

T.C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞİK FİBERLERLE GÜÇLENDİRİLEN
PROTEZ KAİDE REZİNLERİNİN BAZI
MEKANİKVE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

HAKAN DEMİR

DOKTORA TEZİ

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. ORHAN MURAT DOĞAN

SİVAS
2008

SINAV TUTANAĞI


Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03/04/2008 tarih ve 2008/4 sayılı karar ile oluşturulan jürimiz, Protetik Diş Tedavisi programı doktora öğrencisi Dt. Hakan DEMİR'in tez savunma sınavını yapmak üzere Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalında toplanılmıştır.

Jüri tez savunma sınavı sonucunda adayın tezinin *başarılı olduğuna* karar verilmiştir.

Karar oybirliği / ~~oy çokluğu~~ ile alınmıştır. 06/05/2008


Prof. Dr. Bülent BEK
Başkan


Prof. Dr. Arife DOĞAN
Üye


Prof. Dr. O. Murat DOĞAN
Üye


Doç. Dr. Giray BOLAYIR
Üye


Doç. Dr. Ali BOZTUĞ
Üye

Çalışmam sırasında bana destek olan aileme...

ÖZET

DEĞİŞİK FİBERLERLE GÜÇLENDİRİLEN PROTEZ KAİDE REZİNLERİNİN BAZI MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hakan DEMİR

Doktora Tezi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Orhan Murat DOĞAN

2008, 92 sayfa

Bu in vitro çalışmanın amacı, rasgele oryantasyonla 2, 4 ve 6mm uzunluklarda ve ağırlıkça %3 konsantrasyonda beş farklı estetik fiberle protez kaide rezinini güçlendirmenin, sonuç yapıda çekme dayanımı, bükülme özellikleri ve su emme üzerine etkilerini araştırmaktır.

Protez kaide plağı olarak yaygın kullanılan PMMA rezin kontrol örneklerine ilaveten, üç farklı uzunlukta naylon 6, rayon, E-cam, polyester ve naylon 6,6 fiberlerin ilave edildiği toplam 210 rezin örnek, test gereksinimlerine göre hazırlanan standart kalıplar yardımıyla elde edildi. Mekanik test öncesi örnekler, 37°C de 24 saat su içinde bekletildi. Çekme dayanımı ve bazı bükülme özelliklerini değerlendirmek için, çekme (n=5) ve üç nokta eğme (n=5) testleri universal test cihazı (Lloyd NK5, Lloyd Instruments Ltd, Fareham Hampshire, UK) ile 5mm/dakika hız ile uygulandı. Bükülme testi sonrası her bir grup için tipik kırık yüzeyler, taramalı elektron mikroskopla polimer matris/fiber ara-yüz bağlantısı için incelendi. Su emilimi testi (n=25), örnek boyutları dışında, ISO 1567:1999 standardına göre yapıldı ve değerler beş farklı zaman periyodunda kaydedildi. Tüm testler oda ısısında yapıldı; elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edildi.

Değişik uzunlukta fiber ilavesi, rezinin çekme ve bükülme dayanım özelliklerini önemli ölçüde etkilemezken, su emilimini farklı gruplarda düzenli olmayan şekilde etkiledi.

Mekanik test sonuçları, deneysel gruplarda rezin matrikse fiber ilavesinin kontrol grubu örneklerinininkine oranla çekme ve bükülme dayanımlarında önemli artış sağlamadığını gösterdi. En yüksek çekme ve bükülme dayanımları, sırasıyla 6mm uzunlukta polyester ve rayon fiber ilave edilen gruplar için elde edildi. SEM analizi ile fiber/polimer matriks adezyonu, yalnızca cam fiberle güçlendirilen örneklerde görüldü.

Su emilim test sonuçları, test edilen zaman dilimleri içerisinde, fiber ilave edilen grupların zamana bağlı olarak su emme değerlerinin arttığını gösterdi. Gruplar arasında en yüksek su emme değeri, IV. haftada 4mm uzunlukta rayon fiberle güçlendirilen örneklerde kaydedildi.

Sonuçlar, bu fiberlerin klinikte kullanımları açısından, incelenen mekanik özellikler dışında daha ileri çalışmalar yapılmasına işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Akrilik rezin, fiber, güçlendirme, çekme dayanımı, bükülme özellikleri, su emilimi

ABSTRACT

THE EVALUATION OF SOME MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF DENTURE BASE RESINS REINFORCED WITH DIFFERENT TYPE OF FIBERS

Hakan DEMİR

Doctoral Thesis, Department of Prosthodontics

Supervisor: Prof. Dr. Orhan Murat DOĞAN

2008, 92 pages

The aim of this in vitro study is to determine some tensile and flexural properties and water absorption of a denture base material reinforced with 5 different types of esthetic fibers randomly oriented at a concentration of 3% by weight and in 2,4 ve 6mm lengths, respectively.

In addition to PMMA resin control ones, total 210 specimens made of the same resin with, nylon 6, rayon, E-glass, polyester and nylon 6,6 fibers in 3 different lengths were obtained using by standard test patterns prepared according to the test requirements used. Specimens were stored in distilled water at 37° C for 24 hours before mechanical tests. In order to determine the tensile strength and some flexural properties, tensile test (n=5) and three point bending test (n=5) were applied using a universal test device with a cross-head speed of 5mm/min, respectively. After three point bending test, the fracture surfaces of representative specimens of each specimen group were observed under scanning electron microscope for determining adhesion properties between polymer matrix and fiber systems. Water absorption test (n=25) was made according to ISO1567:1999 standard except to the size of the specimens and determined for 5 different of time-periods. All tests were performed at room temperature and data were analysed statistically.

The incorporation of different fibers in varying lengths had no any significant effect on the tensile and flexural properties of the resin, whereas it influenced significantly water absorption values of different groups in varying degrees.

The mechanical test results revealed that adding fibers into resin matrix made no any improvement in tensile and flexural properties compare to those of control specimens. The highest tensile strength and flexural strength values were obtained for the specimens reinforced with polyester and rayon fibers in 6mm length, respectively. SEM analysis showed that there was good adhesion between fiber and polymer matrix on the specimens with reinforced with E-glass fibers.

The result of water absorption test indicated that the water sorption values of all fiber-reinforced groups were time-dependent; the highest value among the fiber-reinforced groups was recorded for 4mm of rayon fiber-reinforced ones in the end of four weeks.

The results of this study suggest that further studies investigating the other mechanical properties of such systems are necessary from the clinical standpoint.

Key words: Acrylic resin, fiber, reinforcement, tensile strength, flexural properties, water absorption

TEŞEKKÜR

Bilgi birikimi ve tecrübeleriyle bana hep rehber olan danışmanım Prof. Dr. Orhan Murat DOĞAN'a doktora tezim süresince bana gösterdikleri sabır, anlayış ve destek için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamızda yönlendirici katkıları için Prof. Dr. Arife DOĞAN'a; manevi destek ve ilgilerini hissettiğim Prof. Dr. Bülent BEK'e; kimya alanındaki katkılarından dolayı Doç. Dr. Ali BOZTUĞ'a, yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Giray BOLAYIR'a ve SEM çekimlerindeki yardımlarından dolayı Yard. Doç. Dr. Mehmet TURGUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, mekanik testlerin uygulanma aşamasındaki katkılarından dolayı Araştırma Görevlisi Selda KESKİN'e ve istatistiksel değerlendirme için Yard. Doç. Dr. Ziyet ÇINAR'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER DİZİNİ.....	xv
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Polimerin yapısı.....	4
2.2 Metil metakrilat.....	4
2.3 Poli (metil metakrilat).....	5
2.4 Polimerizasyon.....	6
2.4.1 Katılma polimerizasyonu (zincir polimerleşmesi).....	7
2.4.2 Kondensasyon polimerizasyonu (basamaklı polimerleşme).....	8
2.5 Polimerlerin diğer özellikleri.....	8
2.5.1 Polimerlerin çözünmesi ve bozunması.....	8
2.5.2 Polimerlerin toz parçacık boyutu, molekül ağırlığı ve polimerizasyon derecesi... 8	
2.6 İdeal protez kaide materyalinin özellikleri.....	10
2.7 Polimerize olmuş PMMA'nın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	10
2.7.1 Yük (Load).....	10
2.7.2 Gerilim (Stress).....	10
2.7.3 Gerilme (Strain).....	11
2.7.4 Dayanım (Strength).....	12
2.7.4.1 Transvers dayanım (Transverse strength).....	12
2.7.4.2 Young's modülü (Elastiklik modülü).....	13
2.7.4.3 Çarpma direnci.....	14
2.7.4.4 Çekme dayanımı.....	14
2.7.5 Su emilimi.....	14
2.7.6 Boyutsal stabilite.....	15
2.8 Tam protez kaide plağının kırılmasında etkili olan faktörler.....	16
2.8.1 Protezin ilişkide olduğu anatomik yapılar.....	17
2.8.2 Kaide plağının deformasyonu.....	18
2.8.3 Kaide plağı ile destek doku uyumsuzluğu.....	18
2.8.4 Tekrarlanan protez tamirleri.....	19
2.9 Akrilik kaide rezinlerinin dental fiber sistemleri ile güçlendirilmesi.....	19
2.9.1 Karbon fiberler.....	20
2.9.2 Aramid fiberler.....	21
2.9.3 Polietilen fiberler.....	21
2.9.4 Cam fiberler.....	22
2.10 Fiber/rezin kompozit yapının mekanik özelliklerini etkileyen faktörler.....	24
2.10.1 Fiber formu.....	24
2.10.2 Fiber uzunluğu.....	26
2.10.3 Fiber miktarı.....	26
2.10.4 Fiber-akrilik rezin bağlanma mekanizması.....	27

3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	29
3.1 Örneklerin hazırlanması.....	29
3.2 Çekme dayanım testi.....	31
3.3 Transvers dayanım testi.....	32
3.4 Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemesi.....	33
3.5 Su emilim testi.....	34
3.6 İstatistiksel değerlendirme.....	34
4. BULGULAR.....	36
4.1 Çekme dayanım test sonuçları.....	36
4.2 Transvers dayanım test sonuçları.....	46
4.3 Taramalı elektron mikroskop (SEM) bulguları.....	53
4.4 Su emilim test sonuçları.....	55
4.4.1 Fiber gruplarının kendi içinde uzunluk yönünden değerlendirilmesi.....	55
4.4.2 Değişen test zaman dilimlerinde kontrol ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen test gruplarına ait su emilim değerlerinin gruplar arası kıyaslaması.....	64
4.4.3 Kontrol ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen test gruplarında, test zaman dilimleri aralarındaki su emilim değerlerinin grup içi kıyaslaması.....	69
5. TARTIŞMA.....	74
6. SONUÇLAR.....	85
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.7.1 Basit bir basma ve çekme testi sonrası elde edilen gerilim-gerilme grafiği (McCabe,1990).....	12
Şekil 2.7.2 Transvers dayanım testi.....	13
Şekil 3.1.1 Çekme dayanım test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan paslanmaz çelik kalıp.....	29
Şekil 3.1.2 Transvers dayanım test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan paslanmaz çelik kalıp.....	30
Şekil 3.1.3 Muflaya alınmış mum örnekler.....	30
Şekil 3.2.1 Fiber ilavesi yapılan çekme testi örnekleri.....	32
Şekil 3.3.1 Fiber ilavesi yapılan üç nokta eğme testi örnekleri.....	32
Şekil 3.3.2 Transvers direnç testi.....	33
Şekil 3.5.1 Fiber ilavesi yapılan su emilimi test örnekleri.....	34
Şekil 3.5.2 a. Desikatör b. Hassas terazi c. Su banyosu.....	35
Şekil 4.1.1 Grupların kendi içlerindeki Young's modülü değerleri.....	39
Şekil 4.1.2 Grupların kendi içlerindeki maksimum yük değerleri.....	39
Şekil 4.1.3 Grupların kendi içlerindeki maksimum uzama değerleri.....	40
Şekil 4.1.4 Grupların kendi içlerindeki gerilim kuvveti değerleri.....	40
Şekil 4.1.5 Grupların kendi içlerindeki maksimum gerilme yüzdesi değerleri.....	41
Şekil 4.1.6 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki Young's modülü değerleri.....	43
Şekil 4.1.7 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum yük değerleri.....	44
Şekil 4.1.8 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum uzama değerleri.....	44
Şekil 4.1.9 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki gerilim kuvveti değerleri.....	45
Şekil 4.1.10 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum gerilme yüzdesi değerleri.....	45
Şekil 4.2.1 Grupların kendi içlerindeki maksimum sapma değerleri.....	48
Şekil 4.2.2 Grupların kendi içlerindeki maksimum bükülme dayanım değerleri.....	48
Şekil 4.2.3 Grupların kendi içlerindeki bükülme modülü değerleri.....	49
Şekil 4.2.4 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum sapma değerleri.....	51
Şekil 4.2.5 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum bükülme dayanım değerleri.....	52
Şekil 4.2.6 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki bükülme modülü değerleri.....	52
Şekil 4.3.1 Fibersiz kontrol PMMA örneği (x 230).....	53
Şekil 4.3.2 N6 fiberli PMMA örnekler: a (x 200); b (x 580).....	53
Şekil 4.3.3 RY fiberli PMMA örnekler: a (x 300), b (x 3000).....	54
Şekil 4.3.4 SMC3 fiberli PMMA örnekler: a (x 176); b (x 960).....	54
Şekil 4.3.5 PE fiberli PMMA örnekler: a (x 64); b (x 860).....	55
Şekil 4.3.6 SM6 fiberli PMMA örnekler: a (x 75); b (x 300).....	55
Şekil 4.4.1.1 I. güne ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri.....	59
Şekil 4.4.1.2 II. güne ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri.....	59
Şekil 4.4.1.3 I. haftaya ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri.....	60
Şekil 4.4.1.4 II. haftaya ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri.....	60

Şekil 4.4.1.5 IV. haftaya ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri....	61
Şekil 4.4.1.6 I. güne ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri.....	61
Şekil 4.4.1.7 II. güne ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri.....	62
Şekil 4.4.1.8 I. haftaya ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri.....	62
Şekil 4.4.1.9 II. haftaya ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri.....	63
Şekil 4.4.1.10 IV. haftaya ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri.....	63
Şekil 4.4.2.1 Kontrol ve 2mm gruplarının test zaman dilimleri içerisinde gösterdikleri su emilim değerleri.....	67
Şekil 4.4.2.2 Kontrol ve 4mm gruplarının test zaman dilimleri içerisinde gösterdikleri su emilim değerleri.....	68
Şekil 4.4.2.3 Kontrol ve 6mm gruplarının test zaman dilimleri içerisinde gösterdikleri su emilim değerleri.....	68
Şekil 4.4.3.1 Test zaman dilimleri içerisinde kontrol ve 2mm gruplarının gösterdikleri su emilim değerleri.....	72
Şekil 4.4.3.2 Test zaman dilimleri içerisinde kontrol ve 4mm gruplarının gösterdikleri su emilim değerleri.....	73
Şekil 4.4.3.3 Test zaman dilimleri içerisinde kontrol ve 6mm gruplarının gösterdikleri su emilim değerleri.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.1 Test grupları, kullanılan test yöntemleri ve örnek sayılarının test yöntemine göre dağılımı.....	30
Çizelge 3.1.2 Çalışmada kullanılan fiber tipleri.....	31
Çizelge 4.1.1 N6 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları.....	36
Çizelge 4.1.2 RY fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları.....	36
Çizelge 4.1.3 SMC3 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları.....	37
Çizelge 4.1.4 PE fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları.....	37
Çizelge 4.1.5 SM6 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları.....	38
Çizelge 4.1.6 2mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda çekme dayanım test sonuçları.....	42
Çizelge 4.1.7 4mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda çekme dayanım test sonuçları.....	42
Çizelge 4.1.8 6mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda çekme dayanım test sonuçları.....	43
Çizelge 4.2.1 N6 fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları.....	46
Çizelge 4.2.2 RY fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları.....	46
Çizelge 4.2.3 SMC3 fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları..	47
Çizelge 4.2.4 PE fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları.....	47
Çizelge 4.2.5 SM6 fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları...	47
Çizelge 4.2.6 2mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda transvers test sonuçlarının karşılaştırılması.....	49
Çizelge 4.2.7 4mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda transvers sonuçlarının karşılaştırılması.....	50
Çizelge 4.2.8 6mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda transvers test sonuçlarının karşılaştırılması.....	51
Çizelge 4.4.1.1 N6 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları.....	56
Çizelge 4.4.1.2 RY fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları.....	56
Çizelge 4.4.1.3 SMC3 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları.....	57
Çizelge 4.4.1.4 PE fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları.....	58
Çizelge 4.4.1.5 SM6 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları.....	58
Çizelge 4.4.2.1 2mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda su emilim test sonuçları.....	64
Çizelge 4.4.2.2 4mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda su emilim test sonuçları.....	65
Çizelge 4.4.2.3 6mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda su emilim test sonuçları.....	66

Çizelge 4.4.3.1 2mm uzunlukta ilave edilen değişik fiberlerin değişen zamanlarda ölçülen su emilim değerleri.....	69
Çizelge 4.4.3.2 4mm uzunlukta ilave edilen değişik fiberlerin değişen zamanlarda ölçülen su emilim değerleri.....	70
Çizelge 4.4.3.3 6mm uzunlukta ilave edilen değişik fiberlerin değişen zamanlarda ölçülen su emilim değerleri.....	71

SİMGELER DİZİNİ

b	Örnek genişliği (mm)
°C	Santigrad derece
cm ²	Santimetre kare
cm ³	Santimetre küp
Ç _d	Çekme dayanımı (MPa)
d	Maksimum bükülme (mm)
E	Elastiklik modülü (N/mm ²)
F	Uygulanan yük
g	Gram
h	Örnek kalınlığı (mm)
kg	Kilogram
kGy	Gama ışınlama dozu - kilogrey
l	Örnek yerleştirilen destekler arasındaki uzaklık (mm)
m ₁	İlk kurutma işleminden sonra tartılan kütle
m ₂	Su banyosundan sonra tartılan kütle
m ₃	Son kurutma işleminden sonra tartılan kütle
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
MPa	Mega Pascal
n	Örnek sayısı
N	Newton
nm	Nanometre
N/m ²	Pascal
p	Yanılma düzeyi
r _g	Fiber yoğunluğu (g/cm ³)
r _r	Rezin yoğunluğu (g/cm ³)
S _d	Standart sapma
S _n	Saniye
µm	Mikrometre
T _s	Transvers dayanım (N/mm ²)
V	Örneğin hacmi (a×b×c)
V _g	Hacimce fiber miktarı
X	Ortalama
X ²	Khi-kare değeri
W _g	Fiber miktarı (g)
W _{sp}	Su emilim değeri (mg/cm ³)
W _r	Rezin miktarı (g)

KISALTMALAR DİZİNİ

ADA	American Dental Association (Amerikan Diş Hekimleri Birliği)
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
ASTM	Amerikan Standard Test Metodları
B ₂ O ₃	Boron oksit
- C = C -	Karbon çift bağı
CaO	Kalsiyum oksit
CH ₂ CH ₂	Etilenin
ISO	International Standard Organisation (Uluslar arası Standartlar Örgütü)
MEMO	3-methacryloxypropyl trimethoxy silane
MMA	Metil metakrilat
N6	Naylon 6
N6,6	Naylon 6,6
PE	Polyester
PEG-DMA	Poliyeten glikol dimetakrilat
PMMA	Poli (metil metakrilat)
RY	Rayon
SEM	Taramalı elektron mikroskop
SMC3	E-cam
SiO ₂	Silisyum veya silisyum dioksit
TEG-DMA	Tetra-etilenglikol dimetakrilat
UHMWPE	Ultra-high molecular weight polyethylene
VTMOEO	Vinyl tris 2-methoxyethoxy silane

1. GİRİŞ

Protez kaide materyalleri, teknolojik gelişmelere paralel olarak her geçen gün sayıca artmakla birlikte, günümüzde ana madde olarak akrilik rezinin yerini alabilecek biyolojik ve mekanik özellikler açısından ideal özelliklere sahip bir materyal henüz bulunamamıştır. Son 60 yıldan beri protez kaide plağı yapımında kullanılan poli (metil metakrilat) (PMMA) akrilik rezinler, üstün estetik ve kolay manüplasyon özelliğine sahiptir; ancak, çarpma ve yorulma dirençleri gibi bazı mekanik özellikler yönünden yetersizdir.

