

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PASLANMAZ ÇELİK TEL ÖRGÜ DOKULARIN
ŞEKİLLENDİRME KABİLİYETİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞBERK PEYNİRCİOĞLU

DENİZLİ, OCAK - 2025

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



PASLANMAZ ÇELİK TEL ÖRGÜ DOKULARIN
ŞEKİLLENDİRME KABİLİYETİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞBERK PEYNİRCİOĞLU

DENİZLİ, OCAK - 2025

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Tuğberk PEYNİRCİOğLU

ÖZET

**PASLANMAZ TEL ÖRGÜ DOKULARIN ŞEKİLLENDİRME
KABİLİYETİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TUĞBERK PEYNİRCİOĞLU
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TEZCAN ŞEKERCİOĞLU)

DENİZLİ, OCAK - 2025

Tel örgü dokuların günümüzde kullanım alanları oldukça artmıştır. Kullanım alanları artan bu malzemelere şekil verilmesi oldukça önemli bir hal almıştır. Bu tez çalışması kapsamında tel örgü dokuların şekil verilmesi için kullanılan yöntemlerden biri olan derin çekme üretim yöntemi üzerinde çalışma yapılmıştır. Birbirinden farklı dokuma tipi ve dokuma sıklığına sahip tel örgü dokuların derin çekme kabiliyeti incelenmiştir. İnceleme sonucunda çapraz dokunmuş tel örgülerin derin çekme kabiliyetinin, düz dokuma tipine sahip tellere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kesim yönünün derin çekme kalitesini değiştirdiği gözlemlenmiştir. Dokuma sıklığı arttığında tel örgü dokuların şekil alma kabiliyetinin azaldığı görülmüştür. Derin çekme işleminde zımba ve baskı plakası geometrisi değiştirilmiştir. Dairesel ve kare formunda 1 mm, 3 mm, 5 mm zımba uç yarıçapına sahip zımbalar derin çekme deneylerinde kullanılmıştır. Deney sonucunda dairesel ve 5 mm zımba uç yarıçapına sahip zımbalar kullanılarak yapılan deneyde tel dokuların daha iyi şekil aldığı tespit edilmiştir. Baskı plakası geometrisine 5 mm ve 2,5 mm yükseklik ve genişliğine sahip formlar eklenmiştir. Eklenen formların derin çekme işlemini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. 50 mm, 40 mm ve 30 mm yüksekliğine sahip zımbalar ile yapılan derin çekme işlemi yapılmıştır. Derin çekme derinliği arttıkça tel örgü dokuların şekil alma kabiliyetinin azaldığı tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Tel Örgü Dokular, Derin Çekme, Zımba Geometrisi, Kalıp Geometrisi, Çekme Derinliği

ABSTRACT

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE FORMING ABILITY OF
STAINLESS WIRE MESH
MSC THESIS
TUĞBERK PEYNİRCİOĞLU
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: PROF. DR. TEZCAN ŞEKERCİOĞLU)

DENİZLİ, JANUARY 2025

The use of wire mesh has increased considerably today. Shaping these materials, whose areas of use have increased, has become important. Within the scope of this thesis, a study was conducted on the deep drawing production method, which is one of the methods used for shaping wire mesh fabrics. The deep drawing ability of wire mesh with different weaving types and weaving densities was examined. As a result of the examination, it was determined that the deep drawing ability of cross-woven wire meshes was higher than that of wires with plain weaving type. It was observed that the cutting direction changed the deep drawing quality. It was observed that the shaping ability of wire mesh decreased when the weaving density increased. The punch and pressure plate geometry was changed in the deep drawing process. Punch and pressure plate shapes with 1 mm, 3 mm, and 5 mm punch radius in circular and square forms were used in deep drawing experiments. As a result of the experiment, it was determined that wire mesh took better shape in the experiment conducted using circular and 5 mm punch radius punches. Forms with 5 mm and 2.5 mm height and width were added to the pressure plate geometry. The added forms have been determined to negatively affect the deep drawing process. The deep drawing process was carried out with punches of 50 mm, 40 mm, and 30 mm height. It was observed that the ability of wire mesh to take shape decreased as the deep drawing depth increased.

KEYWORDS: Wire Mesh, Deep Drawing, Punch Geometry, Die Geometry, Drawing Depth

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Taraması	2
1.2 Tezin Amacı	6
2. TEL ÖRGÜ YAPILAR VE DERİN ÇEKİLMESİ	7
2.1 Tel Örgü Doku ve Kullanım Alanları.....	7
2.2 Tel Örgü Yapıların İsimlendirilmesi	9
2.2.1 Kare Tipi Örgülerde İsimlendirme	9
2.2.2 Hollandalı Tipi Örgülerde İsimlendirme	9
2.3 Tel Örgü Yapıların Örme Çeşitleri.....	9
2.3.1 Düz Dokuma Tel Örgü Yapısı	10
2.3.2 Dimi Dokuma Tel Örgü Yapısı	10
2.3.3 Hollandalı Tipi Dokuma Tel Örgü Yapısı	11
2.3.3.1 Düz Hollandalı Tipi Dokuma Tel Örgü Yapısı	11
2.3.3.2 Dimi Hollandalı Tipi Dokuma Tel Örgü Yapısı	12
2.3.3.3 Ters Hollandalı Tipi Dokuma Tel Örgü Yapısı	13
2.3.4 Çoklu Dokuma Tel Örgü Yapısı.....	13
2.4 Tel Örgü Yapılarda Tel Malzemeleri	14
2.5 Derin Çekme İşlemi.....	14
2.5.1 Derin Çekme İşleminde Parçaya Etki Eden Kuvvetler.....	15
2.5.2 Derin Çekmeyi Etkileyen Parametreler	16
2.5.2.1 İşlem Parametreleri	17
2.5.2.2 Geometri Parametreleri	18
2.5.3 Derin Çekmede Görülen Bazı Hatalar	19
2.5.3.1 Yırtılma Hasarı.....	20
2.5.3.2 Kırışma Hasarı	20
2.5.3.3 Kulaklama Hasarı.....	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1 Deney Düzenegi	22
3.2 Deney Parametreleri	23
3.2.1 Teller	23
3.2.2 Zimba Geometrisi	25
3.2.3 Baskı Plakası Geometrisi	26
3.2.4 Derin Çekme Derinliği.....	27
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	29
4.1 Tel Geometrisinin Etkisi	29
4.2 Zimbannın Etkisi	34

4.3	Baskı Plakası Geometrisinin Etkisi	42
4.4	Çekme Derinliğinin Etkisi	46
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
6.	KAYNAKLAR.....	53
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Tel örgü doku örnekleri.	7
Şekil 2.2	Tel örgü yapıların farklı sektörlerde kullanımı.....	8
Şekil 2.3	Düz dokuma tel örgü yapısı.	10
Şekil 2.4	Dimi dokuma tel örgü yapısı.	10
Şekil 2.5	Hollandalı tipi dokuma tel örgü yapısı.	11
Şekil 2.6	Düz hollandalı tipi dokuma tel örgü yapısı.	12
Şekil 2.7	Dimi hollandalı tipi dokuma tel örgü yapısı.	12
Şekil 2.8	Ters hollandalı tipi dokuma tel örgü yapısı.	13
Şekil 2.9	Çoklu dokuma tel örgü yapısı.....	13
Şekil 2.10	Temel derin çekme.	15
Şekil 2.11	Temel derin çekme kuvvetleri.	16
Şekil 2.12	Sıcaklığın derin çekme gerilmesine olan etkisi.	17
Şekil 2.13	Örnek baskı plakası formu.....	18
Şekil 2.14	Farklı baskı plakası boşluğu değerlerindeki derin çekme işlemi.....	18
Şekil 2.15	Balık kılçığı yöntemiyle derin çekmeyi etkileyen işlem parametrelerine görülen hatalar.....	19
Şekil 2.16	Derin çekme işleminde kırılma hasarı.	20
Şekil 2.17	Derin çekme işleminde kırışma hasarı.....	21
Şekil 2.18	Derin çekme işleminde kulaklama hasarı.	21
Şekil 3.1	Derin çekme kalıbı ve hidrolik pres.....	22
Şekil 3.2	Tel numune görselleri.	24
Şekil 3.3	Deneyde kullanılan zımba parçaları.	25
Şekil 3.4	Baskı plakası değişkenleri.	26
Şekil 3.5	Dördüncü deneyde kullanılan zımba parçası.	28
Şekil 4.1	D1T1 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	29
Şekil 4.2	D1T105 numune görseli.	30
Şekil 4.3	D1T2 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	30
Şekil 4.4	D1T204 numune görseli.	31
Şekil 4.5	D1T3 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	32
Şekil 4.6	D1T303 numune görseli.	32
Şekil 4.7	D1T4 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	33
Şekil 4.8	D1T403 numune görseli.	34
Şekil 4.9	D2Z1 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	35
Şekil 4.10	D2Z104 numune görseli.	35
Şekil 4.11	D2Z2 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	36
Şekil 4.12	D2Z203 numune görseli.	36
Şekil 4.13	D2Z3 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	37
Şekil 4.14	D2Z305 numune görseli.	37
Şekil 4.15	D2Z4 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	38
Şekil 4.16	D2Z403 numune görseli.	39
Şekil 4.17	D2Z5 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	39
Şekil 4.18	D2Z504 numune görseli.	40
Şekil 4.19	D2Z6 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	40
Şekil 4.20	D2Z602 numune görseli.	41
Şekil 4.21	D2Z7 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	41

Şekil 4.22 D2Z701 numune görseli.	42
Şekil 4.23 D3B1K deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	43
Şekil 4.24 D3B1K03 numune görseli.	43
Şekil 4.25 D3B2K deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	44
Şekil 4.26 D3B2K03 numune görseli.	44
Şekil 4.27 D3B3K deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	45
Şekil 4.28 D3B3K01 numune görseli.	45
Şekil 4.29 D4H1 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	46
Şekil 4.30 D4H103 numune görseli.	47
Şekil 4.31 D4H2 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	47
Şekil 4.32 D4H201 numune görseli.	48
Şekil 4.33 D4H3 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.	48
Şekil 4.34 D4H302 numune görseli.	49

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Derin çekme parametrelerinin sınıflandırılması.	16
Tablo 3.1 Deneylerde kullanılmış olan tel örgü numune çeşitleri.....	24
Tablo 3.2 Birinci deneyde kullanılan elemanlar.	24
Tablo 3.3 Zimba tipleri listesi.	25
Tablo 3.4 İkinci deneyde kullanılan elemanlar.	26
Tablo 3.5 Baskı plakası çeşitleri.....	27
Tablo 3.6 Üçüncü deneyde kullanılan elemanlar.	27
Tablo 3.7 Deney dörtte kullanılan parçalar.	28

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasına öncülük eden kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU' na teşekkürü bir borç bilirim. Yazılım ve otomasyon bilgileri ile teze büyük katkıları olan değerli büyüğüm Elektrik Elektronik Mühendisi Mustafa Kaykaç'a teşekkür ederim. Deneyleerde kullanılan malzemelerin temin edilmesine ve deneyleerin yapılmasına destek olan Dentaş Kağıt Sanayi A.Ş. firmasına teşekkür ederim. Bu süreçte maddi-manevi desteklerini her zaman hissettiğim çok sevgili eşime, aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

1. GİRİŞ

Kaynak, dokuma veya örme gibi farklı işlemlerle birbirine bağlanan iki veya daha fazla metal telden yapılan iki veya üç boyutlu kafeslere tel örgü dokular denir. Tel örgü dokular günümüzde endüstriyel uygulamalarda tarım, otomotiv, tekstil ve kağıt sektörlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Tel örgü dokuların en yaygın kullanım alanlarından biri filtreleme ve ayırmadır. Atık su arıtma tesislerinde, petrokimya tesislerinde ve meyve suyu üretiminde istenilen posa seviyesine verimli bir şekilde ulaşmak için tel örgü kullanılmaktadır.

Kullanım amacına uygun olarak tel örgü dokular şekil verilmeden kullanıldığı gibi bazı durumlarda tel yapısına belirli bir şekil, form verilmesi gerekmektedir. En yaygın tel örgü şekillendirme yöntemlerinden biri derin çekme işlemidir. Derin çekme işlemi yassı bir metalik sacdan üç boyutlu derin bir kap elde etme yöntemi olarak tanımlanabilir. Sac levhalardan silindirik şeklinde kaplar elde etmek için kullanılan yöntemlerin en önemlisi derin çekmedir. Parçanın derinliği çapına göre daha büyük olduğunda, işlem derin çekme adını alır.

Derin çekme işleminde derin çekilen parçanın kalitesi birçok parametreye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bilinen en yaygın derin çekme parametreleri zımba geometrisi, kalıp geometrisi, çekme derinliği ve kalıp malzemesidir. Bu parametreler derin çekilen parçaların şekil alma yeteneğini etkilemektedir. Derin çekme işleminin bağlı olduğu parametreler ve derin çekme işleminin optimizasyonu ile alakalı günümüzde birçok çalışma yapılmıştır. Ancak, tel örgü dokuların derin çekmesi ile alakalı çalışmalar oldukça azdır.

1.1 Literatür Taraması

Gotoh ve diğ. (2003) çeşitli şekillendirme koşullarında, tel dokuların şekillendirilebilirliği ve şekil kalitesi üzerindeki etkisini araştırmak için çalışmalar yapmışlardır. Çalışma kapsamında tel örgü yapılarının farklı parametreler altında telin derin çekmesi incelenmiştir. Dairesel ve kare kesitli zımba geometrileri kullanarak tel örgü yapılarının derin çekme kabiliyetine bakılmıştır. Derin çekilen parçanın şekil alma kabiliyetinin bir göstergesi olan sınırlayıcı çekme oranı (LDR) değeri kare formulu zımbalar için 4 civarı çıkarken, dairesele zımbalar için 3 değerine yaklaşık değerlerde elde edilmiştir. Buna bağılı olarak kare şekilli zımbaların şekil alma kabiliyetinin dairesele formulu zımbalara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tel örgü yapıların dokuma yönlerine göre paralel ve çapraz olmak üzere farklı yönlerde derin çekme işlemi yapılmıştır. Çapraz yönde tel örgü yapılarının derin çekme işleminin daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Derin çekme işlemi esnasında kalıp boşluğuna kauçuk bir pad konulmasının tel akış hızını yavaşlatarak derin çekme işlemine fayda sağladığı sonucuna varılmıştır. Tel mesh sayısının şekil alma kabiliyetine olan etkisi incelenmiş, yapılan deneylerde mesh sayısının düşük olduğu durumlarda telin daha iyi şekil aldığı tespit edilmiştir. DYNA3D programı kullanılarak tel örgü yapıların derin çekme işlemine ait analizler yapılmıştır. Analizlerin sonucu, deneysel çalışmalar ile örtüşmektedir. Paslanmaz çelik, pirinç ve bakır malzemeler kullanılarak paralel ayarda kara kesitli zımbanın derin çekmesinde en yüksek sınırlayıcı çekme oranı LDR değeri, paslanmaz çelik malzemeye sahip tel örgü yapılarda elde edilmiştir.

Pushkar ve diğ. (2022) yapmış oldukları çalışmada derin çekme işlemini etkileyebilecek sıcaklık, kalınlık, sürtünme, baskı plakası kuvveti (BHF), yağlama gibi faktörleri incelenmiştir. Sıcaklığın arttığı durumlarda şekil alma kabiliyetinin arttığı gözlemlenmiştir. Buna bağılı olarak şekil değiştirmesi için gerekli olan zımba kuvvetinin kuvveti azaldığı tespit edilmiştir. Çekilecek parçanın kalınlığının artması durumunda iş parçasına etki eden gerilme değerleri düşmektedir. Kalıp yüzeylerindeki sürtünme katsayısının yüksek olduğu durumlarda iş parçasında kırılma ve kırışıklıkların fazla olduğunu tespit edilmiştir. Sürtünme kuvvetinin düşük olduğu durumlarda zımba kuvveti düşüktür. Baskı plakası kuvvetinin yüksek olduğu durumlarda kırışıklığın az olduğu görülmüştür. Yağlama işleminin kırışmayı ve kulaklamayı azalttığı tespit edilmiştir.

Chandra ve Geeta (2015) yapmış oldukları çalışma kapsamında derin çekme parametrelerine genel anlamda bir inceleme yapmışlardır. Baskı plakası kuvvetleri, kalıp basıncı, delme basıncı, sürtünme etkileri vb. gibi işlem parametreleri ve bunların etkileri incelenmiştir. Baskı plakası kuvvetinin çekilecek iş parçasının akışını kontrol eden önemli bir derin çekme parametresi olduğunu ve derin çekme de görülen kırışma problemini azaltıcı etki gösterdiği ileri sürülmüştür. Kalıp ile iş parçası arasında oluşan sürtünme kuvveti derin çekilen parçanın yüzey kalitesini ve kalınlık dağılımını doğrudan etkilediğini tespit edilmiştir. İş parçasının başarılı bir şekilde derin çekilebilmesi için sürtünme katsayısının yüksek olması gerektiğini savunulmuştur.

Rashmi ve Geeta (2016) çalışmalarında, derin çekme parametrelerini işlem ve geometri olarak sınıflandırılmıştır. İşlem parametleri; sıcaklık, baskı plakası kuvveti, zımba kuvveti ve yağlama olarak belirlenmiştir. Geometri parametleri ise kalıp şekli, kalıp malzemesi ve derin çekme tipi olarak ayrılmaktadır. Geometri parametrelerinden olan zımba uç yarıçapı kalıp boşluğunun üç katından daha az olduğunda derin çekmenin başarısız olacağı ileri sürülmüştür. Kalıp boşluğu ve zımba uç yarıçapının sınırlayıcı çekme oranını etkilediği belirlenmiştir. Düşük baskı plakası kuvvetlerinin derin çekme işleminde kırışmaya neden olacağı tespit edilmiştir.

