

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİMETİL METAKRİLAT MALZEMESİNİN FARKLI
ÇİZİLME YÜKLERİ ALTINDA TEKRARLI ÇİZİLME
TESTLERİ**

AYŞİN ÇETİN

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVACILIK BİLİMİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİMETİL METAKRİLAT MALZEMESİNİN FARKLI
ÇİZİLME YÜKLERİ ALTINDA TEKRARLI ÇİZİLME
TESTLERİ

AYŞİN ÇETİN

Doç. Dr. Sinan FİDAN

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Şenol YILMAZ

Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Teknoloji alanında gelişmeler, birçok alanda inovasyonun yardımı ile sürekli hız kazanıyor. Bu eğilimi desteklemek için son birkaç yılda, araştırmacıların tüketicinin talebini karşılamak için yeni ve alternatif yollar geliştirmeye odaklandıkları görülmüştür. Bu tez çalışması, var olan ve gelecek nesilde çok yararlı olabilecek çeşitli diğer materyallere dikkat çekmektir.

Gelişen teknoloji ile birlikte bildiğimiz geleneksel malzemeler yanında Polimer malzemeler de daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Polimer malzemelerin tercih edilmesinin en önemli sebebi ise düşük yoğunlukları olmaları nedeniyle yüksek özgül özellikler göstermektedir. İçinde bulunduğumuz bu endüstriyel çağda ve çok fazla artan rekabet ortamında, az maliyet ile kaliteli malzeme tercih edilmektedir. Polimer malzemenin üretim şartları ve içine katılan diğer katkı malzemeleriyle daha dayanıklı ama daha hafif malzeme üretilebilir.

Bu tez çalışmasında da Polimetil Metakrilat malzemesinin farklı çizilme yükleri altında tek ve tekrarlı şekilde çizilme davranışları özel tasarım çizilme test düzeneği yardımıyla testlere tabii tutulmuştur. Polimer malzemenin yüzeyinde oluşan hasar ve bozulmalar, yüzey pürüzlülüğündeki mekanizmalar ve çizilmenin ortaya çıkardığı değişimler incelenmiştir.

Yüksek Lisans Tez çalışma aşamamda her türlü katkı, yardım ve değerli fikirlerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Sinan FİDAN'a sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarımın gerçekleşmesinde malzeme desteği ve değerli fikirlerini esirgemeyen Prof. Dr. Tamer SINMAZÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca her konuda desteklerini esirgemeyen ve beni cesaretlendiren aileme teşekkür ederim.

Haziran - 2021

Ayşin ÇETİN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLOLAR DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Çalışmanın Amacı	3
1.2. Çalışma Yöntemleri	3
1.3. Önceki Çalışmalar	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. POLİMER MALZEMESİ	19
3.1. Polimer Malzemelerin Sürtünme ve Aşınma Özellikleri	20
3.2. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Tarihçesi	21
3.3. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Özellikleri	22
3.3.1. Polimetil metakrilat malzemesinin fiziksel özellikleri	23
3.3.2. Polimetil metakrilat malzemesinin kimyasal özellikleri	23
3.3.3. Polimetil metakrilat malzemesinin termal özellikleri	24
3.3.4. Polimetil metakrilat malzemesinin yanma özellikleri	24
3.3.5. Polimetil metakrilat malzemesinin elektriksel özellikleri	25
3.3.6. Polimetil metakrilat malzemesinin optik özellikleri	25
3.4. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Kullanım Alanları	26
3.4.1. Polimetil metakrilat malzemesinin otomotiv endüstrisinde kullanımı	27
3.4.2. Polimetil metakrilat malzemesi ve mimari alanında kullanımı	28
3.4.3. Polimetil metakrilat malzemesi ve elektrik - elektronik olarak kullanımı	28
3.4.4. Polimetil metakrilat malzemesinin tıbbi olarak kullanımı	29
3.4.5. Polimetil metakrilat malzemesi ve havacılık-uzay sanayi olarak kullanımı	29
3.5. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Avantajları ve Dezavantajları	30
3.6. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Ticari İsimleri	30
3.7. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Geri Dönüşümü	30
4. ÇİZİLME (SCRATCH) TESTİ	31
4.1. Çizilme Testinin Başlangıcı	31
4.2. Çizik (Scratch) Testi	32
4.3. Çizik (Scratch) Testinin Ölçüm Değerleri	33
4.4. Çizik (Scratch) Testinin Tek ve Aşamalı Olarak Uygulanması	34
4.5. Çizik Genişliklerinin ve Çizik Derinliklerinin Değerlendirilmesi	36
4.6. Çizik (Scratch) Testlerinin Sınıflandırılması	37

4.7. Çizik (Scratch) Testinde Kullanılan Makineler	37
4.8. Çizik (Scratch) Testinde Kullanılan Batıcı Uçlar	38
4.9. Çizik (Scratch) Sonrasında Oluşan Hasarların Karakteristik Şekilleri	38
4.10. Çizik (Scratch) Test Cihazlarının Özellikleri	40
5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	43
5.1. YüzeY Pürüzlülüğünde Profil Bilgisi	43
5.2. YüzeY Pürüzlülük Parametreleri	44
5.3. YüzeY ve Alan Pürüzlülük Parametrelerinin Belirlenmesi	44
5.3.1. Profil sapmaların aritmetik ortalaması (Ra)	45
5.3.2. Maksimum profil vadi derinliğı (Rv)	45
5.3.3. Maksimum profil tepe yüksekliğı (Rp)	46
5.3.4. Maksimum profil yüksekliğı (Rz)	46
5.3.5. Aritmetik ortalama yüksekliğı (Sa)	47
5.3.6. Maksimum çukur yüksekliğı (Sv)	47
5.3.7. Maksimum tepe yüksekliğı (Sp)	48
5.3.8. Maksimum yükseklik (Sz)	48
6. MALZEME VE YÖNTEM	49
6.1. Kullanılan Malzeme	49
6.2. Kullanılan Batıcı Uçlar	49
6.3. Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazı	51
6.3.1. Nanovea PS50 profilometre ölçüm cihazı	51
6.3.2. Nanovea PS50 temassız profilometrenin özellikleri	52
6.4. YüzeY Pürüzlülük Ölçümleri	53
6.5. Uygulanan Deneysel Yöntem	53
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME	56
7.1. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Çizik Deformasyonlarının Hesaplanması ve Grafikleri	56
7.2. Polimetil Metakrilat Malzemesinin YüzeY ve Alan Pürüzlülük Parametrelerinin Grafikleri	80
7.3. Çizik Derinlik ve Oluk Birikintilerinin Alanlarının Değişim Grafikleri	91
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	106
KAYNAKLAR	113
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	119
ÖZGEÇMİŞ	120

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	İncelenen polimetil metakrilat için hasar mekanizmaları	5
Şekil 2.2.	İncelenen Polimetil Metakrilat için çizik (scratch) termal görüntüsü	6
Şekil 2.3.	Farklı penetrasyon derinliklerinde çizilme sertliği	7
Şekil 2.4.	Malzeme mikro yapılarının gösterimi.....	7
Şekil 2.5.	CGI-A Malzemesinin tek çizik testi; (a) Aşamalı yük ile çizikler, (b) Üç çizik için normal ve teğet kuvvetlerinin ortalaması.....	8
Şekil 2.6.	Fab faktörünü çıkarmak için metot. (a) Ortalama aşınma profilinin hesaplanması, (b) Yan akış (A1) ve aşınmış (A2) alanlarının ölçümü.....	8
Şekil 2.7.	Soda-kireç cam malzemesinin SEM görüntüleri; (a) Çekme çatlağının meydana geldiği başlangıç noktası, (b) İlk kısım, (c) Orta kısım, (d) Uç kısım	9
Şekil 2.8.	Balık pulu hasarının SEM görüntüsü; (a) TPO için balık pulu oluşumunun başlangıcı, (b) TPO için gelişmiş balık pulu, (c) PS için balık pulu deseni.....	10
Şekil 2.9.	Erozif aşınma testi yapılan Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinin ortalama pürüzlülük değerleri	11
Şekil 2.10.	Erozyon krateri orta nokta pürüzlülük profiline nozul geometrilerinin etkisi	12
Şekil 2.11.	(a) UHMWPE'nin kuru ortamda aşınma yüzey görüntüsü, (b) UHMWPE'nin sulu ortamda aşınma yüzey görüntüsü.....	13
Şekil 2.12.	(a) Kompozit malzemesinin kuru ortamda aşınma yüzey görüntüsü, (b) Kompozit malzemesinin sulu ortamda aşınma yüzey görüntüsü	13
Şekil 2.13.	Çizik deformasyonundan sonra numunelerin yüzey deformasyonlarını gösteren SEM görüntüleri	14
Şekil 2.14.	Polimetil Metakrilat matris yapı malzemesinin yüzeyinin (a) 3D ve (b) 2D görüntüsü	15
Şekil 2.15.	Polimetil Metakrilat malzemesinin normal yük altında çizilme hasarı; (a) Periyodik çatlakları, (b) Delinme	16
Şekil 2.16.	Normal yük altında çizik geriliminden kaynaklanan çatlağın başlangıç konumunun gösterimi; (a) Normal yükün fonksiyonu olarak maksimum çekme gerilmesi, (b) Çizik geriliminden kaynaklanan çatlağın gösterimi	17
Şekil 2.17.	Polimetil Metakrilat malzemesinin kuru ve nem koşulunun çekme dayanımı.....	18
Şekil 2.18.	Normal yükler için çatlak bilgilerin başlangıcı; (a) PMMA-1, (b) PMMA-2, (c) PMMA-3	18
Şekil 3.1.	Polimer malzemesinin molekül yapıları; (a) Doğrusal, (b) Dallandırılmış, (c) Çapraz bağlı, (d) Ağ polimer yapıları	19

Şekil 3.2.	Polimer malzemenin sürtünme esnasında yüzeyinde meydana gelen yapı değişikliği	21
Şekil 3.3.	Poli-metil metakrilatın yapısı	22
Şekil 3.4.	Japonya, Okinawa Churaumi Akvaryumu, Polimetil Metakrilat'ın akvaryum camı olarak kullanımı	26
Şekil 3.5.	Polimetil Metakrilat malzemesinden yapılmış araba farı ve motosiklet kask camı	27
Şekil 3.6.	Polimetil Metakrilat'ın mobilya sektöründe kullanımına bir örnek	28
Şekil 4.1.	Çizik (Scratch) test yöntemi (1: Test örneği, 2: Çizik ucu, P: Test yükü, v: Test hızı)	32
Şekil 4.2.	Polimer bir plakanın yüzey çizilme işleminin gösterimi	33
Şekil 4.3.	Çizik (Scratch) testinde, yükü belli aralıklarla arttırarak uygulama	35
Şekil 4.4.	Çizik dalga genişliği ve çizik derinliğinin şematik gösterimi	36
Şekil 4.5.	Yüzey çizilme (Scratch) test cihazı ve Rockwell S-218 tipi batıcı uç	38
Şekil 4.6.	Nanomekanik Test Cihazında kullanılan batıcı uçların şematik görüntüleri; (a) Vickers, (b) Berkviç, (c) Knoop, (d) Konik, (e) Konik küresel (Rockwell), (f) Küresel	38
Şekil 4.7.	Çizik testinden sonra oluşan kohazif hasar oluşumları	39
Şekil 4.8.	Çizik testinden sonra oluşan adhezif hasar oluşumları	39
Şekil 4.9.	Nano çizik test cihazı (NST)	40
Şekil 4.10.	Mikro çizik test cihazı (MST)	41
Şekil 4.11.	Revestest çizik test cihazı (RST)	41
Şekil 4.12.	Çizik test cihazlarının ölçüm aralığı	42
Şekil 5.1.	Ortalama çizgisi ile birlikte yüzey profilinin tepe-çukur ilişkisi	43
Şekil 5.2.	Ra'nın gösterilmesi ve hesaplanması	45
Şekil 5.3.	Rv'nin gösterilmesi ve hesaplanması	45
Şekil 5.4.	Rp'nin gösterilmesi ve hesaplanması	46
Şekil 5.5.	Rz'nin gösterilmesi ve hesaplanması	46
Şekil 5.6.	Sa'nın gösterilmesi ve hesaplanması	47
Şekil 5.7.	Sv'nin gösterilmesi ve hesaplanması	47
Şekil 5.8.	Sp'nin gösterilmesi ve hesaplanması	48
Şekil 5.9.	Sz'nin gösterilmesi ve hesaplanması	48
Şekil 6.1.	Deney çalışmada kullanılan Polimetil Metakrilat numunesinin Solidwork'de çizilmiş boyutları ve örnek hedef malzeme	49
Şekil 6.2.	Rockwell sertlik ölçümünün şematik gösterimi	50
Şekil 6.3.	Vickers sertlik ölçümünün şematik gösterimi	51
Şekil 6.4.	Deneyde kullanılan Nanovea PS50 Marka 3D Optik Profilometre Cihazı	52
Şekil 6.5.	Pürüzlülük ölçümünün şematik gösterimi	53
Şekil 7.1.	Çizik dalga genişliği ve çizik derinliğinin şematik gösterimi	57
Şekil 7.2.	A numunesinin 1mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (A-1) 1 tekrar, (A-2) 2 tekrar, (A-3) 6 tekrar, (A-4) 12 tekrar	59
Şekil 7.3.	A numunesinin 1mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliğinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği	60

Şekil 7.4.	B numunesinin 1mm/s hızda, 23,153N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (B-1) 1 tekrar, (B-2) 2 tekrar, (B-3) 6 tekrar, (B-4) 12 tekrar	61
Şekil 7.5.	B numunesinin 1mm/s hızda, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (B-5) 1 tekrar, (B-6) 2 tekrar, (B-7) 6 tekrar, (B-8) 12 tekrar	62
Şekil 7.6.	B numunesinin 1mm/s hızda, 23,153N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliğinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği	64
Şekil 7.7.	C numunesinin 5mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (C-1) 1 tekrar, (C-2) 2 tekrar, (C-3) 6 tekrar, (C-4) 12 tekrar	65
Şekil 7.8.	C numunesinin 5mm/s hızda, 23,153N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (C-5) 1 tekrar, (C-6) 2 tekrar, (C-7) 6 tekrar, (C-8) 12 tekrar	66
Şekil 7.9.	C numunesinin 5mm/s hızda, 46,501N ve 23,153N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlikleri, çizik dalga genişlikleri ve çizik derinliğinin değişim grafiği	68
Şekil 7.10.	D numunesinin 5mm/s hızda, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (D-1) 1 tekrar, (D-2) 2 tekrar, (D-3) 6 tekrar, (D-4) 12 tekrar	69
Şekil 7.11.	D numunesinin 5mm/s hızda, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği	70
Şekil 7.12.	E numunesinin 1 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (E-1) 1mm/s, (E-2) 2mm/s.....	71
Şekil 7.13.	E numunesinin 1ve 2mm/s hızda, 12,857N yük, 1 tekrar sayısı, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği	72
Şekil 7.14.	F numunesinin 1 tekrar sayısında, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (F-1) 1mm/s, (F-2) 2mm/s, (F-3) 3mm/s, (F-4) 4mm/s	73
Şekil 7.15.	F numunesinin 1 tekrar sayısında, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (F-5) 5mm/s, (F-6) 7,5mm/s, (F-7) 10mm/s.....	74
Şekil 7.16.	F numunesinin 1 tekrar sayısında, 1-2-3-4-5-7,5 ve10mm/s hızlarda, 45,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlikleri, çizik dalga genişlikleri ve çizik derinliğinin değişim grafiği.....	76
Şekil 7.17.	PMMA numunesinin 12 tekrar sayısında 12,857-23,153 ve 46,501N yük, 1mm/s hızda, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (a) 12,857N, (b) 23,153N, (c) 46,501N.....	77
Şekil 7.18.	Farklı yükler altında çizik testi uygulanan PMMA numunesinin 12 tekrar sayısında çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği.....	78

Şekil 7.19.	A numunesinin 1mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülüğü Parametre verilerinin değişim grafiği	80
Şekil 7.20.	A numunesinin 1mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği	81
Şekil 7.21.	B numunesinin 1mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 23,153N ve 12,857N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği.....	82
Şekil 7.22.	B numunesinin 1mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 23,153N ve 12,857N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği.....	83
Şekil 7.23.	C numunesinin 5mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 46,501N ve 23,153N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği.....	84
Şekil 7.24.	C numunesinin 5mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 46,501N ve 23,153N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği.....	85
Şekil 7.25.	D numunesinin 5mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği	86
Şekil 7.26.	D numunesinin 5mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği	87
Şekil 7.27.	E numunesinin 1 ve 2 mm/s hızda, 1 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği	87
Şekil 7.28.	E numunesinin 1 ve 2mm/s hızda, 1 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği	88
Şekil 7.29.	F numunesinin 1-2-3-4-5-7,5 ve 10mm/s hızda, 1 tekrar sayısında, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği.....	89
Şekil 7.30.	F numunesinin 1-2-3-4-5-7,5 ve 10mm/s hızda, 1 tekrar sayısında, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği	90
Şekil 7.31.	A numunesinin 1mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliğinin alanları; (A-1) 1 tekrar, (A-2) 2 tekrar, (A-3) 6 tekrar, (A-4) 12 tekrar	92
Şekil 7.32.	A numunesinin 1mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanlarının değişim grafiği.....	93

Şekil 7.33.	B numunesi 1mm/s hız, Vickers uç, 23,153N ve 12,857N yük için çizik oluk ve derinlik alanları; (B1-B5) 1 tekrar, (B2-B6) 2 tekrar, (B3-B7) 6 tekrar, (B4-B8) 12 tekrar.....	94
Şekil 7.34.	B numunesinin 1 mm/s hızda, 23,153N ve 12,857N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği.....	96
Şekil 7.35.	C numunesi 5mm/s hız, Vickers batıcı uç, 46,501N ve 23,153N yük için çizik oluk ve derinlik alanları; (C1-C5) 1 tekrar, (C2-C6) 2 tekrar, (C3-C7) 6 tekrar, (C4-C8) 12 tekrar.....	97
Şekil 7.36.	C numunesinin 5mm/s hızda, 46,501N ve 23,153N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği.....	98
Şekil 7.37.	D numunesinin 5mm/s hızda, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanları; (D-1) 1 tekrar, (D-2) 2 tekrar, (D-3) 6 tekrar, (D-4) 12 tekrar	99
Şekil 7.38.	D numunesinin 1,2,6 ve 12 tekrar sayısında, 5mm/s hız, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği.....	100
Şekil 7.39.	E numunesinin 1 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlikleri ve çizik derinliği alanları; (E-1) 1mm/s, (E-2) 2 mm/s.....	101
Şekil 7.40.	E numunesinin 1-2mm/s hızda, 12,857N yük, 1 tekrar sayısı, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği	102
Şekil 7.41.	F numunesinin 1 tekrar sayısı, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk ve çizik derinlik alanları; (F-1) 1mm/s, (F-2) 2mm/s, (F-3) 3 mm/s, (F-4) 4 mm/s, (F-5) 5mm/s, (F-6) 7,5mm/s, (F-7) 10mm/s	103
Şekil 7.42.	F numunesi 1 tekrar sayısı, 1-2-3-4-5-7,5 ve 10mm/s hızda, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği.....	104

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1.	Polimerlerin sınıflandırılması	20
Tablo 3.2.	Polimetil metakrilatın özellikleri.....	24
Tablo 3.3.	Polimetil Metakrilat'ın avantaj ve dezavantajları	30
Tablo 4.1.	Mosh sertlik skalası.....	31
Tablo 4.2.	Kritik yükleri belirleyen parametrelerin listesi	35
Tablo 4.3.	Çizik test cihazlarının teknik özellikleri	42
Tablo 6.1.	Nanovea PS50 marka 3D optik profilometre cihazının özellikleri	52
Tablo 6.2.	Deneyisel çalışmada kullanılan A numunesinin özellikleri.....	54
Tablo 6.3.	Deneyisel çalışmada kullanılan B numunesinin özellikleri	54
Tablo 6.4.	Deneyisel çalışmada kullanılan C numunesinin özellikleri	54
Tablo 6.5.	Deneyisel çalışmada kullanılan D numunesinin özellikleri.....	55
Tablo 6.6.	Deneyisel çalışmada kullanılan E numunesinin özellikleri	55
Tablo 6.7.	Deneyisel çalışmada kullanılan F numunesinin özellikleri	55
Tablo 7.1.	Çizik testi sonrasında A numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri	60
Tablo 7.2.	Çizik testi sonrasında B numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri	63
Tablo 7.3.	Çizik testi sonrasında C numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri	67
Tablo 7.4.	Çizik testi sonrasında D numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri	70
Tablo 7.5.	Çizik testi sonrasında E numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri	72
Tablo 7.6.	Çizik testi sonrasında F numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri	75
Tablo 7.7.	Farklı yükler altında çizik testi sonrasında numunelerin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri	77
Tablo 7.8.	Çizik testi sonrasında A numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları.....	93
Tablo 7.9.	Çizik testi sonrasında B numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları.....	95
Tablo 7.10.	Çizik testi sonrasında C numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları.....	98
Tablo 7.11.	Çizik testi sonrasında D numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları.....	100

Tablo 7.12. Çizik testi sonrasında E numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları.....	101
Tablo 7.13. Çizik testi sonrasında F numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları.....	104



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Çizen Konik Ucun Normal ile Yaptığı Açı
θ	: Çizicinin Numune ile Yaptığı Açı
μ	: Sürtünme Katsayısı
μm	: Mikrometre
Aİ	: Malzemenin Çizilmesi Sonucu Oluşan Alanı
d	: Çizilme ile Oluşan Derinliğin Genişliği
dhp	: Toplam Penetrasyon Derinliği(μm)
Fab	: Ortalama Aşınma Profilinin Hesaplanma Faktörü
FN	: Uygulanan Normal Yük, (Newton)
FS	: Sürtünme Kuvveti, (Newton)
FT	: Teğetsel Kuvvet, (Newton)
hp	: Plastik Derinlik(μm)
HRc	: Rockwell Sertliği
HS	: Çizilme Sertliği
HV	: Vickers Sertliği
l	: Örnekleme Uzunluğu(mm)
Lp	: Malzeme Yüzeyinin Çizik Derinliğinin Genişliği(μm)
LC	: Kritik Yük
Lg	: Scratch Groove Width (Çiziğin Oluk Genişliği) (μm)
Lw	: Wave Width (Çiziğin Dalga Genişliği) (μm)
P	: Malzemeye Uygulanan Test Yüğü, (Newton)
q	: Malzemenin Çizilmeye Karşı Göstermiş Olduğu Tepki ile Değişen Parametre
Ra	: Seçilen Yüzeyin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, (μm)
Rp	: Seçili Yüzeyin Maksimum Tepe Yüksekliği, (μm)
Rv	: Seçilen Yüzeyin Maksimum Vadi Derinliği, (μm)
Rz	: Seçilen 5 Tane Yüzeyin Ortalama Pürüzlülük Değeri, (μm)
Sa	: Bütün Yüzeyin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, (μm)
Sg	: Surface of the Groove Cross Section (Oluk Kesitinin Yüzeyi)
Sp	: Bütün Yüzeyin Maksimum Tepe Yüksekliği, (μm)
Sv	: Bütün Yüzeyin Maksimum Vadi Derinliği, (μm)
Sw	: Surface of the Wave Cross Section (Dalga Kesitinin Yüzeyi)
Sz	: Maksimum Tepe Yüksekliği ile Maksimum Vadi Derinliğinin Toplamı, (μm)
Tg	: Camsı Geçiş Sıcaklığı, ($^{\circ}\text{C}$)
v	: Test Hızı, (mm/s)
W	: Uygulanan Normal Yük, (Newton)

Kısaltmalar

AFM	: Atomic Force Microscopy (Atomik Kuvvet Mikroskobu)
ATRP	: Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu

CGI	: Compacted Graphite Cast Irons (Grafitli Dökme Demir)
CLSM	: Confocal Laser Scanning Microscopy (Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop)
CRGO	: Comparative Reduced Graphane Oxide (İndirgenmiş Grafen Oksit)
EPM	: Etilen Propilen Kauçuk
FEM	: Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Analizi)
HNT	: Halloysite Clay Nanotubes (Halloysite Kil Nanotüpleri)
MF	: Melamin Formaldehit
MMA	: Metil metakrilat
MMT	: Montmorillonit Clay Nanoplates (Montmorillonit Kil Nanoplakalar)
MST	: Micro Scratch Testing (Mikro Çizik Test Cihazı)
NST	: Nano Scratch Testing (Nano Çizik Test Cihazı)
PA	: Poliamid
PB	: Polibütilen
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PMMA	: Polimetil metakrilat
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil Klorit
PVDF	: Poliviniliden Florür
RST	: Revetest Scratch Testing (Revetest Çizik Test Cihazı)
SAN	: Stiren-Akrilo Nitril
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TPO	: Termo Plastik Olefin
UHMWPE	: Ultra High Molecular Weight Polyethylene (Çok Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen)

POLİMETİL METAKRİLAT MALZEMESİNİN FARKLI ÇİZİLME YÜKLERİ ALTINDA TEKRARLI ÇİZİLME TESTLERİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı Polimetil Metakrilat malzemesinin farklı çizilme yükleri altında tek ve tekrarlı olacak şekilde çizilme davranışları incelenmiştir. Çizilme test düzeneği yardımı ile Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde oluşan hasarlar ve pürüzlülük gibi ortaya çıkan değişimler incelenmiştir. Polimetil Metakrilat yüksek ışık geçirgenliği uzun hizmet ömrü ile mor ötesi ışıklara ve hava koşullarına gösterdiği direnç gibi özellikleri sayesinde diğer plastik malzemeler arasında öne çıkmaktadır. Polimetil Metakrilat malzeme, yolcu kabini camlarında geleneksel camın yerine yeni nesil uçaklarda daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Polimetil Metakrilat malzemesinden yapılmış camlara yüksek hızda çarpan aşındırıcı parçacıklar malzeme yüzeyinde çizilmelere sebep olup malzemenin hizmet ömrünü azaltmaktadır. Malzemede çizilme olayının gerçekleşmesi durumunda Polimetil Metakrilat malzemesinde şeffaflık ve ışık geçirgenliği gibi özelliklerini kaybetmektedir.

Bu tez kapsamında Polimetil Metakrilat'dan yapılmış levhalara farklı kuvvetler altında, farklı çizme hızlarında, tek ve tekrarlı testler uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülük analizleri, plastik deformasyon alanları ve malzemenin yüzeyinde oluşan çizilmeye bağlı topografyalar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Materyal olarak kullanılan Polimetil Metakrilat siyah renkte levha ve çizilme testi için özel olarak kurgulanmış motorize çizilme test cihazı kullanılmıştır. Çizilme testinin malzemeye verdiği etkiyi araştırmak ve yüzey pürüzlülük ölçümü analizlerinde optik profilometre kullanılmıştır. Polimetil Metakrilat malzemesinin çizilme testleri ve analizleri Kocaeli Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi bünyesindeki Aşınma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çizilme Testi, Polimetil Metakrilat, Profilometre, Pürüzlülük.

REPEATED SCRATCH TESTS OF POLYMETHYL METHACRYLATE MATERIAL UNDER DIFFERENT SCRATCH LOADS

ABSTRACT

The aim of this study was to examine the single and repetitive scratch behavior of Polymethyl Methacrylate material under different scratch loads. With the help of the scratch test tool, the resulting changes such as damages and roughness on the surface of the Polymethyl Methacrylate material were examined. Polymethyl Methacrylate stands out among other plastic materials thanks to its high light transmittance, long service life, resistance to ultraviolet rays and weather conditions. Polymethyl Methacrylate material has started to be used more in passenger cabin windows instead of traditional glass in the next generation of aircraft. The abrasive particles that hit glass made of Polymethyl Methacrylate material at high speed cause scratches on the surface of the material and reduce the service life of the material. If a scratch event occurs in the material, Polymethyl Methacrylate loses its properties such as transparency and light transmittance in the material.

As part of this thesis, single and repeated tests were applied to plates made of Polymethyl Methacrylate under different forces, at different boot speeds. Surface roughness analysis, plastic deformation areas and scratch-related topographies formed on the surface of the material were analyzed comparatively. Polymethyl Methacrylate black plate used as material and specially constructed motorized scratch tester used for scratch test. An optical profilometer was used to investigate the effect of scratch testing on the material and to analyze surface roughness measurement. Scratch tests and analyses of Polymethyl Methacrylate material were carried out in the wear Laboratory within the Faculty of Aeronautics and Space Sciences of Kocaeli University.

Keywords: Scratch Test, Polymethyl Methacrylate, Profilometer, Roughnes.

GİRİŞ

Günlük hayatımızda sonsuz sayıda kullanılmakta olduğunu bildiğimiz malzemeleri fark etmekteyiz. Metaller, Seramikler, Cam, Hibrit Malzemeler, Elastomerler, Polimerler ve bu malzemelerin alaşımları, istenilen parçaların yapımında bize çok sayıda seçenek sunmaktadır. Malzeme özelliklerini incelediğimizde ise çağımızda toplumun gereksinimini karşılayacak yüksek kaliteli üretim istenirken, daha hafif fakat sağlam malzeme mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır. Mühendislik malzemesi olarak kullanılan Polimer malzemeler; hafiflik, fonksiyonellik özelliği, malzemenin görünüm olarak estetik oluşu, kimyasala karşı dirençli oluşu ve ultraviyole radyasyonuna karşı göstermiş olduğu direnç nedeniyle çok geniş bir yelpazede kullanım olanağı sağlar. Makine parça imalatından, kişisel kullanım eşyalarına, otomatik sanayisinde kullanılan parçalara, uçak ve uzay sanayinde başta olmak üzere birçok alanda kullanım göstermektedir. Üreticiler, ürettikleri yeni geliştirilen polimer sınıfları tanıtmakta, geniş ürün yelpazesinin olduğu farklı ve yüksek teknolojinin kullanıldığı günlük yaşantımızda polimer malzeme kullanımı vazgeçilmez hale gelmesine sebep olmuştur.

Polimer ve polimer kompozit malzemelerin avantajı çelik malzeme gibi sağlam olması, malzemenin hafif olması, yüksek derecede kullanıma karşı dayanıklı sıcaklık ve maddi olarak kolayca üretilen malzeme üretimi olmasıdır. Polimerler kendi içyapıları gereği çelik ve diğer malzemelerden farklı malzemelerdir. Mühendislik uygulamalarında bazı metal parçaların yerine tercihen kullanılan polimer ve polimer kompozit malzemelerin sadece hafif olmaları ya da mekanik dayanıklılık gibi özellikleri değil, aynı zamanda insan doku yüzeyleri ile uygunluk sağlayabilen ve istenilen malzemenin sertliğini tasarlayarak yapay doku ve organlar gibi doku mühendisliği yolu ile mekanik uygulamalarda da kullanılır.

Malzemedeki yapılan işe göre sağlamlık, malzemenin esnekliği, hafifliği, malzemenin çevre şartlarına olan uyumu (güneş ışınları, nem gibi), darbeye karşı dayanıklılık ve sertlik gibi özelliklerin yanında bilimsel bir dille malzemenin ısısız genişleme

katsayıları, yorulması, çekme ve eğilme dayanımların değerlerinin uygunluğu istenir. 1950’li yıllardan günümüze kadar ki zamanda polimer kompozitler insan yaşamında önemli bir boşluğu doldurmuştur. Günümüzde ise yaygın olarak uçaklarda, füze yapı gövdelerinde, roketlerde, yüksek değerdeki kaliteli spor malzemelerinde ve insan dokuları için yapılan yapay kemik gibi maliyetin göz ardı edildiği alanlarda kullanılır. Bunun yanı sıra beyaz eşya, basınca dayanıklı borular, otomotiv sanayi ve deniz araç gövdelerinin parçalarında da görülmektedir.

Polimetil Metakrilat malzeme, üretim yöntemine ve içine katılan malzemeye bağlı olarak farklı optik ve mekanik özellikler göstermektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan Polimetil Metakrilat sahip olduğu polimer zincirlerinin kristal yapısı, kristal kafesi içerisindeki atomların katmanların dizilimine ve yerleştiği bağlar sebebiyle malzemenin özelliklerine ve biriktirme parametrelerine bağlı olarak oluşabilecek iç gerilmeler sonucu yüksek çizilme direnci göstermektedir.

Mevcut çalışmanın amacı malzeme parametreleri ve çizik sırasında gözlenen yüzey hasar özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmaktır. Giriş bölümünde açıklanan bu çalışma başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş olup istenilen yükler kullanılarak çizilme dirençlerinin örneklerden elde edilen yüzey çalışmaları ile niceliksel olarak tanımlanabilmiştir. Literatür çalışmaları ve konu ile ilgili patentler incelendiğinde, Polimetil Metakrilat malzemesinin çizik kuvvetinden sonra göstermiş olduğu hasar özellikleri, görünürlük ve hasar gören malzemenin yüzeyindeki pürüzlülüğün incelenmesi amaçlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Amacı

Genel anlamda malzeme, insan ihtiyacını karşılamak için kullanılan her türlü maddeye malzeme denir. Bir ihtiyaç elemanı olarak amacımıza en uygun malzemeyi seçebilmek ve bu malzemenin mekanik özelliklerinin önemli olduğu işlemlerde polimer malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Çalışmanın amacı, polimer malzemelerin yüzey çizik (scratch) test işlemi karşısında malzemenin göstermiş olduğu etkilerin belirlenmesidir.

1.2. Çalışma Yöntemleri

Polimetil Metakrilat malzemesinin 12-46 Newton yük aralığında, 1-10 mm/s hız aralığında, Rockweel ve Vickers batıcı uç ile tekrarlanarak polimer levhaların üzerinde çizik (scratch) test işlemi laboratuvar ortamında yapılmıştır.

1.3. Önceki Çalışmalar

Polimetil Metakrilat malzemesinin çizilmeye yönelik ilgili bilimsel çalışmalar literatür araştırmasında açıklanmıştır.

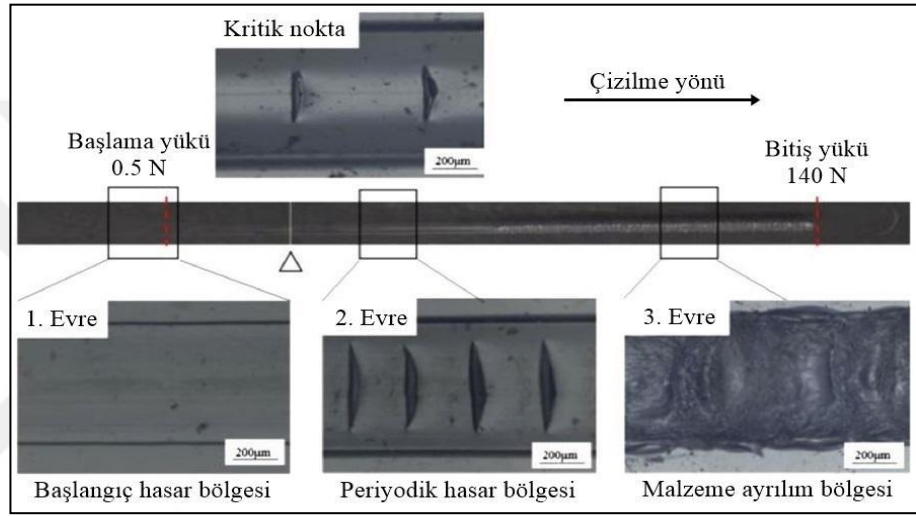
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ülkemizde ve dünyada, malzeme üretimi sektörü ekonominin yapı taşlarından biridir. Teknolojinin engel olunamaz hızda ilerlemesine bağlı olarak malzeme ürünlerindeki çeşitlilik, kolay üretime olanak veren malzeme, düşük maliyetli ve istenilen kalite ölçülerini sağlayan malzeme araştırmaları oldukça yaygınlaşmıştır. Bu sebeple polimer malzeme çeşitlerinin daha kaliteli olarak geliştirilmesi ve bu geliştirilen malzemelerin de üretim sektöründe kullanımının artırılması tercih edilmektedir.

Çeşitli polimer türlerinin içinde bulunana Polimetil Metakrilat malzemesinin istenilen fiziksel ve kimyasal performans ölçütlerinin belirlenmesin de istenilen koşulların hangi ölçüde yerine getirebildiklerinin bilinmesi bu çalışmanın amacı olmuştur. Metaller, içinde buldukları ortamla reaksiyona girerek bozunma eğilimindedirler. Polimer malzemeler ise yüksek kimyasal ve korozyon direncine sahip ve metallerden daha hafif oldukları için metallerin yerine tercih edilirler. Polimetil Metakrilat materyalinin, kullanımının ve tamirinin kolay olması estetik, hafif ve ucuz olması genelde cama alternatif malzeme olarak tercih edilir. Polimer malzemelerin uçak camı, akvaryum camı, otomobil arka fanları ve akıllı telefonların ön camlarında kullanılır. Polimer malzemeye uygulanan yük üzerinden, malzemenin yüzey çizilme direncinin belirlenmesi ve malzemenin gösterdiği tribolojik değerler adına bu çalışma, literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Polimer malzemesinin çizilme (scratch) testinin laboratuvar ortamında bilimsel çalışmalarda kullanılmış çizik test çalışmaları literatür araştırması bölümünde geniş bir şekilde verilmiştir.

İncelenen literatür araştırmasında çeşitli polimer malzemelerin farklı yük ağırlıkları ve farklı hız aralıklarında çizik (scratch) test çalışmaları eklenmiştir. Yapılan çalışmalarda, farklı polimer malzemelere çeşitli materyaller ilave edilerek, polimerlerin çizik direnci ve sürtünme dayanımları gibi özellikleri incelenmiştir.

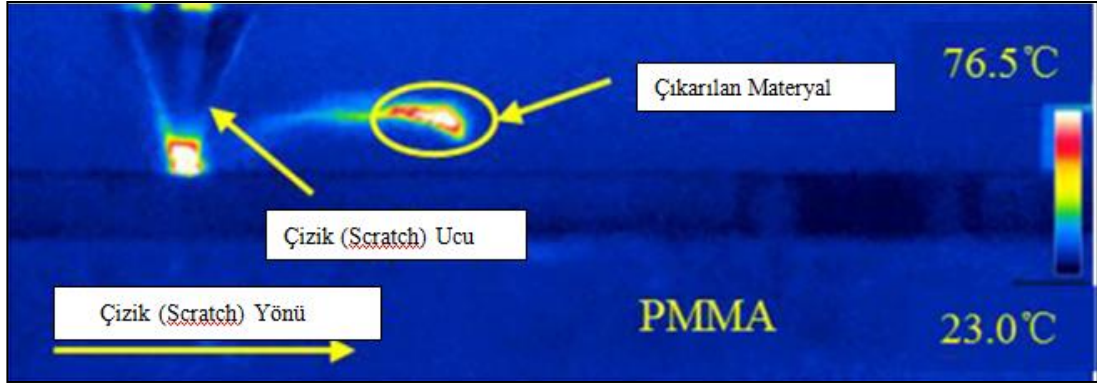
Q. Cheng ve arkadaşları tarafından termal yaşlanmanın Polimetil Metakrilat malzemesinin çizilme davranışına etkisini tasarladıkları çizik (scratch) test cihazında incelemişlerdir. Bu çalışmada 0,5 ile 140 Newton aralığında doğrusal olarak değişen kuvvet ve 1 mm çapında küresel paslanmaz çelik çizici uç kullanmışlardır. Polimetil Metakrilat malzemesini çizme uzunluğunun 100 mm, çizilme hızının da 25 mm/sn olarak gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmayı oda sıcaklığında gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Çizik (Scratch) testi ile gerçekleşen hasarı, malzeme üzerinde detaylı olarak lazer taramalı mikroskop ile görüntülemişlerdir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. İncelenen polimetil metakrilat için hasar mekanizmaları [1]

Bu çalışmanın sonucu olarak, yükün kademeli olarak çoğaltılmasıyla Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde periyodik çatlaklar oluştuğu gözlenmiş ve malzeme yüzeyinden ayrılmalar meydana geldiği açıklanmıştır [1].

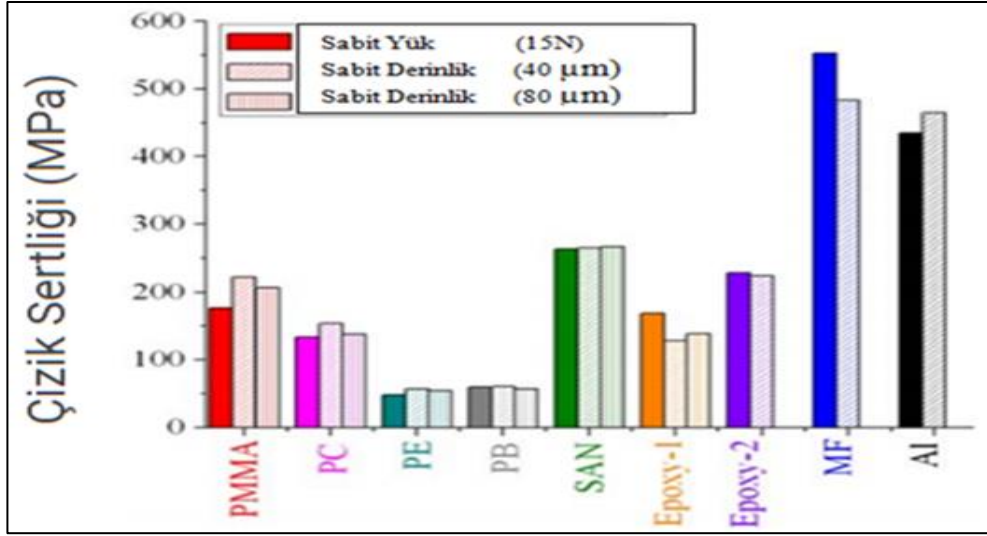
Zhang J. ve arkadaşları bu çalışmada, Polimetil Metakrilat ve Poli Karbonat malzemesinin çizik (scratch) testi sırasında sıcaklık değişimleri incelenmiştir [2]. Normal yükün artırılması ile birlikte Polimetil Metakrilat malzemede periyodik çatlaklar oluşmaya başlar ve malzemedен parçacıklar kopar Şekil 2.2’de malzeme yüzeyinin termal görüntüsü görülür. Bu testi yapmak için 1mm çapında paslanmaz çelik küresel uç, 0-120N ve 0-140Newton aralığında doğrusal olarak artan yük sırasıyla Polimetil Metakrilat ve PC için kullanılmıştır. Çizik (Scratch) testi oda sıcaklığında 30mm/sn hızında ve çizik mesafesi 100 mm olarak ayarlanarak yerinde gözlem yapmak ve ayrıca Taramalı Konfokal Mikroskop ile yüzeyindeki ayrıntılı hasar özelliklerini anlamak için kullanılmıştır.



Şekil 2.2. İncelenen Polimetil Metakrilat için çizik (scratch) termal görüntüsü [2]

Bu çalışmanın sonucu olarak Polimetil Metakrilat ve Poli Karbonat malzemelerin önemli ölçüde sıcaklığa dayanıklıdır. Aşamalı çizik sırasında ortaya çıkan ısı miktarı büyük değildir. Çizilme hızı arttırıldığında sürtünmeden dolayı ısı da artacaktır. Sıcaklık arttığında, çizici uç daha derine işler ve numune ile arasındaki temas alanı artar. Malzemedeki sıcaklıktaki artışı, kırılma ve elastik tepkileri düşürür. Polimetil Metakrilat ve Poli Karbonat malzemesinin farklı çizik hasarları olmasına rağmen normal yük, plastik deformasyon gibi birkaç hasar için sıcaklık değişiminin gözlemlenmiştir [2].

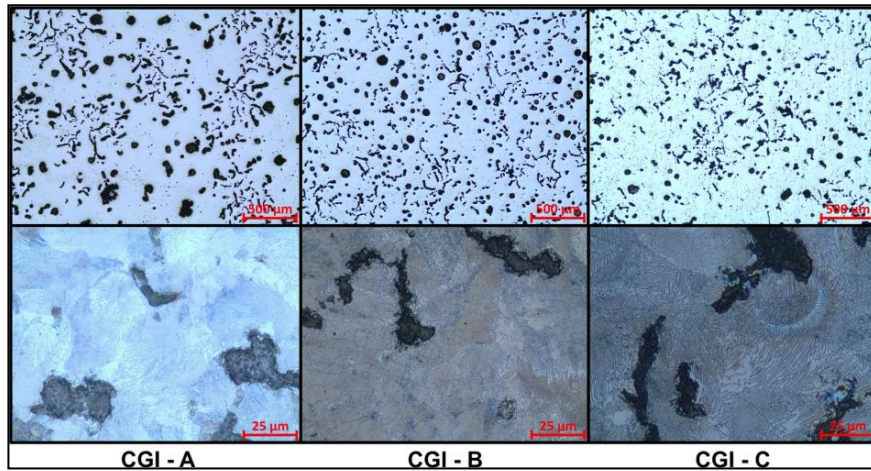
P. Kürkçü ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışmada, farklı polimerlerin çizilme davranışı karşısında malzemenin gösterdiği çizilme sertliğinin gerilme oranına bağlılığı, akma gerilimi, farklı penetrasyon derinliklerinde çizilme sertliği gibi etkilerini incelemişlerdir. İnceledikleri malzemeler sırasıyla; PMMA (Polimetil Metakrilat), PC (Poli Karbonat), PE (polietilen), MF (Melamin Formaldehit), PB (Poli Bütilen), SAN (Stiren-Akrilo Nitril) malzemeleridir. Bu numune parçaları 15 mm x 30 mm x 3 mm boyutlarındadır. Malzemeleri çizik işlemi CSM Microscratch test cihazında, çizik ucu 120° tepe açısında olan konik bir uç ve 200 µm yarıçapında küresel bir uç kullanmışlardır. Yapılan bütün testlerin 23 °C sıcaklıkta, çizik uzunluğunun 4 mm uzunluğunda ve sabit çizik hızlarının ise 0,004 mm/sn ile 4,16 mm/sn arasında olduğu belirtilmiştir. Gerçekleştirilen testlerin sonucunda MF (Melamin Formaldehit) malzemesinin diğer polimer malzemeleri arasında, akma dayanımı değerlerinden dolayı en yüksek çizik sertlik değerinde olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda PE (Poli Etilen) ve PB (Poli Bütilen) malzemesinin elastisite modülleri ve akma dayanımlarından dolayı düşük çizik direnci gösterdikleri belirtilmiştir [3].



Şekil 2.3. Farklı penetrasyon derinliklerinde çizilme sertliği [3]

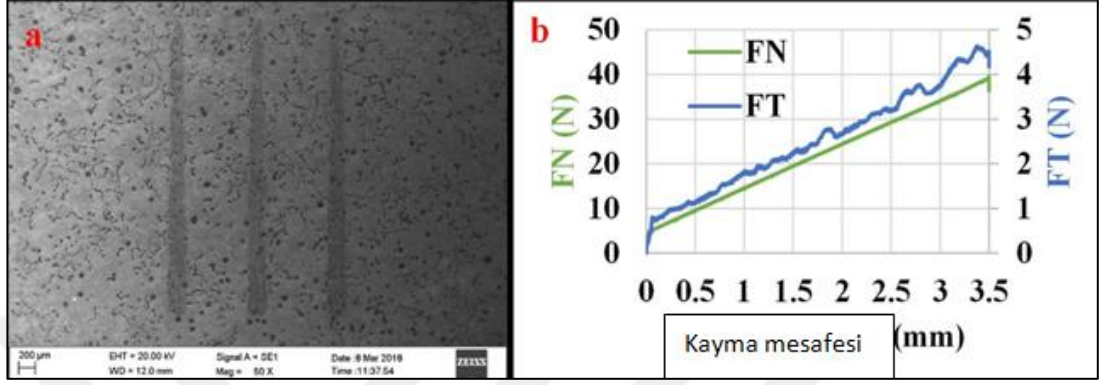
Bu çalışmanın sonucu olarak, polimerlerin çizilme davranışlarını ve içsel özellikleri arasındaki bağlantıyı incelemiştir. Çizilme olgusunun, malzemelerin akma geriliminin baskın olduğu göstermiştir. Farklı normal yüklerde gerçekleştirilen testler, çizilme sertliğinin büyük ölçüde yüklemeye bağımsız olduğunu göstermiştir [3].

Silva da L.R.R. ve arkadaşları tarafından yüksek mukavemetli sıkıştırılmış grafit dökme demirlerin frezelenmesinde iş parçası-takım ara yüzündeki sürtünme katsayısı incelenmiştir. Bu çalışma üç tip yüksek mukavemetli sıkıştırılmış grafit dökme demirinin (CGI) işlenmesinde sürtünme katsayısını ölçmek için serbest grafit fazının boyutunda ve molibden karbürlerin oluşumunda ve molibden karbürlerin yokluğunda üç farklı malzeme (CGI-A, CGI-B, CGI-C) kullanımını araştırmayı amaçlamıştır.



Şekil 2.4. Malzeme mikro yapılarının gösterimi [4]

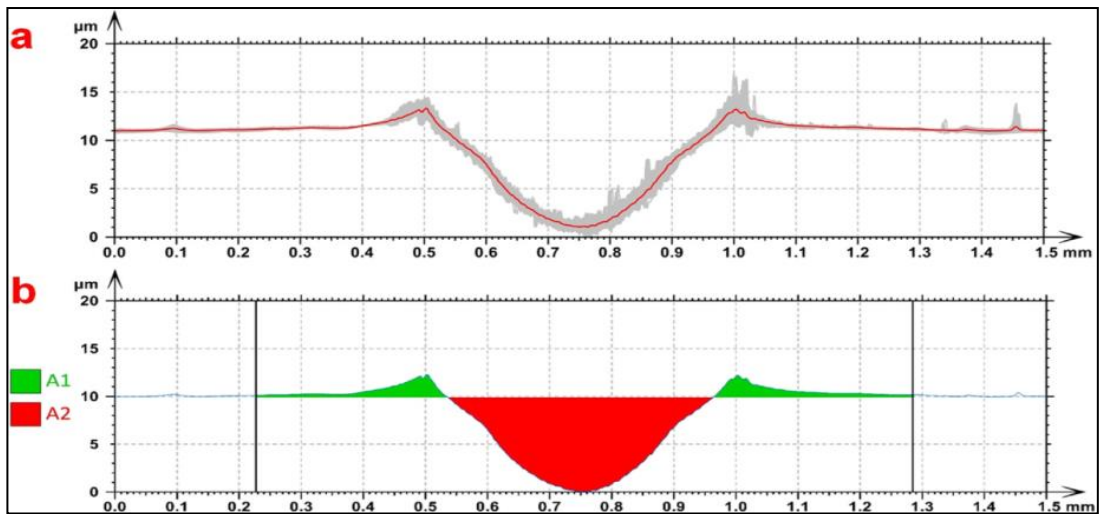
Test aşamaları; çizik hızı, ilerleme hızı, çizilen malzemenin yağlanmadan ve minimum miktarda yağlama ile de kullanımı yapılmıştır. Test çizikleri iki aşamalı 0,5-40 N yük aralığında değişen hem kuru hem de yağlama rejiminde 3,5 mm çizik uzunluğunda aşamalı yük ile çizik testi kullanılmıştır.



Şekil 2.5. CGI-A Malzemesinin tek çizik testi; (a) Aşamalı yük ile çizikler, (b) Üç çizik için normal ve teğet kuvvetlerinin ortalaması [4]

Aşınma izlerinin merkezi bölgesi Şekil 2.5’de örneklediği gibi beyaz ışık interferometrisi ile ölçülmüştür. Bu ölçülen yüzey Şekil 2.6’da gösterildiği gibi bir dizi profile dönüştürülüp analiz edilen bölgenin ortalama profili belirlenir. Daha sonra denklem kullanılarak test edilen her koşul için F_{ab} faktörünün hesaplanması mümkün olur. F_{ab} faktörü gösterildiği üzere (2.1) şu şekilde belirlenmiştir. Buradaki $A2$ aşınmış alanların ölçümü ve $A1$ ’de çizikğin yan akış alanını göstermektedir.