Klinikte sıklıkla karşılaşılan akrilik protez kırıkları, henüz çözümlenmemiş bir sorun olmaya devam etmektedir. Kullanım sırasında kırık oluşumu, çıkıntılı torus palatinus, yüksek frenilum bağlantıları ve protez kaide uyumsuzluğunun yanı sıra, kaide rezinin kendi yetersiz mekanik özellikleri gibi pek çok faktörden kaynaklanabilir.

Protez kaide materyallerinin bükülme dayanım yetersizliğine bağlı gelişen kırıklar, klinikte en sık görülen tiptir ve gerilimin yoğunlaştığı alanlarda mikroskopik çatlakların gelişimiyle izah edilir. Devamlı yükleme ile durmadan büyüyen bu çatlaklar, kırık hatları oluşturarak materyali giderek zayıflatır. Sonuçta materyalin kalan sağlam kısmının mekanik kapasitesini aşan son bir yükleme siklusu, bu hatlarda kırılmaya neden olur. Bükülme dayanım testinin, klinik koşullarda yük düzenlemesini doğru yansıttığı ve protez kaide materyallerini kıyaslamada önemli bir parametre olarak rijidite hakkında fikir verdiği hususu geniş ölçüde kabul edilmiştir.

Protez kaide materyali olarak yaygın kullanılan PMMA rezinin, çapraz bağlantı ajan ilavesi, daha yüksek metakrilat esterli metil metakrilat monomer kopolimerlerinin kullanımı ve butadien stiren lastik eklenmesi gibi kimyasal modifikasyonları ile veya farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip fiberlerin katılımı ile dayanımının artırılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Rezinin farklı fiberlerle güçlendirilmesi, pratik açıdan en uygun metod olarak görülmektedir. Karbon, aramid, çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen veya cam fiberlerle güçlendirilmesi ile PMMA rezinin çarpma ve bükülme dayanımında olumlu etkiler bildirilmiş ve sonuçlar ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Bunlar arasında özellikle cam fiberler, estetik kaliteleri ve silan kaplama ajanları ile polimer matriks arasında daha iyi bağlantı sağlaması nedeni ile popülerite kazanmıştır. Bununla birlikte, protez

kaide kırıklarını azaltmak için sıkça kullanılan bu fiberler dışında, daha iyi mekanik özelliklere sahip alternatif materyal arayış çalışmaları da giderek artmaktadır.

Naylon esaslı protez kaide materyalinin bükülme özellikleri, konvansiyonel kaide reziniyle kıyaslanmış ve daha az rijit olması nedeniyle fleksibilite gerektiren vakalarda kullanımı önerilmiştir. Naylon fiberlerin kuvvetlendirici ajan olarak kullanımının sonuç yapının bükülme dayanımını olumlu etkilediği de bildirilmiştir. Öte yandan polyester fiber kullanımı ile PMMA resin çarpma dayanımında önemli oranda artış kaydedilmiştir. Viskoz rayon fiberle kuvvetlendirilmiş PMMA rezinlerde yapılan reolojik çalışma sonuçları ise, rezine bu tip fiber katılımının materyalin manüplasyon periyodunda önemli fark oluşturmadığını göstermiştir.

Sıklıkla kullanılan fiber sistemleri dışında, nispeten yeni kullanıma giren bu estetik fiberlerle elde edilen çalışma verileri, ilgili alanda yeni araştırmalar için umut vericidir ve farklı uzunlukta kullanıldığında bu fiberlerin sonuç yapının diğer bazı mekanik ve fiziksel özelliklerindeki etkilerinin belirlenmesi kullanılabilirlik yönünden önemli bilgi sağlayabilir. Bu nedenle, çalışmamızın amacı üç farklı uzunlukta kesilmiş naylon 6, rayon, E-cam, polyester ve naylon 6,6 fiberlerin ağırlıkça %3 konsantrasyonda PMMA akrilik rezine ilavesiyle elde edilen standart örneklerde çekme ve bükülme dayanım özellikleri ile su emilimi etkilerini araştırmak ve bükülme testi sonrası kırık yüzeylerde fiber/rezin bağlantı bölgesini yüzey taramalı elektron mikroskop ile değerlendirmektir.

2. GENEL BİLGİLER

Rezinler, normal sıcaklıkta katı halde bulunan, basınç ve sıcaklıkla mekanik veya kimyasal yolla şekillendirilebilen organik polimerik maddeler olarak tanımlanan kompleks yapılardır. Rezinler, polimerlerin farklı kimyasal yapılarından dolayı farklı fiziksel özellikler göstererek genel olarak termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki gruba ayrılırlar [1,2]:

Termoplastikler; kimyasal değişime uğramadan ısı ve basınç altında yumuşayıp, akan ve böylece çeşitli formlarda tekrar tekrar şekillendirilebilen, doğrusal veya dallanmış zincirler içeren polimer yapılardır. Kloroform ve aseton gibi organik çözücülerde kolaylıkla çözünebilirler. Protez kaide materyali olarak kullanılan akrilik rezinler ile polistiren ve polivinil reçineler bu gruba örnek verilebilir [2,3].

Termosetler; ısı ve basınç altında bir kez şekillendirildikten sonra tekrar şekillendirilemeyen, suda erimeyen ve yanıcı olmayan yoğun çapraz bağ içeren polimer yapılardır. Polimerizasyonla oldukça sertleşir ve kolay kırılırlar. Dolgu ve katkı maddeleri ile kalıplanarak kullanıma hazır hale getirilirler [2-4]. Toz ve likit halindeki akrilik rezin polimerize edilerek çapraz bağlandıktan sonra termoset yapı oluşur. Fenol formaldehit bu gruba örnek verilebilir [5].

Rezinler aynı zamanda tiplerine göre de sınıflandırılabilir [6]:

- Vinil rezin
- Polistiren
- Akrilik rezin
- Epoksi rezin
- Diğer rezin sistemleri
 - a) Polikarbonat
 - b) Poliüretan
 - c) Siyanoakrilat

Diş hekimliğinde en çok kullanılan akrilik rezinler etilen türevi maddeler olup, kimyasal yapılarında vinil grubu içerirler. Dental amaçlı kullanılan akrilik rezinler akrilik asit ve metakrilik asitten türetilmişlerdir; en çok metakrilik asidin metil esteri olan metil metakrilat (MMA) kullanılır. PMMA şeffaf bir rezindir. Son derece stabil olup, ultraviyole ışığı ile renk kaybına uğramaz; 125°C'de yumuşar ve 125-200°C

arasında dekompoze olur. PMMA bir zincir polimeridir; kloroform ve aseton gibi organik çözücülerde çözünür ve su emme eğilimindedir [1,7].

2.1 Polimerin yapısı

Polimer terimi birçok (poli) ve parça (mer) den oluşan molekül olarak tanımlanır. -mer takısı polimeri oluşturan kimyasal yapı ünitelerini temsil etmektedir. Böylece poli (metil metakrilat), metil metakrilattan türeyen kimyasal yapı ünitelerine sahip bir polimerdir.

Polimeri meydana getiren moleküllere monomer denir. Polimer molekülleri değişik tipte monomerlerin karıştırılmasıyla da elde edilebilir ve iki veya daha fazla kimyasal ünite içeriyorsa kopolimer olarak adlandırılır.

Polimerler için üç temel tip yapıdan söz edilebilir:

1- Çizgisel polimer (linear polymer)

- Çizgisel homopolimer; doğrusal yönde uzayan aynı tip monomerlerdir
- Çizgisel kopolimer; doğrusal yöndeki aynı tip monomerlerin arasında gelişigüzel serpilmiş değişik yapıda monomer üniteleri içerir.
- Çizgisel blok kopolimer; doğrusal yöndeki aynı tip monomerlerin arasında gelişigüzel serpilmiş değişik yapıda monomer blok üniteleri içerir.

2- Dallanmış polimer (branched polymer)

- Dallanmış homopolimer; aynı cins monomer üniteleri dallara ayrılmış şekildedir.
- Dallanmış kopolimer; aynı tip monomerlerden oluşan zincirden ayrılan dallar değişik yapıdadır.

3- Çapraz bağlantılı polimer (cross-linked polymer); ağ şeklinde yapıya sahiptir.

Her biri üç veya dört kimyasal bağ içeren moleküllerin önce çizgisel bir zincir, daha sonra da çapraz olarak bağlanmasıyla oluşmuştur [8,9].

2.2 Metil metakrilat

Likidin temel yapısını oluşturan metil metakrilat, doğal olarak petrolden elde edilen şeffaf, suda çözünmeyen, viskozitesi düşük, erime noktası -48°C , kaynama noktası 100.8°C olan, renksiz, toksik, yanıcı ve uçucu özellikte yüksek buhar basıncı sergileyen mükemmel bir organik çözücüdür [2,3,7].

Materyalin fiziksel özelliklerini geliştirmek amacıyla çapraz bağlantı ajanı olarak %1-2 oranında katılan etilen glikol dimetakrilat, rezinin çatlama, çizilme, çarpma, yorulma ve ısıya karşı direnci ile sertliğini arttırırken, çözünürlüğünü azaltır

[2,10]. Bu bağlantı ajanının yüksek oranda ilavesinin rezinin çarpma ve çekme direncini azalttığı belirtilmektedir. Çapraz bağlantı sağlamak için tetra-etilenglikol dimetakrilat (TEG-DMA), polietilen glikol dimetakrilat (PEG-DMA), 1,3- propandiol dimetakrilat ve 1,4- bütandiol dimetakrilat ajanları da kullanılmaktadır [8,11]. Bu çapraz bağlantılı bileşikler moleküllerin zıt uçlarındaki reaktif -C=C- grupları ile karakterize olup iki uzun polimer molekülünü bir arada tutarlar [9].

Monomere dibütil fitalat gibi düşük molekül ağırlığına sahip esterler eklenmesi, hem polimerin monomer tarafından çözünmesini kontrol etmeye hem de moleküller arasına nüfuz ederek daha yumuşak ve esnek bir rezinin oluşumuna katkı sağlar. Plastikleştiriciler polimerizasyon reaksiyonuna girmeyip polimer yapısı içinde dağılım gösterirler, bu da saf bir polimere oranla daha esnek bir yapı sağlar. Ancak, zamanla oral sıvılar nedeniyle yapıdan ayrılıp polimerin esnekliğini yitirmesine neden olabilirler [7].

Monomer; ısı, ışık ve havadaki oksijen ile oda sıcaklığında veya daha soğuk ortamlarda bile rasgele oluşan serbest radikallere bağlı olarak polimerize olma eğilimindedir, bu nedenle inhibitör olarak %0.006 veya daha az miktarda hidrokinon ilavesi ile bozunmadan muhafaza edilmesi amaçlanmaktadır. Genellikle hidrokinonlardan elde edilen inhibitör, likit içinde oluşmuş olan radikallerle hızlı bir reaksiyona girerek, radikalleri stabilize eder. Stabilize radikallerin, polimerizasyonu başlatıcı etkilerinin olmadığı bilinmektedir [1,7].

Oda sıcaklığında polimerizasyonu sağlayabilmek için sıcaklıktan başka, kimyasal bir akseleratör kullanılacağı zaman, bunlar likit içerisine katılır. Kimyasal polimerize olan (otopolimerizan) rezinlerde aktivatör olarak, yaklaşık %1 oranında kullanılan bir tersiyer amin olan N,N-dimetil-para-toluidin veya N,N-dihidroksietil-para-toluidin toz içindeki peroksit ile reaksiyona girerek monomerin polimerizasyonunu başlatabilecek serbest radikalleri oluşturur [1].

PMMA'nın sıvı bileşenleri, esas maddeyi oluşturan metil metakrilata diğer akrilik monomerlerin ilave edilmesiyle modifiye edilebilir. Örneğin, mikrodalga enerjisiyle polimerize edilen akrilik rezinlerin sıvıları mikrolit olarak üretilmiş olup yapılarına trietilen veya tetraetilen glikol ilave edilmiştir ki bunlar her bir uçta reaktif yapıya sahip dimetilakrilatlardır [5,7].

2.3 Poli (metil metakrilat)

Poli (metil metakrilat) bloklarının öğütülmesiyle elde edilen küçük şeffaf küresel tanecikler şeklindeki akrilik tozu, polimerizasyona katılmayan bir sıvı içerisinde metil

metakrilat monomerin ısıtılarak polimere dönüşmesiyle elde edilir [2]. Kimyasal yapı olarak ana madde poli(metil metakrilat)tır [6]. Darbelere karşı daha dayanıklı olması için etil, metil, bütil veya diğer alkali metakrilatlar eklenerek modifiye edilebilirler [9]. Polimerizasyon reaksiyonunun başlatılmasını sağlayan benzoil peroksit veya daha az kullanılan diizobütil azonitril %0.5-1.5 oranında toza katılır. Yüksek molekül ağırlığına sahip poli (metil metakrilat)ın monomerde çözünürlüğünü arttırmak için dibütil fitalat gibi plastikleştirici materyaller rezinin ağız sıvılarında bozunmasını önlemesi için %8-10 oranında toza veya likide ilave edilir [2].

Poli (metil metakrilat) gibi saf polimerler şeffaftır ve geniş bir renklendirme imkanı tanır. Dokuya benzer renkler elde edebilmek için civa sülfid, ferrik asit veya karbon siyahı gibi pigmentler kullanılır [9]. Daha önceleri ilave edilen, çok açık sarıdan, turuncu, açık kırmızı, hatta kestane rengine kadar çeşitli renkleri elde etmede kullanılan kadmiyum sülfid ve kadmiyum selenid gibi bileşikler, kadmiyumun toksik özelliğinden dolayı artık kullanılmamaktadır [2,6]. Aslında kadmiyum ihtiva eden bir protezin kullanıcıya zarar vermesi söz konusu değildir. Esas sorun, kadmiyum ihtiva eden havanın solunmasıdır. Tesviye sırasında havaya karışan kadmiyum tozlarının diş teknisyenleri tarafından uzun süre (2-3 yıl) solunması kronik kadmiyum zehirlenmesine yol açabilir [9].

Ağız içerisindeki submüköz kapillerlerin doğal görünümünü yansıtmak amacıyla organik-inorganik fiberler veya zirkonyum silikat esaslı ince partiküller kullanılabilir [2]. Kaza sonucu kırılıp yutulan protez parçalarının röntgenlerde görüntülenerek yerlerinin tespit edilmesi ve radyoopasite sağlanması amacıyla çinko oksit veya titanyum oksit bileşikleri gibi doldurucu ajanlar kullanılır [10]. Ayrıca, polimerin dayanıklılığını artırmak için alümina tanecikleri, silikon karbid ve boron nitrit ilave edilebilir [1,2,12].

2.4 Polimerizasyon

Türk Dil Kurumu Sözlüğünde polimer; tekrarlanan yapısal kümelerin oluşturduğu yüksek molekül ağırlıklı bileşikler olarak tanımlanmıştır. Polimer, Yunanca “polimeros” “çok parçalı” anlamındadır. Polimerler tekrarlanır birimlerden oluşan birbirlerine sağlam kovalent bağlarla bağlanmış uzun ve büyük moleküllerden oluşur [2]. Polimeri oluşturan her bir küçük molekül, monomer olarak adlandırılır. Polimer denilebilmesi için tekrarlanan monomer sayısının en az yüz olması gerekir. Bu sayı için

üst sınır yoktur, çünkü polimerizasyon tekrarlanan bir reaksiyondur ve sonsuza dek devam edebilir [9]. Polimerler sonuçta birçok küçük molekülün bir araya gelmesiyle oluştuğundan makromoleküllerdir.

Monomer adı verilen küçük moleküllerin uygun koşullarda polimerizasyon tepkimeleri sonucu birbirleriyle kimyasal bağlar yaparak polimer moleküllerine dönüşmeleri olayına polimerizasyon veya polimerleşme denir [13].

Polimer moleküllerinin hepsi aynı tip monomer veya farklı tip monomerlerden oluşabilir. Polimerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, yapısında bulunan farklı tipte monomere, monomerin kendi özelliklerine ve polimerizasyon sırasında monomerin yapısında meydana gelen değişikliklere bağlıdır [7]. Aynı zamanda polimer zincirlerinin doğrusal, dallanmış veya çapraz bağlı biçimleri polimerin özelliklerini etkiler. Belli bir zincir büyüklüğü ve makromoleküler yapıya sahip polimerlerde üstün mekanik özellikler elde edilmektedir. Doğrusal ve dallanmış zincir yapıdaki polimer kolaylıkla eritilir ve çözünürken çapraz bağlı olanlarda çizgisel moleküller arasında köprüler oluşturularak molekül ağırlığının artırılması ve polimer zincirlerinin birbirlerine göre hareketlerinin sınırlandırılması ile polimerin dayanıklılık, su emilimi ve çözünürlük özellikleri değiştirilirken, üç boyutlu bir yapı meydana getirilir [1,7].

Polimerlerin sentezinde kullanılan yöntemler temelde ikiye ayrılırlar. Bunlar, katılma (zincir polimerleşmesi) ve kondensasyon (basamaklı polimerleşme) polimerizasyon yöntemleridir.

2.4.1 Katılma polimerizasyonu (zincir polimerleşmesi)

Poli (metil metakrilat), poli (vinil klorür), poli (vinil asetat), polietilen gibi dış hekimliği uygulamalarında kullanılmakta olan rezinlerin büyük çoğunluğu bu yöntem ile polimerize edilmektedir. Polimerizasyon, başlatıcı ajanın aktive edilmesiyle oluşan serbest radikallerin monomere katılmasını içeren başlama, bütün monomerin polimere dönene kadar devam ettiği büyüme, zincir reaksiyonun doğrudan bağlanma ya da zincirler arasındaki hidrojen atomlarının yer değiştirmesiyle bittiği sonlanma ve aktif kökün inaktif bir köke transfer edilip yeni bir çekirdek oluşturularak transfer edilen polimer zincirlerin polimerizasyon olayını sonsuza dek devam ettirebildikleri zincir transferi aşamalarını izleyerek sağlanmaktadır [1,9].

2.4.2 Kondensasyon polimerizasyonu (basamaklı polimerleşme)

Sentetik polimerlerin bazıları, doğal polimerlerin ise çoğunluğu bu yöntemle polimerize olur. Yüksek sıcaklık ve basınç altında yavaş sağlandığı için katılma polimerizasyonundan daha zor gerçekleşir. Polimerizasyon boyunca monomer yavaş yavaş azalır ve molekül ağırlığı sürekli artarak yüksek değerlere ulaşır [2]. Reaksiyon sırasında çoğu kez su molekülü gibi küçük bir molekülün ayrıldığı görülür. Reaksiyona giren maddelerin yapısına göre sudan başka amonyak, karbon dioksit, sodyum bromür, azot ve metanol gibi küçük moleküller de meydana gelebilir [9]. Diş hekimliği uygulamalarında kullanılan polieter ve polisiloksan gibi bazı ölçü maddelerinin yanısıra poliamid, polietilen tereftalat, poliüretan ve polikarbonat bu yöntemle elde edilen diğer polimerlerden birkaçıdır [1].