Padmanabhana ve diğ. (2007) derin çekme üretim yöntemine etki eden bazı parametrelere ilişkin çalışmalar yapmışlardır. Kalıp yarıçapı, sürtünme kuvveti, baskı plakası kuvveti parametreleri Taguchi Metodu kullanarak kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda derin çekme işlemine en yüksek etkiyi gösteren parametre kalıp yarıçapı (%89,2) olarak tespit edilmiştir. Kalıp yarıçapı yüksek olduğunda, derin çekilen parçaların daha yüksek gerilmelere dayandığı tespit edilmiştir. Kalıp yarıçapı parametresinden sonra derin çekmeyi en çok etkileyen parametre sürtünme katsayısı (%6,3) olarak belirlenmiştir. Bu üç parametre arasından derin çekmeyi en az etkileyen parametre baskı plakası kuvveti (%4,5) olarak bulunmuştur.

Colgan ve Monaghan (2002) yapmış oldukları çalışma kapsamında zımba ve kalıp yarıçapları, zımba hızı, baskı plakası kuvveti, yağlama ve çekme derinliği parametreleri incelenmişlerdir. Parametreleri kıyaslarken Varyans Analizi yöntemi kullanılmıştır. Kalıp derin çekmesini en çok etkileyen parametreler sırasıyla kalıp yarıçapı (%60), zımba uç yarıçapı (%18,3), çekme derinliği (%7,2), zımba hızı (%4,6), baskı plakası kuvveti (%0,6), yağlamanın etkisi (%0,2) olarak bulunmuştur. Derin

çekmeyi en fazla etkileyen parametrenin kalıp yarıçapı olduğunu tespit edilmiştir. Baskı plakası kuvvetinin ve yağlamanın etkisi oldukça düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Kanttikar ve diğ. (2014) sac metallerin derin çekme işlemini numerik analiz programı olan ANSYS üzerinden ve deneysel olarak incelemiştir. Analiz ve deneysel sonuçlara göre kalıp yarıçapı arttıkça eşdeğer gerilmenin azalacağını ve buna bağlı olarak derin çekme için ihtiyaç duyulan kuvvetin azalacağı tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen analiz sonuçlarına göre daha yüksek çekme derinliği elde edilebilmesi için daha yüksek zımba kuvvetlerine ihtiyaç duyulacağı sonucu çıkarılmıştır.

Reddy ve diğ. (2015) yapmış oldukları çalışma kapsamında önemli derin çekme değişkenlerinden olan baskı plakası kuvveti, zımba uç yarıçapı ve kalıp yarıçapı üzerine incelemeler yapılmıştır. Parametreler kıyaslanırken Taguchi Metodu kullanılmıştır. Parametreler değerlendirilirken derin çekilen iş parçasının kalınlık değerleri dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, baskı plakası kuvvetinin (%56,98) en önemli parametre olduğunu, bunu zımba uç yarıçapının (%30,12) izlediğini ve en az etkinin (%12,90) kalıp yarıçapının olduğu bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlar Padmanabhana ve diğ. (2007) ve Colgan ve Monaghan'ın (2002) yapmış olduğu çalışmalar ile çelişmektedir.

Merkani ve Parvizi (2021) baskı plakası geometrisinin derin çekme işlemine olan etkisi araştırmışlardır. Araştırma için deneysel çalışmalar yapılmış ve sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Sonlu elemanlar metodu için ABAQUS/Explicit programını tercih edilmiştir. Deneysel ve analiz çalışmalarında baskı plakasına derin çekilecek parçanın hızını düşürecek dişi erkek formlar eklenmiştir. Baskı plakasına eklenen bu formlar sayesinde derin çekilen parçanın kalitesinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bassoli ve diğ. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada farklı yükseklik ve çap değerlerine sahip baskı plakalarına ait deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda eklenen formlara ait yükseklik yarıçap oranı arttığında sınırlayıcı çekme oranı (LDR) değerinin arttığını gözlemlenmiştir. Ayrıca iş parçasının kalınlığının artmasının da sınırlayıcı çekme oranını arttığını tespit edilmiştir.

Zhang ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada çift katmanlı yeni bir baskı plakası tasarımı üzerine deneysel araştırma yapılmıştır. Geleneksel tek katmanlı baskı plakası aksine çift katmanlı baskı plakası tasarımında her iki baskı halkası için farklı baskı kuvveti uygulanabilmektedir. Sonuç olarak yeni yaklaşım ile eski yaklaşım (tek katmanlı) değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda yeni yaklaşımın derin çekme işlemi sorunlarından olan kırışmayı azalttığı sonucuna varılmıştır.

Özek ve Bal (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında, zımba uç yarıçapı ve baskı plakası üzerine deneysel uygulamalar ve araştırmalar yapılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre sınırlayıcı çekme oranının (LDR), zımba uç yarıçapı ve baskı plakasına verilen açıyla doğrudan ilişkili olduğu ileri sürülmüştür. Zımba uç yarıçapı ve baskı plakası açısı arttığında sınırlayıcı çekme oranının da arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Gavas ve Izciler (2006) tarafından yapılan çalışmada baskı plakası ve kalıp arasında kalan boşluğun derin çekme işlemine olan etkisi incelenmiştir. Baskı plakası boşluğunun derin çekme kalitesine oldukça etki ettiğini ileri sürülmüştür. Deneyler sırasında 1 mm kalınlığında alüminyum numuneler kullanılmıştır. Deneysel numuneleri 1 mm'den 1,8 mm'ye kadar farklı baskı plakası boşluklarına sahip deney düzeneğinde derin çekilmiştir. Deneysel sonucunda deney numunelerinde kırışma, yırtılma ve kalınlık dağılımlarını incelenmiştir. En iyi sonuçlar, malzeme kalınlığının 1-1,3 mm katı olan baskı plakası boşluklarında elde edilmiştir.

Behrens ve diğ. (2015) gerçekleştirmiş olduğu bu çalışmada, mikro derin çekme düzeneği yardımıyla farklı derin çekme kalıp geometrilerinin sınırlayıcı çekme oranına (LDR) etkisi araştırılmıştır. Deneysel sırasında zımba uç yarıçapı, kalıp yarıçapı ve kalıp boşluğu parametreleri değiştirilmiştir. İnceleme sonucunda kalıp yarıçapı arttığında sınırlayıcı çekme oranının arttığı bulunmuştur. Kalıp boşluğunun malzeme kalınlığının 1,25 katından küçük olduğu değerlerde sınırlayıcı çekme oranında artış tespit edilmiştir.

Mahdavian ve Fion (2007) yapmış oldukları çalışmada alüminyum iş parçasının derin çekmesini incelemek için bir dizi derin çekme işlemi yapmışlardır. Kritik kalıp ve zımba uç yarıçapları, sınırlayıcı boşluk çapları parametreleri değiştirilerek farklı sınırlayıcı çekme oranı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre derin çekme

işleminin kalıp ve zımba uç yarıçaplarına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel verilere dayanarak, alüminyum kap çekme için maksimum zımba kuvveti önerilmiştir.

Behrens ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışma kapsamında mikro derin çekme düzeneği kullanılarak takım geometrisinin derin çekme kuvvetine olan etkisini araştırmıştır. Kalıp yarıçapı ve köşe yarıçapının etkisine bakılmıştır. Aynı zamanda dairesel parçalar ve dikdörtgensel parçalar için ayrı ayrı derin çekme işlemi yapılmıştır. Köşe yarıçapının artırılması ile %36 daha yüksek bir zımba kuvveti değeri elde edilmiştir. Bunun aksine, kalıp yarıçapının artırılması ile zımba kuvvetinde %26'lık bir azalma elde edilmiştir.

Do ve diğ. (2021) yapmış oldukları çalışmada, alüminyum kamera kapağının derin çekme işlemi sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Derin çekme işleminin sadece malzeme ile alakalı olmadığını savunup, farklı kalıp parametreleri üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kalıp kenar yarıçapı, kalıbın altındaki cep yarıçapı ve zımba uç yarıçapı dahil olmak üzere kalıp geometrisi parametrelerinin optimizasyonu yapılarak kamera kapağının şekillendirilebilirliğini iyileştirilmiştir. Çıktı olarak iş parçası kalınlığı ve gerilme değerleri kıyaslanmıştır. Optimum kalınlık dağılımı için zımba uç yarıçapının derin çekilecek iş parçasının kalınlığının 2,5 katı olması gerektiği tespit edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Paslanmaz tel örgü yapılar günümüzde tarım, kâğıt, otomotiv, tekstil ve medikal sektörler gibi birçok endüstri alanında kullanılmaktadır. Daha çok filtreleme amacı ile kullanılan bu paslanmaz tel örgü yapıların şekil alma kabiliyetinin incelenmesiyle alakalı literatürde oldukça az kaynak bulunmaktadır. Tez kapsamında, zımba geometrisi, tel örgü yapıya ait doku sayısı, tel örgü yapısı, baskı plaka geometrisi parametreleri incelenmiştir.

Tel şekil alma kabiliyetini kalıp aparatları ile farklı parametreler altında deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Tez sonucunda elde edilen çıktıların kompleks geometriye sahip tellerin derin çekilmesinde kullanılması hedeflenmektedir.

2. TEL ÖRGÜ YAPILAR VE DERİN ÇEKİLMESİ

2.1 Tel Örgü Doku ve Kullanım Alanları

Kaynak, dokuma veya örme gibi farklı işlemlerle birbirine bağlanan iki veya daha fazla metal telden yapılan iki veya üç boyutlu kafeslere tel örgü dokular denir. Tel örgü doku örnekleri Şekil 2.1’de verilmiştir. Tel örgü, ızgara benzeri bir yapı oluşturmak için ayrı ayrı paslanmaz çelik tellerin birbirine dokunmasıyla yapılır. Teller, farklı özellik ve özelliklere sahip ağlar oluşturmak için çeşitli desenlerde ve yoğunluklarda dokunabilir.



Şekil 2.1 Tel örgü doku örnekleri (Haver Boecker 2022).

Tel örgü dokular endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. En yaygın kullanım amacı filtreleme ve ayırmadır. Atık su arıtma tesislerinde, petrokimya tesislerinde ve meyve suyu üretiminde istenilen posa seviyesine verimli bir şekilde ulaşmak için tel örgü kullanılmaktadır. Tel örgü dokulara ait örnek kullanım alanları Şekil 2.2’de verilmiştir.

Tel örgü için en yaygın endüstriyel uygulamalar arasında şunlar yer alır:

- Tarım,
- Otomotiv,
- Kimyasal ve petrokimya,
- Kömür,
- İnşaat,
- Yiyecek ve içecek,
- Madencilik,
- Kâğıt,
- İlaç,
- Tekstil.



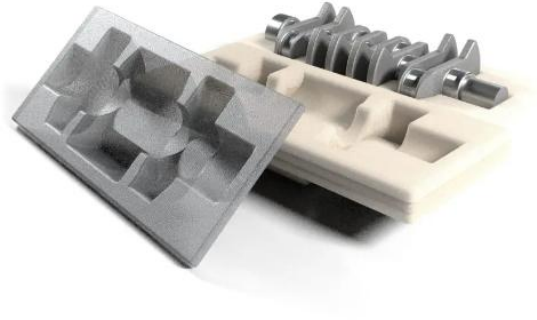
a



b



c



d

Şekil 2.2 Tel örgü yapıların farklı sektörlerde kullanımı a) Otomotiv sektörü (Url-1), b) İlaç sektörü (Url-2), c) Madencilik sektörü (Url-3), d) Kâğıt sektörü (Url-4).

2.2 Tel Örgü Yapıların İsimlendirilmesi

Tel örgü yapı seçimi için önemli noktalardan biri tel yapısının isimlendirilmesidir. Örgü yapısına göre isimlendirme değişiklik göstermektedir. İsim Kare (Square Weave Mesh) örgü yapısında mı yoksa Hollandalı (Dutch Weave Mesh) örgü yapısında olduğuna bağlı olarak farklı şekilde belirlenmektedir (Url-5).

2.2.1 Kare Tipi Örgülerde İsimlendirme (Square Weave Mesh)

Bir inçte bulunan boşluk sayısının sayılması ile elde edilen isimlendirme Mesh (kafes) sayısı arttıkça bir inç’de yer alan boşluk sayısı artar ve boşluklar daha küçüktür. Yüksek meshe sahip tellerde daha küçük partiküller filtre edilebilir. Örneğin, 20 mesh (kafes) bir tel, bir inçte 20 adet boşluk bulundurur.

2.2.2 Hollandalı Tipi Örgülerde İsimlendirme (Dutch Weave Mesh)

Bu isimlendirme tipinde bir inçte kaç adet tel bulunduğu bakılır. Bir inçte yer alan çözgü (uzun) ve atkı sayılarına göre isimlendirme yapılır. Örneğin bir inçte 12 adet çözgü ve 64 adet atkı var ise telin isimlendirmesi 12x64 şeklindedir. Çözgü sayısı isimlendirmede her zaman önce yazılır.

2.3 Tel Örgü Yapıların Örme Çeşitleri

Örme çeşitlerine göre ve örme işlemi esnasında kullanılan telin çaplarının aynı olup olmamasına göre farklı tiplerde teller mevcuttur. Tel tipleri aşağıda maddeler halinde anlatılmıştır.

2.3.1 Düz Dokuma Tel Örgü Yapısı (Plain Weave)

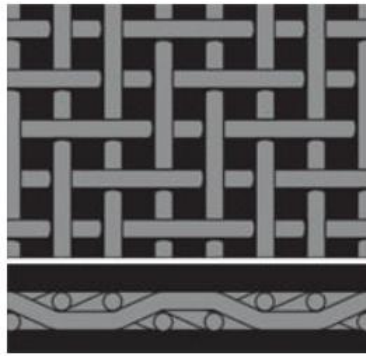
Düz dokuma tel örgüsünde, her çözgü teli dönüşümlü olarak her atkı telinin üstünden ve altından geçer ve bunun tersi de geçerlidir. Çözgü ve atkı telleri aynı çaptadır. Ticari uygulamaların çoğu için ve yüksek akış hızının gerekli olduğu filtreleme için kullanılır (Url-6). Düz dokuma tel örgü yapısı Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 Düz dokuma tel örgü yapısı (Locker 2024).

2.3.2 Dimi Dokuma Tel Örgü Yapısı (Twill Weave)

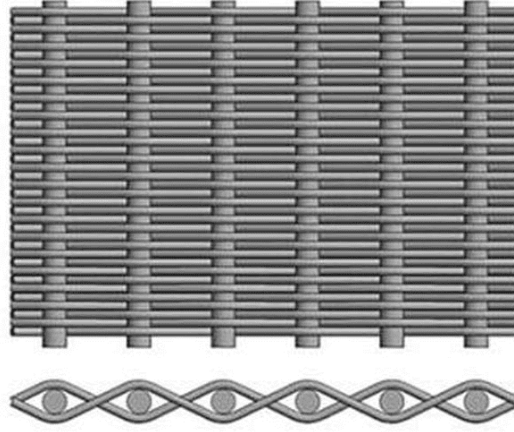
Dimi tipi tel örgü yapısında her atkı teli, birbirini izleyen her çözgü teli çiftinin üstünden ve altından dönüşümlü olarak geçer ve bunun tersi de geçerlidir. Çözgü ve atkı telleri düz dokuma tel örgüsünde olduğu gibi aynı çaptadır. Düz dokuma tel örgüsüne göre şekil alma kabiliyeti daha yüksektir. Şekil 2.4'te dimi tipi tel örgü yapısına örnek verilmiştir.



Şekil 2.4 Dimi dokuma tel örgü yapısı (Locker 2024).

2.3.3 Hollandalı Tipi Dokuma Tel Örgü Yapısı (Dutch Weave)

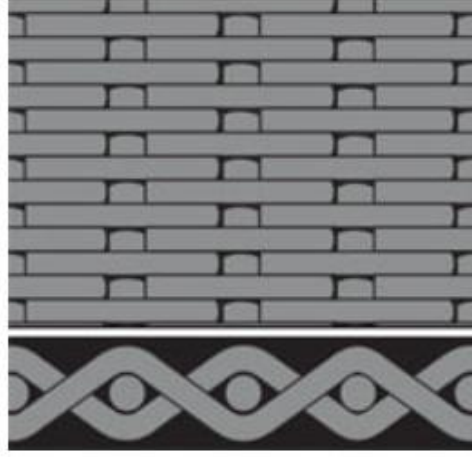
Hollandalı tipi dokuma tel örgü yapısı, büyük çaptaki atkı telleri ve küçük çaptaki çözü tellerinin bir kombinasyonu ile yapılır. Bu tel örgü yapısı daha ince tanelerin geçişine izin veren filtreleme ve güçlü bir mukavemet sağlar (Url-7). Örgü yapısı Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.5 Hollandalı tipi dokuma tel örgü yapısı (Url-7).

