

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

EKLEMELİ İMALAT İLE PEEK FİLAMANT
KULLANILARAK FARKLI PARAMETRELERDE ÜRETİLEN
NUMUNELERİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMET AKIN

DENİZLİ, KASIM - 2024

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



EKLEMELİ İMALAT İLE PEEK FİLAMENT
KULLANILARAK FARKLI PARAMETRELERDE ÜRETİLEN
NUMUNELERİN TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMET AKIN

DENİZLİ, KASIM - 2024

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.

MUHAMMET AKIN

ÖZET

EKLEMELİ İMALAT İLE PEEK FİLAMENT KULLANILARAK FARKLI PARAMETRELERDE ÜRETİLEN NUMUNELERİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMET AKIN

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. YAVUZ KAPLAN)

DENİZLİ, KASIM - 2024

Katmanlı İmalat (Kİ) yöntemi üretimi zor olan karmaşık geometrili parçaların üretilmesini daha kolay kıldığı için gün geçtikçe endüstrinin sık kullandığı bir üretim yöntemi haline gelmiştir. Katmanlı İmalat diğer üretim yöntemleri ile üretilmesi zor olan parçaların üretilmesini sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, PEEK malzemeden Kİ yöntemiyle farklı katman kalınlığı, baskı yönü gibi üretim parametreleri kullanılarak Ø10x20mm ölçülerinde test numuneleri üretilmiştir. Eklemeli İmalat ile üretilmiş numunelerin aşınma performansını karşılaştırmak için sanayide sıkça kullanılan haddelenmiş PEEK malzeme tercih edilmiştir. Aşınma testleri üç farklı yük altında bir saat süre ile 2m/s hızda kuru ve yapay vücut sıvısı içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Kİ ile üretilen bu numunelerin sertlik, hacim kaybı, sürtünme katsayısı ve aşınmış yüzey FESEM (Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda üretilen numunelerin hacim kayıpları kuru ortam şartlarında daha düşük olurken, yapay vücut sıvısı (YVS) içerisinde hacim kayıpları daha fazladır. Ortalama sürtünme katsayıları ise kuru ortamda daha yüksek iken, YVS içerisinde daha düşük olduğu ve sürtünen yüzeyde yağlayıcı etkisi oluşturduğu görülmektedir. Katman kalınlığının ve baskı yönünün sertlik, hacim kaybı ve ortalama sürtünme katsayısının üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Aşınma testlerinde daha yüksek yüklerde haddelenmiş numune daha iyi aşınma performansı gösterirken, daha düşük yüklerde eklemeli imalat ile üretilen PEEK numuneler daha iyi aşınma performansı göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: PEEK, Triboloji, Yapay vücut sıvısı, Eklemeli İmalat

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF SAMPLES PRODUCED WITH DIFFERENT PARAMETERS USING PEEK FILAMENT BY ADDITIVE MANUFACTURING

MSC THESIS

MUHAMMET AKIN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. YAVUZ KAPLAN)

DENİZLİ, NOVEMBER 2024

Since the Additive Manufacturing (AM) method makes it easier to produce parts with complex geometry that are difficult to produce, it has become a production method frequently used by the industry day by day. AM enables the production of parts that are difficult to produce with other production methods.

In this thesis study, test samples of $\varnothing 10 \times 20$ mm were produced from PEEK material using the AM method using different layer thickness and printing direction as production parameters. Rolled PEEK material, which is frequently used in the industry, was preferred to compare the wear performance of the samples produced with AM. Wear tests were carried out under three different loads for one hour at a speed of 2 m/s in dry and artificial body fluid. The hardness, volume loss, friction coefficient and worn surface FESEM (Field Emission Scanning Electron Microscope) images of these samples produced with AM were examined. As a result of the experiments, the volume losses of the samples produced were lower in dry environment conditions, while the volume losses were higher in artificial body fluid conditions (ABF). The average friction coefficients are higher in dry environments, lower in ABF and have a lubricating effect on the friction surface. It was observed that the layer thickness and the printing direction did not have a significant effect on the hardness, volume loss and average friction coefficient. In the wear tests, the rolled sample showed better wear performance at higher loads, while the PEEK samples produced by additive manufacturing showed better wear performance at lower loads.

KEYWORDS: PEEK, Tribology, Artificial body fluid, Additive manufacturing

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 PEEK (POLIETERETERKETON).....	3
1.2 Biyomalzeme Türleri ve Uygulama Alanları	4
1.2.1 Metal Biyomalzemeler.....	4
1.2.2 Biyopolimerler	5
1.2.3 Seramik Biyomalzemeler.....	5
1.2.4 Kompozit Biyomalzemeler	6
1.2.5 Nano Biyomalzemeler	7
1.3 Tezin Amacı	7
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	8
2.1 PEEK Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	9
3. KATMANLI İMALAT	11
3.1 Yöntem ve Tarihçe	11
3.2 Eklemeli İmalat Yöntemleri	12
3.2.1 Direkt Metal Lazer Sinterleme (DMLS).....	13
3.2.2 Eriyik Yığarak Modelleme Yöntemi (FDM)	13
3.2.3 Malzeme Püskürtme	14
3.2.4 Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat	15
3.2.5 Doğrudan Enerji Biriktirme	16
3.2.6 Elektron Işınli Ergitme.....	16
4. MATERYAL VE METOT	17
4.1 Deney Numunelerinin Üretimi	17
4.2 Sertlik Ölçümleri	18
4.3 Yapay Vücut Sıvısı Hazırlanışı Ve Kimyasal Yapısı.....	19
4.4 Pin-on-disk Aşınma Testi	21
4.5 Camsı Geçiş Sıcaklığı Tayini	22
5. DENEY SONUÇLARI	23
5.1 Sertlik Deney Sonuçları.....	23
5.2 Aşınma Deney Sonuçları.....	24
5.2.1 Baskı Yönü Dikey Olan Numunelerin Hacim Kayıp Grafikleri..	25
5.2.2 Baskı Yönü Yatay Olan Numunelerin Hacim Kayıp Grafikleri..	28
5.2.3 Haddelenmiş PEEK Numunelerinin Hacim Kaybı Grafikleri	32
5.2.4 Kuru Ortamda Baskı Yönleri Farklı Numunelerin Hacim Kaybı Grafığı	33
5.2.5 Yapay Vücut Sıvısı İçerisinde Baskı Yönleri Farklı Numunelerin Hacim Kaybı Grafığı	34
5.2.6 Sürtünme Katsayısı Grafikleri	35
5.3 Aşınmış Yüzey FESEM Analizleri	38

5.4 Camsı Geçiş Sıcaklığı Sonuçları	46
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	48
7. KAYNAKLAR.....	49
8. ÖZGEÇMİŞ	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 (a) 3D baskıdaki multifonksiyonel konseptin grafiksel gösterimi (b) Yazıcı bileşenlerinin görsel sunumu (c) Eriyik yığıma modelleme (FDM) şematik gösterimi	2
Şekil 3.1 DMLS yöntemi gösterimi (şematik)	13
Şekil 3.2 a) FDM' nin çalışma prensibi b) Ekstrüzyon kafası	14
Şekil 3.3 Malzeme püskürtme yöntemi şematik gösterimi	15
Şekil 3.4 Yapıştırıcı ile katmanlı imalat yöntemi	15
Şekil 4.1 MAGIC-HT-M cihazı	18
Şekil 4.2 Shore D sertlik ölçüm cihazı	19
Şekil 4.3 Yapay vücut sıvısı hazırlanması	20
Şekil 4.4 Aşınma cihazının gösterimi	21
Şekil 4.5 RADWAG hassas elektronik tartı	22
Şekil 5.1 Ortalama sertlik değerleri	24
Şekil 5.2 20N yük altında hacim kaybı grafiği	25
Şekil 5.3 40N yük altında hacim kaybı grafiği	26
Şekil 5.4 60N yük altında hacim kaybı grafiği	28
Şekil 5.5 20N yük altında hacim kaybı grafiği	29
Şekil 5.6 40N yük altında hacim kaybı grafiği	30
Şekil 5.7 60N yük altında hacim kaybı grafiği	32
Şekil 5.8 20N, 40N ve 60N yük altında haddelenmiş numunenin hacim kaybı grafiği	33
Şekil 5.9 20N yük altında baskı yönü farklı numunelerin hacim kaybı grafiği	34
Şekil 5.10 40N yük altında baskı yönü farklı numunelerin hacim kaybı grafiği	35
Şekil 5.11 Aşınma testi süresince kuru ortamda oluşan sürtünme katsayısı grafiği	37
Şekil 5.12 Aşınma testi süresince YVS içerisinde oluşan sürtünme katsayısı grafiği	38
Şekil 5.13 50µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (100x) ..	39
Şekil 5.14 50µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (250x) ..	40
Şekil 5.15 75µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (100x) ..	40
Şekil 5.16 75µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (250x) ..	41
Şekil 5.17 100µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (100x) ..	41
Şekil 5.18 100µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (250x) ..	42
Şekil 5.19 50µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (100x) ..	42
Şekil 5.20 50µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (250x) ..	43
Şekil 5.21 75µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (100x) ..	43
Şekil 5.22 75µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (250x) ..	44
Şekil 5.23 100µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (100x) ..	44
Şekil 5.24 100µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (250x) ..	45
Şekil 5.25 Haddelenmiş PEEK numunenin yüzey görüntüsü (100x)	45
Şekil 5.26 Haddelenmiş PEEK numunenin yüzey görüntüsü (250x)	46
Şekil 5.27 50µm katman kalınlığında üretilmiş PEEK numunenin Tg grafiği ..	47
Şekil 5.28 100µm katman kalınlığında üretilmiş PEEK numunenin Tg grafiği ..	47

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 PEEK malzemenin karakteristik özellikleri.....	4
Tablo 4.1 Numunelerin üretim parametreleri.....	17
Tablo 4.2 Yapay vücut sıvısının kimyasal içeriği.....	20
Tablo 5.1 Katmanlı imalat parametreleri için sertlik değerleri.....	23
Tablo 5.2 Kuru ortamda oluşan ortalama sürtünme katsayıları.....	36
Tablo 5.3 Yapay vücut sıvısı içerisinde oluşan ortalama sürtünme katsayıları	37

SEMBOL LİSTESİ

α	: Alfa
β	: Beta
H	: Hidrojen
N	: Azot
O	: Oksijen
Al	: Alüminyum
Cu	: Bakır
Eİ	: Eklemeli İmalat
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CNC	: Bilgisayar Sayısal Kontrol
HRC	: Hardness Rockwell C
EYM	: Eriyik Yığma Modelleme
FESEM	: Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu
DMLS	: Direkt Metal Lazer Sinterleme
YVS	: Yapay Vücut Sıvısı
FDM	: Eriyik Yığma Modelleme
SLA	: Stereolitografi
DLP	: Dijital Işık Projeksiyonu

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın ilerlemesinde tecrübesini, desteğini ve emeğini eksik etmeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Yavuz KAPLAN' a yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez çalışmalarımı yürüttüğüm Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi yetkililerine katmış oldukları katkılardan ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

MUHAMMET AKIN

DENİZLİ, 2024

1. GİRİŞ

Fiyat açısından uygun olan üç boyutlu yazıcılar, ilgili alandaki teknoloji ve malzemelerde hızlı bir gelişime neden olmuştur. Eklemeli imalat olarak bilinen üç boyutlu baskı, malzemelerin eklenmesiyle geometrik bir şekli fiziksel olarak oluşturan bir üretim tekniğidir. Geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak, bu yöntemde parçalar katman katman üretilir (Tayfun 2023).

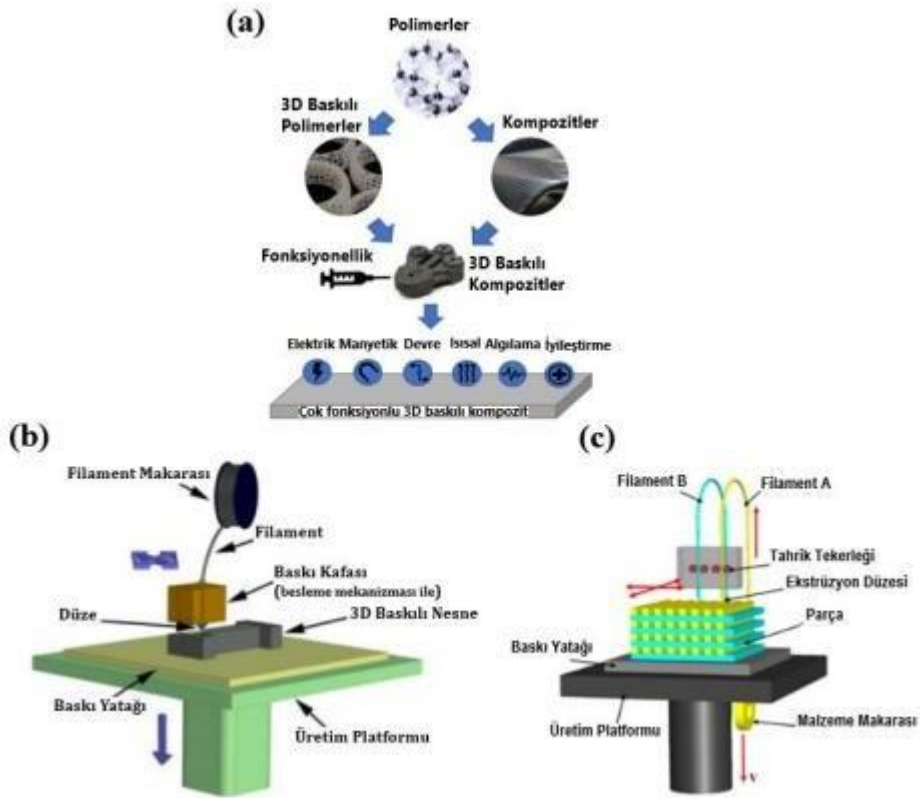
Son yarım yüzyılda katmanlı imalatın yaygınlaşmasıyla birlikte, hızlı prototipleme olarak tasarım ve modelleme, artan imalat alanına dahil edilmiştir. Çoklu üretim yöntemlerini (toz yataklı füzyon, doğrudan enerji depolama, ekstrüzyon, bağlayıcı uygulama, kütleme, laminasyon vb.) kapsar. Eklemeli üretim teknolojisinin hızlı büyümesinin nedeni düşük maliyetli makineler, çeşitli malzeme çeşitleri ve geniş araştırma kapsamıdır.

Bu yöntemden elde edilen malzemeler, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve darbeye karşı yüksek direnç dahil olmak üzere birçok fiziksel özelliğe sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı otomotiv, tıp, uzay ve havacılık, inşaat, savunma, kalıpcılık, askeri hırdavat, eğitim, gıda ve heykel gibi birçok disiplinde uygulama alanına sahiptir (Tayfun 2023).

Eklemeli imalat parça oluşturulması için kullanılan malzemelerin, katmanların birleştirilme şekillerinin ve çalışma prensiplerinin farklı olması gibi yaklaşımlarla farklı kapasite ve sonuçları olan bir üretim yöntemidir. Bu sebeple eklemeli imalat dendiğinde tek bir teknolojiden söz etmek yerine büyük oranda farklı bir grup teknolojiden söz edilir (Zorer 2023).

Metaller, seramikler, filamentler ve kompozitler 3 boyutlu baskılar için kullanılmaktadır. Endüstriyel alanda üst düzey uygulamaların metal baskıya odaklı olsada filamentlerini eklemeli imalat yönteminde kullanılmasıyla en çok tercih edilen malzeme haline gelmiştir. Hızlı üretim için en yaygın malzemeler termoplastikler, termosetler, elastomerler, hidrojel, biyolojik sistemler ve kombinasyonlarıdır (Tayfun 2023).

3D baskı süreci, Creo, Auto Cad, Catia ve Solidworks gibi CAD yazılımları kullanılarak üç boyutlu modeller oluşturmakla başlar. Üç boyutlu baskı, CAD tasarımına benzeyen hızlı bir prototip oluşturma sürecidir. FDM, SLA ve DLP en yaygın 3D yazıcı türleridir. Bu yöntemlerin her birinin, kompozit ürünün malzemesi, parametreleri veya işlevselliği ile ilişkili hem avantajları hem de dezavantajları vardır. Şekil 1.1’ de 3 boyutlu baskının grafiksel gösterimi FDM yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. Katkılı üretim sürecinde, FDM yöntemi en popüler ve basit yöntemdir. (Tayfun 2023).



Şekil 1.1 (a) 3D baskıdaki multifonksiyonel konseptin grafiksel gösterimi (b) Yazıcı bileşenlerinin görsel sunumu (c) Eriyik yığıma modelleme (FDM) şematik gösterimi

Düşük erime sıcaklığı ve yüksek akışkanlık gibi elverişli işleme özelliklerine sahip termoplastik lifler, FDM işlemi için bileşen olarak kullanılır. Belirli bir çapa sahip filamentler, bunları nozülün platforma katman katman ekstrüde edecek olan yazıcının baskı kafasına verilir ve eriyip amaçlanan son şekle katılaşana kadar devam eder.

Baskı ile ilişkili parametreler, katman ile hava arasındaki yönü, kalınlığı, açığı ve boşluğu kontrol eder (Şekil 1.1-b ve 1.1-c). Düşük maliyet, hızlı prototipleme ve prosedürün kolaylığı, FDM'nin temel avantajlarıdır. FDM tekniğinin polimerik

kompozitlerde hem dezavantajları hem de avantajları vardır; bunların en önemlisi, ekstrüzyon sırasında dolgu parçacıklarının düzgün bir şekilde dağıtılmasının zorluğudur. (Tayfun 2023).

Bu tez çalışmasının amacı, geleneksel imalat yöntemi ve katmanlı imalat yöntemi ile farklı parametreler ile üretilen PEEK numunelerinin normal şartlarda ve yapay vücut sıvısı içerisinde aşınma deneyleri sonunda mikroyapı, sertlik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi ve hem biyomedikal alanda hem de endüstride kullanılabilirliğinin incelenmesidir.

1.1 PEEK (POLIETERETERKETON)

PEEK polimeri, ilk olarak 1980'lerin başında 'ICI Advanced Materials' firması tarafından üretildi ve 'Vicat PEEK' markasıyla piyasaya sürüldü. Bu termoplastik malzeme, tam aromatik bir yapıya sahip olan karbon, hidrojen ve oksijen atomları içerir, yüksek kararlılıkta ve yarı kristalin özellik gösterir. PEEK' in termal özellikleri oldukça üstündür ve -60 °C ile 260 °C arasındaki sıcaklıklarda performans kaybı olmadan kullanılabilir. Ayrıca, PEEK rijit ve sağlam bir malzeme olarak öne çıkar; yüksek sürtünme ve aşınma direnci ile düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Bu özellikler, PEEK' in sterilizasyon ve radyasyona karşı son derece dirençli olmasını sağlar (Şafak 2001).

PEEK polimeri, geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Uçak endüstrisinden elektrik sektörüne, takım teçhizatlarından giysi parçalarına, ölçme pistonlarından sürtünmeli yataklara, yuvarlak valf contalarından petrol kuyularına ve kablo endüstrisine kadar birçok farklı alanda yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, sadece PEEK reçine olarak değil, aynı zamanda rüzgar türbini kanatları, batarya kılıfları, alev alması zor tekstil ürünleri gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır. Tablo 1.1'de PEEK malzemenin karakteristik özellikleri verilmiştir (Yılmaz, 2002). PEEK aynı zamanda lif olarak kullanılmakta olup, Polieter eter keton (PEEK) lifleri, güçlü fiziksel özellikleri ve dayanıklılığı ile birçok endüstri dalının vazgeçilmez hammadde kaynağı haline gelmiştir.