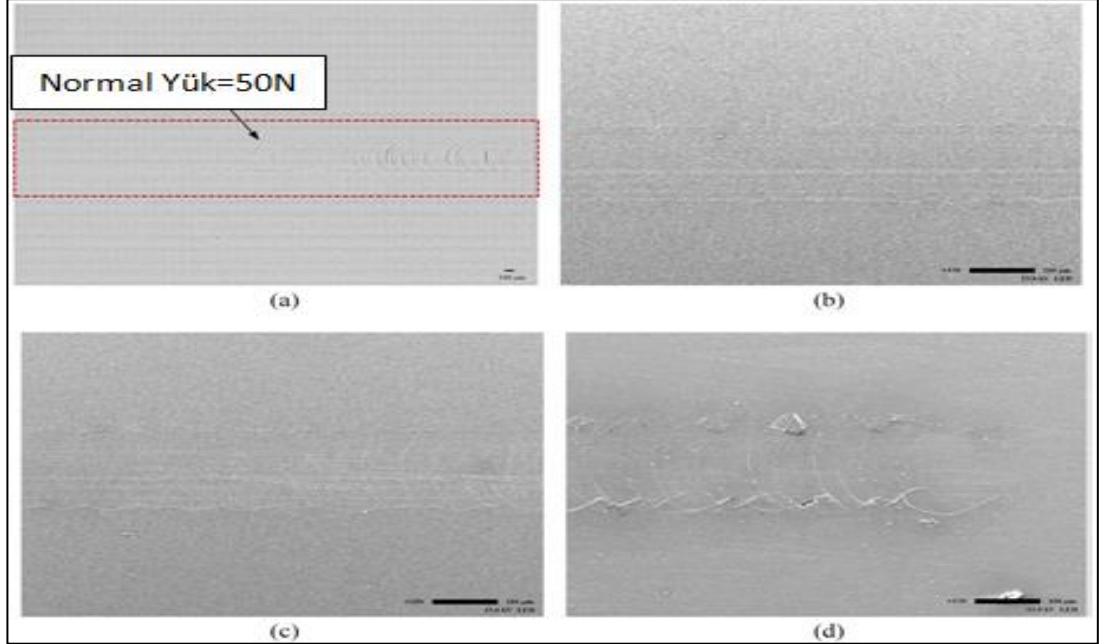
$$F_{ab} = (A2 - A1) / A2 \quad (2.1)$$



Şekil 2.6. F_{ab} faktörünü çıkarmak için metod. (a) Ortalama aşınma profilinin hesaplanması, (b) Yan akış ($A1$) ve aşınmış ($A2$) alanlarının ölçümü [4]

Bu çalışmanın sonucu olarak araştırmacılar yağlama ile malzemenin sürtünme katsayısını azaldığını belirlemişlerdir. Aynı zamanda işleme testleri için, malzeme takım geometrisi ve kesme hızı yağlamadan daha az olmasına rağmen sürtünme katsayısının ve teğetsel kuvvetin üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır [4].

Lee K. ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışma, malzemenin çizilme davranışını incelemek için çizik teori similasyonları için genişletilmiş bir sonlu eleman (XFE) modeli geliştirmektedir. XFE modeli geliştirirken, sürtünme değişimi, akma mukavemeti, kayma mukavemeti, elastik geri kazanım ve yığıma dikkate alınır. Mekanik özelliklerini ölçmek için Berkovich ucu ile gerçekleştirilmiş soda-kireç camı (Seul özel cam Endüstrisi, Güney Kore) kullanılmıştır. Deneyler için nano test cihazı (UNHT³, Anton Paar, İsviçre) ve mikro çizik test cihazı (KK 01/KatoTeknoloji, Japonya) seçilmiştir. İncelenen çalışmada, uç yarıçapı 0,5 mm, yükleme hızı 72000mN/dak, çizik hızı ise 14,4 mm/dak olarak soda-kireç camının mikro çizik SEM görüntüleri Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

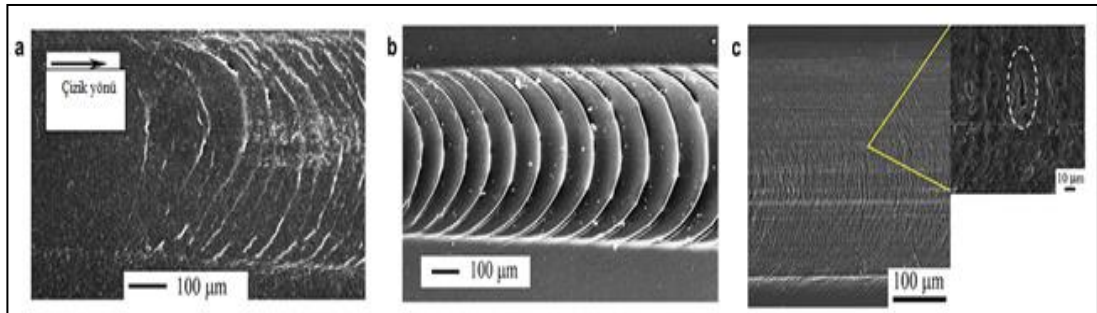


Şekil 2.7. Soda-kireç cam malzemesinin SEM görüntüleri; (a) Çekme çatlağının meydana geldiği başlangıç noktası, (b) İlk kısım, (c) Orta kısım, (d) Uç kısım [5]

Bu çalışmanın sonucunda, farklı boyutlardaki çizik uçları, farklı sürtünme katsayısı değişikliklerine yol açan arıza oluşumlarına (nano çizik testinde yontma, mikro çizik testinde gerileme çatlaması) neden olmuştur [5].

H. Jiang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada belirlenen polimer malzemelerin çizik (scratch) testinden sonra malzemelerin gösterdiği hasarları incelemiştir. Çalışmada kullanılan malzemeler sırasıyla; PC (Poli Karbonat), PS (Poli Stiren), PP (Poli Propilen), TPO (Termo Plastik Olefin), EPM (Etilen Propilen Kauçuk) ve Epoksidir. Bütün malzemelerin yüzeyleri test aşamasından önce toz püskürtücü ile temizlenerek pürüzsüz bir yüzeye sahip olması ve 10 mm genişlik, 50 mm uzunluğuna sahip ve 3 mm kalınlıktadır. Bu malzemeler; sünek ve mukavemetsiz, gevrek ve mukavemetli, sünek ve mukavemetli, gevrek ve mukavemetsiz polimer türleri incelenmiştir. Mukavemetli polimer malzemesi için 1 mm çapında tungsten karbür küresel uç, mukavemetsiz polimer malzemeler için ise 1 mm çapında paslanmaz çelik küresel uç kullanılmıştır. Çizilme hızı, gevrek polimerler için 100 mm/sn, yumuşak TPO malzemesi için ise 1-100 mm/sn olarak incelenmiştir. Yük aralığı mukavemetsiz polimer malzemeler de 1-30 Newton, mukavemetli polimer malzemeler için ise 1-100 Newton aralığında değişmektedir.

Çizilme uzunluğu 100 mm olarak belirlenmiştir. Çizilme hızı, rijit polimerler için 100 mm/sn, yumuşak TPO için 1 mm/sn ve 100 mm/sn olarak uygulanmıştır. Yük aralığı mukavemetsiz polimerler için 1 N'dan 30 N'a kadar, mukavemetli polimerler için 1 N'dan 100 N'a kadar değişmektedir. Yapılan çalışmada TPO malzemesinin Şekil 2.8'de SEM görüntüsü verilmiştir.

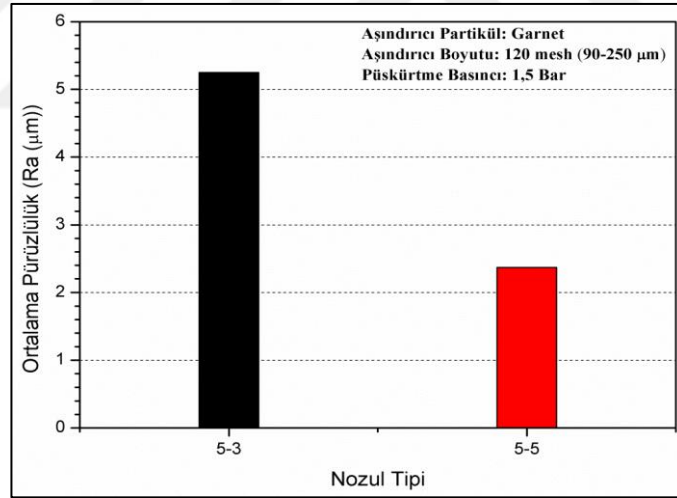


Şekil 2.8. Balık pulu hasarının SEM görüntüsü; (a) TPO için balık pulu oluşumunun başlangıcı, (b) TPO için gelişmiş balık pulu, (c) PS için balık pulu deseni [6]

Sünek ve zayıf polimer malzemeler için düşük gerilme gösterir. Çizik yükünde daha fazla artış olması malzemenin yüzeyinden kaldırma gerçekleşir. Artan normal bir yük ile çizik TPO malzemesinin yüzeyini periyodik bir içbükey şekilde plastik deformasyona uğrar. Eğer normal yük daha da arttırılırsa Şekil 2.8b'deki balık pulu hasarı tekrarlanabilir bir model olarak karşımıza çıkar. Balık pulu ölçeğindeki hasara

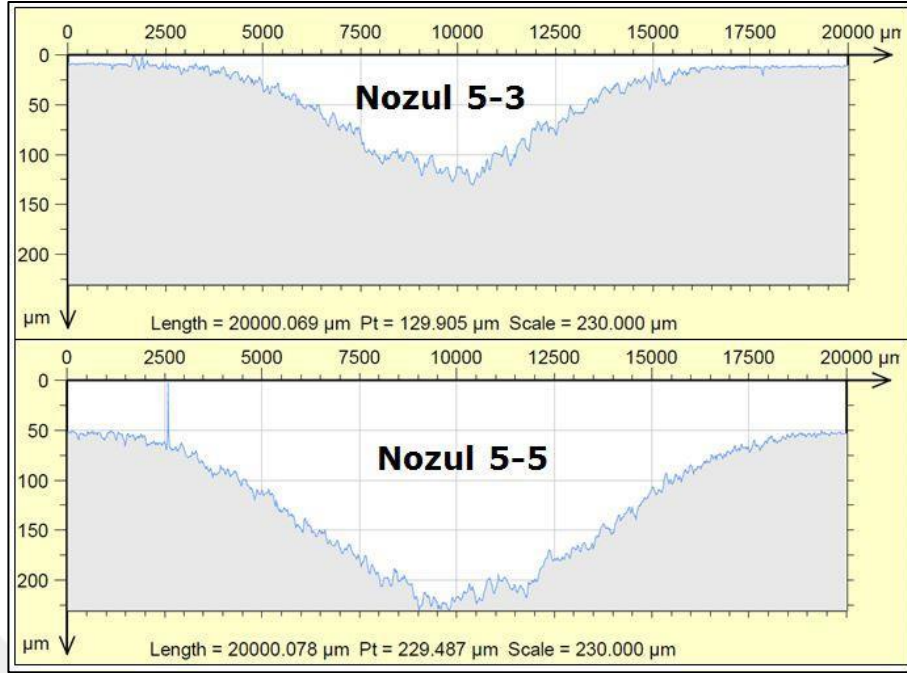
çoğunlukla plastik çekilme gerçekleşir. Şekil 2.8c'de ise PS malzemesinin yüzeyi için ise zar zor tespit edilen balık pulu modelinin mikro ölçekli çatlaklar veya boşluklar bir arada bulunur [6].

Önen B. ve diğerleri yolcu uçaklarında cam malzemesine alternatif olarak kullanılan PMMA (polimetil metakrilat) malzemesini farklı iki nozul çıkış çap ölçüsüne sahip nozullar 5mm ve 3mm (5-5 ve 5-3) ile erozif aşınma test işlemi gerçekleştirilerek analiz işlemi gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmada, kullanılan garnet aşındırıcı partikülleri 1,5 bar püskürtme basıncı, 120 mesh boyutunda (90-250µm) ve 90° çarpma hızında istenilen malzemeye 50 mm uzaklık mesafesinden gönderilerek malzemedeki kütle kayıpları ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonrasında Polimetil Metakrilat malzeme yüzeyinde, erozif aşınma testleri sonrasında ortaya çıkan hasar temassız lazer profilometre yardımı ile ortalama pürüzlülük değerleri ölçümü gerçekleştirilip, Polimetil Metakrilat malzemenin yüzeyinde görülen erozif aşınma davranışları detaylı şekilde incelenip değerlendirilmiştir.



Şekil 2.9. Erozif aşınma testi yapılan Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinin ortalama pürüzlülük değerleri [7]

Ortalama pürüzlülük değerleri, 5-5 nozulu için Ra=2,37µm ölçülürken; 5-3 nozulu Radeğeri 5,25µm ölçülmüştür. 5-3 nozulunun püskürtme sonrası, Polimetil Metakrilat malzeme yüzeyinde çok sayıda vadi pürüzlülüğü ve tepe oluşumu meydana geldiği; bu oluşan girintili vadiler ve çıkıntılı tepeler arasındaki farkın yüksek seviyede olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çizilme izlerinin ortalama pürüzlülük değerini artırdığı gözlemlenmiştir.



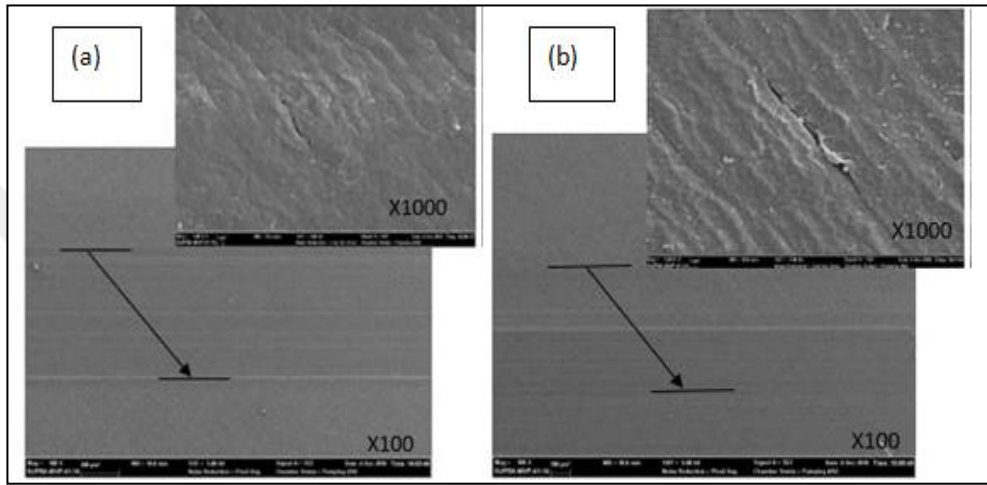
Şekil 2.10. Erozyon krateri orta nokta pürüzlülük profiline nozul geometrilerinin etkisi [7]

Erozif aşınma test işleminden sonra polimetil metakrilat malzeme yüzeylerine uygulanan pürüzlülük analizlerinde, tarama alanı olarak 20 mm x 20 mm boyutlarında ve 0,1µm yüzey hassasiyeti ile taranarak malzeme yüzey görüntüleri elde edilmiştir. Malzeme alan yüzey pürüzlülük görüntüsünde 5-5 nozulu ile püskürtme sonrası meydana gelen erozif yıpranma hasarının 5-3 nozula göre Polimetil Metakrilat malzemesinin alan yüzeyinde etki olarak daha geniş etkilediği görülmüştür.

Sonuç olarak, nozula uygulanan kesit daralması Polimetil Metakrilat malzemesinin erozyon oranını düşürmüştür. Daralan kesitli nozulla (5-3) yapılan testler sonrası erozyon çukur merkezindeki profil pürüzlülük değeri sabit kesitli nozulla (5-5) yapılan testler sonrası ortaya çıkan değer yaklaşık iki katı olmuştur. Alan pürüzlülüğü ve yayılımı sabit kesitli nozulda (5-5) daha büyük olmuştur [7].

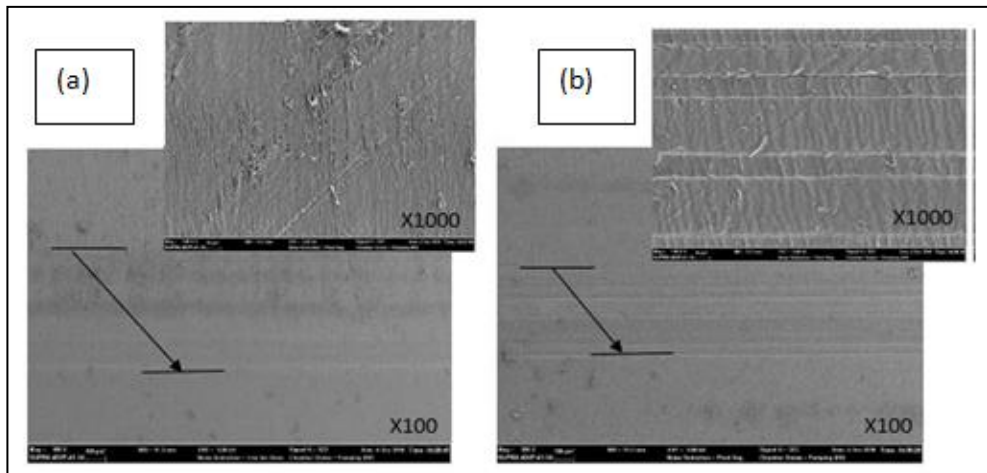
Çolak A. ve diğerleri, UHMWPE (Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen) ve ağırlıkça %0,5 indirgenmiş grafen oksit (CRGO) dolgululu kompozitin (CRGO/UHMWPE) aşınma davranışını kuru ve sulu ortamlarda incelemiştir. Biyo- uyumluluğu ve mükemmel özellikleri nedeniyle kalça ve diz protezleri için kullanılan UHMWPE (Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen) malzemesinin

performansını güçlendirmek için, düşük yoğunluğa ve yağlayıcı özelliğe sahip olan grafen dolgu maddesi ilave edilmiştir. Ağırlıkça %0,5 CRGO içeren UHMWPE esaslı kompozit (CRGO/UHMWPE) malzeme karıştırmasından sonra 185°C’ de, 10 MPa basınç altında, 30 dakika süre ile preslenerek hazırlama işlemi uygulanmıştır. UHMWPE (Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen) malzemesinin kuru ortamda sürtünme katsayısı 0,098, saf su olan ortamda 0,089 ve kuru ortam için aşınma hızı $6,5 \cdot 10^{-5} (\text{mm}^3/\text{Nm})$, saf su olan ortam için aşınma hızı $5,6 \cdot 10^{-5}$ dir.



Şekil 2.11. (a) UHMWPE'nin kuru ortamda aşınma yüzey görüntüsü, (b) UHMWPE'nin sulu ortamda aşınma yüzey görüntüsü [8]

Kompozit (CRGO/UHMWPE) malzemesinin kuru ortamda sürtünme katsayısı 0,064, saf su olan ortamda 0,032 ve kuru ortam için aşınma hızı $5,1 \cdot 10^{-5} (\text{mm}^3/\text{Nm})$, saf su olan ortam için aşınma hızı $3,8 \cdot 10^{-5}$ dir.

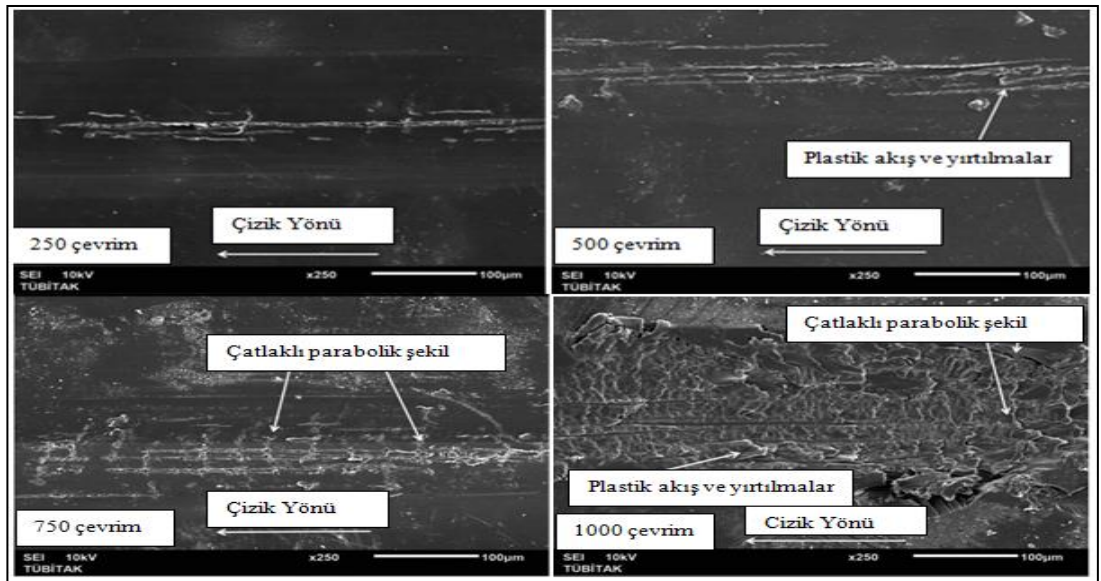


Şekil 2.12. (a) Kompozit malzemesinin kuru ortamda aşınma yüzey görüntüsü, (b) Kompozit malzemesinin sulu ortamda aşınma yüzey görüntüsü [8]

Bu çalışma da saf suyun yağlayıcı etkisinden dolayı sürtünme katsayısı azalmış, malzemedeki plastik deformasyon izleri saf su ile yapılan teste azalmasına rağmen kuru ortamda daha fazla plastik deformasyon izleri görülebilir. Bunun olmasının sebebi, sulu ortamda yapılan testin sürtünme sırasında oluşan ısıyı engellemesinden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, kuru ve sulu ortamda yapılan aşınma deney sonuçları grafen katkısının sürtünme katsayısını ve aşınma hızını azalttığını göstermiştir. CRGO ilavesinin UHMWPE malzemesinin kristal yapısını değiştirip polimer matrisde homojen bir şekilde yayıldığını göstermektedir. Bu durum grafen ilavesinin kompozitin aşınma sonuçları ve mekanizması üzerinde büyük bir etki yarattığını göstermektedir [8].

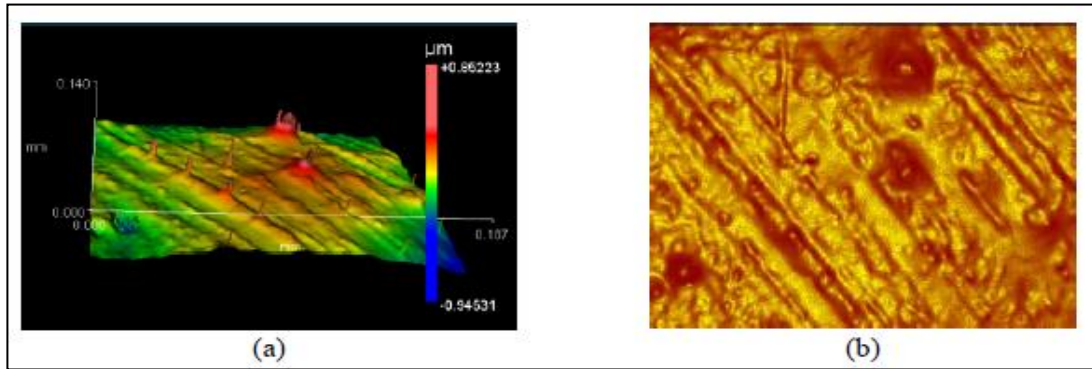
Fidan S. ve diğerlerinin yaptığı bu çalışmada, karbon/epoksi kompozitlerin hızlandırılmış yaşlandırılmalarının çizilme etkisindeki davranışlarını incelemiştir. Uçak yapısal malzemelerinde kullanılan karbon/epoksi malzemesinin dört farklı tip hızlandırılmış yaşlanma prosedürü uygulanıp, sürtünme katsayısı ve penetrasyon derinliği gibi çeşitli çizik hasar davranışlarını optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu kullanarak incelemiştir. Bu deneysel çalışmada, 25 mm x 25 mm x 2 mm boyutlarında kompozit test örnekleri, 250 ila 1000 devir arasında, -50°C ile +50°C ve %98 bağıl nem ortamında yaşlandırılan kompozit / epoksi numuneler çizik testi sonrası numunelerin çizilme hasar davranışları Şekil 2.13’de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Çizik deformasyonundan sonra numunelerin yüzey deformasyonlarını gösteren SEM görüntüleri [9]

Bu deneysel çalışmada, uçak yapı malzemesinin olarak kullanılan karbon/epoksi numunelerinin 750 ve 1000 döngülerinde numunelerin üzerinde sürekli dalgalanmalar oluştuğu ve 1000 çevrimde numunenin en kötü çizilme direncine sahip olduğu ve yapışma- kayma hareketinin periyodik çizik izleri olduğu bildirilmiştir [9].

Bel T. ve arkadaşlarının yaptığı bu çalışmada, Polimetil Metakrilat (PMMA) malzemesinin kendini onarma özelliği sağlamak amacıyla farklı üç uygulama ile (1, 3, 5 %) Mikro Küreler (MK) ilave edilmiştir. Nanokil takviyeli PMMA/MK nanokompozit malzemeye dışarıdan uygulanan çevre kaynaklı etkilerden oluşan mekanik hasar incelenerek, polimer kompozitin kendini iyileştirmesi sağlanmıştır. Mekanik hasarın ardından, kendini onarma işleminden sonra nanokompozit örneklerin eğme dayanımındaki değişimi incelenmiştir. Bu çalışmada ATRP (Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu) tekniği kullanılarak, HNTs (Halloysite Kil Nanotüp) ve MMT (Yüzeyi Modifiye Edilmiş Montmorillonite) esaslı kil nanolevha kullanılmıştır. Mikrokürlerin performansını PMMA matris yapı malzemesinin içinde tespit edebilmek için Şekil 2.14'de yüzey pürüzlülüğü optik profilometre kullanılarak incelenmiştir.

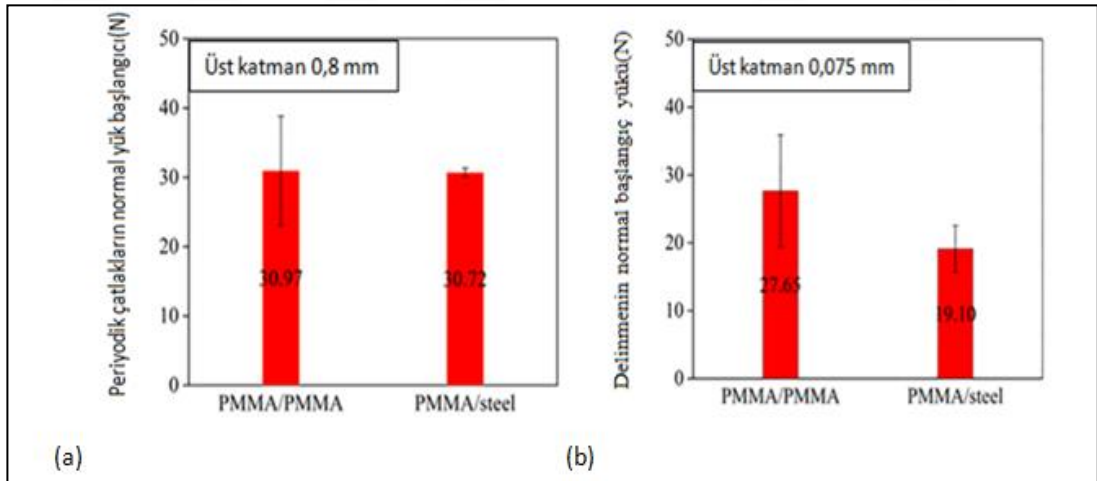


Şekil 2.14. Polimetil Metakrilat matris yapı malzemesinin yüzeyinin (a) 3D ve (b) 2D görüntüsü [10]

Sonuç olarak orijinal Polimetil Metakrilat numunesinin malzemesine ek olarak eklenen güçlendirici malzeme bileşenleri Polimetil Metakrilat malzemesinin daha sert olmasını sağlamış, daha da sertleşen malzeme güçlendirici bileşenin hangi çeşit olduğu ve kompozit yapıda oluşan malzemenin artış oranına bağlı olarak %1,5-17 arasında değişmektedir. %0,5 MMT olan malzeme kompozitinin sertliği, malzeme katılmamış Polimetil Metakrilat malzemesinden değeri %3 daha düşüktür. HNTs

(Halloysite Kil Nanotüp) grubu, güçlendirici bileşen oranıyla sertlik artma hızı daha yavaş ve MMT (Yüzeyi Modifiye Edilmiş Montmorillonite) sertliğin orijinal malzeme numunesine kıyasla en düşük oranda (%1,5-5) artış gösterdiği kompozit grubudur [10].

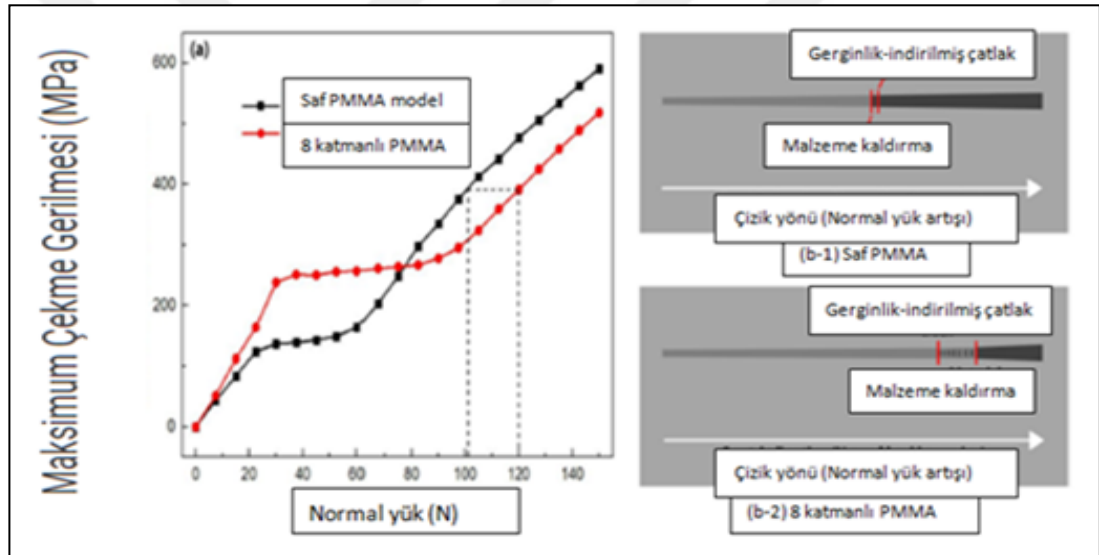
Zhang J. ve diğerleri, çok tabakalı sistemdeki alt tabaka malzemesi olan Polimetil Metakrilat (PMMA) malzemesinin ve poliüretan ara tabaka malzemesinin ve ara yüzün yapışmasının çizik testleri ve sonlu eleman analizi kullanarak çizilme direncine etkisini incelemişlerdir. İki katmanlı PMMA/PMMA malzemesi(tutkalsız) ve PMMA/tutkal/ PMMA'ya çizik hasarı için doğrusal olarak artan normal yük altında çizik testi uygulanmıştır. Tüm örnekler 85 mm uzunlukta 30 mm genişlikte ve 0,075 mm, 0,125 mm, 0,6 mm, 0,8 mm ve 1,8 mm kalınlıkta idi. Daha sonra boyutları 10 cm x 10 cm x 1cm olan çelik PMMA tabanına tutkal ile yerleştirilerek çizik uzunluğu 36 mm olacak şekilde 0,5 N ile 45 N aralığındaki normal yük, 18 mm/dak. sabit hızda çizik testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.15'de Polimetil Metakrilat malzemesinin tutkallı ve tutkalsız olmak üzere normal yük altındaki çatlak ve delinmesini gösterir.



Şekil 2.15. Polimetil Metakrilat malzemesinin normal yük altında çizilme hasarı; (a) Periyodik çatlakları, (b) Delinme [11]

Deneysel sonuçlar, alt malzemenin Polimetil Metakrilat malzemesinin çizilme direnci üzerindeki etkisini göstermiştir. Yığılmış bir sistem için, Polimetil Metakrilat malzemesinin üst katmanı dökme malzeme olduğundan yüzeyin çizilme direnci üzerinde çok az etkisi olmuştur. Bu çalışma, çizilmeye karşı dayanıklı çok tabakalı tasarım için önem sağlamaktadır [11].

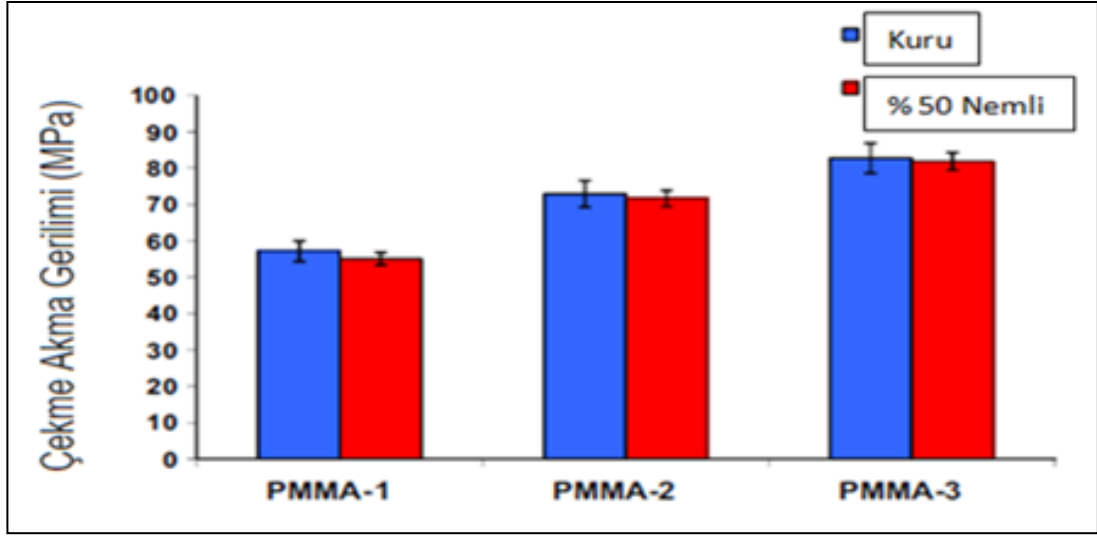
Xu Y. ve arkadaşları Polimetil Metakrilat (PMMA) ve PVDF (Poliviniliden Florür) malzemelerinin çok katman kalınlığı normal yük üzerindeki etkisini değişken davranışlarını incelemek için FEM (Finite Element Analysis) gerçekleştirilmiştir. PMMA malzemesinin katman kalınlıkları değiştirilerek 8 katmanlı malzeme haline getirilerek çizik testleri yapılmıştır. Çizik testleri doğrusal olarak artan normal yük ile her bir çizik testi paslanmaz çelikten 1 mm çapında küresel çizik ucu ile 25 mm/sn sabit çizik hızında, numunenin çizik uzunluğu 100 mm ve 1 N ile 100 N arasında yük ile saf PMMA ve çok katmanlı PMMA/PVDF malzeme ile gerçekleştirilmiştir. Saf PMMA ve 8 katmanlı PMMA/PVDF malzemesinin çizik geriliminden kaynaklanan çatlak başlangıcı 101N normal yük altında Şekil 2.16 (b-1)'de ve (b-2)'de malzemenin geriliminden kaynaklanan çatlak başlangıç konumunu gösterir.



Şekil 2.16. Normal yük altında çizik geriliminden kaynaklanan çatlak başlangıç konumunun gösterimi; (a) Normal yükün fonksiyonu olarak maksimum çekme gerilmesi, (b) Çizik geriliminden kaynaklanan çatlak başlangıç konumunu gösterimi [12]

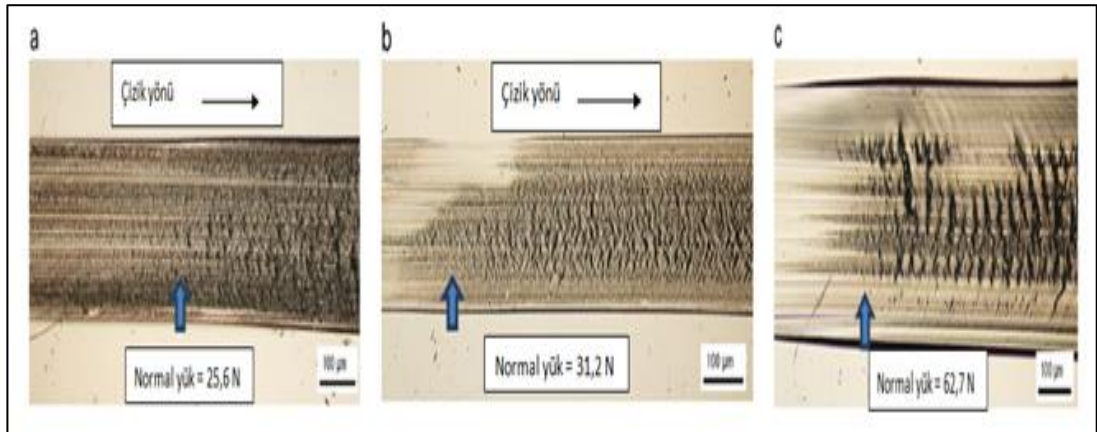
Bu çalışmanın sonucu olarak deneysel sonuçta, 8 katmanlı Polimetil Metakrilat 120 N normal yükte gerilim kaynaklı çatlak oluşumu olduğu gözlenmiştir [12].

Moghbelli E. ve arkadaşları Polimetil Metakrilat malzemesinin hem kuru hem de nemli koşullar altında karşılaştırılan çizik direncini incelemiştir. Polimetil Metakrilat malzemesi nem emiliminden sonra ilk olarak malzemenin yüzeyinde mekanik zayıflamaya neden olan yumuşatıcı bir etkiye sahiptir Şekil 2.17'de hem kuru hem de nem emilen Polimetil Metakrilat malzemeler gösterilirken, en yüksek mukavemete sahip PMMA-3 malzemesidir.



Şekil 2.17. Polimetil Metakrilat malzemesinin kuru ve nem koşulunun çekme dayanımı [13]

Camsı geçiş sıcaklığı (T_g) 114°C 'de düşük polariteye sahip PMMA-1, 116°C 'de orta polariteye sahip PMMA-2 ve 105°C 'de yüksek polariteye sahip PMMA-3 malzeme $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ boyutlarında hazırlanmış numuneler; çizik ucu çapı 1 mm olan küresel geometriye sahip paslanmaz çelik bir çizik ucu ile $1\text{--}100\text{ N}$ normal yük aralığında, çizik hızı 100 mm/s , 1 mm çizik izi kullanılmıştır. Şekil 2.18'de kuru durumda her Polimetil Metakrilat sistemi için normal yükte çatlama geçişleri gösterilir [13].

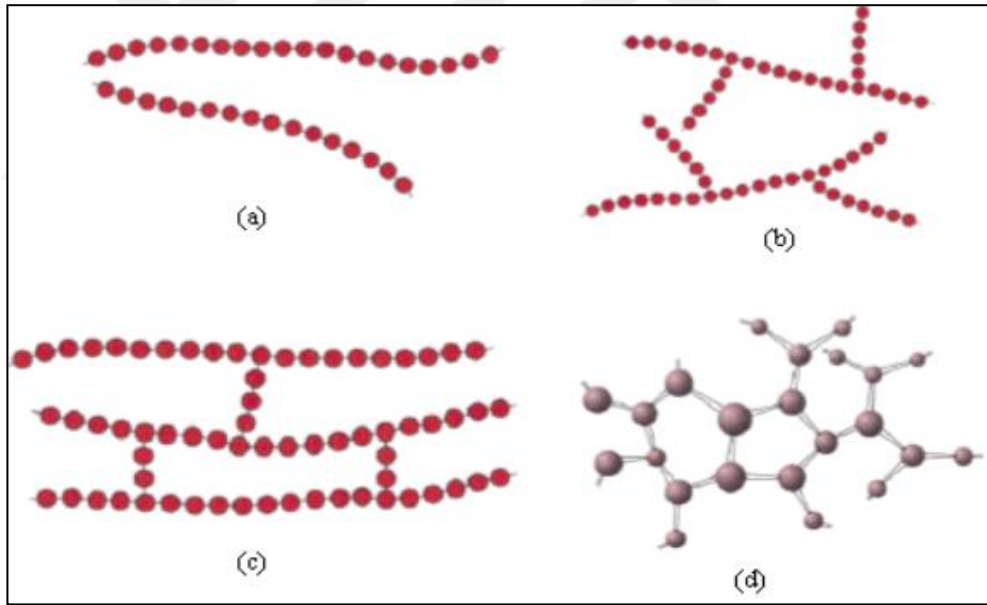


Şekil 2.18. Normal yükler için çatlak bilgilerin başlangıcı; (a) PMMA-1, (b) PMMA-2, (c) PMMA-3 [13]

Çalışmanın sonucu olarak, Polimetil Metakrilat malzemesinin neme maruz kalması ile yüzey mekanik bütünlüğü ve yüzey sürtünmesi malzemenin performansını etkileyebildiğini göstermiştir [13].

3. POLİMER MALZEMESİ

Polimerler, çok sayıda veya farklı yapıdaki atom grupların kimyasal bağlarla bir araya geldiği ve yüksek molekül ağırlığına sahip uzun zincirli veya dallanmış yapıda ($10.000 - 1.000.000 \text{ (g.mol)}^{-1}$) organik bileşenlerdir. Polimer molekülleri genellikle C atomlarının ardı ardına sıralanması ile meydana gelen zincir halkası uzun ve esnek bir yapı meydana getirir. Polimerin yapısındaki çeşitlerinin ve miktarının değiştirilmesiyle sınırsız sayıda değişik polimer yapısı elde edilebilir. Polimer malzemesinin fiziksel özellikleri molekül ağırlığına ya da şekline değil aynı zamanda molekül yapı şekline de bağlıdır. Molekül yapıları 1. doğrusal, 2. dallandırılmış, 3. çapraz bağlı ve 4. ağ polimerler olmak üzere dört çeşittir [14].



Şekil 3.1. Polimer malzemesinin molekül yapıları; (a) Doğrusal, (b) Dallandırılmış, (c) Çapraz bağlı, (d) Ağ polimer yapıları [15]

Polimerler kendi içinde; Termoplastik, Termoset plastikler ve Elastomerler sınıfı olmak üzere üç ayrı şekilde kendi aralarında ayrılırlar. Bu sınıflar kendi aralarında ayırım için uygulanan ısıнын malzemenin verdiği davranış ile tanımlanır. Termoplastik polimerler, amorf veya kristal halde olabilir. Sünek bir şekilde davranmalarına rağmen çoğu kez düşük mukavemet gösterir. Elastomerler her zaman şekilsiz ve T_g 'nin üstünde kullanılırlar.

Tablo 3.1. Polimerlerin sınıflandırılması [16]

Polimerler		
Termoset Plastikler	Elastomerler	Termoplastikler
Aminoplastikler	Bütül	Asetal
Üre ve Melamin Reçineleri	Noepren	Akrilik (PMMA)
Poliester	Nitil	Selülozikler
Fenolik	Stiren bütadien	Polietilen
Epoksi	Silikon	Poliamitler (Naylon)
Dialilftalat		Poliüretan
Alkid		Polikarbonat
Poliüretan		Polivinil klorit (PVC)

Termoplastik Polimerler (Termoplastikler): Isıtıldığında tekrar yumuşayan ve soğutulduğunda ise tekrar sertleşen bir plastik grubun isimlendirilmesidir. Termoplastikler, bir defa eritildikten sonra enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi bilinen teknikler ile istenilen şekilde kalıplanabilirler. Termoplastikler tekrar eritilebilirler ve çözünebilir özelliklerinden dolayı çevreyi koruma ve geri dönüşüm açısından özel bir malzemedir. Polimer malzemelerden; tekstil, elektronik eşya, oyuncak, ev eşyası, yapı malzemeleri (boyalar, yapıştırıcılar, kaplamalar) otomobil lastikleri üretimi gibi geniş bir alanda kullanımı yaygındır [14, 17, 18].

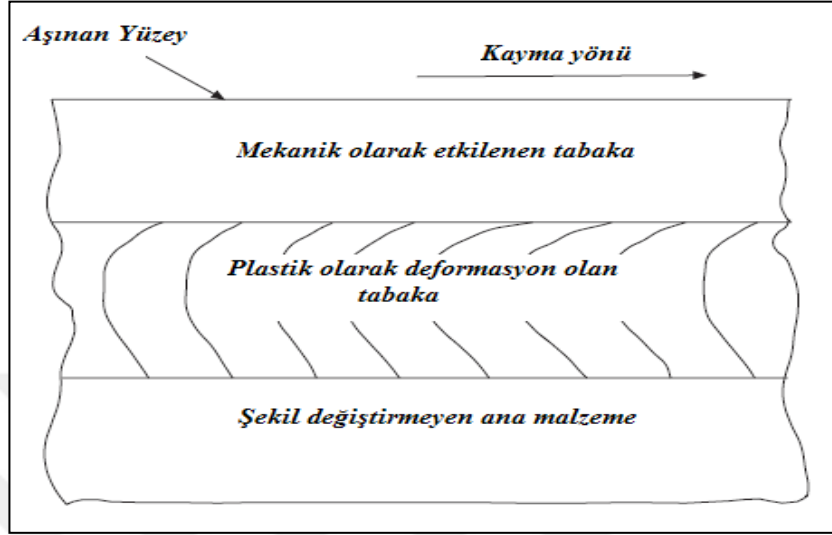
3.1. Polimer Malzemelerin Sürtünme ve Aşınma Özellikleri

Polimer malzemeler, miktar ve çeşitlilik bakımından günümüzde büyük bir ilerleme göstermektedir. Hafif, sessiz, korozyona karşı dayanıklı vb. özelliklerinden dolayı makine, uçak, elektrik, elektronik ve sanayinin farklı dallarında tercih edilir. Bu özelliklerinden dolayı plastik malzemeler sürtünme ve aşınma özellikleri gösteren elemanlar için iyi bir seçimdir. Birbirine göre temas halinde bulunan dişli çarklar, kaymalı ya da yuvarlanmalı yatak malzemeleri arasındaki sürtünmeyi ifade eden Eşitlik 3.1'de verilmiştir.

$$F_S = \mu \times F_N \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte gösterilen F_S sürtünme kuvvetini, F_N malzemenin yüzeyine temas eden sürtünme kuvvetini ve μ sürtünme katsayısını gösterir. Polimer malzemelerin sürtünme davranışları; malzemenin temas yüzeyi, çevre koşulları ve kayma hızı gibi

faktörlerden etkilenirler. Sürtünme kuvvetine maruz kalan polimer malzemesinin yüzeyindeki incelemelerde üç farklı biçimde bölge meydana gelir. Oluşan bu farklı bölgeler aşağıdaki Şekil 3.2 ile gösterilmiştir [19].

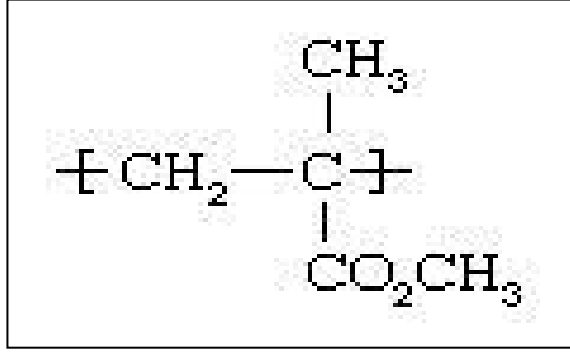


Şekil 3.2. Polimer malzemenin sürtünme esnasında yüzeyinde meydana gelen yapı değişikliği [19]

3.2. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Tarihçesi

Evonik Röhm GmbH şirketinin kurucusu olan Otto Röhm 1901 yılında bitirme tezinde ilk defa “akrilik asit polimerleri” konusuna işaret etmiştir. Polimetil Metakrilat termoplastik malzeme 1928’de William Chalmers, Otto Röhm ve Walter Bauer gibi kimyagerler tarafından laboratuvarında inceleme yapıp geliştirildi ve bir cam türü olarak sınıflandırdılar. Polimetil metakrilat, 1930’ların başlarında Birleşik Krallık’taki Imperial Chemical Industries’te (ICI) İngiliz kimyagerler Rowland Hill ve John Crawford tarafından keşfedilmiştir. Otto Röhm Polimetil Metakrilat malzemesinin ticari olarak gelişmesine izin veren önemli kararlar vermiştir. Aynı zamanda, Almanya’da Rohm ve Haas AG’den kimyacı ve sanayici Otto Röhm, iki cam tabakası arasında metil metakrilatı polimerize ederek güvenlik camı üretmeye çalıştı. Röhm Polimetil Metakrilat malzemesini ilk ürün numunesi olarak geliştirdiğinde polimer malzeme yapısının birden fazla uygulamayla uyumlu hale geleceğine inanmıştı. Polimer, camdan şeffaf plastik bir tabaka şeklinde ayrıldı, Röhm 1933’te bu malzemeye Pleksiglas akrilik ticari marka ismini verdi. Plastik levhalara organik malzeme denmesinin sebebi malzemenin bileşimindeki ana malzemenin C (karbon) atomunun polimerin ana yapısını oluşturur. C (karbon)

zincirlerine bağlanmış atomların en önemlisi H (hidrojen) olmak üzere ve diğer atomların cinsine ve atom diziliş şekline uygun olarak çok miktarda polimer türü geliştirilmiştir [20].



Şekil 3.3. Poli-metil metakrilatın yapısı [21]

Pleksiglas 1930'ların sonlarında ticarileşti. 1935 yılına gelindiğinde enjeksiyon ile kalıplanan malzeme bileşenleri, dökme panellerini desteklemek amacıyla üretilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, E.I. du Pont de Nemours & Company (şimdi DuPont Şirketi) PMMA'yı kendi ürününü Lucite markası altında tanıttı. 1936 yılında Imperial Chemical Industries (şimdi Lucite International) ilk defa ticari olarak akrilik güvenlik cam üretimine başladı. II. Dünya Savaşı sırasında hem İttifak hem de İtilaf kuvvetleri denizaltı periskopları ve uçak ön camları, kanopiler ve gözetleme kuleleri için akrilik cam kullanmıştır. 1950'li yıllarda bu bileşenler otomobillerin arka ışık muhafazalarında cam malzemesinin yerini almaya başlamıştı. Polimetil Metakrilat malzemeden imal edilmiş uçak kanopileri parçalandığında dahi, standart cam kullanılmış olanlarla karşılaştırıldığında pilotların gözleri daha az hasar görmekteydi. Sivil uygulamalar ise ancak savaştan sonra başlamıştı. Günümüzde ise PLEXIGLAS seralar, LCD ekranlar ve Almanya'nın Münih şehrinde bulunan Olimpik Stadyumun çatı gölgeliği gibi birden fazla uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadır [22].