2.3.3.1 Düz Hollandalı Tipi Dokuma Tel Örgü Yapısı (Plain Dutch Weave)

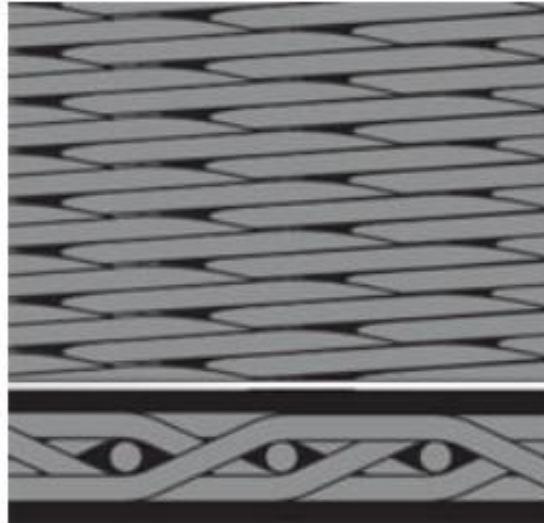
Çözgü tellerinin atkı tellerden daha büyük çapta olması dışında örgü yapısı bakımından düz dokuma örgü yapısına benzer (Url-8). Dokuma yapısı Şekil 2.6’da verilmiştir. Tel örgü yapısı az sayıda çözgü telinin maksimum sayıda atkı teli ile birbirine sıkıca bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Teller arasındaki açıklıkları kolayca görülebilir şekilde değildir. Ağ yapısı güçlü ve stabildir ve temizlenmesi kolaydır. Yüksek basınçlı katı-sıvı akışkanların ayrıştırılmasında kullanılabilir.



Şekil 2.6 Düz hollandalı tipi dokuma tel örgü yapısı (Locker 2024).

2.3.3.2 Dimi Hollandalı Tipi Dokuma Tel Örgü Yapısı (Twill Dutch Weave)

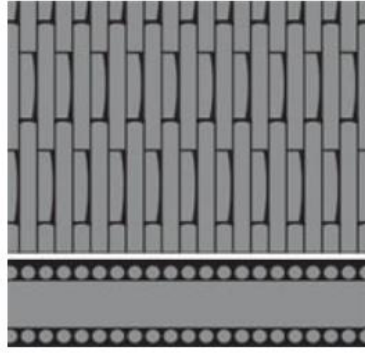
Dimi hollandalı tipi dokuma yapısı düz hollandalı tipi dokumaya benzer, farklı olarak çift katlı atkı tellerine sahiptir. Çok pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Aralığın az olması sebebiyle sınırlı bir geçirgenliğe sahiptir. Mikro mesh tel kumaş olarak da anılır ve genellikle yüksek basınç altında kritik filtrasyon uygulamaları için kullanılır. Bu örme yapısı Şekil 2.7’de verilmiştir (Url-6).



Şekil 2.7 Dimi hollandalı tipi dokuma tel örgü yapısı (Locker 2024).

2.3.3.3 Ters Hollandalı Tipi Dokuma Tel Örgü Yapısı (Twill Dutch Weave)

Ters hollandalı tipi dokuma tellerinin örgü tipi düz bir dokumaya benzer bir yapıya sahiptir. Farklı olarak atkı tellerinin çapı çözümlerinden daha büyüktür. Çözüm sayısı atkı sayısından daha fazladır. Örgü yapısına ait örnek Şekil 2.8’de verilmiştir (Url-6).



Şekil 2.8 Ters hollandalı tipi dokuma tel örgü yapısı (Locker 2024).

2.3.4 Çoklu Dokuma Tel Örgü Yapısı (Multiplex Weave)

Dimi örgü tipindeki bu tel örgü yapısında, diğer örgü tiplerinden farklı olarak yan yana birden fazla atkı ve çözüm bulunmaktadır (Url-8). Bu örgü yapısı önemli ölçüde esnekliğe ve güçlü bir yapıya sahiptir (Url-6). Örgü yapısı Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9 Çoklu dokuma tel örgü yapısı (Locker 2024).

2.4 Tel Örgü Yapılarda Tel Malzemeleri

Farklı kullanım amaçlarına göre çok çeşitli malzemelere sahip tel örgüler bulunmaktadır. Tel örgü malzemeleriyle alakalı örnekler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Paslanmaz çelik,
- Bakır,
- Pirinç,
- Fosforlu bronz,
- Alüminyum,
- Galvanizli çelik,
- Düz kaplamasız çelik,
- Epoksi kaplamalı,
- Fiberglas.

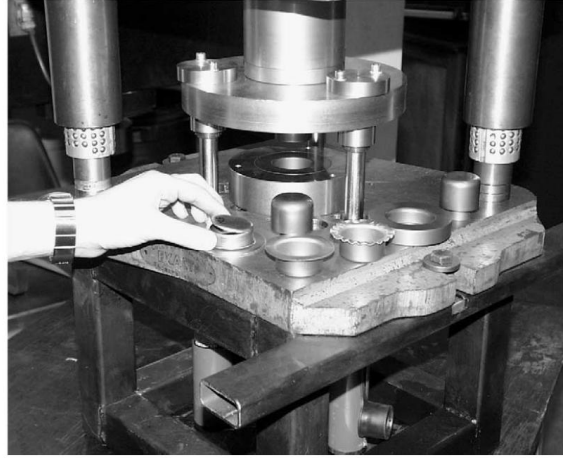
Günümüzde en çok paslanmaz çelik malzemesine sahip tel örgüler kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik tel örgü malzemelerinden en çok tercih edilen malzemeler AISI 304 ve AISI 316 ostenitik paslanmaz çeliklerdir.

AISI 304 tel malzemesi %18 krom, %8 nikel içerir. AISI 316 tel malzemesi ise %18 krom, %10 nikel ve %2 oranında molibden içerir. Molibden, AISI316 malzemesinden yapılan tel örgü dokularına korozyon dayanımı sağlar.

2.5 Derin Çekme İşlemi

Derin çekme işlemi yassı bir metalik sacdan üç boyutlu derin bir kap elde etme yöntemi olarak tanımlanabilir. Sac levhalardan silindirik şekilde kaplar elde etmek için kullanılan yöntemlerin en önemlisi derin çekmedir. Parçanın derinliği çapına göre daha büyük olduğunda, işlem derin çekme adını alır.

Derin çekme işlemine ait örnek Şekil 2.10’da verilmiştir. Şekilde derin çekme kalıbının temel parçaları olan dişi kalıp, zımba ve iş parçası gözükmektedir.

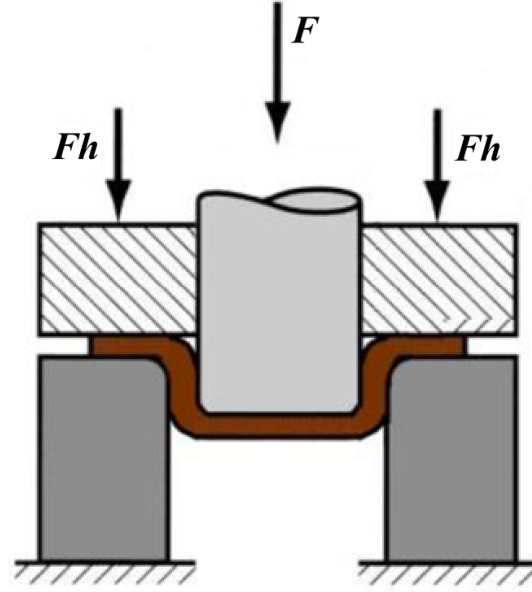


Şekil 2.10 Temel derin çekme (Colgan ve Monaghan 2002).

2.5.1 Derin Çekme İşleminde Parçaya Etki Eden Kuvvetler

Derin çekme işleminde malzeme radyal çekme kuvvetleri ile kalıp içine çekilirken, taslağın kalıp içine henüz girmemiş bölgesinde çevresel basma kuvvetleri oluşur. Çevresel basma kuvvetleri malzemenin büzülerek kalınlaşmasına ve önlem alınmaz ise malzemenin kırışmasına neden olur. Kırışma olayı taslağın kalıp içerisine henüz girmemiş bölgelerinin uygun bir kalıp yardımıyla (baskı plakası) sıkıştırılması sonucu önlenir. Şekil 2.11’de örnek derin çekme işlemi verilmiştir. Şekil 2.11’de F ile gösterilen derin çekme kuvveti, F_h ile gösterilen baskı plakası kuvvettir.

Çevresel basma kuvvetlerinden oluşacak hasarları azaltmak için uygulanan baskı plakası kuvvetinin çok fazla olduğu durumlarda ise malzeme kalıplar arasında hareket edemez ve radyal çekme kuvvetlerinin etkisiyle kalınlığı hızla azalır ve erken hasar görür.



Şekil 2.11 Temel derin çekme kuvvetleri (Gülmez 2011).

2.5.2 Derin Çekmeyi Etkileyen Parametreler

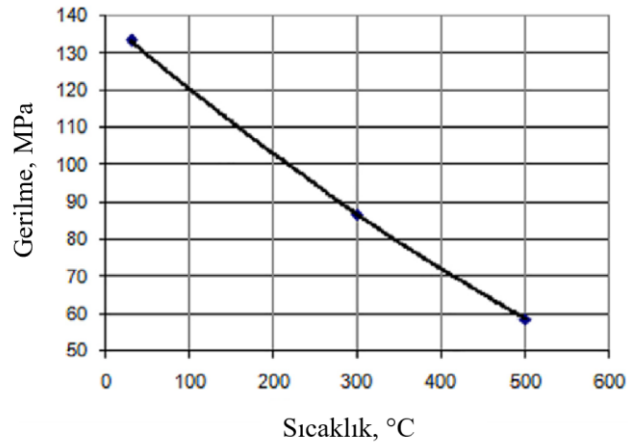
Derin çekme işleminin kalitesini etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametreler, işlem ve geometri parametreleri olarak doğrudan sınıflandırılabilir. İşlem parametreleri; sıcaklık, baskı plakası kuvveti, zımba kuvveti ve yağlamadan oluşmaktadır. Geometri parametreleri ise kalıp şekli, kalıp malzemesi ve derin çekme tipi olarak ayrılmaktadır (Rashmi ve Geeta 2016). Derin çekme parametreleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Derin çekme parametrelerinin sınıflandırılması.

İşlem	Geometri
Sıcaklık	Kalıp Şekli
Baskı Plakası Kuvveti	Kalıp Malzemesi
Zımba Kuvveti	
Yağlama	

2.5.2.1 İşlem Parametreleri

İşlem parametrelerinden ilki olan sıcaklık parametresi derin çekme kalitesini doğrudan etkileyen işlem parametrelerinden biridir. Sıcaklık arttığında, malzemenin derin çekilebilmesi için gerekli olan gerilme değerinde azalma görülmektedir. (Pushkar ve diğ. 2022). Alüminyum alaşımlarında, sıcaklık ve gerilme arasındaki ilişki Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12 Sıcaklığın derin çekme gerilmesine olan etkisi (Pushkar ve diğ. 2022).

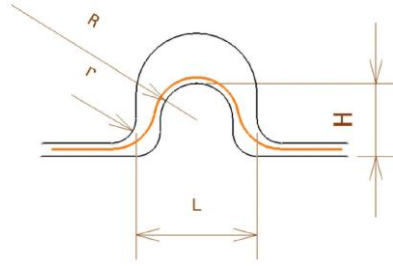
Baskı plakası kuvvetinin derin çekilecek iş parçasının akışını kontrol eden önemli bir derin çekme parametresidir. Derin çekmede en çok görülen kusurlardan olan kırışma sorununun düşük baskı plakası kuvveti değerlerinde daha fazla olduğu görülmüştür (Chandra ve Geeta 2015). Yüksek baskı plakası kuvvetleri ise iş parçasında yırtılmalara neden olmaktadır (Colgan ve Monaghan 2002).

Sürtünme kuvveti, derin çekme işleminde kalınlık dağılımını ve derin çekilen iş parçasının yüzey kalitesini etkilemektedir. Derin çekme işleminde belirli kalınlıkta yağlama filmi tabakası oluşturulduğunda, kalıp üzerindeki yüzey pürüzler ile temas azaltılarak sürtünme kuvveti azaltılır. Azalan sürtünme kuvveti iş parçasının derin çekilebilme kabiliyetini arttırmaktadır (Chandra ve Geeta 2015).

2.5.2.2 Geometri Parametreleri

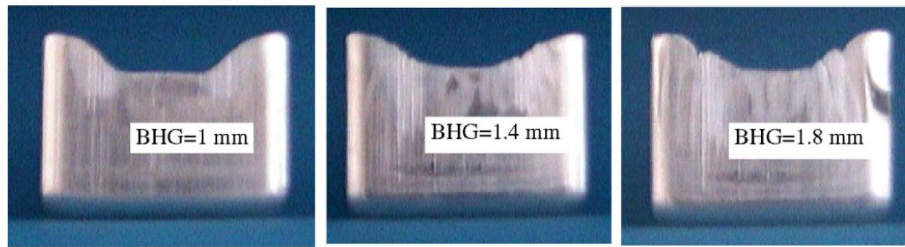
Zımba ve kalıp geometrisi derin çekme işleminde dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Zımba ve kalıp yarıçaplarının küçük olduğu durumlarda, iş parçasının derin çekilebilmesi için gerekli olan zımba kuvveti daha fazla olmaktadır. Yarıçapların küçük olması ayrıca derin çekilebilme derinliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Colgan ve Monaghan 2002).

Baskı plakası geometrisi, iş parçasının derin çekmesini doğrudan etkileyen önemli bir derin çekme parametresidir. Optimum baskı plakası geometrisi, derin çekme için gerekli kuvveti azaltmaktadır. Ayrıca derin çekme işleminde görülen kırışma ve yırtılma sorunlarını azaltmaktadır (Chandra ve Geeta 2015). Şekil 2.13'te baskı plakasında uygulanabilecek örnek bir form gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Örnek baskı plakası formu (Bassoli ve diğ. 2019).

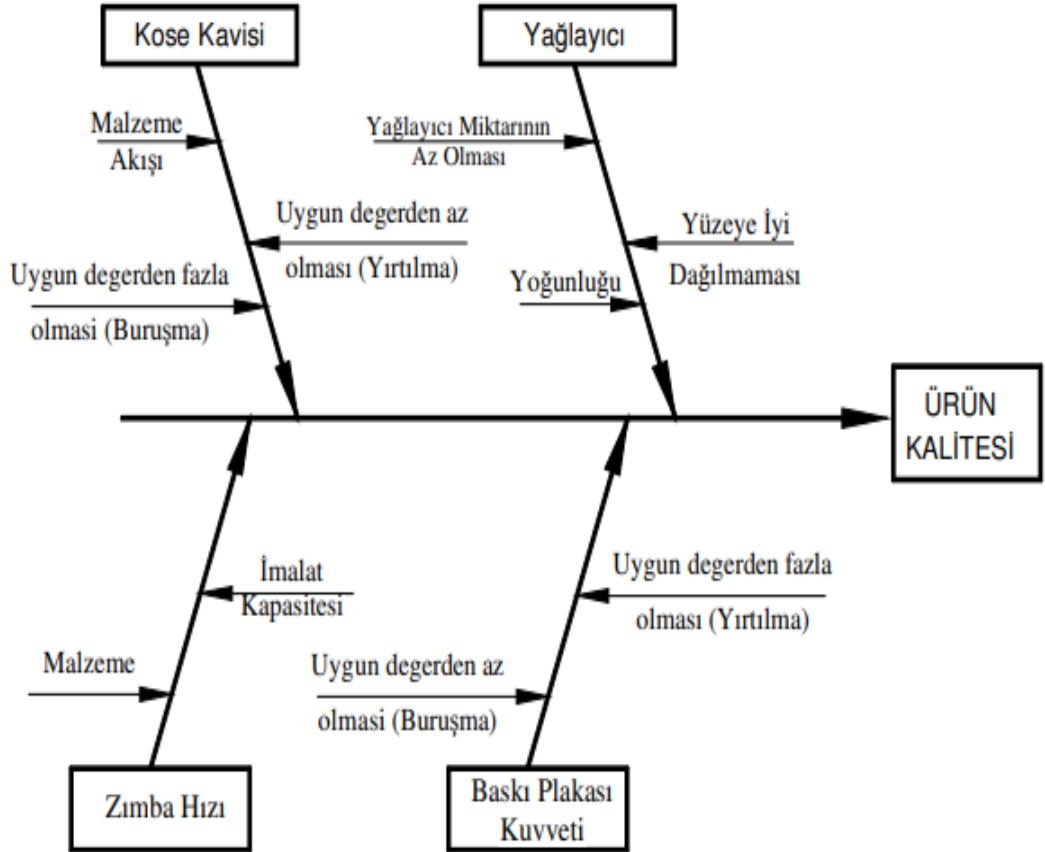
Baskı plakası boşluğu önemli geometri parametrelerinden biridir. Optimum baskı plakası boşluğunun malzeme kalınlığının 1 ile 1,3 katı arasında olması gerekmektedir (Gavas ve Izciler 2006). Farklı kalıp boşluğuna ait derin çekme sonuçları Şekil 2.14'te verilmiştir.



Şekil 2.14 Farklı baskı plakası boşluğu (BGH) değerlerindeki derin çekme işlemi (Gavas ve Izciler 2006).

2.5.3 Derin Çekmede Görülen Bazı Hatalar

Derin çekme parametreleri uygun seçilmediğinde derin çekme işleminde en çok karşılaşılan kusurlar olan buruşma ve yırtılma gibi hasarlar iş parçasında meydana gelmektedir (Özdilli 2018). Derin çekmeyi etkileyen işlem parametrelerinin ve uygunsuzluk durumunda karşılaşılan problemler Şekil 2.13'te balık kılçığı yöntemi ile ele alınmıştır.



Şekil 2.15 Balık kılçığı yöntemiyle derin çekmeyi etkileyen işlem parametreleri ve görülen hatalar (Koçar 2014).

Derin çekme işleminde görülen hatalar yırtılma, kırışma ve kulaklama olarak üçe ayrılmaktadır (Saija ve diğ. 2017).

2.5.3.1 Yırtılma Hasarı

Yırtılma, iş parçasının derin çekme işlemi sırasında güvenli gerilme değerini aşması sonucu ortaya çıkmaktadır. Yırtılma hasarı genellikle, zımba köşe radiusunun olduğu bölgelerde oluşmaktadır. Örnek derin çekmede kırılma hasarı Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.16 Derin çekme işleminde kırılma hasarı (Ghafar ve diğ. 2021).