2.5 Polimerlerin diğer özellikleri

2.5.1 Polimerlerin çözünmesi ve bozunması

PMMA bir zincir polimeri olduğundan kloroform ya da aseton gibi organik çözücülerde çözünebilir. Çözünme probleminin üstesinden gelebilmek amacıyla yoğun çapraz bağlı polimerler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Polimer zincirleri ısı, radyasyon, oksijen, hidrojen veya ozon etkisiyle ana zincir ya da yan gruplardan parçalanarak bozunur. PMMA, sıcaklık etkisiyle neredeyse %100 oranında monomerini kaybederek bozunmaktadır. Böylece polimerin ömrünün kısalmasına neden olan istenmeyen bir durum ortaya çıkmaktadır [7,8].

2.5.2 Polimerlerin toz parçacık boyutu, molekül ağırlığı ve polimerizasyon derecesi

Polimerlerin toz bileşenlerinin parçacık boyutu, özellikle düşük molekül ağırlıklı polimerlerin polimerleşme kinetiğini önemli ölçüde etkiler. Polimerleşme hızı ve polimer zincir uzunluğu monomer derişimi ile doğru orantılı olduğu için ve küçük boyuttaki toz parçacıkları yüzey alanını artırdığından daha kısa sürede daha fazla miktarda monomer polimere ulaşarak, hem polimerizasyon hızının artmasına hem de yüksek molekül ağırlıklı bir polimer elde edilmesine katkı sağlar [7,14].

Polimerizasyon sırasında oluşan zincirlerin büyüklüğünü kontrol etmek mümkün olmadığı için, polimerlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyen molekül ağırlığı ortalama bir değer olarak hesaplanabilir. Molekül ağırlığı, dolayısıyla zincir uzunluğu belli düzeyde olduğunda polimerin mekanik dayanımı artar [2]. Molekül ağırlığı 1×10^4 'ün altında ise, mekanik dayanıklılık yok denecek

kadar azdır. Polimerlerin mekanik dayanıklılığı molekül ağırlığı ile hızla artarken, çok yüksek molekül ağırlıklarında fazla bir değişim gözlenmez [5].

Diş hekimliğinde kullanılan akrilik tozu için partikül boyutu ortalama 60-70µm ve molekül ağırlığı 10^6 olarak tespit edilmiştir. Polimer moleküllerinin uzun zincir yapısı nedeniyle, yoğunlukları $0.9-1.4\text{g/cm}^3$ düzeyindedir [2].

Bir polimer zinciri başına düşen ortalama tekrarlanan monomer sayısına polimerizasyon derecesi denir [5]. Polimeri oluşturan moleküllerin polimerleşme dereceleri oldukça farklı olabildiğinden ortalama bir değer olarak hesaplanabilir. Polimerizasyon derecesi; polimerizasyonun şekline, içerdiği monomer türüne ve sayısına göre değişiklik gösterir, polimerizasyon tipi ve süresi ile birlikte materyalin fiziksel özelliklerini belirler [5]. Polimerin molekül ağırlığı arttıkça materyalin polimerizasyon derecesi de artar. Materyalin molekül ağırlığı ve polimerizasyon derecesinin artması fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkiler.

Polimerizasyon yolu ve tekniğine göre protez kaide materyallerinin sınıflandırılması aşağıdaki şekilde özetlenebilir [2,4]:

1. Konvansiyonel basınçla kalıplama tekniği kullanılarak ısı ile polimerize olan akrilik rezinler
 - a. Doldurucusuz PMMA akrilik rezinler
 - b. Çeşitli materyallerin ilavesiyle güçlendirilmiş akrilik rezinler
 - Fiber sistemleri
 - Metal tel ve partikülleri
 - c. Yüksek çarpma dayanıklılığına sahip rezinler
2. Enjeksiyonla kalıplama tekniği kullanılarak ısı ile polimerize olan rezinler
 - a. Poli (metil metakrilat)
 - b. Polikarbonat
 - c. Poliamid
 - d. Polisülfon
3. Kimyasal olarak polimerize olan akrilik rezin (otopolimerizan rezinler)
 - a. Konvansiyonel akrilik rezinler
 - b. Akışkan akrilik rezinler
 - c. Enjeksiyon kalıplama tekniği kullanılan akrilik rezinler
4. Işık ile polimerize olan akrilik rezinler
5. Mikrodalga enerjisi ile polimerize olan akrilik rezinler

2.6 İdeal protez kaide materyalinin özellikleri

Mevcut ve geliştirilmekte olan protez kaide materyalleri bazı özellikleriyle daha ön plana çıkmakla birlikte, ideal bir protez kaide materyalinin taşınması istenen temel özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [14]:

1. Uygulanması kolay olmalıdır.
2. Rengi sabit kalmalı, dokulara uygun renk seçeneklerine sahip olmalı ve uzun süre kullanımda renk değişimi göstermemelidir.
3. Kullanımda şekli, hacmi ve boyutları değişmemelidir. Boyutsal olarak sabit olmalıdır.
4. Tatsız ve kokusuz olmalıdır.
5. Çiğneme kuvvetleri altında elastik ve plastik deformasyon, kopma, çatlama, kırılma olmamalı, ağız içi ve ağız dışı kuvvetlere karşı yüksek direnç göstermelidir.
6. Yüksek yorulma ve çarpma direnci değerlerine sahip olmalıdır.
7. Yeterli derecede sert ve aşınmaya dirençli yüzey özellikleri göstermelidir.
8. Sıvı emilimi minimal olmalıdır.
9. Islanabilirliği yüksek olmalıdır.
10. Bakteri, mantar ve metabolitlerden etkilenmemelidir.
11. Artık monomer içeriği ve monomer salınması minimum seviyede olmalıdır.
12. Toksik ve karsinojenik etki göstermemeli, allerji, yanma veya irritasyona neden olmamalıdır.
13. Kolay temizlenebilmelidir.
14. Tesviye ve cilalama işlemleri kolay yapılabilmesi ve iyi parlatılabilmelidir.
15. Tamir edilebilmesi kolay olmalıdır.
16. Raf ömrü yeterli olmalıdır.

2.7 Polimerize olmuş PMMA'nın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Akrilik kaide rezinlerinin fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden bahsetmeden önce bazı fiziksel terimlerin açıklanması faydalı olabilir:

2.7.1 Yük (Load)

Bir materyal üzerine dışarıdan uygulanan kuvvettir.

2.7.2 Gerilim (Stress)

Materyal üzerine dışarıdan uygulanan kuvvetin, birim alana oranıdır. Gerilimin birimi N/m^2 , yani Pascal'dır. Kuvvetin yönüne göre; çekme, basma ve makaslama gerilimleri

olarak üçe ayrılır. Basma kuvvetine karşı gelişen gerilim, basma gerilimi; çekme kuvvetine karşı oluşan gerilim ise çekme gerilimidir. Pratikte tek tip bir gerilimi oluşturmak oldukça zordur. Çekme ve basma gerilimleri, makaslama gerilimi ile beraber diğer tüm karmaşık gerilim tiplerinin yapı taşlarını oluştururlar. Materyalde oluşturulan bir gerilim türü baskın olabilir, fakat bu arada diğer gerilim türleri de yapı içerisinde mevcuttur [1].

2.7.3 Gerilme (Strain)

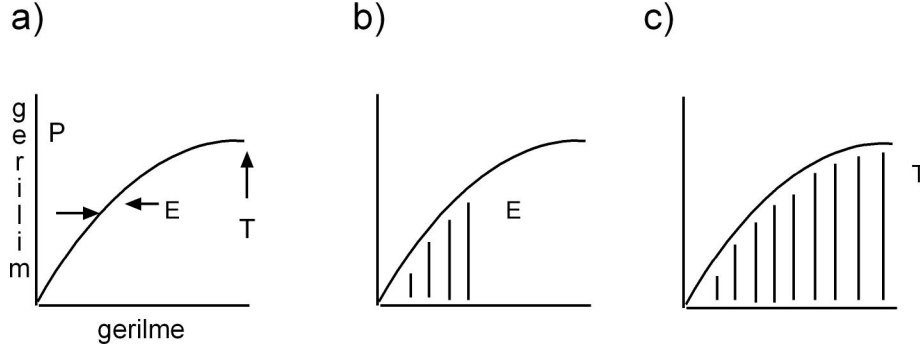
Materyalin üzerine uygulanan kuvvete cevabıdır. Birim boyutta uzunluk değişimidir. Yük karşısında materyal şekilsel bir değişim gösterir. Bu değişimin miktarı materyalin cinsine, uygulanan kuvvetin büyüklüğüne ve yönüne göre farklılık gösterir. Gerilmenin birimi yoktur, % olarak gösterilir. Gerilme; elastik veya plastik, ya da hem elastik hem de plastik olabilir. Elastik gerilme geri dönüşümlüdür. Uygulanan kuvvet ortadan kalktıktan sonra materyal orijinal boyutlarına geri döner. Plastik gerilmede ise kuvvet uzaklaştığında materyal deforme olduğundan tekrar eski haline dönemez. Üçüncü olasılık ise gerilmenin kısmen geri dönüşümlü olabilmesidir ve materyalin elastik özellikleriyle ilgilidir [1,7].

Gerilim ve gerilme bağımsız olmayıp birbirleriyle yakından ilişkilidir. Dışardan kuvvet uygulanması materyal içerisinde gerilim oluşturur ve gerilmeye veya boyutta değişikliklere sebep olur. Materyallerin mekanik özelliklerini karşılaştırmanın en uygun yöntemi materyale çeşitli kuvvetler uygulamak ve karşılık gelen gerilim ve gerilme değerlerini saptamaktır [1].

P noktasına kadar gerilim ve gerilme arasında doğrusal bir ilişki vardır. Gerilimdeki daha fazla artış T noktasında materyal kırılana kadar gerilmede orantısız bir artışa neden olur. T noktasına eşlik eden gerilim “kıırma gerilimi”dir. Çekme testinde bu, “çekme gerilimi”; basma testinde ise “basma gerilimi” değerini verir. Gerilim veya gerilmenin orantılı olduğu en yüksek gerilim değeri (P), “orantı sınırı” olarak tanımlanır. E noktası elastik limittir; gerilmelerin artık tamamen geriye dönüşemediği noktayı belirtir, yani materyalin daimi deformasyona uğramadan dayanabileceği maksimum gerilimdir. E ve T noktası arasında kaydedilen gerilme değeri, materyalin kopma noktasına kadar göstereceği daimi deformasyonu gösterir (Şekil 2.7.1a) [1].

Gerilim-gerilme eğrisinin altındaki alanlar (Şekil 2.7.1b) test materyalleri hakkında bazı önemli bilgiler verir. Eğrinin düz kısmının altındaki bölüm, yani, elastik limite kadar olan kısım; elastik limite kadar materyalin elastik deformasyona uğraması

için absorbe etmesi gereken enerji miktarını belirten reziliensi gösterir. Rezilien materyallerde kuvvet uygulandığında, enerji materyalin bünyesine alınır ve kuvvetin kalkması ile enerji dışı verilerek materyal eski haline döner [1].



Şekil 2.7.1 Basit bir basma ve çekme testi sonrası elde edilen gerilim-gerilme grafiği (McCabe,1990)

Gerilim-gerilme eğrisinin altındaki tüm alan (Şekil 2.7.1c) materyalin katılık (toughness) özelliğini gösterir. Birimi enerjidir ve materyalin kopmaya kadar absorbe edeceği enerji miktarını ifade eder. Bu özelliğin karşıtı, diş hekimliğinde kullanılan materyaller için önemli bir kriter olan kırılmalıklıdır [1].

2.7.4 Dayanım (Strength)

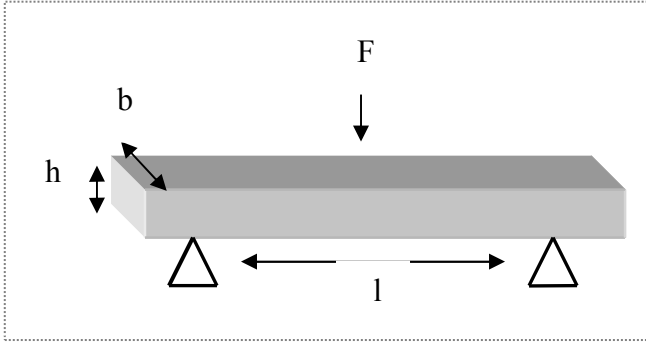
Materyalin belirli miktarda plastik deformasyon gösterdiği veya kırılmanın gerçekleştiği ortalama gerilim derecesi olarak tanımlanır. Dayanım baskın olan gerilim cinsine göre; çekme, basma veya makaslama dayanımı gibi isimler alır [7].

2.7.4.1 Transvers dayanım (Transverse strength)

Protez kaide rezinlerinin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde basma veya çekme dayanımlarına oranla üç nokta eğme testi ile transvers dayanım ölçümleri daha yaygın kullanılmaktadır, çünkü in vivo yükleme tipini en yakın bu test temsil etmektedir [6]. Test edilecek akrilik rezin örnekte kuvvetin uygulama yönüne bağılı olarak değışik oranlarda basma ve çekme gerilimleri ile makaslama gerilimleri oluşmaktadır (Şekil 2.7.2).

Kuvvetin uygulandığı yüzeyde başlıca basma gerilimleri oluşurken diğeryüzeyde çekme gerilimleri ağırlıktadır. Örnek içinde üst ve alt yüzeyler arasında gerilimlerin yön değıştirdiğı, hem gerilim hem de gerilmenin sıfırlandığı bir nötral eksenden

bahsedilebilir. Destek bölgelerine yakın örnek alanlarında ise kırılma olayında önemli bir rol üstlenmediği düşünülen makaslama gerilimleri oluşur.



Şekil 2.7.2 Transvers dayanım testi

Transvers dayanım aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$T_s = 3Fl/2bh^2$$

T_s =Transvers dayanım (N/mm^2); F =Uygulanan yük (N); l =Örnek yerleştirilen destekler arasındaki uzaklık (mm); b =Örnek genişliği (mm); h =Örnek kalınlığı (mm) nı gösterir.

Rezinin bileşimi, polimerizasyon tipi, su emilim ve maruz kalınan ısı değişimleri akrilik kaidesinin transvers dayanıklılığını etkilemektedir [7].

2.7.4.2 Young's modülü (Elastiklik modülü)

Materyalin deformasyona karşı dayanıklılığının bir göstergesidir. Yüksek dayanıklılığa sahip materyallerin elastiklik modülü de yüksektir. PMMA rezine uygulanan gerilim materyalin oranı sınırının altında olduğu zaman elastik deformasyon gözlenir, bu materyalde kalıcı olmayan durum değişikliğini ifade eder. Ancak bu sınırın üstünde gerilim uygulandığında plastik deformasyon meydana gelir ve materyal eski haline dönemez. Elastiklik modülü aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$E = l^3 F / 4bh^3 d$$

E =Elastiklik modülü (N/mm^2); l =Örnek yerleştirilen destekler arasındaki uzaklık (mm); F =Uygulanan yük (N); b =Örnek genişliği (mm); h =Örnek kalınlığı (mm); d =Maksimum bükülme (mm)yi temsil eder.

Protez kaide rezinlerinde, kırılma anındaki maksimum bükülme veya transvers bükülme değeri ADA 12 No'lu spesifikasyona göre 2.5-5mm arasında olmalıdır [15]. ISO spesifikasyon No:1567'ye göre transvers bükülme limitleri 15 ve 35N'luk yük karşısında 1-2.5mm, 15-50N'luk yük karşısında 2-5mm olarak verilmektedir [16].

2.7.4.3 Çarpma direnci

Çarpma kuvveti ile kırılmanın gerçekleşmesi için gerekli enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Çarpma dayanım testi plastikler için en önemli mekanik bilgileri veren ve sık kullanılan bir testtir.

PMMA'nın çarpma direncinin düşük seviyede olmasından dolayı, içerisine dibütil fitalat gibi plastikleştirici madde ilavesiyle çarpma direnci yükseltilmeye çalışılmıştır, ancak bu durumun materyalin sertlik, elastiklik modülü ve transvers dayanımında düşüşe neden olduğu bildirilmiştir [8].

2.7.4.4 Çekme dayanımı

Çekme dayanımı kütleyi uzatmak veya germek isteyen bir yükün oluşturduğu deformasyona karşı gösterilen dirençtir. PMMA'nın çekme dayanımı (48.3-62.1MPa) yeterli olmakla birlikte, kırıklar genellikle kaza sonucu düşürme, yüksek gerilimin yoğun olduğu hatalı yapımlar ve düşük şiddette tekrarlanan gerilim kuvvetlerinin yoğun olduğu esneme yorgunlukları sonucu oluşur [2,6].

Çekme dayanımı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\sigma_d = F/bh$$

Burada; σ_d =Çekme dayanımı (MPa); F=Uygulanabilen maksimum yük (N); b=Örneğin genişliği (mm); h=Örneğin kalınlığı (mm) dır.

2.7.5 Su emilimi

Polimer yapıdaki moleküller arası bağlantı kuvvetlerinin yetersizliği, doymamış bağlar ve moleküllerin polar özelliklerinden dolayı gerçekleşen su emilimi, su moleküllerinin kendi enerjileri ile veya polimerdeki polar grupların enerjisiyle rezine difüze olmalarıyla meydana gelir [15,17].

Akrilik rezin, moleküllerinin polar özellikleri ve moleküller arası mesafenin su moleküllerinden büyük olmasından dolayı pek çok organik madde gibi difüzyon kurallarına uygun olarak su emer [18]. Difüzyonun birbirinden hafifçe ayrılmış makromoleküller arasına doğru olmasıyla makromoleküllerin mobilizasyonu sonucu, materyalin boyutsal değişikliğe uğradığı düşünülmektedir. Emilen su ile oluşan %1'lik ağırlık artışı, akriliğin %0.023 oranında genişlemesine neden olabilir [7,19].

Rezine güçlendirmek amacıyla fiber ilave edildiğinde, fiber/rezin bağlantısının zayıf olduğu bölgeler, yapı içerisinde boşlukların oluşumuna neden olarak su emilimini artırabilirler [20].

Su emiliminin tespitinde ilk yöntem, su ile temas eden yüzey alanı başına ağırlık artışının (mg/cm^2) belirlenmesidir. ADA 12 No'lu spesifikasyona göre PMMA'nın su emiliminin $0.8\text{mg}/\text{cm}^2$ den fazla olmaması istenir [21]. Diğer bir yöntem ise su ile temas eden maddenin hacmi başına ağırlık artışının (g/cm^3) tespitidir. Buna göre, ISO 1567 No'lu spesifikasyonda PMMA'nın su emilim değerinin $0.025\text{-}0.027\text{mg}/\text{cm}^3$ ten fazla olmaması bildirilir [16,21].

Su emiliminin yüksek olması rezinin elastik ve plastik deformasyona karşı direnci ile çekme direncini, boyutsal sabitliğini, elastiklik modülünü, doku uyumunu ve renk sabitliğini olumsuz yönde etkilemektedir [15,20,22].

2.7.6 Boyutsal stabilite

Protez uyumunda önemli bir faktördür. PMMA, yapımı esnasında boyutsal değişime uğrayabilir (lineer büzülme). Bunun başlıca sebepleri; toz/likit oranı, akriliğin tipi, polimerizasyon siklusu, muflalama ve tepim yöntemi, protez kadesinin biçim ve büyüklüğü, bitirme ve polisaj işlemleridir. Polimerizasyon sonrası PMMA'nın su emmesine bağlı olarak boyutsal değişim gözlenebilir (lineer genişleme). Teorik olarak lineer genişlemenin lineer büzülmeyle dengede olması beklenirken, pratikte lineer büzülmenin daha fazla olduğu deneysel olarak gösterilmiştir [7,19].

Otopolimerizan akriliklerin polimerizasyon ısıları, ısıyla polimerize olan akriliklerden düşük olduğundan boyutsal stabiliteleri daha iyidir [7]. ısıyla polimerize olan akriliklerin polimerizasyon büzülmesi yaklaşık %0.5; otopolimerizan akriliklerin ise %0.3'tür. Otopolimerizan akrilikler birkaç ay kullanıldıktan sonra yaklaşık %0.1 oranında genişirken, sıcak akrilikler %0.3 ila %4 oranında büzülürler [9].