3.3. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Özellikleri

Polimetil Metakrilat malzemesi günümüzde oldukça yaygın kullanılan, kolay işlenebilme özelliği, ısı kararlılık, mekanik olarak uygulama ve elektriksel direnç vb. özellikleri ile birçok farklı amaçlar için kullanılabilen çok önemli bir sanayi termoplastiği olarak karşımıza çıkmaktadır. Termoplastik bir polimer olan Polimetil Metakrilat piyasada daha çok *akrilik cam*, *pleksiglas* veya *fleksiglas* olarak

adlandırılırlar. Polimetil Metakrilat malzeme levha şeklinde dökülebilir veya ekstrüzyon yöntemi ile üretilirler. Yün reçine ya da ipek gibi doğal polimerlerin yanında metalmetakrilat monomerin polimerizasyonu yöntemi kullanılarak birden fazla yapay polimer elde edilir. Saydamlığı, estetik ve çizilme dayanıklılığı, düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli, üstün optik özellikleri olan polimerler kullanım alanlarına göre metaller gibi birden fazla malzemenin yerini almışlardır. Polimer moleküllerinin fiziksel veya kimyasal yapısı, polimerin mekaniksel özelliklerini belirleyen en önemli etkidir.

Polimetil Metakrilat materyalinin, kullanımının ve tamirinin kolay olması estetik, hafif ve ucuz olması genel olarak cam malzemeye alternatif malzeme olarak uygulanır. Özellikle cadde ve otoyol kenarlarının aydınlatmalarında, ışıklı reklam görsellerinde, abajur ve avize yapımında, uçak camı yapımında, otomotiv sanayisinde sinyal ve stop camları, mercekler ve lensler, gözlük camları, dekorasyon malzemelerinde, enerji depolanmasında (polimer piller), manyetik ve optik özelliğinden dolayı bilgi saklama (manyetik bant) gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır [23,24].

3.3.1. Polimetil metakrilat malzemesinin fiziksel özellikleri

Polimerlerin bu bağlanan zincir türleri, fiziksel özelliklerini de etkileyen önemli faktörlerdir. Örnek olarak belirtirsek, doğrusal polimerler sıcaklık ve basınç altında yumuşama gösterirken; çapraz bağlı ve üç boyutlu zincir yapısına sahip polimerler ısıya karşı dayanıklılık gösterir. Bir polimerin zaman aralığı ölçümü ve polimerin sıcaklığına bağlı olarak viskoz özelliği gösterebilir. Elastik bir kauçuk(lastik), kırılğan bir katı polimer ya da camsı malzemenin özelliklerini gösterebilir. Polimer malzemelerin davranışının, sünme (creep) ve geri alma (recovery), gevrek kırılma, soğuk çekme gibi polimerlerin farklı özellikleri çalışmalar ile gerçekleştirilmiştir [24,50].

3.3.2. Polimetil metakrilat malzemesinin kimyasal özellikleri

Polimerlerin yapı taşı monomerdir. Monomerler kimyasal bağlarla birbirlerine bağlanarak uzun molekül zincirlerini oluştururlar. Polimerlerin özelliği, küçük kimyasal yapıların fazla sayıda tekrarından meydana gelen geniş molekül

zincirleridir. Polimerler, molekül zincirlerinin gösterdiği monomerlerin türünün içeriğine ve bu oluşan zincirlerin diziliş şekline bağlı olarak farklı sınıflara ayrılırlar. Polimerler; doğrusal(lineer), dallanmış ve ağ olarak da isimlendirilmektedirler [50].

Plastiklerin temel maddeleri hidrokarbonlardır. Plastikler genellikle kömür, petrol ve doğalgaz gibi kaynaklardan üretilen hidrokarbonlardan elde edilir. Plastikler, monomerlerin kimyasal bağlarla polimere dönüşmesi ile oluşturulduğundan polimer moleküllerinin büyüklüğü ve yapısı oluşan plastiğin özelliklerini oluşturur [25].

Tablo 3.2. Polimetil metakrilatın özellikleri

Özgül ağırlığı	1,11-1,20 g/cm ³
Çekme Mukavemeti MPa	50-90 MPa
Elastik Modülü MPa	2450-3150 MPa
Erime Sıcaklığı °C	137°C
Camsılaşıma sıcaklığı °C	112°C
Yapısı	Amorf
Dielektrik Dayanımı	17 Kv/mm
Işık Geçirgenliği	%90-92 dalga boyu
Termal Genleşme Katsayısı	80 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
% Uzama Değerleri	1-1000
Enjeksiyon Hızı	Orta
Isıl İletkenlik	0,3 W/m.K

3.3.3. Polimetil metakrilat malzemesinin termal özellikleri

Polimetil Metakrilat'ın camsı geçiş sıcaklığı 112°C dir. Polimetil Metakrilat'ın vicat yumuşama sıcaklığı 92°C ve malzemeye 90°C sıcaklıkta, atmosfer basıncında ve 1 Newtonluk bir kuvvet uygulanan bu kuvvet Polimetil Metakrilat'a 1 mm derinliğe nüfus eder. Polimetil Metakrilat'ın erime başlangıç sıcaklığı ise 137°C dir. Polimetil Metakrilat malzemesi 65°C' de ısıl kararlılığı olan bir polimer malzemedir. Sıcaklık değişmelerine karşı mukavemeti çok iyidir. Polimer malzeme, cam geçiş sıcaklığından sonra camsı özelliğini kaybeder ve viskoz hale gelir [14,17].

3.3.4. Polimetil metakrilat malzemesinin yanma özellikleri

Polimer malzemelerin sıcaklık karşısındaki davranışları; alevlenme kolaylığı, polimer yüzeyindeki alev yayılma hızı, yangına dayanımı, sönme kolaylığı, duman salınımı gibi ölçütlerle belirlenmektedir. Polimetil Metakrilat malzeme, kolay tutuşan

bir malzemedir ve yanma özelliği kendi içinde yavaş yanma olarak dönüşümlü olarak devam eder. Mavi renkte, yoğun dumanlı ve yavaş yanma olur. Yandığı zaman polimer malzemedен C, CO, CO₂ ve H₂O ortaya çıkar. Yanmaya karşı daha güç tutuşan dirençli polimerik malzemelerin özellikle ABD ve Avrupa ülkeleri önde olmak üzere; huzurevleri, hastaneler ve çocuk oyun alanları gibi yerlerde kullanılması zorunlu tutulmaktadır [26,27].

3.3.5. Polimetil metakrilat malzemesinin elektriksel özellikleri

Polimerlerin iletkenlik gösterebilmeleri için, malzemenin polimer yapı örgüsünde, elektronların zincir boyunca taşınması gereken uygun yerlerin olmasıdır. Günümüzde çok sayıda polimerin iletken olduğu bilinmekte (Polipirol, Poliyiyofen, Polifuran), bunların toz halinde, film veya levhalar halinde ticari üretimi yapılmaktadır. Polimetil Metakrilat malzeme ise iletkenlik özelliği göstermeyen polimer malzemedir. PMMA'nın dielektrik sabiti yüksek olduğundan Polimetil Metakrilat iyi bir yalıtkan malzeme olarak bazı malzemelerde yalıtım amaçlı kullanılır. Polimetil Metakrilat oldukça yüksek yüzey dayanıma sahiptir. PMMA'nın elektriksel özellikleri özellikle düşük frekanslı çalışma koşullarında iyidir. Sıcaklık ve frekans, dielektrik sabitini etkilerken iklim ve nem, elektriksel özellikler üzerinde çok az etkiye sahiptir [28].

3.3.6. Polimetil metakrilat malzemesinin optik özellikleri

Polimetil Metakrilat malzemesinin optik olarak gösterdiği özellikleri çok iyidir. Işık geçirgenliği yüksek ve darbeler karşı dayanıklı olan Polimetil Metakrilat renksiz ve doğal olarak saydam bir malzemedir. PMMA'nın cama göre görünür ışık geçirgenliği %92 dir ve %4 oranında yansıtır. Ayrıca PMMA'nın kırılma indisi 1.492'dir. Özgül ağırlığı 1.11-1.20 g/cm³ olduğundan bu değer cam olarak bildiğimiz silisyum malzemesinin yarı ağırlığından daha azdır. Güneş ışınlarına dayanım (UV dayanımı) ve hava etkisiyle oluşan malzeme aşınmasına karşı oldukça dirençlidir. UV ışığını geçiren çeşitlerinin yanında, tamamıyla absorbe olanları da vardır. 2. Dünya Savaşında uçakların ön camlarında ve deniz altılarının periskoplarında akrilik cam olarak kullanılmıştır. Polimetil Metakrilat; uçak camlarında, lens, mercek, buz hokeyi oyuncularının koruyucu gözlüklerinde, otomobil sinyal lambaları gibi birçok üründe karşımıza çıkmaktadır [29].

3.4. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Kullanım Alanları

Polimetil Metakrilat oldukça iyi sayılabilir saydamlıkta mükemmelleşen camsı bir polimerdir. Genelde cam malzemesine alternatif malzeme olarak sert ve ağır hava koşullarına karşı dayanıklılıklarından dolayı cam malzemesine alternatif bir malzeme olarak Polimetil Metakrilat malzemesi kullanılır ve polikarbonat malzeme ile benzer özellikler gösterdiği için polikarbonat malzemesinin kullanıldığı ürünlerin de yerine geçebilecek malzeme olabilir. Cadde ve otoyol aydınlatmalarında, bina iç aydınlatmalarında, abajur ve avize yapımında, ışıklı reklamlarda, mağaza dekorasyonlarında, telefon kabinlerinde, cetvel – gönye tarzı kırtasiyecilik malzemelerinde, sinyal lambalarında, güvenlik sektöründe (polis kalkanı ve güvenlik camı olarak), basketbol potasının yapımında, medikal sektörde cam kuvöz olarak, otomobil camlarının stop lambası olarak kullanılır. Ayrıca kol saatlerinde kullanılan sararmayan cam, PMMA'nın başlıca kullanım alanları olarak verilebilir [22].



Şekil 3.4. Japonya, Okinawa Churaumi Akvaryumu, Polimetil Metakrilat'ın akvaryum camı olarak kullanımı [30]

Polimetil Metakrilat cam malzeme yerine kullanılabilen, parçalanmayan ve şeffaf olarak kullanılan plastik bir malzemedir. Rohm and Haas Kimya şirketi Polimetil Metakrilat malzemesini geliştirerek pencere yapımında *plexiglas* olarak isimlendirip kullanmışlardır. Polimetil Metakrilat malzeme üretilerek sıcak banyo yüzeylerinde ve duş ünitelerinde kullanılır. Kaliforniya'nın Monterrey Bay Akvaryumu 16,6 metre

uzunluğunda 5,5 metre yüksekliğinde Polimetil Metakrilat malzeme yapısında bir akvaryumdur. Dünyanın bilinen en büyük akvaryumu olarak bilinmektedir. Cam yapımında kullanılan Polimetil Metakrilat malzeme, cam malzemedan birçok yönden daha avantajlı ve cam malzemedan daha saydamdır. Pencere camı çok kalın olarak üretildiğinde karşı tarafı görmek tamamıyla zorlaşır fakat Polimetil Metakrilat malzemesi kullanılarak yapılan cam malzemeler 33 cm kalınlığına kadar yapılabilir. Bu özelliklerinden dolayı Polimetil Metakrilat malzemesi, yüksek su basıncına dayanıklı daha büyük akvaryumların yapımında kullanılmak üzere harika bir materyal olarak karşımıza çıkmaktadır. [14].

3.4.1. Polimetil metakrilat malzemesinin otomotiv endüstrisinde kullanımı

Otomobil üreticileri daha fazla konfora sahip, görsel olarak mükemmel dizayn ve daha hafif olabilen taşıt üretimi, üreticilerin önemli hedefleri arasında yer almaktadır. Hava dayanımına gösterdiği direnç ve uzun süre güneş ışığına maruz kalabilmesi, doğal olarak renksiz ve şeffaf olabilmesi aynı zamanda renklendirilme seçeneğini de sunmasıyla otomotiv sektöründe Polimetil Metakrilat malzeme kullanımı yaygındır. Polimetil Metakrilat malzeme; kolaylıkla kesilir, delinebilir ve öğütülüp şekil verilebilir. Cam gibi şeffaf olması ve cam malzemesine göre darbelere karşı daha dayanıklı olmasından dolayı taşıma araçlarında; otomotiv dış aydınlatma sistemleri (farlar), tehlikeli ve güvenli seviyeleri göstermeye yarayan takometre kapakları, uyarı üçgenleri, motosiklet sürücüsünün daha iyi görüş açısına sahip olan kask siperliği camı da önemli uygulama alanlarıdır [21, 29].



Şekil 3.5. Polimetil Metakrilat malzemesinden yapılmış araba farı ve motosiklet kask camı [31]

3.4.2. Polimetil metakrilat malzemesi ve mimari alanında kullanımı

Polimetil Metakrilat malzemesi gösterdiği mekanik özellikler bakımından, yüksek dayanım sağlaması, değişen çevresel koşullar altında bile göstermiş olduğu boyutsal kararlılık, yüksek young modülü, sertlik değerlerinin yüksek olması ve düşük kopma uzamasına sahiptir. Polimetil Metakrilat malzeme dış etkilere dayanıklı, su geçirmez özelliğe sahip olması ve uzun yıllar kullanım ömrünün olması ve şekil değiştirmemesi sebebi ile tercih edilen şeffaf bir yapı malzemesidir. Yapılan mimari uygulamalarda genellikle camın yerine kullanılmaktadır. Evlerdeki banyo ve duş kapıları, pencere ve çatı pencerelerinde, akvaryumlar (konut ve ticari), deniz fenerindeki lensler, bina panelleri, polimer emdirilmiş beton vb. uygulamalarda karşımıza çıkmaktadır [32].



Şekil 3.6. Polimetil Metakrilat'ın mobilya sektöründe kullanımına bir örnek [33]

3.4.3. Polimetil metakrilat malzemesi ve elektrik - elektronik olarak kullanımı

Polimerler; düşük üretim maliyeti, kolay şekil alabilmeleri ve istenilen amaca uygun şekilde üretilebilmeleri nedeniyle günümüzde her alanda yaygınlaşmıştır. Elektronik eşyalarda genellikle bakır gibi iletken veya silikon gibi yarı iletken malzemeler kullanılır. Polimerlerin çoğu içyapılarının özelliği sebebiyle kötü elektrik iletkenliğine sahip, dielektrik sabiti yüksek olduğundan elektriği yalıtım için kullanılır. Bu yüzden polimerler yalıtkan bir malzeme olmakla beraber elektronik alanlarda kullanılmak üzere çok geniş kullanım alanına sahiptir, bu nedenle iletken bakır tellerini güvenle kullanmak için yalıtkan kablolar ile kaplamak gerekmektedir. Polimetil Metakrilat, günümüzde kullandığımız yönlü ve noktasal bir ışık kaynağı olan LCD ekranların aydınlatma alanlarındaki ışık kılavuz panellerinde, cep

telefonlarına klips şeklinde takılan ve kameranın özelliklerini geliştirmeye yarayan lensler, arkadan aydınlatmalı ve dokunmatik ekranlar, ışıklı reklam tabelaları ve endüstriyel lambalarda kullanılır [14, 35].

3.4.4. Polimetil metakrilat malzemesinin tıbbi olarak kullanımı

II. Dünya Savaşı esnasında Polimetil Metakrilat parçacıkları ile yaralanan savaş uçağı pilotlarının vücudunda oluşacak yan etkilere ya da kronik enfeksiyon geliştirmedeği anlaşıldığında Polimetil Metakrilat malzeme, insan dokusuna yardımcı olmak için kullanılmaya başlanılmıştır. Polimetil Metakrilat, 1940'lı yıllarda J. Judet ve R. Judet tarafından uyluk kemiğın eklem başında; M.J. Dorzee ve A. Franceschetti tarafından da göz içinde bulunan saydam tabakanın tamiri ve göz korneasının daha iyi görmesi için kullanılmaya başlandı. PMMA'nın yapımındaki kolaylık, malzemenin dayanıklılığı, diğer malzemelere göre hafif olması, bakım kolaylığı ve mükemmel yakın optik özellikleri sayesinde tıp alanında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Polimetil Metakrilat, bir göz hastalığı olan kataraktların tedavisinde göze yerleştirilen lenslerin üretiminde kullanılmaktadır. Polimetil Metakrilat; kanser ya da kemik kırıklarının sebep olduğu kemik kaybına kemik çimentosu implantları ve kayıp kemiğın yeniden şekillendirilmesi için kullanılır. Ayrıca, Polimetil Metakrilat en yaygın kullanılan protez yapı maddesidir. Polimetil Metakrilat, özellikle yüksek klinik performansları, mükemmel görünümü, dokuya gösterdiği uyum, uygulanabilme kolaylığı ve tamir kolaylığı sebebiyle diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır [36, 37, 38].

3.4.5. Polimetil metakrilat malzemesi ve havacılık-uzay sanayi olarak kullanımı

II. Dünya Savaşı esnasında İttifak ve İtilaf devletleri arasındaki deniz ve hava saldırıları büyük önem taşımıştır. Denizaltı ve uçakların kullanıldığı II. Dünya savaşında, denizaltılarda kullanılan hedefe görünmeden karşı tarafı incelemeye yarayan optik bir alet olan periskoplar ve uçak ön camları, uçaklarda bulunan pilot kabinini saran saydam bir yapı olan kanopiler ve gözetleme kuleleri için akrilik cam kullanılmıştır. PMMA'dan imal edilmiş uçak kanopileri, çevrede oluşan gürültü ve hava şartlarının olumsuz etkilerini yalıtırken, pilotun görme alanını arttırdığı ve uçağın rüzgâra karşı olan sürtünmesini azalttığı için özellikle akrobaside kullanılan küçük gösteri uçakları ve av uçaklarında tercih edilir [22].

3.5. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Avantajları ve Dezavantajları

Polimetil Metakrilat malzemesinin avantaj ve dezavantajları aşağıda gösterilen Tablo 3.3’de anlatılmıştır.

Tablo 3.3. Polimetil Metakrilat’ın avantaj ve dezavantajları [39]

Avantajları	Dezavantajları
Optik bakımdan şeffaftırlar, renklendirilmiş ve opak olarak da kullanılır.	Zayıf ve akış özelliğinden dolayı çok ince ürünler elde etmek zordur. Organik çözücülerden etkilenir.
Hava şartlarına dayanımı iyidir, Uzun süre güneş ışığına maruz kalabilirler.	PMMA’nın üretim metotlarında zayıf sıcaklık dayanımını belirleyici özelliklerden biridir.
Görüş için optik özellikleri gayet uygundur. Beyaz ışık geçirgenliği %92’dir.	Akış özellikleri diğer malzemelere göre kıyaslandığında prosesi yavaştır.
Yüksek parlaklığa sahiptir. Benzer yoğunluktaki cam malzemeye kıyasla ısıyı %20 daha az iletir.	Elastik deformasyona uğramadan direk kırılır. Fırça ve zımpara ile çizilebilir.
Diğer polimerlere kıyasla çizilme dayanımı gayet iyidir.	Çizilme dayanımı cam malzeme gibi iyi olmadığından arabada kullanılan ön camlarda maalesef PMMA’dan yapılmaz.

3.6. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Ticari İsimleri

Akrilik veya akrilik cam olarak da bilinen PMMA’nın ticari isimlerinden bazıları; Plexiglas, Vitroflex, Limacryl, R-Cast, Per-Clax, Perspex, Plazcryl, Acrylex, Acrylite, Acryplast, Altuglas, Polycast, Oroglass, Optix ve Lucite olarak sayabiliriz [34].

3.7. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Geri Dönüşümü

Polimetil Metakrilat malzemesi ısı işlem kullanılarak ya da tekrardan işlenen malzeme içyapı öğelerine ayrılabilir. Polimetil Metakrilat malzemesi termal çözünme yönteminde ortalama 400 °C’de ilk oluşan malzemesi MMA (metil metakrilat) elde edilebilir. MMA (metil metakrilat) sıvı halinde yaklaşık %99 oranında saf haline gelene kadar damıtılıp, daha sonra tekrar üretilerek başlangıç malzemesi olarak kullanılır. Polimetil Metakrilat %100 geri dönüşüm malzemesi ve ileri teknik çöp yakma kurumlarında yakılarak enerjiyi geri kazanım elde edilebilir [35].

4. ÇİZİLME (SCRATCH) TESTİ

Çizilme (Scratch) testi; bir malzemenin yüzeyinde oluşabilecek çizilmeler, bozma, oyma, kazıma veya sıradan aşınma olarak adlandırılan etkiye, malzemenin verdiği tepkiyi ölçmek için kullanılan test işlemidir.

4.1. Çizilme Testinin Başlangıcı

1812 yılında Friedrich Mosh olarak bilinen Avusturya'lı bilim adamı, minerallerin sertliği ile ilgili çalışmalar yapmış ve bu çalışmada Mosh skalası denilen bir tür sertlik ölçme skalası geliştirmiştir. Bu skala, en yumuşak mineral ile en sert mineral ve bu minerallerin arasındaki minerallerin çizilme derecelerine göre sıralama yapmıştır. Mosh skalasında, en yumuşak mineral 1 ve en sert mineral ise 10 ile derecelendirilmiştir. Tablo 4.1 'de Mosh sertlik skalası aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Mosh sertlik skalası

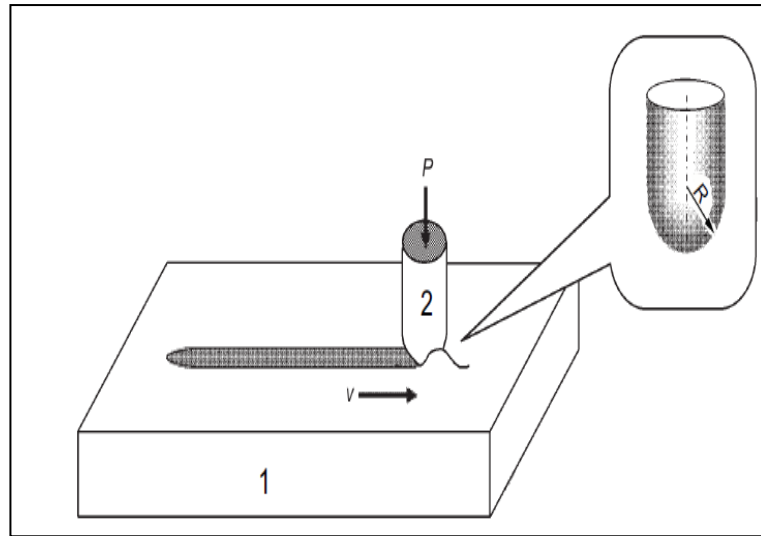
Mineral	Sertlik Skalası
Talk	1
Alçıtaşı	2
Kireçtaşı, Kalsit	3
Florit	4
Apatit	5
Ortoklaz	6
Kuvars	7
Topaz	8
Alüminyum Oksit	9
Elmas	10

İstenilen malzemenin çizilme ve sertlik değerlerini belirlemek için yapılan bu çalışma, günümüzde yapılan tüm çizilme ve sertlik ile ilgili çalışmalara yardımcı bir referans olmuştur [40].

4.2. Çizik (Scratch) Testi

Çizme (Scratch) testi, laboratuvar ortamında referans ölçümlerle işlenen ve malzemenin maruz kaldığı çizilme stresini simüle eden önemli bir karşılaştırmalı kontrol sürecidir. Normal bir çizik testi yapılırken çizilme sertliğini veya çizilme direncini belirlemek için sabit kuvvet (Newton) uygulanmış malzemede, yuvarlak bir uca (Rockwell, Vickers vb.) sahip bir elmas ucu monte edilip, sabit bir hızda numune parçasının boyunca çekilir. Malzemenin yüzeyinde meydana gelen çizik, malzemenin davranışı hakkında bize bilgi verir. İlk değerlendirmeler her zaman görsel olarak yapılır [41,42].

Çizilmede kullanılan test cihazları, bir malzemenin çizilme, kazıma, oyma ve yarılmaya gibi yıpranma olarak görülen belirtiler fiziksel hasarlara karşı direnç ya da malzemenin gösterdiği hassasiyeti ölçmek için geliştirilmiş motorlu bir cihazdır. Numune malzemesine test edilirken uygulanan kuvvet düz bir hızda ilerlerken, keskin uç olarak konik elmas uç veya sert metaller kullanılırken, sabit ve artan yüklerle malzemenin yüzeyleri çizilmektedir. Çizik penetrasyon girintisi ile çizici uca hedeflenen ağırlık, numune yüzeyinin çizilmeye karşı sertlik değerinin gösterir ve malzemede kontrollü bir stres ve gerilim meydana gelir. Daha sonra optik mikroskop ile kırılmalar gözlenmekte, sürtünme kuvveti, penetrasyon derinliği ve kalıntı derinliği değerlendirilmeye alınarak malzemenin mekanik özellikleri belirlenir.

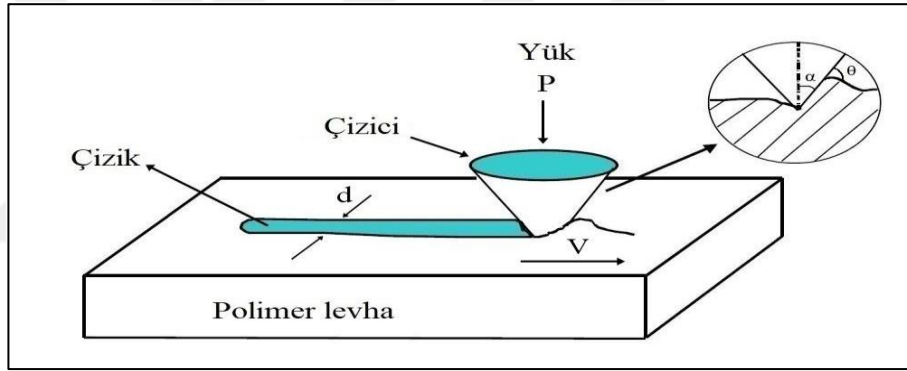


Şekil 4.1. Çizik (Scratch) test yöntemi (1: Test örneği, 2: Çizik ucu, P: Test yükü, v: Test hızı)

Çizik (Scratch) test yöntemi ile polimerler, ince filmler, metaller, optik kaplamalar, göz camı lensleri, dokunmatik ekranlar, birden fazla dekoratif veya koruyucu kaplamalara da uygulanabilmektedir. Şekil 4.1’de çizik test yöntemi şematik olarak gösterilmektedir [43].

4.3. Çizik (Scratch) Testinin Ölçüm Değerleri

Çizik (Scratch) testi ile bağlantılı olarak sürtünme ve sertlik gibi iki tane nicel değer vardır. Sürtünme, bir malzeme yüzeyinin diğer bir başka malzeme yüzeyi üzerinde sürtünerek hareket ettirildiğinde malzemenin gösterdiği direnç olarak ifade edilebilir. Şekil 4.2’de gösterilen çizik işleminde; α çizen konik ucun normal ile yaptığı açığı, θ açısı ise çizicinin numune ile yaptığı açığı göstermekte ve V ile çizilme hızını, P malzemeye uygulanan yükü, d çizilme ile oluşan derinliğin genişliğini gösterir.



Şekil 4.2. Polimer bir plakanın yüzey çizilme işleminin gösterimi [40]

Sert bir nesne malzeme yüzeyine temas ettiğinde ve yüzey boyunca hareket ettirildiğinde malzeme yüzeyinde bir çizik oluşur (Şekil 4.2). Bu çizik işleminde cismin karşılaştığı direnç sürtünme olarak belirtilir ve sürtünme katsayısı μ olarak ifade edilir. Kayma sürtünme katsayısı μ , ifadesi aşağıdaki eşitlik (4.1)’de tanımlanmıştır.

$$\mu = F/W \quad (4.1)$$

Gösterilen eşitlikte F (Teğetsel Kuvvet), malzemeyi diğer malzeme üzerinde ilerletmek için gereken teğetsel kuvvettir. W (Uygulanan Normal Yük) ise normal yük ile ifade edilir. Klasik bir çizik testinde, elmas piramit ucu ile önceden belirlenen bir yük ile malzemeye bastırıldığında sürtünme katsayısı eşitlik (4.2) ile gösterilmiştir.

$$\mu = (2/\pi) \tan \theta \quad (4.2)$$

Çizik testinde malzemenin göstermiş olduğu sertlik, bir malzemenin diğer cisimler tarafından aşınmaya karşı ya da delinmeye karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanır. Sertliğin farklı tipleri değerlendirilebilmektedir. Değerlendirilen en genel sertlik, girinti sertliği ve çizilme sertliğidir. Girinti sertliğinde ucun yükleme koşulları altında malzemeye bastırıldığında, malzemenin plastik deformasyonunu hesaba katmaktadır ve malzemede oluşan izin büyüklüğüne göre sertlik değerini belirler. Çizilme sertliği ise, kullanılan ucun malzeme yüzeyine sabit ya da değişken hızlarda bastırılarak hareket ettirilmesi ile oluşan çizik oluşunun incelenmesiyle belirlenir. Polimer malzemelerin çizilme sertliği eşitlik (4.3) ile gösterilmiştir.

$$H_S = W/A_i = q (4W/\pi d^2) \quad (4.3)$$

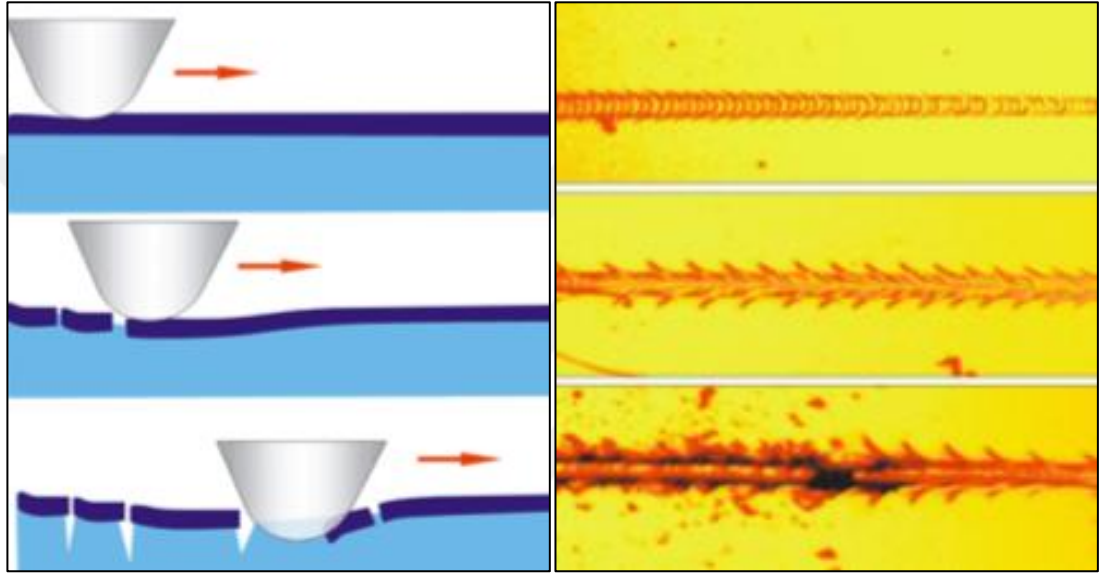
H_S çizilme sertliğini, A_i malzemenin çizilmesi sonucu oluşan alanı, W malzemeyi çizen uca uygulanan normal yükü, d çizildikten sonra oluşan çizik genişliğini ve q (yaklaşık değer olarak sert plastik malzeme için 2, viskoelastik malzeme için 1) malzemenin çizilmeye karşı göstermiş olduğu tepki ile değişen parametreyi gösterir [40].

Çizilme sertliğini ölçmek için kullanılan çoğu teknik aynı prensiple çalışmaktadır. Sertlik değeri, malzemenin ölçme tekniğine, yani kullanılan keskin ucun şekline göre değişmektedir. Özel bir geometriye sahip elmas piramit şeklinde bir uç ve malzemeye uygulanan belirli bir kuvvet ile malzemede oluşan izin boyutu hesaplanmaktadır. Malzemenin sertliği ne kadar fazla ise malzemede oluşan izin o kadar küçük değerde olur.

4.4. Çizik (Scratch) Testinin Tek ve Aşamalı Olarak Uygulanması

Çizik (Scratch) testi, tek veya aşamalı mod da dediğimiz yükü belli aralıklarla arttırarak uygulanabilen testtir. Tek aşamalı çizik (scratch) testinde aynı hızda ve aynı yükte çizik uygulanırken aşamalı çizikte ise yüzeye etki eden kuvvet doğrusal olarak aşamalı bir şekilde arttırılır. Aşamalı çizik testinde ise, ilk önce ölçme ucu düşük bir başlangıç yükü ile malzemeye çizilme uygulanır. Çizik kuvveti arttırıldıkça, kullandığımız numuneye nüfuz eden kuvvet malzemenin penetrasyon

(sertliği ölçülen malzeme yüzey üzerinde oluşan çukur izlerinin derinliği) derinliğini artırır ve malzemede stres de artar. Aralıklarla arttırdığımız bu yük, belirli bir kuvvete (L_c) kritik yük ulaşana kadar devam eder. Belirgin bir hasarın meydana geldiği en küçük yük, kritik yük olarak isimlendirilir. Kritik yükün aşılmasıyla malzemede çatlaklar ve parçalanmalar görülür. Aşamalı çizikte elektronik bir zamanlayıcı ile hava basıncını azaltarak veya arttırarak, kontrol edebileceğimiz çizik hız oranını bize gösterir [44].



Şekil 4.3. Çizik (Scratch) testinde, yükü belli aralıklarla arttırarak uygulama [44]

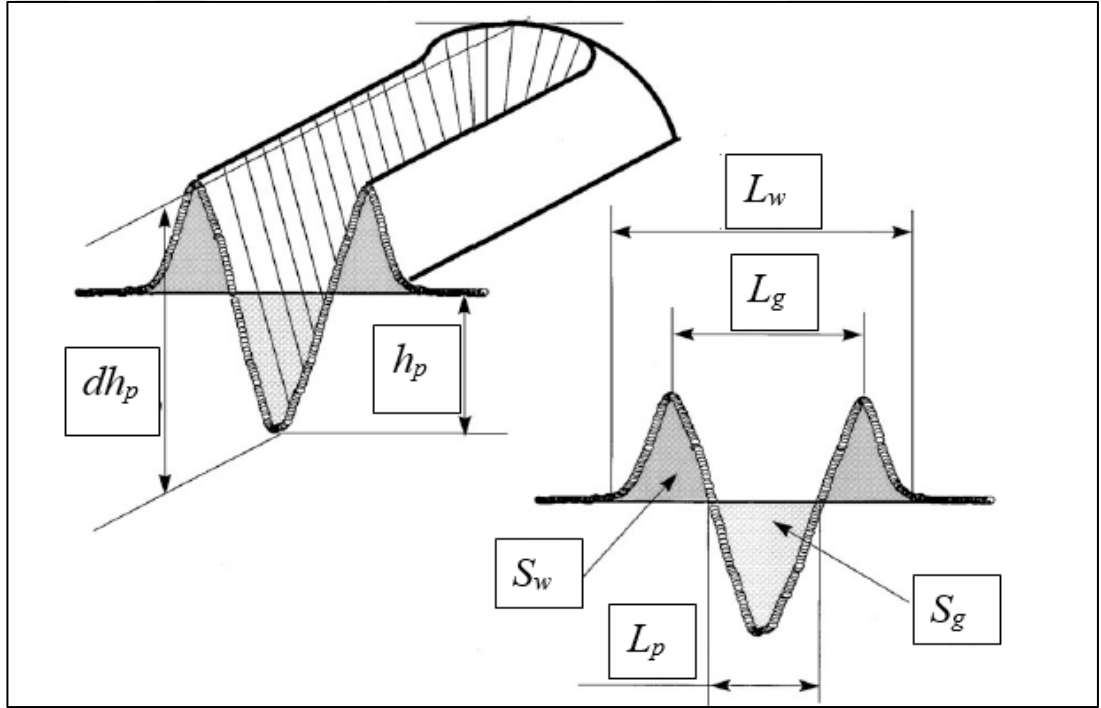
Çizik (Scratch) testi, karşılaştırma yapmak için nicel veriler sağlar. Bunlardan biri olan L_c mekanik dayanıma bağlıdır. Kritik yükleri belirleyen parametreler Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Kritik yükleri belirleyen parametrelerin listesi [45]

Teste Özel Parametreler	Numuneye Özgü Parametreler
Yükleme hızı	Yüzey ve girinti arasındaki sürtünme katsayısı
Çizik hızı	Dökme malzemeler için malzemedeki iç gerilmeler
Girinti ucu yarıçapı	Kaplama-yüzey sistemleri için malzeme sertliği ve pürüzlülüğü
Girinti malzemesi	Yüzey sertliği ve pürüzlülüğü Kaplama sertliği ve pürüzlülüğü Kaplama kalınlığı

4.5. Çizik Genişliklerinin ve Çizik Derinliklerinin Değerlendirilmesi

Son yıllarda polimer malzemelerin kalitesine ve yüzeylerin estetiğine büyük önem verilmiştir. Malzemenin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinin sebebinden biri, eğer yüzey çok pürüzlü ise aşınma miktarı artmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinin bir diğer sebebi ise imalat işlemi sırasında malzemenin yüzey kalitesindeki değişiklikler belirlenebilmektedir. Bu amaçla polimerlerin çizilme direnci ve görünürlüğü ile ilgili önemli araştırmalar yapılmıştır. Çizik (Scratch) özelliklerinin sayısal olarak değerlendirilmesi, çizikten sonra oluşan fiziksel boyutların (çizik derinliği, çizik genişliği ve yüzeyin ölçülmesi) elde etmek için kullanılan parametreler geliştirilmiştir [46,47].



Şekil 4.4. Çizik dalga genişliği ve çizik derinliğinin şematik gösterimi [48]

Şekil 4.4'de çizik oluşunun profil görüntüsü verilmektedir. L_w ile L_g farkı çizikin omuz genişliğini ve malzemenin plastik deformasyona uğramış alanı gösterir. dh_p ile h_p farkı çizikten kalan yığıntının derinliğini gösterir. L_g çizikin oluk genişliğini, L_w dalga genişliğini, S_w dalga kesitinin yüzeyini S_g oluk kesitinin yüzeyini ve L_p ise malzeme yüzeyinin çizik derinliğinin genişliğini gösterir [48].

Polimer malzemenin yüzeyinin üzerinde hareket ettirmek için gereken teğetsel kuvvet F , polimer malzemeye uygulanan normal yüke ise W olarak tanımlanır. Genel

olarak Polimer malzemelerde dış etkilerin, fiziksel ve kimyasal değişikliklerin sebep olmasıyla birçok aşınma ve çizik hali söz konusudur. Çizilme (Scratch) direnci malzemenin tribolojik özelliklerinden biridir. Polimerlerde aşınmayı ve çizilmeyi etkileyen temel parametreler; kayma hızı, malzeme yüzeyinin yapısı, malzemenin ergime noktası, ısıl iletkenlik gibi tribolojik özellikleri malzemenin davranışı hakkında bize bilgi verir [42,49,50].

4.6. Çizik (Scratch) Testlerinin Sınıflandırılması

Günümüze gelinceye kadar tarih boyunca, çok sayıda çizik test cihazı ticari olarak geliştirilmiştir. Araştırmacılar tarafından ticari olarak çeşitli boyut ve ölçülerdeki polimerlerin çizik karşısında verdiği tepkiyi incelemek için özel olarak üretilmişlerdir. Genellikle iki çeşit yüzey hasarı olduğu kabul edilir. Bunlar mar ve çiziktir. *Mar, kayan bir gövdenin neden olduğu ve algılanamayacak kadar sığ olan bir işarettir.* Örnek olarak ise kum ile aşınmış olan boya levhalarında bulunana tipik hasarlardır. Çizik ise, görünür bir şekilde oluşan oluklar veya yüzey hasarı oluşturan bir deformasyondur. Genel olarak sıralanmış çok sayıda çizik makinesi türüne göre sınıflandırılmıştır. Bu testler;

- (A) Tek kalemle çizilme testi
- (B) Çoklu kalemle çizilme testi
- (C) Sarkaç sklerometre testi
- (D) Pin-on- disk testi
- (E) Nanoscratch testi [46].

4.7. Çizik (Scratch) Testinde Kullanılan Makineler

Çizik test cihazları, kaplamanın altlık malzemeye yapışma mukavemetini ölçmek, çizilme direnciyle malzemenin araştırılması veya malzemenin kalitesinin kontrol amaçlı mar direncinin belirlenmesi amacı ile malzemenin adhezyon (farklı türdeki moleküllerin birbirini çekmesi) gücü ve malzemenin sürtünme kuvvetinin ölçülmesi gibi parametreler için kullanılır. Çizik test makineleri, tek veya çok parmaklı test cihazı çeşitleri mevcuttur.

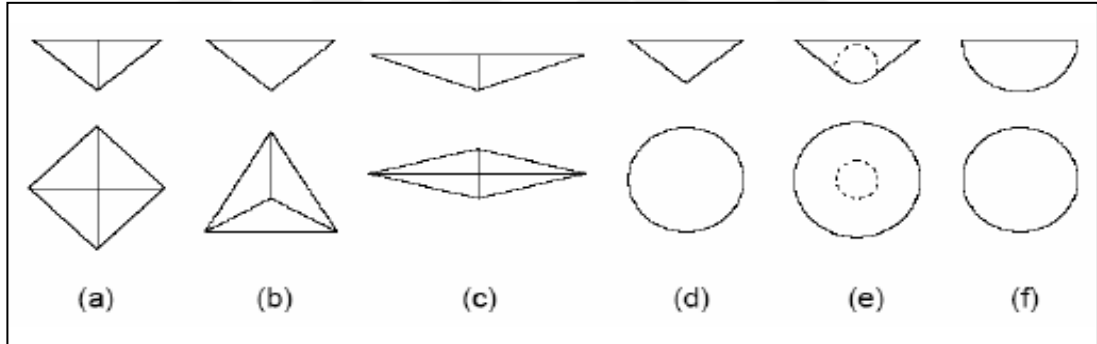


Şekil 4.5. Yüzey çizilme (Scratch) test cihazı ve Rockwell S-218 tipi batıcı uç

Çizik testi uygulaması işlemi sonrası malzemedeki çiziklerin genişliğini ölçmek için optik mikroskop kullanılır [42].

4.8. Çizik (Scratch) Testinde Kullanılan Batıcı Uçlar

Çizik testinde kullanılan farklı batıcı uçların görüntüsü Şekil 4.6’da şematik olarak gösterilmektedir.



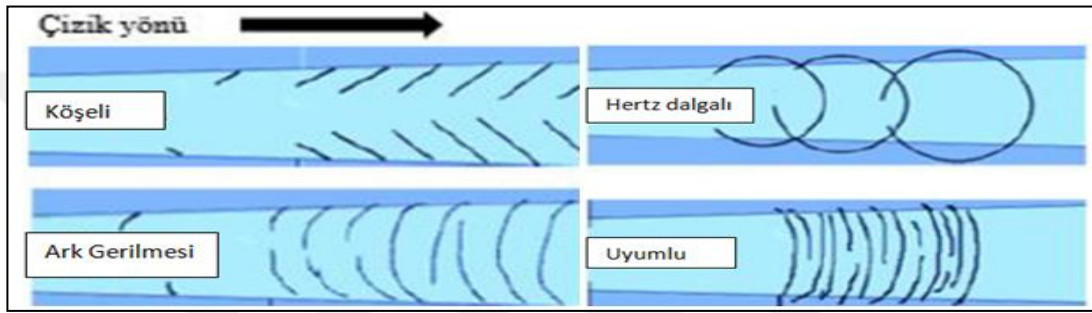
Şekil 4.6. Nanomekanik Test Cihazında kullanılan batıcı uçların şematik görüntüleri; (a) Vickers, (b) Berkviç, (c) Knoop, (d) Konik, (e) Konik küresel (Rockwell), (f) Küresel [41]

4.9. Çizik (Scratch) Sonrasında Oluşan Hasarların Karakteristik Şekilleri

Çizik (Scratch) testinin ana prensibi, artan veya sabit bir kuvvet altında numuneye batırılan uç malzemesi ile numune yüzeyinin istenilen hız ile çizilmesidir. Bu çizilme testi sonucunda numunenin yüzeyinde oluşan hasarın değişik karakteristikte görülen şekiller meydana gelmesine sebep olur. Malzemeye uygulanan mekanik etkenlerden dolayı malzeme yüzeyinde yapısal değişimler, plastik deformasyon, yüzey çatlakları gibi malzeme üzerinde istenmeyen oluşumlar meydana gelir [50]. Kaplamalı malzemelerde çizik sonrası hasar oluşumu, adhezif hasar ve kohozif hasar meydana

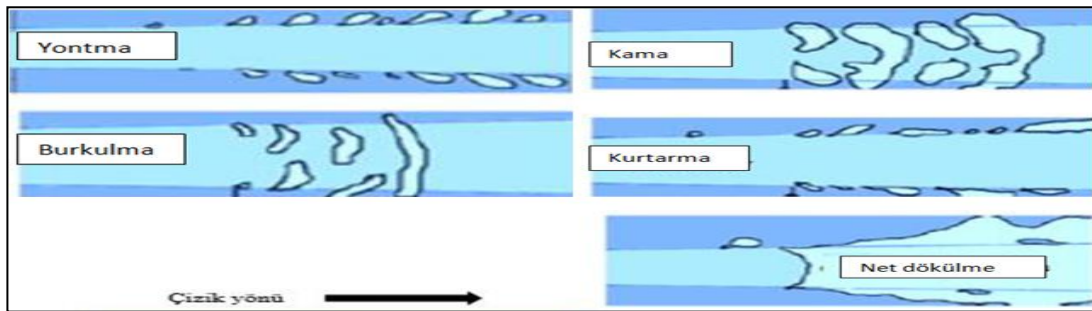
gelir. Numune malzemesini kaplayan malzemesinin kalınlığı içinde meydana gelen hasar oluştuğunda kohezif hasar, numunenin alt katmanındaki malzeme meydana gelen hasara ise adhezif hasar olarak adlandırılır [41,52].

Numuneye batırılan uç ile kaplama malzemesinin üzerinde çizik testi yapıldığında çekme gerilmesi oluştuğunda kohozif hasarlar meydana gelir. Çekme gerilmesi sonucunda yarı dairesel oluşumlar (ark gerilmesi) ve kaplamanın üzerinde çizik derinliği boyunca açılan olukta mikro çatlaklar (Hertz dalgalı) oluştuğu görülür. Şekil 4.7’de bu izler gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Çizik testinden sonra oluşan kohazif hasar oluşumları [41]

Numune parçasının üzerinde bulunan kaplama malzemesinin çatlaması, kalkması, çizilen malzemenin çizik kenarı boyunca elastik yığıntı olduğu veya malzeme yüzeyinden tamamen kopması gibi oluşumlar meydana gelmesine adhezif hasar denilmektedir. Şekil 4.8’de oluşan farklı izler yer almaktadır [41].



Şekil 4.8. Çizik testinden sonra oluşan adhezif hasar oluşumları [41]

Adhezif Aşınma (Yapışma Aşınması); sürtünmenin olduğu bütün kaynak noktalarında meydana gelir. Adhezif aşınma üzerinde oksit ya da malzemedeki nem oranından etkilenir. Adhezif hasarın azaltılmasında malzeme yüzeyindeki yağlama son derece önemlidir. Ayrıca malzeme yüzeyine etki eden yükün azaltılması ve

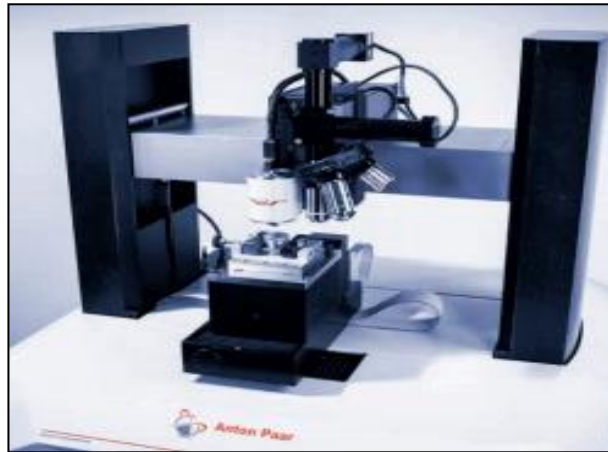
malzemenin sertliğinin artırılması Adhezif aşınmayı azaltır. Adhezif aşınma, en sık rastlanan bir aşınma türüdür ancak genellikle malzeme içindeki hasarı hızlandırıcı bir etki göstermez [52, 53, 54].

Kohazif Aşınma (Yapışkan Aşınma); Kohazif aşınma, iki tane birbirine yapıştırılan malzemenin birbiri üzerinde kaymasından meydana gelen parçacık kopmasının diğer malzemenin üzerine yapışmasıdır. Yapışkan tabaka içindeki bir kırılmadır ve yapıştırıcının kendi içerisinde bulunan bir bağın kopması durumunda oluşur. Kohazif Aşınma, bağ hattına etki eden kesme, çekme veya ayrılma kuvvetlerinden kaynaklanabilir [55].

4.10. Çizik (Scratch) Test Cihazlarının Özellikleri

Yüksek hassasiyetli test cihazları, ultra nano boyutundan mikro boyutuna kadar olan malzemelerin; yapışma, çizilme direnci, çatlak ve deformasyon gibi malzemenin yüzeyinin özelliklerinin belirlenmesinde yardımcı olan test cihazlarıdır. Polimer malzemeler, çok ince katmanlı malzemeler, yumuşak ve sert kaplamaların incelenmesi ve her türlü malzemenin ölçümünde kullanılan test cihazlarıdır. Bu test cihazlarından üç tanesinin ölçüm prensipleri anlatılmaktadır [56, 57, 58].

1. Nano Çizik Test Cihazı (NST); ince film malzemelerin ve malzeme kalınlığı 1000nm'nin altında olan kaplamaların yapışma dayanımını ve çizilme direncini analiz etmek için kullanılır. Malzemedeki çizik derinliği belirlemek için kullanılan iki sensör ile hızlı reaksiyon süresi, iyi derecede duyarlılık ve istenilen her çeşit çizik ölçümü için kullanılmaktadır [57].



Şekil 4.9. Nano çizik test cihazı (NST) [58]

2. Mikro Çizik Test (MST); ince film malzemelerin ve malzeme kalınlığı $5\mu\text{m}$ 'nin altında olan kaplamaların yapışma dayanımını ve çizilme direncini analiz etmek için kullanılır. Uygulama alanlarında optik kaplamalar, koruyucu ve dekoratif amaçla kullanılan malzemelerin yüzey kaplamalarında kullanılmaktadır [57].



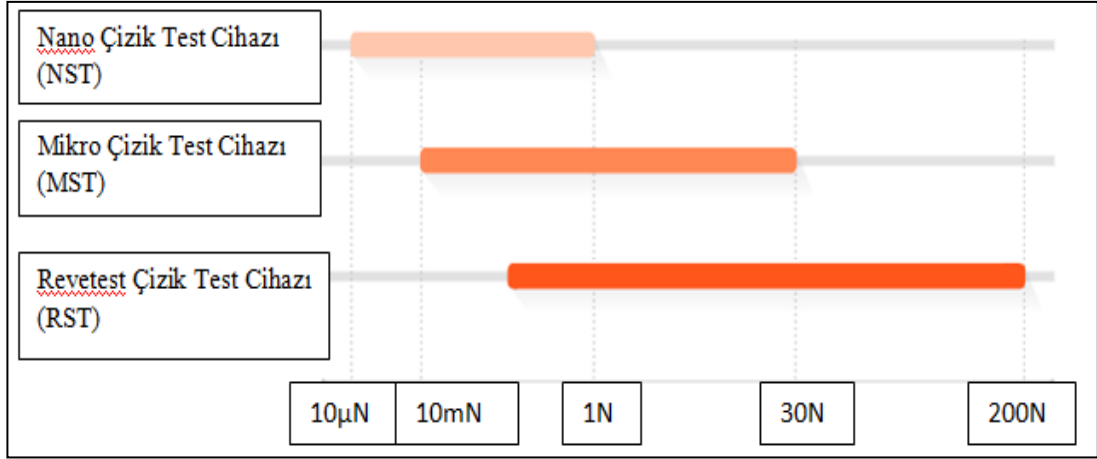
Şekil 4.10. Mikro çizik test cihazı (MST) [58]

3. Revetest Çizik Test Cihazı (RST); malzeme kalınlığı $1\mu\text{m}$ 'den 1mm 'ye kadar olan sert kaplamaların, sürtünme veya aşınma karşı oluşturulan kaplama malzemeler, manyetik ve dekoratif amaçla kullanılan malzemeler, cam ve organik ya da inorganik kaplamalar için kullanılabilir [57].



