesaplandığı şekliyle %1.13 ihtimale sahiptir.

$$M_1: 5.09$$

$$S_1: 0.144$$

$$M_2 : 7.01$$

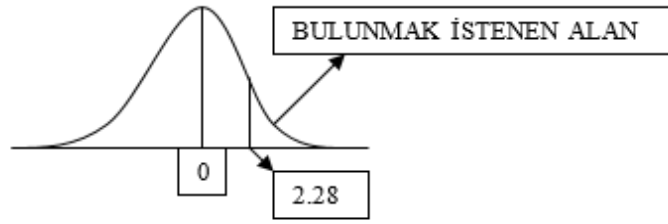
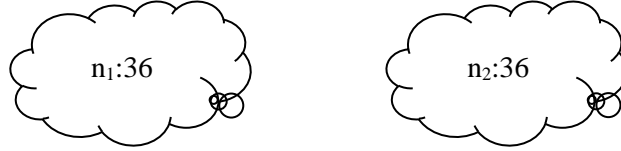
$$S_2 : 0.153$$

$$\sigma_1^2, \sigma_2^2 \text{ bilinmiyor. } n_1, n_2: 36 > 30$$

$$P(X_1-X_2 \geq 1)$$

$$P \left[\frac{(X_1-X_2)-(M_1-M_2)}{\left(\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}\right)^{1/2}} \geq \frac{(2) - (5.09-7.01)}{\left(\frac{0.144^2}{36}+\frac{0.153^2}{36}\right)^{1/2}} \right]$$

$$P [Z \geq 2.28]$$



$$= 0.5 - P(0 < Z < 2.28) = 0.5 - 0.4887 = 0.0113$$

Aradaki farkın $2 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ‘dan fazla olma olasılığı % 1.13’ dür.

SiAlON kompozitine ait iki farklı basınç değeri için verilen Tokluk değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir. 22 Barda sinterlenen numuneler ile 100 barda sinterlenen numunelerin örnek tokluk değerleri farkı %90 ve % 99 güven seviyelerinde iki farklı basınçtaki tokluk değeri ortalamaları incelendiğinde, güven düzeyi arttığında, güven aralığının genişlediği görülmüştür. %90 güven seviyesinde 100 bardaki numunelerinin 22 bardaki numunelere göre daha yüksek tokluk değerlerine sahip oldukları söylenebilir. 100 bar tokluk değerleri ortalaması 22 bar a göre en az 1.86 fazla en yüksekte 1.98 fazladır.

%99 güven seviyesinde 100 bar numunelerinin 22 bar a göre daha yüksek tokluk değerlerine sahip oldukları söylenebilir. 100 bar tokluk değerleri ortalaması 22 bar a göre en az 1.83 fazla en yüksekte 2.01 fazladır.

$$M_1: 5.09$$

$$S_1: 0.144$$

$$M_2 : 7.01$$

$$S_2 : 0.153$$

$$C_1 : 0.90 \quad \alpha_1: 0.100$$

$$C_2 : 0.99 \quad \alpha_2: 0.010$$

$$\sigma_1^2, \sigma_2^2 \text{ bilinmiyor. } n_1, n_2: 36 > 30$$

$$(X_1-X_2) \pm Z \alpha_{1/2} \cdot \left(\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}\right)^{1/2} \quad Z \alpha_{1/2} : 0.05 \rightarrow 1.645$$

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

$$(5.09-7.01)-1.645 (0,035) \leq Z \leq (5.09-7.01)+1.645 (0,035)$$

$$-1.98 \leq (M_{22 \text{ bar}} - M_{100 \text{ bar}}) \leq -1.86 (-, -)$$

$$(X_1 - X_2) \pm Z \alpha_{1/2} \cdot ((S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2))^{1/2} \quad Z \alpha_{1/2} : 0.005 \rightarrow 2,576$$

$$(5.09-7.01)-2.576 (0,035) \leq Z \leq (5.09-7.01)+2.576 (0,035)$$

$$-2.01 \leq (M_{22 \text{ bar}} - M_{100 \text{ bar}}) \leq -1.83 (-, -)$$

Görüldüğü gibi güven seviyesi artırıldığında aralık genişlemekte ve daha çok değer o aralıkta kalmaktadır.

Sonuç olarak 100 bardaki tokluk değerleri 22 bar numunelerine göre daha yüksektir. Bu fark güven aralığı değerlerinden açıkça görülmektedir. Tokluktaki artışın getirdiği kazanç basıncı artırmakla daha fazla harcanan maliyetten yüksek olduğu sürece 100 barda sinterlemek mantıklı olacaktır.

5. KAYNAKÇA

- 1) Jack, K: H: Review :SiAlONs and related nitrogen ceramics, *J. Mater. Sci.*, 1976, 11, 1135.
- 2) M. J. Hoffmann, "Relationship between microstructure and mechanical properties of silicon nitride", *Pure and Applied Chemistry*, 67, [6], (1995), pp. 939-946.
- 3) M. Herrmann and G. Petzow 'Silicon Nitride Ceramics', Structure and Bonding, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Vol.102, pp.47-166, (2002).
- 4) T. Ekström and M. Nygren, 'SiAlON Ceramic', *J Am Ceram Soc*, 75, 259-276, (1992).
- 5) Mitomo, M., & Tajima, Y. (1991). Sintering, properties and applications of silicon nitride and SiAlON ceramics. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 99(1154), 1014-1025.
- 6) Somiya, S. (2013). *Handbook of advanced ceramics: materials, applications, processing, and properties*. Academic press. Chapter 3.2. Review and Overview of Silicon Nitride and SiAlON, Including their Applications
- 7) <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/silicon-nitride>
- 8) K. H. Jack and W. I. Wilson 'Ceramics based on the Si-Al-O-N and related systems', *Nature (London) Phys Sci*, 238, 28-29, (1972).
- 9) S. Hampshire, H. K. Park, D. P. Thompson, K. H. Jack (1978), 'α-SiAlON ceramics', *Nature*, 274, 880
- 10) N. Calis, S.R. Kushan, F. Kara, H. Mandal, "Functionally graded SiAlON ceramics", *Journal of the European Ceramic Society*, 3387-3393, 2004.
- 11) Shen, Z., and Nygren, M., "Kinetic aspects of superfast consolidation of silicon nitride based ceramics by spark plasma sintering", *Journal of Materials Chemistry*, 11(1), 204-207 (2001).
- 12) Xu, G. F., Zhuang, H. R., Wu, F. Y., and Li, W. L., "Microwave reaction sintering of α-β-SiAlON composite ceramics", *Journal of the European Ceramic Society*, 17(5), 675-680 (1997).
- 13) Hwang, S. L., and Chen, I. W., "Reaction hot pressing of α'-and β'-SiAlON ceramics", *Journal of the American Ceramic Society*, 77(1), 165-171 (1994).
- 14) Olsson, P. O., and Ekström, T., "HIP-sintered β- and mixed α-β SiAlONs densified with Y₂O₃ and La₂O₃ additions", *Journal of materials science*, 25(3), 1824-1832 (1990).
- 15) Li, H. X., Sun, W. Y., Wang, P. L., Yan, D. S., and Tien, T. Y., "The effect of GPS parameters on mechanical properties of Y—α-SiAlON ceramics", *Ceramics international*, 23(5), 449-456 (1997).
- 16) N. Calis Acikbas, O. Demir, "The effect of cation type, intergranular phase amount and cation mole ratios on z value and intergranular phase crystallisation of SiAlON ceramics", *Ceramics International*, Volume 39, 3249–3259, (2013).
- 17) N. Calis Acikbas ve F. Kara, "Endüstriyel SiAlON-TiN kesici uç üretiminde proses koşullarının etkisi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 6(4), 716 - 724, 2018

SiAlON SERAMİKLERİNDE ISIL İŞLEM BASINCI KIRILMA TOKLUĞU İLİŞKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

- 18) N. Calis Acikbas, "SiAlON seramiklerinin sinterleme davranışı ve mikroyapı gelişimini etkileyen parametreler", Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, ISSN1302-3055, Sayı 39, sayfa 31-42, 2017.
- 19) H. Mandal, N. Calis Acikbas, " Processing, Characterization and Mechanical Properties of SiAlONs Produced from Low Cost β -Si₃N₄ Powder", KONA Powder Particle Journal, Volume 30, 22–30, (2013).
- 20) Irene G. Cano and Miguel A. Rodríguez (2004) : Synthesis of β -Silicon nitride by SHS: fiber growth, Scripta Materialia, Volume 50, Issue 3, pp. 383-386.
- 21) Acikbas Calis, N., Kumar, R., Kara, F., Mandal, H., and Basu, B, (2011) : Influence of β -Si₃N₄ particle size and heat treatment on microstructural evolution of α : β -SiAlON Ceramics, Journal of the European Ceramic Society, Volume 31, pp.629–635.
- 22) Dawidg, R. W., "Mechanical Behaviour Ceramics", Cambridge University Press, (1979)
- 23) Courtney, T.H. (1986) "Mechanical Behavior of Materials" ISBN: 0 07 100680 X, U.S.
- 24) Richerson, W. D., "Modern Ceramic Engineering", p.162-204, 1992
- 25) R. Kumar, N. Calis Acikbas, F. Kara, H. Mandal, B. Basu, "Microstructure - Mechanical Properties - Wear Resistance Relationship of SiAlON Ceramics", Metallurgical and Materials Transactions A, 2319-2332, 2009.
- 26) Evans, A. G. ve Charles, E. A., "Fracture Toughness Determinations by Indentation", *J. Am. Ceram. Soc.*, 59, 371, 1976.
- 27) N. Calis Acikbas and G. Acikbas, "ISEM2016, 3rd International Symposium on Environment and Morality" konferansı dahilinde "Statistical Evaluation of Repeatability Analyses of SiAlON Production Process", 4-6 November 2016, Alanya – Turkey.
- 28) Aslanargun, A., Yazıcı, B., Mert Kantar, Y., Şenoğlu, B., & Usta I. (2012). İstatistik-1. (2.Baskı), Anadolu Üniversitesi Web-Ofset, Eskişehir, Türkiye.
- 29) Burnak, N., (1997). Toplam Kalite Yönetimi, İstatistiksel Süreç Kontrolü. Tekam, Eskişehir, Türkiye.

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA’NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Dilek Cemal¹, Gülşen Bayat², Gülçin Yıldız^{3*}

^{1,2,3}Iğdır Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 76000 Iğdır

gulcn86@gmail.com

** Sorumlu Yazar*

1. GİRİŞ

Gıdaların üretimleri ve saklanması en bilinen geleneksel ve pahalı olmayan metotlar arasında fermantasyon teknolojisini saymak mümkündür. Fermente gıdalar özellikle insan sağlığında meydana getirdiği pozitif sonuçları neticesinde dünya genelinde geniş ölçüde üretilip tüketilmektedir. Gerek besleyici özellikleri ve gerekse de duyuşsal özellikleri ile oldukça ilgi çekmektedir. Fermantasyon teknolojisi ile üretilmiş hububat kökenli bir ürün olan boza; darı, mısır, pirinç, buğday gibi farklı hububatlarından üretilmektedir. Bozanın karakteristik özellikleri tatlı-ekşimsi bir tat, kehribar sarı renk ve asidik-alkollü bir kokuya sahip oluşudur. Bozanın kalitesi değişik koşullardan etkilenmekle birlikte yapımda kullanılan hammaddeye ve uygulanan fermantasyon metoduna göre değişmektedir. Geleneksel fermente Türk içeceği olarak nitelendirilen boza, özellikle kış aylarında tüketilmekte ve dünyanın bir çok ülkesinde bilinmektedir.

Boza, geleneksel en eski Türk içeceklerinden biridir. Fermantasyon sonucu üretilen bozanın tarihine bakacak olursak 8-9 bin yıllık bir geçmişe sahip olduğu söylenebilir. Boza, ülkemiz dışında Orta Asya’dan Balkanlara kadar uzanan oldukça büyük bir alanda farklı şekillerde üretilmektedir. Laktik asit, protein, karbonhidrat, yağ, vitamin ve lif içerikleri sebebiyle boza diğer fermantasyon ürünlerine benzer şekilde besinsel öğeler açısından oldukça zengin bir üründür. Boza yapımında kullandığımız tam taneli hububatlar, ferulik, p-kumarik, kafeik ve sinapik asit gibi fenolik maddeler bakımından zengin birer kaynaktır.

2. BOZA

Boza, TSE (2002)’e göre “yabancı maddelerden arındırılmış darı, pirinç, buğday, bulgur ve mısır gibi tahılların kırmaları yahut unlarından herhangi biri ya da birçoğunun, içme suyuna eklenerek pişirilmesi ve beyaz şeker katılarak tekniğine uygun bir şekilde alkol ve laktik asit fermantasyonlarına maruz bırakılması sonucunda elde edilen bir üründür”. Fermente ürünler, bazı spesifik ön işlemlere tabi tutulan hammaddelerin, uygun bir sıcaklıkta farklı mikroorganizmaların katkısıyla daha dayanıklı ve sağlam bir gıdaya dönüştürülmesi ile üretilmektedir (Yücel ve Köse, 2002). Fermantasyona tabi tutulmayan ürünlerle kıyaslandığında fermente gıdaların besleyici değeri, fonksiyonel ve sindirilebilirlik özellikleri daha üstündür (Hancıoğlu ve Karapınar, 1998). Esas olarak bozanın orijini bira olup günümüz şartlarında üretilen biradan farkı alkol fermantasyonuna ek olarak laktik asit fermantasyonunun da gerçekleşmesidir. Boza üretiminde, değişik oranlarda farklı hammaddeler ve farklı fermantasyon işlemleri gerçekleşmekte ve dolayısıyla ürünün kalitesi farklılık gösterebilmektedir (Genç ve ark., 2002). Boza üretimi esnasında gerçekleşen fermantasyon işlemi, bozanın hem fonksiyonel ve hem de sindirilebilirlik özelliklerinin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, boza içermiş olduğu laktik asit, protein, karbonhidrat, yağ, vitamin ve lif içeriğiyle insan beslenmesinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır (Arici ve Daglioglu, 2002). Boza yapımında kullanılan hububatlar, fenolik asit açısından oldukça zengin olup bu fenolik asitler içerisinde en fazla bulunanı ferulik asittir (Mattila ve ark., 2005). Bundan farklı olarak hububatlar genellikle kafeik,

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

sinapik, protokateşik, vanilik, p-kumarik ve p-hidroksibenzoik asit içermektedirler (Matila ve ark., 2005). Hububatlarda, fenolik asitlerin yoğun bir şekilde bulunduğu katman kabuk kısmı olup, birçok rahatsızlığa özellikle kanser ve kalp rahatsızlıklarına karşı koruyucu özelliklere sahiptir (Mattila ve ark., 2005).

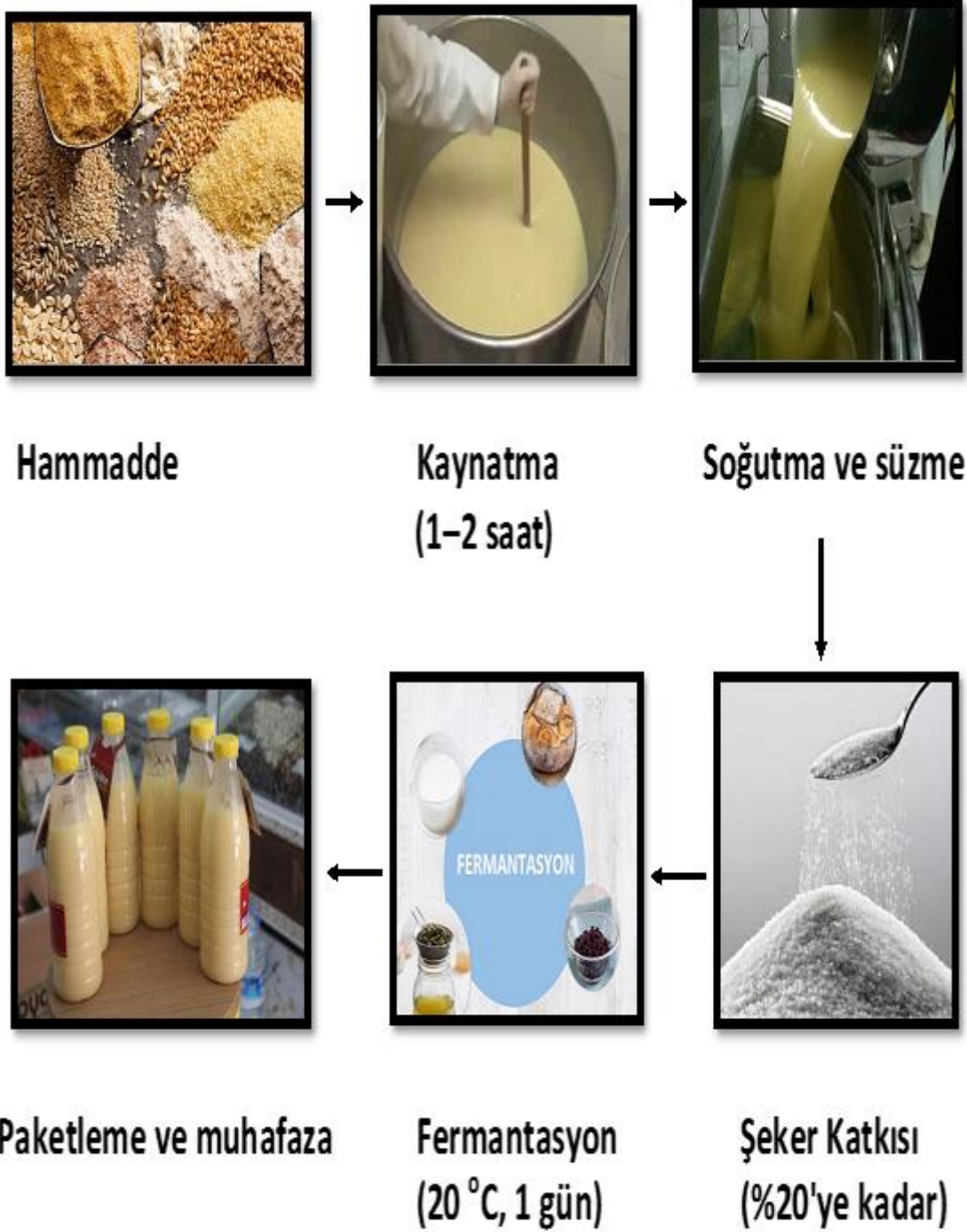
2.1. Bozanın Tarihi

Boza sözcüğünün aslı Fars dilinde “darı” anlamındaki “Buze” den gelmektedir. “Boza” isminin yanı sıra Türki Cumhuriyetler, Arap ülkeleri ile birtakım Afrika kabilelerinde “Buha” ve “Merissa” olarak da tanınmaktadır. İtalyanca, İspanyolca, Portekizce, Bulgarca, Hırvatça, Macarca ve Arnavut dillerinde de “Boza” olarak isimlendirilmiştir. Rumenceye “Bozan”, Yunancaya “Bozas”, Rusça, Lehçe ve Çekceye “Buza”, Fransızcaya “Bouza”, Almancaya “Busa” olarak geçmiştir (Birer, 1987). Boza ile günümüz biralari arasında büyük farklılıklar olsa da en eski ya da en basit bira çeşidi olarak kabul görmektedir. Boza 8000-9000 yıllık bir geçmişe sahiptir. M.Ö 400 yıllarında Xenophon Anabasis’inde Doğu Anadolu’daki köylerde konakladıklarında testiler içinde boza yapıldığını ve su katılmadan içilen sert bir arpa şarabı olarak kullanıldığı söylenmektedir (Pamir, 1961). Kaşgarlı Mahmut’un 1074 yılına ait eseri Divan-ü Lügat-it Türk’de, boza Karahanlılarca “buhoun” olarak tanımlanmış ve darıdan üretildikleri belirtilmiştir (Topal ve Yazıcıoğlu, 1986). Orta Asya Türkleri bozayı çok eski tarihlerden itibaren tüketmektedirler. Türkler, Orta Asya’dan göç ettikleri diğer coğrafi bölgelerde o yöre insanına bozayı öğretmişler ve günümüzdeki coğrafi alana genişlemesine de yardımcı olmuşlardır. Geleneksel fermente bir Türk içeceği olan boza, Balkanlar, Kırım, Kafkasya, Orta Asya ve Mısır’a kadar yayılmıştır (Tangüler, 2014). Türkiye ve başka ülkelerde elde edilen boza arasındaki değişikliklerin sebebi kullanılan hammadde, üretim yöntemi ve alkol miktarıdır. Türkiye’de üretilen bozada alkol miktarı yaklaşık %1 oranında seyrederken başka coğrafi bölgelerde bu miktarın %1-6 arasında değiştiği belirtilmiştir. Bozanın ilk üreticileri Türkler olsa da ülkemizde uzun seneler boyunca göz ardı edilmiş ve yalnız kış aylarında sokak aralarında satılan ve tüketilen bir gıda olarak kalmıştır. Bu durum Doğu Avrupa ile Balkanların boza içeceğini kendi geleneksel gıdaları içerisinde görmelerine fırsat yaratmıştır. Evliya Çelebi 1650’li yıllarda İstanbul ilinde 300’ün üzerinde bozacı dükkanının yer aldığını ve bu dükkanlarda 1000 üzerinde bozacının çalıştığını belirtmiştir. Osmanlı döneminde çok fazla mayalandırılarak, içerisine afyon eklenen bozahanelerin, 1800’li yıllara doğru ortadan kalktığı bildirilmiştir.

2.2. Bozanın Üretimi

Türkiye’de boza üretiminde tüm hububatların unu/irimiği kullanılmakla beraber en uygun tat ve lezzete sahip bozanın darı tahılından üretildiği aktarılmıştır (Arici ve Daglioglu, 2002). Bozanın besleyici özelliklerini etkileyen başlıca faktörler; hububat çeşidi, reçetedeki oranı, fermantasyon zamanı ve sıcaklığıdır (Tangüler, 2014). Bozanın üretiminde esas olarak 2 farklı fermantasyon gerçekleşmektedir. Bunlardan ilki, maya hücrelerinin yapmış olduğu alkol fermantasyonu ve ikincisi ise laktik asit bakterilerinin (LAB) rol oynadığı laktik asit fermantasyonudur. Fermantasyon prosesi ile bozanın serbest asitlik miktarı artmakta, pH’sı azalmakta ve laktik asit bakterilerinin meydana getirdiği metabolit bileşenler yardımıyla gıda karakteristik bir lezzete sahip olmaktadır (Kabak ve Dobson, 2011). Fermantasyona uğramayan bozanın pH’sı 4.1-6.7 değerleri arasında değişiklik gösterirken, bu değer fermantasyon işlemiyle 4.0 ya da daha aşağıya düşmektedir (Yücel ve Köse, 2002). Bozanın üretim aşamaları Şekil 1’de gösterilmektedir:

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ



Şekil 1: Bozanın üretim aşamaları

2.2.1. Hammadde

Ülkemizde çoğunlukla boza darıdan üretilmekle beraber farklı yörelerde değişik tahıllar da kullanılmaktadır. Kırım ve Türkistan'da boza yapımında kullanılmak üzere diğer hububatlarla kıyasla pirinç ile darı tercih edilmektedir. Diğer taraftan, Tatar Türkleri yarı yarıya darı, buğday ve yulaf unu kullanırken, Kırgızlar buğday yarması kullanmaktadır. Başka ülkelerde mısır, arpa, çavdar, yulaf, buğday, karabuğday, arnavut darısı gibi hububatların unu nadiren de olsa kenevir tohumu mayalandırılarak yapılır (Güven ve Benlikaya, 2005). Boza imalatında yararlanılan malzemelerin barındırdığı yabancı maddeler elekten geçirilerek ayrıştırılır (Birer, 1983). Sonrasında ise darı

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

hammaddesi değirmende öğütme işlemine maruz bırakılarak irmik ve ununa ayrıştırılır. Kullanılan darı rengine bağlı olarak üretilen bozanın rengine de farklılık gözlenmektedir.

2.2.2. Kaynatma

Darıdan üretilen irmik, kaynamış su içine eklenerek büyük kazanlarda kaynatılır. Kaynatma süresince topaklanmanın önüne geçmek amacıyla sürekli ve hızlı bir şekilde karıştırılır (Birer, 1983). Hemen hemen hammaddenin 6 misli miktarında su eklenmekte ve bu miktar kullanılan malzemenin türüne göre farklılık gösterebilmektedir (Birer, 1983). Hammaddeler kazana eklendikten sonra zaman içerisinde su alarak şişme ve genişlemeye başlar. Kaynatma zamanı, kaynatma sıcaklığına bağlı olarak 60-120 dakika arasında değişiklik gösterebilmektedir (Arici ve Daglioglu, 2002).

2.2.3. Soğutma

Kaynatılmış hammadde pişirildiği kazandan çıkarılarak soğutma teknesine alınır. Bu safhada 2 ile 12 saat arasında soğumaya terkedilir (Birer, 1983).

2.2.4. Süzme

Soğutulmuş ürün yaklaşık 2-3 kat oranında su ile karıştırılır, daha sonrasında elekten elenerek süzme işlemine tabi tutulur (Birer, 1983). Elekten geçirilen boza “şekersiz ham boza” olarak nitelendirilir.

2.2.5. Şeker İlavesi

TSE'nin (1992) boza standardı göz önüne alınacak olursa bozada şeker oranının minimum %15 olması gerekmektedir. Fermantasyondan çok daha fazla randıman alınması amacıyla ham bozaya 0.20 (%) miktarında şeker ilave edilir (Arici ve Daglioglu, 2002). Bu durumdaki boza “şekerli ham boza” şeklinde tanımlanır. Şekerli ham boza, 15 -18 saat süresince dinlendirilmeye bırakılır.

2.2.6. Fermantasyon

Şekerli ham bozada gerçekleşen fermantasyonda bir önceki bozayı maya olarak kullanmak mümkündür. Fermantasyon için 0.2-0.3 (%) miktarında önceki imalattan ayrılan boza maya olarak eklenir ve fermantasyon 16-25 °C'de 1 günde gerçekleştirilebilir (Birer, 1983). Zorba ve arkadaşları (2003) yürüttükleri bir çalışmada fermantasyon işlemini 30°C'de 1 gün içerisinde gerçekleştirmişlerdir. Boza üretiminde hem alkol ve hem de laktik asit fermantasyonu gerçekleşmektedir. Alkol fermantasyonu neticesinde bozada CO₂ oluşması sonucunda hacim artar. Laktik asit fermantasyonu sonucunda ise boza asidik bir tat kazanır (Arici ve Daglioglu, 2002). Alkol fermantasyonu mayaların faaliyeti neticesinde gerçekleşmekte ve alkol oranı fermantasyonun zamanına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Alkol fermantasyonunu gerçekleştiren mayalar *Saccharomyces carlsbergensis hansen* ve *Saccharomyces cerevisiae* iken bozada en fazla karşılaşılan yabancı mayalar *Candida mycoderma* ve *Torulopsis candida* olarak bilinir (Birer, 1983). Laktik asit fermantasyonu yapan bakteriler *Streptococcus* sp, *Micrococcus varlans migula* ve *Lactobasillus* sp' dir. Bozanın ferahlatıcı özelliği, içinde erimiş durumda yer alan karbondioksitten kaynaklanmaktadır. Bozanın ağızda bıraktığı ekşilik ise laktik asit fermantasyonundan ileri gelmektedir.

2.3. Bozanın Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri

Boza asitlik değeri baz alındığında ”tatlı boza” ve “ekşi boza” şeklinde iki gruba ayrılır. Hububatlar, bir karbonhidrat çeşidi olan polisakkaritler açısından oldukça zengin bir kaynaktır (Salovara, 2004). Karbonhidratların haricinde mineral, vitamin ve steroller gibi mikroorganizmaların gelişmesine katkı sağlayan besin öğelerine de sahiptir (Salovara, 2004). Bozanın kimyasal bileşimi Tablo 1'de gösterilmektedir. Bozanın fermentasyon işlemiyle besleyici özelliği ve fermentasyon esnasında meydana gelen lezzet ve aroma ürünleriyle de duyuşsal karakteristikleri oluşur (Hancıoğlu ve Karapınar, 1998).

LAB'si boza ürününde laktik asit, CO₂, asetaldehit, H₂O₂, diasetil ve amino asit gibi bileşiklerin meydana gelmesine sebep olur (Akkoç ve ark., 2011). LAB'leri mikrobiyolojik

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

bozulmanın önlenmesinde ve aroma bileşiklerinin meydana gelmesinde oldukça önemli bir role sahiptir (Todorov ve ark., 2006). Fermantasyon sırasında meydana çıkan mayalar ise bozada etil alkol ve CO₂ oluşumuna neden olurlar. LAB'leri proteolitik aktivite sergilerken, mayalar ise karbonhidratları glikoza çevirir (Gotcheva ve ark., 2000). Maya ve LAB'lerinin fermentasyonu ayrıca ortamdaki yağ, mineral ve vitamin miktarını da etkilemektedir (Gotcheva ve ark., 2000).

Tablo 2: Bozanın kimyasal bileşimi (TSE, 2002)

Analizler	Değer
Kuru madde miktarı	Minimum %20 (m/m)
Toplam Şeker	Minimum %10 (m/m)
Etil alkol	Maksimum %2 (m/m)
Kül	Maksimum %0.2 (m/m)
Toplam Asitlik	%0.2-0.5 (m/m) (tatlı boza) %0.5-1.0 (m/m) (ekşi boza)
Uçucu Asitlik	Maksimum %0.1 (m/m) (tatlı boza) Maksimum %0.1 (m/m) (ekşi boza)

Saccharomyces ve *Candida* türüne ait mayalar ülkemiz bozalarının yanısıra Bulgar bozalarında da yaygın bir şekilde görülmektedir (Guyot, 2010). Gotcheva ve ark., (2000) Bulgaristan'daki bozaların fermantasyonunda etkili mikroorganizmaları araştırdıkları bir çalışmada LAB'leri olarak, *L. plantarum*, *L. acidophilus* ve *L. fermentum*, maya olaraksa *S. cerevisiae*, *C. tropicalis* ve *C. glabrata* türlerini tanımlamışlardır. Botes ve arkadaşları da (2007) gerçekleştirdikleri bir araştırma neticesinde Bulgaristan'da üretilen boza örneklerinden izole edilen LAB miktarını 9×10^6 ile 5×10^7 kob/ml aralığında bulmuşlardır. Hancıoğlu ve Karapınar da (1997) ülkemizde imal edilen bozaların mikroflorasını belirlemek amacıyla gerçekleştirdikleri araştırmalarında 8 farklı tür LAB'si ve 2 farklı tür maya tanımlamışlardır. Tanımlanan laktik asit bakterileri şu şekildedir: %25 civarında *Leuconostoc paramesenteroides*, %22 oranında *Lactobacillus sanfrancisco*, %19 oranında *Leuconostoc mesenteroides subsp. mesenteroides*, %9 oranında *Lactobacillus coryniformis*, %7 civarında *L. Confusus*, %7 oranında *Leuconostoc mesenteroides subsp. Dextranicum*, %6.5 civarında *Lactobacillus fermentum* ve %4 oranında *Leuconostoc oenos*. Öte yandan, tanımlanan mayalar ise: %83 oranında *Saccharomyces uvarum* ile %17 oranında *S. cerevisiae*'dir.

Bozada bulunan mikroorganizmalar içindeki etkileşimler gıdanın kalitesinde değişikliklere neden olmaktadır (Zorba ve ark., 2003). Zorba ve arkadaşları (2003) gerçekleştirdikleri araştırma neticesinde, en iyi kültür kombinasyonunu *S. Cerevisiae*, *L. mesenteroidessubsp. mesenteroides* ve *L. confusus* birleşimi olarak belirlemişlerdir.

Bozada fermentasyon sırasında asitlik, indirgen şeker, çözünür protein, asetik asit, LAB'si oranında artış gözlenirken, pH, sakaroz ve toplam şeker oranında düşme gerçekleşmektedir (Yücel ve Köse, 2002). Bunun yanı sıra, maya yükü ile etanol oranı başlarda yükselirken fermantasyonun devam ettiği süreçte düşmeye başlar (Yücel ve Köse, 2002). Fermentasyon esnasında üründe gerçekleşen kimyasal ve mikrobiyolojik değişimler Tablo 2'de gösterilmektedir:

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Tablo 2. Fermantasyon esnasında bozada gerçekleşen kimyasal ve mikrobiyolojik değişiklikler (Hancıoğlu ve Karapınar, 1997)

Fermentasyon zamanı (dakika)	pH	Asitlik	Alkol	LAB (kob/ml)	Maya (kob/ml)
0	6.13	%2	%2	7.6 x 10 ⁶	2.25 x 10 ⁵
240	5.85	%4	%2	8.6 x 10 ⁶	3.9 x 10 ⁵
480	4.77	%5	%2	3.4 x 10 ⁶	7.4 x 10 ⁵
1440	3.48	%27	%79	4.6 x 10 ⁶	8.1 x 10 ⁵

LAB'leri gıda bozulmalarında ve gıda zehirlenmelerinde rol oynayan mikroorganizmaların gelişmesini önlemektedir (Hancıoğlu ve Karapınar, 1998). Bu bakteriler antimikrobiyal bileşik olarak nitelendirilen bakteriyosin üretmekte ve sonuç olarak ürünün raf ömrünü uzatmaktadır (Molendorf ve ark., 2006). Bakteriyosinler genetik olarak benzer cinslere kıyasla bakterisidal ve bakteristatik aktiviteye sahip küçük proteinlerdir (Todorov ve Dicks, 2004). Laktik asit fermentasyonu neticesinde elde edilen gıdalardaki antimikrobiyal özellik, fermentasyonla meydana gelen organik asitler (laktik asit, asetik asit vs.), hidrojen peroksit ve bakteriosin gibi metabolik ürünlerin katkısıyla gerçekleşmektedir (Hancıoğlu ve Karapınar, 1998). Laktik asit fermentasyonu neticesinde meydana gelen organik asitler pH'nın düşmesine neden olarak zararlı bakterilerin gelişmesini önler. Bakteriyosinlerin ise *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *B. coagulans*, *B. circulans*, *B. laterosporus*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *B. Subtilis* üzerine engelleyici etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir (Hancıoğlu ve Karapınar, 1998).

2.4. Bozanın Muhafazası

Boza gerek kış mevsiminde gerekse de barındırmış olduğu laktik asitin serinletici özelliği nedeniyle yaz mevsiminde tüketilen geleneksel fermentatif bir içecektir. Fakat yüksek sıcaklıkta maya ve asetik asit bakterileri hızlı bir şekilde üreyerek bozanın duyuşal özelliklerinde değişime sebep olmaktadır (Meriç, 2010). Bozanın raf ömrü yaklaşık 2 hafta civarında olup fermentasyonun her basamağında pH'sı 3.5'dan aşağıya düşünceye dek tüketilebilmektedir (Gotcheva ve ark., 2000; Altay ve ark, 2013).

Caputo ve ark. (2012) yaptıkları bir çalışmada bozanın 4 °C'de saklanması durumunda raf süresinin 7-14 gün civarında olduğu, devamında ise ürünün asiditesinin artarak tüketilemez duruma geldiği sonucuna ulaşmışlardır. Probiyotik starter kültür yardımıyla elde edilen bozanın raf ömrü ise 4°C'de yaklaşık 2 hafta olarak belirtilmiştir (Arslan ve ark., 2015).

Kentel (2001)'in gerçekleştirdiği bir araştırmada bozanın raf süresinin farklı koşullarda (pastörizasyon, koruyucu madde ilavesi ve soğukta depolama gibi metotlarla) uzatılması hedeflenmiştir. Koruyucu madde ilavesi ve soğukta depolama koşullarında gerek yeteri kadar fermente olan gerekse de yeterince fermente olmamış mikroorganizma yükü daha düşük olan boza kullanılmıştır. Pastörizasyona tabi tutulan bozaların (70 °C - 80 °C, 10 dk) içilebilir özelliklerini 1 aydan daha uzun bir süre koruyabildiği bildirilmiştir. Kimyasal koruyucu maddelerin (sodyum benzoat ve potasyum sorbat) maya gelişimini engellemede daha etkin rol oynadığı, bu işlemin yeteri kadar fermente olmamış bozada bilhassa 4°C'deki depolamada etkili olduğu ve bozanın raf ömrünü 2 haftaya kadar çıkardığı bildirilmiştir. Aynı araştırmada, yeteri kadar fermantasyona tabi tutulmamış bozayı soğukta muhafaza etmenin (4°C) fermente olmuş bozaya kıyasla daha başarılı olduğu ve bozanın 10 gün kadar muhafaza edilebileceği belirtilmiştir (Kentel, 2001).

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

2.5. Bozanın Sağlık Üzerine Etkisi

Boza içermiş olduğu laktik asit, protein, karbonhidrat, yağ, vitamin ve lif dolayısıyla insan beslenmesinde oldukça değerli ve besleyici özelliği yüksek bir üründür. Tablo 3'te bozanın içermiş olduğu bazı besinsel öğeler gösterilmektedir (Arici ve Daglioglu, 2002). Boza, zengin besin ve enerji içeriğinin dışında sindirim sistemindeki rahatlatıcı özelliği sebebiyle de tüketilmektedir (Güven ve Benlikaya, 2005).

Tablo 3: Bozada bulunan besinsel öğeler (Arici ve Daglioglu, 2002)

	Ortalama
İnvert şeker	%6.2
Toplam şeker	%15.1
Dekstrin	%1
Protein	%1.23
Kül	%0.15
Lif	%0.02
Yağ	%0.25
Asitlik	%0.3-%0.5
Uçucu Asitlik	%0.04-%0.13
Alkol	<%0.6
B1 vitamini	0.19-0.25 mg/100 g KM
B2 vitamini	0.18-0.21 mg/100 g KM
B6 vitamini	0.32-0.36 mg/100 g KM

Bozanın üretiminde kullanılan tam taneli hububatlar, fenolik bileşenler bakımından epeyce zengindir. Fenolik asitler ve flavonoidler gibi çok sayıda fenolik bileşenin hububatlarda varlığını kanıtlayan pek çok araştırma bulunmaktadır. Hububatlarda yer alan esas fenolik asitler; ferulik ve pkuamrik asit ve asıl flavonoid ise antosiyaninlerdir. Fenolik bileşenler sahip olduğu antioksidan etki nedeniyle kanser ve kalp rahatsızlıklarında olduğu gibi serbest radikallerin rol oynadığı dejeneratif rahatsızlıklara karşı da koruyucu özellik sergilemektedir (Dykes ve ark., 2007).

Özpinar (2012), gerçekleştirdiği bir çalışmada kefir ve bozanın antioksidan özelliklerini araştırmış ve bu gıdaların içermiş oldukları yüksek antioksidan kapasitesi sebebiyle doğal antioksidan şeklinde tüketilebileceklerini belirtmiştir. Bosna-Hersek yöresinde birtakım geleneksel alkol içermeyen içeceklerin antioksidan özelliklerinin çalışıldığı farklı bir araştırmada ise, geleneksel şekilde üretilen ürünlerin ticari üretime kıyasla daha fazla antioksidan etkisine sahip oldukları bildirilmiştir. Aynı araştırma kapsamında çalışılan bozaların toplam fenolik madde miktarı 273.15-210.59 mg TAE/L arasında bulunurken, antosiyanidin miktarı 956.04-1539.83 mg kateşin/L arasında bulunmuştur (Marjanović, 2015).

Bozanın insan sağlığı üzerindeki etkilerinin çalışıldığı diğer bir araştırmada ise dejeneratif rahatsızlıklar içerisinde hayli önemli bir yere sahip hipertansiyon rahatsızlığı ile boza arasındaki ilişki açıklanmıştır. Hipertansiyon ve bununla alakalı kalp damar rahatsızlıklarının iyileştirilmesinde Anjiyotensin I dönüştürücü enzim (ACE) inhibitörü özelliğine sahip biyoaktif peptitlerin değeri yaygın bir şekilde bilinmektedir. Yürütülen araştırmada, bozanın kan basıncını düzenleyici (ACE inhibitörü) özelliğe sahip peptitler bakımından iyi bir kaynak olduğu ve bu sebeple de tüketicilere gazlı içecekler yerine bozanın tavsiye edilmesi gerekliliği belirtilmiştir (Kancabaş ve Karakaya, 2013).

Probiyotikler, uygun miktarda alınmaları halinde ev sahibi organizma üzerinde farklı yararlı etkileri olan mikroorganizmalar olarak tanımlanabilmektedir. Todorov ve arkadaşları (2007), bozadan elde ettikleri *Lact. plantarum*, *Lact. rhamnosus*, *Lact. pentosus* ve *Lact. paracasei* türlerinin probiyotik etkileri üzerine yürüttükleri araştırmanın neticesinde bozayı probiyotik LAB'si bakımından zengin bir kaynak olarak tanımlamış ve bozanın fonksiyonel bir gıda olarak pazarlanabileceğini bildirmişlerdir.

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Probiyotik ürünlerin insan sağlığı üzerine olan etkilerini şu şekilde sıralamak mümkündür (Bielecka, 2007; Shah, 2010):

- a) Probiyotikler, vitamin ve minerallerin emilimleri ile gıdanın sildirilebilme özelliklerini yükselterek ürünün besinsel değerini artırır.
- b) Bağırsak florasının gelişmesine katkı sağlarlar.
- c) Sindirim sisteminde meydana gelen enfeksiyonları karşı antimikrobiyal etki gösterirler.
- d) Laktoz metabolizmasının gelişmesine katkı sağlarlar.
- e) Antimutajenik etkiye sahiptirler.
- f) Antikanserojenik etkiye sahiptirler.
- g) Serum kolesterolünü azaltmaya yardımcıdır.
- h) Antidiyareik etkiye sahiptirler.
- i) Bağırsaklık sistemini kuvvetlendirmeye yardımcı olurlar.
- j) Antialerjenik özellik gösterirler.
- k) Osteoporozu engellemede rol oynarlar.
- l) İnflamatuar bağırsak rahatsızlığının iyileştirilmesinde etkin rol oynarlar.

3. SONUÇLAR

Hububat kaynaklı, fermantasyon neticesinde elde edilen gıdalar arasında oldukça değerli bir yere sahip olan Boza içeceği, başta çocuk ve gençler olmak üzere her yaşta insanın sağlık üzerindeki pozitif etkileri nedeniyle kolaylıkla tüketilebileceği bir içecektir. Gerek evlerimizde gerekse de küçük ölçekli işletmelerde yapılmaktadır ve sanayi ölçekli üretimi henüz yaygınlaşmamıştır. Bozadaki işlem şartları standardize edilmeli ve sertifikalı bir başlangıç kültürü kullanılarak fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kalite açısından standart bir gıda üretilmelidir. Hem doğal ve hem de fonksiyonel ürünlere talebin arttığı günümüzde, boza hak ettiği konumuna getirilmelidir.

4. KAYNAKÇA

Akkoç, N., Ghamat, A., & Akçelik, M. (2011). Optimisation of bacteriocin production of *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* MA23, a strain isolated from Boza. *International Journal of Dairy Technology*, 64(3), 425-432.

Altay, F., Karbancıoğlu-Güler, F., Daskaya-Dikmen, C., & Heperkan, D. (2013). A review on traditional Turkish fermented non-alcoholic beverages: Microbiota, fermentation process and quality characteristics. *International Journal of Food Microbiology*, 167(1), 44-56.

Arici, M., & Daglioglu, O. (2002). Boza: a lactic acid fermented cereal beverage as a traditional Turkish food. *Food Reviews International*, 18(1), 39-48.

Arslan, S., Durak, A.N., Erbas, M., Tanriverdi, E., Gulcan, U., 2015. Determination of microbiological and chemical properties of probiotic boza and its consumer acceptability. *Journal of the American College of Nutrition* 34(1): 56-64.

Bielecka, M., (2007). Probiotics in Food, in *Chemical and Functional Properties of Food Components*, p. 413–426, Eds. Sikorski, Z. E., CRC Press, USA.

Birer, S. (1983). Boza yapımı ve özellikleri. *Gıda*, 12(5), 341-344.

Botes, A., Todorov, S.D., Von Mollendorff, J.W., Botha, A., & Dicks, L.M.T. (2007). Identification of lactic acid bacteria and yeast from boza. *Process Biochemistry*, 42(2), 267–270.

Caputo, L., Quintieri, L., Baruzzi, F., Borcakli, M., & Morea, M. (2012). Molecular and phenotypic characterization of *Pichia fermentans* strains found among Boza yeasts. *Food Research International*, 48(2), 755-762.

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Dykes, L., & Rooney, L.W. (2007). Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World*, 52(3), 105-111.

Genc M., Zorba, M. & Ova, G. (2002). Determination of rheological properties of boza by using physical and sensory analysis, *Journal of Food Engineering*, 52, 95–98.

Guyot, (2010). Fermented Cereal Products, in *Fermented Foods and Beverages of the World*, Eds. Prakash Tamang, J. and Kailasapathy, K., CRC Press, USA.

Güven, K. & BenliKaya, N. (2005). Acid Ph produced by lactic acid bacteria prevent the growth of *Bacillus Cereus* in boza, a traditional fermented Turkish beverage, *Journal of Food Safety*, 25, 98-108.

Gotcheva, V., Pandiella, S.S., Angelov, A., Roshkova, Z.G., & Webb, C. (2000). Microflora identification of the Bulgarian cereal-based fermented beverage boza. *Process Biochemistry*, 36(1), 127-130.

Hancıoğlu, Ö., & Karapınar, M. (1998). Hububat bazlı fermente ürünler ve fermantasyon işleminin sağladığı avantajlar. *Gıda*, 23(3), 211-215.

Kabak, B., Dobson, & A.D. (2011). An introduction to the traditional fermented foods and beverages of Turkey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(3), 248-260.

Kancabaş, A., & Karakaya, S. (2013). Angiotensinverting enzyme (ACE) inhibitory activity of boza, a traditional fermented beverage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(3), 641- 645.

Kentel, Z.B. (2001). Bozanın raf ömrünün uzatılması üzerine çalışma.Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Marjanović, A., Dedibegović, J., Brčanić, M., Omeragić, E., Čaklović, F., Dobrača, A., & Šober, M. (2015). Antioxidant potential of selected traditional plant-based beverages in Bosnia and Herzegovina. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*, 45, 9-12.

Mattila, P., Pihlava, J., & Hellstrom, J. (2005). Contents of phenolic acids, alkyl- and alkenylresorcinols, and avenanthramides in commercial grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(21), 8290–8295.

Meriç, A., 2010. Trakya Bölgesinde Üretilen Bozaların Bazı Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Mollendorff, J.W., Todorov, S.D., & Dicks, L.M.T. (2006). Comparison of bacteriocins produced by Lactic-acid bacteria isolated from Boza, a cereal-based fermented beverage from the Balkan Peninsula. *Current Microbiology*, 53(3), 209–216.

Özpınar, A. (2012). Kefir ve Bozanın in vitro Antioksidan Aktivitelerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Pamir, M.H. (1961). Boza Üzerinde Mikrobiyolojik ve Kimyasal Araştırmalar. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara.

Salovaara, H. (2004). Lactic acid bacteria in cereal-based products, in *Microbiological and Functional Aspects*, Eds. Salminen, S., Wright, A. and Ouwehand A., CRC Press, USA.

Shah, N. P. (2010). Health Benefits, Efficacy, and Safety, in *Biotechnology in Functional Foods and Nutraceuticals*, p. 485–496, Eds. Bagchi, D., Lau, F. C. ve Ghosh, D. K., CRC Press, USA.

Tangüler, (2014). Traditional Turkish fermented cereal based products: Tarhana, boza and chickpea bread, *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 2(3), 144-149.

Topal, S., Yazıcıoğlu, T. :Boza Mikroflorası Üzerine Bir Araştırma Diabet Yılı 1985 XIX Diabet Günleri Gençlik ve Beslenme Kongresi, İstanbul.

GELENEKSEL FERMENTE TÜRK İÇECEĞİ BOZA'NIN ÜRETİMİ VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Todorov, S.D., & Dicks, L.M.T. (2006). Screening for bacteriocin-producing lactic acid bacteria from boza, a traditional cereal beverage from Bulgaria comparison of the bacteriocins. *Process Biochemistry* 41(1), 11–19.

Todorov, S.D., & Dicks, L.M., (2007). Bacteriocin production by *Lactobacillus pentosus* ST712BZ isolated from boza. *Brazilian Journal of Microbiology* 38(1), 166-172.

TS 9778, 1992. Boza, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Yücel U., & Köse, E. (2002). İzmir'de üretilen bozaların kimyasal bileşimi üzerine bir araştırma. *Gıda*, 27(5), 395-398.

Zorba, M., Hancıoğlu, Ö., Genç, M., Karapınar, M., & Ova, G. (2003). The use of starter cultures in the fermentation of boza, a traditional Turkish beverage. *Process Biochemistry*, 38(10),1405-1411.

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALI BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

Güllü Kırat

Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yozgat, Türkiye

gullu.kirat@bozok.edu.tr; gul.kirat@hotmail.com

1. GİRİŞ

Stratabound Cu-Ag ve Cu-Co yatakları, denizel veya karasal (Red-bed) şeyllerde, siltaşlarında ve kumtaşlarında ve çevre ile ilişkili bazaltlar, evaporitler, breşler ve konglomeralarda yaygın olarak bulunur. Bu yataklar buharlaşma ile ilişkili olup, rift havzalarında, kurak ve yarı kurak oksitlenmiş ortamlarda bulunur (Adilkhan ve ark., 2015).

Cu, yer kabuğunda 25-75 mg / kg ve ortalama 55 mg / kg konsantrasyonlarında bulunur. Dünyanın farklı bölgelerinde farklı topraklarda ortalama toplam Cu içeriği 14 ila 109 mg / kg arasında değişmektedir. Cu konsantrasyonu, az kumlu topraklarda çok düşük konsantrasyonlarda ve toprak dokusu, toprak oluşum süreci ve kil fraksiyonuyla ilişkili topraklarda çok yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Ayrıca, Fe ve Mn oksitli topraklarda çok az bulunur (yaklaşık %15-25). Cu, kükürt ile güçlü bir bağ oluşturur. Oluşturduğu bu mineraller kalkopirit ($CuFeS_2$), bornit (Cu_5FeS_4), kalkozit (Cu_2S), kovellit (CuS), sfalerit (ZnS), pirit (FeS) ve galen (PbS)'dir. Bakır sülfürün atmosfere salınması sırasında, Cu, oksit ve karbonat mineralleri ile birlikte cuprit (Cu_2O), tenorit (CuO), malakit ($Cu_2CO_3(OH)_2$) ve azurit ($Cu_2(CO_3)_2(OH)_2$) oluşturur. Bu cevherleşme daha çok asidik magmatik kayalarda ve çeşitli tortul yataklarda oluşur (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011).

Maden yataklarında farklı birçok bitki yetişmesine rağmen, üzerinde yetiştiği toprağın farklı kimyasal özelliklerini yansıtan bitkiler biyojeokimyasal prospeksiyonda kullanılmaktadır. Bu prospeksiyonda kullanılan bitkiler indikatör (belirleyici) bitki olarak adlandırılmaktadır (Brooks ve ark., 1995). Bu indikatör bitkiler, sahadaki metal kirliliğinin belirlenmesi için bir çevresel izleme aracı olarak da kullanılır. Ayrıca, sahadaki metal kirliliğini uzaklaştırmak ve temizlemek için de bu bitkiler ekilerek yetiştirilmektedir (Dunn ve ark., 1996; Yılmaz ve Zengin, 2003; Aceto ve ark., 2003, Dongarra ve ark., 2003; Uysal, 2004; Turan ve ark., 2006).

Bitkilerin kökleri güçlü bir örnekleme mekanizmasına sahiptir. Çünkü, bitkiler toprak neminden yüksek miktarda besin alır. Çözelti yoluyla gelen inorganik tuzlar genellikle bitkinin üst kısımlarında birikir. Bu nedenle, bitkiler yetiştiği ortamda iki önemli işleve sahiptir. Bunlar, yeryüzünde metallerin ve diğer bileşenlerin çözünmesi ile metalleri ve diğer inorganik maddeleri organlarında toplamaları şeklindedir. 1930'ların başından beri, bitkiler doğal kaynakların biyojeokimyasal olarak incelemesi için kullanılmaktadır (Sagiroglu ve ark., 2006).

Farklı ortamlarda yetişen bitkilerde Cu, kül içerisinde 5 ila 1500 mg / kg arasında değişmektedir. Bununla birlikte, tüm bitki sürgünlerinin Cu içerikleri genellikle 20 mg / kg'ı aşmaz ve bu nedenle 20 ila 100 mg / kg arasındaki değerlerin normalden çok fazla olduğu düşünülür. Cu, bitkilerin çoğunda köklerde ve diğer organlarda daha fazla bulunur (Kabata-Pendias ve Pendias, 2011).

Topraktaki yüksek bakır içeriği ekosistem ve insanlar için risk oluşturabilir. Örneğin, bitkilerdeki yüksek bakır seviyeleri bitki toksisitesini doğrudan etkileyebilir, orta seviyedeki bakır ise,

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

kronik maruziyeti ve üreme oranlarını etkileyebilir (Adriano, 2001; Marschner, 1986; Sauve, 1997; Ginocchio ve ark., 2006).

Ağır metallerin toksik ve birikim özellikleri, çevrede önemli ölçüde antropojenik kirlilik oluşturduğundan (Omgbo ve Kokogbo, 1993), araştırmalar ağır metal kirliliğinin hesaplanması ile incelenmiştir (Alak ve Sümer, 2017).

Bu çalışmada, bakır mineralizasyonunun bulunduğu topraklarda doğal olarak yetişen *Salsola kali* bitkisinin kök, dal, yaprak ve tohumlarındaki Cu dağılımını ve birikimi incelenmiştir. Ayrıca, bu bitkinin ve üzerinde yetiştiği toprakların metal içerikleri belirlenerek, zenginleşme ve transkasyon faktörleri de hesaplanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. İndüktif olarak Eşleşmiş Plazma - Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

Çalışma alanındaki *Salsola kali* ve toprak örneklerinin element içeriğini belirlemek için İndüktif olarak Eşleşmiş Plazma - Kütle Spektrometresi (ICP-MS) (Thermo Scientific™ iCAP Q, USA) kullanılmıştır. ICP-MS, katı ve sıvı numunelerdeki birçok elementi nicel ve yarı nicel olarak ölçen analitik bir yöntemdir. ICP kaynağı, numunedeki element atomlarını iyonlara dönüştürür. Bu iyonlar birbirinden ayrılır ve kütle spektrometresi ile ölçülür. Analizden önce numuneleri sindirmek için bir mikrodalga sindirim sistemi (Milestone Start D) kullanılır. Tüm numuneler ve standartlar için bir su arıtma sisteminden gelen ultra saf su (Millipore Direct-Q, Millipore Corporation, Bedford, Mass., USA) kullanılır. Çalışma sırasında kullanılan tüm kimyasallar yüksek saflıkta reaktif sınıfındadır.

3. ÇALIŞMA ALANI VE JEOLJİSİ

Çalışma alanı, Kırşehir İ32-b3 paftasında (Şekil 1) ve deniz seviyesinden 841 m yükseklikte bulunmaktadır. Bölge iklimi karasal olup, kışlar soğuk ve ayazdır. Köylerde ekonomi tarıma ve hayvancılığa dayanmaktadır.

Delice ile Yerköy arasında kalan alanda Oligosen yaşlı (Miyosen?) bakır yataklarında cevherleşme üç farklı stratigrafik lokasyonda görülmektedir. Birincisi, denizel fosil içeren (Orta Eosen) ve kireçtaşlarını üzerleyen gri ve kırmızı renkli karasal çakıltaşları ve kumtaşları içindeki nabit bakırdır. İkincisi, çakıltaşları, kırmızı kumtaşları ve çamurtaşlarını içeren Topraklık tepe formasyonunda (Oligosen) (Miyosen?) bulunan malakit cevherleşmesidir. Bu cevher, gri renkli ve ince taneli, kumtaşlarında yoğun bulunur. Üçüncüsü, bu formasyonunun üst kısımlarında yer alan malakit ve birincil nabit bakır cevheridir. Nabit bakır cevheri fay zonlarında bulunurken, malakit cevheri detritik volkanik malzemeleri bağlayıcı bir çimento şeklindedir. Malakit cevherlerinin "red-bed" yataklarının gri renkli kumtaşları ve bitki artıklarıyla birlikte bulunması, bu cevherin, birincil olarak (sülfürlü mineral / malakit / nabit bakır olarak), indirgeyici koşullarda sedimanter birimlerin çökmesi sırasında oluştuğunu gösterir (Şekil 2). Ayrıca, nabit bakır cevherleri, olasılıkla epijenetik olarak oluşmuştur ve sıkışma - gerilme kuvvetleri ile ilişkili olabilir. Küprit ve malakit ise, nabit bakır ile birlikte bulunurlar ve sekonder olarak yüzeysel koşullarda meydana gelmişlerdir (Aral, 1990).

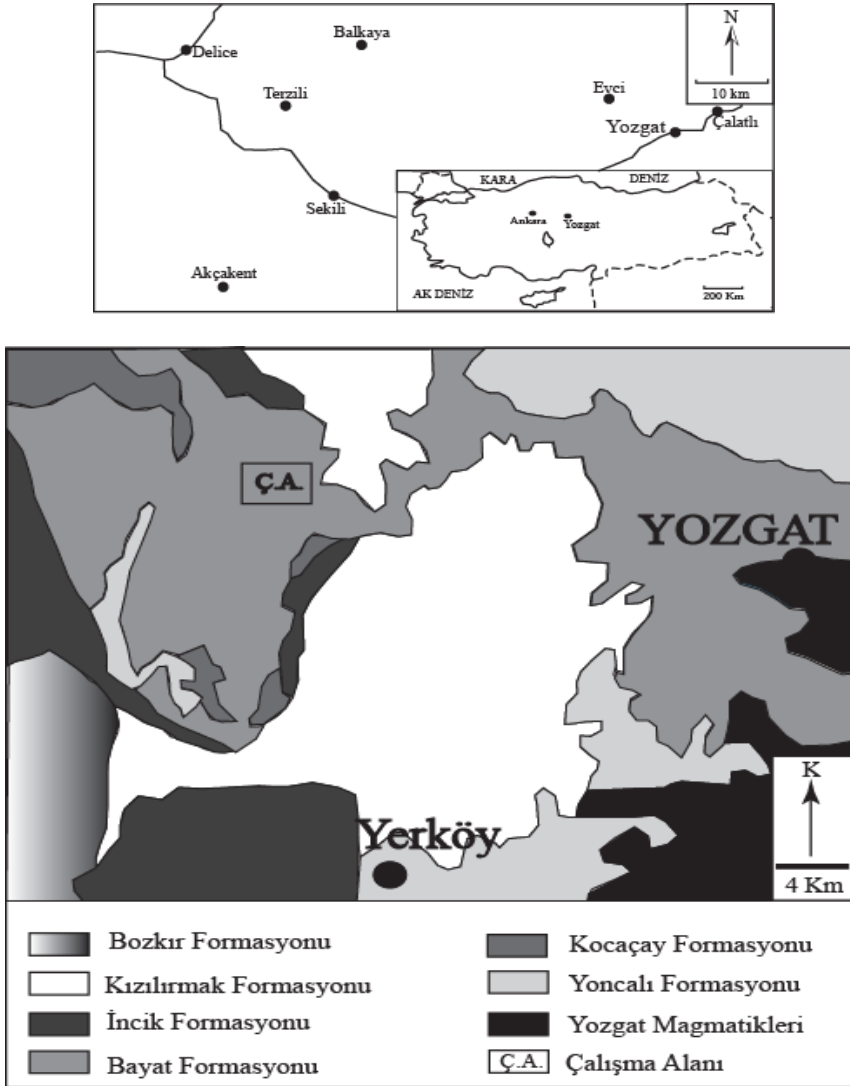
Cevherleşmenin bulunduğu zonlar yeşilimsi gri ve gri renktedir (Şekil 2) ve tavan ile tabandaki kırmızı renkli sedimanlardan farklı bir renge sahiptir. Bu zonların büyük bir kısmı, karbonlaşmış olan bitki kalıntılarını içerir. Bu kalıntıları içermeyen gri kumtaşları cevherlidir ve genellikle organik malzeme bakımından zengin ve şeyl seviyelerine yakın bir konumda bulunur. Kırmızı renkli şeyl, arkozik ve arenitik malzeme aşınma yoluyla çevreden gelmiştir. Kırmızı renkli malzeme, +2 değerli demirin +3 değerli demire oksitlenmesi (yükseltgenmesi) ile meydana gelmiştir. Meydana gelen hematit, tanelerin etrafını sararak, matriks ve çimento şeklinde tanelerin arasına girmiştir (Aral, 1990).

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

Red-bed tipi yatakların birincil mineralleri, bakır sülfür ile bakır-demir sülfürlerdir. Bu yatakların birincil mineralleri kalkozin ve pirit olup, değişen miktarlarda bornit, kalkopirit, nabit bakır, dijenit, uraninit, kovellin ve nabit gümüş içerirler. Kuvars, feldispar, klorit, illit, barit, jips, anhidrit ve dolomit ise yankayaçlardan gelen gang mineralleridir (Aral, 1990).

Çalışma alanındaki Red-bed tipi Cu yataklarının oluşumu ile ilgili farklı görüşler bulunmaktadır. Bunlar epijenetik ve sinjenetik görüşler olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır. Epijenetik görüşe göre, cevherleşmeler, çökeltme işlemi tamamlandıktan sonra diyajenez sonucunda meydana gelmiştir. Bu görüşü destekleyenlerin bir kısmı bu yatakların bakteriyel sülfatın indirgenmesiyle oluştuğunu (Haynes, 1986 a), bir kısmı roll - tipi uranyum yataklarına benzer bir şekilde oluştuğunu (Shockey ve diğerleri, 1974) bir kısmı ise, daha önce oluşmuş biyojenik anhidrit ve piritin bakırca zengin sular tarafından ornatılmasıyla (Haynes, 1986 a) oluştuğunu savunmaktadır (Aral, 1990).

Haynes'e (1986 a) göre, kalkozin bakteriyel sülfatın indirgenmesiyle, sediman yüzeylerinde en üst kısımlarda çökelmiştir. Sinjenetik görüşe göre, cevherleşmenin stratiform olması, tavan/tabana kayaçları ile uyumlu olması ile desteklenebilir. Literatür çalışmalarında, sinjenetik cevherlerin oluşumu lagüner bir ortama ve tuzlu bir göle metal içeren suların girmesiyle metaller çökelir (Dunham, 1964; Haranczyl, 1970; Garlick, 1974; Aral, 1990).



Şekil 1: Çalışma alanı yer bulduru ve jeoloji haritası (Erdoğan, 1996'dan değiştirilerek alınmıştır)

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE



Şekil 2: Çalışma alanı ve yakın çevresinde malahit minerallerinden bir görünüm

4. *SALSOLA KALİ* SUBSP. *RUTHENICA* (YEREL İSMİ: DİKENLİ DÖNGELE VEYA ADI SODA OTU) BİTKİSİ

Salsola kali, kıyı bölgelerinde, ekili alanlarda, atıklarda, çöllerde, demiryollarında, yol kenarlarında, tarımsal ve tarım dışı alanlarda yaygın olarak yetişen bir yıllık bitkidir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde daha yaygın bir şekilde yetişir (Davis, 2003) ve çiçek periyodu Haziran ve Eylül ayları arasındadır. Çiçeklerden tohumlar oluşur. Tohumlar parlak ve siyah renklidir. Genellikle, bu bitki yılda yaklaşık 100000-200000 tohum meydana getirir. Bu tohumlar soğuğa karşı dayanıklıdır ve rüzgarla dağılır (Peterson, 2001). Bitki büyüdükçe yuvarlak bir şekil alır. Çok dallı ve son derece dikenli bir yapıya sahiptir. Bilimsel adı *Salsola* olarak bilinir, bu da İngilizcede bitki tuzluluğuna toleranslı anlamına gelir. *Salsola* bitkisi Latin kökenlidir ve *Salsus*'tan türetilmiştir. Bu bitki, çok tuzlu ortamlarda yetişir (Wagner ve ark., 1999). Bitki gençken taze ve yumuşak olduklarından, keçi ve koyun gibi küçük hayvanların yem ihtiyacını karşılarlar. Ancak, bitki olgunlaştığında, bitkideki toksik madde miktarı artar ve yiyicileri zehirleyebilir (Davis, 2003). *Salsola kali*, insan vücuduna doğrudan temas ettiğinde dermatolojik alerjilere ve mekanik tahrişe neden olduğu bilinmektedir. ABD'nin Orta-batı bölgelerinde yapılan bir çalışmaya göre, *Salsola kali* polenin alerjik etkisinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu bitkinin İran'da da alerjik etkileşimlere neden olduğu ortaya çıkmıştır (Carnes, 2001).



Şekil 3: *Salsola kali* bitkisinden bir örnek

Çalışma alanında 10 ayrı lokasyondan *Salsola kali* bitkisi (kök, dal, yaprak, tohum) ve bu bitkinin üzerinde yetiştiği topraktan örnekler alınmıştır. Delice-Terzili alanındaki bu bitki türünün yoğun ve derin bir kök sistemine bağlı olduğu ve karasal iklim koşullarında yetiştiği belirlenmiştir.

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

Çalışma alanındaki bu bitki, tarımsal lokasyonlarda doğal olarak yetişmesi ve baskın bir tür olması nedeniyle seçilmiştir.

5. BİTKİ VE TOPRAK ÖRNEKLERİNİN ALIMI VE ANALİZE HAZIRLANMASI

Tarım alanında yetişen *Salsola Kali* bitkisi ve üzerinde yetiştiği topraklardan örnekler toplanmıştır. Daha sonra bitki ve toprak örnekleri paketlenerek, numaralandırılarak laboratuara getirilmiştir. Toprak örnekleri yaklaşık 15-20 cm derinlikten alındı ve bu örnekler oda sıcaklığında kurutulduktan sonra (Şekil 4), kayaç ve bitki parçaları -180 mikron (-80 mesh ASTM) bir elek yardımıyla uzaklaştırılmıştır.



Şekil 4: Toprak örneklerinin kurutulmasından bir örnek

Çalışma alanından on adet bitki örneği kökleriyle birlikte alınarak, poşetlere konulmuş ve numaralandırılarak laboratuvara getirilmiştir. Bitki örnekleri laboratuvarında kök, dal, yaprak ve tohumlarına ayrılmıştır. Ayrılan bitki organları, musluk suyuyla iyice yıkandıktan sonra damıtılmış saf sudan geçirilmiştir. Oda sıcaklığında kurutulan bitki organları 24 saat boyunca 60°C'de etüve konularak neminden arındırılmıştır (Şekil 5). Daha sonra bu örnekler, kül fırınında alevsiz ortamda 50°C sıcaklıktan başlayarak 550°C ye kadar saatte bir 50°C artırarak kül haline getirildi (Şekil 6) (Kirat ve Aydın, 2015).



Şekil 5: *Salsola kali* bitkisi yıkama ve kurutma işlemleri

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE



Şekil 6: Külleştirilmiş bitki örnekleri

0.10 g toprak ve kül örneklerine 2 ml konsantre edilmiş HNO₃ eklendi. Mikrodalgada 95 °C'de 1 saat ısıtılarak örnekler kurutuldu. Kurutulan bu örnekler soğuduktan sonra, herbir asitten 7 ml HCl-HNO₃-H₂O karışımı (HCl-HNO₃-H₂O (1:1:1, v/v; 6ml per 0.10 g of ash and soil)) alınarak çözelti hazırlandı. Elde edilen bu karışımdan 2 ml alınarak daha önce kurutulan örneklerin üzerine ilave edildi ve üzerine saf su ekleyerek 50 ml'ye tamamlandı. Bu karışım filtre kağıdından geçirilerek analize hazır duruma getildi.

Kül ve toprak örnekleri Yozgat Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (BİLTEM, Yozgat, Türkiye) ICP-MS teknikleri kullanılarak analiz edildi. Elementlerin dedeksiyon limiti (LOD) (µg / kg); Ag: 1.0252, As: 0.6596, Co: 0.0332, Cu: 0.0149, Fe: 13.2834, Mn: 0.4591, Ni: 0.0106, Pb: 0.0136, Se: 0.7050, Zn: 0.6098.

5.1. Kalite Kontrol / Güvenilirlik (Quality control / Assurance) (QA/QC)

Element konsantrasyonları LOD değerleriyle (0.00 ppb) belirlendi. Kalibrasyon grafikleri, korelasyon katsayıları (r: 0.9981 (Ag), r: 0.9987 (As), r: 0.9991 (Co), r: 0.9981 (Cu), r: 0.9955 (Fe), r: 0.9986 (Mn), r: 0.9986 (Ni), r: 0.9991 (Pb), r: 0.9958 (Se), r: 0.9985 (Zn)) ile tanımlandı. Yöntemin geçerliliği, kalite kontrol numuneleri kullanılarak tekrarlanabilirlik ve doğruluk açısından değerlendirildi (Standard Reference Material-CRM-NCSZC3016). Yüzde Varyans katsayıları (% CV) tüm elementler için % 1.9 ile % 4.2 arasında değişmektedir.

6. DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİ

6.1. Biyoakümülyasyon Katsayısı (BAC)

Bitki organlarındaki ağır metal içerikleri ile belirli bazı bitki türlerinin metal ekstraksiyon verimini tahmin etmek için kullanılan bir katsayıdır. Ayrıca, biyoakümülyasyon kimyasallarının birincil kaynağının anlaşılmasında da önemlidir [Huang ve ark., 1997; Arnot ve Gobas, 2006]. Biyoakümülyasyon katsayısı (BAC) doğal ortamlarda (bitki, toprak, sediment, kayaç gibi) bitki organları tarafından alınan kimyasalların karşılaştırılmasıyla organlardaki ağır metal birikiminin niceliksel olarak belirlenmesidir (USEPA, 2000; USEPA, 2010; Kalender ve Alcıcek, 2016).

Biyoakümülyasyon katsayıları (BAC), kök (BAC_k), dal (BAC_d), yaprak (BAC_y) ve tohum (BAC_t) konsantrasyonlarının toprak konsantrasyonuna oranı ile elde edilmiştir (Tablo 1).

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

Biyoakümülyasyon katsayısı (BAC) aşağıdaki eşitlikten bulunmaktadır ve dört ayrı sınıfta incelenmiştir.

$$BAC = C_{\text{kök}} / C_{\text{toprak}} \text{ veya } BAC = C_{\text{yaprak}} / C_{\text{toprak}}$$

- 1) <0.01 bitkiler akümülatör özelliğine sahip değildir,
- 2) 0.01-0.1 bitkiler düşük miktarda akümülatör özelliğe sahiptirler,
- 3) 0.1-1.0 bitkiler orta miktarda akümülatör özelliğe sahiptirler,
- 4) 1-10 bitkiler yüksek miktarda akümülatör özelliğe sahiptirler veya hiperakümülatör sınıfında bitkilerdir.

Bu eşitlik ile, topraktaki elementlerin bitkiler tarafından alındığını gösterilebilmekte ve elementlerin topraktan bitkiye transferi kantitatif olarak belirlenebilmektedir (Kalender and Alcıcek, 2016).

6.2. Transklasyon Faktörünün Saptanması

Bitkinin organlarındaki (dal, yaprak ve tohum) element konsantrasyonlarının bitkinin köklerindeki element konsantrasyonuna oranı ile Transklasyon Faktörü (TF) hesaplanmaktadır.

$$TF = C_{d(\text{dal})} / C_{k(\text{kök})} \text{ veya}$$

$$TF = C_{y(\text{yaprak})} / C_{k(\text{kök})} \text{ veya}$$

$$TF = C_{t(\text{tohum})} / C_{k(\text{kök})}$$

TF > 1 olması bitki köklerindeki metalleri dal veya yaprak veya tohuma doğru taşıdığını (translocate) ifade etmektedir (Baker ve Brooks, 1989; Kalender ve Alcıcek, 2016).

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Bitki ve Toprak Örneklerinde Cu Değerleri

Toprak örnekleri, Delice-Terzili tarım alanlarında yetişen biki köklerinin bulunduğu lokasyondan toplanmıştır (Şekil 4). Toprak örneklerinde Cu değerleri 49.3 ile 794.8 mg / kg (ortalama: 161.7 mg / kg) arasında bulunmuştur. Yerkabuğunda Cu, mafik ve ortaç kayalarda daha fazla bulunur. Cu, birçok mineralin yapısında birincil oluşmuş, mineralin basit ve karmaşık sülfidleri olan çeşitli minerallerde yer almıştır. Bu mineraller, özellikle asidik ortamlarda, bozunma prosesinde ve serbest Cu iyonlarında çözünür. Bu nedenle, Cu hiperjenik proseslerde ağır metaller arasında çok hareketli olduğu düşünülmektedir (Kabata, 2001). İspanya Akdeniz bölgesinin tarım topraklarındaki ortalama Cu konsantrasyonu 21.6 mg / kg'dır (Micó ve ark., 2006). Çalışma alanındaki toprak örneklerinde ortalama Cu konsantrasyonu 161.72 mg / kg'dır. Çalışmamıza göre, toprak örneklerinde pH değerleri ise, 6.2 ile 7.8 arasında değişmektedir. WHO'ya göre, topraklardaki Cu konsantrasyonları karşılaştırıldığında, Terzili'deki (Yozgat) toprak örneklerinin yüksek Cu içerdiği görülmüştür.

Delice-Terzili bölgesinde ve çevresinde Bayat volkanikleri, bazaltik ve andezitik lavlar, tüfler ve breşler yaygın olarak görülmektedir (Alpaslan ve Temel, 2000; Ateş ve ark., 2002) (Şekil 1). Bitki organlarında Cu konsantrasyonu 1 - 5 µg / g (Marschner, 1995) ve 10 µg / g kuru ağırlığa sahiptir (Baker ve Senef, 1995). Bu konsantrasyonlar bitki türlerine ve çeşitlerine bağlı olarak değişebilir (Yruela, 2005).

Kök, dal, yaprak, tohum ve toprak örneklerinde, incelenen elementlerin minimum, maksimum, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (Tablo 1). Bu değerlendirmeler sonucunda, *Salsola Kali* bitkisinin kökleri, dalları, yaprakları ve tohumları için ortalama Cu konsantrasyonları sırasıyla 77.0, 57.0, 56.7 ve 87.0 mg / kg'dır. Minimum Cu konsantrasyonları (sırasıyla) 45.1, 41.9, 46.8 ve 15.2 mg / kg iken, maksimum Cu konsantrasyonları

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

179.2, 76.2, 93.0 ve 127.6 mg / kg'dır. Ayrıca, bu bitkinin kök ve dal örneklerinde Cr ve V, yaprak örneklerinde Cr ve Ni, tohum örneklerinde Cr ve Pb, toprak örneklerinde Ag ve Cu'nun standart sapma değerlerinin aritmetik ortalama değerlere göre yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 1).

Tablo 1: Bitki kök, dal, yaprak, tohum ve toprak örneklerinde elementlerin istatistiksel değerleri

	Ag	As	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	V	Zn
Kök															
Min	13.8	7.3	222.5	1.4	-7.4	45.1	1896.6	101.2	13.7	2.2	214.4	28.7	1177.4	-5.9	77.2
Max	45.7	13.9	668.5	3.2	29.6	179.2	5076.5	239.6	124.9	5.7	531.1	51.0	3073.3	24.5	247.7
A.Ort.	28.4	10.8	425.2	2.3	11.4	77.0	3207.8	159.0	81.6	4.2	347.6	42.1	2159.3	6.1	131.4
S.Spm	10.8	2.2	146.7	0.7	13.5	38.0	981.4	40.6	37.9	1.0	106.0	8.7	589.1	7.8	47.5
Dal															
Min	0.2	3.9	329.5	0.9	-11.7	41.9	1597.3	106.3	9.4	2.7	259.9	26.8	1193.1	-5.3	83.9
Max	7.5	15.2	1028.4	1.9	10.1	76.2	2449.1	182.2	90.8	8.0	1882.5	76.6	4181.8	6.9	276.7
A.Ort.	2.9	11.5	586.9	1.4	-1.5	57.0	1987.2	134.0	45.3	4.4	641.2	58.2	2487.8	3.2	154.1
S.Spm	2.3	3.2	219.7	0.4	9.1	11.9	331.7	25.9	36.2	1.6	453.5	13.2	995.1	3.8	49.4
Yaprak															
Min	4.9	14.9	615.0	2.1	-3.1	46.8	3264.4	583.4	25.3	3.0	305.3	60.4	802.7	5.1	112.8
Max	10.0	22.2	1406.3	4.4	181.6	93.0	5574.1	1032.7	546.7	7.5	910.8	84.7	4095.1	16.3	237.9
A.Ort.	7.9	17.4	967.9	3.2	29.1	56.7	4192.8	764.3	119.0	4.5	479.6	69.6	2061.5	10.0	167.2
S.Spm	1.6	2.7	252.8	0.8	54.8	13.6	765.3	148.5	152.4	1.2	186.0	7.3	1146.1	4.0	40.7
Tohum															
Min	2.7	19.4	171.9	0.7	-5.0	15.2	556.4	74.9	29.0	2.4	283.4	74.3	30.8	11.3	69.5
Max	9.1	39.2	748.1	9.5	37.1	127.6	9024.6	1076.8	142.0	46.8	685.7	118.8	1456.6	32.1	599.4
A.Ort.	4.5	23.4	420.6	4.9	11.7	87.0	5367.4	789.4	79.4	12.3	511.6	83.6	709.7	19.9	393.0
S.Spm	2.2	6.0	160.4	3.0	12.5	34.8	2653.5	286.9	37.9	14.3	105.0	13.0	405.0	6.0	172.8
Toprak															
Min	1.0	34.0	226.2	22.0	25.9	49.3	15576.2	923.3	101.6	11.8	720.6	124.3	223.2	36.1	132.3
Max	18.9	66.8	420.2	27.6	59.2	794.8	31596.1	1424.0	138.5	30.9	1310.9	154.7	614.8	115.8	212.9
A.Ort.	3.9	46.4	327.4	25.1	38.0	161.7	21519.5	1146.8	116.5	22.3	1034.7	135.8	352.6	59.8	161.1
S.Spm	5.3	11.5	57.3	1.7	9.9	226.2	5781.6	146.8	10.9	6.0	194.2	10.1	112.9	21.6	24.5

*p<0.05 ve **p<0.01 güvenilirlik ile Cu-Sr (0.72), Cu-Se (0.77), Co-Mn (0.73), Co-Ni (0.82), Fe-V (0.72), Pb-Sb (0.71), Zn-Se (0.75) arasında kuvvetli pozitif bir korelasyon görülürken, Cu-As (-0.72), Co-Ba (-0.66), Co-V (-0.70), Fe-Ni (-0.81), Ni-Mn (-0.66), Ni-V (-0.91), Mn-V (-0.67) arasında kuvvetli negatif bir korelasyon görülmüştür (Tablo 2). Elementler arasında gözlenen bu kuvvetli korelasyonlar, bu metallerin hidrotermal çözeltilerle taşındığını desteklemektedir.

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

Tablo 2: Bitkilerle ilişkili toprak örneklerinde elementlerin korelasyonu (*p<0.05 ve **p<0.01).

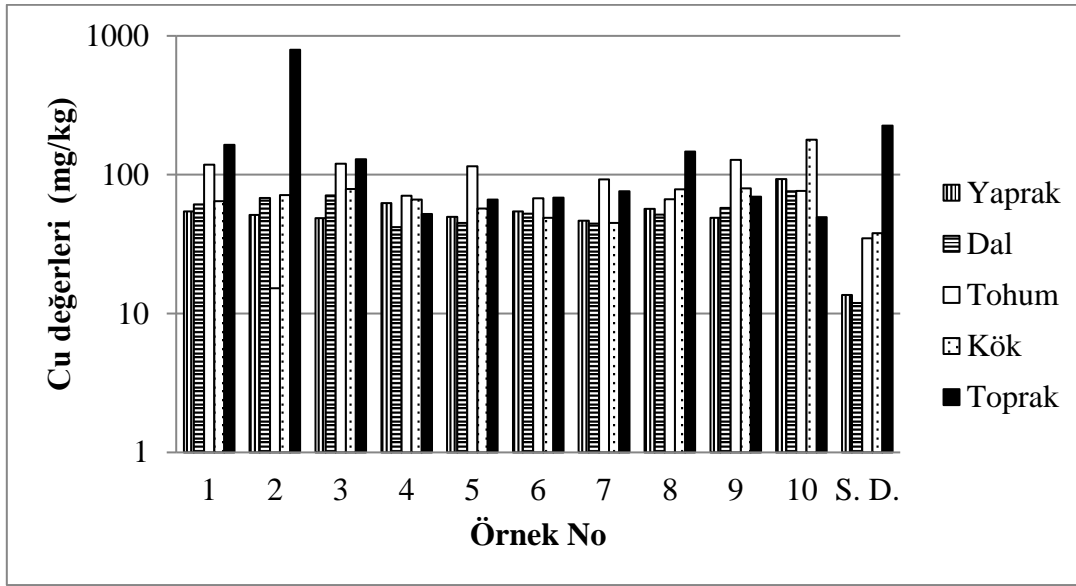
	Ag	As	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	V	Zn
Ag	1														
As	-0.04	1													
Ba	0.31	-0.33	1												
Co	0.04	0.27	-.66(*)	1											
Cr	-0.18	-0.50	-0.38	-0.11	1										
Cu	0.12	-.72(*)	0.39	-0.36	0.39	1									
Fe	0.16	0.15	0.16	-0.52	0.25	-0.01	1								
Mn	-0.09	0.61	-0.39	.73(*)	-0.37	-0.41	-0.35	1							
Ni	-0.37	0.09	-0.48	.82(*)	-0.18	-0.20	-.81(**)	.66(*)	1						
Pb	-0.04	0.49	0.38	-0.48	-0.40	-0.06	0.60	0.05	-0.50	1					
Sb	-0.04	0.38	0.20	-0.09	-0.16	0.04	0.48	0.48	-0.16	.71(*)	1				
Se	0.28	0.53	-0.01	0.11	-0.33	.77(**)	0.33	0.21	-0.21	0.26	0.19	1			
Sr	0.04	.72(*)	0.09	0.19	-0.61	-0.37	0.08	0.56	0.18	0.54	0.53	0.27	1		
V	0.49	-0.39	0.52	-.70(*)	0.36	0.42	.72(*)	-.67(*)	-.91(**)	0.22	0.13	0.07	-0.35	1	
Zn	0.13	0.10	0.10	-0.05	-0.08	-0.32	0.49	-0.04	-0.32	0.37	0.30	.75(*)	-0.03	0.25	1

Çalışma alanı ve çevresinde alınan toprak, kök, dal, yaprak ve tohum örneklerinde Cu element değerleri, 1, 2, ve 3 nolu örnek lokasyonlarında toprakta, 1, 3, 5 ve 9 nolu örnek lokasyonlarında tohumda ve 10 nolu örnek lokasyonunda kökte 100 mg / kg'ın üzerinde olup, diğer organlarda ve lokasyonlarda 10-100 mg / kg arasında bulunmuştur. Standart sapma değerlerine göre, Cu değerleri toprak örneklerinde 100 mg / kg ve bitki organlarında (kök, dal, yaprak, tohum) 10 mg / kg'ın üzerinde olduğu görülmüştür (Tablo 3, Şekil 7).