Tablo 1.1 PEEK malzemenin karakteristik özellikleri

ÖZELLİK	DEĞERİ	BİRİMİ	TEST STANDARTI
Yoğunluk	1.31	g/cm ³	ASTM D792
Çekme Mukavemeti	115	MPa	ASTM D638
Elastik Modülü	4300	MPa	ASTM D638
% Uzama	7	%	ASTM D638
Sertlik	62-89	Shore D	ASTM D785
Ergime Sıcaklığı	340	°C	ASTM D3418

1.2 Biyomalzeme Türleri ve Uygulama Alanları

Biyomalzeme olarak kullanılan malzemeler (implant, protez vb.) 7000 yıldan daha eski bir tarihe sahiptir (Dağdelen 2022). Eski çağda yapay olan bir dişi yanında ki diğer dişlerle bağlantısını sağlamak için altın teller temel bir köprü olarak kullanılmıştır. 1900'li yılların başlarında kemik plakaları, kemik dokularını onarmak ve iyileşme hızını arttırmak için başarı ile uygulanmıştır. 1950'li ve 1960'lı yıllarda ise kalça eklemleri ve yapay kalp kapakçıkları kullanılarak; damar uygulamalarında yaygın bir kullanıma sahip olmuştur (Balci 2022).

1.2.1 Metal Biyomalzemeler

Biyomalzeme sınıfı olarak da bilinen metaller, üzerine yük binen implantlar için (eklem ve kalça protezleri) en yaygın bilinen yapı iskelesidir. Örneğin, bazı ortopedik ameliyatlarda, metalik implant kullanma seçeneğini öncelikli olarak değerlendirir. Bu implantlar, basit tellerden vidalara, kırık tespit plakalarından kalça, ayak bilekleri, dizler, omuzlar gibi birçok eklem protezine kadar çeşitli malzeme gruplarını içerir. Ayrıca, kalp damar cerrahisinde, çene cerrahisinde ve diş malzemelerinde kullanılan birçok tıbbi implant uygulamasında, metalik implantlar tercih edilmektedir. Metallerin biyouyumlu malzeme olarak kullanılmasına kristal yapıları ve mekanik özellikleri avantaj sağlarken, sert ya da yüksek yoğunluktaki

özellikleri kullanımlarını olumsuz yönde etkileyebilir. Tıbbi cihaz uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan metaller ve alaşımlar arasında paslanmaz çelik (316L SS), titanyum ve alaşımları, kobalt esaslı alaşımlar ve tantal esaslı alaşımlar bulunmaktadır (Balci ve Dağdelen 2022).

1.2.2 Biyopolimerler

Tıp alanında, biyomalzeme olarak geniş bir polimer çeşitliliği kullanılmaktadır. Yüzlerce farklı polimerik malzeme üretilmiş olmasına rağmen, bunların çok azı medikal uygulamalarda (protez, dental, implant, pansuman malzemeleri) kullanılmaktadır. Bu biyomalzemeler genellikle Polistiren (PS), Polietilentereftalat (PET), Politetrafluoretilen (PTFE), Poliüretan (PU), Polietilen (PE) gibi malzemeleri içerir. Üretilen çeşitli polimer biyomalzemeler, tek kullanımlıktan uzun süreli kullanıma kadar farklı uygulama alanlarına sahiptir (Balci ve Dağdelen 2022). Bu uygulamalar genellikle yüz protezlerinden yapay kalp ve kalp destek cihazları gibi kalp bileşenlerine, protezlere, sondalara, yapay damar dokularına, kalça ve diz eklemlerine kadar uzanmaktadır. Ayrıca, tıbbi yapıştırıcılar, sızdırmazlık maddeleri ve kaplamalar için polimerik biyomalzemelerin hazırlanmasında da kullanılır. Polimerlerin fiziksel davranışı, cilt, tendon, kıkırdak ve damar duvarları gibi yumuşak dokulara benzerlik gösterdiği için eklem protezlerinde polietilen, kırık tespitinde ise polikaprolaktonun sütür, vida ve plaklarda kullanımı bu tür polimerik biyomalzeme örneklerine verilebilir (Balci ve Dağdelen 2022).

1.2.3 Seramik Biyomalzemeler

Seramikler, polimerler ve metaller günümüzde dental implantlar için yaygın olarak kullanılan malzemelerdir (Balci ve Dağdelen 2022). Tipik olarak, seramik malzemeler diş hekimliğinde tıbbi amaçlar için kullanılmıştır. Bu bileşenler arasında kronlar, harç ve yapay parçalar bulunur. Diğer uygulamalar arasında gözlük camları, termometreler ve tıbbi cihazlar üretimi yer alır.

Bazı seramik türleri, iskeleler, kemik rejenerasyonu ve eklem replasmanı dahil olmak üzere birden fazla disiplinde kullanılmıştır ve bunların hepsi malzemenin

yapısal özellikleri ve fiziksel davranışıyla uyumludur (Balci ve Dağdelen 2022). Ancak, kırılmalara karşı düşük toklukları, yük gerektiren uygulamalardaki kullanımlarını azaltır. Alümina (Al_2O_3), zirkonyum (ZrO_2), biyocam ($Na_2OCaOP_2O_3-SiO$) gibi seramikler, biyoyumlu malzemeler olarak kullanılan seramik türleri arasındadır. (Balci ve Dağdelen 2022).

1.2.4 Kompozit Biyomalzemeler

Diş hekimliği alanında, kompozit malzemeler diğer yapılara kıyasla özellikle başarılıdır. Bu malzemeler arasında biyomedikal malzemeler ve diş amalgamları bulunur. Karbon takviyeli polimerler ve karbondan yapılmış kompozitler, mekanik ve fiziksel uyumlulukları nedeniyle eklem replasmanı ve kemik onarımı alanlarında özellikle önemlidir (Balci ve Dağdelen 2022). Yapay uzuvlar için yaygın olarak kullanılan kompozit malzemeler, düşük yoğunluk/ağırlık oranına ve yüksek mukavemet kombinasyonuna sahip üstün iskeleler sağlar (Balci ve Dağdelen 2022).

Nanokompozit malzemeler, kompozit malzemelerin alt bir grubunu oluşturur ve hücre dostu mikro ortamlar sağlayarak çeşitli kompozitlerin hazırlanmasına olanak tanır. Örneğin, TiO_2 nano kaplamalar ortopedik protez implantlar da kullanılmaktadır (Balci ve Dağdelen 2022). Bu tür kompozitlerin kalça ve diz eklemlerinde aşınma ve yıpranma etkilerini kontrol etmek amacıyla yaygın olarak tercih edildiği bilinmektedir. Protez implant yüzeyine uygulanan nano yapıdaki TiO_2 , geliştirilmiş kemik mineralizasyonu üzerinde güvenilir bir etki sağlamaktadır (Balci ve Dağdelen 2022).

Klinik farmakolojik işlemlerde ise genellikle çeşitli manyetik nanoyapılar kullanılmaktadır. Bu yapılardan biri olan TiO_2 nano kaplamalar, hücrelerin biyokimyasal ve fizyolojik ortamını değiştirerek gelişmiş zar geçirgenliği ile yüklü parçacıkları hücreye taşıma işlevini yerine getirir (Balci ve Dağdelen 2022).

1.2.5 Nano Biyomalzemeler

Nano boyutlardaki biyomalzemeler, çeşitli vücut proteinleri, doku ve organ reseptörleri ile DNA'ya yapısal olarak benzerlik göstererek biyomedikal uygulamalarda daha uzun bir hizmet ömrü sunabilen malzemelerdir. Bu tür biyomalzemelerin boyutları 10-100 nm aralığında olmalıdır. Ancak, 10 nm'nin altındaki boyutlarda oldukça toksik ve reaktif olabilirler. Nano biyomalzemeler, çeşitli vücut reseptörleri ile serbestçe etkileşime girebilme özelliğine sahiptir ve hücre zarından hızla geçebilirler (Balci ve Dağdelen 2022).

Bu malzemeler, nano ilaç dağıtım sistemlerinde, gen terapilerinde, kanser tedavilerinde, doku mühendisliğinde ve ortopedik implantasyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu tür nano boyutlu malzemelerin kullanımında dikkatli olunmalıdır, çünkü çok küçük boyutları nedeniyle toksik etkilere yol açabilirler. Bu nedenle, nano biyomalzemelerin tasarımı ve kullanımı, biyo-uyumluluk ve güvenlik açısından titiz bir değerlendirmeyi gerektirir (Balci ve Dağdelen 2022).

1.3 Tezin Amacı

Bu tez çalışması, eklemeli imalat yöntemi kullanılarak PEEK (Polyether Ether Ketone) filament malzemesi ile üretilen numunelerin aşınma özelliklerini etkileyen farklı üretim parametrelerini incelemeyi amaçlanmıştır. Numunelerin sertliği, hacim kaybı, sürtünme katsayısı üzerinden karşılaştırmaları yapılarak incelenmiştir.

Bu amaç doğrultusunda, tez kapsamında öncelikle eklemeli imalatın temel prensipleri ve PEEK filament malzemesinin özellikleri literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra, farklı üretim parametrelerinde üretilen PEEK numuneler ile geleneksel yöntemle üretilen (haddeleme) PEEK numuneler laboratuvar ortamında test edilip aşınma özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada eklemeli imalat teknolojisinin PEEK filament malzemesi üzerindeki etkilerini anlamak ve endüstriyel uygulamalarda kullanılacak dayanıklı ve yüksek performanslı malzemelerin üretimini teşvik etmek amacıyla önemli bir katkı sağlamayı hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Katmanlı imalat ile üretimde seramik, metaller, alaşımlar gibi birden fazla malzemenin kullanımı ile çeşitli ürünler üretilmektedir. Günümüze kadar gelen süreçte fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından iyi olduğu için metal tozlarının kullanım oranı oldukça artmıştır. Yapılan çalışmalarda kullanılan bu alaşım tozu ile üretilen parçalara yapılan ikincil işlemlerin (ısıtma işlemi, kumlama vb.) kimyasal ve mekanik açıdan özelliklerine etki ettiği gözle görülür bir şekilde belirtilmiştir (Yaşar 2023).

Eklemeli imalatta üretilen malzemelerden istenilen özelliklerin elde edilmesinde malzemelere ait üretim parametreleri büyük önem taşımaktadır. Örgü yöntemi ve baskı yönü diğer parametreler arasında yer almaktadır. İncelemelere göre %10 esneme oranına sahip numuneler oluşturularak statik etkiye maruz bırakılmıştır. Çekme testi sonuçları, en yüksek çekme mukavemetinin dikey olarak yerleştirilen numunelerde jiroid örgü yöntemi ile elde edildiğini, en düşük çekme mukavemetine sahip olan ise doğrusal örme yöntemi ile yatay numunelerde elde edildiğini gösterdi (Karakoç 2023).

Eklemeli İmalat ile engelli veya uzuvları eksik olan insanların yaşam kalitesini arttırmak ve hayatlarını daim etmelerini sağlamak için bir araştırma yapılmıştır. Ampute hastalarının yaşam kalitesini artırmayı hedefleyen bir çalışma, hafif, yüksek mukavemetli, düşük maliyetli ve kolay erişilebilir bir diz altı protez bacak modelinin geliştirilmesini ve eklemeli imalat yöntemiyle üretilmesini amaçlar. Çalışmanın ilk aşamasında, antropometrik verilere dayalı olarak çocuklar için eklemsiz tek parça bir protez bacak modeli tasarlanmıştır.

İkinci aşamada, ayakta durma, yürüme, merdiven çıkma ve inme gibi aktivitelerdeki yüklenme ve sınır koşulları göz önünde bulundurularak yapısal analizler gerçekleştirilmiş ve topoloji optimizasyonu kullanılarak protez modeli geliştirilmiştir. Üçüncü aşamada, optimize edilmiş protez model, desteksiz eklemeli imalat için modifiye edilmiş ve sonrasında soket ve topuk bölümleri eklenmiştir. Dördüncü aşamada ise, nihai protez bacak modeli termoplastik poliüretan (TPU) filament kullanılarak bir FDM 3B yazıcıda üretilmiştir. Geliştirilen protez bacak modeli, 8.67 güvenlik faktörüne sahiptir ve ilk modele göre %45.33 daha hafif olup, üretim sırasında %45 daha az malzeme kullanımı sağlanmıştır (Özmen 2023).

Katmanlı imalat teknolojilerinde, eklemeli imalatı diğerlerinden ayıran özellikler, katmanların birbiriyle kaynaşma şekilleridir. Daha detaylı incelendiğinde, üretim parametreleri arasında lazer tarama hızı, gücü ve katman kalınlığı gibi faktörler malzeme çeşitliliği açısından farklılık göstermektedir (Ning 2005).

2.1 PEEK Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Bu araştırmada, gıda sektöründe hali hazırda kullanılmakta olan poli-eter-eter-eton, %30 cam fiber eklemeli poli-eter-eter-eton, %30 eklemeli fiber takviyeli poli-eter-eter-eton ve performans olarak yüksek HPV-PEEK kompozitlerinin alüminyum ve çelik disk malzemeleri üzerindeki sürtünme ve aşınma davranışları gözlemlenmiştir.

Artan yükler altında, saf PEEK ve kompozit malzemelerin çelik ve alüminyum disklerle etkileşiminde sürtünme katsayılarının değiştiği gözlemlenmiştir. HPV-PEEK kompozitinde en düşük sürtünme katsayısı elde edilirken, saf PEEK polimerinde en yüksek sürtünme katsayısı kaydedilmiştir.

Hem çelik hem de alüminyum disklerle temas halinde çalışan saf PEEK ve PEEK kompozitlerinin spesifik aşınma oranları, kayma hızının artmasıyla artarken uygulanan yükün artmasıyla azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, HPV-PEEK kompozitinde en düşük spesifik aşınma oranı, saf PEEK polimerinde ise en yüksek spesifik aşınma oranı tespit edilmiştir. Çalışma, PEEK ve PEEK kompozitlerinin tribolojik özelliklerinde, çelik disk malzemesinin alüminyum disk malzemeye göre daha az aşınmaya yol açtığını ortaya koymuştur (Güler 2019).

Araştırma sonucunda PEEK üst seviye bir malzeme olarak adlandırılan bir polimerdir. Bu araştırmada malzemenin karakteristik yapısında etkili iki parametreye değinilmiştir. İlk olarak eklenen malzemenin etkileri, ikinci olarak malzemenin mikro yapısının PEEK ve kompozitlerin üzerindeki etkileri üzerinde durulmuştur. Bu iki numuneye de ısıl işlemler uygulanıp bekletilerek farklı moleküler yapıların oluşması sağlanmıştır. Numunelerde % kristallenme ve transkristalin üst katmanlarında artan tabaka oluşumunu incelenmiştir (Yılmaz 2002).

PEEK polimeri üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok sektörde kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada PEEK polimerinin yapay vücut sıvısının içerisinde biyouyumluluk şartları altında aşınma testleri yapılmış ve başarılı olunmuştur. Henüz literatürde eklemeli imalat ile üretilen PEEK polimerinin biyouyumluluğuyla ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Hem geleneksel imalat yöntemi ile sanayi uygulamalarında hem de eklemeli imalat ile medikal alanda biyouyumluluğu sayesinde literatürdeki boşlukların doldurulacağı düşünülmektedir.

3. KATMANLI İMALAT

3.1 Yöntem ve Tarihçe

Eklemeli imalat, nesnelerin üç boyutlu (3B) geometri verileri kullanılarak metal, plastik, kompozit ve organik malzemelerle üretildiği pratik bir imalat yöntemidir. Başlangıçta hızlı prototipleme olarak bilinen bu yöntem, öncelikle prototip üretiminde kullanılmıştır. 1980'lerde, Stereolitografi teknolojisiyle geliştirilen bu yöntem, ilk olarak 3B Systems firması tarafından tanıtılmıştır. Bu dönemde birçok Eİ yöntemi geliştirilmiş ve birçok patent başvurusunda bulunulmuştur (Danforth ve Safari 1996; Wohlers ve Gornet 2014; Jacobs 1992).

Katmanlı imalat, otomatik bir üretim prosesi olup, katman teknolojisine dayanır ve iki temel alt prosesi bir araya getirir. Bu iki proses, parçanın oluşturulması için her katmanın fiziksel olarak üretilmesi ve ardışık katmanların birleştirilmesi şeklinde gerçekleşir. Katmanlı imalat süreci, genellikle parçanın 3B verilerini içeren sanal ürün modeline dayanır. Bu süreçte, sadece geometri değil, aynı zamanda parçanın malzeme özelliklerinin de üretim sürecinde dikkate alınması, katmanlı imalatın önemli bir özelliğidir (Çınar 2022).

Katmanlı imalat, gelişen teknolojiler arasında yer alan bir yöntemdir. Bu yöntemle, kesitsel tabakaları aşağıdan yukarıya doğru ekleyerek nesne oluşturulabilir. Katmanlı imalat süreci, nesnenin 3B modeliyle başlar ve genellikle bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı kullanılarak tasarlanır. Sonrasında, 3B model STL biçimli dosyaya dönüştürülür. Ardından, dilimleme yazılımları ile model katmanlara ayrılır ve katmanlı imalat makinesine gönderilmek üzere bir bilgisayar dosyası oluşturulur. Katmanlı imalat makinesi, her katmanı malzemenin seçici olarak yerleştirilmesi veya şekillendirilmesi yoluyla nesneyi oluşturur. Örneğin, geri dönebilen bir inkjet yazıcı düşünebiliriz; bu tür bir makine, malzemeyi üst üste ekleyerek orijinal çalışmalarını 3D nesnelere dönüştürmek için katmanlar halinde kullanır (Aslan 2023).