Şekil 4.11. Revetest çizik test cihazı (RST) [58]

Bu test cihazlarından üç tanesinin ölçüm aralığı Şekil 4.12'de ve teknik özellikleri de Tablo 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Çizik test cihazlarının ölçüm aralığı [57]

Tablo 4.3. Çizik test cihazlarının teknik özellikleri [57]

	NST ³	MST ³	RST ³
Maksimum yük[N]	1	30	200
Yük çözünürlüğü[µN]	0,01	10	100
Yük gürültü tabanı[rms][µN]	0,1	100	1000
Yükleme Hızı[N/dak]	100'e kadar	300'e kadar	300'e kadar
Derinlik aralığı[µm]	600	1000	1000
Derinlik çözünürlüğü[nm]	0,1	0,05	0,05
Derinlik gürültü tabanı[rms][nm]	1,5	1,5	2,5
Veri toplama hızı[kHz]	192	192	192
Çizme hızı[mm/dak]	0,1 ila 600	0,1 ila 600	0,4 ila 600
Opsiyonlar			
200°C'ye kadar ısıtma ünitesi	Var	Var	Var
450°C'ye kadar ısıtma ünitesi	Yok	Var	Var
Sıvı testi	Var	Var	Var

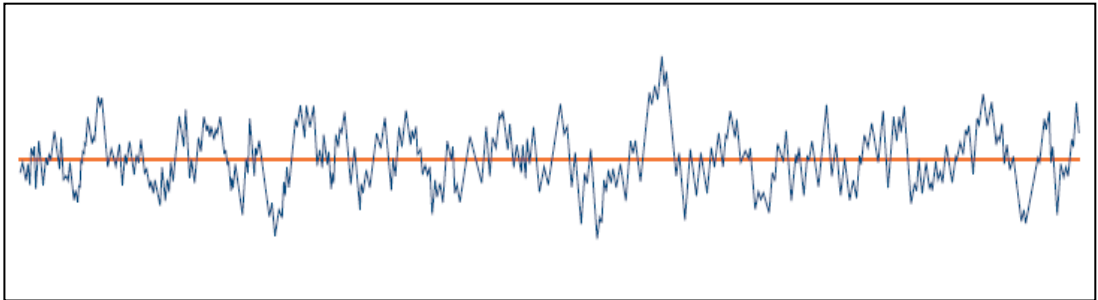
5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Günümüz teknolojisindeki gelişmeler, üretim alanında ilerlemek için daha mükemmel malzemeyi hedeflemektedir. Kalite beklentisinin yüksek olduğu uçak-uzay ve otomotiv endüstrisinde, ürünün kalitesini belirleyen yüzey pürüzlülüğü bu ölçümlerden sadece biridir. Malzemenin kalitesini gösteren yüzey pürüzlülüğü uygun değerlerde olduğunda, malzemenin yorulma kırılma dayanımı, korozyon dayanımını arttırdığı gibi malzemenin estetik olarak güzel görünmesini de sağlar [59].

Yüzey pürüzlülüğü, yükseklik farkından kaynaklanan düzensizlik olarak isimlendirilir. Bütün malzeme yüzeylerinin bir pürüzlülüğü vardır. Malzeme için, tezgâh cinsi, malzemeyi kesme özellikleri, kesme hızı, kesme derinliği gibi özellikler malzeme yüzeyini etkileyen durumlardır. Bu bağlamda istenilen yüzey pürüzlülüğü değerini ileri seviyede elde etmek için; malzemeyi kesme şartları, kesme hızı ve derinliği, ilerleme miktarı, takım ucu gibi özellikler oldukça önemlidir [60].

5.1. Yüzey Pürüzlülüğünde Profil Bilgisi

Profil, istenilen bütün yüzeylerin belirlenmesinde kullanılan bir parametredir. Yüzey pürüzlülük cihazlarının çoğu günümüzde kullanılan Stylus cihazı (mekanik olarak ölçüm yapan), profilden elde edilen elektriksel dalgaların yorumlanması ile gerçekleşir. Bir numune yüzeyinin profil grafiği incelendiğinde hem yatay hem de dikey eksende olmak üzere, gerçek görünüş şekli büyütülüp incelendiğinde çok sayıda tepe (peak) ve çukurdan (valley) oluştuğu görülür. Bir profil yüzeyinin eşit olmayan tepe ve çukurları merkezi bir çizgi ile iki alana ayrılır [61].



Şekil 5.1. Ortalama çizgisi ile birlikte yüzey profilinin tepe-çukur ilişkisi [61]

5.2. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Yüzey pürüzlülüğünü incelemek amacı ile en çok kullandığımız ölçüm cihazı profilometredir. Optik profilometrelerde malzemenin yüzey taraması ışın demeti ile yapılarak tarama sonucunda malzeme yüzeyinde herhangi bir bozukluk olmamasıdır. Üzerinde çalışılan malzemenin yüzeyi profilometre analizinden sonra ortaya çıkarılan yüzey haritası ve ölçümler sonrasında birçok yüzey pürüzlülük parametresine erişilmektedir. Malzemenin yüzey kalitesini belirlemek için malzemenin üzerinde bulunan girinti ve çıkıntıların değeri pürüzlülük olarak ifade edilir ve bu yükseklik veya ortalama pürüzlülük değerleri harfler ile gösterilip, matematiksel parametrelere çevrilerek malzemenin yüzeyi ölçülür. Malzeme yüzey pürüzlülüğünde kullanılan bazı parametreler aşağıda gösterilmiştir [62,63].

Ra: Profil sapmaların aritmetik ortalaması

Rv: Maksimum profil vadi derinliği

Rp: Maksimum profil tepe yüksekliği

Rz: Maksimum profil yüksekliği (Beş tane noktanın profil düzensizliklerinin yüksekliği)

Sa: Aritmetik Ortalama Yüksekliği

Sv: Maksimum çukur yüksekliği

Sp: Maksimum tepe yüksekliği

Sz: Maksimum Yükseklik

5.3. Yüzey ve Alan Pürüzlülük Parametrelerinin Belirlenmesi

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde kullandığımız parametreler, yüzey profilinin dik veya yatay düzlemde oluşturduğu iki boyutlu profili ve bu profilin ortalama çizgisine göre oluşan tepe ve vadileri gösteren ifadelerdir. DIN/ISO 4287 olan uluslararası ölçüm standartlarında ve birimi “ μm ” ile günümüz çalışmalarında kullanılmaktadır [61].

5.3.1. Profil sapmalarının aritmetik ortalaması (Ra)

En yaygın kullanılan parametrelerden biri olan Ra, ortalama yüzey için ortalama yükseklik farkının ortalamasıdır. Ra, genel mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan en etkili yüzey pürüzlülüğü ölçülerinden biridir. Buradaki $Z(x)$ pürüzlülük profilinin koordinatını belirtir [64].

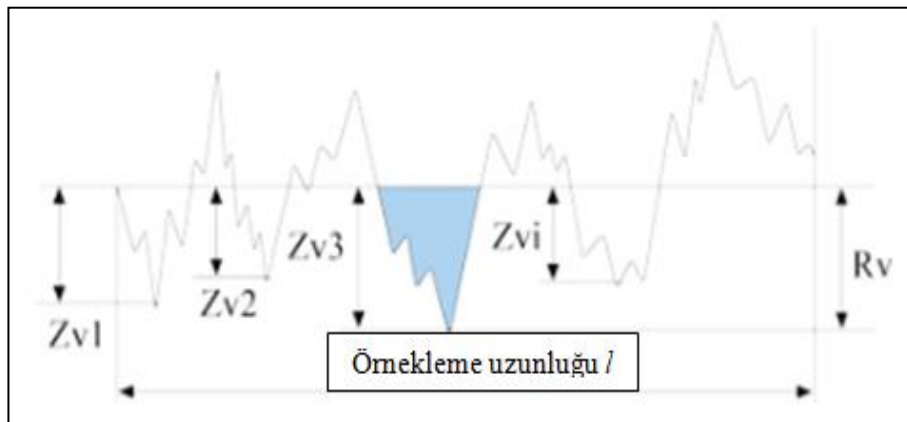


Şekil 5.2. Ra'nın gösterilmesi ve hesaplanması [66]

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (5.1)$$

5.3.2. Maksimum profil vadi derinliği (Rv)

Maksimum profil vadi derinliği parametresi Rv, profil eğrisinin en düşük olduğu örnekleme uzunluğu boyunca noktayı gösterir. Ortalama çizgisinin altına düşen her bölge için vadiler belirlenir.

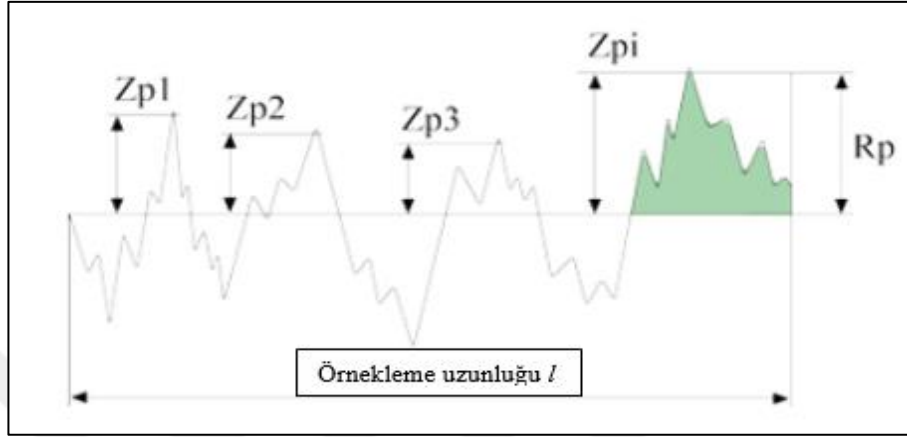


Şekil 5.3. Rv'nin gösterilmesi ve hesaplanması [66]

$$Rv = \left| \min(Z(x)) \right| \quad (5.2)$$

5.3.3. Maksimum profil tepe yüksekliği (Rp)

Pürüzlülük profillerinden biri olan Rp (Maksimum profil tepe yüksekliği), malzeme yüzeyindeki ortalama çizgiyi aşan her bölge için belirlenen tepelerin içinde örnekleme uzunluğu boyunca belirlenen en yüksek tepe noktasını gösterir.

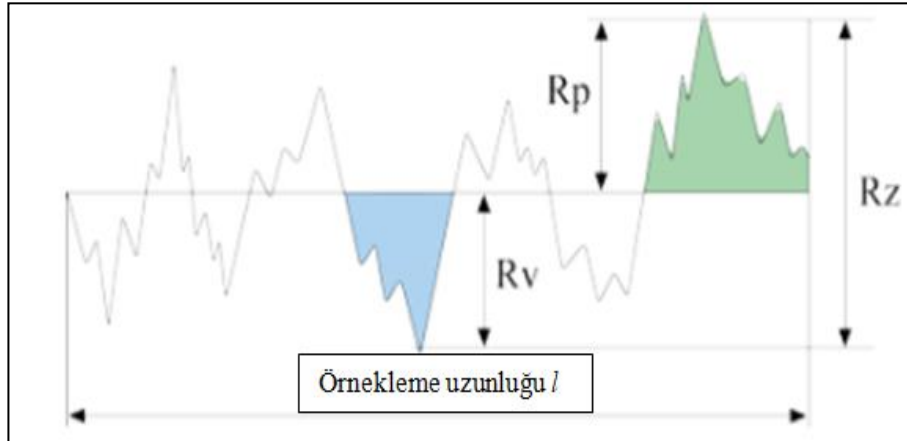


Şekil 5.4. Rp'nin gösterilmesi ve hesaplanması [66]

$$R_p = \left| \max(Z(x)) \right| \quad (5.3)$$

5.3.4. Maksimum profil yüksekliği (Rz)

Pürüzlülük profili ile uğraşırken Rz maksimum pürüzlülük olarak adlandırılır. Profilin maksimum yüksekliği, örnekleme uzunluğu boyunca yer alan ve genellikle referans olarak en yüksek 5 tepe ve en yüksek 5 çukur derinliğinin mutlak değerlerinin ortalaması olarak belirtilir. Referans sayısı modern ölçüm cihazlarında istenilen referans sayısı ile değiştirilebilir [65].



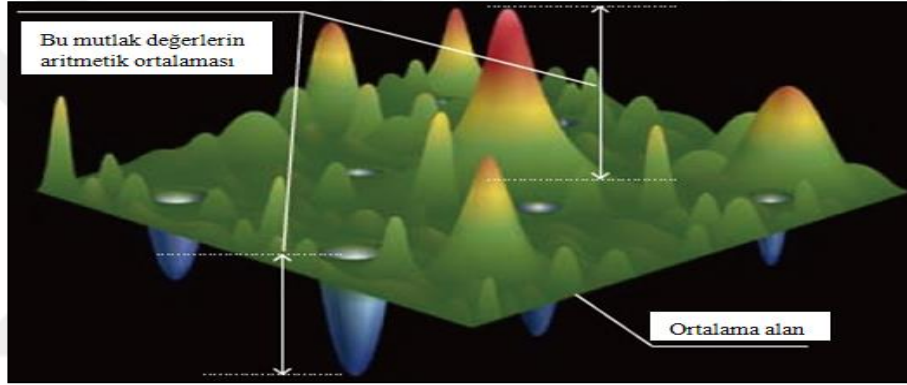
Şekil 5.5. Rz'nin gösterilmesi ve hesaplanması [66]

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{pi} + \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{vi} \quad (5.4)$$

$$R_z = R_p + R_v$$

5.3.5. Aritmetik ortalama yüksekliği (Sa)

Bu parametre, Ra'nın (bir çizginin aritmetik ortalama yüksekliği) bir yüzeye uzatılmasıdır. Mutlak bir değer olarak, yüzeyin aritmetik ortalamasına kıyasla her noktanın yükseklik farkını ifade eder. Bu parametre genellikle yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için kullanılır. Şekil 5.6'da bir örnek gösterilmiştir. Gerçekte, tüm yüzey değişiklikleri hesaplama yapılırken değerlendirilir.

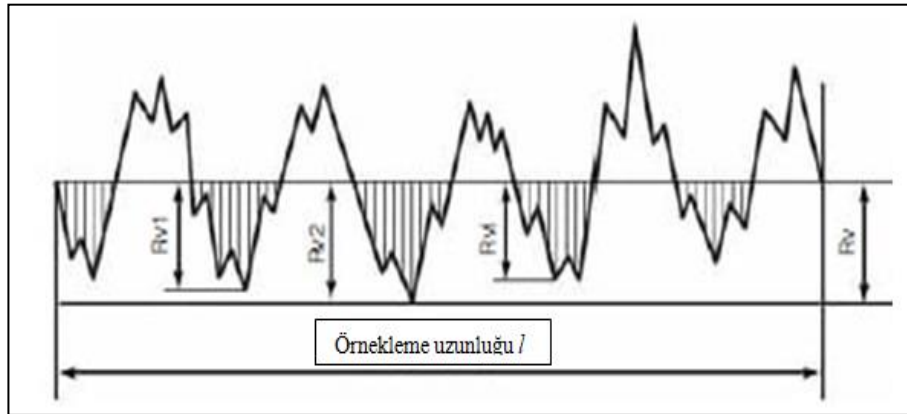


Şekil 5.6. Sa'nın gösterilmesi ve hesaplanması [64]

$$S_a = \frac{1}{l} \iint_0^l |Z(x, y)| dx, dy \quad (5.5)$$

5.3.6. Maksimum çukur yüksekliği (Sv)

Bu tanımlama alanındaki en büyük çukur yüksekliğinin mutlak değerini belirtir.

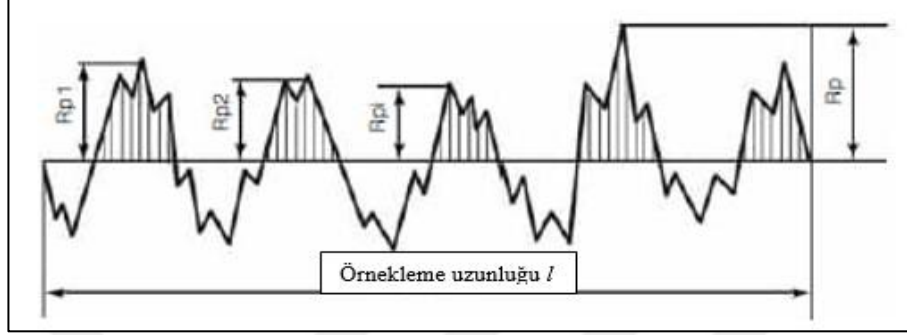


Şekil 5.7. Sv'nin gösterilmesi ve hesaplanması [64]

$$S_v = | \min z(x,y) | \quad (5.6)$$

5.3.7. Maksimum tepe yüksekliği (Sp)

Bu tanımlama alanındaki en büyük tepe yüksekliğinin mutlak değerini belirtir.

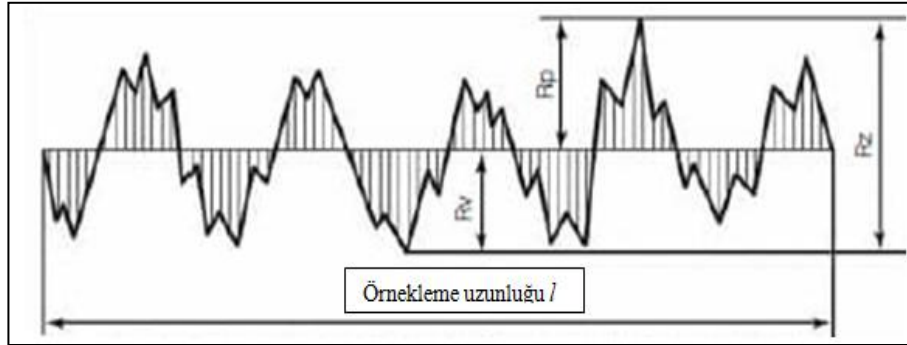


Şekil 5.8. Sp'nin gösterilmesi ve hesaplanması [64]

$$S_p = | \max z(x,y) | \quad (5.7)$$

5.3.8. Maksimum yükseklik (Sz)

Bu parametre, yüzey pürüzlülüğünde tanımladığımız alanı içindeki en büyük tepenin yükseklik değeri ile en büyük çukur derinliğinin toplamı olarak isimlendirilir. Sz, Rz'nin alansal bir uzantısıdır.



Şekil 5.9. Sz'nin gösterilmesi ve hesaplanması [64]

$$S_z = S_p + S_v = \max z(x,y) + | \min z(x,y) | \quad (5.8)$$

$$S_z = S_p + S_v$$

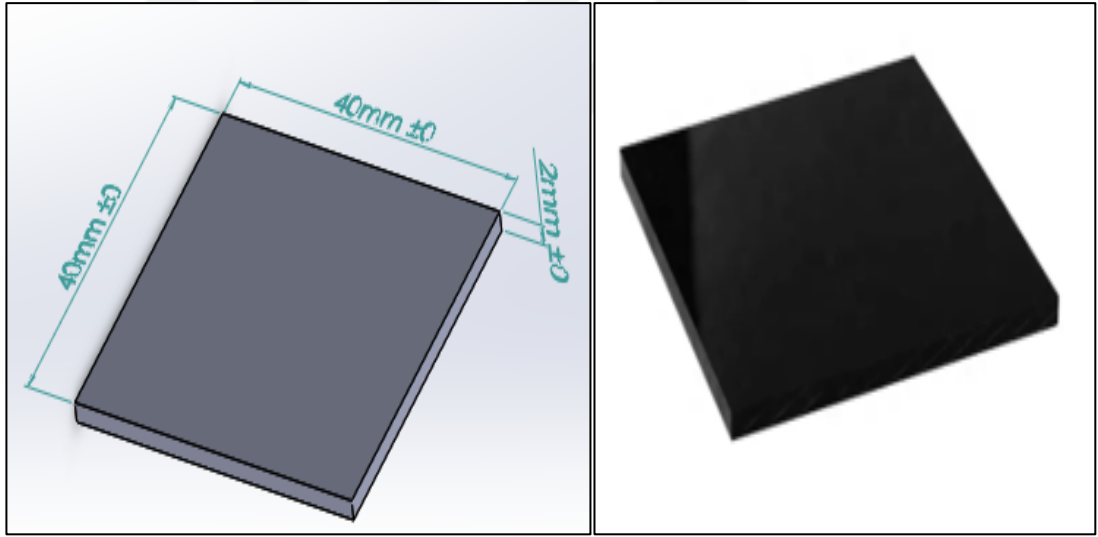
Sp=Maksimum Tepe Yüksekliği

Sv=Maksimum Çukur Yüksekliği

6. MALZEME VE YÖNTEM

6.1. Kullanılan Malzeme

Yapılan tüm deneysel çalışmalarda hedef malzeme olarak siyah renkte PMMA (polimetil metakrilat) kullanılmıştır. Bu deneyde kullanılan malzeme giyotin makas ile kesilerek, çizik test cihazında kullanılmak üzere kare plaka şeklinde hazırlanmıştır. Bu numunelerin boyutları 40mm eninde, 40mm boyunda ve 2mm kalınlığındadır. Şekil 6.1’de Solidwork çizim programında en, boy ve kalınlık değeri girilerek hazırlanan plaka numune ve örnek olarak gösterilen Polimetil Metakrilat malzemesi gösterilmiştir.

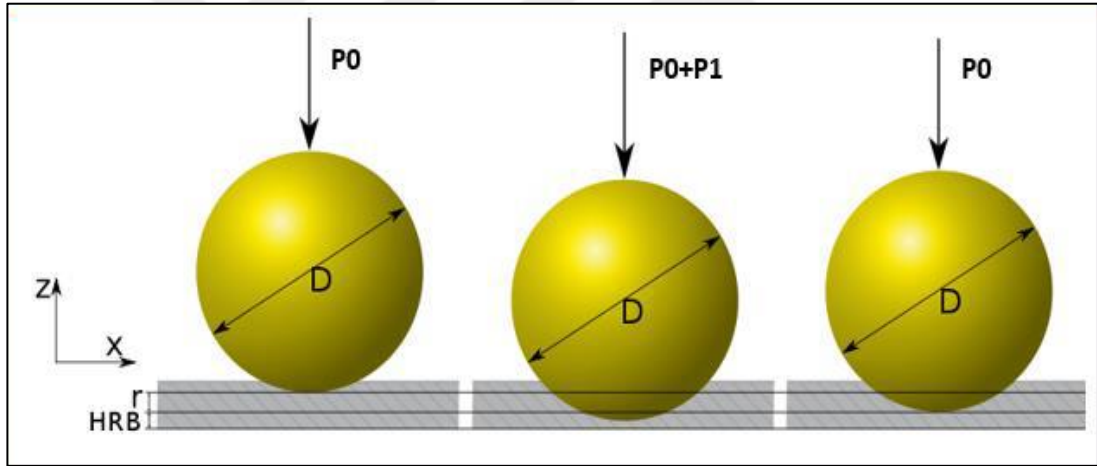


Şekil 6.1. Deney çalışmada kullanılan Polimetil Metakrilat numunesinin Solidwork’de çizilmiş boyutları ve örnek hedef malzeme

6.2. Kullanılan Batıcı Uçlar

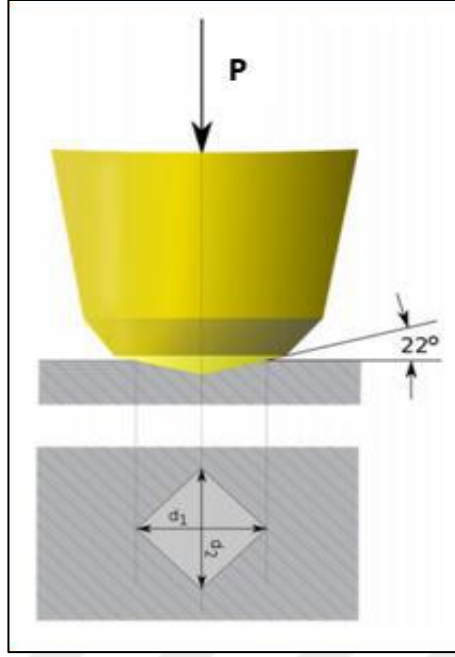
Sertlik, malzeme yüzeyine istenilen kuvvet ile bastırılan sert bir ucun bu malzemenin yüzeyinde oluşan kalıcı bozunmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak ifade edilir. Malzeme üzerinde oluşan izin büyüklüğünün ölçümü sertlik ölçeğine göre değişir. Rockwell Sertliği ölçümünde malzeme içine dalan ucun derinliği, Vickers Sertliği ölçümünde ise oluşan kare şeklindeki izin alanının ölçümü ile gerçekleştirilir [68].

Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi: Birden çok farklı skala ve farklı yükler altında çeşitli uç birleşimlerinin kullanılması ile en sert ve en yumuşak metal ya da alaşım malzemelerinin yüzeyinde oluşan derinliğin ölçülmesiyle malzeme sertliğini ölçmede kullanılır. Bu yöntem ile girinti derinliği ölçüldüğünden malzeme yüzey pürüzlülüğü ortaya çıkan sonuçları etkileyebilir. Rockwell sertliği genellikle naylon, polikarbonat, polyester gibi sert plastiklerin sertliğinin belirlenmesinde kullanılır. Bu işlemde ilk önce batıcı uç küçük bir yük uygulanarak ilk batırma yapılır (P_0 : ön yük). Daha sonra ibre sıfır durumuna getirilerek büyük yük uygulanır (P_1). Büyük yük uygulanan toplam yüküdür ve derinlik ölçümü sadece yük artışından kaynaklanır. Batma işleminden sonra malzeme üzerine oluşturulan çizik derinliği ne kadar küçük ise malzemenin sertliğide bir o kadar fazladır. Rockwell Sertliği genel olarak sert malzeme yüzeylerinin ölçülmesinde kullanılan sertlik ölçeğidir ve kullanımı son derece yaygındır [67, 68].



Şekil 6.2. Rockwell sertlik ölçümünün şematik gösterimi [65]

Vickers Sertlik Ölçüm Yöntemi: Bu yöntemde, sertliğini ölçmek istediğimiz malzemenin üzerine tabanı kare olan piramit şeklindeki ucun istenilen yük altında malzemeye batırılması sonucu, malzemeye batırılan yükün kaldırılması sonucunda malzeme yüzeyinde meydana gelen izin köşegen uzunluklarının ölçülmesi ile Vickers sertlik değeri bulunur. Vickers sertlik ölçme 136° tepe açısına sahip olan bir baskı elemanı kullanılarak istenilen yük altında malzemeye bastırılır. Belirli bir süre bastırılan yük ile oluşan iz tabanı kare şeklinde oluşur ve tepe açısı da piramit şeklindedir. Vickers sertlik değeri uygulana yük ile oluşan piramit izin toplam yüzey alanına oranını ifade eder [67, 68].



Şekil 6.3. Vickers sertlik ölçümünün şematik gösterimi [65]

6.3. Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazı

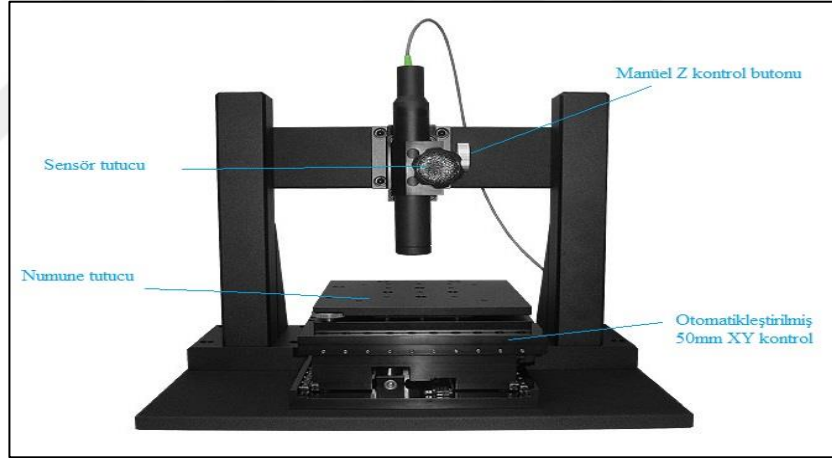
İnce şeffaf bir malzemenin kalınlığını ve pürüzlüğünü ölçebilen bir cihaz, malzemenin geliştirilmesinde ve kalite kontrolünde önemli bir özelliktir. Malzemenin kalınlığını ölçen başka aletlerde vardır ancak pürüzlülüğü ölçme yeteneğine sahip değildir. Bir malzeme çok kalın ya da malzemenin yüzey pürüzlülüğü çok yüksek ise, bu malzemenin optik özellikleri değişecektir. Bu tür malzemelerin kalite kontrolünün sağlamak için; ölçülebilir ve tekrarlanabilir denetimde olmalıdır.

6.3.1. Nanovea PS50 profilometre ölçüm cihazı

Yüzey pürüzlülüğü analizi, Kocaeli Üniversitesi Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Fakültesinin Laboratuvarındaki Nanovea 3D Temassız Profilometre ile yapılmıştır. Tez çalışmamızda kullanılan Nanovea 3D Temassız Profilometre, şeffaf uygulamalarda prob teması, yüzey değişimi, açı gibi özellikleri nedeniyle Nanovea Profilometre sahip olduğu teknolojisiyle büyük ölçüde güvenilirdir. Kullanılan Nanovea 3D Temassız Profilometre sistemi ile hızlı ve temassız tarama özelliğine sahiptir. Ölçümde kullandığımız Nanovea PS50, optik kalınlığını, kaplamanın bozulma direnci, sürtünme katsayısı ve pürüzlülüğünü ölçmek için kullanılır [69].

6.3.2. Nanovea PS50 temassız profilometrenin özellikleri

Temassız lazer ışığı yardımı ile üç boyutlu yüzey pürüzlülük ölçümü yapan Nanovea PS50 marka 3D optik profilometre cihazının fotoğrafı Şekil 6.4’de verilmiştir. PS50’nin yan tarafında tutacakları vardır ve dizüstü bilgisayarlarda çalıştırılabilir olduğundan gerektiğinde taşınması kolaydır. Optik kalemler, mümkün olan en geniş ölçüm aralığını sağlamak için hızlı ve kolay bir şekilde değiştirilebilir. Cihazın özellikleri; kompakt yapı, 38 x 33 x 43 cm boyutunda küçük bir alana sahip, tarayıcının kompakt boyutu 50mm x 50mm XY tarama alanına sahip olması, daha büyük numuneleri veya çoklu numuneleri barındırmak için 150mm x 150mm numune aşım alanına sahiptir. Uygulanan her çizik testinde, yazılım ile değişik ve hassas bir şekilde veri toplama ve bu elde edilen verilerin analizi ve çizik girinti haritalaması yapılmaktadır, Tablo 6.1’de ise bu cihazın önemli özellikleri verilmiştir [69,70,71].



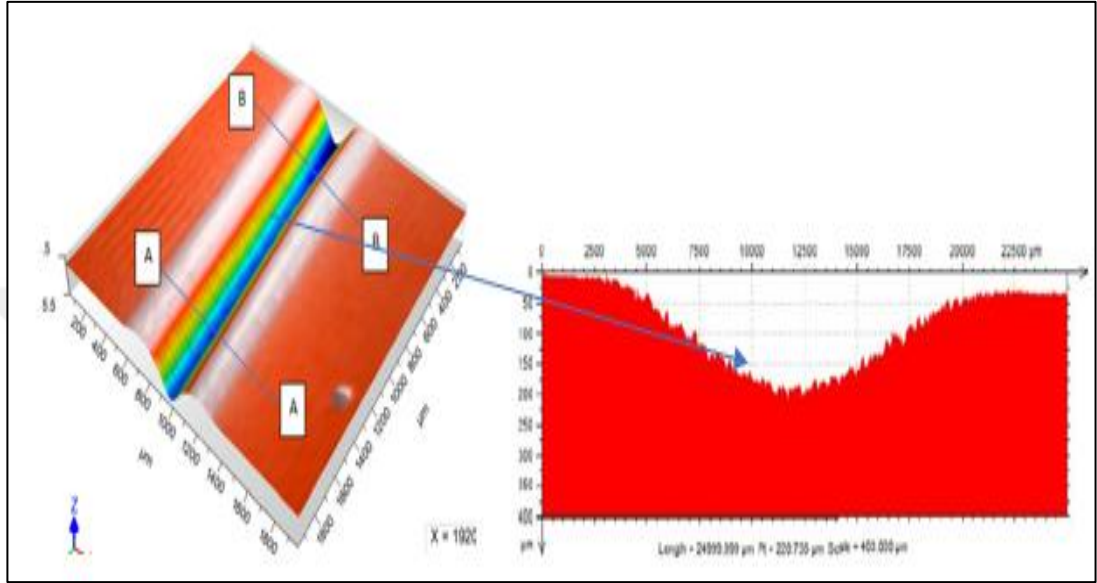
Şekil 6.4. Deneyde kullanılan Nanovea PS50 Marka 3D Optik Profilometre Cihazı [70]

Tablo 6.1. Nanovea PS50 marka 3D optik profilometre cihazının özellikleri [71]

XY Ekseni	50 x 50mm
Z Ekseni	30mm (Manüel)
Maksimum XY eksen hızı	20mm/s
Maksimum numune ağırlığı	8 Kg
Aydınlatma aralığı (dinamik)	Yeşil Işık 11 Hz – 2,4 MHz
Dikey çözünürlük	0,1 nm (cihaza bağlı)
Yatay çözünürlük	380 nm (objektife bağlı)
Yatay yer değiştirme çözünürlüğü	0,1 piksel (geometriye bağlı)

6.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Farklı operasyon parametreleri altında çizik testi uygulanan PMMA numunelerin yüzeylerinden aşınma hasarının merkez bölgesinde Nanovea PS50 marka 3 boyutlu optik profilometre cihazı ile yüzey pürüzlülük ölçümleri alınmıştır.



Şekil 6.5. Pürüzlülük ölçümünün şematil gösterimi

Şekil 6.5’de deneysel çalışmalarda kullanılan optik profilometre cihazının çizik testi sonrası, çizik tekrar sayılarının ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük ölçümlerinde çizik kraterinin orta noktasında profil çizgisinden ölçüm gerçekleştirilir.

6.5. Uygulanan Deneysel Yöntem

Bu tez çalışmasında kullanılan daha önceden kesilerek ayarlanmış kare şeklindeki Polimetil Metakrilat numuneler çizik test cihazının tablasının üstüne sabitlenir. Çizik test cihazının üzerinde bulunan ağırlık yerleştirme aparatına istenilen ağırlıkta metal diskler yerleştirilerek, çizik işleminde (N) kuvvet ağırlığı sağlanmış olur. Bilgisayarda kurulu olan nano pro adı verilen bir program ile çizik test cihazında belirtilen hız ve istenilen tekrar sayısı ile ayarlamalar gerçekleştirilir. Sabitlenen numune parçasında, deneyde kullanılan uçlar 90° açı ile numune üzerinde yaklaşık 15mm uzunluğunda bir çizik işlemi gerçekleştirilir.

Bu deneyde kullandığımız plaka numuneler, Tablolarda verilen parametrelerin farklı kombinasyonları ve tekrar sayıları ile çok sayıda deney yapılmıştır.

Tablo 6.2. Deneysel çalışmada kullanılan A numunesinin özellikleri

Deney No	Numune	Plaka No /Çizik No	Hız (mm/s)	Yük (N)	Tekrar Sayısı	Kullanılan Uç
1	A	A-1	1	46,501	1	Vickers
2	A	A-2	1	46,501	2	Vickers
3	A	A-3	1	46,501	6	Vickers
4	A	A-4	1	46,501	12	Vickers

Tablo 6.3. Deneysel çalışmada kullanılan B numunesinin özellikleri

Deney No	Numune	Plaka No /Çizik No	Hız (mm/s)	Yük (N)	Tekrar Sayısı	Kullanılan Uç
1	B	B-1	1	23,153	1	Vickers
2	B	B-2	1	23,153	2	Vickers
3	B	B-3	1	23,153	6	Vickers
4	B	B-4	1	23,153	12	Vickers
5	B	B-5	1	12,857	1	Vickers
6	B	B-6	1	12,857	2	Vickers
7	B	B-7	1	12,857	6	Vickers
8	B	B-8	1	12,857	12	Vickers

Tablo 6.4. Deneysel çalışmada kullanılan C numunesinin özellikleri

Deney No	Numune	Plaka No /Çizik No	Hız (mm/s)	Yük (N)	Tekrar Sayısı	Kullanılan Uç
1	C	C-1	5	46,501	1	Vickers
2	C	C-2	5	46,501	2	Vickers
3	C	C-3	5	46,501	6	Vickers
4	C	C-4	5	46,501	12	Vickers
5	C	C-5	5	23,153	1	Vickers
6	C	C-6	5	23,153	2	Vickers
7	C	C-7	5	23,153	6	Vickers
8	C	C-8	5	23,153	12	Vickers

Tablo 6.5. Deneysel çalışmada kullanılan D numunesinin özellikleri

Deney No	Numune	Plaka No /Çizik No	Hız (mm/s)	Yük (N)	Tekrar Sayısı	Kullanılan Uç
1	D	D-1	5	12,857	1	Vickers
2	D	D-2	5	12,857	2	Vickers
3	D	D-3	5	12,857	6	Vickers
4	D	D-4	5	12,857	12	Vickers

Tablo 6.6. Deneysel çalışmada kullanılan E numunesinin özellikleri

Deney No	Numune	Plaka No /Çizik No	Hız (mm/s)	Yük (N)	Tekrar Sayısı	Kullanılan Uç
1	E	E-1	1	12,857	1	Vickers
2	E	E-2	2	12,857	1	Vickers

Tablo 6.7. Deneysel çalışmada kullanılan F numunesinin özellikleri

Deney No	Numune	Plaka No /Çizik No	Hız (mm/s)	Yük (N)	Tekrar Sayısı	Kullanılan Uç
1	F	F-1	1	46,501	1	Rockwell
2	F	F-2	2	46,501	1	Rockwell
3	F	F-3	3	46,501	1	Rockwell
4	F	F-4	4	46,501	1	Rockwell
5	F	F-5	5	46,501	1	Rockwell
6	F	F-6	7.5	46,501	1	Rockwell
7	F	F-7	10	46,501	1	Rockwell

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan farklı batıcı uçların, farklı hızlarda ve farklı tekrar sayılarında çizik işlemi gerçekleştirilen Polimetil Metakrilat numunelerinin çizik sonrası göstermiş olduğu aşınma izinin 3 boyutlu görüntü skalaları ile optik profilometre değişimleri verilmiştir. Tez çalışması kapsamında iki batıcı ucun (Rockwell ve Vickers) PMMA malzeme üzerindeki ortalama çizik derinliği, ortalama çizik genişliği, numune çizildikten sonra malzemenin gösterdiği Yüzey ve Alan Pürüzlülük parametrelerinin değişim dağılımları çıkartılıp analiz uygulanarak grafikleri alınıp yorumlanmıştır.

7.1. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Çizik Deformasyonlarının Hesaplanması ve Grafikleri

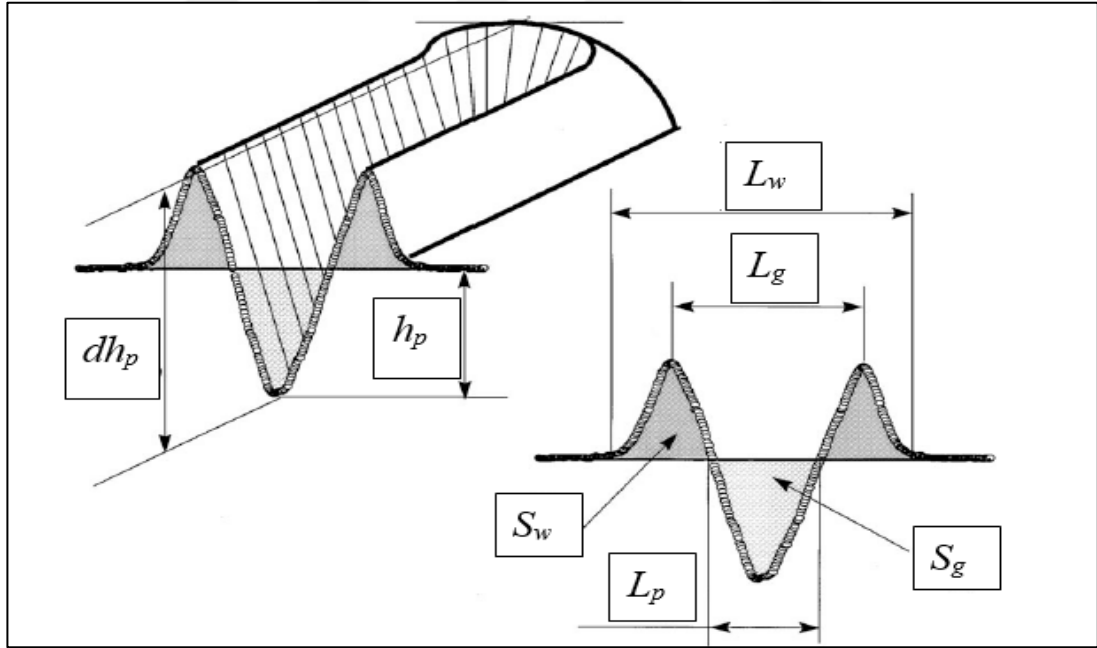
Deneysel çalışmalarda kullanılan çizik direncini geliştirmek adına uygulanan çizik testi Polimetil Metakrilat malzemelerin çizilme dirençlerinin davranışlarını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Buna karşın literatür taraması yapıldığında PMMA malzemenin çizilme direncini geliştirmek adına uygulanan tüm çizik testleri, malzeme davranışına olan etkisi ile ilgili çok detaylı çalışmalar bulunmamaktadır. Konuyla alakalı bazı araştırmacılar kullanılan Polimetil Metakrilat malzemesinde çizik test işleminin hedef malzemede meydana gelen minimum görülebilir çiziklerin oluştuğu ve malzeme üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını dile getirmiştir. Fakat buna karşın araştırmacıların birçoğu kullanılan çizik test işlemlerinde kullanılan çizik test sayısı ve uygulanan çizik hızının hedef malzemelerin çizilme davranışları üzerinde önemli bir etkisinin olduğu ve genel olarak çizik sonrası görülen çizik oluk genişliği ve penetrasyon derinliğinin boyutunun artışına paralel olarak artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Bu tez çalışmasında, Polimetil Metakrilat malzemenin çizik testi sonrası çizilme davranışı karşısında malzemenin gösterdiği, farklı tekrar sayılarında (1-2-6 ve 12 tekrar) farklı yük uygulamalarında (46,501N-23,153N-12,857N) ve farklı çizik test hızlarında (1-2-3-4-5-7,5 ve 10 mm/s) uygulanan testlerde çizilme davranışı

karşısında hedef malzemede görülen etkin çizik dalga genişlikleri ve çizik derinliği mekanizmalarının belirlenmesi amacıyla çok detaylı çalışma gerçekleştirilmiştir.

Farklı hız ve tekrar sayıları ile Polimetil Metakrilat malzeme yüzeyi üzerinde gerçekleştirilen çizik test işleminin sonucunda hedef malzeme yüzeyinde oluşan plastik deformasyona uğramış çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliğinin gösterdiği sayısal değerler incelenmiştir. Çizik testi sonrası hangi parametrenin etkisi ile daha yüksek oranda dalga genişliğinin arttığı veya kısaldığı ve çizik derinliğinin artışı veya azalışı, çizik hız ve çizik tekrar sayısının Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde meydana gelen deformasyon değişimleri incelenmiştir.

Bu bölüm içerisinde tüm bu çalışmaların sonuçları ayrı ayrı değerlendirilerek Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde gerçekleştirilen çizik test hızı ve çizik tekrar sayısına bağlı olarak malzeme yüzeyinde oluşan çizik dalga genişlikleri ve çizik derinliğinin gösterdiği değişim yorumlanmıştır.



Şekil 7.1. Çizik dalga genişliği ve çizik derinliğinin şematik gösterimi [48]

Şekil 7.1'de L_w ile L_g farkı çizikin omuz genişliğini ve malzemenin plastik deformasyona uğramış bölgeyi gösterir. dh_p ile h_p farkı çizikten kalan yığıntının derinliğini gösterir. L_g çizikin oluk genişliğini, L_w dalga genişliğini, S_w dalga kesitinin yüzeyini S_g oluk kesitinin yüzeyini ve L_p ise malzeme yüzeyinin çizik derinliğinin genişliğini gösterir.

Bölüm içerisinde özellikle farklı tür ve boyuttaki malzeme yüzeyinde oluşan çizik dalga genişlikleri ve çizik derinliğinin hedef malzemedan alınan çizik yüzey morfolojilerin görüntüleri özgünlük taşımaktadır.

Polimetil Metakrilat çizilen test numunelerin çizik testi sonrası davranışlarının karşılaştırılması istendiğinde doğrudan malzemede meydana gelen penetrasyon derinliğinin ve malzeme yüzeyinde oluşan çizik dalga genişlikleri değişim (L_w) hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı tez çalışmasında tüm deneylerin sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak her bir numune için malzeme yüzeyinde oluşan çizik dalga genişlikleri değişim (L_w) oranı ve çizikten kalan numune parçalarının yığıntılarının derinliğinin değişimi hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmalarda çizik dalga genişlikleri değişim (L_w) oranı hesabı Denklem (7.1)'de verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$L_w = (L_g - L_p) * 2 + L_p \quad (7.1)$$

$d_{hp} - h_p =$ Çizikten kalan yığıntının derinliği

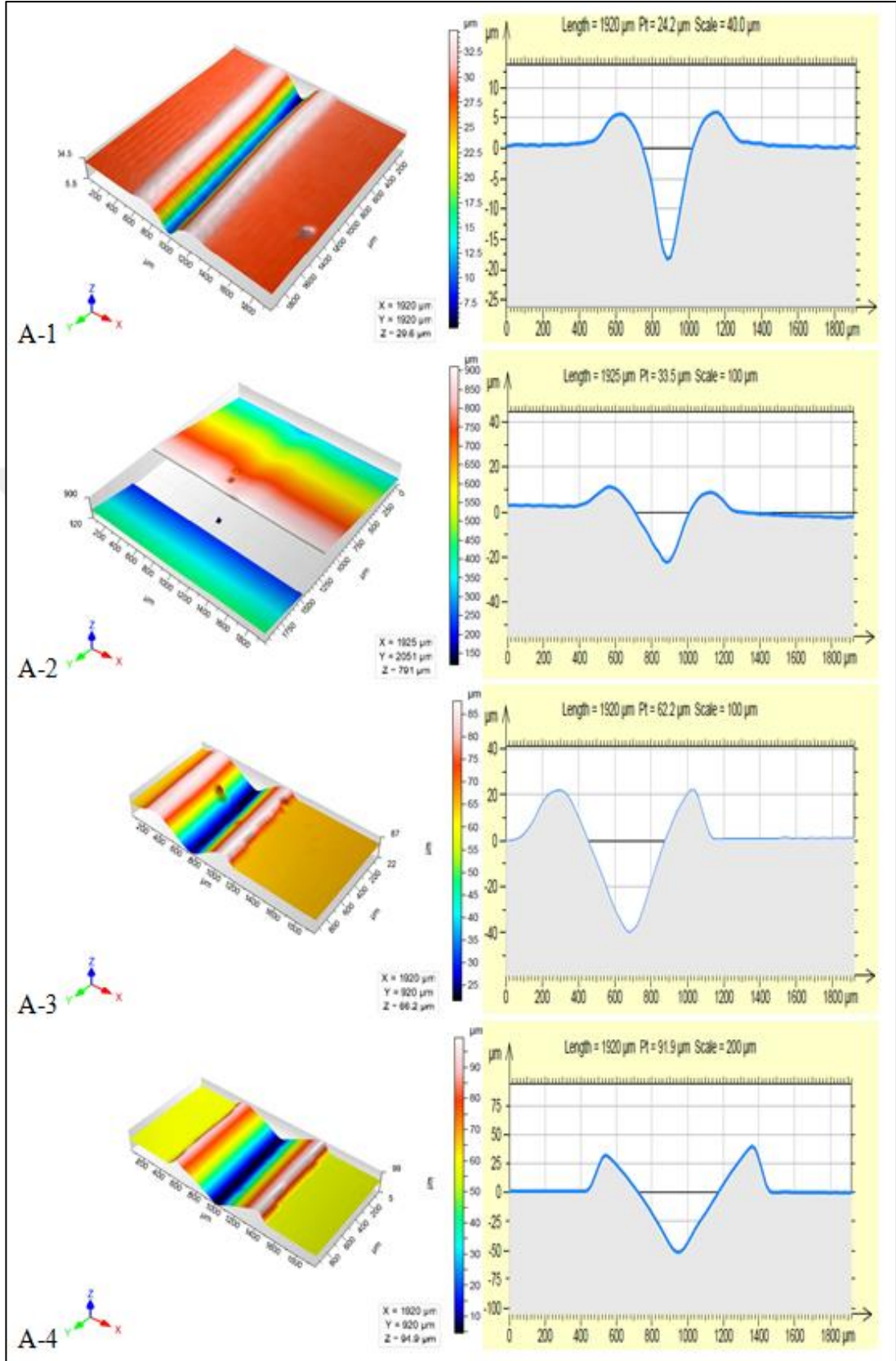
$d_{hp} =$ Toplam Penetrasyon Derinliği

$h_p =$ Plastik Derinlik, $L_w =$ Dalga Genişliği

$L_p =$ Malzeme Yüzeyinin Çizik Derinliğinin Genişliği

$L_g =$ Çizik Oluk Genişliği

Şekil 7.2'de Polimetil Metakrilat A numune parçasının 46,501Nyük, 1mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1-2-6 ve 12 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu incelendiğinde; aynı yük ve aynı çizik hızı ile gerçekleştirilen çizik testlerinde kullanılan Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde meydana gelen deformasyon şekilleri incelendiğinde tekrar sayısı arttığında birbirine benzemeyen daha derin çizik derinlik izleri ve çizik oluk genişliklerinin büyüdüğü görülmüştür. Bu durum numune yüzeyinde tekrar sayısının artmasının çizik izi ve çizik oluk genişliğinin artmasının sebebi olarak göstermektedir.