Tablo 3: İncelenen toprak, kök, dal yaprak ve tohum örneklerinde Cu element değerleri ve standart sapma değerleri

Ö.No	Toprak	Kök	Dal	Yaprak	Tohum
1	164.4	64.5	61.1	54.5	118.4
2	794.8	71.4	68.2	51.2	15.2
3	129.5	79	71.1	48.7	120.3
4	52.1	66.3	41.9	62.4	70.6
5	66.1	57	45	49.8	114.8
6	68.2	49	52.5	54.4	67.5
7	76.2	45.1	44.5	46.8	92.7
8	147	78.6	51.7	56.7	66.6
9	69.5	79.9	57.6	49	127.6
10	49.3	179.2	76.2	93	76.4
Std. Spm.	226.2	38	11.9	13.6	34.8

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE



Şekil 7: Toprak, kök, dal yaprak ve tohum örneklerinde Cu element dağılımı ve standart sapma değerleri (S.D.)

Toprakta metallerin birikmesi birkaç faktöre bağlıdır;

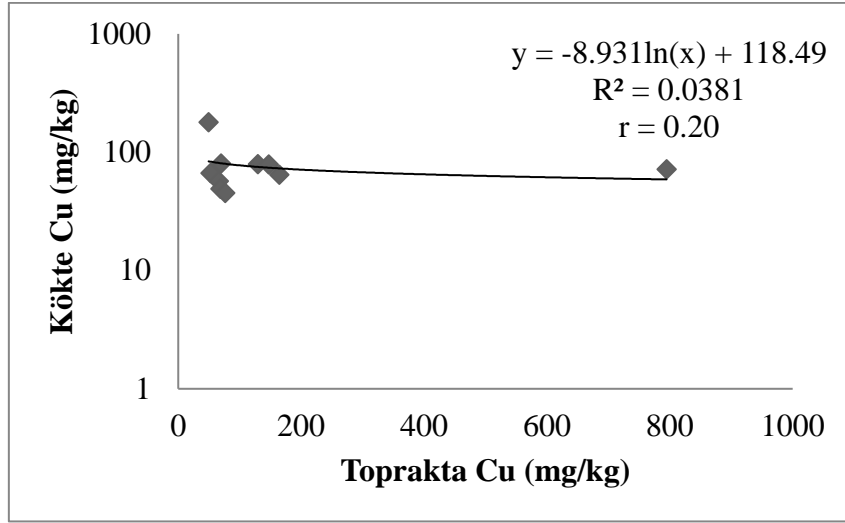
1) İşletmenin bulunduğu yer metallerce zengin ise, bitki bu metalleri almayabilir veya savunma mekanizmalarını kullanarak atamayabilir,

2) Bitkilerde metal kirliliği, kirlilik bileşeni olarak görülebilir (Damian ve ark. 2010). Topraktaki metaller birbirleriyle ilişkili olduklarından, diğer metal türlerinin emilimini ve birikmesini sağlayabilirler,

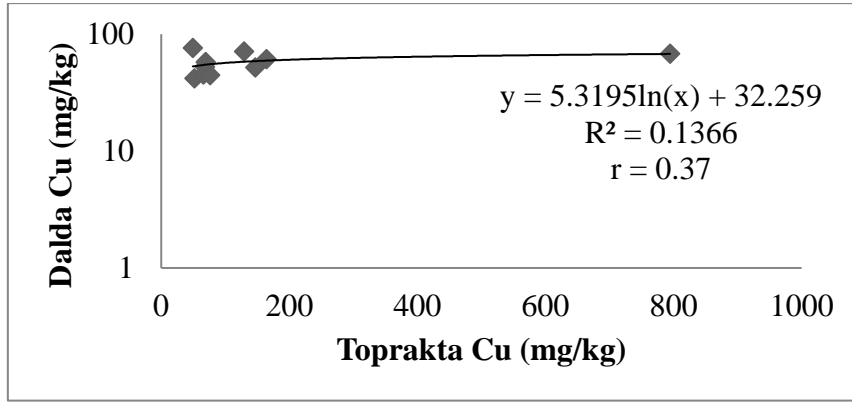
3) Bitkiler tarafından alınan metaller bitki köklerinden farklı organlara taşınabilirler (Xiong ve ark. 2013; Sasmaz ve ark. 2016).

Delice - Terzili arasında kalan çalışma alanında doğal olarak yetişen *Salsola Kali* bitkisi ve bu bitkinin üzerinde yetiştiği toprak örnekleri arasında Cu korelasyonu yapılmıştır. Toprak – kök ($r = 0.20$), toprak – dal ($r = 0.37$), toprak – yaprak ($r = 0.34$) ve toprak – tohum ($r = 0.52$) arasında R^2 değerleri hesaplanmıştır. Topraktaki Cu konsantrasyonu arttıkça tohumlarda da Cu konsantrasyonun arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, topraktaki Cu konsantrasyonu ile bitki tohumlarındaki Cu konsantrasyonu arasında anlamlı bir korelasyon elde edilmiştir ($r = 0.52$). Toprak – tohum arasındaki “r” değerine göre, Cu için, *Salsola Kali* bitkisinin tohumu belirtgen (indikatör) olabileceği düşünülmektedir (Şekil 8-11).

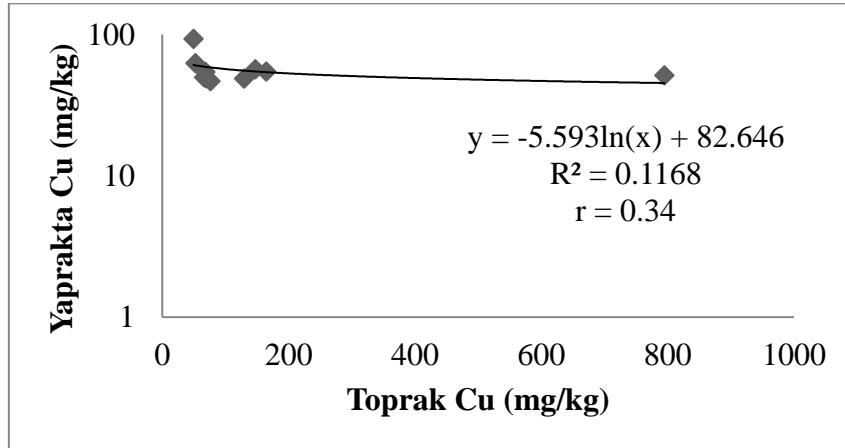
TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE



Şekil 8: Çalışma alanında alınan toprak ve kök örnekleri arasındaki Cu korelasyonu

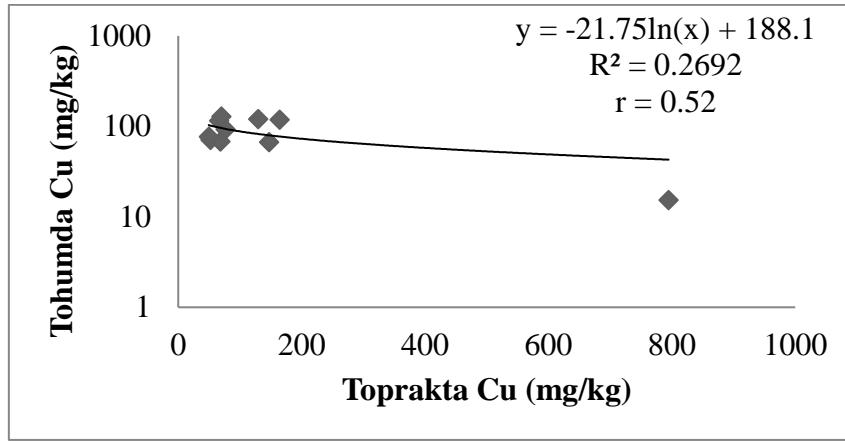


Şekil 9: Çalışma alanında alınan toprak ve kök örnekleri arasındaki Cu korelasyonu



Şekil 10: Çalışma alanında alınan toprak ve kök örnekleri arasındaki Cu korelasyonu

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE



Şekil 11: Çalışma alanında alınan toprak ve kök örnekleri arasındaki Cu korelasyonu

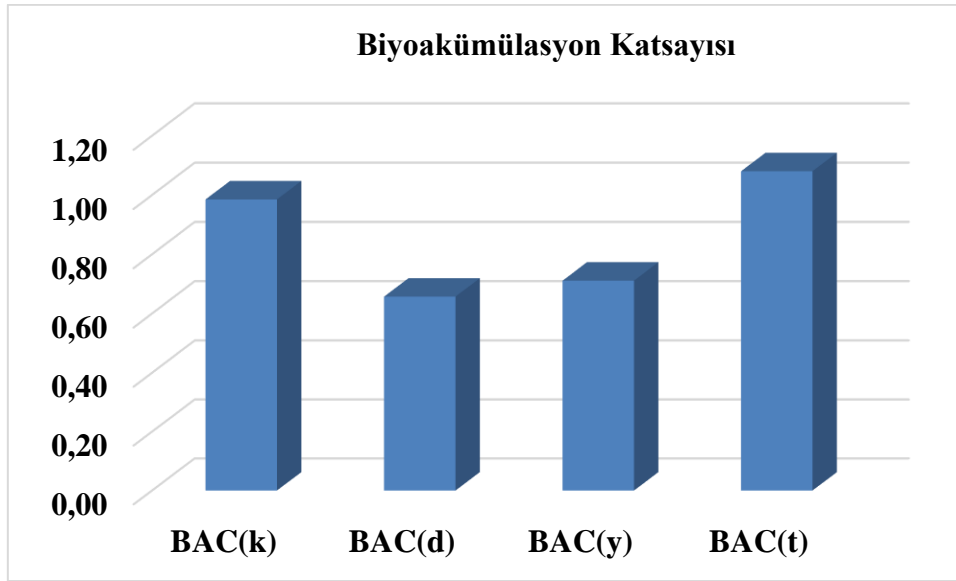
BAC değerleri, bitki organlarındaki elementlerin birikimini belirlemek veya elementleri topraktan bitki köklerine, dallarına, yapraklarına ve tohumlarına transferi için kullanılır (Wei et al. 2002; Chen ve ark., 2005).

Salsola Kali bitkisi için ortalama BAC(k), BAC(d), BAC(y) ve BAC(t) değerleri sırasıyla, 1.0, 0.7, 0.7 ve 1.1'dir. 4, 9 ve 10 nolu lokasyonlarda BAC(k); 10 nolu lokasyonda BAC(d); 4 ve 10 nolu lokasyonlarda BAC(y); 4, 5, 7, 9 ve 10 nolu lokasyonlarda BAC(t) değerleri 1-10 arasında değiştiğinden yüksek miktarda akümülatör özelliğe sahip veya hiperakümülatör sınıfında bitkilerdir. 1-3 ve 5-8 nolu lokasyonlarda BAC(k); 1-9 nolu lokasyonda BAC(d); 1-3 ve 5-9 nolu lokasyonlarda BAC(y); 1-3, 6 ve 8 nolu lokasyonlarda BAC(t) değerleri 0.1-1 arasında değiştiğinden orta miktarda akümülatör özelliğe sahip bitkiler sınıfındadır (Tablo 4). Ortalama Biyoakümülyasyon Katsayısına (BAC) göre, elde edilen grafikte tohumların BAC değerlerinin 1-10 arasında olduğu görülmüştür (Şekil 12).

Tablo 4: İncelenen örneklerde biyoakümülyasyon katsayısı (BAC) ve ortalama değerleri

	BAC(k)	BAC(d)	BAC(y)	BAC(t)
1	0.39	0.37	0.33	0.72
2	0.09	0.09	0.06	0.02
3	0.61	0.55	0.38	0.93
4	1.27	0.80	1.20	1.35
5	0.86	0.68	0.75	1.74
6	0.72	0.77	0.80	1.00
7	0.59	0.58	0.61	1.22
8	0.53	0.35	0.39	0.45
9	1.15	0.83	0.71	1.84
10	3.63	1.54	1.88	1.55
Ortalama	0.99	0.66	0.71	1.08

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE



Şekil 12: İncelenen örneklerde Ortalama Biyokümülyasyon Katsayısı (BAC)

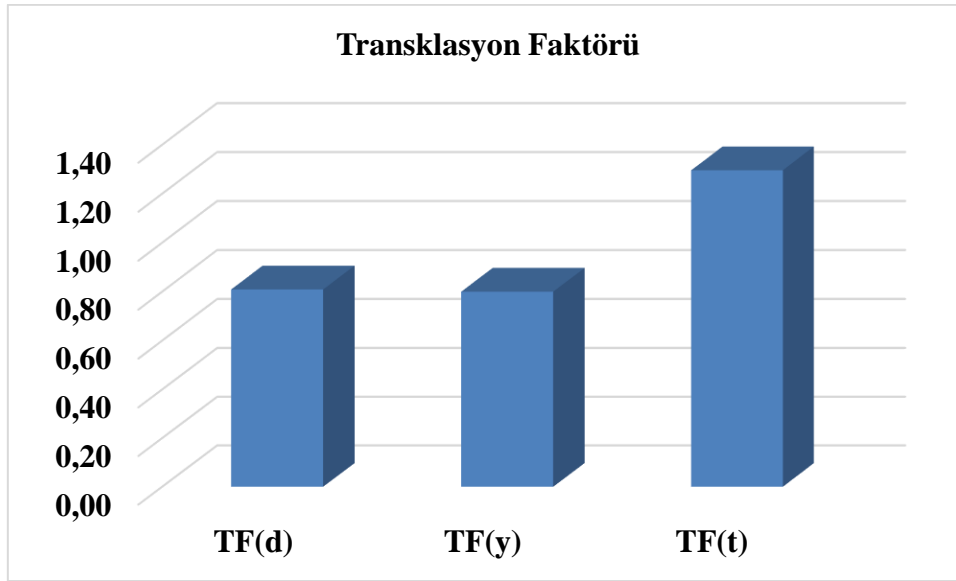
TF değerleri, bitki köklerindeki elementlerin bitkinin diğer organlarına (dal, yaprak, tohum) doğru taşıdığını ifade etmektedir (Baker ve Brooks, 1989; Kalender ve Alcicek, 2016). İncelenen örneklerde 6 nolu lokasyonda TF(d) ve TF(y) değerleri; 2, 8 ve 10 nolu lokasyonlarda TF(t) değerleri 1'den büyüktür. Bu değerlerin 1'den büyük olması, Cu'nun *Salsola kali* bitkisinin köklerinden, dal, yaprak ve tohumlarına transklyasyonunu göstermektedir (Tablo 5).

Ortalama Transklyasyon Faktörüne (TF) göre elde edilen grafikte, tohumların TF değerlerinin 1'den büyük olduğu görülmektedir (Şekil 13).

Şekil 5: İncelenen örneklerde Transklyasyon Faktörü (TF) ve ortalama değerleri

	TF(d)	TF(y)	TF(t)
1	0.95	0.85	1.84
2	0.95	0.72	0.21
3	0.90	0.62	1.52
4	0.63	0.94	1.06
5	0.79	0.87	2.02
6	1.07	1.11	1.38
7	1.00	1.04	2.06
8	0.66	0.72	0.85
9	0.72	0.61	1.60
10	0.42	0.52	0.43
Mean	0.81	0.80	1.30

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE



Şekil 13: İncelenen örneklerde Ortalama Transklasyon Faktörü

8. SONUÇLAR

Cu ve diğer elementlerin dağılımı ve birikimi, Delice-Terzili bölgesi ve çevresinde doğal olarak yetişen *Salsola kali* bitkisinin kök, dal, yaprak ve tohumlarında ve bu bitkinin üzerinde yetiştiği topraklarda incelenmiştir. Delice-Terzili Red-bed tipi yataklarda Cu mineralizasyonlarının Cu seviyeleri, yerkabuğu ve diğer başka ülkelerin topraklarındaki Cu değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Salsola kali bitkisinin kök ve dallarında Cr ve V, yapraklarında Cr ve Ni, tohumlarında Cr ve Pb, topraklarda Ag ve Cu standart sapma değerlerinin aritmetik ortalama değerlerden yüksek olduğu belirlenmiştir.

Cu-Sr, Cu-Se, Co-Mn, Co-Ni, Fe-V, Pb-Sb, Zn-Se arasında pozitif bir korelasyon bulunurken, Cu-As, Co-Ba, Co-V, Fe-Ni, Ni-Mn, Ni-V, Mn-V arasında negatif bir korelasyon bulunmuştur.

Çalışma alanı ve çevresinde alınan toprak, kök, dal yaprak ve tohum örneklerinde Cu element değerleri, toprakta (1, 2, ve 3 nolu örneklerde), tohumda (1, 3, 5 ve 9 nolu örneklerde) ve kökte (10 nolu örnekte) 100 mg / kg'ın üzerindedir. Cu, standart sapma değerlerine göre, toprakta 100 mg / kg ve bitkinin kök, dal, yaprak ve tohumunda 10 mg/kg'ın üzerindedir.

Topraktaki Cu konsantrasyonu arttıkça tohumlardaki Cu konsantrasyonu da arttığından toprak ile tohum arasında anlamlı bir korelasyon elde edilmiştir ($r = 0.52$).

BAC(k) (4, 9 ve 10 nolu lokasyonlarda), BAC(d) (10 nolu lokasyonda) BAC(y) (4 ve 10 nolu lokasyonlarda) BAC(t) (4, 5, 7, 9 ve 10 nolu lokasyonlarda) değerleri 1-10 arasında değişmektedir. Bu nedenle, bitki organları bu lokasyonlarda yüksek derecede akümülatör sınıfındadırlar.

TF(d) ve TF(y) (6 nolu lokasyonda) ve TF(t) (2, 8 ve 10 nolu lokasyonlarda) değerlerinin 1'den büyük olması, Cu'ın köklerden, dal, yaprak ve tohumlara doğru transklasyon olduğunu ifade etmiştir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, Yozgat Bozok Üniversitesi Proje Koordinasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi (Proje No: 6602-MMF-17-84) tarafından desteklenmiştir.

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALI BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

9. KAYNAKÇA

Aceto, M., Abollino, O., Conca, R., Malandrino, M., Mentasti, E. & Sarzanini, C. (2003). The use of mosses as environmental metal pollution indicators, *Chemosphere*, 50, 333-342.

Adilkhan, B., Alma, B., & Mushinsky Andjey, M. (2015). Lithology of Copper Sediment-Hosted ZheBACazgan Deposit. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO 3297: 2007 Certified Organization)* Vol. 4, Issue 1, January 2015.

Alak, A., & Sümer, Ö. (2017). Marmara ve Karadeniz Kıyılarındaki Güncel Sedimanlar İçinde Antroposen'in Varlığına Ait Yeni Bulgular. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 60, 145-168

Alpaslan M., & Temel, A. (2000). Petrographic and geochemical evidence for magma mixing and crustal contamination in the Post-Collisional calcalkaline Yozgat Volcanics, Central Anatolia, Turkey. *International Geology*, 42, 850-863.

Aral, H. (1990). Orta Anadolu'da Delice-Yerköy Arasında Yer Alan Sedimanter Bakır (Gümüş - Uranyum) Yataklarının Stratigrafisi, Sedimantolojik Özellikleri ve Oluşumu, *MTA Dergisi* 110, 55-76

Annot, J. A., & Gobas, F. A. P. C. (2006). A review of bioconcentration factor, (BCF) and bioaccumulation factor, (BAF) assessments for organic, chemicals in aquatic organisms, *Environ. Rev.* 14, 257-296.

Ateş, S., Erkal, T., Mutlu, G., Bulut, A., Osmançelebioğlu, R., Olgun, S., & Özata, A. (2002). Geology data and natural disaster resources of Çorum city and central district. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey.

Baker, A. J. M., & Brooks, R. R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 81-126.

Baker, D. E., & Senef, J. P. (1995). Copper. In: Alloway BJ (ed) *Heavy metals in soils*. Blackie Academic and Professional, London, s, pp 179-205.

Brooks, R..R., Dunn, C. E., & Hall, G. E. M. (1995). *Biological System in Mineral Exploration and Processing*. Elles Horwood Limitid, 538 s.

Carnes, J. (2001). Salsola kali subsp. ruthenica Allergeny. www.allallergy.net/fapaidfind.cfm?cdeoc=1338-8k-

Chen SB, Zhu YG, & Hu QH (2005) Soil to plant transfer of ²³⁸U, ²²⁶Ra and ²³²Th on U mining-impacted soil from southeastern China. *J. Environ. Radioac.* 82, 223-236.

Damian, G., Damian, F., Nasui, D., Pop, C., & Pricop, C. (2010). The soils quality from the southern-eastern part of baia mare zone affected by metallurgical industry. *Carpath. J. Earth Environ. Sci.* 5, 139-147.

Davis, C. A. (2003). (CDFA: California Department of Food and Agriculture) Encycloweedia: notes on identification, biology, and management of plants defined as noxious weeds by California law. California Department of Food and Agriculture and University of California, Davis, CA. Available: <http://pi.cdfa.ca.gov/weedinfo/Index.html>

Dongarra, G., Varrica, D., & Sabatino, G. (2003). Occurrence of platinum, palladium and gold in Pine needles of pinus pinea L. From the city of Palermo (Italy) . *Applied Geochemistry*, 18(1), 109-116.

Dunham, K. C. (1964). Neptunist concepts in ore genesis: *Econ. Geol.*, 59, 1-2.

Dunn, C. E., Brooks, R. R., Edmondson, J., Leblanc, M., & Reeves, R. D. (1996). Biogeochemical studies of metal-tolerant plants from southern Morocco. *Journal of Geochemical Exploration*, 56, 13-22.

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

Erdoğan, B., Akay, E., & Uğur, M. S. (1996). Geology of the Yozgat region and evolution of the collisional Çankırı Basin. *International Geology Review*, 38, 788-806.

Garlick, W. G. (1974). Depositional and diagenetic environment related to sulfide mineralization. Mufulira, Zambia, *Econ. Geol.*, 69, 59-79.

Ginocchio, R., Sánchez, P., de la Fuente, L. M., Camus, I., Bustamante, E., Silva, Y., Urrestarazu, P., Torres, J. C., & Rodríguez, P. H. (2006). Agricultural soils spiked with copper mine wastes and copper concentrate: implications for copper bioavailability and bioaccumulation. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(3), 712-718.

Haranczyl, C. (1970). Zechstein lead-bearing shales in the Fore-Sudetic monocline in Poland: *Econ. Geol.*, 65, 481-495.

Haynes, D. W. (1986). "Stratiform Copper Deposits Hosted by Low Energy Sediments. II. Nature and Source Rock and Composition of Metal Transporting Water", *Economic Geology*, v. 81, s. 266-280.

Huang, J. W., Chen, J., Berti, W. R., & Cunningham S. D. (1997). Transformation of TNT by aquatic plants and plant tissue cultures. *Environ.Sci.Tech.* 31, 266-271.

Kabata-Pendias, A. (2001). *Trace Elements in Soil and Plants*. Third edition CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.

Kabata-Pendias A. (2011). *Trace elements in soil sand plants*. Fourth Edition ISBN, 978-1-4200-9368-1-505.

Kalender, L. & Alcicek, O. N. (2016). *Astragalus angustifolius*, *Artemisia* ve *Juncus effusus*'un Uranyum ve Toryum için Biyoakümülatör Özellikleri *Science and Eng. J of Fırat Univ.* 28(2), 267-273.

Kirat G., & Aydin N. (2015). Pb-Zn Accumulation in Plants Grown In and Around a Pb-Zn Mine. *Polish Journal of Environmental Studies*. 24(2); 545-554.

Marschner, H. (1986). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic, London, UK.

Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London, pp 344-346

C. Micó, C., Peris, M., Sánchez, J., & Recatalá, L. (2006) Heavy metal content of agricultural soils in a Mediterranean semiarid area: the Segura River Valley (Alicante, Spain), *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(4), 363-372.

Peterson, J. S. (2001). United States, UT, Grand Co., Cisco vicinity. July 15.

Sagiroglu, A., Sasmaz, A., & Sen, Ö. (2006). Hyperaccumulator Plants of the Keban Mining District and Their Possible Impact on the Environment. *Polish J. Environ. Stud.* 15(2), 317-325

Sasmaz, M., Akgül, B., Yıldırım, D., & Sasmaz, A. (2016). Mercury uptake and phytotoxicity in terrestrial plants grown naturally in the Gumuskoy (Kutahya) mining area Turkey *Int Journal of Phytoremediation*, 18(1), 69-76.

Sauve', S., McBride, M. B., Norvell, W. A., & Hendershot, W. H. (1997). Copper solubility and speciation of in situ contaminated soils: Effect of copper level, pH, and organic matter. *Water Air Soil Pollut* 100, 133-149.

Turan, H., Özdemir, Z., & Zorlu, S. (2006). Çiftehane (Ulukışla-Niğde) Bölgesinin Cu, Zn, Fe, Mn ve Ni için Biyojeokimyasal Anomalilerin Araştırılması. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 19(2), 131-140.

USEPA (Environmental Protection Agency), (2000). *Introduction to Phytoremediation*, EPA/600/R-99/107, National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. *Environmental Protection Agency Cincinnati*, Ohio 45268,USA,

TARIM TOPRAKLARINDA DOĞAL OLARAK YETİŞEN SALSOLA KALİ BİTKİSİNDE BAKIRIN DAĞILIMI VE BİRİKİMİ (DELİCE-TERZİLİ), YOZGAT, TÜRKİYE

USEPA, Protection Agency, (2010). Solid waste and emergency response glossary- Bioaccumulation: U.S. Environmental Protection Agency, June 29.

Uysal, Y., (2004). Sulu ortamda Pb(II) ve Cd(II) iyonlarının *Lemna minor* L. _le alımının araştırılması. Doktora tezi, Me. Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 145s.

Wagner, W. L., Herbst, D. R., Sohmer, S. H. (1999). Manual of the Flowering Plants of Hawai'i. 2 vols. Bishop Museum Special Publication 83, University of Hawai'i and Bishop Museum Press, Honolulu, HI.

Wei, C. Y., Chen, T. B., & Huang, Z. C. (2002). Cretanbake (*Pteriscretica* L): an Arsenic accumulating Plant. *Acta Ecol. Sin.* 22, 777– 82

Xiong, C., Zhang, Y., Xu, X., Lu, Y., Ouyang, B., Ye, Z., & Li, H. (2013). Lotus roots accumulate heavy metals independently from soil in mainproduction regions of China. *Sci. Horticult.* 164, 295-302.

Yılmaz, S., & Zengin, M. (2003). Monitoring of environmental pollution in Erzurum by chemical analysis of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Environmental International*, 1097, 1-7.

Yruela, I. (2005). Toxic metals in plants. Copper in plants. *Braz. J. Plant physiol.*, 17(1), 145-156.

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) PB-ZN-AG MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Güllü Kırat

**Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yozgat, Türkiye*

gullu.kirat@bozok.edu.tr; gul.kirat@hotmail.com

1. GİRİŞ

Ağır metaller fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinden dolayı heterojen bir element grubu oluştururlar. Bu elementler, insanlar, bitkiler ve hayvanlar üzerindeki toksik etkilerinden dolayı, çevre kirleticisi olarak görülürler. Topraktaki ağır metal kirliliği antropojenik ve doğal aktivitelerden oluşur. Madencilik ve tarım gibi antropojenik faaliyetler, topraktaki As, Cd, Cr, Co, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal seviyelerini toksik seviyelere çıkarmaktadır. Bu metaller topraklarda ve bitkilerde birikir ve doğada kalıcı hale gelir. Bitkilerin tüketilmesiyle de birçok ağır metal insan sağlığına zarar verebilir (Rajeswari ve Sailaja, 2014).

Madencilikte, metallerin çoğu sülfür olarak elde edildiğinden (Moore ve Luoma, 1990), atıkların büyük bir kısmı yüksek konsantrasyonlarda toksik metal içerir (örn., Cu, Pb, Zn) (Levy ve diğ., 1997). Bu metaller toprakta çok yüksek konsantrasyonlarda bulunduğunda bitki büyümesini de olumsuz yönde etkileyebilir (Tiryakioğlu ve ark., 2006; Chakroun ve ark., 2010).

Madencilik işlemlerinde, yüzeysel ortamlar en önemli toksik element kirliliğinin kaynağıdır. Ayrıca, madencilikte kırma ve öğütme işlemleri, konsantre cevher ve atıklar da ağır metal kirliliğine neden olmaktadır (Alloway 1995; Adriano 2001). Topraktaki yüksek ağır metal içeriği, maden atıklarının ekosisteme girmesinden ve dağılmasından kaynaklanmaktadır (Fuge ve ark., 1989; Yükselen ve Alpaslan 2001; Carrillo-Chavez ve ark., 2003; Jung, 2008). Genellikle ihmal edilen maden atıkları, çevreye ve insan sağlığına zararlı olabilecek büyük miktarlarda bulunmaktadır (Jung, 2008).

Maden atıkları endüstriyel atıklar kadar tehlikeli olmasına rağmen, depolama tekniği açısından diğer atıklar gibi depolanmazlar ve genellikle çevreye bırakılırlar. En önemli çevresel etkileri, toprak ve su kaynaklarının kirliliğidir (Gray, 1997; Schreck, 1998; Earman ve Hershey, 2004; Keller, 2006). Maden sahalarındaki atıklardan kaynaklanan asidik mineraller drenaj su kaynaklarına karışarak hem asidik yapısı hem de yüksek element konsantrasyonları nedeniyle çok önemli kirlilik riski oluşturur (Bell ve ark., 2001; Şimşek, 2012).

Madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği alanda, doğal peyzajın bozulması ve maden atıklarının depolanması gibi etkiler çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Maden sahalarından kaynaklanan asitli maden sularının çevresel etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenen konular arasındadır (Aykol ve ark., 2003; Gemici, 2004; Gundüz, 2008). Koruyucu önlem alınmadığı takdirde, cevher veya maden atıklarındaki sülfür mineralleri sularla taşınarak ve çevreye yayılarak çevreyi fiziksel ve kimyasal olarak kirlendirir (Şimşek, 2012).

Çevre açısından son derece önemli çevresel kalite indeksi hesaplanarak kirlilik alanlarının daha iyi araştırılması ve değerlendirilmesi için günümüzde farklı indeksler kullanılmaktadır (Caeiro ve ark., 2005; Pehlivan, 2017).

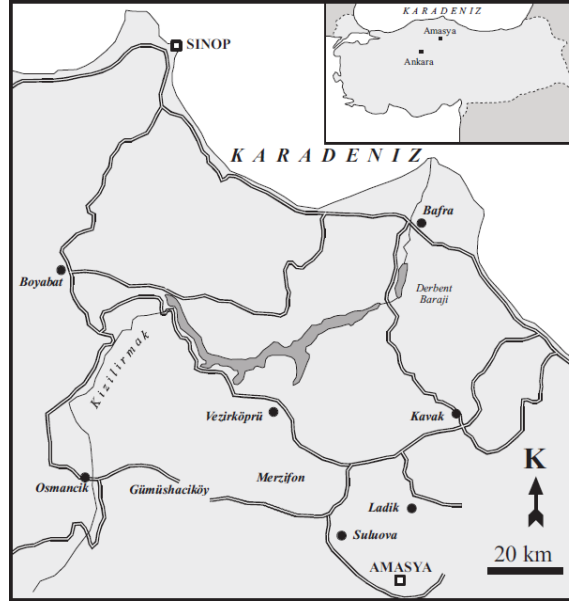
Bu çalışmada, zenginleştirme faktörünü (EF), kontaminasyon faktörünü (CF), jeo-birikim indeksini (Igeo) ve kirlilik yük indeksini (PLI) katı atıklarda belirleyerek, Gümüş kasabası ve

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

çevresindeki katı atıkların jeokimyasal ve antropojenik özellikleri ile ağır metallerin çevresel kirlilik üzerindeki etkileri belirlenecektir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE JEOLJİSİ

Gümüşhacıköy Pb-Zn-Ag yatağı, Türkiye'nin batısında Amasya il merkezinin yaklaşık 68 km kuzeybatısında bulunan Gümüş kasabasında (G3a-a3) yer almaktadır (Şekil 1). Bölgede en önemli akarsu, Gümüşsuyu Deresi'dir. Çalışma alanı iklim özellikleri bakımından Karadeniz ve İç Anadolu iklim kuşağı geçiş bölgesindedir. Yazlar kurak ve sıcak, kışlar ise yağışlı ve soğuk geçmektedir (Fırat Ersoy ve Ersoy, 2007).

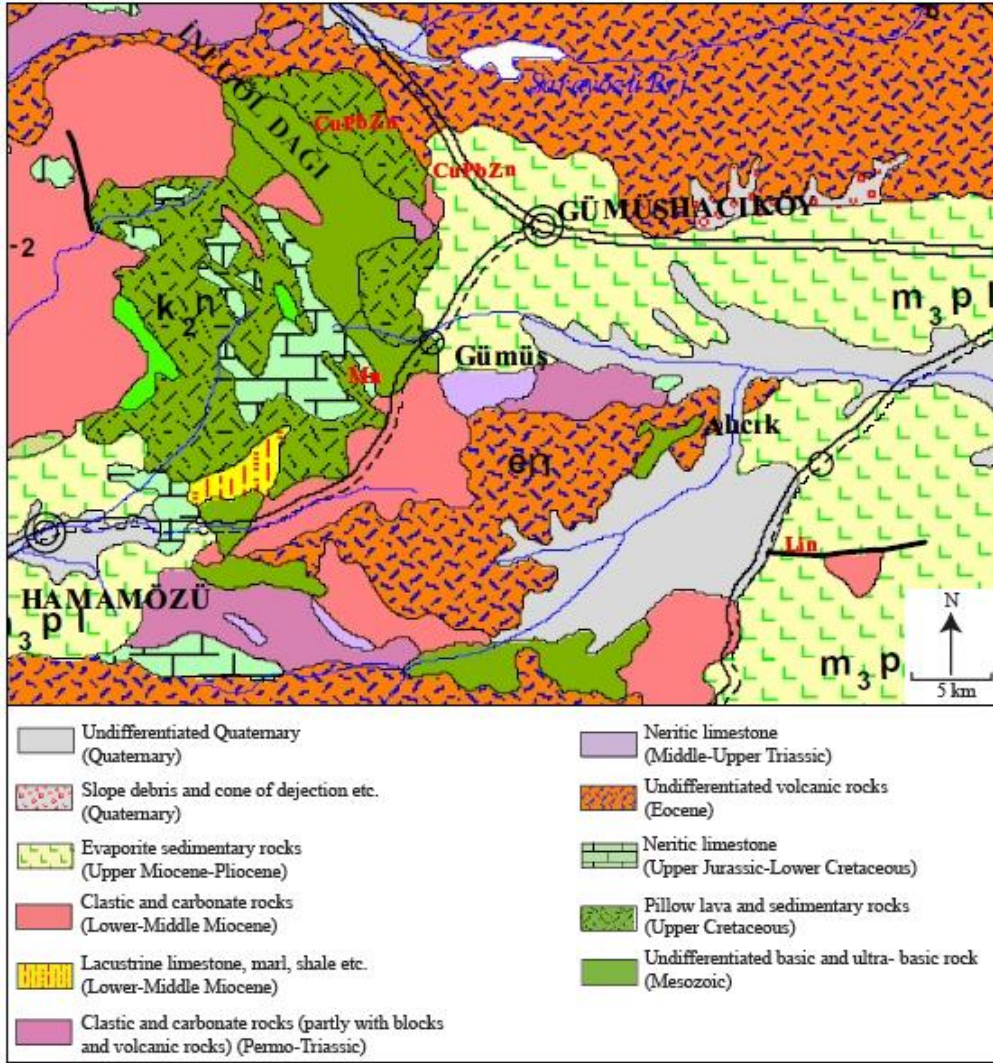


Şekil 1: Çalışma alanının yer bulduru haritası (Fırat Ersoy ve Ersoy, 2007)

Çalışma alanın kuzeyinde ofiyolitler ve Orta Pontidler, güneyinde Tokat Masifi, Çankırı-Çorum havzası ve Sakarya Kıtasına ait birimler bulunmaktadır. Sakarya Kıtasına ait birimlerde, Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar yer almaktadır. Çankırı-Çorum havzası ile Sakarya Kıtası içerisinde kalan Mesozoyik yaşlı birimler ofiyolitik, metamorfik, sedimanter ve volkanik, Senozoyik yaşlı birimler ise, sedimanter ve volkanik kayalardan oluşmuştur. Bölge paleotektonik ve neotektonik olayların gerçekleştiği bir bölgededir. Paleotektonik dönemde yapılar, birçok farklı tektonik birimi bir arada bulundurması ve bölgesel morfolojinin şekillenmesi için önemlidir (Duman ve ark., 2007). Neotektonik dönemde ise, deprem kaynağını oluşturan KAFS (Kuzey Anadolu Fay Sistemi)'dir (Ağrıdağ ve ark., 2002; Becer ve ark., 2017).

Çalışma alanında yüzeyleyen en yaşlı birim metamorfik kayalardır (Paleozoyik). Bu kayalar, klorit şist, mermer, killi şist, rekristalize kireçtaşları ve yeşil şistlerden oluşmaktadır. Bu kayaların üzerine fosilli, kalın tabakalı, oldukça çatlaklı kireçtaşları (Geç Jura-Erken Kretase) gelmektedir. İnce ve sert tabakalı, pembe renkli kireçtaşlarının (Erken Kretase) üzerinde Geç Kretase yaşlı konglomera, fosilli kumtaşı, tuf, marn, aglomara arakatlı andezitler ve kireçtaşı yer almaktadır. Kireçtaşı, kumtaşı, konglomeralardan oluşan birim Orta Eosen yaşlıdır. Bu birimin üzerine aglomeralar, tuf ve andezit ile arakatlı kumtaşı ve kireçtaşı (Geç Eosen) gelmiştir. İnce tabakalı kiltası ve mavimsi renkli marnlar (Miyosen) akiferde oluşmuştur. Bu birimin üzerine daha gevşek malzeme olan çakıl, kum ve kil (Pliyosen) gelmiştir. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, çalışma alanındaki en genç birimdir (Fırat Ersoy, 2007) (Şekil 2).

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 2: Çalışma alanı jeoloji haritası (MTA, 2007'den değiştirilerek alınmıştır)

2.1. Birimin Petrografik Özellikleri

Gümüş Birimi; koyu gri, kahverengi, yeşilimsi renkli ve orta kalınlıkta kumtaşı, marn arakatmanlı andezitik-bazaltik lav, tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Birim Gümüş kasabası ve Gümüşhacıköy ilçesinin batısında yaygın olarak yer almaktadır (Sevin ve Uguz, 2013).

Andezit; plajiyoklaz, biyotit, opak mineraller ve amfibol psödomorfları porfirik dokulu örneklerde fenokristal olarak gözlenmiştir. Plajiyoklazda, zonlu yapı, albitleşme, kloritleşme, kalsitleşme ve polisentetik ikizlenmenin iyi geliştiği gözlenmiştir. Biyotitlerde plajiyoklaz inklüzyonları bulunmaktadır. Amfibol psödomorfları çoğunlukla karbonatlıdır. Kayaç boşluklarında albit ve kalsit dolgusu görülmüştür (Sevin ve Uguz, 2013).

Bazalt; ojit, hornblend, biyotit, plajiyoklaz, opak mineraller ve apatit gibi fenokristaller yer almıştır (Sevin ve Uguz, 2013).

Ojit; açık yeşil renkte veya renksiz, idiomorfik kristaller şeklinde ve zonlu yapı iyi gelişmiştir (Sevin ve Uguz, 2013).

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 3: İnceleme alanı katı atıklarından bir görünüm

3. KATI ATIKLAR

Pb-Zn madeninden alınan katı atık örnekleri, terkedilmiş maden yataklarının farklı atık materyallerini içeren maden kalıntıları ve pasaları, çevredeki su ve toprakların ağır metallerce kirlenmesinde önemlidir. Maden ocaklarından çıkarılan kayaç kalıntıları daha az çözünürlüğe sahip mineraller içerdiğinden, inert malzeme olarak düşünülebilir. Bu malzeme maden sahası dışına veya yakın çevresine gelişigüzel dökülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda, bu kalıntıların doğal havalandırma koşullarına bağlı jeokimyasal olarak renk değiştirdiğine ve içerisindeki ağır metallerin çözülebilir bir duruma geldiği belirlenmiştir. Bu amaçla, terkedilmiş maden atıklarının bulunduğu alanlarda ağır metal içeren kalıntıların çevre açısından risk olasılığını ortaya koymak için fiziksel, kimyasal ve jeolojik incelemeler yapılmalıdır.

Ülkemizin her ilinde en az bir maden işletmesinin olduğu düşünülürse, madencilik açısından karşılaşılabilecek çevre kirlilik sorunlarının geciktirilmemesi gerekir. Bu işletmelerden biri de Gümüşhacıköy ilçesinde yer alan Pb-Zn-Ag yatağıdır. Bu yatakta, yaklaşık 500-3.500 gr/ton Ag, % 1-4 Zn ve % 20-40 Pb değerleri saptanmıştır. Gümüşhacıköy’de gümüş içeren kurşun-çinko yatağı çok eski bir işletme olup, eski galeriler hala mevcuttur ve bölgede yaşayan insanlar kışlık erzaklarını bu galerilerde muhafaza etmektedirler.

Gümüş kasabası maden atık sahasında herhangi bir önlem alınmadan atıklar çevreye bırakılmıştır. Bu atıklar içinde yaklaşık 200.000 ton katı atık (cüruf) yığını mevcuttur ve 20-30 gr/ton Ag ve % 3-4 Pb içerdiği düşünülmektedir ve günümüzde bu yatak işletilmemektedir (Amasya İli Maden ve Enerji Kaynakları). Katı atıkların ağır metal miktarları ve içerikleri dikkate alındığında, çevre kirliliği bakımından önemli olduğu düşünülebilir.

4. MATERİYAL VE METOT

Bu çalışmada maden katı atıklarının (cüruflarının) jeokimyasal özelliklerini ve çevre kirliliği üzerindeki etkilerini incelemek için 15 ayrı noktadan örnekleme yapılmış ve GPS ile örnek lokasyonları belirlenmiştir. Bu örnekler numaralandırılmış poşetlere konularak laboratuvara getirilmiştir (Şekil 4). Laboratuvara getirilen bu örnekler önce kırıcıda kırılarak küçük parçacıklar haline getirilmiş ve sonra öğütücüde öğütülerek (10 mikron) analize hazır duruma getirilmiştir (Şekil 5).

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

0,10 g katı atık örneklerine konsantre edilmiş 2 ml HNO₃ eklenerek mikrodalgada 95 °C'de kurutulduktan sonra soğumaya bırakılmıştır. 2 ml HCl + 2 ml HNO₃ + 2 ml H₂O karışımı (HCl-HNO₃-H₂O (1:1:1, v/v; 6ml per 0.10 g of ash and soil)) hazırlanarak kurutulmuş bu örnekler 2 ml eklenmiştir.

Son hacmi 50 ml'ye tamamlamak için damıtılmış saf su ilave edilmiştir (Kırat ve Aydın, 2015) (Şekil 6). Hazırlanan bu örneklerin analizi Yozgat Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (BİLTEM, Yozgat, Türkiye) yapılmıştır. ICP-MS (Endüktif Eşlenik Plazma-Kütle Spektrometresi) tekniği ile analiz edilmiştir. Elementlerin dedeksiyon limitleri (LOD) (µg / kg); As: 0.0386, Cu: 0.0252, Fe: 0.07846, Mn: 0.0307, Pb: 0.0138, Sb: 0.0068, Zn: 0.0904.



Şekil 4: İnceleme alanı ve yakın çevresinden alınan el örnekleri



Şekil 5: Alınan katı atık örneklerinin kırıldığı ve öğütüldüğü cihazlar

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 6: Jeokimyasal analiz için örneklerin çözünmesinden bir görüntü

5. DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİ

5.1. Verilerin Analizi

Kirlilik değerlendirme parametreleri, EF (zenginleştirme faktörü), Igeo (jeobirikim indeksi), CF (kontaminasyon faktörü) ve PLI (kirlilik yük endeksi) değerleri kullanılarak hesaplandı. Ayrıca, bu çalışmada, katı maden atıklarında tespit edilen ağır metalleri değerlendirmek için Sperman korelasyon matrisi kullanılmıştır.

Zenginleşme faktörü (EF), zaman içerisinde farklı çevresel ortamlarda değerlendirme yapıldığında ve ağır metal kirliliği için antropojenik değerlerin hesaplanmasında kullanılan bir indekstir (Morillo ve ark., 2002; Adamo ve ark., 2005; Valdés ve ark., 2005; Alak ve Sümer, 2017).

Element konsantrasyonlarının yerine EF değerlerinin kullanılması, demir (Fe) referans element alınarak; mineral içeriğinde, karbonat seyreltmede ve tane boyundaki farklılıkları ortadan kaldırılarak normalizasyon sağlamaktır. Mineralojinin ve tane boyunun neden olduğu metal anomalilerini tanımlamak, değişkenliğini azaltmak ve ağır metallerin jeokimyasal olarak normalizasyonu sağlamak amacıyla Al, Ca, Fe, Mn ve Ti gibi konservatif elementler kullanılmaktadır. Fe, kil minerallerinde, Al ise kabukta (litojenik) en çok baskın bulunan bir elementtir. Bu çalışmada EF hesaplanırken normalleştirme elementi Fe kullanılmıştır (Pehlivan, 2017; Kirat ve Aydın, 2018).

Denizel dip çökellerin metal içeriklerinin incelenmesinde, antropojenik kirliliğin olmadığı, yerkabuğunun üst kısmını temsil eden ortalama şeyl konsantrasyonları kullanılmaktadır (Algan ve ark., 2004; Pekey ve ark., 2004; Taylor ve McLennan, 1995; Aksu ve ark., 1997; Sarı, ve Çağatay, 2001; Sarı, 2004) (Tablo 1). Analizlerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde, herbir ağır metal değeri ile şeyl ortalama değeri karşılaştırılmıştır. Zenginleştirme faktörü (EF) ilk kez Buat-Menard ve Chessele (1979) tarafından kullanılmış ve eşitlik aşağıdaki gibidir (Pehlivan, 2017; Kirat and Aydın, 2018).

$$EF = (Cx/Fex) / (Cc/Fec)$$

EF : Zenginleştirme faktörü

Cx, Fex : Analizi yapılan metal değerleri

Cc, Fec : Ortalama şeyl değerleri

EF < 2 az,

2 ≤ EF < 5 orta,

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

$5 \leq EF < 20$ yüksek,

$20 \leq EF < 40$ çok yüksek ve

$EF \geq 40$ aşırı yüksek derecede zenginleşme olduğunu göstermektedir (Abraham ve Parker, 2008).

EF değerlerinin $0.5 \leq EF \leq 1.5$ aralığında olması, ağır metaller doğal aşınma sonucunda oluştuğu, yani ağır metallerin kabuksal (litojenik) kökenli olduğu; EF değerlerinin $EF > 1.5$ olması ise, ağır metallerin antropojenik (noktasal veya noktasal olmayan kirlilik) kaynaklı olduğunu göstermektedir (Bergamaschi, 2002; Pehlivan, 2017; Klerks ve Levinton, 1989; Barbieri ve ark., 2015).

Jeokümülyasyon İndeksi (Igeo) ilk kez Müller (1979) tarafından 2 mikron fraksiyondaki metal konsantrasyonları için tanımlanmıştır ve global standart şeyl değerleri oluşturulmuştur. Bu indeks aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Barbieri ve ark., 2015).

Igeo, ağır metallerin kirlilik durumunu ve mevcut kirliliği tanımlamada ve sınıflara ayırmada kullanılır (Pehlivan, 2017; Kirat ve Aydın, 2018).

$$I_{geo} = (\log_2 C_n) / (1.5 * B_n)$$

C_n : ağır metal değerleri,

B_n : Ortalama şeyl değerleri,

1.5 : Litojenik (background) korelyasyon değerleri

Müller (1981), Sınıf 0'dan ($I_{geo} = 0$, kirlenmemiş) Sınıf 6'ya ($I_{geo} > 5$, aşırı kirlilik) kadar yedi Sınıfta Jeokümülyasyon İndeksini tanımlamıştır. En yüksek sınıf (Sınıf 6), background değerlerinin üzerinde en az 100 kat zenginleştirme olduğunu gösterir (Barbieri ve ark., 2015).

Jeobirikim İndeksi (Igeo) sınıflamasında (Müller, 1969)

$I_{geo} < 0$ kirlilik yok,

$0 < I_{geo} < 1$ az kirlilik,

$1 < I_{geo} < 2$ orta miktarda kirlilik,

$2 < I_{geo} < 3$ kirli,

$3 < I_{geo} < 4$ önemli miktarda kirlilik,

$4 < I_{geo} < 5$ çok fazla miktarda kirlilik ve

$I_{geo} > 5$ aşırı miktarda kirlilik olduğunu göstermektedir (Pehlivan, 2017; Kirat ve Aydın, 2018). 6. sınıf açık bir sınıftır ve 5'ten büyük olan tüm jeobirikim indeks değerlerini içerir.

Jeokimyasal background konsantrasyonları, ortamdaki belirli bir metalin içeriğindeki dalgalanmalarının yanı sıra çok küçük antropojenik etkilere izin vermek için her seferinde sabit 1.5 ile çarpılır (Guimarães ve ark., 2011).

Metaller doğal veya antropojenik olaylar sonucunda ekosistemde birikebilir. Sucul ekosistemlerde kirleticilerin birikimi oldukça yaygındır. Ağır metal içerikleri ve doğal veya antropojenik olayların geriye dönük verileri yorumlanabilir. Ayrıca, örneklerde bulunan ağır metallerin değerlendirilmesinde ve mevcut durum ile ilgili önemli verilerin elde edilmesinde kullanılan bir yöntemdir.

Kontaminasyon faktörü (CF), ağır metallerin antropojenik özelliğinin ve çevresel kirlilik boyutunun değerlendirilmesinde kullanılan bir indekstir (Abraham ve Parker, 2008; Esen, 2010; Uluturhan, 2010). Bu faktör aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunmuştur (Hakanson, 1980; Pehlivan, 2017; Kirat ve Aydın, 2018).

$$CF = C_{metal} / C_o$$

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

C_{metal} : Atıklarda bulunan ağır metal konsantrasyonu

C_o : Ağır metalin dünya ortalama değeri

CF < 1 az kontaminasyon,

1 < CF < 3 orta kontaminasyon,

3 < CF < 6 önemli kontaminasyon ve

CF > 6 çok yüksek kontaminasyon olduğunu göstermektedir (Hakanson, 1980).

Kirlilik yük değeri (PLI), ağır metallerin çok büyük ölçekli antropojenik boyutunu belirlemek için kullanılan bir indekstir (Tomlinson ve ark., 1980; Ray ve ark., 2006; Huerta-Diaz ve ark., 2008; Essien ve ark., 2009; Mohiuddin ve ark., 2010; Zhang ve ark., 2011; Galuszka ve ark., 2014). Bu indeks ilk defa Tomlinson ve diğ. (1980) tarafından kullanılmıştır (Alak ve Sümer 2017).

Bulunan sonucun >1 (kirlilik fazla) veya <1 (kirlilik az) olması durumuna göre yorum yapılmaktadır (Ray ve ark., 2006; Galuszka ve ark., 2014; Alak ve Sümer 2017).

$$PLI = \sqrt[n]{(CF_1 * CF_2 * CF_3 * \dots * CF_n)}$$

C_{metal} : Ağır metal konsantrasyonu

C_o : Ağır metalin background değeri

CF : Kontaminasyon faktörü

n : Ağır metal sayısı

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gümüşhacıköy ilçesinin Gümüş kasabası ve çevresinden 15 ayrı lokasyondan toplanan katı atık örnekleri ICP-MS cihazı kullanılarak belirlenen As, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb ve Zn elementleri analiz edilmiştir. As, Cu, Mn, Pb, Sb ve Zn değerleri mg / kg ve Fe olarak % olarak verilmiştir. Tablo 1'de örnek sayısı, aritmetik ortalama, minimum, maksimum, standart sapma, Skewness, Kurtosis, ortalama ortalama ve ortalama yerkabuğu değerlerinin istatistiksel parametreleri verilmiştir. Ortalama değerler, incelenen metallerle karşılaştırıldığında, Zn dışında standart sapma değerlerinden ve Cu, Mn ve Fe dışında yerkabuğu ortalama değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Skewness ve Kurtosis değerlerine göre, incelenen metaller normal bir dağılım göstermektedir. Pozitif Skewness dağılımın sağ yöne doğru eğimli ve ortalama ve medyan değerlerinin mod değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Ortalama ortalama değerleri ise, değerlendirme parametrelerinin (EF, Igeo ve CF) hesaplanmasında kullanılmıştır (Tablo 1).

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tablo 1: İncelenen elementlerin istatistiksel parametreleri ile ortalama şeyl ve yerkabuğu değerleri (mg/kg, Fe: %), (Turekian and Wedepohl 1961; Krauskopf 1985; Pehlivan 2017)

	Min.	Max.	Std. Sapma	Ortalama	Medyan	Mod	Skewness	Kurtosis	Ort. Şeyl	Yerkabuğu Ortalama
As	7.65	193.5	61	79	68.94	7.65	1	-1	13	1.8
Cu	2.66	13	3	5	3.92	3	2	4	45	55
Mn	26.64	257	66	78	56.51	27	2	3.66	850	950
Sb	0.42	7.18	2	3	3.12	0.68	0.31	-0.79	1.5	0.2
Pb	42.35	141	28	79	76.13	42	1	0	20	13
Zn	46.48	503.4	113	104	69.4	46.48	4	13	95	70
Fe	0.08	0.21	0.04	0.14	0.15	0.17	-0.06	-1.43	4.7	5

İnceleme alanındaki elementler arasındaki korelasyona bakıldığında Cu-Sb (0.85), Cu-Pb (0.75), Sb-Pb (0.82), Mn-Zn (0.61), Mn-Fe (0.82), Zn-Fe (0.71) arasında kuvvetli pozitif bir korelasyon gözlenirken; Cu-Mn (-0.51), Mn-Sb (-0.69), Mn-Pb (-0.85), Pb-Fe (-0.62) arasında ise yüksek negatif bir korelasyon gözlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2: İncelenen elementler arasındaki korelasyon değerleri

	As	Cu	Mn	Sb	Pb	Zn	Fe
As	1						
Cu	0.18	1					
Mn	-0.26	-.51(*)	1				
Sb	0.23	.85(**)	-.69(**)	1			
Pb	0.23	.75(**)	-.85(**)	.82(**)	1		
Zn	-0.48	-0.30	.61(*)	-0.35	-0.43	1	
Fe	-0.40	-0.19	.82(**)	-0.30	-.62(*)	.71(**)	1

Zenginleşme faktörü, incelenen örneklerdeki element taşınımı ve birikimi ile ilişkili doğal ya da antropojenik olarak oluşan faktörlerin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Alınan örneklerin background değerleri belirlenemediğinden ortalama şeyl değerleri kullanılmıştır.

Hesaplanan EF sonuçlarına göre, As, Cu, Mn ve Sb değerlerinin tüm lokasyonlarda hesaplanan EF değerlerinin >1.5 olması, bu elementlerin antropojenik kaynaklı bir kirlilik oluşturduğunu, Pb ve Zn metallerinin ise, tüm lokasyonlarda EF değerlerinin <0.5 olması bu elementlerin kabuksal (litojenik) veya doğal aşınma sonucunda oluştuğunu göstermektedir. Mn değeri 3, 4, 6, 7 ve 11-14 nolu lokasyonlarda EF değeri 2-5 arasında olup orta derecede zenginleşme; Cu (2, 3 ve 13-15 nolu lokasyonlarda), Mn (2 ve 15 nolu lokasyonlarda), Sb (2-4 nolu lokasyonlarda) EF değerleri 5-20 arasında olup yüksek derecede zenginleşme; As (1, 12 ve 13 nolu lokasyonlarda), Cu (4, 7 ve 11 nolu lokasyonlarda), Sb (14 nolu lokasyonda) EF değerleri 20-40 arasında olup çok yüksek derecede zenginleşme; As (2-11 ve 14-15 nolu lokasyonlarda), Cu (5, 6, 8-10 ve 12 nolu lokasyonlarda), Sb (1, 5-12 ve 15 nolu lokasyonlarda) EF değerleri >40 arasında olup çok yüksek derecede zenginleşme göstermektedir (Tablo 3).

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Büyük Britanya'nın Kent bölgesinde yapılan çalışmada, Pb ve Zn elementleri için EF değerlerini sırasıyla, 0.9–10 ve 0.8–2.6 olarak elde etmişlerdir (Spencer ve ark., 2003). Çalışma alanındaki Pb ve Zn elementindeki zenginleşmenin, Kent bölgesinden elde edilen değerlerden düşük olduğu saptanmıştır (Alak ve Sümer, 2017).

Tablo 3: Katı atık örneklerindeki elementlerin EF değerleri

Ö.No	As	Cu	Mn	Sb	Pb	Zn
1	25.4	67.1	1.6	109.4	0.09	0.02
2	46.0	18.7	6.8	10.8	0.07	0.03
3	68.3	19.7	3.1	7.9	0.07	0.02
4	438.6	23.7	4.1	16.1	0.11	0.02
5	476.5	46.6	1.6	113.1	0.18	0.02
6	231.0	41.1	2.0	96.0	0.16	0.03
7	311.8	27.7	2.4	64.5	0.09	0.03
8	394.2	56.2	1.7	155.8	0.34	0.03
9	807.8	58.0	1.7	189.9	0.30	0.03
10	182.9	69.2	1.9	166.7	0.20	0.03
11	356.3	37.3	2.4	104.4	0.20	0.03
12	32.3	42.3	2.1	115.2	0.25	0.04
13	34.6	15.9	2.4	12.2	0.06	0.14
14	65.2	15.5	2.1	30.9	0.09	0.03
15	69.9	13.4	5.3	42.6	0.05	0.02

Çalışma alanında elde edilen kirliliğin derecesini belirleyebilmek için Igeo değerleri hesaplanmıştır. 1-3 ve 12-15 arasındaki lokasyonlarda As değeri, 1-7 ve 11-15 arasındaki lokasyonlarda Pb değeri, 1-12 ve 14-15 arasındaki lokasyonlarda Zn değeri, ve diğer tüm lokasyonlarda Cu, Mn, Sb, Fe değerleri 0-1 arasında az kirlilik sınıfında yer almaktadır. As (6, 8, 10 ve 11 nolu lokasyonlarda), Pb (8-10 nolu lokasyonlarda), Zn (13 nolu lokasyonda) Igeo değerleri 1-2 arasında olup orta derecede kirlilik; ve As (4, 5, 7 ve 9 nolu lokasyonlarda) Igeo değerleri 2-3 arasında olup kirli sınıfta yer almaktadır (Tablo 4).

Tablo 4: Katı atık örneklerindeki elementlerin Igeo değerleri

Ö.No	As	Cu	Mn	Sb	Pb	Zn	Fe(%)
1	0.2	0.06	0.013	0.92	0.79	0.14	0.008
2	0.4	0.02	0.061	0.10	0.65	0.26	0.009
3	0.5	0.01	0.022	0.06	0.47	0.14	0.007
4	2.5	0.01	0.023	0.09	0.64	0.13	0.006
5	2.2	0.02	0.008	0.52	0.84	0.11	0.005
6	1.5	0.03	0.012	0.60	0.98	0.18	0.006
7	2.3	0.02	0.017	0.48	0.64	0.21	0.007

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

8	1.7	0.02	0.007	0.65	1.42	0.11	0.004
9	3.0	0.02	0.006	0.70	1.08	0.10	0.004
10	1.1	0.04	0.011	0.96	1.14	0.15	0.006
11	1.4	0.01	0.009	0.39	0.76	0.10	0.004
12	0.1	0.02	0.008	0.42	0.92	0.15	0.004
13	0.3	0.01	0.018	0.09	0.43	1.06	0.007
14	0.5	0.01	0.016	0.23	0.68	0.25	0.007
15	0.6	0.01	0.047	0.37	0.42	0.18	0.009

As: 12 nolu lokasyonda, Sb: 2, 3, 4 ve 13 nolu lokasyonlarda, Zn: 1, 3-6 ve 8-12 nolu lokasyonlarda ve Cu, Mn ve Fe tüm tüm lokasyonlarda az kontaminasyon; As: 1-3, 13, 14 nolu lokasyonlarda, Sb: 5-7, 11, 12, 14 ve 15 nolu lokasyonlarda, Pb: 3, 13 ve 15 ve Zn: 2, 7 ve 14 nolu lokasyonlarda orta kontaminasyon; As: 10 ve 15 nolu lokasyonlarda, Sb: 1, 8, 9 ve 10 nolu lokasyonlarda, Pb: 1, 2, 4-7, 9-12 ve 14 nolu lokasyonlarda ve Zn: 13 nolu lokasyonda önemli derecede kontaminasyon; ve As: 4-9 ve 11 nolu lokasyonlarda, Pb: 8 nolu lokasyonda çok yüksek kontaminasyon gözlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5: Katı atık örneklerindeki elementlerin CF değerleri

Ö.No	As	Cu	Mn	Sb	Pb	Zn	Fe (%)
1	1.07	0.29	0.07	4.59	3.96	0.71	0.04
2	2.07	0.09	0.30	0.48	3.22	1.31	0.04
3	2.44	0.07	0.11	0.28	2.32	0.72	0.04
4	12.43	0.07	0.12	0.45	3.18	0.64	0.03
5	11.06	0.11	0.04	2.60	4.20	0.54	0.02
6	7.25	0.13	0.06	2.99	4.90	0.91	0.03
7	11.68	0.11	0.09	2.39	3.20	1.05	0.04
8	8.33	0.12	0.03	3.26	7.07	0.55	0.02
9	14.88	0.11	0.03	3.47	5.40	0.52	0.02
10	5.30	0.21	0.05	4.79	5.68	0.77	0.03
11	6.75	0.07	0.05	1.96	3.81	0.49	0.02
12	0.59	0.08	0.04	2.08	4.58	0.73	0.02
13	1.30	0.06	0.09	0.45	2.14	5.30	0.04
14	2.42	0.06	0.08	1.13	3.41	1.26	0.04
15	3.08	0.06	0.23	1.86	2.12	0.90	0.04

Onbeş farklı lokasyondan elde edilen PLI değerleri <1 olup, kirlilik sınırı altındadır (Tablo 6). Hindistan'ın Gaderu, Godavari, Coringa ve Kakinada kıyılarında yapılan çalışmada PLI değerinin 0.34 ile 1.03 arasında olduğu görülmüştür (Ray ve ark., 2006; Alak ve Sümer, 2017). Dünyanın farklı bölgelerinde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, çalışma alanındaki PLI değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Bu durumda Hindistan'ın kıyılarından daha az kirlenmiş olduğu yorumu yapılabilir.

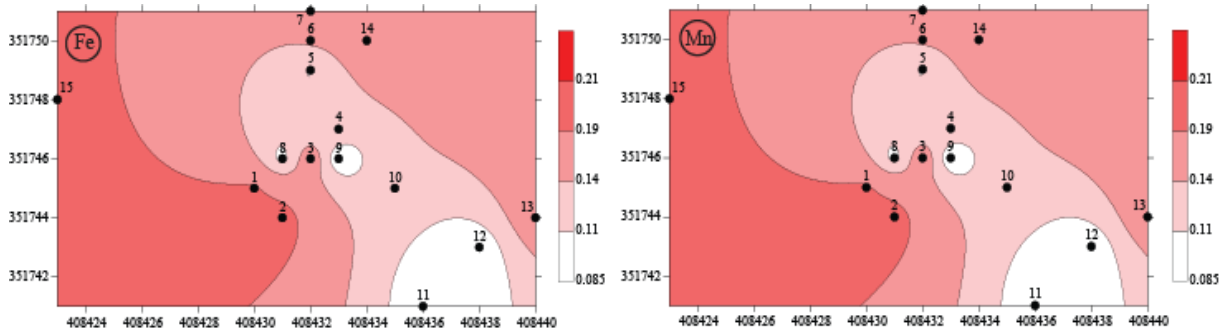
TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tablo 6: Katı atık örneklerindeki elementlerin PLI değerleri

Ö.No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PLI	0.53	0.47	0.32	0.43	0.49	0.59	0.61	0.51	0.51	0.62	0.40	0.30	0.39	0.41	0.49

Element konsantrasyonlarının anomali haritalarını oluşturmak, kirlilik alanlarının tespit edilmesinde etkili bir yoldur (Rubio ve ark., 2000). Alansal dağılım yöntemi ile kümülatif verilerin (% 25, % 50, % 70, % 90 ve % 95) anomali haritaları hazırlanmıştır. İlk % 50 değer temel değer, % 95 ise en yüksek kirlilik (anomali) değeri olarak kabul edilmiştir (Kirat ve Aydın, 2016). Katı atık örneklerinden elde edilen analiz sonuçları, anomali haritalarında değerlendirilmiştir. Alansal dağılım grafikleri, SPSS 15.0 programı kullanılarak element değerleri hesaplanarak, SURFER 9 programında çizilmiştir.

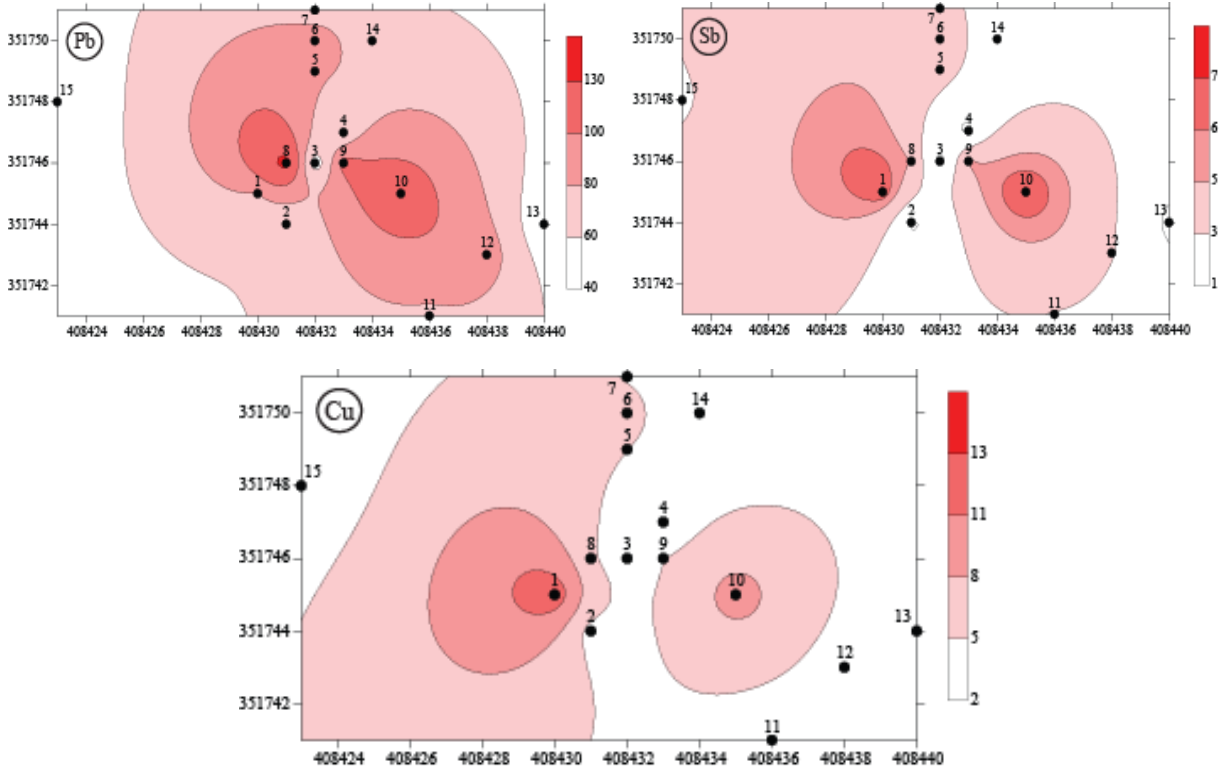
Çalışma alanındaki katı atık örneklerinden elde edilen Fe ve Mn element değerlerinin alansal dağılımı Şekil 7’de verilmiştir. Fe ve Mn değerlerinin alansal dağılım aralığının % 0.085-0.21 mg/kg olduğu ve bu elementlerin benzer bir dağılım sunduğu görülmüştür. 0.085-0.11 aralığındaki beyaz renk çok düşük, 0.11-0.14 aralığındaki açık pembe renk düşük, 0.14-0.19 aralığındaki pembe renk orta, 0.19-0.21 aralığındaki koyu pembe renk yüksek, 0.21 ve üzeri aralığındaki kırmızımsı renk çok yüksek dereceli (anomali) Fe ve Mn element değerlerini temsil etmektedir. Bu elementler, 1, 2 ve 15 nolu örneklerde çok yüksek (anomali), 3, 6, 7, 13 ve 14 nolu örneklerde orta, 4, 5 ve 10 nolu örneklerde düşük, 8, 9, 11 ve 12 nolu örneklerde çok düşük dereceli kirlilik olduğu görülmüştür.



Şekil 7: Katı atık örneklerindeki Fe ve Mn'nin alansal dağılımı

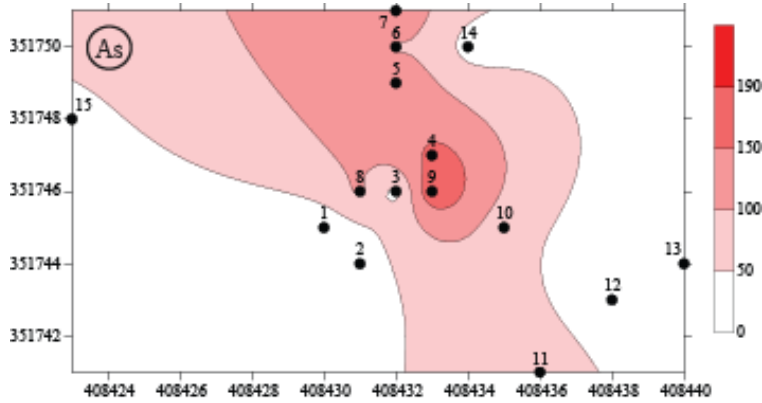
Pb, Sb ve Cu element değerlerinin benzer bir alansal dağılım sunduğu Şekil 8’de görülmektedir. Pb, Sb ve Cu değerlerinin alansal dağılım aralıkları sırasıyla, 40-130 mg/kg, 1-7 mg/kg ve 2-13 mg/kg’dır. Pb 8 nolu lokasyonda en yüksek (anomali), 9 ve 10 nolu lokasyonda yüksek, Sb 1, 9 ve 10 nolu lokasyonda yüksek, Cu 1 nolu lokasyonda yüksek, 10 nolu lokasyonda orta dereceli bir kirliliğe sahiptir.

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 8: Katı atık örneklerindeki Pb, Sb ve Cu'nun alansal dağılımı

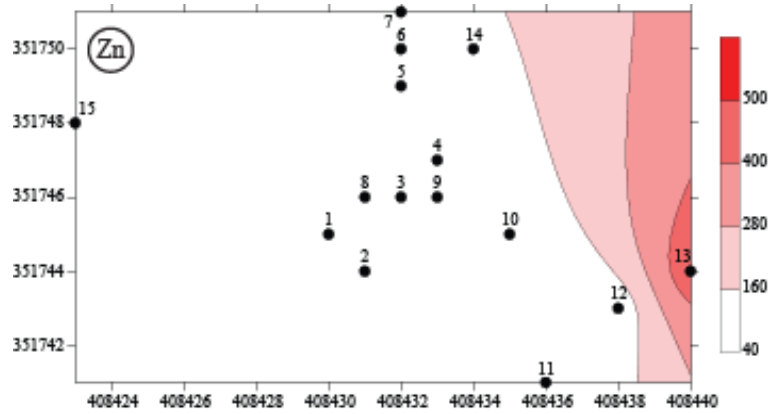
As element değerlerinin alansal dağılımı 0-190 mg/kg arasında değişmektedir. As, 4 ve 9 nolu lokasyonlarda yüksek, 5, 6, 7 ve 8 nolu lokasyonlarda orta, 10 ve 11 nolu lokasyonlarda düşük ve 1, 2, 12, 13, 14 ve 15 nolu lokasyonlarda çok düşük dereceli bir kirliliğe sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 9: Katı atık örneklerindeki As'in alansal dağılımı

Zn element değerleri incelenen diğer elementlerden (As, Cu, Fe, Mn, Pb ve Sb) farklı bir alansal dağılım sunmaktadır (Şekil 9). Zn değerinin alansal dağılım aralığının 40-500 mg/kg olduğu görülmüştür. 40-160 aralığındaki beyaz renk çok düşük, 400-500 aralığındaki koyu pembe renk yüksek dereceli Zn element değerini temsil etmektedir. Bu elementin, 13 nolu örnekte yüksek ve diğer tüm örneklerde çok düşük dereceli kirliliğe sahiptir.

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 10: Katı atık örneklerindeki Zn'nun alansal dağılımı

7. SONUÇLAR

Araştırma kapsamında, Gümüşhacıköy ilçesinin Gümüş kasabası ve çevresinden 15 adet katı atık (cüruf veya pasa) örneği alınmıştır. Alınan örnekler, ICP-MS (Endüktif Eşlenik Plazma – Kütle Spektrometre) cihazı ile As, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb ve Zn element analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanındaki ağır metallerin ortalama birikim seviyeleri; $Zn > As = Pb > Mn > Cu > Sb$. Çalışma alanındaki örneklerde ortalama As, Sb, Pb ve Zn element değerleri yerkaşu (dünya) ortalama değerlerinden büyük; Cu, Fe ve Mn element değerlerinin ise, küçük olduğu görülmüştür. Hesaplanan EF değerlerinde az-aşırı yüksek zenginleşme, Igeo değerlerinde kirlenmemiş-aşırı derecede kirlilik ve CF değerlerinde az-çok yüksek kontaminasyon olduğu görülmüştür. Çalışma alanındaki katı atıklarda en yüksek zenginleşmeyi (EF) gösteren ağır metaller As, Cu ve Sb olmuştur. As dışında aşırı yüksek dereceye varan kirlilik değeri (Igeo) dışında diğer ağır metaller için önemli bir kirlilik tespit edilmemiştir. As ve Pb elementlerinin CF değerleri ise, antropojenik etkinin yanısıra çevresel kontaminasyonun çok yüksek boyutlarda olduğuna işaret etmiştir. PLI değerleri ($PLI < 1$), çalışma alanında kabul edilebilir kirliliğin olmadığını göstermektedir.

Çalışma alanından alınan katı atık örneklerinde Fe ile Mn elementlerinin ve Pb, Sb ile Cu elementlerinin benzer alansal dağılım sunduğu görülmüştür. Fe ve Mn elementleri 1, 2 ve 15 nolu örneklerde ve Pb 8 nolu lokasyonda çok yüksek dereceli (anomali) bir kirliliğe sahip olduğu görülmüştür.

As ve Zn elementleri ise, hem birbirinden hem de incelenen diğer elementlerden farklı bir alansal dağılım göstermiştir. As, 4 ve 9 nolu lokasyonlarda ve Zn 13 nolu lokasyonda yüksek dereceli bir kirliliğe sahiptir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, Yozgat Bozok Üniversitesi Proje Koordinasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi (Proje No: 6602a-MMF/18-169) tarafından desteklenmiştir.

8. KAYNAKÇA

Abraham, G.M.S., & Parker, R.J., Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental Monitoring Assessment, 136:227– 238, 2008.

Adamo, P., Arienzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G., & Stanzione, D. (2005). Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port. Chemosphere, 61(6), 800-809.

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Adriano, D.C. (2001). Trace elements in the terrestrial environment— biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals (2nd ed.). Springer, Berlin Heidelberg New York, p. 867.

Ağrıdağ, D.S., Akat, U., Ekay, E., Akbaş, B., Akçören, F., Akın, E., Akkuş, M.F., Akman, Ü., Akpınar, K., Akyürek, B., Altun, İ., Arbaş, A., Atalay, M., Ateş, M., Aziz, A., Barbur, M.y, Besbelli, B., Bilginer, E., Birgili, S., Boztuğ, D., Çalapkulu, F., Gümüşsu, M., Hakyemez, Y., Herece, E., İmik, M., Karabalık, N.N., & Keskin, A. (2002). 1/500 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Sinop Paftası, MTA Genel Müdürlüğü. Ankara.

Aksu, A.E., Yaşar, D., & Uslu, O., (1997). Assessment of Marine Pollution in Izmir Bay: Heavy Metal and Organic Compound Concentrations in Surficial Sediments.

Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M.N., & Sarı, E., (2004). The sources of metal in the shelf sediments of the Marmara Sea, Turkey, *Environmental Geology*, 46:932-950.

Alloway, B. J. (1995). Heavy metals in soils (2nd ed.). Blackie, p. 339.

Amasya İli Maden Ve Enerji Kaynakları, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Amasya_Madenler.pdf

Alak, A., & Sümer, Ö. (2017). Marmara ve Karadeniz Kıyılarındaki Güncel Sedimanlar İçinde Antroposen'in Varlığına Ait Yeni Bulgular. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60, 145-168

Aykol, A., Budakoğlu, M., Kumral, M., Gültekin, A.H., Turhan, M., Esenli, V., Yavuz, F. & Orgun Y. (2003). Heavy metal pollution and acid drainage from abandoned Balya Pb-Zn sulfite mine, NW Anatolia, Turkey. *Environmental Geology*, 45, 198-208.

Barbieri M, Nigro A, & Sappa G. (2015). Soil contamination evaluation by Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) *Senses Sci*; 2(3), 94-97 doi:10.14616/sands-2015-3-9497

Becer, M. M., Çan, T., & Tekin, S. (2017). Gümüşhacıköy (Amasya) - Osmancık (Çorum) Dolaylarının Frekans Oranı Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. MÜHJEO'2017: Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu, 12-14 Ekim 2017, ÇÜ, Adana

Bell, F.G, Bullock S.E.T, Halbach T.F.J, & Lindsay P. (2001). Environmental impacts associated with an abandoned mine in the Witbank Coalfield, South Africa. *International Journal of Coal Geology*, 45;195-216.

Bergamaschi, L., Rizzio, E., Valcuvia, M.G., Verza, G., Profumo, A., & Gallorini, M. (2002). Determination of trace elements and evaluation of the enrichment factors in Himalayan lichens. *Environmental Pollution* 120, 137– 144.

Buat - Menard, P., & Chesselet, R. (1979). Variable in fluence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter, *Earth Planet Science Lett*, 42, 399-411

Caeiro, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A.P., & Medeiros, G. (2005). Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: an index analysis approach. *Ecol Indic* 5(2):151–169 Caeiro.

Carrillo-Chávez, A., Morton-Bermea, O., González-Partida, E., Rivas-Solorzano, H., Oesler, G., García-Meza, V., Hernández, E., Morales, P., & Cienfuegos, E., (2003). Environmental geochemistry of the Guanajuato mining district, Mexico. *ORE Geology Reviews*, 23, 277– 297.

Chakroun, H.K., Souissi, F., Bouchardon, J.L., Souissi, R., Moutte, J., Faure Remon, O.E. & Abdeljaoued, S. (2010). Transfer and accumulation of lead, zinc, cadmium and copper in plants growing in abandoned mining-district area. *African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 4(10), 651-659.

Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çan, T., Nefeslioğlu Keçer, M., & Çörekçioğlu, Ş., (2007). Paftası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Earman, S. & Hershey, R.L., (2004). Water quality impacts from waste rock at a Carline-type gold mine, Elko Country, Nevada, *Environmental Geology*, 45, 1043-1053.

Esen, E., Kucuksezgin, F., & Uluturhan, E. (2010). Assessment of trace metal pollution in surface sediments of Nemrut Bay, Aegean Sea. *Environmental Monitoring Assessment*, 160(1-4), 257.

Essien, J. P., Antai, S. P. ve Olajire, A.A., (2009). Distribution, seasonal variations and ecotoxicological significance of heavy metals in sediments of cross river estuary mangrove swamp. *Water, Air, and Soil Pollution*, 197(1-4), 91-105.

Firat Ersoy, A., & Ersoy, H. (2007). Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi: Gümüşhaciköy (Amasya) Akiferi Örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 31 (2) 2007 - 32 (1) 2008

Fuge, R., Paveley, C. F., & Holdham, M. T., (1989). Heavy metal contamination in the Tanat Valley, North Wales. *Environmental Geochemistry and Health*, 11, 127-135.

Galuszka, A., Migaszewski, Z. M. & Zalasiewicz, J., (2014). Assessing the Anthropocene with geochemical methods. *Geological Society, London, Special Publications*, 395(1), 221-238.

Gemici, U., (2004). Impact of Acid Mine Drainage from the Abandoned Halikoy Mercury Mine (Western Turkey) on Surface and Groundwaters. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 72, 482-489.

Gray, N.F, (1997). Environmental impact and remediation of acid mine drainage: a management problem, *Environmental Geology*, 30, 62-71.

Gündüz, O., Okumuşoğlu, D., & Baba, A., (2008). Acidic mining lakes and their influence on water quality: A case study from Can (Canakkale), Turkey. *Securing Groundwater Quality in Urban and Industrial Environments (Proc. 6th International Groundwater Quality Conference held in Fremantle, Western Australia, 2-7 December 2007)*. IAHS Publ. no. XXX.

Guilherme M. Guimarães Robson L. Franklin Ana M.G., Figueiredo Paulo S.C., & Silva, Déborah I. T. (2011). Fávoro Enrichment Factor And Geoaccumulation Index Applied to Sediment Samples from the Guarapiranga Reservoir, Brazil, for Metal and Trace Element Assessment. 2011 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011 Belo Horizonte, MG, Brazil, October 24-28, 2011. ISBN: 978-85-99141-04-5

Hakanson, L., (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*, 14, (8), 975.

Huerta-Diaz, M. A., Delgadillo-Hinojosa, F., Hernández-Ayón, M., Segovia-Zavala, J. A., García Esquivel, Z., López-Zárate, H., Siqueiros- Valencia, A., & Galindo-Bect, S., (2008). Diagnosis of trace metal contamination in sediments: the example of Ensenada and El Sauzal, two harbors in Baja California, Mexico. *Marine Environmental Research*, 66(3), 345-358.

Keller, E. A., (2006). Çevre Jeolojisine Giriş. Upper Saddle River, New Jersey. Çevirenler: Erdal Akyol ve Kamil Kayabalı, pp 521.

Kirat, G., & Aydin, N. (2015). Pb – Zn Accumulation in the Plants Grown In and Around the Akdağmadeni Pb – Zn Mine. *Polish Journal of Environmental Studies*. 24(2), 545-554.

Kirat, G., & Aydin, N. (2016). Geochemical properties of soils surrounding the Deliklitas, Au deposit, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 120: 173-180.

Kirat, G., & Aydin, N. (2018). Stream sediments geochemical investigations in Deliklitas and Ovacık (Balıkesir), Turkey. *Separation Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1541468>.

Klerks, P.L., & Levinton, J.S. (2015). Rapid evolution of metal resistance in a benthic oligochaete inhabiting a metalpolluted site. *Biological Bulletin*, 1989; 176:135-141.

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Krauskopf, K. B. (1985). Introduction to geochemistry, 2nd edn. McGraw-Hill International series in the Earth and Sciences, New York, p 617

Levy, D. B., Custis, K. H., Casey, W. H., & Rock, P. A. (1997). A comparison of metal attenuation in mine residue and overburden material from an abandoned copper mine. *Appl. Geochem.*, 12: 203-211.