Avantajlar;

- Kolay tasarıma sahip olması,
- Üretimi zor olan karmaşık geometriye sahip parçaların üretimi,
- Maliyet açısından ekonomik olması,
- Talaş miktarının az olması,
- Üretim yapılırken tüm parametrelere ulaşım kolaylığı,
- Sayısal işlem kontrol kolaylığı sağlaması,
- Kişisel ürünlerin üretimine olanak sağlaması;

Dezavantajları;

- Gözenekli yapıya sahip olmasının bazı parçalar üzerinde olumsuz etki yaratması,
- Geleneksel imalat yöntemlerine göre daha boyutsal olarak kısıtlamaya maruz kalması,
- Seri üretimde kullanılmak istendiğinde maliyet olarak seviyelerin üst düzeylere çıkması ve üretim hızının yavaş kalması,

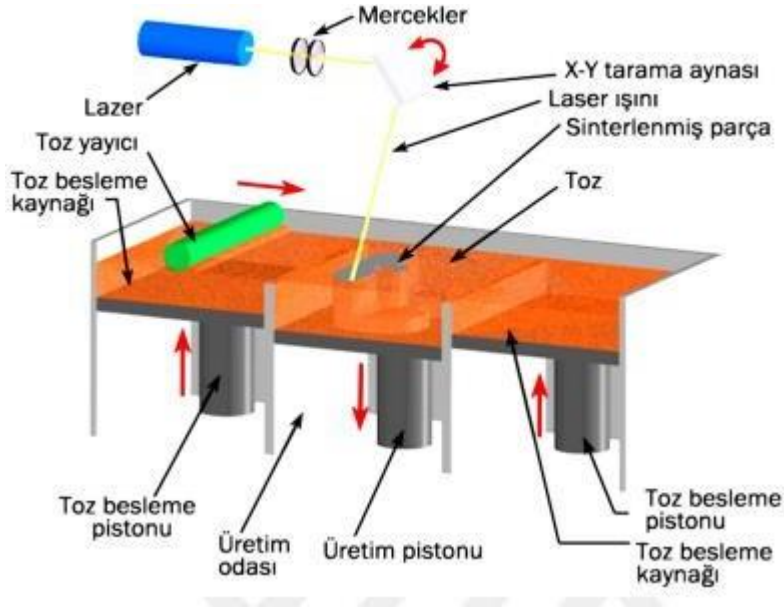
3.2 Eklemeli İmalat Yöntemleri

Hızlı prototipleme, ileri imalat yöntemlerinin üç temel kategorisine ayrılmıştır: eklemeli, çıkarmalı ve biçimlendirici. Çıkarmalı imalatta, frezeleme, delme ve tornalama gibi işlemlerle parçadan talaş kaldırılarak üretim gerçekleştirilir. Bu yöntem, iş parçasının konumlandırılması ve takımların değiştirilmesi gibi işçilik gerektirirken, daha basit geometrilerin üretilebileceği ancak üretim süresinin kısa olmadığı bilinmektedir. Biçimlendirici imalat yöntemlerinde ise, şekilsiz ham maddelerin belirli bir forma sokulması için mekanik kuvvet kullanılır. Eklemeli imalat, diğer yöntemlerden farklı olarak, özel ekipman veya ek araçlar olmadan istenilen geometride üretim yapılmasına olanak tanır. Bu yöntem, geniş bir malzeme çeşitliliğiyle kullanılarak üst düzey performanslı nihai ürünler elde etmeyi mümkün kılar (Yücel 2021).

3.2.1 Direkt Metal Lazer Sinterleme (DMLS)

Bu araştırmada ele alınan örnekler, Direkt Metal Lazer Sinterleme (DMLS) adı verilen bir yöntemle üretilmiştir. DMLS, toz yatağı füzyonu kategorisine dahil olan katmanlı imalat yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, metal parçaların 3B CAD verilerinden doğrudan üretimini sağlar ve işleme gereksinimini ortadan kaldırır. Metal alaşımlarının tozları, DMLS prosesi için ana bileşenlerdir.

DMLS tekniği, genellikle paslanmaz çelik, kobalt, krom ve inconel gibi dayanıklı metal ve alaşımlarla kullanılarak yüksek dayanıklılığa sahip parçaların üretilmesinde tercih edilir. Havacılık, otomotiv, tıbbi cihazlar, kalıpcılık ve turbo makineleri gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, karmaşık geometrilere sahip parçaların seri üretimini kolaylaştırırken aynı zamanda tasarım özgürlüğü sunar. Şekil 3.1' de DMLS yöntemi Şematik olarak gösterilmiştir (Çınar 2022).

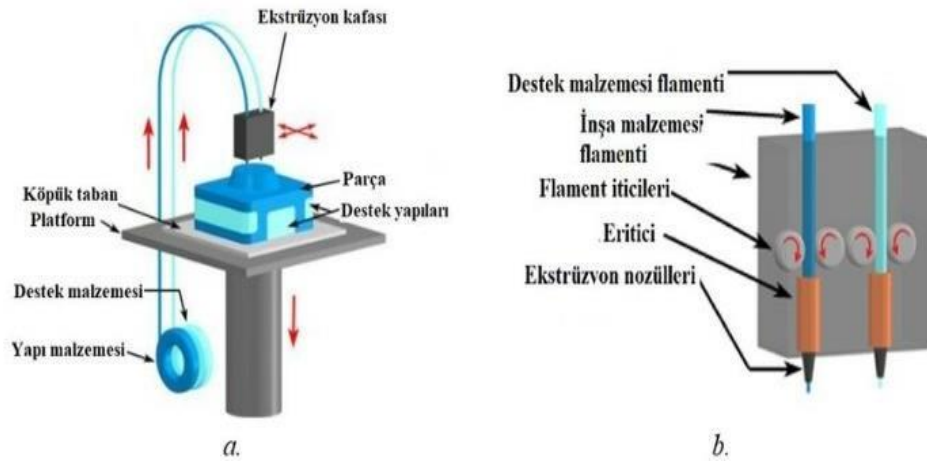


Şekil 3.1 DMLS yöntemi gösterimi (şematik)

3.2.2 Eriyik Yığarak Modelleme Yöntemi (FDM)

Oldukça sık rastlanan bir eklemeli imalat yöntemi olan FDM, 2000'li yılların ortalarında mucitlerin patent haklarının dolmasıyla birlikte hızla yaygınlaşmıştır. Bu

yöntem, ev kullanıcıları için bile erişilebilir ve uygun maliyetlidir. Genellikle FDM olarak kısaltılan bu teknoloji, 3D baskı dünyasında oldukça yaygın olarak bilinir ve kullanılır (Çelik ve Özkan 2017). Bu süreçte, uygun filament formundaki malzeme, kesit geometrisini izleyen Bir nozuldan geçirilir ve ısıtılır, ardından ekstrüzyon işlemi başlar. İhtiyaca bağlı olarak, filament yerine plastik granülleri veya mum formları da kullanılabilir. Nozulda, termoplastik malzeme ergime noktasının hemen üzerinde bir sıcaklıkta tutulur. Isıtılarak akışkan hale getirilen plastik malzeme nozuldan akar.

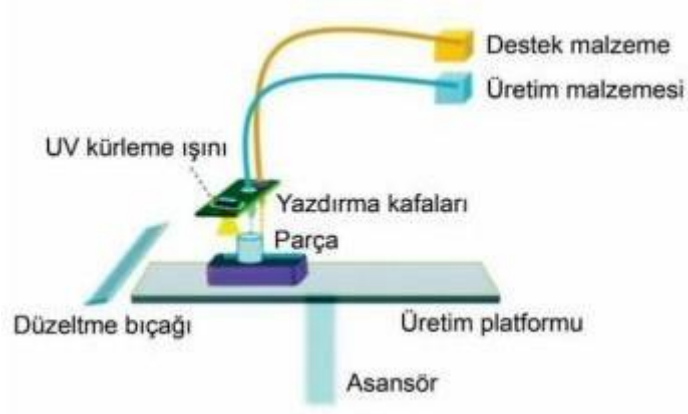


Şekil 2.2 a) FDM' nin çalışma prensibi b) Ekstrüzyon kafası

Nozuldan çıktıktan sonra hızla katılaşıyor ve alttaki katmana yapışıyor, böylece bir katman oluşur. Bir katman tamamlandıktan sonra, platform katman kalınlığı kadar aşağıya indirilir. Sonrasında, ekstrüzyon nozulu bir sonraki katmanı benzer işlemlerle oluşturur. FDM yönteminin çalışma prensibi şekil 3.2' de gösterilmiştir. Katman kalınlığı ve düşey boyut hassasiyeti, ekstrüzyon nozulunun çapına bağlıdır. Ekstrüzyon kafası XY düzleminde hareket ederken, platform yukarı-aşağı veya ileri-geri hareket edebilir. Nozuldan çıkan sıcak filament sayesinde, her adımda katmanlar sıkıca birbirine yapışır (Yücel 2021).

3.2.3 Malzeme Püskürtme

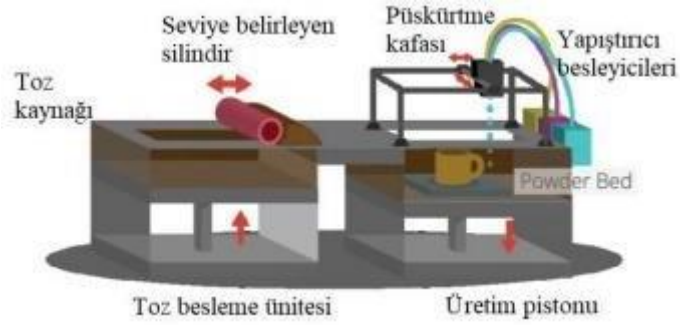
Malzeme püskürtme işlemi, sıvı foto polimer malzemenin damlacık şeklinde püskürtülerek UV ışınları yardımıyla katılaştırılması prensibine dayanır. Üretim yöntemi şematik olarak Şekil 3.3' de verilmiştir. Bu yöntemde kullanılan malzemeler arasında ABS, PLA, poliamid ve çeşitli kompozitler bulunmaktadır (Aydın 2022).



Şekil 3.3 Malzeme püskürtme yöntemi şematik gösterimi

Parçacık püskürtme (NPJ) ve DOD (Drop and Demand) gibi teknikler de, malzeme püskürtme esasına dayalı olarak geliştirilmiş 3B üretim yöntemleridir. Malzeme püskürtme işleminin sağladığı avantajlar arasında çoklu malzeme kullanımı ve azalan atık miktarı vurgulanırken, dezavantajlar genellikle fotopolimer malzemelerin tercih edilmesi ve destek malzemesine olan ihtiyaç olarak sıralanabilir.

3.2.4 Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat



Şekil 3.4 Yapıştırıcı ile katmanlı imalat yöntemi

Toz halindeki madde, silindirler vasıtasıyla üretim platformuna aktarılır ve ardından hem x hem de y eksenlerinde taşınır. İnşa edilecek yapının başlangıç kotu modelin kalınlığına göre ayarlandıktan sonra katmanların üst üste eklenmesiyle yapı oluşturulur. Yapıştırıcı ile katmanlı imalat yöntemi Şekil 3.4' de gösterilmiştir (Yıldırım 2022). Toz ve sıvının bir araya gelmesiyle nihai ürün elde edilir ve bu üretim döngüsü, süreç tamamlanıncaya kadar devam eder. Bu tekniğin artıları ve eksileri göz önüne alındığında uzmanlar, bunun daha geniş bir yelpazede yapıştırıcı tozların,

özellikle de metal veya seramikten oluşmaların kullanılmasına olanak sağladığını ve bunun da daha hızlı üretim süreleri sağladığını ileri sürüyor.

3.2.5 Doğrudan Enerji Biriktirme

Doğrudan enerji biriktirme yönteminde, çok eksenli bir kola bağlı bir nozul, erimiş malzemeyi belirlenmiş bir yüzeye biriktirir, bu yüzey daha sonra sertleşir. Bu teknoloji, seçici lazer eritme işleminden daha üretkendir ve daha büyük bileşenler üretebilir, ancak tasarım özgürlüğü daha az sınırlıdır: örneğin, kafes yapıları ve iç kanallar mümkün değildir.

3.2.6 Elektron Işınli Ergitme

Elektron ışını eritme yöntemi, yüksek derecede eritme ve üretkenlik elde etmek için gerekli enerjiyi üreten güçlü bir elektron ışınına dayanır. Elektron ışını, kontrolünde hızlı ve doğru olan manyetik alanlar tarafından yönlendirilir. Elektron ışını eritme prosedürü vakumda ve yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştirilir, bu da gerilimsiz bileşenler üretir. Elektron ışını, yığındaki her katman için tüm toz yatağını, katmana özgü malzeme için optimum bir sıcaklığa eşit şekilde ısıtır. Bu nedenle, EBM işlemiyle üretilen parçalar düşük bir kalıntı gerilim konsantrasyonuna sahiptir ve martensitik yapılardan yoksun bir mikro yapıya sahiptir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Deney Numunelerinin Üretimi

Bu çalışmada Ø10x20 mm ölçülerinde PEEK filament deney numuneleri FDM eklemeli imalat yöntemiyle Imai Intellegent Technology Co. Ltd. firmasında MAGIC marka HT-M model 3 Boyutlu printer ile birbirinden farklı üretim parametreleri kullanarak üretimi gerçekleştirilmiştir. PEEK filament biyouyumluluk ve mekanik özellikleri açısından iyi bilinen bir filament türüdür. Bu filament birçok yüksek performanslı uygulama için idealdir. Numunelerin üretiminde kullanılan 3B yazıcı Şekil 4.1’ de ve kullanılan parametreler Tablo 4.1’ de verilmiştir. Numuneleri üretirken doluluk oranı %100 olarak seçilmiştir. Üretim esnasında ki Tabla sıcaklığı 150°C ve nozul sıcaklığı 450°C’ ye kadar çıkmaktadır.

Tablo 4.1 Numunelerin üretim parametreleri

Numune numarası	ÇAP (mm)	Uzunluk (mm)	Baskı Yönü	Katman Kalınlığı (µm)	ADET
1	10	20 mm	Dikey	50 µm	3
2	10	20 mm	Dikey	75 µm	3
3	10	20 mm	Dikey	100 µm	3
4	10	20 mm	Yatay	50 µm	3
5	10	20 mm	Yatay	75 µm	3
6	10	20 mm	Yatay	100 µm	3
7	10	20 mm	Geleneksel İmalat Yöntemi (Haddelme)		3

Bu tez çalışmasında, numunelerin yapılma aşamasında yukarıda açıklanan ifadeler göz önünde bulundurularak ve literatür çalışmaları incelenerek hem eklemeli imalat hem de geleneksel imalat yöntemiyle üretilmiş PEEK numunelerin kuru ve yapay vücut sıvısı ortamındaki tribolojik özellikleri incelenmiştir.

Imai Intellegent Technology Co. Ltd. firmasında MAGIC marka HT-M model 3B yazıcı ile PEEK filament kullanılarak Ø10 x 20 mm ölçülerinde 18 adet numune üretilmiştir. Bu üretimde kullanılan MAGIC-HT-M yazıcı Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1 MAGIC-HT-M cihazı

Kullanılan malzemenin özelliğine bakılarak 220x220x220 mm tabla ölçülerinde baskı sıcaklığı 450 °C de ve tabla sıcaklığında 150 °C de sıcaklık değerlerinde üretim gerçekleşmiştir.

4.2 Sertlik Ölçümleri

FDM yöntemi ve geleneksel haddeme yöntemiyle elde edilen numunelerin sertliği, Shore D ölçümü yapabilen LEVERLOADER marka cihazda ölçülmüştür. Instrumen & Mfg. Co. Freeport markasının sertlik ölçeri Şekil 4.2 'de gösterilmiştir. Sertlik ölçümü numune yüzeyinden üç farklı noktada yapılmış ve üç değerın ortalaması ölçüm sonucu için temel alınmıştır.



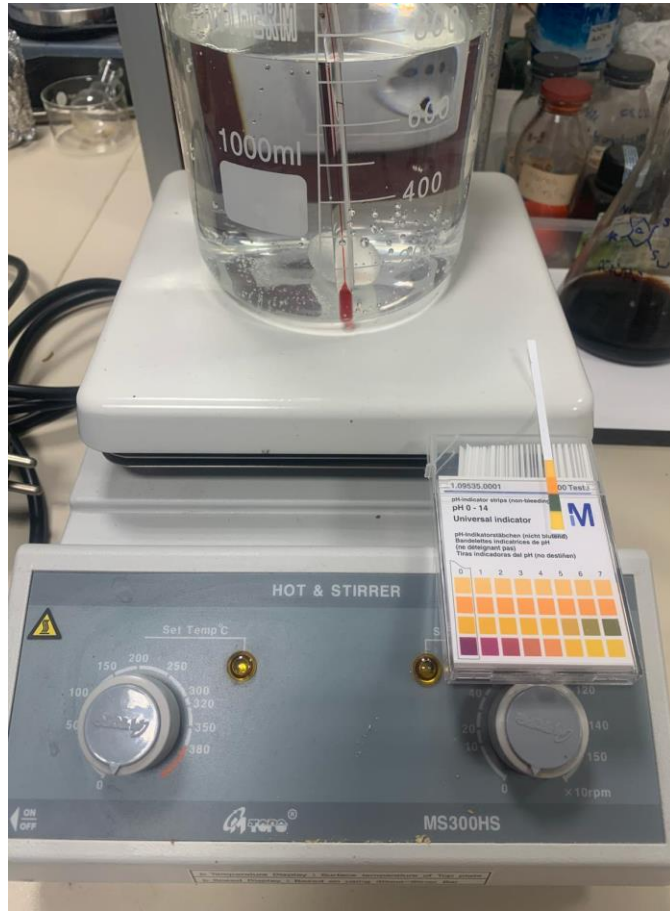
Şekil 4.2 Shore D sertlik ölçüm cihazı

4.3 Yapay Vücut Sıvısı Hazırlanışı Ve Kimyasal Yapısı

Tablo 4.2’ de verilen kimyasal maddeler verilen sırada ve birer birer beher içinde 175 ml deiyonize suya katılarak çözülür. Ancak yaklaşık 10 ml hazırlanan 1M HCl çözeltisinin 3.75 ml’si 6 no’ lu madde katılmadan hemen önce çözeltiliye eklenir. Aksi halde çözeltilide bulanıklık oluşur. Geriye kalan HCl, titrasyon boyunca çözeltiliye katılır. 8 no’ lu madde katıldıktan sonra çözeltili sıcaklığı ortam sıcaklığından vücut sıcaklığı olan 37°C’ye yükseltilir. Bu sıcaklıkta 1 M HCl ile pH=7.4 değerinde sabit tutulacak şekilde deiyonize su ile son hacim olan 250 ml ye ulaşınca kadar seyreltme yapılarak YVS hazırlanmıştır.