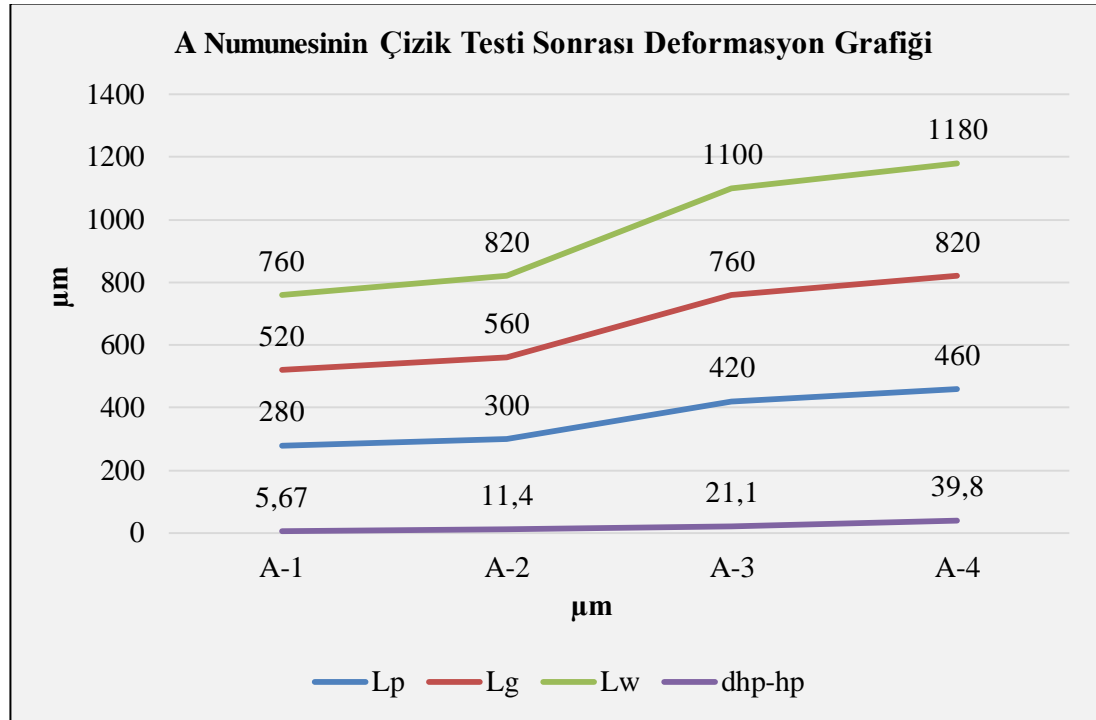


Şekil 7.2. A numunesinin 1mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (A-1) 1 tekrar, (A-2) 2 tekrar, (A-3) 6 tekrar, (A-4) 12 tekrar

Tablo 7.1. Çizik testi sonrasında A numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri

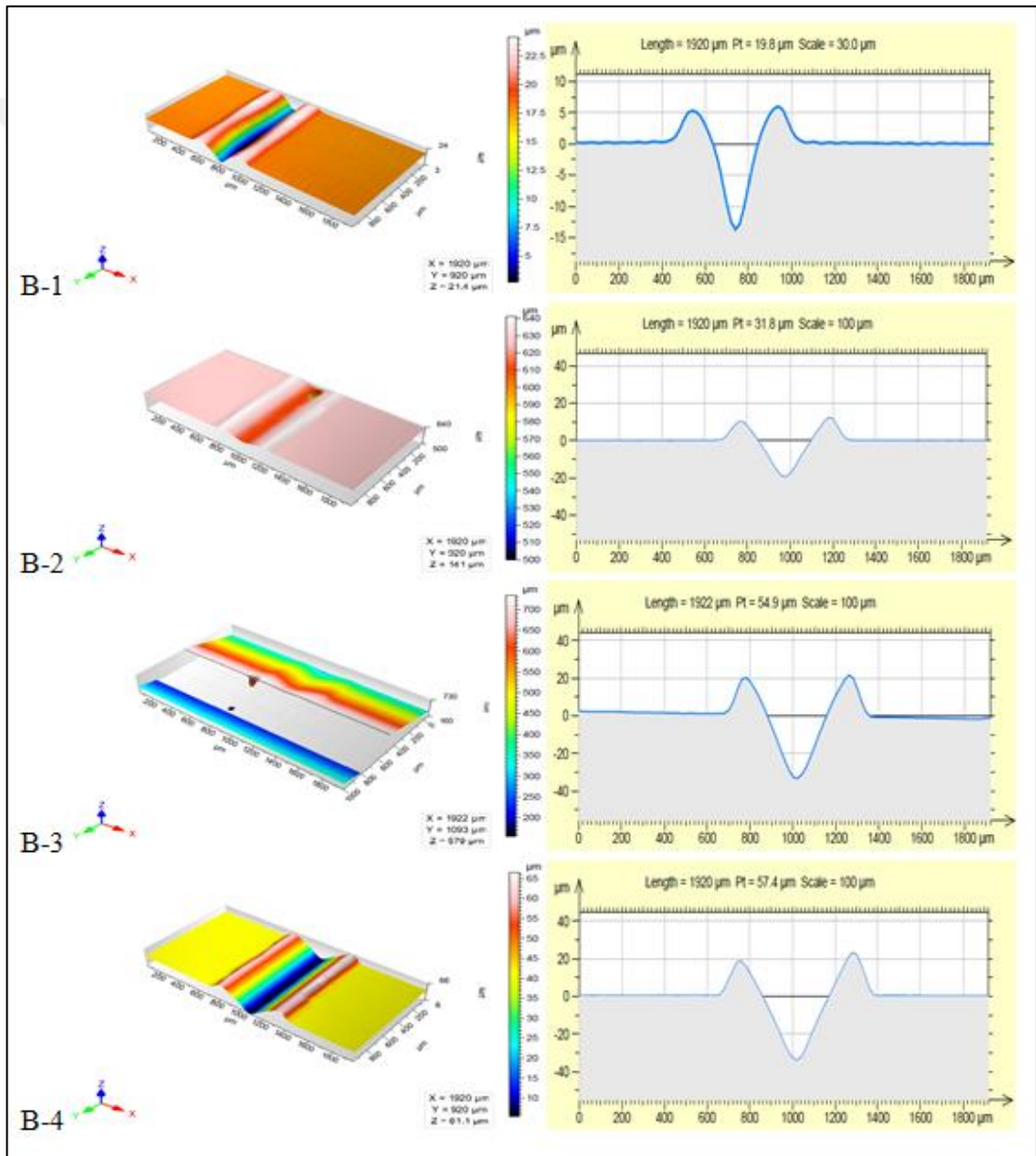
	<i>Lp</i>	<i>Lg</i>	<i>Lw</i>	<i>dhp</i>	<i>hp</i>	<i>dhp-hp</i>
A-1	280	520	760	24,27	18,6	5,67
A-2	300	560	820	34,6	23,2	11,4
A-3	420	760	1100	61,8	40,7	21,1
A-4	460	820	1180	92,8	53,0	39,8

Deneysel çalışmalarda kullanılan A numunesinin çizik oluk genişlikleri, çizik dalga genişliği ve çizik derinlikleri ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.1’de görüldüğü gibidir. A-1 numunesinin çizik oluk genişliği 520 μ m, çizik dalga genişliği 760 μ m ve çizik kesitinin derinliği 18,6 μ m, A-2 numunesinin çizik oluk genişliği 560 μ m, çizik dalga genişliği 820 μ m ve çizik kesitinin derinliği 23,2 μ m, A-3 numunesinin çizik oluk genişliği 760 μ m, çizik dalga genişliği 1100 μ m ve çizik kesitinin derinliği 40,7 μ m, A-4 numunesinin çizik oluk genişliği 820 μ m, çizik dalga genişliği 1180 μ m ve çizik kesitinin derinliği 53,8 μ m olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan yararlanarak A numunesinin Şekil 7.3’de verilerin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliğinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği çizilmiştir.



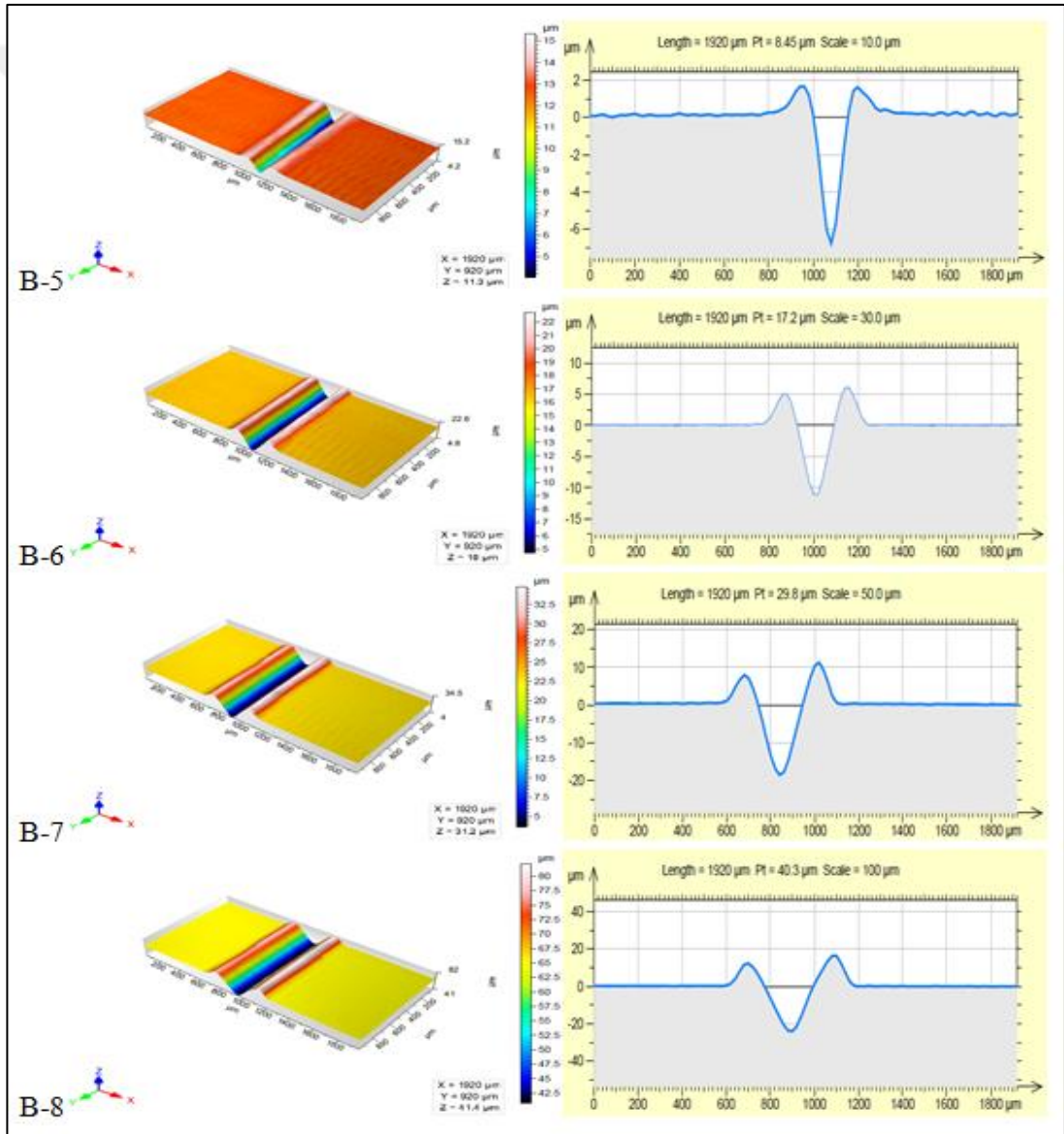
Şekil 7.3. A numunesinin 1mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliğinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği

Şekil 7.3’de çizimin dalga genişliğinin (L_w) 760 μm ’den 1180 μm ’ye artış gösterdiği ve malzemenin plastik deformasyona uğramış çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkı (dh_p-h_p) 5,67 μm ’den 39,8 μm ’ye artış gösterdiği görülmüştür. Aynı yük ve aynı çizik hızı ile gerçekleştirilen çizik testlerinde kullanılan Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde meydana gelen deformasyon şekilleri incelendiğinde tekrar sayısı arttığında, çizik derinlik izleri ve çizik dalga genişliğinin (L_w) büyüdüğü görülmüştür. Bu durum numune yüzeyinde tekrar sayısının artmasının çizik oluk derinliğinin ve çizik dalga genişliğinin (L_w) artmasının sebebi olarak göstermektedir.



Şekil 7.4. B numunesinin 1mm/s hızda, 23,153N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (B-1) 1 tekrar, (B-2) 2 tekrar, (B-3) 6 tekrar, (B-4) 12 tekrar

Şekil 7.4 incelendiğinde Polimetil Metakrilat B numune parçasının 23,153N yük, 1mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1-2-6 ve 12 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu incelendiğinde; Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyine 23,153N kuvvet değeri A numunesine göre daha düşük çizik derinlik izleri ve çizik oluk genişlikleri meydana gelir. Tekrar sayısı arttığında ise derin çizik derinlik izleri ve çizik oluk genişliklerinin ve çizik dalgasının genişliğinin büyüdüğü görülmüştür. Bu durum numune yüzeyinde tekrar sayısının artmasının çizik izi ve çizik oluk genişliğinin artmasının sebebi olarak göstermektedir.



Şekil 7.5. B numunesinin 1mm/s hızda, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (B-5) 1 tekrar, (B-6) 2 tekrar, (B-7) 6 tekrar, (B-8) 12 tekrar

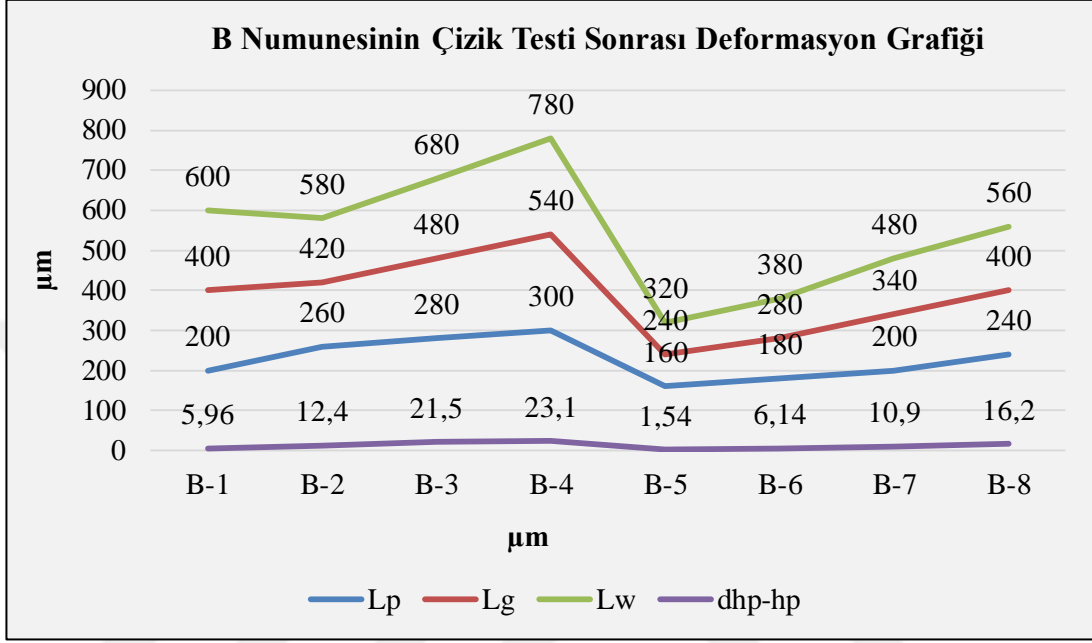
Şekil 7.5 incelendiğinde PMMA B numune parçasının 12,857Nyük, 1mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1-2-6 ve 12 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu incelendiğinde; Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyine 12,857N kuvvet değeri 23,153N yük ile çizilen parça numunesine göre daha düşük çizik derinlik izleri ve çizik oluk genişlikleri meydana gelir. Tekrar sayısı arttığında ise derin çizik derinlik izleri ve çizik oluk genişliklerinin ve çizik dalgasının büyüdüğü görülmüştür. Bu durum numune yüzeyinde tekrar sayısının artmasının çizik izi ve çizik oluk genişliğinin artmasının sebebi olarak göstermektedir.

Tablo 7.2. Çizik testi sonrasında B numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri

	<i>Lp</i>	<i>Lg</i>	<i>Lw</i>	<i>dhp</i>	<i>hp</i>	<i>dhp-hp</i>
B-1	200	400	600	19,26	13,3	5,96
B-2	260	420	580	30,9	18,5	12,4
B-3	280	480	680	55,4	33,9	21,5
B-4	300	540	780	57,3	34,2	23,1
B-5	160	240	320	8,78	7,24	1,54
B-6	180	280	380	17,44	11,3	6,14
B-7	200	340	480	29,9	19,0	10,9
B-8	240	400	560	40,2	24,0	16,2

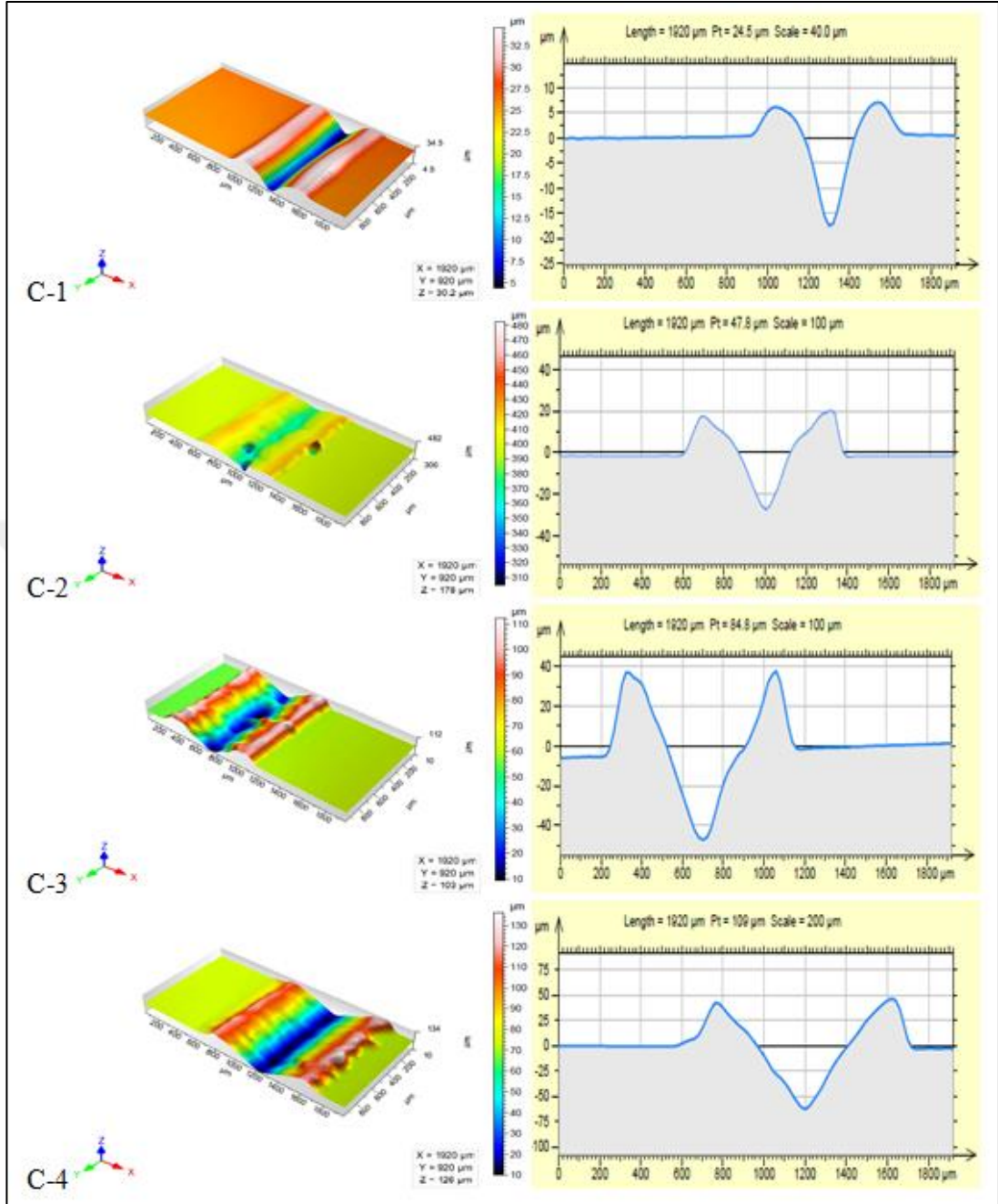
Deneysel çalışmalarda kullanılan B numunesinin çizik oluk genişlikleri ve çizik derinlikleri ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.2’de görüldüğü gibidir. 23,153Nyük, 1mm/s hızda deformasyonu incelendiğinde B-1 numunesinin çizik oluk genişliği 400µm, çizik dalga genişliği 600 µm ve çizik kesitinin derinliği 13,3µm, B-2 numunesinin çizik oluk genişliği 420µm, çizik dalga genişliği 580 µm ve çizik kesitinin derinliği 18,5µm, B-3 numunesinin çizik oluk genişliği 480µm, çizik dalga genişliği 680 µm ve çizik kesitinin derinliği 33,9µm, B-4 numunesinin çizik oluk genişliği 540µm, çizik dalga genişliği 780 µm ve çizik kesitinin derinliği 34,2µm olduğu görülmüştür. 12,857Nyük ile çizilen numune incelendiğinde; B-5 numunesinin çizik oluk genişliği 240µm, çizik dalga genişliği 320 µm ve çizik kesitinin derinliği 7,24µm, B-6 numunesinin çizik oluk genişliği, çizik dalga genişliği 380 µm 280µm ve çizik kesitinin derinliği 11,3µm, B-7 numunesinin çizik oluk genişliği 340µm, çizik dalga genişliği 480 µm ve çizik kesitinin derinliği 19µm, B-8 numunesinin çizik oluk genişliği 400µm, çizik dalga genişliği 560 µm ve çizik

kesitinin derinliği 24 μ m olduğu görülmüstür. Bu sonuçlardan yararlanarak B numunesinin Şekil 7.6’da verilerin deformasyon grafiği çizilmiştir. Vickers batıcı uc ile 1-2-6 ve 12 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik



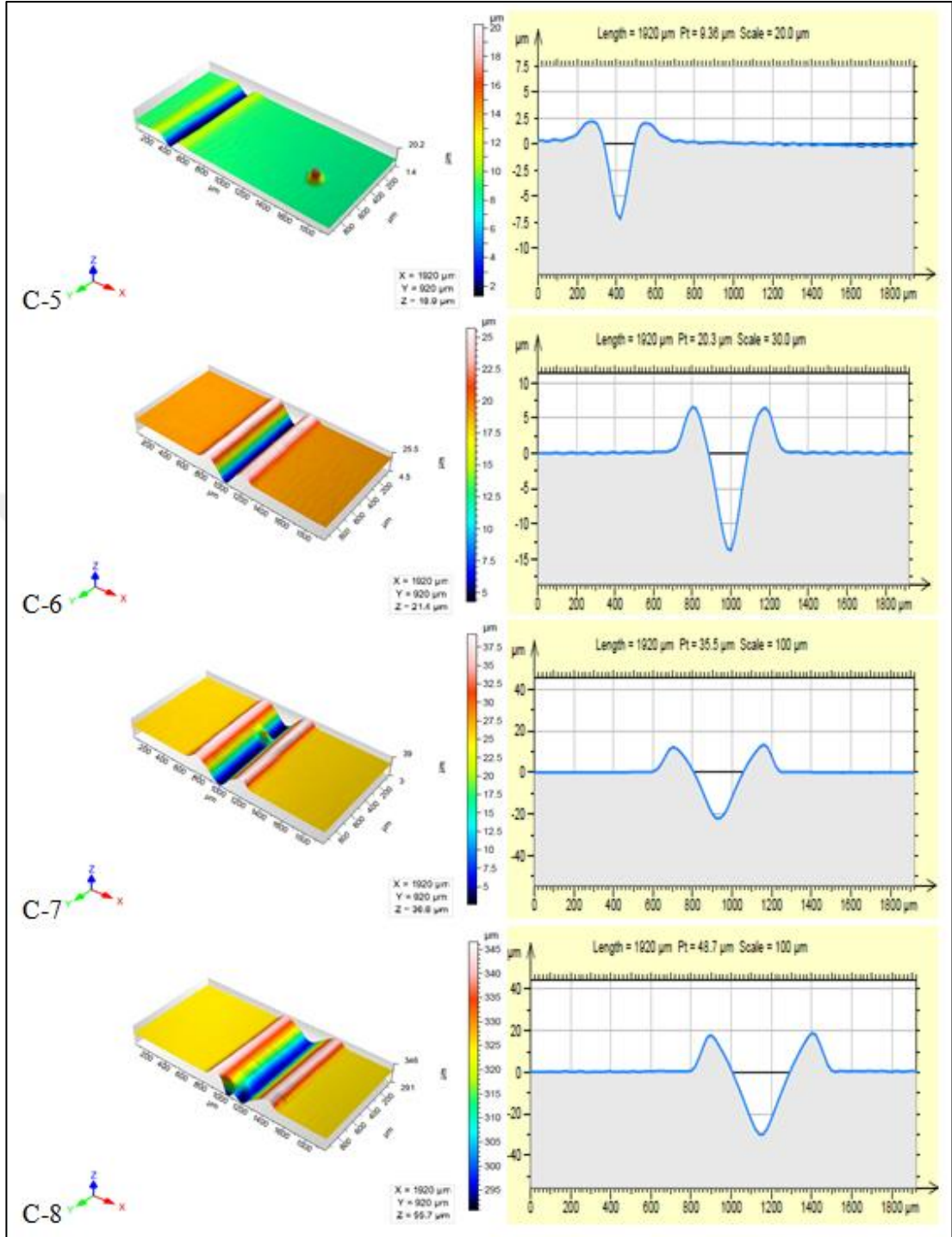
Şekil 7.6. B numunesinin 1mm/s hızda, 23,153N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliğinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği

Şekil 7.6’da B numunesinin 1mm/s hızda, 23,153N yükte iziliğin dalga genişliğinin (L_w) 600 μ m’den 780 μ m’ye artış gösterdiği ve 12,857N yükte iziliğin dalga genişliğinin (L_w) 320 μ m’den 560 μ m’ye artış gösterdiği grlmştir. 23,153N yükte malzemenin plastik deformasyona uğramış çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkı (dh_p-h_p) 5,96 μ m’den 23,1 μ m’ye artış gösterdiği ve 12,857N yükte malzemenin plastik deformasyona uğramış çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkı (dh_p-h_p) 1,54 μ m’den 16,2 μ m’ye artış gösterdiği grlmştir. Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde meydana gelen deformasyon Şekilleri incelendiğinde; 23,153N yük ile çizilen numunenin çizik derinlik izleri ve çizik dalga genişliğinin (L_w) 12,857N yük ile çizilen numuneye göre daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Bu durum numune yüzeyinde tekrar sayısının artmasının çizik oluk derinliğinin ve çizik dalga genişliğinin (L_w) artmasının sebebi olarak göstermekte aynı zamanda numune yüzeyine uygulanan yük (N) değerlerinin de çizik derinlik izleri ve çizik dalga genişliğinde etkili olduğunu göstermiştir.



Şekil 7.7. C numunesinin 5mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (C-1) 1 tekrar, (C-2) 2 tekrar, (C-3) 6 tekrar, (C-4) 12 tekrar

Şekil 7.7 incelendiğinde Polimetil Metakrilat C numune parçasının 46,501Nyük, 5mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1-2-6 ve 12 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu incelendiğinde C numunesi A numunesinden hızı 5 kat fazla olmasına rağmen çizik oluk genişliği, çizik dalga genişliği ve çizik kesitinin derinliği daha küçük değer gösterir.



Şekil 7.8. C numunesinin 5mm/s hızda, 23,153N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (C-5) 1 tekrar, (C-6) 2 tekrar, (C-7) 6 tekrar, (C-8) 12 tekrar

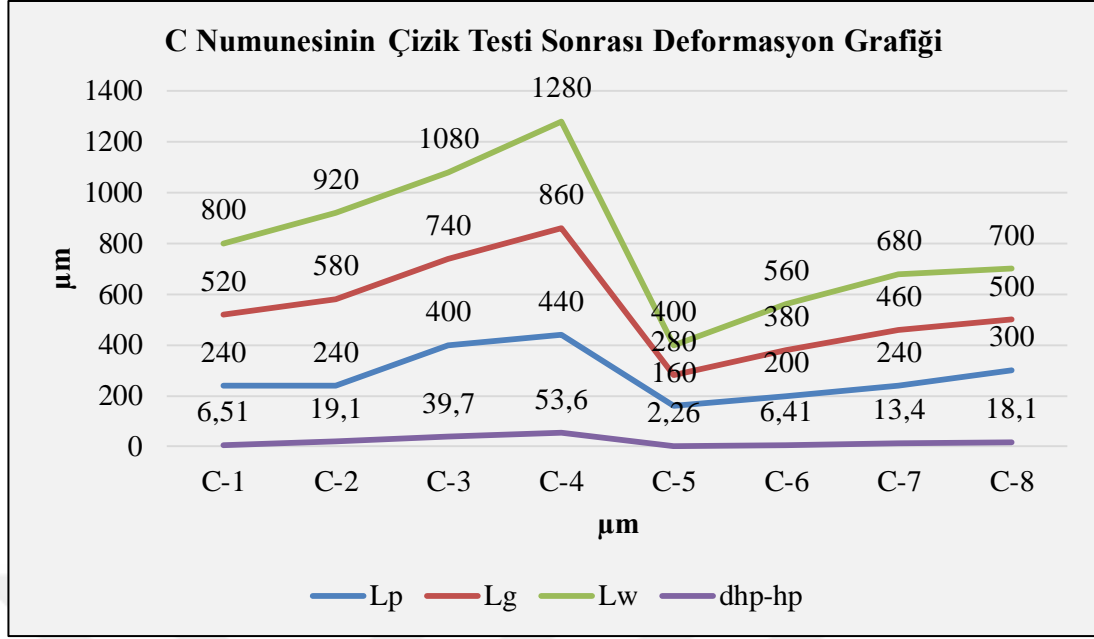
Şekil 7.8 incelendiğinde Polimetil Metakrilat C numune parçasının 23,153Nyük, 5mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1-2-6 ve 12 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu C numune parçası için incelendiğinde numuneyi çizmek için kullanılan çizik hızı

arttığında, 1mm/s hız ile çizilen B numunesinden daha geniş çizik oluk genişliklerine sahip olduğu ve çizik kesitinin derinliğinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum çizik test hızının 5mm/s hızda çizilmesinde 1 mm/s hız ile çizilen B numunesinin şartları aynı olsa bile hız sayısının artması, çizik kesit derinliği ve çizik oluk genişliğini etkilediği görülmüştür.

Tablo 7.3. Çizik testi sonrasında C numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri

	<i>L_p</i>	<i>L_g</i>	<i>L_w</i>	<i>d_{hp}</i>	<i>hp</i>	<i>d_{hp}-hp</i>
C-1	240	520	800	24,31	17,8	6,51
C-2	240	580	920	46,0	26,9	19,1
C-3	400	740	1080	89,6	49,9	39,7
C-4	440	860	1280	115,2	61,6	53,6
C-5	160	280	400	9,46	7,20	2,26
C-6	200	380	560	20,21	13,8	6,41
C-7	240	460	680	31,3	17,9	13,4
C-8	300	500	700	48,2	30,1	18,1

Deneysel çalışmalarda kullanılan C numunesinin çizik oluk genişlikleri ve çizik derinlikleri ölçümleri yapılmıştır. 46,501N yük uygulamasında C-1 numunesinin çizik oluk genişliği 520µm, çizik dalga genişliği 800 µm ve çizik kesitinin derinliği 17,8µm, C-2 numunesinin çizik oluk genişliği 580µm, çizik dalga genişliği 920 µm ve çizik kesitinin derinliği 26,9µm, C-3 numunesinin çizik oluk genişliği 740µm, çizik dalga genişliği 1080 µm ve çizik kesitinin derinliği 49,9µm, C-4 numunesinin çizik oluk genişliği 860µm, çizik dalga genişliği 1280 µm ve çizik kesitinin derinliği 61,6µm olduğu görülmüştür. 23,153N yük uygulamasında C-5 numunesinin çizik oluk genişliği 280µm, çizik dalga genişliği 400 µm ve çizik kesitinin derinliği 7,20µm, C-6 numunesinin çizik oluk genişliği 380µm çizik dalga genişliği 560 µm ve çizik kesitinin derinliği 13,8µm, C-7 numunesinin çizik oluk genişliği 460µm, çizik dalga genişliği 680 µm ve çizik kesitinin derinliği 17,9µm, C-8 numunesinin çizik oluk genişliği 500µm çizik dalga genişliği 700 µm ve çizik kesitinin derinliği 30,1µm olduğu görülmüştür. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.3’de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak C numunesinin Şekil 7.9’da verilerin çizik oluk genişliğinin, çizik dalga genişliğinin ve çizik oluk derinliğinin değişim grafiği çizilmiştir.

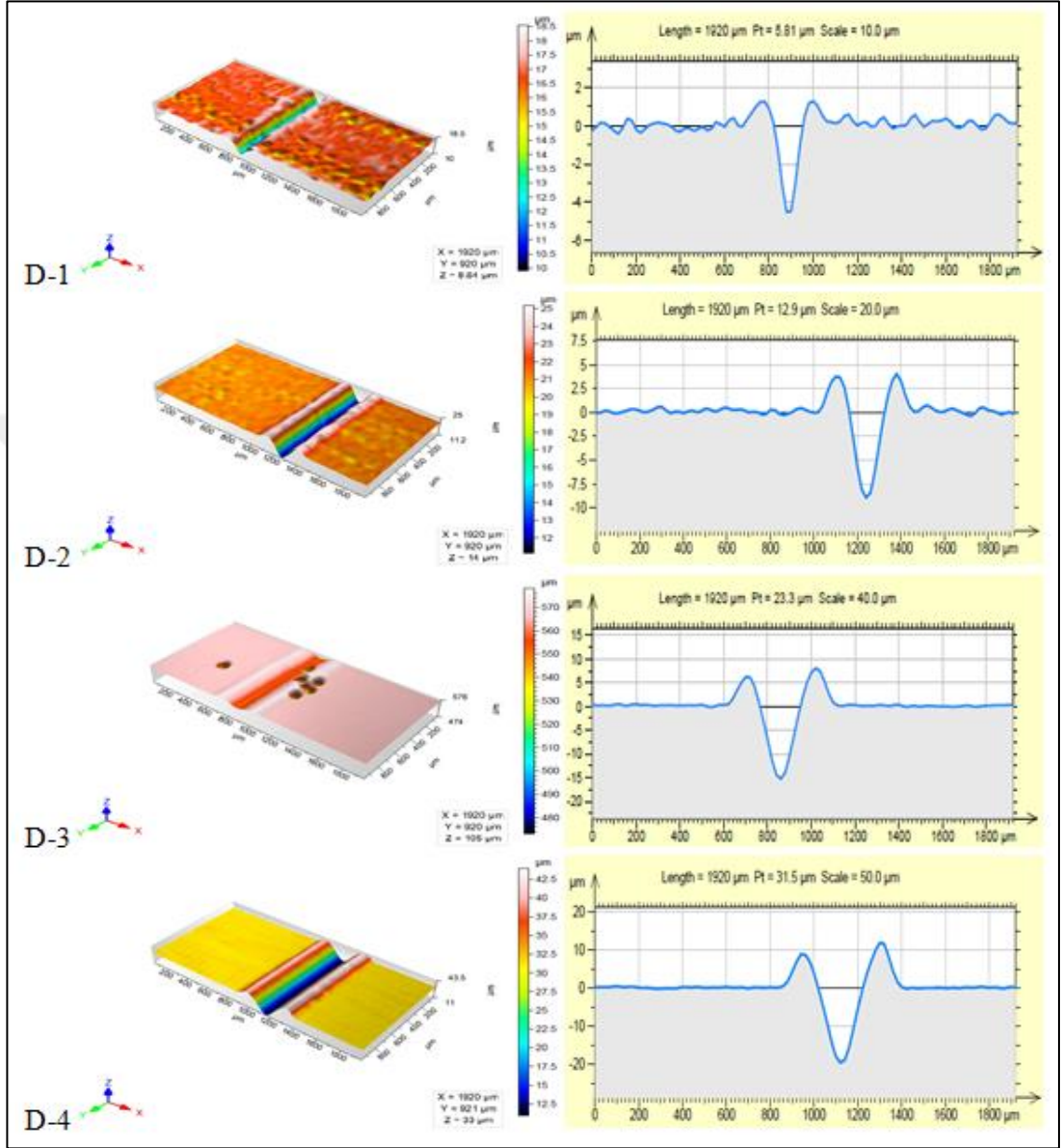


Şekil 7.9. C numunesinin 5mm/s hızda, 46,501N ve 23,153N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlikleri, çizik dalga genişlikleri ve çizik derinliğinin değişim grafiği

Şekil 7. 9'da C numunesinin 5mm/s hızda, 46,501N yükte çizimin dalga genişliğinin (L_w) 800 µm'den 1280 µm'ye artış gösterdiği ve 23,153N yükte çizimin dalga genişliğinin (L_w) 400 µm'den 700 µm'ye artış gösterdiği görülmüştür. 46,501N yükte malzemenin plastik deformasyona uğramış çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkı (dh_p-h_p) 6,51 µm'den 53,6 µm'ye artış gösterdiği ve 23,153N yükte malzemenin plastik deformasyona uğramış çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkı (dh_p-h_p) 2,26 µm'den 18,1 µm'ye artış gösterdiği görülmüştür. Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde meydana gelen deformasyon şekilleri incelendiğinde; 46,501N yük ile çizilen numunenin çizik derinlik izleri ve çizik dalga genişliğinin (L_w) 23,153N yük ile çizilen numuneye göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum numune yüzeyinde tekrar sayısının artmasının çizik oluk derinliğinin ve çizik dalga genişliğinin (L_w) artmasının sebebi olarak göstermekte aynı zamanda numune yüzeyine uygulanan yük (N) değerlerinin de çizik derinlik izleri ve çizik dalga genişliğinde etkili olduğunu göstermiştir.

C numune parçası incelendiğinde numuneyi çizmek için kullanılan çizik hızı arttığında, 1mm/s hız ile çizilen B numunesi ile kıyaslandığında; daha küçük genişlikte çizik dalga genişliklerine sahip olduğu ve çizik oluk derinliğinin daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum çizik test hızının 5mm/s hızda çizilmesinde 1

mm/s hız ile çizilen B numunesinin şartları aynı olsa bile hız sayısının artması, çizik dalga genişliğinin ve çizik oluk derinliğini etkilediği görülmüştür.



Şekil 7.10. D numunesinin 5mm/s hızda, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (D-1) 1 tekrar, (D-2) 2 tekrar, (D-3) 6 tekrar, (D-4) 12 tekrar

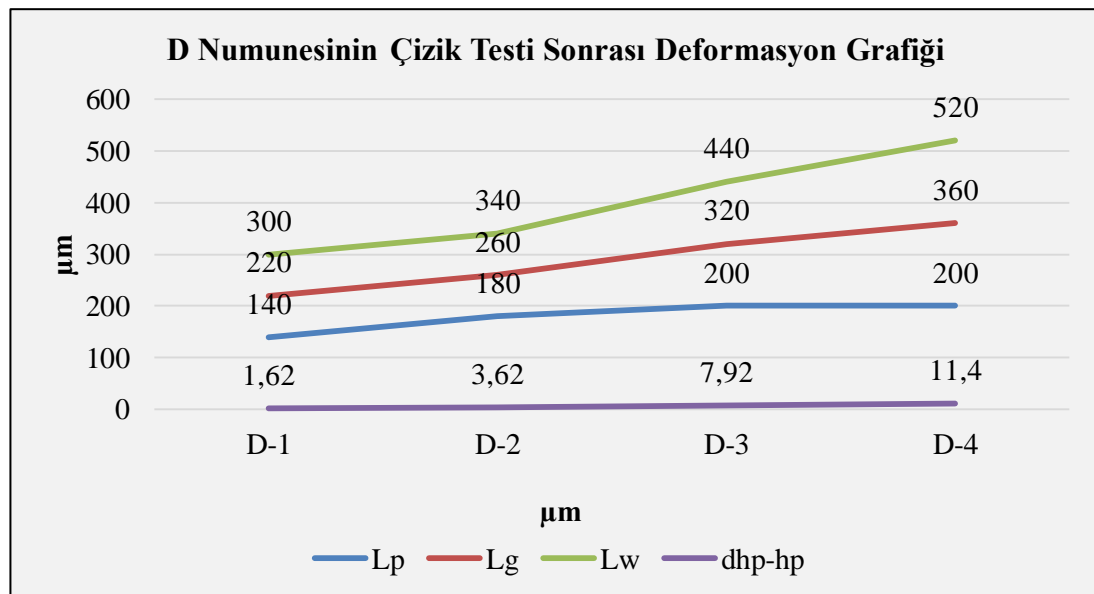
Şekil 7.10 incelendiğinde Polimetil Metakrilat D numune parçasının 12,857Nyük, 5mm/s hızda Vickers batıcı uç ile 1, 2, 6 ve 12 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu D numune parçası için incelendiğinde C numune parçasının aynı yük farklı hız ile çizilen numune parçasından daha düşük değerde çizik oluk genişliği, çizik dalga genişliği ve çizik kesit derinliği olduğu görülmüştür. Bu durum D

numunesinin yük şartlarının azalması ve çizik tekrar sayısının artması ile çizik kesit derinliği, çizik oluk genişliğini ve çizik dalga genişliğini daha az değerde etkilediği görülmüştür.

Tablo 7.4. Çizik testi sonrasında D numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri

	L_p	L_g	L_w	d_{hp}	h_p	$d_{hp}-h_p$
D-1	140	220	300	6,17	4,55	1,62
D-2	180	260	340	12,88	9,26	3,62
D-3	200	320	440	23,32	15,4	7,92
D-4	200	360	520	31,4	19,7	11,4

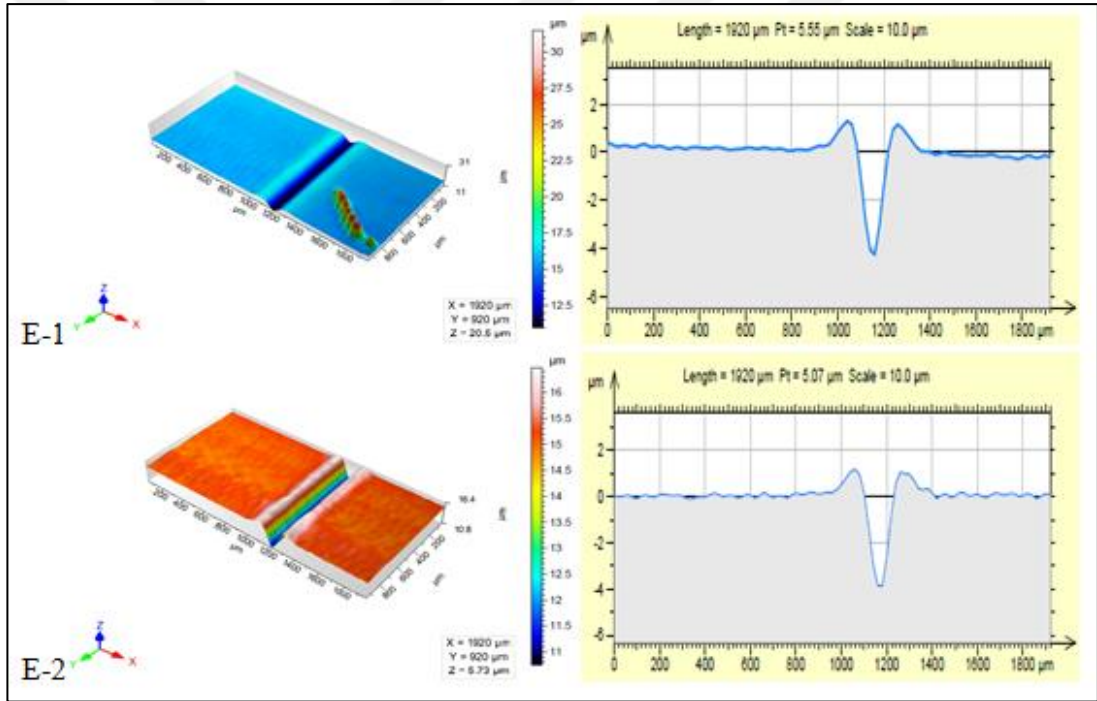
Deneysel çalışmalarda kullanılan D numunesinin çizik oluk genişlikleri ve çizik derinlikleri ölçümleri yapılmıştır. D-1 numunesinin çizik oluk genişliği 220 μm , çizik dalga genişliği 300 μm ve çizik kesitin derinliği 4,55 μm , D-2 numunesinin çizik oluk genişliği 260 μm , çizik dalga genişliği 340 μm ve çizik kesitin derinliği 9,26 μm , D-3 numunesinin çizik oluk genişliği 320 μm , çizik dalga genişliği 440 μm ve çizik kesitin derinliği 15,4 μm , D-4 numunesinin çizik oluk genişliği 360 μm çizik dalga genişliği 520 μm ve çizik kesitin derinliği 19,7 μm olduğu görülmüştür. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.4’de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak D numunesinin Şekil 7.11’de verilerin deformasyon grafiği çizilmiştir.



Şekil 7.11. D numunesinin 5mm/s hızda, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği

Şekil 7. 11’de D numunesinin 5mm/s hızda, 12,857N yükte çizimin dalga genişliğinin (L_w) 300 μm ’den 520 μm ’ye artış gösterdiği ve malzemenin plastik deformasyona uğramış çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkı (dh_p-h_p) 1,62 μm ’den 11,4 μm ’ye artış gösterdiği görülmüştür.

D numune parçası incelendiğinde numuneyi çizmek için kullanılan çizik yükü 12,857Newton yüke azaltılmış olması durumu B numunesinde uygulanan 23,153N yük ile kıyaslandığında çizimin dalga genişliğinin (L_w) ve çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkının daha az olduğu hesaplanmıştır. Numune üzerine uygulanan çizik test yükünün azaltılması çizimin dalga genişliğinin (L_w) ve çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkının daha az olmasına sebep vermiştir.



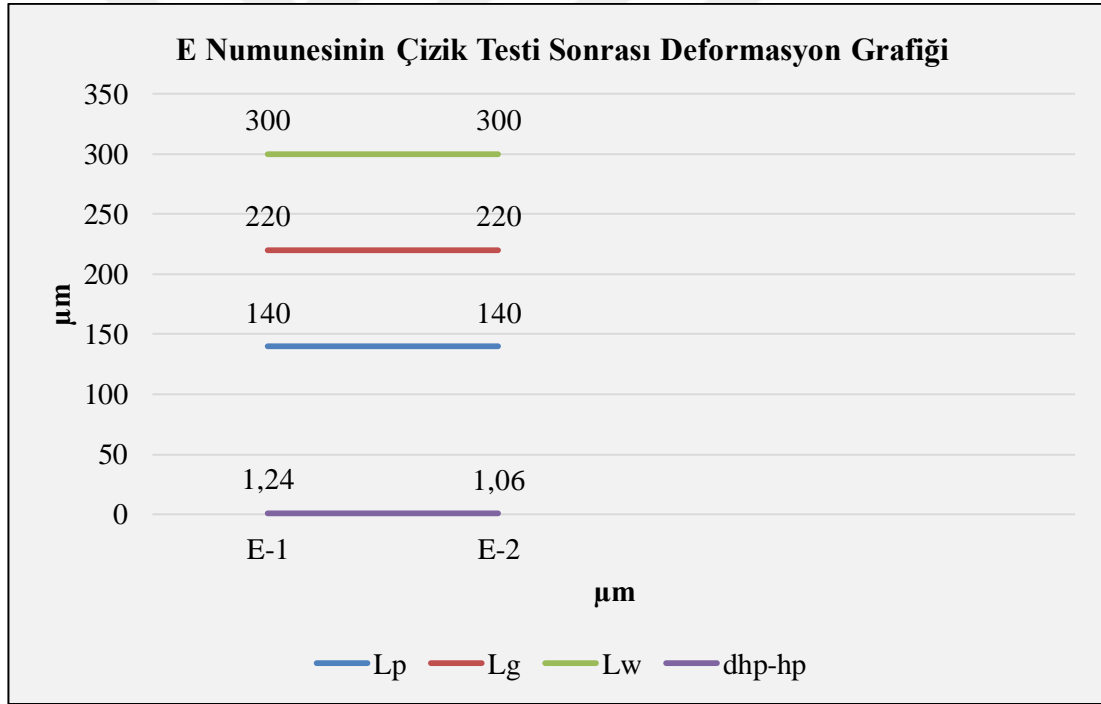
Şekil 7.12. E numunesinin 1 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (E-1) 1mm/s, (E-2) 2mm/s

Şekil 7.12 incelendiğinde PMMA E numune parçasının 12,857Nyük, 1 ve 2mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu incelendiğinde çizik kesitinin derinliği 4,23 μm den 3,96 μm ye düştüğü görülmüştür. Bu durum E numunesinin yük şartları ve tekrar sayısı aynı olsa bile hız sayısının artması, çizik kesit derinliğinin azaldığını, çizik oluk genişliğinin ve çizik dalga genişliğinin ise aynı olduğu görülmüştür.

Tablo 7.5. Çizik testi sonrasında E numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri

	L_p	L_g	L_w	d_{hp}	h_p	$d_{hp}-h_p$
E-1	140	220	300	5,47	4,23	1,24
E-2	140	220	300	5,02	3,96	1,06

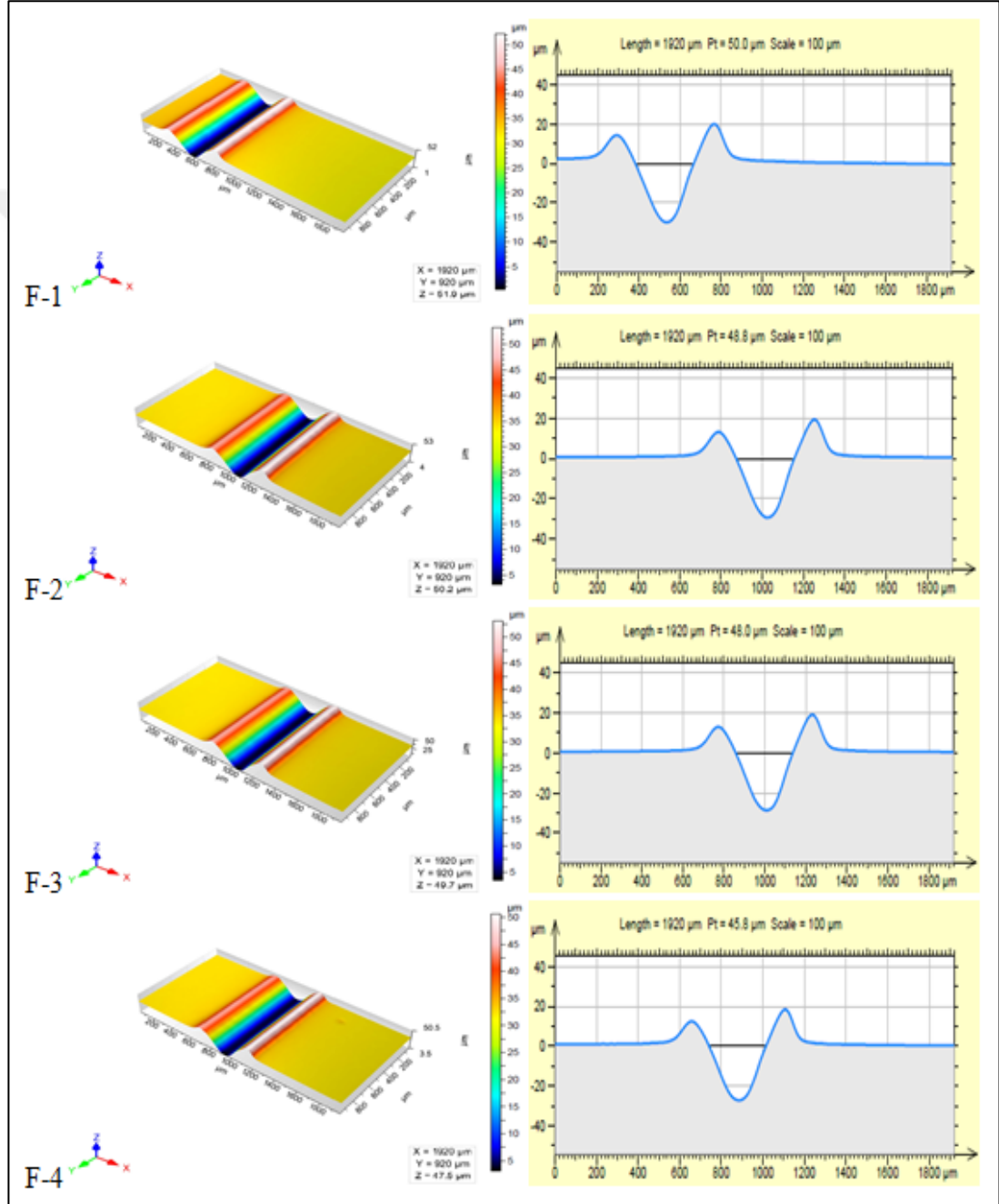
Deneysel çalışmalarda kullanılan E numunesinin çizik oluk genişlikleri ve çizik derinlikleri ölçümleri yapılmıştır. 12,857Nyük, 1 ve 2mm/s hızda E-1 numunesinin çizik oluk genişliği 220 μm , çizik dalga genişliği 300 μm ve çizik kesitinin derinliği 4,23 μm , E-2 numunesinin çizik oluk genişliği 220 μm , çizik dalga genişliği 300 μm ve çizik kesitinin derinliği 3,96 μm olduğu görülmüştür. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.5’de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak E numunesinin Şekil 7.13’de verilerin deformasyon grafiği çizilmiştir.