Mohiuddin, K. M., Zakir, H. M., Otomo, K., Sharmin, S., & Shikazono, N. (2010). Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science ve Technology*, 7(1), 17-28.

Moore, J. N., & Luoma, S. N. (1990). Hazardous wastes from large-scale metal extraction. *Environ. Sci. Technol.*, 24: 1278-1285.

Morillo, J., Usero, J., & Gracia, I. (2002). Heavy metal fractionation in sediments from the Tinto River (Spain). *International Journal of Environmental & Analytical Chemistry*, 82(4), 245-257.

Jung, M. C. (2008). Contamination by Cd, Cu, Pb, and Zn in mine wastes from abandoned metal mines classified as mineralization types in Korea. *Environ Geochem Health* (2008) 30:205–217. DOI 10.1007/s10653-007-9109-x

Müller, G., (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal* 2:108–118

Müller, G. (1979). Schwermetalle in den sedimenten des RheinseVeränderungen seitt 1971. *Umschau* 1979; 778–783.

Müller, G. (1981). Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. *Chem. Ztg.*, 1981; 105: 157–164.

M. T. A. (2007). 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, İ33 Paftası, No:80, MTA, Ankara.

Pehlivan, H., (2017). Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. 151 sayfa

Pekey, H., Karakaş, D., Ayberk, S., Tolun, L., & Bakoğlu, M., (2004). Ecological risk assesment using trace elements from surface sediments of Izmit Gulf (Northeastern Marmara Sea) Turkey, *Marine Pollution Bulletin*, 48, 946 – 953.

Ray, A.K., Tripathy, S.C., Patra, S. & Sarma, V.V. (2006). Assessment of Godavari estuarine mangrove ecosystem through trace metal studies. *Environment International*, 32(2), 219-223.

Rajeswari, T. R., & Sailaja, N. (2014). National Seminar on Impact of Toxic Metals, Minerals and Solvents leading to Environmental Pollution-2014 *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences* ISSN: 0974-2115, JCHPS Special Issue 3: October 2014, p. 170-181

Rubio, B., Nombela, M. A., & Vilas, F. (2000). Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain). *An Assessment of Metal Pollution Marine Pollution Bulletin*, 40(11), 968-980

Sarı, E. (2004). Marmara Denizi Doğusunda Çökel Jeokimyası ve Sedimantolojisi Yöntemleri ile Fay Etkinliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, 181, İstanbul.

Sarı, E., & Çağatay, M.N. (2001). Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea. *Environment International*, 26, 169-173.

Sevin, M., & Uğuz, M.F. (2013). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. No: 184. Çorum G34 Paftası, Jeoloji Etütleri dairesi, Ankara.

TERKEDİLMİŞ GÜMÜŞHACIKÖY (AMASYA) Pb-Zn-Ag MADEN ATIKLARININ AĞIR METAL VE ÇEVRE KALİTESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Schreck, P. (1998). Environmental impacts of uncontrolled waste disposal in mining and industrial areas in Central Germany. *Environmental Geology*, 35, 66-72.

Spencer, K. L., Cundy, A. B., & Croudace, I. W. (2003). Heavy metal distribution and early-diagenesis in salt marsh sediments from the Medway Estuary, Kent, UK. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 43-54.

Şimşek, C., Gündüz, O., & Elçi, A. (2012). Terkedilmiş Balya (BALIKESİR) Pb-Zn Maden Atıklarının Ağır Metal ve Doğal Radyoaktivite İçeriği ve Çevre Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(1),43-55.

Taylor, S.R., & McLennan, S.M., (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33, 241-265.

Tiryakioglu, M., Eker, S., Ozkutlu, F., Husted, S., & Cakmak, I. (2006). Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 20, 181-189.

Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R. & Jeffrey, D. W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33(1-4), 566-575.

Turekian, K. K., & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol Society America Bul* 72, 175-192.

Uluturhan, E., (2010). Heavy metal concentrations in surface sediments from two regions (Saros and Gokova Gulfs) of the Eastern Aegean Sea. *Environmental Monitoring Assessment*, 165j(1-4), 675.

Valdés, J., Vargas, G., Sifeddine, A., Ortlieb, L., & Guinez, M. (2005). Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23oS), Northern Chile: geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 50(12), 1558-1568.

Yukselen, M. A., & Alpaslan, B. (2001). Leaching of metals from contaminated by mining activities. *Journal of Hazardous Materials*, B87, 289-300.

Zhang, C., Qiao, Q., Piper, J. D. & Huang, B., (2011). Assessment of heavy metal pollution from a Fe-smelting plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods. *Environmental Pollution*, 159(10), 3057-3070.

SiALON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ VE MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

Nurcan Çalış Açıkbaz^{1*}, Ferhat Kara^{2,3}

¹ *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bilecik*

nurcan.acikbas@bilecik.edu.tr

² *Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Eskişehir*

³ *MDA İleri Teknoloji Seramikleri San. Tic. Ltd. Şirketi, ETGB, Eskişehir*

** Sorumlu Yazar*

1. GİRİŞ

Silisyum nitrür esaslı seramiklerin üretim süreci nitrür ve oksit tozların daha önceden belirlenen miktarlarda karıştırılması ile başlar. Karıştırma işlemi için atritör değirmen, eksenel değirmen, bilyalı değirmen, mikser vb. türde ekipmanlar kullanılmaktadır. Başlangıç tozlarının homojen karıştırılması daha sonraki süreçlerde de (şekillendirme ve sinterleme gibi) istenen faz ve mikroyapı gelişimi ve fiziko-mekanik özelliklerin eldesi için oldukça önemli bir aşamadır. Homojen karışım sağlanmadığı durumlarda gözenek oluşumu ve istenmeyen politip fazlarının gelişimi gözlenmektedir. Bu tür istenmeyen durumlar ürünün performansını da olumsuz etkilemektedir.

Bu nedenle yapılan çalışmada, SiAlON-TiN kompozit üretiminde çamur hazırlama işlemlerinin gözenek ve politip oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Homojen karışım elde edilmediği durumda ya da çamur içindeki partiküllerin iyi dağıtılmadığı taktirde mikroyapıda oluşabilecek hataları gözlemleyebilmek için kasıtlı olarak mikserde karıştırma işlemi yapılmıştır. Eksenel değirmende ve mikserde hazırlanan aynı kompozisyonlar farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulaması sonucunda faz ve mikroyapı gelişimleri incelenerek, sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. SiALON-TiN KOMPOZİTLER

Bilindiği üzere SiAlON seramikleri silisyum nitrür esaslı seramikler ailesindedir. Literatürde SiAlON-TiN kompozitleri üzerine sınırlı sayıda çalışma mevcuttur [1-14]. Si₃N₄-TiN kompozitlerle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde ise genelde TiN'ün elektriksel özellikler üzerine etkisi ile ilgili çalışmalar yer almaktadır [15-21]. Takviye edilen TiN'ün mikroyapı ve faz gelişimi, mekanik ve tribolojik özellikler üzerine etkisini inceleyen çalışmalar sınırlı sayıda [12, 22-29]. Literatürde yer alan sınırlı sayıda çalışmaları derlenerek aşağıda sunulmuştur.

R.G. Duan ve ark. Y₂O₃ ve/veya Al₂O₃ sinterleme ilavesi ile TiN tozu ilaveli ve ilavesiz silisyum nitrür seramiklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, sıvı faz sinterleme sırasında az miktardaki (ağ. %5>) TiN ilavesinin taneler arası amorf fazın oluşumuna katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca TiN ilaveli Si₃N₄'ün a ve c kristal latis parametresinin ısıl genişlemesinin TiN'süz Si₃N₄'den daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bunun sebebinin de β-Si₃N₄'deki Ti iyonlarının katı çözeltilisinden ve taneler arası amorf fazda Ti iyonlarının ağ oluşturma yeteneğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir [23].

J. Vleugels ve ark., ikincil sert faz olarak hacimce % 30 oranında TiB₂, TiN, TiCN ve TiC ilavesi yaparak başlangıç kompozisyonları verilen SiAlON X (ağ. % 18.72 Si₃N₄, ağ. % 58.88 Al₂O₃, ağ. % 22.40 SiO₂) ve yüksek Al₂O₃ miktarlı SiAlON A (ağ. % 22.73 Si₃N₄, ağ. % 77.27 Al₂O₃, ağ. % 0.00 SiO₂) seramiklerinin elastiklik modülü, sertliği, eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu gibi mekanik

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda Tablo 1’de verilen değerleri elde etmişlerdir. Sıvı faz sinterleme sırasında ilave edilen TiC’ün Si_3N_4 ’ün azotu ile reaksiyona girerek $TiC_{1-x}N_x$ oluşumu meydana geldiğini ve TiC’lü kompozisyonların tamamında çatlak gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Yüksek Al_2O_3 miktarından dolayı SiAlON A’nın SiAlON X’ten daha yüksek sertliğe sahip olduğunu bildirmişlerdir. TiB_2 , TiN ve TiCN ilavesinin SiAlON A’nın eğilme dayanımına herhangi bir etkisinin olmadığını ve SiAlON A- TiB_2 ve SiAlON A-TiN malzemelerinin tokluğunun diğerlerine oranla daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. SiAlON X fazına TiN ve TiCN ilavesinin sertliği az miktarda arttırdığını oysa TiB_2 ilavesinin sertliğe daha az etki ettiğini, SiAlON X-TiN ve SiAlON X-TiCN malzemelerinin daha yüksek dayanıma sahip olduğunu, TiB_2 , TiN ve TiCN ilavelerinin tokluğu yüksek oranda arttırdığını belirtmişlerdir [12].

Tablo 1: SiAlON X, SiAlON A ve SiAlON-TiX (70/30) kompozitlerin mekanik özellikleri [12]

	H_{V5} (kg/mm ²)	H_{V10} (kg/mm ²)	E (GPa)	K_{IC} (5 kg) (MPa√m)	K_{IC} (10 kg) (MPa√m)	ρ (g/cm ³)	Relatif $\rho\%$	σ_B (MPa)
X	1252±39	/	213	1.2	/	3.09	100.0	254±20
X-TiN	1334±26	1328±27	284	2.9±0.1	3.2±0.3	3.77	99.5	381±64
X-TiB ₂	1301±28	1247±07	255	3.2±0.6	4.1±0.6	3.46	98.3	277±10
X-TiCN	1399±23	1360±23	257	2.3±0.1	2.5±0.3	3.73	100.0	408±24
X-TiC	Çatlak içeren homojen olmayan mullit $TiC_{1-x}N_x$ kompozit							
A	1579±36	1636±41	277	2.1±0.1	2.3±0.1	3.55	100.0	373±85
A-TiN	1526±43	1529±37	360	2.9±0.2	3.4±0.3	4.15	100.0	376±88
A-TiB ₂	1488±72	1486±42	296	3.6±0.3	3.6±0.2	3.80	99.0	378±50
A-TiCN	1677±27	1634±29	334	2.5±0.1	2.7±0.2	4.03	100.0	314±128
A-TiC	Çatlak içeren homojen olmayan SiAlON $TiC_{1-x}N_x$ kompozit							

C. Tian ve ark., sıcak pres sinterleme yöntemiyle Si_3N_4 -TiN nano kompozitleri üretmişler ve TiN ilavesinin Si_3N_4 ’ün termal şok direnci ve mekanik özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir [24]. Deneysel çalışmalarında kullandıkları tozların başlangıç kompozisyonları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Başlangıç toz karışımlarının (ağırlıkça %) kompozisyonu [24]

Numune kodu	Si_3N_4 (20nm)	TiN (50 nm)	Al_2O_3	Y_2O_3
A	90	0	5	5
B	85	5	5	5
C	80	10	5	5
D	75	15	5	5
E	70	20	5	5

Tablo 3’den de görüldüğü gibi TiN ilavesi ile eğilme dayanımı ve kırılma tokluğunun arttığını ve bu iki özelliğin maksimum değerini sırasıyla ağırlıkça % 10 ve % 15 TiN içeren Si_3N_4 -TiN nano kompozitlerde elde etmişlerdir. TiN partikül takviyesinin sertliğe etkisinin çok az olduğunu söylemişlerdir. Elde edilen relatif yoğunluk değerleri maksimum %95.3 seviyelerindedir. Tablo 4’te elde edilen veriler ışığında TiN ilavesinin termal şok direncini iyileştirdiğini ve ağırlıkça % 15 TiN ilaveli Si_3N_4 -TiN nano kompozitte çatlak yayılımını bastırmada en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

Tablo 3: Si₃N₄-TiN nano kompozitlerin mekanik özellikleri ve relatif yoğunluğu [24]

Numune kodu	σ_f (MPa)	H _v (GPa)	K _{IC} (MPa m ^{1/2})	Relatif yoğunluk (%)
A	520	15.8	5.86	94.9
B	612	15.9	6.24	95.3
C	668	15.7	6.68	94.8
D	642	15.5	6.83	94.7
E	598	15.4	6.35	94.9

Tablo 4: Si₃N₄-TiN nano kompozitlerin termal şok direnci parametreleri [24]

Numune kodu	E (GPa)	α (x 10 ⁻⁶)	ν
A	305	3.1	0.25
B	310	3.19	0.248
C	316	3.28	0.246
D	324	3.41	0.244
E	328	3.48	0.242

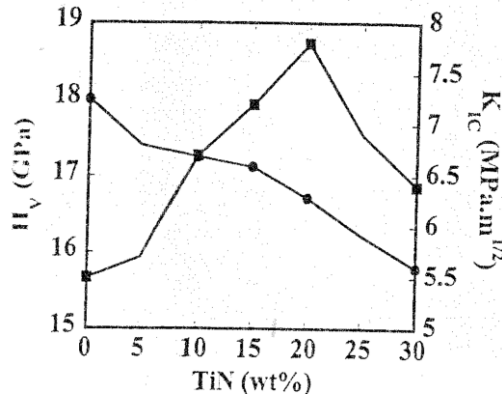
R.G. Duan ve ark. TiC, TiN ve TiO₂ ilavelerini kullanarak Si₃N₄ esaslı seramik kompozitleri sentezlemişler ve Ti ilavesinin Si₃N₄ seramiklerinin mikroyapısına etkisini incelemişlerdir. Tablo 5’de yer alan verilere bakarak sıvı fazın viskozitesinin düşük olması durumunda, Si₃N₄’ün α ’dan β ’ya dönüşümünün daha hızlı gerçekleştiğini ve bunun sebebinin de SN-Y₆TiO₄ ve SN-Y₆TiN₄ seramiklerinin taneler arası sıvı fazında Ti⁴⁺ iyonlarının varlığının viskoziteyi düşürdüğü şeklinde yorumlamışlardır. SN-Y₆TiC₄ seramiğinin tanelerarası sıvı fazında C⁴⁺ iyonlarının varlığından dolayı, bu malzemenin viskozitesinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak TiO₂ ve TiN ilavesinin Si₃N₄’ün α ’dan β ’ya dönüşümü iyileştirdiği şeklinde yorumlamışlardır [25].

Tablo 5. Rietveld metodu ile analiz edilmiş faz miktarları ve β -Si₃N₄’ün a ve c parametreleri [25]

Numune kodu	a (nm)	c (nm)	α -Si ₃ N ₄ (ağ. %)	β -Si ₃ N ₄ (ağ. %)	Y ₂ Si ₃ O ₃ N ₄ (ağ. %)	Si ₂ N ₂ O (ağ. %)	TiN (TiCN) (ağ. %)	α/β
SN-Y6	0.75879	0.29020	59.46	37.08	3.46	-	-	0.73
SN-Y ₆ TiN ₄	0.75884	0.29017	47.08	45.76	2.71	-	4.45	0.46
SN-Y ₆ TiC ₄	0.75954	0.29043	60.58	32.28	2.66	-	4.48	0.92
SN-Y ₆ TiO ₄	0.75904	0.29024	35.45	40.82	3.33	18.68	1.72	0.44

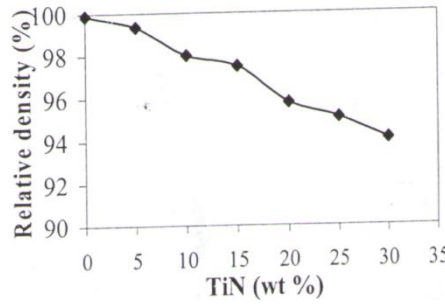
E. Ayas ve ark. yaptıkları çalışmada TiN ve TiCN ilavesinin gaz basınçlı sinterleme tekniği ile üretilmiş 50 α -50 β SiAlON kompozitlerinin mikroyapı, yoğunlaşma davranışı ve mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Ağırlıkça % 0’dan % 30’a kadar değişen TiN ve % 0’dan % 10’a kadar değişen TiCN ilave etmişlerdir. Çalışma sonucunda Si₃N₄ ile TiN’ün olumlu uyumluluğundan dolayı TiN ilavesinin TiCN ilavesinden daha etkili olduğunu bildirmişlerdir [13]. TiN ilavesiyle birlikte malzemenin sertlik ve tokluğunda meydana gelen değişim Şekil 1’de gösterilmiştir.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



Şekil 1: α:β-SiAlON-TiN kompozitlerin sertlik ve kırılma tokluğu [13]

Şekil 1’de görüldüğü gibi TiN ilavesi ile birlikte sertliğin giderek azaldığını ve TiN miktarı % 20’ye ulaştığında kırılma tokluğunun en yüksek değere ulaştığını bildirmişlerdir. 1920°C’de 2 saat 22 bar gaz basıncı altında yapılan sinterleme sonrasında farklı oranlardaki TiN ilavesine karşılık relatif yoğunluk değerleri Şekil 2’de verilmektedir. TiN içermeyen malzeme ~%100 yoğun iken TiN ilavesiyle yoğunlaşma davranışı kötüleşerek %30 TiN ilavesiyle %94 seviyelerine azalmıştır.



Şekil 2: TiN ilave miktarına bağlı olarak SiAlON-TiN kompozitlerin yoğunlaşma davranışı [13]

Acikbas ve Demir, SiAlON-TiN kompozitlerinde sinterleme işleminde kullanılan katyon türünün, katyon mol oranının, tane sınır fazı miktarının katı çözünürlük değeri (z değeri) ve tane sınır fazı kristalizasyonuna etkisini araştırmışlardır [26]. SiAlON matris içerisinde TiN ilavesinin mikroyapı ve faz gelişimine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, TiN ilavesinin yoğunlaşma, faz gelişimi, z değeri ve tane sınır fazı kristalizasyonuna olumsuz etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Katyon türünün (Y, Yb, Er) z değerine etkisi olmadığı, Er ve Yb katyonlarının Y katyonuna göre tane sınır fazı kristalizasyonunu sağlamada daha etkin olduğu görülmüştür. Sinterleme ilave miktarının/katyon mol oranının tane sınır fazı kristalizasyonunu, α:β faz oranını ve z değerini etkilediği bulunmuştur. En iyi sertlik ve tokluk değerleri Er katkılı SiAlON-TiN kompozitlerinde elde edilmiştir.

Calis Acikbas ve ark. α:β-SiAlON-TiN kompozitlerinin termal şok dayanımını araştırmışlardır. Ağ. %10, 17 ve 25 TiN ilaveli SiAlON kompozitlerin gaz basınçlı sinterleme tekniği ile sinterlenmiş, yoğunlaşma davranışı, faz ve mikroyapı gelişimi, mekanik ve termal şok davranışları incelenmiştir. TiN ilavesinin kırılma tokluğunu arttırdığı ve %25 TiN ilaveli kompozitin en yüksek (K_{IC}: 8.270.2 MPa m^{1/2}) kırılma tokluğuna sahip olduğu görülmüştür. 700°C üzerinde pasif oksidasyon gerçekleşerek çatlakları doldurarak termal şok dayanımının iyileştiği bildirilmiştir [27].

Calis Acikbas ve Kara, SiAlON-TiN kompozitlerinde z değerindeki değişimin tane sınır fazı kristalizasyonuna ve topaklanma davranışına etkisini ilk defa araştırmışlardır. Yb₂O₃-Sm₂O₃-CaO sinterleme ilaveleri, farklı z değerlerinde (0.3, 0.5, 0.7, 0.9 ve 1.1) SiAlON-TiN (%17 TiN) kompozitler hazırlanmış, gaz basınçlı sinterleme fırınında sinterlenmiş ve kristalizasyon ve topaklanmayı arttırmak

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

için ısıtma işlemi uygulanmıştır. Sonuç olarak, z değerinin tane sınır fazı kimyası ve kristalizasyona etkisi olduğu tespit edilmiştir. z değeri düşük seviyelerde (0.3-0.4) iken Jss fazının baskın faz olduğu, z değeri $0.74 <$ olduğunda kristalizasyon eğiliminin azaldığı tespit edilmiştir. z değerinin daha da artışıyla ($0.8 <$) YbAG fazı kararlı hale gelmiştir. Sinterleme sonrası ısıtma işlemi kristalizasyon ve topkalanma davranışını iyileştirdiği tespit edilmiştir. z değeri 0.3-0.55 arasında olduğunda kristal faz türü değişmediği tespit edilmiştir. z değeri arttığında ($0.55 <$) ısıtma işlemi ile Jss fazından YbAG fazına geçiş gözlenmiştir. Z değeri 0.3 olan kompozitin sertlik değeri 16.86 ± 0.20 iken z değeri 1.1 olduğunda azalarak 15.74 ± 0.07 GPa'ya düşmüştür. Kırılma tokluğunda kayda değer bir azalma gözlenmemekle birlikte Z03 malzemesinin tokluğu 7.50 ± 0.10 iken Z09 malzemesinin tokluğu 6.55 ± 0.05 MPam^{1/2} olarak ölçülmüştür. Mükemmel tane sınır fazı kristalizasyonu ve topkalanma davranışına sahip yüksek z değerli SiAlON-TiN kompozitler yeterli mekanik özelliklerde elde edilmiştir [28].

Son olarak Calis Acikbas, α : β -SiAlON-TiN kompozitlerinin tribolojik davranışını araştırmıştır. Farklı α : β faz oranlarındaki ve TiN miktarlarındaki SiAlON-TiN kompozitlerin triboloji testleri yapılarak α : β faz oranının, TiN miktarının, mikroyapının ve mekanik özelliklerin sürtünme ve aşınma davranışına etkisi araştırılmıştır. Triboloji testleri sonrasında, %17 TiN ilavesinin sürtünme katsayısını değiştirmede ancak aşınma oranını ve aşınma hacmini değiştirdiği tespit edilmiştir. Aşınma mekanizmaları α : β faz oranına göre farklılık göstermiştir. Kırılma tokluğunun aşınma direncine oldukça fazla etkisinin olduğu bildirilmiştir [29].

3. TOZ KARIŞTIRMA ORTAMININ ETKİSİ

Literatürde α : β -SiAlON-TiN kompozitlerinin farklı öğütücülerde (mikser yada eksenel değirmen) hazırlanıp gaz basınçlı sinterleme yöntemiyle yoğunlaşma davranışını inceleyen çalışma yoktur. Öğütme tekniği olarak bilyalı değirmen ve eksenel değirmen yaygın olarak kullanılmakta ve konuyla ilgili yapılan çalışmaların çoğu Si₃N₄ tozunun öğütme esnasında yüzeyindeki oksit tabakası oluşumunu ele almakta ve son yıllardaki çalışmalar ise farklı öğütme teknikleriyle nano toz elde etmek üzerine yoğunlaşmıştır [30-39].

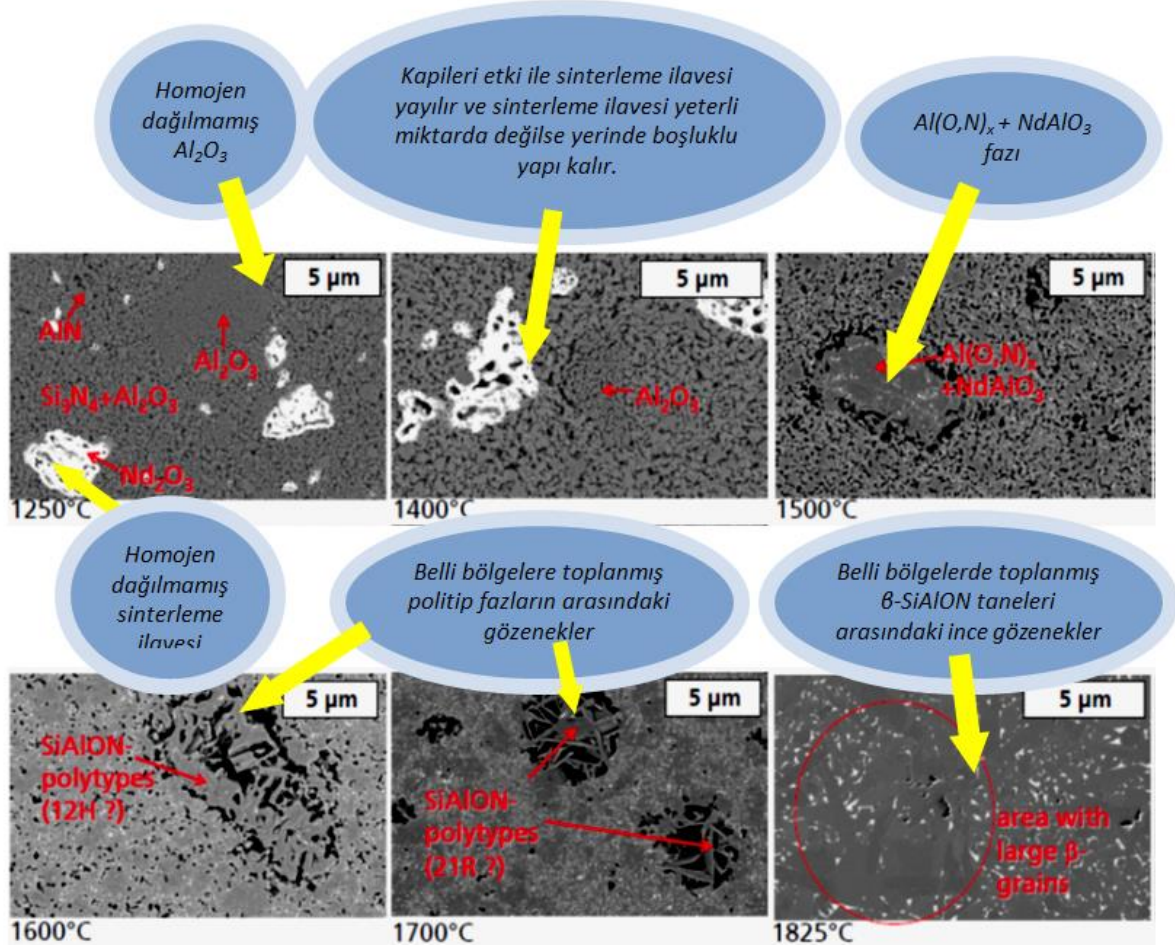
Diğer yandan malzemenin yoğunluk değerleri tasarlanan kompozisyona (α : β oranı, m, n, x, z değerleri), tane sınır fazı miktarı, ikincil takviye fazı elemanı varlığı ve türüne bağlı olarak büyük değişiklik göstermektedir. Literatürde yapılan bu konuya en yakın çalışmada 50α : 50β -SiAlON kompozisyonundaki, düşük z değerinde (z:0.25) %15 ve 20 TiN ilaveli kompozisyonun, gaz basınçlı sinterleme fırınında 22 bar gaz basıncı altında 1920°C de 2 saat sinterlenmesi neticesinde ~%98 ve %96 teorik yoğunluk değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. Mandal ve ark.nın yaptığı çalışmada toz kompozisyonları eksenel değirmende hazırlanmıştır [13].

Shuba ve Chen, toz karışım prosedürünün α -SiAlON seramikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada farklı öğütme metodlarının (atritör değirmen, bilyalı değirmen ve sonikatör), sıvı ortamı (su, izopropil alkol, piridin) ve atmosferin (hava yada azot) sıcak preslenmiş SiAlON seramiklerinin özelliklerine etkisi incelenmiştir. Tozlar, karıştırma nedeniyle oksidasyona uğradıklarında, yoğunlaşma sıcaklığının azaldığı, artık camsı faz miktarının arttığı, α -SiAlON fazının kararlılığının azaldığı, onun yerine S-SiAlON ve AlN politip fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Bu etkilerin, piridin, azot ve sonikasyon kullanıldığında hafifletildiği tespit edilmiştir [40].

Aynı şekilde Si₃N₄ seramiklerinin de farklı öğütücülerde (mikser yada eksenel değirmen) hazırlanıp gaz basınçlı sinterleme yöntemiyle yoğunlaşma davranışını inceleyen herhangi bir çalışma yoktur. Ancak Herrmann ve ark. yaptığı çalışmada mikserden daha verimsiz partikül dağıtma özelliğine sahip olan agat havan kullanarak izopropil alkol ortamında 6 saat karıştırma sonrasında α -SiAlON toz karışımlarını hazırlayarak gaz basınçlı sinterleme fırınında 1250°C, 1400°C, 1500°C, 1600°C, 1650°C, 1700°C, 1750°C ve 1825°C'de 10 K/dk hızında ısıtıp 5 dakika kısa bir bekleme süresi sonrasında 100 K/dk hızla hızlı soğutmuşlardır. Çalışmada Nd₂O₃, Y₂O₃ ve Yb₂O₃ sinterleme ilavelerini kullanmışlardır. 1250°C'de gerçekleştirdikleri ısıtma işleminden sonra elde edilen mikroyapı görüntüsünde başlangıç tozundaki Al₂O₃'ün ve sinterleme ilavesinin homojen dağılmadığı, 1400°C'de kapileri etki ile sinterleme ilavesinin yayılması ve sinterleme ilavesi yeterli miktarda değilse yerinde

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

boşluklu yapı kalması, 1500°C’de $Al(O,N)_x$ ve $NdAlO_3$ fazlarının oluşumu, 1600°C ve 1700°C’lerde belli bölgelere toplanmış politip fazların arasındaki gözenekler ve sinterleme sıcaklığına ulaşıldığında politip fazların yerini β tanelerinin aldığı ancak β -SiAlON’ca zengin bölgelerin arasında ince gözeneklerin mevcut olduğunu gözlemlemiştir (Şekil 3) [41].



Şekil 3: Nd içeren SiAlON malzemede sıcaklığa bağlı olarak mikroyapı gelişimi [41]

Hermann ve ark. nin yaptığı çalışma referans alınarak tarafımızdan SiAlON-TiN kompozit çamuru aksel değirmen ve mikserde hazırlanarak karıştırma ortamının/türünün gözenek ve politip oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Çalışmada z değeri 0.7 olan, %17 TiN ilaveli (d_{50} : ~3 mikron), 25 α :75 β -SiAlON faz oranında, Y-Sm-Ca katyon sistemini içeren kompozisyon ile çalışılmıştır. Çamur hazırlama işlemi iki farklı şekilde yapılarak, aksel değirmende hazırlanan kompozisyon YZ7D ve mikserde hazırlanan çamur ise YZ7M olarak kodlanmıştır. Aksel değirmende karıştırma işlemi 300 dev/dak dönme hızıyla 1,5 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Mikserde karıştırma işlemi ise 100 dev/dk. hızla 15 dk. süre ile uygulanmıştır. Hazırlanan kompozisyonlara farklı sıcaklıklarda (1400, 1500, 1600, 1650, 1700, 1800, 1890°C) 5 dakika süre ile 5 bar azot gaz basıncı altında ısıl işlem uygulanmış ve hızlı soğutma (50°C/dk hızla) uygulayarak ısıl işlem görmüş ürünlerin faz ve mikroyapı karakterizasyonları ve yoğunlaşma davranışları araştırılmıştır.

a) 1400°C Sıcaklıkta Gerçekleştirilen Isıl İşlem

Tablo 6’da 1400°C’de gerçekleştirilen ısıl işlem sonrası yapılan yoğunluk ölçümlerinin sonuçları verilmiştir. Bu sıcaklıkta malzemeler henüz tam olarak yoğunlaşmadıkları için açık gözeneklilik oranları oldukça yüksek (~%41-42) ve yığınsal yoğunluk değerleri de (YZ7D:1.9451 ve YZ7M:1.9461) oldukça düşüktür. Her iki malzemede de başlangıç ham maddeleri ile azot gazı reaksiyona girdiği için ağırlık kazancı gözlenmiştir (~%1-2).

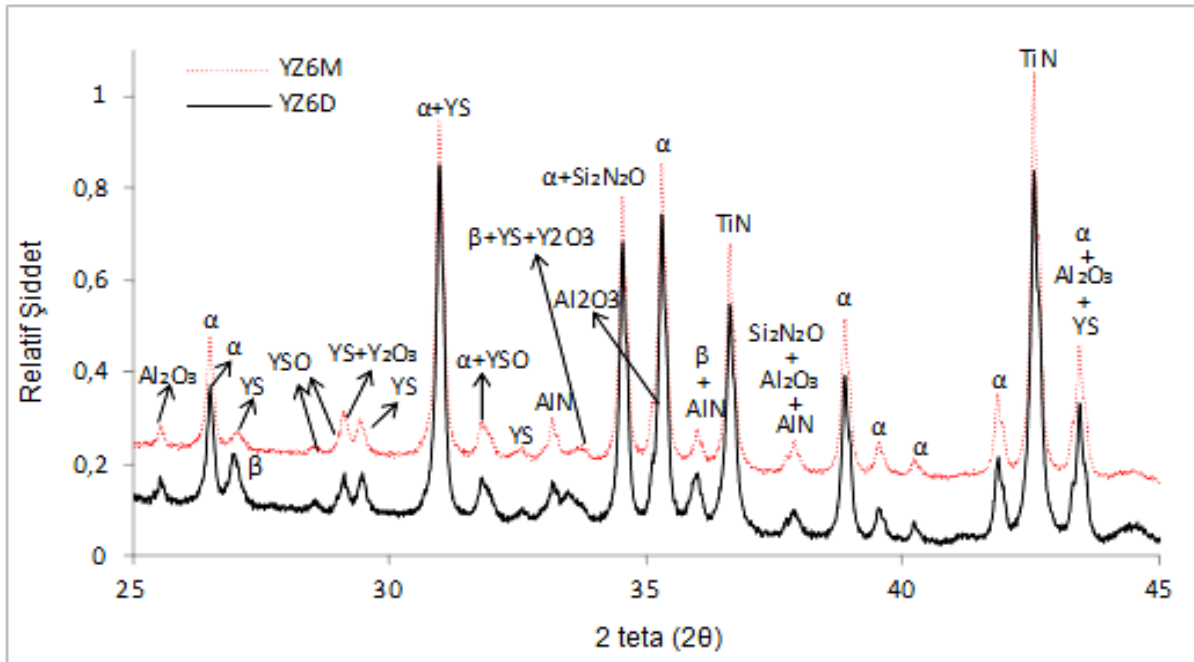
SIAION-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

Tablo 6: 1400°C'de ısıtım sonrası YZ7D ve YZ7M numunelerinin yoğunlaşma davranışı

	YZ7D	YZ7M
Y.Y	1.9451	1.9461
%A.P.	41.80	40.92
%A.K.	1.12	1.91

*Y.Y: Yıgımsal Yoğunluk, A.P: Açık Porozite, A.K: Ağırlık Kazancı

Şekil 4'de 1400°C sıcaklıkta 5 dk. bekleme süresi ile 5 barda gerçekleştirilen ısıtım sonrası YZ7D ve YZ7M kodlu malzemelere ait XRD paterni verilmiştir. YZ7D malzemesinde oluşan fazlar; α -Si₃N₄, β -Si₃N₄, Al₂O₃, Y₂O₃, AlN, TiN ve alüminyum içermeyen katı çözeltiler Y₂SiO₅ (Yttriyum Silikat X1 tipi), Y₅Si₃O₁₂N (Yttriyum silikon oksinitrür) ve Si₂N₂O olarak tespit edilmiştir. YZ7M kodlu malzemede de β -Si₃N₄ fazı hariç yukarıda yazılan tüm fazlar mevcuttur. Henüz bu sıcaklıkta YZ7M malzemesinde β -Si₃N₄ faz gelişimi başlamamıştır. 25,5° (2 θ) değerinde YZ7M ve YZ7D malzemelerinde oluşan pik Al₂O₃ olarak tespit edilmiştir. Her iki malzemede de Al₂O₃ ve AlN çözünmediği için henüz β -SiAlON ve α -SiAlON fazları gelişimi başlamamıştır. Başlangıç hammaddeleri olan Y₂O₃ ve AlN tamamen çözünmediği için bu tozlara ait piklerde gözlenmiştir.

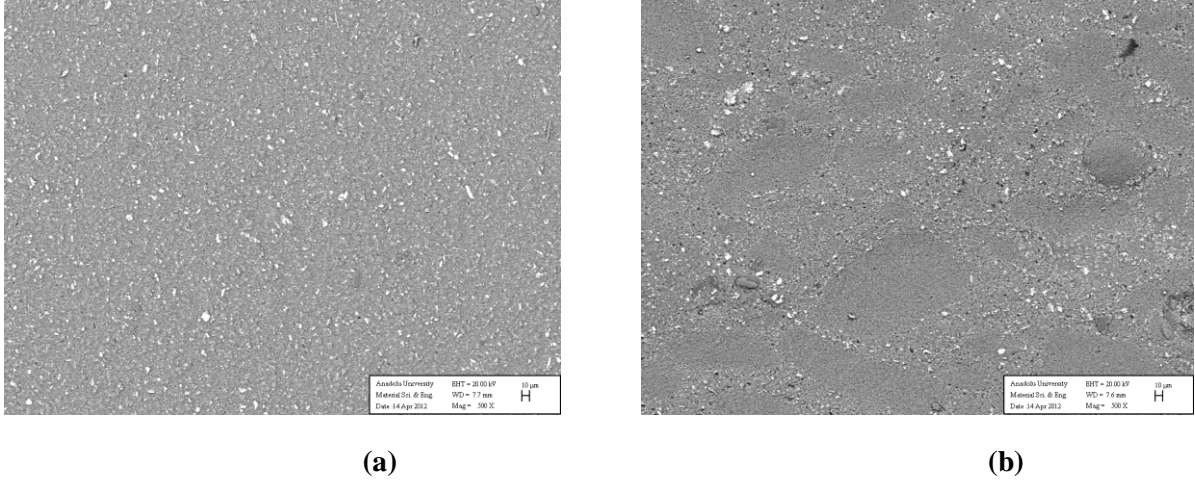


Şekil 4: 1400°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtım görmüş YZ7M ve YZ7D malzemelerine ait XRD paterni (β : β -Si₃N₄, α : α -Si₃N₄, YS:Y₂SiO₅, YSO:Y₅Si₃O₁₂N).

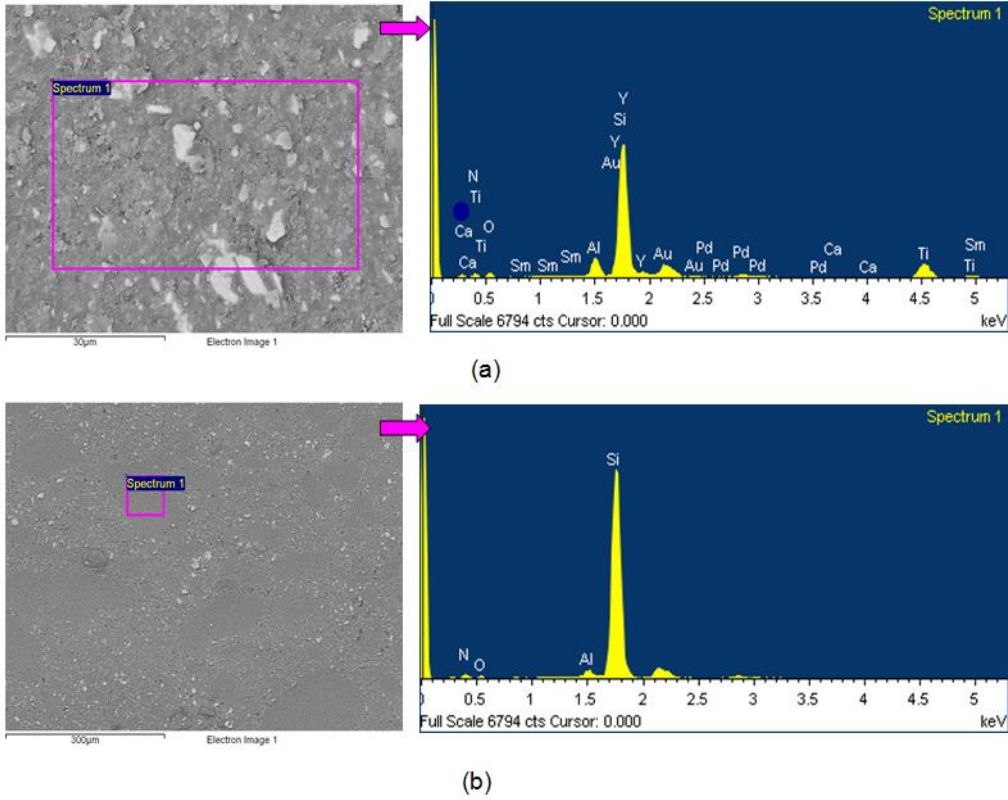
Şekil 5'de 1400°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtım görmüş YZ7M ve YZ7D kodlu malzemelerin mikroyapı ve Şekil 6'da EDX analizleri verilmektedir. Değirmende hazırlanan kompozisyonun (YZ7D) mikroyapısı incelendiğinde (Şekil 5.a) başlangıç hammaddelerinin homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Yapılan EDX analizinde (Şekil 6.a) başlangıç kompozisyonunda olması gereken N, O, Al, Si, Ca, Ti, Y ve Sm elementleri gözlenmiştir. Mikserde hazırlanan kompozisyonun (YZ7M) mikroyapısı incelendiğinde (Şekil 5.b) başlangıç hammaddelerinin homojen dağılmadığı Si₃N₄ ve Al₂O₃ toz öbeklerinin bulunduğu EDX analizi ile tespit edilmiştir. Yapılan bölgesel EDX analizlerinde 1. alanda Si ve N elementlerinin ağırlıkça fazla olduğu ve yan bölgeden Al

SIAION-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

ve O piklerinin geldiği gözlenmiştir. SEM-EDX analizi öncesinde numuneleri iletken hale getirmek için Au-Pd karışımı ile kaplandığı için analizlerde Au ve Pd pikleri de elde edilmiştir (Şekil 6.b).



Şekil 5: 1400°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş malzemelere ait temsili mikroyapı görüntüleri (a) YZ7D (b) YZ7M.



Şekil 6: 1400°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş malzemelere ait EDX analizi (a) YZ7D (b) YZ7M.

b) 1500°C Sıcaklıkta Gerçekleştirilen Isıl İşlem

Tablo 7’de 1500°C’de gerçekleştirilen ısıl işlem sonrası yapılan yoğunluk ölçümlerinin sonuçları verilmiştir. Açık gözeneklilik oranları 1400°C’de gerçekleştirilen ısıl işlem sonuçları ile kıyaslandığı zaman birbirine yakın değerlerdedir (~%41-42). Malzemelerin sahip oldukları yığımsal yoğunluk değerlerini kıyasladığımız zaman (YZ7D:1.9451→2.0002, YZ7M:1.9461→1.9719) her

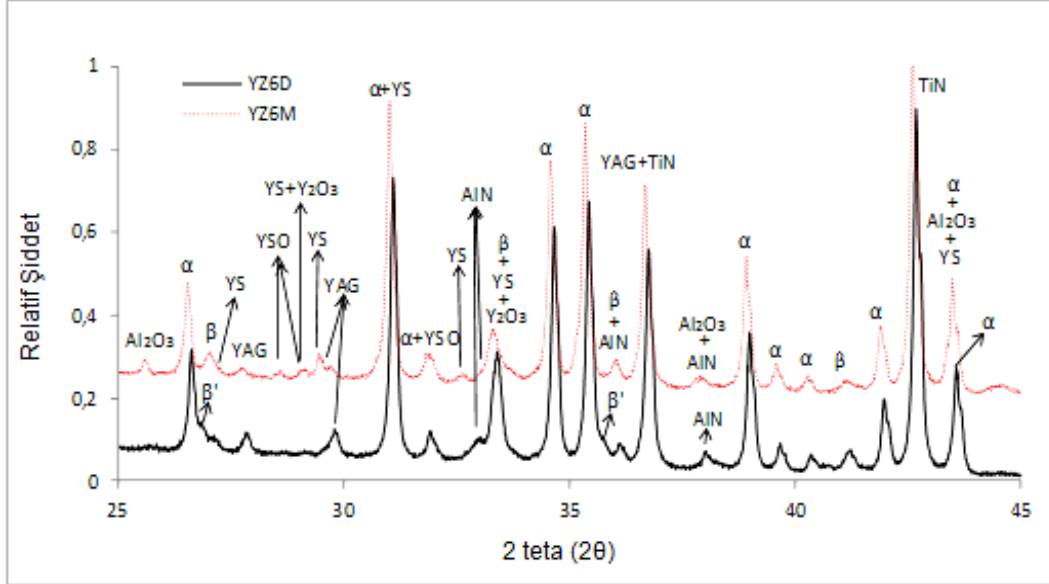
SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

ikisinin de yığınsal yoğunluk değerinin arttığı ve YZ7D malzemesinin yoğunluk değerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. 1500°C'de gerçekleştirilen ısıl işlemde YZ7M malzemesinde bir miktar ağırlık kazancı (~%0.6), YZ7D malzemesinde ise bir miktar ağırlık kaybı (~%0.2) meydana gelmiştir.

Tablo 7: 1500°C ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M numunelerinin yoğunlaşma davranışı

	YZ7D	YZ7M
Y.Y	2.0002	1.9719
%A.P.	40.68	41.92
%A.K.	+0.21	-0.64

Şekil 7'de 1500°C sıcaklıkta 5 dk. bekleme süresi ile 5 bar gaz basıncı altında gerçekleştirilen ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M kodlu malzemelere ait XRD paterni verilmiştir. YZ7D malzemesinde, 1400°C'de gözlenen Y_2SiO_5 (Yttrium Silikat X_1 tipi), $Y_5Si_3O_{12}N$ (Yttrium silikon oksinitrit), Si_2N_2O fazları Al_2O_3 'ün yapıda çözünmesiyle alüminyum içeren $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG- Yttrium alüminyum oksit) fazının oluşumunu sağlamıştır. YZ7D malzemesinde Al_2O_3 ve Y_2O_3 çözünerek sıvı faz oluşturucu olarak ve katı çözelti oluşumunu sağlayarak farklı formlarda yapıya karışmışlardır. YZ7D malzemesinde 1500°C'de α -SiAlON ve β -SiAlON faz oluşumu başlamıştır. YZ7M kompozisyonunun hazırlanış aşamasında tozlar aksel değirmen yerine mikser kullanılarak karıştırılmıştır. Tozlar kaba olup, homojen dağılmadığı için YZ7M kodlu malzemenin sinterleme kinetiği çok yavaş gerçekleşmektedir. Bu yüzden 1500°C'de Y_2SiO_5 (Yttrium Silikat X_1 tipi), $Y_5Si_3O_{12}N$ (Yttrium silikon oksinitrit), Al_2O_3 ve Y_2O_3 fazlarının YZ7M kodlu malzemenin yapısında halen yer aldığı ve α -SiAlON ve β -SiAlON faz oluşumunun henüz gerçekleşmediği görülmektedir. Bu sıcaklıkta YZ7M malzesinde $\alpha \rightarrow \beta$ Si_3N_4 faz dönüşümü gerçekleşmiştir.



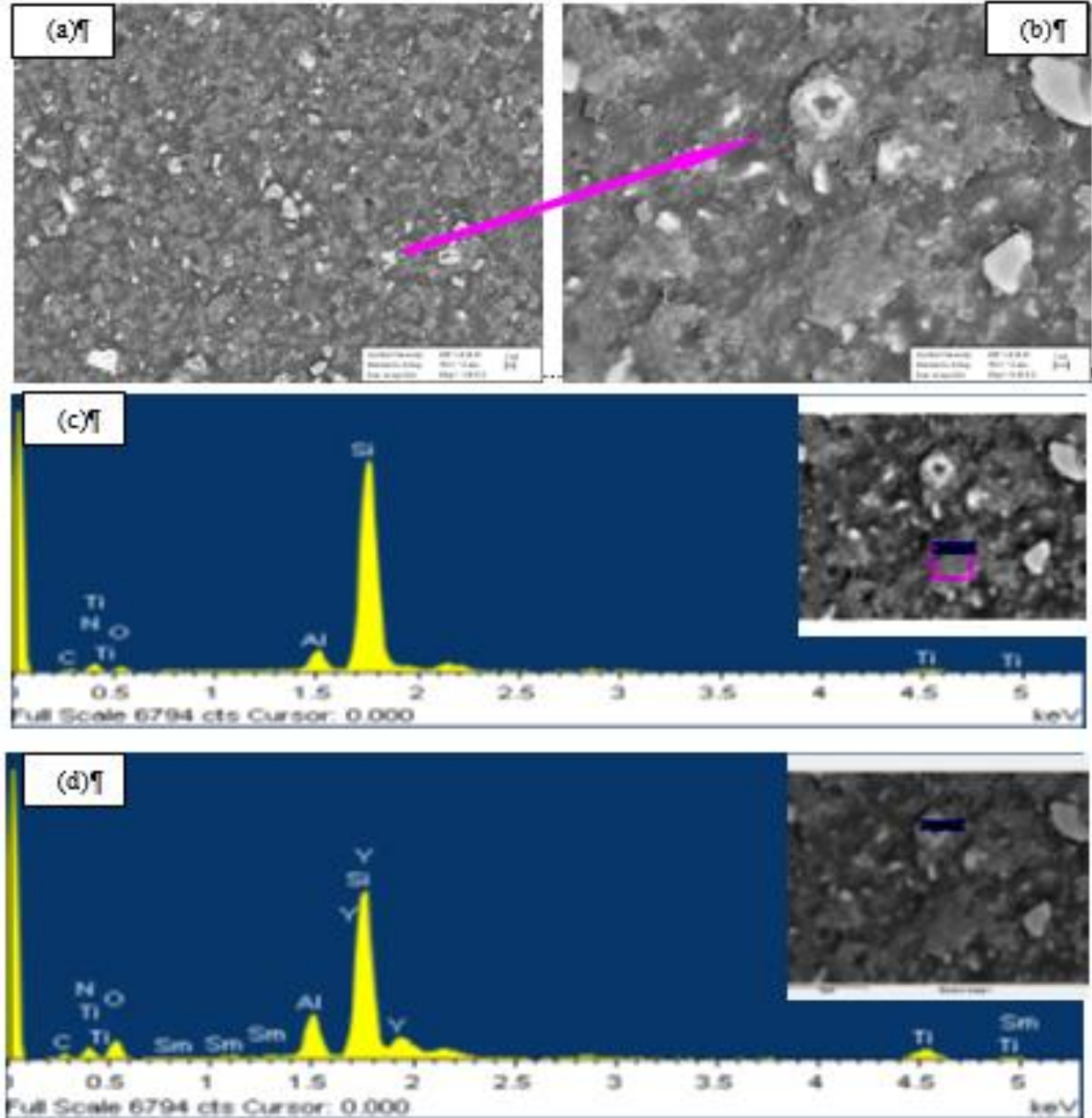
Şekil 7: 1500°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M ve YZ7D malzemelerine ait XRD paterni (β : β - Si_3N_4 , α : α - Si_3N_4 , β' : β -SiAlON, YS: Y_2SiO_5 , YSO: $Y_5Si_3O_{12}$)

Şekil 8'de 1500°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7D kodlu malzemelerin mikroyapı ve EDX analizleri verilmektedir. Değirmende hazırlanan kompozisyonun (YZ7D) mikroyapısı incelendiğinde (Şekil 8.a ve b) ağır elementlerin oluşturduğu açık renkli sıvı faz bölgeleri ve açık gri renkli SiAlON fazının oluşumu gözlenmektedir. Yapılan EDX analizlerinde de (Şekil 8.c) SiAlON fazının elementleri olan N, O, Al, Si elementleri gözlenmiştir. Açık beyaz renkli

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

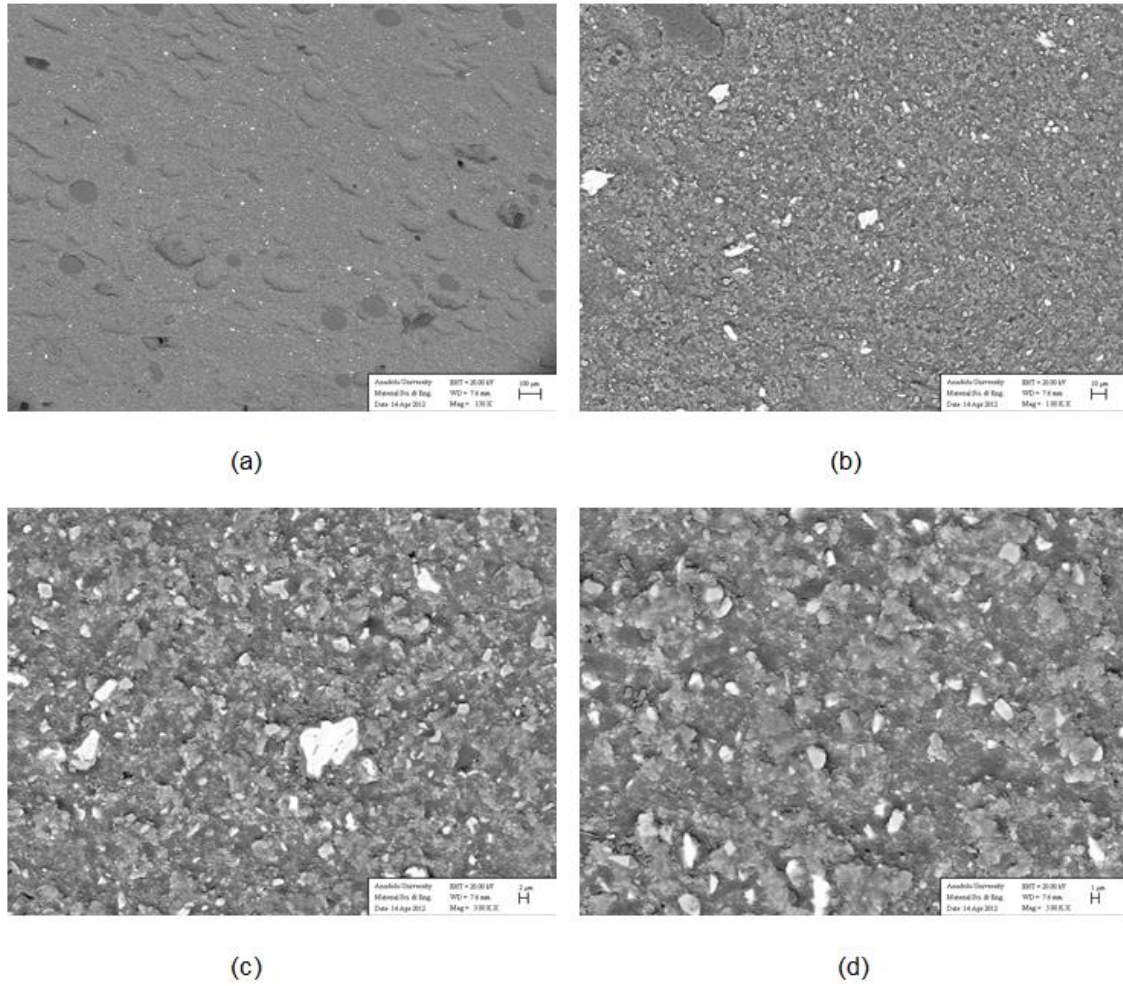
bölgeden alınan EDX analizlerinde (Şekil 8.d) YAG fazını oluşturan Y-Si-Al-O elementlerine ve Ti, N, Sm elementlerine rastlanmıştır.

Şekil 9'da, 1500°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtılmış YZ7M kodlu malzemenin farklı büyütmelelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Mikserde hazırlanan kompozisyonun (YZ7M) mikroyapısı incelendiğinde hala çözünmemiş Al_2O_3 öbekleri görülmektedir (Şekil 9.a). Sıcaklıkla birlikte Al_2O_3 taneleri arasında agregalar oluşmuş ve SEM için numune hazırlama aşamasında öbeklerin çoğu pull-out olmuştur. Ağır element içeren sinterleme ilavesi olarak kullanılan Y_2O_3 'ün hala yapıda olduğu Şekil 9.c'de gözlenmektedir.



Şekil 8: 1500°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtılmış YZ7D kodlu malzemelere ait SEM (a), (b) ve EDX (c), (d) analizleri

SIAION-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



Şekil 9: 1500°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M kodlu malzemeye ait temsili mikroyapı görüntüleri (a), (b), (c), (d).

c) 1600 °C Sıcaklıkta Gerçekleştirilen Isıl İşlem

Tablo 8’de 1600°C’de gerçekleştirilen ısıl işlem sonrası yapılan yoğunluk ölçümlerinin sonuçları verilmiştir. Açık gözeneklilik oranları 1500°C’de gerçekleştirilen ısıl işlem sonuçları ile kıyaslandığı zaman bir miktar düşerek YZ7D malzemesinde yaklaşık %36, YZ7M malzemesinde yaklaşık %39 değerlerine gelmiştir. Her iki malzeme için de açık gözeneklilik oranları birbirine yakındır. Malzemelerin sahip oldukları yığınsal yoğunluk değerleri de bir önceki yapılan ısıl işleme kıyasla artmıştır (YZ7D: 2.0002→2.1450, YZ7M: 1.9719→2.0661). Homojen karışım elde edilen YZ7D malzemesinin yoğunluk değerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Her iki malzemede de ağırlık kaybı gerçekleşmiştir.

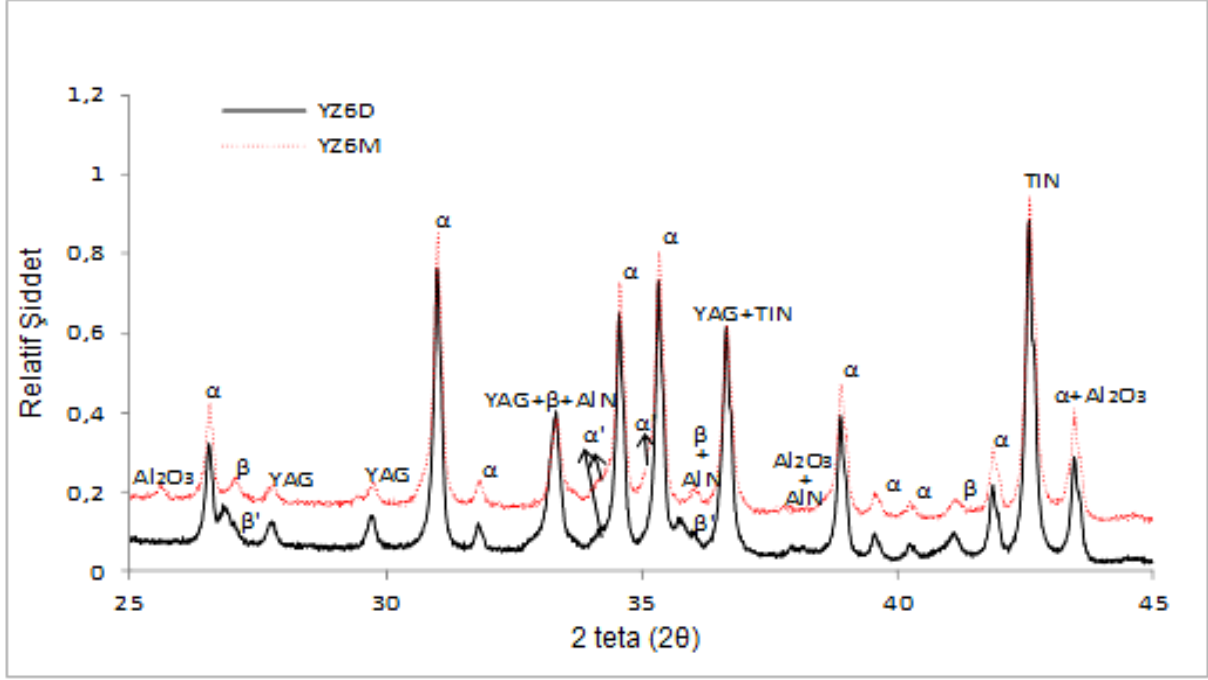
Tablo 8: 1600°C ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M numunelerinin yoğunlaşma davranışı

	YZ7D	YZ7M
Y.Y	2.1450	2.0661
%A.P.	36.23	39.47
%A.K.	0.36	0.29

1600°C sıcaklıkta 5 dk. bekleme süresi ile 5 barda gerçekleştirilen ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M kodlu malzemelere ait XRD paterni Şekil 10’de verilmiştir. YZ7M malzemesinde bir miktar

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

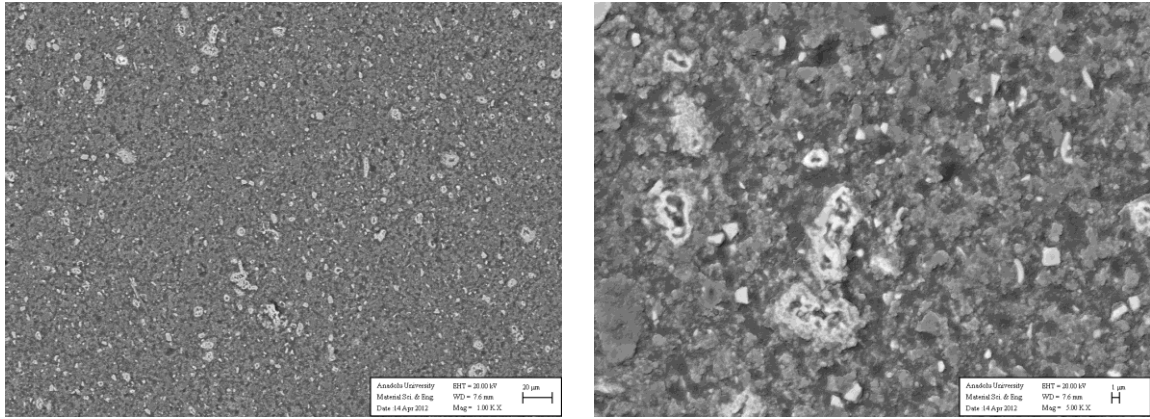
Al_2O_3 'ün halen yapıda olduğu gözlenmektedir. Bu sıcaklıkta Y_2SiO_5 (Yttrium Silikat X_1 tipi), $Y_5Si_3O_{12}N$ (Yttrium silikon oksinitrit) fazları ve Y_2O_3 sıvı faz içerisinde çözünerek yapıya karışmışlardır. Bu fazlar AlN ve Al_2O_3 ile birleşerek oksijence zengin alüminyum içeren YAG fazının oluşumunu sağlamışlardır. α - Si_3N_4 tozu çekirdek görevini yaparak β -SiAlON fazından önce α -SiAlON fazının oluşumu gerçekleşmiştir. Bu olayda AlN tozunun Al_2O_3 tozundan daha önce çözünmesi, termodinamik olarak α -SiAlON fazının kararlı olmasını sağlamıştır. YZ7D kodlu malzemede $1500^\circ C$ ve $1600^\circ C$ sıcaklıklarda gözlenen fazlar aynı olup miktarlarında farklılıklar vardır. $1500^\circ C$ 'den $1600^\circ C$ 'ye çıkıldığında AlN ve β - Si_3N_4 miktarları azalmış, β -SiAlON ve α -SiAlON miktarları artmıştır. 2 teta değerinin küçük açılara kayması yapıya Al ve O'nun yerleştiğinin göstergesidir.



Şekil 10: $1600^\circ C$ 'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtılmış YZ7M ve YZ7D malzemelerine ait XRD paterni (β : β - Si_3N_4 , α : α - Si_3N_4 , β' : β -SiAlON, α' : α -SiAlON).

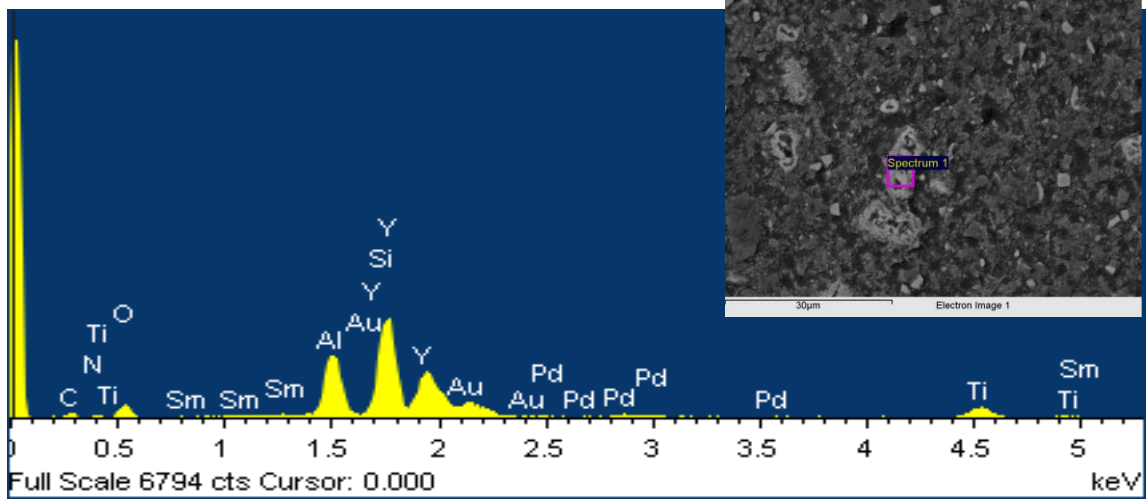
Şekil 11'de $1600^\circ C$ 'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtılmış YZ7D kodlu malzemenin farklı büyütme seviyelerindeki mikroyapı görüntüleri verilmektedir (Şekil 11.a ve b). Yapıda gözenek seviyesi azalmaya başlamıştır. Açık renkli bölgelerden alınan EDX analizinde (Şekil 11.c) YAG fazını oluşturan Y-Al-Si-O pikleri ile Ti-N ve az miktarda Sm pikleri elde edilmiştir. Farklı bir bölgeden alınan EDX analizinde (Şekil 11 d) SiAlON fazını oluşturan Y-Sm-Si-Al-O-N pikleri elde edilmiştir. YZ7M kodlu malzemenin mikroyapısı incelendiğinde (Şekil 12) XRD sonuçlarını teyit eder niteliktedir.

SIAION-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

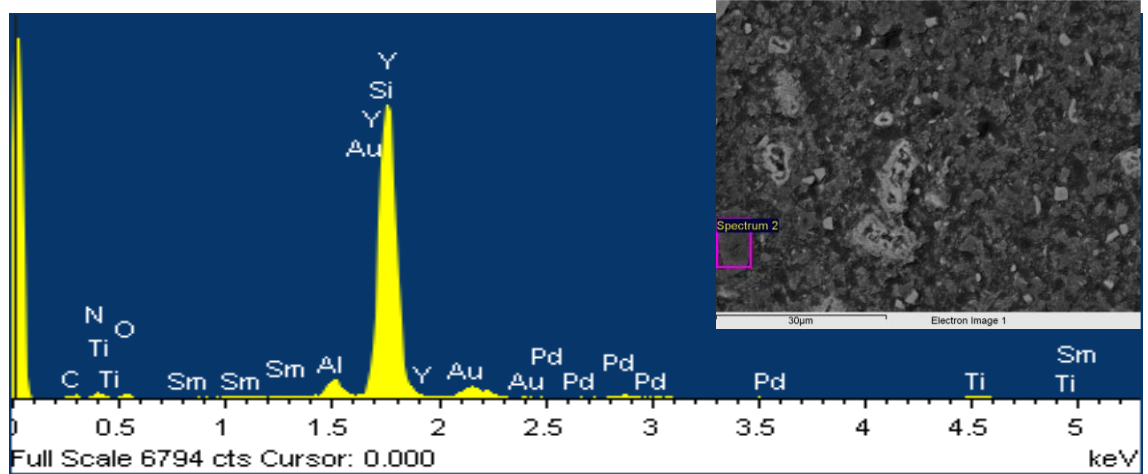


(a)

(b)



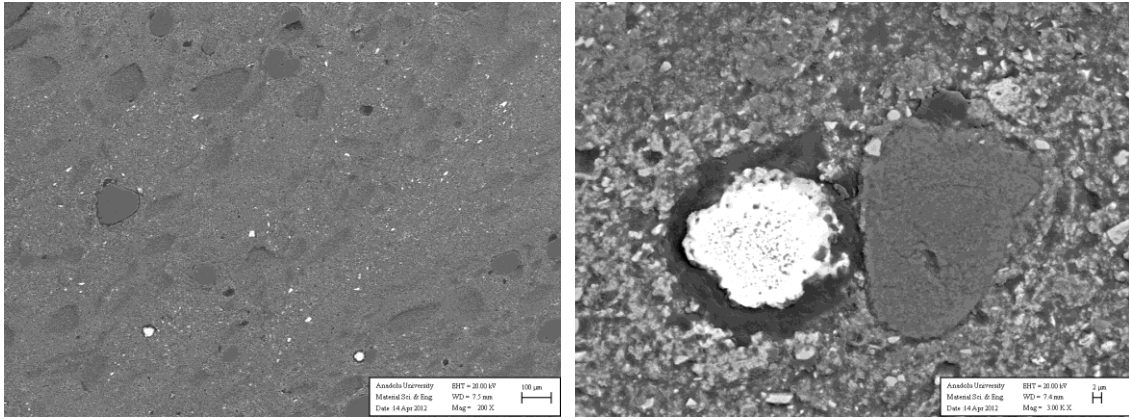
(c)



(d)

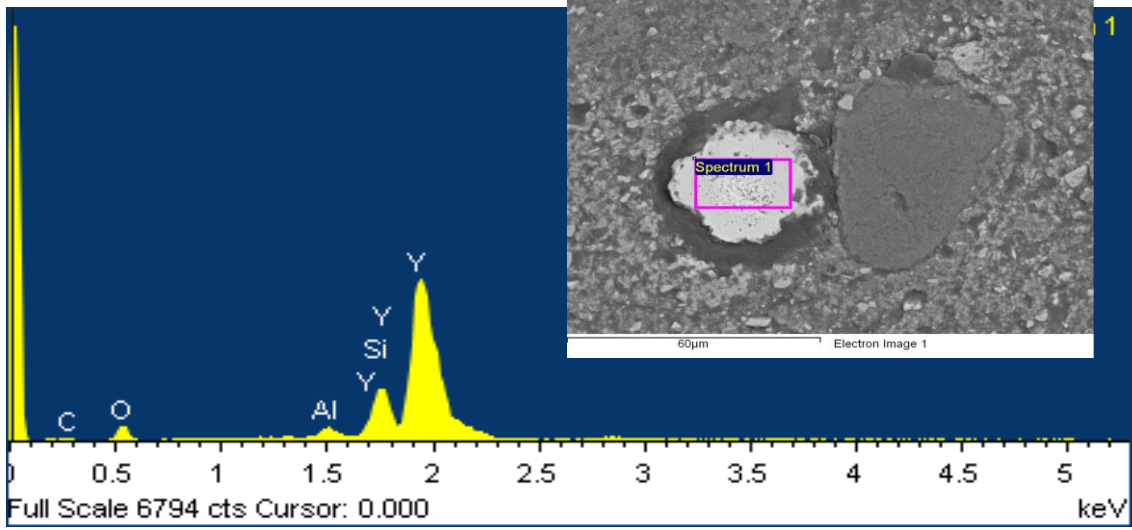
Şekil 11: 1600°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtılma işlemi görmüş YZ7D kodlu malzemelere ait SEM (a), (b) ve EDX (c), (d) analizleri.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

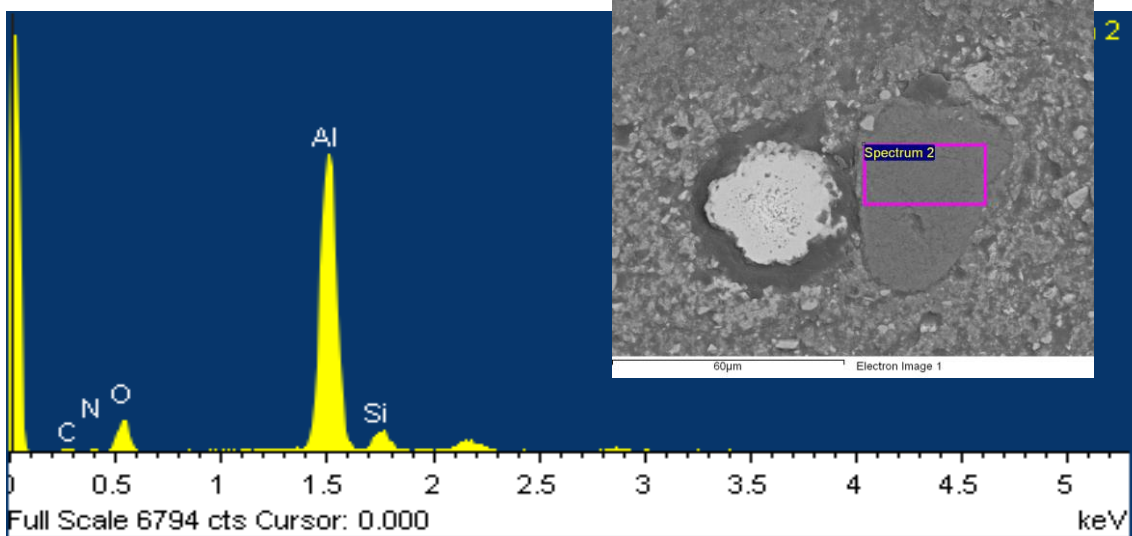


(a)

(b)



(c)



(d)

Şekil 12: 1600°C'de 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M kodlu malzemelere ait SEM (a), (b) ve EDX (c), (d) analizleri.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

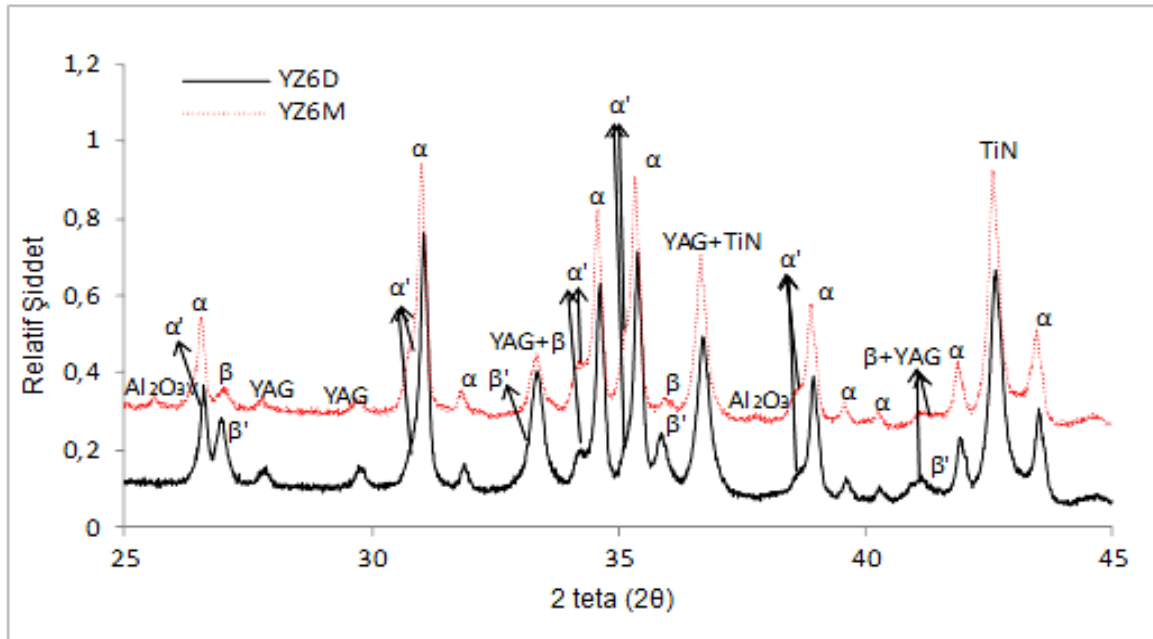
d) 1650 °C Sıcaklıkta Gerçekleştirilen Isıl İşlem

1650°C'de gerçekleştirilen ısıl işlem sonrası yapılan yoğunluk ölçümlerinin sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. YZ7D malzemesinde açık gözeneklilik oranı 1600°C'de gerçekleştirilen ısıl işlem sonuçlarına göre yaklaşık yarısına inerken (%36,23→%19,43), YZ7M malzemesinde bu azalma oranı daha düşüktür (%39,47→%28,30). Malzemelerin sahip oldukları yığınsal yoğunluk değerleri de bir önceki yapılan ısıl işleme kıyasla artmıştır (YZ7D: 2.1450→2.7307, YZ7M: 2.0661→2.4189) ve YZ7D malzemesinin yoğunluk değerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Her iki malzemede bir miktar ağırlık kaybı gerçekleşmiştir.

Tablo 9: 1650°C ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M numunelerinin yoğunlaşma davranışı

	YZ7D	YZ7M
Y.Y	2.7307	2.4189
%A.P.	19.43	28.30
%A.K.	0.51	0.40

1650°C sıcaklıkta 5 dk. bekleme süresi ile 5 barda gerçekleştirilen ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M kodlu malzemelere ait XRD paterni Şekil 13'de verilmiştir. Bu sıcaklıkta gerçekleştirilen ısıl işlemde YZ7D malzemesinde 1600°C'de gözlenen fazlardan farklı olarak AlN'nin tamamen ergidiği ve β -Si₃N₄ fazının SiAlON'a dönüştüğü tespit edilmiştir. YZ7M malzemesinde ise Al₂O₃'ün halen yapısında çözünmediği gözlenmektedir. 1600°C'den 1650°C'ye çıkıldığında β -Si₃N₄ fazının miktarı azalarak α -SiAlON fazının miktarı artmıştır.



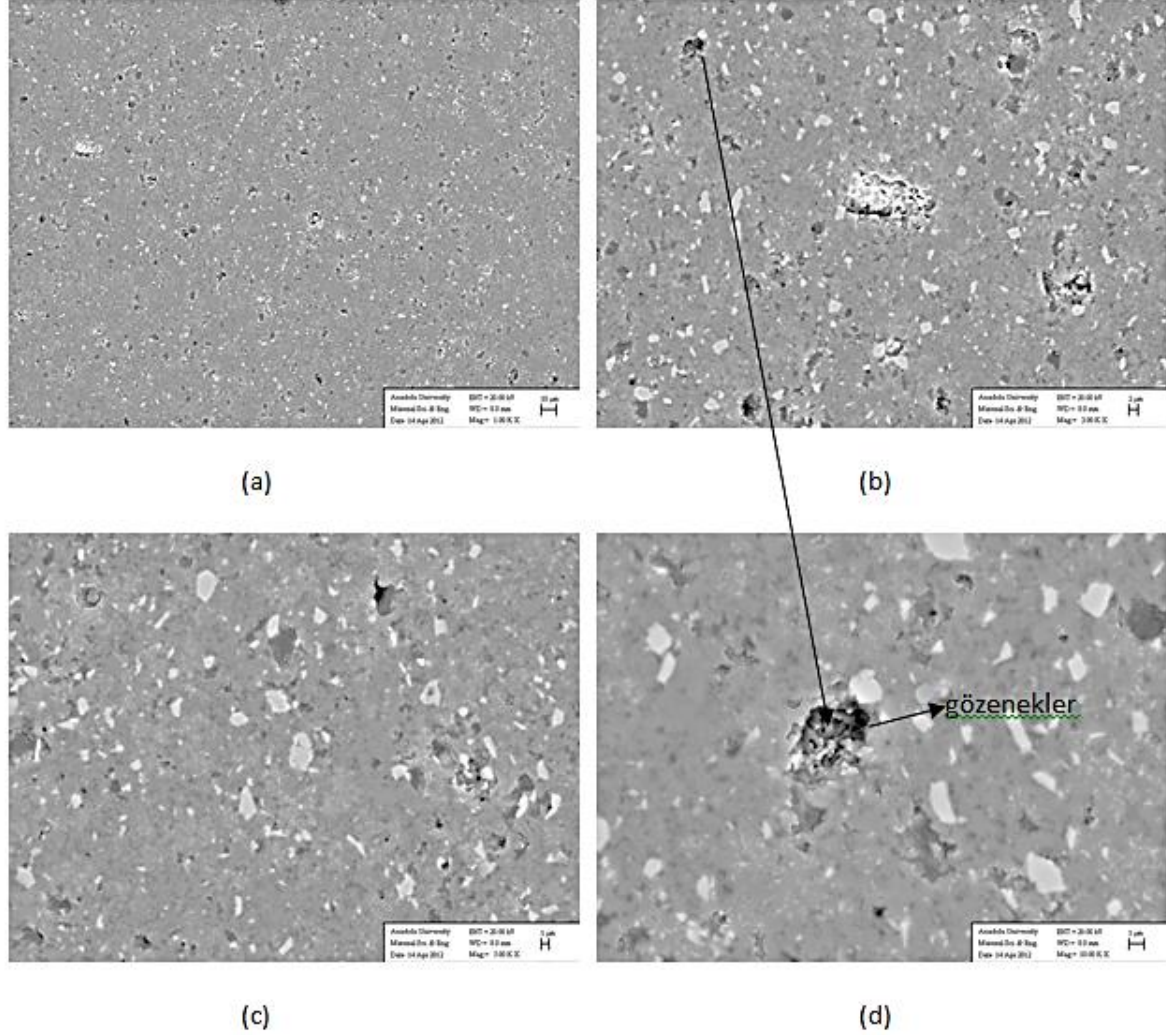
Şekil 13: 1650°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M ve YZ7D malzemelerine ait XRD paterni (β : β -Si₃N₄, α : α -Si₃N₄, β' : β -SiAlON, α' : α -SiAlON).

Şekil 14'de 1650°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7D kodlu malzemenin farklı büyütmelelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmektedir (Şekil 14.a-d). Yapıda gözenek seviyesi daha da azalmış mikroyapı olgunlaşmaya başlamıştır. Belli bölgelere toplanmış taneler arasında gözenekler mevcuttur (Şekil 14.d).