Tablo 4.2 Yapay vücut sıvısının kimyasal içeriği

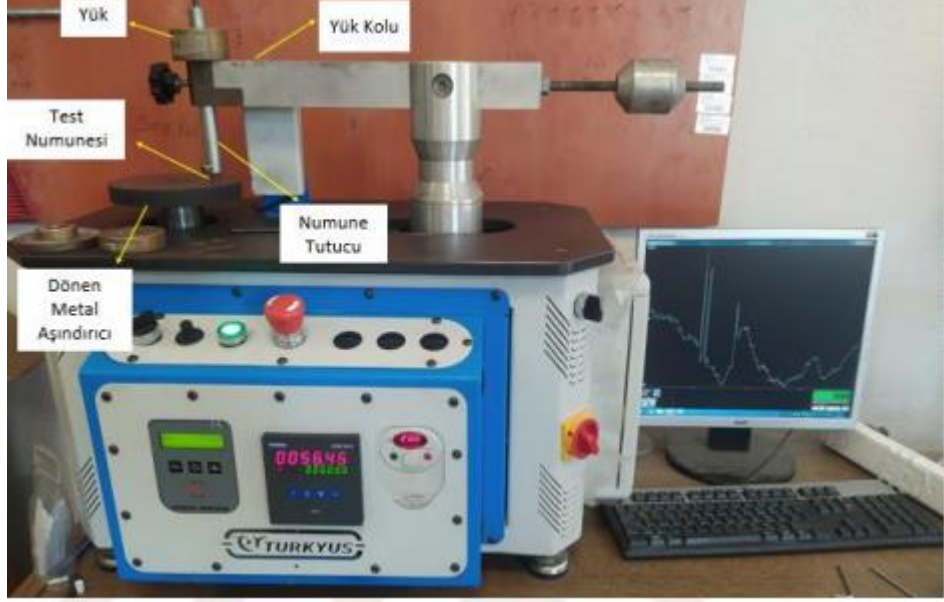
Numara	Kimyasal Madde	g/1	Mg/250 ml
1	NaCl	6.547	1.6368
2	NaHCO ₃	2.268	0.5670
3	KCl	0.378	0.0933
4	Na ₂ HPO ₄ ·2H ₂ O	0.178	0.0445
5	MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.305	0.0763
6	CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.368	0.0920
7	Na ₂ SO ₄	0.071	0.0178
8	(CH ₂ OH) ₃ CNH ₂	6.057	1.5143



Şekil 4.3 Yapay vücut sıvısı hazırlanması

4.4 Pin-on-disk Aşınma Testi

Aşınma testleri Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Atölyesinde bulunan pin-on-disk aşınma cihazında hem kuru hem de yapay vücut sıvısı ortamında gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi cihazının görseli Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 Aşınma cihazının gösterimi

Aşınma deneyleri 2m/s kayma hızında 20N, 40N ve 60N yük altında 60 dk kayma süresinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ağırlık kayıpları Şekil 4.5’ de verilen RADWAG model NAS 220/C/2 marka elektronik tartıda ölçümleri yapılarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5 RADWAG hassas elektronik tartı

Hacim kaybı, sürtünme katsayısı değerlerini hesaplamak için aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır. Aşınma deneyleri sonunda ölçülen ağırlık kayıpları denklem (5.1)'de verilen eşitlikle hacim kaybına çevrilmiştir.

$$\text{Hacim kaybı (mm}^3\text{)} = (\text{g} / (\text{g/cm}^3)) \times 1000 \quad (5.1)$$

Sürtünme (μs) katsayısı; Denklem 5.2 kullanılarak Sürtünme kuvvetinin (F_s), uygulayan normal kuvvete (F_n) bölümden elde edilmiştir.

$$\text{Sürtünme katsayısı } (\mu\text{s}) = F_s / F_n \quad (5.2)$$

4.5 Camsı Geçiş Sıcaklığı Tayini

Farklı katman kalınlığında üretilen PEEK numunelerin camsı geçiş sıcaklığı tayini Pamukkale Üniversitesi İleri Araştırmalar Merkezinde dinamik mekanik analiz (DMA) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

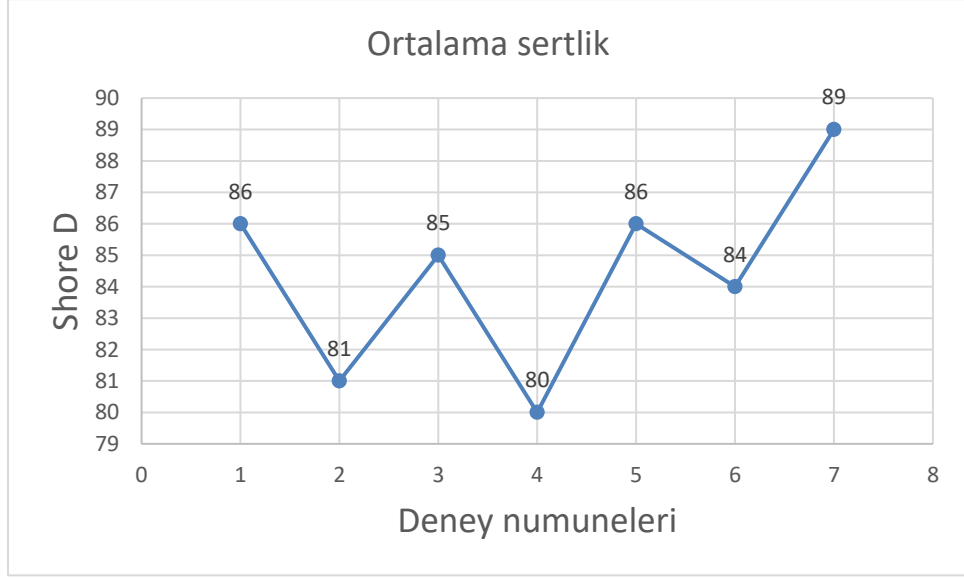
5. DENEY SONUÇLARI

5.1 Sertlik Deney Sonuçları

Farklı parametrelerde FDM teknolojisi ile üretilen ve geleneksel yöntemle üretilen numunelerin sertlik değerleri Tablo 5.1’ de ve Şekil 5.1’de verilmiştir. Farklı parametrelerle eklemeli imalat yöntemiyle üretilen ve geleneksel yöntemle üretilen PEEK numunelerin sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Tüm deney numuneleri içerisinde en düşük sertlik 80 Shore D ile 4 numaralı yatay baskı yönlü 50 µm katman kalınlığındaki numunede elde edilmiştir. En yüksek sertlik ise 89 Shore D ile geleneksel yöntemle üretilen-haddelenmiş numunede ölçülmüştür. Bunlara ek olarak baskı yönünün ve katman kalınlığının PEEK malzemenin sertliği üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Tablo 5.1 Katmanlı imalat parametreleri için sertlik değerleri

Numune numarası	ÇAP (mm)	Uzunluk (mm)	Baskı Yönü	Katman Kalınlığı (µm)	Ortalama Sertlik (Shore D)
1	10	20 mm	Dikey	50 µm	86
2	10	20 mm	Dikey	75 µm	81
3	10	20 mm	Dikey	100 µm	85
4	10	20 mm	Yatay	50 µm	80
5	10	20 mm	Yatay	75 µm	86
6	10	20 mm	Yatay	100 µm	84
7			Haddelenmiş		89



Şekil 5.1 Ortalama sertlik değerleri

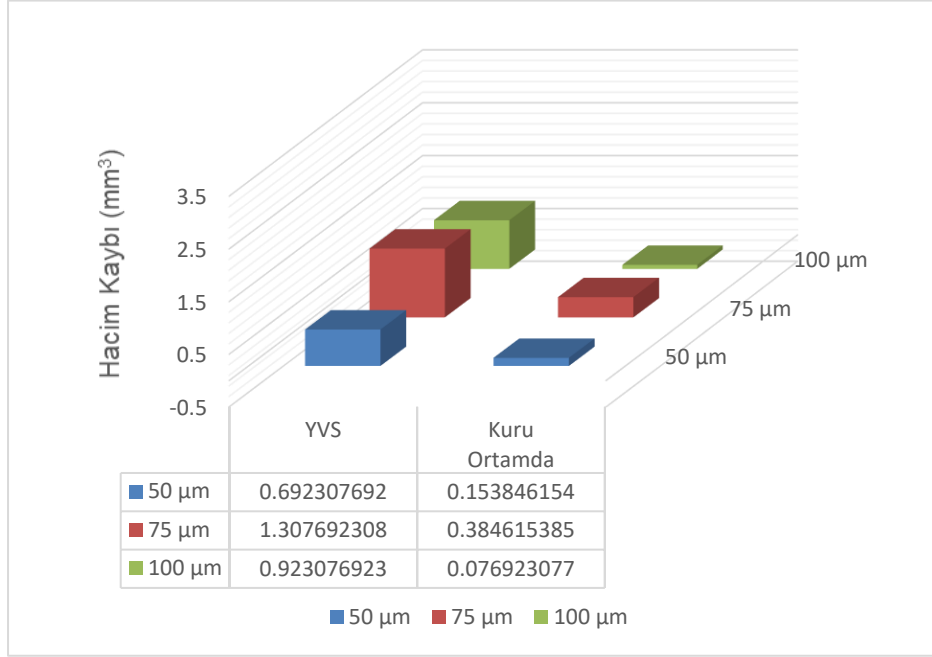
5.2 Aşınma Deney Sonuçları

Farklı FDM parametreleri kullanılarak baskı yönü dikey şekilde üretilen PEEK numunelerin aşınma test sonuçları Şekil 5.2’ de verilmiştir. Şekil 5.2’ de 20N yük altında yapay vücut sıvısı içerisinde ve normal şartlarda yapılan aşınma deneyleri sonucu elde ettiğimiz hacim kaybı verileri grafik halinde gösterilmiştir.

Hacim kaybının en düşük olduğu dolayısıyla en yüksek aşınma direnci gösteren PEEK numune 0.076 mm³ ile 100 µm katman kalınlığı ile kuru ortam içerisinde, hacim kaybının en yüksek olduğu dolayısıyla en düşük aşınma direncinin olduğu PEEK numune ise 1.3 mm³ ile 75 µm katman kalınlığında YVS içerisinde elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilmiş-haddelenmiş numunede 20N yük altında hacim kaybı kuru sürtünme koşullarında 1.15 mm³ YVS altında 1.6 mm³ olarak hesaplanmıştır.

Deney şartları içerisinde en büyük etkiyi aşınma ortamının gösterdiği aşınma testi sonuçlarında görülmüştür. YVS altında yapılan aşınma testlerinde hacim kaybı değerleri kuru sürtünme şartlarına göre çok daha yüksektir. Bunun sebebinin YVS içerisinde bulunan kimyasal bileşikler olduğu düşünülmektedir. YVS altındaki aşınma testi sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlar korozyona sebep olmuş olabilir. Ayrıca YVS içerisinde bulunan mikron düzeyindeki elementler de aşınmayı hızlandırmış

olabilir. Eklemeli imalat parametreleri açısından incelendiğinde ise belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak eklemeli imalat ile üretilen ve geleneksel yöntemle üretilen-haddelenmiş numunelerin hacim kaybı sonuçları karşılaştırıldığında 20N yük altında hem kuru sürtünme hem de YVS şartlarında eklemeli imalat ile üretilen PEEK numuneler daha az hacim kaybına uğramıştır.



Şekil 5.2 20N yük altında hacim kaybı grafiği

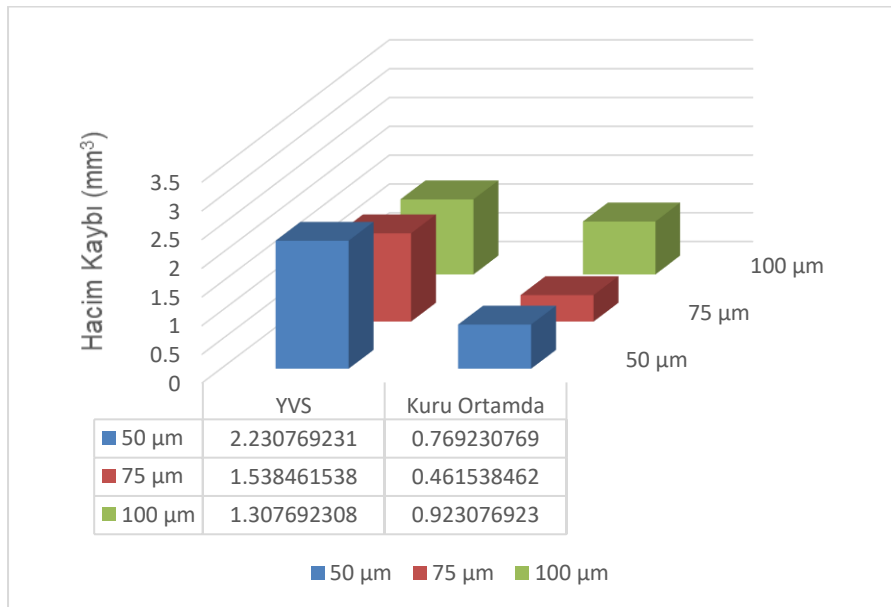
5.2.1 Baskı Yönü Dikey Olan Numunelerin Hacim Kayıp Grafikleri

40N yük altında yapay vücut sıvısı içerisinde ve normal şartlarda yapılan deneylerden elde edilen hacim kayıpları verileri Şekil 5.3’de grafik halinde sunulmuştur. Grafik incelendiğinde farklı µm değerlerinde ki hacim kayıpları grafikte net bir şekilde görülmüştür. Sonuç olarak ise en düşük hacim kaybı değerlerini baskı yönü dikey 75 µm kuru ortam içerisinde, en yüksek hacim kaybı değerlerini ise 50 µm yapay vücut sıvısı elde edilmiştir.

Hacim kaybının en düşük olduğu dolayısıyla en yüksek aşınma direnci gösteren PEEK numune 0.46 mm³ ile 75 µm katman kalınlığı ile kuru ortam içerisinde, hacim kaybının en yüksek olduğu dolayısıyla en düşük aşınma direncinin

olduğu PEEK numune ise 2.23 mm³ ile 50 µm katman kalınlığında YVS içerisinde elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilmiş-haddelenmiş numunede 40N yük altında hacim kaybı kuru sürtünme koşullarında 1.38 mm³ YVS altında 1.76 mm³ olarak hesaplanmıştır.

Deney şartları içerisinde en büyük etkiyi aşınma ortamının gösterdiği aşınma testi sonuçlarında görülmüştür. YVS altında yapılan aşınma testlerinde hacim kaybı değerleri kuru sürtünme şartlarına göre çok daha yüksektir. Bunun sebebinin YVS içerisinde bulunan kimyasal bileşikler olduğu düşünülmektedir. YVS altındaki aşınma testi sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlar korozyona sebep olmuş olabilir. Ayrıca YVS içerisinde bulunan mikron düzeyindeki elementler de aşınmayı hızlandırmış olabilir. Eklemeli imalat parametreleri açısından incelendiğinde ise belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak eklemeli imalat ile üretilen ve geleneksel yöntemle üretilen-haddelenmiş numunelerin hacim kaybı sonuçları karşılaştırıldığında 40N yük altında 50 µm katman kalınlığında YVS şartlarında eklemeli imalat ile üretilen numune daha fazla hacim kaybına uğrarken geleneksel yöntem ile üretilmiş-haddelenmiş PEEK numune YVS şartlarında daha az hacim kaybına uğramıştır.



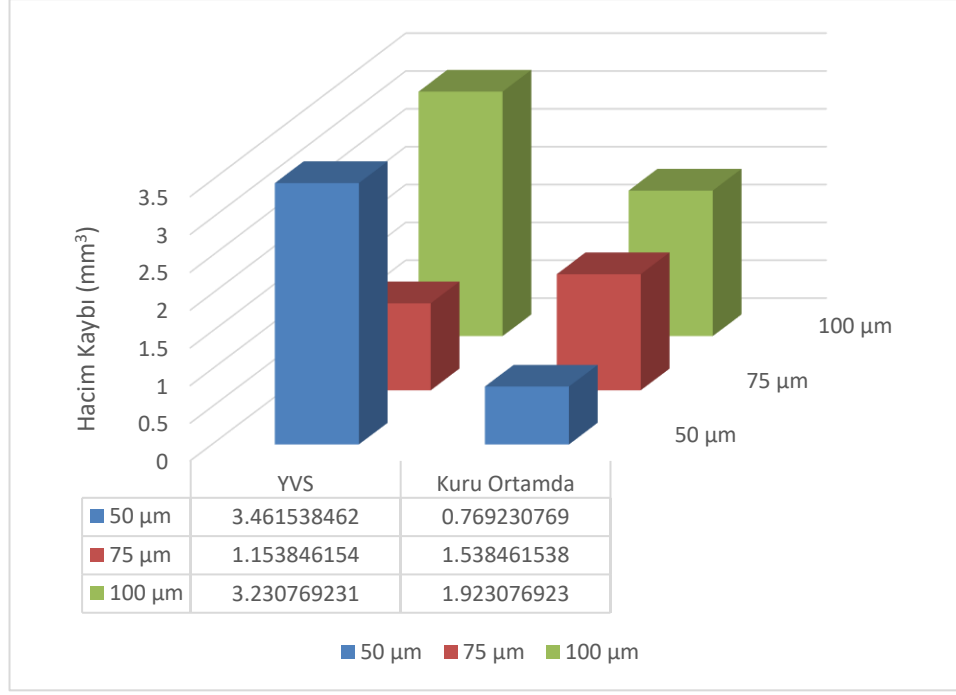
Şekil 5.3 40N yük altında hacim kaybı grafiği

60N yük altında yapay vücut sıvısı içerisinde ve normal şartlarda yapılan deneylerden elde edilen hacim kayıpları Şekil 5.4’ de grafik halinde sunulmuştur. Grafik

incelendiğinde farklı μm değerlerinde ki hacim kayıpları gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ise en düşük hacim kayıp değerini baskı yönü dikey $50 \mu\text{m}$ YVS içerisinde, en yüksek hacim kayıp değerini de $50 \mu\text{m}$ kuru ortam içerisinde elde edilmiştir.

Hacim kaybının en düşük olduğu dolayısıyla en yüksek aşınma direnci gösteren PEEK numune 0.76 mm^3 ile $50 \mu\text{m}$ katman kalınlığı ile kuru ortam içerisinde, hacim kaybının en yüksek olduğu dolayısıyla en düşük aşınma direncinin olduğu PEEK numune ise 3.46 mm^3 ile $50 \mu\text{m}$ katman kalınlığında YVS içerisinde elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilmiş-haddelenmiş numunede 60N yük altında hacim kaybı kuru sürtünme koşullarında 1.30 mm^3 YVS altında 3.61 mm^3 olarak hesaplanmıştır.

Deney şartları içerisinde en büyük etkiyi aşınma ortamının gösterdiği aşınma testi sonuçlarında görülmüştür. YVS altında yapılan aşınma testlerinde hacim kaybı değerleri kuru sürtünme şartlarına göre çok daha yüksektir. Bunun sebebinin YVS içerisinde bulunan kimyasal bileşikler olduğu düşünülmektedir. YVS altındaki aşınma testi sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlar korozyona sebep olmuş olabilir. Ayrıca YVS içerisinde bulunan mikron düzeyindeki elementler de aşınmayı hızlandırmış olabilir. Eklemeli imalat parametreleri açısından incelendiğinde ise belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak eklemeli imalat ile üretilen ve geleneksel yöntemle üretilen-haddelenmiş numunelerin hacim kaybı sonuçları karşılaştırıldığında 60N yük altında hem kuru sürtünme hem de YVS şartlarında eklemeli imalat ile üretilen PEEK numuneler daha az hacim kaybına uğramıştır.



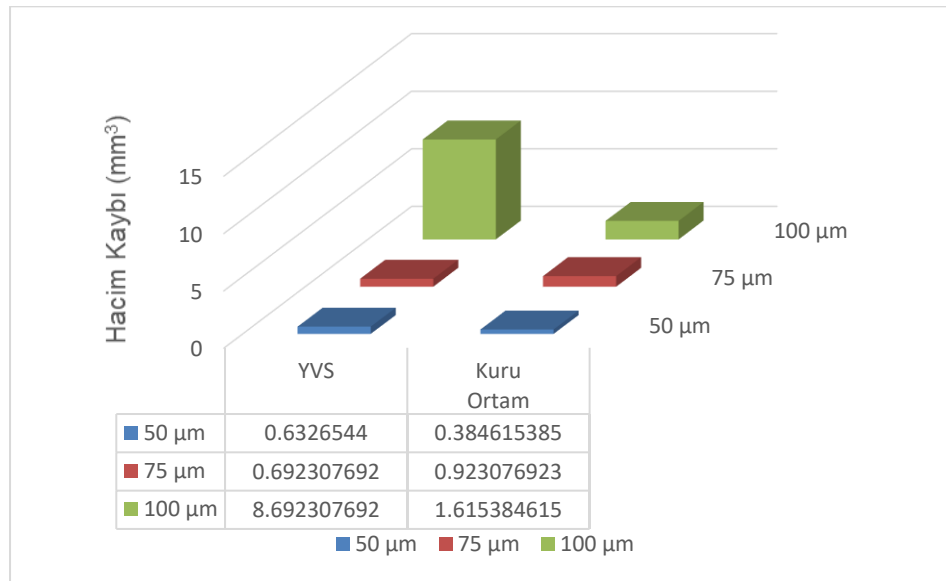
Şekil 5.4 60N yük altında hacim kaybı grafiği

5.2.2 Baskı Yönü Yatay Olan Numunelerin Hacim Kayıp Grafikleri

Farklı FDM parametreleri kullanılarak baskı yönü yatay şekilde üretilen PEEK numunelerin aşınma test sonuçları Şekil 5.5’de verilmiştir. Şekil 5.5’ de 20N yük altında yapay vücut sıvısı içerisinde ve normal şartlarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre hacim kayıp verileri grafik şeklinde gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında farklı μm değerlerinde ki hacim kayıpları net bir şekilde görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda en düşük hacim kayıp değerini 50 μm kuru ortamda, en yüksek hacim kayıp değerini veren ise 50 μm yapay vücut sıvısı içerisinde elde edilmiştir.