Şekil 7.13. E numunesinin 1 ve 2mm/s hızda, 12,857N yük, 1 tekrar sayısı, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği

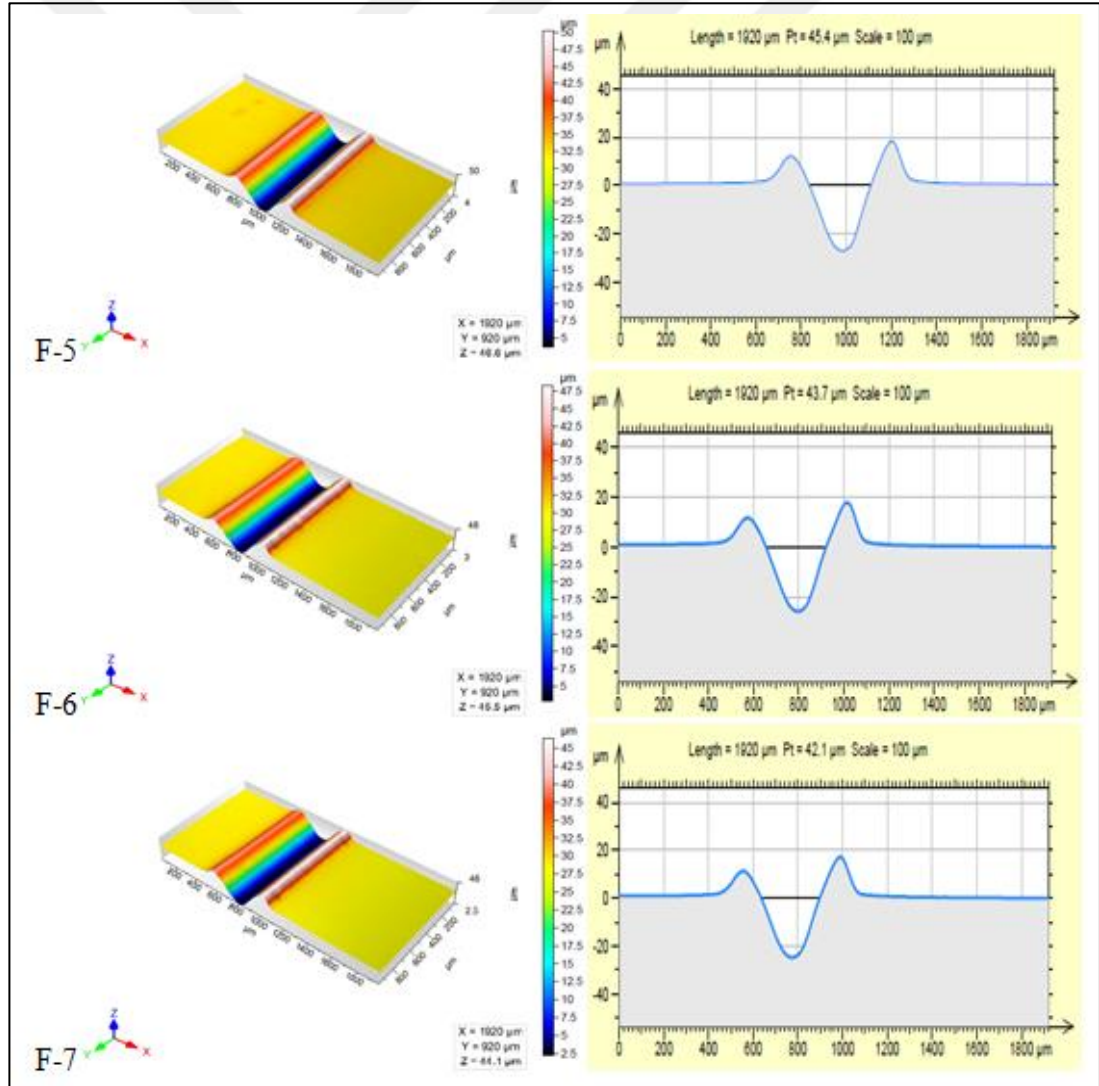
Şekil 7.13’de E numunesinin 1 ve 2 mm/s hızda, 12,857N yükte çiziliğin dalga genişliğinin (L_w) 300 μm gösterdiği ve malzemenin plastik deformasyona uğramış çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkı ($d_{hp}-h_p$) 1,24 μm ’den 1,06 μm ’ye azalış gösterdiği görülmüştür.

E numune parçası incelendiğinde numuneyi çizmek için kullanılan çizik yükü 12,857Newton yük ile çizik test hızının 1mm/s den 2mm/s artış olması çizimin dalga genişliğinin (L_w) değişmediği ve çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkının az olduğu hesaplanmıştır. Numune üzerine uygulanan çizik test hızının iki kat artması çizimin dalga genişliğinin (L_w) değişmemesine ve çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkının daha az olmasına sebep olmuştur.



Şekil 7.14. F numunesinin1 tekrar sayısında, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (F-1) 1mm/s, (F-2) 2mm/s, (F-3) 3mm/s, (F-4) 4mm/s

Şekil 7.14 incelendiğinde Polimetil Metakrilat F numune parçasının 46,501Nyük, 1-2-3-4mm/s hızda Rockwell batıcı uc ile 1 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu incelendiğinde; numunesinin yük şartları ve tekrar sayısı aynı olsa bile numune üzerinde uygulanan çizik hız sayısının artması, çizik kesit derinliğinin azaldığını ve çizik oluk genişliğinin ve çizik dalga genişliğinin az sayıda etkilendiği görülmüştür. F-1 numunesinin çizik oluk genişliği 480µm ve çizik kesitinin derinliği 30,2µm, F-2 numunesinin çizik oluk genişliği 480µm ve çizik kesitinin derinliği 30,2µm, F-3 numunesinin çizik oluk genişliği 440µm ve çizik kesitinin derinliği 29,6µm, F-4 numunesinin çizik oluk genişliği 460µm ve çizik kesitinin derinliği 28,2µm olduğu görülmüştür.



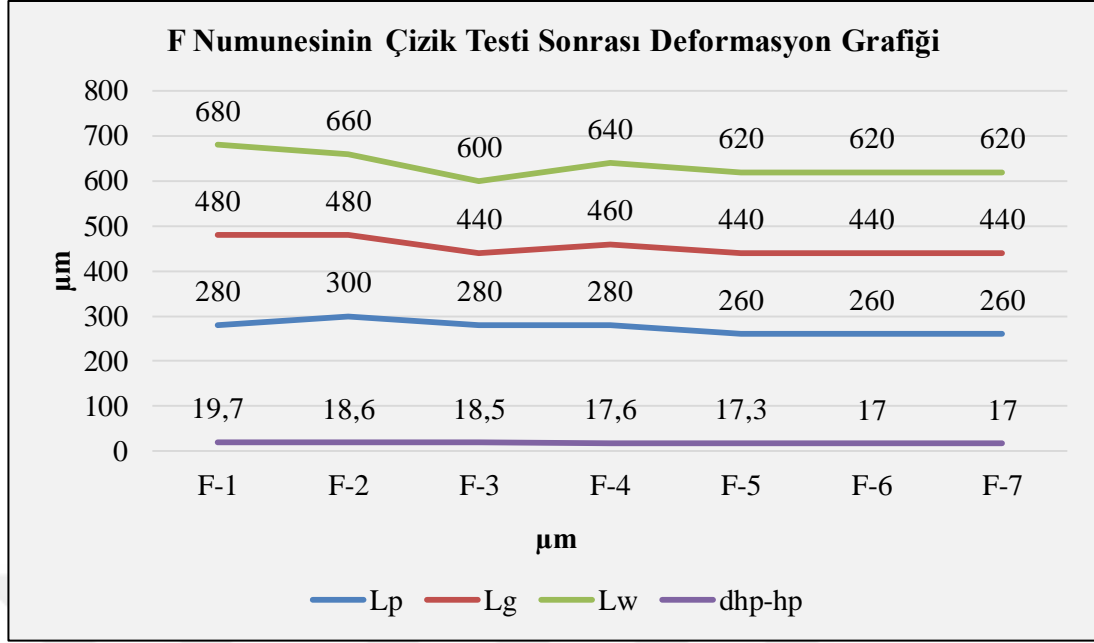
Şekil 7.15. F numunesinin 1 tekrar sayısında, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (F-5) 5mm/s, (F-6) 7,5mm/s, (F-7) 10mm/s

Şekil 7.15 incelendiğinde Polimetil Metakrilat F numune parçasının 46,501Nyük, 5-7,5-10mm/s hızda Rockwell batıcı uc ile 1 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu incelendiğinde çizilen F numunesi çizik oluk genişliği 440µm ile 480µm aralığında olduğu görülmüştür. Çizik kesitinin derinliği 30,2µm den 25,4µm ye düştüğü görülmüştür. Çizik dalga genişliğinin 680 µm den 620 µm ye düştüğü görülmüştür. Bu durum F numunesinin yük şartları ve tekrar sayısı aynı olsa bile numune üzerinde uygulanan çizik hız sayısının artması, çizik kesit derinliğinin azaldığını ve çizik oluk genişliğinin ve çizik dalga genişliğinin az sayıda etkilendiği görülmüştür.

Tablo 7.6. Çizik testi sonrasında F numunesinin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri

	<i>L_p</i>	<i>L_g</i>	<i>L_w</i>	<i>d_{hp}</i>	<i>h_p</i>	<i>d_{hp}-h_p</i>
F-1	280	480	680	49,9	30,2	19,7
F-2	300	480	660	48,8	30,2	18,6
F-3	280	440	600	48,1	29,6	18,5
F-4	280	460	640	45,8	28,2	17,6
F-5	260	440	620	45,2	27,9	17,3
F-6	260	440	620	43,6	26,6	17,0
F-7	260	440	620	42,4	25,4	17,0

Deneysel çalışmalarda kullanılan F numunesinin çizik oluk genişlikleri ve çizik derinlikleri ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.6’da görüldüğü gibidir. 46,501Nyük, 1-2-3-4mm/s hızda Rockwell batıcı uc ile 1 tekrar sonrasında F-1 numunesinin çizik oluk genişliği 480 µm, çizik dalga genişliği 680 µm ve çizik kesitinin derinliği 30,2µm, F-2 numunesinin çizik oluk genişliği 480 µm, çizik dalga genişliği 660 µm ve çizik kesitinin derinliği 30,2 µm, F-3 numunesinin çizik oluk genişliği 440 µm çizik dalga genişliği 600 µm, ve çizik kesitinin derinliği 29,6µm, F-4 numunesinin çizik oluk genişliği 460 µm çizik dalga genişliği 640 µm, ve çizik kesitinin derinliği 28,2µm olduğu görülmüştür. 5-7,5-10mm/s hızda deformasyonu incelendiğinde F-5 numunesinin çizik oluk genişliği 440 µm, çizik dalga genişliği 620 µm ve çizik kesitinin derinliği 27,9 µm, F-6 numunesinin çizik oluk genişliği 440 µm, çizik dalga genişliği 620 µm ve çizik kesitinin derinliği 26,6 µm, F-7 numunesinin çizik oluk genişliği 440 µm, çizik dalga genişliği 620 µm ve çizik kesitinin derinliği 25,4 µm olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan yararlanarak F numunesinin Şekil 7.16’da verilerin çizik oluk genişliği, çizik dalga genişliği ve çizik kesitinin derinliğinin deformasyon grafiği çizilmiştir.

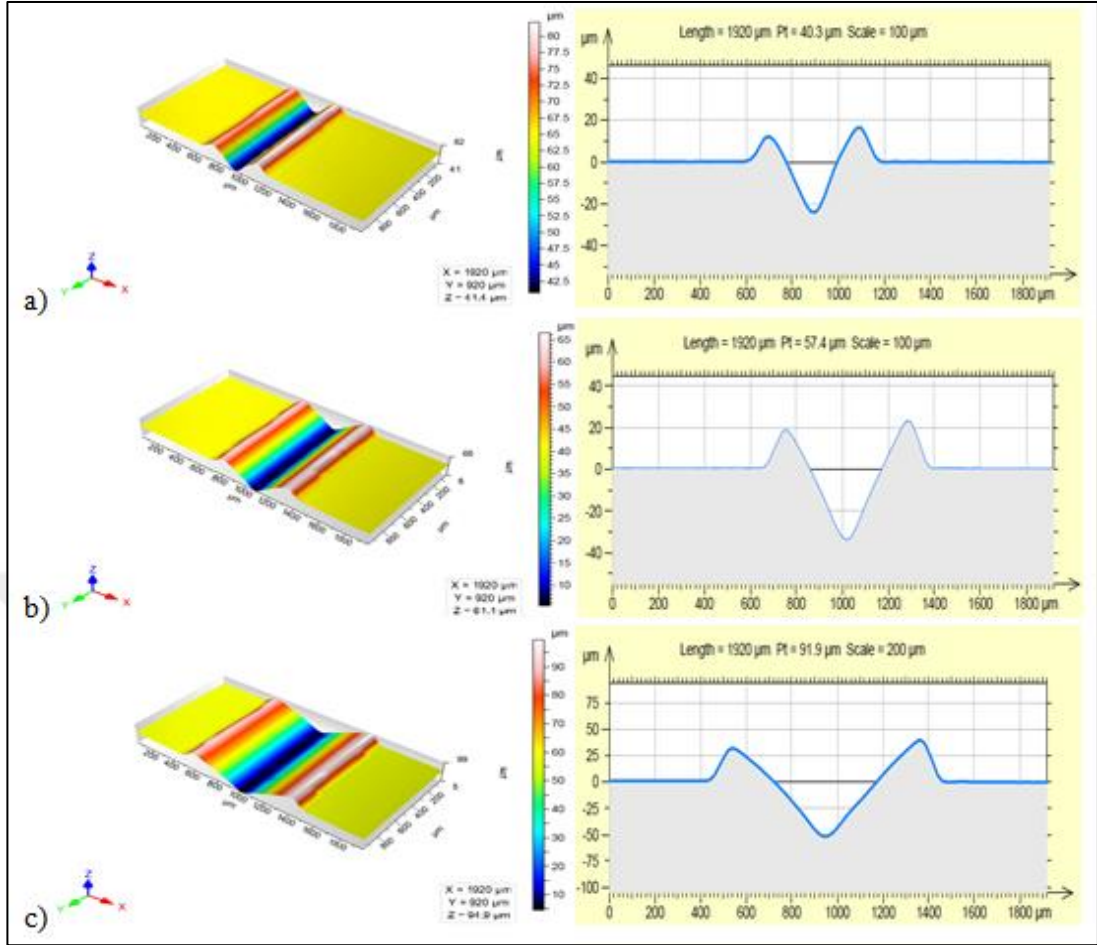


Şekil 7.16. F numunesinin 1 tekrar sayısında, 1-2-3-4-5-7,5 ve 10mm/s hızlarda, 45,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlikleri, çizik dalga genişlikleri ve çizik derinliğinin değişim grafiği

Şekil 7. 16'da F numunesinin 1-2-3-4-5-7,5 ve 10 mm/s hızda, 46,501N yükte çizimin dalga genişliğinin (L_w) 680 μm 'den 620 μm 'ye azalış gösterdiği ve malzemenin plastik deformasyona uğramış çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkı (dh_p-h_p) 19,7 μm 'den 17,0 μm 'ye azaldığı görülmüştür.

F numune parçası incelendiğinde numuneyi çizmek için kullanılan çizik test hızının 1mm/s den 10mm/s artışı ile çizimin dalga genişliğinin (L_w) azda olsa azaldığı ve çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkının az olduğu hesaplanmıştır. Numune üzerine uygulanan çizik test hızının kat kat artması çizimin dalga genişliğinin (L_w) çok az azalma göstermesine ve çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkının daha az olmasına sebep olmuştur.

Şekil 7.17 incelendiğinde üç ayrı Polimetil Metakrilat numune parçasının 46,501N yük, 23,153N yük ve 12,857N yük, 1mm/s hızda Rockwell batıcı uç ile 12 tekrar sonrasında numune parçasındaki yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri 3D boyutlu plastik deformasyonu incelendiğinde aynı numunelere uygulanan çizik test işleminde çizik tekrar sayıları aynı olmasına ve çizik hızları aynı olan numunelere, çizik yükü arttırıldığında çizik oluk genişliği, çizik dalga genişliği ve çizik kesitinin derinliğinin arttığı görülmüştür.

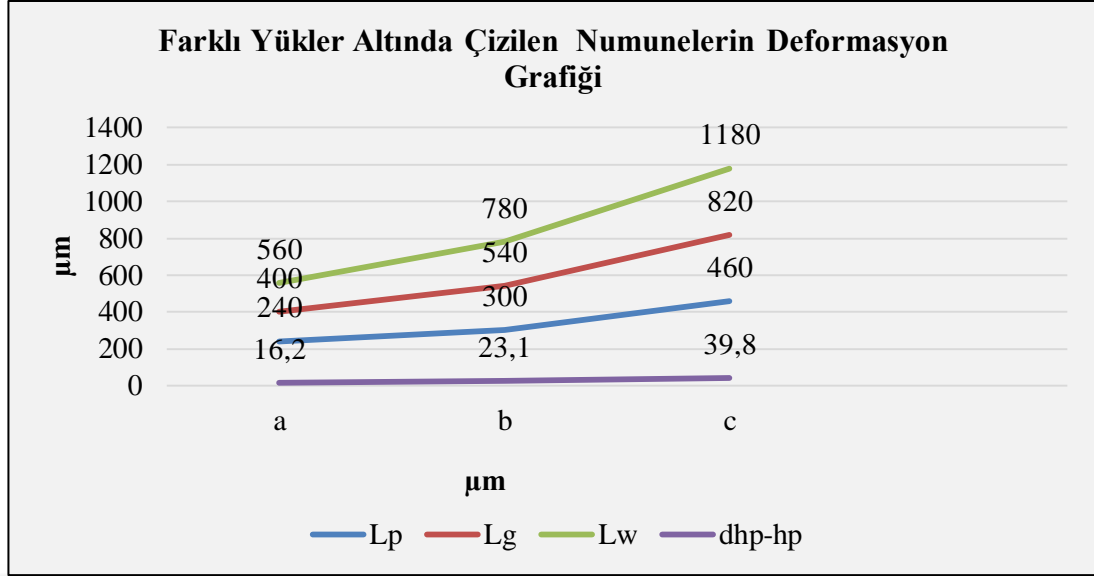


Şekil 7.17. PMMA numunesinin 12 tekrar sayısında 12,857-23,153 ve 46,501N yük, 1mm/s hızda, Vickers batıcı uç ile çizilmiş 3D profilometre görüntüleri; (a) 12,857N, (b) 23,153N, (c) 46,501N

Tablo 7.7. Farklı yükler altında çizik testi sonrasında numunelerin çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliklerinin sayısal değerleri

	L_p	L_g	L_w	d_{hp}	h_p	$d_{hp}-h_p$
a	240	400	560	40,2	24,0	16,2
b	300	540	780	57,3	34,2	23,1
c	460	820	1180	92,8	53,0	39,8

Farklı yükler altında uygulanan çizik testi Polimetil Metakrilat numunesi için incelendiğinde; 12,857N yük ile çizilen a) numunesinin çizik oluk genişliği 400μm, çizik dalga genişliği 560 μm ve çizik kesitinin derinliği 24,0μm, 23,153N yük ile çizilen b) numunesinin çizik oluk genişliği 540μm, çizik dalga genişliği 780 μm ve çizik kesitinin derinliği 34,2μm, 46,501N yük ile çizilen c) numunesinin çizik oluk genişliği 820μm, çizik dalga genişliği 1180 μm ve çizik kesitinin derinliği 53,0μm olduğu görülmüştür.



Şekil 7.18. Farklı yükler altında çizik testi uygulanan PMMA numunesinin 12 tekrar sayısında çizilmiş çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliklerinin ve çizik derinliğinin değişim grafiği

Şekil 7.18 incelendiğinde; farklı yük kuvvetleri altında çizilen Polimetil Metakrilat numunesinin 1mm/s hızda, çizik dalgasının genişliğinin (L_w) 560 μm 'den 1180 μm 'ye artış gösterdiği ve malzemenin plastik deformasyona uğramış çizikten kalan yığıntının derinliğinin farkı (dh_p-h_p) 16,2 μm 'den 39,8 μm 'ye arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak tez çalışmasında Polimetil Metakrilat numune parçasına yapılan çizik testinde 3D profilometre görüntüleri incelendiğinde bulunan çizik oluk genişliklerinin, çizik dalga genişliğinin ve çizik kesitinin derinliği; çizik tekrar sayısının artması ve çizik yük ağırlığının artması ile çizik oluk yığıntılarının arttığını, çizik dalga genişliğinin ve çizik kesitinin derinliğinin de arttığı görülmektedir. 3D Profilometre çizik test görüntüleri incelendiğinde, çizik hızının artması ile çizik kesitinin derinliğinin azaldığı, çizik dalga genişliğinin ve çizik oluk genişliğinin de azaldığı görülmüştür. Bu durum Polimetil Metakrilat numunesinin yük ağırlık şartları ve tekrar sayısı aynı olsa bile numune üzerinde uygulanan çizik hız sayısının artması, çizik kesit derinliğinin azaldığını, çizik oluk genişliğinin ve çizik dalga genişliğinin az sayıda etkilendiği görülmüştür.

Literatür çalışmasında bulunan H. Jiang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada belirlenen polimer malzemelerin çizik (scratch) testinden sonra malzemelerin gösterdiği hasarları incelemiştir. Çizik yükünde daha fazla artış olması,

malzemenin yüzeyinden daha fazla malzeme kaldırma işlemi gerçekleşir. Tez çalışmasında yapılan çizik testi sonrasında bulunan değerler H. Jiang ve arkadaşlarının yaptığı çalışma arasında benzerlik bulunduğu görülmüştür.

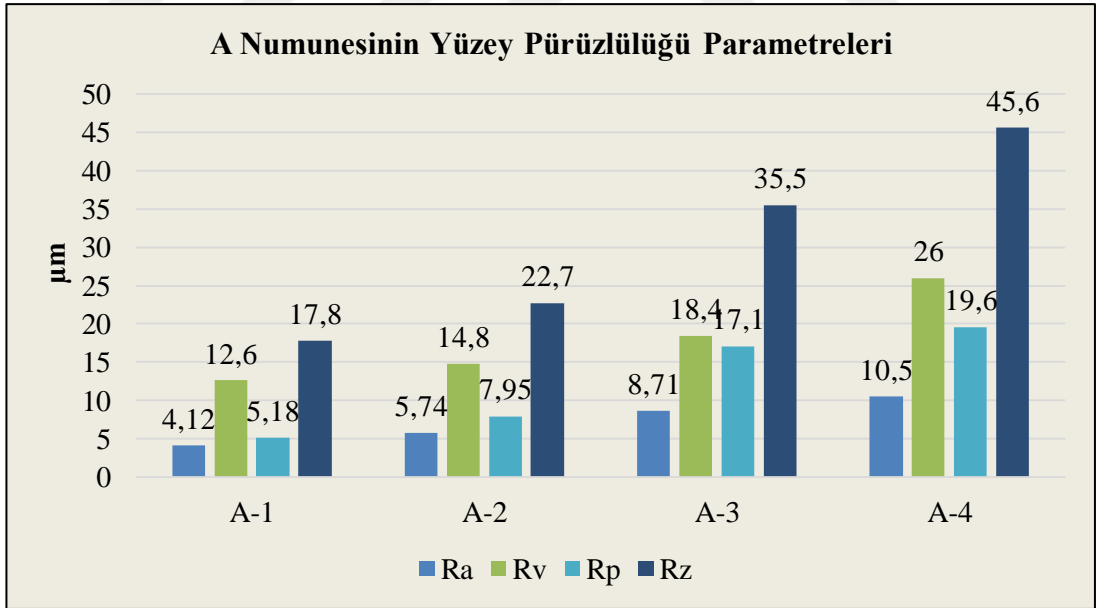
Literatür çalışmasında bulunan Q. Cheng ve arkadaşları tarafından termal yaşlanmanın Polimetil Metakrilat malzemesinin çizilme davranışına etkisini tasarladıkları çizik (scratch) test cihazında incelemiştirler. Bu çalışmanın sonucu olarak, yükün kademeli olarak çoğaltılmasıyla Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde periyodik çatlaklar oluştuğu gözlenmiş ve malzeme yüzeyinden ayrılmalar meydana geldiği açıklanmıştır. Tez çalışmasında yapılan çizik testi sonrasında bulunan değerler Q. Cheng ve arkadaşlarının yaptığı çalışma gibi yükün kademeli olarak çoğaltılmasıyla Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde periyodik çatlaklar oluştuğu ve çizik derinliğinin arttığı gözlenmiş tez çalışmasında Polimetil Metakrilat numune parçasına yapılan çizik test arasında benzerlik bulunduğu görülmüştür.

Ayrıca H. Jiang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada belirlenen polimer malzemelerin çizik (scratch) testinden sonra malzemelerin gösterdiği hasarları 1-100Newton yük aralığında incelemiştirler. Çalışmada kullanılan çizik yükünde daha fazla artış olması malzemesinin yüzeyini periyodik bir içbükey şekilde plastik deformasyona uğradığı ve malzemenin yüzeyinden kaldırma işlemi gerçekleşir. Bu tez çalışmasında Polimetil Metakrilat numune parçasına yapılan çizik testi arasında benzerlik bulunduğu görülmüştür.

Sonuç olarak tez çalışmasında Polimetil Metakrilat numune parçasına yapılan çizik testinde 3D profilometre görüntüleri incelendiğinde bulunan çizik oluk genişliklerinin (L_g) ve çizik kesitinin derinliği (h_b); çizik tekrar sayısının artması ve çizik yük ağırlığının artması ile çizik oluk yığıntılarının arttığını ve çizik kesitinin derinliğinin de arttığı görülmektedir. 3D Profilometre çizik test görüntüleri incelendiğinde, çizik hızının artması ile çizik kesitinin derinliğinin azaldığı ve çizik oluk genişliğinin de azaldığı görülmüştür. Bu durum Polimetil Metakrilat numunesinin yük ağırlık şartları ve tekrar sayısı aynı olsa bile numune üzerinde uygulanan çizik hız sayısının artması, çizik kesit derinliğinin azaldığını, çizik oluk genişliğinin ve çizik dalga genişliğinin çok az değerde azaldığı görülmüştür.

7.2. Polimetil Metakrilat Malzemesinin Yüze ve Alan Pürüzlülük Parametrelerinin Grafikleri

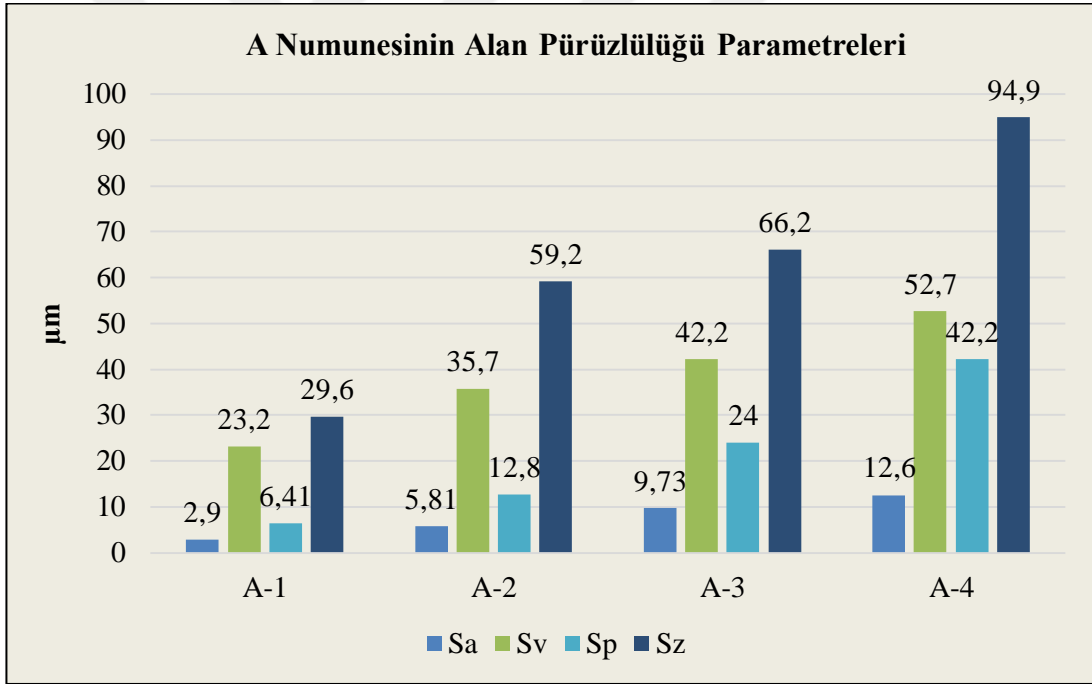
Bu bölümde Polimetil Metakrilat numunelerle gerçekleştirilen çizik testleri sonrası lazer profilometre ile elde edilen Yüze Pürüzlülük Parametreleri ile Alan Pürüzlülük Parametrelerinin karşılaştırılması verilmiştir. Nanovea PS50 Marka 3D optik profilometre yardımı ile çizilmiş numune yüzeylelerinin ortalama pürüzlülük değerleri (Ra), numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Rv), numunede bulunana maksimum tepe yüksekliği (Rp) ve en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Rz) değerlerine uygun olarak grafik çizimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca belirlenen PMMA numune parçasının tüm yüze özellikleri için ortalama pürüzlülük değeri (Sa), numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Sv), numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Sp) ve numune parçasındaki en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Sz) değerlerine uygun olarak grafik çizimi gerçekleştirilmiş ve hedef malzeme yüzeyinde ortaya çıkan hasarlara etkisi irdelenmeye çalışılmıştır.



Şekil 7.19. A numunesinin 1mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüze Pürüzlülüğü Parametre verilerinin değişim grafiği

Polimetil Metakrilat numunesinde gerçekleştirilen çizik testleri sonrası belirlenen numune bölgesinin merkezinden yapılan profil çizgisi pürüzlülük ölçümlerinde ortaya çıkan hasar değerleri A numunesi için Şekil 7.19'da verilmiştir. Şekil 7.19

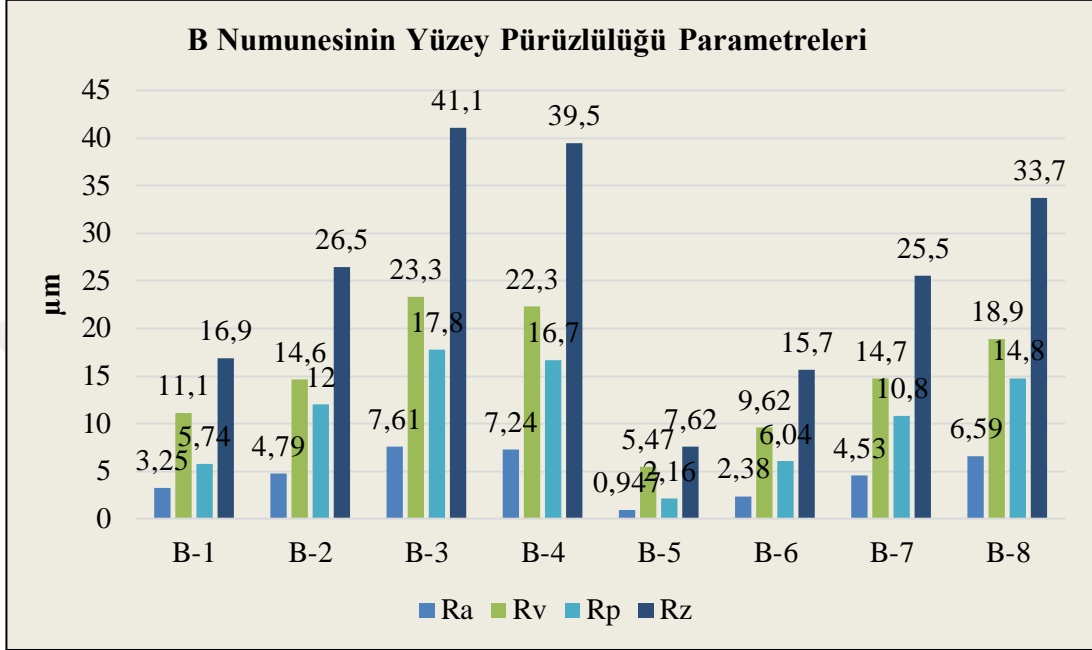
incelendiğinde; 46,501Newton yük altında, 1mm/s çizik hızında ve 1, 2, 6 ve 12 tekrar ile çizilen A numune parçasının çizik tekrar sayısı artması ile yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin tekrar sayısı oranında arttığı görülmüştür. Çizik testinden sonra A numunesinin ortalama pürüzlülük değeri (Ra) 4,12'den 10,5'e artış gösterdiği, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Rv) 12,6'dan 26'ya artış gösterdiği, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Rp) 5,18'den 19,6'ye artış gösterdiği ve en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Rz) 17,8'den 45,6'ya çıktığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 2 katı arttığı görülmektedir. Numune yüzeyinde meydana gelen bu pürüzlülük artışı PMMA malzemesine uygulanan çizik tekrar sayısı işleminin karakteristik bir özelliği olup literatürdeki çalışmalar ile paralellik göstermektedir.



Şekil 7.20. A numunesinin 1mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

Şekil 7. 20'de 46,501Newton yük altında, 1mm/s çizik hızında ve 1, 2, 6 ve 12 tekrar ile çizilen A numune parçasının çizik tekrar sayısı artması belirlenen PMMA numune parçasının tüm yüzey özellikleri için ortalama pürüzlülük değeri (Sa) 2,9'dan 12,6'ya, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Sv) 23,2'den 52,7'ye, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Sp) 6,41'den 42,2'ye ve numune

parçasındaki en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Sz) 29,9'dan 94,9'a değerlerine çıktığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin alan pürüzlülük parametre değerlerinin 3 kat arttığı görülmektedir.

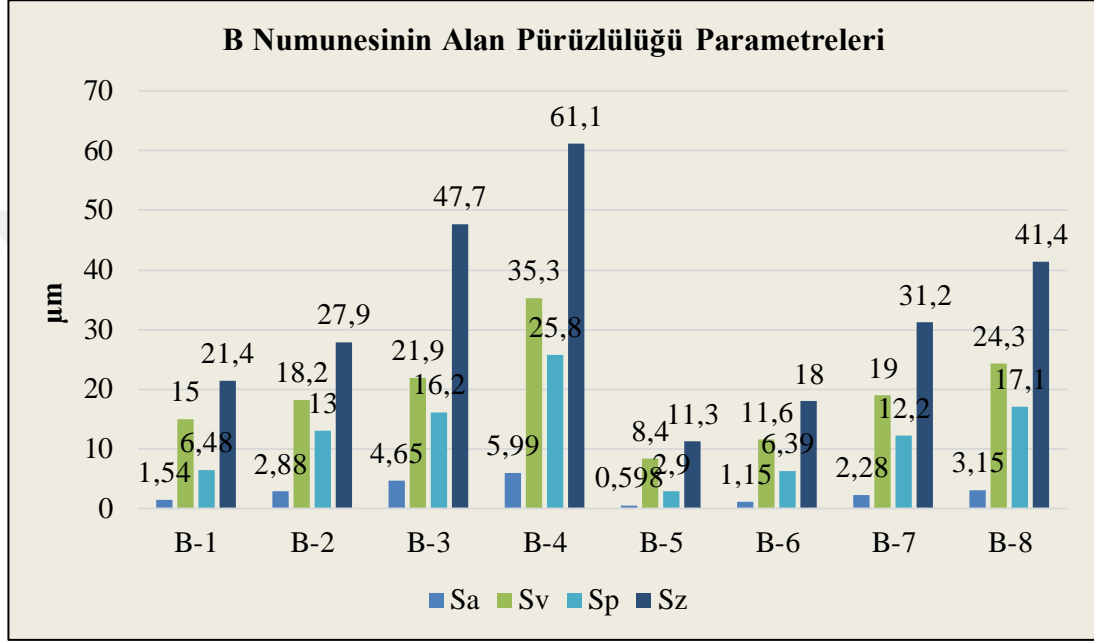


Şekil 7.21. B numunesinin 1mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 23,153N ve 12,857N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

Polimetil Metakrilat B numune bölgesinin merkezinden yapılan profil çizgisi pürüzlülük ölçümlerinde ortaya çıkan hasar değerleri B numunesi için Şekil 7.21'de verilmiştir.

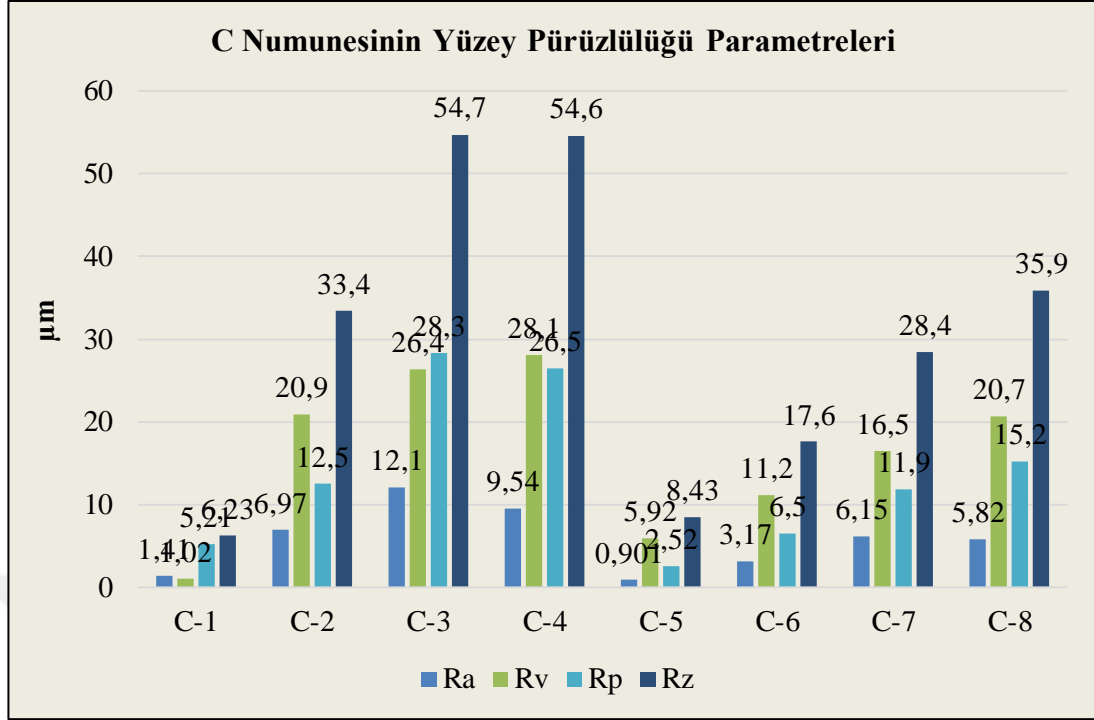
Şekil 7.21'de 23,153Newton ve 12,857Newton yük altında, 1mm/s çizik hızında ve 1, 2, 6 ve 12 tekrar ile çizilen PMMA B numune parçasının çizik tekrar sayısı artması ile 23,153Newton ile çizilen numune parçasının ortalama pürüzlülük değeri (Ra) 3,25'den 7,24'e artış gösterdiği, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Rv) 11,1'den 22,3'e artış gösterdiği, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Rp) 5,74'den 16,7'ye artış gösterdiği ve en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Rz) 16,9'den 39'a çıktığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 2 katı arttığı görülmektedir. PMMA B numune parçasının 12,857 Newton ile çizilen numune parçasının ortalama pürüzlülük değeri (Ra) 0,94'den

6,59'a artış gösterdiği, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Rv) 5,47'den 18,9'a artış gösterdiği, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Rp) 2,16'dan 14,8'e artış gösterdiği ve en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Rz) 7,62'den 33,7'e çıktığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 3 katı arttığı görülmektedir.



Şekil 7.22. B numunesinin 1mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 23,153N ve 12,857N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

Şekil 7. 22'de 1mm/s çizik hızında ve 1, 2, 6 ve 12 tekrar ile çizilen PMMA numune parçasının 23,153Newton yük altında tüm yüzey özellikleri için ortalama pürüzlülük değeri (Sa) 1,54'den 5,99'ya, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Sv) 15,0'dan 35,3'e, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Sp) 6,54'den 25,3'e ve numune parçasındaki en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Sz) 21,4'den 61,1'a değerlerine çıktığı görülmüştür. 12,857Newton yük altında ortalama pürüzlülük değeri (Sa) 0,59'dan 3,15'e, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Sv) 8,40'dan 24,3'e, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Sp) 2,9'dan 17,1'e ve numune parçasındaki en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Sz) 11,3'den 41,4 değerlerine çıktığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin alan pürüzlülük parametre değerlerinin 3 kat arttığı görülmektedir.

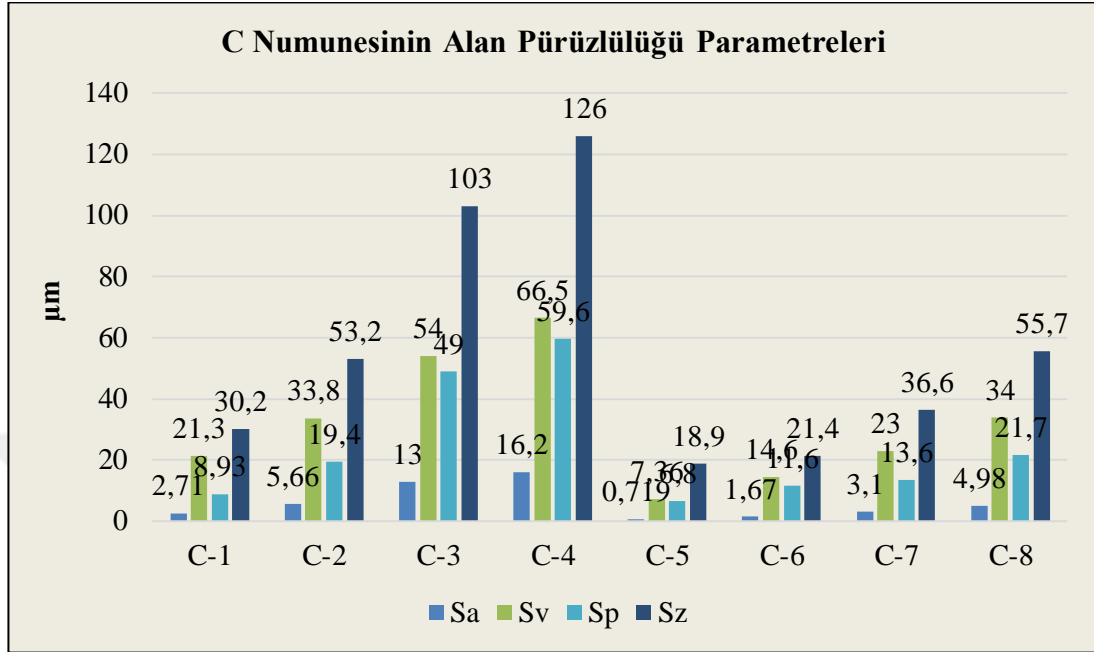


Şekil 7.23. C numunesinin 5mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 46,501N ve 23,153N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

Polimetil Metakrilat C numune bölgesinin merkezinden yapılan profil çizgisi pürüzlülük ölçümlerinde ortaya çıkan hasar değerleri C numunesi için Şekil 7.23'de verilmiştir.

Şekil 7.23'de 46,501Newton ve 23,153Newton yük altında, 5mm/s çizik hızında ve 1, 2, 6 ve 12 tekrar ile çizilen PMMA C numune parçasının çizik tekrar sayısı artması ile 46,501Newton ile çizilen numune parçasının ortalama pürüzlülük değeri (Ra) 1,77'den 9,54'e artış gösterdiği, maksimum çukur derinliği (Rv) 1,02'den 28,1'e artış gösterdiği, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Rp) 5,21'den 26,5'e artış gösterdiği ve en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Rz) 8,22'den 54,6'ya çıktığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 5 katı arttığı görülmektedir. PMMA C numune parçasının 23,153Newton ile çizilen numune parçasının ortalama pürüzlülük değeri (Ra) 0,91'den 5,82'ye artış gösterdiği, maksimum çukur derinliği (Rv) 5,92'den 20,7'ye artış gösterdiği, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Rp) 2,52'den 15,2'ye artış gösterdiği ve en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Rz) 8,43'den 35,9'a

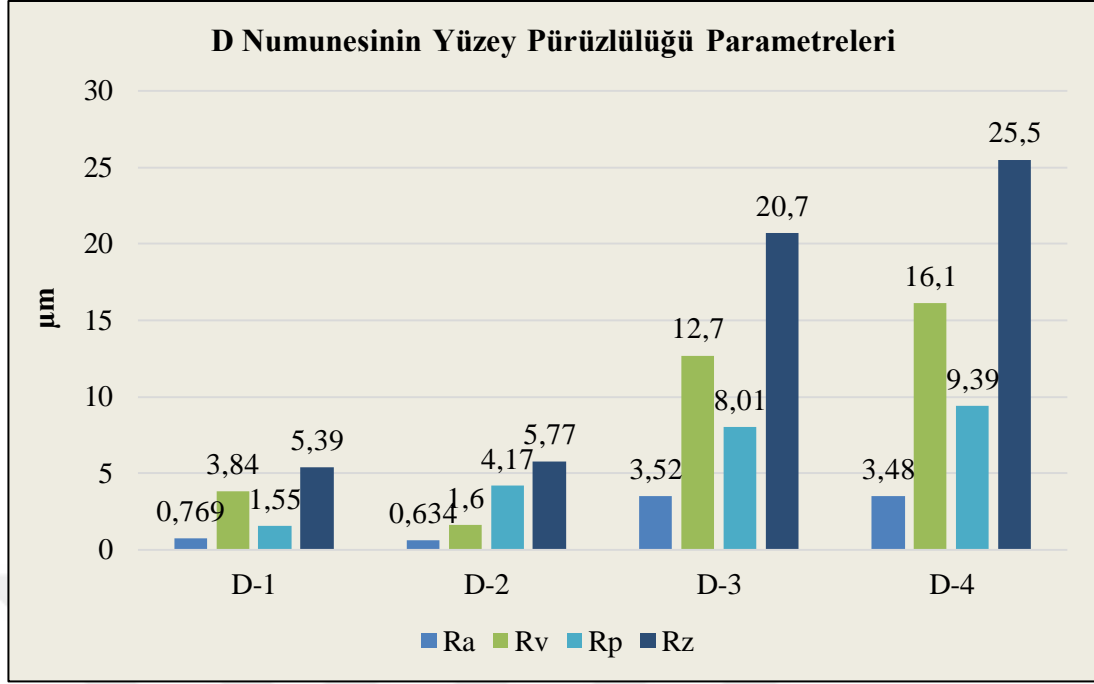
çıkacağı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 5 katı arttığı görülmektedir.



Şekil 7.24. C numunesinin 5mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 46,501N ve 23,153N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

PMMA C numune parçasının tüm yüzey özellikleri için 46,501Newton yük altında, ortalama pürüzlülük değeri (Sa) 2,71'den 16,2'ye, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Sv) 21,3'den 66,5'e, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Sp) 8,93'dan 59,6'ya ve numune parçasındaki en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Sz) 30,2'den 126'ya değerlerine çıktığı görülmüştür. 23,153Newton yük altında ortalama pürüzlülük değeri (Sa) 0,719'dan 4,98'e, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Sv) 7,36'dan 34,0'a, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Sp) 6,8'dan 21,7'ye ve numune parçasındaki en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Sz) 18,9'dan 55,7 değerlerine çıktığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin alan pürüzlülük parametre değerlerinin arttığı görülmektedir.

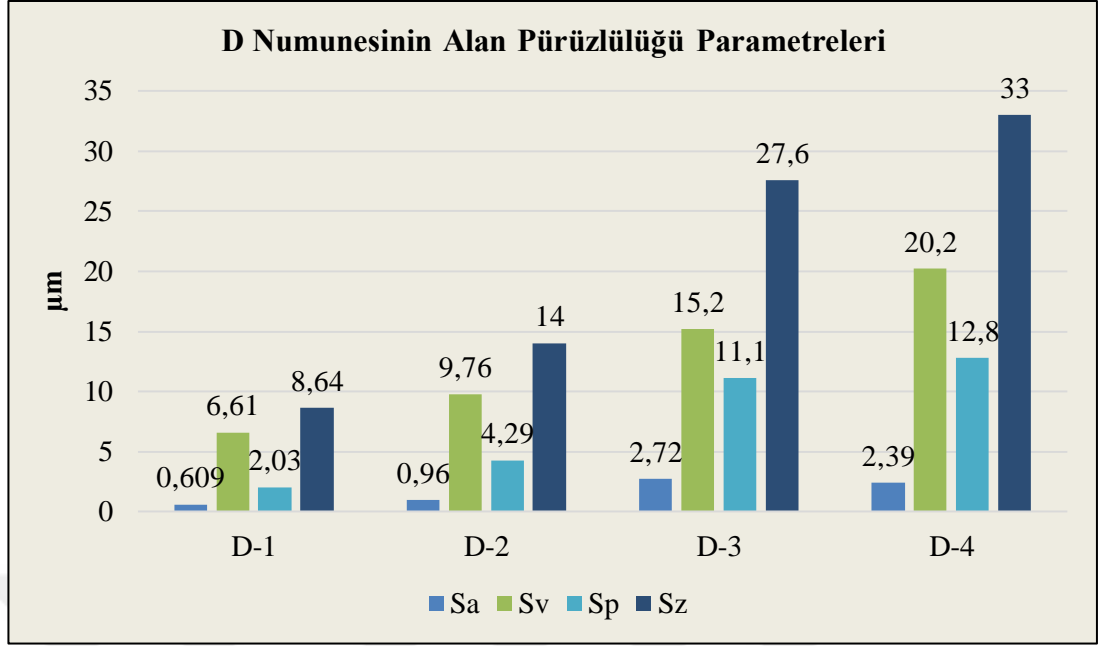
Polimetil Metakrilat D numune bölgesinin merkezinden yapılan profil çizgisi ile pürüzlülük ölçümlerinde ortaya çıkan hasar değerleri D numunesi için Şekil 7.17'de verilmiştir.