Şekil 15'de 1650°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M kodlu malzemenin farklı büyütmelelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmektedir (Şekil 15.a ve b). Bu

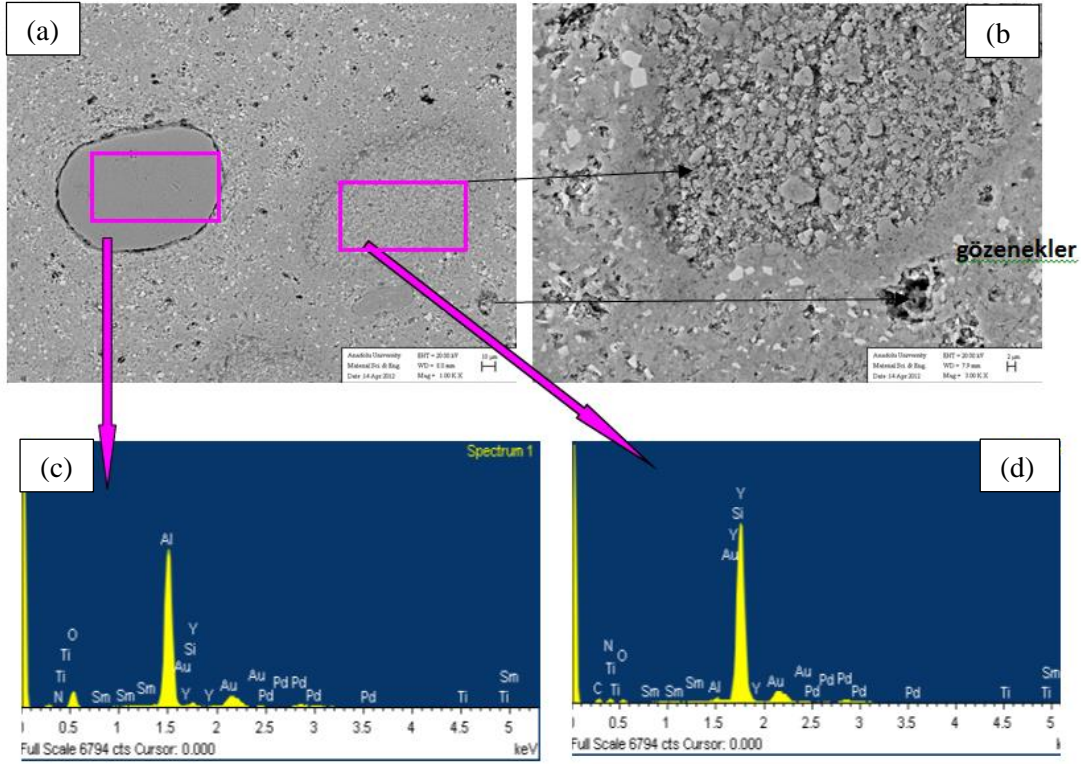
SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

malzemede de belli bölgelere toplanmış taneler arasında gözenekler mevcuttur (Şekil 15.a ve b). YZ7M ve YZ7D malzemelerindeki gözenek boyutları oldukça farklı olup mikserde hazırlanmış kompozisyonda daha kaba gözenekler (~17µm) mevcuttur (Şekil 16). İki ayrı bölgeden alınan EDX analizlerinde Al_2O_3 fazını oluşturan Al-O pikleri (Şekil 15.c) ve Si_3N_4 fazını oluşturan Si-N pikleri (Şekil 15.d) elde edilmiştir.

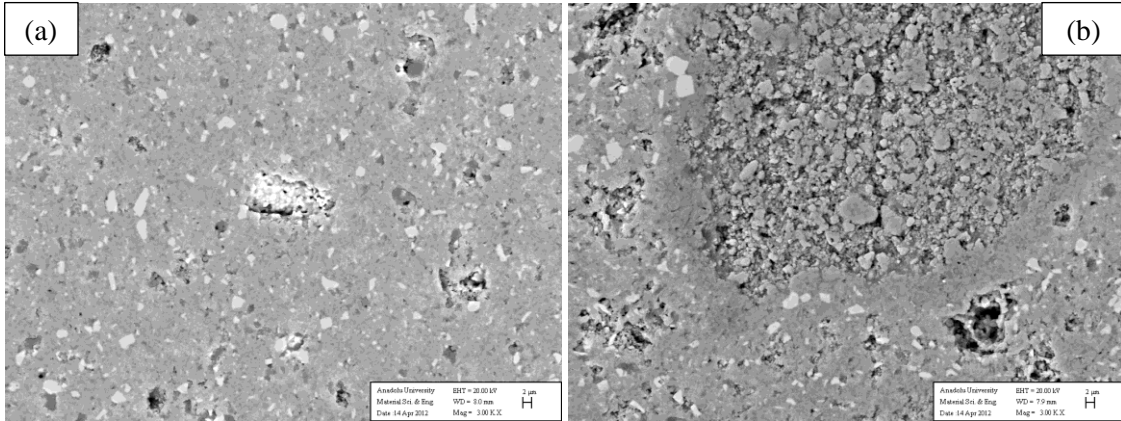


Şekil 14: 1650°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7D kodlu malzemelere ait temsili mikroyapı görüntüleri (a-d).

SIAION-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



Şekil 15: 1650°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtılmış YZ7M kodlu malzemelere ait temsili mikroyapı ve EDX analizleri

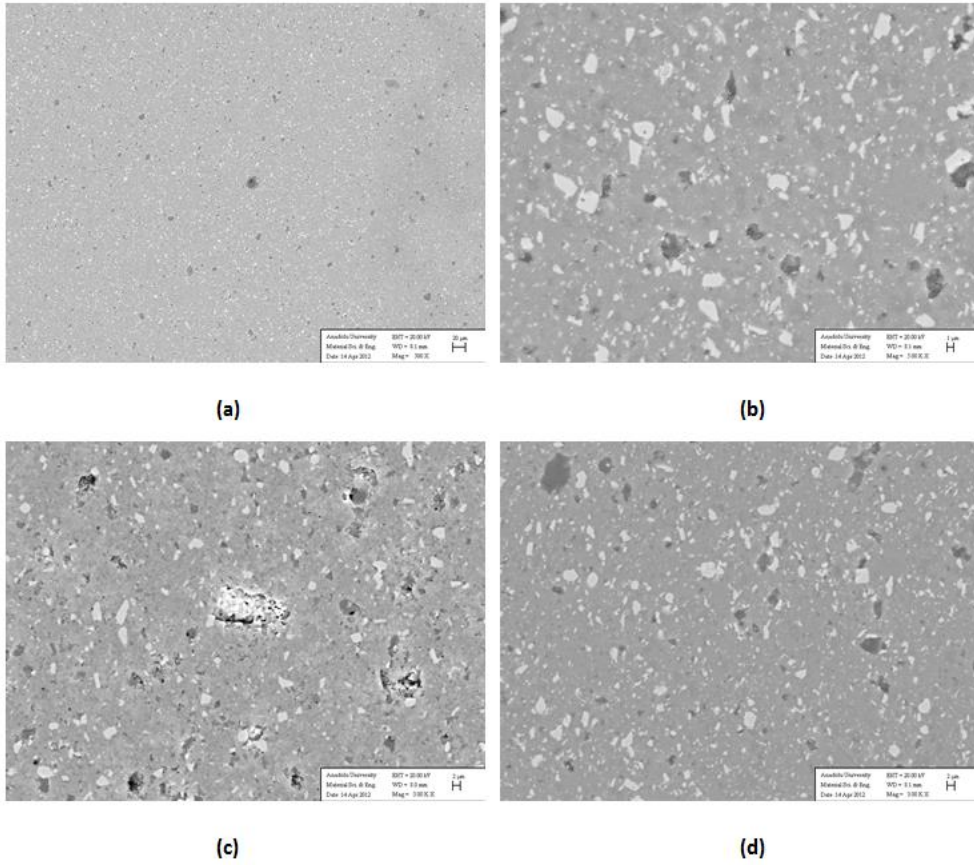


Şekil 16: 1650°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtılmış YZ7M ve YZ7D kodlu malzemelere ait gözenek boyutlarını gösteren temsili mikroyapı görüntüleri (a), (b).

e) 1700 °C Sıcaklıkta Gerçekleştirilen Isıl İşlem

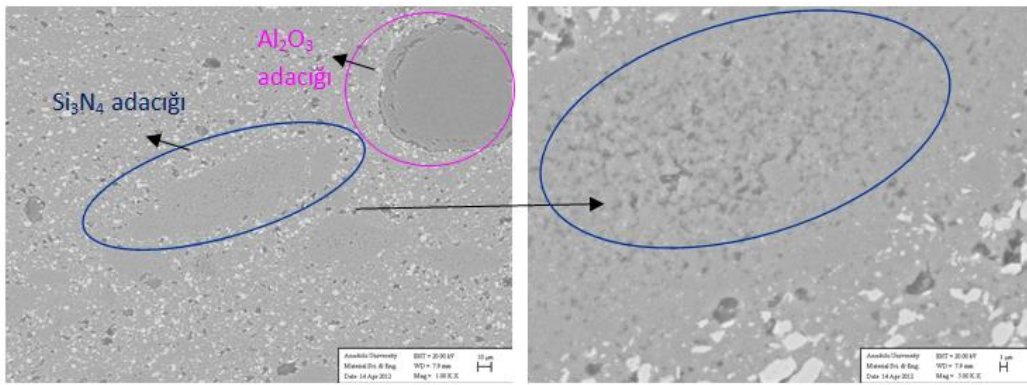
1700°C'de gerçekleştirilen ısıtılmış işlem sonrası yapılan yoğunluk ölçümlerinin sonuçları Tablo 10'da verilmiştir. 1650°C'de elde edilen sonuçlardaki gibi iki malzeme arasında yoğunluk ve açık gözeneklilik açısından belirgin farklar vardır. YZ7D malzemesinde açık gözeneklilik oranı %0'a inerken YZ7M malzemesinde bu oran yaklaşık %6 olmuştur. Malzemelerin sahip oldukları yığılma yoğunluk değerleri de bir önceki yapıları ısıtılmış işlemle kıyasla artmıştır (YZ7D: 2.7523→3.2987, YZ7M: 2.4568→3.1400) ve YZ7D malzemesinin yoğunluk değerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. İki malzemenin ağırlık kayıpları birbirine yakındır.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



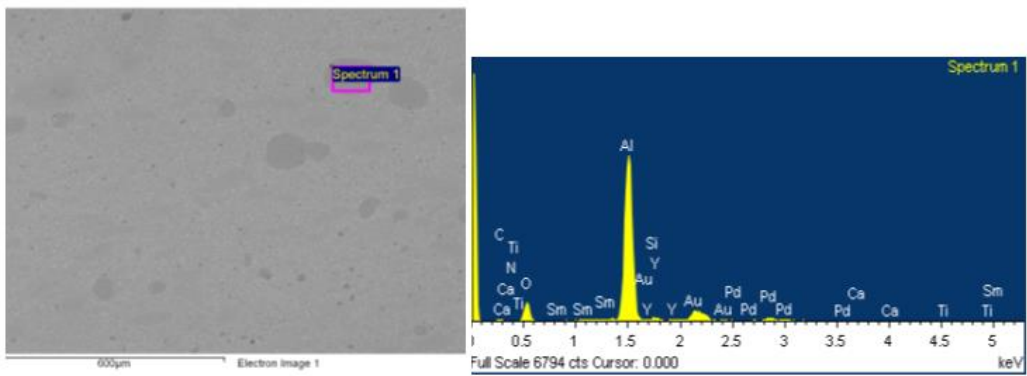
Şekil 18: 1700°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısı işlem görmüş YZ7D kodlu malzemeye ait temsili mikroyapı görüntüleri (a), (b), (d), 1650°C’de ısı işlem (c) görmüş YZ7D malzemesi

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

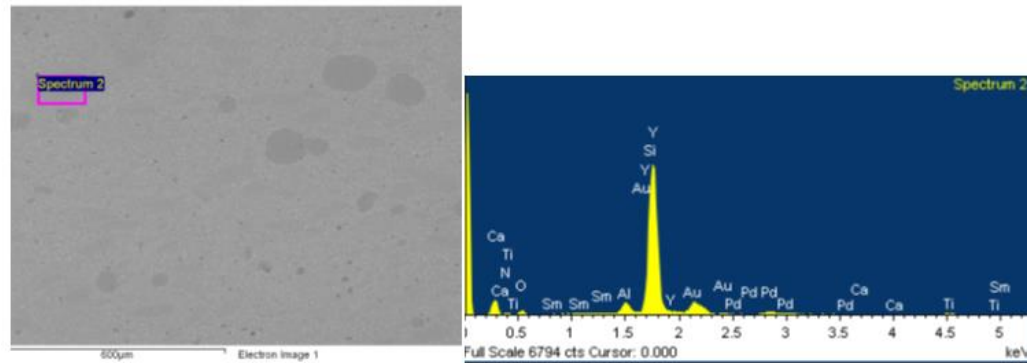


(a)

(b)



(c)



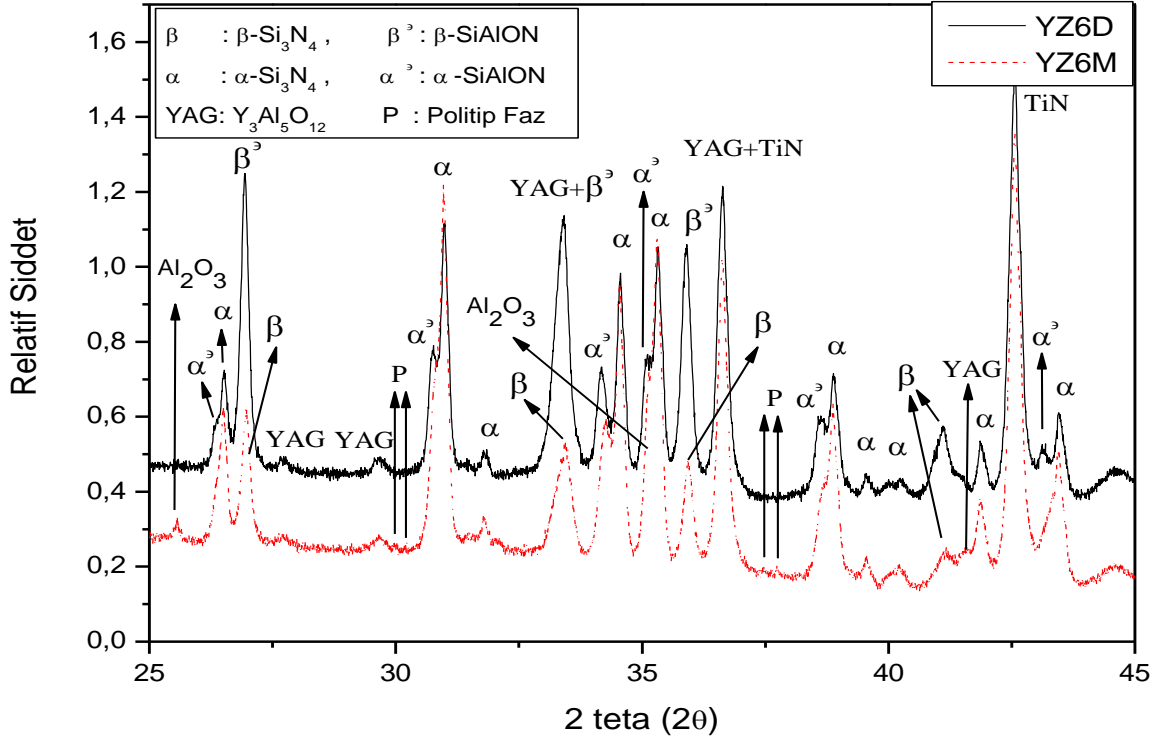
(d)

Şekil 19: 1700°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M kodlu malzemeye ait temsili mikroyapı görüntüleri (a), (b) ve EDX analizi (c), (d).

Şekil 20’de 1700°C sıcaklıkta 5 dk. bekleme süresi ile 5 barda gerçekleştirilen ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M kodlu malzemelere ait XRD paterni verilmiştir. YZ7M malzemesinde oluşan fazlar; β -Si₃N₄, α -Si₃N₄, Al₂O₃, Y₃Al₅O₁₂ (YAG- Yttrium alüminyum oksit) ve TiN olarak sıralanmaktadır. YZ7D malzemesinde oluşan fazlar ise; β -Si₃N₄, α -Si₃N₄, β -SiAlON, α -SiAlON, Y₃Al₅O₁₂ (YAG- Yttrium alüminyum oksit), TiN olarak tespit edilmiştir. 25,5° (2 θ) değerinde YZ7M malzemesinde oluşan pik Al₂O₃ olarak tespit edilmiştir. Bu sıcaklıkta kaba Al₂O₃ tozu henüz ergimediği için yapıda yer almaktadır. YZ7M kompozisyonunda tozlar kaba ve homojen dağılmadığı için sinterleme kinetiği çok yavaştır. YZ7D malzemesinde 25,5° (2 θ) değerinde herhangi bir

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

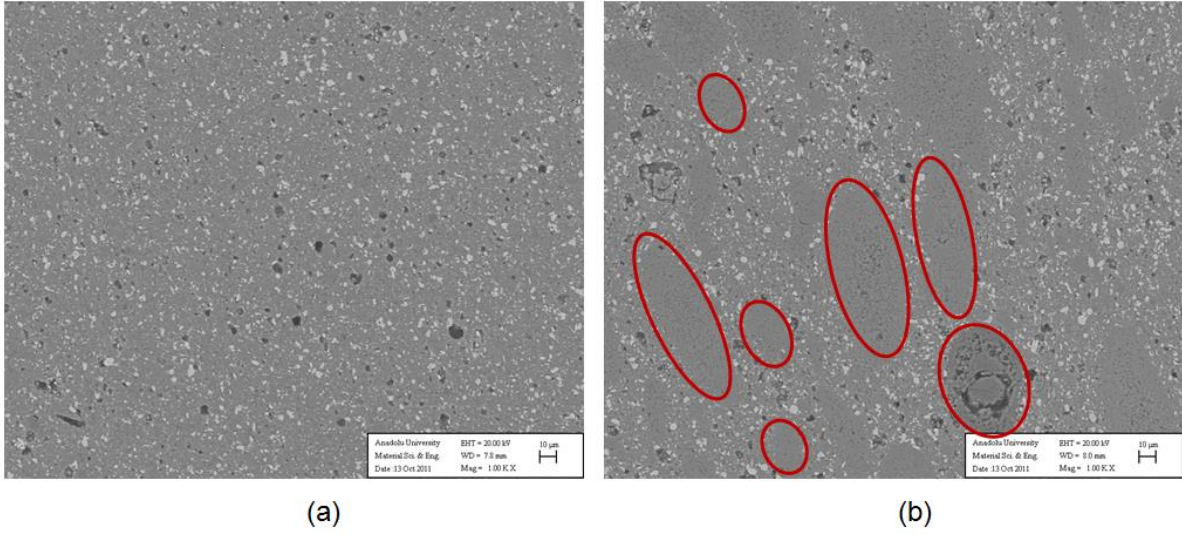
pik gözlenmemiştir. YZ7D malzemesinde α -Si₃N₄ tozu çözünerek β -SiAlON ve α -SiAlON fazları gelişimi başlamış ancak denge durumuna tamamen ulaşılmamıştır. Yapıda tamamen çözünmemiş α -Si₃N₄ tozu hala mevcuttur ve α -Si₃N₄'den β -Si₃N₄'e dönüşüm gerçekleşmiştir. YZ7M kompozisyonunda sadece α -Si₃N₄'den β -Si₃N₄'e dönüşüm gerçekleşmiş ancak tamamlanmamış olup bu nedenle malzemede α -Si₃N₄ fazı da mevcuttur. YZ7D malzemesinde politip faz oluşumu çok az (%1>) miktarda olduğundan XRD ile tespit edilememiştir. YZ7M malzemesinde ise, 29,8°, 32,7°, 37,4° ve 37,7° açı değerlerinde gözlemlenen pikler politip fazlardan kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, mikserde hazırlanmış kompozisyonda başlangıç tozları yeterince iyi dağılmadığı ve daha kaba oldukları için reaksiyon kinetikleri daha yavaş gerçekleşmektedir.



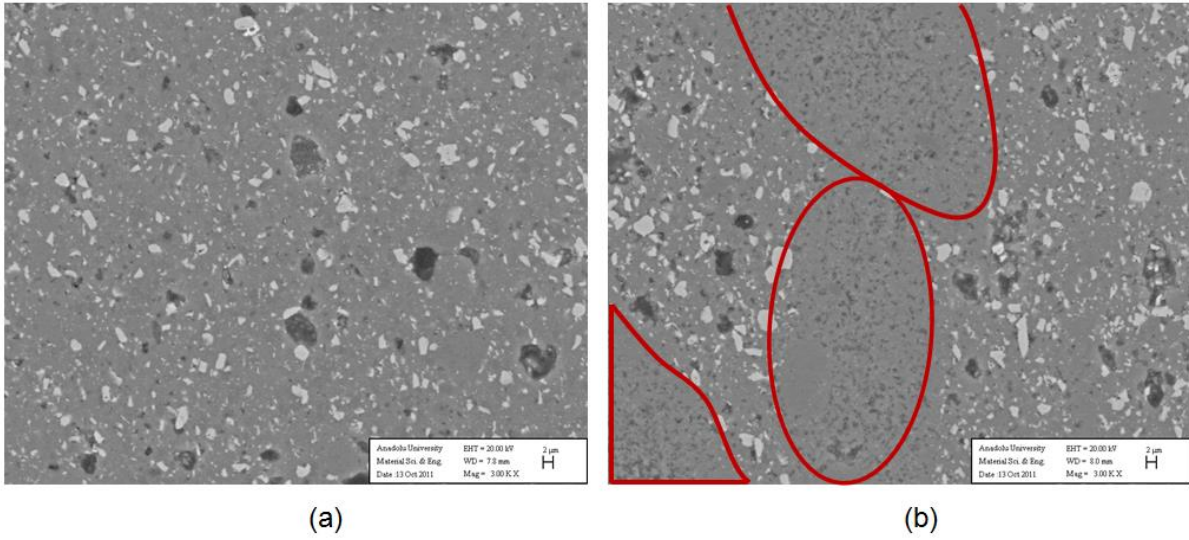
Şekil 20: 1700°C'de ısıtılmış YZ7D ve YZ7M malzemelerine ait XRD paterni

Şekil 21 ve Şekil 22'de YZ7D ve YZ7M kodlu malzemelere ait ısıtılmış malzeme sonrası mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde YZ7M malzemesinde belli bölgelerde yoğunlaşmış fazların oluştuğu gözlenmektedir. EDX analizi yapılmadığı için bu fazların elementel içeriği tespit edilememiştir. Mikroyapı görüntüsünden de anlaşılacağı gibi başlangıçta tozların homojen dağılmasının mikroyapı gelişiminde ne kadar etkili olduğu açıkça görülmektedir. Yapıda oluşan bazı bölgelerde yoğunlaşmış fazları gözlemlemek için 1700°C sıcaklıkta ısıtılmış malzeme gerçekleştirildiği ve bu yüzden malzeme tam olarak yoğunlaşmadığı için yapıda gözenekler de mevcuttur. Sıvı faz miktarındaki azlık, Y₃Al₅O₁₂ (YAG- Yttrium alüminyum oksit) ara faz katı çözümlenmesinin oluşumundan kaynaklanmaktadır.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



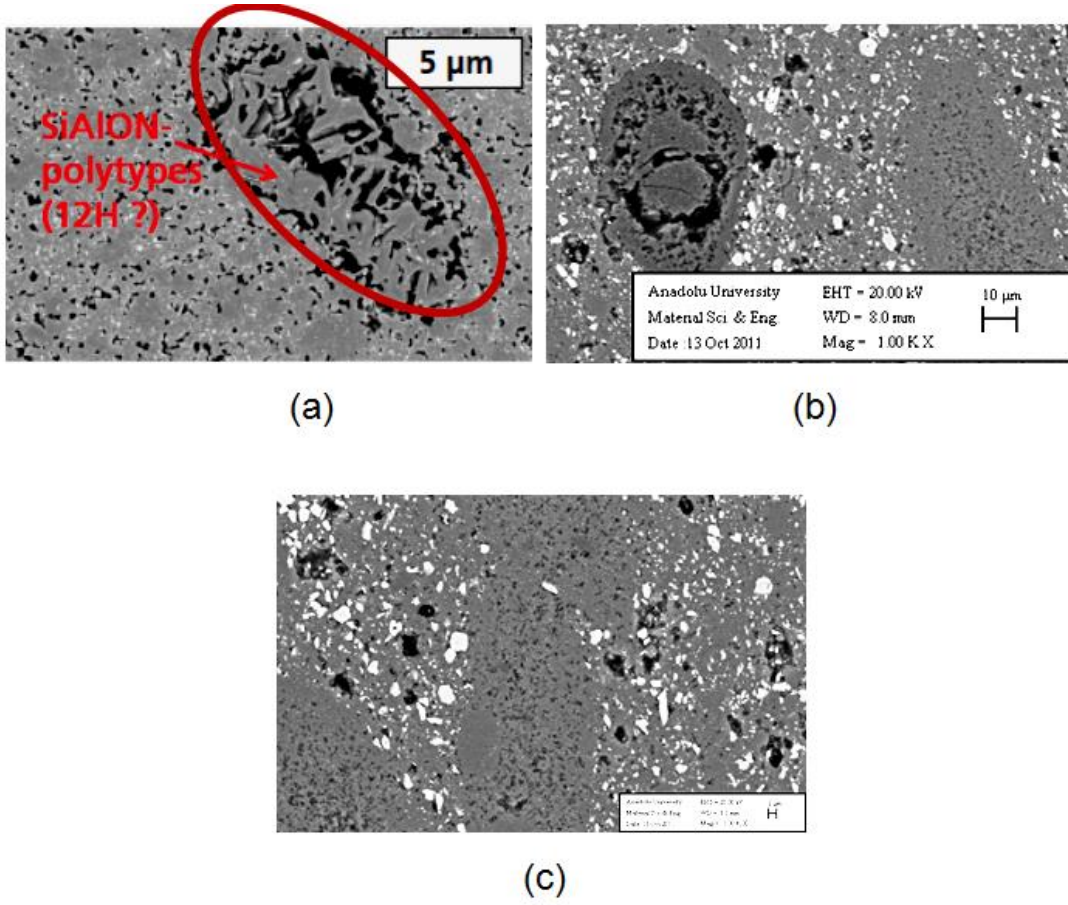
Şekil 21: 1700°C’de ısıl işlem görmüş (a) YZ7D (b) YZ7M malzemelerine ait temsili SEM görüntüleri



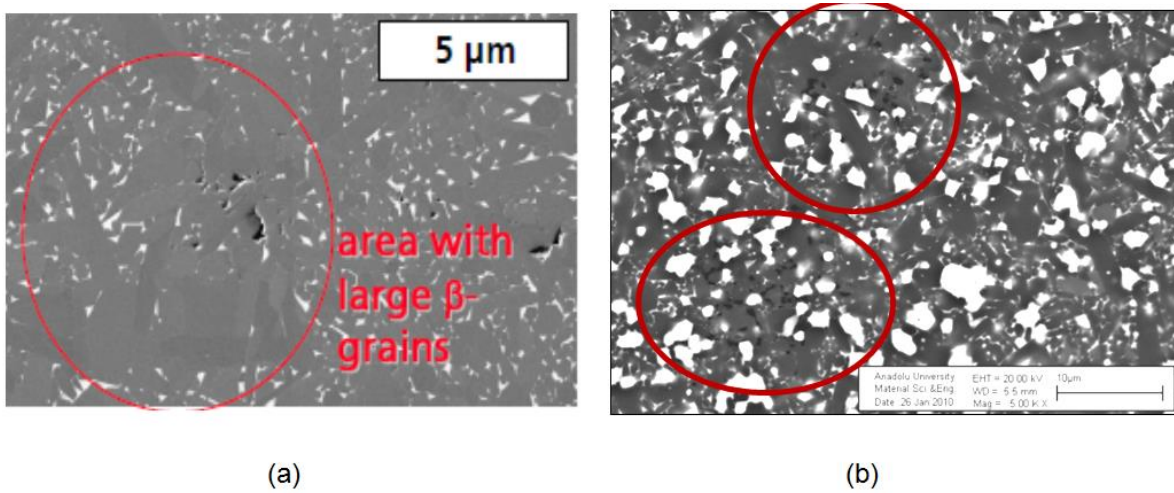
Şekil 22: 1700°C’de ısıl işlem görmüş (a) YZ7D (b) YZ7M malzemelerine ait temsili SEM görüntüleri

Herrmann ve ekibinin 1600°C sıcaklığındaki ısıl işlem sonucunda elde ettikleri mikroyapı ile YZ7M malzemesinin mikroyapıları Şekil 23’de verilerek karşılaştırılmıştır. Mikroyapılarda yer alan belli bölgelerde yoğunlaşmış fazlar, yakın benzerlik göstermektedir. 1700°C sıcaklıkta ısıl işlem sonrası elde edilen mikroyapıda, Herrmann ve ekibinin elde ettikleri mikroyapıya benzer bir yapı elde edilmiştir. YZ7M malzemesini oluşturan tozlar kaba partikül boyutuna sahiptir. Çünkü tozların kasıtlı olarak homojen dağılmaması için hazırlanan çamur öğütme yapılmaksızın mikserde karıştırılarak hazırlanmıştır. Sinterleme kinetikleri daha yavaş olacağından SiAlON politipler 1600°C yerine 1700°C sıcaklıkta da gözlenmiştir. Şekil 24.b’de daha önce de geliştirilen HZN-TiN malzemesinin mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Geliştirilen malzemede 100-300nm boyutunda gruplanmış gözeneklerin varlığı tespit edilmiştir. Herrmann ve ekibinin yapmış olduğu çalışmada da sinterlenmiş malzemede buna benzer gözenekler oluşmuştur. Herrmann ve ekibi, gözenek oluşumunun geçici sıvının hızla yok olması ve politiplerin oluşumu sinterleme ilavelerinin homojen dağılması ile sinterleme ilavelerinin yoğunlaştığı bölgelerde sıcaklık artışıyla birlikte sıvı faza dönüşümün gerçekleştiği ve o bölgelerin boşluklu kalması ile sonuçlandığını bildirmişlerdir.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



Şekil 23: (a) Herrmann ve ekibinin 1600°C sıcaklığındaki ısıtma işlemi sonucunda elde edilen mikroyapı [41] (b) ve (c) YZ7M



Şekil 24: (a) Herrmann ve ekibinin 1825°C sıcaklığındaki sinterleme sonucunda elde ettikleri mikroyapı [41] (b) HZN-TiN malzemesi

f) 1800 °C Sıcaklıkta Gerçekleştirilen Isıl İşlem

1800°C'de gerçekleştirilen ısıtma işlemi sonrası yapılan yoğunluk ölçümlerinin sonuçları Tablo 11'de verilmiştir. 1700°C'de elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında yoğunluk oranlarında artış gözlenmekte ve homojen karışım hazırlamanın yoğunlaşma davranışını büyük ölçüde etkilediği ve

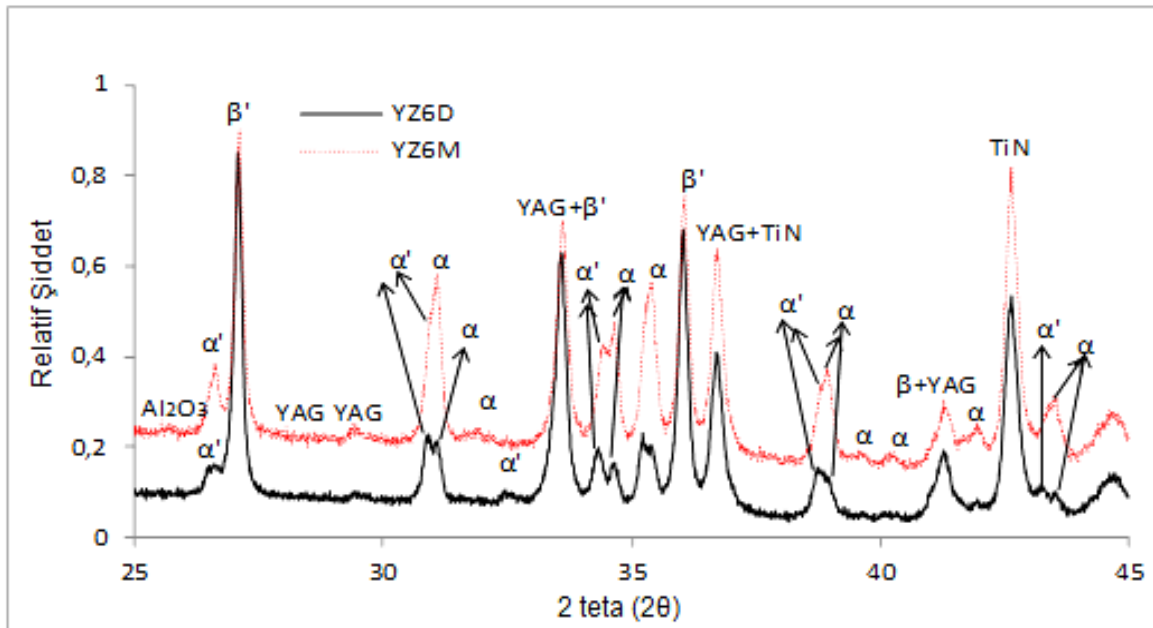
SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

YZ7D malzemesinin daha yoğun olduğu sonuçlardan anlaşılmaktadır. Ayrıca açık porozite oranı 1700°C'de olduğu gibi %0'dır. YZ7M malzemesinin açık porozite yüzdesi de önemli oranda düşmüştür (%5.82→%0.18). YZ7D malzemesinde ağırlık kaybı yüzdesi bir miktar artsa da her iki malzeme içinde bir önceki ısıl işleme kıyasla benzer değerler elde edilmiştir.

Tablo 11: 1800°C ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M numunelerinin yoğunlaşma davranışı

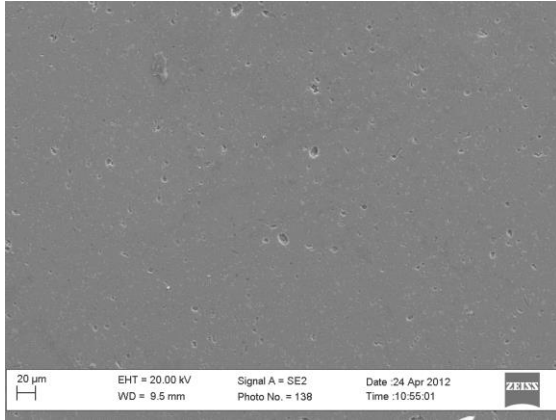
	YZ7D	YZ7M
Y.Y	3.4480	3.2730
%A.P.	0.0000	0.18
%A.K.	0.81	0.64

1800°C sıcaklıkta 5 dk. bekleme süresi ile 5 barda gerçekleştirilen ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M kodlu malzemelere ait XRD paterni Şekil 25'de verilmiştir. Bu sıcaklıkta gerçekleştirilen ısıl işlemde Al₂O₃'ün YZ7M malzemesinin yapısından çözünerek yok olduğu gözlenmektedir. 1800°C'de her iki malzemenin yapısında da tamamen çözünmemiş α-Si₃N₄ tozu hala mevcuttur ancak β-Si₃N₄ tozu her iki malzemede dönüşüme uğramıştır. YZ7M malzemesinde halen az miktarda politip faz gözlenmektedir. 1700°C'den 1800°C'ye çıkıldığında her iki malzemede de α-Si₃N₄ miktarı azalıp α ve β-SiAlON faz miktarları artmıştır. Şekil 26'da 1800°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7D kodlu malzemenin farklı büyütmelelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Sıcaklık ve sürenin artışıyla kapalı gözeneklilik seviyesi azalacaktır. Şekil 27'de 1800°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M kodlu malzemenin farklı büyütmelelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Yapıda Al₂O₃ (küresel şekilli) ve Si₃N₄ (eliptik şekilli) adacıkları hala mevcuttur. Bu bölgelerden alınan EDX analizleri ile sonuçlar teyit edilmiştir (Şekil 27.c, d ve e). 1800°C'ye gelmesine rağmen Al₂O₃ ve Si₃N₄ adacıklarının içinde kaba gözenekler mevcuttur. Homojen dağılmayan ve sıcaklığın etkisiyle agrega olmuş (birbirine sıkı şekilde kenetlenmiş) taneler arasına sıvı faz sızmadığı için o bölgelerde gözenekler mevcuttur. Sonuç olarak yapılan çalışma neticesinde homojen dağılmamış toz kompozisyonları gözenek oluşumuna sebep olmaktadır.

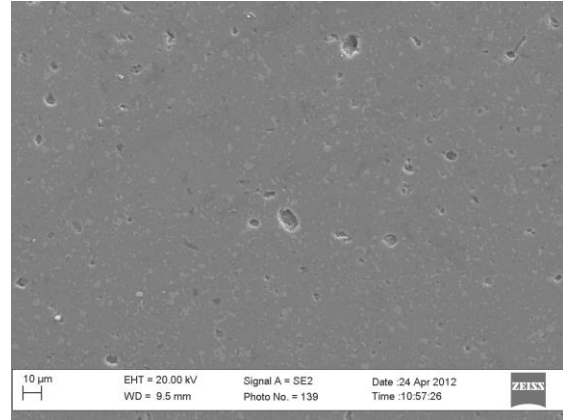


Şekil 25: 1800°C'de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M ve YZ7D malzemelerine ait XRD paterni (β: β-Si₃N₄, α: α-Si₃N₄, β': β-SiAlON, α': α-SiAlON).

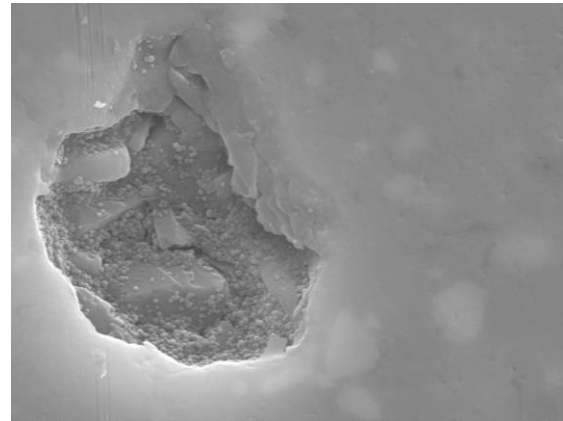
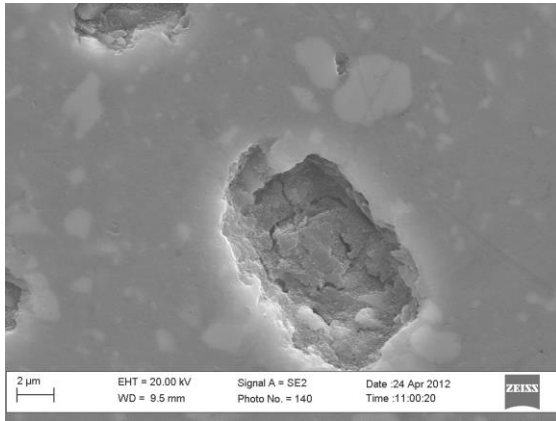
SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



(a)

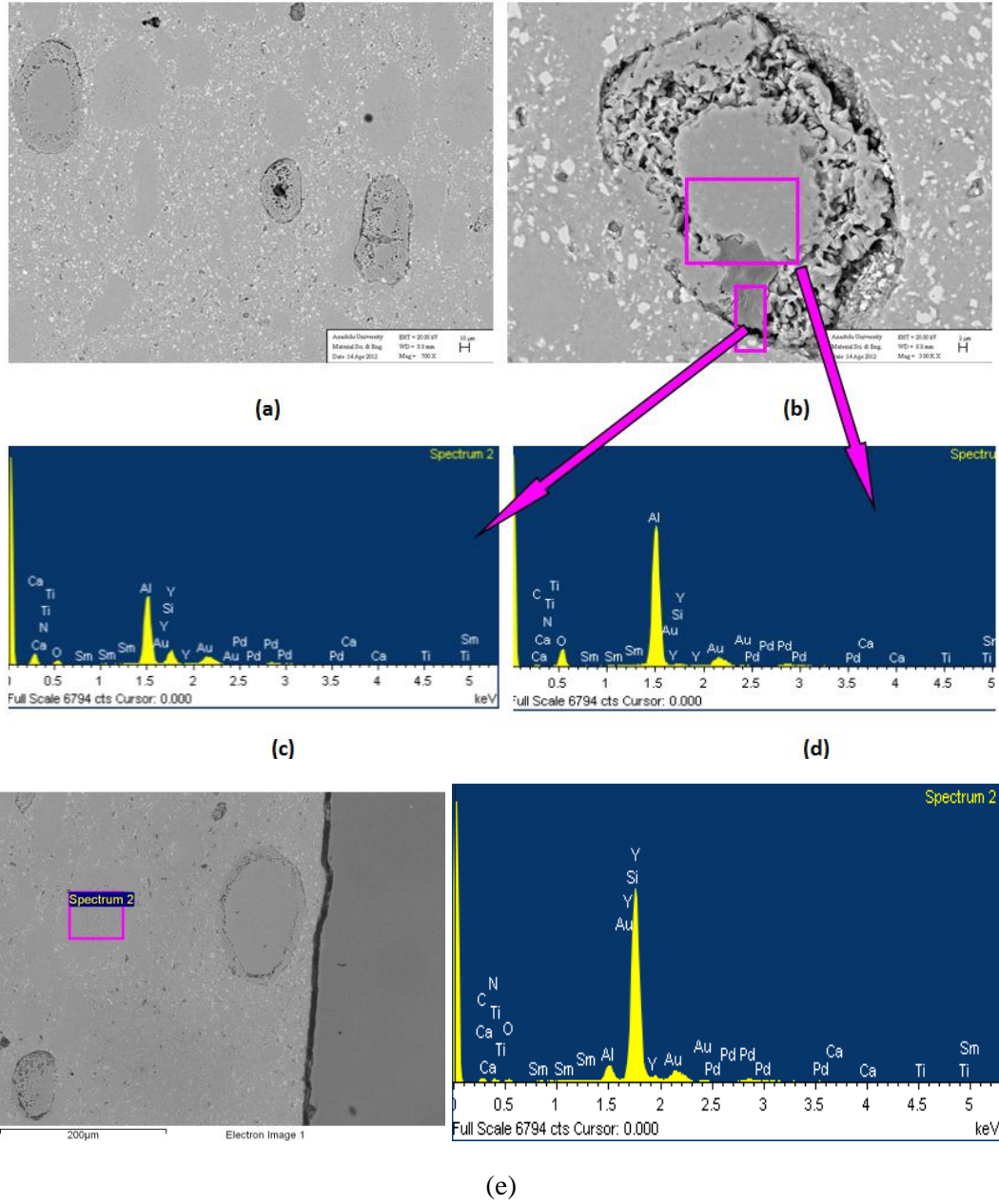


(b)



Şekil 26: 1800°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7D kodlu malzemeye ait temsili mikroyapı görüntüleri (a), (b), (c), (d)

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



Şekil 27: 1800°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M kodlu malzemeye ait temsili mikroyapı görüntüleri (a), (b) ve EDX analizi (c)-(e).

g) 1890°C Sıcaklıkta Gerçekleştirilen Isıl İşlem

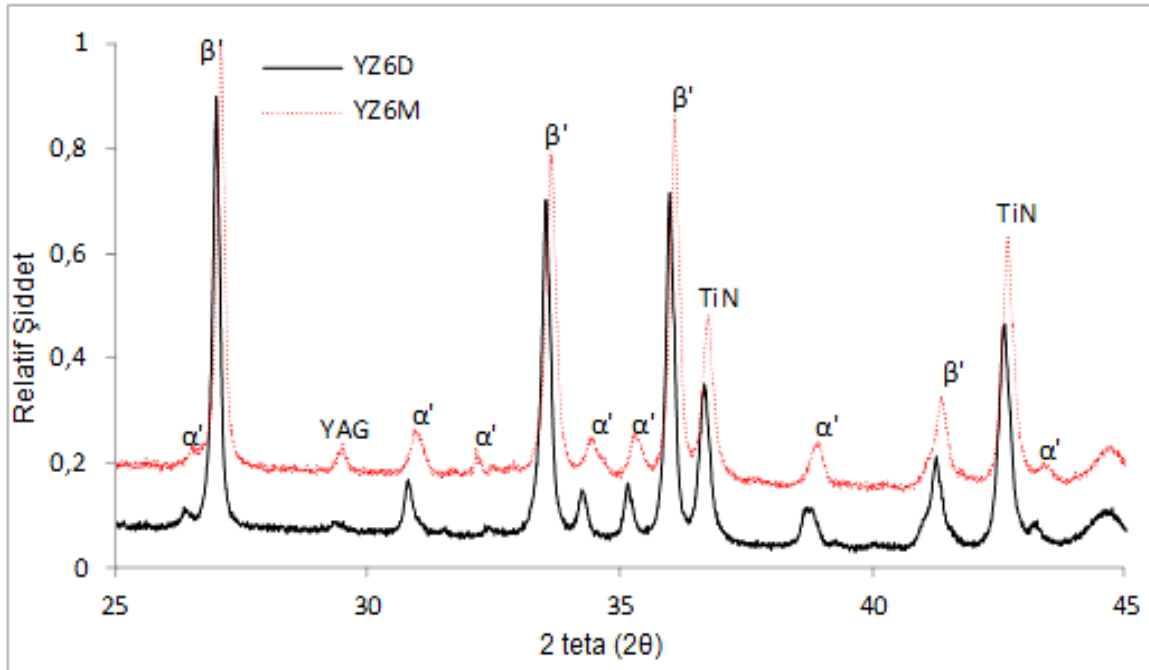
1890°C’de gerçekleştirilen ısıl işlem sonrası yapılan yoğunluk ölçümlerinin sonuçları Tablo 12’de verilmiştir. 1700°C’de elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında yoğunluk oranlarının birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. YZ7M malzemesinde açık porozite yüzdesi önemli oranda düşerek YZ7D malzemesinde olduğu gibi %0’a yaklaşmıştır. Ağırlık kaybı yüzdelerinde her iki malzeme içinde bir önceki ısıl işleme kıyasla yaklaşık aynı oranlar elde edilmiştir. 1890°C’de ısıl işlem görmüş YZ7D malzemesi yığınsal yoğunluk değeri teorik yoğunluğa yaklaşmıştır.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

Tablo 12: 1890°C ısıt işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M numunelerinin yoğunlaşma davranışı

	YZ7D	YZ7M
Y.Y	3.4521	3.2969
%A.P.	0.01	0.02
%A.K.	0.67	0.69

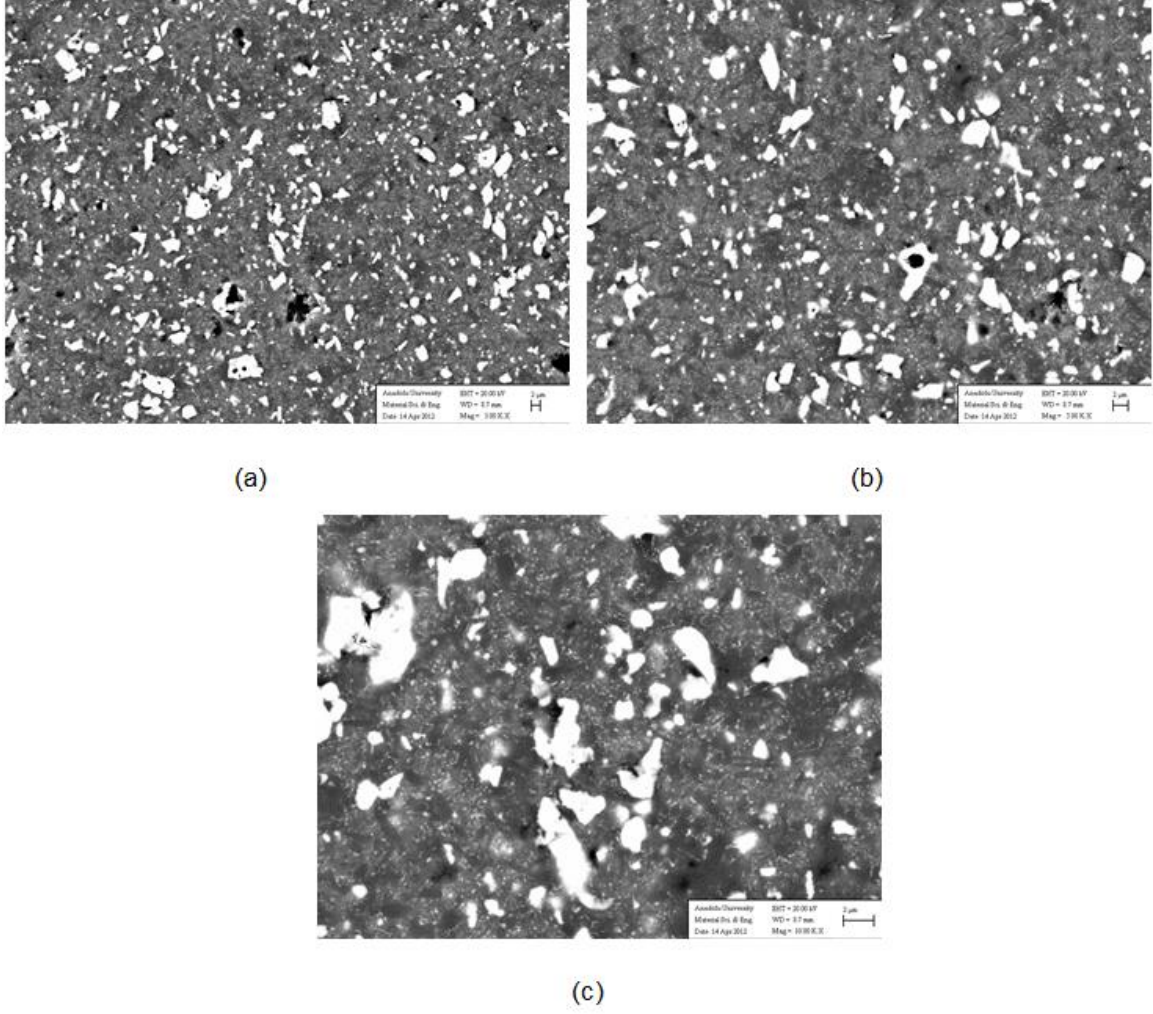
Şekil 28’de 1800°C sıcaklıkta 5 dk. bekleme süresi ile 5 barda YZ7D ve YZ7M kodlu malzemelere ait XRD paterni verilmiştir. Gerçekleştirilen ısıt işlem sonrasında kompozisyonlar başlangıçta tasarlanan faz dengesine ulaşmıştır. Her iki malzemede de kristal YAG fazı oluşumu tespit edilmiştir.



Şekil 28: 1890°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıt işlem görmüş YZ7M ve YZ7D malzemelerine ait XRD paterni (β’: β-SiAlON, α’: α-SiAlON, YAG (Y₃Al₅O₁₂-Yttrium alüminyum oksit))

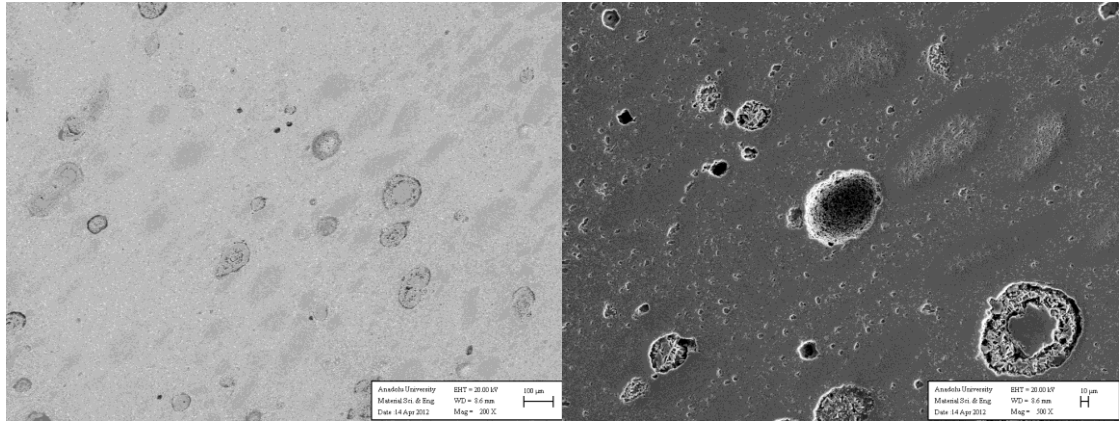
Şekil 29’da 1890°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıt işlem görmüş YZ7D kodlu malzemenin farklı büyütmelelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Mikroyapıda gözenekli yapılar gözlenmektedir. Gözenekler keskin köşeli olup taneler arası fazın numune hazırlama esnasında yapıdan uzaklaşması sonucu oluşmuşlardır. Şekil 30’da 1890°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıt işlem görmüş YZ7M kodlu malzemenin farklı büyütmelelerdeki mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Yapıda hala Al₂O₃ (küresel şekilli) ve Si₃N₄ (eliptik şekilli) adacıkları mevcuttur. 1890°C’ye gelmesine rağmen Al₂O₃ ve Si₃N₄ adacıklarının içinde kaba gözenekler mevcuttur. Sinterleme sıcaklığı ve süresi arttırılsa bile bu tarz yapılar içindeki gözeneklerin yok olması çok güçtür. Sonuç olarak yapılan çalışma neticesinde homojen dağılmamış toz kompozisyonunun gözenek oluşumuna sebep olduğu tespit edilmiştir.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



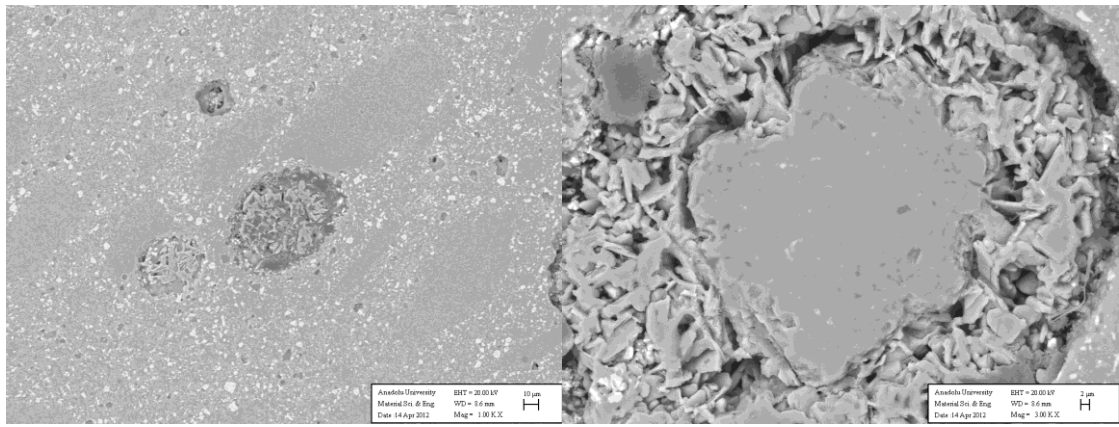
Şekil 29: 1890°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7D kodlu malzemeye ait temsili mikroyapı görüntüleri (a), (b), (c).

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



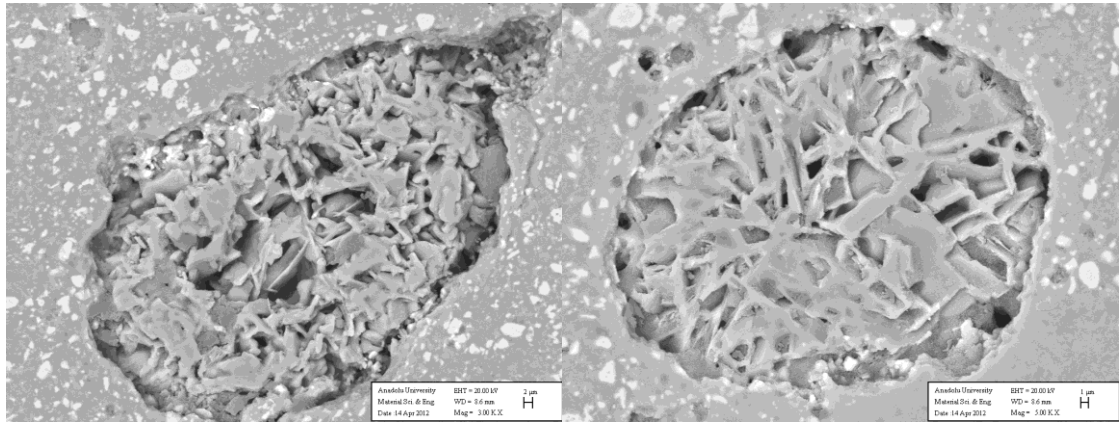
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)

Şekil 30: 1890°C’de, 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7M kodlu malzemeye ait temsili mikroyapı görüntüleri (a)-(f).

4. SONUÇLAR

1400°C, 1500°C, 1600°C, 1650°C, 1700°C, 1800°C ve 1890°C’de 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7D ve YZ7M malzemelerine ait XRD paternleri sırasıyla Şekil 31 ve Şekil 32’de tek bir grafikte kıyaslamalı olarak verilmiştir. Gerçekleştirilen ısıl işlemler sırasında

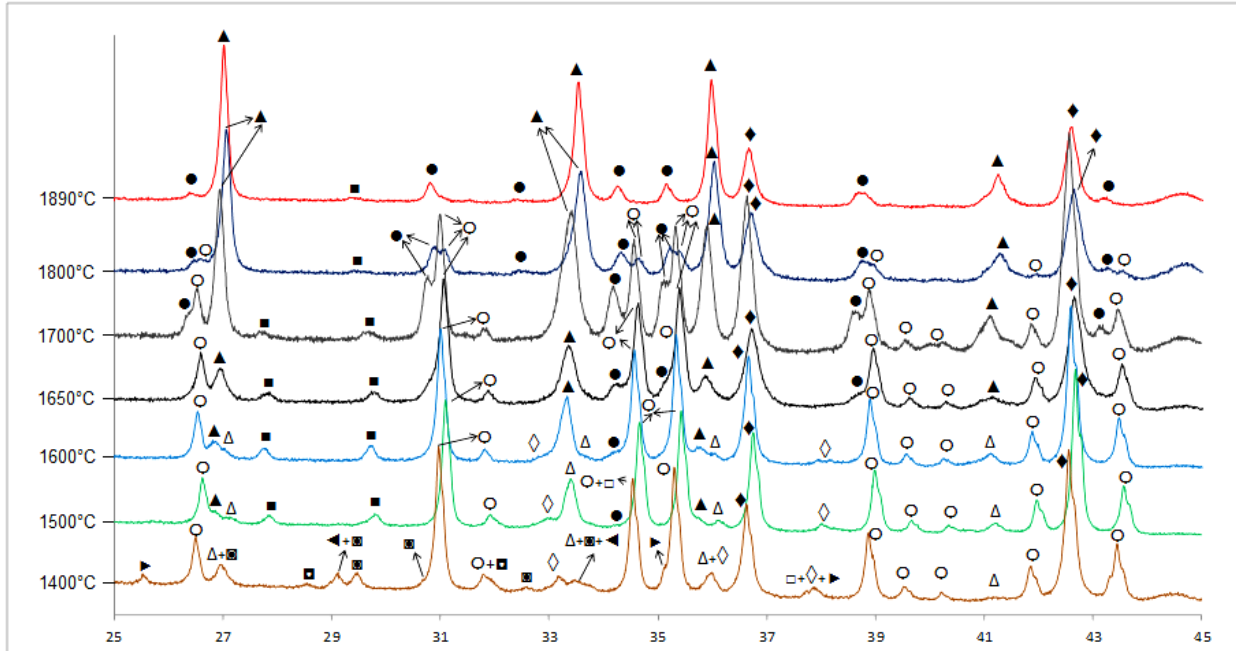
SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

malzemelerde meydana gelen fazların gelişimi Tablo 13’de verilmiştir. Isıl işlem sırasında YZ7D ve YZ7M malzemeleri arasındaki göze çarpan faz gelişim farklılıkları aşağıda sıralanmıştır.

- YZ7D malzemesinde 1400°C’de oluşan Y_2SiO_5 (Yttrium Silikat X_1 tipi), $Y_5Si_3O_{12}N$ (Yttrium silikon oksinitrit) fazları, Y_2O_3 ve Al_2O_3 1500°C’de sıvı faz içerisinde çözünerek yapıya karışırken, YZ7M malzemesinde bu fazlar 1600°C’de, Al_2O_3 ise 1700°C’de sıvı faz içerisinde çözünerek yapıya karışmıştır.
- β - Si_3N_4 oluşumu YZ7D malzemesinde 1400°C’de başlarken, YZ7M malzemesinde 1500°C’de başlamıştır.
- YZ7D malzemesinde α -SiAlON ve β -SiAlON oluşumu 1500°C’de başlarken, YZ7M malzemesinde α -SiAlON oluşumu 1600°C’de, β -SiAlON oluşumu ise 1700°C’de başlamıştır.
- YZ7M kompozisyonunun hazırlanış aşamasında tozlar aksel değirmen yerine mikser kullanılarak karıştırıldığı ve bunun sonucunda tozlar kaba ve homojen dağılmadığı için YZ7M kodlu malzemenin yukarıda sıralanan sonuçlardan da açıkça görüldüğü gibi sinterleme kinetiği çok yavaş gerçekleşmektedir.

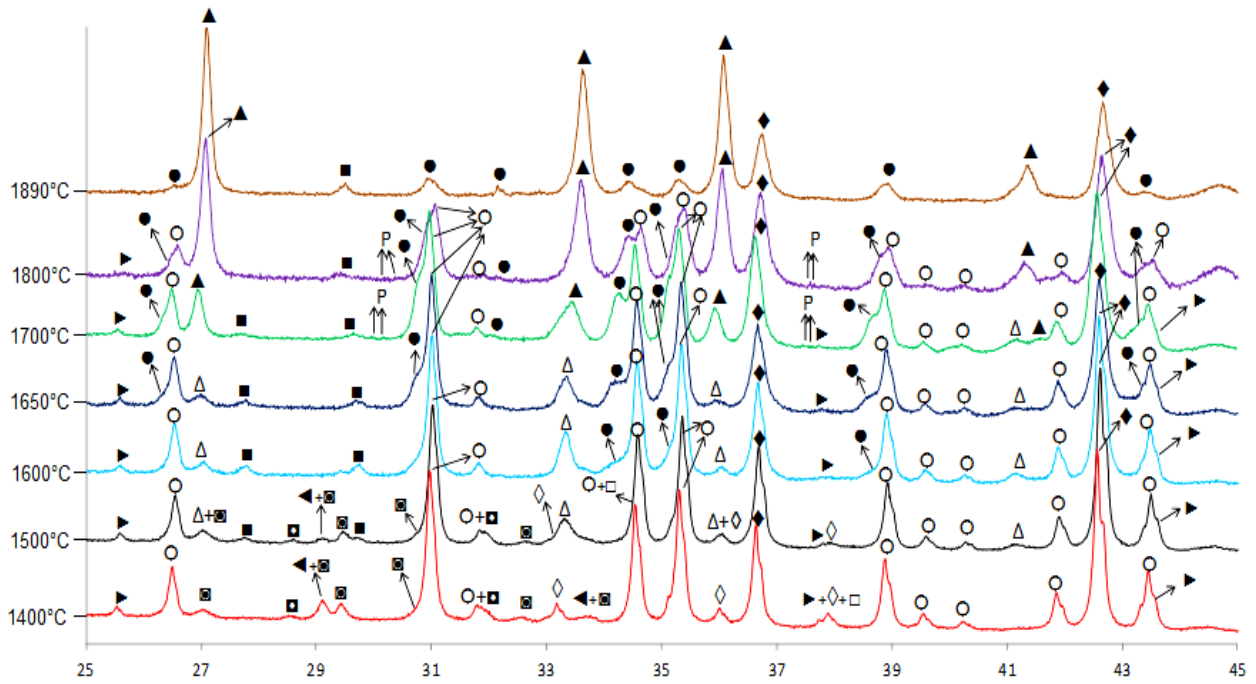
Tablo 14’de 1400°C, 1500°C, 1600°C, 1650°C, 1700°C, 1800°C ve 1890°C’de ısıl işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M numunelerinin yoğunlaşma davranışı tek bir tabloda verilmiştir. Şekil 33’de de ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak % açık porozite, % ağırlık kaybı ve yığınsal yoğunluk değerlerindeki değişim oranları grafik haline getirilerek verilmiştir.

Sonuç olarak, iki farklı proses tekniği ile hazırlanmış (mikser ve aksel değirmen) kompozisyonların sıcaklığa bağlı olarak yapılan faz ve mikroyapı gelişimi çalışmaları sonrasında başlangıç tozlarının iyi dağıtılamamasının gözeneklerin oluşumuna sebep olduğu açıklanmıştır.



Şekil 31: 1400°C, 1500°C, 1600°C, 1650°C, 1700°C, 1800°C ve 1890°C’de 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıl işlem görmüş YZ7D malzemelerine ait XRD paternleri (○: α - Si_3N_4 , Δ : β - Si_3N_4 , ●: α -SiAlON, \blacktriangle : β -SiAlON, \blacktriangleright : Al_2O_3 , \blacktriangleleft : Y_2O_3 , \diamond : AlN, \blacklozenge : TiN, \square : Si_2N_2O , \blacksquare : $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG- Yttrium alüminyum oksit), \blacksquare : $Y_5Si_3O_{12}N$ (Yttrium silikon oksinitrit), \blacksquare : Y_2SiO_5 (Yttrium Silikat X_1 tipi).

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ



Şekil 32. 1400°C, 1500°C, 1600°C, 1650°C, 1700°C, 1800°C ve 1890°C’de 5 bar gaz basıncı altında 5 dakika ısıtılmış YZ7M malzemelerine ait XRD paternleri (○: α -Si₃N₄, Δ: β -Si₃N₄, ●: α -SiAlON, ▲: β -SiAlON, ►: Al₂O₃, ◄: Y₂O₃, ◇: AlN, ◆: TiN, □: Si₂N₂O, ■: Y₃Al₅O₁₂ (YAG- Yttrium alüminyum oksit), ◻: Y₅Si₃O₁₂N (Yttrium silikon oksinitrit), ⊠: Y₂SiO₅ (Yttrium Silikat X₁ tipi).

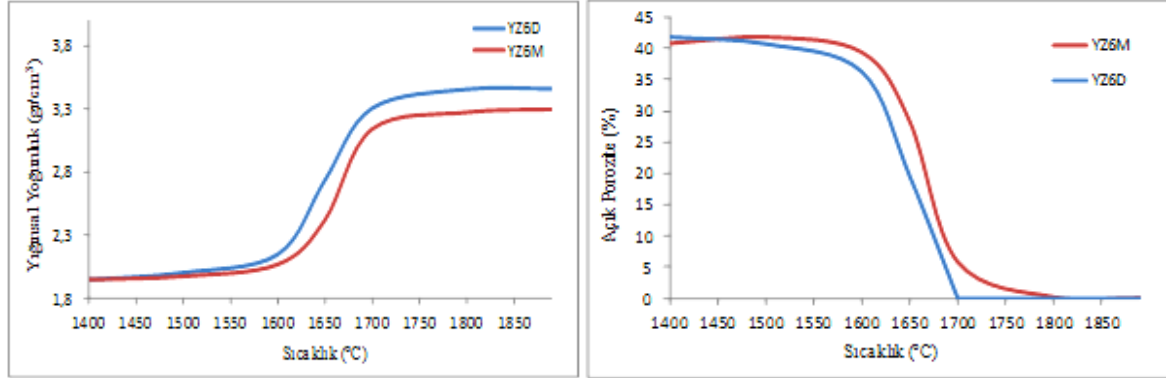
Tablo 13: 1400°C, 1500°C, 1600°C, 1650°C, 1700°C, 1800°C ve 1890°C’de gerçekleştirilen ısıtım işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M numunelerinde gerçekleşen faz gelişimi.

	YZ7D							YZ7M						
	1400°C	1500°C	1600°C	1650°C	1700°C	1800°C	1890°C	1400°C	1500°C	1600°C	1650°C	1700°C	1800°C	1890°C
α -Si ₃ N ₄	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
β -Si ₃ N ₄	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
α -SiAlON	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
β -SiAlON	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+
Al ₂ O ₃	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-
Y ₂ O ₃	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
Y ₃ Al ₅ O ₁₂	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Y ₅ Si ₃ ON	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
Y ₂ SiO ₅	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
AlN	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
TiN	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Si ₂ N ₂ O	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Politip Faz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

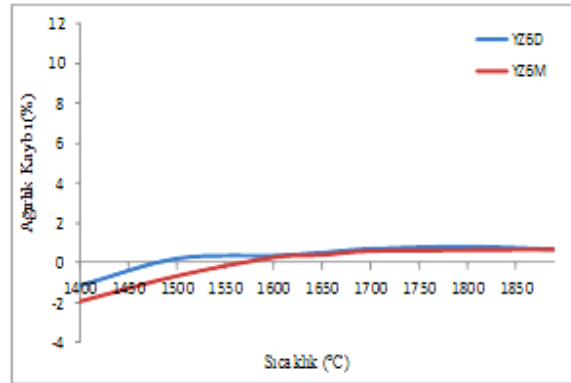
Tablo 14: 1400°C, 1500°C, 1600°C, 1650°C, 1700°C, 1800°C ve 1890°C’de gerçekleştirilen ısıtım işlem sonrasında YZ7D ve YZ7M numunelerinin yoğunlaşma davranışı

	1400°C		1500°C		1600°C		1650°C		1700°C		1800°C		1890°C	
	YZ7D	YZ7M	YZ7D	YZ7M	YZ7D	YZ7M	YZ7D	YZ7M	YZ7D	YZ7M	YZ7D	YZ7M	YZ7D	YZ7M
B.Y	1.9451	1.9461	2.2202	2.1727	2.1376	2.0558	2.7523	2.4568	3.2987	3.1400	3.4480	3.2730	3.4521	3.2969
A.P.	41.80	40.92	19.52	21.33	38.05	41.04	19.05	27.25	0.00	5.82	0.00	0.18	0.01	0.02
A.K.	+1.12	+1.91	-0.21	+0.64	-0.36	-0.29	-0.51	-0.40	-0.69	-0.60	-0.81	-0.64	-0.67	-0.69



(a)

(b)



(c)

Şekil 33: Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak YZ7D ve YZ7M malzemelerinin (a) Yığınsal Yoğunluk, (b) Açık porozite, (c) Ağırlık kaybı oranları

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Prof.Dr. Nurcan Çalış Açıkbaz’ın yürütücülüğünü yaptığı TÜBİTAK 110M727 nolu, “Süper alaşımların işlenmesine yönelik SiAlON esaslı kesici uçların geliştirilmesi” başlıklı projeden türetilmiştir. Çalışmayı destekleyen TÜBİTAK-Mühendislik Araştırma Grubuna, MDA İleri Teknoloji Seramikleri firmasına ve Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği İleri Teknoloji Malzemeleri Laboratuvarına teşekkür ederiz.

5. KAYNAKÇA

1) Jiang, T., Xue, X. X., Li, Z. F., & Duan, P. N. (2011). High temperature oxidation behavior of electroconductive TiN/O'-Sialon ceramics prepared from high titania slag-based mixture. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 21(12), 2638-2643.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

- 2) Shimada, S., & Kato, K. (2007). Coating and spark plasma sintering of nano-sized TiN on Y- α -sialon. *Materials Science and Engineering: A*, 443(1-2), 47-53.
- 3) Li, W., Zhang, B., Zhuang, H., & Li, W. (2005). Effect of TiN on the corrosion behavior of Y-(α + β)-sialon/TiN materials in hot hydrochloric acidic solutions. *Ceramics international*, 31(2), 277-280.
- 4) Krnel, K., Maglica, A., & Kosmač, T. (2008). β -SiAlON/TiN nanocomposites prepared from TiO₂-coated Si₃N₄ powder. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(5), 953-957.
- 5) Xu, F., Wen, S., Nordberg, L. O., & Ekström, T. (1998). TEM study of Y-doped α -SiAlON composite with 10 vol% TiN particulates. *Materials Letters*, 34(3-6), 248-252.
- 6) Xu, J., Zhang, B., Li, W., Zhuang, H., & Jiang, G. (2006). Pressureless sintering of TiN/Y-(α / β)-sialon ceramics from SHS powder. *Ceramics international*, 32(5), 599-602.
- 7) Duan, R. G., Roebben, G., Vleugels, J., & Van der Biest, O. (2006). Optimization of microstructure and properties of in situ formed β -O-sialon-TiN composite. *Materials Science and Engineering: A*, 427(1-2), 195-202.
- 8) Lenčič, Z., Šajgalik, P., Toriyama, M., Brito, M. E., & Kanzaki, S. (2000). Multifunctional Si₃N₄/(β -SiAlON+ TiN) layered composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 20(3), 347-355.
- 9) Yang, J., Xue, X., Jiang, T., Xie, P., & Wang, M. (2006). Preparation of in-situ TiO₂/O'-Sialon multiphase ceramics by selective-oxidation. *Ceramics international*, 32(5), 533-538.
- 10) Ekström, T., & Olsson, P. O. (1994). β -SiAlON ceramics with TiN particle inclusions. *Journal of the European Ceramic Society*, 13(6), 551-559.
- 11) Hong, F., Lumby, R. J., & Lewis, M. H. (1993). TiN/Sialon composites via in-situ reaction sintering. *Journal of the European Ceramic Society*, 11(3), 237-239.
- 12) Vleugels, J., Jiang, D. T., & Van der Biest, O. (2004). Development and characterisation of SiAlON composites with TiB₂, TiN, TiC and TiCN. *Journal of materials science*, 39(10), 3375-3381.
- 13) Ayas, E., Kara, A., Mandal, H., TURAN, S., & KARA, F. (2004). Production of α - β SiAlON-TiN. *Silicates industriels*, (7-8), 287-292.
- 14) Ayas, E., & Kara, A. (2011). Novel electrically conductive α - β SiAlON/TiCN composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 31(5), 903-911.
- 15) Liu C.-C., & Huang J.-L. (2000). Micro-electrode discharge machining of TiN/Si₃N₄ composites. *British Ceramic Transactions*, 99(4), 149-152.
- 16) Zivkovic, L., Nikolic, Z., Boskovic, S., & Miljkovic, M. (2004). Microstructural characterization and computer simulation of conductivity in Si₃N₄-TiN composites. *Journal of alloys and compounds*, 373(1-2), 231-236.
- 17) Petrovski, V. (1994). Dielectric properties and thermal conductivity of sialon with titanium additives. In *Key Engineering Materials* (Vol. 89, pp. 455-460). Trans Tech Publications.
- 18) Zivkovic, L. M., Nikolić, Z. M., & Boskovic, S. M. (2002). Electrical properties and percolation concentration in Si₃N₄-TiN based composites. *Key Engineering Materials*, 206, 1489-1492.
- 19) Gao, L., Li, J., Kusunose, T., & Niihara, K. (2004). Preparation and properties of TiN-Si₃N₄ composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 24(2), 381-386.
- 20) Bošković, S., Sigulinski, F., & Živković, L. (1999). Liquid-Phase Sintering and Properties of Si₃N₄-TiN Composites. *Journal of Materials Synthesis and Processing*, 7(2), 119-126.
- 21) Lee, B. T., Yoon, Y. J., & Lee, K. H. (2001). Microstructural characterization of electroconductive Si₃N₄-TiN composites. *Materials Letters*, 47(1-2), 71-76.
- 22) Kawano, S., Takahashi, J., & Shimada, S. (2002). Highly electroconductive TiN/Si₃N₄ composite ceramics fabricated by spark plasma sintering of Si₃N₄ particles with a nano-sized TiN coating. *Journal of Materials Chemistry*, 12(2), 361-365.
- 23) Duan, R. G., Roebben, G., Sarbu, C., Vleugels, J., & Van der Biest, O. (2002). Microstructural differences in silicon nitrides with and without a small amount of TiN additive. *Key Engineering Materials*, 206(II), 1181-1184.

SiAlON-TiN ÜRETİMİNDE TOZ KARIŞTIRMA İŞLEMLERİNİN FAZ ve MİKROYAPI GELİŞİMİNE ETKİSİ

- 24) Tian, C., Jiang, H., & Liu, N. (2011). Thermal shock behavior of Si₃N₄-TiN nanocomposites. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29(1), 14-20.
- 25) Duan, R. G., Roebben, G., Vleugels, J., & Van der Biest, O. (2005). Effect of TiX (X= C, N, O) additives on microstructure and properties of silicon nitride based ceramics. *Scripta materialia*, 53(6), 669-673.
- 26) Acikbas, N. C., & Demir, O. (2013). The effect of cation type, intergranular phase amount and cation mole ratios on z value and intergranular phase crystallization of SiAlON ceramics. *Ceramics International*, 39(3), 3249-3259.
- 27) Acikbas, N. C., Tegmen, S., Ozcan, S., & Acikbas, G. (2014). Thermal shock behaviour of α : β -SiAlON-TiN composites. *Ceramics International*, 40(2), 3611-3618.
- 28) Acikbas, N. C., & Kara, F. (2017). The effect of z value on intergranular phase crystallization of α/β -SiAlON-TiN composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 37(3), 923-930.
- 29) Acikbas, N. C. (2018). Tribological behavior of α/β -SiAlON-TiN composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 38(5), 2279-2288.
- 30) Xu, X., Oliveira, M., & Ferreira, J. M. (2003). Effect of solvent composition on dispersing ability of reaction sialon suspensions. *Journal of colloid and interface science*, 259(2), 391-397.
- 31) Reis, P., Davim, J. P., Xu, X., & Ferreira, J. M. F. (2005). Tribological behaviour of colloiddally processed sialon ceramics sliding against steel under dry conditions. *Tribology Letters*, 18(3), 295-301.
- 32) Lü, Z. J., Ai, X., & Zhao, J. (2004). Preparation of Agglomerate-Free Starting Powders for TiCp-Reinforced β -Sialon Nanocomposites. In *Materials Science Forum* (Vol. 471, pp. 282-286). Trans Tech Publications.
- 33) Eser, O., & Kurama, S. (2010). The effect of the wet-milling process on sintering temperature and the amount of additive of SiAlON ceramics. *Ceramics International*, 36(4), 1283-1288.
- 34) Rabe, T., & Linke, D. (1992). Attrition milling of silicon nitride powder under conditions for minimal impurity pickup. *Ceramics international*, 18(3), 161-166.
- 35) Huang, Y., Dai, J. Q., Xie, Z. P., Ma, T., Yang, J. L., & Ma, J. T. (2003). Effects of liquid medium and ball-milling on the surface group and aqueous dispersibility of Si₃N₄ powder. *Journal of the European Ceramic Society*, 23(6), 985-990.
- 36) Tapasztó, O., & Balázs, C. (2010). The effect of milling time on the sintering kinetics of Si₃N₄ based nanocomposites. *Ceramics International*, 36(7), 2247-2251.
- 37) Naito, M., Okumiya, M., Abe, H., & Kondo, A. (2010). Powder processing issues for high quality advanced ceramics. *KONA Powder and Particle Journal*, 28, 143-154.
- 38) Mandal, H., & Acikbas, N. C. (2013). Processing, characterization and mechanical properties of SiAlONs produced from low cost β -Si₃N₄ powder. *KONA Powder and Particle Journal*, 30, 22-30.
- 39) Özcan, S., Açıkbaş, G., Özbay, N., & Açıkbaş, N. Ç. (2017). The effect of silicon nitride powder characteristics on SiAlON microstructures, densification and phase assemblage. *Ceramics International*, 43(13), 10057-10065.
- 40) Shuba, R., & Chen, I. W. (2006). The Effect of Powder Mixing Procedures on α -SiAlON. *Journal of the American Ceramic Society*, 89(3), 1110-1113.
- 41) Herrmann, M., Höhn, S., Microstructure Formation in α/β -SiAlON-Material During Sintering, International Conference on Nitrides and Related Materials (ISNT 2009).

HIERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

HIERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

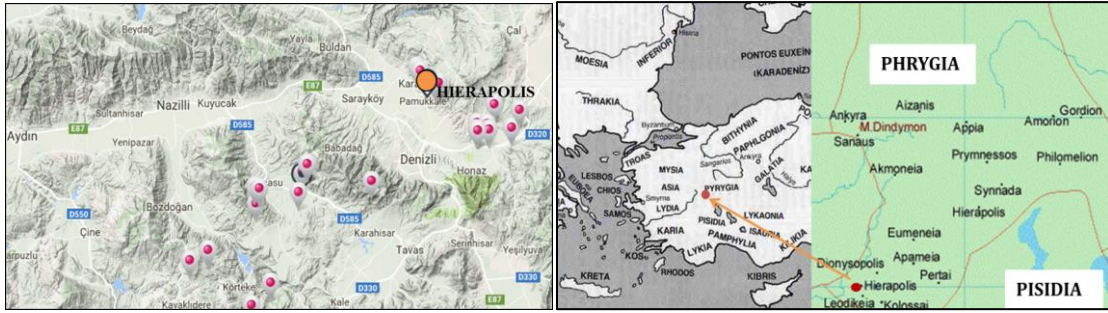
Ramazan Hacimustafaoğlu

Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Doğal Yapı Taşları Teknolojisi, İzmir, Torbalı

ramazan@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Hierapolis, ülkemizin dünyaca bilinen önemli antik kentlerinden biridir. Hierapolis, (Yunanca: Ἱεράπολις 'kutsal şehir') Pamukkale (Denizli) yakınlarında bulunan bir antik kenttir (Şekil 1.1). Diğer taraftan, antik coğrafyacı Strabon ile Ptolemaios verdikleri bilgilerde, Karia bölgesine sınır olan Laodikeia ve Tripolis kentlerine yakınlığı ile Hierapolisin bir Frigya kenti olduğunu ileri sürmektedir (Şekil.1.2). (<http://www.arkeolojijdunyasi.com>, 2016). Antik kentin günümüze kadar ulaşabilmiş olmasının tartışmasız temel nedeni, ana yapı malzemesi olarak, farklı kökene sahip mermer ve doğaltaş türlerinin kullanılmış olmasıdır. Doğal taşlar, bu kentlerin günümüze kadar kalıcılığını sağlayan en önemli materyal olmuştur.



Şekil 1.1: Antik kent lokasyon haritası.

Şekil 1.2: Frigya bölgesi

Günümüzden antik kentlere baktığımızda, birinci malzeme olarak kullanılan farklı özelliklerdeki doğaltaşlar, şehir ve insanlarla birlikte, kentlerin kendine özgü karakterlerini oluşturmuştur. Bu bağlamda, antik kentlerde kullanılan doğaltaş türlerini ve özelliklerini tanımlamak, arkeolojik açıdan önemli olduğu kadar, jeolojik bakımdan da son derece değerlidir. Kullanılan farklı doğaltaş türleri, arkeoloji disiplini yönünden kentin tarihini sosyolojik yapısını anlamada önemli veriler sağlamakla birlikte, diğer taraftan, kent-çevre jeolojisi ilişkisi, mermer üretimi yapılan formasyonlar, üretim teknikleri ve değişik kullanım alanları ile jeoloji perspektifinden günümüze ışık tutacak nitelikte katkılar sağlar.

Bu amaçla, antik kente kullanılan mermer ve doğaltaşlar kökensel özellikleri ve özgün nitelikleri bakımından, karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Antik kente ait mermer ve doğaltaşların sınıflandırılmasında, metodolojik bir inceleme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde, toplanan her bir mermer ve doğaltaş örneği için, makro litolojik özellikler, detay petrografik ve kimyasal nitelik parametreleri kullanılmıştır. Olympus-Bx41TF polarizan mikroskop kullanılarak örneklerin detaylı petrografik analizleri yapılmıştır. TS EN 12407 doğaltaşlar deney metotları petrografik inceleme standardına uygun olarak yapılan çalışmada, doğaltaşların dokusal özellikleri ve mineral bileşimleri belirlenmiştir. Ayrıca kristal topluluğu şekli, boyut dağılımı ve tane sınır geometrisi sınıflandırması için Passchier ve Trouw, 1996'dan yararlanılmıştır. Ayrıca, ilk kez bu çalışma kapsamında geniş olarak iki yöntem uygulanmıştır.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Birincisi, doğaltaşların kristal boyutlarını sınıflandırmak için bilinen bazı referans kristalin mermer örnekleri seçilmiştir. Bilgisayarlı görüntü analiz yöntemi ile polarizan mikroskop kullanılarak mermerlerin tane boyutları ölçülmüş ve elde edilen veriler işlenerek, kristal tane boyut skalası oluşturularak, Hierapolis antik kentinde kullanılan kristalin mermer türleri ve diğer doğaltaş tiplerinin tane boyut sınıflandırması saptanmıştır (Hacımustafaoğlu, 2017,2019). İkincisi ise doğaltaşların kimyasal analizleri için Inductively coupled plasma –mass spectrometry (ICP-MS) yönteminin yanında yeni bir yöntem olarak yerinde ve elde edilen numuneler üzerinde Handheld Portatif XRF/X-Ray Fluorescence Analyzers kullanılmıştır (P-XRF). Bu yöntemle elde edilen kimyasal analiz sonuçları ICP-MS sonuçları ile karşılaştırılmış ve yöntemin uygulanabilirliği belirlenmiştir. Antik kentte kullanılan doğaltaşların karakteristikleri için, köken, cins, kristal boyutu ve tür değişkenleri ile mermer/doğaltaş tipi biçimde bir sınıflandırma yapılmıştır.