2.8 Tam protez kaide plağının kırılmasında etkili olan faktörler

Ağız boşluğunun normal ısısı 32-37°C arasındadır. Ancak bu ısı, sıcak ve soğuk yiyecek veya içeceklerin alınmasına bağlı olarak 0-70°C'ye değişebilir. Öte yandan normalde 4-8.5 olan tükürük pH'sı da, asitli meyve suları veya alkali özellikteki ilaç ve içecekler ile 2-11 değerlerine ulaşabilir. Isı ve pH değişimlerinin yanı sıra, çiğneme işlevinin ortaya çıkardığı yüksek ve devamlı gerilimlerin materyal dayanıklılığını etkilediği bildirilmiştir [1].

Protezlerden beklenen ideal mekanik özellikler, protez kaidesinin yapıldığı materyalin yapısal özelliklerine ilaveten, protezin yapım işlemleri, protezin yerleştiği ve ilişkide olduğu alanların anatomisi ve hatta kısmen hastanın alışkanlıklarından da etkilenebilir [23-25].

Akrilik protezlerin kırılması durumunda, protezlere tamir veya yenileme işlemleri yapılmadan önce kırılma sebebinin belirlenmesi gerekmektedir. Kaide plağı kırılmaları esas olarak, zamanla maruz kalınan streslere bağlı olarak materyalde görülen yorulma ve/veya protezlerin düşürülmesi esnasında maruz kaldığı ani çarpma kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır.

Yorulma, materyale zarar vermeyecek düzeyde tekrarlayan oklüzal kuvvetlerin etkisiyle kaidenin sürekli düşük yoğunluktaki gerilimlere maruz kalması şeklinde olur. Protezin ya da restorasyonun biçimine bağlı olarak yüzeyde bulunan muhtemel bir defektin çevresinde oluşan gerilim yoğunlaşması, mikro çatlakların oluşmasına yol açar. Bu çatlaklar yavaş yavaş kırılma meydana gelinceye kadar ilerler; sonuçta kırılma çok düşük bir kuvvet altında dahi gerçekleşebilir [1,9]. Protez kaide plağının su emilim miktarı, artık monomer salınım düzeyleri ve yapım aşamalarında dikkatsizlik sonucu oluşan yüzey defektlerine bağlı olarak yorulma direncinin azaldığı bildirilmiştir [23,26,27].

Doğal dentisyonda dişlere uygulanabilen maksimum ısırma kuvvetleri kişiden kişiye değişir. Genellikle erkeklerde kadınlara oranla daha fazla ısırma kuvvetleri bulunmuştur. Bildirilen en büyük maksimum ısırma kuvveti 443kg dır. Ayrıca, molarlara uygulanabilen maksimum ısırma kuvvetinin kesicilere uygulanabilenin birkaç katı olduğu tespit edilmiş; bir çalışmada birinci molarlara uygulanan maksimum kuvvet 41.3-89.8kg iken, santral kesiciye uygulanan kuvvet 13.2-23.1kg olarak kaydedilmiştir [28]. Tam protez kullanan bir insan, doğal dişleri olan bir insanın uygulayabileceği çiğneme basıncının ancak %15-25'ini uygulayabilir [9]. Tam protezlerle ısırma kuvvetlerinin protez ve destek dokulara düzenli dağılımları

mümkün olmayıp, çiğneme esnasında molar dişler bölgesinde oluşan maksimum ısırma kuvvetleri yaklaşık 20kg dolayındadır [29,30]. Bir insanın yılda ortalama 500.000 kez ısırma yaptığı düşünülürse, bir tam protezin fonksiyonel kullanım süresince ısırma ve yutkunma nedeniyle pek çok kez eğilmelere maruz kalması, yorulma başarısızlığı riskini artırmaktadır [30]. Üst protezlerde en fazla görülen kırık tipi orta hat kırıkları olup, yorulma başarısızlığı olarak ifade edilmektedir [31].

Protez kaide plağı kırılmasının ikinci genel nedeni, protezlerin temizlenmesi sırasında veya şiddetli öksürme ile sert zemine düşürülmesiyle oluşan çarpma kuvvetlerinin etkisidir. Kim ve Watts [32], üst tam protez kırılma nedenin çoğunlukla yorulma ve çarpma kuvvetlerine bağlı olduğunu, alt tam protezlerde ise kırıkların %80'inin çarpma kuvvetlerine bağlı olarak oluştuğunu ifade etmişlerdir. Alt protez sert bir zemine düştüğünde, en büyük stresin ikinci küçük azılar bölgesinde oluştuğu ve çarpma kırılmalarının genellikle orta hat civarında görüldüğü belirtilmiştir [25,33]. Kaide plağı kırılmalarında etkili olan faktörler genel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir:

2.8.1 Protezin ilişkide olduğu anatomik yapılar

Frenilumların hareket serbestliğinin sağlanması ve fonksiyon sırasında protezi iterek retansiyonun zayıflatılmaması amacıyla kaide plağında frenilumun şekline uyacak biçimde bir çentik açılır. Şayet frenilum çok geniş ve kret tepesine kadar uzanan bir yapıda ise, açılacak çentik protez kaide plağının zayıflamasına ve bu bölgede yoğunlaşan stres birikimi ile protezin kırılmasına yol açabilir [9]. Protezde frenilum çentiklerinin derin kısımlarının yuvarlatılmış olması gerilimi azaltırken keskin ve yüksek olması gerilimi arttırmaktadır [24]. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla mümkünse protez öncesi frenektomi önerilebilir [9].

Çene kemiklerinde ekzostoz, torus palatinus ve torus mandibularis, keskin ve sivri genial tüberküller ve mylohyoid çıkıntılar ile retromolar kabartı ve tuber maksillanın belirgin olduğu durumlar da kırığa zemin hazırlayıcı faktörler olarak düşünülmektedir. Bu bölgelere rölyef yapılması, cerrahi yaklaşımlar veya kaide plağında modifikasyonlar düşünülebilir [25]. Aksi takdirde protezin stabilitesi bozulabilir, reziliens göstermeyen bu bölgede mukoza tahriş olabilir, hatta kaide plağı kırılabilir. İdeal mukoza kalınlığı 1.5mm kadardır, bu miktardan daha ince olan mukozalar kolaylıkla tahriş olabilir. Kalın ve hareketli olan mukozalar ise protezin kullanımı sırasında kaideye yeterli destek olma yönünden birtakım sorunlar oluşturabileceğinden, cerrahi veya selektif basınçlı ölçü gibi protetik yaklaşımlar önem kazanır [9].

Dişsiz alveol kemiğindeki rezorpsiyonun şekil ve derecesine bağlı olarak keskin ve pürüzlü alveol kret varlığında hastanın kullanabileceği bir protez yapmak amacıyla, protez öncesi cerrahi uygulamalar ile alveol kretlere müdahale veya cerrahi girişimler kontrendike ise, yumuşak astar maddelerinin kullanımı gibi protetik önlemler alınabilir. Özellikle alt protezlere uygulanan yumuşak astar maddeleri kaide plağının daha ince olmasını gerektirdiğinden kırık oluşumuna zemin hazırlayabilir [9].

2.8.2 Kaide plağının deformasyonu

Protezlerin fonksiyon sırasındaki hareket ve/veya deformasyon hem kaide plağından, hem de destek dokuların anatomik yapısından kaynaklanmaktadır. Yüksek alveoler kretler torsiyonel deformasyona; düz kretler baskı hareketlerine ve oklüzal düzlemin tasarımı ile yüksek tüberkül eğimleri horizontal deformasyona neden olur. Yapay dişlerin oklüzal yüz genişliklerinin deformasyona etkisi daha azdır. Tam protezlerde deformasyon genellikle ısırma, çiğneme, yutkunma ve diş sıkma gibi bütün dişlerin oklüzyonda olduğu durumlarda meydana gelir. Yutkunma boyunca ortaya çıkan kaide deformasyonunun süresi çiğneme sırasındakinden 3.6 kat daha uzun sürmektedir [23,34].

2.8.3 Kaide plağı ile destek doku uyumsuzluğu

Ağızdaki doğal dişlerin proteze uyguladığı kuvvetlerin dokuların fizyolojik tolerans sınırları içinde ve yatay bileşkelerinin küçük olması istenir. Alveol kretlerine dikey gelen kuvvetler, yatay olanlardan daha iyi tolere edilir ve hatta bu tür kuvvetler, kemik apozisyonunu stimüle etmek için gerekli olan aralıklı basınç uygulayarak olumlu rol oynarlar. Ancak, yatay ve yatay bileşkesi büyük olan kuvvetler, protezin stabilitesini bozar ve alveol kemiğinde rezorpsiyona yol açabilirler. Bu nedenle tek protez durumlarında karşıt doğal dişlerin klinik muayenesi dikkatle yapılmalıdır. Tek protezlerdeki en büyük kırılma nedeni anatomik yapılardan çok, oklüzal düzensizliklerdir [9].

Üst tek tam protezlerde, palatal bölgenin sert ve sıkı yapıdan dolayı nispeten daha az etkilenmesine karşın, alveol kretlerdeki rezorpsiyonun daha çok olması sonucu, zamanla protez doku ile uyumunu kaybederek daha fazla gerilimlere maruz kalır. Üst tam dişsiz ve alt tam dişli veya Kennedy Sınıf I vakalarda da maksiller anterior bölgedeki hızlı rezorpsiyon sonucu protez doku uyumunda aynı sorun ortaya çıkmaktadır [29].

2.8.4 Tekrarlanan protez tamirleri

Tamir edilmiş örneklerin direncinin, üzerinde hiçbir işlem yapılmamış örneklerin direncinden anlamlı şekilde zayıf olduğu ve daha önce tamir edilen protezlerde akrilik kaide direncinin %20 oranında azaldığı bildirilmiştir [9,33]. Kırılmaya neden olan faktör giderilmeden tamir yapılırsa, tekrarlayan kırıklar gözlenir. Çiğneme kuvveti dağılımının dengelenebilmesi için oklüzal düzenleme yapılmasının yanı sıra, muhtemel kaide plağı doku uyumsuzluğu değerlendirilerek, gerektiğinde tamir edilen protezin astarlanması tekrarlayan protez kırıklarının önüne geçilebilmesi açısından önemlidir [9].

Akrilik kaide plağı tamirinde renk farkı görülebilmekle birlikte genellikle kolay, hızlı ve ucuz olduğu için otopolimerizan rezinler tercih edilmektedir [33]. Isı ile polimerize olan rezinler ile yapılan tamirlerde kırılma direnci daha yüksek olmakla birlikte, dikkat edilmediği takdirde protezin muflaya alınma ve polimerizasyon işlemlerinde protezin doku uyumunu etkileyecek deformasyonlarla karşılaşılabilir. Kırılan protezde tamir edilecek yüzeylerin konturları önemlidir; yüzeyler 45°'lik açılı ve yuvarlatılmış kenarlardan oluştuğu zaman en yüksek tamir bağlantısının elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, 1-2mm'lik tamir aralığının yeterli olduğu ve akrilik protezlerin soğuk akrilik ile tamir edildiklerinde polimerizasyonun önemli ölçüde tamamlanarak akriliğin direnç kazanması açısından 4 saat kadar su içerisinde bırakılmasının önemine de işaret edilmiştir [9,25].

Günümüzde kaide plağı direncinin artırılması amacıyla yapılan çalışmalarda PMMA'a alternatif yeni bir madde geliştirmek ve PMMA'ın kimyasal yapısını modifiye etmek güncelliğini korumakla birlikte, araştırmaların kaide plağının çeşitli materyaller ile güçlendirilmesine yönelik uygulamalar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

2.9 Akrilik kaide rezinlerinin dental fiber sistemleri ile güçlendirilmesi

Karışım/kompozit materyal, iki veya daha fazla sayıda aynı veya farklı gruplardaki maddelerin özelliklerini yeni ve tek bir materyalde toplamak amacıyla makroskobik düzeyde birleşimleriyle oluşan yapılardır. Bunlar, genellikle, düşük elastiklik modülü ve dayanıma sahip seramik, metal, karbon veya organik polimer matriks/temel faz ile bunun içinde dağılmış olan daha az oranda kullanılan ara fazlardan oluşmaktadır. Bu tür kompozit yapılar, atomik veya moleküler düzeyde tam reaksiyona girerek birleştirilen materyaller değildirler. Temel faz içerisinde parçalı veya fiber şeklinde adacıklar halinde bulunan ara fazın fonksiyonları yükü taşımak,

matriksin rijidite ve dayanıklılığını arttırmak iken, matriksin fonksiyonu ise bu fiberlere yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için fiber ile matriksi bir arada tutmak ve fiberleri çevresel etkilere karşı korumaktır. Kompozit yapı, bileşen materyallerden biriyle kıyaslandığında, bazı özellikleri ile önemli derecede üstünlük gösterebilir [29,35].

Amerikan Standard Test Metodlarına (ASTM) göre; akrilik rezin-fiber karışımında ara fazı oluşturan yapı, uzunluğunun enine oranı en az 10/1 ve kesiti $<0.005\text{mm}$ 'den küçük olduğu zaman fiber veya elyaf olarak isimlendirilmektedir [36]. Kullanılacak rezin ile fiberin bilinçli seçilmesi etkinlik açısından önemli olmakla birlikte, ideal bir fiberin, yüzey enerjisinin yüksek olması, su emilimi ve çözünürlüğünün düşük olması, düşük yoğunlukta olması, kimyasal yapısının kararlı olması, elastiklik modülünün ve çarpma direncinin yüksek olması, uygulama sırasında ve sonrasında lokal doku reaksiyonlarına neden olmaması ve estetik olması istenir [12,37].

Diş hekimliğinde en sık kullanılan fiberler karbon, aramid, polietilen ve cam fiberlerdir:

2.9.1 Karbon fiberler

Bu fiberler, ilk kez 19. yüzyılın sonlarına doğru Edison tarafından bambu çubuklarının karbonizasyonu ile elde edilmiş organik yapılardır. Karbon fiberler günümüzde, birçok sentetik materyalin yapımında kullanılan bir polimer olan poliakrilonitratin yaklaşık 1200°C 'de işlem görmesiyle elde edilmektedir. Yüksek elastiklik modülüne sahip (Tip 1) ve yüksek dayanıma sahip (Tip 2) olmak üzere iki farklı tipte üretilmektedir [36,37].

Karbon fiberler, ortalama $7-10\mu\text{m}$ çapında, 3000°C 'ye kadar dayanıklı, çekme dayanımı çelikten fazla ve hafif bir materyaldir. $6-8\text{nm}$ çapında çok ince olarak elde edilebilirler. Düşük yoğunluklarına (1.8g/cm^3) karşın, oldukça sağlamdırlar. Pek çok kimyasal madde ve neme karşı dirençli olmaları, protez kaide rezinleri ile kullanıldıklarında esnek yapıları sayesinde bükülme ve çarpma dayanımlarını artırarak yorulmaya bağlı kırılmaları önlemeleri ve boyutsal stabiliteleri kullanımda önemli avantaj sağlar. Bazı çalışmalarda özel yöntemlerle tabakalandırılmış karbon fiber içeren rezinlerin uygulanan streslere karşı artmış direnç gösterdiği bulunmuştur. İki farklı akrilik rezinin yorulma dayanımı ve bükülme özelliklerine karbon fiberlerin yerleşimlerinin etkisinin De Boer ve arkadaşlarınca araştırıldığı çalışmada [38], fiberle güçlendirilmiş rezinlerin bükülme ve yorulma dayanıklılıklarının

arttığı gösterilmiş ve uzun eksene paralel olarak yerleştirilen fiberlerin gelişigüzel yerleştirilen fiberlerden daha yüksek yorulma direncine sahip olduğu saptanmıştır

Bu fiberlerle oluşturulan kompozit yapının en önemli eksikliği, fiber eksenine dik yöndeki darbelere dayanıksız olmasıdır ki, bu, matris içerisine çapraz ve birbirine dik biçimlerde yerleştirilerek giderilebilir [39,40]. Özellikle koyu renklerden kaynaklanan estetik sorunlar, ıslanabilirliğin düşük oluşu ve potansiyel toksisite, karbon fiberlerin yaygın kullanımını geniş ölçüde sınırlandırmıştır [38,41].

2.9.2 Aramid fiberler

Aramid terimi “aromatik poliamid” in kısaltılmış şeklidir. Aramid fiberler poli-p-fenilen tereftalamidden oluşan güçlü sentetik fiberlerdir. Mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda da (400-500°C) korurlar; abrazyona ve organik çözücülere karşı dirençlidirler. Ancak UV ışınlamalara karşı hassastırlar, nemden ve tuzlardan etkilenirler ve iletken değildirler [41].

Aramid fiberin ıslanabilirlik özellikleri karbon fibere göre daha üstündür, dolayısıyla rezin/fiber ara yüz dayanımını artırmak için bağlayıcı ajanı uygulamasına gerek yoktur. Ancak sarı renkleri, estetik gereksinim duyulan protezin ön bölgelerinde kullanımını sınırlamaktadır. Ayrıca, protez yüzeylerinde ortaya çıktıklarında oluşan pürüzlü bölgelerin polisaj işlemlerinde zorluğa ve bunun sonucunda mukoza irritasyonlarına sebep olması gibi dezavantajlara sahiptirler [37].

2.9.3 Polietilen fiberler

Polietilen, etilenin (CH_2CH_2) polimerlerinin tümüne verilen genel addır ve en çok üretilen sentetik polimerdir. Doğal rengi, düşük yoğunluğu, biyouyumluluğu, inert yapısı ve dayanıklılığı avantajları arasındayken, yüzey enerjilerinin düşük olması ve hidrofobik olmaları dolayısıyla ıslanabilirliklerinin yetersizliği, özellikle PMMA olmak üzere diğer materyaller ile bağlantılarını zorlaştırmaktadır [42,43].

Çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen fiberler (ultra-high molecular weight polyethylene) (UHMWPE), 0.97g/cm^3 yoğunluğa ve 3×10^6 ile 6×10^6 aralığında molekül ağırlığına sahip olup, etilenin doğrusal homopolimerleridir. Yüksek aşınma ve çarpma direnci ile düşük sürtünme direnci gösterirler; kırılğan değildirler. İyi mekanik özelliklere sahip oldukları halde, polietilen fiberler 140°C 'den sonra yapısal olarak bozunmaları nedeniyle yüksek ısı ile polimerize olan kompozitlerle kullanılamamaktadır [41,42,44]. Diş hekimliğinde kullanılan polietilen fiberlerle

beklenen başarının sağlanamamasının polimer kompozitle fiberin adezyonundaki problemten kaynaklandığı bildirilmekte ve bunun nedeni olarak fiberin yumuşak bir yüzeye sahip olması ve fiberde kimyasal bağlanma yüzeylerinin eksik olması gösterilmektedir [45]. Bu yüzden son yıllarda polietilen fiberlerin yüzeyleri plazma ile işleme tabi tutularak polimer yapının fiberlere adezyonu arttırılmaya çalışılmaktadır [45-47].

PMMA ile gamma ışınlama yapılan fiber arasında kimyasal etkileşimin direnci artıracığı düşünülmüş ve 20-30kGy gibi düşük dozdaki ışınlamanın fiberin kendi mekaniğinde kayda değer bir değişim oluşturmaksızın yüzeydeki diğer materyallerle ilişki kurmak üzere oksijen taşıma gruplarını aktifleştirebileceği gösterilmiştir. Doğan ve ark. [48], total gamma ışınlama dozunun 20 ve 30kGy olarak belirlendiği ve iki farklı silan ajanı 3-methacryloxypropyl trimethoxy silane (MEMO) ve vinyl tris 2-methoxyethoxy silane (VTMOEO) uygulanan çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen örgü fiberle desteklenen akrilik resinlerin bükülme dayanıklılıklarını üç nokta eğme testi ile inceledikleri çalışmada, silan kaplama ajanlarının bükülme dayanıklılığını arttırdığını ve en iyi sonuçların VTMOEO silanlı ve 30kGy dozda gamma ışını uygulanan çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen örgü fiber içeren örneklerde görüldüğünü belirtmişlerdir. Bu sonucu gamma ışınlamayla oluşan özellikle peroksi, belirli bir ölçüye kadar hidroksi ve asitin akrilik resinlerle reaksiyona girmeleri ve silan kaplama ajanı varlığında, gamma ışını uygulanan poli (tetrafloretilen) in düşük yoğunluklu polietilen ile etkileşimde olmasına bağlamışlardır.