2.5.3.2 Kırışma Hasarı

Kırışma hasarı, baskı plakası kuvvetinin düşük olduğu durumlarda iş parçasında ortaya çıkmaktadır (Saija ve diğ. 2017). Bazı durumlarda baskı kuvvetinin tüm yüzeylerde eşit olmaması, kalıp yüzeyinin kirli ve çapaklı olması nedeniyle de ortaya çıkmaktadır (Gürün 2008). Hasarın ortaya çıkmaması için baskı plakası kuvveti artırılmalı, baskı plakası kuvvetinin homojen olması sağlanmalı ve kalıp ve iş parçasının kirli ve çapaklı olmamasına dikkat edilmelidir. Kırışma hasarına örnek Şekil 2.14'te verilmiştir.



Şekil 2.17 Derin çekme işleminde kırışma hasarı (Ghafar ve diğ. 2021).

2.5.3.3 Kulaklama Hasarı

Kulaklama hasarı malzemenin anizotropik olması nedeniyle görülmektedir (Saija ve diğ. 2017). Ayrıca kalıp çekme boşluğunun yanlış olması, eksen kaçıklıkları, uygunsuz yağlama gibi nedenlerden de görülmektedir (Gürün 2008). Kulaklama hasarına örnek Şekil 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18 Derin çekme işleminde kulaklama hasarı (Ghafar ve diğ. 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Deney Düzeneği

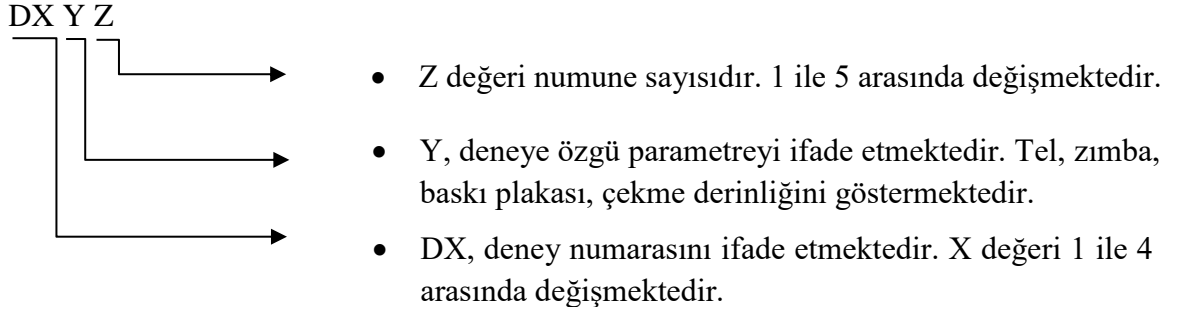
Farklı tiplerdeki tel örgü yapıların farklı kalıp geometrilerinde derin çekme işleminin yapılabilmesi için deney düzeneği hazırlanmıştır. Deneyler oda sıcaklığında, deney düzeneğinde yağ kullanılmadan, 100 tonluk H tipi hidrolik prese bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.1’de verilmiştir. Kalıp ile baskı plakası arasında tel örgü doku kalınlığı kadar (0,6 mm) kalıp boşluğu oluşturulmuştur. Deney düzeneği kullanılarak derin çekme parametrelerinden olan, zımba geometrisi, baskı plakası geometrisi, derin çekme derinliğinin derin çekme kabiliyetine olan etkisi incelenmiştir. Deney düzeneğinin dört köşesine yerleştirilen yük hücreleri ile derin çekme esnasında iş parçasına uygulanan baskı kuvveti ölçülmüştür. Ayrıca, kalıp düzeneğinde lineer potansiyometre kullanılmıştır. Bu sayede farklı derin çekme derinliklerinde parçaya etki eden baskı kuvveti değerlendirilmiştir. Yük hücreleri ve potansiyometre değerlerinin okunabilmesi için programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC) kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Derin çekme kalıbı ve hidrolik pres.

3.2 Deney Parametreleri

Derin çekme deneylerinde farklı tel örgü yapı ve tel örgü sayılarına sahip teller, farklı tel zımba geometrileri, baskı plakası geometrileri ve derin çekme derinliği araştırılmıştır. Deneylerin daha iyi takip edilmesi ve kayıt altına alınabilmesi için deneylere ve numunelere isimlendirme yapılmıştır. İsimlendirme sistematığı aşağıda verilmiştir.



Her deneye ait örnek isimlendirmeler aşağıda verilmiştir;

- D1T102: Birinci deney, bir numaralı tel ve ikinci numunedir.
- D2Z303: İkinci deney, üç numaralı zımba ve üçüncü numunedir.
- D3B1K01: Üçüncü deney, kare geometriye sahip birinci zımba ve birinci numunedir.
- D4H102: Dördüncü deney, bir numaralı çekme derinliği ve ikinci numuneyi ifade etmektedir.

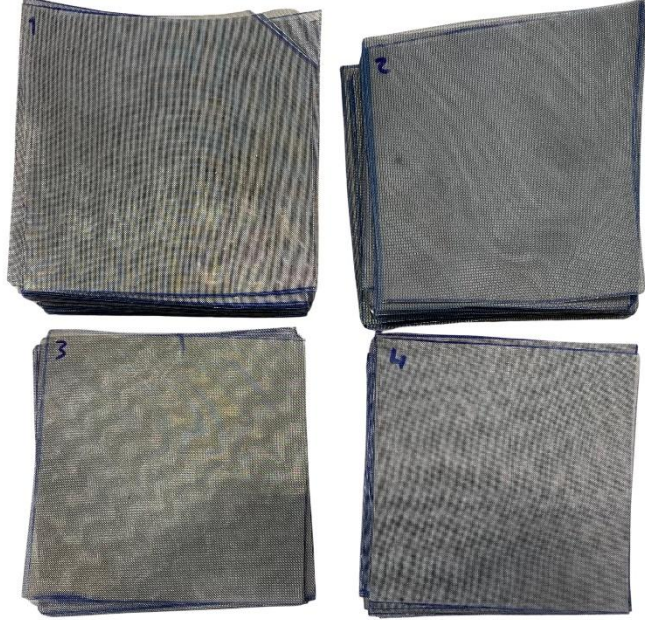
Deneye özgü parametreyi ifade eden Y değeri 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 ve 3.2.4 bölümlerinde detaylı olarak verilmiştir.

3.2.1 Teller

Farklı örgü ve mesh sayısına sahip tel örgü numuneleri çapraz ve düz olacak şekilde 90 mm x 90 mm boyutlarına küçültülmüştür. Kesilen numuneler Şekil 3.2’de verilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılacak olan tel örgü numuneleri Tablo 3.1’de listelenmiştir. Numunelerin malzemesi AISI 304L olarak seçilmiştir.

Tablo 3.1 Deneilerde kullanılmış olan tel örgü numune çeşitleri.

Tel Numarası	Tel Örgü Dokuma Tipi	Mesh Sayısı	Kesim Türü
T1	Düz (Plain Weave)	50	Düz
T2	Dimi (Twill Weave)	50	Düz
T3	Düz (Plain Weave)	50	Çapraz
T4	Düz (Plain Weave)	60	Düz



Şekil 3.2 Tel numune görselleri.

Derin çekilen numuneler dört farklı telden oluşmaktadır. Her tel türü için deney beş defa tekrarlanmıştır. Deney düzeneğinde dört adet 25 mm çapında ve 102 mm boyunda hafif yük yaylar kullanılmıştır. Deney sırasında zımba parçası, baskı plakası, çekme derinliği sabit tutulmuştur. Deney düzeneğinde kullanılan elemanlar Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Birinci deneyde kullanılan elemanlar.

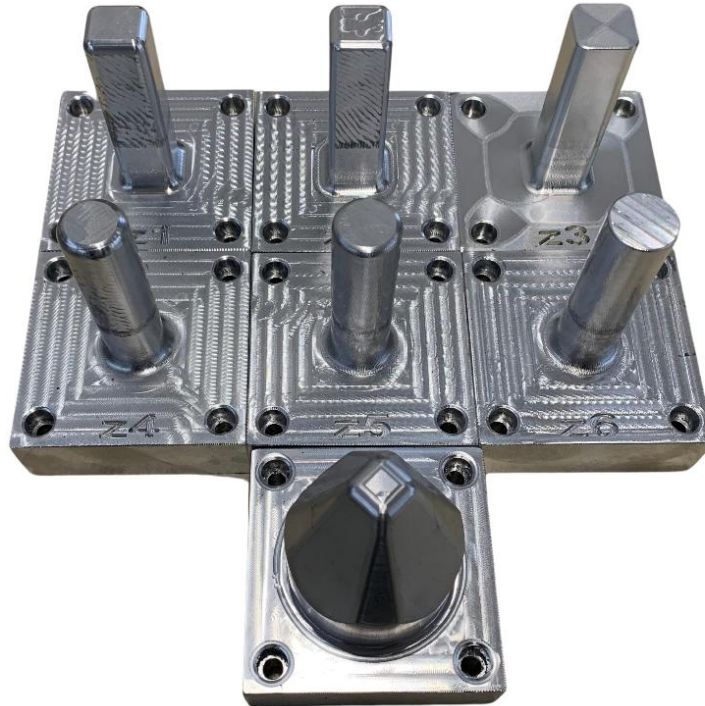
Tel İsmi	Zımba Tipi	Baskı Plakası	Çekme Derinliği (mm)
T1, T2, T3, T4	Z1	B1-K	24

3.2.2 Zımba Geometrisi

Deney düzeneği için hazırlanan tüm zımbalar Alüminyum 5083 malzemedен imal edilmiştir. Zımba yükseklikleri 50 mm, genişlikleri 24 mm olacak şekilde sabit tutulmuştur. Zımba uç yarıçapları ve formları değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Zımba geometrisinde kullanılacak farklı parametreler Tablo 3.3'te verilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan zımbalar Şekil 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 Zımba tipleri listesi.

Zımba Numarası	Zımba Geometrisi	Zımba Uç Yarıçapı (mm)
Z1	Kare (24 mm x 24 mm)	5
Z2		3
Z3		1
Z4		5
Z5	Dairesel (Ø 24 mm)	3
Z6		1
Z7		5



Şekil 3.3 Deneyde kullanılan zımba parçaları.

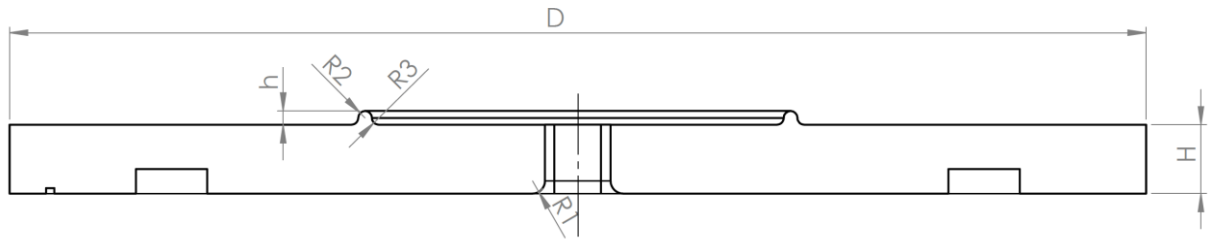
Deney düzeneğinde dört adet 25 mm çapında ve 102 mm boyunda hafif yük yaylar kullanılmıştır. Baskı plakası yarıçapı sabit tutularak farklı geometrilere uygun baskı plakası kullanılmıştır. Tüm zimbalar için Tablo 3.1’te bilgileri paylaşılan 90 mm x 90 mm boyutlarında T2 teli kullanılarak 24 mm derin çekme işlemi yapılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan elemanlar ve çekme derinliği ile alakalı bilgiler Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4 İkinci deneyde kullanılan elemanlar.

Zimba İsmi	Baskı Plakası Numarası	Tel İsmi	Çekme Derinliği (mm)
Z1	B1-K	T2	24
Z2			
Z3			
Z4	B1-D		
Z5			
Z6			
Z7	B4-O		

3.2.3 Baskı Plakası Geometrisi

Alüminyum 5083 malzemeden deney düzeneğinde kullanılmak üzere üç farklı tipte baskı plakası imal edilmiştir. Baskı plakasında iş parçasının çekilme hızının kontrolü için dairesel formlar eklenmiştir. Eklenen formlar Şekil 3.4’de verilmiştir. Baskı plakası çeşitleri Tablo 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.4 Baskı plakası değişkenleri.

Tablo 3.5 Baskı plakası çeşitleri.

Baskı Plakası Numarası	Baskı Plakası Geometrisi	R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	h (mm)	D (mm)	H (mm)
B1-K	Formsuz	3	-	-	-	414	25
B2-K	Formlu		2,5	2,5	5		
B3-K	Formlu		1,25	1,25	2,5		

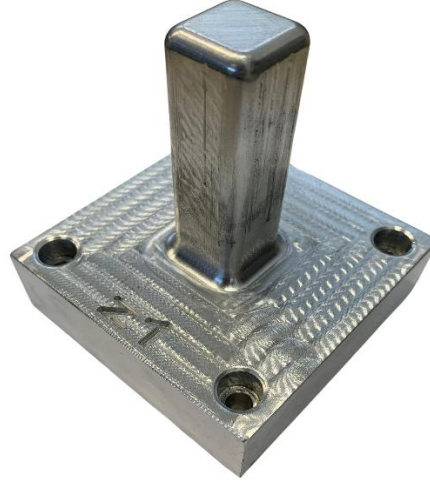
Deney sırasında üç farklı baskı plakası kullanılmıştır. Derin çekme esnasında baskı plakalarına kuvvet uygulayan, dört adet 25 mm çapında ve 102 mm boyunda hafif yük yayları kullanılmıştır. Farklı baskı plakaları için Tablo 3.1’te bilgileri paylaşılan 200 mm x 200 mm boyutlarında T2 teli kullanılarak 24 mm derin çekme işlemi yapılmıştır. Zimba tipi deney esnasında sabit tutulmuş ve Z3 zımbası kullanılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan elemanlar ve çekme derinliği ile alakalı bilgiler Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6 Üçüncü deneyde kullanılan elemanlar.

Baskı Plakası İsmi	Çekme Derinliği (mm)	Tel İsmi	Zimba İsmi
B1-K	24	T2	Z3
B2-K			
B3-K			

3.2.4 Derin Çekme Derinliği

24 mm x 24 mm kare formlu 5 mm zimba uç yarıçapına sahip Z1 zımbası kullanılarak; 30 mm, 40 mm ve 50 mm derin çekme işlemi yapılmıştır. Kullanılacak olan zimba Şekil 3.5’te verilmiştir. Deney esnasında kullanılacak olan parçalar Tablo 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.5 Dördüncü deneyde kullanılan zımba parçası.

Tablo 3.7 Deney dörtte kullanılan parçalar.

Çekme Derinliği İsmi	Çekme Derinliği (mm)	Zımba Numarası	Zımba Geometrisi	Zımba Uç Yarıçapı (mm)	Baskı Plakası	Tel İsmi
H1	30	Z1	Kare	5	B1-K	T2
H2	40					
H3	50					

Deney esnasında Z1 zımbası için 100 mm x 100 mm, 120 mm x 120 mm ve 150 mm x 150 mm T2 tel numuneleri hazırlanmıştır. Çekme derinliği arttırıldıkça tel örgü doku numunesinin genişliği arttırılmıştır.

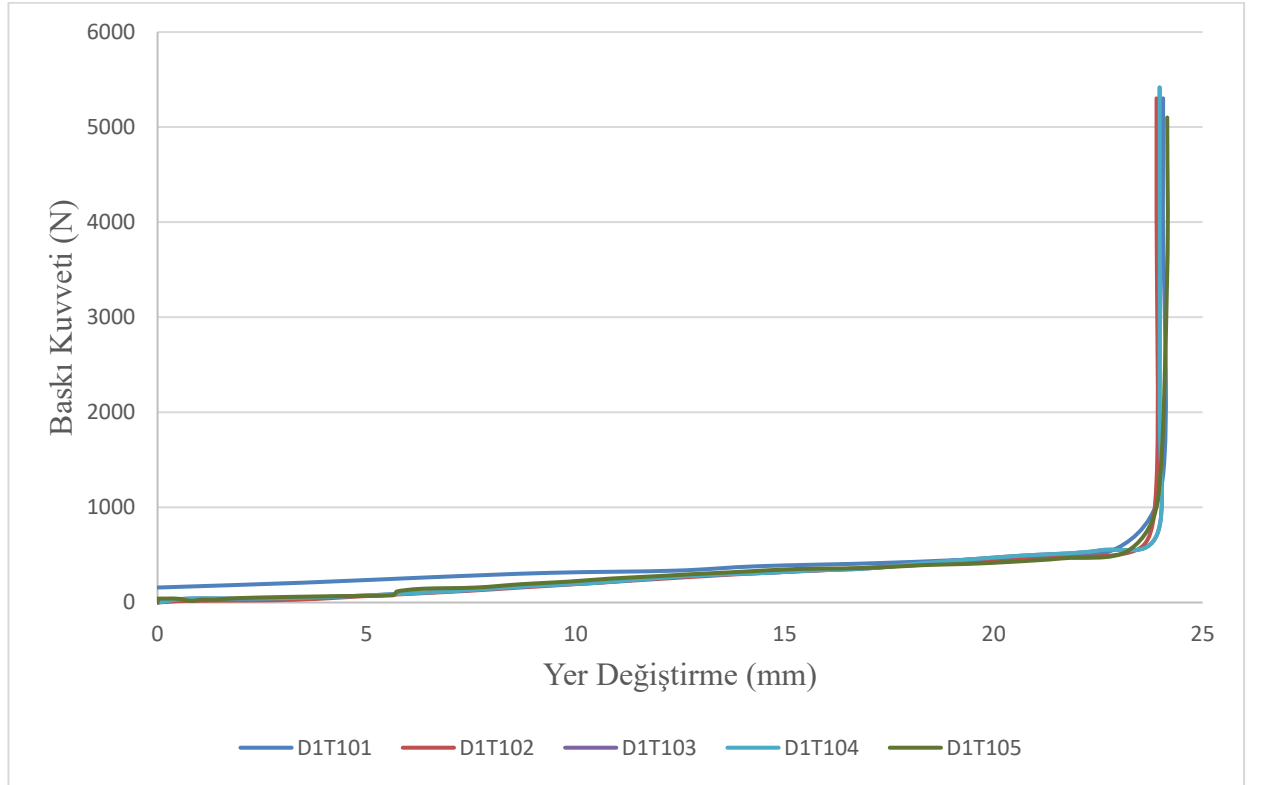
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan dört farklı deney ile tel türü, zımba geometrisi, baskı plakası geometrisi ve çekme derinliği parametrelerinin derin çekmeye etkisi araştırılmıştır.