Hierapolis antik kentinde kullanılan doğal taşlar yaygın olarak, metamorfik kökenli beyaz renkli, orta tane boyutuna sahip kristalin mermer ile, sedimenter kökenli çok ince taneli mikrokristalin kalsit ve fosil tanelerden oluşan değişik renkte kireçtaşı ile farklı renk ve desenlerde traverten türlerinden oluşmaktadır. Breşik çakıltası ve kalkerli kumtaşı özelliğinde olan doğaltaş türleri daha az oranda antik kente kullanılmıştır (Şekil.1.3).



Şekil.1.3: Hierapolis antik kentinde mermer/doğaltaş kullanım örnekleri (a-l)

Buna göre Hierapolis'te 26 tür belirlenmiştir. Kullanılan tür mermer/doğaltaşların tamamına yakını karbonat kaya bileşimlidir. Yüzyıllarca yaşamış bu kent taş kullanım tercihini, kesme, işleme, şekillendirme bakımından daha zor olan sert mermerlerden ziyade yumuşak mermerlerden yana kullanmıştır. Bu noktada antik kent çevresinin jeolojik yapısı, mermer ocak kaynağı ve mermer üretim havzası, birinci derecede etkin faktör olarak tespit edilmiştir.

2. HİERAPOLİS

2.1. Antik Kent Tarihi

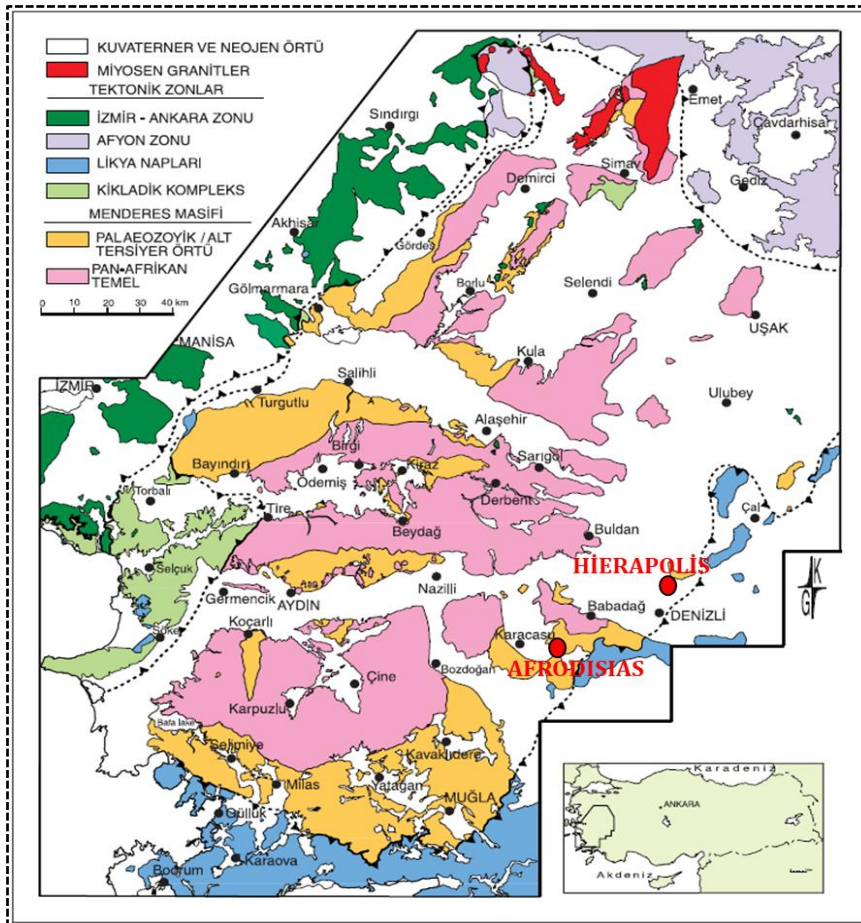
Denizli ilinin 18 km. kuzeyinde yer alan Hierapolis antik kentinin Arkeoloji literatüründe “Holy City” yani Kutsal Kent olarak adlandırılması, kentte bilinen birçok tapınak ve diğer dinsel yapının varlığından kaynaklanmaktadır. Kentin hangi eski coğrafi bölgede yer aldığı tartışılır.

HIERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Hierapolis coğrafi konumu ile kendisini çevreleyen çeşitli tarihi bölgeler arasında yer almaktadır. Antik coğrafyacı Strabon ile Ptolemaios verdikleri bilgilerde, Karia bölgesine sınır olan Laodikeia ve Tripolis kentlerine yakınlığı ile Hierapolisin bir Frigya kenti olduğunu ileri sürerler. Antik kaynaklarda, kentin Hellenistik dönem öncesi adı ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır. Hierapolis olarak adlandırılmadan önce kentte bir yaşamın var olduğunu Ana Tanrıça kültünden dolayı biliyoruz. Kentin kuruluşu hakkında bilgilerin kısıtlı olmasına karşın; Bergama Krallarından II. Eumenes tarafından MÖ. II. YY. başlarında kurulduğu ve Bergamanın efsanevi kurucusu Telephosun karısı Amazonlar kraliçesi Hieradan dolayı, Hierapolis adını aldığı bilinmektedir. Hierapolis, Roma İmparatoru Neron dönemindeki (MS. 60) büyük depreme kadar, Hellenistik kentleşme ilkelerine bağlı kalarak özgün dokusunu sürdürmüştür. Büyük Menderes Grabenini sınırlayan aktif fay zone üzerinde bulunan kent, Neron dönemi depreminden büyük zarar görmüş ve tamamen yenilenmiştir. Üst üste yaşadığı bu depremlerden sonra kent, tüm Hellenistik niteliğini kaybetmiş, tipik bir Roma kenti görünümünü almıştır. Hierapolis Roma döneminden sonra Bizans döneminde de çok önemli bir merkez olmuştur. Bu önem, MS. IV. yüzyıldan itibaren Hıristiyanlık merkezi olması (metropolis), MS. 80 yıllarında, Hz. İsa'nın havarilerinden olan, Aziz Philip'in burada öldürülmesinden kaynaklanmaktadır. Hierapolis, XII. yüzyıl sonlarına doğru Türklerin eline geçmiştir (Denizli İl Kültür Turizm Müdürlüğü, 2015).

2.2. Genel Jeoloji

Hierapolis antik kentini içinde bulunduran çalışma alanı, Büyük Menderes Grabeninin kuzey kenarında içerisinde yer alır (Şekil 2.1).

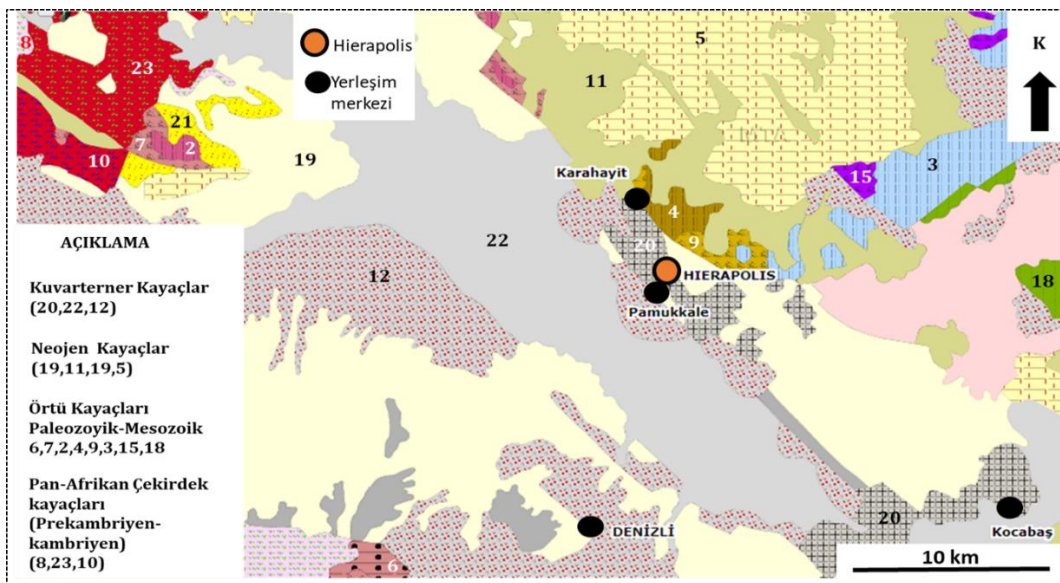


Şekil 2.1: Menderes Masifinin bölgesel jeolojik yapı içindeki genelleştirilmiş jeolojik haritası(Candan ve diğ. 2011), Hierapolis antik kentinin yeri.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz Grabenleri, Ege Bölgesinin büyük bölümünü kapsayan Menderes Metamorfik Masifi içinde gelişmiş en önemli çöküntü alanlarıdır. Başlıca doğu-batı yönünde uzanım gösteren bu çöküntü alanları, her iki yanı faylarla sınırlanmış simetrik grabenleri oluşturur. Şaroğlu (1987), Şengör (1987), ile Sözbilir ve diğ. (2001), doğu-batı uzanımlı Ege graben sistemlerinin, Geç Miyosen döneminden buyana Batı Anadolu'yu etkileyen Kuzey-Güney yönlü çekme kuvvetlerinin etkisi altında geliştiğini belirtirler. Barka ve diğ. (1995), Ege Bölgesinin kuzey-güney yönünde yılda 3cm'ye ulaşan bir hızla genişlediğini belirtirler. Batı Anadolu'da kuzey-güney doğrultusunda meydana gelen bu hızlı genişleme, Ege Grabenlerini sınırlayan Doğu-Batı uzanımlı normal fayların aktif olmasını sağlayan en önemli nedenlerin başında gelir. Büyük Menderes Grabeni, doğu-batı yönünde 180 km uzunluğa ve 10-20 km arasında değişen genişliğe sahip, Batı Anadolu'nun en önemli çöküntü alanlarından biridir. Büyük Menderes Grabenini, kuzeyden ve güneyden sınırlayan normal faylar, bazı alanlarda kuzey-güney uzanımlı doğrultu atımlı faylarla kesilmiştir. Grabeni sınırlayan D-B uzanımlı normal faylar, çoğu yerde birbirine koşut gelişmiş basamaklı yapı özelliği gösteren aktif fay sistemlerinden yapılıdır. Sözbilir ve diğ. (2001), grabeni sınırlayan fayların Geç Miyosenden bu yana aktif olduğunu belirtir. Büyük Menderes Grabeninin doğu bölümünü oluşturan Denizli ovası Neojen yaşlı karasal tortulların yanı sıra, Kuvaterner yaşlı traverten oluşukları ve alüvyonlar tarafından doldurulan bir çöküntü ovasıdır. Beyaz renkli travertenleri ile ünlü Pamukkale ve Hierapolis antik kentleri bölgede KB-GD yönünde uzanım gösteren Denizli grabeninin kuzey kenarında yer alır. Pamukkale ve Hierapolis antik kentlerinin yakın çevresinde yer alan güncel travertenleri ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı kırıntılı tortulları kesen, KB-GD uzanımlı faylara bağlı olarak, bazı kesimlerde topografyada yanal olarak izlenebilen eşikler gelişmiştir. Bu faylara bağlı gelişen eşiklerin varlığı, Büyük Menderes grabenini kuzeyden sınırlayan fayların diri ve aktif olduğunu göstermesi bakımından önemlidir. Diğer taraftan, güncel traverten, alüvyonal yelpaze ve birikinti koni oluşuklarının grabenin kuzey kenarında daha yaygın olması ve bunun yanısıra deprem episant merkezlerinin daha çok grabenin kuzey kenarı boyunca dizilmiş olması, Büyük Menderes grabenini kuzeyden sınırlayan fayların, güneyde bulunan faylara göre daha aktif olduğunu gösterir.

Hierapolis antik kentinin bulunduğu alan, tümüyle Büyük Menderes grabeninin kuzeyinde bulunan Neojen yaşlı karasal birimler ile bunları üstleyen traverten, alüvyonal yelpaze ve akarsu tortulları üzerinde yer almaktadır. Bölgede geniş yayılım gösteren Neojen yaşlı karasal tortullar, alttan üste doğru fluvial ve gölsel tortullardan yapılıdır. Neojen karasal istifinin en altında bulunan fluvial tortullar egemen olarak yersel çapraz katmanlı çakıtaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından yapılıdır. Neojen istifinin üst bölümünde yer alan gölsel tortullar büyük bölümü ile kalkerli çamurtaşı, kilaşı, marn, killi kireçtaşı ile bunlara eşlik eden traverten ve gözenekli kireçtaşlarından yapılıdır (Şekil 2. 2).

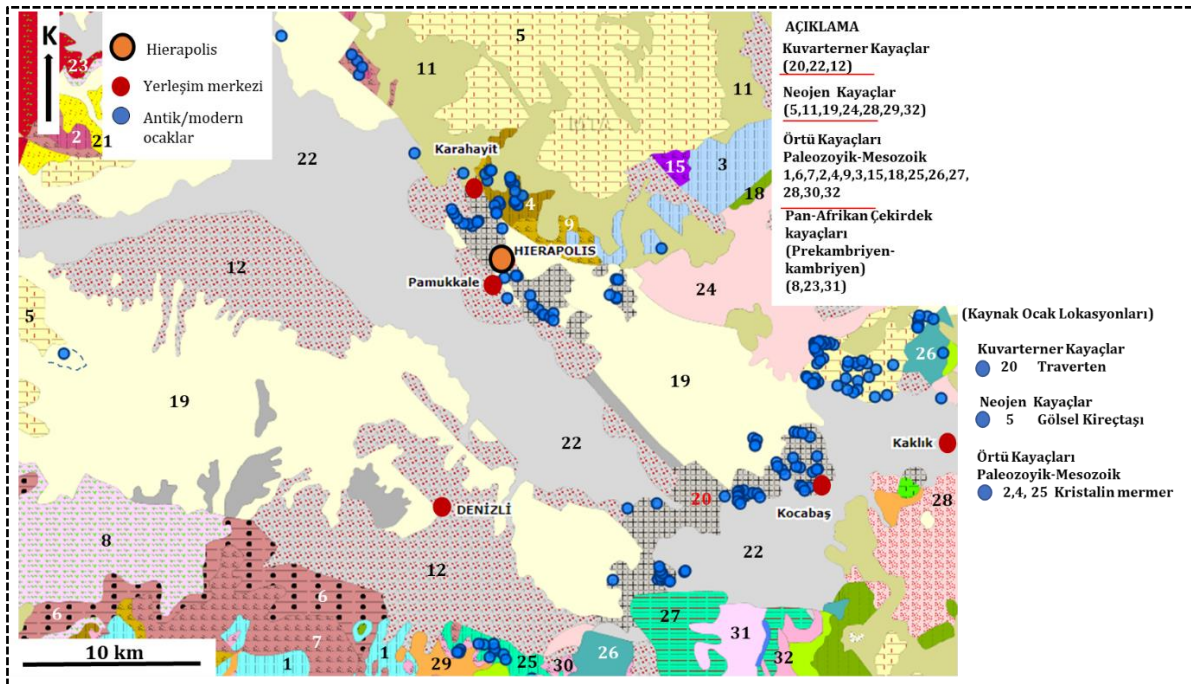


Şekil 2.2: Hierapolis antik kenti ve yakın çevresinin 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası üzerindeki konumu (MTA,2019).

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

2.2.1. Hierapolis Çevresinde Bulunan Mermer Ocakları

Hierapolis antik kentinde kullanılan mermer/doğaltaşlar metamorfik ve sedimenter kökenlidir. Metamorfik kökenli olan doğaltaş tipleri kristalin mermer cinsidir. Bu mermerler, orta tane boyutuna sahip, genellikle beyaz, beyaz-gri, grimsi renk değişkenliklerine sahiptir. Temel olarak kalsit mineralinin oluşturduğu bu tip mermerler ortalama %98-100 arasında kalsiyum karbonat bileşimine sahiptir. Sedimenter kökenli olan doğaltaş tipleri ise traverten, kireçtaşı, breşik çakıltası ve kumtaşı cinsidir. Traverten cinsi mermerler çok ince kristal boyutuna sahip olup, renkleri beyaz, sarımsı beyaz, beyazımsı-krem(bej), beyazımsı-açık kırmızı, sarı-sarımsı bej, kahverengi renk aralığında değişmektedir. Mikrokristalin kalsit bileşime sahip, çok ince kristalli olan kireçtaşı cinsi mermerler ise, beyazımsı açık krem (light bej-açık bej) ve sarımsı renklidir. Breşik konglomeratik çakıltası ve kumtaşı cinsi mermerler ise kırmızımsı-beyaz ve sarımsı-beyaz damarlı renklidir. Antik kentin çevresinde çok sayıda antik ve modern mermer ocakları mevcuttur. Bu mermer ocakları, Pamukkale, Karahayit, Kocabaş, Kaklık ve Denizli güneyinde yoğunlaşmıştır. Mermer ocak lokasyonlarının bir kısmı, Menderes Masifi'nin çekirdek ve örtü serisi içerisinde yer alan Paleozoik (Permo-Karbonifer) ve Mezozoik (Trias-Jura-Kretase) yaşlı kristalin mermer litolojisi içerisinde bulunmaktadır. Mermer ocaklarının diğer bir bölümü ise Neojen (Üst Miosen) yaşlı gösel kireçtaşları ve Kuvarterner yaşlı traverten litolojisinde yer alır. Bu litolojiler içerisinde koordinatlı olarak yerleştirilen antik/modern mermer ocakları kentin mermer/doğaltaş kaynak havuzunu oluşturur (Şekil 2.3). Hierapolis antik kenti yakın çevresine uydu haritası üzerinden bakıldığında Kuzeybatı ve Güneydoğuda, doğaltaş/mermer kaynak ocak havuzu içerisinde yer alan yakın mesafede çok sayıda ocak lokasyonu bulunmaktadır (Şekil 2. 4-5). Kent çevresindeki bu antik/modern ocak lokasyonları kristalin mermer, traverten ve kireçtaşı cinsi doğaltaşlardır (Şekil 2.6). Hierapolis antik kentinin yakınında zengin kaliteli traverten, kireçtaşı ve kristalin mermer cinsi kaynak ocakları mevcuttur. Bu nedenle kent için genellikle otokton (yakın çevreden) doğaltaş kullanımı baskın olup, çevre jeoloji taş kullanım tercihinde etkin olmuştur.

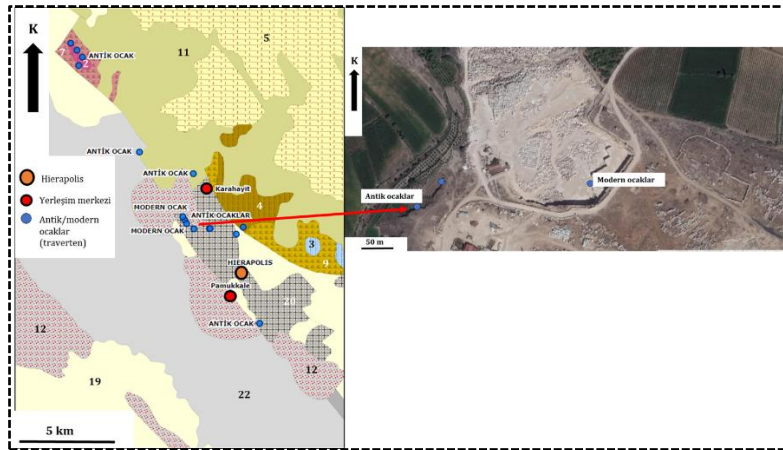


Şekil 2.3: Hierapolis antik kenti çevresindeki antik/modern mermer ocaklarının 1/ 500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası üzerindeki konumu(MTA)

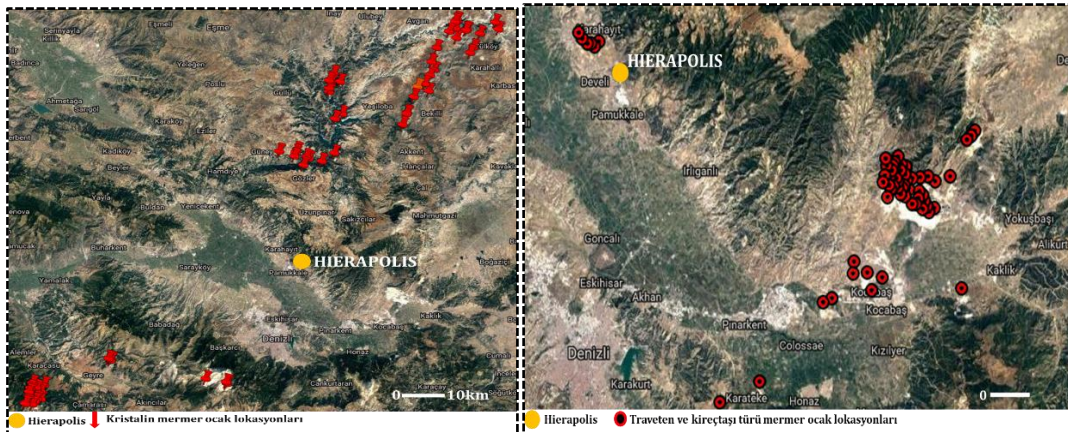
HIERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



Şekil 2.4: Hierapolis antik kenti Güneybatısında traverten cinsi antik/modern mermer ocaklarının uydu görüntüsü üzerindeki konumları.



Şekil 2.5: Hierapolis antik kenti yakın çevresinde yer alan traverten cinsi antik mermer ocaklarının jeolojik ve uydu görüntüsü konumu.



Şekil 2.6: Hierapolis antik kenti yakın çevredeki kristalin mermer türü antik/modern mermer ocakları uydu görüntüsü (İMİB,2018).

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

2.3. Hierapolis Kentinde Kullanılan Doğal Taşların Petrografik Özellikleri

2.3.1. Litolojik Özellikler

Hierapolis antik kenti 1,2,3,4,5,6 nolu tip doğaltaşlar, bütünüyle beyaz taze yüzey rengine sahiptir. Makroskobik olarak belirgin bir yönlenme gözlenemeyen bu mermer cinsleri, monokromatik ve heteroblastik doku özelliğindedir. Kristalleri gözle seçilebilen tip doğaltaşlar orta tane boyutuna sahiptir. Kristalin mermer cinsi metamorfik kayaç grubunda yer almaktadırlar (Şekil 2.7).

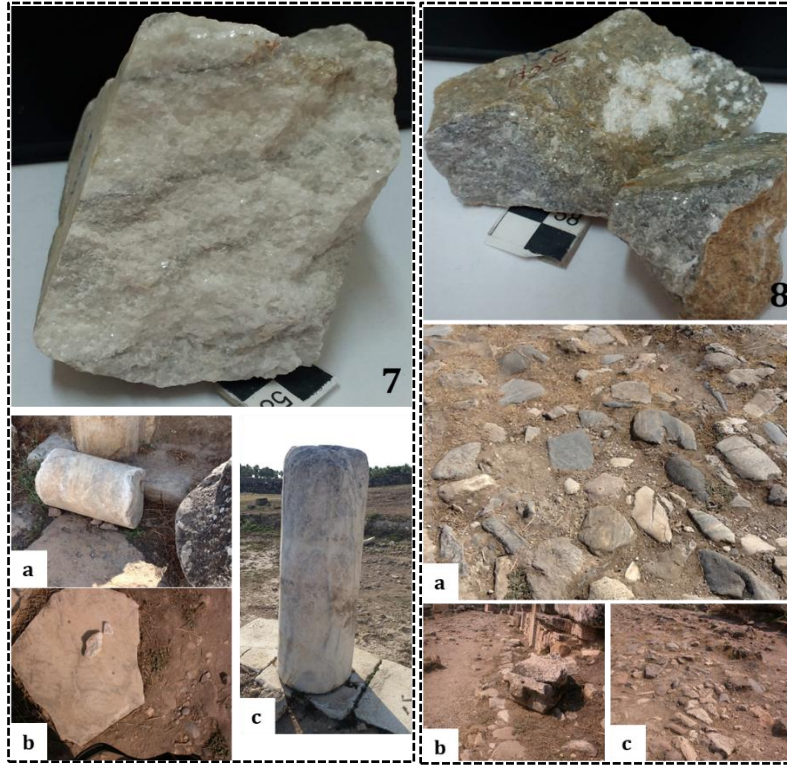


Şekil 2.7: Hierapolis antik kenti 1,2,3,4,5,6 nolu tip doğaltaş beyaz renkli kristalin mermer.

Hierapolis antik kenti 7 nolu tip doğaltaş, beyaz-açık grimsi taze yüzey rengine sahiptir. Grimsi renkli damarlar yaygın olarak gözlenmektedir. Makroskobik olarak belirgin bir yönlenme gözlenemeyen bu mermer cinsi, polikromatik ve heteroblastik doku özelliğindedir. Kristalleri gözle seçilebilen kayaç, orta tane boyutuna sahiptir. Kristalin mermer cinsi metamorfik kayaç grubunda yer almaktadırlar. Hierapolis antik kenti 8 nolu tip doğaltaş, genel olarak grimsi-beyaz taze yüzey rengine sahip olan kayaçta, açık bir yönlenme gözlenmektedir. Kristalleri gözle seçilebilen kayaç heteroblastik

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

doku ve orta kristal boyutuna sahiptir. Monokromatik doğaltaş, kristalin mermer cinsi metamorfik kayalar grubunda yer alır (Şekil.2.8).



Şekil 2.8: Hierapolis antik kenti 7 nolu tip doğaltaş beyaz renkli/gri damarlı kristalin mermer, Hierapolis 8 nolu tip doğaltaş grimsi-beyaz renkli kristalin mermer.

Hierapolis antik kenti 9 nolu tip doğaltaş, sarımsı-beyaz taze yüzey rengine sahiptir. Kayaç içerisinde süreksiz kalsit yığınlarının yanı sıra, yaygın genellikle kırmızımsı-kahve dolgulu ince damarlar gözlenmektedir. Yersel boş gözenekler mevcuttur. Bazılarında demir oksit sıvamaları gözlenmektedir. Bazı bölümlerde laminasyon mevcuttur. İnce taneli monokromatik mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayalar grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 10 nolu tip doğaltaş, beyazımsı-krem(açık-light) taze yüzey rengine sahiptir. Farklı boyutlarda genellikle bağlantısız boş gözenekler mevcuttur. Bazı gözeneklerin iç kenar kısımlarında demir oksit sıvamaları gözlenmektedir. Bazı bölümlerinde laminasyon gözlenmektedir. İnce taneli monokromatik, mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayalar grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 11 nolu tip doğaltaş, beyazımsı taze yüzey rengine sahiptir. Farklı boyutlarda genellikle bağlantılı gözenekler mevcuttur. Gözeneklerin bazıları kalsit dolgulu, bazıları ise boşdur. İnce taneli monokromatik özelliktedir. Mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayalar grubunda yer alır (Şekil 2.9).

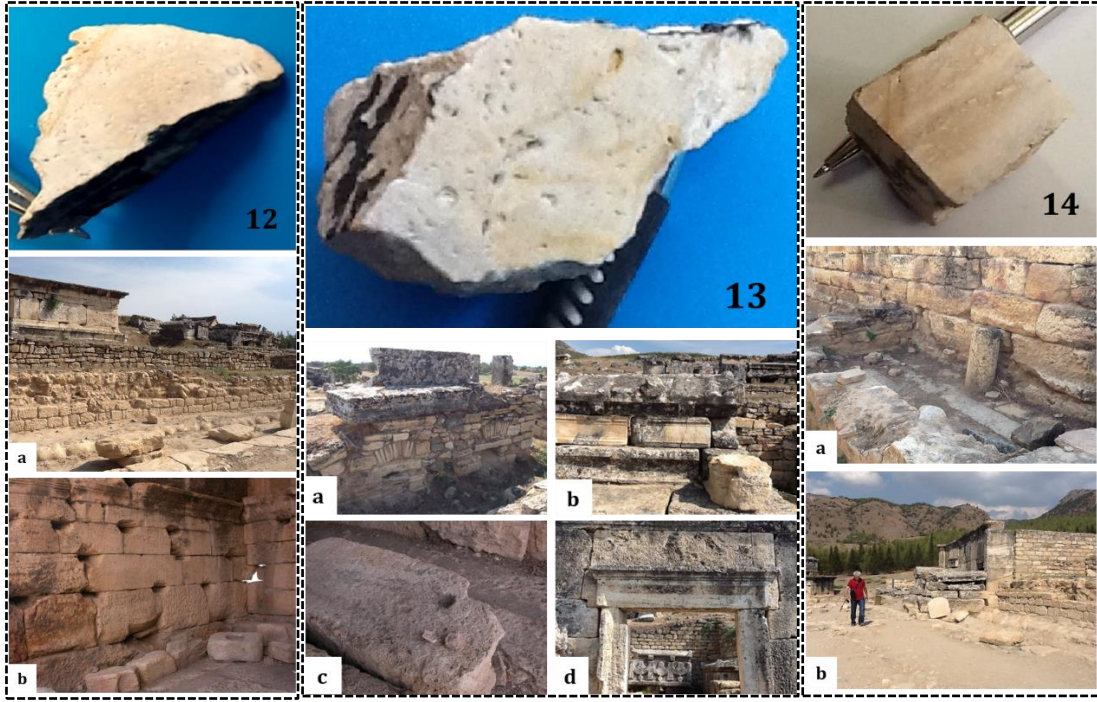
HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



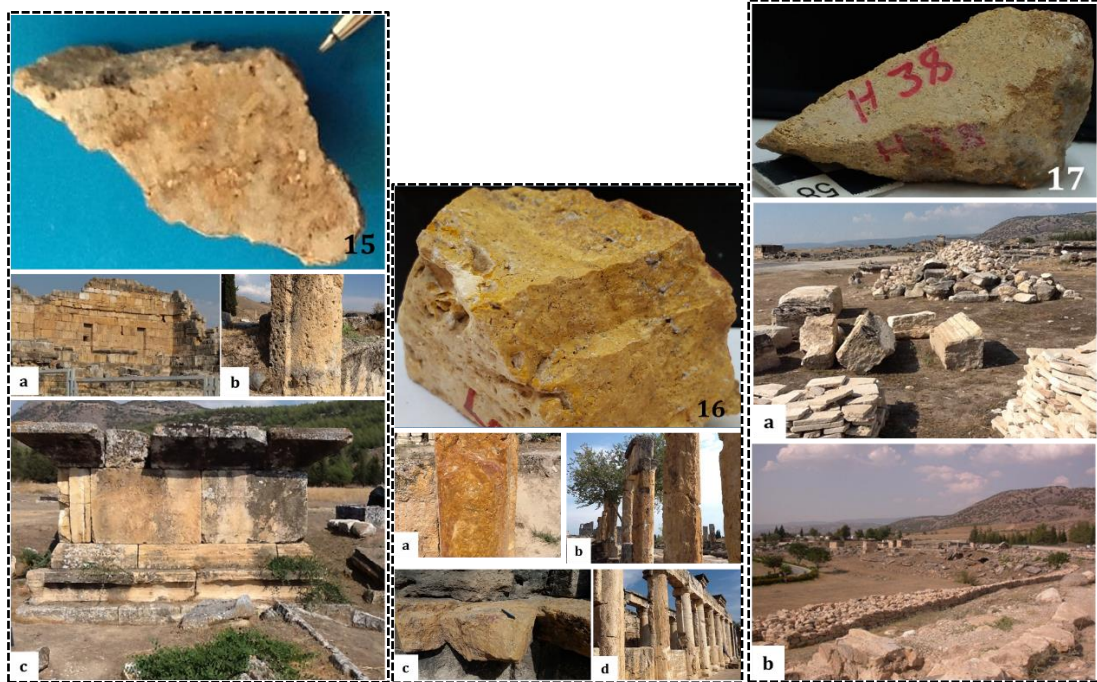
Şekil 2.9: Hierapolis 9 nolu tip doğaltaş, sarımsı-beyaz renkli traverten türü, Hierapolis 10 nolu tip doğaltaş, beyazımsı-krem renkli traverten türü, Hierapolis 11 nolu tip doğaltaş, beyaz renkli traverten türü.

Hierapolis antik kenti 12 nolu tip doğaltaş, beyazımsı-açık kırmızı taze yüzey rengine sahiptir. Küçük farklı boyutlarda gözenekler mevcuttur. Genellikle kalsit, kil ve demiroksit dolgulu gözenekler mevcuttur. Bazıları ise boştur. İnce taneli monokromatik özelliğindedir. Mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 13 nolu tip doğaltaş, beyazımsı-krem (açık-light) taze yüzey rengine sahiptir. Farklı boyutlarda genellikle bağlantılı gözenekler mevcuttur. Gözeneklerin bir kısmı boştur. Bir kısmı ise demir oksit sıvalı kalsit ile dolguludur. İnce taneli monokromatik özelliğindedir. Mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 14 nolu tip doğaltaş, beyazımsı-krem renkli taze yüzey rengine sahiptir. Çok küçük boyutlarda az oranda boş gözenekler mevcuttur. Beyazımsı- kahverengimsi ardalılamalı bakteriyel ritmik laminasyon belirgin olarak gözlenmektedir. Çok ince taneli monokromatik, mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır (Şekil 2.10). Hierapolis antik kenti 15 nolu tip doğaltaş, kahverengi renkli (orta-medium) taze yüzey rengine sahiptir. Boyutları farklı az oranda boş gözenekler mevcuttur. Bazı gözenekler ise kil, kalsit ve demir oksit ile dolguludur. Monokromatik, çok ince taneli, mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 16 nolu tip doğaltaş, sarımsı-kahverengi renkli laminasyon yapısı belirgin olarak gözlenmektedir. Kayaç içerisinde dolgu malzemesi olarak sürekli kalsit yığınlarının yanısıra, bazı gözenek boşluklarında kalsit ile dolguludur. Sülfid alterasyonu ve demiroksit sıvamaları gözlenmektedir. Monokromatik, mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 17 nolu tip doğaltaş, sarımsı-bej (krem) taze yüzey rengine sahiptir. Çok küçük boyutlarda az oranda boş gözenekler mevcuttur. Kalsit, kil ve demiroksit dolgulu gözenek yapısı mevcuttur. Sülfid alterasyonu ve demiroksit sıvamaları gözlenmektedir. Çok ince taneli monokromatik, mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır (Şekil 2.11).

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



Şekil 2.10: Hierapolis 12 nolu tip doğaltaş, beyazımsı-açık kırmızı traverten türü, Hierapolis 13 nolu tip doğaltaş, beyazımsı-krem renkli traverten türü, Hierapolis 14 nolu tip doğaltaş. Beyazımsı-krem renkli traverten türü.

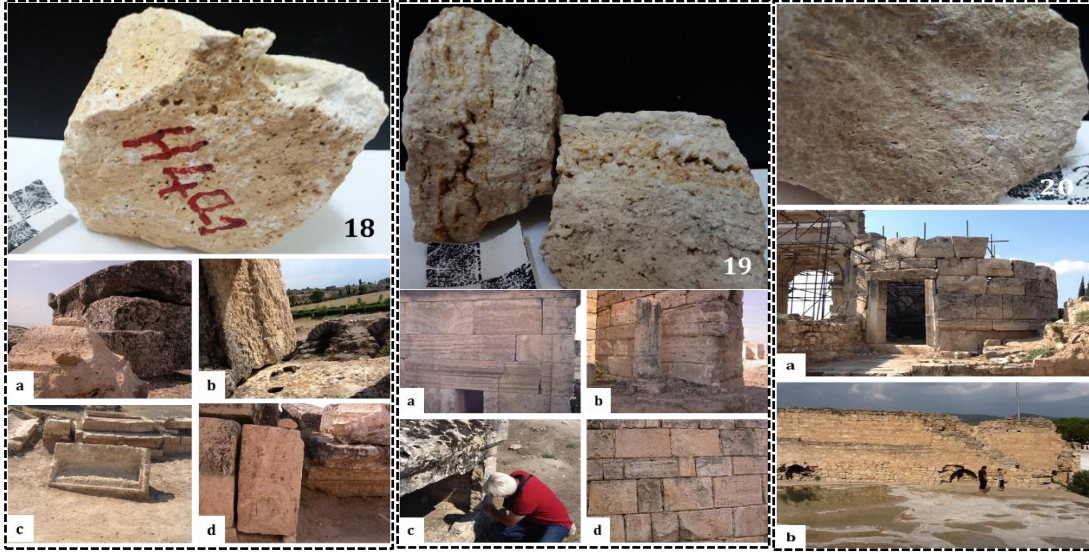


Şekil 2.11: Hierapolis 15 nolu tip doğaltaş, kahverengi renkli traverten türü, Hierapolis 16 nolu tip doğaltaş, sarı renkli traverten türü, Hierapolis 17 nolu tip doğaltaş, sarımsı-bej renkli traverten türü.

Hierapolis antik kenti 18 nolu tip doğaltaş, beyazımsı-bej (krem)- açık-light) taze yüzey rengine sahiptir. Farklı boyutlarda genellikle bağlantısız gözenekler mevcuttur. Gözeneklerin genellikle boşluktur. Taze yüzeyin bir kısmında, boş gözeneklerin bazılarında demir oksit sıvımları

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

mevcuttur. Çok ince taneli monokromatik özelliktedir. Mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 19 nolu tip doğaltaş, beyazımsı bej- kırmızımsı kahve renkli taze yüzey rengine sahiptir. Laminasyon yapısı belirgin olarak gözlenmektedir. Sarımsı-kırmızı-kahverengi renkli demir oksitli düzeyler mikrobiallaminasyona paralel özelliktedir. Farklı boyutlarda genellikle bağlantısız gözenekler mevcuttur. Gözeneklerin genellikle boşlukludur. Gözeneklerin bazılarında demir oksit sıvamaları mevcuttur. Polikromatik, mikroblastik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 20 nolu tip doğaltaş, bej (krem-medium bej) renkli taze yüzey rengine sahiptir. Çok küçük boyutlarda gözenekler mevcuttur. Gözeneklerin bir kısmı kalsit ile dolguludur. Çok ince taneli monokromatik, mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Hierapolis 18 nolu tip doğaltaş, beyazımsı-bej renkli traverten türü, Hierapolis 19 nolu tip doğaltaş, beyazımsı bej-kırmızımsı kahve renkli traverten türü, Hierapolis 20 nolu tip doğaltaş, bej (krem-medium bej) renkli traverten türü.

Hierapolis antik kenti 21 nolu tip doğaltaş, genel olarak açık bej (krem-light bej) renkli taze yüzey rengine sahiptir. Kayaç içerisinde beyaz renkli ortalama 0.5-1 mm kalınlığında çok ince kalsit dolgululu damarlar bulunmaktadır. Taze yüzeyde yersel olarak demiroksit sıvamaları mevcuttur. Çok ince taneli monokromatik doğaltaş, mikrokalsitik kireçtaşı cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 22 nolu tip doğaltaş, genel olarak beyazımsı- açık krem renkli (light bej) taze yüzey renk aralığına sahiptir. Kayaç içerisinde kısmi kalsit dolgululu çatlaklar, çatlak hatları boyunca dolgunsuz gözenekler mevcuttur. Çok ince taneli, monokromatik doğaltaş, mikrokalsitik kireçtaşı cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 23 nolu tip doğaltaş, sarımsı taze yüzey rengine sahiptir. Çok küçük boyutlarda az oranda kalsit dolgululu gözenekler mevcuttur. Taze yüzeyde saçınmış çok ince kuvars kristalleri gözlenmektedir. Sülfid alterasyonla sarımsı renk boyaması ve yersel demiroksit sıvamaları mevcuttur. Çok ince taneli monokromatik, silisik -mikrokalsitik traverten cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır (Şekil 2.13). Hierapolis antik kenti 24 nolu tip doğaltaş, genel olarak açık bej (krem-light bej) renkli taze yüzey rengine sahiptir. Genel olarak çok masif özellikte olan kayaç içerisinde beyaz renkli ortalama 0.5 mm'ye kadar kalınlıkta çok ince damarlar bulunmaktadır. Bu damarlar kalsit dolguludur. Taze yüzeyde yersel demir oksit sıvamaları mevcuttur. Çok ince taneli, monokromatik doğaltaş, mikrokalsitik kireçtaşı cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 25 nolu tip doğaltaş, genelde karışık (mix) kırmızımsı- beyaz renkli taze yüzey rengine sahiptir. Breşik yapıya sahip olan doğaltaşta, kırmızımsı renk, hamur (Çimento-matrix) kısmında, beyaz renk ise çimento içinde bileşen olarak (tane) yer alan kristalin mermer parçalarıdır. Kristalin mermer parçalarının boyutları ortalama 0.5-35 cm boyut aralığına ulaşmaktadır. Demiroksit (hematit?) bileşimli kırmızımsı renkli çimento içerisinde açık renkli saçınmış kuvars kristalleri ve kalsit minerali mevcuttur. Doğaltaş, polikromatik, intraformasyonel breşik çakıltaşı (konglomeratik)

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

cinsi kırıntılı sedimenter kayaç grubunda yer alır. Hierapolis antik kenti 26 nolu tip doğaltaş, bütünüyle sarımsı taze yüzey rengine sahiptir. Genel olarak çok masif özellikte olan kayaç içerisinde beyaz renkli ortalama 3 mm'ye kadar kalınlıkta çok ince çizgisel kalsit dolgulu damarlar mevcuttur. Paralel olarak gelişmiş kırıklar gözlenmektedir. Taze yüzeyde yersel demir oksit sıvamaları ve sülfür alterasyon boyaması mevcuttur. Taneli yapısı belirgin olan kayaçta kuvars ve kalsit mineralleri gözle seçilebilmektedir. Çok ince taneli, monokromatik doğaltaş, karbonat içerikli silisik kumtaşı cinsi kırıntılı sedimenter kayaç grubunda yer alır (Şekil 2.14).



Şekil 2.13: Hierapolis 21 nolu tip doğaltaş, açık bej renkli kireçtaşı türü, Hierapolis 22 nolu tip, beyazımsı-açık(bej) / (light bej) renkli kireçtaşı türü, Hierapolis 23 nolu tip doğaltaş, sarımsı renkli kireçtaşı türü.



Şekil 2.14: Hierapolis 24 nolu tip doğaltaş, açık bej renkli kireçtaşı türü, Hierapolis 25 nolu tip, karışık (mix) kırmızımsı- beyaz breşik çakıltası türü, Hierapolis 26 nolu tip doğaltaş, sarımsı renkli kalkerli kumtaşı türü.

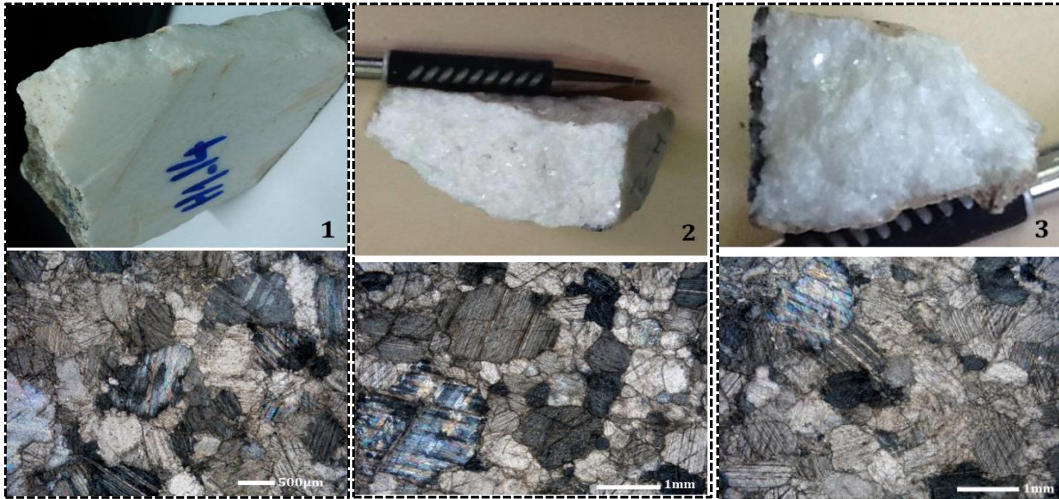
HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

2.3.2. Mikroskopik Özellikler

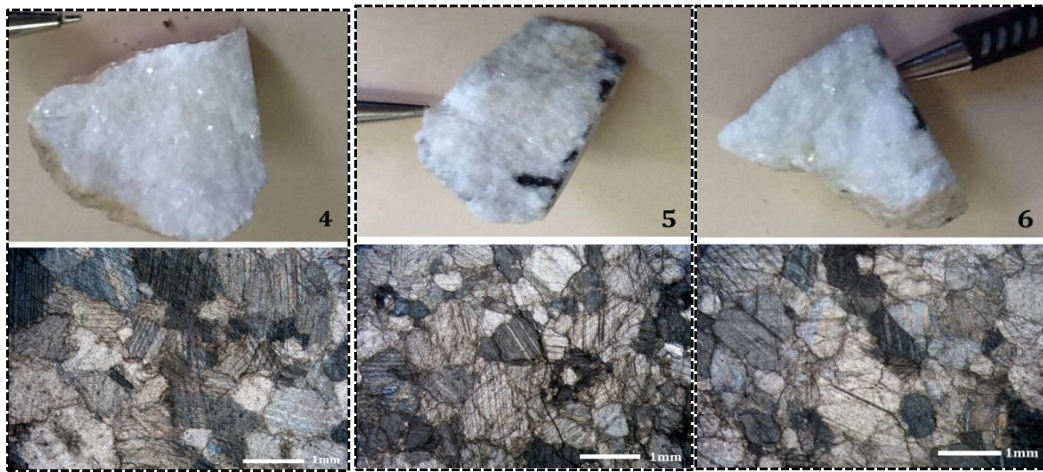
Hierapolis antik kenti 1 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, dört adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesinde, % 100 oranında temel mineral olan kalsitten oluştuğu saptanmıştır. Tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise genel olarak eğrisel sınırlar (interlobate) en yaygındır. Kristalin mermerin dokusu içerisinde, yarı özşekilli (subhedral) kalsit kristalleri, özşekilli (euhedral) kristallerden oransal olarak daha baskındır. Kalsit tanelerinde karakteristik polisentetik ikizlenmeler gözlenmektedir. Deformasyona bağlı olarak kalsit kristallerinde, uzama ve deformasyon ikizleri oluşmuştur. İy yapısı bozulmuş ikiz düzlemleri gözükmeyen tanelerde gözlenmektedir. Kalsit kristallerinde yönelmeye, sınır geometrilerinde bükülmelere ve kristallerin bozulmasına sebep olan deformasyon etkisi, aynı zamanda tane sınırlarında basınç çözünmelerine de neden olmuştur. 120° lik açı yapan tane sınırları (triple point) çok yaygın değildir. Kristalin mermer türü genel olarak monomineralik, heteroblastik dokuya sahiptir. Hierapolis antik kenti 2 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, üç adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesinde, % 100 oranında temel mineral olan kalsitten oluştuğu saptanmıştır. Tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise genel olarak poligonaldır. Eğrisel sınırlar (interlobate) daha azdır. Kristalin mermerin dokusu içerisinde, özşekilli (euhedral) kalsit kristalleri, yarı özşekilli (subhedral) kristallerden oransal olarak daha baskındır. Kalsit tanelerinde karakteristik polisentetik ikizlenmeler gözlenmektedir. Deformasyona bağlı olarak kalsit kristallerinin bazılarında iy yapısı bozulmaları gözlenmekte olup, tek yönlü ikiz düzlemleri ve tane sınırlarında basınç çözümleri mevcuttur. 120° lik açı yapan tane sınırları (triple point) çok yaygındır. Kristalin mermer türü monomineralik, heteroblastik dokuya sahiptir. Hierapolis antik kenti 3 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, dört adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesinde, kayacın %100 oranında temel mineral olan kalsitten oluştuğu saptanmıştır. Kristalin kalsit mineralinden oluşan mermer kayacı monomineraliktir. Tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise genel olarak eğrisel sınırlar (interlobate) daha yaygındır. Mermerin dokusu içerisinde yarı özşekilli (subhedral) kalsit kristalleri, özşekilli (euhedral) kristallerden oransal olarak daha fazladır. Kristallerde Polisentetik ikizlenme ve deformasyon ikizleri mevcuttur. Kalsit kristallerinde deformasyona bağlı bozulma, tane sınırlarında basınç çözünmesi ve demir oksit sıvamaları gözlenmektedir. Bazı kalsit kristallerinde de bozulmalara bağlı olarak iy yapısı gözlenemeyen ikiz düzlemleri belirgin olmayan kalsit kristalleri de saptanmıştır. Taneler arasında 120° lik açı yapan tane sınırları (triple point) çok azdır. Heteroblastik dokuya sahip mermer türünde, bazı kısımlarda kalsit tanelerinde yönelme gözlenmektedir. (Şekil 2.15). Hierapolis antik kenti 4 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, dört adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesinde, kayacın %100 oranında temel mineral olan kalsitten oluştuğu saptanmıştır. Kristalin kalsit mineralinden oluşan mermer monomineraliktir. Tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise genel olarak eğrisel sınırlar (interlobate) daha yaygındır. Mermerin dokusu içerisinde, yarı yarı özşekilli (subhedral) kristaller, özşekilli (euhedral) kalsit kristallerinden oransal olarak daha fazladır. Kristallerde Polisentetik ikizlenme ile birlikte, deformasyona bağlı deformasyon ikizleri mevcuttur. Tane sınırlarında basınç çözünmesi ve bazı demir oksit sıvamaları gözlenmektedir. Kristallerin bazılarında ikiz düzlemleri boyunca alterasyon ve bozulmalara bağlı olarak iy yapısı gözlenemeyen ikiz düzlemleri belirgin olmayan kalsit kristalleri de saptanmıştır. Taneler arasında 120° lik açı yapan tane sınırları (triple point) çok yaygın değildir. Heteroblastik dokuya sahip mermer türünde kalsit kristallerinde yönelme gözlenmektedir. Hierapolis antik kenti 5 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, üç adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesinde, kayacın %100 oranında temel mineral olan kalsitten oluştuğu saptanmıştır. Kristalin kalsit mineralinden oluşan mermer kayacı monomineraliktir. Tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise genel olarak poligon ve eğrisel sınırlar (interlobate) şeklindedir. Poligon tane sınırları daha belirgindir. Mermerin dokusu içerisinde özşekilsiz (euhedral) kalsit kristalleri, yarı özşekilli (subhedral) kristallerden oransal olarak daha

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

fazladır. Kristallerinde tipik polisentetik ikizlenme yaygın olarak gözlenmektedir. Deformasyona bağlı bazı tanelerde bozulmalar, deformasyon ikizleri ve sınırlarında basınç çözünmesi ve demir oksit sıvıamaları gözlenmektedir. Bazı kalsit kristallerinde de bozulmalara bağlı olarak iç yapısı gözlenemeyen ikiz düzlemleri belirgin olmayan kalsit kristalleri de saptanmıştır. Taneler arasında 120° lik açı yapan tane sınırları (triple point) belirgindir. Heteroblastik dokuya sahip mermer türünde kalsit kristallerinde yönlenme gözlenmemektedir. Hierapolis antik kenti 6 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, dört adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesinde, kayacın %100 oranında temel mineral olan kalsitten oluştuğu saptanmıştır. Kristalin kalsit mineralinden oluşan mermer kayacı monomineraliktir. Tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise genel olarak eğrisel sınırlar (interlobate) daha yaygındır. Poligonal tane sınırları az oranda gözlenmektedir. Mermerin dokusu içerisinde yarı özşekilli (subhedral) kalsit kristalleri, özşekilli (euhedral) kristallerden oransal olarak daha fazladır. Kristallerde Polisentetik ikizlenme ve deformasyon ikizleri mevcuttur. Tane sınırlarında basınç çözünmesi ve çok az demir oksit sıvıamaları gözlenmektedir. Bazı kalsit kristallerinde de bozulmalara bağlı olarak iç yapısı gözlenemeyen, ikiz düzlemleri belirgin olmayan, kalsit kristalleri de saptanmıştır. Bazı bölgelerde tanelerde yönlenme mevcut olup, 120° lik açı yapan tane sınırları (triple point) yaygın değildir. Kristalin mermer türü heteroblastik dokuya sahiptir (Şekil 2.16).



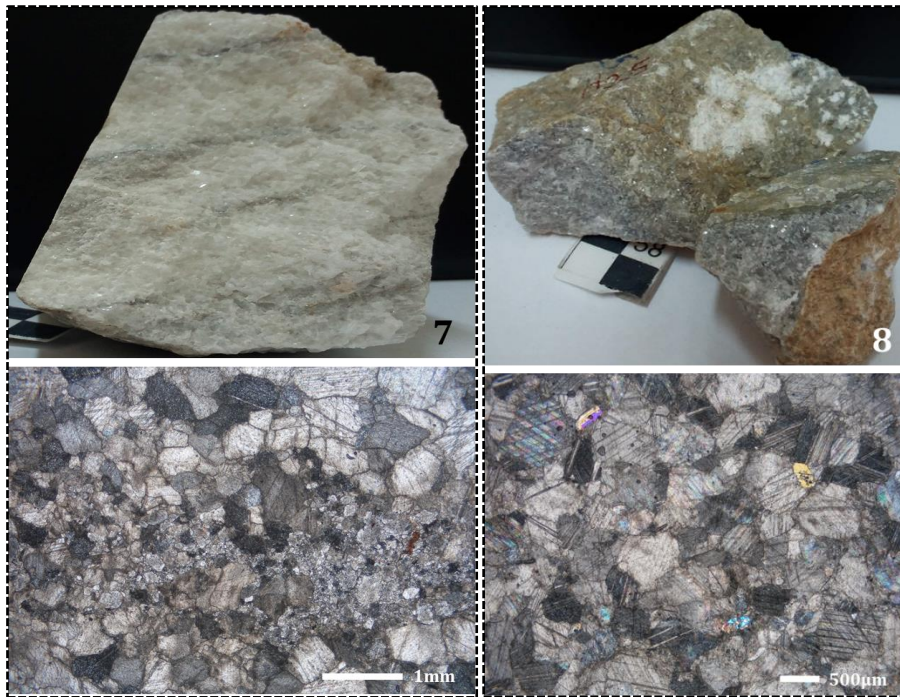
Şekil 2.15: Beyaz renkli orta kristalli kristalin mermer (tip 1/2x-ÇN), (tip 2/2x-ÇN), (tip 3/4x-ÇN)



Şekil 2.16: Beyaz renkli orta kristalli-kristalin mermer (tip 4/4x-ÇN), (tip 5/2x-ÇN), (tip 6/2x-ÇN)

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Hierapolis antik kenti 7 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, dört adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesinde, kayacın %99 oranında temel mineral olan kalsitten oluştuğu saptanmıştır. %1 oranında dolomit ve saçınmış kuvars kristalleri mevcuttur. Tüme yakın kristalin kalsit mineralinden oluşan mermer kayacı genel olarak monomineraliktir. Tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise poligonal-interlobate (eğrisel sınırlar) şeklindedir. Poligonal sınırlar daha yaygındır. Mermerin dokusu içerisinde özşekilli (euhedral) kalsit kristalleri, yarı özşekilli (subhedral) kristallerden oransal olarak daha fazladır. Kristallerde Polisentetik ikizlenme ve deformasyon ikizleri mevcuttur. Bazı kalsit sınırlarında basınç çözünmesi ve ince demir oksit sarımları gözlenmektedir. Taneler arasında 120° lik açı yapan tane sınırları (triple point) yaygın olarak gözlenmektedir. 100-150 µm boyutlarında küçük detritik kuvars mineralleri mevcuttur. 50-350 µm boyutlarında yarı özşekilli ve özşekilsiz sınırlara sahip damar şeklinde dolomitik zonlar gözlenmektedir. Kristalin mermer türü heteroblastik dokuya sahiptir. Hierapolis antik kenti 8 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, üç adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesinde, kayacın mineral parajenezini kalsit, kuvars, dolomit, amfibol ve opak mineraller oluşturmaktadır. Kayacın %98 oranında temel mineral olan kalsitten oluştuğu saptanmıştır. Aksesuar minerali olarak saçınmış 50-200 µm boyutunda kuvars minerali ile birlikte, 350-400 µm amfibol, 300-400 µm feldspat ve 150-200 µm boyutunda opak mineralleri tespit edilmiştir. Ağırlıklı kristalin kalsit mineralinden oluşan mermer kayacı, monomineraliktir. Tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise genel olarak eğrisel sınırlar (interlobate) daha yaygındır. Mermerin dokusu içerisinde, yarı özşekilli (subhedral) kalsit kristalleri, özşekilsiz (anhedral) kristallerden oransal olarak daha fazladır. Kalsit kristallerinde karakteristik polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri ve bazı kalsit kristallerinde bozulmalar mevcuttur. Bu bozulmalara bağlı olarak, tane sınırlarında basınç çözünmesi ve iç yapısı gözlenemeyen ikiz düzlemleri belirgin olmayan kalsit kristalleri de saptanmıştır. Kalsit tanelerinde belirgin bir yönlenme gözlenmektedir. 120° lik açı yapan tane sınırları (triple point) çok azdır. Kristalin mermer türü heteroblastik dokuya sahiptir (Şekil 2.17).



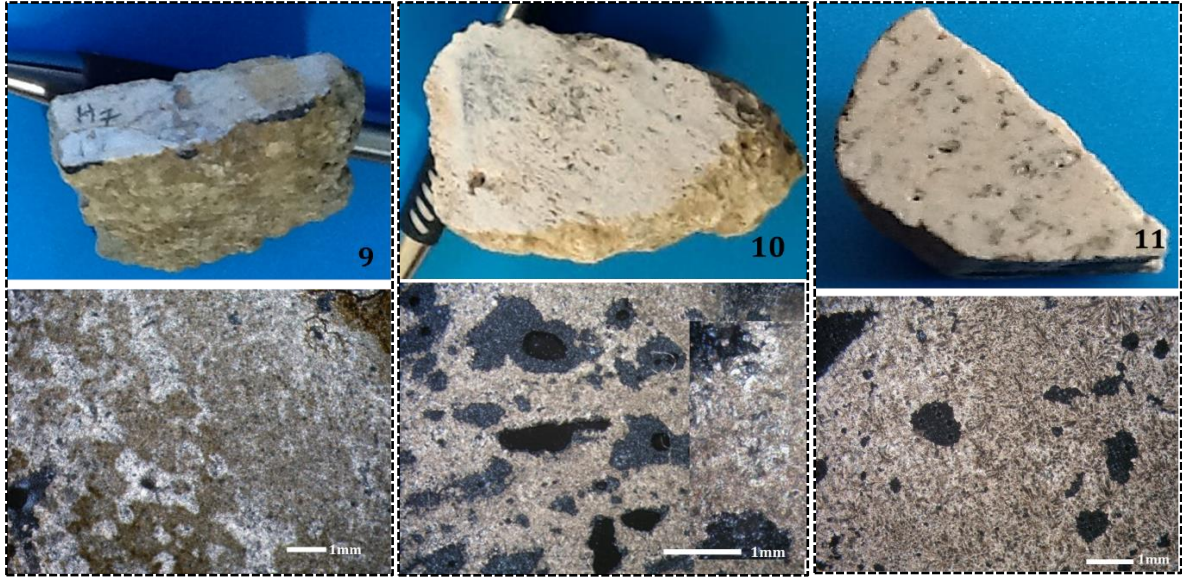
Şekil 2.17: Beyaz –grimsi renkli orta kristalli-kristalin mermer (tip 7/2x-ÇN), Gri Renkli orta kristalli-kristalin mermer (tip 8/2x-ÇN)

Hierapolis antik kenti 9 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi

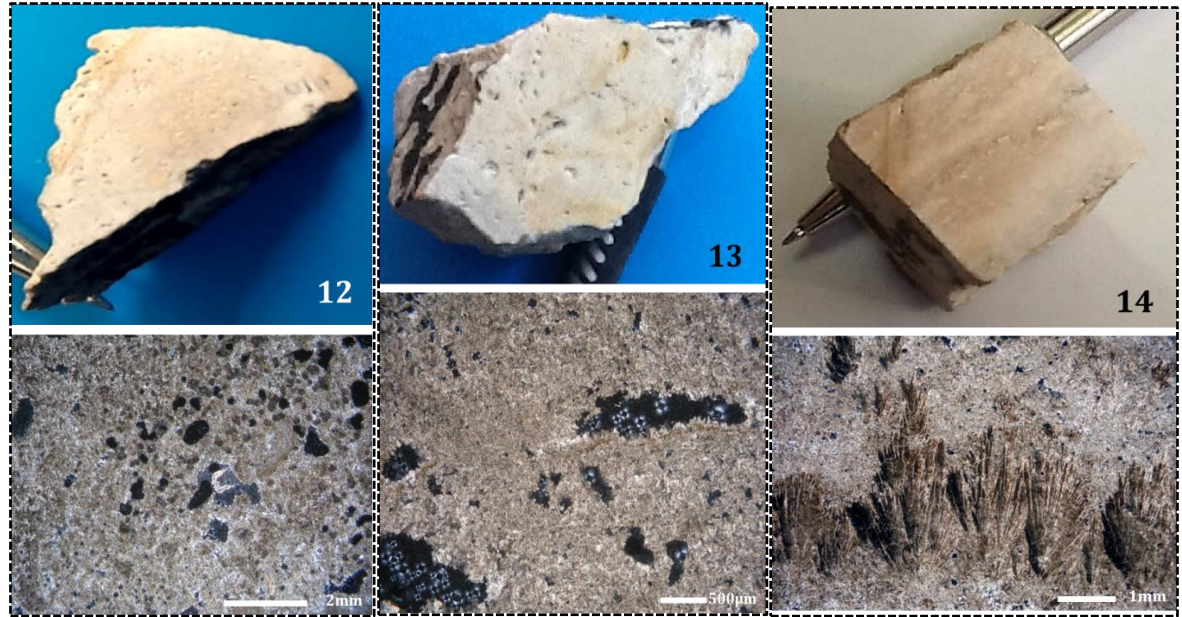
HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

sonucunda, kayacın mineral parajenezi mikrokristalin kalsit ve az oranda opak minerallerden oluşmaktadır. Kayaç %100 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Spar kalsit çimento içerisinde mikrit bulutları, mikritik ve sparitik laminasyon, küçük düzensiz şekil ve boyutlu mikritize pelloidler gözlenmektedir. Fenestral porozite tipi, (Flügel, 2004) boşluklar mikrospar dolgulu çevresinde izopak mikrospar kalsit kuşağı ve bu kuşağı saran ince demir oksitli halka mevcuttur. Demir oksitle sıvanmış ince kırık hatları ve çok az silik biyoklast iskelet kalıntı izleri gözlenmektedir. Pelsparitik (Folk,1962) bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak pelloidal-vaketaşı istiftaşı karakterindedir. Hierapolis antik kenti 10 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezi mikrokristalin kalsit oluşmaktadır. Kayaç %100 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Yoğun spar kalsit çimento (mikrospar) ve mikrit bulutları. Fenestral porozite tipi, gaz boşlukları olarak gelişmiş, gözenek boşluklarının bazıları mikrospar dolgulu, bazıları ise tamamen boştur. Mikritik ve sparitik lamina ve radial mikrospar gelişimi. Çok az silik biyoklast iskelet kalıntı izleri mevcuttur. Mikritik pıhtılar ve mikritik küçük düzensiz şekil ve boyutta pelloidler ve mikrobial yapılar gözlenmemektedir. Pelsparitik (Folk,1962) bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak pelloidal-vaketaşı karakterindedir. Hierapolis antik kenti 11 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 4 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezi mikrokristalin kalsit oluşmaktadır. Kayaç %100 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Spar kalsit çimento (mikrospar) içinde yaygın düzensiz şekil ve boyutta mikritik içyapısız pelloid ve pelloid kümeleri, yaygın bakterial mikritik ışın setleri mevcuttur. Mikrospar dolgulu fenestral porozite tipi (bird eyes) gözenekler gözlenmektedir. Boşluk kenarlarında izopak mikrospar oluşumları saptanmıştır. Pelsparitik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak Algal pelloidal-vaketaşı-istiftaşı karakterindedir (Şekil 2.18). Hierapolis antik kenti 12 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezi mikrokristalin kalsit ve az oranda opak minerallerden oluşmaktadır. Kayaç %100 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Spar kalsit çimento (mikrospar) içinde yaygın düzensiz şekil ve boyutta mikritik içyapısız pelloid ve pelloid kümeleri, bulutsu mikritik pıhtılar, mikritize ve sparitize biyoklast iskelet kalıntı izleri gözlenmektedir. Bakterial mikritik kalsit ışın setleri ve pelletik kümelerinin oluşturduğu dentritik yapı mevcuttur. Fenestral porozite tipi (bird eyes) boşlukların bazıları boş, bazıları ise mikrospar dolguludur. Boşluk kenarlarında izopak mikrospar oluşumları ve demir okside olmuş mikritik bölgeler saptanmıştır. Bio-pelsparitik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak Algal -pelloidal-vaketaşı karakterindedir. Hierapolis antik kenti 13 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezi mikrokristalin kalsit ve az oranda opak minerallerden oluşmaktadır. Kayaç %100 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Mikro spar kalsit çimento, mikritik bulutlar ve yığınlar gözlenmektedir. Mikro spar matrix içinde düzensiz ve değişik boyutlarda pelloid taneleri taneleri mevcuttur. Küçük mikritize biyoklast iskelet kalıntı izleri gözlenmektedir. Fenestral porozite tipi boşluklar çoğu spar kalsit ile dolguludur. Boşluk kenarlarında izopak mikrospar kalsit oluşumu ve çevresinde demiroksitli mikritik düzeyler bulunmaktadır. Bio-pelsparitik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak Algal-pelloidal-vaketaşı karakterindedir. Hierapolis antik kenti 14 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezi mikrokristalin kalsitten oluşmaktadır. Kayaç %100 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Mikro spar kalsit çimento. Mikritik bulutlar ve yığınlar gözlenmektedir. Mikritik düzensiz ve farklı boyutlarda pelloid taneleri mevcuttur. Bakterial çizgisel mikritik ışın setleri, mikritik ve sparitik lamina yaygın olarak gözlenmektedir. Mikritize küçük biyoklastik kalıntı iskelet izleri yerseldir. Fenestral porozite tipi boşluklar mikrospar ile dolguludur. Pel-sparitik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak Algal -pelloidal-vaketaşı karakterindedir (Şekil 2.19).

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



Şekil 2.18: Pelloidal-vaketaşı istiftaşı türü / traverten (tip 9/4x-ÇN), Pelloidal-vaketaşı türü/traverten (tip 10/2x-ÇN), Algal-Pelloidal-vaketaşı-istiftaşı türü/traverten (tip 11/2x-ÇN)

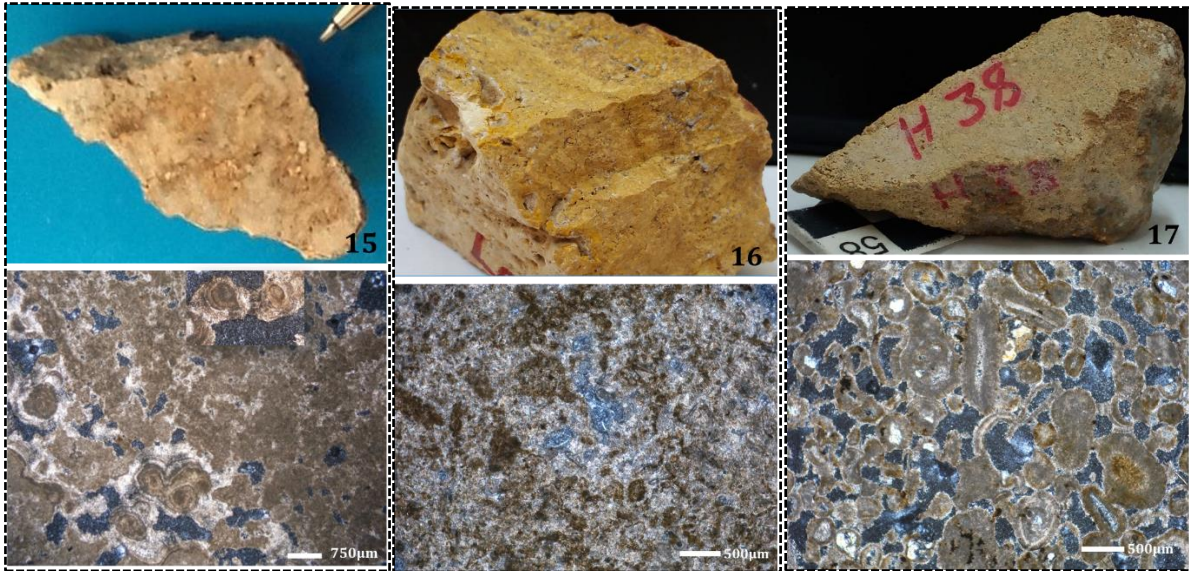


Şekil 2.19: Algal - Pelloidal-vaketaşı türü/traverten (tip 12/2x-ÇN), Algal-pelloidal-vaketaşı türü/traverten (tip 13/2x-ÇN), Algal-pelloidal-vaketaşı türü/traverten (tip 14/2x-ÇN)

Hierapolis antik kenti 15 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini mikrokristalin kalsit ve az oranda opak mineraller oluşturmaktadır. Kayaç %100'e yakın oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Yaygın sparkalsit çimento (matrix) mevcut olup, yersel mikritik çimento gözlenmektedir. Spar kalsit çimento içinde düzensiz şekil ve boyutlarda mikritik pellet taneleri ve mikrit bulut ve yığınları gözlenmektedir. Etrafi neomorfik spar kalsitle sarılmış pisoid taneleri mevcuttur. Çekirdek kısmı muhtemel mikritik pelloid veya daha önceki pisoidden oluşan, mikritik(koyu) ve radyal sparitik(açık) ardalılamalı laminasyon göstermektedir. Pisoid taneleri menisküs tipi mikrospar kalsit çimento ile bağlıdır. Fenestral (bird eyes) porozite tip gözenekler spar kalsit ile dolguludur. Oo-Pel-mikritik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak Onkoidal-pelloidal/ vaketaşı-istiftaşı

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

karakterindedir. Hierapolis antik kenti 16 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 4 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini mikrokristalin kalsit ve az oranda opak mineraller oluşturmaktadır. Kayaç %100'e yakın oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Küçük düzensiz şekil ve boyutlarda mikritize pelloid taneleri, mikrit bulutları ve yığımları gözlenmektedir. Pelloidslerin kenar kısımları demiroksit ile sarılmıştır. Çok az oranda mikritize olmuş ooidsler mevcuttur. Yaygın sparkalsit çimento (matrix) mevcut olup, yersel mikritik çimento gözlenmektedir. Bazı bölümlerde neomorfik spar kalsit gelişimi. Fenestral (bird eyes) porozite tipi gözenekler mikrospar kalsitle dolguludur. Gözeneklerin iç kenar kısımlarında izopak spar kalsit oluşumu, dış kısmında ise mikritik zarf mevcuttur. Mikritik laminasyon belirgin olarak gözlenmektedir. Pel-sparitik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak Algal-pelloidal-istiftaşı karakterindedir. Hierapolis antik kenti 17 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini mikrokristalin kalsit, kuvars ve opak mineraller oluşturmaktadır. Kayaç %98 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. %2 kuvars ve opak mineral mevcuttur. Baskın düzensiz şekil ve boyutlarda mikritize pelloids, ooids ve biyoklast taneleri gözlenmektedir. Pelloids ve ooids tane kenarları sparitik kalsit zarfları ve izopak kalsit kalsit ile çevrelidir. Bazı tanelerin kenar ve iç kısımlarında demiroksit sıvamaları mevcuttur. Pelloids ve ooids tanelerinin bazılarının çekirdek kısımları silis (kuvars) ile dolguludur. Mikrit ve spar kalsit polikristalin kuvars tarafından replase edilmiştir. Taneler genellikle mikritizedir. Ooidslerde radyal yapı ve konsantrik laminasyon gözlenmektedir. Tanelerin bazıları birbirine değimli olmasına rağmen çoğunlukla tane araları izopak kalsit kristalleri ile dolguludur. Yaygın sparitik çimentodan oluşan matrixte, yersel mikritik kısımlarda gözlenmektedir. Bazı bölümlerde neomorfik spar kalsit gelişimi. Fenestral (bird eyes) porozite tipi gözenekler mikrospar kalsitle dolguludur. Gözeneklerin iç kenar kısımlarında izopak spar kalsit oluşumu, dış kısmında ise mikritik ve sparitik zarf mevcuttur. Biyo-Pel-sparitik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak onkoidal-istiftaşı-tanetaşı karakterindedir (Şekil 2.20).

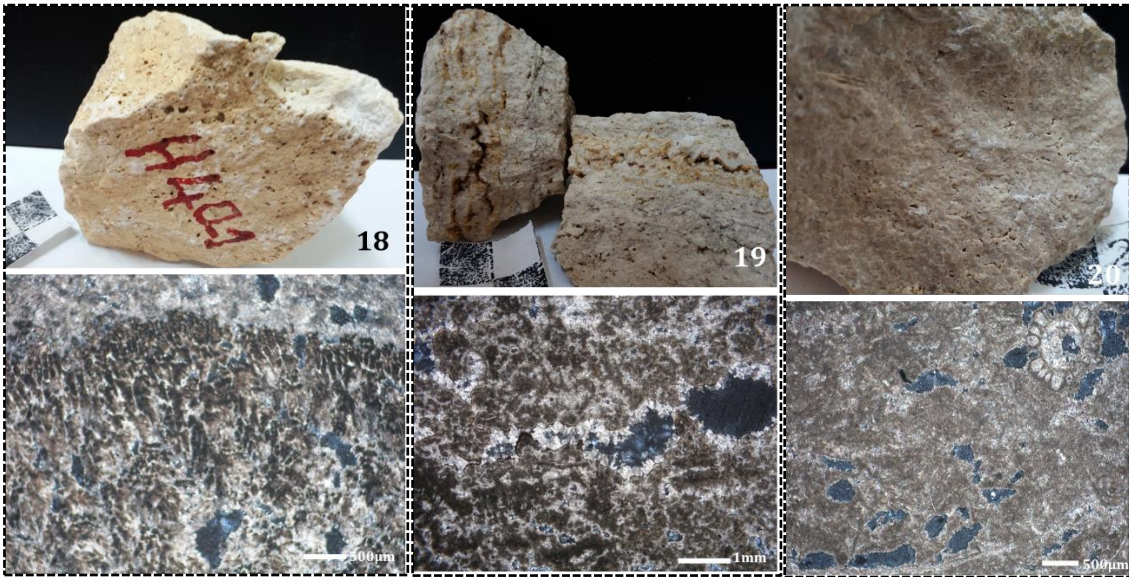


Şekil 2.20: Onkoidal –pelloidal vaketaşı-istiftaşı türü/traverten (tip 15/2x-ÇN), Algal-Pelloidal istiftaşı türü/traverten (tip 16/4x-ÇN), Onkoidal istiftaşı-tanetaşı türü/traverten (tip 17/4x-ÇN)

Hierapolis antik kenti 18 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini mikrokristalin kalsit oluşturmaktadır. Kayaç %100'e yakın oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Yaygın sparkalsit çimento (matrix) mevcuttur. Spar kalsit çimento içinde düzensiz şekil ve boyutlarda mikritik pelloid taneleri, mikritik

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

pelloid setleri, mikrit bulut ve yığınları gözlenmektedir. Mikrobiyal laminasyon yaygın olarak gözlenmektedir Fenestral (bird eyes) porozite tip gözenekler, boşluk kenarları izopak spar kalsit ile dolguludur. Pel-sparitik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak Algal- istiftaşı karakterindedir. Hierapolis antik kenti 19 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 4 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini mikrokristalin kalsit, kuvars ve opak mineraller oluşturmaktadır. Kayaç %99 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. %1 detritik kuvars ve opak mineral mevcuttur. Baskın düzensiz şekil ve boyutlarda içyapısız mikritize pelloids gözlenmektedir. Mikritik bulut ve pıhtıların oluşturduğu mikritik setler yaygındır. Bazı biyoklast iskeletlerinin dış kısmı mikritik zarfla çevrili, iç kısmı ise mikrit ve sparkalsitten oluşmaktadır. Çok az içyapısı bozulmuş ooidsler mevcuttur. Sparkalsit çimento ile mikritik laminasyon (mikrobial materyal) belirgin olarak gözlenmektedir. Fenestral (bird eyes) porozite tipi gözenekler, gözeneklerin iç kenar kısımları izopak spar kalsit ile sarıdır. Mikrospat kalsitlerin çeper bölümleri devamlı demir oksit kuşağı ile çevrelenmiştir. Bazı gözenekler tümüyle sparkalsit dolgululu, bazılarının ise kenar kısımları sparkalsit ile çevrilidir. Pel-sparitik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak Algal-istiftaşı karakterindedir. Hierapolis antik kenti 20 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini mikrokristalin kalsit oluşturmaktadır. Kayaç %100'e yakın oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Yaygın sparkalsit çimento (matrix) mevcut olup, yersel mikritik bulutlar şeklinde çimento gözlenmektedir. Spar kalsit çimento içinde düzensiz şekil ve boyutlarda mikritik pelloids taneleri ve mikrit yığınları gözlenmektedir. Bazıları ince uzun şekilde olmak üzere, genellikle sparkalsit dolgululu biyoklast iskeletleri ile birlikte kısmi boşluklu ooidsler mevcuttur. Fenestral (bird eyes) porozite tip gözeneklerin boşluk çeperleri izopakspat kalsit ile dolguludur. Biyo-Oo-pel- sparitik bileşiminde olan traverten cinsi doğaltaş, dokusal olarak Algal-istiftaşı karakterindedir (Şekil 2.21).