2.9.4 Cam fiberler

Cam aşırı soğutulmuş alkali ve toprak alkali metal oksitleriyle, diğer bazı metal oksitlerin çözünmesinden oluşan bir sıvı olup ana maddesi (SiO_2) silisyumdur. Cam fiberler, camların 1200-1500°C'de eritilmesi ve eriyen yapının platin alaşımı kaplanmış potanın tabanındaki binlerce delikten hızlı şekilde aşağı demetler halinde çekilmesi ve soğutma bölgesinden geçirilmesi ile üretilirler. Takiben yüksek molekül ağırlıklı silan yüzey modifiye ajanı ile kaplanabilirler [12,37].

Diş hekimliğinde kullanılan cam fiberlerin kompozisyonları birbirinden farklılıklar göstermektedir. Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerde kullanılan sürekli fiberler genellikle alkalisiz camdan oluşur ve elektriksel cam, yani E-cam olarak bilinmektedirler. E-cam fiber (Ahlstrom) temel yapısında %56 SiO_2 , %22 CaO , %14 Al_2O_3 , %6 B_2O_3 ve az oranlarda metal oksitler bulunan boro alümina silika camdır [49]. Bu fiber yüksek CaO içeriğinden dolayı, benzer kompozisyona sahip asidik

solüsyonlarda düşük direnç göstermektedir. Bu nedenle, E-camın kompozisyonu B_2O_3 ile karıştırılıp, CaO içeriği azaltılarak modifiye edilmiştir. Cam kompozisyon, fiberlerin hidrolitik stabilite veya korozyon direncini etkilemektedir. Korozyon, fiberin saklanması esnasında oluşabileceği gibi yapım esnasında da oluşabilmektedir. B_2O_3 içeriği cam fiberin yüzey enerjisini düşürebilir, çünkü B_2O_3 suyla çok reaktiftir. Özellikle cam fiberin hazırlanması esnasında yüzeyde birikebilecek B_2O_3 , fiberle güçlendirilmiş kompozitin ara yüzünde hidrolitik bozunma ihtimalini arttırmaktadır [49].

Cam fiber sistemleri beyaz renkleri, ucuz ve kolay bulunmaları ile yüksek mekanik özelliklere sahip olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam fiber ışıkla sertleşen tipteki protez kaide materyali için de uygundur, çünkü, diğer fiberlere oranla mükemmel şeffaflığa sahiptir [41]. Ancak, cilt ve gözlere temas ettiği zaman irritasyona neden oldukları için dikkatli kullanılması ve proteze yerleştirilmelerinde yüzeye çıkmamalarına özellikle özen gösterilmesi gerekmektedir. Protez yüzeylerine taşan uzantılar, doku irritasyonlarına, karsinojenik etkiye, yoğun plak birikimi ile mukoza yaralanmalarına neden olabilir [10,44,50].

Akrilik rezinlerin güçlendirilmesinde kullanılan cam fiberlerin, sonuç yapının mekanik özelliklerinde artış sağladığına ilişkin çok sayıda çalışma verileri mevcuttur. Stipho [50], cam fiberin otopolimerizan rezinlerin transvers direncini artırdığını; güçlendirilmemiş örneklere oranla kırılma yükünün %65, elastiklik modülünün %25 arttığını bildirmiştir. Değişik oranlarda cam fiber katılımının rezin/fiber kompozit yapı mekaniğine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, en yüksek kırılma dayanımı %1 oranındaki cam fiber ilavesi ile elde edilmiş ve fiber oranı artışının rezini zayıflattığına dikkat çekilmiştir. Buna karşılık, Vallittu [51], değişik fiber oranları kullanarak güçlendirdiği PMMA'nın çekme dayanımı ve elastik modülünü tespit ettiği çalışmada, PMMA içinde fiber oranının artması ile (ağırlık olarak %14.8'den yüksek) çekme dayanımı ve elastik modülünde önemli artışlar kaydetmiştir. Solnit [52], silan ile işlem görmüş cam fiber ilavesinin akrilik rezin transvers dayanımını %10.7, silan ile işlem görmemiş fiber katılımının ise %7 oranında artırdığını ifade etmiştir.

Belirtilen fiber sistemleri dışında son yıllarda değişik estetik fiberlerin kullanımına yönelik çalışmalar dikkat çekmektedir:

Naylon fiberler, oral mukozanın ufak kan damarlarını taklit etmek için başarılı şekilde kullanılmıştır [53]. Müteakiben ilgi, bu fiberlerin PMMA'nın mekanik özelliklerinde güçlendirici etkisinin araştırılmasına yöneltilmiştir. John ve ark. [54], gevşek formda cam, aramid ve naylon fiberlerle güçlendirilen PMMA rezinlerin bükülme

dayanımını konvansiyonel PMMA rezinlerle kıyaslamışlar ve naylonla güçlendirilen örneklerin fibersiz örneklere oranla kırılmaya karşı daha yüksek direnç gösterdiğini bildirmişlerdir.

Katsikas ve ark. [53], akrilik rezin protez kaide materyalinin reolojik özelliklerinde %0.1, %0.2, %0.8 ve %3 viskoz rayon fiberler katılımının etkisini değerlendirmişlerdir. Akrilik rezinde fiber yüzdesinin artışının hamur safhaya geçiş zamanını azalttığı, ancak manipasyon periyodunun yaklaşık aynı kaldığı gösterilmiştir. Aynı zamanda %0.1 ve 0.2 fiber ilavesinde viskozite değişiminin az olduğu, ancak bu oranların üstünde fiber katılımı ile viskozitede hızlı artış olduğu da kaydedilmiştir. Araştırmacılar, fiber oranına bağlı viskozitedeki değişimin akrilik materyallerin başarılı uygulanma prosedüründe önemli etken olduğuna ve protezin kalite ve uyumunu etkileyebildiğine dikkat çekmişlerdir.

Chen ve ark. [55,56], kısa kesilmiş 2, 4 ve 6mm uzunluk ve %1, %2 ve %3 konsantrasyonda rasgele oryantasyonla polyester fiberleri rezin güçlendirici olarak test ettikleri çalışmada, estetik sorun olmaksızın, kolayca geleneksel yöntemle protezlerin oluşturulabildiğini belirtmişlerdir. Polyester fiber kullanımının çarpma dayanımını fibersiz örneklere oranla birkaç kat artırdığını, ancak bükülme dayanımına önemli katkı sağlamadığını ortaya koymuşlardır.

Doğan ve ark. [57,58], kısa kesilmiş ve rasgele oryantasyonla %3 oranında 2, 4 ve 6mm uzunluktaki E-cam, rayon, polyester, naylon 6 ve naylon 6,6 fiberlerin rezini güçlendirme etkisini çarpma ve bükülme dayanımı yönünden değerlendirmişlerdir. Fiber uzunluğundaki artışın çarpma dayanımını olumlu etkilediği ve en iyi sonucu 6mm uzunlukta rayon fiber ilavesinin sağladığı gösterilmiştir. E-cam fiberin test edilen tüm uzunluklar için nispeten stabil ve kontrol örneklerine oranla yüksek çarpma dayanım verileri sağladığı da ortaya konmuştur. Öte yandan, aynı koşullarda bu fiberlerin katılımı, fibersiz örneklere oranla bükülme dayanımında artış sağlamamış; en iyi sonuç 6mm uzunlukta naylon 6,6 ile elde edilmiştir.

2.10 Fiber/rezin kompozit yapının mekanik özelliklerini etkileyen faktörler

2.10.1 Fiber formu

Akrilik rezinlere güçlendirme amacıyla ilave edilen fiberler, sürekli tek yönlü (sürekli paralel), kırılmış (kesilmiş) ve dokuma (örgü) olmak üzere üç farklı formda kullanılabilir [27,30].

Sürekli tek yönlü fiberler, kompozit yapıya fiberlerin doğrultusu boyunca, yani sadece tek yönde yüksek dayanıklılık sağlar. Bu nedenle sürekli tek yönlü fiberlerin kompozit yapıyı güçlendirme etkisi anizotropiktir. Akril tepimi sırasında

uygulanan basınçla, yerleştirilen fiberlerin konumlarının değişmesi, ayrılmalar ve paralelliklerinin bozulma olasılığı bu formdaki fiberlerin uygulamasında karşılaşılan zorluklar olup sistemlerin dayanıklılığına olan katkılarının azalmasına yol açabilmektedir [27,50].

Tek yönlü fiber güçlendirmesinin yüksek anizotropik davranışını minimize etmek amacıyla fiberlerin düz, çapraz ve saten dokuma formları geliştirilmiştir. Dokuma formundaki fiber sistemleri ile protetik uygulamalarda iki yönde güçlendirme sağlanmakta ve yapıya ortotropik mekanik özellikler kazandırılmaktadır. Bu formdaki fiberler tek parça olduğundan, istenilen bölgeye daha kolay yerleştirilebilir, ancak, kumaş şeklinde olduklarından bütün liflerin akrile teması zor olabilir. Özellikle saten dokumada sıkı örgü yapısından dolayı rezin ile ıslatılma zorluğu ile karşılaşılabilir [27].

Kısa kesilmiş veya kırılmış fiberler, farklı uzunluklarda kesilerek hazırlanan fiber parçacıklarıdır. Akrilik rezin hamur içerisine rasgele ilave edildiklerinden bitmiş protezin bütün bölgelerinde izotropik özellik sergilerler. Fiberin matriks içerisindeki konumuna bağlı olarak, kompozit yapı farklı özellikler gösterebilir. Proteze gelen gerilimlere dik olarak konumlanmış fiberler protezin direncinin artmasında önemli rol üstlenirken, gerilim yönüne paralel fiberlerin olumlu denebilecek bir fonksiyonlarının olmadığı belirtilmiştir [12].

Fiberler protez kaidesinin tamamına veya sadece belirli bölgelerine olmak üzere iki şekilde yerleştirilebilir. Birinci yöntemde dokuma veya kırılmış fiberler kullanılmakta ve yöntem “total fiber güçlendirmesi” olarak adlandırılmaktadır. İkinci yöntem ise, “parsiyel fiber güçlendirmesi” olarak adlandırılır ve dokuma ve sürekli tek yönlü fiber kullanımını gerektirir. Fiberlerin protezlere doğru yerleştirilmeleri gerekir; aksi takdirde beklenen verimin elde edilmesi mümkün olmaz. Parsiyel fiber güçlendirmesinde kullanılan sürekli fiberler, yapay dişlerin alt kısımlarına gelecek şekilde; total fiber güçlendirilmesinde kullanılan fiberler ise rezin kalınlığının tam ortasına gelecek şekilde protezlere uygulanmalıdır. Alveoler kretlere çok yakın olarak düzenlenen fiberler çiğneme sırasında proteze gelen baskılara karşı koyamaz [10,19,27].

Fiberler, altıgen veya kare gibi çeşitli formlarda üretilmekle birlikte, üretim ve kullanım kolaylığı yönünden en yaygın olanı silindirik formdur. Fiberlerin çapları ile gösterdikleri direnç ve dayanıklılık ters orantılıdır. Fiber ilavesi yapılmış akrilik rezinlerin yüksek dayanıklılık ve polimer matriksten fiberlere iyi bir kuvvet

aktarımı gösterebilmesi için, fiber-polimer matriks ara yüzeyi bağlantısının mümkün olduğunca optimal olması gerekmektedir [29,59].

2.10.2 Fiber uzunluğu

Fiber uzunluğu mekanik özellikleri etkileyen diğer önemli faktördür. Kompozit yapılarda kuvvet, doğrudan fiberlere uygulanmaz. Matriks materyale gelen kuvvetler, fiber sonlanmaları boyunca fiberlere iletilirler. Fiber uzunluğu kuvvet iletiminin gerçekleştiği uzunluktan daha fazlaysa, fiber sonlarının etkisi ihmal edilebilir ve fiberler sınırsız uzunlukta ve sürekli kabul edilirler [60,61].

Kısa fiber ilavesi yapılmış kompozit yapıların mekanik özellikleri, fiber dizilimindeki zorluklar ve stres konsantrasyon noktaları olarak davranabilen fiber sonlanmalarının etkisi nedeniyle olumsuz yönde etkilenebilir. Bu durum, çok küçük yüklemelerde bile fiber sonlanmalarının matriks yapıdan ayrılmasına ve matriks yapıda mikro çatlaklar gelişmesine neden olabilir. Benzer durum, sürekli fiberle güçlendirilmiş kompozitlerde, fiber en zayıf kesit alanından kırıldığında da meydana gelir. Ara yüzeydeki makaslama kuvvetleri, fiber uzunluğu boyunca çatlağı yayarak fiberin kompozit yapıdan ayrılması sonucu etkisini yitirmesine neden olabilir; fiber ve matriks yapı ara yüzey bağlantısının güçlü olması bu durumu engelleyebilir [59].

2.10.3 Fiber miktarı

Polimer matriks içerisindeki fiber miktarı ağırlıkça veya hacimsel olarak tespit edilir. Polimer ve fiberin yoğunluğu bilindiği takdirde ağırlıkça fiber miktarından hacimce fiber miktarı hesaplaması yapılabilmektedir. Ancak bu tür hesaplama yöntemi ile güvenilir sonuçlar elde edebilmek için fiberler ile matriks arasındaki bağlantının yüksek seviyede olması gerekmektedir. Karışımın yapısında boşlukların ve bağlantı yetersizliğinin bulunması durumunda net miktar belirlenemeyeceği için, hacimce fiber hesaplama yöntemi genellikle kullanılmaz [51].

Hacimsel olarak fiber miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$V_g = (W_g / r_g) / (W_g / r_g + W_r / r_r)$$

V_g =Hacimce fiber miktarı; W_g =Fiber miktarı (g); W_r =Rezin miktarı (g); r_g =Fiber yoğunluğu (g/cm^3); r_r =Rezin yoğunluğu (g/cm^3).

Chen ve ark. [55,56], kullanım öncesi herhangi bir yüzey işlemi yapılmaksızın 2, 4 ve 6mm uzunluğunda ve % 1, 2 ve 3 oranlarında polyester, kevlar ve cam fiber ilavesi ile akrilik kaide rezinin mekanik özelliklerindeki değişimleri çarpma ve üç nokta eğme testi ile değerlendirmişlerdir. Bükülme dayanımında, fibersiz kontrol grubu ile karşılaştırıldığında önemli bir değişim görülmezken, çarpma dayanımının fiber uzunluk ve konsantrasyonu ile arttığını, özellikle diğer formülasyonlardan daha bariz şekilde %3 konsantrasyon ve 6mm uzunlukta polyester fiber ilavesinin daha etkin olduğunu belirtmişlerdir [55].

2.10.4 Fiber-akrilik rezin bağlanma mekanizması

Fiber ilave edilen akrilik kaide rezinlerin performansı, polimer matriks ile fiber arasındaki ara yüz bağlantısı ile yakından ilişkilidir, çünkü bu iki farklı yapı arasındaki adezyon, polimer matriksten fiberlere kuvvet aktarımında önemli rol oynar [59]. Fiberlerin metil metakrilat ile ıslatılarak akrilik hamuruna ilave edilmesi yönteminde görülen bağlantı yetersizlikleri, başlangıçta monomerin ıslatabilirliğinin zayıf olmasından kaynaklandığı şeklinde ifade edilmiş, ancak, daha sonra bunun PMMA'nın polimerizasyon büzülmesinin bir sonucu olduğu anlaşılmıştır [12,37]. Fiberin ıslatılması için monomer oranı artırıldığında, fiber üzerinde bulunan toz/likit rezin ile hamur halindeki rezin matriksin polimerizasyonu sırasında daha yüksek bir polimerizasyon büzülmesinin oluşabildiği, böylece polimer ile fiberleri birbirinden ayırabileceği belirtilmektedir.

Diğer bir sorun ise, fiberle güçlendirilen rezinlerde yetersiz ara yüz bağlantısından kaynaklanabilen distorsiyonlardır [29]. Isı ile polimerize olan akrilik rezinlerde rezin hamurunda polimerizasyon sırasında veya sonrasında fiber-rezin arasında yetersiz bağlantı nedeniyle oluşan boşluklar, kompozitin su emilimini artırarak mekanik özelliklerinin bozulmasına ve bitmiş protezde fiber-matriks ara yüzeyine oral mikroorganizmaların penetrasyonu ile renk değişimine de yol açmaktadır. Bu boşluklar, aynı zamanda oksijen rezervuarları gibi davranarak rezinde bulunan serbest radikalleri inhibe etmekte ve polimerizasyonun kalitesini azaltıp artık monomer miktarının artmasına neden olmaktadır. Uygun mekanik bağlantı için tüm fiber yüzeylerinin rezin ile kontakt sağlaması ve polimerizasyon büzülmesine bağlı oluşan boşlukların azaltılması için fiberlerin, akıcı kıvamda hazırlanan toz-likit karışımında 5-10 dakika bekletildikten sonra akrilik hamura katılması önerilmektedir [27,29].

Bu bilgiler ışığında, çalışmamızda, rezinin güçlendirilmesi için son yıllarda kullanılmaya başlanan ve özellikle çarpma dayanımında olumlu etkisi ve estetik olduğu bildirilen naylon 6, rayon, polyester, naylon 6,6 ve E-cam fiberlerin etkisi araştırıldı. Bu fiberlerin ağırlıkça %3 konsantrasyon ve 2, 4 ve 6mm uzunluğunda rezin yapıya ilave edildiğinde, sonuç yapının çekme, bükülme dayanımları ve su emme özelliklerine olan etkileri belirlendi; mekanik test sonrası kırılan örneklerde fiber/rezin ara yüz özellikleri mikroskopik olarak incelendi.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu araştırma, Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü Polimer Araştırma Laboratuvarı ve Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarı olanaklarıyla yapılmıştır.

Bu in vitro çalışmada, ısı ile polimerize olan protez kaide rezinine (Meliodent; Bayer Dental, Newbury, Berkshire, UK) beş farklı fiber ilave edilerek, test gereksinimlerine göre hazırlanan örnekler çekme dayanımı, transvers dayanımı ve su emilimi yönünden incelenmiştir.