Hacim kaybının en düşük olduğu dolayısıyla en yüksek aşınma direnci gösteren PEEK numune 0.76 mm^3 ile 50 μm katman kalınlığı ile kuru ortam içerisinde, hacim kaybının en yüksek olduğu dolayısıyla en düşük aşınma direncinin olduğu PEEK numune ise 3.46 mm^3 ile 50 μm katman kalınlığında YVS içerisinde elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilmiş-haddelenmiş numunede 20N yük altında hacim kaybı kuru sürtünme koşullarında 1.15 mm^3 YVS altında 1.6 mm^3 olarak hesaplanmıştır.

Deney şartları içerisinde en büyük etkiyi aşınma ortamının gösterdiği aşınma testi sonuçlarında görülmüştür. YVS altında yapılan aşınma testlerinde hacim kaybı değerleri kuru sürtünme şartlarına göre çok daha yüksektir. Bunun sebebinin YVS içerisinde bulunan kimyasal bileşikler olduğu düşünülmektedir. YVS altındaki aşınma testi sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlar korozyona sebep olmuş olabilir. Ayrıca YVS içerisinde bulunan mikron düzeyindeki elementler de aşınmayı hızlandırmış olabilir. Eklemeli imalat parametreleri açısından incelendiğinde ise belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak eklemeli imalat ile üretilen ve geleneksel yöntemle üretilen-haddelenmiş numunelerin hacim kaybı sonuçları karşılaştırıldığında 20N yük altında kuru sürtünme şartlarında eklemeli imalat ile üretilen 50 µm katman kalınlığında hacim kaybı en düşükken yine en yüksek hacim kaybı YVS şartlarında eklemeli imalat ile üretilen 50 µm katman kalınlığındaki numunede görülmüştür.

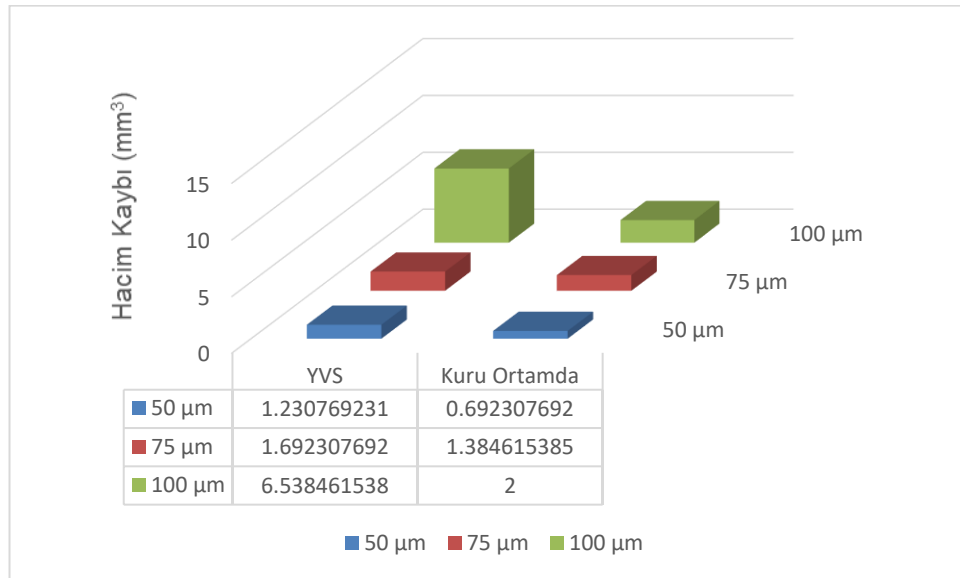


Şekil 5.5 20N yük altında hacim kaybı grafiği

Şekil 5.6' de 40N yük altında yapay vücut sıvısı içerisinde ve normal şartlarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre hacim kayıp verileri grafik şeklinde gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında farklı µm değerlerinde ki hacim kayıpları net bir şekilde görülmüştür. Yapılan deneyler içerisinde en düşük hacim kaybı değerleri 50 µm kuru ortamda, en yüksek hacim kayıp değerini veren ise 50 µm yapay vücut sıvısı içerisinde elde edilmiştir.

Hacim kaybının en düşük olduğu dolayısıyla en yüksek aşınma direnci gösteren PEEK numune 0.69 mm³ ile 50 µm katman kalınlığı ile kuru ortam içerisinde, hacim kaybının en yüksek olduğu dolayısıyla en düşük aşınma direncinin olduğu PEEK numune ise 6.53 mm³ ile 100 µm katman kalınlığında YVS içerisinde elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilmiş-haddelenmiş numunede 40N yük altında hacim kaybı kuru sürtünme koşullarında 1.38 mm³ YVS altında 1.76 mm³ olarak hesaplanmıştır.

Deney şartları içerisinde en büyük etkiyi aşınma ortamının gösterdiği aşınma testi sonuçlarında görülmüştür. YVS altında yapılan aşınma testlerinde hacim kaybı değerleri kuru sürtünme şartlarına göre çok daha yüksektir. Bunun sebebinin YVS içerisinde bulunan kimyasal bileşikler olduğu düşünülmektedir. YVS altındaki aşınma testi sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlar korozyona sebep olmuş olabilir. Ayrıca YVS içerisinde bulunan mikron düzeyindeki elementler de aşınmayı hızlandırmış olabilir. Eklemeli imalat parametreleri açısından incelendiğinde ise belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak eklemeli imalat ile üretilen ve geleneksel yöntemle üretilen-haddelenmiş numunelerin hacim kaybı sonuçları karşılaştırıldığında 40N yük altında kuru sürtünme şartlarında eklemeli imalat ile üretilen 50 µm katman kalınlığında hacim kaybı en düşükken yine en yüksek hacim kaybı YVS şartlarında eklemeli imalat ile üretilen 100 µm katman kalınlığındaki numunede görülmüştür.

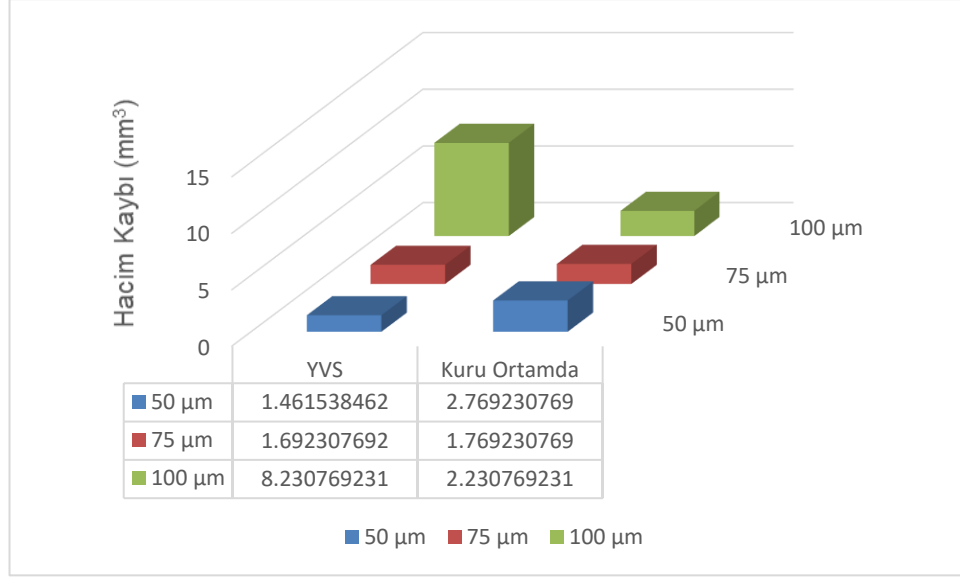


Şekil 5.6 40N yük altında hacim kaybı grafiği

Şekil 5.7' de 60N yük altında yapay vücut sıvısı içerisinde ve normal şartlarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre hacim kayıp verileri grafik şeklinde gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında farklı μm değerlerinde ki hacim kayıpları net bir şekilde görülmüştür. Yapılan deneyler içerisinde en düşük hacim kaybı değerleri 50 μm yapay vücut sıvısı içerisinde, en yüksek hacim kaybı değerleri ise 100 μm yapay vücut sıvısı elde edilmiştir.

Hacim kaybının en düşük olduğu dolayısıyla en yüksek aşınma direnci gösteren PEEK numune 1.69 mm^3 ile 75 μm katman kalınlığı ile YVS içerisinde, hacim kaybının en yüksek olduğu dolayısıyla en düşük aşınma direncinin olduğu PEEK numune ise 8.23 mm^3 ile 100 μm katman kalınlığında YVS içerisinde elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilmiş-haddelenmiş numunede 60N yük altında hacim kaybı kuru sürtünme koşullarında 1.30 mm^3 YVS altında 3.61 mm^3 olarak hesaplanmıştır.

Deney şartları içerisinde en büyük etkiyi aşınma ortamının gösterdiği aşınma testi sonuçlarında görülmüştür. YVS altında yapılan aşınma testlerinde hacim kaybı değerleri kuru sürtünme şartlarına göre çok daha yüksektir. Bunun sebebinin YVS içerisinde bulunan kimyasal bileşikler olduğu düşünülmektedir. YVS altındaki aşınma testi sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlar korozyona sebep olmuş olabilir. Ayrıca YVS içerisinde bulunan mikron düzeyindeki elementler de aşınmayı hızlandırmış olabilir. Eklemeli imalat parametreleri açısından incelendiğinde ise belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak eklemeli imalat ile üretilen ve geleneksel yöntemle üretilen-haddelenmiş numunelerin hacim kaybı sonuçları karşılaştırıldığında 60N yük altında hem kuru sürtünme hem de YVS şartlarında geleneksel imalat ile üretilen-haddelenmiş PEEK numuneler daha az hacim kaybına uğramıştır.

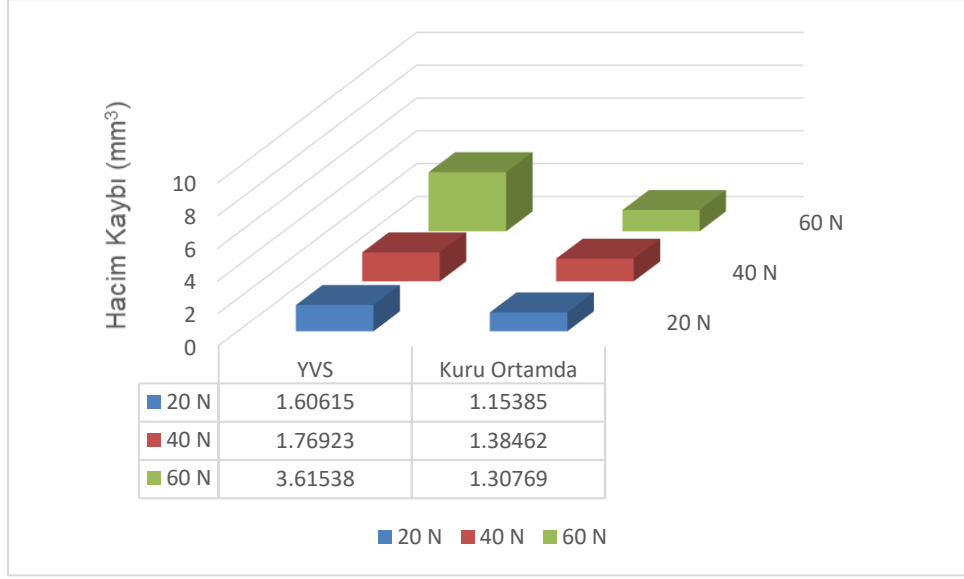


Şekil 5.7 60N yük altında hacim kaybı grafiği

Düşük yüklerde eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş PEEK numunelerin haddelenmiş numunelere göre daha az hacim kaybına, yüksek yüklerde daha fazla hacim kaybına uğramasının sebebinin katmanların uygulanan yük ile birbirinden ayrılması, ayrılan katmanlarında daha büyük hasara yol açmış olabileceği düşünülmektedir.

5.2.3 Haddelenmiş PEEK Numunelerinin Hacim Kaybı Grafikleri

Haddeleme imalat yöntemi ile üretilen PEEK numunelerin aşınma test sonuçları Şekil 'da verilmiştir. Şekil 5.8' de 20N, 40N ve 60N yük altında yapay vücut sıvısı içerisinde ve normal şartlarda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre hacim kayıp verileri grafik şeklinde gösterilmiştir. Grafığe bakıldığında farklı µm değerlerinde ki hacim kayıpları net bir şekilde görülmüştür. Yapılan deneyler içerisinde en düşük hacim kayıp değerini veren normal şartlarda 20N yük altında, en yüksek hacim kayıp değerini veren ise 60N yük altında yapay vücut sıvısı içerisinde elde edilmiştir. Kuru sürtünme şartlarında farklı yükler altında hacim kaybı değerlerinde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Bununla birlikte YVS altındaki aşınma deneylerinde farklı yüklerde farklı hacim kayıpları meydana gelmiştir. Bunun sebebi YVS içerisinde bulunan kimyasal bileşiklerin sebep olduğu düşünülmektedir.

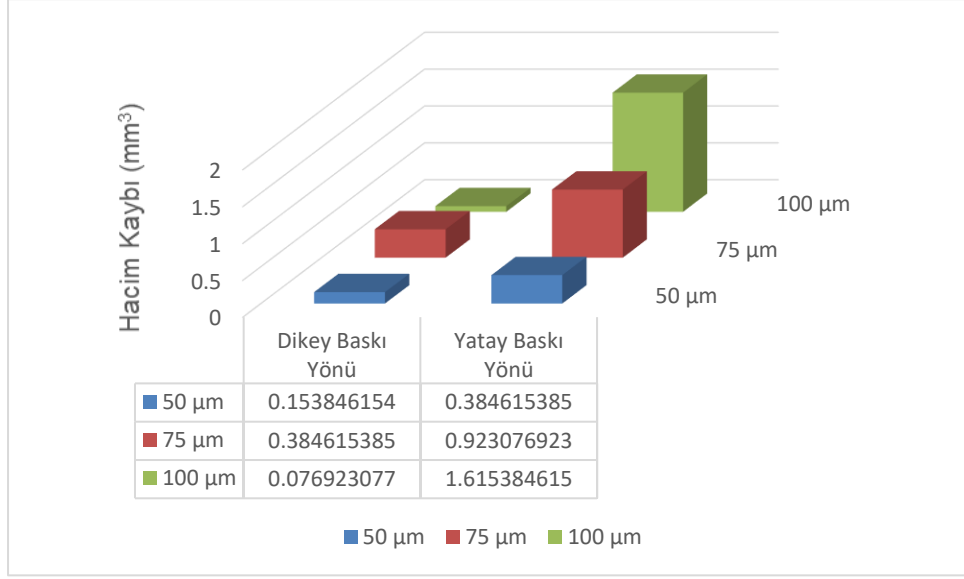


Şekil 5.8 20N, 40N ve 60N yük altında haddelenmiş numunenin hacim kaybı grafiği

5.2.4 Kuru Ortamda Baskı Yönleri Farklı Numunelerin Hacim Kaybı Grafiği

20N yük altında kuru ortamda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre hacim kayıp verileri grafik şekil 5.9’ da gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında farklı μm değerlerinde ki hacim kayıpları net bir şekilde görülmüştür. Yapılan deneyler içerisinde en düşük hacim kaybı değerleri 50 μm yatay, en yüksek hacim kaybı değerleri ise 100 μm yatay baskı yönünde elde edilmiştir.

Baskı yönlerinin hacim kaybı üzerine etkisi incelendiğinde katman kalınlığının artması ile dikey baskı yönündeki numunelerin hacim kayıpları azalırken, yatay baskı yönündeki numunelerin hacim kayıplarında artış gözlenmiştir. En yüksek hacim kaybı 100 μm katman kalınlığındaki yatay baskı yönünde 2.53 mm^3 iken, en düşük hacim kaybı yine 50 μm katman kalınlığındaki yatay baskı yönünde 1.23 mm^3 olarak hesaplanmıştır.

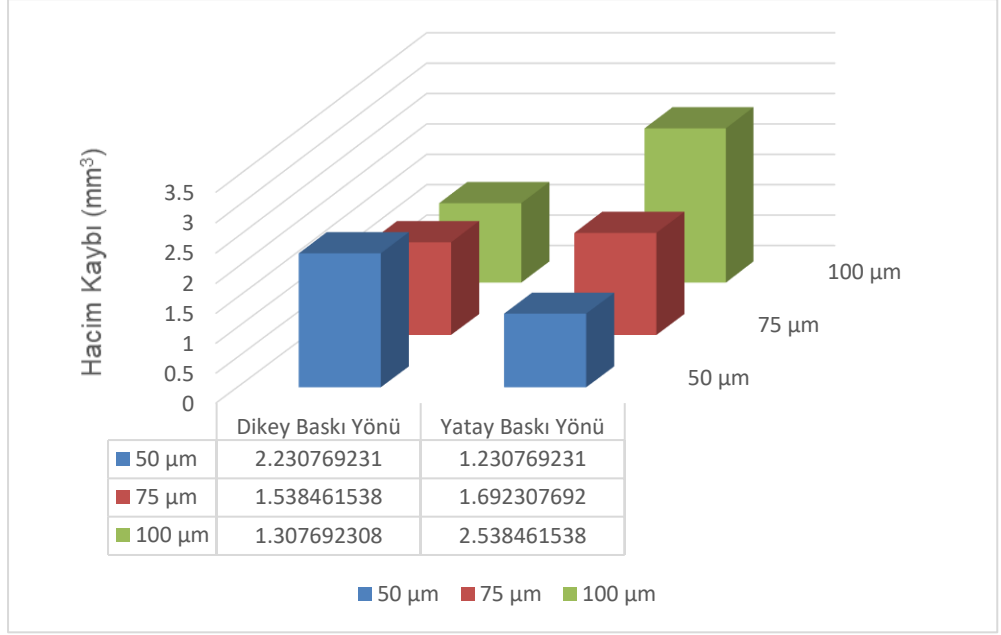


Şekil 5.9 20N yük altında baskı yönü farklı numunelerin hacim kaybı grafiği

5.2.5 Yapay Vücut Sıvısı İçerisinde Baskı Yönleri Farklı Numunelerin Hacim Kaybı Grafiği

40N yük altında kuru ortamda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre hacim kayıp verileri grafik şekil 5.10' da gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında farklı μm değerlerinde ki hacim kayıpları net bir şekilde görülmüştür. Yapılan deneyler içerisinde en düşük hacim kaybı değerleri 50 μm yatay, en yüksek hacim kaybı değerleri ise 100 μm yatay baskı yönünde elde edilmiştir.