4.1 Tel Geometrisinin Etkisi

Tel örgü yapılarındaki değişikliklerin derin çekme işlemine etkisinin araştırılabilmesi için üç farklı tel ve iki farklı kesim yönü kullanılmıştır. Tel türleri numaralandırılmıştır. Tel ile alakalı bilgiler önceki bölümde Tablo 3.1’de verilmiştir.

D1T1 deneyi esnasında değişken çekme derinliklerinde numunelere uygulanan baskı kuvvetleri Şekil 4.1’de paylaşılmıştır. Grafik üzerinde görüldüğü gibi sabit parametreler altında tekrarlanan deney sonucunda, birbirine yakın baskı kuvveti ve yer değiştirme elde edilmiştir. En yüksek baskı kuvveti D1T105 numaralı numunede, 5416,8 N olarak ölçülmüştür.



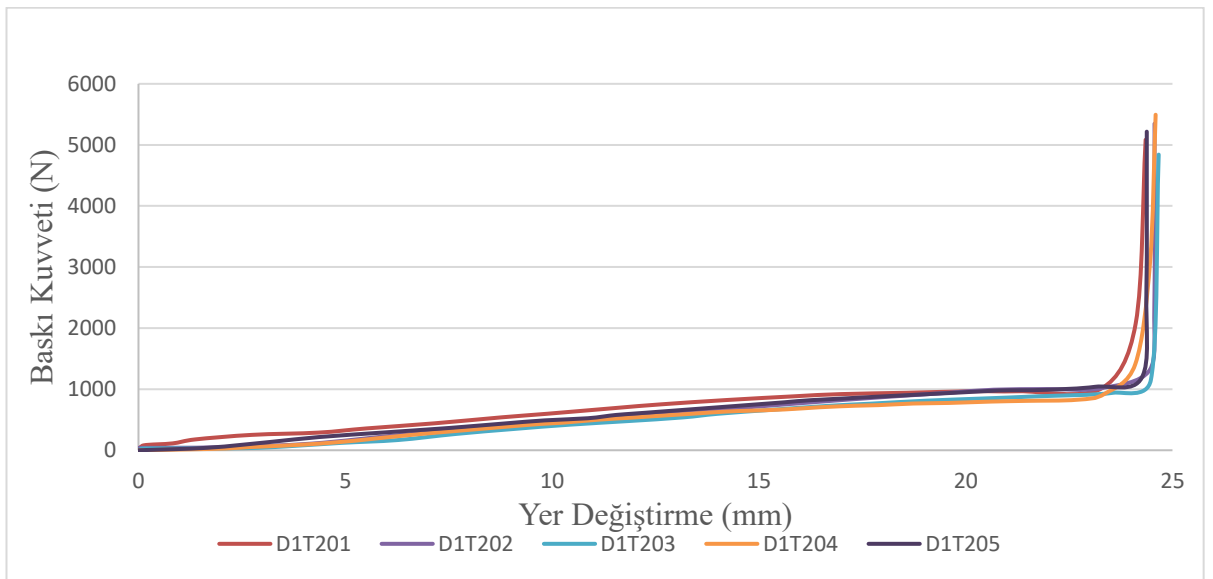
Şekil 4.1 D1T1 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D1T1 deneyinde derin çekilen numunelerden D1T105 numunesine ait görseller Şekil 4.2’de paylaşılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi telin köşe noktalarında yırtılma hasarı oluşmuştur. Benzer kırılma hasarları bir numaralı tel ile yapılan diğer derin çekme testlerinde de görülmüştür.



Şekil 4.2 D1T105 numune görseli.

D1T2 deneyinde elde edilmiş olan baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.3’te paylaşılmıştır. Aynı türde tel ile deney beş defa tekrarlanmıştır. Her deney için sonuçlar birbirine yakın bulunmuştur. Baskı kuvveti 5494 N ile 4841 N arasında değişmektedir.



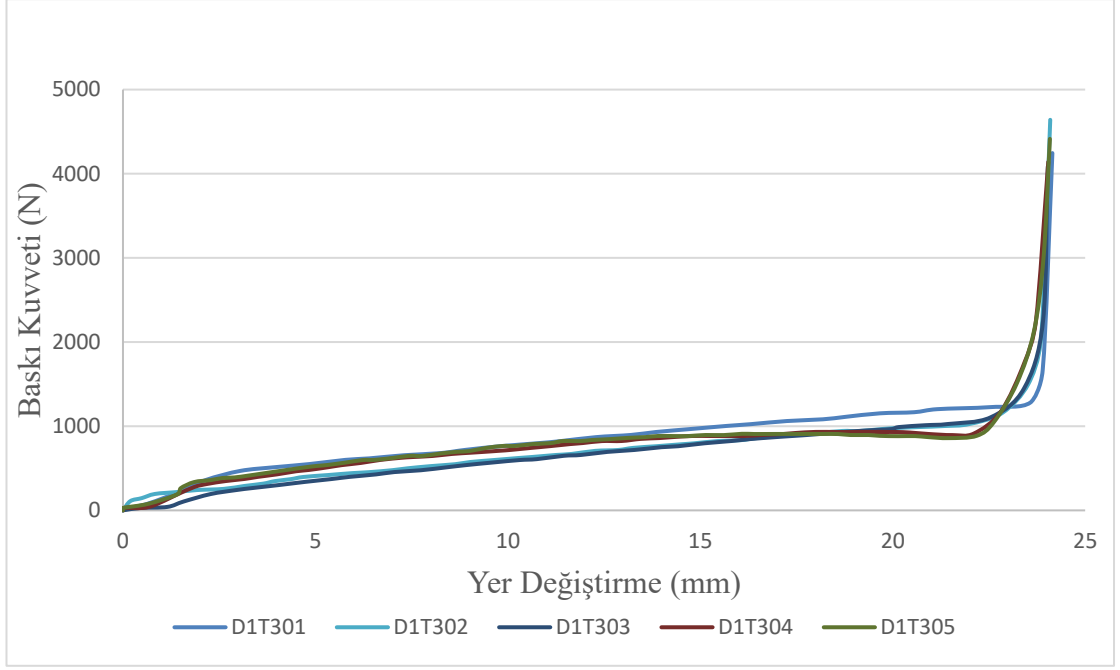
Şekil 4.3 D1T2 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D1T204 numaralı numune görseli Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi numune üzerinde yırtılma hasarı gözlemlenmemiştir. T2 telinin şekil alma kabiliyeti T1, T3 ve T4 tellerine göre daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.4 D1T204 numune görseli.

Üç numaralı tel ile yapılan D1T3 deneyine ait baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir. Derin çekme işlemi grafikten de görüldüğü gibi beş defa tekrarlanmıştır. Deney esnasında ölçülen baskı kuvveti 4641 N ile 4085 N arasında değişmektedir. Grafik incelendiğinde D1T2 deneyine benzer değerler elde edildiği görülmektedir.



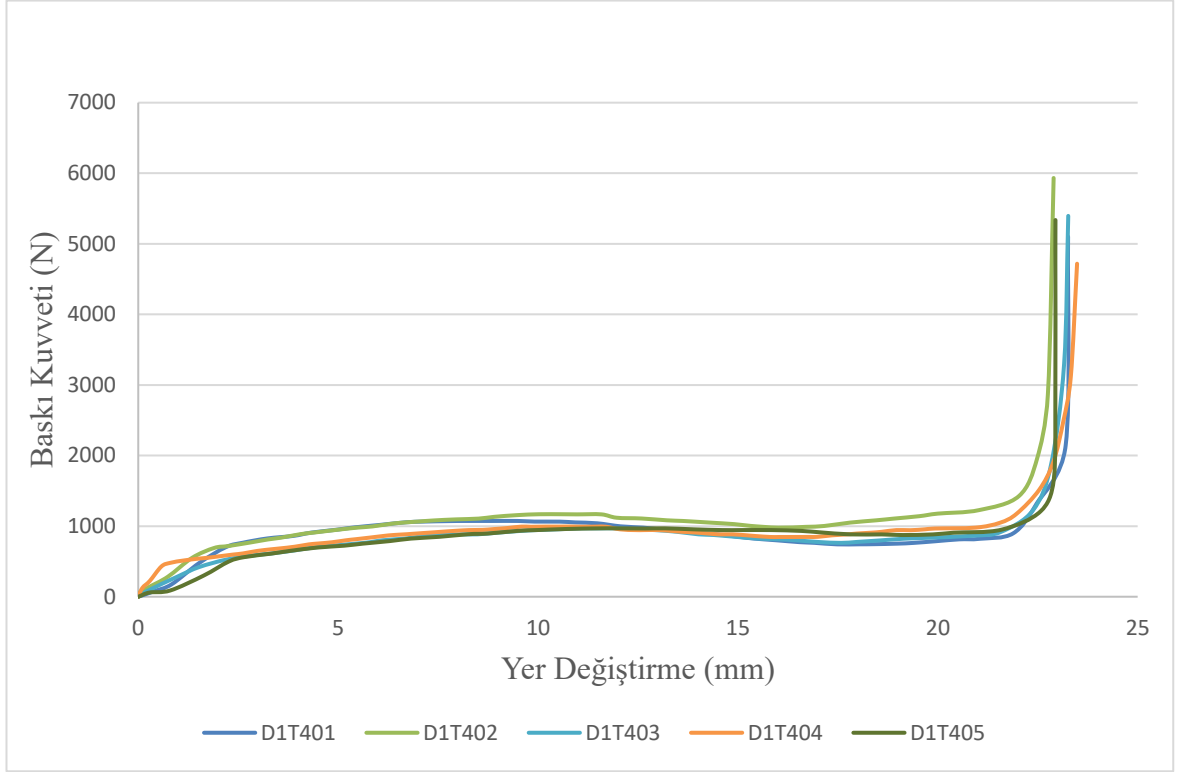
Şekil 4.5 D1T3 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D1T3 deneyinde derin çekilen D1T309 numaralı numune incelendiğinde telin şekil alma kabiliyetinin T1 telinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Tel kesim yönünün çapraz olduğu durumlarda derin çekilen malzemenin uçlarında yer alan yer değiştirmenin daha homojen olduğu tespit edilmiştir. D1T303 numaralı deney numunesinin görseli Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi numune üzerinde kırılma hasarı oluşmuştur. Kırılma hasarının miktarı T1 telinden oldukça düşüktür.



Şekil 4.6 D1T303 numune görseli.

T4 teli ile yapılan deneye ait baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi baskı kuvveti bazı yer değiştirme değerlerinde artması beklenirken düşüş göstermiştir. Deney esnasında bu düşüşün nedeninin numune üzerinde gerçekleşen yırtılma hasarı nedeniyle olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.7 D1T4 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D1T4 deneyinde elde edilen numunelerden D1T405 numune görselleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Görselden de görüldüğü gibi diğer tellere göre T4 telinde kırılma hasarı oldukça yüksektir.



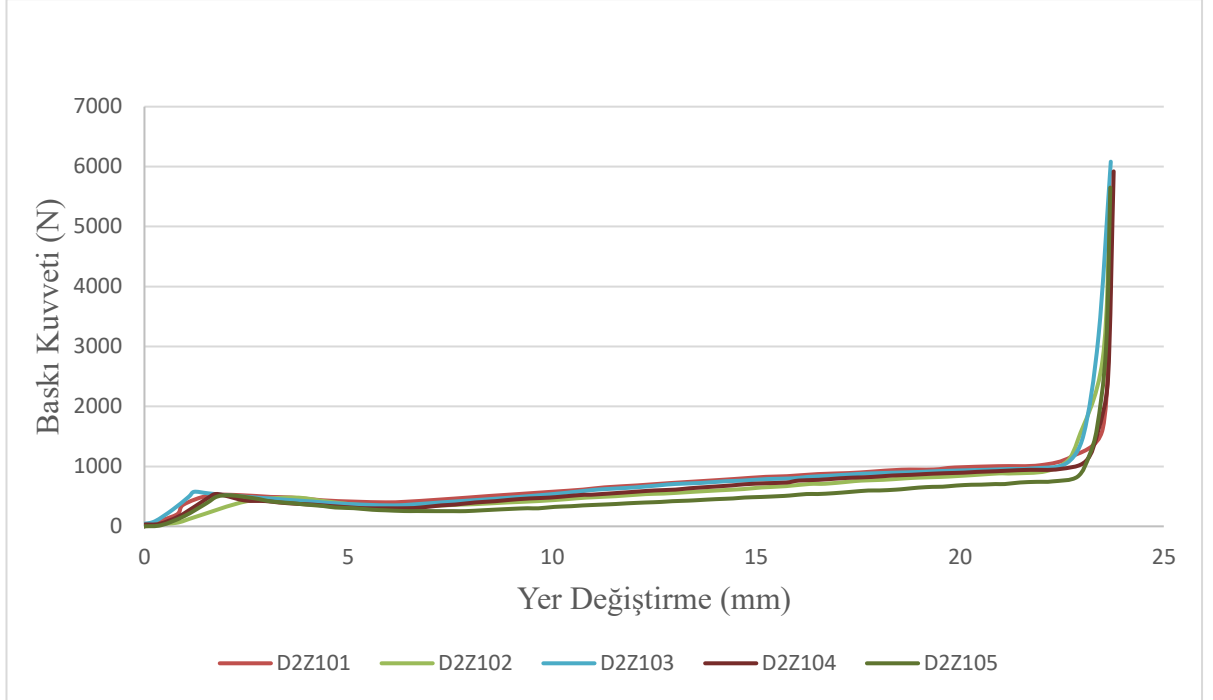
Şekil 4.8 D1T403 numune görseli.

Dört farklı tipteki tel için yapılan derin çekme deneylerinde T2 telinin şekil alma kabiliyetinin T1, T3 ve T4 tellerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. T2 telinin örgü yapısı tellerin birbiri üzerinde hareketine daha çok izin verdiği için tel örgü yapının derin çekme performansı yüksek çıkmıştır. Kesim yönü kıyaslandığında çapraz kesim yapılan T3 telinin şekil alma kabiliyeti düz kesilen T1 teline göre daha yüksektir. Kesim yönü çapraz seçildiğinde ürün dış sınırlarında oluşan çekmenin daha homojen olduğu görülmektedir. Homojen şekil değişimi sonrası T3 telinde yırtılma hasarı T1 teline göre daha düşük çıkmıştır. T4 telinin şekil değiştirme performansı en düşük çıkmıştır. Mesh sayısı arttığında birim tellerin hareket alanı azaldığı için kırılma hasarı yüksektir.

4.2 Zımbanın Etkisi

Tel örgü yapıların derin çekilme işleminde zımba geometrisinin araştırılması için deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında yedi farklı zımba kullanılmıştır. Zımba geometrileri ve bilgileri önceki bölümde Tablo 3.3'te verilmiştir. Deney esnasında kare, dairesel ve özel geometriye sahip zımbalar farklı yarıçap değerleri ile test edilmiştir. Her zımba için beş adet tel numunesi derin çekilmiştir.

D2Z1 deneyinde tel numunesine uygulanan baskı kuvveti ve yer değiştirme kaydedilmiştir. Baskı kuvveti ve yer değiştirme bilgileri Şekil 4.9'da verilmiştir. Baskı plakasına uygulanan kuvvet 6082 N ile 4126 N arasında değişmektedir.



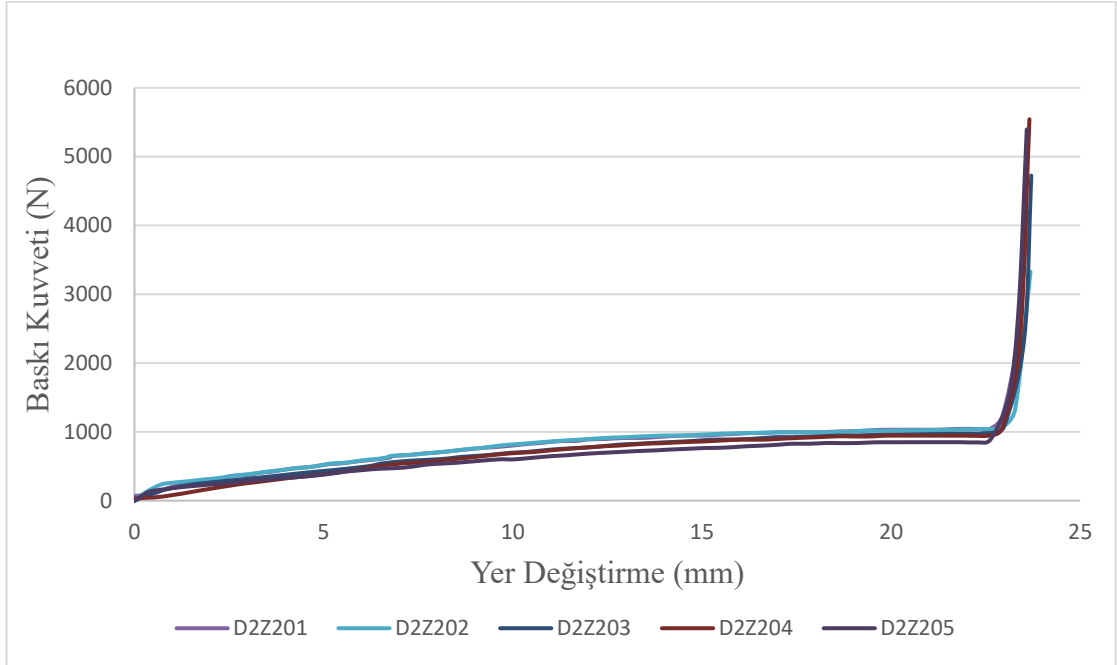
Şekil 4.9 D2Z1 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

Derin çekilen numunelerden olan D2Z104 numunesi Şekil 4.10'da verilmiştir. Gørselden de görüldüğü gibi numune üzerinde yırtılma ve kırılma hasarı gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.10 D2Z104 numune gørseli.