3.1 Örneklerin hazırlanması

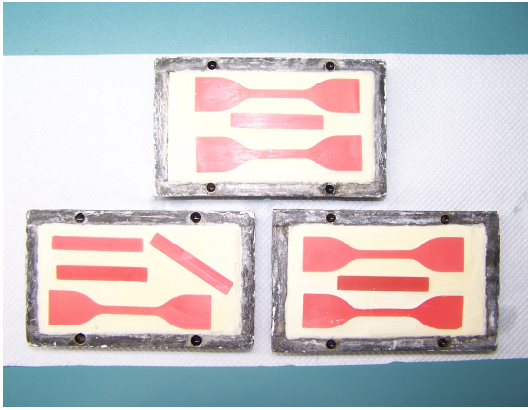
Standart test örneklerinin oluşturulması için her bir test yönteminde önerilen boyutlara uygun hazırlanan paslanmaz çelik kalıplardan yararlanılarak (Şekil 3.1.1, 3.1.2) pembe plaka mumdan (Modelling Wax, De Trey S.A., Bios Colombes, France) mum örnekler elde edilmiştir. Bilinen yöntemlerle muflaya alınan mum örnekler (Şekil 3.1.3) rutin işlemlerle eritilerek uzaklaştırılmış ve muflalar akril tepimine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.1.1 Çekme dayanım test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan paslanmaz çelik kalıp



Şekil 3.1.2 Transvers dayanım test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan paslanmaz çelik kalıp



Şekil 3.1.3 Muflaya alınmış mum örnekler

Kontrol ve fiber ilave edilen gruplar için hazırlanan test örnek sayısı Çizelge 3.1.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1.1 Test grupları, kullanılan test yöntemleri ve örnek sayılarının test yöntemine göre dağılımı

Test grupları	Test Yöntemi		
	Transvers dayanım	Çekme dayanım	Su emilimi
Kontrol	5	5	25
N6	5	5	25
RY	5	5	25
SMC3	5	5	25
PE	5	5	25
N6,6	5	5	25

Fiber ilave edilmeyen kontrol grubu test örnekleri için protez kaide akriliği üretici firma önerisi doğrultusunda toz/likit oranı 2.34g/ml olacak şekilde karıştırılmış ve

hamurlaşma safhasının ardından tepim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Muflalar hidrolik preste (Emmevi SpA, Parma, Italy) 15 dakika bırakıldıktan sonra yaylı britlere (Hanau Flask Pres 2, Teledyne, Colorado, USA) alınarak 70°C su banyosunda bir saat ve takiben kaynayan suda 30 dakika süreyle polimerize edilmiş ve oda sıcaklığında soğutulmuştur. Elde edilen örneklerin etrafındaki düzensiz fazlalıklar giderilmiş ve yüzeyleri akan su altında zımparalanarak (600 grit, Waterproof Silicone Carbide Paper, English Abrasives Ltd., London, UK) elde düzeltilmiştir.

DeneySEL test grupları için akrilik kaide rezini beş farklı fiber ile güçlendirilmiştir (Çizelge 3.1.2). Uzunluğun etkisini değerlendirmek için filament tarzında temin edilen elektriksel cam, polyester, rayon, naylon 6 ve naylon 6,6 fiberlerin her biri 2, 4 ve 6mm olmak üzere özel makasla (Tupo, Spezial, Stahl, Solingen, Germany) milimetrik skalada kesilmiştir. Fiberle güçlendirilmiş akrilik test örnek gruplarının oluşturulması için, üç farklı uzunluktaki her bir fiber önceden tartımı yapılan standart test kontrol örnek ağırlığı esas alınarak ağırlıkça %3 oranında polimer toza ilave edilmiştir (Sartorius AG, Gottingen, Germany). Fiberle güçlendirilmiş akrilik rezin örnekler, belirtilen toz/likit oranına uyularak kontrol grubundaki gibi polimerize edilerek tamamlanmıştır. Mekanik test örnekleri, 37°C'lik etüvde distile su içerisinde 24 saat bekletilmiş ve daha sonra yüzeylerindeki nem giderilerek oda ısısında (22±1°C) test edilmiştir.

Çizelge 3.1.2 Çalışmada kullanılan fiber tipleri

Tip	Kod	Renk	Üretici
Naylon 6	N6	Beyaz	Kordsa, Kocaeli, Türkiye
Rayon	RY	Sarı	Kordsa, Kocaeli, Türkiye
E-cam	SMC3	Beyaz	Cam Elyaf Sanayi, Kocaeli, Türkiye
Polyester	PE	Beyaz	Kordsa, Kocaeli, Türkiye
Naylon 6,6	SM6	Beyaz	Kordsa, Kocaeli, Türkiye

3.2 Çekme dayanım testi

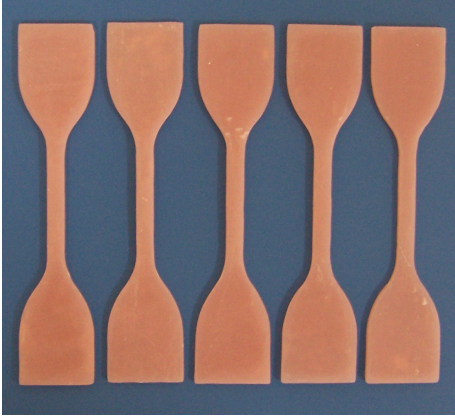
Çekme dayanım test örnekleri ASTM D638 M-91a standardına [62] uygun olarak 115×30×2mm boyutlarında hazırlanmıştır (n=5) (Şekil 3.2.1).

Çekme testi, bilgisayar destekli universal test cihazı ile yapılmıştır (Lloyd NK5, Lloyd Instruments Ltd., Fareham Hampshire, UK). Cihazın standart olarak kullanılan çeneleri arasına örnekler, uygulanacak kuvvete paralel olarak konumlanacak şekilde yerleştirilmiş ve cihazın hızı 5±1mm/dakika olarak ayarlanarak, örnekler kopana kadar çekme kuvveti uygulanmıştır. Elde edilen veriler cihaza bağlı bilgisayar programı

(Nexygen, Lloyd Instruments Ltd., Fareham, Hampshire, UK) ile otomatik olarak hesaplanmış ve her bir incelenen grup için çekme dayanımı N/mm^2 (MPa) olarak belirlenmiştir:

$$\sigma_d = F/bh$$

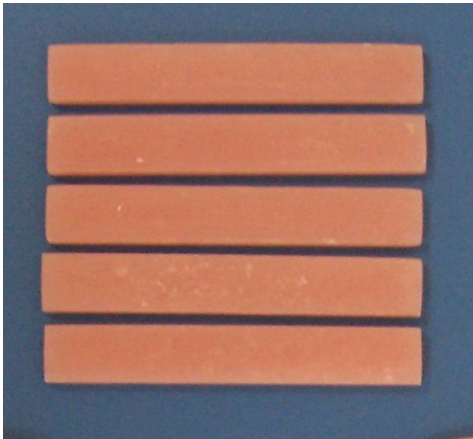
Burada σ_d =Çekme dayanımı; F=Uygulanabilen maksimum yük (N); b=Örneğin genişliği (mm); h=Örneğin kalınlığı (mm) dır.



Şekil 3.2.1 Fiber ilavesi yapılan çekme testi örnekleri

3.3 Transvers dayanım testi

Transvers dayanımın belirlenmesinde üç nokta eğme testi kullanılmıştır. Test örnekleri (n=5) ASTM D790 M-92 standardına [63] uygun olarak $70 \times 25 \times 2$ mm boyutlarında hazırlanmıştır (Şekil 3.3.1).



Şekil 3.3.1 Fiber ilavesi yapılan üç nokta eğme testi örnekleri

Üç nokta eğme testi için, aynı bilgisayar destekli universal test cihazından (Lloyd NK5, Lloyd Instruments Ltd., Fareham Hampshire, UK) yararlanılmıştır (Şekil 3.3.2). Cihazda örnek yerleştirilecek destekler arası uzaklık 50mm ve kırma hızı 5mm/dakika olarak ayarlanmış ve her bir örneğin kırılması için gerekli olan maksimum kuvvet ve örneğin kırılmadan önce gösterdiği bükülmenin derecesi cihaza bağlı olan bilgisayar sistemi aracılığıyla otomatik olarak kaydedilmiştir (Nexygen, Lloyd Instruments Ltd., Fareham, Hampshire, UK). Elde edilen değerlerin aşağıdaki formülle yapılan hesaplaması sonucu transvers dayanım değerleri N/mm^2 (MPa) olarak belirlenmiştir:

$$T_s = 3Fl/2bh^2$$

Burada T_s =Transvers dayanım (N/mm^2); F =Uygulanan yük (N); l =Destekler arasındaki uzaklık (mm); b =Örnek genişliği (mm); h =Örnek kalınlığı (mm) dır.



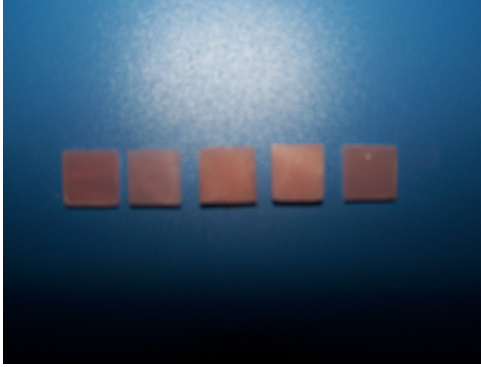
Şekil 3.3.2 Transvers direnç test cihazı

3.4 Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemesi

Test edilen tüm gruplarda fiber/rezin ara yüzü, üç nokta eğme testi sonrası örnek kırık yüzeylerinin SEM altında gözlenmesi ile değerlendirilmiştir. Akrilik kısmın kırıldığı, ancak fiberin devamlılık gösterdiği örneklerde, fiberin açıkta olan kısmı kesildikten sonra düşük devirde çalıştırılan su soğutmalı kesit alma cihazı (Buehler Isomed, Low Speed Saw, USA) ile 2mm'lik kesitler alınmıştır. Kesit örnekleri daha sonra Polaron SC7620 Sputter Coater cihazında 4×10^{-2} mbar vakumda 15sn Au/Pd ile (1sn de 45 Angstrom) kaplanarak iletken hale getirilmiş ve fiber/rezin ara yüz görünümü yüzey taramalı elektron mikroskopunda (LEO 440 Scanning Electron Microscope, UK) incelenmiştir.

3.5 Su emilim testi

Su emilim testi, örnek boyutlarının 10×10×2mm (Şekil 3.5.1) olması dışında, ISO 1567:1999 standardında [16] belirtildiği şekilde yapıldı.



Şekil 3.5.1 Fiber ilavesi yapılan su emilimi test örnekleri

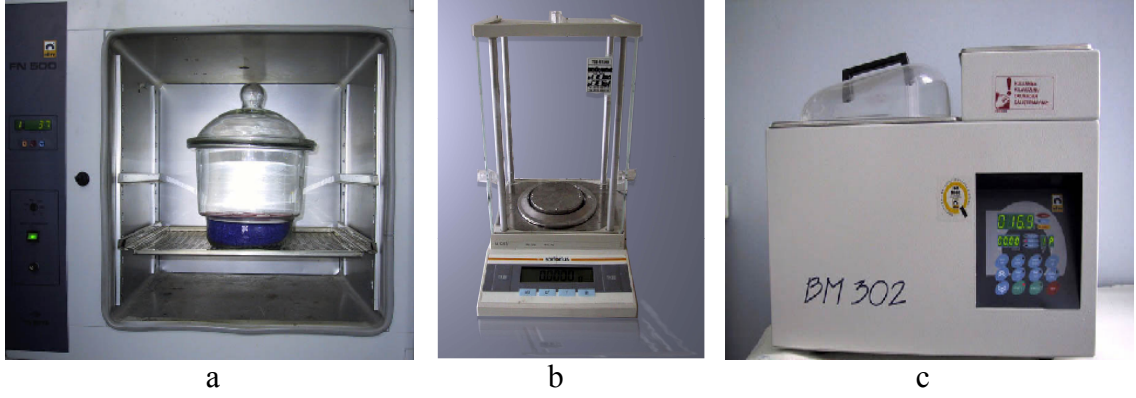
Örnekler, kalsiyum tuzları ve okzalit gibi nem çekme özelliği olan kimyasal bileşikler içeren desikatör içine (Şekil 3.5.2a), birbirlerine değmeyecek şekilde yerleştirme imkanı veren bölmeli bir kutu içerisinde 37°C’de dört gün kurutulmaya bırakılmış ve bunu takiben hassas terazi (3.5.2b) (Sartorius AG, Gottingen, Germany) ile ağırlıkları belirlenmiştir (m_1). Daha sonra, her bir örnek ayrı ayrı kaplara konularak bir gün süresince 10ml distile su ve 37°C sıcaklıktaki su banyosunda 0.2mg doğrulukla sabit kütle elde edilinceye değin bekletilmiştir (Şekil 3.5.2c). Su banyosundan çıkarılıp kurutma kağıdı ile hafifçe yüzeylerindeki nem alınarak örnekler tartılmış ve aynı işlem 2, 7, 14, 30 gün suda bekletilme sonrası yinelenmiştir (m_2). Test örnekleri desikatörde tekrar sabit kütle elde edilinceye değin kurutulmuş ve bunların ağırlığı da m_3 olarak belirlenmiş ve su emme miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$W_{sp} = \frac{m_2 - m_3}{V}$$

W_{sp} =Su emilim değeri (mg/cm^3); m_2 =Su banyosundan sonra tartılan kütle; m_3 =Son kurutma işleminden sonra tartılan kütle; V =Örneğin hacmi ($a \times b \times c$).

3.6 İstatistiksel değerlendirme

İstatistiksel değerlendirme, SPSS (versiyon 13.0) programı ile yapılmış ve elde edilen veriler çizelgelerde ortalama ve standart sapmaları ile belirtilip yanılma düzeyi 0.05 olarak alınmıştır.



Şekil 3.5.2 a. Desikatör b. Hassas terazi c. Su banyosu

Çekme ve transvers dayanım testlerinde, farklı uzunluklarda ilave edilen her bir fiber grubunun kendi içerisinde değerlendirilmesinde Friedman testi; farklılığın anlamlı olduğu durumlarda Wilcoxon testi uygulanmıştır. Kontrol dahil aynı uzunlukta ilave edilen her bir fiber grubu değerlerinin birbirleriyle karşılaştırılmasında ise Kruskall-Wallis testi; farklılığın anlamlı olduğu durumlarda ikişerli karşılaştırma için Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

Su emilimi testinde, her bir fiber grubunun değişen test zaman dilimlerinde kendi içinde ve kontrol dahil aynı uzunlukta fiber gruplarında test zaman dilimlerinin kendi içerisinde değerlendirilmesinde Friedman testi; farklılığın anlamlı olduğu durumlarda Wilcoxon testi uygulanmıştır. Kontrol dahil aynı uzunlukta fiber gruplarının test zaman dilimleri içerisinde birbirleriyle kıyaslanmasında ise, Kruskall-Wallis testi ve ikişerli karşılaştırma için Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Çekme dayanım test sonuçları

Çekme dayanım testi ile üç farklı uzunlukta aynı tip fiber ile desteklenen PMMA rezin örneklerden elde edilen veriler analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.1.1-4.1.5 ve Şekil 4.1.1-4.1.5’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1.1 N6 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları

Fiber uzunluğu (mm)	Young’s modülü (MPa) X ± Sd	Maksimum yük (N) X ± Sd	Maksimum uzama (mm) X ± Sd	Gerilim kuvveti (MPa) X ± Sd	Maksimum gerilme yüzdesi X ± Sd
2	2041.45 ± 167.68	658.78 ± 138.22	5.25 ± 3.49	53.43 ± 11.19	7.53 ± 5.03
4	2037.04 ± 160.12	648.33 ± 102.99	2.75 ± 0.32	52.86 ± 8.39	3.94 ± 0.47
6	2110.57 ± 358.12	633.23 ± 161.72	2.68 ± 0.42	51.62 ± 13.18	3.83 ± 0.60
	$\chi^2=1.20$ p=0.549 p>0.05	$\chi^2=0.40$ p=0.819 p>0.05	$\chi^2=1.60$ p=0.449 p>0.05	$\chi^2=0.40$ p=0.819 p>0.05	$\chi^2=1.60$ p=0.449 p>0.05
n=5					

Friedman test sonuçlarına göre, N6 grubunda Young’s modülü, maksimum yük, maksimum uzama, gerilim kuvveti ve maksimum gerilme yüzdesi parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna ait ölçümler karşılaştırıldığında farklılık önemsiz bulunmuştur (p>0.05). Akrilik rezine naylon 6 fiber ilavesinde Young’s modülü parametresi yönünden 6mm grubu (2110.57 ± 358.12MPa); incelenen diğer parametrelerin tümünde ise 2mm grubu diğer gruplardan daha yüksek değer sergilemiştir (Çizelge 4.1.1).

Çizelge 4.1.2 RY fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları

Fiber uzunluğu (mm)	Young’s modülü (MPa) X ± Sd	Maksimum yük (N) X ± Sd	Maksimum uzama (mm) X ± Sd	Gerilim kuvveti (MPa) X ± Sd	Maksimum gerilme yüzdesi X ± Sd
2	1901.78 ± 256.78	588.16 ± 97.46	2.57 ± 0.56	45.50 ± 7.94	3.68 ± 0.80
4	1823.25 ± 259.46	532.48 ± 78.21	2.65 ± 0.63	43.41 ± 6.37	3.79 ± 0.91
6	1928.97 ± 241.46	606.66 ± 59.98	3.76 ± 2.08	49.46 ± 4.89	5.38 ± 2.97
	$\chi^2=1.20$ p=0.549 p>0.05	$\chi^2=1.60$ p=0.449 p>0.05	$\chi^2=1.60$ p=0.449 p>0.05	$\chi^2=1.60$ p=0.449 p>0.05	$\chi^2=1.60$ p=0.449 p>0.05
n=5					

RY grubunda Young’s modülü, maksimum yük, maksimum uzama, gerilim kuvveti ve maksimum gerilme yüzdesi parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna

ait ölçümler karşılaştırıldığında farklılık önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Değerlendirilen gruplarda en düşük Young's modülü 4mm uzunlukta fiberle desteklenen grupta ($1823.25 \pm 259.46\text{MPa}$); tüm parametreler için en yüksek değerler 6mm uzunlukta fiberle desteklenen grupta elde edilmiştir (Çizelge 4.1.2).

Çizelge 4.1.3 SMC3 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları*

Fiber uzunluğu (mm)	Young's modülü (MPa) X ± Sd	Maksimum yük (N) X ± Sd	Maksimum uzama (mm) X ± Sd	Gerilim kuvveti (MPa) X ± Sd	Maksimum gerilme yüzdesi X ± Sd
2	1908.79 ± 244.00	508.63 ± 172.69	3.28 ± 0.68 ^{a,b}	51.47 ± 14.08	4.69 ± 0.97 ^{d,e}
4	2200.28 ± 250.39	598.56 ± 67.31	2.10 ± 0.20 ^{a,c}	48.80 ± 5.48	3.01 ± 0.29 ^{d,f}
6	2052.33 ± 429.24	524.51 ± 147.38	2.48 ± 0.30 ^{b,c}	47.76 ± 12.01	3.54 ± 0.44 ^{e,f}
	$\chi^2=2.80$ p=0.247 p>0.05	$\chi^2=0.01$ p=1.00 p>0.05	$\chi^2=8.40$ p=0.015 p<0.05	$\chi^2=0.01$ p=1.00 p>0.05	$\chi^2=8.40$ p=0.015 p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

SMC3 grubunda; Young's modülü, maksimum yük ve gerilim kuvveti parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna ait ölçümler karşılaştırıldığında farklılık önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Maksimum uzama ve maksimum gerilme yüzdesi yönünden farklılıklar önemlidir ($p<0.05$). Wilcoxon test sonuçlarına göre, SMC3 grubunda maksimum uzama ve maksimum gerilme yüzdesi yönünden karşılaştırma yapıldığında 2mm ile 4mm, 2mm ile 6mm, 4mm ile 6mm grupları arası farklılık önemli bulunmuştur ($p<0.05$). SMC3 4mm grubu maksimum uzama ($2.10 \pm 0.20\text{mm}$) ve maksimum gerilme yüzdesi (3.01 ± 0.29) parametrelerinde istatistiksel yönden anlamlı olarak, SMC3 2mm ve SMC3 6mm grubuna göre daha düşük değer sergilemiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.1.3).