Baskı yönlerinin hacim kaybı üzerine etkisi incelendiğinde katman kalınlığının artması ile dikey baskı yönündeki numunelerin hacim kayıpları azalırken, yatay baskı yönündeki numunelerin hacim kayıplarında artış gözlenmiştir. En yüksek hacim kaybı 100 μm katman kalınlığındaki yatay baskı yönünde 2.53 mm^3 iken, en düşük hacim kaybı yine 50 μm katman kalınlığındaki yatay baskı yönünde 1.23 mm^3 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.10 40N yük altında baskı yönü farklı numunelerin hacim kaybı grafiği

5.2.6 Sürtünme Katsayısı Grafikleri

Kuru sürtünme ve YVS şartlarındaki aşınma testlerinden elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerleri sırası ile tablo 5.2 ve tablo 5.3’ de verilmiştir. Kuru ortamda elde edilen ortalama sürtünme katsayıları incelendiğinde değerlerin 0,35 ile 0,40 arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Eklemeli imalat parametreleri olan katman kalınlığı ve baskı yönünün sürtünme katsayısı üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Haddelenmiş PEEK numunelerin kuru ortamdaki ortalama sürtünme katsayısı ise 0,36-0,43 arasında değişkenlik göstermektedir. Eklemeli imalat ile üretilmiş ve haddeme ile üretilmiş numuneler karşılaştırıldığında sürtünme katsayı değerlerinde çok fazla değişiklik gözlemlenmemiştir.

Tablo 5.2 Kuru ortamda oluşan ortalama sürtünme katsayıları

Dikey Numune	1 (20N)	2 (40N)	3 (60N)	4 (20N)	5 (40N)	6 (60N)	7 (20N)	8 (40N)	9 (60N)
	50µm (0,35)	50µm (0,40)	50µm (0,39)	75µm (0,35)	75µm (0,38)	75µm (0,37)	100µm (0,35)	100µm (0,43)	100µm (0,40)
Yatay Numune	10 (20N)	11 (40N)	12 (60N)	13 (20N)	14 (40N)	15 (60N)	16 (20N)	17 (40N)	18 (60N)
	50µm (0,38)	50µm (0,37)	50µm (0,39)	75µm (0,40)	75µm (0,40)	75µm (0,42)	100µm (0,38)	100µm (0,39)	100µm (0,37)

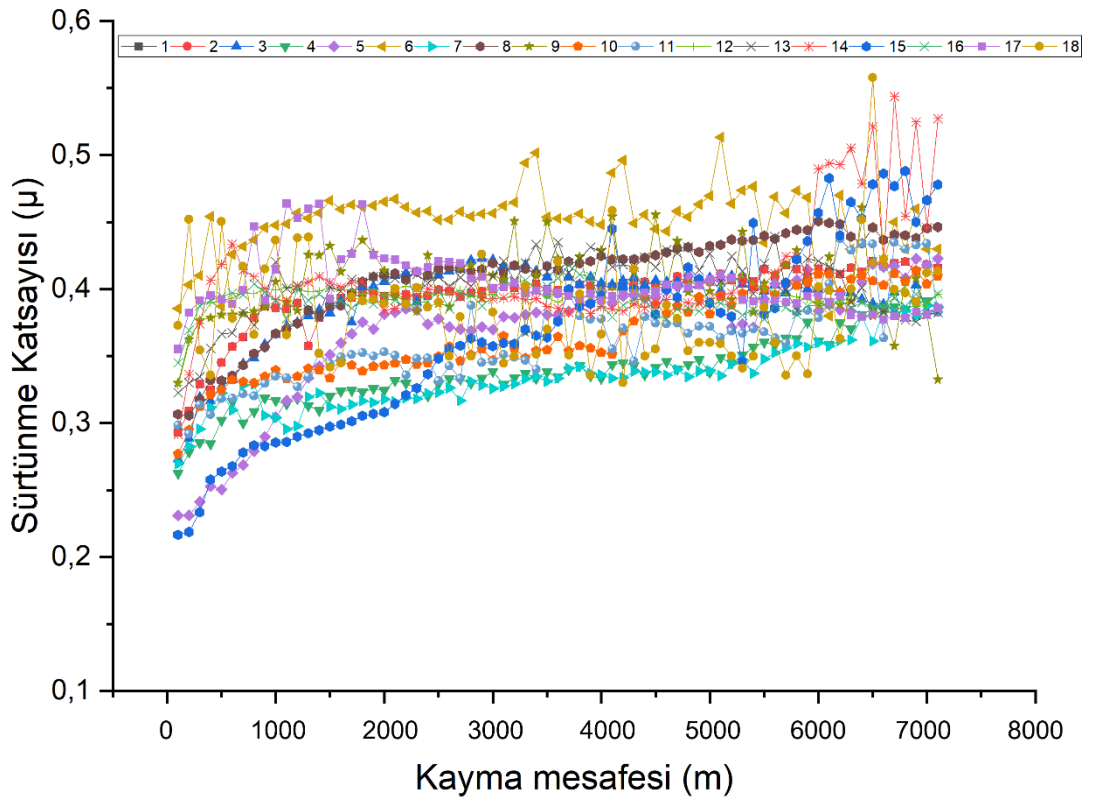
YVS Şartlarında elde edilen ortalama sürtünme katsayıları incelendiğinde değerlerin 0,15 ile 0,29 arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Eklemeli imalat parametreleri olan katman kalınlığı ve baskı yönünün sürtünme katsayısı üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Haddelenmiş PEEK numunelerin kuru ortamdaki ortalama sürtünme katsayısı ise 0,26-0,29 arasında değişkenlik göstermektedir. Eklemeli imalat ile üretilmiş ve haddelme ile üretilmiş numuneler karşılaştırıldığında sürtünme katsayı değerlerinde çok fazla değişiklik gözlemlenmemiştir.

Tüm deney numuneleri incelendiğinde eklemeli imalat ve haddelenmiş numunelerin kuru sürtünme ve YVS Şartlarındaki ortalama sürtünme değerleri karşılaştırıldığında YVS Şartlarındaki ortalama sürtünme değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Sürtünme katsayısının YVS' de düşük olmasına rağmen YVS içindeki hacim kaybının yüksek olmasının sebebi içerisindeki kimyasal bileşiklerin ve bağlayıcıların neden olduğu gözlemlenmiştir.

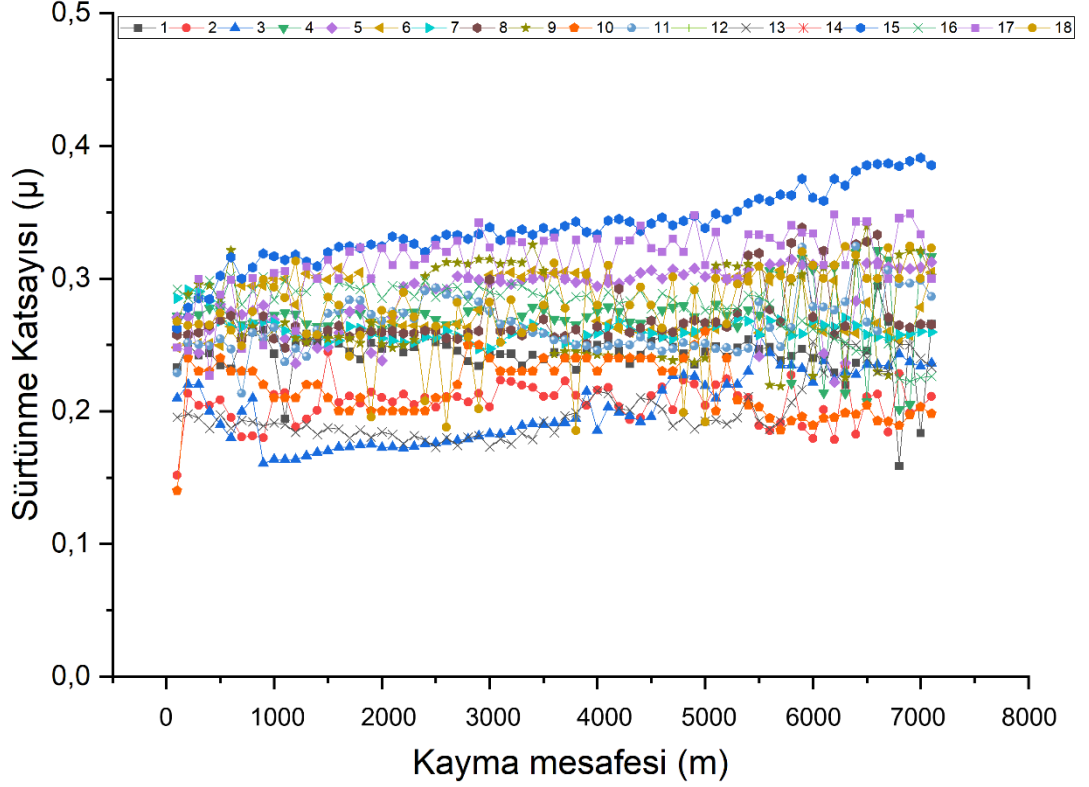
Tablo 5.3 Yapay vücut sıvısı içerisinde oluşan ortalama sürtünme katsayıları

Dikey	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	(20N)	(40N)	(60N)	(20N)	(40N)	(60N)	(20N)	(40N)	(60N)
Numune	50 μ m	50 μ m	50 μ m	75 μ m	75 μ m	75 μ m	100 μ m	100 μ m	100 μ m
	(0,24)	(0,23)	(0,21)	(0,27)	(0,27)	(0,28)	(0,26)	(0,29)	(0,27)
Yatay	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	(20N)	(40N)	(60N)	(20N)	(40N)	(60N)	(20N)	(40N)	(60N)
Numune	50 μ m	50 μ m	50 μ m	75 μ m	75 μ m	75 μ m	100 μ m	100 μ m	100 μ m
	(0,18)	(0,27)	(0,15)	(0,20)	(0,21)	(0,27)	(0,27)	(0,29)	(0,26)

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’ de kuru ve YVS ortamlarında aşınma süresince elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri verilmiştir. Bu değerler de ortalama sürtünme katsayısı verileriyle uyumludur. YVS şartlarında yapılan aşınma testlerinde daha düşük sürtünme katsayısı elde edilmiştir.



Şekil 5.11 Aşınma testi süresince kuru ortamda oluşan sürtünme katsayısı grafiği



Şekil 5.12 Aşınma testi süresince YVS içerisinde oluşan sürtünme katsayısı grafiği

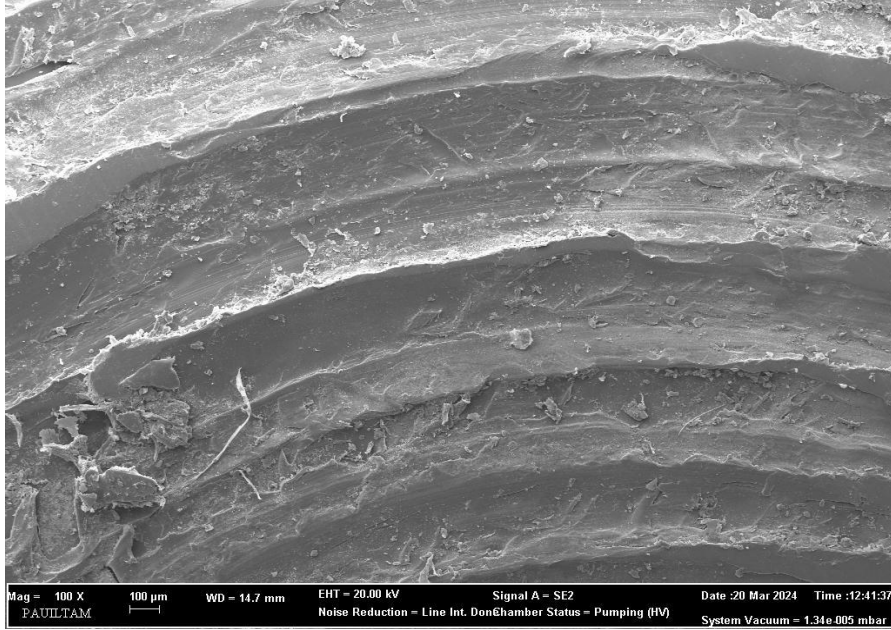
5.3 Aşınmış Yüzey FESEM Analizleri

Alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM), katı bir numunenin yüzeyinde net bir sinyal üretmek için yüksek enerjili odaklanmış bir elektron ışını kullanır. Elektron-numune etkileşimlerinden gelen sinyaller, numunenin dış morfolojisi (yapısı), kimyasal bileşimi, kristal yapısı ve yönelimi dahil olmak üzere numune hakkında bilgi sağlar. EDX analizi, herhangi bir numune veya numunenin elementel bileşimini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu, taramalı elektron mikroskobunda uygulanan bir yöntemdir

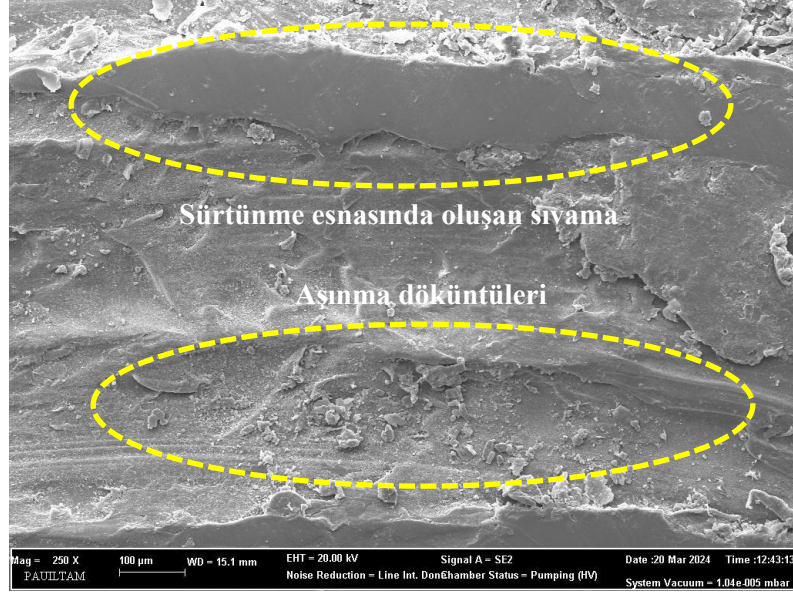
FESEM analizi numune boyunca bir elektron ışını gönderilerek gerçekleştirilir. Yüksek enerjili elektronlar numune yüzeyine çarparak elektronları numuneden uzaklaştırır. Fırlatılan elektron iç yörüngeyi terk ederse, dış yörüngedeki elektronlar atomik stabiliteyi sağlamak için bu boşluklara atlayacaklardır. Yüksek enerjili dış yörüngelerdeki elektronlar radyasyon yoluyla fazla enerji kaybederler. Bu kayıp enerji X-ışınları şeklinde ortaya çıkar. Yayılan X ışınlarının özellikleri, elementi içeren atomların yapısı ve bunların yayıldığı enerji ufku hakkında bilgi sağlar. Yayılan X-

ışınları elektronik alıcılar tarafından tespit edilir. Elde edilen veriler bilgisayar monitöründe pikler halinde oluşturularak element analizi tamamlanır. Bir elementin oluşturduğu tepe, altındaki alanla orantılıdır (Ay 2017).

Aşınmış yüzey FESEM görüntüleri aşınma testlerinde ki en yüksek yük olan 60 N yük altında ki numunelerin görüntüleri kullanılmıştır. Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’ de 50µm katman kalınlığı dikey baskı yönünde üretilen eklemeli imalat PEEK numunenin aşınmış yüzey FESEM görüntüleri 2 farklı büyütmeye verilmiştir. FESEM görüntülerinde üretimde oluşan katmanların sınırları açık bir şekilde görülmektedir. Aşınma testi sonrası numune yüzeyinde adhesif aşınmadan kaynaklı yapışmalar ve aşınma testi esnasında oluşan aşınma döküntüleri belirlenmiştir. Adhesif aşınma nedeniyle iki yüzey arasında soğuk bir kaynak oluşur. Bu nedenle yüzeyde yapışma ve kopmalar meydana gelir.

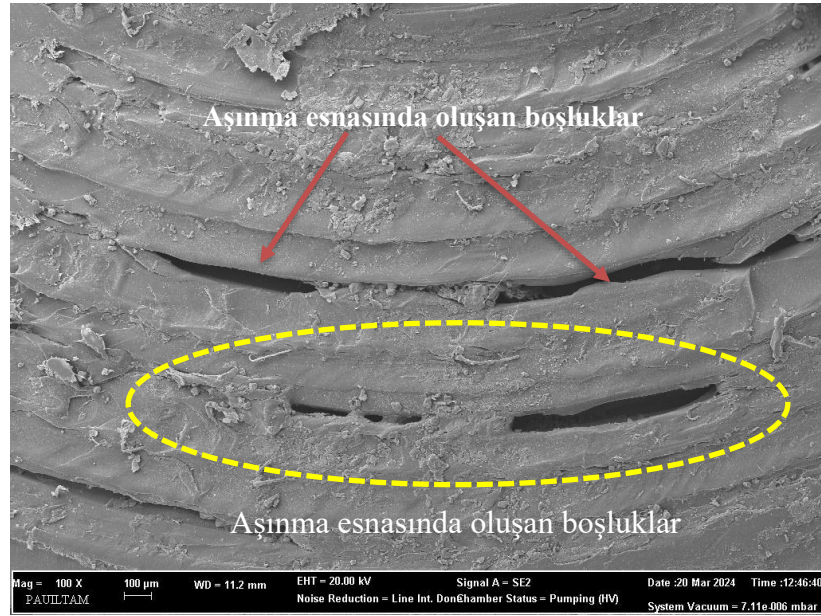


Şekil 5.13 50µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (100x)

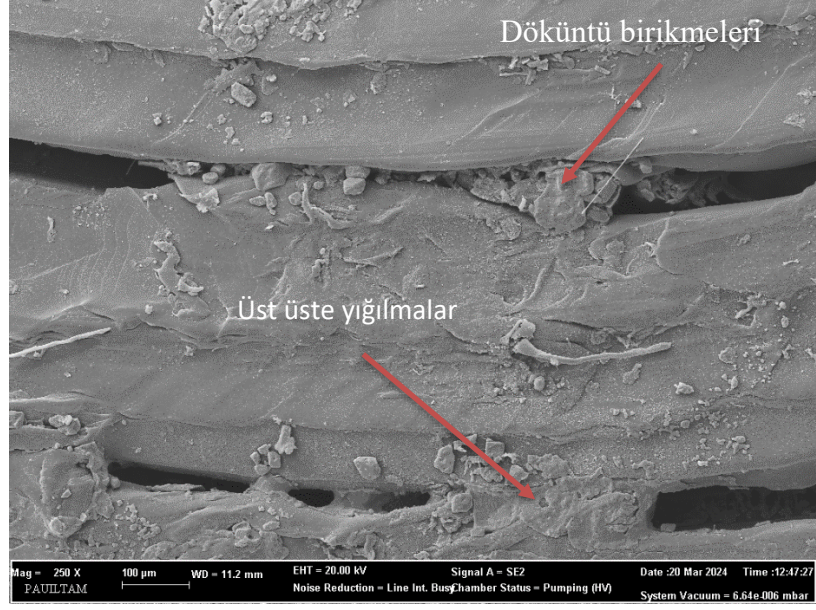


Şekil 5.14 50µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (250x)

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’ da 75µm katman kalınlığı dikey baskı yönünde üretilen eklemeli imalat PEEK numunenin aşınmış yüzey FESEM görüntüleri 2 farklı büyütmede verilmiştir. FESEM görüntülerinde aşınma testi sürecinde oluşan boşluklar görülmektedir. Test süresince uygulanan yükten dolayı katmanların birbirinden ayrıldığı ve kopmalar olduğu belirlenmiştir.