Şekil 7.25. D numunesinin 5mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

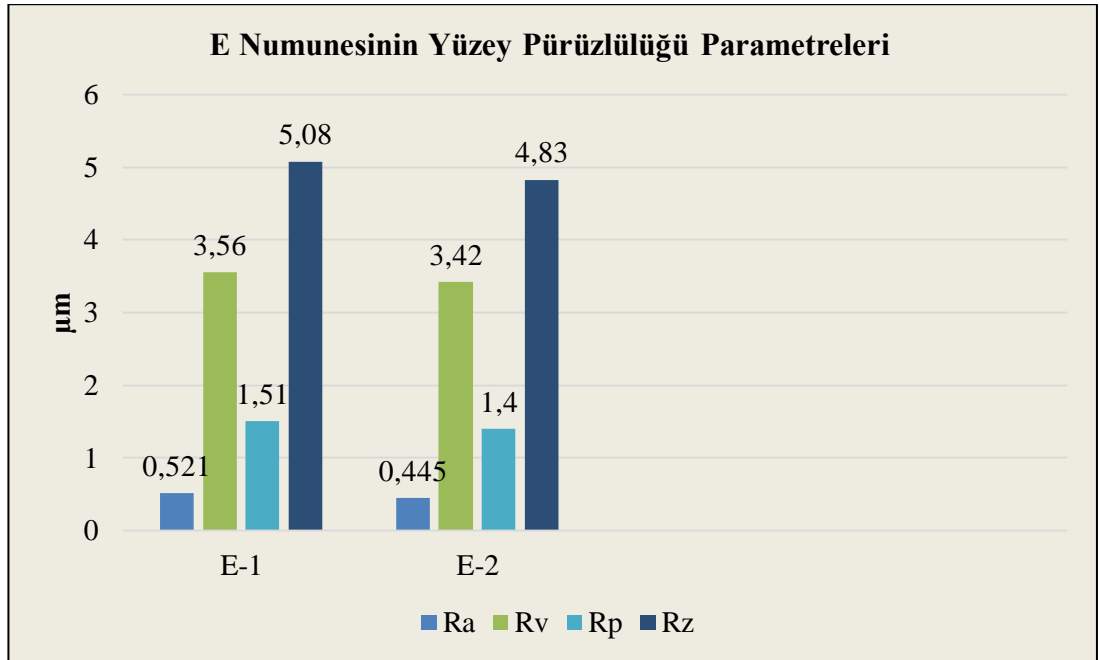
Şekil 7.25’de 12,857Newton yük altında, 5 mm/s çizik hızında ve 1, 2, 6 ve 12 tekrar ile çizilen PMMA D numune parçasının çizik tekrar sayısının artması ile çizilen numune parçasının ortalama pürüzlülük değeri (Ra) 0,769’dan 3,48’e artış gösterdiği, maksimum çukur derinliği (Rv) 3,84’dan 16,1’e artış gösterdiği, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Rp) 1,55’den 9,39’a artış gösterdiği ve en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Rz) 5,39’dan 25,5’e çıktığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 4 katı arttığı görülmektedir.

Şekil 7.26’de 5 mm/s çizik hızında ve 1, 2, 6 ve 12 tekrar ile çizilen PMMA D numune parçasının tüm yüzey özellikleri için 12,857Newton yük altında, ortalama pürüzlülük değeri (Sa) 0,609’dan 2,39’a, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Sv) 6,61’den 20,2’ye, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Sp) 2,03’den 12,8’e ve numune parçasındaki en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Sz) 8,64’den 33 değerlerine çıktığı görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin alan pürüzlülük parametre değerlerinin yaklaşık 3 kat arttığı görülmektedir.



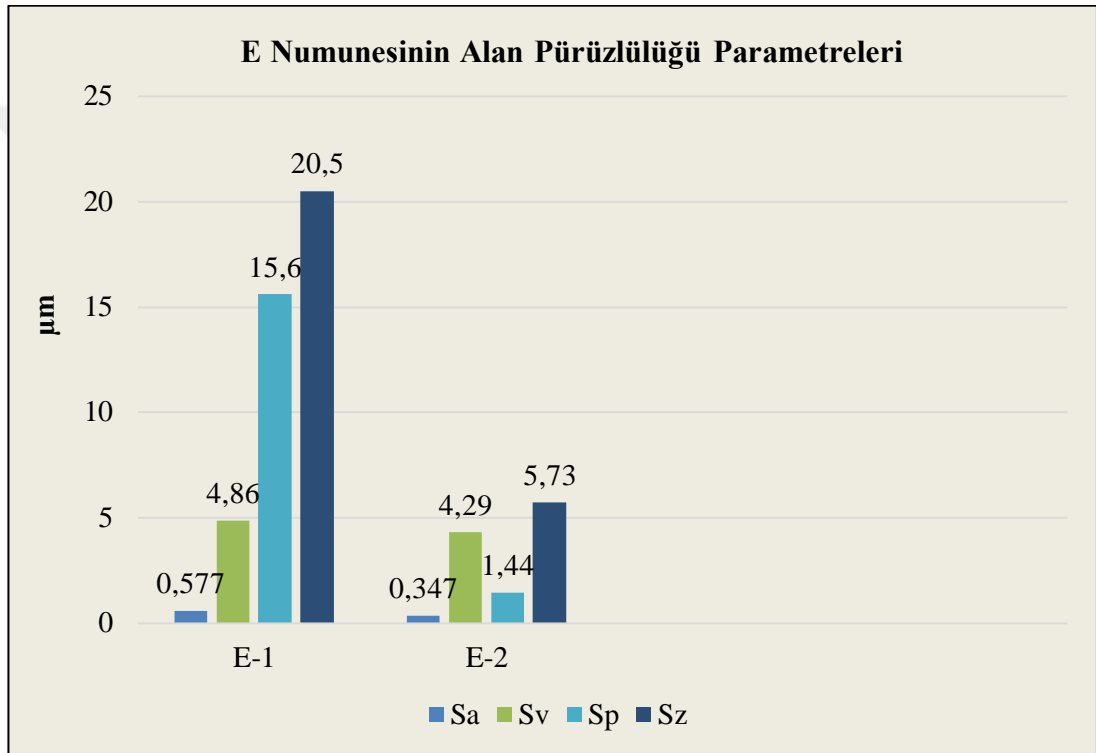
Şekil 7.26. D numunesinin 5mm/s hızda, 1-2-6 ve 12 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

Polimetil Metakrilat E numunesinin, bölgesinin merkezinden yapılan profil çizgisi ile pürüzlülük ölçümlerinde ortaya çıkan hasar değerleri E numunesi için Şekil 7.26'da verilmiştir.



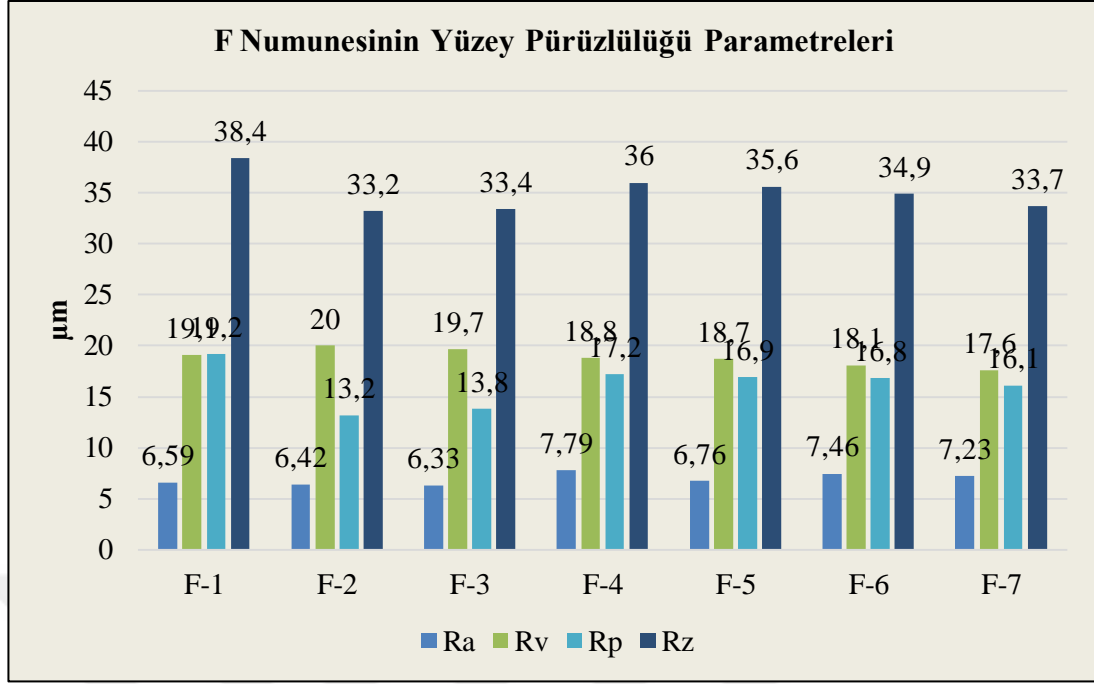
Şekil 7.27. E numunesinin 1 ve 2 mm/s hızda, 1 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

Şekil 7.26’da 12,857Newton yük altında, 1 ve 2mm/s çizik hızında ve 1 tekrar ile çizilen PMMA E numune parçasının çizik hız sayısının artması ile çizilen numune parçasının ortalama pürüzlülük değeri (Ra) 0,521’den 0,445’e düşüş gösterdiği, maksimum çukur derinliği (Rv) 3,56’dan 3,42’e düşüş gösterdiği, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Rp) 1,51’den 1,4’e düşüş gösterdiği ve en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Rz) 5,08’den 4,83’e düştüğü görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik hız sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin çok az değerinde düştüğü görülmektedir.



Şekil 7.28. E numunesinin 1 ve 2mm/s hızda, 1 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

Şekil 7.28’de 12,857Newton yük altında, 1 ve 2mm/s çizik hızında ve 1 tekrar ile çizilen PMMA E numune parçasının tüm yüzey özellikleri için 12,857Newton yük altında, ortalama pürüzlülük değeri (Sa) 0,577’den 0,347’a, numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Sv) 4,86’dan 4,29’a, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Sp) 15,6’dan 1,44’e düşüş gösterdiği ve numune parçasındaki en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Sz) 20,5’den 5,73 değerlerine düştüğü görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik hız sayısının artması ile numune yüzeyinin alan pürüzlülük parametre değerlerinin azaldığı görülmektedir.

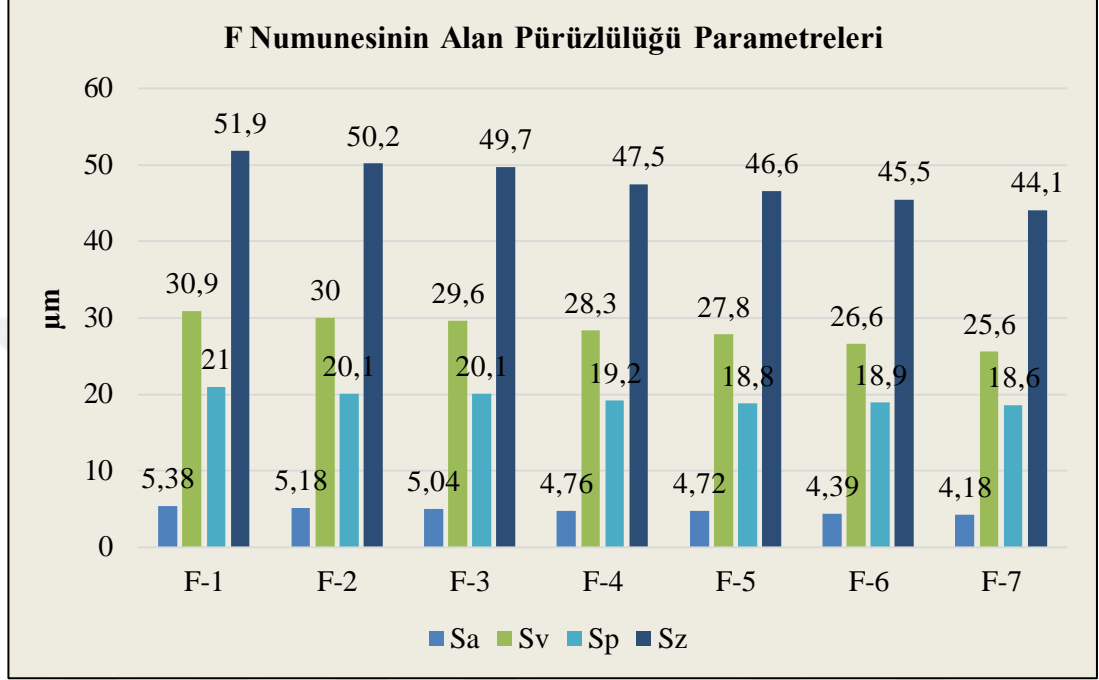


Şekil 7.29. F numunesinin 1-2-3-4-5-7,5 ve 10mm/s hızda, 1 tekrar sayısında, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Yüzey Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

PMMA (polimetil metakrilat) F numune bölgesinin merkezinden yapılan profil çizgisi ile belirlenen pürüzlülük ölçümlerinde ortaya çıkan pürüzlülük hasar değerleri F numunesi için Şekil 7.29'da verilmiştir. Şekil 7. 29'da 46,501Newton yük altında, 1, 2, 3, 4, 5, 7-5 ve 10mm/s çizik hızında ve 1 tekrar ile çizilen PMMA F numune parçasının çizik hız sayısı artması ile çizilen numune parçasının ortalama pürüzlülük değeri (Ra) 6,59 ile 7,79 aralığında değer gösterdiği, maksimum çukur derinliği (Rv) 19,1'den 17,6 aralığında değer gösterdiği, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Rp) 19,2'den 16,1'e düşüş gösterdiği ve en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Rz) 38,4'den 33,7'e düştüğü görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik hız sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin Ra değerlerinin pek değişmediği, Rv, Rp ve Rz değerlerinin ise düştüğü görülmektedir.

Şekil 7.30'da 46,501Newton yük altında, 1, 2, 3, 4, 5, 7-5 ve 10mm/s çizik hızında ve 1 tekrar ile çizilen PMMA F numune parçasının tüm yüzey özellikleri için 46,501Newton yük altında, ortalama pürüzlülük değeri (Sa) 5,38'den 4,18'e düştüğü numunede bulunan maksimum çukur derinliği (Sv) 30,9'dan 25,6'ya düştüğü, numunede bulunan maksimum tepe yüksekliği (Sp) 21'den 18,6'ya düşüş gösterdiği

ve numune parçasındaki en yüksek tepe ile en düşük çukur derinliğinin arasındaki doğrusal mesafe (Sz) 51,9'dan 44,1'e değerlerine düştüğü görülmüştür. Grafikler incelendiğinde çizik hız sayısının artması ile numune yüzeyinin alan pürüzlülük parametre değerlerinin çok az sayısal değerde düştüğü görülmektedir.



Şekil 7.30. F numunesinin 1-2-3-4-5-7,5 ve 10mm/s hızda, 1 tekrar sayısında, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş numunelerin Alan Pürüzlülük Parametre verilerinin değişim grafiği

Tez çalışmasında yapılan bütün pürüzlülük deneylerinin grafikleri incelendiğinde; çizik tekrar sayısının yüzey pürüzlülük ve alan pürüzlülük parametrelerini arttırdığı, çizik test hızının artmasının ise yüzey pürüzlülük ve alan pürüzlülük parametre değerlerinin çok az artış veya düşüş gösterdiği görülmektedir.

Literatür çalışmasında bulunan Önen B. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde pürüzlülüğü artırıcı çok sayıda vadi ve tepe oluşumu meydana geldiği; bu vadiler ve tepeler arasında yükselti farkının yüksek seviyede olduğu analiz edilmiştir. Bu çizilme izlerinin daralmanın ve hızın artması ile Polimetil Metakrilat malzemesinde yüzey ve alan ortalama pürüzlülük değerini artırdığı gözlemlenmiştir. Literatür çalışmasında bulunan Önen B. ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile pürüzlülük değerlerinin artışı arasında benzerlik bulunduğu görülmüştür.

7.3. Çizik Derinlik ve Oluk Birikintilerinin Alanlarının Değişim Grafikleri

Literatür taraması yapıldığında birçok malzemenin çizik testi sonrası davranışlarının incelenmesi amaçlanmış ve gerçekleştirilen çalışmaların büyük çoğunluğunda Polimetil Metakrilat malzemesinin gösterdiği hasarları incelemiştirlerdir. Ayrıca farklı polimerlerin çizilme davranışı karşısında malzemenin gösterdiği çizilme sertliğinin gerilme oranına bağımlılığı, akma gerilimi, farklı penetrasyon derinliklerinde çizilme sertliği gibi etkilerini incelemiştirlerdir.

Hedef olarak belirlenen Polimetil Metakrilat malzemenin yüzey morfolojisi incelenirken kullanılan 3D profilometre cihazı ile özellikle malzemede görülen çizilmeden önceki değeri ve çizik testi sonrası oluşan plastik deformasyon mekanizmalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle tez çalışmasında farklı hız ve farklı tekrar sayısına sahip çizik testlerinin Polimetil Metakrilat malzemesinde çizik davranışına olan etkilerinin daha net anlaşılabilmesi, çizilen hedef malzemelerin yüzey morfolojilerinin değişimi ve hedef malzemede görülen etkin çizik oluk genişlikleri ve çizik derinliği mekanizmalarının belirlenmesi amacıyla çok detaylı çalışma gerçekleştirilmiştir.

Farklı hız ve tekrar sayıları ile Polimetil Metakrilat malzeme yüzeyi üzerinde gerçekleştirilen çizik test işleminin sonucunda hedef malzeme yüzeyinde oluşan çizik oluk yığıntıları ve çizik derinliğinin toplam alanı incelenmiştir. Çizik testi sonrası hangi parametrenin etkisi ile daha yüksek oranda yığılma ve çizik derinliği meydana geldiği, çizik hız ve çizik tekrar sayısının hedef malzeme yüzeyinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Bu bölüm içerisinde tüm bu çalışmaların sonuçları ayrı ayrı değerlendirilerek Polimetil Metakrilat malzemesinin yüzeyinde gerçekleştirilen çizik test hızı ve çizik tekrar sayısına bağlı olarak malzeme yüzeyinde oluşan çizik oluk yığıntıları ve çizik derinliğinin toplam alanının gösterdiği değişim yorumlanmıştır. Bölüm içerisinde özellikle farklı tür ve boyuttaki çizik oluk yığıntı alanlarının ve çizik sonrası oluşan çizik izi derinliğinin hedef malzemedan alınan çizik yüzey morfolojilerinin görüntüleri özgünlük taşımaktadır.

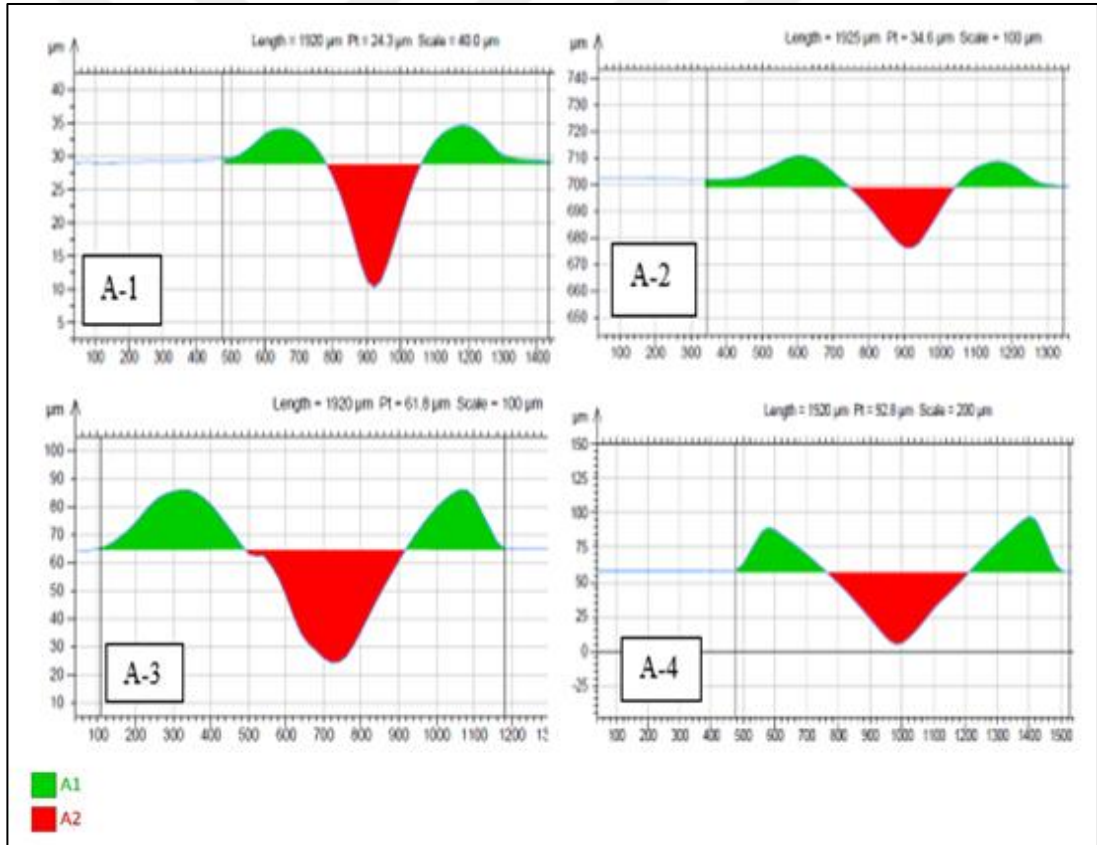
Deneysel çalışmalarda farklı tür ve boyuttaki çizik oluk yığıntı alanlarının ve çizik sonrası oluşan çizik izi derinliğinin alanlarının gösterdiği deforme olmuş bölgeler arasındaki korelasyonu değerlendirmek F_{ab} faktörü sayesinde değerlendirilerek, değişim oranı denklem (7.2)'de verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$F_{ab} = (A2 - A1)/A2 \quad (7.2)$$

$A2$ =Çizik derinlik alanı

$A1$ =Çizik oluk alanı

Bu bölüm içerisinde Polimetil Metakrilat malzemesinin malzeme yüzeyinde görülen çizik testi sonrası alan değişim etkileri grafik ile açıklanacaktır.



Şekil 7.31. A numunesinin 1mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliğinin alanları; (A-1) 1 tekrar, (A-2) 2 tekrar, (A-3) 6 tekrar, (A-4) 12 tekrar

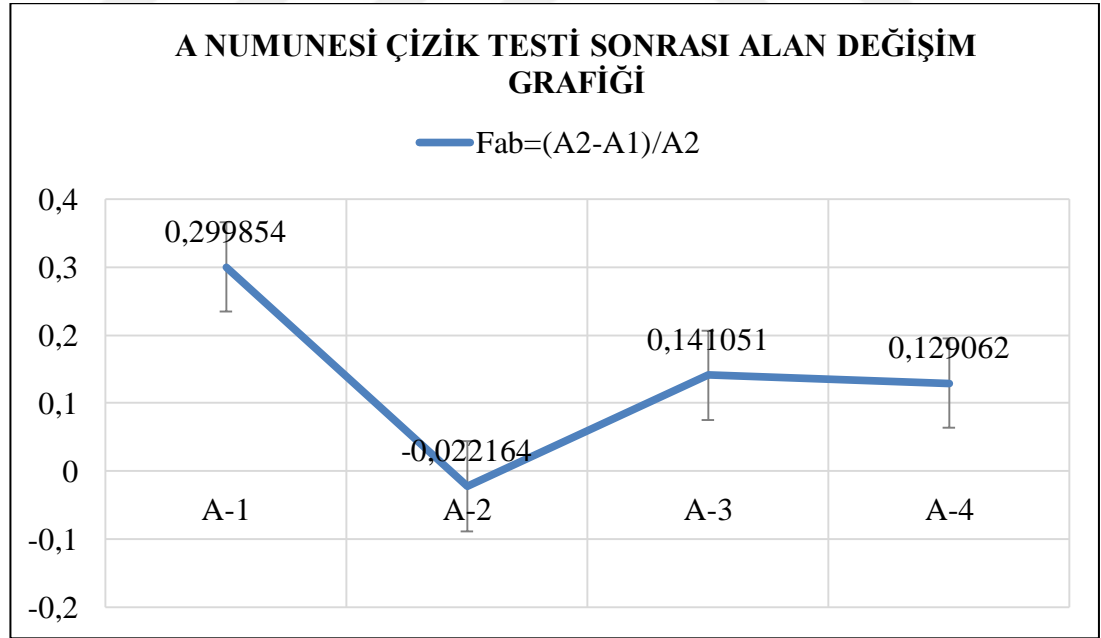
Şekil 7.31 incelendiğinde A numune parçasında A-1 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $1931 \mu\text{m}^2$, A-2 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $3966 \mu\text{m}^2$, A-3 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $7880 \mu\text{m}^2$, A-4 numunesinin

çizik oluk genişliğinin alanı $11022 \mu\text{m}^2$ 'ye arttığı görülmüştür. A-1 numunesinin çizik derinliğinin alanı $2758 \mu\text{m}^2$, A-2 numunesinin çizik derinliğinin alanı $3880 \mu\text{m}^2$, A-3 numunesinin çizik derinliğinin alanı $9174 \mu\text{m}^2$, A-4 numunesinin çizik derinliğinin alanı $12654 \mu\text{m}^2$ 'ye arttığı görülmüştür. A-2 numunesinin çizik derinlik alanı çizik oluk alanından küçüktür. Bu durum A-2 numunesinin Fab faktörünün eksi değerinde çıkmasına sebep olmuştur.

Tablo 7.8. Çizik testi sonrasında A numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları

Numune No	A1(μm^2)	A2(μm^2)	Fab=(A2-A1) /A2
A-1	1931	2758	0,299854
A-2	3966	3880	-0,022164
A-3	7880	9174	0,141051
A-4	11022	12654	0,129062

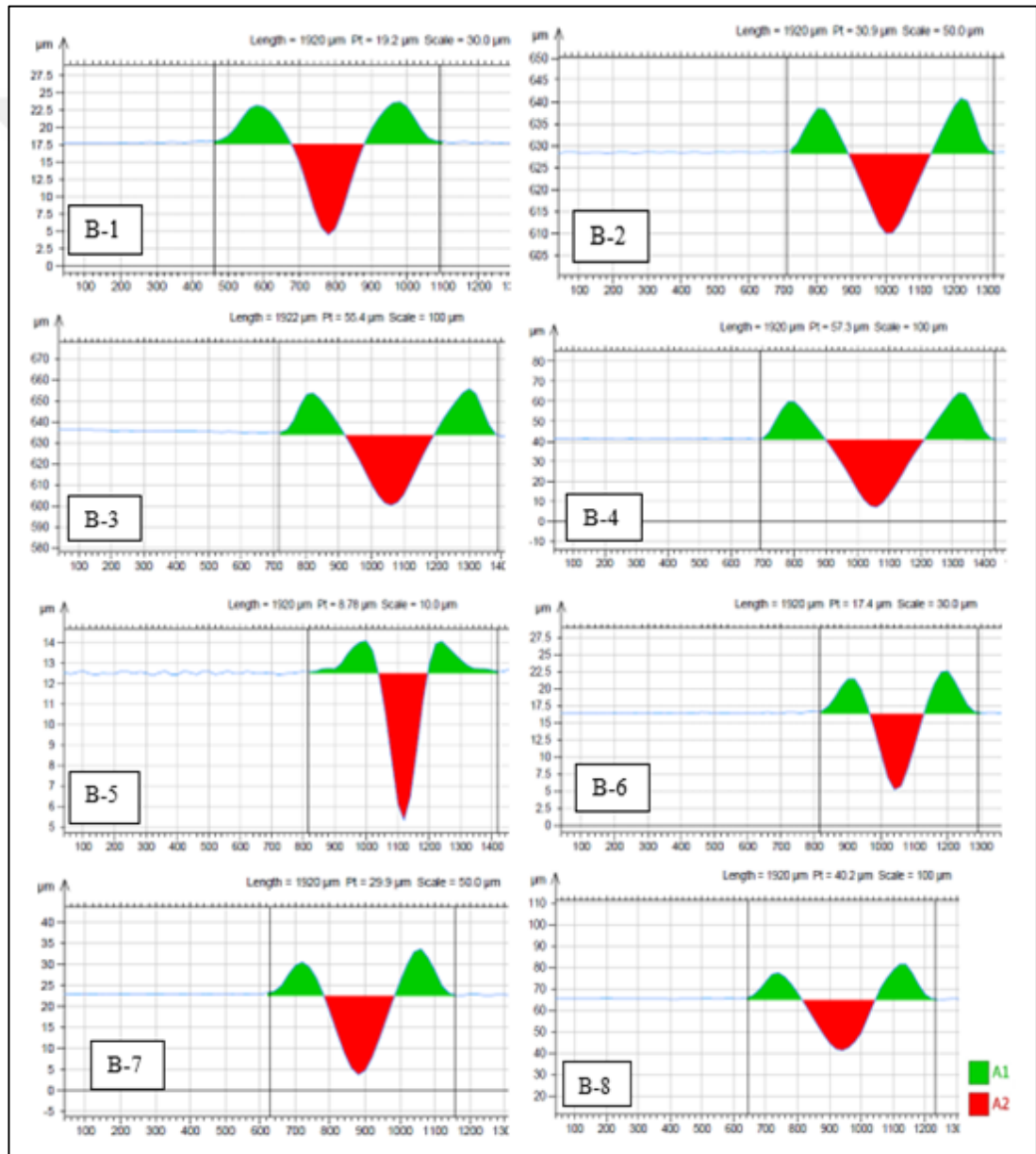
Deneysel çalışmalarda kullanılan A numunesinin alan ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.8'de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak şekil 7.32'de verilen ortalama alan grafiği çizilmiştir.



Şekil 7.32. A numunesinin 1mm/s hızda, 46,501N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanlarının değişim grafiği

Deneysel çalışmalarda kullanılan A numunesinin alan ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.8'de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak Şekil 7.32'de verilen A numunesi için ortalama alan değişim grafiği

çizilmiştir. Şekil 7.31 incelendiğinde A numune parçalarının ortalama alanlarında, A-1 numunesi tek tekrar sayısında çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının az değerde çıkması ile Fab faktörü 0,299 gibi bir değer göstermiştir. A-2 numunesinin çizik derinliğinin alanının fazla artış göstermediği ve çizik oluk genişliğinden daha az alana sahip olduğu için Fab faktörü değerinin eksi değerde çıkmasına sebep vermiştir. A-3 ve A-4 numuneleri ise çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının çizik tekrar sayısının artması ile arttığından Fab değeri 0,12 ile 0,14 aralığında değiştiği görülmektedir.



Şekil 7.33. B numunesi 1mm/s hız, Vickers uç, 23,153N ve 12,857N yük için çizik oluk ve derinlik alanları; (B1-B5) 1 tekrar, (B2-B6) 2 tekrar, (B3-B7) 6 tekrar, (B4-B8) 12 tekrar

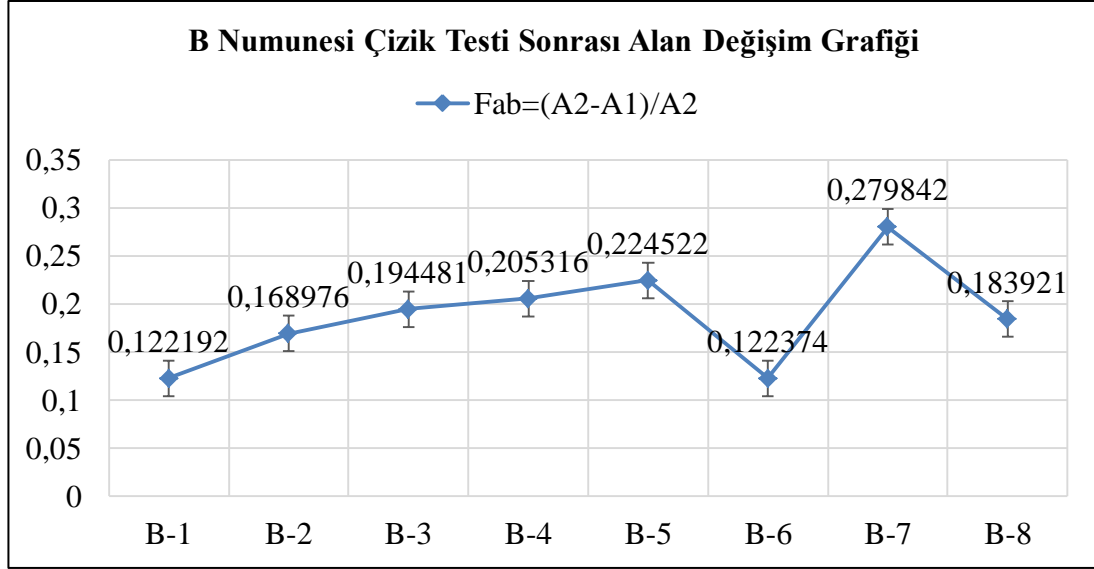
Şekil 7.33 incelendiğinde B numune parçasında B-1 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $1329 \mu\text{m}^2$, B-2 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $2159 \mu\text{m}^2$, B-3 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $4349 \mu\text{m}^2$, B-4 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $4753 \mu\text{m}^2$, B-5 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $487 \mu\text{m}^2$, B-6 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $961 \mu\text{m}^2$, B-7 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $1647 \mu\text{m}^2$, B-8 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $2822 \mu\text{m}^2$ ye arttığı görülmüştür.

B-1 numunesinin çizik derinliğinin alanı $1514 \mu\text{m}^2$, B-2 numunesinin çizik derinliğinin alanı $2598 \mu\text{m}^2$, B-3 numunesinin çizik derinliğinin alanı $5399 \mu\text{m}^2$, B-4 numunesinin çizik derinliğinin alanı $5981 \mu\text{m}^2$ B-5 numunesinin çizik derinliğinin alanı $628 \mu\text{m}^2$, B-6 numunesinin çizik derinliğinin alanı $1095 \mu\text{m}^2$, B-7 numunesinin çizik derinliğinin alanı $2287 \mu\text{m}^2$, B-8 numunesinin çizik derinliğinin alanı $3458 \mu\text{m}^2$ 'ye arttığı görülmüştür. Bu durum A numunesinin $46,501\text{N}$ ile çizik testinde A numunesinin Fab faktörünün yüksek değerde çıkmasına ve B numunesinin $23,153\text{N}$ ile çizik testi uygulamasında B numunesinin yarısı değerinde Fab faktör değeri çıkmıştır. B numunesinin $12,857\text{N}$ ile çizilen yük sayısında ise $23,153\text{N}$ ile çizilen B numunelerine göre daha az Fab faktör değeri çıkmıştır. Bu durum yük değerinin artışının Fab faktörünün artmasına sebep olduğu ve çizik tekrar sayısının artmasının da Fab faktörünün artışına sebep olduğu görülmüştür.

Tablo 7.9. Çizik testi sonrasında B numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları

Numune No	A1(μm^2)	A2(μm^2)	Fab=(A2-A1) /A2
B-1	1329	1514	0,122192
B-2	2159	2598	0,168976
B-3	4349	5399	0,194481
B-4	4753	5981	0,205316
B-5	487	628	0,224522
B-6	961	1095	0,122374
B-7	1647	2287	0,279842
B-8	2822	3458	0,183921

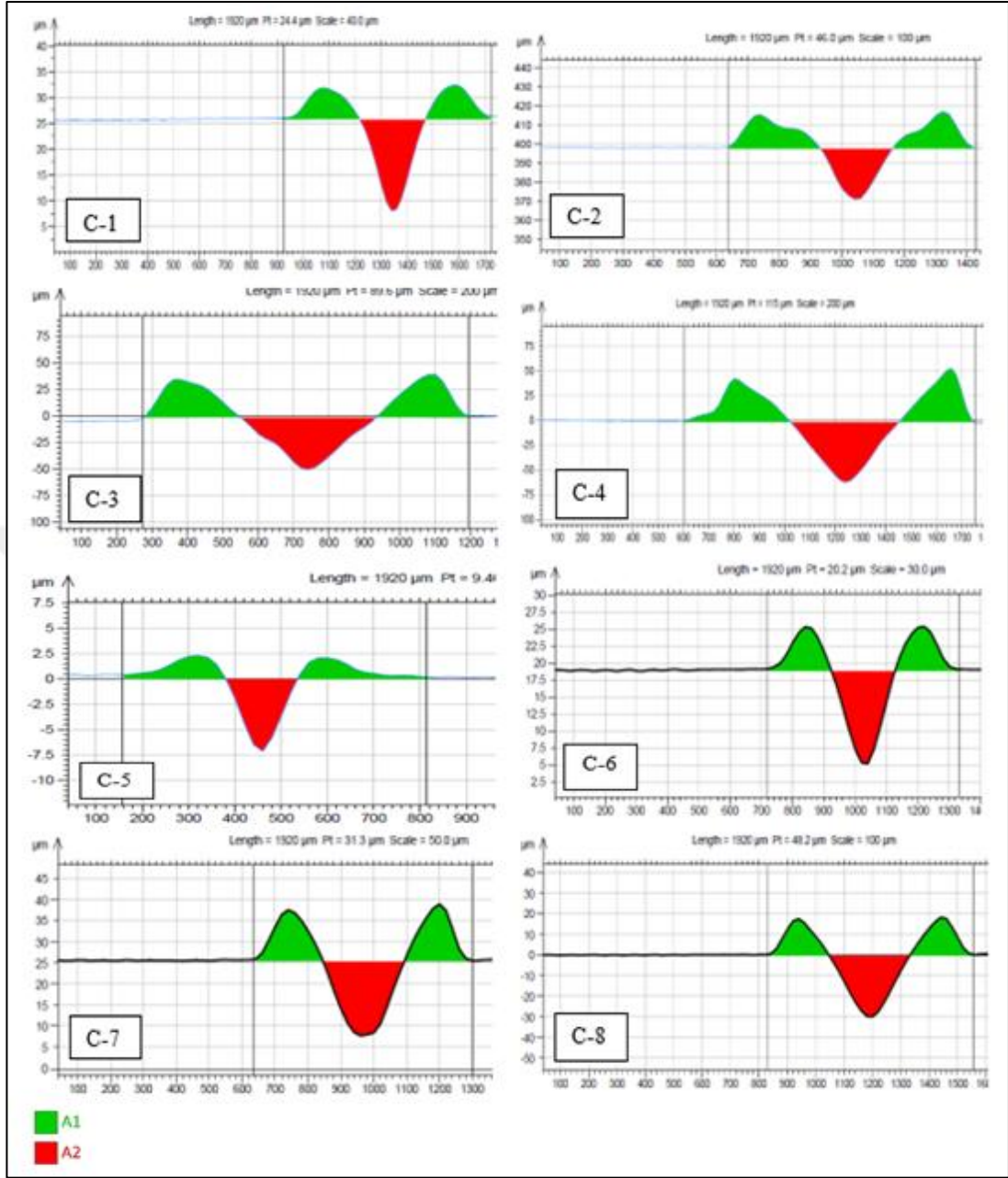
DeneySEL çalışmalarında kullanılan B numunesinin alan ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.9'de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak şekil 7.34'de verilen ortalama alan grafiği çizilmiştir.



Şekil 7.34. B numunesinin 1 mm/s hızda, 23,153N ve 12,857N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği

Deneysel çalışmalarda kullanılan B numunesinin alan ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.9’da verilmiştir. Bu sonuçlardan yararlanarak Şekil 7.34’de verilen ortalama alan grafiği çizilmiştir. Şekil 7.34 incelendiğinde B-1 numunesinden B-4 numune parçasına kadar olan numuneler çizik tekrar sayısı ile ortalama alan değişim grafiğinin 0,1 ile 0,2 aralığında orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. B-5 ile B-8 numune parçasındaki sayısal değişim Fab değerlerinde çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanlarının değerlerinin Fab değerleri 0,1 ile 0,3 aralığında değer göstermiştir. Bu durum A numunesindeki 45,501Newton yük ve B numunesi 12,857Newton ile çizilen değerlerde farklılık olduğu, 23,153N ile çizilen numunelerin değerlerinde ise tekrar sayısı arttığında belli bir oranda artış gösterdiği görülmüştür.

Şekil 7.35 incelendiğinde 5mm/s hız ile 46,501N yük ile çizik testi uygulanan C numune parçasında C-1 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $1952 \mu\text{m}^2$, C-2 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $4436 \mu\text{m}^2$, C-3 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $11488 \mu\text{m}^2$, C-4 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $16471 \mu\text{m}^2$ ve 23,153N yük ile çizik testi uygulanan C-5 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $532 \mu\text{m}^2$, C-6 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $1389 \mu\text{m}^2$, C-7 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $3058 \mu\text{m}^2$, C-8 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $4127 \mu\text{m}^2$ ye arttığı görülmüştür.



Şekil 7.35. C numunesi 5mm/s hız, Vickers batıcı uç, 46,501N ve 23,153N yük için çizik oluk ve derinlik alanları; (C1-C5) 1 tekrar, (C2-C6) 2 tekrar, (C3-C7) 6 tekrar, (C4-C8) 12 tekrar

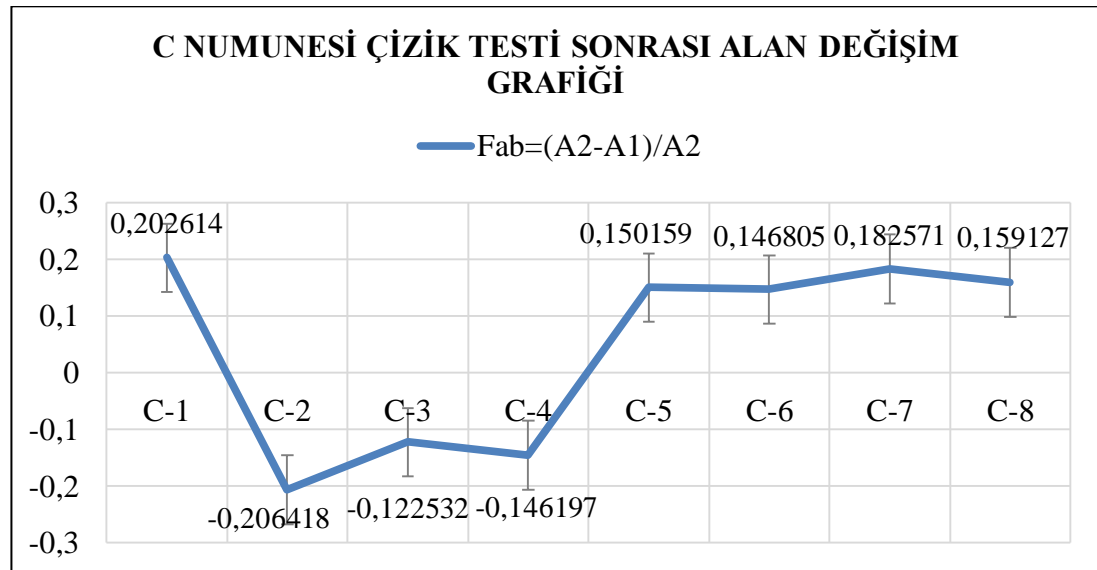
Aynı zamanda 5mm/s hız ile 46,501N yük ile çizik testi uygulanan C numune parçasında C-1 numunesinin çizik derinliğinin alanı $2448 \mu\text{m}^2$, C-2 numunesinin çizik derinliğinin alanı $3677 \mu\text{m}^2$, C-3 numunesinin çizik derinliğinin alanı $10234 \mu\text{m}^2$, C-4 numunesinin çizik derinliğinin alanı $14371 \mu\text{m}^2$ ve 23,153N yük ile çizik testi uygulanan C-5 numunesinin çizik derinliğinin alanı $626 \mu\text{m}^2$, C-6 numunesinin çizik derinliğinin alanı $1628 \mu\text{m}^2$, C-7 numunesinin çizik derinliğinin alanı $3741 \mu\text{m}^2$, C-8 numunesinin çizik derinliğinin alanı $4908 \mu\text{m}^2$ 'ye arttığı görülmüştür.

Bu durum PMMA numunesinin 5mm/s hız ile çizilmesi ile bazı numunelerin (C-2, C-3 ve C-4) çizik oluk genişliklerinin çizik derinlik alanından fazla değerde çıkmasına ve böylece Fab sayısal değerlerinin de eksi değerde çıkmasına sebep olmuştur. B numunesinden farklı olarak çizik test yükü 46,501N ile çizilmiş, aynı yük sayılarına sahip olmasına ve aynı tekrar sayısında çizilmesine rağmen çizik test hızının 5 kat artması ile C numunesinde çizik oluk genişliklerinin alanının çizik hızı ile arttığı görülmüştür.

Tablo 7.10. Çizik testi sonrasında C numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları

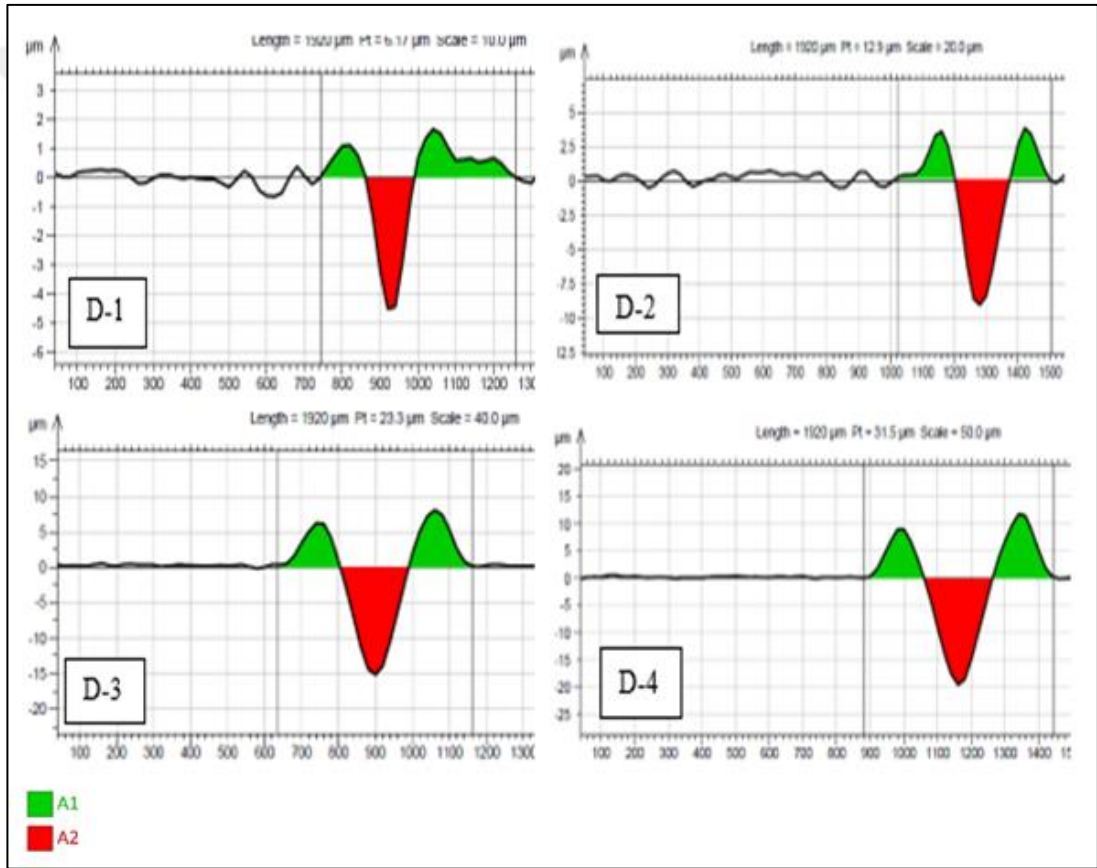
Numune No	A1(μm^2)	A2(μm^2)	Fab=(A2-A1)/A2
C-1	1952	2448	0,202614
C-2	4436	3677	-0,206418
C-3	11488	10234	-0,122532
C-4	16471	14371	-0,146197
C-5	532	626	0,150159
C-6	1389	1628	0,146805
C-7	3058	3741	0,182571
C-8	4127	4908	0,159127

Deneysel çalışmalarda kullanılan C numunesinin alan ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.10'da görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak Şekil 7.36'da verilen ortalama alan grafiği çizilmiştir.



Şekil 7.36. C numunesinin 5mm/s hızda, 46,501N ve 23,153N yük aralığında, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği

Şekil 7.36 grafiği incelendiğinde 46,501N yük ve 5 mm/s çizik hızı ile çizilen C-1 numunesinin artı değerde olması ve C-2 numunesinden C-4 numune parçasına kadar olan numunelerin çizik derinliğinin alanının fazla artış göstermediği ve çizik oluk genişliğinden daha az alana sahip olduğu için Fab faktörü değerinin eksi değerde çıkmasına sebep vermiştir. Elde edilen bu sonuçlar bu durumun çizik derinlik alanlarının çizik oluk derinlik alanlarından daha fazla değerde olduğu ve bunun sebebi olarak çizik hız sayısının ve çizik yük sayısının fazla olması Fab faktörü üzerinde etkin bir rol oynadığı sonucu öngörülmektedir. C-5 numune parçasından C-8 numune parçasındaki sayısal değişim 0,1 aralığında Fab değerleri göstermiştir.



Şekil 7.37. D numunesinin 5mm/s hızda, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanları; (D-1) 1 tekrar, (D-2) 2 tekrar, (D-3) 6 tekrar, (D-4) 12 tekrar

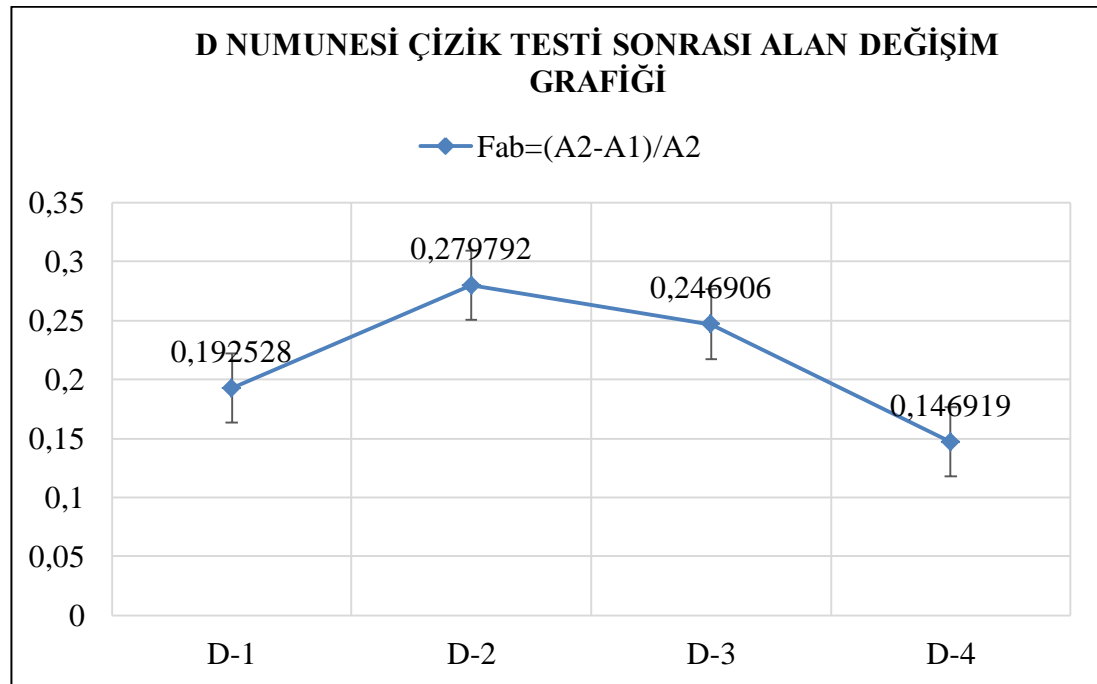
Şekil 7.37 incelendiğinde 5 mm/s çizik hızı ve 12,857N yük ile çizilen D numunelerin 1, 2, 6 ve 12 tekrar sayısında çizilmesi D-1 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $281 \mu\text{m}^2$, D-2 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $695 \mu\text{m}^2$, D-3 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $1278 \mu\text{m}^2$, D-4 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $1980 \mu\text{m}^2$ 'ye arttığı görülmüştür.