Çizelge 4.1.4 PE fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları

Fiber uzunluğu (mm)	Young's modülü (MPa) X ± Sd	Maksimum yük (N) X ± Sd	Maksimum uzama (mm) X ± Sd	Gerilim kuvveti (MPa) X ± Sd	Maksimum gerilme yüzdesi X ± Sd
2	1887.86 ± 244.93	573.60 ± 59.97	5.55 ± 0.63	46.76 ± 4.88	5.08 ± 0.90
4	2080.42 ± 222.99	619.41 ± 87.95	2.84 ± 0.38	50.50 ± 7.17	4.06 ± 0.54
6	2098.29 ± 204.01	660.45 ± 152.00	3.43 ± 1.54	53.84 ± 12.39	2.90 ± 2.80
	$\chi^2=1.60$ p=0.449 p>0.05	$\chi^2=2.80$ p=0.247 p>0.05	$\chi^2=2.80$ p=0.247 p>0.05	$\chi^2=2.80$ p=0.247 p>0.05	$\chi^2=2.80$ p=0.247 p>0.05

n=5

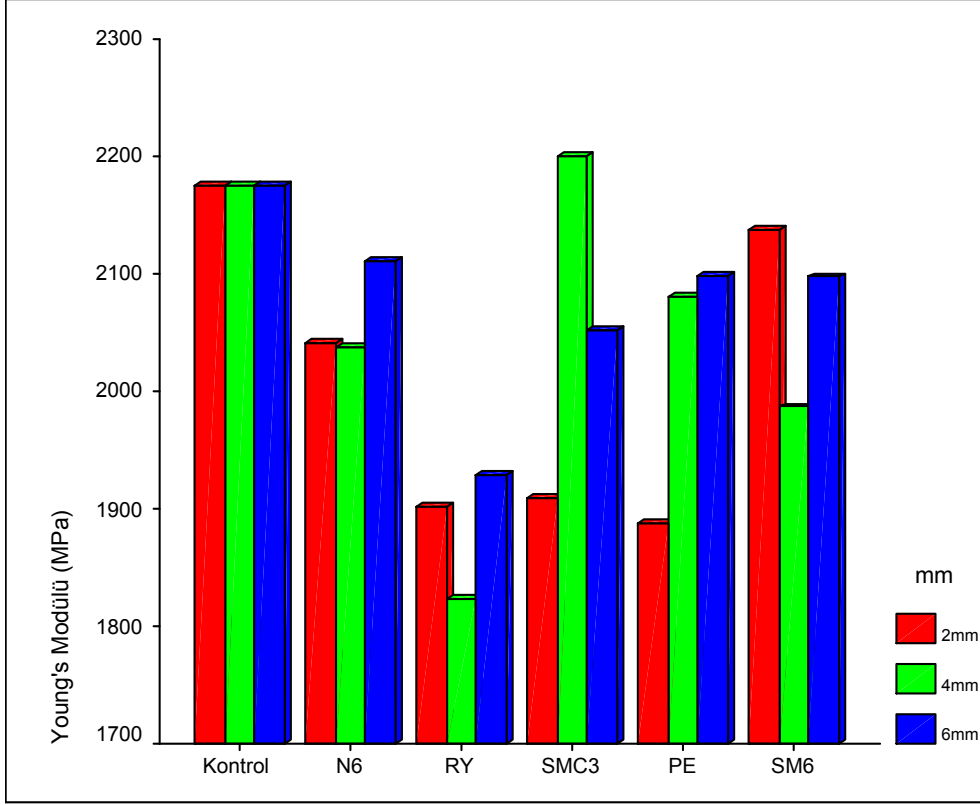
PE grubunda Young's modülü, maksimum yük, maksimum uzama, gerilim kuvveti ve maksimum gerilme yüzdesi parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna ait ölçümler karşılaştırıldığında farklılık önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). 6mm PE fiber ile desteklenen grup Young's modülü, maksimum yük ve gerilim kuvveti yönünden diğer uzunluklarla desteklenen gruplardan daha yüksek değer göstermiştir (2098.29 ± 204.01 MPa; 660.45 ± 152.00 N ve 53.84 ± 12.39 MPa) (Çizelge 4.1.4).

SM6 grubunda; Young's modülü, maksimum yük, maksimum uzama, gerilim kuvveti ve maksimum gerilme yüzdesi parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna ait ölçümler karşılaştırıldığında farklılık önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). SM6 2mm grubu; Young's modülü (2138.23 ± 225.54 MPa), maksimum yük (644.15 ± 78.10 N) ve gerilim kuvveti (52.51 ± 6.36 MPa) parametrelerinde istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte SM6 4mm ve SM6 6mm gruplarına göre daha yüksek değer göstermiştir (Çizelge 4.1.5).

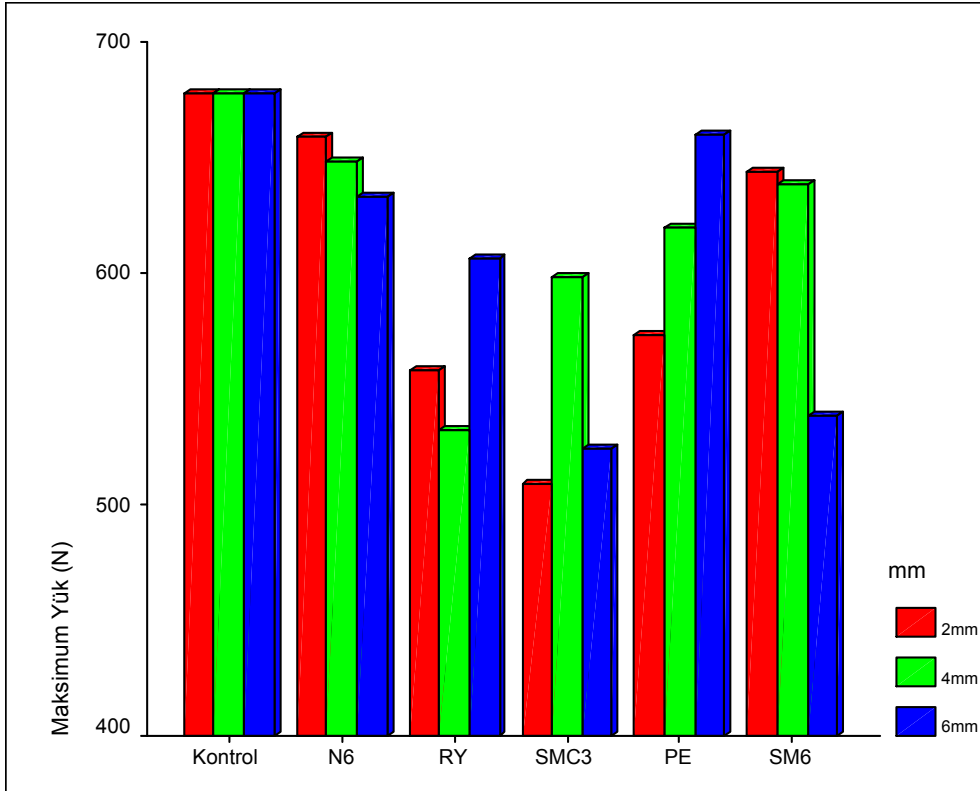
Çizelge 4.1.5 SM6 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde çekme dayanım test sonuçları

Fiber uzunluğu (mm)	Young's modülü (MPa) X ± Sd	Maksimum yük (N) X ± Sd	Maksimum uzama (mm) X ± Sd	Gerilim kuvveti (MPa) X ± Sd	Maksimum gerilme yüzdesi X ± Sd
2	2138.23 ± 225.54	644.15 ± 78.10	2.47 ± 0.25	52.51 ± 6.36	3.53 ± 0.36
4	1986.72 ± 112.22	638.65 ± 27.34	2.52 ± 0.10	52.07 ± 2.26	3.60 ± 0.15
6	2097.37 ± 103.39	538.23 ± 55.10	2.42 ± 0.17	52.03 ± 4.49	3.46 ± 0.25
	$\chi^2=3.60$ p=0.165 p>0.05	$\chi^2=0.40$ p=0.819 p>0.05	$\chi^2=0.40$ p=0.819 p>0.05	$\chi^2=0.40$ p=0.819 p>0.05	$\chi^2=0.40$ p=0.819 p>0.05

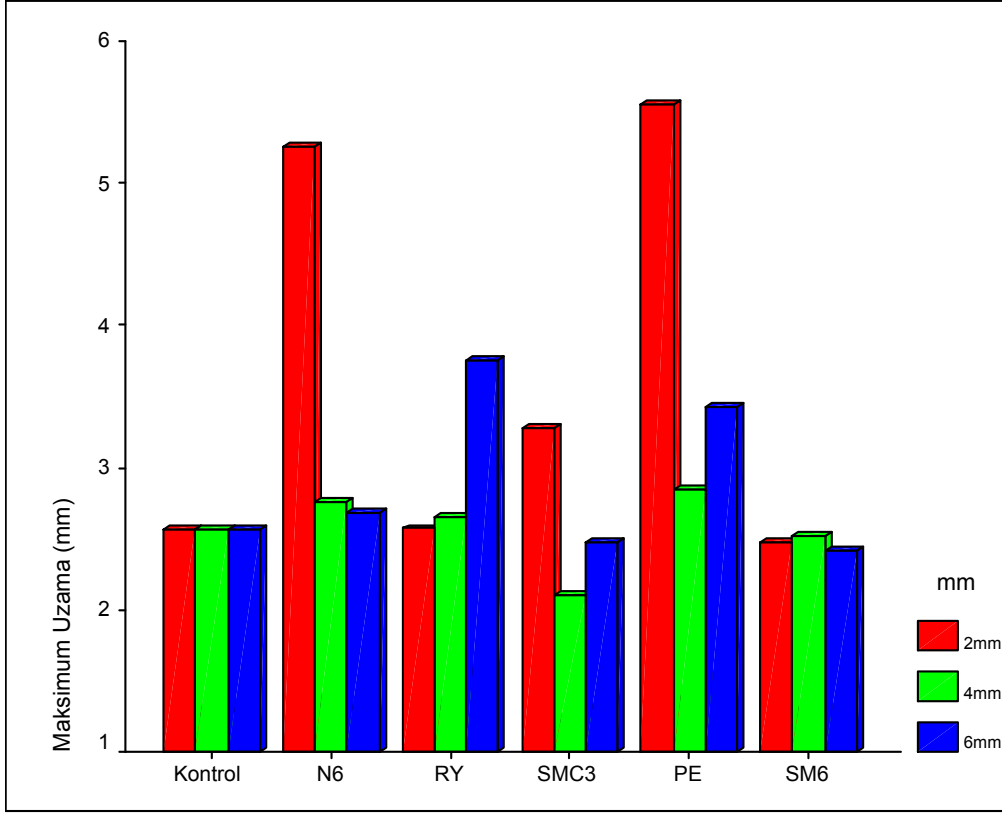
n=5



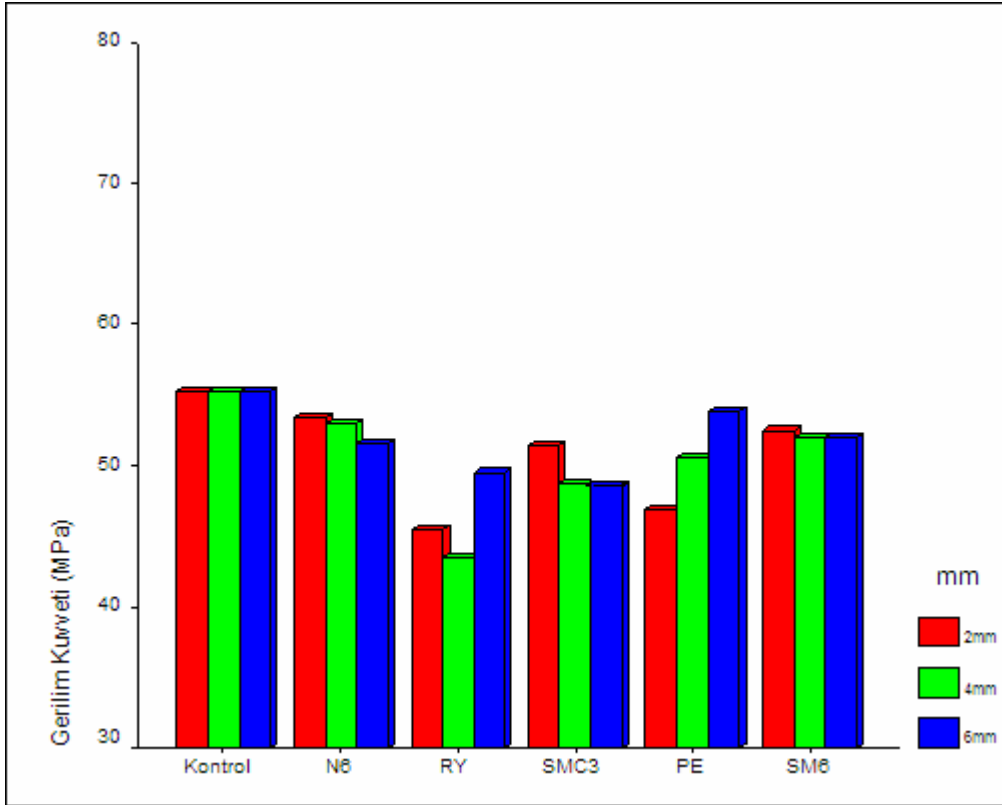
Şekil 4.1.1 Grupların kendi içlerindeki Young's modülü değerleri



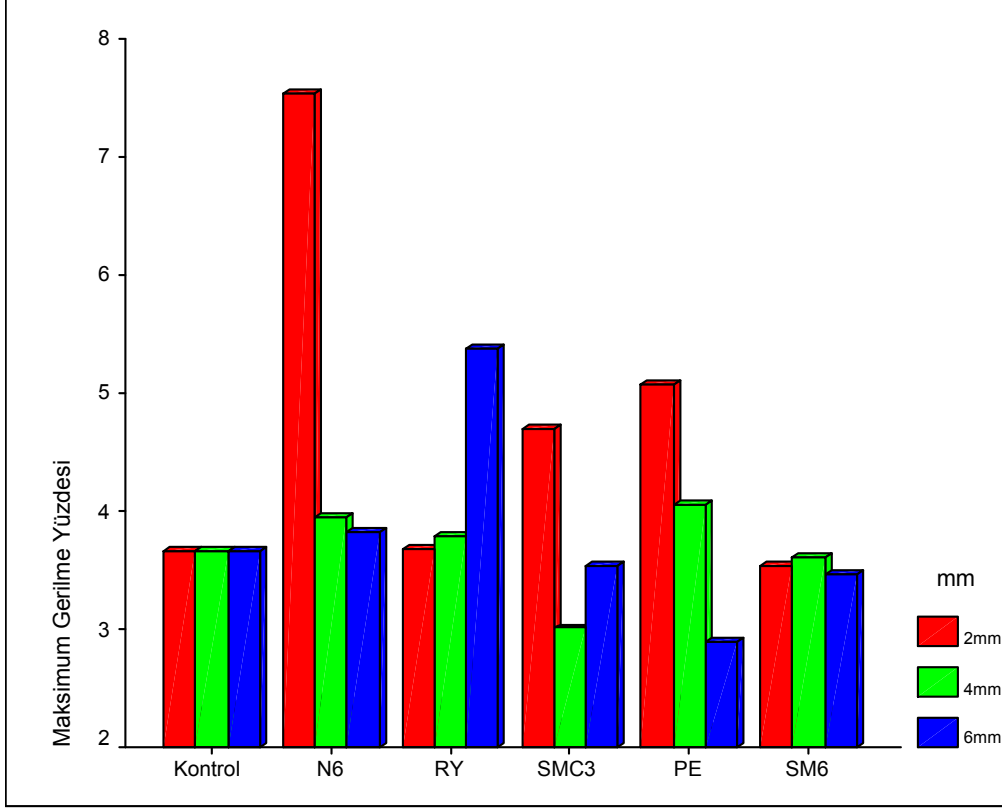
Şekil 4.1.2 Grupların kendi içlerindeki maksimum yük değerleri



Şekil 4.1.3 Grupların kendi içlerindeki maksimum uzama değerleri



Şekil 4.1.4 Grupların kendi içlerindeki gerilim kuvveti değerleri



Şekil 4.1.5 Grupların kendi içlerindeki maksimum gerilme yüzdesi değerleri

2, 4 ve 6mm uzunlukta farklı tip fiberler ile desteklenen PMMA örneklerin ve kontrol grubunun çekme dayanım test verileri Çizelge 4.1.6-4.1.8 ve Şekil 4.1.6-4.1.10'da sunulmuştur.

2mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda incelenen parametreler Kruskal-Wallis testle değerlendirildiğinde, Young's modülü yönünden gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p=0.169$). Maksimum yük, maksimum uzama, gerilim kuvveti ve maksimum gerilme yüzdesi parametrelerine göre gruplar arası farklılıklar önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Mann-Whitney U test sonuçları, maksimum yük ve gerilim kuvveti yönünden Kontrol ve RY, Kontrol ve SMC3, N6 ve RY, N6 ve SMC3, RY ve SM6, SMC3 ve SM6 arasında farkın önemli olduğunu ($p=0.018$), diğer gruplar arasındaki farkın önemsiz olduğunu göstermiştir ($p>0.05$). Maksimum uzama ve maksimum gerilme yüzdesi yönünden elde edilen değerler karşılaştırıldığında ise, Kontrol ve PE, N6 ve SM6, SMC3 ve PE, PE ve SM6 grupları arasında fark bulunurken ($p=0.017$), diğer gruplar arasında fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$) (Çizelge 4.1.6).

Çizelge 4.1.6 2mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda çekme dayanım test sonuçları*

Gruplar (mm)	Young's modülü (MPa) X ± Sd	Maksimum yük (N) X ± Sd	Maksimum uzama (mm) X ± Sd	Gerilim kuvveti (MPa) X ± Sd	Maksimum gerilme yüzdesi X ± Sd
Kontrol	2174.97 ± 223.48	678.04 ± 66.79 ^{a,b}	2.56 ± 0.30 ^g	55.28 ± 5.44 ^{k,l}	3.66 ± 0.42 ^f
N6	2041.45 ± 167.68	658.78 ± 138.22 ^{c,d}	5.25 ± 3.49 ^h	53.43 ± 11.19 ^{m,n}	7.53 ± 5.03 ^s
RY	1901.78 ± 256.78	558.16 ± 97.46 ^{a,c,e}	2.57 ± 0.56	45.50 ± 7.94 ^{k,m,o}	3.68 ± 0.80
SMC3	1908.76 ± 244.00	508.63 ± 172.69 ^{b,d,f}	3.28 ± 0.68 ⁱ	51.47 ± 14.08 ^{l,n,p}	4.69 ± 0.97 ^t
PE	1887.86 ± 244.93	573.60 ± 59.97	5.55 ± 0.63 ^{g,i,j}	46.76 ± 4.88	5.08 ± 0.90 ^{r,t,u}
SM6	2138.23 ± 225.54	644.15 ± 78.10 ^{e,f}	2.47 ± 0.25 ^{h,j}	52.51 ± 6.36 ^{o,p}	3.53 ± 0.36 ^{s,u}
	KW=7.78 p=0.169 p>0.05	KW=13.67 p=0.018 p<0.05	KW=13.85 p=0.017 p<0.05	KW=13.70 p=0.018 p<0.05	KW=13.85 p=0.017 p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Mann-Whitney U teste göre istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

4mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda incelenen parametreler Kruskal-Wallis testle değerlendirildiğinde, Young's modülü, maksimum yük ve gerilim kuvveti yönünden gruplar arası fark önemsizken (p>0.05); maksimum uzama ve maksimum gerilme yüzdesi parametrelerine göre gruplar arası fark önemli bulunmuştur (p<0.05). Kontrol ve SMC3, N6 ve SMC3, RY ve SMC3, SMC3 ve PE, SMC3 ve SM6 grupları arasındaki fark önemli (p=0.021), diğer gruplar arasında fark önemsizdir (p>0.05) (Çizelge 4.1.7).