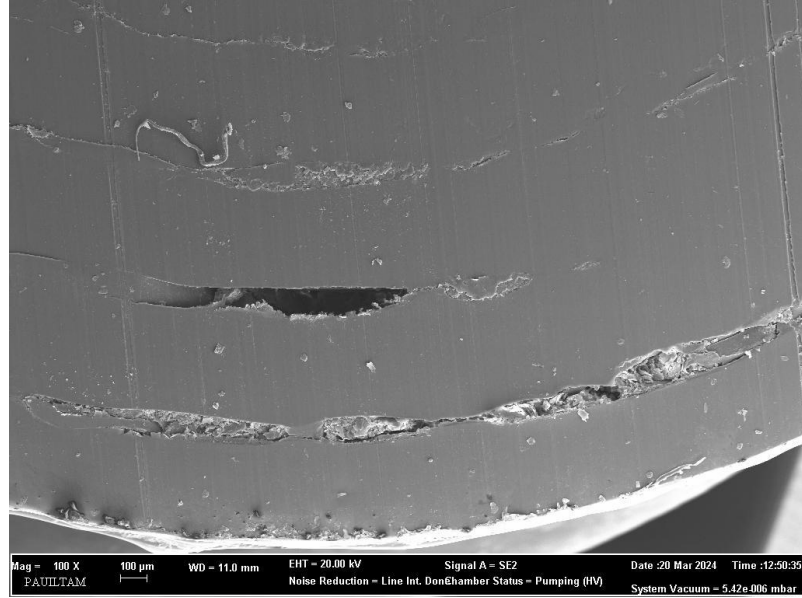


Şekil 5.15 75µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (100x)

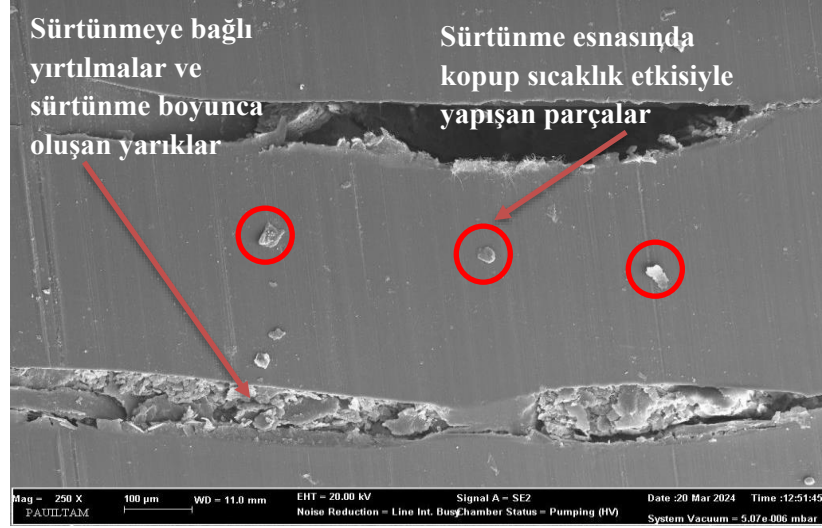


Şekil 5.16 75µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (250x)

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’ de 100µm katman kalınlığı dikey baskı yönünde üretilen eklemeli imalat PEEK numunenin aşınmış yüzey FESEM görüntüleri 2 farklı büyütmede verilmiştir. FESEM görüntülerinde aşınma testi sürecinde oluşan yırtılmalar ve kopan parçaların yüzeye yapıştıkları görülmüştür.

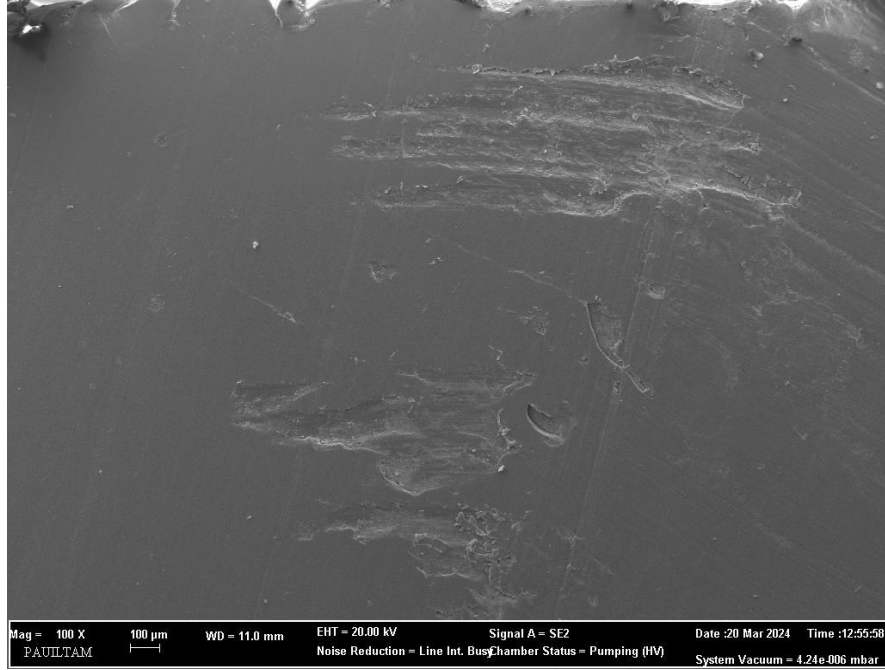


Şekil 5.17 100µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (100x)

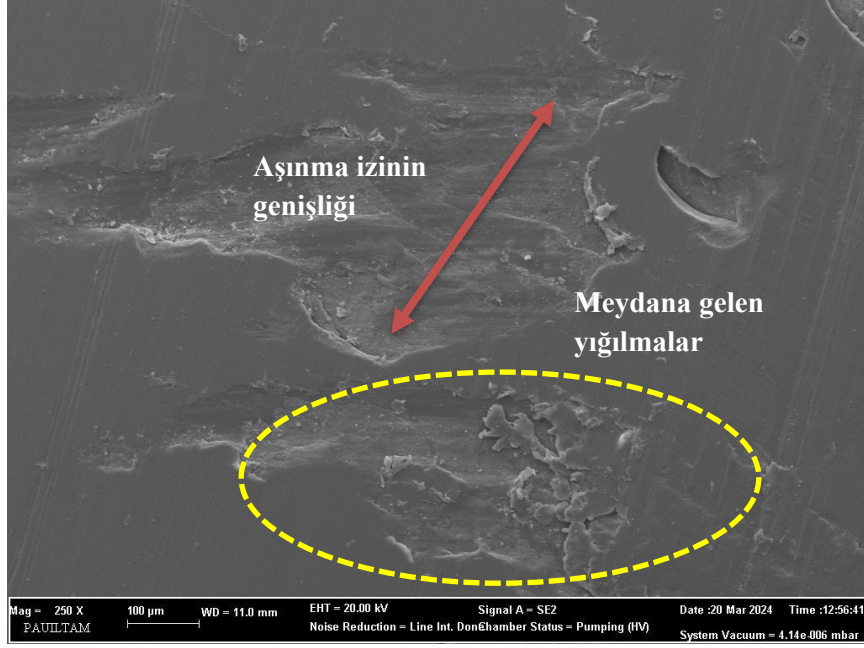


Şekil 5.18 100µm katman kalınlığı dikey baskı yönü yüzey görüntüsü (250x)

Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’ de 50µm katman kalınlığı yatay baskı yönünde üretilen eklemeli imalat PEEK numunenin aşınmış yüzey FESEM görüntüleri 2 farklı büyütmede verilmiştir. İncelenen FESEM görüntülerinde yüzeyden kopmalar ve buna bağlı sürtünme izleri, yüzeyde birikmeler ve yüzeyde oyuklar meydana gelmiştir.

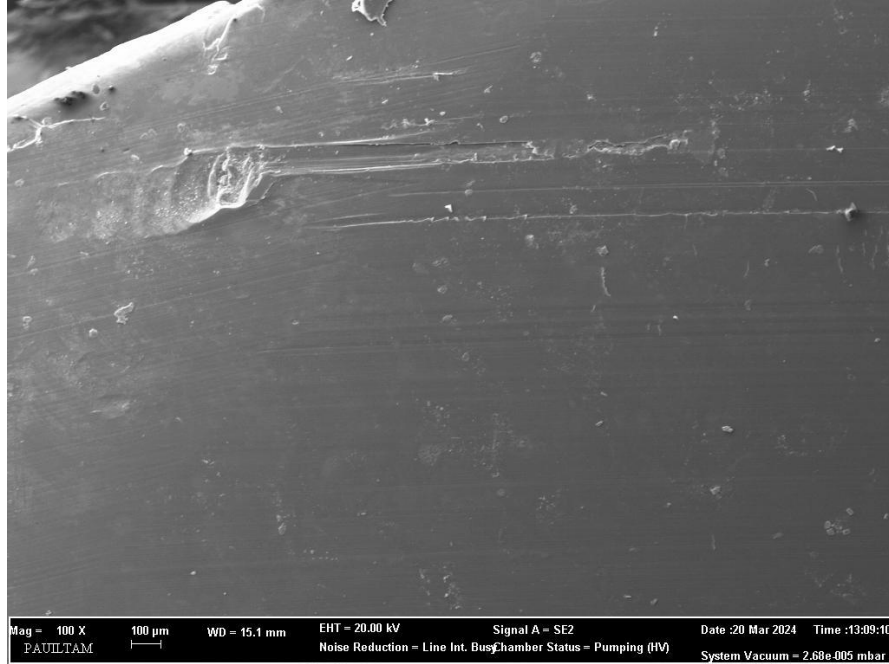


Şekil 5.19 50µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (100x)

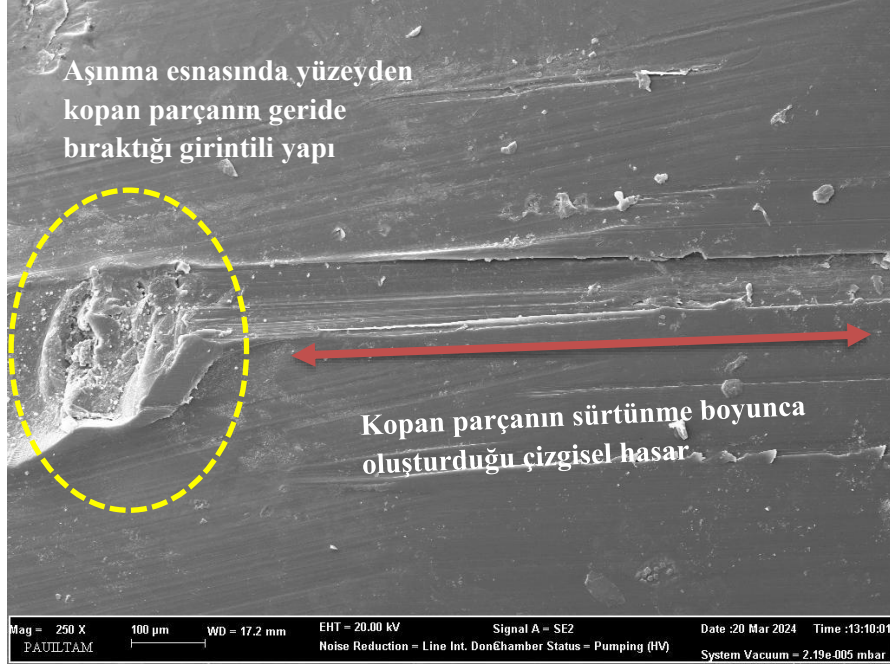


Şekil 5.20 50µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (250x)

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’ de 75µm katman kalınlığı yatay baskı yönünde üretilen eklemeli imalat PEEK numunenin aşınmış yüzey FESEM görüntüleri 2 farklı büyütmede verilmiştir. İncelenen FESEM görüntülerinde yüzeyden kopan parçanın geride bıraktığı oyuk gözlemlenmiştir. Kopan parçanın aşınma süresince yüzeyde sürtünerek çizgisel hasar verdiği görülmüştür.

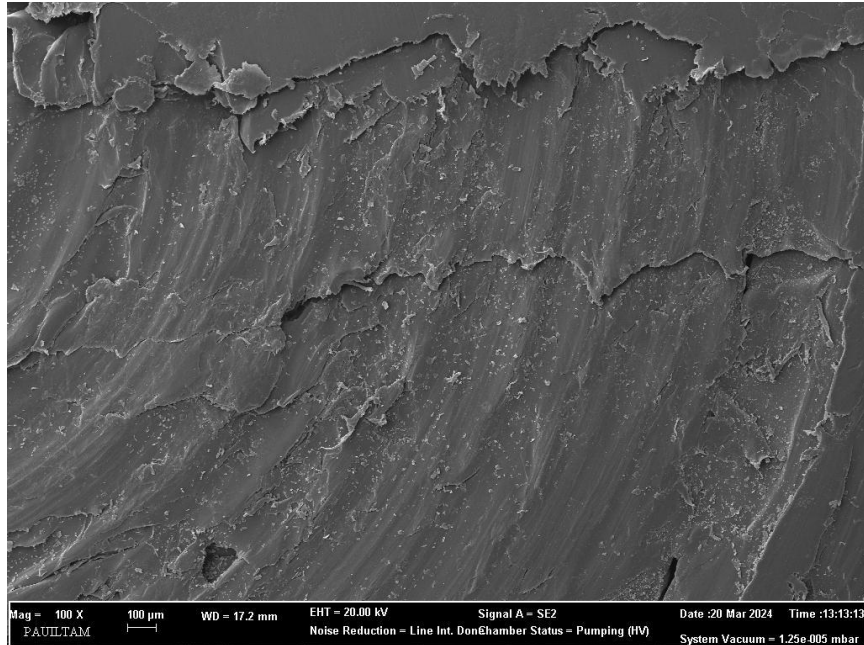


Şekil 5.21 75µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (100x)

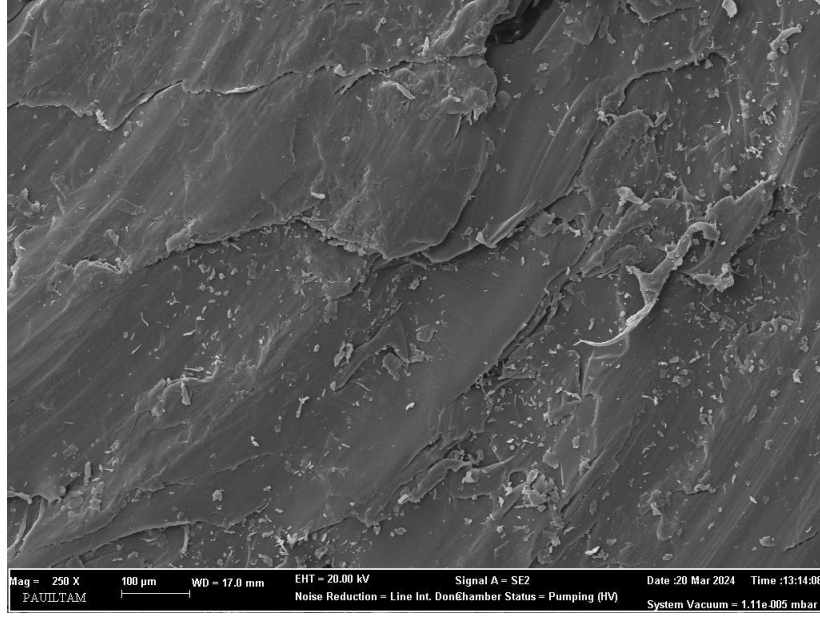


Şekil 5.22 75µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (250x)

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24' de 100µm katman kalınlığı yatay baskı yönünde üretilen eklemeli imalat PEEK numunenin aşınmış yüzey FESEM görüntüleri 2 farklı büyütmede verilmiştir. Yüzey görüntüleri incelendiğinde döküntü birikmeleri, yığılmalar ve aşınma testi süresince oluşan yönlenmeler gözlemlenmiştir.

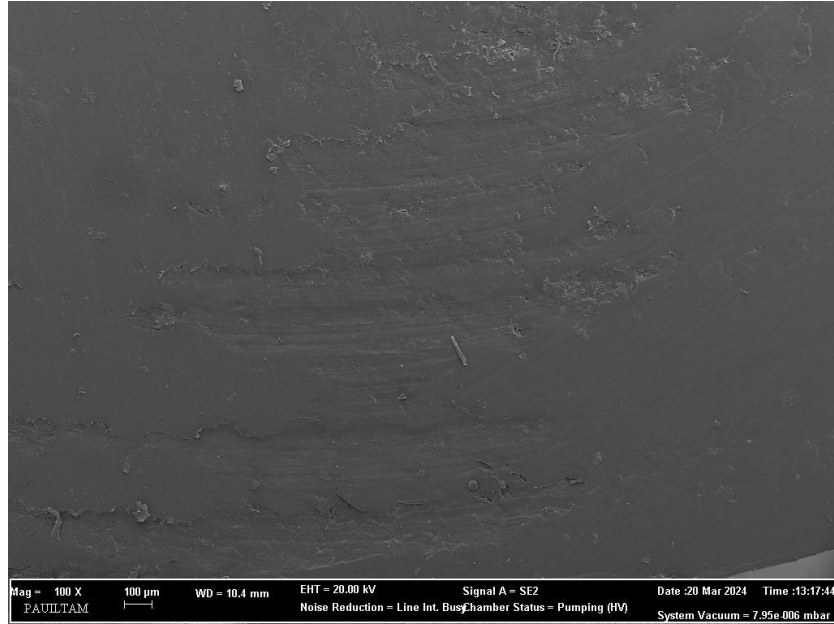


Şekil 5.23 100µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (100x)

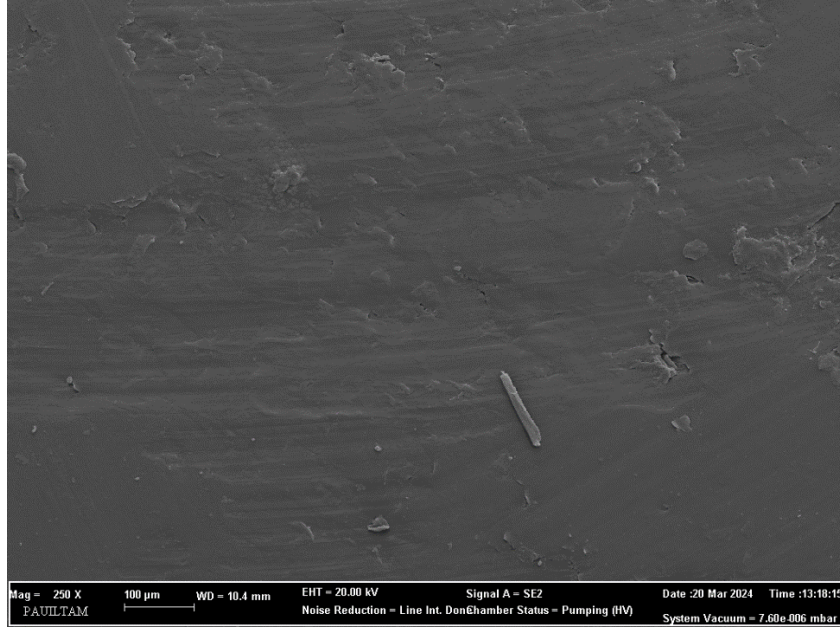


Şekil 5.24 100µm katman kalınlığı yatay baskı yönü yüzey görüntüsü (250x)

Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’ da geleneksel imalat yöntemi ile üretilmiş PEEK numunenin aşınmış yüzey FESEM görüntüleri 2 farklı büyütmede verilmiştir. Yüzey görüntüleri incelendiğinde eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş PEEK numunelere kıyasla yüzeyde oluşan hasarların oldukça az olduğu ve buna bağlı olarak yüzeyde yapışan parçaların daha az olduğu gözlemlenmiştir.