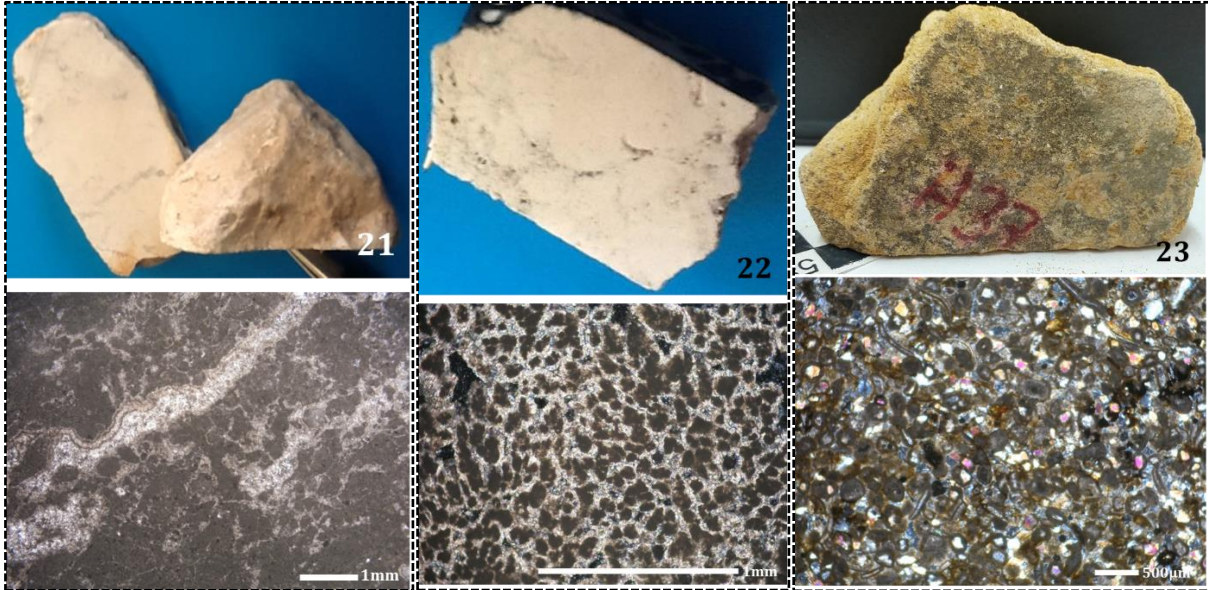


Şekil 2.21: Algal istiftaşı türü/traverten (tip 18/4x-ÇN), (tip 19/2x-ÇN), (tip 20/4x-ÇN)

Hierapolis antik kenti 21 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 4 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini kalsit, detritik kuvars taneleri ve opak mineraller oluşturmaktadır. Kayacın %99 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Kalsit minerali; baskın mikritik ve sparitik kalsit olarak çimentoyu oluşturmaktadır. Yersel rekrystalize damar dolgusu ise çoğunlukla sparkalsit şeklindedir. Detritik kuvars ve opak mineral (hematit?) %1'lik kısmi oluşturmaktadır. Baskın mikritik matrix içerisinde düzensiz şekil ve boyutlarda iç yapısız mikritize pelloid taneleri, mikritik bulut ve yığınlar, mikritik zarf ile çevrili sparkalsit dolgululu bazı

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

oidler ve muhtemel biyoklast iskeletleri bulunmaktadır. İkincil olarak gelişmiş damarlar mikrospar (neomorfik) çimento ile dolguludur. Damarlar ortalama 25-750 µm kalınlığındadır. Damar kenar bölümünde demir okside mikritik lamina ve ardalanmalı mikro sparitik lamina gözlenmektedir. Mikritik çimento harici boşluklar mikro spar kalsit ile dolguludur. Biyo-pelmikritik kireçtaşı bileşiminde olan doğaltaş, dokusal olarak, Algal-pelloidal –istiftaşı karakterindedir (Dunham,1962). Hierapolis antik kenti 22 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 3 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini kalsit oluşturmaktadır. Kayaç %100'e yakın oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Baskın sparkalsit çimento içinde düzensiz şekil ve boyutlarda iç yapısız mikrititize pelloidler yaygın olarak gözlenmektedir. Bakterial mikritik kalsit ışın demetleri yersel olarak mevcuttur. Fenestral (bird eyes) porozite tipi gözenekler sparkalsit (mikrospar) ile dolguludur. Gözenek iç kenar kesimi izopak mikrospar kalsit kristallerince çevrelenmiştir. Pel-sparitik kireçtaşı bileşiminde olan doğaltaş, dokusal olarak, Algal-pelloidal–tanetaşı karakterindedir. Hierapolis antik kenti 23 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 4 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini mikrokristalin kalsit, kuvars ve opak mineraller oluşturmaktadır. Kayaç %76 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. %23 kuvars ve %1 opak mineral mevcuttur. Çimento baskın silis çimento ve mikritik ve sparitik kalsitten oluşmaktadır. Yersel olarak silis, mikrit ve sparkalsiti replase etmiştir. Tane sınırlarında yaygın demir oksit zarfları ile birlikte, bazı taneler arası boşluklar FeO çimento ile dolguludur. Baskın düzensiz şekil ve boyutlarda mikrititize pelloids, ooids ve ince uzun biyoklast ve çok az intraklast taneleri gözlenmektedir. Pelloids ve ooids tanelerin iç kısımları genellikle kuvars ile dolguludur. Grimsi kahve renkli mikrit ve açık renkli spar kalsit kuvars tarafından replase edilmiştir. Çeper kısımları ise demir oksit (hematit) ile sarıdır. Çekirdek dış kısımları kısmen mikritize ve yersel sparkalsittir. Bazı pelloidslerin çekirdek kısımları mikritik ve sparitiktir. Biyoklast iskeletlerinin iç kısımları mikrit ve spar kalsit dolguludur olmakla beraber, bazılarında kuvars tarafından replase edilmiştir. Pelloids taneler genellikle birbirine değimli, tane sınırlarında basınç çözümleri gözlenmektedir. Çökeltme sonrası derinleşmeye bağlı olarak kompaktlaşma mevcuttur. Fenestral (bird eyes) porozite tipi gözenekler mikrospar kalsit, silis ve demir oksit ile dolguludur. Gözeneklerin iç kenar kısımlarında izopak spar kalsit oluşumu, dış kısmında ise mikritik ve sparitik ve demir oksit zarflar mevcuttur. Biyo-Pel-sparitik bileşiminde olan kireçtaşı cinsi doğaltaş, dokusal olarak Onko-pelloidal-istiftaşı karakterindedir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22: Algal-peleoidal istiftaşı türü/kireçtaşı (tip 21/2x-TN), Algal Pelloidal tanetaşı türü/kireçtaşı (tip 22/10X-ÇN), Onko-pelloidal istiftaşı türü/kireçtaşı (tip 23/4X-ÇN)

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Hierapolis antik kenti 24 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 4 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini kalsit, detritik kuvars taneleri ve opak mineraller oluşturmaktadır. Kayacın %99 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. %1 detritik kuvars ve opak mineral mevcuttur. Kalsit minerali; baskın mikritik olmak üzere yersel sparitik kalsit olarak çimento yapılmıştır. rekristalize damar dolgusu ise çoğunlukla sparkalsittir. Yaygın mikritik matrix içerisinde düzensiz şekil ve boyutlarda iç yapısız mikritize pelloid taneleri, mikritik bulut ve yığınlar gözlenmektedir. Bazı damarların kenar kısımları demir oksit sıvalıdır. Damarlar ortalama 25-500 µm kalınlığındadır. Fenestral (bird eyes) porozite tipi gözenekler, dış çeperleri izopak sparkalsit ile çevrilidir. Yersel mikritik laminasyon gözlenmektedir. Gözeneklerin bazılarında neomorfik kalsitler mevcuttur. Pelmikritik kireçtaşı bileşiminde olan doğaltaş, dokusal olarak, Algal-pelloidal-istiftaşı karakterindedir. Hierapolis antik kenti 25 nolu tip doğaltaş numunelerden 5 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini; kalsit, detritik kuvars ve opak mineraller oluşturmaktadır. Antik kente genellikle sütun olarak kullanılmış doğaltaş, breşik yapıdadır. Farklı boyutlarda (ortalama 0.5-35cm boyutlarında) genellikle beyaz –grimsi beyaz renklerde kristalin mermer parçalarından ve bu parçaları bağlayan kırmızımsı-kahve ve sarımsı renkli çimentodan oluşmaktadır. Çimento içerisinde farklı boyutlarda kalsit kristalleri saçınmış küçük kuvars mineralleri FeO çimento ile çevrelenmiştir. Matrix içerisinde boşluklar mevcut olup, fibrik yapıda ince taneli kuvars minerali bulunmaktadır. Hamur içerisinde yer alan kristalin mermer parçaları, tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise genel olarak eğrisel sınırlar (interlobate) en yaygındır. Kristalin mermer parçalarının dokusu içerisinde, yarı özşekilli (subhedral) kalsit kristalleri, özşekilsiz (unhedral) kristallerden oransal olarak daha baskındır. Kalsit tanelerinde karakteristik polisentetik ikizlenmeler gözlenmektedir. Deformasyona bağlı olarak kalsit kristallerinde, uzama ve deformasyon ikizleri oluşmuştur. Deformasyona bağlı olarak iç yapısı bozulmuş kalsit kristalleri mevcuttur. Bileşen kristalin mermer parçalarının dokusunda, 120° lik açı yapan kalsit tane sınırları (triple point), gözlenmemektedir. Kristalin mermer türü parçalar genel olarak monomineralik, heteroblastik dokuya sahiptir. Doğaltaş, intraformasyonel karbonat bileşimli breşik (konglomeratik) karakterde olup, iyi çimentolanmış breşik kireçtaşı konglomerası özelliğindedir. Hierapolis antik kenti 26 nolu tip doğaltaş numunelerden 4 adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini; kalsit, kuvars, feldspat, mika(klorit) ve opak mineraller oluşturmaktadır. Poli ve mono kristalin kuvarslar çimento bileşiminde bulunmaktadır. Kuvars mineralleri yersel olarak (bütünüyle ve kısmi) kalsit tarafından replase edilmiştir. Bazı bölümlerde kuvars tanelerini araları kalsit tarafından doldurulmuştur. Çimento malzemesinde demiroksit tane aralarında ve kenarlarında sıvama şeklinde gözlenmektedir. Çimento içerisinde yaklaşık birbirine eş tane boyutlu kuvars ve kalsit mineralleri iyi yuvarlaklaşmış olarak gözlenirken, saçınmış şekilde 350-700 µm arasında boyuta sahip kuvars ve polisentetik ikiz gösteren feldspat mineralleri mevcuttur. Ayrıca az oranda ince uzun mika mineralleri (klorit) gözlenmektedir. Doğaltaş, karbonat bileşimli kalkerli kumtaşı karakterinde olup, karbonat çimentolu kuvarca zengin kumtaşı özelliğindedir (Şekil 2.23). Hierapolis antik kentinde kullanılan kristalin mermerlerin (H1-H8) tespit edilen mineralojik- petrografik özellikleri Tablo 2. 1' özetlenmiştir.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



Şekil 2.23: Algal-Pelloidal-istiftaşı türü/kireçtaşı (tip 24/4X-TN), İyi çimentolanmış breşik kireçtaşı konglomerası (tip 25/10X-ÇN/2X-ÇN), Karbonat çimentolu kuvarşca zengin kumtaşı (tip 26/10X-ÇN)

Tablo 2.1: Hierapolis antik kenti kristalin mermerlerin minerolojik-petrografik özellikleri.

Doğaltaş tipleri	Krital boyut dağılımı	Kristal sınırlar geometrisi	Kristal şekli	Doku tipi	Doku: sıklıkla görülen özellikler
H1	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilsiz	HB	Monomineralik, kalsitlerde polisentetik ikizlenme, kristallerde deformasyon ikizleri ve ayrışma, yönelme, basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açılar çok yaygın değil, monokromatik, orta kristal
H2	Farklı tane boyut dağılımı	Poligonal-Eğrisel sınır	Özşekilli> Yarı özşekilli	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri, ikizlenmeler boyunca bozulma, basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açıdan yaygın, monokromatik, orta kristal
H3	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilsiz	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, tek yönlü ikiz düzlemleri daha yaygın, kristallerde deformasyon ikizleri, ikiz düzlemleri boyunca bozulma, tane sınırlarında basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açılar çok az, monokromatik, orta kristal
H4	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilli	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, tek yönlü ikiz düzlemleri daha yaygın, kristallerde deformasyon ikizleri, ikiz düzlemleri boyunca bozulmalar yaygın, tane

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

					sınırlarında basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açılar çok az, monokromatik, orta kristal
H5	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır-poligonal	Özşekilli> Yarı özşekilli	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, çift yönlü ikizlenme daha yaygın, deformasyon ikizleri, ikizler boyunca bozulma, basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açı belirgin, monokromatik, orta kristal
H6	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilli	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, kalın lameller, tek yönlü ikizler yaygın, deformasyon ikizleri, kristallerde kısmi yönelme ve bozulma, basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açı az, monokromatik, orta kristal
H7	Farklı tane boyut dağılımı	Poligonal-Eğrisel sınır	Özşekilli> Yarı özşekilli	HB	Polimineralik, polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri, ikiz düzlemleri boyunca ve kalsit kristallerinde bozulmalar, dolomitik zonlar, 120° lik (triple points) açı belirgin, beyaz renkli – gri damarlı, polikromatik, orta kristal
H8	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilsiz	HB	Polimineralik, polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri, ikiz düzlemleri boyunca kalsit kristallerinde bozulmalar, yönelme. Kuvars, amfiol, feldspat, 120° lik (triple points) açı çok az, gri renkli, monokromatik, orta kristal

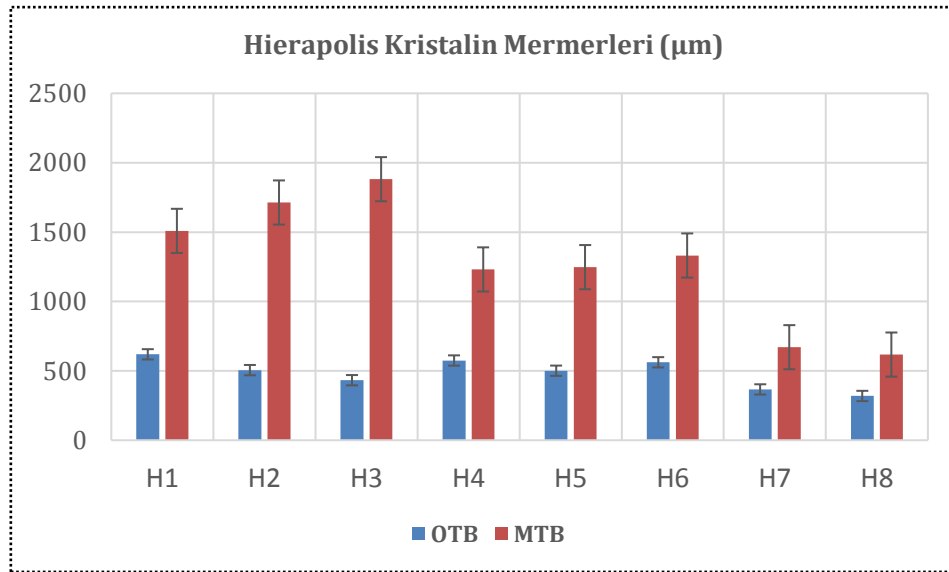
2.3.3. Hierapolis Kristalin Mermerlerin Tane Boyutları

Hierapolis kristalin mermer cinslerinin ortalama kristal boyutları (OTB), 319.10 µm ile 619.143 µm aralığında değişmektedir (Tablo 2.2). Kristalin mermerlerin tane boyut dağılım grafiği ve karşılaştırması (Şekil 2.24)'te verilmiştir.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Tablo 2.2: Hierapolis doğaltaş/mermer türleri kristal boyut sınıfları

Hierapolis Doğaltaş Tipleri	OTB (μm)	Kristal Boyut sınıfı
<i>Hierapolis kristalin mermer cinsleri</i>		
H1	619,143	orta kristal
H2	505,415	orta kristal
H3	432,704	orta kristal
H4	574,663	orta kristal
H5	501,051	orta kristal
H6	561,692	orta kristal
H7	366,148	orta kristal
H8	319,10	Orta kristal
<i>Hierapolis Traverten-kireçtaşı- Breşik kireçtaşı ve kumtaşı cinsi mermerler</i>		
H9	<100	Çok ince kristal
H10	<100	Çok ince kristal
H11	<100	Çok ince kristal
H12	<100	Çok ince kristal
H13	<100	Çok ince kristal
H14	<100	Çok ince kristal
H15	<100	Çok ince kristal
H16	<100	Çok ince kristal
H17	<100	Çok ince kristal
H18	<100	Çok ince kristal
H19	<100	Çok ince kristal
H20	<100	Çok ince kristal
H21	<100	Çok ince kristal
H22	<100	Çok ince kristal
H23	<100	Çok ince kristal
H24	<100	Çok ince kristal
H25		değişken
H26	<100	Çok ince kristal



Şekil 2.24: Hierapolis kristalin mermerlerin (OTB) ve (MTB) tane boyutu karşılaştırma grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

2.4. Hierapolis Kentinde Kullanılan Dağal Taşların Kimyasal Özellikleri

2.4.1. İndüktif Eşlemeli Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

Hierapolis antik kentinde kullanılan doğaltaş örnekleri farklı türleri üzerinde ICP-MS yöntemi ile farklı sayılarda yapılan kimyasal analizler sonucunda, elde edilen % temel oksit ve iz element (ppm) sonuçları Tablo. 2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.3: Hierapolis kristalin mermer, kireçtaşı, traverten, kumtaşı cinsi doğaltaşların kimyasal bileşimleri.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
DL	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H1	0,04	0,01	0,04	0,83	56,21	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H2	0,03	0,01	0,04	0,91	55,76	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H3	0,17	0,01	0,04	0,8	55,89	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H4	0,18	0,01	0,05	0,4	56,30	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,015
H5	0,03	0,01	0,04	0,63	56,18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,023
H6	0,1	0,01	0,04	0,6	56,29	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,029
H7	0,12	0,01	0,14	1,01	54,70	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H8	1,31	0,72	0,34	0,75	53,71	0,02	0,18	0,03	0,01	0,01	0,002
H9	0,15	0,01	0,34	0,18	55,45	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H10	0,27	0,05	0,13	0,32	55,53	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H11	0,11	0,01	0,04	0,33	55,84	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H12	1,13	0,22	0,42	0,31	54,40	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01	0,002
H13	0,09	0,01	0,11	0,27	55,64	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H14	0,1	0,01	0,04	0,35	55,67	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H15	0,34	0,03	0,32	0,46	54,95	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,002
H16	0,54	0,01	1,56	0,15	55,48	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,002
H17	5,41	0,69	1,33	0,11	52,40	0,01	0,03	0,10	0,01	0,09	0,018
H18	1,53	0,01	0,12	0,24	56,16	0,01	0,01	0,09	0,01	0,01	0,003
H19	1,11	0,01	0,07	0,2	56,12	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01	0,002
H20	1,1	0,01	0,12	0,1	56,03	0,01	0,01	0,08	0,01	0,02	0,002
H21	0,7	0,14	0,06	0,39	55,36	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,002
H22	0,21	0,02	0,04	0,36	55,65	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H23	24,14	3,35	2,52	1,98	30,49	0,01	0,22	0,6	0,07	0,1	0,12
H24	1,46	0,11	0,10	0,16	56,55	0,01	0,01	0,09	0,01	0,01	0,002
H25	1,54	0,66	3,64	0,14	53,57	0,01	0,06	0,11	0,13	0,13	0,002
H26	2,04	0,86	1,06	2,99	52,43	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,002

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

ppm	Ba	Ni	Sr	Zr	Y	Nb	Sc	LOI	SUM
DL	5	20	2	5	3	5	1	-5.1	0.01
H1	5	20	127	5	3	5	1	42.9	99.99
H2	5	20	193	5	3	5	1	43.2	99.99
H3	5	33	169	5	3	5	1	43.1	99.97
H4	5	20	138	5	3	5	1	43.0	99.99
H5	5	22	247	5	3	5	1	43.1	99.96
H6	5	20	126	5	3	5	1	42.9	99.96
H7	19	20	172	5	8	5	1	43.9	99.97
H8	10	20	191	7	4	5	1	42.9	99.97
H9	5	20	271	5	3	5	1	43.8	99.96
H10	6	20	837	5	3	5	1	43.8	100
H11	10	20	816	5	3	5	1	43.6	99.96
H12	15	20	788	8	3	5	1	43.3	99.95
H13	7	20	519	5	3	5	1	43.8	99.96
H14	5	20	857	5	3	5	1	43.7	100
H15	13	20	783	5	3	5	1	43.7	100
H16	207	20	374	5	3	5	1	42.1	100
H17	5	20	428	9	6	5	1	39.8	100
H18	5	20	635	6	3	6	1	41.8	99.98
H19	5	20	1038	8	3	6	1	42.3	99.93
H20	5	20	542	7	5	7	1	42.5	99.97
H21	8	20	137	8	3	5	1	43.3	100
H22	17	20	929	10	3	5	1	43.6	99.95
H23	5	78	703	12	9	5	1	36.4	100
H24	5	20	361	7	3	5	1	41.4	99.91
H25	5	20	192	5	3	6	1	42.0	99.98
H26	5	20	149	8	3	8	1	40.6	99.96

Bu veriler değerlendirildiğinde, Hierapolis kristalin mermerlerinde CaO %53.71 ile 56.30 arasında değere sahiptir. Petrografik incelemelerde kalsit (CaCO_3) kristallerinden oluşan mermerlerin monomineralik özellikte olduğu kimyasal analiz sonuçlarında doğrulamaktadır. Stronsiyum (Sr) en belirgin iz element olarak gözlenmektedir. Hierapolis kireçtaşı cinsi doğaltaşlarda CaO %55,36 ile 55,65 arasında değere sahiptir. Traverten türü doğaltaşlarda ise CaO %54.4 ile 55.67 arasında olup, kireçtaşı ve traverten cinsi doğaltaşlarda en belirgin iz element Stronsiyum (Sr) dir.

2.4.2. Hierapolis P-xrf Elementel Kimyasal Analiz Sonuçları

P-XRF (Portatif x-ray fluorescence) kullanılarak Hierapolis Antik kentinde kullanılan doğaltaş türlerinin elementel kimyasal analiz ölçümleri yapılarak elde edilen veriler değerlendirilmiştir. ICP analiz değerleri ile P-XRF verileri karşılaştırılmıştır. Hierapolis antik kenti örneklerinin P-XRF analiz sonuçları Tablo 2.4'te verilmiştir.

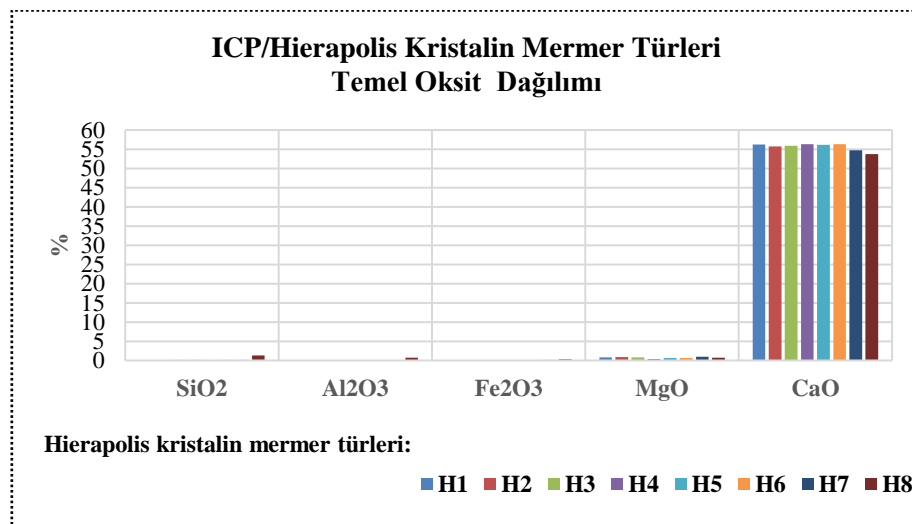
HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Tablo 2.4: Hierapolis antik kenti örnekleri p-xrf analiz sonuçları

Doğaltaş tipleri	Ca	Fe	Si	Mg	Al	Mn	Sr	Zr	Zn	Y	Nb
H1	42,06	0,1058	0,02226	0,58	-	0,0068	129,05	0	9	5	-
H2	41,17	0,0452	0,02261	0,6	-	-	192	8,5	9	-	-
H3	43	0,0217	0,0856	0,45	-	-	161	0	0	-	-
H4	42,15	0,058	0,08456	0,23	-	-	122	0	0	-	-
H5	43,43	0,0226	0,02205	0,52	-	-	241,26	0	0	-	-
H6	42,06	0,0149	0,05681	0,48	-	-	117,14	0	0	-	-
H7	40,57	0,1095	0,06066	0,71	-	0,0096	174,3	7,3	9,3	7,4	13,5
H8	40,57	0,3	0,83	0,41	0,31	0,0084	174,1	7,8	11	4,2	11
H9	41,98	0,5326	0,07991	0,12	-	-	273,14	12	-	-	-
H10	43,26	0,1236	0,13545	0,17	-	-	760,33	20	-	-	-
H11	43,3	0,1391	0,05704	0,18	-	-	723,37	15	-	-	-
H12	43,29	0,3758	0,5853	1,2	-	-	775,75	25	-	-	-
H13	41,67	0,059	0,04775	0,81	-	-	427,66	18	-	-	-
H14	44,27	0,0306	0,06054	0,21	-	-	665	15	-	-	-
H15	41,54	0,3188	0,19209	0,32	-	-	840,375	18,5	-	-	-
H16	41,79	1,215	0,2819	0,3	-	0,0326	358,57	7,5	9	4,5	10,5
H17	37,45	0,08933	0,422	0	0,35	0,0866	418	18	14,5	9,3	8
H18	42,28	0,0944	0,776	0,16	-	0,0105	630	12,7	11,5	4	11
H19	40,83	0,0591	0,442	0	-	0,01448	1028	18,8	11		11
H20	42,2	0,0801	0,557	0	-	0,0258	549	12,4	15	5	11
H21	44,38	0,0675	0,3701	0,26	-	-	132,1	11	-	7	-
H22	43,39	0,0138	0,1262	0,19	-	-	866,42	21,5	-	-	-
H23	24,66	1,864	11,9	1,23	1,62	0,0507	708	178	27	18	-
H24	44	0,093	0,718	0	0,23	0,00687	368	14	10,7	4	-
H25	39,72	2,1966	0,753	0	0,37	0,20151	194	8		5,5	10,2
H26	38,19	0,7148	1,025	1,806	0,35	0,0138	151	8,1	16,2	4,9	10

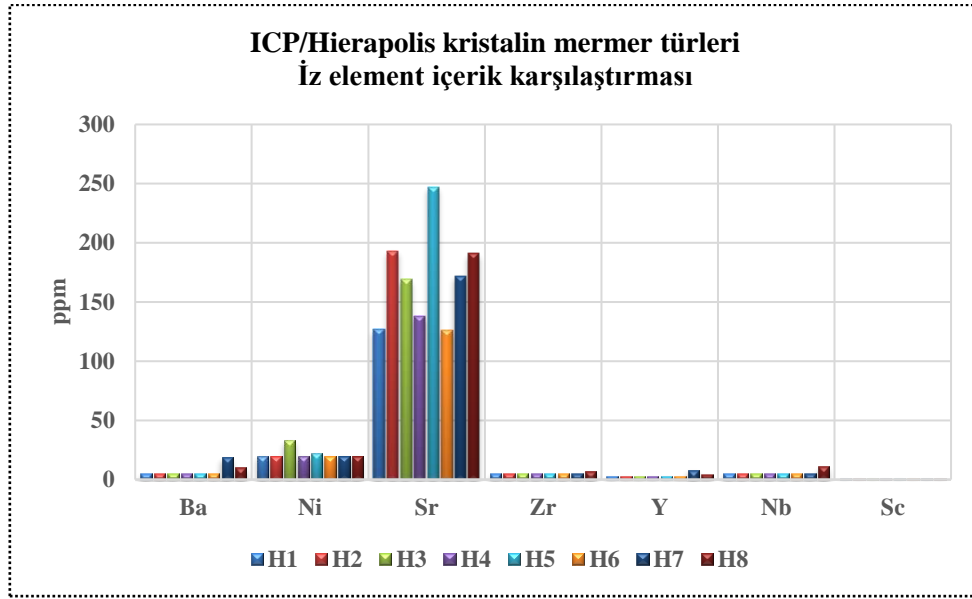
2.4.3. Hierapolis (ICP) Kristalin Mermer Türleri Kimyasal Bileşimleri.

Hierapolis antik kentinde kullanılan doğaltaşların major oksit kimyasal analizlerinde en yüksek içerik CaO'tir. Oksit içeriklerinin karşılaştırma grafikleri ve iz element dağılım karşılaştırma grafikleri (Şekil 2.25- 2.28)'de verilmiştir.

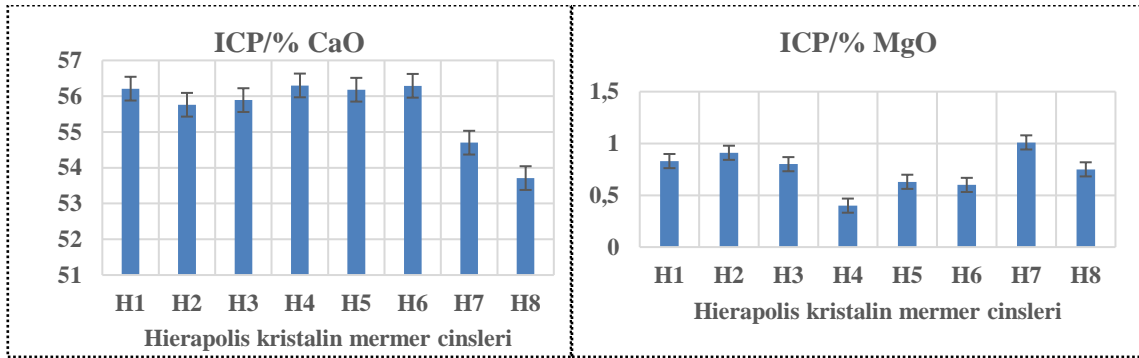


Şekil 2.25: Hierapolis kristalin mermer türlerinin temel oksit dağılım grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

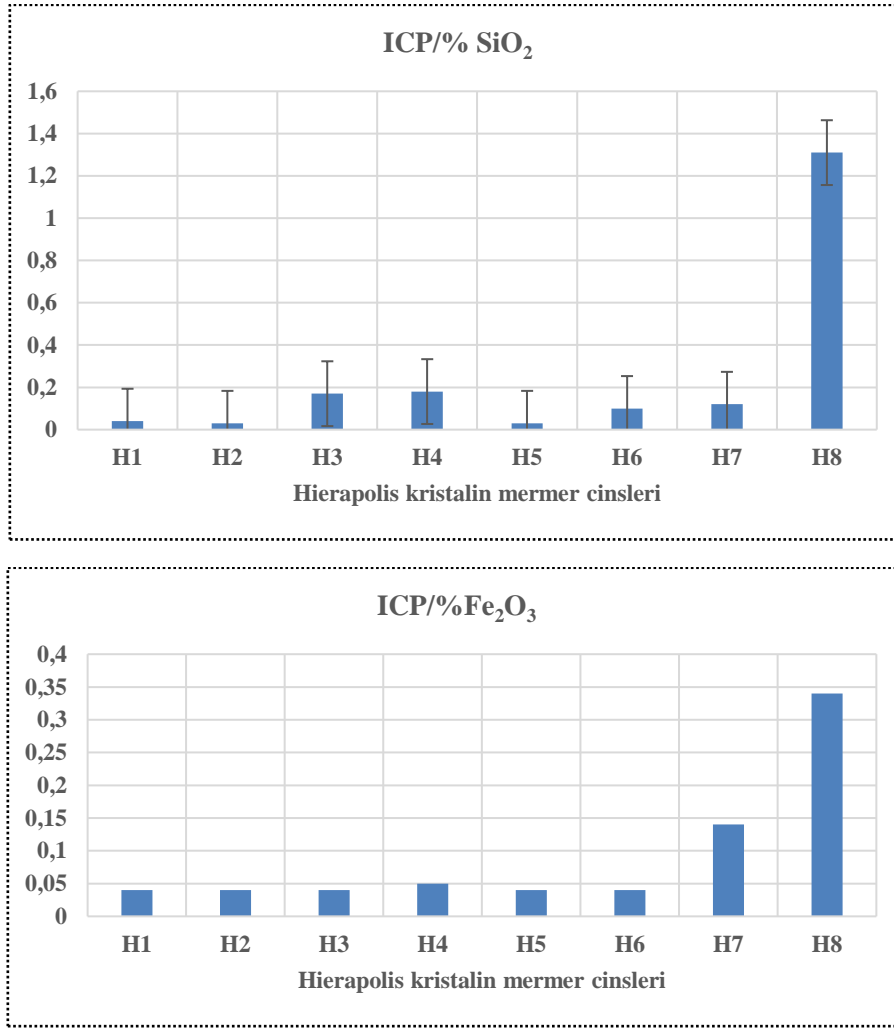


Şekil 2.26: Hierapolis kristalin mermer türleri iz elementler karşılaştırma grafiği.



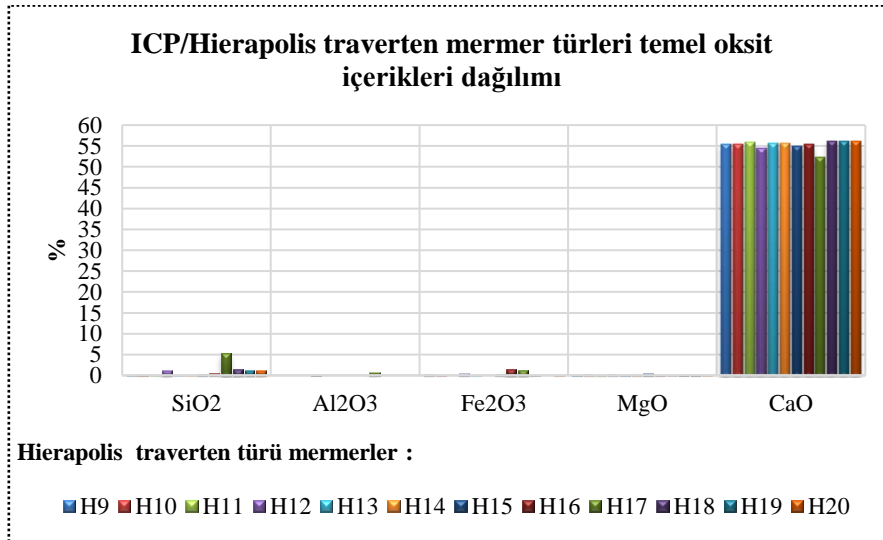
Şekil 2.27: Hierapolis kristalin mermer cinsi doğaltaşlar, CaO, MgO yüzde dağılım grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



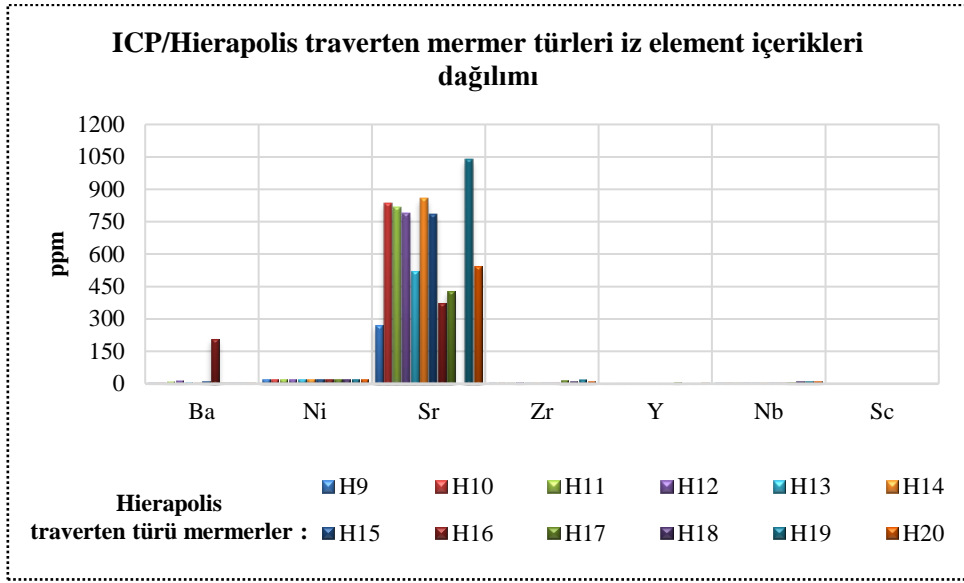
Şekil 2.28. Hierapolis kristalin mermer cinsi doğaltaşlar, SiO₂ - Fe₂O₃ yüzde dağılım grafiği.

Hierapolis traverten cinsi mermerlerin Oksit bileşimleri karşılaştırma grafikleri (Şekil 2.29-32).

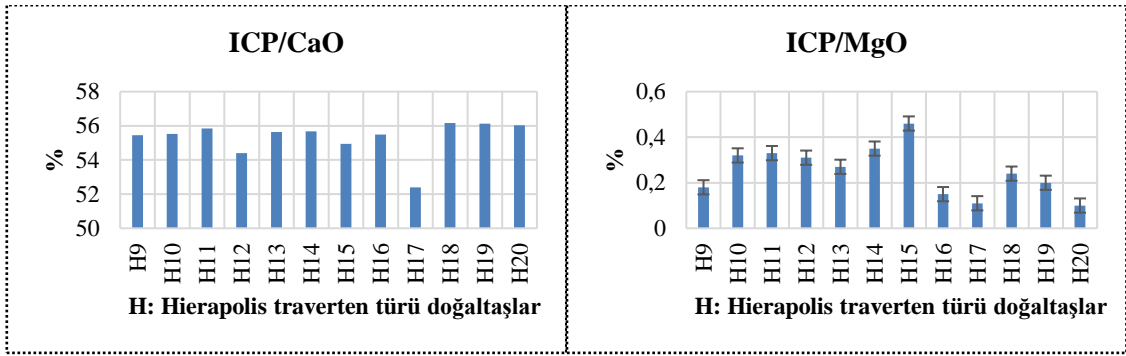


Şekil 2.29: Hierapolis traverten türü mermerlerin temel oksit dağılım grafiği.

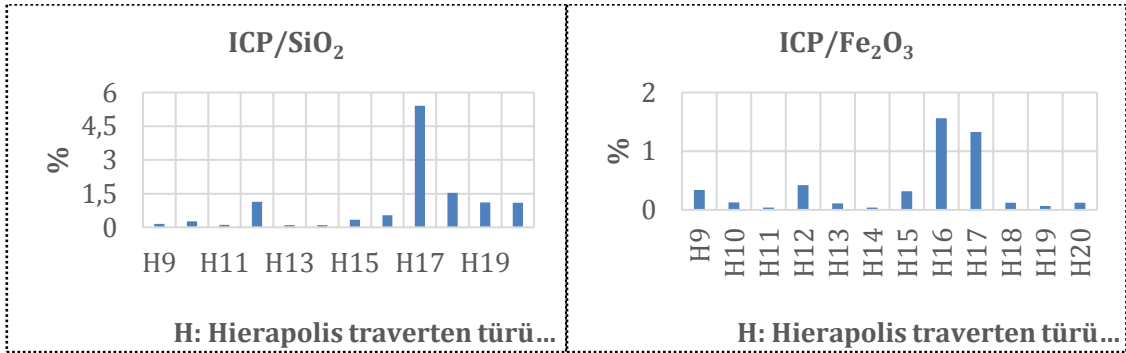
HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



Şekil 2.30: Hierapolis traverten türü mermerlerin iz element dağılım grafiği.



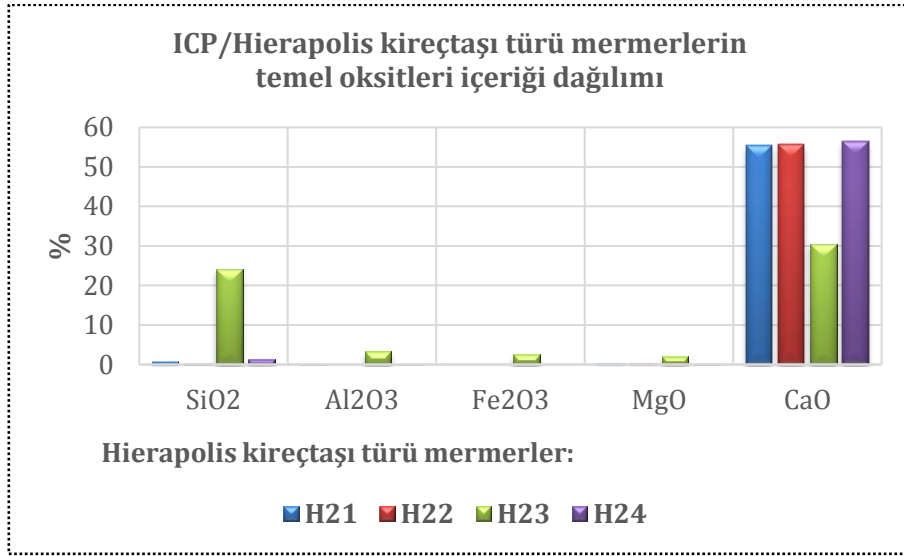
Şekil 2.31: Hierapolis traverten türü doğaltaşlar, CaO- MgO yüzde dağılım grafiği.



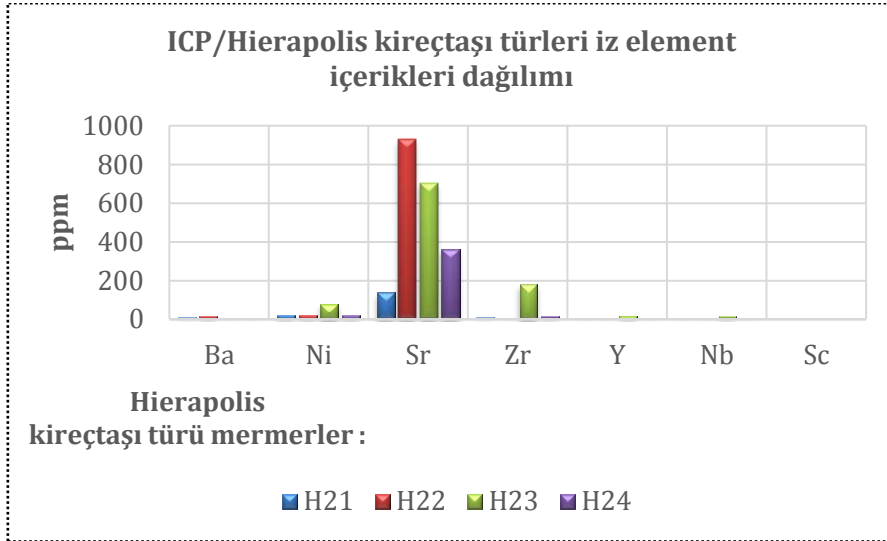
Şekil 2.32: Hierapolis traverten türü doğaltaşlar, SiO₂ -Fe₂O₃ yüzde dağılım grafiği.

Hierapolis kireçtaşı cinsi mermerlerin Oksit bileşimleri karşılaştırma grafikleri. (Şekil 2.33-37).

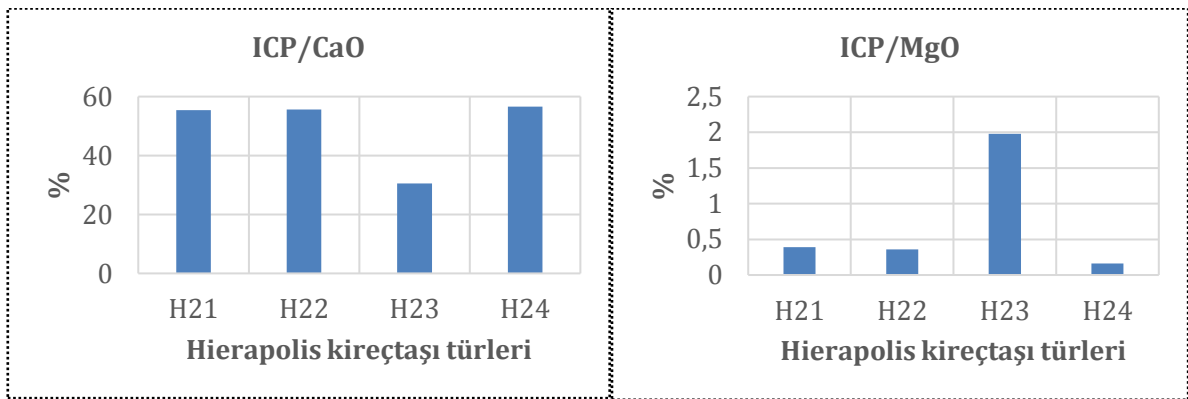
HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



Şekil 2.33: Hierapolis kireçtaşı türü mermerlerin temel oksitleri dağılım grafiği.

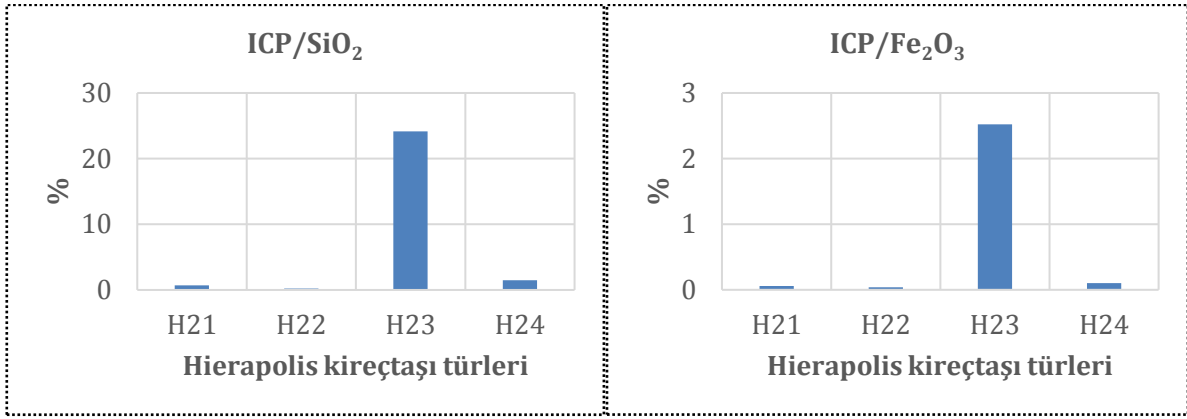


Şekil 2.34: Hierapolis kireçtaşı türü mermerlerin iz elementleri dağılım grafiği.



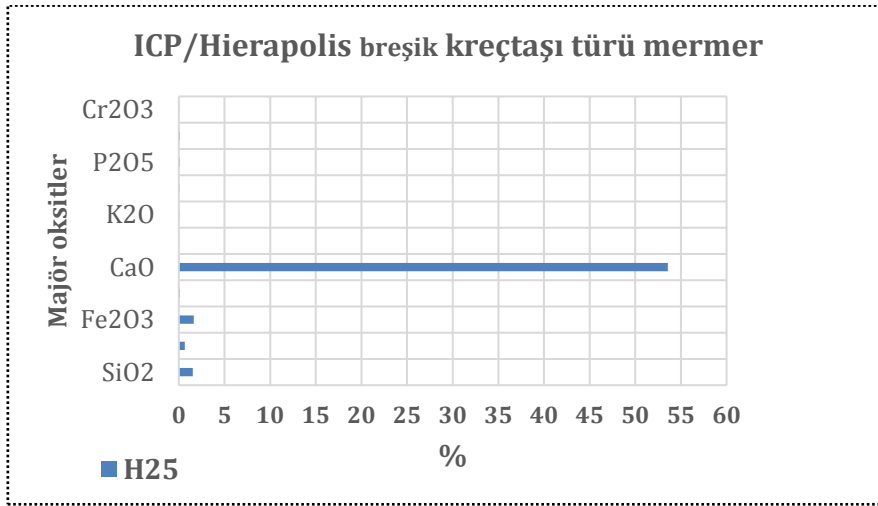
Şekil 2.35: Hierapolis kireçtaşı türü doğaltaşlar, CaO -MgO yüzde dağılım grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

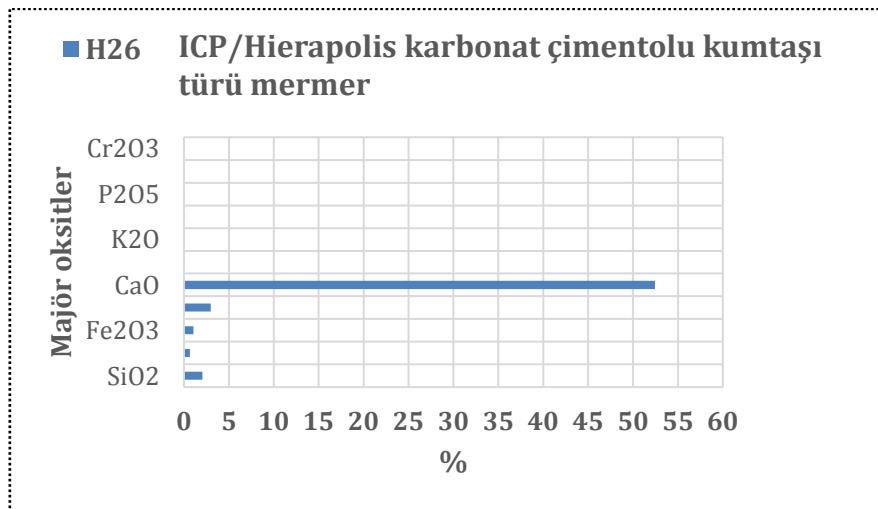


Şekil 2.36: Hierapolis kireçtaşı türü doğaltaşlar, SiO₂ -Fe₂O₃ yüzde dağılım grafiği.

Hierapolis breşik kireçtaşı ve kumtaşı cinsi mermerlerin iz element bileşimleri dağılımı ve karşılaştırma grafikleri (Şekil 2.37-40).

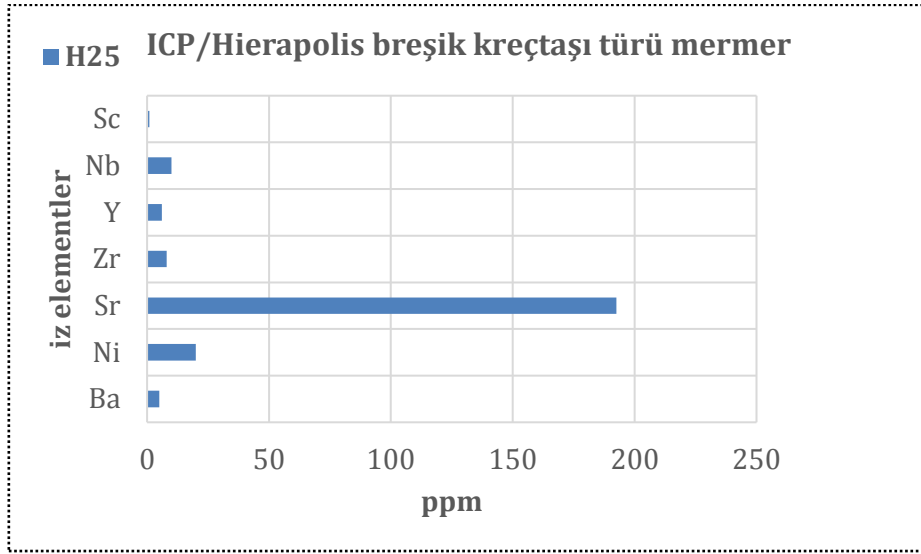


Şekil 2.37: Hierapolis breşik kireçtaşı mermer türü majör oksit içerik grafiği.

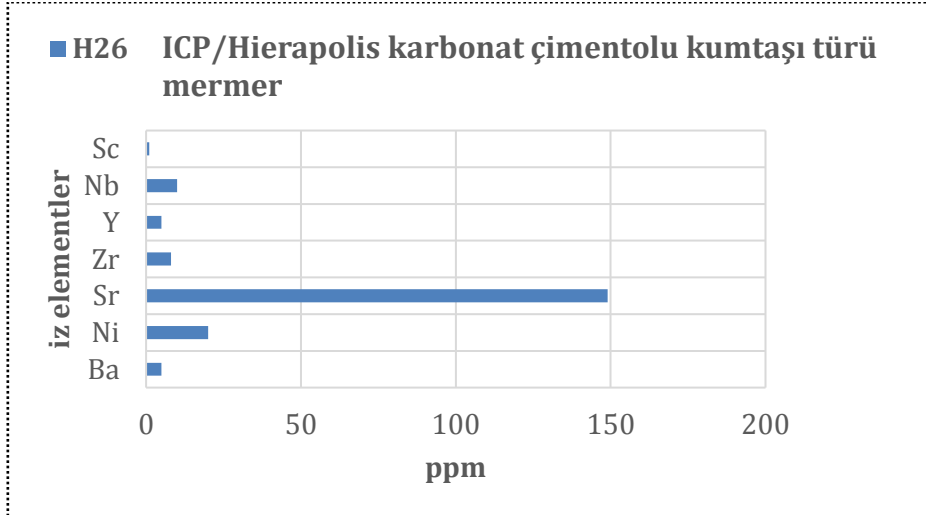


Şekil 2.38: Hierapolis karbonat çimentolu kumtaşı türü, majör oksit içerik grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



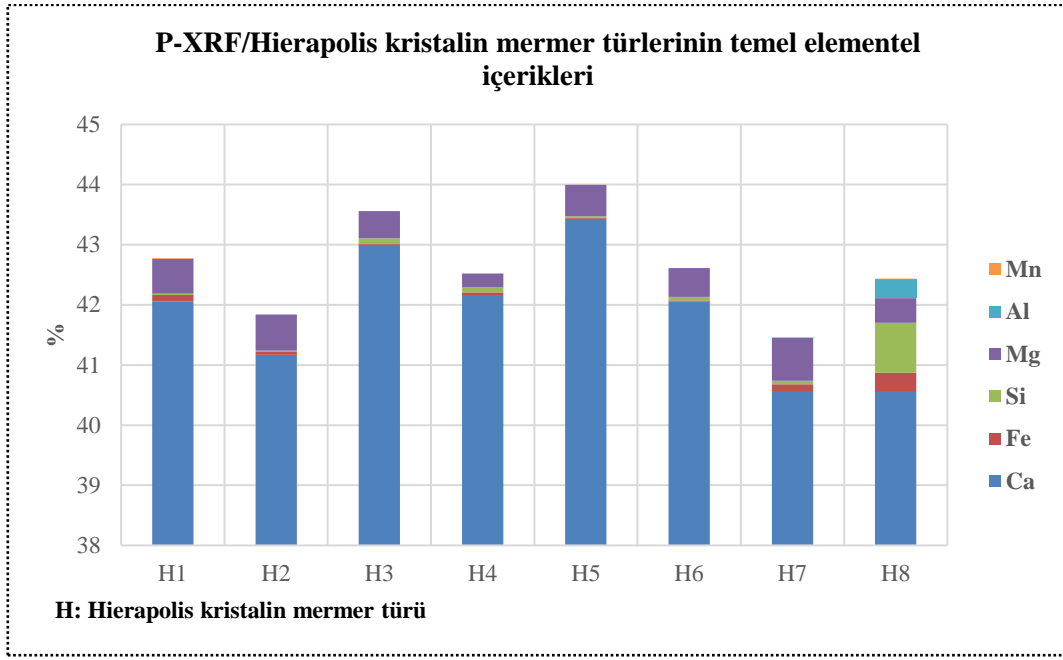
Şekil 2.39: Hierapolis breşik kireçtaşı mermer türü iz element içerik grafiği.



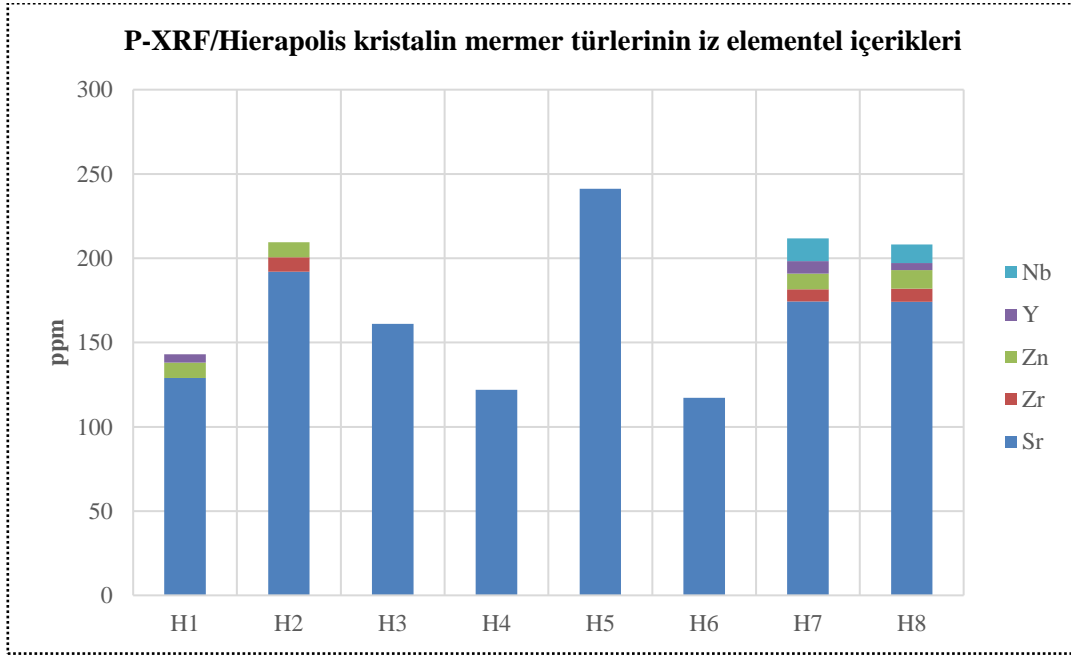
Şekil 2.40: Hierapolis karbonat çimentolu kumtaşı türü, iz element içerik grafiği.

Hierapolis kristalin mermerler, traverten, kireçtaşı, kumtaşı ve breşik kireçtaşı mermer türlerinin P- XRF elementel analiz karşılaştırma grafikleri (Şekil 2.41-50).

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

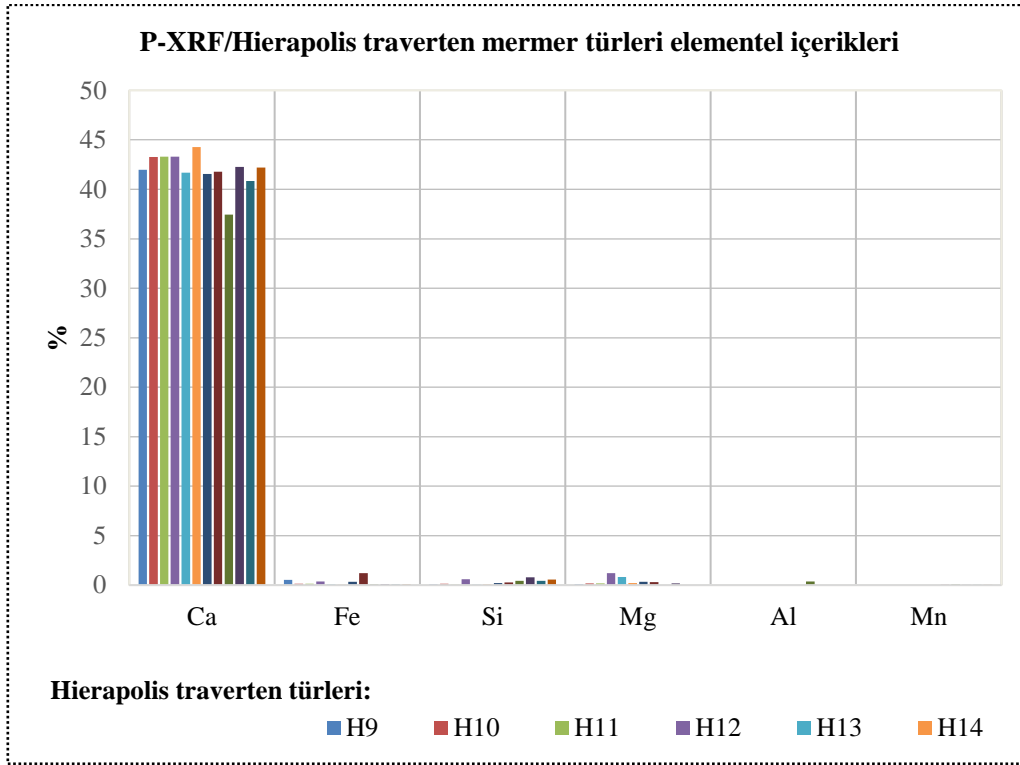


Şekil 2.41: Hierapolis kiristalin mermer türleri elementel karşılaştırma grafiği.

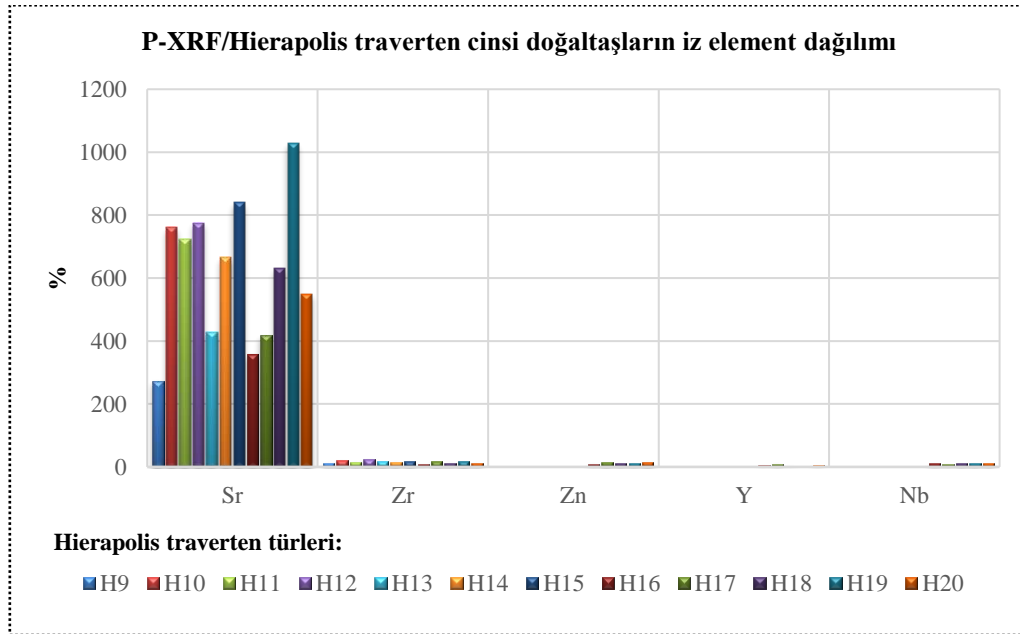


Şekil 2.42: Hierapolis kiristalin mermer türleri iz elementel karşılaştırma grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

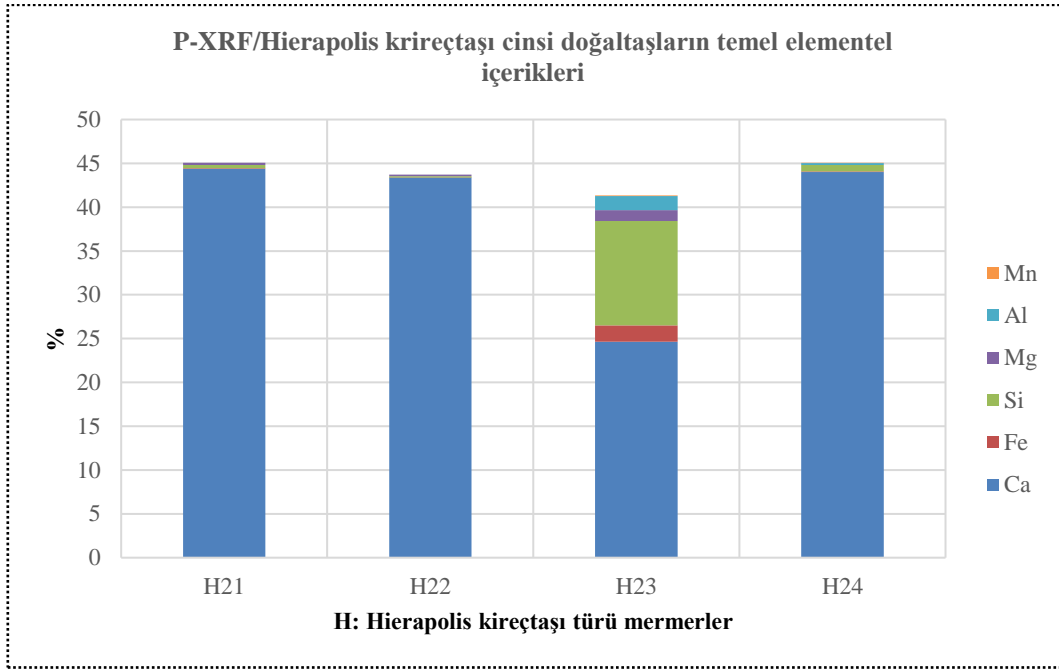


Şekil 2.43: Hierapolis traverten türü mermerlerin elementel dağılım grafiği.

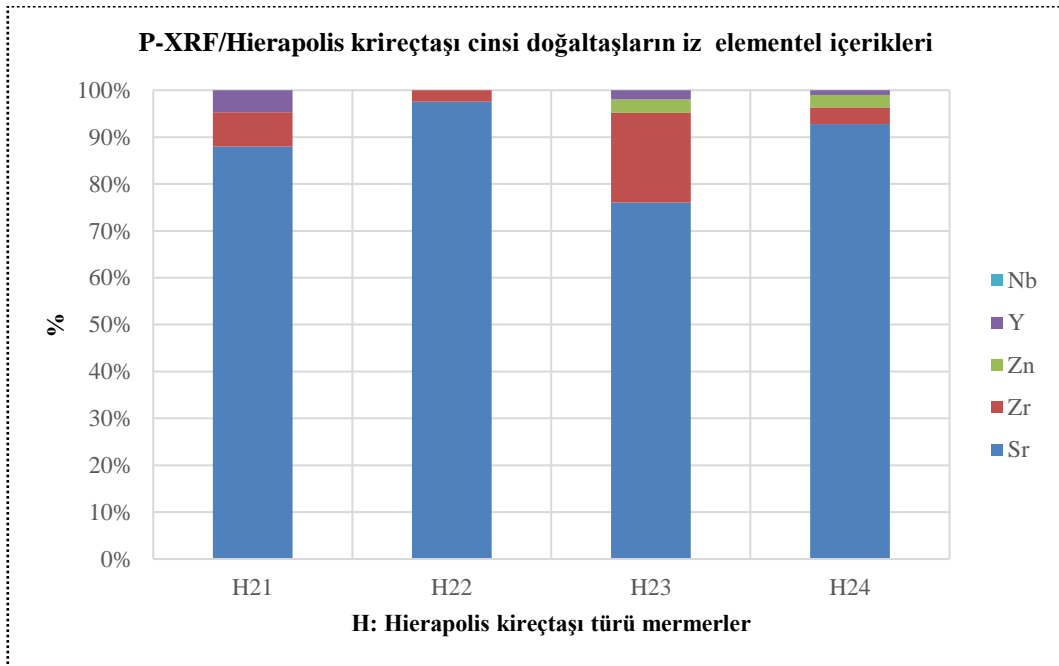


Şekil 2.44: Hierapolis traverten türü mermerlerin iz element dağılım grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

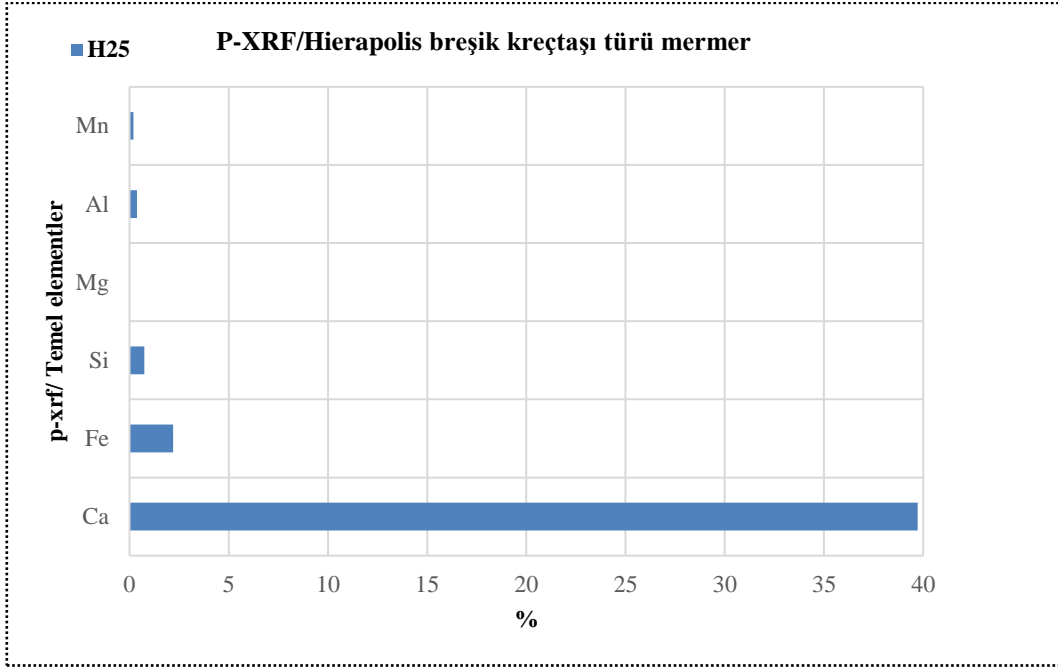


Şekil 2.45: Hierapolis kireçtaşı türü mermerlerin elementel karşılaştırma grafiği.

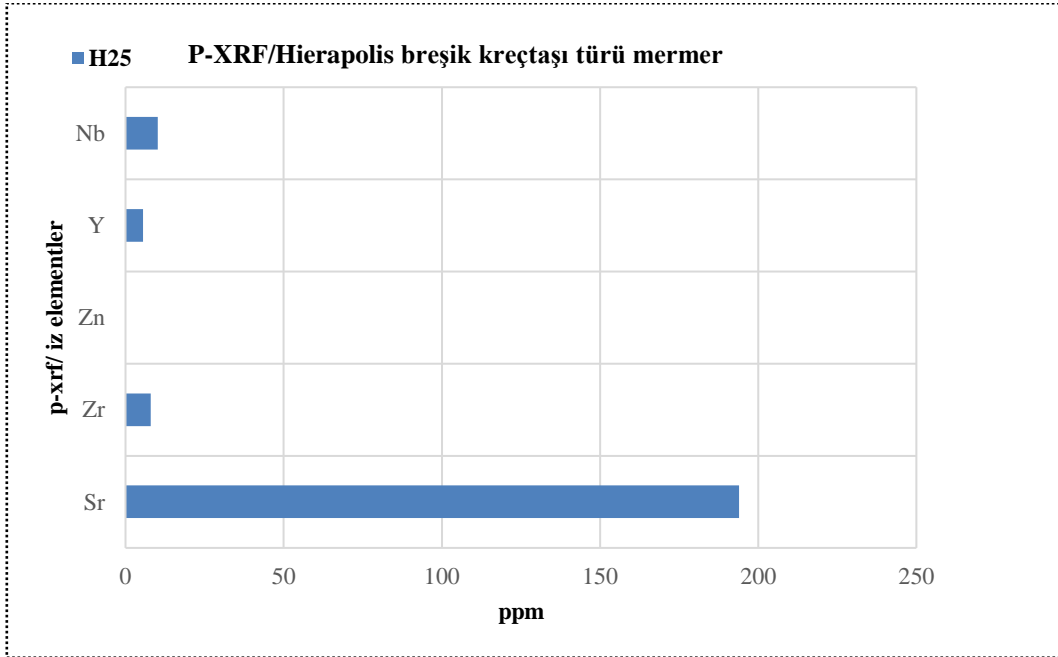


Şekil 2.46: Hierapolis kireçtaşı türü mermerlerin iz element karşılaştırma grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

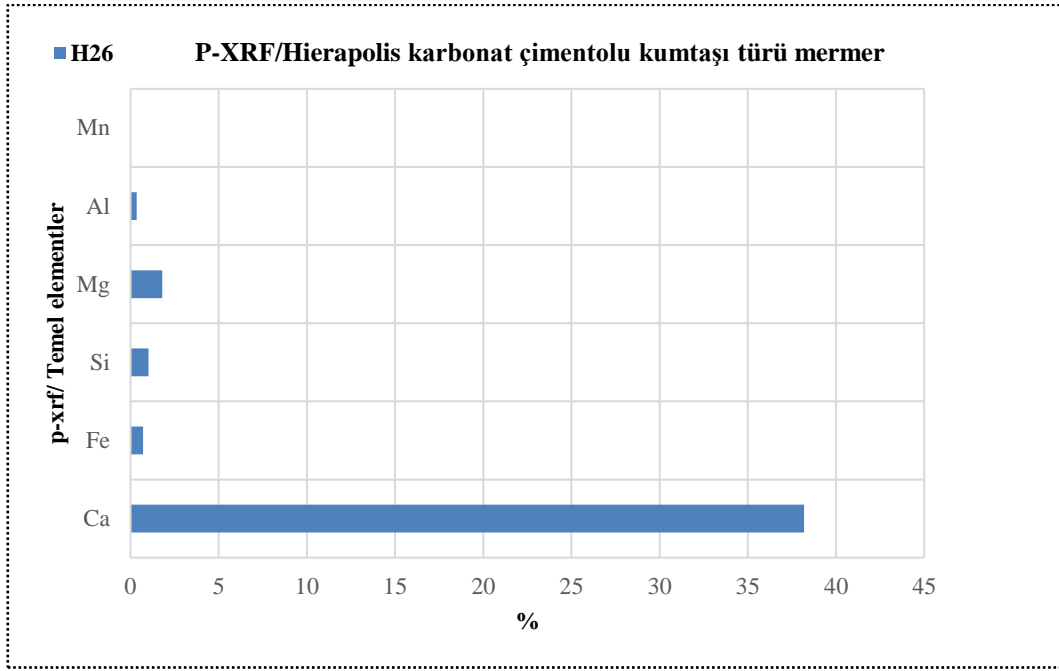


Şekil 2.47: Hierapolis breşik kireçtaşı mermer türü p-xrf elementel içerik grafiği.

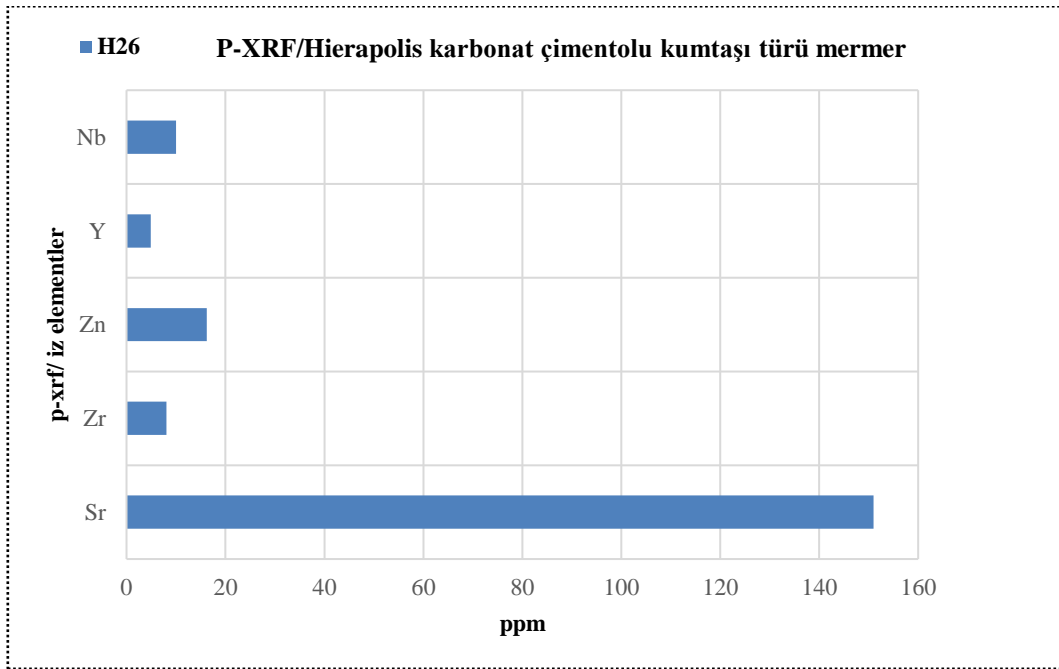


Şekil 2.48: Hierapolis breşik kireçtaşı mermer türü p-xrf iz element içerik grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



Şekil 2.49: Hierapolis karbonat çimentolu kumtaşı türü, elementel içerik grafiği.



Şekil 2.50: Hierapolis karbonat çimentolu kumtaşı türü, iz element içerik grafiği.

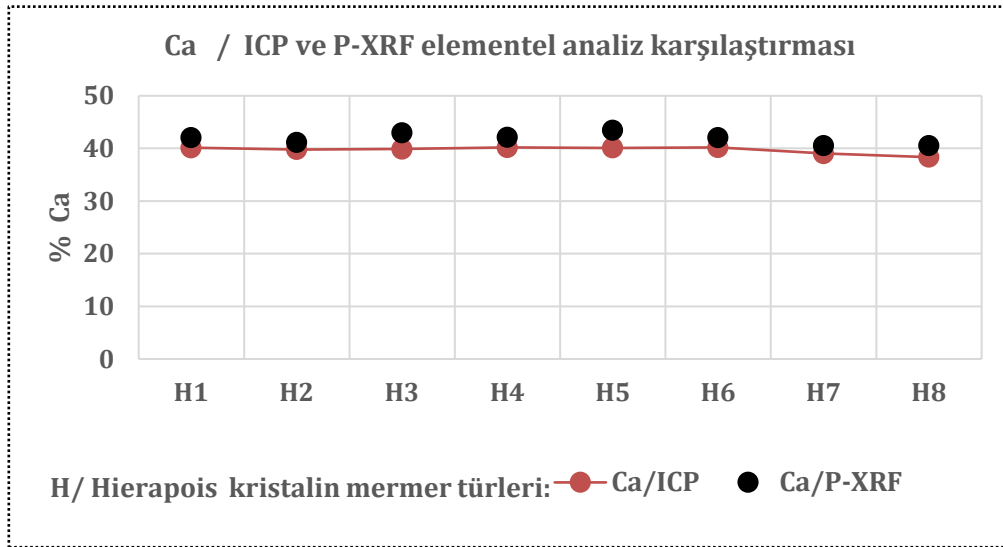
2.4.4. Hierapolis Kristalin Türlerinde ICP-MS ve P-XRF Karşılaştırması

Hierapolis kristalin mermerlerin türlerinin p-xrf/ICP karşılaştırma veri tablosu ve karşılaştırma grafiği (Tablo 2. 5 ve Şekil 2. 51-54).

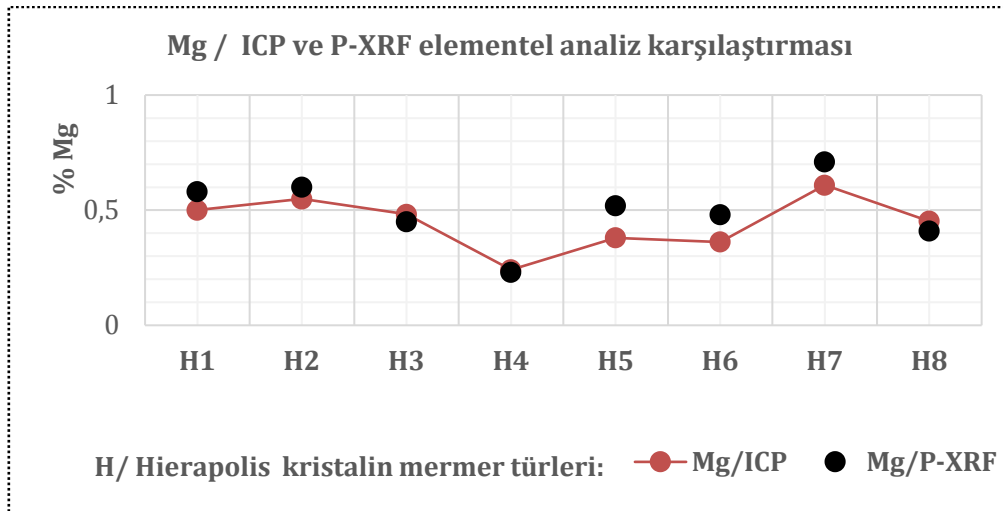
HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Tablo 2.5: Hierapolis kristalin mermer türleri elementel ICP ve P-XRF verileri tablosu.

%	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
Ca/ICP	40,13	39,81	39,9	40,19	40,11	40,19	39,05	38,34
Ca/P-XRF	42,06	41,17	43	42,15	43,43	42,06	40,57	40,57
St/ICP	127	193	169	138	247	126	172	191
St/P-XRF	129,05	192	161	122	241,26	117,14	174,3	174,1
Mg/ICP	0,50049	0,54873	0,4824	0,2412	0,37989	0,3618	0,60903	0,45225
Mg/P-XRF	0,58	0,6	0,45	0,23	0,52	0,48	0,71	0,41
Fe/ICP	0,028	0,028	0,028	0,035	0,028	0,028	0,098	0,238
Fe/P-XRF	0,1058	0,0452	0,021	0,058	0,0226	0,014	0,1095	0,3

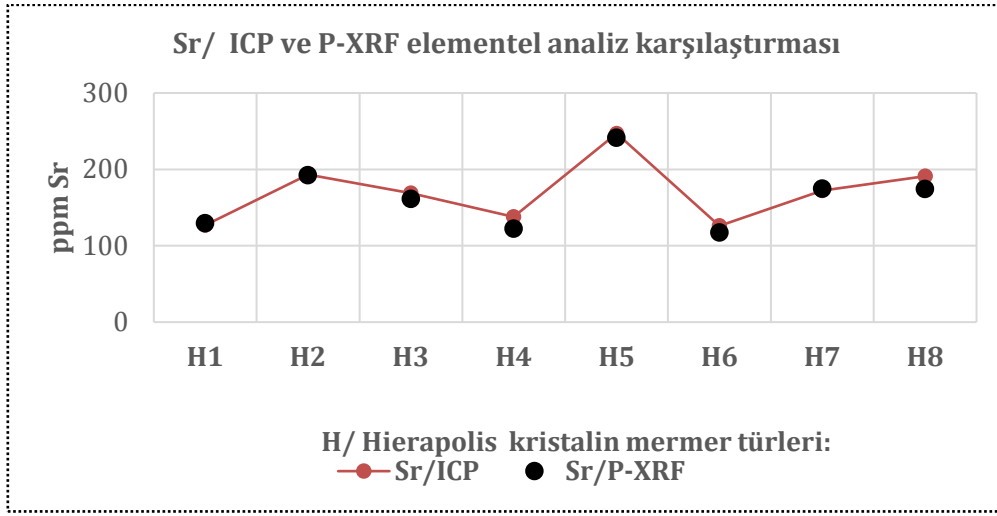


Şekil 2.51: Hierapolis kristalin mermer türleri Ca- ICP/Ca-P-XRF karşılaştırma grafiği.

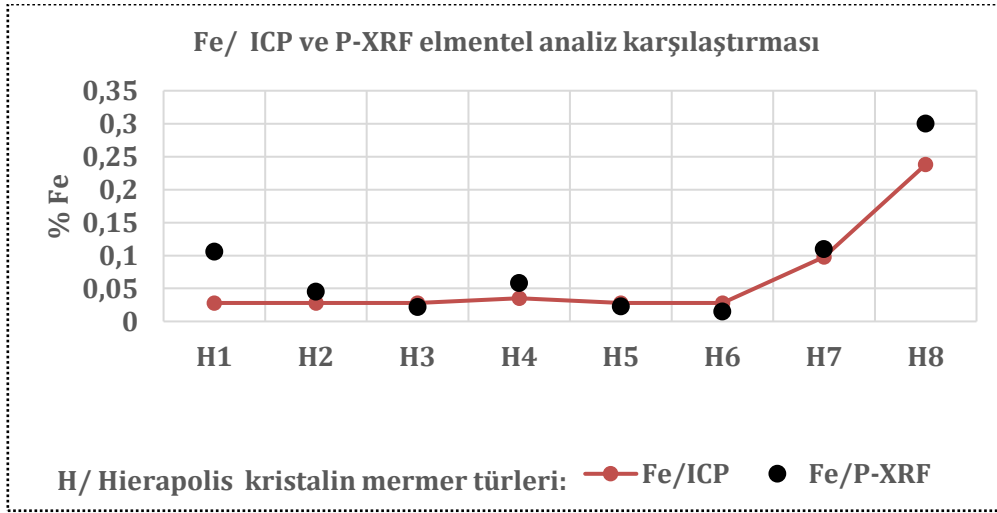


Şekil 2.5: Hierapolis kristalin mermer türleri Mg- ICP/Mg-P-XRF karşılaştırma grafiği.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



Şekil.2.53: Hierapolis kristalin mermer türleri Sr- ICP/Sr-P-XRF karşılaştırma grafiği.



Şekil 2.54: Hierapolis kristalin mermer türleri Fe- ICP/Fe-P-XRF karşılaştırma grafiği.

2.4.5. Hierapolis Antik Kenti Doğaltaşlarının Sınıflandırılması

Hierapolis antik kentinde kullanılan doğal taşlar; makro, mikro petrografik ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi sonucunda elde edilen verilere göre, köken grup, doğaltaş cinsi kristal boyutu ve doğaltaş türü tanımlamaları ile sınıflandırma ölçeği ve tablosu yapılmıştır (Şekil. 2.55), (Tablo:2.6).

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ



Şekil 2.55: Hierapolis antik kenti doğaltaş tipleri.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Tablo 2.6: Hierapolis antik kenti kristalin mermerleri, kireçtaşı, traverten, breşik kireçtaşı ve kumtaşı cinsi doğaltaşların sınıflandırma tablosu.

HİERAPOLİS DOĞALTAŞ TÜRLERİ VE SINIFLANDIRMASI				
Hierapolis Doğaltaş Tipleri	Doğaltaş Köken Grubu	Doğaltaş Cinsi	Kristal Boyut sınıfı	Hierapolis Doğaltaş Türü
H1	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H2	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H3	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H4	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H5	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H6	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H7	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz –grimsi damarlı orta kristalli mermer türü
H8	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Gri renkli orta kristalli mermer türü
H9	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Sarımsı beyaz Pelloidal/vaketaşı- istiftaşı traverten türü
H10	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Beyazımsı krem Pelloidal/vaketaşı traverten türü
H11	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Beyaz Algal Pelloidal/vaketaşı- istiftaşı traverten türü
H12	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	beyazımsı-açık kırmızı rekli Algal pelloidal/vaketaşı traverten türü
H13	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	beyazımsı-krem renkli Algal-pelloidal-vaketaşı traverten türü
H14	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Beyazımsı-krem renkli Algal pelloidal-vaketaşı traverten türü
H15	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Kahverengi renkli Onkoidal-pelloidal vaketaşı-istiftaşı traverten türü
H16	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Sarı renkli Algal pelloidal istiftaşı traverten türü
H17	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Sarımsı-bej renkli Onkoidal istiftaşı-tanetaşı traverten türü
H18	Sedimenter	Traverten	Çok ince	Beyazımsı-bej renkli

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

			kristal	Algal istiftaşı traverten türü
H19	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Beyazımsı bej- kırmızımsı kahve renkli/ Algal istiftaşı traverten türü
H20	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Bej (krem-midium bej) renkli Algal istiftaşı traverten türü
H21	Sedimenter	Kireçtaşı	Çok ince kristal	Açık bej renkli Algal Pelloidal istiftaşı kireçtaşı türü
H22	Sedimenter	Kireçtaşı	Çok ince kristal	Beyazımsı-açık (bej) / (light bej)/ Algal Pelloidal tanetaşı kireçtaşı türü
H23	Sedimenter	Kireçtaşı	Çok ince kristal	Sarımsı renkli Onko-pelloidal istiftaşı kireçtaşı türü
H24	Sedimenter	Kireçtaşı	Çok ince kristal	Açık bej renkli Algal Pelloidal-istiftaşı kireçtaşı türü
H25	Sedimenter	Breşik Kireçtaşı	Değişken tane boyutu	Karışık (mix) kırmızımsı-beyaz renkli/ Karbonat bileşimli breşik kireçtaşı (konglomeratik) türü
H26	Sedimenter	Kalkerli kumtaşı	Çok ince kristal	Sarımsı renkli Karbonat çimentolu kuvarca zengin kumtaşı türü

3. SONUÇLAR

Hierapolis antik kentinde yaygın olarak kullanılan doğaltaş(lar)/mermer(ler); Makro, mikro-petrografik, kimyasal, litolojik veya kayatomik özellikleri, metodolojik olarak incelenmiş, aşağıdaki sonuçlar belirlenmiştir.