D2Z2 deneyine ait baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.11'de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tekrarlanan deneylerde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Deney esnasında baskı plakasına en fazla 5543 N kuvvet uygulanmıştır.



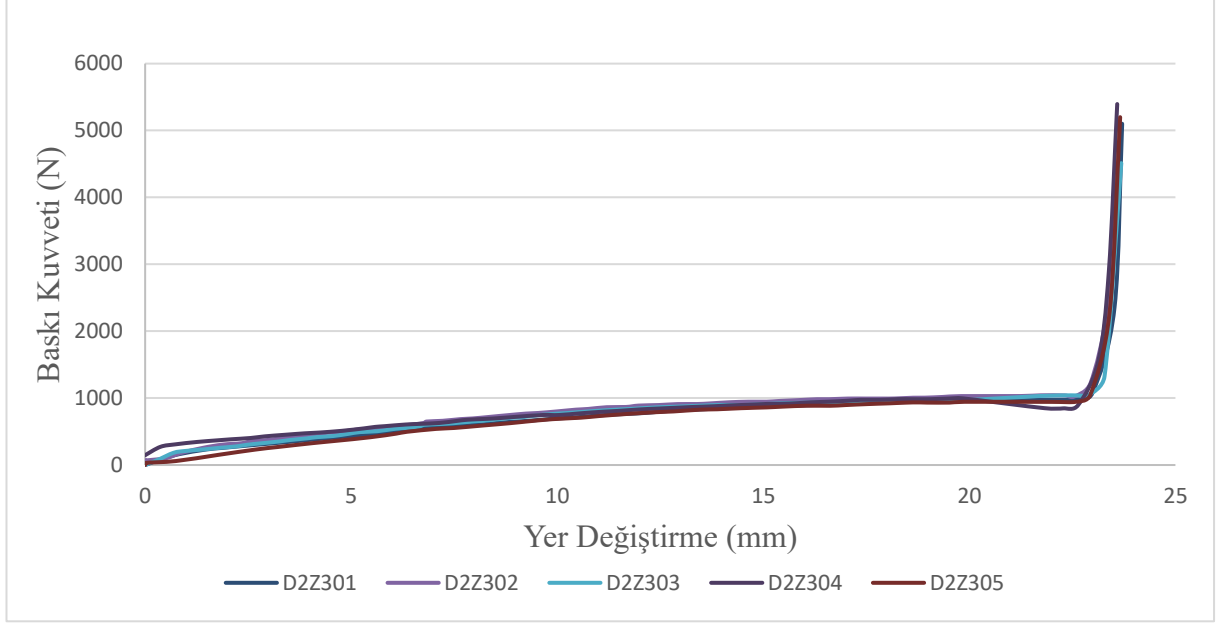
Şekil 4.11 D2Z2 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

Deney esnasında derin çekilen numunelerden olan D2Z203 numaralı numune Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü numune üzerinde herhangi bir hasar oluşumu söz konusu değildir. D2Z2 deneyinde D2Z1 deneyine yakın sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.12 D2Z203 numune görseli.

En düşük köşe yarıçap değerine sahip kare zımba olan Z3 zımbası ile yapılan D2Z3 deneyinde yırtılma hasarı görülmüştür. Deney esnasında kaydedilen baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir.



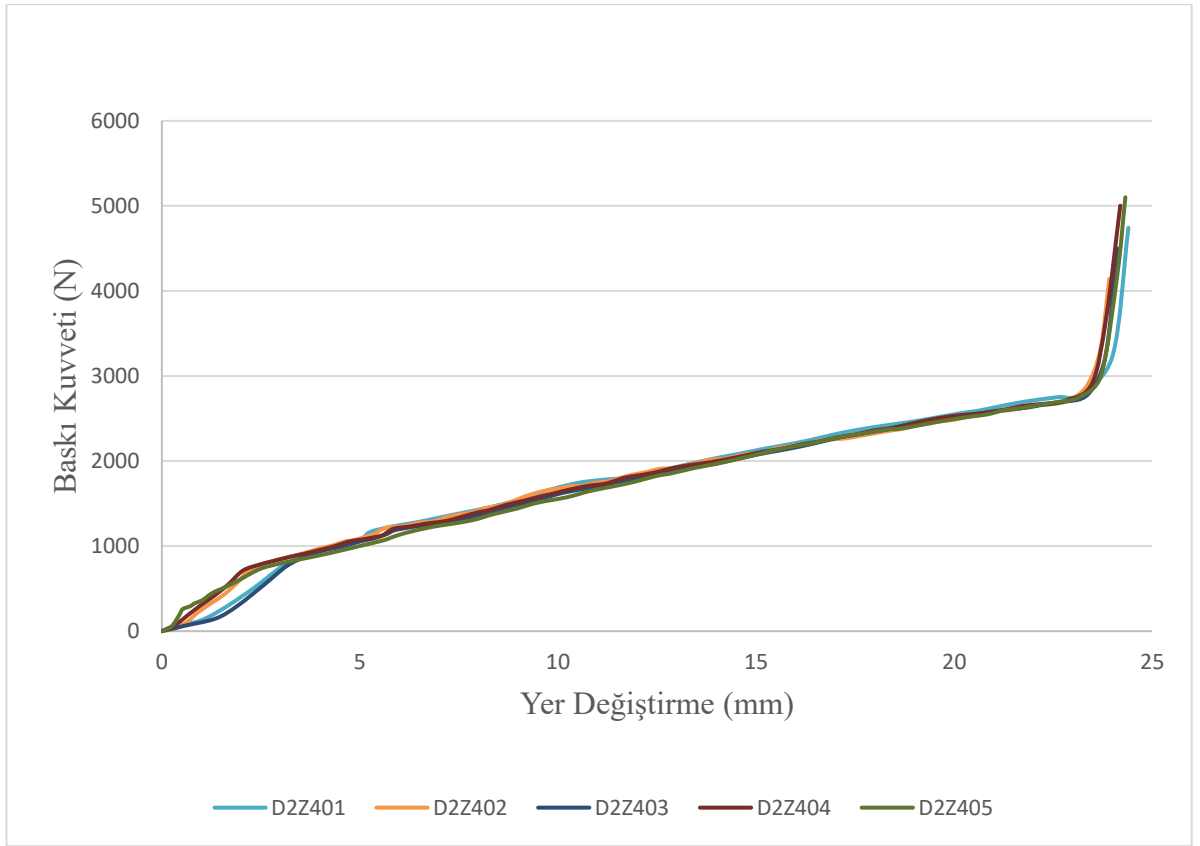
Şekil 4.13 D2Z3 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D2Z3 deneyinde derin çekilen numunelerden olan D2Z305 numunesi Şekil 4.14'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi zımba uç yarıçapının olduğu bölgede yırtılma hasarı gözlemlenmiştir. Kare zımbalarla yapılan deney sonucunda zımba uç yarıçapının azalması derin çekilen numunede hasar oluşmasına sebebiyet verdiği anlaşılmıştır.



Şekil 4.14 D2Z305 numune görseli.

Dairesel geometriye sahip zımbalardan olan Z4 zımbası ile yapılan deneye ait baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi ardı ardına yapılan deneylerden elde edilen değerler birbirine oldukça yakındır. Derin ekme deneyi esnasında baskı plakasına uygulanan kuvvet, 5101 N ile 4140 N arasında değişmektedir. Kare formlu zımbalarda görülen grafikten daha farklı bir grafik deney sonucunda ortaya çıkmıştır. Baskı plakasına uygulanan kuvvet çekme derinliklerinde fazla olmasına rağmen numuneler üzerinde yırtılma ve kırılma hasarı gözlemlenmemiştir.



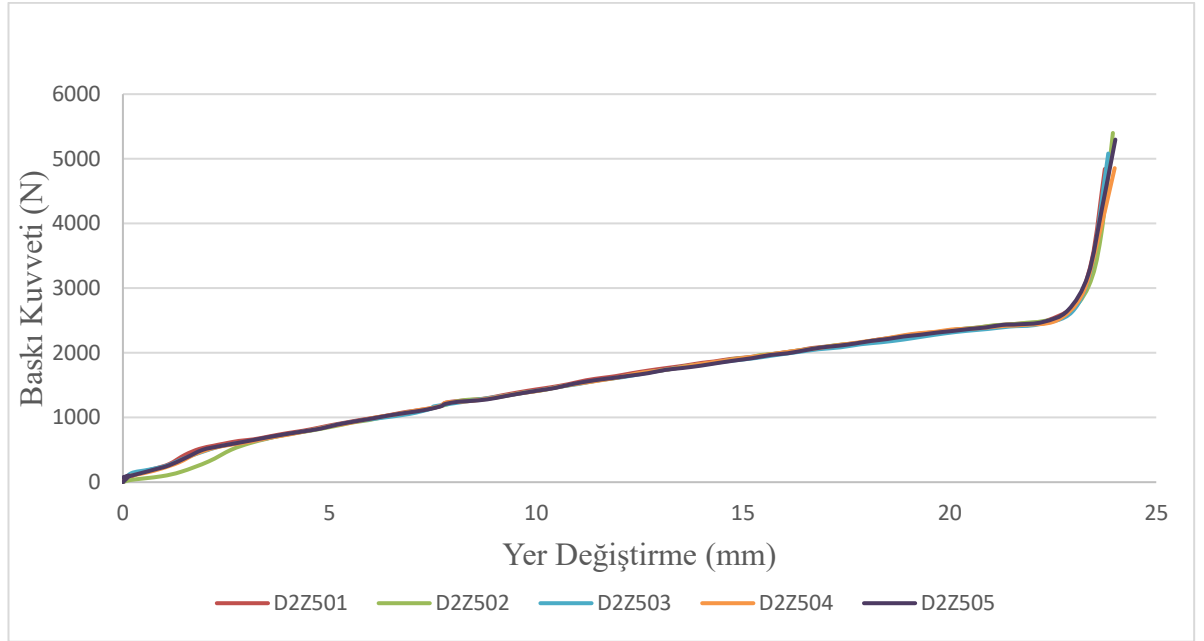
Şekil 4.15 D2Z4 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D2Z4 deneyinde elde edilen numunelerden olan D2Z403 Şekil 4.16'da verilmiştir. Numunede herhangi bir hasar oluşumu gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.16 D2Z403 numune görseli.

D2Z5 deneyine ait baskı kuvveti, yer değiştirme grafiği Şekil 4.17’de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi deney esnasında alınan değerler birbirine oldukça yakındır. Baskı kuvvetleri 5400 N ile 4844 N arasında değişmektedir.



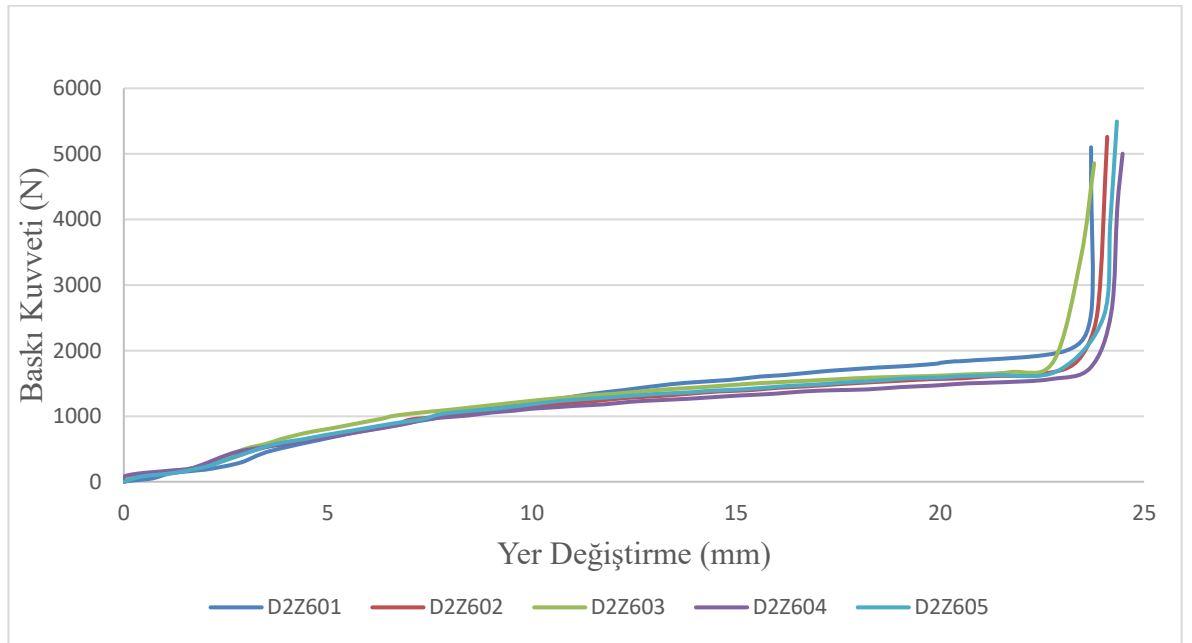
Şekil 4.17 D2Z5 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D2Z5 deneyinde elde edilen numunelerden olan D2Z504 numunesi Şekil 4.18’de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi numune üzerinde yırtılma hasarı gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.18 D2Z504 numune görseli.

En düşük köşe yarıçapına sahip dairesel formlu Z6 zımbası ile yapılan D3Z5 deneyine ait baskı kuvveti, yer değiştirme grafiği Şekil 4.19’da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi D2Z6, D2Z5 ve D2Z4 deneyleri sonucunda elde edilen grafikler birbirine oldukça yakındır.



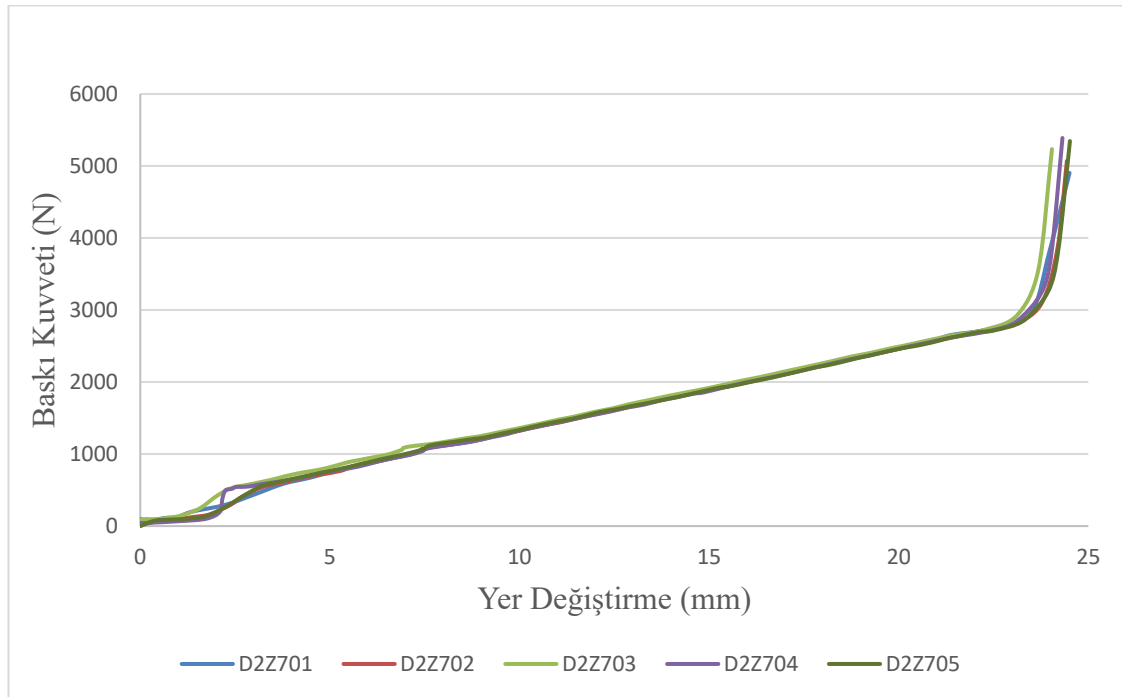
Şekil 4.19 D2Z6 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D2Z6 derin çekme deneyinde elde edilen numunelerden D2Z602 numaralı deney numunesi Şekil 4.20’de verilmiştir. Zımbanın köşe yarıçapı düşük olmasına rağmen numune üzerinde kırışma ve yırtılma hasarı gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.20 D2Z602 numune görseli.

Z7 zımbasıyla yapılan D2Z7 deneyine ait baskı kuvveti, yer değiştirme grafiği Şekil 4.21’de verilmiştir. Deney sırasında ölçülen değerler dairesel zımbalara oldukça yakındır. Baskı kuvveti 5346 N ile 4905 N arasındadır.