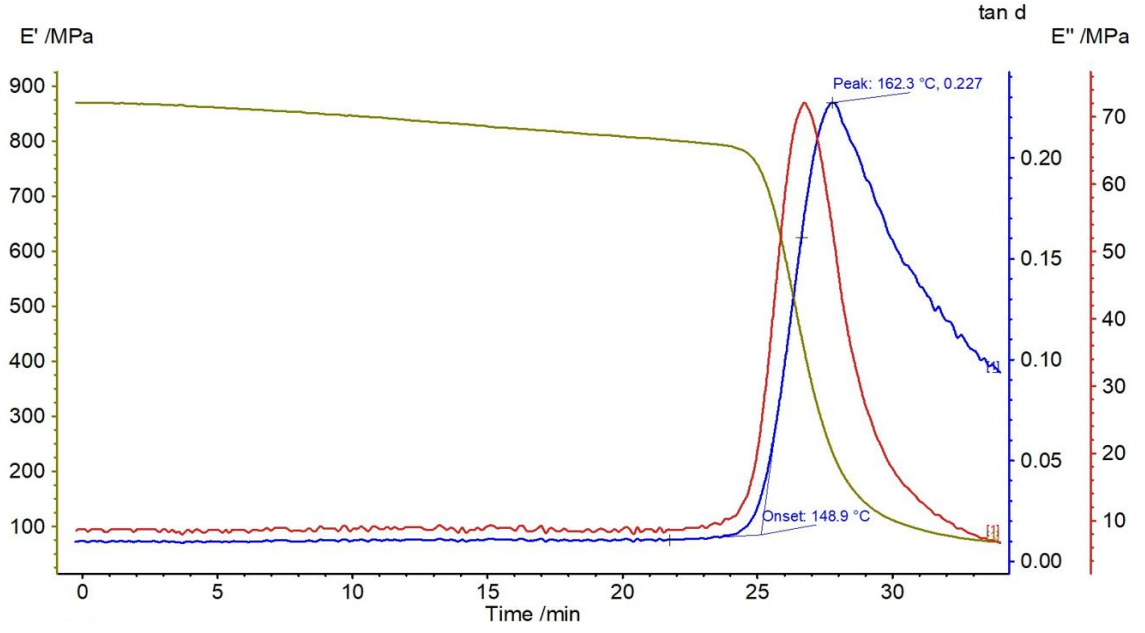
Şekil 5.25 Haddelenmiş PEEK numunenin yüzey görüntüsü (100x)



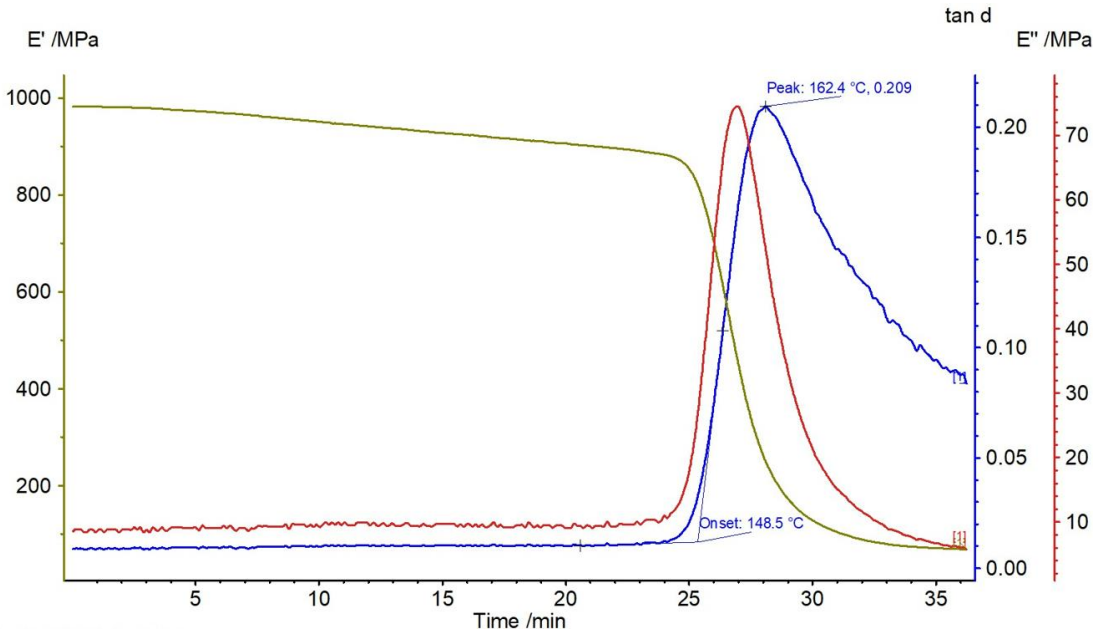
Şekil 5.26 Haddelenmiş PEEK numunenin yüzey görüntüsü (250x)

5.4 Camsı Geçiş Sıcaklığı Sonuçları

Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’ de sırasıyla 50 µm ve 100 µm katman kalınlıklarında üretilmiş PEEK numunelerin camsı geçiş sıcaklığı (Tg) grafikleri verilmiştir. Camsı geçiş sıcaklığı metallerde olduğu gibi polimerlerde şekil değiştirmeye başladığı noktayı belirler. Geleneksel yöntemle üretilmiş PEEK numunenin camsı geçiş sıcaklığı 150°C dir. Eklemeli imalat ile üretilmiş her iki numunede ise bu değer 162,3°C ve 162,4°C’dir. Bu sonuçlar ışığında eklemeli imalatta PEEK için katman kalınlığının camsı geçiş sıcaklığına etkisi yoktur denilebilir. Bununla birlikte eklemeli imalat ile üretilen PEEK numunelerin camsı geçiş sıcaklığı haddelenmiş PEEK numuneden yüksektir. Camsı geçiş sıcaklığını etkileyen faktörler; dallanma ve çapraz bağ olarak değerlendirilebilir. Çapraz bağ varsa bağ dönmesi zorlaşır ve Tg artar. Dallanma varsa hacim artar, yoğunluk azalır ve Tg azalır (Nalbantlı 2023).



Şekil 5.27 50µm katman kalınlığında üretilmiş PEEK numunenin Tg grafiği



Şekil 5.28 100µm katman kalınlığında üretilmiş PEEK numunenin Tg grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Eklemeli İmalat ile ilgili son çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Ürünlerin üretim hacmi artmış ve seri üretim ürünlerine uygulanabilecek genel bir imalat yöntemi hızla gelişmiştir. FDM yöntemi ile ilgili çalışmalar, bilimsel literatürün mevcut bilgi birikimine katkıda bulunmak amacıyla burada tartışılmaktadır. Bu araştırmada geleneksel ve eklemeli yöntemlerle farklı üretim parametreleriyle numuneler üretildi. Numunelerin sertliği, hacim kaybı, sürtünme katsayısı üzerinden karşılaştırmaları yapılarak incelenmiştir.

Tüm üretim parametreleri test edilmiştir. Testlerde 18 adet test numunesi üretilmiştir. Yapılan incelemede uygulanan yükün artması kuru ortamda hacim kaybının, YVS ortamındaki hacim kaybından daha az olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin YVS içerisinde ki kimyasalların aşınma testi esnasında oluşturduğu korozyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Sürtünme katsayısı ve hacim kaybını üretim parametreleri olan baskı yönü ve katman kalınlığı etkilememektedir. Camsı geçiş sıcaklıkları da incelendiğinde geleneksel imalat yöntemi ile üretilen numune ve eklemeli imalat yöntemi ile üretilen numune arasında büyük bir fark gözlenmemiştir. Dolayısıyla katman kalınlığının da camsı geçiş sıcaklığına bir etkisi olmamıştır.

Geleneksel imalat ve Eklemeli imalat ile oluşturulan numuneler deneysel çalışmalarla kontrol edilerek, eklemeli imalat ile üretilen bir numunenin geleneksel imalat ile üretilen numunenin yerini alabileceği sonucuna varılmıştır. Numunelerin FESEM cihazı ile incelenmiştir. Mikroskobik görüntüde döküntü kırıntıları, yığılmalar, sıvamalar ve çizgisel yarıklar görülebilmektedir.

7. KAYNAKLAR

Ariga, K., Minami, K., Ebara M. and Nakanishi, J. ‘‘What are the emerging concepts and challenges in NANO? Nanoarchitectonics, hand-operating nanotechnology and mechanobiology’’ *Polymer Journal*, 48(4), 371-389, (2016).

Aslan, İ., ‘‘Katmanlı İmalat Yöntemiyle Üretilen Kum Döküm Kalıplarının Mekanik Özelliklerine Baskı Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi’’, Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, (2023).

Aydın, K., ‘‘Katmanlı İmalat ile Üretilen ve Lazer Kaynağı İle Birleştirilen Tİ6AL4V Malzemenin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi’’, Doktora Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, (2022).

Bai, L., Gong, C., Chen, X., Sun, Y., Zhang, J., Cai, L., Zhu, S. and Xie, S. Q. ‘‘ Additive manufacturing of customized metallic orthopedic implants’’ *Materials structures and surface modifications, Metals*, 9(9), 1004, (2019).

Bekas, D.G., Hou Y., Liu Y., Panesar A., ‘‘3D printing to enable multifunctionality in polymer-based composites’’ *A review. Composites Part B: Engineering*, 179, 107540, (2019).

Balasundaram, G., Storey, D. M. and Webster, T. J. ‘‘Novel nano-rough polymers for cartilage tissue engineering’’ *International journal of nanomedicine*, 9, 1845, (2014).

Bozkurt, Y., Gülsoy, H., Karayel, E., ‘‘Eklemeli imalat teknolojilerinin tıbbi ekipmanların üretiminde kullanımı’’ *El-Cezeri* , 8(2), 962-980, (2021).

Çelik, K. ve Özkan, A., ‘‘Eklemeli İmalat Yöntemleri İle Üretim Ve Onarım Uygulamaları’’, *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 5, 107-121, (2017).

Çınar, T., ‘‘Katmanlı İmalat Yöntemi İle İmal Edilmiş Metal Levhalarda Yazdırma Yönü Ve Kaynaklı Birleştirmenin Mekanik Özelliklere Etkisinin

İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, (2022).

Danforth, S. C. ve Safari, A., “Solid freeform fabrication: novel manufacturing opportunities for electronic ceramics” Applications of Ferroelectrics, ISAF'96., Proceedings of the Tenth IEEE International Symposium, 1, 183-188. doi:10.1109/isaf.1996.602732, (1996, August), (1996).

Dharmaretnam, M., Ahamed, R., Devika, F. and Niomi, T. “The Seven Sisters and the Four Eggs” (2001).

Erener, Ş., Boz, S., “Modern üretim tekniklerinde eklemeli imalat sistemlerinin yeri ve kullanım alanları” Turkish Journal of Fashion Design and Management, 3(1), 47-56, (2021).

Gaoa, W., Zhang, Y., Ramanujana, D., Ramani, K., Chenc, Y., Williams, C.B., Charlie, Wang, C.C.L., Shina, Y.C., Zhang, S., Zavattieri, P.D., “The Status, Challenges, And Future Of Additive Manufacturing In Engineering” ComputerAided Design, 69, 65-89, (2015).

Gebelein, C. and Koblitz, F. Biomedical and dental applications of polymers. “Springer Science &Business Media” (2013).

Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B. And Khorasani, M., “Chapter 1-Introduction And Basic Principles” Additive Manufacturing Technologies, 1-21, (2020).

Guo, N. ve Leu, M. C., “Additive Manufacturing: Technology, Applications And Research Needs”, Frontiers Of Mechanical Engineering, 8(3), 215-243, (2013).

Gupta, S. K., Kizilbash, S. H. and Muanza, T. M. “Targeted Therapies For Glioblastoma: A Critical Appraisal”

Güler, H., “Peek Polimer Kompozitlerin Tribolojik Performanslarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, (2019).

Hanchi, J., Eiss, Jr. N. S., ‘‘Dry sliding friction and wear of short carbon-fiberreinforced polyetheretherketone (PEEK) at elevated temperatures’’ *Wear* 203-204, 380-386, (1997).

Hearle, J.W.S., ‘‘High-performance Fibres’’ CRC Press, Cambridge, England, (2001).

He, H., Wu Y., He, N. and Deng, Y. ‘‘The latest progress of on-site pathogens detection techniques and instruments based on nucleic acid’’ *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 15(9), 6342-6356, (2015).

Heli, H. and Rahi, A. ‘‘Synthesis and applications of nanoflowers. Recent patents on nanotechnology’’ 10(2), 86-115, (2016).

Hildebrand, H. F. ‘‘Biomaterials—a history of 7000 years’’ *BioNanoMaterials*, 14(3-4), 119-133, (2013).

Höland, W., Schweiger, M., Watzke, R., Peschke, A. and Kappert, H. ‘‘Ceramics as biomaterials for dental restoration. Expert review of medical devices’’ 5(6), 729-745, (2008).

Hu, J., ‘‘3-D Fibrous Assemblies: Properties, Applications and Modelling of Three-Dimensional Textile Structures’’ Elsevier, Woodhead Publishing, (2008).

Ige, O. O., Umoru, L. E. and Aribo, S. ‘‘Natural products: a minefield of biomaterials’’ *International Scholarly Research Notices*, (2012).

Jadhav, A. and Jadhav, V.S., ‘‘A review on 3D printing: An additive manufacturing technology’’ *Materials Today: Proceedings*, 62(4), 2094-2099, (2022).

Jain, S., Jain, A. P., Jain, S., Gupta, O. N. and Vaidya, A. ‘‘Nanotechnology: An emerging area in the field of dentistry’’ *J Dent Sci*, 10, 1-9, (2013).

Jiang, J., Lou, J. And Hu, G., ‘‘ Effect Of Support On Printed Properties In Fused Deposition Modelling Processes’’ *Virtual And Physical Prototyping*, 14(4), 308-315, (2019).

Kalaycı, E., Avinç, O., Yavaş, A., "Polieter Eter Keton (Peek) Lifleri" Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi, Fen Bilimleri Dergisi 38(2), 168-186, (2017).

Karakoç, B., "Hava Aracı Parçalarının Eklemeli İmalat Yöntemi İle Tasarımı, Optimizasyonu Ve Deneysel Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2023).

Katz, E. and Willner, I. "Integrated nanoparticle–biomolecule hybrid systems: synthesis, properties and applications" *Angewandte Chemie International Edition*, 43(45), 6042-6108, (2004).

King, P. H. and Fries, R. C. "Design of biomedical devices and systems" Marcel Dekker, (2003).

Knight, S. R., Aujla, R. and Biswas, S. P. "Total Hip Arthroplasty-over 100 years of operative history" *Orthopedic reviews*, 3(2), (2011).

Nalbantlı, M. "Metalik cüruf ve Baca Külü Dolgulu Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, (2023).

Özmen, Ö., "Diz Altı Ampute Erkek Çocuklar İçin Protez Bacak Tasarımı Ve Eklemeli İmalat Yöntemi İle Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2023).

Park, J. B. and Lakes, R. S. "Metallic implant materials. *Biomaterials*" 99-137, (2007).

Pereira, T., Kennedy, J.V., Potgieter, J., "A Comparison Of Traditional Manufacturing Vs Additive Manufacturing" *The Best Method For The Job Procedia Manufacturing*, 30, 11-18, (2019).

Ping, D. "Review on ω phase in body-centered cubic metals and alloys" *Acta Metallurgica Sinica (English letters)*, 27(1), 1-11, (2014).

Saroia, J., Wang, Y., Wei, Q., Lei, M., Li, X., Guo, Y., Zhang, K., ‘‘A Review On 3D Printed Matrix Polymer Composites: Its Potential And Future Challenges’’ The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 106(5-6), 1695-1721, (2019).

Schnitman, P. A. ‘‘Dental implants: State of the art, state of the science’’ International journal of technology assessment in health care, 6(4), 528-544, (1990).

Singh, B., Kumar, R., Singh, J.C., ‘‘Polymer matrix composites in 3D printing’’ A state of art review. Materials Today: Proceedings, 33, 1562-1567, (2020).

Şafak, D., ‘‘Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarım Bakımından İncelenmesi ve Uygulamalı Kalıp Örneği’’ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2001).

Tayfun, Ü., ‘‘Eklemeli İmalat Yönteminde Filament Olarak Kullanılan Polimerik Malzemeler’’, Journal Of Smart Systems Joss, 2(1), 45-67, (2023).

Teo, A. J., Mishra, A., Park, I., Kim, Y.-J., Park, W.-T. and Yoon, Y.-J., ‘‘Polymeric biomaterials for medical implants and devices’’ ACS Biomaterials Science & Engineering, 2(4), 454-472, (2016).

Yao, C. and Webster, T. J. ‘‘Anodization: a promising nano-modification technique of titanium implants for orthopedic applications’’ Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 6(9-10), 2682-2692, (2006).

Yaşar, S., ‘‘Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretiminde İşlem Parametreleri Değişiminin Tribolojik Özelliklere Etkisi’’, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüzey İşlem Ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Bursa, (2023).

Yıldırım, A., ‘‘Eklemeli İmalat Ve Geleneksel İmalat Yöntemiyle Üretilen Ti6Al4V Alaşımı Parçaların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, (2022).

Yılmaz, T., ‘‘PEEK (polyetheretherketone) ve kompozitlerinde kısa fiber takviyesi ve mikro yapının tribolojik özelliklere etkisi’’ Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002).

Yücel, A. H., ‘‘Eklemeli İmalat Yöntemlerinde Üretim Parametrelerinin Ve Parça Geometrisinin Son Ürün Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2021).

Zhao, C., Rehman, F. U., Jiang, H., Selke, M., Wang, X. and Liu, C.-Y. ‘‘Titanium dioxide-tetra sulphonatophenyl porphyrin nanocomposites for target cellular bio-imaging and treatment of rheumatoid Arthritis’’ Science China Chemistry, 59(5), 637-642, (2016).

Zorer, E.S., ‘‘Fdm Yöntemi İle Üretilen Eklemeli İmalat Parçaları İçin Delik Delme İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu’’ Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, (2023).

Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., Hui, D., ‘‘3D Printing Of Polymer Matrix Composites: A Review And Prospective’’ Composites Part B: Engineering, 110, 442-458, (2017).

Wang, R., Wang, L., Zhao, L., Liu, Z. ‘‘Influence of process parameters on part shrinkage in SLS’’ Int J Adv Manuf Technol., 33, 498-504, (2007).

Wnek, G. E. and Bowlin, G. L. ‘‘Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering’’ CRC Press, (2008).

Wohlers, T. ve Gornet, T., ‘‘History of additive manufacturing’’ Wohlers report, 24, 118, (2014).