Aynı zamanda 5 mm/s hız ile 12,857N yük ile çizik testi uygulanan D numune parçasında D-1 numunesinin çizik derinliğinin alanı $348 \mu\text{m}^2$, D-2 numunesinin çizik derinliğinin alanı $965 \mu\text{m}^2$, D-3 numunesinin çizik derinliğinin alanı $1697 \mu\text{m}^2$, D-4 numunesinin çizik derinliğinin alanı $2321 \mu\text{m}^2$ 'ye arttığı görülmüştür. PMMA numunesinin çizik test hız sayısının 5mm/s olmasına rağmen çizik test yük değerinin 12,857N yük olması sebebi ile D numunesinin Fab faktör değerleri eksi değerde çıkmamıştır.

Tablo 7.11. Çizik testi sonrasında D numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları

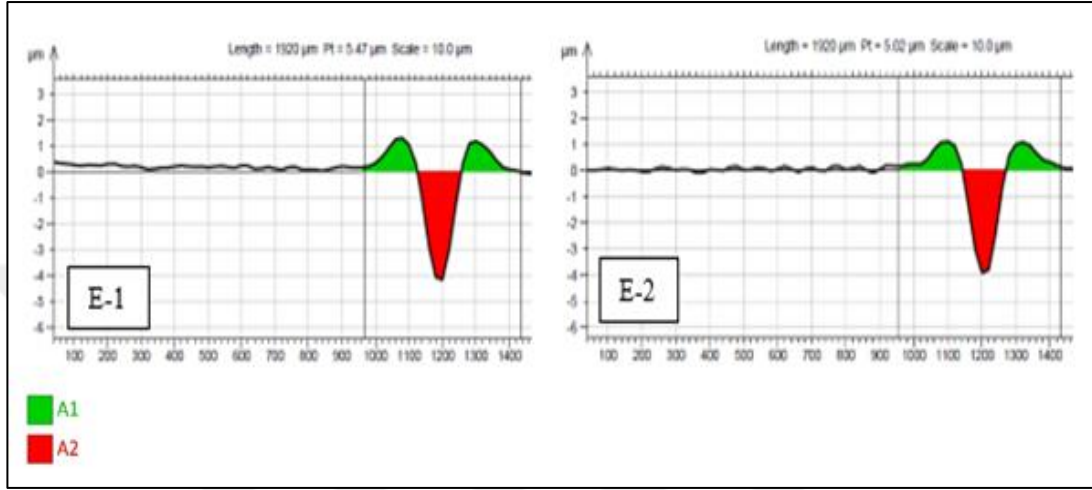
Numune No	A1(μm^2)	A2(μm^2)	Fab=(A2-A1) /A2
D-1	281	348	0,192528
D-2	695	965	0,279792
D-3	1278	1697	0,246906
D-4	1980	2321	0,146919

DeneySEL çalışmalarda kullanılan D numunesinin alan ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.11'de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak şekil 7.38'de verilen ortalama alan grafiği çizilmiştir.



Şekil 7.38. D numunesinin 1,2,6 ve 12 tekrar sayısında, 5mm/s hız, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği

Şekil 7.38 grafiği incelendiğinde 12,857Newton yük ve 5 mm/s çizik hızı ile çizilen D numunelerinin hepsinin artı değerde olduğu görülmüştür. D-1, D-2, D-3 ve D-4 numunelerinin Fab faktörünün 0,1 ile 0,2 aralığında değiştiği hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar çizik tekrar sayısının artması, bu durumun çizik derinlik alanlarının çizik oluk derinlik alanları ile aynı oranda artış gösterdiği görülmüştür.



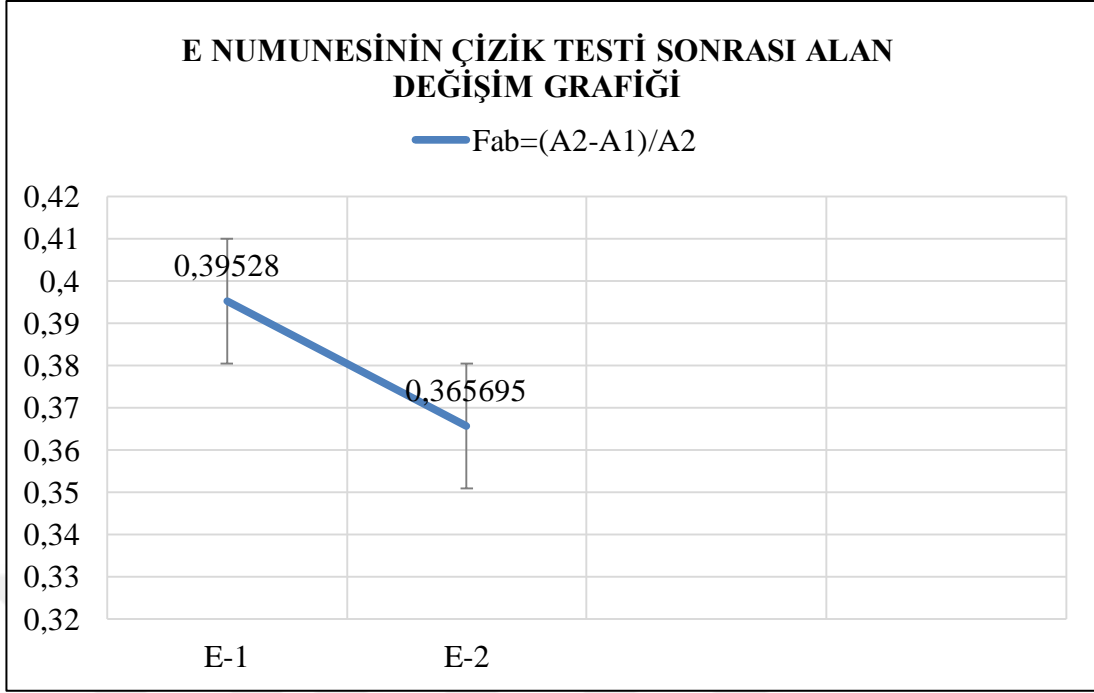
Şekil 7.39. E numunesinin 1 tekrar sayısında, 12,857N yük, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlikleri ve çizik derinliği alanları; (E-1) 1mm/s, (E-2) 2 mm/s

Şekil 7.39 incelendiğinde tek tekrar sayısı ve 12,857N yük ile çizilen E numunelerin 1 ve 2 mm/s çizik hızı ile çizilmesi E-1 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $205 \mu\text{m}^2$, E-2 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $196 \mu\text{m}^2$ 'ye düştüğü görülmüştür. E numune parçasında E-1 numunesinin çizik derinliğinin alanı $339 \mu\text{m}^2$, E-2 numunesinin çizik derinliğinin alanı $309 \mu\text{m}^2$ 'ye düştüğü görülmüştür. PMMA numunesinin çizik test hız sayılarının düşük olması ve çizik test yük değerinin de 12,857N yük olması sebebi ile E numunesinin Fab faktör değerleri eksi değerde çıkmamıştır.

Tablo 7.12. Çizik testi sonrasında E numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları

Numune No	A1(μm^2)	A2(μm^2)	Fab=(A2-A1) /A2
E-1	205	339	0,395280
E-2	196	309	0,365695

Deneysel çalışmalarda kullanılan E numunesinin alan ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.12'de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak Şekil 7.40'da verilen ortalama alan grafiği çizilmiştir.



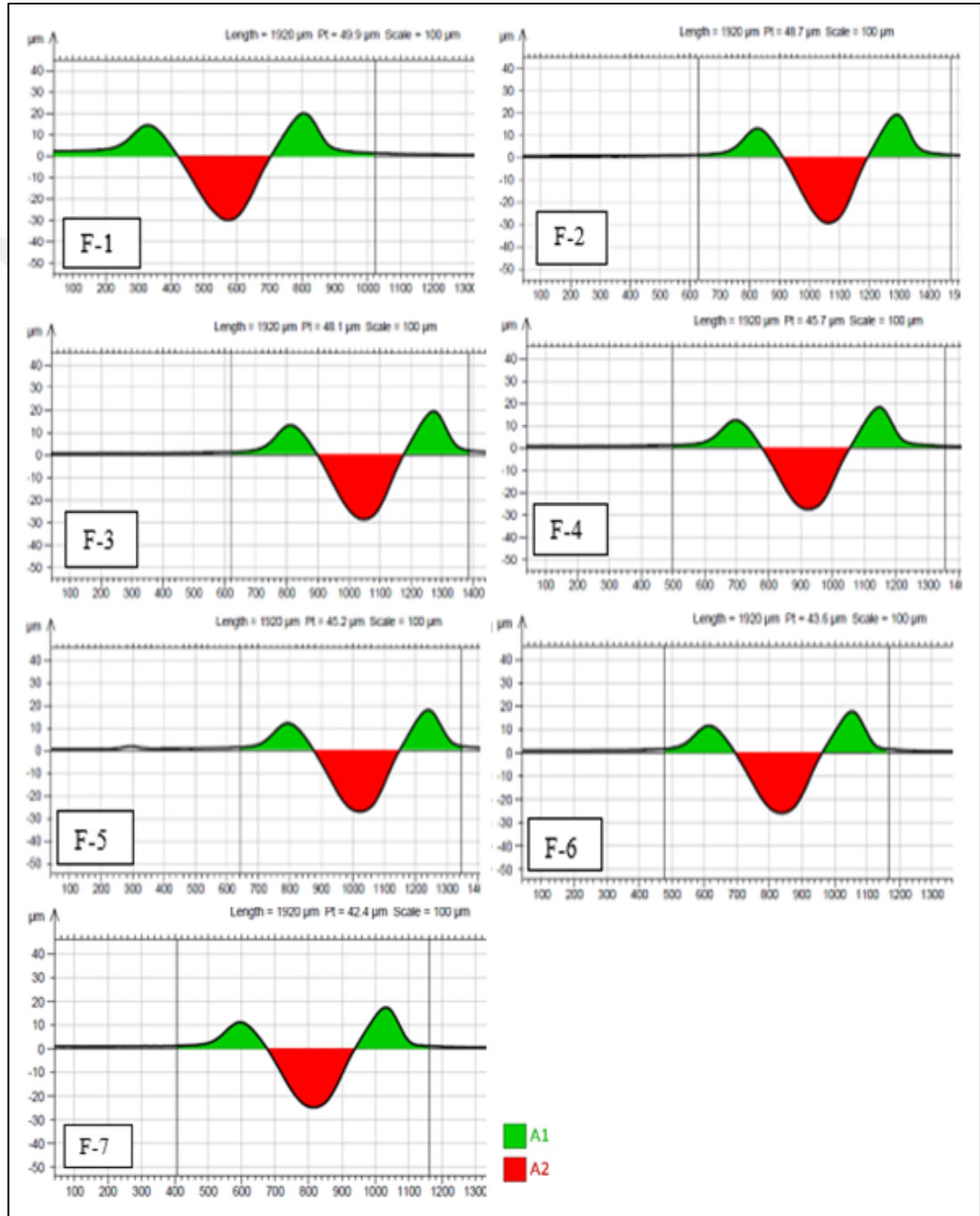
Şekil 7.40. E numunesinin 1-2mm/s hızda, 12,857N yük, 1 tekrar sayısı, Vickers batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği

Şekil 7.40 grafiği incelendiğinde 12,857Newton yük ve 1 ve 2 mm/s çizik hızı ile çizilen E numunelerinin artı değerinde olduğu görülmüştür. E-1 numune parçasının Fab faktörü 0,39 değerinde iken E-2 numunesinin Fab faktör değeri 0,36 değerindedir. E-2 numune parçasının daha düşük değer göstermesinin sebebi, çizik hızını E-1 numunesine göre 2 kat fazla olmasıdır. Elde edilen bu sonuçlar bu durumun çizik derinlik alanlarının çizik oluk derinlik alanları ile aynı oranda düşüş gösterdiği ve çizik test yükünün düşük değerinde olması ile çizik test hızının artması ile bu sonuca varılmaktadır.

Şekil 7.41 incelendiğinde F numune parçasında F-1 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $4599 \mu\text{m}^2$, F-2 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $3495 \mu\text{m}^2$, F-3 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $3390 \mu\text{m}^2$, F-4 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $3200 \mu\text{m}^2$, F-5 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $3018 \mu\text{m}^2$, F-6 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $2877 \mu\text{m}^2$, F-7 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $2938 \mu\text{m}^2$, ye düştüğü görülmüştür.

F-1 numunesinin çizik derinliğinin alanı $5213 \mu\text{m}^2$, F-2 numunesinin çizik derinliğinin alanı $5275 \mu\text{m}^2$, F-3 numunesinin çizik derinliğinin alanı $5131 \mu\text{m}^2$, F-4 numunesinin çizik derinliğinin alanı $4828 \mu\text{m}^2$, F-5 numunesinin çizik derinliğinin

alanı $4778 \mu\text{m}^2$, F-6 numunesinin çizik derinliğinin alanı $4470 \mu\text{m}^2$, F-7 numunesinin çizik derinliğinin alanı $4188 \mu\text{m}^2$ 'ye düştüğü görülmüştür. Bu durum F numunesinin $46,501\text{N}$ sabit yük ile çizik testinde çizik hızlarının artışının çizik oluk genişlik alanlarının ve çizik derinlik alanlarının değerlerinin düşmesine sebep olduğu ancak Fab faktörünün eksi değerinde sayı üretmediği görülmüştür.

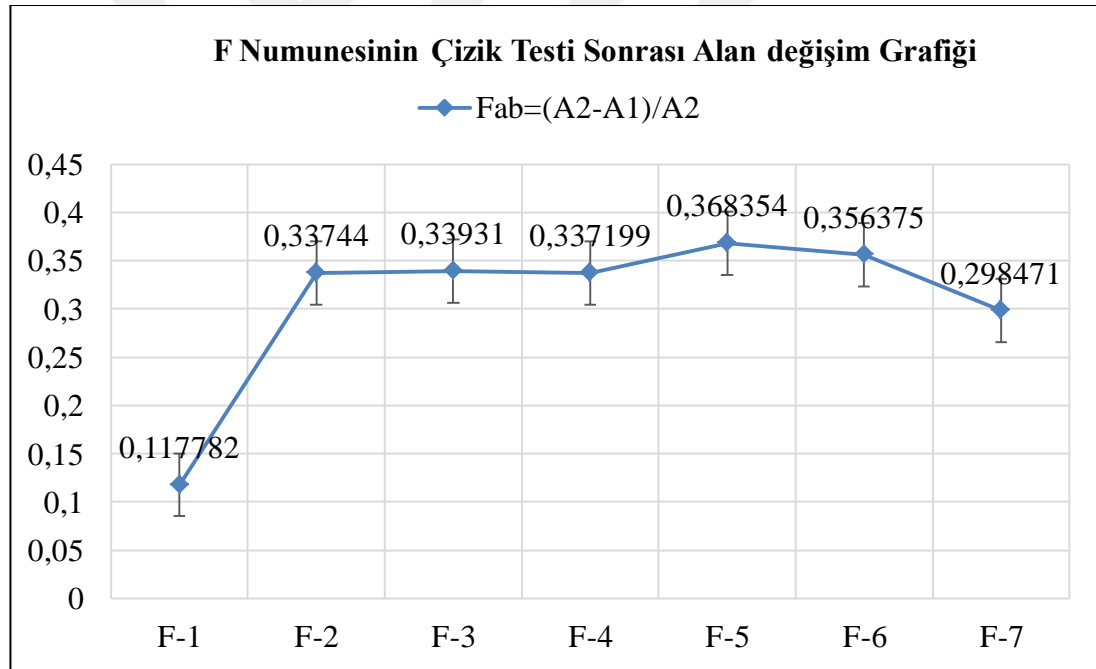


Şekil 7.41. F numunesinin 1 tekrar sayısı, $46,501\text{N}$ yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk ve çizik derinlik alanları; (F-1) 1mm/s , (F-2) 2mm/s , (F-3) 3mm/s , (F-4) 4mm/s , (F-5) 5mm/s , (F-6) $7,5\text{mm/s}$, (F-7) 10mm/s

Tablo 7.13. Çizik testi sonrasında F numunesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinliklerinin alanları

Numune No	A1(μm^2)	A2(μm^2)	Fab=(A2-A1)/A2
F-1	4599	5213	0,117782
F-2	3495	5275	0,337440
F-3	3390	5131	0,339310
F-4	3200	4828	0,337199
F-5	3018	4778	0,368354
F-6	2877	4470	0,356375
F-7	2938	4188	0,298471

Deneysel çalışmalarda kullanılan F numunesinin alan ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 7.13'de görüldüğü gibidir. Bu sonuçlardan yararlanarak şekil 7.42'de verilen ortalama alan grafiği çizilmiştir.



Şekil 7.42. F numunesi 1 tekrar sayısı, 1-2-3-4-5-7,5 ve 10mm/s hızda, 46,501N yük, Rockwell batıcı uç ile çizilmiş çizik oluk genişlik ve çizik derinlik alanlarının değişim grafiği

Şekil 7.42 grafiği incelendiğinde 46,501N yük ve 1-2- 3- 4- 5- 7,5 ve 10 mm/s çizik hızı ile çizilen F numunelerinin artı değerde olması ve çizik test hızının artması ile çizik oluk genişlik alanlarının ve çizik derinlik alanlarının azaldığı görülmüştür. F-1 numunesinin Fab faktör değeri 0,1 iken F-2, F-3, F-4, F-5, F-6 ve F-7 numunelerinin Fab faktör değeri 0,29 ile 0,36 aralığında değişim göstermektedir. Elde edilen bu

sonuçlar bu durumun çizik derinlik alanlarının ve çizik oluk genişliğinin alanlarının çizik hızının artması malzeme üzerinde oluşan sürtünmeden kaynaklı elastik ve plastik değişimler ile çizik hız sayısının ve çizik yk sayısının fazla olması Fab faktörü üzerinde etkin bir rol oynadığı sonucuna varılmaktadır.

Sonuç olarak tez çalışmasında yapılan çizik testinde bulunan çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının grafikleri incelendiğinde; çizik tekrar sayısının artması ile çizik oluk yığıntılarının arttığı ve çizik derinlik alanlarının arttığı görülmektedir. Çizik test hızının artmasının ise çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının azaldığını ve çizik yk sayısının yüksek değerde olması çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının artmasına sebep olduğu görülmektedir. Literatür çalışmasında bulunana L.R.R. Silva ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada aşamalı yk artışında Fab faktörünün yüksek değerde çıktığı hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasında uygulanan aşınma oranının hız sayısı ve tekrar sayısının artması ile artış gösterdiği ve Fab faktörü değerlerinin kuru ortamda yapılan çalışmalar ile benzerlik bulunduğu görülmüştür.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Malzeme yüzeyinde çizik test işlemi kompleks bir süreçtir. Bu süreç çizik testi uygulanan hedef malzemelerin özellikleri (malzemelerin mikro yapısı) ve çizilen malzemenin çizik sonrası göstermiş olduğu akma gerilimi, penetrasyon derinliği, sürtünme katsayısı gibi malzeme özellikleri parametrelerinin etkisi ve çevresel etkenlere (sıcaklık, nem vb.) bağlıdır.

Yüksek lisans tezi kapsamında Polimetil Metakrilat hedef malzemesinin tekli ve tekrarlı çizik testi sonrası göstermiş olduğu parametrelerden; yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi, alan pürüzlülük değerlerinin değişimi, çizik sonrası malzeme yüzeyinde biriken yığıntılar ve çizik derinlik değerleri çizilen malzeme yüzeyi üzerinde göstermiş olduğu etkisi incelenmiştir.

Polimetil Metakrilat malzeme yüzeyine uygulanan 1-2-6 ve 12 çizik tekrar sayısında, 12,857Newton, 23,153Newton ve 46,501Newton yük ağırlığı altında, Vickers ve Rockwell batıcı uc ile 1-2-3-4-5-6-7,5 ve 10 mm/s çizik hızı uygulanan 33 farklı deneylerde kullanılan Polimetil Metakrilat (PMMA) malzemesinin gerçekleştirilen çizik testi sonrası göstermiş olduğu fiziksel parametrelerin etkisi incelenmiştir. Çizik testi sonrası deformasyona uğramış malzeme yüzeylerinin 3D profilometre görüntüleri alınarak operasyon parametrelerinin yüzey morfolojisine olan etkisi incelenmiştir. Çizik test işlemi sonrası malzeme oluk yığıntılarının ve çizik derinlik alanlarının çizik test hızı, çizik yük aralığı ve çizik tekrar sayısı ile artış ve azalış değerleri Fab faktörü ile hesaplanmıştır. Son olarak optik profilometre yardımı ile tüm çizilmiş yüzeylerin 3D boyutlu görüntüleri alınmış, yüzey ve alan ortalama pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır.

Bu bölüm içerisinde Yüksek Lisans Tezi kapsamında gerçekleştirilen deneyler ve bunların sonuçları yapılaş sırasına bağlı kalınarak açıklanacaktır.

Polimetil Metakrilat malzemesinin çizik testi sonrası göstermiş olduğu deformasyon ve penetrasyon değerlerinin incelenmesi;

Tez çalışmasında Polimetil Metakrilat malzemesinin tek ve tekrarlı çizik sayıları ile farklı yük ağırlıkları ve farklı çizik hız değerleri olacak şekilde Polimetil Metakrilat numune malzemesi ayrı ayrı hesaplanmıştır.

A numunesi (46,501Newton yük, Vickers batıcı uc, 1 mm/s çizik hızında ve 1-2-6 ve 12 tekrar) yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikler A-1 numunesinin çizik oluk genişliği 520 μ m, çizik dalga genişliğinin 760 μ m ve çizik kesitinin derinliği 18,6 μ m, A-4 numunesinin çizik oluk genişliği 820 μ m, çizik dalga genişliği 1180 μ m ve çizik kesitinin derinliği 53,8 μ m olarak hesaplanmıştır. PMMA A malzemesinin yüzeyinde meydana gelen deformasyon şekilleri incelendiğinde tekrar sayısı arttığında birbirine çizik oluk genişliklerinin büyüdüğü görülmüştür. Bu durum numune yüzeyinde tekrar sayısının artmasının ve çizik yük sayısının 46,501Newton yük değerinde olmasının çizik izi ve çizik oluk genişliğinin artmasının sebebi olarak göstermektedir.

B numunesi (23,153Nyük, 1mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1-2-6 ve 12 tekrar) plastik deformasyonu incelendiğinde B-1 numunesinin çizik oluk genişliği 400 μ m, çizik dalga genişliğinin 600 μ m ve çizik kesitinin derinliği 13,3 μ m, B-4 numunesinin çizik oluk genişliği 540 μ m, çizik dalga genişliğinin 780 μ m ve çizik kesitinin derinliği 34,2 μ m olduğu görülmüştür. 12,857Nyük yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri incelendiğinde B-5 numunesinin çizik oluk genişliği 240 μ m, çizik dalga genişliğinin 320 μ m ve çizik kesitinin derinliği 7,24 μ m, B-8 numunesinin çizik oluk genişliği 400 μ m, çizik dalga genişliğinin 560 μ m ve çizik kesitinin derinliği 24 μ m olduğu hesaplanmıştır. B numune parçası incelendiğinde numuneyi çizmek için kullanılan yük sayısı (N) küçüldüğünde ve tekrar sayısı az olan parçada çizik derinlik izleri daha düşük ve çizik oluk genişliklerinin de daha az olduğu görülmüştür.

C numunesinin (46,501N yük, 5mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1-2-6 ve 12 tekrar) yüzey çizik işleminden sonraki değişiklikleri incelendiğinde C-1 numunesinin çizik oluk genişliği 520 μ m, çizik dalga genişliğinin 800 μ m ve çizik kesitinin derinliği 17,8 μ m, C-4 numunesinin çizik oluk genişliği 860 μ m, çizik dalga genişliğinin 1280 μ m ve çizik kesitinin derinliği 61,6 μ m olduğu hesaplanmıştır. 23,153N yüzey çizik işlemi incelendiğinde C-5 numunesinin çizik oluk genişliği 280 μ m, çizik dalga

genişliğinin 400 μ m ve çizik kesitinin derinliği 7,20 μ m, C-8 numunesinin çizik oluk genişliği 500 μ m, çizik dalga genişliğinin 700 μ m ve çizik kesitinin derinliği 30,1 μ m olduğu görülmüştür. C numune parçası incelendiğinde numuneyi çizmek için kullanılan çizik hızı arttığında, 1mm/s hız ile çizilen B numunesinden daha geniş çizik oluk genişliklerine sahip olduğu ve çizik kesitinin derinliğinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum çizik test hızının 5mm/s hızda çizilmesinde 1 mm/s hız ile çizilen B numunesinin şartları aynı olsa bile hız sayısının artması, çizik kesit derinliğini, çizik dalga genişliğini ve çizik oluk genişliğini etkilediği görülmüştür.

D numunesi (12,857Nyük, 5mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1, 2, 6 ve 12 tekrar) plastik deformasyonu incelendiğinde numuneyi çizmek için kullanılan çizik yükü 12,857Newton yük azaltılmış, çizik hızı 5mm/s ve 1 tekrar ile çizilen D-1 numunesi çizik oluk genişliği 220 μ m, çizik dalga genişliğinin 300 μ m ve çizik kesitinin derinliği 4,55 μ m olduğu görülmüştür. 12 tekrar ile çizilen D-4 numunesi çizik oluk genişliği 360 μ m, çizik dalga genişliğinin 520 μ m ve çizik kesitinin derinliği 19,7 μ m olduğu görülmüştür. Bu durum D numunesinin yük şartlarının azalması ve çizik tekrar sayısının artması ile çizik kesit derinliği ve çizik oluk genişliğini etkilediği görülmüştür.

E numunesinin (12,857Nyük, 1 ve 2mm/s hızda Vickers batıcı uc ile 1 tekrar) yüzey çizik işleminden sonra plastik deformasyonu incelendiğinde E numunesinin çizik oluk genişliği 220 μ m olduğu ve çizik dalga genişliğinin de 300 μ m olduğu görülmüştür. Çizik kesitinin derinliği 5 μ m den 4 μ m ye düştüğü görülmüştür. Bu durum E numunesinin yük şartları ve tekrar sayısı aynı olsa bile hız sayısının artması, çizik kesit derinliğinin azaldığını, çizik dalga genişliğinin ve çizik oluk genişliğinin aynı olduğu görülmüştür.

F numunesinin (46,501Nyük, 1-2-3-4mm/s hızda Rockwell batıcı uc ile 1 tekrar) yüzey çizik işleminden sonra plastik deformasyonu incelendiğinde F-1 numunesinin çizik oluk genişliği 480 μ m, çizik dalga genişliğinin 680 μ m ve çizik kesitinin derinliği 30,2 μ m, F-4 numunesinin çizik oluk genişliği 460 μ m, çizik dalga genişliğinin 640 μ m ve çizik kesitinin derinliği 28,2 μ m olduğu görülmüştür. (5-7,5-10mm/s çizik hızında) F-5 numunesinin çizik oluk genişliği 440 μ m, çizik dalga

genişliğinin 620µm ve çizik kesitinin derinliği 27,9µm, F-6 numunesinin çizik oluk genişliği 440µm, çizik dalga genişliğinin 620µm ve çizik kesitinin derinliği 26,6µm, F-7 numunesinin çizik oluk genişliği 440µm, çizik dalga genişliğinin 620µm ve çizik kesitinin derinliği 25,4µm olduğu görülmüştür. Numuneyi çizmek için kullanılan çizik hızı 1mm/s ile 10 mm/s arasında değişmektedir. Çizilen F numunesi çizik oluk genişliği 440µm ile 480µm aralığında olduğu, çizik dalga genişliğinin 620µm ile 680480µm aralığında olduğu görülmüştür. Çizik kesitinin derinliği 30,2µm den 25,4µm ye düştüğü görülmüştür. Bu durum F numunesinin yük şartları ve tekrar sayısı aynı olsa bile numune üzerinde uygulanan çizik hız sayısının artması, çizik kesit derinliğinin azaldığını, çizik dalga genişliğinin ve çizik oluk genişliğinin etkilenmediği görülmüştür.

Sonuç olarak tez çalışmasında Polimetil Metakrilat numune parçasına yapılan çizik testinde 3D profilometre görüntüleri incelendiğinde bulunan çizik oluk genişliklerinin ve çizik kesitinin derinliği; çizik tekrar sayısının artması ve çizik yük ağırlığının artması ile çizik oluk yığıntılarının arttığını ve çizik kesitinin derinliğinin de arttığı görülmektedir. Çizik hızının artması ile çizik kesitinin derinliğinin azaldığı ve çizik oluk genişliğinin de azaldığı görülmüştür. Bu durum Polimetil Metakrilat numunesinin yük ağırlık şartları ve tekrar sayısı aynı olsa bile numune üzerinde uygulanan çizik hız sayısının artması, çizik kesit derinliğinin azaldığı görülmüştür.

Polimetil Metakrilat numunelerin Yüzey ve Alan pürüzlülüğüne tek ve tekrarlı çizik test işleminin etkisi:

Polimetil Metakrilat numunesinin yüzeyinde çizik test işlemi sonrasında meydana gelen hasar bölgesinin orta noktasından bir profil çizgisinden belirlenerek kullanılan temassız lazer profilometre yardımı ile ortalama pürüzlülük değerleri ölçümü gerçekleştirilmiştir. Polimetil Metakrilat numune yüzeyinde çizik testi sonrası aşındırıcı partiküllerin oluşturduğu hasar bölgesinin topografyasını ve etki alanını ortaya koymak amacıyla da profilometre ile yüzey alan pürüzlülük taramaları yüksek hassasiyette yapılarak analiz edilmiştir.

Çizik testinden sonra A numunesi (46,501Newton yük, 1 mm/s çizik hızı, Vickers batıcı uç ve 1-2-6 ve 12 tekrar çizik sayısı) grafikleri incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 2 katı arttığı

görülmekte ve numune yüzeyinin alan pürüzlülük parametre değerlerinin de arttığı görülmektedir.

B numunesi (23,153Newton yük, 1 mm/s çizik hızı, Vickers batıcı uç ve 1-2-6 ve 12 tekrar çizik sayısı) grafikleri incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 2 katı arttığı görülmekte ve numune yüzeyinin alan pürüzlülük parametre değerlerinin de arttığı görülmektedir. B numune parçasının (12,857Newton, 1 mm/s çizik hızı, Vickers batıcı uç ve 1-2-6 ve 12 tekrar çizik sayısı) grafiği incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 2 katı arttığı görülmekte ve alan pürüzlülük parametre değerlerinin de 3 kat arttığı görülmektedir.

C numunesi (46,501Newton yük, 5 mm/s çizik hızı, Vickers batıcı uç ve 1-2-6 ve 12 tekrar çizik sayısı) incelendiğinde çizik hız sayısının artması ve çizik yükünün 46,501Newton olması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 5 katı arttığı görülmektedir. 23,153Newton ile çizilen grafiği incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 5 katı arttığı görülmekte ve çizik tekrar sayısının artması ile numune yüzeyinin alan pürüzlülük parametre değerlerinin arttığı görülmektedir.

D numunesi (12,857Newton yük, 5 mm/s çizik hızı, Vickers batıcı uç ve 1-2-6 ve 12 tekrar çizik sayısı) grafikleri incelendiğinde çizik tekrar sayısının artması ve çizik hız sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin 4 katı arttığı görülmekte ve alan pürüzlülük parametre değerlerinin arttığı görülmektedir

E numunesi (12,857Newton yük, 1 ve 2 mm/s çizik hızı, Vickers batıcı uç ve 1tekrar çizik sayısı) grafikleri incelendiğinde çizik hız sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin çok az değerde düştüğü görülmekte ve alan pürüzlülük parametre değerlerinin azaldığı görülmektedir.

F numunesi (46,501Newton yük, 1-2-3-4-5-7,5 ve 10 mm/s çizik hızı, Rockwell batıcı uç ve 1tekrar çizik sayısı) incelendiğinde çizik hız sayısının artması ile numune yüzeyinin pürüzlülük parametrelerinin Ra ile Rv değerlerinin pek değişmediği, Rp ve Rz değerlerinin ise düştüğü görülmekte ve alan pürüzlülük parametre değerlerinin de küçük bir değerde azaldığı görülmektedir.

Bu durum çizik test hızının yüzey pürüzlülük değerleri ve alan pürüzlülük değerlerini pek etkilemediği, buna bağlı olarak malzeme yüzeyinde uygulanan çizik yükünün ve çizik tekrar sayısını ise yüzey pürüzlülük değerleri ve alan pürüzlülük değerlerini arttırdığı ve çizik tekrar sayısının pürüzlülük parametrelerinin artmasında daha yüksek oranda etkili olduğu yapılan çizik test denemeleri ile açıklanabilir.

Polimetil Metakrilat malzemesinin çizik testi sonrası göstermiş olduğu çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının Fab değerlerinin incelenmesi;

Polimetil Metakrilat (PMMA) malzemesinin çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının Fab değerlerini hedef malzeme yüzeyine etkisini incelemek amacı ile 46,501N, 23,153N ve 12,857N çizik yükü ile 1-2-3-4-5-7,5 ve 10 mm/s çizik hızında ve 1-2-6 ve 12 tekrar çizik sayısında uygulanan testlerinin görüntüleri incelenmiştir.

A numune parçalarının ortalama çizik derinlik ve çizik oluk alanları, çizik tekrar sayısının artması ile değiştiği görülmektedir. A-2 numunesinin çizik derinlik alanı çizik oluk alanından küçüktür. Bu durum A-2 numunesinin Fab faktörünün eksi değerde çıkmasına sebep olmuştur.

B numunesinin çizik derinlik alanları ve çizik oluk alanlarının çizik tekrar sayısı ile orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. B-5 numune parçasından B-8 numune parçasındaki sayısal değişim Fab değerlerinde 0,1 ile 0,2 aralığında göstermiştir. Bu durum A numunesindeki 45,501Newton yük ve B numunesi 12,857Newton ile çizilen değerlerde farklılık olduğu, 23,153N ile çizilen numunelerin değerlerinde ise tekrar sayısı arttığında belli bir oranda artış gösterdiği görülmüştür.

C numunesi, 5mm/s hız ile çizilmesi ile bazı numunelerin (C-2, C-3 ve C-4) çizik oluk genişliklerinin çizik derinlik alanından fazla değerde çıkmasına ve böylece Fab sayısal değerlerinin de eksi değerde çıkmasına sebep olmuştur. B numunesinden farklı olarak çizik test yükü 46,501N ile çizilmiş, aynı yük sayılarına sahip olmasına ve aynı tekrar sayısında çizilmesine rağmen çizik test hızının 5 kat artması ile C numunesinde çizik oluk genişliklerinin alanının çizik hızı ile arttığı görülmüştür. Bu durumun çizik derinlik alanlarının çizik oluk derinlik alanlarından daha fazla değerde olduğu ve bunun sebebi olarak çizik hız sayısının ve çizik yük sayısının fazla olması

Fab faktörü üzerinde etkin bir rol oynadığı sonucuna varıldığı öngörülmektedir. C-5 numune parçasından C-8 numune parçasındaki sayısal değişim Fab değerlerinde farklılık göstermiştir. Bu durum 23,153Newton yük ile çizilen numunelerin değerlerinde 0,1 ile 0,2 aralığında olduğu görülmüştür.

D numunesinin çizik test hız sayısının 5mm/s olmasına rağmen çizik test yük değerinin 12,857N yük olması sebebi ile D numunesinin Fab faktör değerleri eksi değerde çıkmamıştır. 12,857Newton yük ve 5 mm/s çizik hızı ile çizilen D numunelerinin artı değerde olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar bu durumun çizik derinlik alanlarının çizik oluk derinlik alanları ile aynı oranda artış gösterdiği ve çizik test yükünün düşük değerde olması ile bu sonuca varıldığı öngörülmektedir.

12,857N yük ile çizilen E numunelerin 1 ve 2 mm/s çizik hızı ile çizilmesi E-1 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $205 \mu\text{m}^2$, E-2 numunesinin çizik oluk genişliğinin alanı $196 \mu\text{m}^2$ 'ye düştüğü görülmüştür. E-1 numunesinin çizik derinliğinin alanı $339 \mu\text{m}^2$, E-2 numunesinin çizik derinliğinin alanı $309 \mu\text{m}^2$ 'ye düştüğü görülmüştür. E-2 numune parçasının daha düşük değer göstermesi çizik hızını E-1 numunesine göre 2 kat fazla olmasıdır. Elde edilen bu sonuçlar bu durumun çizik derinlik alanlarının çizik oluk derinlik alanları ile aynı oranda düşüş gösterdiği ve çizik test yükünün düşük değerde olması ile çizik test hızının artması ile bu sonuca varılmaktadır.

46,501N yük ve 1-2- 3- 4- 5- 7,5 ve 10 mm/s çizik hızı ile çizilen F numunelerinin artı değerde olması ve çizik test hızının artması ile çizik oluk genişlik alanlarının ve çizik derinlik alanlarının azaldığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar bu durumun çizik derinlik alanlarının ve çizik oluk genişliğinin alanlarının çizik hızının artması ile çizik hız sayısının ve çizik yük sayısının fazla olması Fab faktörü üzerinde etkin bir rol oynadığı sonucuna varılmaktadır.

Sonuç olarak tez çalışmasında yapılan çizik testinde olan çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının grafikleri incelendiğinde; çizik tekrar sayısının artması ile çizik oluk yığıntılarının arttığı ve çizik derinlik alanlarının arttığı görülmektedir. Çizik test hızının artmasının ise çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının azaldığını ve çizik yük sayısının yüksek değerde olması çizik oluk genişliklerinin ve çizik derinlik alanlarının artmasına sebep olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Cheng Q., Jiang C., Zhang J., Effect of Thermal Asing on the Scratch Behavior of Polymethylmethacrylate, *Tribology International*, DOI:10.1016/j.triboint.2016.04.013.
- [2] Zhang J., Jiang H., Jiang C., Cheng Q., Guozheng K., In-Situ Observation of Temperature Rise During Scratch Testing of Poly (methylmethacrylate) and Polycarbonate, *Tribology International*, DOI:10.1016/j.triboint.2015.10.037.
- [3] Kurkcu P., Andena L., Pavan A., An Experimental Investigation of the Scratch Behaviour of Polymers:1.Influence of Rate-Dependent Bulk Mechanical Properties, *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2012.05.005.
- [4] Silva da L.R.R., Ruzzi R.S., Teles V.C., Sales W.F., Guesser W.L., Machado A.R., Analysis of the coefficient of friction at the workpiece-tool interface in milling of high strength compacted graphite cast irons, *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2019.01.111.
- [5] Lee K., Marimuthu K. P., Kim C-L., Lee H., Scratch-tip-size effect and change of friction coefficient in nano / micro scratch tests using XFEM, *Tribology International*, DOI: 10.1016/j.triboint.2018.01.003.
- [6] Jiang H., Browning R., Sue H-J., Understanding of Scratch-Induced Damage Mechanisms in Polymers, *Polymer*, 2009, **50** (16), 4056-4065.
- [7] Önen B., Fidan S., Sınmazçelik T., Çınar A., Erozi Aşınma Davranışına Nozuldaki Çap Daralmasının Etkileri, *VI. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, Kocaeli, Türkiye, 28-30 Eylül 2016.
- [8] Çolak A., Mindivan F., Göktaş M., İndirgenmiş Grafen Oksit Katkılı UHMWPE Kompozitin Kuru ve Sulu Ortamlarda Aşınma Davranışlarının Karşılaştırılması, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2019, DOI: 10.17100/nevbiltek.633270.
- [9] Fidan S., Bora M.Ö., Çoban O., Akagündüz E., The Scratch Behavior of Accelerated Aged Carbon Fiber- Reinforced Epoxy Matrix Composite, *Polymer Composites*, 2016, **37** (12), 3527-3534.
- [10] Bel T., Arslan C., Baydoğan N., PMMA/ Mikroküre/ Montmorillonite nanokompozit ve PMMA/ Mikroküre/Halloysite nanokompozitin atom transfer radikal polimerizasyon tekniği ile üretilmesi ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2019, **34** (2), 687-700.

- [11] Zhang J., Zhao S., Zhang J., Influence of substrate and interfacial adhesion on the scratch resistance of poly(methylmethacrylate), *Materials and Design*, DOI:10.1016/j.matdes.2020.108984.
- [12] Xu Y., Qin J., Zhang X., Shen J., Guo S., Sue H-J., Enhancing scratch damage resistance of PMMA via layer assembly with PVDF: Numerical modeling prediction and experimental verification, *Polymer*, DOI: 10.1016/j.polymer.2020.122382.
- [13] Moghbelli E., Banyay R., Sue H-J., Effect of moisture exposure on scratch resistance of PMMA, *Tribology International*, DOI: 10.1016/j.triboint.2013.08.012.
- [14] Sönmez M., Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2009, 291977.
- [15] Callister W. D., Rethwisch D. G., *Materials Science and Engineering*, 8th ed., Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2013.
- [16] Bayrak Ö., Silikon Yağı İlave Edilen Polimetilmekatriolat (PMMA) Protez Kaide Materyalinin Mekanik ve Mikrobiyolojik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 194987.
- [17] Yiğit Y., The Effect Of Borax Addition To Poly(Methyl Mathacrylate), M. Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Energy Institute, Energy Science and Technology Division, Istanbul, 2020, 611170.
- [18] Ghadiri H., Polimetil Metakrilat/Çinko Oksit Nanokompozit Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2017, 460958.
- [19] Demirci M. T., Polimer Esaslı Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2009, 238112.
- [20] Erdem S., Çatıda Kullanılan Polimer Kökenli Levhaların Karşılaştırmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 223958.
- [21] Saydam N., Polimetilmetakrilat (PMMA) Plastik Atıkların Katalitik Pirolyzi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2012, 312049.
- [22] Baksan B., Polimetilmetakrilat Malzemenin Mikrodalga ile Otojen Kaynağı, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2019, **8** (1), 576-582.

- [23] Arslan Güner Ç., Karacaer Ö., Doğan A., Cam Fiber ve İki Farklı Polimerizasyon Yönteminin Polimetil Mekatrilatların Artık Monomeri Üzerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2011, **28** (2), 81-86.
- [24] Kaya A., U., İki Yönlü Yönlendirilmiş Polimerlerin Mekaniksel Anizotropisinin Tek Yönlü Yönlendirilmiş Polimerlerin Mekaniksel Anizotropisi Cinsinden İfadesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006, 198661.
- [25] Çakırsoy A., Otomotiv Sektöründe Kullanılmak Üzere Çinko Borat Katkılı Plastik Aksamaların Termal, Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017, 478556.
- [26] Baydar U., Polimer Betonların Yüzey Yapışma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2016, 470806.
- [27] Avcı H., Üreyen M.E., Kılıç A., Sağlam A. E., Demir A., Güç Tutuşur Polipropilen Polimeri ve Lif Uygulamalarında Son Gelişmeler ve Gelecek Beklentileri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2019, **24** (2), 609-632.
- [28] Aydın Z., İletken Poli (Etilen Teraftalat) / Polipirol Kompozit Liflerinin Kimyasal Polimerizasyonla Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 213818.
- [29] Ataşalan M. F., Otomotiv Aydınlatma Sektöründe Optik Tasarım ve Analizlerin İyileştirilmesi için Renkli PMMA Plakaların Üretimi ve Optik Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2018, 514839.
- [30] https://tr.wikipedia.org/wiki/Okinawa_Churaumi_Akvaryumu (Ziyaret Tarihi: 16 Aralık 2020).
- [31] <http://turkish.cncmachiningprototype.com/sale-8558022-high-transparent-pmma-material-cnc-machined-rapid-prototyping-for-car-light.html> (Ziyaret Tarihi: 17 Aralık 2020).
- [32] Turhan E., Mimari Tasarımda Cam Kullanımı ve Alışveriş Merkezlerinde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 222846.
- [33] <https://www.behance.net/gallery/13522977/Oxi> (Ziyaret Tarihi: 16 Aralık 2020).
- [34] <https://kisi.deu.edu.tr/burak.felekoglu/04.Polipart1.pdf> (Ziyaret Tarihi: 16 Aralık 2020).

- [35] <https://www.pagev.org/pmma> PAGEV. Polimetil Metakrilat (PMMA) (Ziyaret Tarihi: 16 Aralık 2020).
- [36] Yılmaz B., Pmma/Nanohidroksiapatit Nanokompozitlerinin Sitotoksik Etkilerinin ve Hemouyumluluğunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Balıkesir, 2015, 395592.
- [37] Kümbüloğlu Ö., Oral O., Biyomateryaller, *Ege Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2013, **34** (1), 27-33.
- [38] Zafar M., S., Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA), *Polymers 2020*, 2020, **12** (10), 2-35.
- [39] Akçay D., Poli(metil metakrilat)/Bentonit Nanokompozitin Kütle Polimerizasyonu Yöntemiyle Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 184000.
- [40] Özkan F., Polimerik Malzemelerde Yüzey Çizilme Direncinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2020, 629636.
- [41] Teber C., Düşük Yayımlı Kaplamalı Camların Çizilme Dirençlerinin Belirlenmesi ve Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 510703.
- [42] Güneysu H., Effects of Anti-Scratch Additives on The Properties of Polypropylenes, M. Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, Istanbul, 2014, 353740.
- [43] Şimşek T., Zirkonyum Diborür Nano Kristal Kaplanmış Farklı Malzemelerin Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 371583.
- [44] Bendes O., Reaktif DC Manyetik Alanda Sıçratma Tekniği ile Elde Edilen Kaplamaların Motor Parçalarının Aşınma Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2010, 274979.
- [45] [http://200.17.228.88/disciplinas/EME715/Normas%20AT/Ensaio%20Riscament o/coating-failure-scratch.pdf](http://200.17.228.88/disciplinas/EME715/Normas%20AT/Ensaio%20Riscament%20o/coating-failure-scratch.pdf) (Ziyaret Tarihi: 29 Ocak 2021).
- [46] Wong Hao M., The Development of Scratch Test Methodology and Characterization of Surface Damage of Polypropylene, Yüksek Lisans Tezi, Texas A&M University, Office of Graduate Studies, College Station, 2003.
- [47] Çalışkan H., Nanotabakalı AlTiN/TiN Kaplanmış Karbür Kesici Takımların Sert Malzemelerin Frezelenmesinde Aşınma Davranışlarının ve Kesme Performanslarının Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2012, 318184.

- [48] Gauthier C., Schirrer R., Time and temperature dependence of the scratch properties of poly(methylmethacrylate) surfaces, *Journal of Material Science*, 1999, **35** (2000) 2121-2130.
- [49] Aksulu M., Polimerlerin Aşınmasında Karşı Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 223396.
- [50] BAYSAL, B., *Polimer Kimyası*, 1st ed., Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1981.
- [51] Boynueyri D., PVD Yöntemi ile İnce Kaplanmış Kesici Takımların Mikro Ölçekli Aşınma Testi ile Aşınma Dayanımının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 2019, 594281.
- [52] Özkavak H. V., Plazma ile Polimer Kaplanmış Metalik Malzemelerin Bazı (Tribolojik) Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2013, 341574.
- [53] <https://www.muhendisbeyinler.net/asinma-nedir-asinma-cesitleri/> (Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021).
- [54] Soykut A., Y., Cam Şekillendirme Makinalarındaki Aşınan Parçalara Uygulanan Yüzey İşlemlerinin Performansa Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 252197.
- [55] <https://tombrowninc.com/blog/understanding-adhesive-failures/> (Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021).
- [56] <http://www.turkchem.net/kaplamalarin-mekanik-karakterizasyonunda-anton-paar-cozumleri.html> (Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2021).
- [57] <https://docplayer.biz.tr/165439284-Enstrumantal-indentasyon-test-cihazlari-cizik-test-cihazlari-nano-tribometreler-kaplama-kalinligi-test-cihazlari.html> (Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2021).
- [58] <https://www.anton-paar.com/tr-tr/ueruenler/grup/cizik-testi/> (Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021).
- [59] <https://www.kuark.org/2017/10/yuzey-puruzluluk-olcumu/#prettyPhoto> (Ziyaret Tarihi: 19 Ocak 2021).
- [60] Özdemir M., Analysis of the Effect Rates of Cutting Parameters on Surface Roughness using Surface Response Method, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2019, **7** (3), 639-648.
- [61] Öktem H., Kalıp Parçalarının Frezelenmesi Sonucunda Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009, 259410.

- [62] Güler Ü., Termoplastiklerin Ekstrüzyonunda Kalıp Yüzey Pürüzlülüğünün Akış Hızı ve Basınç Düşürme Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2012, 320866.
- [63] Kurt İ., Farklı Yüzey Pürüzlendirmeleri Yapılmış Monolitik Zirkonya, Feldspatik Porselen ve Hibrit Porselen Materyali ile Ortodontik Metal Ataşman Arası Bağlantı Direncinin ve Debonding Sonrası Yüzey Özelliklerinin İn-Vitro İncelenmesi, Doktora Tezi, Başkent Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Ortodonti, Ankara, 2016, 437437.
- [64] <https://www.keyence.com/ss/products/microscope/roughness/line/> (Ziyaret Tarihi: 11 Şubat 2021).
- [65] Çakıroğlu R., Elektro Erozyon ile İşlemede Yüzey Bütünlüğünün Yorulma Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisan Üstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, 2020, 636587.
- [66] <https://www.slideshare.net/CarlosAlbertoRamrezM/surface-roughness-parameters-en> (Ziyaret Tarihi: 03 Nisan 2021).
- [67] <https://www.makinaegitimi.com/rockwell-sertlik-olcme-yontemi/> (Ziyaret Tarihi: 03 Nisan 2021).
- [68] Kuzu C., Birincil Seviyeli Rockwell Sertlik Standardı Makinesi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006, 197924.
- [69] <http://www.mi-net.co.uk/mechanical-testers.php> (Ziyaret Tarihi: 14.01.2021).
- [70] <http://www.nanosis.com.tr/en/product/U123/mechanical-testers> (Ziyaret Tarihi: 14 Ocak 2021).
- [71] http://www.mi-net.co.uk/images/PS50_new.jpg (Ziyaret Tarihi: 14 Ocak 2021).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Ayşin Ç.**, Fidan S., Sinmazçelik T., Ürgün S., Tek ve Tekrarlı Çizilme Testlerinin PMMA (polimetil metakrilat) Yüzey Hasarlarına Etkileri, 5. *Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi UBCAK*, 15-17 Mart 2021.



ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini Kocaeli’de tamamladı. Açık Öğretim Lisesi, Fen Bilimleri bölümünden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu. 2018 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Havacılık Bilimi ve Teknolojileri Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