Şekil 4.21 D2Z7 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

Açılı duvarlar ve yüksek zımba uç yarıçapına sahip olan özel zımba ile yapılan D2Z7 deneyinde derin çekilen numunelerden olan D2Z701 numunesi Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi numune üzerinde kırılma hasarı görülmemiştir ve kırılma hasarı hiç oluşmamıştır.



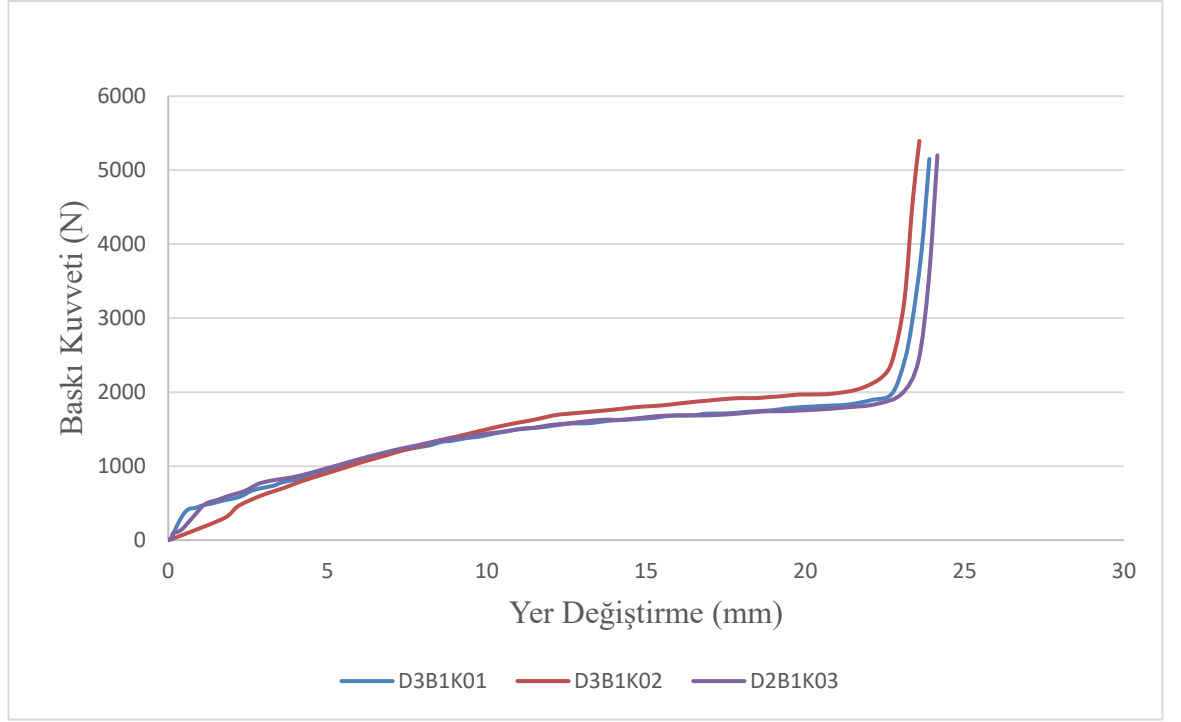
Şekil 4.22 D2Z701 numune görseli.

İkinci deney sonucunda dairesel forma sahip olan zımbaların derin çekme kabiliyeti kare forma sahip zımbalara göre daha yüksek çıkmıştır. Zımba uç yarıçapı arttıkça numunelerde oluşan yırtılma hasarı azalmıştır. Açılı duvarlara ve büyük zımba uç yarıçapına sahip zımba ile elde edilmiş numunelerde kırılma hasarı görülmemiş ve kırılma minimum seviyededir.

4.3 Baskı Plakası Geometrisinin Etkisi

Farklı formlara sahip baskı plakası kullanılarak, baskı plakası geometrisinin derin çekmeye olan etkisi araştırılmıştır. Kullanılan üç farklı baskı plakası için tele uygulanan baskı kuvveti ve yer değiştirme değerleri kaydedilmiştir. Her bir deney üç defa tekrarlanmıştır. Deneyde kullanılan baskı plakaları ve özellikleri bir önceki bölüm Tablo 3.5’te verilmiştir. Deney esnasında sabit tutulan ve deney düzeneğinde kullanılan diğer elemanlar Tablo 3.6’da verilmiştir.

Formsuz baskı plakası olan B1K ile yapılan derin çekme deneyi D3B1K'ya ait baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.23'te verilmiştir.



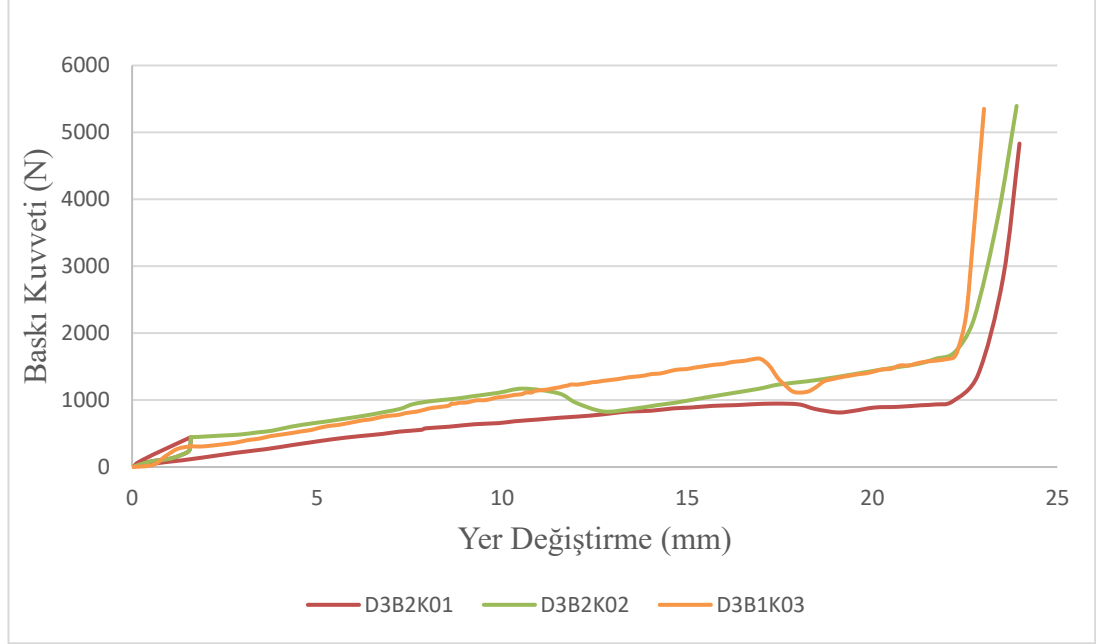
Şekil 4.23 D3B1K deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D3B1K deneyinde elde edilecek numunelerden olan D3B1K03 deney numunesi Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi numunenin özellikle köşe bölgesinde yırtılma hasarı gözlemlenmiştir.



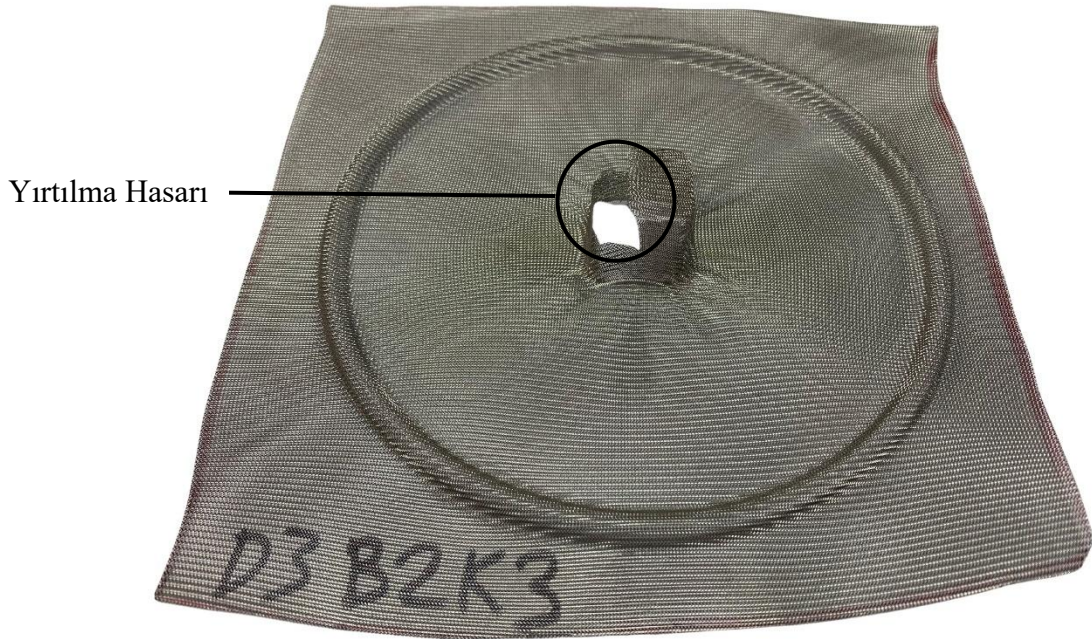
Şekil 4.24 D3B1K03 numune görseli.

Üzerine yüksek ve geniş formlar verilen baskı plakası deneyi D3B2K'ye ait baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir. Numuneler üzerinde yırtılma hasarı yüksek olduğu için sağlıklı veriler elde edilememiştir.



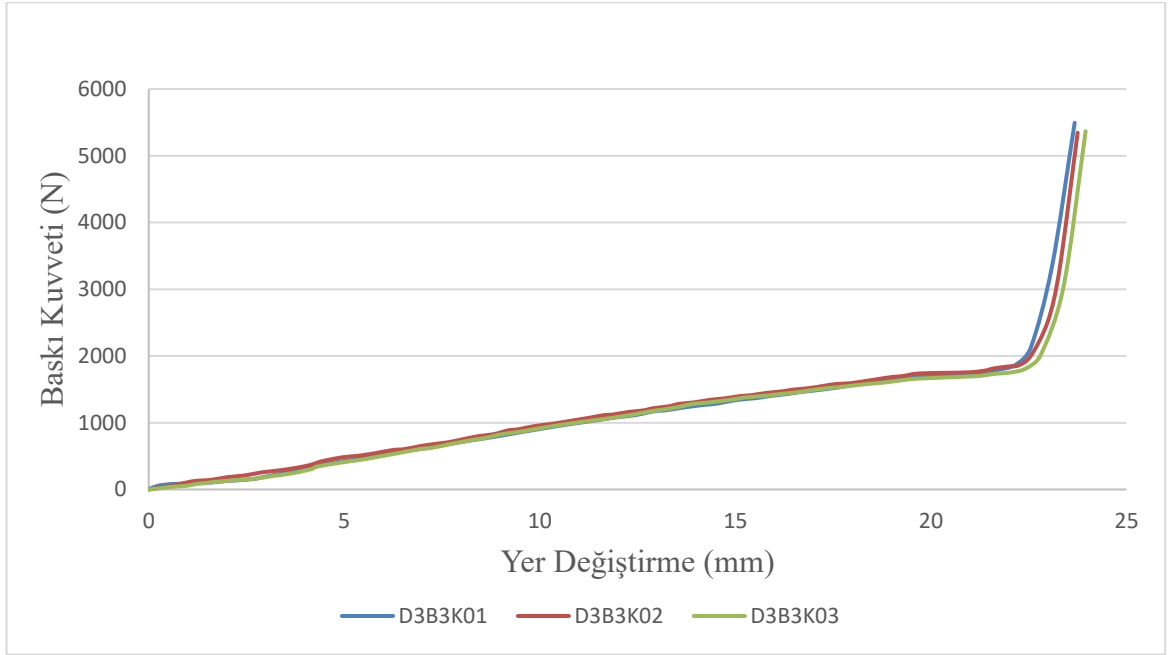
Şekil 4.25 D3B2K deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D3B2K deneyinde elde edilen numunelerden olan D3B2K3 deney numunesi Şekil 4.26'da verilmiştir. Görselden de görüldüğü gibi numune üzerinde oluşan yırtılma hasarı oldukça fazladır.



Şekil 4.26 D3B2K03 numune görseli.

B2K baskı plakasına göre form yüksekliğinin ve genişliğinin daha düşük olduğu B3K baskı plakasına ait deney grafiği Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27 D3B3K deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D3B3K deneyi sonucunda elde edilen numunelerden D3B3K01 numunesine Şekil 4.30’da verilmiştir. Görselde de görüldüğü gibi yırtılma hasarı D3B2K deneyine göre daha azdır.



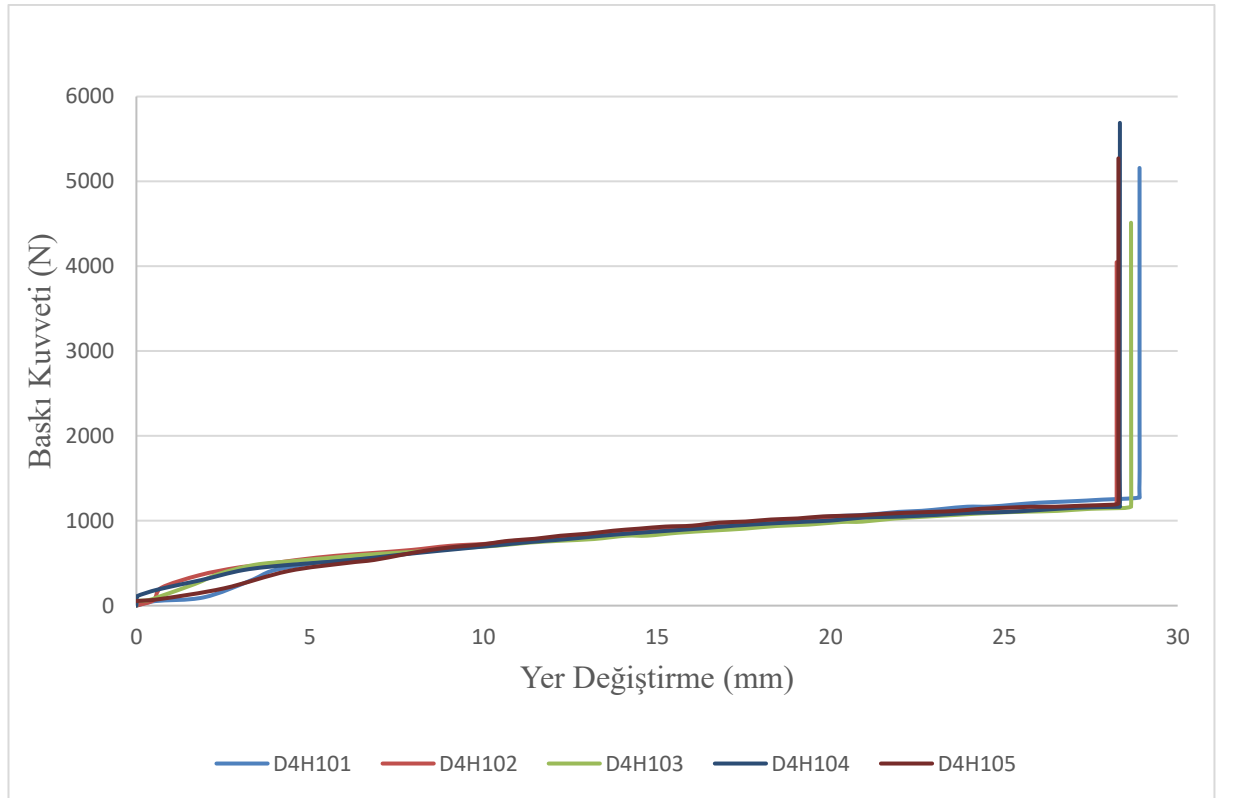
Şekil 4.28 D3B3K01 numune görseli.

Baskı plakası geometrisinin incelendiği üçüncü deney sonucunda, baskı plakasına eklenen formların yükseklik ve derinlik değerlerinin arttığında derin çekilen parçada yırtılma hasarının arttığı tespit edilmiştir. Eklenen formlar derin çekme esnasında derin çekilecek iş parçasının hareketini engelleyerek hasara neden olmaktadır. En iyi numuneler formsuz baskı plakasında elde edilmiştir.

4.4 Çekme Derinliğinin Etkisi

Çekme derinliğinin tel örgü dokularda derin çekmeye etkisinin araştırılabilmesi için 30, 40 ve 50 mm derin çekme deneyi yapılmıştır. Her derinlik deneyi için deney beş defa tekrarlanmıştır. Deney sırasında kullanılan elemanlar önceki bölümde Tablo 3.7’de verilmiştir.

D4H1 deneyinde elde edilmiş olan baskı kuvveti yer değiştirme grafiği Şekil 4.29’da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi tekrarlanan deneylere ait sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır. Deneyler esnasında baskı plakasına uygulanan kuvvet 5690 N ile 4048 N arasında değişmektedir.