Hierapolis antik kentinde kullanılan doğaltaşlar 26 tür olarak belirlenmiştir. Bu mermer türleri, metamorfik köken olarak 8 tür, sedimenter köken olarak 17 tür olarak belirlenmiştir. Detay olarak bu mermer türlerinin 8 tanesi metamorfik köken ve mermer cinsi, 11 tanesi sedimenter köken ve traverten cinsi, 4 tanesi sedimenter köken ve kireçtaşı cinsi, 1 tanesi sedimenter köken ve breşik kireçtaşı cinsi, 1 tanesi de sedimenter köken kalkerli kumtaşı cinsi şeklinde belirlenmiştir. Antik kentte kullanılan beyaz, grimsi-beyaz renkli kristalin mermer türlerinin tamamı orta kristal boyutuna sahip olarak belirlenmiştir (Tablo: 2.7). Kristalin mermer türlerinin, kristal boyutları ortalama (OTB) 319- 619 mikrondur. Doğaltaşların kimyasal analizleri için ICP-MS yönteminin yanında yeni bir yöntem olarak kapsamlı şekilde p-XRF (handheld portatif XRF/X-Ray Fluorescence Analyzers) kullanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen kimyasal analiz sonuçları ICP-MS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ile kullanılabilir bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Yüzde ve ppm olarak elementel değerler sağlayan bu yöntem, kısa zamanlı ve ekonomiktir. Özellikle antik kentlerde kullanılan doğaltaşlardan örnek numune almak bir problemdir. Bu yöntemle yerinde, yapılar ve sanatsal yapıtlar üzerinde ölçüm yapmak, mümkündür. Diğer taraftan daha pratik ve yapılara zarar vermekten uzak bir yöntemdir.

Hierapolis antik kentinde doğaltaş/mermer kullanımı politip köken olup, metamorfik kökenli kristalin mermer cinsleri ve sedimenter kökenli traverten, kireçtaşı, breşik kireçtaşı ve kumtaşı cinsi doğaltaşlardır.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Tablo 2.7: Hierapolis antik kenti doğaltaş/mermer temel karakterleri karşılaştırma tablosu.

Antik kent	Doğaltaş/mermer Köken grubu			Kökentip		Doğaltaş/Mermer Cinsleri	Kristal Boyutu
	Metamorfik	Sedimenter	Magmatik	Monotip köken	Politip köken		
Hierapolis	Metamorfik-Sedimenter			Politip köken		*Kristalin mermer cinsi- *Traverten cinsi *Kireçtaşı cinsi *Breşik kireçtaşı cinsi *Kumtaşı cinsi doğaltaşlar/mermerler	Kristalin mermer cinsleri : orta kristal boyutu Traverten, kireçtaşı doğaltaş cinsleri: Çok ince kristalli

Hierapolis antik kentinde kullanılan traverten cinsi mermerler, antik kent yakın çevresinde Karahayit, Pamukkale, Kocabaş lokasyonlarında, kuvarterner (traverten) yaşlı jeolojik formasyon içerisinde bulunan çok sayıda antik mermer ocaklarından, kireçtaşı cinsi mermerler ise Kaklık kuzeyinde yer alan Üst Miyosen yaşlı gölsel karbonatlar içerisindeki mermer ocaklarından sağlanmıştır. Bu ocakların koordinatlı yerleri antik kent çevre jeolojisi ocak lokasyon haritasında gösterilmiştir. Traverten jeolojik formasyonunun kent yerleşim alanına nedeni ile, antik kentin nekropol, anıt mezarlar, tiyatro gibi yapılarında özellikle traverten cinsi ve türleri yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Hierapoliste kullanılan H1-H7 beyaz renkli orta kristal boyutuna sahip kristalin mermerler ise, antik kentin kuzey-batısında çok yakın mesafede bulunan, Üst Paleozoik yaşlı kristalin mermer litolojisi içerisindeki mermer ocaklarından sağlanmıştır. Hierapolis antik kenti; Kristalin mermer, traverten, kireçtaşı, breşik kireçtaşı, karbonat çimentolu kumtaşı türü doğaltaşlar yaygın olması nedeniyle, baskın olarak otokton taş kullanım rejimine sahiptir. Kentin çevre jeolojisi ve bu jeoloji içerisinde bulunan çok sayıdaki antik ve modern ocaklar bu anlamda uyumluluk göstermektedir. Hierapolis antik kentlerinde baskın otokton (Yakın çevre jeolojisinden, yerli kullanım) bir doğaltaş kullanımı mevcuttur.

Hierapolis antik kenti yerleşme alanında, depremler nedeni ile zaman zaman yıkımlarla karşı karşıya kalmışlardır. Jeotektonik açıdan, Hierapolis antik kentinin hemen güneyini kat eden, Büyük Menderes grabeni ve bu grabeni sınırlayan aktif faylar bu yıkımların nedenidir. Günümüzde yakın tarihlerde Menderes havzasında, Pamukkale, Honaz ve Serinhisar hattında çok sayıda depremler meydana gelmiştir.

4. KAYNAKÇA

Antik Bölgeler Arkeoloji Dünyası,
<http://www.arkeolojিদunyası.com/image/haritalar/karia.gif>

Barka, A.A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. and Şengör, A.M.C. (1995). The Isparta Angle: Its importance in the Neotectonics of the Eastern Mediterranean Region. IESCA Proceedings, 13-18.

HİERAPOLİS ANTİK KENTİNDE KULLANILAN DOĞALTAŞLARIN KARAKTERİSTİĞİ VE TÜRLERİ

Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhanslı, R., Koralay, E., Çetinkaplan, M., Akal, C., Satır, M., Chen, F., ve Kaya, O., (2011). Menderes masifinin Pan-Afrikan Temelinin Stratigrafisi ve Gondvana'nın Genç Neoproterozoyik/Kambriyen Evrimi İle İlişkisi, MTA Dergisi, 142, 25-68.

Denizli İl Kültür Turizm Müdürlüğü, (2015). Hierapolis Antik kenti ile ilgili bilgiler. <http://pamukkale.gov.tr/tr/Antik-kentler/Pamukkale-Hierapolis>.

Dunham, R. J., (1962). Classification of carbonate rock according to depositional texture. In: Classification of carbonate Rocks. (Ed. W. G. Ham). Mem. Amer. Assoc. Petr. Geol., 1, 108-121.

Flügel, E., (2004). Microfacies of Carbonate Rocks Analysis, Interpretation and Application, 281p, Berlin, Heidelberg.

Folk, R. L., (1962). Spectral subdivision of limestone types. In: Classification of carbonate Rocks (Ed. W. E. Ham). Mem. Amer. Assoc. Petr. Geol., 1, 62-64.

Hacımustafaoğlu, R., Yağmurlu F., (2017). Petrographic Properties of Crystalline Marbles of Afrodiasias Ancient City, Classification of Crystal Sizes and Comparison of Grain Size of Reference Crystal Marble Samples. IV. Uluslararası Taş Kongresi, İzmir, 142-144.

Hacımustafaoğlu, R., (2019). Afrodiasias, Hierapolis ve Sagalastos Antik Kentlerinde Kullanılan Doğal Taşların Kökeni ve Bunların Petro-Kimyasal ve Fiziko-Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Batı Anadolu, S.D.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.

İstanbul Maden İhracatçıları Birliği (İMİB), (2018). Türkiye Mermer Ocakları.

Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), (2018). Yer Bilimleri Harita Görüntüleyicisi ve Çizim Editörü. Erişim Tarihi: 21.03.2018. <http://www.yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>.

Passchier, C. W and Trouw, R.A., (1996). Microtectonics, Springer-Verlag, Berlin 1996.

Sözbilir, H. (2001). Nazilli ve dolayının (Büyük Menderes Grabeni) genç tektoniği. Büyük Menderes Depremleri Jeofizik Toplantısı, pp. 54-61.

Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1987). Geological evolution and basin models during neotectonic episode in the Eastern Anatolia. Bull. Min. Res. Ezp., 107,74-94.

Şengör, A.M.C. (1987). Cross faults and differential stretching of hanging walls in region of low-angle normal faulting: examples from western Turkey, in: Coward M.P., Dewey J.F. and Hancock P.L. eds. Continental extensional tectonics, Geological society special Publication, 28, 575-589 p.

TS EN 12407 (Ocak, 2002). Doğal Taşlar Deney Metodları Petrografik İnceleme.

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

Ramazan Köprü

Işık Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şile Kampüsü, Şile/İstanbul, Türkiye

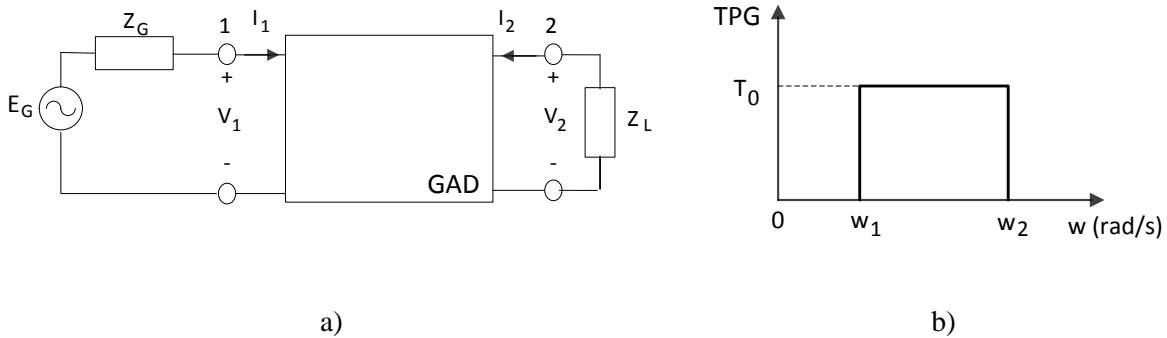
ramazan.kopru@isikun.edu.tr

1. GİRİŞ

Yaşantımızın hemen her alanında kullanılan pek çok teknolojik ürün, gittikçe daha yüksek frekanslar ve daha geniş bantlar gerektiren uygulamaları beraberinde getirmektedir. Birkaç on yıl öncesine kadar RF frekans bölgesi radyo, TV (VHF, UHF vb.), telefon gibi pek çok uygulama için yeterli iken, günümüzde yüksek çözünürlükte kablosuz görüntü iletimi, geniş bant kablosuz veri aktarımı ve internet, otonom sürüş için araç radarı vb. uygulamalar için mikrodalga frekanslar olarak adlandırılan 1 GHz ve çok ötesi frekansların kullanımı vazgeçilmez hale gelmiştir. Bu uygulamalarda bir kaynaktan bir yüke RF/mikrodalga güç aktarımının kablolu ya da kablosuz olarak yapılması söz konusudur. Bu nedenle bu tür devreler güç aktarım devreleri (GAD) (Şekil 1.a) olarak adlandırılırlar. Çoğu durumda RF/mikrodalga gücünün aktarımı için dönüştürücü güç kazancı (TPG) etkin bir ölçü olarak kullanılır ve aşağıdaki ifade ile verilir,

$$TPG = \frac{\text{Yüke aktarılan güç}}{\text{Üretecin mevcut gücü}} = \frac{P_L}{P_A} \quad (1)$$

TPG, çalışma frekansı aralığında ($\omega_1.. \omega_2$) mümkün olduğunca düz ve maksimum genlikte yapılmaya çalışılır (Şekil 1.b). GAD devreleri uygulamaya göre, filtre, dengeleyici, empedans uyumlaştırıcı olarak adlandırılmaktadır. Temel görevi, kaynak gerilimi E_G 'nin frekansa bağlı iç empedansı $Z_G(\omega)$ 'yi, yük empedansı $Z_L(\omega)$ ile uyumlaştırmaya çalışmaktır, diğer deyişle kaynaktan yüke aktarılacak gücün mümkün olduğunca yüksek olmasını sağlamaktır ($TPG \cong 1, \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$) (Chen, 1998; Carlin & Civalleri, 1998).



Şekil 1: a) Tipik bir güç aktarım devresi b) Çalışma bandında TPG seviyesi.

Bu tür yüksek frekans, yüksek band gerektiren RF/mikrodalga güç aktarım uygulamaları için gereken GAD devrelerinin tasarımı gerek alışlagelmiş *toplu parametrelili devre teorisi* teknikleri ile, gerekse *dağılmış parametrelili devre teorisi* teknikleri ile yapılmaktadır. Teknik olarak ifade etmek gerekirse, devre üzerindeki akım/gerilim büyüklüklerine ait işaretin dalga boyu (λ) devrenin fiziksel boyutlarına (l) oranla çok büyük ise ($\lambda \gg l$) bu tür devre toplu parametrelili devre teorisi (TPD)

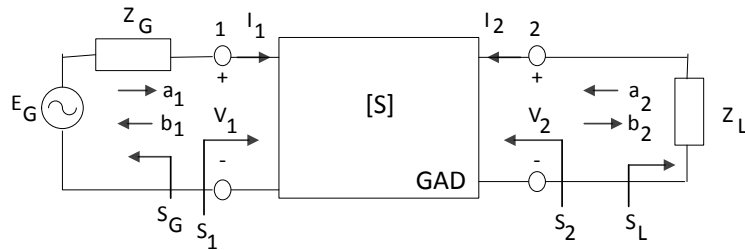
BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

yaklaşımı ile tasarlanır. Diğer yandan, işaretin dalga boyu devrenin fiziksel boyutları mertebesinde ise ($\lambda \sim l$, $\lambda \cong l/10$ ya da $l/20$ çoğunlukla iyi bir pratik seçimdir) bu tür devre dağılmış parametrelili devre teorisi (DPD) yaklaşımı ile ele alınmalıdır. Toplu parametrelili devre teorisi, devre elemanlarının fiziksel boyutlarının olmadığı ve akım/gerilim işaretlerinin sonsuz hızda (ya da ansız olarak) ilerlediği varsayımına dayanır, pek çok GHz altı uygulama için başarılı bir şekilde kullanılmıştır; bu kabule dayanarak tasarlanan devreler gerçekleştirildiklerinde de yüksek başarımla çalışabilmektedir. Bu yaklaşımda devre analiz ve çözümlenmeleri zaman uzayında yapılabildiği gibi, klasik $p = \sigma + j\omega$ Laplace uzayında da yapılabilir. Devredeki reaktif (LC) eleman sayısının çok fazla olması durumunda, ortaya çıkan yüksek dereceden integro-diferansiyel denklemler devrenin çözümünü zorlaştırdığı hatta imkansızlaştırdığı için genellikle devrenin Laplace uzayı eşdeğeri üzerinde devre çözümlenmesi yapılır.

Dağılmış parametrelili devre teorisi ise, esasen iletim hattı teorisi ile ilintilidir, belirli bir fiziksel uzunluk ve karakteristik empedansa sahip iletim hatları devre elemanı olarak tanımlanırlar; akım/gerilim işaretleri iletim hattının herhangi iki fiziksel noktası arasında hat sabitlerince belirlenmiş sonlu bir hızda ilerleyebilir. Bu anlamda, mikrodalga mühendisliği iki ana yaklaşım ve bu yaklaşımlar gereğince iki ana uzayda devre çözümlenmesi yapar:

1. Toplu parametrelili devre yaklaşımı : Laplace uzayında ($p = \sigma + j\omega$) çalışır.
2. Dağılmış parametrelili devre yaklaşımı : Richards uzayında ($\lambda = \Sigma + j\Omega$) çalışır.

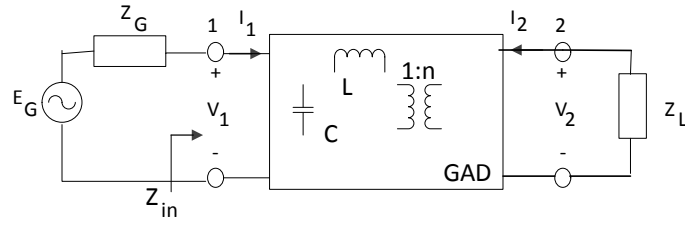
Şekil 1.a'da verilen güç aktarım devresi, toplu parametrelili devre elemanlarıyla ya da dağılmış parametrelili devre elemanlarıyla gerçekleştirilebilen bir iki-kapılı olarak ele alınabilir (Şekil 2). Bu anlamda, GAD devresi, doğrusal zamanla değişmeyen bir iki-kapılı olarak ele alınır, bu iki-kapılının giriş kapısı (kapı 1) ve çıkış kapısına (kapı 2) ilişkin gerilim ve akımlar ($V_i, I_i, i=1,2$) arasında empedans ($[Z]$), admitans ($[Y]$), hibrid ($[h]$), saçılma parametreleri ($[S]$), $ABCD$ parametreleri ($[T]$) gibi matrislerce belirlenen ilişkiler elde edilebilir. Devre, giriş/çıkış akım/gerilimleri ($V_i, I_i, i=1,2$), ilerleyen/yansıyan dalgalar ($a_i, b_i, i=1,2$) olarak temelde dört büyüklük cinsinden karakterize edilebilir (Vendelin et al., 2005).



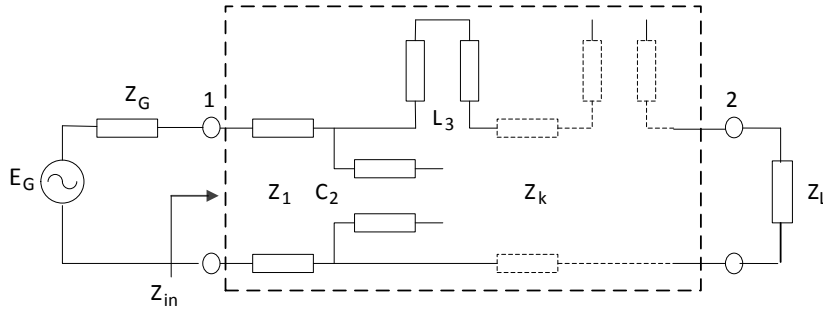
Şekil 2: Güç aktarım devresinin iki-kapılı devre olarak ele alınması.

Devre çözümlenmesi hangi uzayda yapılıyorsa, devre büyüklükleri o uzay değişkeninin bir fonksiyonu olarak ifade edilir; toplu parametrelili bir GAD devresi tasarlanıyorsa, p Laplace değişkeninin fonksiyonu olarak ifade edilen $V_i(p), I_i(p), a_i(p), b_i(p), (i=1,2)$ kapı büyüklükleri ve $[Z(p)], [Y(p)], [h(p)], [S(p)], [T(p)]$ matrisleri ile çalışılır; dağılmış parametrelili (iletim hatları ile) bir GAD devresi tasarlanıyorsa, λ Richards değişkeninin fonksiyonu olarak ifade edilen $V_i(\lambda), I_i(\lambda), a_i(\lambda), b_i(\lambda), (i=1,2)$ kapı büyüklükleri ve $[Z(p)], [Y(p)], [h(p)], [S(p)], [T(p)]$ matrisleri ile çalışılır. Şekil 2'deki GAD devresi toplu parametrelili kayıpsız bir iki-kapılı ise L, C ve transformatör elemanları ile oluşturulur. (Şekil 3). GAD devresi dağılmış parametrelili kayıpsız bir iki-kapılı ise sonu açık iletim hatları (Richards kapasitesi, örneğin C_2), sonu kısadevre iletim hatları (Richards enduktansı, örneğin L_3) ve birim elemanlar (unit element, UE - örneğin Z_1, Z_2, \dots, Z_k 'lar) cinsinden elemanlarla oluşturulur (Şekil 4).

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA



Şekil 3: GAD'nin toplu parametrelili L, C ve transformatörlerle oluşturulması



Şekil 4: GAD'nin dağılmış parametrelili iletilim hatları ile oluşturulması.

Güç aktarım devresinin tasarımı dendiğinde, tasarlanacak olan devrenin istenen başarımlarını karşılayacak şekilde Darlington sürüş noktası fonksiyonunun, $Z_{in}(p)$ (ya da $Z_{in}(\lambda)$), elde edilmesi anlaşılmalıdır. Sürüş noktası empedans fonksiyonu Z_{in} belirlendikten sonra, bu fonksiyona uygulanan uygun sentezleme tekniği ile devre eleman değerleri elde edilir ve tasarım tamamlanmış olur. En temel ve en sık kullanılan başarımlar kriterlerinden biri, tasarlanacak devrenin belirli bir frekans bandında ($\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$) dönüştürücü güç kazancının istenen bir fonksiyon şekline ($TPG(\omega)$) sahip olmasıdır,

$$TPG(p) \cong TPG(\omega), \quad \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \quad (2)$$

$$TPG(\lambda) \cong TPG(\omega), \quad \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \quad (3)$$

Burada $TPG(p)$ ve $TPG(\lambda)$, sırasıyla tasarlanmakta olan toplu ve dağılmış parametrelili devreye ait güç dönüşüm kazanç fonksiyonu olup, devreye ait sürüş noktası empedans fonksiyonu Z_{in} ve kaynak empedansı Z_G cinsinden,

$$TPG(p) = \frac{4R_G(\omega)R_{in}(p)}{|Z_{in}(p) + Z_G(\omega)|^2}, \quad \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \quad (4)$$

$$TPG(\lambda) = \frac{4R_G(\omega)R_{in}(\lambda)}{|Z_{in}(\lambda) + Z_G(\omega)|^2}, \quad \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \quad (5)$$

olarak ifade edilebilir (Chandra et al., 2007; Zhu & Chen, 2000; Yarman, 2010).

Devrenin fiziksel gerçekleştirilebilir olması için, sürüş noktası empedansı Z_{in} , pozitif gerçel rasyonel bir fonksiyon (PRF - positive real function) olmalıdır (Chen, 1998; Carlin & Civalleri, 1998).

$$Z_{in}(p) = \frac{N(p)}{D(p)} = \frac{a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_1 p + a_0}{b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p + b_0}, \quad |m - n| \leq 1 \quad (6)$$

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

$$Z_{in}(\lambda) = \frac{N(\lambda)}{D(\lambda)} = \frac{a_m\lambda^m + a_{m-1}\lambda^{m-1} + \dots + a_1\lambda + a_0}{b_n\lambda^n + b_{n-1}\lambda^{n-1} + \dots + b_1\lambda + b_0}, \quad |m - n| \leq 1 \quad (7)$$

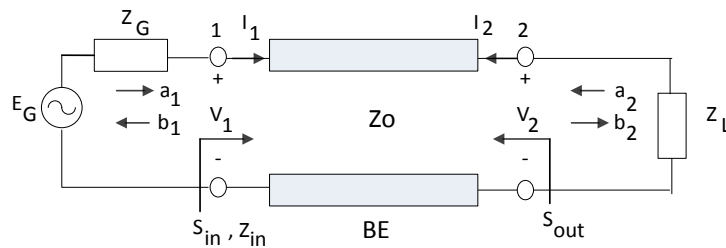
Burada, $|m - n| \leq 1$ ile ifade edilen, $m = n$ ya da $|m - n| = 1$ olması gerektirir. Gerek denklem (6), gerekse denklem (7) ile verilen sürüş noktası empedans fonksiyonunun sentezlenmesi ve devre elemanlarının bu yolla elde edilmesi devre teorisi ve mikrodalga teori ve teknikleri ile ilgili literatürde çok önemli bir yer tutmaktadır. Yüksek dereceden (devre eleman sayısı $n \gg 1$) sürüş noktası fonksiyonlarının hatasız ve yüksek rakamsal hassasiyetle elde edilmesi, filtre, uyumlaştırma devreleri, geniş bant RF/mikrodalga güç yükselteçleri, geniş bant RF/mikrodalga alıcılar vb. tasarımlardaki belki de en önemli aşamalardan biridir (Hong & Lancaster, 2001; Vendelin et al., 2005; Chandra et al., 2007; Zhu & Chen, 2000). Literatürde bu tür yüksek doğruluğa sahip toplu parametrelili devrelere ait sentezleme yapan algoritma ve programlar mevcut olduğu gibi, dağılmış parametrelili devrelere ait sentezleme yapan algoritma ve programlar da mevcuttur (Yarman et al., 2016; Yarman et al., 2014). (Yarman et al., 2014)'da temel teknik, sürüş noktası saçılma parametreleri fonksiyonu $S(\lambda) = h(\lambda)/g(\lambda)$ 'nin sentezlenmesine dayanır. Bu çalışmada "birim eleman mikrodalga devrelerinde giriş empedansı sentezi için bir algoritma" başlığı ile önerilen yöntem ise $Z_{in}(\lambda) = N(\lambda)/D(\lambda)$ empedans fonksiyonunun sentezini yapar, yani empedansa dayalı bir sentez tekniği olması açısından (Yarman et al., 2014)'da önerilenden bu yönde ayrılmaktadır. Bu çalışmada, "Bemes - birim eleman mikrodalga devrelerinde giriş empedans sentezi algoritması" sunulacak, bazı örnek tasarımlarla uygulamaları gösterilecektir. Bemes (kısaca, birim eleman mikrodalga devre empedansı sentezi), Matlab ortamında geliştirilmiş bir program olup, kod ayrıntıları ilgilenenler için bu çalışmada verilmekte, tasarımlarında kullanacakları umut edilmektedir.

2. BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELER VE SENTEZİ

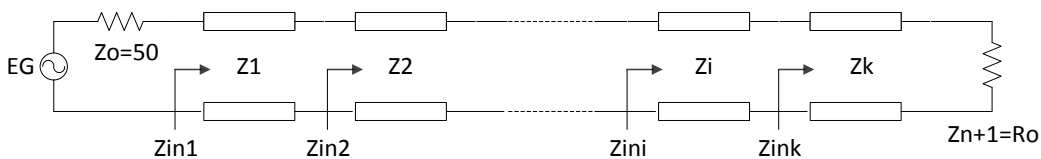
2.1. Birim Eleman (BE) ve Dağılmış Parametrelili Devre Elemanı

Tanım 1: Fiziksel uzunluğu sabit $n+1$ adet TEM iletim hattının kaskad bağlanması ile oluşturulan bir mikrodalga devredeki her bir iletim hattına *birim eleman* (unit element) denir (Şekil 5.a, Şekil 5.b). Eşit uzunluklu bu iletim hatları *eş iletim hatları* (commensurate lines) olarak adlandırılır (Şekil 5.b) (Hong & Lancaster, 2001; Yarman, 2010).

Tanım 2: Kaskad bağlı bir birim eleman (BE), sonu kısadevre ya da sonu açık devre edilmiş seri ya da paralel bağlı iletim hatlarının her biri birer dağılmış parametrelili devre elemanı olarak kullanılabilir (Şekil 5.c) (Hong & Lancaster, 2001; Yarman, 2010; Pozar, 2012).

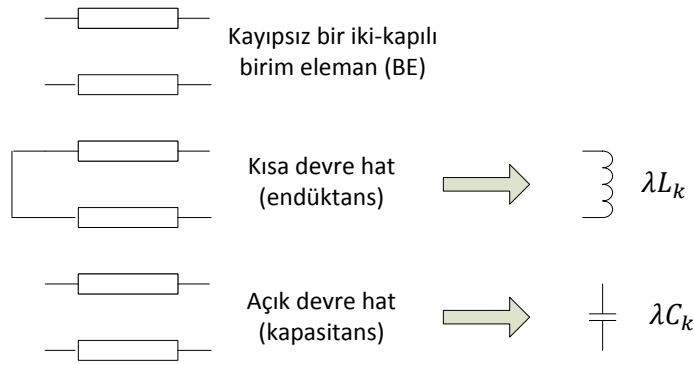


Şekil 5.a: Birim eleman olarak iletim hattı kullanımı.



Şekil 5.b: Birim elemanların kaskad bağlanması ile mikrodalga devre oluşturulması.

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA



Şekil 5.c: Birim elemanların toplu parametrelili devre olarak kullanılması (Vendelin et al., 2005).

2.2. İletim Hattı Teorisi – Özet

İletim hatları, EM (elektromanyetik) enerjinin iletilmesinde kılavuzluk yapan basit geometrik yapılardır. Örnek olarak, Şekil 6.a'daki gibi birbirleri arasında belirli mesafe bulunan iki paralel iletken plaka bu tür yapılar için verilebilecek en basit bir örnektir. Kaynaktan yapıya uygulanan zamanla değişen elektriksel işaret, yapının içinde elektrik alan (E) ve manyetik alan (H) olmak üzere birbirine dik x-y düzlemlerindeki iki değişken bileşeni oluşturur, bu iki bileşen kendilerine dik düzlemdeki z eksenini doğrultusunda ilerleyen bir EM dalga yayını oluştururlar. Bu EM dalga enine dalga (TEM – transverse EM wave) olarak adlandırılır ve Poynting teoremi gereğince E ve H alanlarının vektörel çarpımı ile ifade edilir, $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$. Sözü edilen paralel plaka yapı, EM enerjinin kaynakla yük arasında kayıpsız olarak kılavuzlanması suretiyle iletilmesini sağladığı için ideal bir *iletim hattı* olarak adlandırılır. EM dalga yayını, denklem (8) ve denklem (9)'da sırasıyla iki diverjans ve iki rotasyonel ile ifade edilen dört adet Maxwell eşitliğince yönetilmektedir (Nucci et al., 2008; Yarman, 2010; Pozar, 1998).

$$1) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_V \rho_v dV = Q \quad (8.i)$$

$$2) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad (8.ii)$$

$$3) \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \oint_C \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \oint_S \vec{B} d\vec{S} = -\frac{d\phi}{dt} \quad (9.i)$$

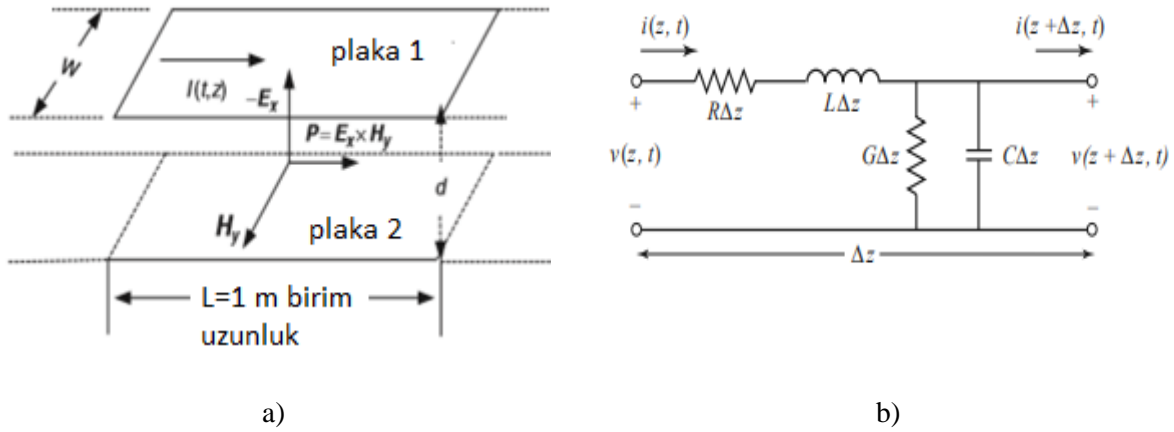
$$4) \quad \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \oint_C \vec{H} d\vec{l} = \oint_S \vec{J} d\vec{S} + \frac{d}{dt} \oint_S \vec{D} d\vec{S} = I_c + I_D \quad (9.ii)$$

Bu eşitlikler kullanılarak Şekil 6.a'daki iletim hattına ilişkin hat endüktansı L (H/m) ve kapasitansı C (F/m), hattın fiziksel büyüklükleri ve hat içindeki EM dalganın yayınında bulunduğu ortam parametreleri μ, ε cinsinden ifadeleri denklem (10)'da verilmektedir.

$$L = \frac{\phi}{I} = \frac{\oint_S \vec{B} d\vec{S}}{\oint_C \vec{H} d\vec{l}} = \frac{\mu H_y S_{yan}}{H_y W} = \mu \frac{d}{W}, \quad "S_{yan} = d \times 1m = d" \quad (10.i)$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\oint_S \vec{D} d\vec{S}}{\oint_C \vec{E} d\vec{l}} = \frac{\varepsilon E_x S_{üst}}{E_x d} = \varepsilon \frac{W}{d}, \quad "S_{üst} = W \times 1m = W" \quad (10.ii)$$

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA



Şekil 6: a) Paralel iletkenlerle oluşturulmuş mikrodalga iletim hattı (Yarman, 2010), b) T (ya da pi) altdevre modeli (Poazar, 2012).

Şekil 6.b’de iletim hattı için verilen eşdeğer devreye dair eşitlikler aşağıda olduğu gibi elde edilebilir.

$$-\nabla V = (L\Delta z) \frac{\Delta I}{\Delta t} \rightarrow \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta z} = \frac{\partial V}{\partial z} = -L \frac{\partial I}{\partial t} \quad (11.i)$$

$$-\nabla I = (C\Delta z) \frac{\Delta V}{\Delta t} \rightarrow \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta z} = \frac{\partial I}{\partial z} = -C \frac{\partial V}{\partial t} \quad (11.ii)$$

Denklem (11.i)’ye $\partial/\partial z$ ve (11.ii)’ye $\partial/\partial t$ uygulanırsa denklem (12.i) elde edilir. Benzer şekilde, denklem (11.i)’ye $\partial/\partial t$ ve denklem (11.ii)’ye $\partial/\partial z$ uygulanırsa denklem (12.ii) elde edilir.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -L \frac{\partial^2 I}{\partial z \partial t} \quad \text{ve} \quad \frac{\partial^2 I}{\partial z \partial t} = -C \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \quad (12.i)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z \partial t} = -L \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} \quad \text{ve} \quad \frac{\partial^2 I}{\partial z^2} = -C \frac{\partial^2 V}{\partial z \partial t} \quad (12.ii)$$

Denklem (12.i)’de sağ taraftaki ifade soldaki ifadede yerine konursa, denklem (13.i)’deki gerilim dalga fonksiyonu $V(z,t)$ ile ilgili dalga fonksiyonu elde edilir. Burada v , gerilim dalgası yayınının hızını ifade eder. Benzer şekilde, denklem (12.ii)’de sol taraftaki ifade sağdaki ifadede yerine konursa, denklem (13.ii)’deki akım dalga fonksiyonu $I(z,t)$ ile ilgili dalga fonksiyonu elde edilir. Bu eşitlikler, “telgrafçının denklemleri” olarak bilinir (Nucci et al., 2008).

$$\frac{\partial^2 V(z,t)}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}, \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (13.i)$$

$$\frac{\partial^2 I(z,t)}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 I}{\partial t^2}, \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (13.ii)$$

elde edilir. Denklem (13.i)’deki dalga denkleminin çözümü denklem (14.i) ile verilir. Denklem (11.i) gereğince denklem (13.i)’ye önce $\partial/\partial z$ uygulanırsa ve sonra sonuca $\int(\cdot)dt$ uygulanırsa denklem (14.ii) elde edilir.

$$V(z,t) = V_i \left(t - \frac{z}{v} \right) + V_r \left(t + \frac{z}{v} \right), \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (14.i)$$

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

$$I(z, t) = \frac{1}{Z_0} \left[V_i \left(t - \frac{z}{v} \right) - V_r \left(t + \frac{z}{v} \right) \right], Z_0 = Lv = \sqrt{L/C} \quad (14.ii)$$

Burada Z_0 iletim hattının karakteristik empedansı olarak bilinir. V_i ve V_r sırasıyla gelen ve yansıyan gerilim dalga fonksiyonu olarak adlandırılır, benzer şekilde; I_i ve I_r sırasıyla gelen ve yansıyan akım dalga fonksiyonu olarak adlandırılır. Denklem (10.i) ve denklem (10.ii)'den $V = E_x d$ ve $I = H_y W$ olduğu ve ayrıca $L = \mu d/W$, $C = \epsilon W/d$ hatırlanır ve denklem (13.i) ve denklem (13.ii)'de yerlerine yazılırsa, denklem (13) ile verilen gerilim/akım dalga fonksiyonlarına eşdeğer E- alan/H- alan (elektrik alan/manyetik alan) dalga denklemleri elde edilir ve denklem (15.i) ve denklem (15.ii) ile verilir (Nucci et al., 2008; Yarman, 2010).

$$\frac{\partial^2 E_x(z, t)}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 E_x(z, t)}{\partial t^2}, \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (15.i)$$

$$\frac{\partial^2 H_y(z, t)}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 H_y(z, t)}{\partial t^2}, \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (15.ii)$$

Benzer şekilde, alan çözümleri denklem (16.i) ve denklem (16.ii) ile verilir.

$$E_x(z, t) = E_{x_i} \left(t - \frac{z}{v} \right) + E_{x_r} \left(t + \frac{z}{v} \right), \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (16.i)$$

$$H_y(z, t) = \frac{1}{Z_0} \left[E_{x_i} \left(t - \frac{z}{v} \right) - E_{x_r} \left(t + \frac{z}{v} \right) \right], Z_0 = Lv = \sqrt{L/C} \quad (16.ii)$$

Denklem (13) ile verilen zaman uzayı çözümü ifadeleri, fazör uzayı için de yazılabilir,

$$V(z, j\omega) = Ae^{-\gamma z} + Be^{+\gamma z} \quad (17.i)$$

$$I(z, j\omega) = \frac{1}{Z_0} [Ae^{-\gamma z} - Be^{+\gamma z}] \quad (17.ii)$$

Burada γ yayılım sabiti, Z_0 TEM hattının karakteristik impedansı olmak üzere, kayıpsız hatlar için

$$Z(j\omega) = j\omega L, Y(j\omega) = j\omega C, \text{ hat empedans ve admitansı } (\Omega/m, S/m) \quad (18.i)$$

$$\gamma^2 = Z(j\omega)Y(j\omega) = -\omega^2 LC \text{ ya da} \quad (18.ii)$$

$$\gamma(j\omega) = j\omega LC = j(\omega/v) = j\beta(\omega) = \sqrt{Z(j\omega)Y(j\omega)}, \text{ yayılım sabiti (Np/m)}$$

$$\beta(\omega) = \frac{\omega}{v_p}, \text{ faz sabiti (rad/m)} \quad (18.iii)$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \text{“}\lambda = \frac{v_p}{f}\text{”}.$$

$$v_p = \left(\frac{d\beta}{d\omega} \right)^{-1} = 1/\sqrt{LC}, \text{ faz hızı} \quad (18.iv)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z(j\omega)}{Y(j\omega)}} = \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ hat karakteristik empedansı } (\Omega) \quad (18.v)$$

ilişkileri verilebilir. Hat kayıplı ise, seri rezistif kayıp r ve paralel iletkenlik G , sırasıyla L ve C ile ilişkilidir, bu durumda

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

$$\begin{aligned}\gamma(j\omega) &= \alpha(\omega) + j\beta(\omega) = \sqrt{(r + j\omega L)(G + j\omega C)} \\ \alpha(\omega) &= \text{real}\{\gamma(j\omega)\}, \text{ zayıflatma sabiti (Np/m)}\end{aligned}\quad (18.vi)$$

l (m) hattın uzunluğu olmak üzere, gecikme uzunluğu τ (s) ve faz gecikmesi (rad),

$$\tau = l/v_p, \text{ s.} \quad (18.vii)$$

$$\varphi = \beta l = \left(\frac{\omega}{v_p}\right)l = \omega\tau, \text{ rad.} \quad (18.viii)$$

(17.i) ve (17.ii)'de $A(z, j\omega) = Ae^{-\gamma z}$ ve $B(z, j\omega) = Be^{+\gamma z}$ sırasıyla gelen ve yansıyan dalgaları temsil ederse, gerilim ve akım ifadeleri gelen ve yansıyan dalgalar cinsinden

$$V(z, j\omega) = A(z, j\omega) + B(z, j\omega) \quad (19.i)$$

$$I(z, j\omega) = \frac{1}{Z_0} [A(z, j\omega) - B(z, j\omega)] \quad (19.ii)$$

olarak yazılabilir. Hattın herhangi bir z noktasında yansıyan dalganın gelen dalgaya oranı yansıma katsayısı olarak bilinir ve

$$S(z, j\omega) = \frac{B(z, j\omega)}{A(z, j\omega)} = \frac{B}{A} e^{2\gamma z} \quad (20)$$

ile verilir (Yarman, 2010).

2.2.1. Richards Değişkeni λ

Şekil 7 dikkate alınır, $z = 0$ için denklem (20) yük yansıma katsayısı S_L 'yi verir. $z = -l$ için denklem (20) giriş yansıma katsayısı S_{in} 'i verir. Eğer hat $z=0$ düzleminden iç empedansı Z_L olan bir gerilim kaynağı ile sürülür ve hat $z = -l$ 'de Z_G ile sonlandırılırsa, benzer ifadeler S_G ve S_{out} için denklem (21.iii) ve denklem (21.iv)'te olduğu gibi yazılabilir (Yarman, 2010).

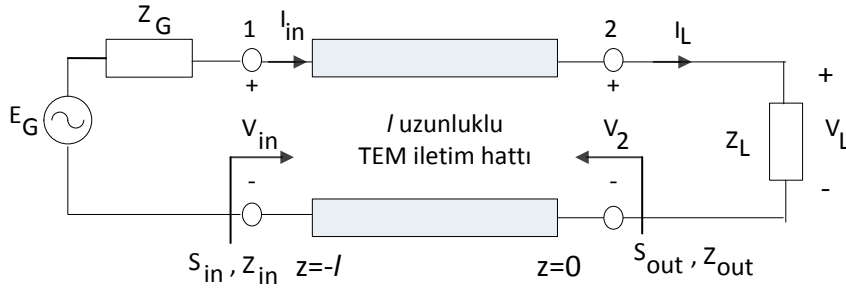
$$S(0, j\omega) = S_L = \frac{B}{A} \quad (21.i)$$

$$S(-l, j\omega) = S_{in} = \frac{\text{yansıyan dalga}}{\text{gelen dalga}} = \frac{B}{A} e^{-2\gamma l} = S_L e^{-2\gamma l} \quad (21.ii)$$

$$S(0, j\omega) = S_G = \frac{B}{A} \quad (21.iii)$$

$$S(-l, j\omega) = S_{out} = \frac{B}{A} e^{-2\gamma l} = S_G e^{-2\gamma l} \quad (21.iv)$$

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA



Şekil 7: Tipik bir TEM hattı için yansımaya katsayıları çıkarımı için düzenek.

$z = -l$ için denklem (17) değerlendirilirse, hattın giriş empedansı Z_{in}

$$\begin{aligned} V(-l, j\omega) = V_{in} &= Ae^{\gamma l} + Be^{-\gamma l} = Ae^{\gamma l} \left(1 + \frac{B}{A} e^{-2\gamma l} \right) = Ae^{\gamma l} (1 + S_L e^{-2\gamma l}) \\ &= Ae^{\gamma l} (1 + S_{in}) \end{aligned} \quad (22.i)$$

$$I(-l, j\omega) = I_{in} = \frac{Ae^{\gamma l}}{Z_0} [1 - S_L e^{-2\gamma l}] = \frac{Ae^{\gamma l}}{Z_0} [1 - S_{in}] \quad (22.ii)$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = Z_0 \frac{1+S_{in}}{1-S_{in}} \text{ ve normalize empedans } z_{in} = \frac{Z_{in}}{Z_0} = \frac{1+S_{in}}{1-S_{in}} \quad (22.iii)$$

olarak ifade edilir. Diğer yandan, denklem (21.ii)'deki $S_{in} = S_L e^{-2\gamma l}$ ifadesindeki $e^{-2\gamma l}$ teriminin alternatif olarak

$$e^{-2\gamma l} = \frac{1 - \tanh(\gamma l)}{1 + \tanh(\gamma l)} \quad (23)$$

ile de verilebileceği görülmektedir, zira,

$$\tanh(\gamma l) = \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}} = \frac{e^{\gamma l}(1 - e^{-2\gamma l})}{e^{\gamma l}(1 + e^{-2\gamma l})} = \frac{1 - e^{-2\gamma l}}{1 + e^{-2\gamma l}} \quad (24)$$

yazılır ve buradan $e^{-2\gamma l}$ elde edilirse, denklem (23)'e ulaşılır. Denklem (23)'teki $\tanh(\gamma l)$ ifadesi Richards değişkeni olarak adlandırılır ve λ karmaşık değişkeni ile temsil edilir,

$$\lambda = \tanh(\gamma l) = \Sigma + j\Omega \quad (25)$$

Böylece, Richards değişkeni cinsinden denklem (23),

$$e^{-2\gamma l} = \frac{1 - \lambda}{1 + \lambda} \quad (26)$$

olarak ifade edilebilir. O halde S_{in} ve S_{out} Richards uzayında

$$S_{in}(\lambda) = \frac{1 - \lambda}{1 + \lambda} S_L \quad (27.i)$$

$$S_{out}(\lambda) = \frac{1 - \lambda}{1 + \lambda} S_G \quad (27.ii)$$

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

$$Z_{in}(\lambda) = Z_0 \frac{1 + S_{in}}{1 - S_{in}} = Z_0 \frac{1 + \lambda + (1 - \lambda)S_L}{1 + \lambda - (1 - \lambda)S_L} = Z_0 \frac{1 + \lambda + (1 - \lambda)S_L}{1 + \lambda - (1 - \lambda)S_L} \quad (28.i)$$

olarak, ya da $S_L = (Z_L - Z_0)/(Z_L + Z_0)$ ile

$$\begin{aligned} Z_{in}(\lambda) &= Z_0 \frac{(1 + \lambda)(Z_L + Z_0) + (1 - \lambda)(Z_L - Z_0)}{(1 + \lambda)(Z_L + Z_0) - (1 - \lambda)(Z_L - Z_0)} \\ &= Z_0 \frac{Z_L + Z_0 + Z_L - Z_0 + \lambda(Z_L + Z_0 - Z_L + Z_0)}{Z_L + Z_0 - Z_L + Z_0 + \lambda(Z_L + Z_0 + Z_L - Z_0)} \\ &= Z_0 \frac{Z_L + Z_0\lambda}{Z_0 + Z_L\lambda} \end{aligned} \quad (28.ii)$$

şeklinde ya da açık formuyla,

$$Z_{in}(\lambda) = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh(\gamma l)}{Z_0 + Z_L \tanh(\gamma l)} \quad (28.iii)$$

olarak yazılabilir. İdeal kayıpsız TEM hattı için, zayıflatma sabiti $\alpha = 0$ dır ve $\gamma = j\beta$ dır, bu durumda Richards değişkeni sadece sanal kısma sahip olur ve $\lambda = j\Omega = j\tan(\beta l) = j\tan(\omega\tau)$ dir (Yarman, 2010).

$$Z_{in}(\lambda) = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta l)} \quad (28.iv)$$

$$Z_{out}(\lambda) = Z_0 \frac{Z_G + jZ_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + jZ_G \tan(\beta l)} \quad (28.v)$$

2.2.1.1 Richards Endüktansı ve Richards Kapasitansı

Denklem (28.ii) ifadesi, sırasıyla $Z_L \rightarrow 0$ ve sonra $Z_L \rightarrow \infty$ için değerlendirilirse, sırasıyla sonu kısa devre edilmiş bir iletim hattına ait giriş empedansı, ve sonu açık devre edilmiş bir iletim hattına ait giriş empedans ifadeleri elde edilir.

$$Z_{in_L}(\lambda) = Z_0 \left. \frac{Z_L + Z_0\lambda}{Z_0 + Z_L\lambda} \right|_{Z_L \rightarrow 0} = Z_0\lambda \rightarrow L_\lambda = Z_0 \quad (29.i)$$

$$Z_{in_C}(\lambda) = Z_0 \left. \frac{Z_L + Z_0\lambda}{Z_0 + Z_L\lambda} \right|_{Z_L \rightarrow \infty} = \frac{1}{Y_0\lambda} \rightarrow C_\lambda = Y_0 \quad (29.ii)$$

Buradan anlaşılan, sonu kısa devre edilmiş bir hattın Richards endüktansının $L_\lambda = Z_0$, sonu açık devre edilmiş bir hattın Richards kapasitansının $C_\lambda = Y_0$ olduğudur. Diğer yandan $\lambda = j\Omega = j\tan(\beta l) = j\tan(\omega\tau)$ ifadesi gözönüne alınır ve tanjant fonksiyonunun doğrusal olan küçük açılar bölgesinde çalışıldığı varsayılırsa $\tan(\omega\tau) \cong \omega\tau$ kabul edilebilir. Bu durumda (29) eşitlikleri

$$Z_{in_L}(p) = jZ_0 \tan(\omega\tau) \cong j\omega Z_0 \tau = pZ_0 \tau \rightarrow L = Z_0 \tau \quad (30.i)$$

$$Z_{in_C}(p) = \frac{Z_0}{j\tan(\omega\tau)} \cong \frac{Z_0}{j\omega\tau} = \frac{1}{pY_0\tau} \rightarrow C = Y_0 \tau \quad (30.ii)$$

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

olarak yazılabilir. (30) eşitlikleri, sırasıyla, sonu kısa devre edilmiş hattın toplu parametrelili Laplace endüktans eşdeğerinin $L = Z_0\tau$, sonu açık devre edilmiş hattın toplu parametrelili Laplace kapasitans eşdeğerinin $C = Y_0\tau$ olduğunu ifade eder. $\lambda = j\Omega = j\tan(\beta l)$ ifadesinde hat fiziksel uzunluğunun $l = \lambda_c/8$ seçilmesi durumunda, $\lambda = j\Omega = j\tan(\beta l) = j\tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_c}l\right) = j\tan\left(\frac{2\pi\lambda_c/8}{\lambda_c}\right) = j\tan\left(\frac{\pi}{4}\right) = j$ olur ve (29) eşitlikleri için

$$Z_{in_L}(p) = jZ_0 \equiv j\omega_c L \quad \rightarrow \quad L = Z_0/\omega_c \quad (31.i)$$

$$Z_{in_C}(p) = 1/jY_0 \equiv 1/j\omega_c C \quad \rightarrow \quad C = Y_0/\omega_c \quad (31.ii)$$

yazılabilir.

2.2.1.2 Çeyrek Dalga Uzunluklu İletim Hattı

$\lambda = j\Omega = j\tan(\beta l)$ ifadesinde hat fiziksel uzunluğunun çeyrek dalgaboyuna eşit, $l = \lambda_c/4$, seçilmesi durumunda, $\lambda = j\Omega = j\tan(\beta l) = j\tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_c}l\right) = j\tan\left(\frac{2\pi\lambda_c/4}{\lambda_c}\right) = j\tan\left(\frac{\pi}{2}\right) \rightarrow \infty$ olur ve (28.ii) eşitliği

$$Z_{in}(\lambda) = Z_0 \frac{Z_L + Z_0\lambda}{Z_0 + Z_L\lambda} \Big|_{\lambda=\frac{\lambda_c}{4} \text{ ise } \lambda \rightarrow \infty} = \frac{Z_0^2}{Z_L} \quad (32)$$

olarak yazılabilir. Çeyrek dalgaboyu uzunluğunda seçilen bir iletim hattının bir transformatör gibi davrandığı görülmektedir, iletim hatlarının empedans uyumlaştırma amacıyla kullanılabilen bir özelliği ortaya konulmuş olmaktadır.

2.3. Bemes - Birim Eleman Mikrodalga Devre Empedansı Sentez Algoritması

Ana başlık 2'den buraya kadar dağılmış parametrelili mikrodalga devre teorisi ve bu devrelere ilişkin temel matematiksel ilişkiler üzerinde duruldu. $n + 1$ adet birim elemanın kaskad bağlanması suretiyle oluşturulmuş bir mikrodalga filtre devresine (Şekil 5.b) ilişkin sürüş noktası empedans fonksiyonu $Z_{in}(\lambda)$, giriş bölümünde denklem (7) ile verilen formda elde edilebilirse, mikrodalga devrenin tasarımına ait ilk önemli aşama yerine getirilmiş olur. Daha sonra, bu empedans fonksiyonu *Bemes, birim eleman mikrodalga devre empedans sentez algoritması*'na girilir ve sentezlenerek fonksiyonu oluşturan $n + 1$ adet birim elemana ait karakteristik empedansın her biri, Z_k ($k = 1, 2, \dots, n + 1$), elde edilir, böylece tasarım tamamlanmış olur. Burada, filtre derecesi n olup, $n + 1$ ifadesindeki 1 fazlalık sonlandırma direncine karşılık gelmektedir, $Z_{n+1} = R_0$.

Bemes sentez algoritmasının ana fikrini anlayabilmek için denklem (28.ii) yeniden ele alınmalı ve Şekil 5.b'deki herhangi bir k . iletim hattının girişinden görülen empedans Z_{in_k} ($k = 1, 2, \dots, n + 1$) bu eşitliğe göre yazılmalıdır. Sözü edilen ifadede, böyle bir k . iletim hattı için karakteristik empedans Z_0 olarak k . hattın karakteristik empedansı Z_k , bu k . hattı yükleyen yük empedansı Z_L olarak da bir sonraki hattın giriş empedansı $Z_{in,k+1}(\lambda)$ alınmalıdır. Böylece denklem (28.ii) kullanılarak,

$$Z_{in,k}(\lambda) = \frac{N_k(\lambda)}{D_k(\lambda)} = Z_k \frac{Z_{in,k+1}(\lambda) + Z_k\lambda}{Z_k + Z_{in,k+1}(\lambda)\lambda} \quad (33.i)$$

ifadesi elde edilir. Burada, k . birim elemanı yükleyen bir sonraki birim elemana ($k+1$.) ait giriş empedansı için,

$$Z_{in,k+1}(\lambda) = \frac{N_{k+1}(\lambda)}{D_{k+1}(\lambda)} \quad (33.ii)$$

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

yazılabilir. Denklem (33), sentez algoritması için çok önemlidir, k . ve $k+1$. ardışık iki birim elemana ait empedanslar arası ilişkiyi vermektedir. Herhangi bir k . birim eleman girişinden görülen empedansa ait açık ifade denklem (7)'ye benzer şekilde,

$$Z_{in,k}(\lambda) = \frac{N_k(\lambda)}{D_k(\lambda)} = \frac{a_m \lambda^m + a_{m-1} \lambda^{m-1} + \dots + a_1 \lambda + a_0}{b_n \lambda^n + b_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + b_1 \lambda + b_0}, \quad k. BE \text{ için} \quad (33.iii)$$

olarak verilir. Matlab'te $N_k(\lambda)$ ve $D_k(\lambda)$ polinomları

$$\begin{aligned} N_k &= [a_m \quad a_{m-1} \quad \dots \quad a_1 \quad a_0] \\ D_k &= [b_n \quad b_{n-1} \quad \dots \quad b_1 \quad b_0] \end{aligned} \quad (33.iv)$$

formunda birer vektör olarak işlenirler, bu nedenle denklem (33.iv) formatıyla programa girilmelidir.

Örnek 1: $k=1$. birim eleman için giriş empedansının ifadesi denklem (33)'e göre yazılması gerekirse,

$$Z_{in1} = \frac{N_1}{D_1} = Z_1 \frac{Z_{in2} + Z_1 \lambda}{Z_1 + Z_{in2} \lambda}, \quad "Z_{in2} = \frac{N_2}{D_2}" \quad (34)$$

elde edilir. Burada anlaşılabilirliği kolaylaştırmak için, $\cdot(\lambda)$ şeklindeki notasyon bilinçli olarak ifadelerde gösterilmemiştir, bilinmelidir ki karakteristik empedans hariç tüm ifadeler λ 'nın fonksiyonudurlar. Denklem (33.i) kullanılarak, k . BE'na ait bilinen bir $Z_{in,k}(\lambda)$ empedansı kullanılarak, $k+1$. BE'a ait $Z_{in,k+1}(\lambda)$ elde edilebilir. Yine, $\cdot(\lambda)$ notasyonu gösterilmeksizin, denklem (33.i) aşağıdaki şekilde yazılırsa,

$$\begin{aligned} Z_{in,k} [Z_k + Z_{in,k+1} \lambda] &= Z_k [Z_{in,k+1} + Z_k \lambda] \\ Z_{in,k+1} [\lambda Z_{in,k} - Z_k] &= Z_k [Z_k \lambda - Z_{in,k}] \end{aligned}$$

ve buradan,

$$Z_{in,k+1} = Z_k \frac{Z_{in,k} - Z_k \lambda}{Z_k - \lambda Z_{in,k}} \quad (35.i)$$

elde edilir. Pay ve payda polinomları cinsinden ifade edilirse,

$$Z_{in,k+1} = \frac{N_{k+1}}{D_{k+1}} = Z_k \frac{\frac{N_k}{D_k} - Z_k \lambda}{Z_k - \lambda \frac{N_k}{D_k}}$$

ve buradan,

$$Z_{in,k+1} = \frac{N_{k+1}}{D_{k+1}} = Z_k \frac{N_k - Z_k D_k \lambda}{Z_k D_k - N_k \lambda} \quad (35.ii)$$

$$N_{k+1} = Z_k N_k - Z_k^2 D_k \lambda \quad (35.iii)$$

$$D_{k+1} = Z_k D_k - N_k \lambda \quad (35.iv)$$

yazılabilir. Denklem (35.iii) ve denklem (35.iv), k . BE'a ait bilinen pay ve payda polinomları N_k, D_k cinsinden, $k+1$. BE'a ait pay ve payda polinomlarını veren ifadelerdir.

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

2.3.1 Sürüş Noktası Empedansının Bazı Özellikleri

Özellik 1: Denklem (33.i) gereğince, k . BE'ya ait giriş empedansı $Z_{in,k}(\lambda)$, $\lambda = 1$ için bu BE'nin karakteristik empedansı Z_k 'ya eşittir, bu durumda denklem (33.iii) ile verilen ifade denklem (36.ii)'deki gibi yazılabilir,

$$Z_{in,k}(\lambda = 1) = Z_k \quad (36.i)$$

$$\text{ya da } Z_{in,k}(1) = \frac{N_k(1)}{D_k(1)} = \frac{\sum_{i=0}^m a_i}{\sum_{i=0}^m b_i} = Z_k, \quad k. \text{ BE için} \quad (36.ii)$$

Özellik 2: Denklem (35.iii) ve denklem (35.iv) gereğince; $k+1$. BE'ya ait pay ve payda polinomları N_{k+1} ve D_{k+1} , k . BE'ya ait terimler cinsinden sırasıyla $Z_k N_k - Z_k^2 D_k \lambda$ ve $Z_k D_k - N_k \lambda$ olarak hesaplanabilir.

2.3.2 Sentez Algoritması

Algoritmanın adımları aşağıda verilmektedir. Sentez algoritmasının hareket noktası, $k=1$. birim elemanın girişinden görülen Z_{in1} ifadesine ait pay ve payda polinomlarının (N_1, D_1) algoritmaya girilmesidir, Z_{in1} aynı zamanda tüm devreye ait giriş empedansıdır ($Z_{in} = Z_{in1}$).

Bemes - Birim Eleman Mikrodalga Devre Empedans Sentezi Algoritması

<i>Adım, k</i>	<i>İşlem</i>	<i>Açıklama</i>
$k=1$	Devre giriş empedansı $Z_{in1} = N_1/D_1$ 'e ait pay, payda polinomlarını ve filtre derecesini giriniz: N_1, D_1, n	Başlangıç
	1. BE'ya ait karakteristik empedans hesaplanır: $Z_1 = Z_{in1}(1) = N_1(1)/D_1(1)$	(36.iii)
$k \leq n + 1$	$k + 1$. BE'ya ait empedansın ($Z_{in,k+1}$) pay ve payda polinomları bulunur: $N_{k+1} = Z_k N_k - Z_k^2 D_k \lambda$ $D_{k+1} = Z_k D_k - N_k \lambda$ $N_{k+1,r} = \text{DereceAzalt}(N_{k+1})$ $D_{k+1,r} = \text{DereceAzalt}(D_{k+1})$ $Z_{k+1} = Z_{in,k+1}(1) = N_{k+1,r}(1)/D_{k+1,r}(1)$ $N_{k+1} = N_{k+1,r}$ $D_{k+1} = D_{k+1,r}$	(35.iii) (35.iv) (36.ii)
Sonuç:	$Z = [Z_1 \ Z_2 \ \dots \ Z_n \ Z_{n+1}]$, $Z_{n+1} = R_0$	

Yukarıdaki tabloda, pay N_{k+1} polinomu ve payda D_{k+1} polinomu, $(\lambda - 1)(\lambda + 1) = (\lambda^2 - 1)$ çarpanına sahiptir, yani $\lambda = \mp 1$ 'de kökleri olduğu ispatlanabilir. Bu durumda pay ve payda polinomları için

$$\begin{aligned} N_{k+1} &= N_{k+1,r}(\lambda^2 - 1) \\ D_{k+1} &= D_{k+1,r}(\lambda^2 - 1) \end{aligned} \quad (37)$$

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

yazılabilir. $N_{k+1,r}$ ve $D_{k+1,r}$, sırasıyla ilgili polinomların kökleri içinden $\lambda = \mp 1$ kökleri ayrıştırıldıktan sonra kalan köklerle oluşturulan derecesi azaltılmış polinomları ifade eder. DereceAzalt fonksiyonu, N_{k+1} ve D_{k+1} polinomlarının sahip oldukları bu $\lambda = \mp 1$ köklerini ayrıştırır, kalan köklerle yeni $N_{k+1,r}$ ve $D_{k+1,r}$ polinomlarını oluşturur.

Aşağıda, bu algoritmaya ait Matlab kodu yer almaktadır.

```
% Bemes – Birim eleman mikrodalga devre empedansı sentez algoritması, Matlab kodu.
Function [z]=Bemes(N1,D1,n) % Giriş empedansı pay N1, payda D1 polinomlar ve filtre derecesi n
L=[1 0];% L(ambda): Richards değişkeni; [1 0] vektörü  $1 \times \lambda^1 + 0 \times \lambda = \lambda$ 'ya karşılık gelmektedir.
Z1=polyval(N1,1)/polyval(D1,1); % k=1.ci BE'a ait karakteristik empedansın hesabı
z(1)=z1; % hesaplanan karakteristik empedanslar z=[z1 z2 .... zn+1] vektöründe tutulacaktır.
Nx=N1;
Dx=D1;
zx=z1;
for k=2:n+1
    Nk=conv(zx*L,Dx);
    Nk=zx*vector_sum(Nk,-Nx);
    Dk=conv(L,Nx);
    Dk=vector_sum(Dk,-zx*Dx);
    [Nkr Dkr]=DereceAzalt(Nk,Dk);% Derece azaltma fonksiyonu
    zk=polyval(Nkr,1)/polyval(Dkr,1);
    z(k)=zk;
    zx=zk;
    Nx=Nkr;
    Dx=Dkr;
end
```

```
function [ns1 ds1]=DereceAzalt(K,L)% K:Nk+1, L:Dk+1
    ns1=Nk1;
    ds1=Dk1;
    err1=1e-5;
    if(abs(ns1(1))>err1)
        ns1LC=ns1(1);
        for i=1:length(ns1)
            ns1(i)=ns1(i)/ns1LC;
        end
    end
    if(abs(ds1(1))>err1)
        ds1LC=ds1(1);
        for i=1:length(ds1)
            ds1(i)=ds1(i)/ds1LC;
        end
    end
    rns1=roots(ns1);
    rds1=roots(ds1);
    ;
    err=1e-4;
    xrns1=0;
    xrds1=0;
    i=1;
    k=1;
    for j=1:length(rns1)
        rn=abs(1-abs(rns1(j)));
        if( rn>=err )
```

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

```

    xrns1(i)=rns1(j);
    i=i+1;
end
rd=abs(1-abs(rds1(j)));
if( rd>=err )
    xrds1(k)=rds1(j);
    k=k+1;
end
end
ns2=abs(ns1LC)*poly(xrns1);
ds2=abs(ds1LC)*poly(xrds1);
roots(ns2);
roots(ds2);
end

```

Sentez algoritması kullanılarak verilen bir giriş empedansından devreyi oluşturan kaskad bağlı her bir BE'a ait karakteristik empedansın nasıl elde edildiği aşağıda verilen örnek üzerinde açıklanacaktır.

Örnek 2: 3 adet birim elemanın (BE) kaskad bağlanması ile oluşturulan bir birim eleman mikrodalga filtreye ilişkin sürüş noktası empedans fonksiyonu Richards (λ) uzayında,

$$Z_{in1}(\lambda) = \frac{N_1(\lambda)}{D_1(\lambda)} = \frac{64\lambda^3 + 116\lambda^2 + 216\lambda + 24}{9\lambda^3 + 46\lambda^2 + 26\lambda + 24}$$

olarak verilmektedir. Mikrodalga filtreye ilişkin filtre derecesini, filtreyi oluşturan her bir BE'a ait karakteristik empedansı ve sonlandırma direncini bulunuz.

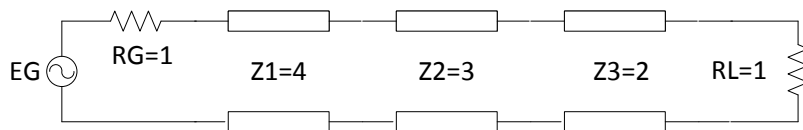
Çözüm: Bemes algoritması kullanılarak, aşağıdaki tabloda verilen değerler elde edilecektir.

Adım, k	İşlem Ayrıntıları
k=1	<p>Devre giriş empedansı $Z_{in1}=N_1/D_1$'e ait pay, payda polinomlarını ve filtre derecesini giriniz: N_1, D_1, n</p> <p>$N_1=[64 \ 116 \ 216 \ 24], D_1=[9 \ 46 \ 26 \ 24], n=3$</p> <p>1. BE'a ait karakteristik empedansı hesapla:</p> $Z_1 = Z_{in1}(1) = \frac{N_1(1)}{D_1(1)} = \frac{64 + 116 + 216 + 24}{9 + 46 + 26 + 24} = \frac{420}{105} = 4 \ \Omega$ <p>$k + 1 = 2$. BE'a ait empedansın (Z_{in2}) pay ve payda polinomlarını bul:</p> $N_2 = Z_1 N_1 - Z_1^2 D_1 \lambda = 4 * [64 \ 116 \ 216 \ 24] - 4^2 * [9 \ 46 \ 26 \ 24][1 \ 0]$ $= [-144 \ -480 \ 48 \ 480 \ 96]$ $D_2 = Z_1 D_1 - N_1 \lambda = 4 * [9 \ 46 \ 26 \ 24] - [64 \ 116 \ 216 \ 24][1 \ 0]$ $= [-64 \ -80 \ -32 \ 80 \ 96]$ <p>roots(N2)={-3.119, 1.000, -1.000, -0.213}</p> <p>roots(D2)={ 1.000, -0.625 + 1.053i, -0.625 - 1.053i, -1.000}</p> <p>N_2 ve D_2 polinomları $\lambda = \mp 1$'de köklere sahip. DereceAzalt'tan sonra,</p> <p>$N_{2r} = [144.00000000000000 \ 480.00000000000004 \ 96.00000000000001]$ ve</p> <p>$D_{2r} = [64.00000000000000 \ 80.00000000000014 \ 96.00000000000085]$</p>

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

	$Z_2 = Z_{in2}(1) = \frac{N_{2r}(1)}{D_{2r}(1)} = \frac{144 + 480 + 96}{64 + 80 + 96} = \frac{720}{240} = 3 \Omega$ $N_2 = N_{2r}$ $D_2 = D_{2r}$
$k=2$	<p>$k + 1 = 3$. BE'a ait empedansın (Z_{in3}) pay ve payda polinomlarını bul:</p> $N_3 = Z_2 N_2 - Z_2^2 D_2 \lambda = 3 * [144 \ 480 \ 96] - 3^2 * [64 \ 80 \ 96][1 \ 0]$ $= [-576 \ -288 \ 576 \ 288]$ $D_3 = Z_2 D_2 - N_2 \lambda = 3 * [64 \ 80 \ 96] - [144 \ 480 \ 96][1 \ 0]$ $= [-144 \ -288 \ 144 \ 288]$ <p>roots(N3)={1.000, -1.000, -0.500} roots(D3)={ 0.999, -2.000, -1.000}</p> <p>N3 ve D3 polinomları $\lambda = \mp 1$'de köklere sahip. <i>DereceAzalt</i>'tan sonra, N3r= [575.999 288] ve D3r= [144 288]</p> $Z_3 = Z_{in3}(1) = \frac{N_{3r}(1)}{D_{3r}(1)} = \frac{575.999 + 288}{144 + 288} = \frac{863.999}{432} = 1.999 \Omega$ $N_3 = N_{3r}$ $D_3 = D_{3r}$
$k=3$	<p>$k + 1 = 4$. BE'a ait empedansın (Z_{in4}) pay ve payda polinomlarını bul:</p> $N_4 = Z_3 N_3 - Z_3^2 D_3 \lambda = 2 * [576 \ 288] - 2^2 * [144 \ 288][1 \ 0]$ $= [-576 \ 0 \ 576]$ $D_4 = Z_3 D_3 - N_3 \lambda = 2 * [144 \ 288] - [576 \ 288][1 \ 0]$ $= [-576 \ 0 \ 576]$ <p>roots(N4)={-1 1} roots(D4)={ -1 1}</p> <p>N4 ve D4 polinomları $\lambda = \mp 1$'de köklere sahip. <i>DereceAzalt</i>'tan sonra, N4r= [575.999 0] ve D4r= [576 0]</p> $Z_4 = Z_{in4}(1) = \frac{N_{4r}(1)}{D_{4r}(1)} = \frac{575.999 + 0}{576 + 0} = 0.999 \Omega = R_0$
Sonuç:	$Z = [Z_1 \ Z_2 \ \dots \ Z_n \ Z_{n+1}], Z_{n+1} = R_0$ $Z = [4 \ 3 \ 1.999 \ 0.999] \cong [4 \ 3 \ 2 \ 1], \Omega$

Sentezlenmiş devreye ait şema Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8: Örnek 2'deki tasarımın sonuçlandırılmış devre şeması.

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

2.3.3 Yüksek Dereceden Birim Eleman Mikrodalga Devreleri İçin Empedans Sentezi

Örnek 2’de sadece 3 BE’li bir mikrodalga filtre devresinin empedansının sentezi Bemes koduyla yapılmış ve oldukça başarılı sonuç elde edilmiştir. Daha yüksek dereceden filtreler için, algoritma adımlarının peş peşe yürütülmesi nümerik hataları artırabilir. Bu anlamda, nümerik gürbüzlük ve kararlılık, bu tür algoritmaların yüksek başarımlı ve yüksek doğrulukla devre sentezi yapabilmeleri açısından önem arz etmektedir. Bemes denemelerinde, $n \leq \sim 16$ filtre dereceleri için toplam hatanın $|toplamlhata| \leq \sim 10^{-9}$ olduğu gözlenmiştir. $n > \sim 16$ filtre dereceleri için kod yürütülmesi sorun yaşamakta ve sonuç elde edilememektedir.

Örnek 3: $n=16$ adet birim elemanın kaskad bağlanması ile oluşturulan 1Ω sonlandırmaya sahip birim eleman mikrodalga filtreye ilişkin BE’lerin karakteristik empedansları rasgele sayı üreticiyle üretilmiş ve aşağıdaki $[z]$ vektörü ile verilmiştir. Bu filtreye ait $Z_{in1}(\lambda) = N_1(\lambda)/D_1(\lambda)$ sürüş noktası empedans fonksiyonuna ait pay ve payda polinomları Richards (λ) uzayında aşağıdaki gibi olduğu bilinmektedir.

$z =$	0.039184486647583	0.946324989805483	0.763673323663761	0.558820550509560
	0.183842944465775	0.497948815018947	0.517845600234051	0.994243010644050
	0.854851683090675	0.962403939711971	0.678941008977033	0.403501388804361
	0.934979086178052	0.479484545632482	0.231791611663117	0.396290248509775
	1.000000000000000			
$N_1 =$	0.000000128405293	0.000017360388897	0.000493023205106	0.001684502349981
	0.010237546493994	0.016012398655502	0.063870327226864	0.046997883325151
	0.141626547412250	0.049469488119728	0.103634791382597	0.019335809098676
	0.022006747837242	0.002324468786874	0.001072825578986	0.000065378303432
	0.000006922641110			
$D_1 =$	0.000373216388752	0.010922860640524	0.037802187988243	0.236285651790828
	0.382927860402244	1.548606676586109	1.176594784799612	3.584012973932338
	1.279354087200708	2.719464173819873	0.520254721555675	0.615923365560120
	0.068589970255686	0.036554222451754	0.002491541286716	0.000389144389161
	0.000006922641110			

Bu mikrodalga filtreye ilişkin filtreyi oluşturan her bir BE’ye ait karakteristik empedansları ve sonlandırma direncini Bemes programı ile bulunuz.

Çözüm: Bemes algoritması kullanılarak $Z_{in1}=N_1/D_1$ sentezlenmiş, elde edilen BE karakteristik empedansları z_x vektörü ile verilmiştir.

$z_x =$	0.039184486647583	0.946324989805477	0.763673323663759	0.558820550509563
	0.183842944465775	0.497948815018937	0.517845600234024	0.994243010644032
	0.854851683090673	0.962403939711950	0.678941008976999	0.403501388804328
	0.934979086178024	0.479484545632430	0.231791611663107	0.396290248509781
	0.999999999999884			

Sentezle elde edilen karakteristik empedanslar vektörü z_x ile programa en başta girilen orijinal z vektörü arasındaki normalize hata (10^{-12} ile bölünmüş) Matlab’te aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$hata = (z - z_x)/10^{-12}$$

$hata =$	-0.00000693889390	-0.00566213742558	-0.00233146835171	0.00288657986402
	0.00080491169285	-0.00965894031423	-0.02620126338115	-0.01865174681370
	-0.00222044604925	-0.02053912595556	-0.03397282455353	-0.03241851231905
	-0.02808864252301	-0.05195843755245	-0.01029731855339	0.00577315972805
	-0.11601830607332			

$$toplaml_hata_norm1 = \sum_{k=1}^{n+1} |z_k - z_{xk}| = 3.675 \times 10^{-13}$$

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

$$\text{toplamlam hata_norm2} = \sqrt{\sum_{k=1}^{n+1} |z_k - z_{x_k}|^2} = 1.445 \times 10^{-13}$$

Görüldüğü üzere her bir birim elemana ait karakteristik empedans 10^{-12} den daha da az hata ile elde edilmiştir. Bu türden yüksek dereceli bir filtre tasarımı için Bemes programının gerçekten oldukça yüksek bir başarıma sahip olduğu görülmektedir. Ne var ki, $n > 16$ için bu tür bir başarıdan söz etmek mümkün değildir. Bununla birlikte, pratikte, birim eleman mikrodalga filtre tasarımında $n \sim 16$ mertebesindeki filtre dereceleri çoğu durum için çok başarılı sonuçlar verir ve yeterlidir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada önerilen ve ayrıntılarıyla ele alınan, kısaca Bemes olarak adlandırılan birim eleman mikrodalga devre empedans sentezi yöntemi gösterilmiştir ki, verilen bir empedans fonksiyonundan birim elemanlara ait karakteristik empedansları başarılı bir şekilde elde edebilmektedir. Mikrodalga mühendisliğinde birim eleman tasarımıyla ilgilenen araştırmacı ve mühendislerin kullanabileceği yeni bir sentez algoritması sunulmuştur. Algoritma geliştirmeye yatkın olup, başka türden mikrodalga tasarım gereçleriyle (örneğin RF/mikrodalga filtre, empedans uyumlaştırma, yükselteç, alıcı vb.) bütünleştirilerek kullanılabilir, bu gereçlerin altında bir sentez modülü olarak çalıştırılabilir. Literatürde bilinen birkaç birim eleman sentez algoritmasının varlığı bilinmekle birlikte, problem farklı bir açıdan ele alınmış başarılı ve alternatif bir sentez algoritması oluşturulmuştur.

4. KAYNAKÇA

Chen, W. K. (1998). Broadband matching: theory and implementations. Singapore: World Scientific.

Carlin, H. J. & Civalleri, P. P. (1998). Wideband circuit design. New York: CRC Press.

Hong, J.-S., & Lancaster, M. J. (2001). Microstrip filters for RF/microwave applications. New York, NY: Wiley.

Vendelin, G. D., Pavio, A. M. & Rohde, U. L. (2005). Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques. New Jersey, NJ: Wiley.

Chandra, M. K., Raafat, M. & Cameron, R. J. (2007). Microwave filters for communication systems: fundamentals, design and applications. New Jersey, NJ: Wiley.

Zhu, Y. S., & Chen, W. K. (2000). Computer-aided design of communication networks. Singapore: World Scientific.

Yarman, B. S. (2010). Design of ultra wideband microwave power transfer networks. Chichester, UK: Wiley.

Pozar, D. M. (2012). Microwave Engineering, 4th Ed. New York: Wiley.

Yarman, B. S., Köprü, R., Kumar, N., Prakash, C. (2014). High precision synthesis of a Richards immittance via parametric approach. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 61(4), 1055-1067. doi: 10.1109/TCSI.2013.2285913.

Yarman, B. S., Aksen, A. Köprü, R., Kumar, N., Aydın, Ç., Atilla, D. Ç., Prakash, C. (2016). Computer aided Darlington synthesis of an all purpose immittance function. IU-JEEE Istanbul University Journal of Electrical and Electronics Engineering, 16(1), 2027-2037. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/iujeee/issue/25821/272278>.

BEMES - BİRİM ELEMAN MİKRODALGA DEVRELERİNDE GİRİŞ EMPEDANSI SENTEZİ İÇİN BİR ALGORİTMA

Nucci, C. A., Rachidi, F., Rubinstein, M. (2008). WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering: Derivation of telegrapher's equations and field-to-transmission line interaction. (pp. 3-22). Southampton, UK: WIT Press. doi:10.2495/978-1-84564-063-7/01.

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

Ramazan Köprü

Işık Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şile Kampüsü, Şile/İstanbul, Türkiye

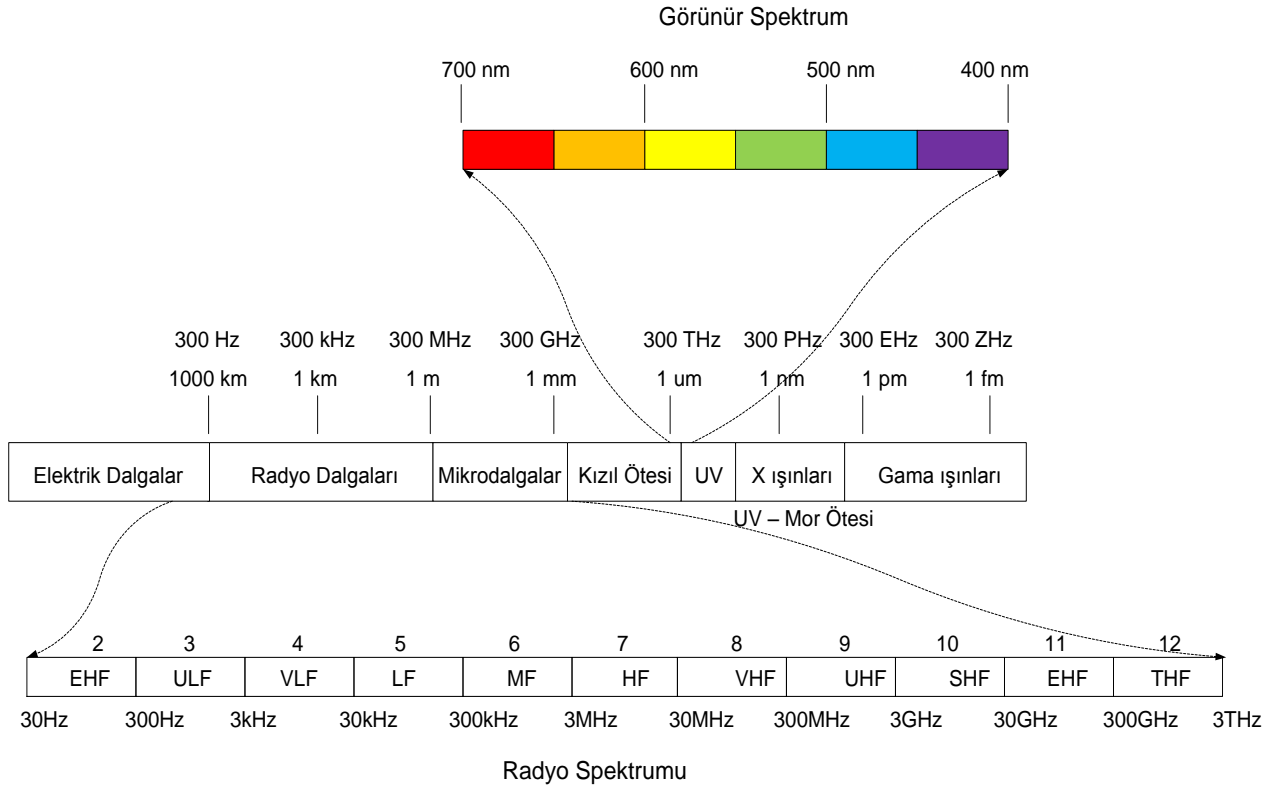
ramazan.kopru@isikun.edu.tr

1. GİRİŞ

Mikrodalga terimi, 300 MHz ten 300 GHz'e kadar olan bir frekans bandını kapsayan ve boşluktaki dalga boyu 1m – 1mm arasında değişen EM (elektromanyetik) dalgaları tanımlamaktadır (Şekil 1.a, Şekil 1.b) (Uren, 2013; Hong & Lancaster, 2001). 30 GHz ten 300 GHz'e kadar bir frekans bandına sahip olan EM dalgalar milimetre dalga olarak adlandırılır çünkü dalga boyları,

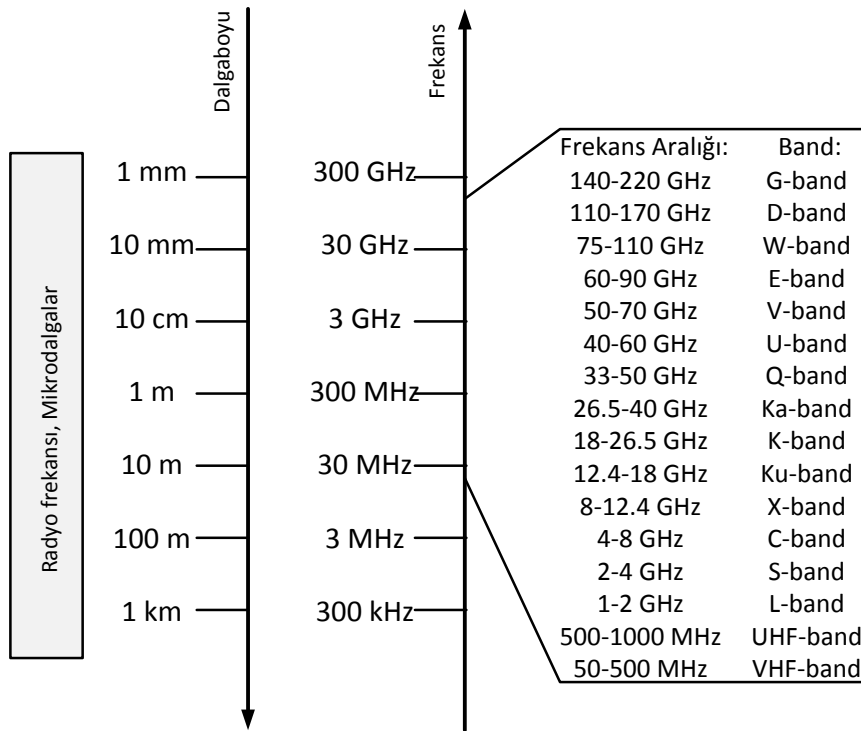
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

ilişkisi gereğince $3 \times 10^8 / 30 \times 10^9 = 10 \text{ mm}$ ve $3 \times 10^8 / 300 \times 10^9 = 1 \text{ mm}$ mertebesindedir. mm-dalga spektrumunun üzerinde $1 \mu\text{m}$ -1 mm dalga boyundaki EM dalgaların oluşturduğu kızılötesi spektrum bulunur. Kızılötesi spektrumun ötesinde, görünür ışık, UV ve x ışınları spektrumu yer alır. Mikrodalga spektrumunun aşağısında RF (radyo frekans) spektrumu bulunur (Uren, 2013).