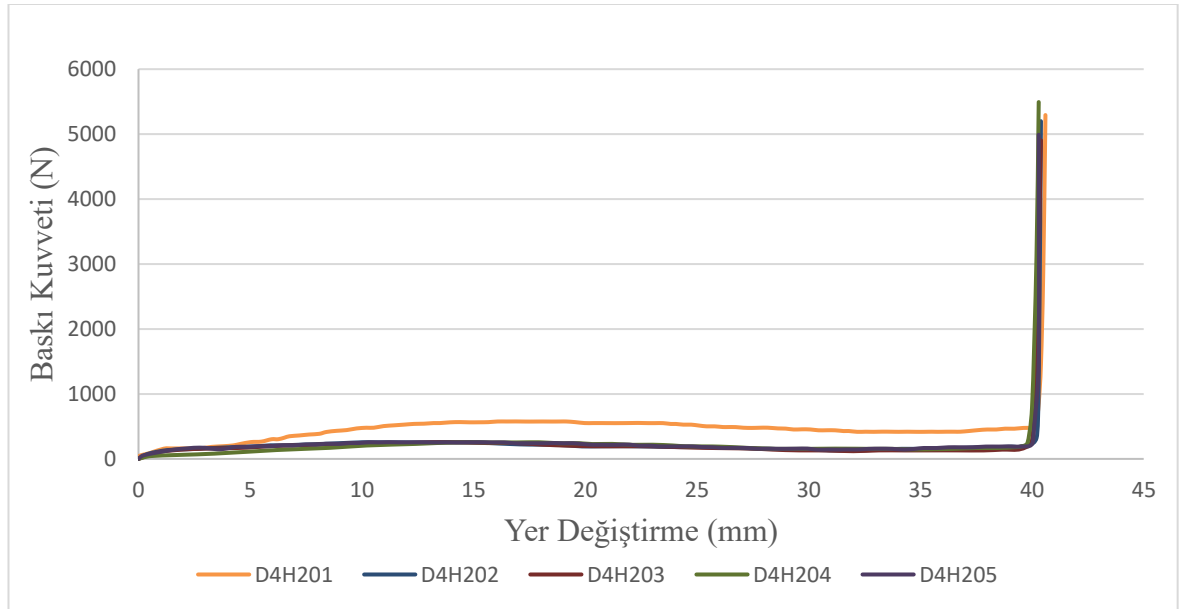
Şekil 4.29 D4H1 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

Derin çekilen numunelerden D4H103 Şekil 4.30’da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 30 mm çekme derinliğinde numune üzerinde ufak çaplı yırtılma hasarı oluşmuştur.



Şekil 4.30 D4H103 numune görseli.

D2H2 deneyinde, 40 mm derin çekme işlemi yapılmıştır. Yapılan deney esnasında baskı plakası ve yer değiştirme verileri alınmıştır. Alınan bu veriler Şekil 4.31’de verilmiştir. Numuneler üzerinde kırılma hasarının yüksek olması nedeniyle baskı plakasında görülen kuvvet düşüktür.



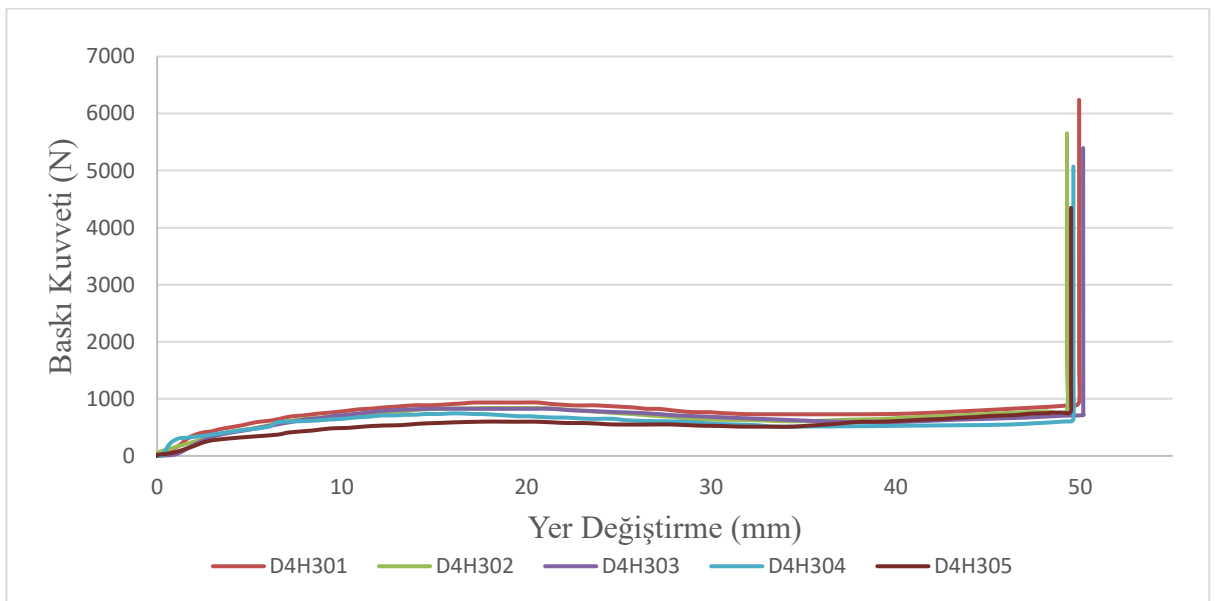
Şekil 4.31 D4H2 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

D4H201 numunesi Şekil 4.32’de verilmiştir. Deney esnasında büyük zımba uç yarıçapına sahip zımba kullanılmasına rağmen görselde de görüldüğü gibi kırılma hasarı yüksektir.



Şekil 4.32 D4H201 numune görseli.

50 mm derin çekme işlemi yapılan D4H3 deneyine ait baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.33’te verilmiştir. Grafik üzerinde de görüldüğü gibi yer değiştirme değeri 30 mm’den yüksek olduğu durumlarda baskı plakası kuvvetinde bir düşüş yaşanmıştır. Bu durum derin çekilen iş parçasının yırtılması hasarının oluşması nedeniyle görülmektedir.



Şekil 4.33 D4H3 deneyi, baskı kuvveti ve yer değiştirme grafiği.

Deney esnasında derin çekilen numunelerden D4H302 numunesi Şekil 4.34’de verilmiştir. D3H2 deneyine göre yırtılma hasarının miktarı artmıştır.



Şekil 4.34 D4H302 numune görseli.

Farklı çekme derinliklerinin denendiği dördüncü deney sonucunda, çekme derinliği arttığında iş parçasının derin çekme kabiliyetinin azaldığı tespit edilmiştir. 30 mm’nin üstündeki çekme derinliklerinde iş parçası üzerindeki yırtılma derin çekme esnasında hızla artmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tel örgü dokuların derin çekme parametreleri üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. İncelenen faktörler aşağıda belirtilmiştir;

- Telin etkisi,
- Zımba geometrisinin etkisi,
- Baskı plakasının etkisi,
- Çekme derinliğinin etkisi.

Telin Etkisi: Yapılan deneylerde farklı örgü tipine, dokusuna ve kesim yönüne sahip dört adet farklı tel kullanmıştır. Dokuma tipi olarak tel örgü dokular kıyaslandığında çapraz tel örgü dokuların şekil alma kabiliyetinin düz örgüdeki tellere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Tel örgü dokularda çapraz dokumada sağlanan hareket serbestliğinin tel şekil alma kabiliyetini arttırdığı bulunmuştur. Dokuma sıklığı arttığında tel birim hücrelerinin hareketi azaldığı için tel örgü dokuların şekil alma kabiliyeti düşmektedir. Başka bir deyişle örgü sayısı arttığında telin mukavemeti artsa bile şekil alma kabiliyeti azalmaktadır. Tel örgü dokuların kesim yönünün derin çekme davranışını doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. Çapraz bir şekilde tellere boyutlandırma yapıldığında, derin çekme esnasında telin dış kenarlarında homojen bir daralma görülmüştür. Aynı parametrelerde düz kesim tel örgü dokularda derin çekme sonrası tel dış kenarlarında daralma homojen değildir. Buna bağlı olarak telin dış kenarlarının daha çok daraldığı bölgelerde yırtılma hasarlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak kesim yönü tel örgü dokulardaki örme yönüne çapraz olduğunda şekil alma kabiliyeti artmaktadır.

Zımbanın Etkisi: Deneyler kapsamında yedi farklı zımba geometrisi denenmiştir. Kare ve dairesel formlara sahip, 1 mm, 3 mm ve 5 mm zımba uç yarıçapına sahip zımba geometrileri ile deneyler yapılmıştır. Zımba uç yarıçapının azaldığı durumlarda tel örgü dokuların derin çekme işlemi sonrası zımba uç yarıçapı bölgelerinde yırtılma hasarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Zımba uç yarıçapı arttığında tel örgü dokulardaki şekil alma kabiliyeti artmaktadır. Dairesel forma sahip zımbalar ile yapılan deneylerde tel örgü dokularda oluşan yırtılma ve kırılma hasarı kare formlu zımbalara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kare formlu zımbalarda özellikle karenin köşelerinde yırtılma hasarına rastlanmıştır. Dairesel formlu zımbalarda bu

köşeler olmadığı için yırtılma ve kırılma hasarı görülmemiştir. Zımba duvarlarının açılı hale getirildiği özel zımba deneyinde kare ve dairesel forma sahip zımbalara göre yırtılma ve kırılma hasarının daha az olduğu tel örgü doku numuneleri elde edilmiştir.

Baskı plakasının etkisi: Yapılan deneylerde üç farklı baskı plakası kullanılmıştır. Baskı plakasına form verilerek malzemenin derin çekme işlemi esnasında akışı kontrol edilmeye çalışılmıştır. Malzemenin derin çekme işleminde akışının yavaşlatılması için baskı plakasına 5 mm ve 2,5 mm yüksekliğinde dairesel formlar verilmiştir. Eklenen bu formlar tel örgü dokunun derin çekme esnasında hareketini engelleyerek yırtılma hasarı oluşmasına sebebiyet vermiştir. Form yüksekliği arttığında hasarın miktarı artmıştır. Herhangi bir forma sahip olmayan düz baskı plakalarında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Özetle baskı plakasına eklenen formlar düz sac malzemelerde şekil alma kabiliyetini artırırken, tel örgü dokularda şekil alma kabiliyetini olumsuz yönde etkilemiştir.

Çekme derinliğinin etkisi: Çekme derinliğinin etkisinin araştırılabilmesi için derin çekme deney düzeneğinde 30 mm, 40 mm ve 50 mm yüksekliğinde derin çekme işlemi yapılmıştır. Çekme derinliği arttığında yırtılma hasarının arttığı tespit edilmiştir. 24 mm kare formlu, 5 mm zımba uç yarıçapına sahip zımba geometrileri ile derin çekme işlemi yapıldığında çekme derinliğinin en yüksek 30 mm seçilmesi gerektiği bulunmuştur. 30 mm'den yüksek değerlerde tel örgü doku üzerinde ciddi yırtılma hasarları oluşmuştur.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, tel örgü dokuma sıklığı arttığında şekil alma kabiliyeti azalmaktadır. Tel örgü dokuların kesim yönü derin çekilen iş parçasının kalitesini doğrudan etkilemektedir. Tel levha üzerinde boyutlandırma yapılarak, mümkün ise tel örme yönüne dik yönde kesme işlemi yapılmalıdır ve daha iyi şekil alma kabiliyeti için çapraz tel örgü dokular tercih edilmelidir. Şekil alma kabiliyetinin artırılması için dairesel formlu ve yüksek zımba uç yarıçapına sahip, yan duvarları açılı zımba geometrileri seçilmelidir. Baskı plakasına verilen formlar nedeni ile derin çekme esnasında tel örgü dokunun akışının kısıtladığı ve buna bağlı olarak yırtılma hasarının oluştuğu tespit edilmiştir. Tel derin çekme işleminde baskı plakasına form verilmesinin ürün kalitesini arttırmadığı sonucuna varılmıştır. Çekme derinliği arttığında derin çekme esnasında oluşan hasar miktarı artmaktadır.

İleride yapılacak olan çalışmalarda, farklı baskı plakası geometrileri ile telin akış hızının kontrolü sağlanabilir. Baskı plakasının sayısı ve formların çeşitliliği arttırılarak baskı plakasının tel örgü dokulardaki etkisi daha detaylı incelenebilir. Deneysel çalışmaların zor ve zaman almasından dolayı, bilgisayar destekli analizler yardımıyla tel örgü dokuların derin çekme davranışı incelenebilir. Böylece, imalatın getirmiş olduğu zorlukların aşılmasında ilgili endüstriye ve literatüre katkı sağlanabilir.

6. KAYNAKLAR

Bassoli, E., Sola, A., Denti, L. Ve Gatto, A., “Experimental Approach To Measure The Restraining Force İn Deep Drawing By Means Of A Versatile Draw Bead Simulator”, *Materials and Manufacturing Process*, 34(11), 1286-1295, (2019).

Behrens, G., Ruhe, M., Tetzl, H. ve Vollertsen, F., “Effect Of Tool Geometry Variations On The Punch Force İn Micro Deep Drawing Of Rectangular Components”, *German Academic Society for Production Engineering*, 9, 195-201, (2015).

Behrens, G., Trier, F.O., Tetzl, H. Vollertsen, F., “Influence Of Tool Geometry Variations On The Limiting Drawing Ratio”, *International Journal of Material Forming*, 9, 253-258, (2016).

Chandra, P.S. ve Geeta, A., “Study of Deep Drawing Process Parameters: A Review”, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(2), 352-366, (2015).

Colgan, M. Ve Monaghan, J., “Deep Drawing Process: Analysis And Experiment”, *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 35-41, (2003).

Do, T.T., Minh, P.S. ve Le, N., “Effect of Tool Geometry Parameters on the Formability of a Camera Cover in the Deep Drawing Process”, *Faculty of Mechanical Engineering*, 14(14), 3993, (2021).

Gavas, M. ve İzciler, M., “Effect Of Blank Holder Gap On Deep Drawing Of Square Cups”, *Materials & Design*, 28, 1641-1646, (2007).

Ghafar, A.A., Abdullah, A.B. ve Mahmood, J.I., “Experimental And Numerical Prediction On Square Cup Punch–Die”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113, 379-388, (2021).

Ghosh, M., Miroux, A., Werkhoven, R.J., Bolt, P.J. ve Kestens, L.A.I., “Warm Deep-Drawing And Post Drawing Analysis Of Two Al–Mg–Si Alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 214, 756-766, (2014).

Gotoh, M., Yamashta, M. ve Itoh, M., “An Experimental Study On The Deep-Drawing Of Metal-Wire Cloth”, *Journal of Materials Processing Technology*, 138, 564-571, (2003).

Gülmez, T., İmal Usulleri Ders Notu, (2011).

Gürün, H., “Derin Çekme Kalıplarındaki Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi Ve Bulanık Mantık İle Tahmini”, Doktora, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008).

Haver & Boecker, One Supplier – Many Areas Of Application, Filters And Fabricated Parts Made From Woven Wire Cloth, (2022).

Kanttikar, R., Kodli, B.S. ve Chikmeti, R.B., “Analysis on Deformation Process in Deep Drawing of Sheet Metal”, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(4), 6-16, (2014).

Koçar, O., “Derin Çekme İşleminde Ürün Kalitesinin Tahmini Ve Kontrolü”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2014).

Locker, Woven Wirecloth And Filters, (2024).

Mahdavian, S.M. ve Fion, T.M.Y., “Effect of Punch Geometry in the Deep Drawing Process of Aluminium”, *Materials and Manufacturing Processes*, 22(7-8), 898-902, (2010).

Merkani, M.S. ve Parvizi, A., “Optimization Of Deep Drawing Products By Adding Effect Of Texture Pattern İn Draw Bead Design”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, doi:10.1007/s40430-021-03340-7, (2022).

Özdilli, Ö. ve Erdin, M.E., “Comparison of Common Deep Drawing Steel Sheets in terms of Blank Holder Force and Friction Conditions”, *International Journal Of Automotive Science And Technology*, 2(3), 36-41, (2018).

Özek, C. Ve Bal, M., “The Effect Of Die/Blank Holder And Punch Radiuses On Limit Drawing Ratio İn Angular Deep-Drawing Dies”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(11), 1077-1083, (2009).

Padmanabhan, R., Oliveira, M.C., Alves, J.L. ve Menezes, L.F., “Influence of process parameters on the deep drawing of stainless steel”, *Finite Elements in Analysis and Design*, 43, 1062-1067, (2007).

Pushkar, R.T., Akshay, R. ve Mohan, G.B., “Factors affecting the deep drawing process – A review”, *Materials Today: Proceedings*, 56, 2902-2908, (2022).

Rashmi, D. ve Geeta, A., “Study of Deep Drawing Process Parameters”, *Materials Today: Proceedings*, 4, 820-826, (2017).

Reddy, A.C.S., Rajesham, S., Reddy, P.R., Kumar, T.P., Goverdhan, J., “An Experimental Study On Effect Of Process Parameters In Deep Drawing using Taguchi Technique”, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 7(1), 21-32, (2015).

Saija, R., Rao, C.S. ve Swapna, D., “A Review on Deep Drawing Process”, *International Journal of Emerging Research in Management and Technology*, 6(6), 146-149, (2017).

Url-1. <https://rennlist.com/forums/gt4-spyder/921988-paint-front-wire-mesh-grill-2.html>, (2023).

Url-2. <https://www.mcnichols.com/stories/wire-mesh-or-wire-cloth/>, (2023).

Url-3. <https://www.minesep.com/img/woven-vibrating-screen-mesh.jpg>, (2023).

Url-4. <https://www.gerarddaniel.com/technical-bulletins/choosing-correct-porous-media/>, (2023).

Url-5. <https://www.gerarddaniel.com/technical-bulletins/wire-mesh-or-wire-cloth/>, (2024).

Url-6. <https://wiremesh.co.uk/woven-wire-mesh-technical-specifications/woven-wire-mesh-weave-types/>, (2024).

Url-7. <https://www.qs-wiremesh.com/products/dutch-weave-wire-cloth.html>, (2023).

Url-8. <https://newarkwire.com/wire-cloth/#TypesofWeaves>, (2023).

Zhang, H., Qin, S. ve Cao, L., “Investigation Of The Effect Of Blank Holder Force Distribution On Deep Drawing Using Developed Blank Holder Divided Into Double Rings”, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, doi: /10.1007/s40430-021-03003-7, (2021).