Şekil 1.a: RF/mikrodalga spektrumu (Uren, 2013).

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI



Şekil 1.b: RF/mikrodalga spektrumu (Hong & Lancaster, 2001).

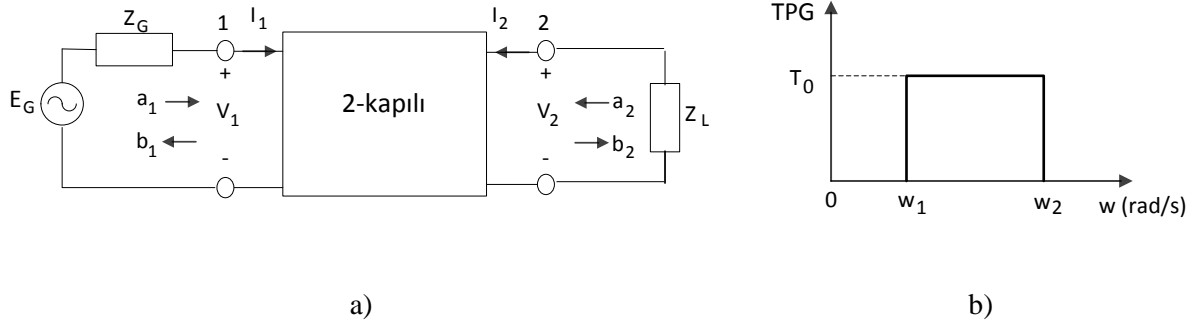
RF ve mikrodalga spektrumları arasında kesin bir sınır belirlemek güçtür, bununla birlikte RF/mikrodalga uygulamaları dendiğinde (örneğin haberleşme, radar, radyo astronomi, algılama, tıbbi enstrumantasyon vb. leri) 300 kHz den 300 GHz'e kadar olan frekans bölgesinin kullanımı anlaşılır. Şekil 1.b'den görüleceği üzere, bu spektrumun bazı bölgeleri alt frekans spektrumlarına bölünmüştür, bu alt spektrumlar uygulamaların türüne bağlı olarak bazı özel bant isimleriyle anılmaktadır (Hong & Lancaster, 2001).

Filtre terimi istenmeyen bir şeyi seçmek, ayırtmak, ortadan kaldırmak olarak tanımlanabilir. Bu anlamda, elektronik filtreler, girişlerine uygulanan elektriksel işareti bu işaretin frekansına göre kuvvetlendiren, zayıflatan, tamamen geçiren ya da engelleyen devrelerdir. Elektronik filtreler analog ya da sayısal filtreler olarak iki ayrı kategoride incelenebilir, bu durumda analog işaretleri işlediği için ilki analog filtre, ikincisi ise sayısal işaretleri işlediği için sayısal filtre olarak adlandırılır.

Diğer yandan, filtreler pasif ve aktif filtreler olarak da adlandırılabilir. Diyot, transistör, opamp, OTA, CCII (akım taşıyıcı), aktif endüktörler vb. aktif devre elemanlarıyla gerçekleştirilen filtreler aktif filtreler denir, içinde bu türden aktif devre elemanlarının yer almadığı sadece R, L, C, transformatör, mikroşerit gibi pasif devre elemanlarıyla gerçekleştirilen filtreler ise pasif filtreler olarak adlandırılır.

RF/mikrodalga işaretlerini işleyen filtreler analog filtrelerdir, filtreler de diğer RF/mikrodalga devreler gibi 2-kapılı devre teorisi kapsamında incelenir. Şekil 2'de tipik bir RF/mikrodalga 2-kapılı devre yapısı görülmektedir. Bu çalışma her ne kadar RF/mikrodalga filtreler hakkında ise de, 2-kapılı devre teorisi ile sadece filtreler değil, empedans uyumlaştırma devreleri tasarımında da kullanılır. 2-kapılı eğer bir filtre ise, Şekil 2'de görülen Z_G , Z_L (sırasıyla kaynak ve yük tarafı sonlandırma) empedanslarının her ikisi de birer direnç olarak seçilir, yani $Z_G = R_G$, $Z_L = R_L$. 2-kapılı, eğer bir "tek-tarafli empedans uyumlaştırma" devresi olarak tasarlanacaksa, Z_G ya da Z_L den sadece biri frekansa bağlı empedanstır, yani sonlandırmalar ya " $Z_G = R_G$ ve Z_L ", ya da " Z_G ve $Z_L = R_L$ " şeklindedir. 2-kapılı, bir "çift-tarafli empedans uyumlaştırma" devresi olarak tasarlanacaksa, Z_G ya da Z_L her ikisi de frekansa bağlı empedanstır.

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI



Şekil 2: a) Tipik iki-kapılı devre b) Çalışma bandında TPG maksimum ve düz yapılmaya çalışılır.

RF/mikrodalga mühendisliğinde 2-kapılı devreler genellikle GAD (güç aktarım devresi) olarak adlandırılırlar. Güç aktarım devreleri için önemli bir başarımlar ölçütü TPG (dönüştürücü güç kazancı)'nin GAD çalışma bandında ($\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$) mümkün olduğunca düz ve yüksek olmasıdır, $TPG \cong 1$, $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$ (Şekil 2.b). TPG tanım olarak, yüke aktarılan gücün kaynağın mevcut gücüne oranı olarak verilir, $TPG = \text{yüke aktarılan RF gücü} / \text{kaynağın mevcut gücü}$. TPG 0 ve 1 arasında değer alabilir, $0 \leq TPG \leq 1$. Filtreler için $TPG=1$ elde edilebilir, ne var ki tek-taraf empedans uyumlaştırma ve çift-taraf empedans uyumlaştırma devrelerinde ancak sonsuz sayıda eleman (L , C ya da mikroşerit hatlar) kullanılması durumunda kazanç 1 olabilir, bu nedenle pratikte bu tür uyumlaştırma devrelerinde sonlu sayıda devre elemanı kullanım zorunluluğundan dolayı $TPG < 1$ olarak elde edilebilir (Chen, 1998; Carlin & Civalleri, 1998).

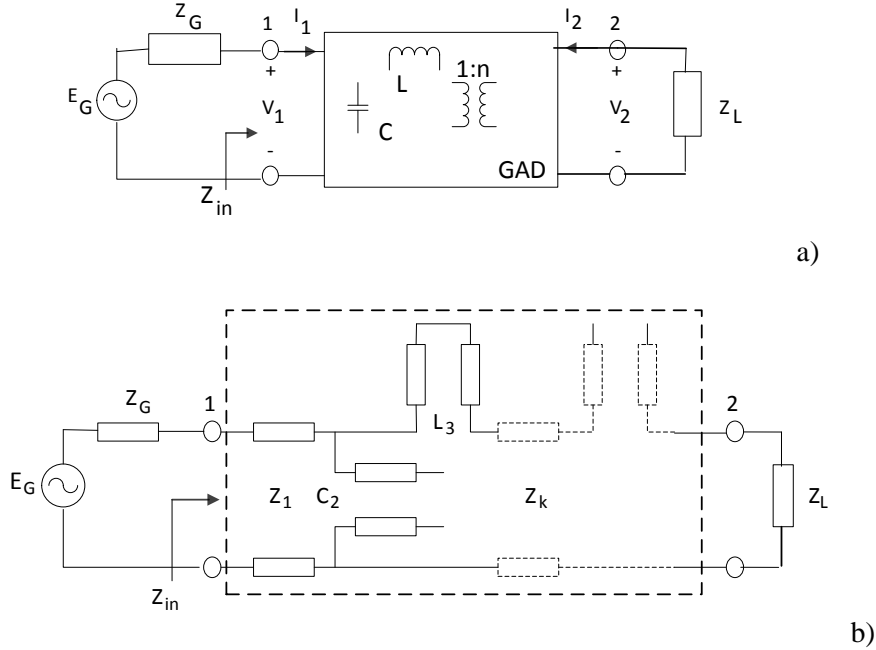
RF/mikrodalga filtrelerinin tasarımı iki ana kategoride ele alınabilir: 1) toplu parametrelili RF/mikrodalga filtreler (Şekil 3.a), 2) dağılmış parametrelili RF/mikrodalga filtreler (Şekil 3.b). Devreye ait akım/gerilim işaretlerinin dalga boyu (λ) devrenin fiziksel boyutlarına (l) göre çok büyük ise ($\lambda \gg l$) bu tür filtreler toplu parametrelili devre teorisi yaklaşımı ile tasarlanır. İşaretin dalga boyu devrenin fiziksel boyutlarıyla karşılaştırıldığında oldukça küçükse ($\lambda \ll l$), bu tür devre dağılmış parametrelili devre teorisi yaklaşımı ile tasarlanmalıdır. Bu çalışmada Şekil 3.b'deki türden sadece mikroşerit devre elemanlarıyla RF/mikrodalga filtre tasarımı ele alınacaktır. Diğer yandan, Şekil 3.b'deki C_2, L_3 vb. devre elemanları cinsinden elemanların tasarımı bölümün kapsamı dışındadır, filtre sadece $Z_1, Z_2, \dots, Z_k, \dots, Z_n, Z_{n+1}$ ($k=1,2, \dots, n+1$) türünden iletim hatları ile tasarlanacaktır. Bu durum Şekil 4'te gösterilmektedir, bu yapı, n adet eşit fiziksel uzunluğa sahip iletim hattının kaskad bağlanması suretiyle oluşturulmuş tipik bir RF/mikrodalga filtresidir. $n+1$. iletim hattı devrenin yük tarafı sonlandırmasına eşittir, $Z_{n+1}=R_0$ (Chen, 1998; Carlin & Civalleri, 1998; Vendelin et al., 2005; Chandra et al., 2007).

Fiziksel uzunluğu sabit n adet TEM iletim hattının kaskad bağlanması ile oluşturulan bir mikrodalga devredeki her bir iletim hattına birim eleman (BE) denir. Eşit uzunluklu bu iletim hatları eş iletim hatları (commensurate lines) olarak adlandırılır (Zhu & Chen, 2000; Pozar, 2012; Yarman, 2010). Birim elemanların kaskad bağlanması suretiyle RF/mikrodalga tasarımı yapmak, bazı durumlarda için gerçekten elverişli ve kolaydır, zira iletim hatları arasında herhangi bir bağlantı olmaması üretimi kolay olan bir filtre elde edebilmeyi sağlamaktadır. Bu tür kaskad bağlı tipik bir birim eleman RF/mikrodalga filtresine ilişkin giriş empedansı $Z_{in}(\lambda)$ 'in elde edilmesi, tasarımın ana amacıdır, sonra bu fonksiyon sentez edilerek filtreyi oluşturan n adet her bir BE'ye ait karakteristik empedans Z_k ($k=1,2,\dots,n$) elde edilir ve tasarım tamamlanmış olur. Birim eleman RF/mikrodalga filtrenin tasarlanması demek, verilen filtre özelliklerini karşılayacak olan filtre giriş empedansı $Z_{in}(\lambda)$ 'nin,

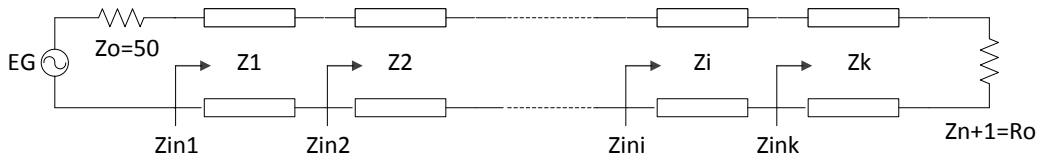
$$Z_{in}(\lambda) = \frac{N(\lambda)}{D(\lambda)} = \frac{a_m \lambda^m + a_{m-1} \lambda^{m-1} + \dots + a_1 \lambda + a_0}{b_n \lambda^n + b_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + b_1 \lambda + b_0}, \quad |m - n| \leq 1 \quad (2)$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

formunda elde edilmesi demektir. Burada, $\lambda = j \tan(\omega\tau)$ ile verilen Richards değişkenidir. λ , Richards değişkeni (ya da frekansı) ile fiziksel frekans ω arasında görüldüğü üzere trigonometrik bir bağlantı vardır (Vendelin, 2005). Bir önceki bölümde, birim eleman tanımı, iletim hattı teorisi, ve denklem (2) ile verilen $Z_{in}(\lambda)$ 'yi sentezlemek için *Bemes* (birim eleman mikrodalga devre empedansı sentez algoritması) ile ilgili bilgiler oldukça ayrıntılı olarak verilmişti. Bu nedenle, bu bölümde üzerinde durulacak çalışma için gerekli olan ön bilgilerin ayrıntıları için ilgili bölüme başvurulmalıdır.



Şekil 3: GAD'nin a) toplu parametrelili L, C ve transformatörler ile oluşturulması b) dağılmış parametrelili iletim hatları ile oluşturulması.



Şekil 4: Birim elemanların kaskad bağlanması suretiyle mikrodalga devre oluşturulması.

2. BİRİM ELEMAN MİKRODALGA FİLTRE TASARIMI

2.1. Kayıpsız İki-Kapılılar İçin Richards Uzayı Fonksiyonları

Şekil 5'te görülen kayıpsız iki-kapılı mikrodalga devresi N, saçılma parametreleri matrisi $S(\lambda)$ kullanılarak λ Richards değişkeninin bir fonksiyonu olarak tümüyle tanımlanabilir (Chandra et al., 2007; Zhu & Chen, 2000).

$$S(\lambda) = \begin{bmatrix} S_{11}(\lambda) & S_{12}(\lambda) \\ S_{21}(\lambda) & S_{22}(\lambda) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Saçılma parametresi ile iki-kapılıya ait gelen dalga vektörü $a(\lambda)$ ve yansıyan dalga $b(\lambda)$ vektörü arasında,

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

$$b(\lambda) = S(\lambda)a(\lambda) \quad (4)$$

ilişkisi bulunur. $a(\lambda), b(\lambda)$ sırasıyla $2 \times 1, 2 \times 1$ boyutlu vektörler, $S(\lambda)$ 2×2 boyutlu matris olmak üzere, denklem (4)'ün açık formu,

$$\begin{bmatrix} b_1(\lambda) \\ b_2(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11}(\lambda) & S_{12}(\lambda) \\ S_{21}(\lambda) & S_{22}(\lambda) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1(\lambda) \\ a_2(\lambda) \end{bmatrix} \quad (5)$$

olarak yazılır. Burada a_1 , iki-kapılının 1. kapısına “gelen” dalga; a_2 , 2. kapıya “gelen” dalga; b_1 , 1. kapıdan “yansıyan” dalga; b_2 , 2. kapıdan “yansıyan” dalga büyüklüklerini ifade eder. S_{11} , 1.kapıya ait saçılma parametresi; S_{12} , 1. ve 2. kapılar arasındaki saçılma parametresi, S_{21} , 2. ve 1. kapılar arasındaki saçılma parametresi, S_{22} , 2. kapıya ait saçılma parametresi; büyüklüklerini ifade eder. Saçılma parametresi için

$$S_{ij} \triangleq \frac{b_i}{a_j} = \frac{i. ci kapıdan yansıyan dalga}{j. ci kapıya gelen dalga} \quad (6)$$

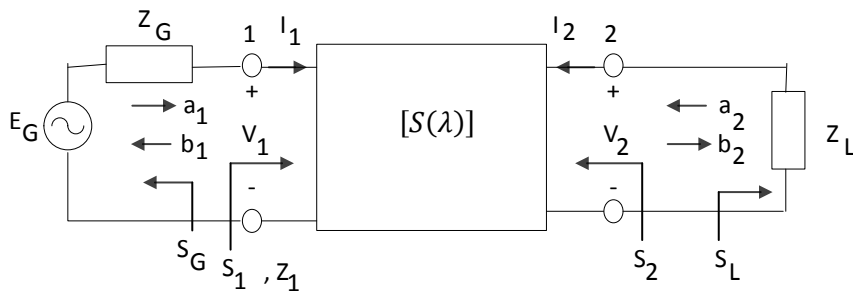
tanımını yapmak mümkündür. Saçılma parametrelerinin bir iki-kapılı için bir dizi ölçümle bulunması aşağıdaki şekilde mümkündür.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1}, \quad "a_2 = 0 \text{ yani } Z_L = R_0 \text{ iken}" \quad (7.i)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2}, \quad "a_1 = 0 \text{ yani } Z_G = R_0 \text{ iken}" \quad (7.ii)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1}, \quad "a_2 = 0 \text{ yani } Z_L = R_0 \text{ iken}" \quad (7.iii)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2}, \quad "a_1 = 0 \text{ yani } Z_G = R_0 \text{ iken}" \quad (7.iv)$$



Şekil 5: İki-kapılının $[S(\lambda)]$ saçılma matrisi ile temsil edilmesi

Devre fonksiyonları, iki fonksiyonun oranı şeklinde rasyonel fonksiyonlar olarak yazılabilir. Bu nedenle, saçılma parametreleri için Belevitch kanonik formu olarak bilinen ilişkileri kayıpsız çift-taraflı (reciprocal) bir iki-kapılı için aşağıdaki şekilde yazmak mümkündür (Carlin & Civalleri, 1998; Chen, 1998).

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{g} \begin{bmatrix} h & f \\ f & -\mu h^\dagger \end{bmatrix} \quad (8.i)$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

Burada \dagger (kama) işareti, bir $x(\lambda)$ fonksiyonunun yarı-eşleniği (para-conjugate) olan $x(-\lambda)$ fonksiyonu temsil eder, $x(\lambda)^\dagger = x(-\lambda)$. Diğer yandan, tek-modüler (uni-modular) işaret μ , $f(\lambda)$ nın çift ya da tek fonksiyon olmasına bağlı olarak $+$ ya da $-$ olabilir (Yarman, 2010). Böylece, kayıpsız, çift-terafılı (reciprocal) 2-kapılı için,

$$S = \frac{1}{g(\lambda)} \begin{bmatrix} h(\lambda) & f(\lambda) \\ f(\lambda) & -\mu h(-\lambda) \end{bmatrix} \quad (8.ii)$$

$$\mu = \frac{f}{f^\dagger} = \frac{f(\lambda)}{f(-\lambda)} = \begin{cases} +1, f(\lambda) \text{ çift fonksiyon ise} \\ -1, f(\lambda) \text{ tek fonksiyon ise} \end{cases}$$

olarak açık formda yazılabilir (Yarman, 2010). h, g, f polinomları Richards değişkeni λ 'nın birer fonksiyonu olup, Matlab formunda,

$$h(\lambda) = h_1\lambda^n + h_2\lambda^{n-1} + \dots + h_n\lambda + h_{n+1} \quad (8.iii)$$

$$g(\lambda) = g_1\lambda^n + g_2\lambda^{n-1} + \dots + g_n\lambda + g_{n+1} \quad (8.iv)$$

$$f(\lambda) = f_1\lambda^n + f_2\lambda^{n-1} + \dots + f_n\lambda + f_{n+1} \quad (8.v)$$

olarak verilebilir (Yarman, 2010).

2.1.1. Kayıpsız İki-Kapılının Güç Bağlılıkları

Şekil 5'te görülen kayıpsız iki-kapılı mikrodalga devresi N için kapı-1'e aktarılan net güç, kapıya gelen dalganın gücü ve kapıdan yansıyan dalganın gücü arasındaki fark olarak yazılabilir,

$$P_1 = |a_1|^2 - |b_1|^2 \quad (9)$$

Benzer şekilde, kapı-2'ye aktarılan net güç de,

$$P_2 = |a_2|^2 - |b_2|^2 \quad (10)$$

olarak yazılabilir (Carlin & Civaleri, 1998). Böylece, N kayıpsız iki-kapılına aktarılan toplam güç,

$$P_T = P_1 + P_2 = [a_1^* \quad a_2^*] \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} - [b_1^* \quad b_2^*] \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

olarak ifade edilebilir. Burada denklem (5)'teki ifade hatırlanacak olursa,

$$P_T = a^\dagger [I - S^\dagger S] a \quad (12)$$

yazılabilir (Carlin & Civaleri, 1998; Yarman, 2010). Tabidir ki burada toplam güç sıfır olmalıdır, böylelikle,

$$\begin{aligned} I - S^\dagger S &= 0 \quad ya \ da \\ S^\dagger S &= I \end{aligned} \quad (13)$$

ilişkisi elde edilir. Burada, I birim matristir,

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

Denklem (13)'teki $S^\dagger S = I$ ifadesinin her iki tarafına da † operatörü uygulanırsa, $SS^\dagger = I$ yazılabilir, böylelikle,

$$S^\dagger S = SS^\dagger = I \quad (15)$$

Zira, † işareti transpoz edilmiş matrisin kompleks eşleniğini temsil eder,

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}, \quad S^\dagger = \begin{bmatrix} S_{11}^* & S_{21}^* \\ S_{12}^* & S_{22}^* \end{bmatrix} \quad (16)$$

Gerçekten de, (15)'deki $S^\dagger S$ ifadesinde (16)'da verilen açık ifadeler yerine konursa,

$$\begin{bmatrix} S_{11}^* & S_{21}^* \\ S_{12}^* & S_{22}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

ve her iki tarafa † uygulanırsa,

$$\begin{bmatrix} S_{11}^* & S_{21}^* \\ S_{12}^* & S_{22}^* \end{bmatrix}^\dagger \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}^\dagger = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^\dagger \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} (S_{11}^*)^* & (S_{12}^*)^* \\ (S_{21}^*)^* & (S_{22}^*)^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{11} & S_{21} \\ S_{12} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Kompleks herhangi bir A sayısı için $(A^*)^* = A$ olduğundan, (19) ifadesi,

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{11}^* & S_{21}^* \\ S_{12}^* & S_{22}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Denklem (16) ifadesi hatırlanırsa, denklem (20) ifadesi

$$SS^\dagger = I \quad (21)$$

olarak yazılabilir (Yarman, 2010). Böylece, denklem (13) ve denklem (21)'in birarada yazılması ile, denklem (15)'te daha önce verilen sonucun elde edildiği görülür. Denklem (17)'den dört farklı eşitlik elde edilebilir. Bunlardan

$$S_{11}^* S_{11} + S_{21}^* S_{21} = 1 \quad (22)$$

olanı

$$\begin{aligned} S_{21}^* S_{21} &= 1 - S_{11}^* S_{11} \\ |S_{21}|^2 &= 1 - |S_{11}|^2 \end{aligned} \quad (23)$$

şeklinde ifade edilebilir (Yarman, 2010).

Dönüştürücü Güç Kazancı (TPG): Şekil 5'teki iki-kapılı için dönüştürücü güç kazancı (transducer power gain, TPG) yük tarafı ya da kaynak tarafı baz alınarak iki farklı (ancak denk) ifadeler şeklinde tanımlanabilir; T_L yük tarafına, T_G ise kaynak tarafına göre ifade edilen TPG'ler,

$$T_L \triangleq \frac{\text{yüke aktarılan güç}}{\text{kaynağın mevcut gücü}} = \frac{P_L}{P_A} \quad (24)$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

$$T_G \triangleq \frac{\text{kaynaktan girişe aktarılan güç}}{\text{kaynağın mevcut gücü}} = \frac{P_{in}}{P_A} \quad (25)$$

olarak tanımlanır. Tabiidir ki,

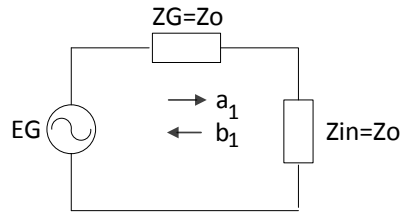
$$T_L = T_G \quad (26)$$

Denklem (25)'teki giriş gücü P_{in} için

$$P_{in} = |a_1|^2 - |b_1|^2 \quad (27)$$

ifadesi yazılabilir.

Kaynak empedansı hattın karakteristik empedansına eşit seçilir ($Z_G = Z_0$) ve hat kaldırılarak yerine yine Z_0 'a eşit bir empedans bağlanırsa, kaynağın mevcut gücü P_A elde edilebilir.



Şekil 6: İki-kapılıda kaynak mevcut gücünün bulunması için düzenek

Bu durumda, girişe aktarılan güç kaynaktan aktarılması mümkün olan maksimum güçtür, zira $Z_{11} = Z_{in} = Z_0$ olduğu için devre girişindeki yansıma sıfırdır,

$$S_{11} = \frac{Z_{11} - Z_0}{Z_{11} + Z_0} \Big|_{Z_{11}=Z_0} = 0 \quad (28)$$

Böylece denklem (27)'nin maksimum değeri elde edilir, zira giriş kapısından yansıyan güç sıfırdır, çünkü $b_1 = S_{11}a_1 = 0$ dır ve böylece kaynağın mevcut gücü, kaynaktan çekilmesi mümkün olan maksimum güç olarak tanımlanır, $|a_1|^2$ 'e eşittir.

$$P_A = P_{inmax} = |a_1|^2 - |b_1|^2|_{b_1=0} = |a_1|^2 \quad (29)$$

O halde denklem (25)'te tanımlandığı üzere, giriş tarafı baz alınarak tanımlanan TPG ifadesinde denklem (27) ve denklem (29) yerlerine yazılırsa,

$$T_G = \frac{P_{in}}{P_A} = \frac{|a_1|^2 - |b_1|^2}{|a_1|^2} = 1 - \frac{|b_1|^2}{|a_1|^2} = 1 - \left(\frac{b_1}{a_1}\right) \left(\frac{b_1^*}{a_1^*}\right) \quad (30)$$

$S_{11} = b_1/a_1$ olduğu hatırlanırsa,

$$T_G = \frac{P_{in}}{P_A} = 1 - S_{11}S_{11}^* = 1 - |S_{11}|^2 \quad (31)$$

Denklem (23) hatırlanacak olursa, $1 - |S_{11}|^2$ ifadesi $|S_{21}|^2$ 'ye eşittir. Böylece denklem (31)'deki TPG tanımı için

$$T_G = |S_{21}|^2 = 1 - |S_{11}|^2 \quad (32)$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

ifadesi verilebilir. Denklem (8.i)'de Belevitch formuna göre verilen saçılma parametreleri $S_{21} = f/g$ ve $S_{11} = h/g$ (32)'de yerine konursa,

$$T_G = S_{21}S_{21}^* = 1 - S_{11}S_{11}^* \quad (33)$$

$$T_G = \frac{ff^*}{gg^*} = 1 - \frac{hh^*}{gg^*} \quad (34)$$

elde edilir. Burada $x = x(\lambda)$, $x^* = x(-\lambda)$, olduğu hatırlanırsa, $xx^* = x(\lambda)x(-\lambda) = X(\lambda^2)$ polinom çarpımının sonucunda elde edilecek X 'in λ^2 cinsinden bir çift fonksiyon olacağı gösterilebilir.

Örnek 1: $x(\lambda) = \lambda^2 + \lambda + 1$ olarak verilen polinom için $xx^* = x(\lambda)x(-\lambda)$ polinom çarpımını bulunuz, çarpım sonucunda elde edilen X polinomunun λ^2 'nin bir fonksiyonu olduğunu ve çift bir fonksiyon olduğunu gösteriniz.

$$xx^* = x(\lambda)x(-\lambda) = (\lambda^2 + \lambda + 1)(\lambda^2 - \lambda + 1) = \lambda^4 + \lambda^2 + 1 = X(\lambda^2)$$

Görüldüğü üzere X çarpım sonucu λ^2 'nin kuvvetlerinin bir fonksiyonudur. Çift bir fonksiyon için $X(\lambda) = X(-\lambda)$ koşulu sağlanmalıdır. Gerçekten de,

$$X(-\lambda) = \lambda^4 + \lambda^2 + 1 = X(\lambda)$$

O halde h, g, f polinomlarına ilişkin çift polinomlar,

$$H(\lambda) = hh^* = h(\lambda)h(-\lambda) = H_1\lambda^{2n} + H_2\lambda^{2(n-1)} + \dots + H_n\lambda^2 + H_{n+1} \quad (35.i)$$

$$G(\lambda) = gg^* = g(\lambda)g(-\lambda) = G_1\lambda^{2n} + G_2\lambda^{2(n-1)} + \dots + G_n\lambda^2 + G_{n+1} \quad (35.ii)$$

$$F(\lambda) = ff^* = f(\lambda)f(-\lambda) = F_1\lambda^{2n} + F_2\lambda^{2(n-1)} + \dots + F_n\lambda^2 + F_{n+1} \quad (35.iii)$$

olarak yazılabilir (Yarman, 2010). Bu durumda H, G, F çift polinomları cinsinden denklem (34)'deki TPG kazanç ifadesi,

$$T_G = |S_{21}|^2 = 1 - |S_{11}|^2$$

$$T_G = \frac{F(\lambda)}{G(\lambda)} = 1 - \frac{H(\lambda)}{G(\lambda)} \quad (36)$$

olarak ifade edilebilir. Denklem (36),

$$G(\lambda) = H(\lambda) + F(\lambda) \quad (37)$$

ya da eşdeğer olarak

$$g(\lambda)g(-\lambda) = h(\lambda)h(-\lambda) + f(\lambda)f(-\lambda) \quad (38)$$

şeklinde ifade edilirse, bu bağıntılara iki-kapılının “kayıpsızlık koşulu” adı verilir (Yarman, 2010).

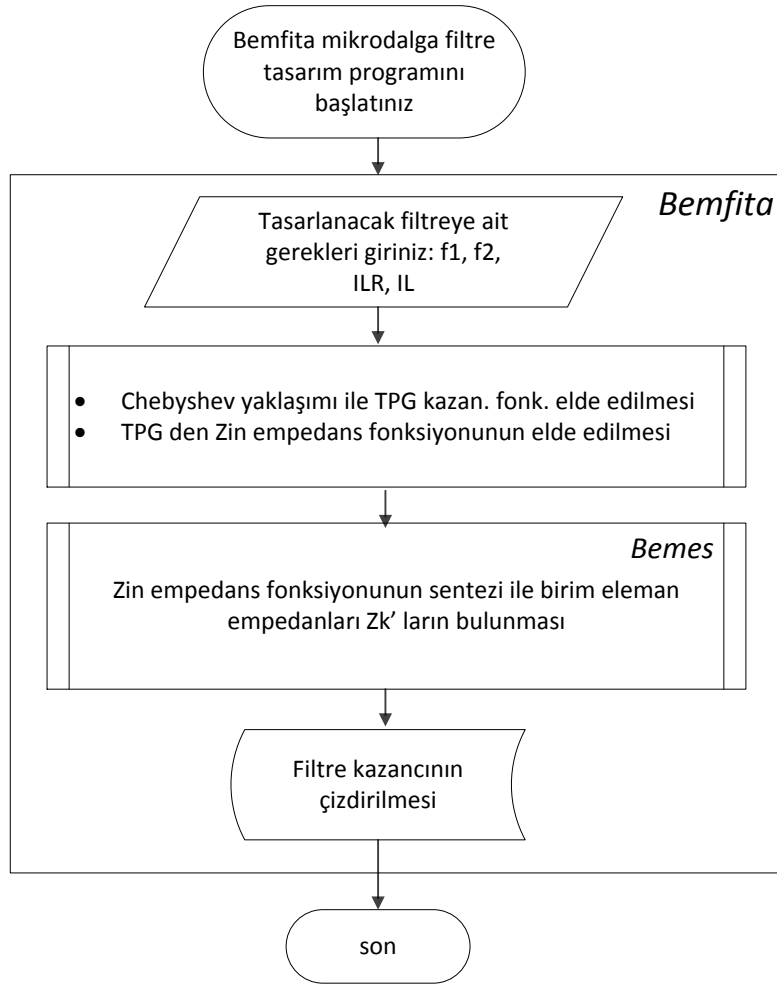
2.2. Bemfita - Birim Eleman Mikrodalga Filtre Tasarım Programı

Bu başlık altında, “*Bemfita - birim eleman mikrodalga filtre tasarım programı*” çalışması tanıtılacak ve ayrıntılarıyla verilecektir. Bemfita programı Matlab ortamında geliştirilmiş olup kodlar ayrıntılarıyla bu çalışmada verilmektedir. *Bemfita*, temel başarımların gereklilikleri kullanıcı tarafından programa girilen bir mikrodalga filtrenin

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

- i) öncelikle Chebyshev yaklaşımına dayalı *TPG* kazanç fonksiyonunu elde eder, daha sonra
- ii) bu kazanç fonksiyonunu karşılayacak birim eleman mikrodalga filtreye ait sürüş noktası empedans fonksiyonu $Z_{in}(\lambda)$ 'yı bulur ve programın bir alt gereci olarak bütünleştirilmiş olan *Bemes* sentez algoritmasıyla (bkz. önceki bölüm) sentezleyerek birim elemanlara ait karakteristik empedansları, Z_k ($k=1,2,\dots,n$), elde eder,

böylece tasarım tamamlanmış olur. Anlaşılacağı gibi, *Bemes*, *Bemfita* ana filtre tasarım programı altında bir sentezleme modülü olarak çalışmaktadır (Şekil 7). Filtre gerekleri olarak belirtilen f_1 ve f_2 , band geçiren filtreye ait sırasıyla alt ve üst kesim frekanslarını (GHz), *ILR* geçirme bandı dalgalılık faktörünü (dB), *IL* söndürme bandı zayıflatma faktörünü (dB) ifade eder. Programa sadece bu dört filtre gereklerinin girilmesi yeterlidir.



Şekil 7: Bemfita birim eleman mikrodalga filtre tasarım programı akış diyagramı

2.2.1. Bemfita Programı Tasarım Adımları

Bemfita, tasarım amaçlarını gerçekleştirmek için aşağıdaki tasarım adımlarını izler ve yerine getirir:

- 1) İlk olarak, tasarlanacak filtre için kullanılacak Chebyshev tipi $T_n(x)$ polinomunun derecesi n girilen filtre özelliklerine göre tespit edilir.
- 2) x uzayı *TPG* kazanç fonksiyonu $T(x^2)$ ifadesini, adım-1'deki n . dereceden $T_n(x)$ cinsinden

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

$$T(x^2) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 T_n^2(x)} \quad (39)$$

olarak ifade edilir (ayrıntılı bilgi 2.2.1.1’de verilecektir).

- 3) Elde edilen $T(x^2)$ ifadesinde, uygun bir $x^2 = y(\lambda^2)$ dönüşümü (ayrıntılı bilgi 2.2.1.2’de verilecektir) ile

$$T(x^2)|_{x^2=y(\lambda^2)} = T(\lambda^2) = \frac{F(\lambda^2)}{G(\lambda^2)} \quad (40)$$

fonksiyonu üretilir. Burada üretilen $F(\lambda^2)$ ve $G(\lambda^2)$ çift polinomları denklem (35) ile verilen ifadelerin formunda elde edilmiş olacaktır (ayrıntılı bilgi 2.2.1.3’te verilecektir).

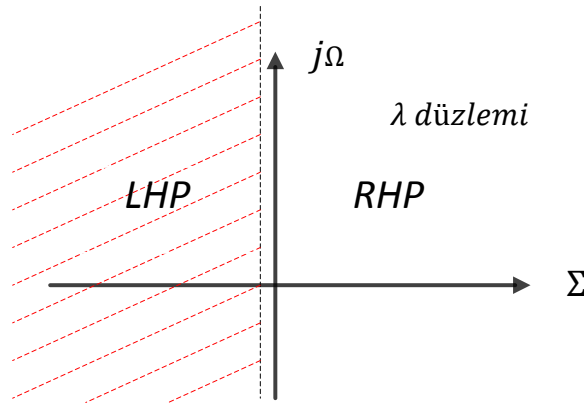
- 4) $H(\lambda^2)$ çift polinomunun bulunması için (37) ile verilen kayıpsızlık koşulu ifadesinde bir önceki adımda bulunmuş olan $F(\lambda^2)$ ve $G(\lambda^2)$ polinomları yerine konur,

$$H(\lambda) = G(\lambda) - F(\lambda) \quad (41)$$

- 5) Birim elemanlardan oluşan tüm filtreye ilişkin giriş (ya da sürüş noktası) empedans fonksiyonu

$$Z_{in}(\lambda) = \frac{N(\lambda)}{D(\lambda)} = \frac{1 + S_{in}(\lambda)}{1 - S_{in}(\lambda)} = \frac{1 + h(\lambda)/g(\lambda)}{1 - h(\lambda)/g(\lambda)} = \frac{g(\lambda) + h(\lambda)}{g(\lambda) - h(\lambda)} \quad (42)$$

ifadesiyle elde edilir. Burada gereken $g(\lambda)$ ve $h(\lambda)$ polinomları, ilgili çift polinomlar $G(\lambda^2)$ ve $H(\lambda^2)$ ’ların uygun şekilde ayrıştırılması ile elde edilir (ayrıntılı bilgi 2.2.1.4’de verilecektir). $g(\lambda)$, “Kesin-Hurwitz” olması gereken bir polinomdur, yani tüm kökleri $\lambda = \Sigma + j\Omega$ Richards düzleminin sol yarısında (LHP – left half plane) olmalıdır, $j\Omega$ ekseninde ve sağ yarı düzlemde (RHP – right half plane) hiçbir köke sahip olmamalıdır (Şekil 8) (Carlin & Civaleri, 1998; Vendelin et al., 2005; Yarman, 2010; Chandra et al., 2007).



Şekil 8: Richards düzlemi, $\lambda = \Sigma + j\Omega$.

- 6) $Z_{in}(\lambda)$ empedans fonksiyonu, Bemes sentez algoritmasıyla sentezlenerek birim elemanlara ait karakteristik empedanslar, Z_k ($k=1,2,\dots,n$), elde edilir, ve tasarım tamamlanmış olur. (ayrıntılı bilgi 2.2.1.5’te verilecektir).

2.2.1.1 Bemfita Programı – Chebyshev Türü TPG kazancı $T(x^2)$ ’nin Elde Edilmesi

x uzayında Chebyshev polinomları aşağıda verilen yinelemeli (recursive) ifade ile elde edilebilir,

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x) \quad (43)$$

Denklem (43)'ün elde edilebilmesi için gerekli başlangıç polinomları,

$$T_0(x) = 1 \text{ ve } T_1(x) = x \quad (44)$$

olarak verilir (Chandra et al., 2007). Böylece denklem (43) ve denklem (44) kullanılarak n . dereceden bir $T_n(x)$ Chebyshev polinomu üretilebilir ve bu polinoma ilişkin n . dereceden Chebyshev türü TPG kazanç ifadesi x uzayında

$$T(x^2) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 T_n^2(x)} \quad (45)$$

olarak elde edilir (Chandra et al., 2007). Burada, ε geçirme bandı dalgalılık (ripple) katsayısı olarak adlandırılır. $T_n(x)$ ifadesinin *Bemfita* programı içinde Matlab ile nasıl üretildiği aşağıda verilen fonksiyonların incelenmesinden anlaşılabilir:

- *ChebyPoliDerecesiniBul.m*: Verilen f_c, f_e, ILR, IL filtre özelliklerinden n, ε, α 'yı elde eder.
- *ChebyPoliBul.m*: Verilen n için, n . dereceden $T_n(x)$ Chebyshev polinomunu elde eder.

```
function [n eps alfa]=ChebyPoliDerecesiniBul(fc,fe,ILR,IL)
eps2=10^(ILR/10)-1;% eps2: eps^2
eps=sqrt(eps2);
alfa=1/(sin((fc/fe)*(pi/2)));
ilx=IL/10;
n=fix( log10(alfa*alfa*(10^ilx-1)/eps2) / (2*log10(2*alfa))+1 );
end
```

```
function Tn=ChebyPoliBul(n)
T0=[0 1];%T0(x)=1
T1=[1 0];%T1(x)=x
Ti=T1;% i.ci polinom
Ti_1=T0;% (i-1).ci polinom
if (n==0)
    Ti1=T0;
elseif(n==1)
    Ti1=T1;
end
if(n>=2)
    for i=1:n-1
        Ti1=vector_sum(2*conv(T1,Ti),-Ti_1);% Tn+1(x)=2xTn(x)-Tn-1(x)
        Ti_1=Ti;
        Ti=Ti1;
    end
end
Tn=Ti1;
end
```

ChebyPoliBul(n) matlab fonksiyonu denklem (43) ve (44) ifadelerini kullanarak n . dereceden $T_n(x)$ Chebyshev polinomunu elde eder. $[n \text{ eps } alfa]=\text{ChebyPoliDerecesiniBul}(f_c, f_e, ILR, IL)$ fonksiyonu ise, kesim frekansı f_c (GHz), söndürme bandı sonu frekansı f_e (GHz), geçirme bandı dalgalılık factoru ILR (dB), söndürme bandı zayıflatması (dB) olarak verilen prototip alçak geçiren bir filtreye ilişkin olası filtre derecesi n , dalgalılık katsayısı ε ve α parametrelerini

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

$$\varepsilon = 10^{ILR/10} - 1 \quad (46)$$

$$\alpha = \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi f_c}{2 f_e}\right)} \quad (47)$$

$$n \cong \frac{1}{2 \log_{10}(2\alpha)} \log_{10} \left[\frac{\alpha^2}{\varepsilon^2} (10^{IL/10} - 1) \right] + 1 \quad (48)$$

ifadelerine göre hesaplar (Yarman, 2010).

2.2.1.2 Bemfita Programı - $x^2 = y(\lambda^2)$ Dönüşümü

Uygun bir $x^2 = y(\lambda^2)$ dönüşümü örneğin,

$$x^2 = \alpha^2 \sin^2(\omega\tau) \quad (49)$$

ya da

$$x^2 = \alpha^2 \cos^2(\omega\tau) \quad (50)$$

olabilir (Yarman, 2010). Örneğin (49) dönüşümü kullanılırsa,

$$x^2 = \alpha^2 \sin^2(\omega\tau) = \alpha^2(1 - \cos^2(\omega\tau)) = \alpha^2 - \frac{\alpha^2}{1 + \tan^2(\omega\tau)} \quad (51)$$

elde edilir. Öte yandan Richards frekansı λ ile fiziksel frekans ω arasında kayıpsız iletim hatları için

$$\lambda = j \tan(\omega\tau) \quad (52)$$

bağlantısının olduğu bilinmektedir (bkz. önceki bölüm). Burada τ , iletim hattına ait gecikme uzunluğu (delay length) olarak bilinir ve $\tau = l/v_p$ ile verilir, l hattın fiziksel uzunluğu (m), v_p EM dalganın hat içindeki hızıdır (m/s). (52)'den $\lambda^2 = -\tan^2(\omega\tau)$ olduğu görülür ve denklem (51)'de yerine konursa,

$$x^2 = -\frac{\alpha^2 \lambda^2}{1 - \lambda^2} \quad (53)$$

$x \rightarrow \lambda$ dönüşüm formülü elde edilir. Denklem (53)'ten anlaşılacağı üzere, x uzayında kesim frekansı daima $x_c = 1$ olup, bu frekans için karşı gelen bant içi minimum kazanç genliği

$$T(x_c = 1) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 T_n^2(x_c = 1)} = \frac{1}{1 + \varepsilon^2} \quad (54)$$

olduğu görülür. Dikkat edilecek olursa, $T_n(x_c = 1) = 1, \forall n$.

- i) Denklem (49)'dan $x_c = 1$ için karşı gelen gerçek frekans f_c (ya da ω_c) elde edilebilir.
- ii) Denklem (51)'deki $\tan^2(\omega\tau)$ ifadesi $\omega_e \tau = \pi/2$ için ∞ 'a yakınsayacaktır, bu da denklem (53)'teki kazanç ifadesinin sıfıra yakınsaması demektir. Kazancın sıfıra yakınsadığı frekans ω_e söndürme bandı frekansına karşılık gelecektir, ve $\tau = \pi/2\omega_e$ olur.

i) ve ii) koşulları birleştirilirse,

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

$$x_c^2 = 1 = \alpha^2 \sin^2 \left(\frac{\pi \omega_c}{2 \omega_e} \right) \text{ ya da } x_c^2 = 1 = \alpha^2 \sin^2 \left(\frac{\pi f_c}{2 f_e} \right) \quad (55)$$

elde edilir (Yarman, 2010). Böylece, α parametresi

$$\alpha = \frac{1}{\sin \left(\frac{\pi f_c}{2 f_e} \right)} \quad (56)$$

bulunur (Yarman, 2010).

Örnek 2: Bemfita programı kullanılarak $f_c=1$ GHz, $f_e=3$ GHz, $ILR=0.9691$ dB ve $IL=40$ dB filtre özelliklerine sahip Chebyshev polinomu $T_n(x)$ 'i, karşı gelen kazanç fonksiyonu ifadesi $T(x^2) = 1/(1 + \varepsilon^2 T_n^2(x))$ 'i elde ediniz, her ikisini de çizdiriniz.

Çözüm: Matlab komut satırında

```
>> fc=1;fe=3;ILR=0.9691;IL=40;[n eps alfa]=ChebyPoliDerecesiniBul(fc,fe,ILR,IL) girilirse,
```

```
n=5, eps = 0.499, alfa =2.000 elde edilir. Ardından,
```

```
>> Tn=ChebyPoliBul(n) girilirse
```

$T_n = [16 \quad 0 \quad -20 \quad 0 \quad 5 \quad 0]$ elde edilir ki bu vektör $n=5$.dereceden $T_5(x)=16x^5-20x^3+5x$ Chebyshev polinomuna karşılık gelir.

Bulunan bu Chebyshev polinomu ile denklem (45) gereğince $T(x^2)$ kazanç fonksiyonu Matlab'de aşağıdaki satırlarla oluşturulur,

```
>> I=[0 1];
```

```
>> Dx=vector_sum(I, eps2*conv(Tn,Tn);
```

ve koşturulursa, $T(x^2)$ 'nin payda ifadesi $Dx = [63.999 \quad 0 \quad -159.999 \quad 0 \quad 139.999 \quad 0 \quad -49.999 \quad 0 \quad 6.249 \quad 0 \quad 1.000]$ polinomu olarak elde edilir. Sonuç olarak, denklem (45) ile verilen $T(x^2)$ kazanç ifadesi,

$$T(x^2) = \frac{1}{64x^{10} - 160x^8 + 140x^6 - 49x^4 + 6.25x^2 + 1} \quad (57)$$

bulunur. $T_5(x)$ ve $T(x^2)$, $x = -1$ den 1 'e kadar çizdirilirse, Şekil 9'da görülen grafikler elde edilecektir.

2.2.1.3 Bemfita Programı - $T(x^2)$ Kazanç İfadesinden $T(\lambda^2)$ Kazancının Elde Edilmesi

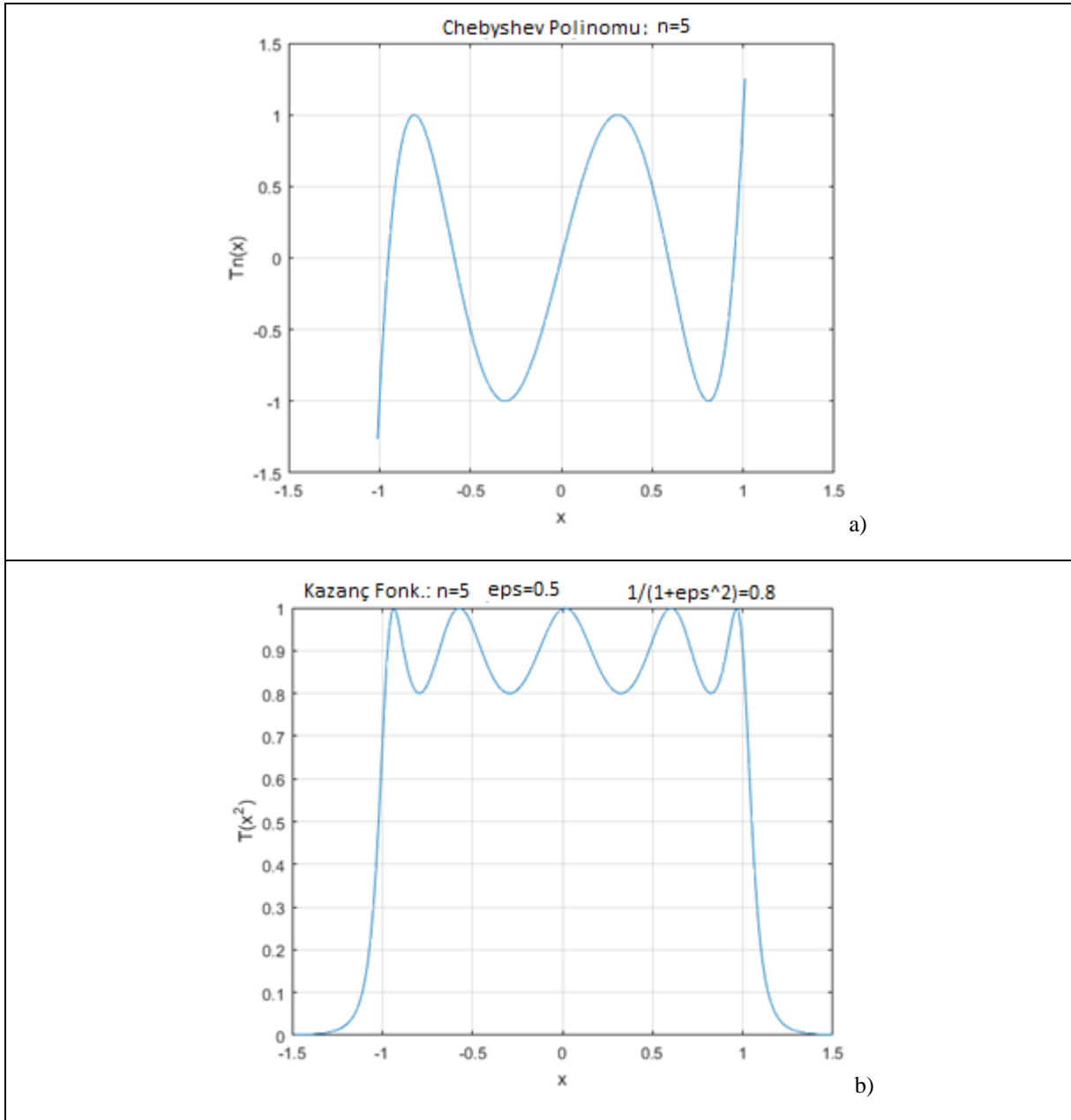
Denklem (40) gereğince, x uzayı kazanç ifadesi $T(x^2)$ elde edildikten sonra, uygun bir $x^2 = -\frac{\alpha^2 \lambda^2}{1-\lambda^2}$ dönüşümü kullanılarak, $T(\lambda^2)$ kazanç ifadesi elde edilir.

$$T(x^2) \Big|_{x^2 = -\frac{\alpha^2 \lambda^2}{1-\lambda^2}} = T(\lambda^2) = \frac{F(\lambda^2)}{G(\lambda^2)} \quad (58)$$

Denklem (45)'teki $T(x^2)$ ifadesi

$$T(x^2) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 [t_n x^n + t_{n-2} x^{n-2} + \dots + t_3 x^3 + t_1 x]^2}, n \text{ tek ise} \quad (59)$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI



Şekil 9: $n = 5$. dereceden a) Chebyshev ve b) kazanç fonksiyonlarının x uzayı grafiği.

$$T(x^2) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 [t_n x^n + t_{n-2} x^{n-2} + \dots + t_2 x^2 + t_0]^2}, n \text{ çift ise} \quad (60)$$

olarak yazılabilir. Burada, $t_i, i = 0, 1, 2, \dots, n$ olup, $T_n(x)$ Chebyshev polinomu katsayılarıdır. Denklem (59)'daki ifade (n tek durumu) ilerletilirse

$$T(x^2) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 x^2 [t_n x^{(n-1)} + t_{n-2} x^{(n-3)} + \dots + t_3 x^2 + t_1]^2}, n \text{ tek} \quad (61)$$

$$T(x^2) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 x^2 \left[t_n (x^2)^{\frac{n-1}{2}} + t_{n-2} (x^2)^{\frac{n-3}{2}} + \dots + t_3 (x^2) + t_1 \right]^2}, n \text{ tek} \quad (62)$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

Denklem (60)'daki ifade (n çift durumu) ilerletilirse

$$T(x^2) = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \left[t_n (x^2)^{\frac{n}{2}} + t_{n-2} (x^2)^{\frac{n-2}{2}} + \dots + t_2 (x^2) + t_0 \right]^2}, n \text{ çift} \quad (63)$$

elde edilir. Denklem (53)'teki dönüşüm ifadesi yeniden düzenlenirse,

$$x^2 = \frac{(-\alpha^2)(\lambda^2)}{1 - \lambda^2} = \frac{(\alpha_1)(\lambda_1)}{1 - \lambda_1} = \frac{d(\lambda_1)}{e(\lambda_1)} = m(\lambda_1) \quad (64)$$

şeklinde yazılabilir. Bu şekilde yazımın nedeni, denklem (53) dönüşüm ifadesinin denklem (64) şeklinde kullanımının Matlab kodlamayı kolaylaştırmasıdır. Bu açıdan, denklem (62),

$$\begin{aligned} T(m) &= \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \frac{d}{e} \left[t_n \left(\frac{d}{e}\right)^{\frac{n-1}{2}} + t_{n-2} \left(\frac{d}{e}\right)^{\frac{n-3}{2}} + \dots + t_3 \left(\frac{d}{e}\right) + t_1 \right]^2}, n \text{ tek} \quad (65) \\ &= \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \frac{d}{e} \left[\frac{t_n d^{(n-1)/2} + t_{n-2} d^{(n-3)/2} e + \dots + t_3 d e^{(n-3)/2} + t_1 e^{(n-1)/2}}{e^{(n-1)/2}} \right]^2} \\ &= \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \frac{d}{e e^{(n-1)}} [t_n d^{(n-1)/2} + t_{n-2} d^{(n-3)/2} e + \dots + t_3 d e^{(n-3)/2} + t_1 e^{(n-1)/2}]^2} \\ &= \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \frac{d}{e^n} [t_n d^{(n-1)/2} + t_{n-2} d^{(n-3)/2} e + \dots + t_3 d e^{(n-3)/2} + t_1 e^{(n-1)/2}]^2} \\ T(\lambda^2) &= \frac{F(\lambda^2)}{G(\lambda^2)} \quad (66) \\ &= \frac{e^n}{e^n + \varepsilon^2 d \left[t_n d^{\frac{n-1}{2}} + t_{n-2} d^{\frac{n-3}{2}} e + \dots + t_3 d e^{\frac{n-3}{2}} + t_1 e^{\frac{n-1}{2}} \right]^2}, n \text{ tek} \end{aligned}$$

olarak yazılabilir. Dikkat edilirse, n tek olması durumu için paydada bir d terimi vardır. Benzer çıkarım denklem (63) için de yapılırsa,

$$\begin{aligned} T(m) &= \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \left[t_n \left(\frac{d}{e}\right)^{\frac{n}{2}} + t_{n-2} \left(\frac{d}{e}\right)^{\frac{n-2}{2}} + \dots + t_2 \left(\frac{d}{e}\right) + t_0 \right]^2}, n \text{ çift} \quad (67) \\ &= \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \left[\frac{t_n d^{n/2} + t_{n-2} d^{(n-2)/2} e + \dots + t_2 d e^{(n-2)/2} + t_0 e^{n/2}}{e^{n/2}} \right]^2} \\ &= \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \frac{1}{e^n} [t_n d^{n/2} + t_{n-2} d^{(n-2)/2} e + \dots + t_2 d e^{(n-2)/2} + t_0 e^{n/2}]^2} \end{aligned}$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

$$T(\lambda^2) = \frac{F(\lambda^2)}{G(\lambda^2)} = \frac{e^n}{e^n + \varepsilon^2 \left[t_n d^{\frac{n}{2}} + t_{n-2} d^{\frac{n-2}{2}} e + \dots + t_2 d e^{\frac{n-2}{2}} + t_0 e^{\frac{n}{2}} \right]^2}, n \text{ çift} \quad (68)$$

elde edilir. Dikkat edilirse, n çift olması durumu için paydada d terimi mevcut değildir.

Kazanç Fonksiyonu Kodlama Kuralları: Açığıdır ki, n tek (denklem (66)) ve n çift (denklem (68)) ile verilen formüller arasındaki tek fark, n tek için paydanın d terimine sahip olması, n çift için ise paydada böyle bir terimin olmamasıdır. Kod geliştirirken bu bir kolaylık sağlayacaktır. Böylece denklem (66) ve denklem (68) ifadelerine ilişkin kodlama kuralları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- 1) n tek için, paydada ε^2 terimi yanına bir d terimi koyulur, n çift için koyulmaz.
- 2) n tek için, d nin en yüksek derecesi $(n - 1)/2$ iken; n çift için, $n/2$ dir.
- 3) n tek için, d nin derecesi 0'a doğru azalır; e nin derecesi 0'dan $(n - 1)/2$ 'ye doğru artmakta; katsayılar t_n den t_1 'e azalmaktadır. n çift için, d nin derecesi 0'a doğru azalır; e nin derecesi 0'dan $n/2$ 'ye doğru artmakta; katsayılar t_n den t_0 'a azalmaktadır.

Yukarıdaki kodlama kuralları uygulanarak, *KazancFonkOlustur.m* adlı matlab fonksiyonu oluşturulmuştur:

```
function [F G] =KazancFonkOlustur(Tn,n,eps,alfa)
    eps2=eps^2;
    alfa1=-alfa^2;% (64)'ten
    d=[alfa1 0 0];% (64)'ten
    e=[-1 0 1];% (64)'ten

    nx=n;
    if(mod(n,2)==0)% n çift
        N=(n/2)+1;
        oe='e'% çift
    else
        N=(n+1)/2;
        oe='o';% tek
    end

    u=0;
    id=0;
    ie=N-1;
    for i=1:N
        ui=Tn(N+1-i)*conv(PolyPower(d,id),PolyPower(e,ie));%
        u=vector_sum(u,ui);
        id=id+1;
        ie=ie-1;
    end
    u2=conv(u,u);
    if(oe=='o')
        v2=[eps2*alfa1 0 0];
    else
        v2=[eps2];
    end
    uv2=conv(u2,v2);
    c=PolyPower(e,nx);
    G=vector_sum(c,uv2)% kazanc fonk. L(amda) uzayinda olustur
    F=c;
end
```

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

Örnek 3: Örnek 2’de $f_c=1$ GHz, $f_e=3$ GHz, $ILR=0.9691$ dB ve $IL=40$ filtre özellikleri girilerek *Bemfita* ile Chebyshev fonksiyonu $T_5(x)=16x^5-20x^3+5x$, $n = 5$, $\varepsilon = 0.499$, $\alpha = 2.000$ olarak elde edilmiştir. Bu bilgileri *KazancFonkOlustur.m* fonksiyonuna girdi olarak kullanarak, $T(\lambda^2)$ kazanç fonk. ifadesini elde ediniz, kazanç-frekans grafiğini çiziniz.

Çözüm: $T_5(x)$ polinomu için Matlab vektörü $Tn=[16 -20 5]$ olarak yazılır; $n =5$, $\text{eps} = 0.499$, $\text{alfa} =2.000$ olarak girilir ve Matlab komut satırında aşağıdaki şekilde komut verilirse,

```
>> Tn=[16 -20 5] ; n=5; eps=0.499; alfa=2.000; [F G]=KazancFonkOlustur(Tn,n,eps,alfa)
```

```
F=[ -1 0 5 0 -10 0 10 0 -5 0 1]
```

```
G=[ -32631.087 0 -25233.741 0 -6693.186 0 -687.202 0 -29.900 0 1.000]
```

çift polinomları elde edilir. Böylece, kazanç fonksiyonu,

$$T(\lambda^2) = \frac{F(\lambda^2)}{G(\lambda^2)} = \frac{-\lambda^{10} + 5\lambda^8 - 10\lambda^6 + 10\lambda^4 - 5\lambda^2 + 1}{-32631.087\lambda^{10} - 25233.741\lambda^8 - 6693.186\lambda^6 - 687.202\lambda^4 - 29.9\lambda^2 + 1}$$

olarak yazılabilir. Elde edilmiş olan $F(\lambda^2)$ ve $G(\lambda^2)$ polinomları cinsinden denklem (41) gereğince, $H(\lambda) = G(\lambda) - F(\lambda)$ ’dan $H(\lambda^2)$ elde edilebilir,

$$H = [-32760.995 0 -25339.996 0 -6709.998 0 -699.999 0 -24.999 0].$$

Polinom olarak gösterilimi, $H(\lambda^2) = -32760.995\lambda^{10} - 25339.996\lambda^8 - 6709.998\lambda^6 - 699.999\lambda^4 - 24.999\lambda^2$ olarak yazılır.

2.2.1.4 Bemfita Programı - $X(\lambda^2) = x(\lambda)x(-\lambda)$ Çift Polinomundan $x(\lambda)$ Elde Edilmesi

Verilen bir $X(\lambda^2) = x(\lambda)x(-\lambda)$ çift polinomundan, bu çift polinomu oluşturan $x(\lambda)$ polinomunun elde edilmesi için aşağıdaki yarı-sembolik yordam kullanılır (Yarman, 2010):

- $X_kokleri = kökbul(X)$, X çift polinomun köklerini bul.
- $x_kokleri = \sqrt{X_kokleri}$, x polinomunun kökleri X ’in köklerinin kareköküdür.
- $x_1 = \sqrt{|X_1|}$, x polinomunun 1. katsayısı X ’in 1. katsayısının mutlak değerinin kareköküdür.
- $x(\lambda) = poly(-x_kokleri)$, x polinomu LHP köklerden oluşturulur.

Burada verilen algoritma $X(\lambda^2)$ ’nin $G(\lambda^2)$ ve $H(\lambda^2)$ polinomları olması her iki durumu için de geçerli olup, verilen $G(\lambda^2) = g(\lambda)g(-\lambda)$ ve $H(\lambda^2) = h(\lambda)h(-\lambda)$ polinomlarından, $g(\lambda)$ ve $h(\lambda)$ polinomlarını elde etmeye yarar. Yukarıdaki algoritma gereğince yazılan Matlab kodu aşağıda verilmektedir.

```
function [x]=PolinomlarinaAyristir(X)
    rX=roots(X);
    zr=sqrt(rX);
    x1=sqrt(abs(X(1)));
    x=x1*poly(-zr);
end
```

Örnek 4: Örnek 3’teki filtre tasarımına ilişkin elde edilen $G(\lambda^2)$ ve $H(\lambda^2)$ çift polinomlarını yukarıda verilen ayrıştırma algoritmasını kullanarak $g(\lambda)$ ve $h(\lambda)$ polinomlarına ayırınız.

Çözüm: Matlab komut satırına aşağıdaki şekilde yazılır ve işletilirse,

```
>> G=[ -32631.087 -25233.741 -6693.186 -687.202 -29.900 1.000];
```

```
H=[ -32760.995 -25339.996 -6709.998 -699.999 -24.999 0];
```

```
[g]=PolinomlarinaAyristir(G); [h]=PolinomlarinaAyristir(H);
```

$$g(\lambda) = 181.002\lambda^5 + 100.233\lambda^4 + 97.738\lambda^3 + 31.555\lambda^2 + 9.649\lambda + 1.000$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

$$h(\lambda) = 180.999\lambda^5 + 0.00000648\lambda^4 + 69.999\lambda^3 + 0.00000119\lambda^2 + 4.999\lambda + 0.000$$

elde edilir.

2.2.1.5 Bemfita Programı – Bemes Sentez Algoritmasıyla Empedans Fonksiyonu Sentezi

Bir önceki adımda elde edilen $g(\lambda)$ ve $h(\lambda)$ polinomları cinsinden devre girişine dair giriş yansıma fonksiyonu $S_{in}(\lambda) = h(\lambda)/g(\lambda)$ (ya da $S_{11}(\lambda)$, bkz. denklem (34)) elde edilebilir. $g(\lambda)$ ve $h(\lambda)$ polinomları cinsinden aynı zamanda *Bemfita* programı içinde, denklem (42) kullanılarak devreye ilişkin sürüş noktası empedansı (ya da giriş empedansı) $Z_{in}(\lambda) = N(\lambda)/D(\lambda) = [g(\lambda) + h(\lambda)]/[g(\lambda) - h(\lambda)]$ olarak elde edilebilir.

Örnek 5: Örnek 4'teki tasarım için elde edilen $g(\lambda)$ ve $h(\lambda)$ polinomlarını kullanarak devreye ait giriş empedans fonksiyonunu elde ediniz.

Çözüm: Bemfita programı içinde (42) gereğince

$$Z_{in}(\lambda) = \frac{N(\lambda)}{D(\lambda)} = \frac{g(\lambda) + h(\lambda)}{g(\lambda) - h(\lambda)} = \frac{362.00\lambda^5 + 100.23\lambda^4 + 167.74\lambda^3 + 31.56\lambda^2 + 14.659\lambda + 1}{0.0028\lambda^5 + 100.23\lambda^4 + 27.74\lambda^3 + 31.56\lambda^2 + 4.65\lambda + 1}$$

olarak elde edilir. Hatırlanacağı üzere *Bemes* (ayrıntılı bilgi için bkz. bir önceki bölüm), Bemfita programının altında bir sentez geciği olarak çalışmaktadır. Devreye ait giriş empedans fonksiyonu $Z_{in}(\lambda)$, *Bemes* sentez algoritmasıyla sentezlenerek birim elemanlara ait karakteristik empedanslar, Z_k ($k=1,2,\dots,n$), elde edilir. Yukarıda verilen $Z_{in}(\lambda) = N_1(\lambda)/D_1(\lambda)$ 'ya ait pay ve payda polinomları, Matlab komut satırında Bemes fonksiyonuna aşağıdaki şekilde girilir ve koşturulursa,

```
>> n=5; N1=[362.00 100.23 167.74 31.56 14.659 1];
D1=[0.0028 100.23 27.74 31.56 4.65 1]; [z]=Bemes(N1,D1,n);
```

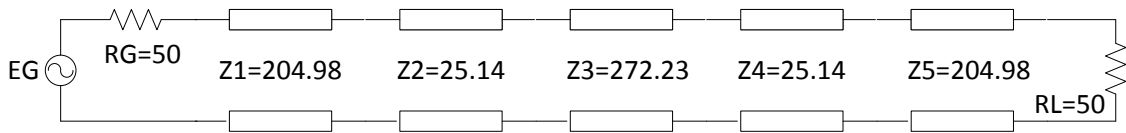
birim elemanlara ait karakteristik empedanslar

```
z = [4.099649725981295 0.502774718424921 5.444589740752170 0.502774718564303
4.099650200360813 1.00000000002731] Ω
```

olarak elde edilmiş olur. Bu elde edilen karakteristik empedanslar $R_0=50 \Omega$ normalize değerlerdir. Gerçek karakteristik empedans değerleri, bunların $R_0=50 \Omega$ ile çarpılmasıyla elde edilir,

```
Z= [204.9824862990648 25.1387359212461 272.2294870376085 25.1387359282151
204.9825100180406 50.0000000001366] Ω
```

Birim elemanlara ait bu karakteristik empedanslar ve birim elemanların kaskad bağlanması ile elde edilmiş devrenin şeması aşağıda görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10: Birim eleman kaskad filtre empedans değerleri

Tasarlanan birim eleman kaskad filtreye ait kazanç başarımları Şekil 11'de görülmektedir. Kazanç grafiklerindeki negatif frekans bölgesinin elbette fiziksel anlamı yoktur, yalnızca matematiksel anlamı bulunmaktadır. Dikkat edilirse, $-f_c$ ve $+f_c$ (-1 GHz ve +1 GHz) arasındaki filtre kazanç karakteristiğinin, (5-7) GHz, (11-13) GHz, ... frekans aralıklarında olmak üzere sonsuza kadar tekrar ettiği gözlenmektedir. Bunun nedeni, denklem (52) ile verilen Richards değişkeni $\lambda = j\tan(\omega\tau)$ 'nın kendini $-\pi/2$ ile $+\pi/2$ aralığında periyodik olarak tekrar eden bir tanjant fonksiyonuna

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

bağlı olması, ve dolayısıyla λ cinsinden ifade edilen kazanç fonksiyonu $T(\lambda)$ 'nın da bu periyodiklikten etkilenmesidir.

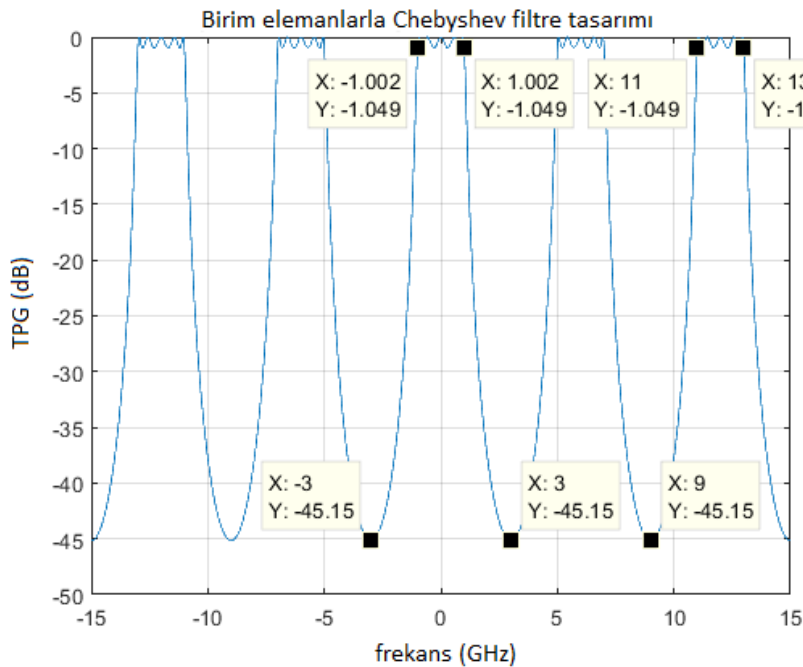
Örnek 2'deki filtre tasarımı için verilen filtre gerekleri hatırlanacak olursa, filtre kesim frekansı $f_c=1$ GHz, söndürme bandı frekansı $f_e=3$ GHz, geçirme bandı dalgallılık katsayısı $ILR=0.9691$ dB ve söndürme bandı zayıflatması $IL=40$ dB idi. Burada, f_c ve f_e tasarlanacak filtreye ait prototip alçak geçiren filtreye ait değerler olup, Şekil 11.a'dan anlaşılacağı üzere bant geçiren bir sonraki tekrar eden kazanç bölgesine dair alt ve üst kesim frekanslarının $f_1=5$ GHz, $f_2=7$ GHz olduğu görülür. Aşağıda, prototip alçak geçiren filtreye ait f_c ve f_e frekansları cinsinden, tekrar eden herhangi bir bant geçiren filtreye ait alt ve üst kesim frekansları f_1 ve f_2 arasındaki ilişki irdelenmektedir.

Şekil 11.b'ye bakılacak olursa, $(f_1, f_2)=(5,7)$ GHz aralığındaki BGF (bant geçiren filtre)'ya ait kazanç karakteristiği, Şekil 11.a'daki $(-f_c, +f_c)=(-1, +1)$ GHz aralığındaki prototip AGF (alçak geçiren filtre)'nin ötelenmiş birebir kopyasından başka bir şey değildir. Böylelikle, AGF'nin bant genişliğinin $2f_c$ olduğu kolaylıkla anlaşılabilir. O halde BGF filtrenin de bant genişliği $2f_c$ olmalıdır. Böylece BGF ye ait bant genişliği ifadesi

$$f_2 - f_1 = 2f_c \quad (69)$$

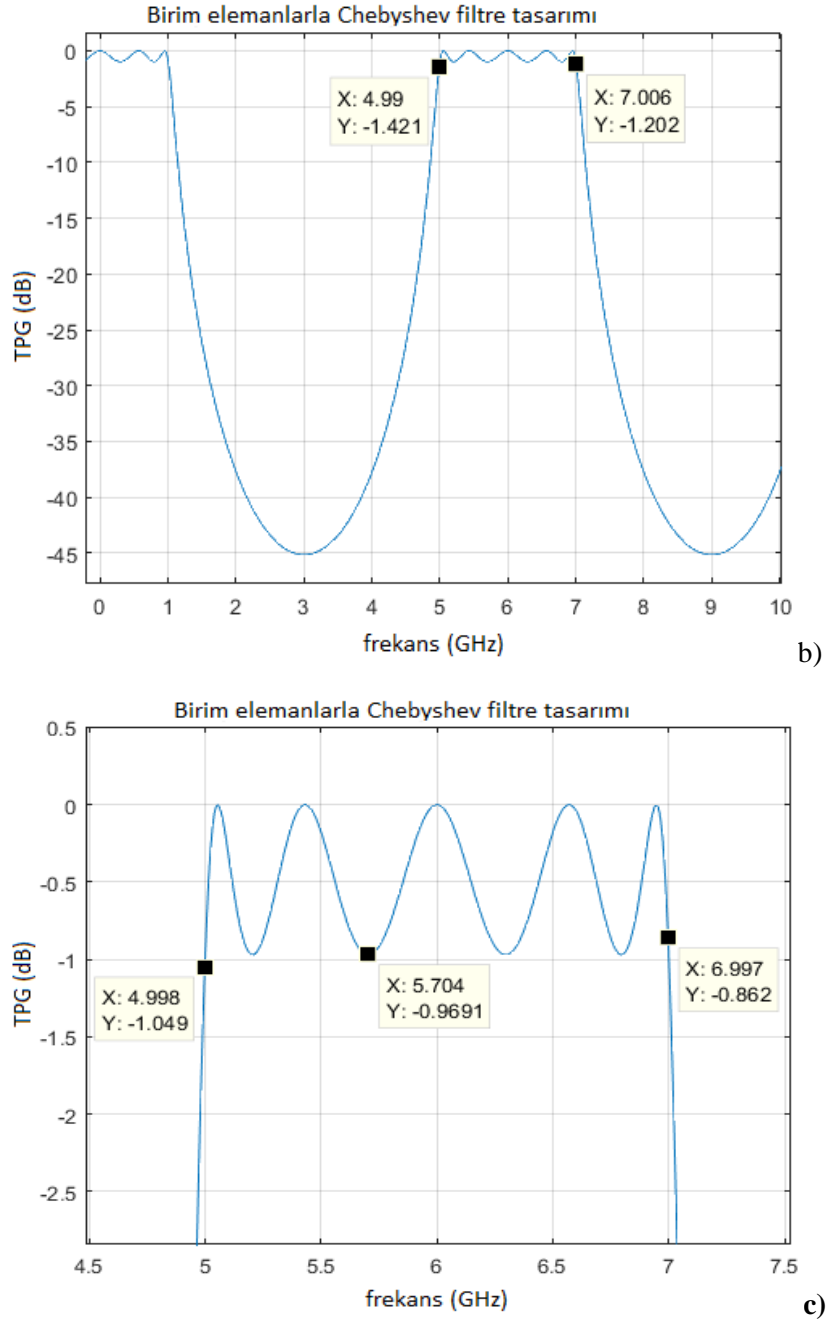
olarak yazılabilir. Diğer yandan, tekrar eden ilk BGF filtre kazanç karakteristiğinin alt etek ve üst etek frekansları söndürme bandında (3, 9) GHz aralığında olduğu Şekil 11.a'dan anlaşılabilir. (3, 9) GHz aralığındaki bu BGF karakteristiği, (-3, +3) GHz aralığında değişen prototip AGF'nin ötelenmiş bir kopyasıdır. Bu 3 GHz frekansının, prototip AGF'ye ilişkin filtre özelliklerinden biri olduğu hatırlanmalıdır, $f_e = 3$ GHz. Prototip AGF'nin orta frekansı ile, bir sonraki BGF'nin orta frekansı arasında $2f_e$ kadar bir fark olduğu Şekil 11.a'dan anlaşılabilir. O halde, BGF'nin orta frekansı için

$$\frac{f_2 + f_1}{2} = 2f_e$$



a)

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI



Şekil 11: Birim eleman kaskad filtre kazanç başarımları: a) Kendini tekrar eden sonsuz adet band geçiren filtrelerin kazanç, b) 5-7 GHz arası band geçiren filtre kazancı, c) 5-7 GHz arası band geçiren filtre kazancı ayrıntılı geçirme bandı görünümü.

ya da,

$$f_2 + f_1 = 4f_e \quad (70)$$

yazmak mümkündür. Denklem (69) ve denklem (70)'ten, ilk BGF'ye ait alt ve üst kesim frekansları böylece

$$f_1 = 2f_e - f_c \quad (71)$$

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

$$f_2 = 2f_e + f_c \quad (72)$$

elde edilir. Bu ifadeleri daha uygun olarak f_1, f_2 notasyonu yerine f_a, f_u ile de göstermek mümkün olabilir,

$$f_a = 2f_e - f_c \quad (73)$$

$$f_u = 2f_e + f_c \quad (74)$$

Denklem (73) ve denklem (74), prototip AGF'ye ait f_c ve f_e verilmişse, sadece bir sonraki ilk BGF'ye ilişkin alt ve üst kesim frekanslarını verir. Herhangi i . bir BGF'ye ait alt ve üst kesim frekansları ise

$$f_{a,i} = 2f_e i - f_c \quad (75)$$

$$f_{u,i} = 2f_e i + f_c \quad (76)$$

ile verilebilir. Orta frekanslar ise,

$$f_{o,i} = \frac{f_{a,i} + f_{u,i}}{2} \quad (77)$$

$$f_{o,i} = 2f_e i \quad (78)$$

olarak ifade edilebilir.

Örnek 6: Örnek 2'deki filtre tasarımı için verilen prototip AGF kesim frekansı $f_c=1$ GHz, söndürme bandı frekansı $f_e=3$ GHz, geçirme bandı dalgalılık katsayısı $ILR=0.9691$ dB ve söndürme bandı zayıflatması $IL=40$ dB idi. a) İlk 5 adet BGF'ye ilişkin orta frekansları hesaplayınız. b) kaçınıcı BGF bandı mm-dalga bölgesinin en sonunda yer alacak şekilde yerleştirilebilir?

Çözüm. a) Denklem (78) ile $i=1,2,3,4,5$ için $f_{o,i} = \{6, 12, 18, 24, 30\}$ GHz olarak hesaplanabilir. b) Şekil 1.a ve 1.b'ye bakılacak olursa mm-dalgaların spektrumu 300 GHz'de son bulmaktadır. $i=49$ nolu BGF için orta frekans $f_{o,49} = 2f_e i = 2 \times 3GHz \times 49 = 294$ GHz bulunur, $i=50$ için bu değer $f_{o,50} = 300$ GHz bulunacaktı. $i=49$ için üst kesim frekansı $f_{u,49} = 295$ GHz, $i=50$ için ise $f_{u,50} = 301$ GHz çıkardı. Bu nedenle $i=49$ nolu BGF mm-dalga filtre olarak kullanılmalıdır.

Denklem (75), (76) ve (78) göz önüne alındığında, ve prototip devrenin band genişliğinin $BG=2f_c$ olduğu düşünülürse,

$$f_{o,i} = 2f_e i \quad (78)$$

$$f_{a,i} = f_{o,i} - BG/2 \quad (79)$$

$$f_{u,i} = f_{o,i} + BG/2 \quad (80)$$

$$BG = 2f_c \quad (81)$$

yazılması da mümkündür.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, birim elemanların kaskad bağlanması suretiyle elde edilen iletim hattı RF/mikrodalga filtrelerin tasarımı için önerilen *Bemfita* programı ele alınmıştır. Tasarlanmak istenen filtreye ilişkin kesim frekansı, söndürme bandı frekansı, geçirme bandı dalgalılık katsayısı ve

BEMES BİRİM ELEMAN SENTEZ ALGORİTMASINA DAYALI MİKRODALGA FİLTRE TASARIM PROGRAMI

söndürme bandı zayıflatma faktörü gibi filtreye ait teknik gereklerin filtre tasarım programına girilmesi yeterlidir, program otomatik olarak filtreye ait giriş empedans fonksiyonunu hesaplamaktadır. Giriş empedansı hesaplandıktan sonra sentezlenmesi için *Bemes* adlı algoritma koşturulmakta ve filtreye ait birim elemanların karakteristik empedansları başarılı bir şekilde elde edilmektedir. Bemes sentez algoritması ile bütünleşik böyle bir RF/mikrodalga filtre tasarım programı ilgili araştırmacılarca tasarımlarında kullanılabilir, daha ileri fonksiyonlar kazandırmak amacıyla daha da geliştirilebilir. Literatürde bilinen birim eleman filtre tasarım algoritmalarının varlığı bilinmekle birlikte; bu çalışmada önerilen filtre tasarım programı *Bemfita* bu tür programların sentez modülü olarak kullandığı algoritmalarından farklı ve alternatif bir sentez algoritması olan *Bemes* sentez gereci üzerinde koşturmaktadır.

4. KAYNAKÇA

Uren, M. (2013). BKSTS illustrated dictionary of moving image technology, (4th ed.). Burlington, MA: Focal Press.

Hong, J.-S., & Lancaster, M. J. (2001). Microstrip filters for RF/microwave applications. New York, NY: Wiley.

Chen, W. K. (1998). Broadband matching: theory and implementations. Singapore: World Scientific.

Carlin, H. J. & Civalleri, P. P. (1998). Wideband circuit design. New York: CRC Press.

Vendelin, G. D., Pavo, A. M. & Rohde, U. L. (2005). Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques. New Jersey, NJ: Wiley.

Chandra, M. K., Raafat, M. & Cameron, R. J. (2007). Microwave filters for communication systems: fundamentals, design and applications. New Jersey, NJ: Wiley.

Zhu, Y. S., & Chen, W. K. (2000). Computer-aided design of communication networks. Singapore: World Scientific.

Pozar, D. M. (2012). Microwave engineering, 4th Ed. New York: Wiley.

Yarman, B. S. (2010). Design of ultra wideband microwave power transfer networks. Chichester, UK: Wiley.