Çizelge 4.1.7. 4mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda çekme dayanım test sonuçları*

Gruplar (mm)	Young's modülü (MPa) X ± Sd	Maksimum yük (N) X ± Sd	Maksimum uzama (mm) X ± Sd	Gerilim kuvveti (MPa) X ± Sd	Maksimum gerilme yüzdesi X ± Sd
Kontrol	2174.97 ± 223.48	678.04 ± 66.79	2.56 ± 0.30 ^a	55.28 ± 5.44	3.66 ± 0.42 ^f
N6	2037.04 ± 160.12	648.33 ± 102.99	2.75 ± 0.32 ^b	52.86 ± 8.39	3.94 ± 0.47 ^g
RY	1823.25 ± 259.46	532.48 ± 78.21	2.65 ± 0.63 ^c	43.41 ± 6.37	3.79 ± 0.91 ^h
SMC3	2200.28 ± 250.39	598.56 ± 67.31	2.10 ± 0.20 ^{a,b,c,d,e}	48.80 ± 5.48	3.01 ± 0.29 ^{f,g,h,i,j}
PE	2080.42 ± 222.99	619.41 ± 87.95	2.84 ± 0.38 ^d	50.50 ± 7.17	4.06 ± 0.54 ⁱ
SM6	1986.72 ± 112.22	638.65 ± 27.34	2.52 ± 0.10 ^e	52.07 ± 2.26	3.60 ± 0.15 ^j
	KW=8.56 p=0.128 p>0.05	KW=8.46 p=0.132 p>0.05	KW=13.29 p=0.021 p<0.05	KW=8.46 p=0.132 p>0.05	KW=13.29 p=0.021 p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Mann-Whitney U teste göre istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

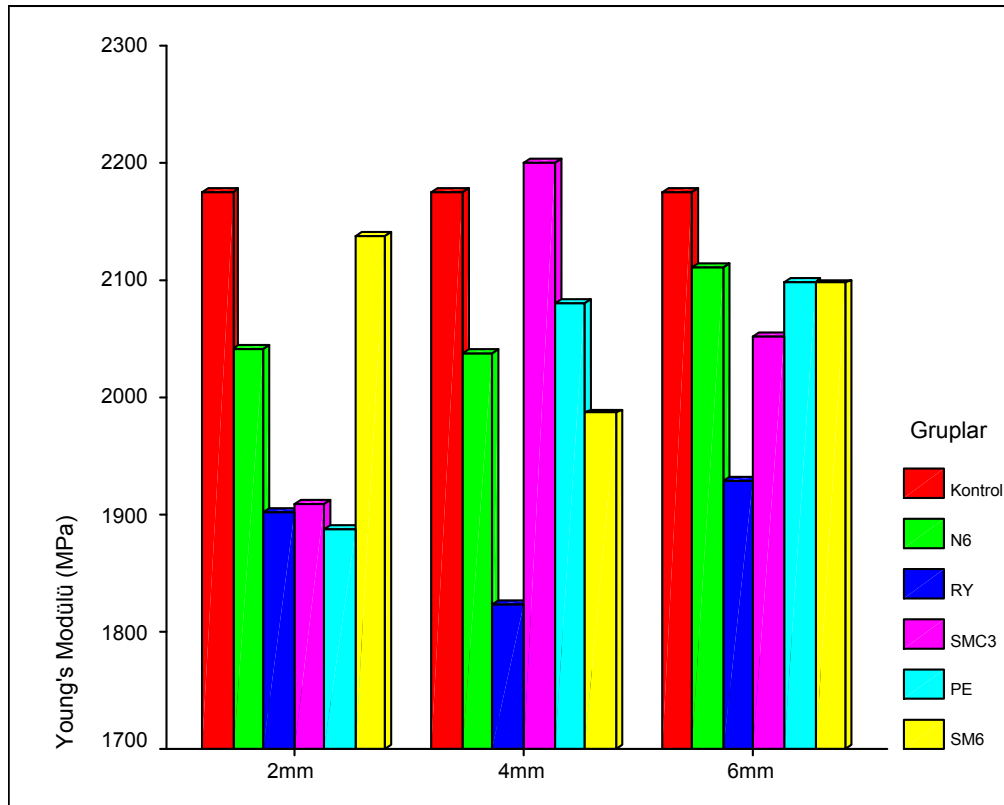
Tüm gruplarda 6mm uzunlukta değişik fiber katılımı ile elde edilen çekme dayanım verileri Kruskal-Wallis test ile değerlendirildiğinde Young's modülü,

maksimum yük, maksimum uzama, gerilim kuvveti ve maksimum gerilme yüzdesi parametreleri yönünden gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$) (Çizelge 4.1.8).

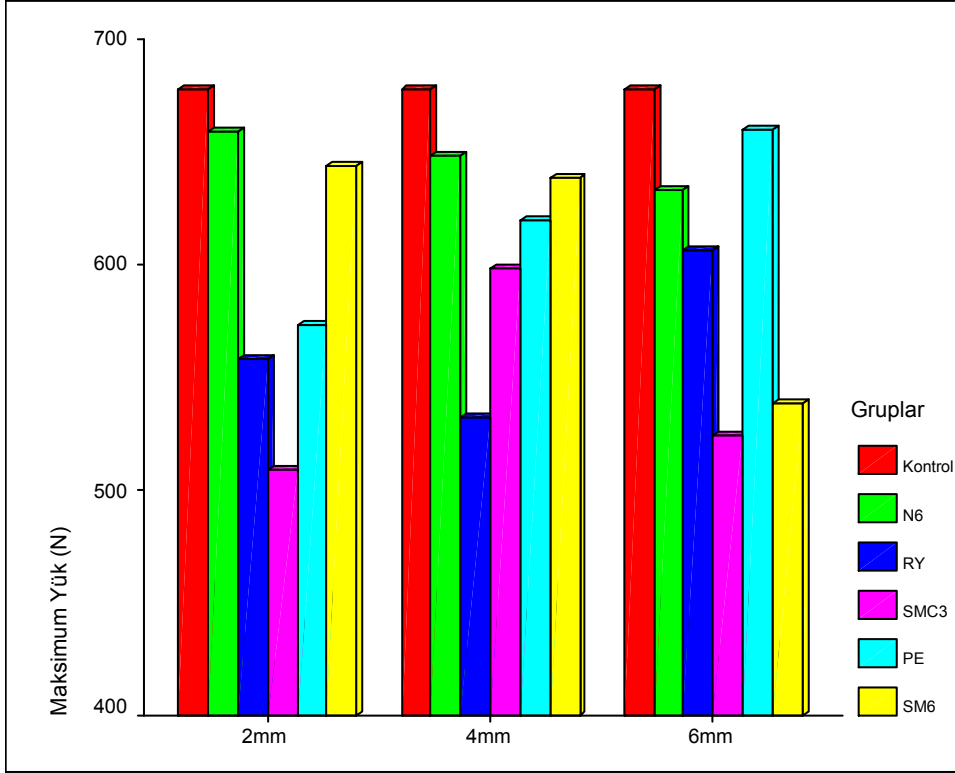
Çizelge 4.1.8 6mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda çekme dayanım test sonuçları

Gruplar (mm)	Young's modülü (MPa) $\bar{X} \pm Sd$	Maksimum yük (N) $\bar{X} \pm Sd$	Maksimum uzama (mm) $\bar{X} \pm Sd$	Gerilim kuvveti (MPa) $\bar{X} \pm Sd$	Maksimum gerilme yüzdesi $\bar{X} \pm Sd$
Kontrol	2174.97 ± 223.48	678.04 ± 66.79	2.56 ± 0.30	55.28 ± 5.44	3.66 ± 0.42
N6	2110.57 ± 358.12	633.23 ± 161.72	2.68 ± 0.42	51.62 ± 13.18	3.83 ± 0.60
RY	1928.97 ± 241.46	606.66 ± 59.98	3.76 ± 2.08	49.46 ± 4.89	5.38 ± 2.97
SMC3	2052.33 ± 429.24	524.51 ± 147.38	2.48 ± 0.30	47.76 ± 12.01	3.54 ± 0.44
PE	2098.29 ± 204.01	660.45 ± 152.00	3.43 ± 1.54	53.84 ± 12.39	2.90 ± 2.80
SM6	2097.37 ± 103.39	538.23 ± 55.10	2.42 ± 0.17	52.03 ± 4.49	3.46 ± 0.25
	KW=5.29 p=0.381 p>0.05	KW=7.84 p=0.165 p>0.05	KW=8.35 p=0.138 p>0.05	KW=7.84 p=0.165 p>0.05	KW=8.35 p=0.138 p>0.05

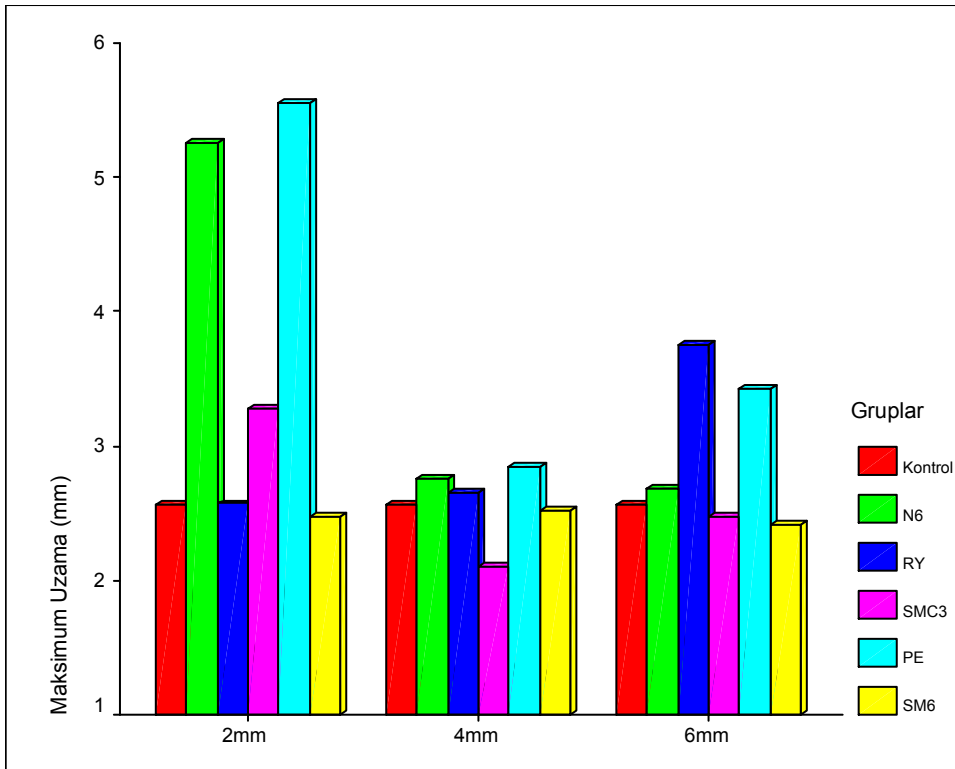
n=5



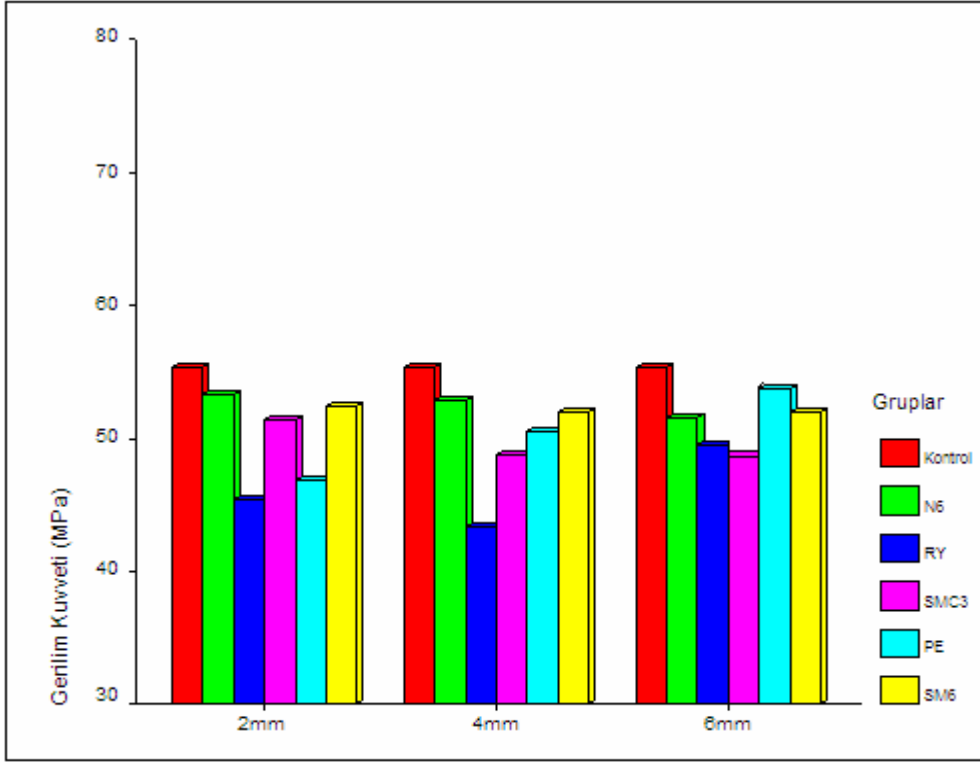
Şekil 4.1.6 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki Young's modülü değerleri



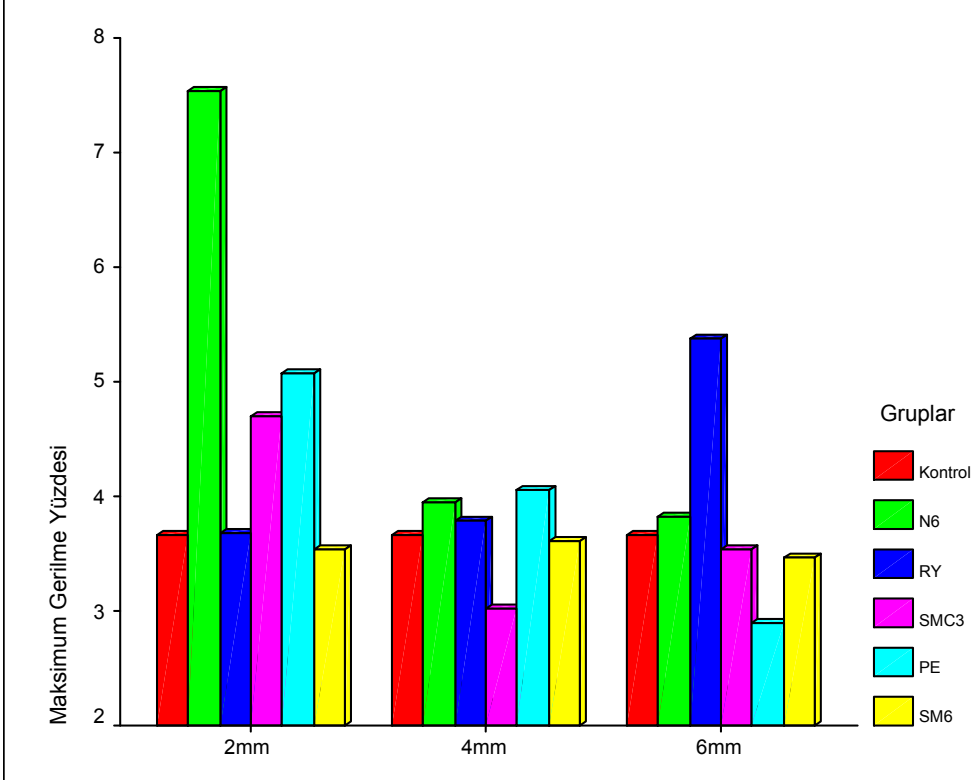
Şekil 4.1.7 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum yük değerleri



Şekil 4.1.8 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum uzama değerleri



Şekil 4.1.9 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki gerilim kuvveti değerleri



Şekil 4.1.10 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum gerilme yüzdesi değerleri

4.2 Transvers dayanım test sonuçları

Üç farklı uzunlukta aynı tip fiberle desteklenen PMMA rezin örneklerden elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 4.2.1-4.2.5, Şekil 4.2.1-4.2.3’de sunulmuştur.

Friedman test sonuçlarına göre, N6 grubunda maksimum sapma, maksimum bükülme dayanımı ve bükülme modülü parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna ait ölçümler karşılaştırıldığında farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Akrilik rezine 4mm uzunlukta naylon fiber ilave edildiğinde en yüksek bükülme modülü (1199.21 ± 105.36 MPa) elde edilmiştir (Çizelge 4.2.1).

Çizelge 4.2.1 N6 fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları

Fiber uzunluğu (mm)	Maksimum sapma (mm) $\bar{X} \pm Sd$	Maksimum bükülme dayanımı (MPa) $\bar{X} \pm Sd$	Bükülme modülü (MPa) $\bar{X} \pm Sd$
2	5.50 ± 0.49	53.02 ± 5.88	1068.76 ± 104.76
4	5.64 ± 0.49	59.82 ± 1.83	1199.21 ± 105.36
6	5.10 ± 0.77	51.90 ± 8.31	1107.33 ± 300.96
	$\chi^2=1.20$ $p=0.549$ $p>0.05$	$\chi^2=4.80$ $p=0.091$ $p>0.05$	$\chi^2=2.80$ $p=0.247$ $p>0.05$

n=5

RY grubunda maksimum sapma, maksimum bükülme dayanımı ve bükülme modülü parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna ait ölçümler karşılaştırıldığında farklılık önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$) (Çizelge 4.2.2).

Çizelge 4.2.2 RY fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları

Fiber uzunluğu (mm)	Maksimum sapma (mm) $\bar{X} \pm Sd$	Maksimum bükülme dayanımı (MPa) $\bar{X} \pm Sd$	Bükülme modülü (MPa) $\bar{X} \pm Sd$
2	4.65 ± 0.61	49.57 ± 11.54	1102.24 ± 143.06
4	5.96 ± 1.32	47.17 ± 7.35	920.39 ± 150.42
6	5.71 ± 0.56	73.97 ± 4.65	901.08 ± 88.45
	$\chi^2=5.20$ $p=0.074$ $p>0.05$	$\chi^2=0.40$ $p=0.819$ $p>0.05$	$\chi^2=2.80$ $p=0.247$ $p>0.05$

n=5

SMC3 grubunda maksimum sapma, maksimum bükülme dayanımı ve bükülme modülü parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna ait ölçümler karşılaştırıldığında sadece bükülme modülü yönünden farklılık önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Wilcoxon test, bu grupta bükülme modülü parametresine göre 2mm ile 4mm grubuna ait ölçümler arası farkın önemli olduğunu göstermiştir ($p=0.039$) (Çizelge 4.2.3).

Çizelge 4.2.3 SMC3 fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları *

Fiber uzunluğu (mm)	Maksimum sapma (mm) X ± Sd	Maksimum bükülme dayanımı (MPa) X ± Sd	Bükülme modülü (MPa) X ± Sd
2	6.09 ± 0.98	49.17 ± 2.29	898.60 ± 123.19 ^a
4	5.13 ± 0.87	51.85 ± 7.07	1088.19 ± 35.34 ^a
6	4.88 ± 0.64	49.62 ± 4.08	1038.80 ± 92.71
	$\chi^2=2.80$ p=0.247 p>0.05	$\chi^2=5.20$ p=0.074 p>0.05	$\chi^2=5.20$ p=0.039 * p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

PE grubunda maksimum sapma, maksimum bükülme dayanımı ve bükülme modülü yönünden 2mm, 4mm ve 6mm grubuna ait ölçümlerin farklı olmadığını göstermiştir (p>0.05) (Çizelge 4.2.4).

Çizelge 4.2.4 PE fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları

Fiber uzunluğu (mm)	Maksimum sapma (mm) X ± Sd	Maksimum bükülme dayanımı (MPa) X ± Sd	Bükülme modülü (MPa) X ± Sd
2	5.38 ± 0.41	51.03 ± 6.02	1031.14 ± 107.50
4	5.83 ± 0.90	52.59 ± 3.39	1005.53 ± 80.77
6	5.16 ± 0.38	51.31 ± 5.74	1081.96 ± 191.78
	$\chi^2=2.80$ p=0.247 p>0.05	$\chi^2=0.40$ p=0.819 p>0.05	$\chi^2=0.40$ p=0.819 p>0.05

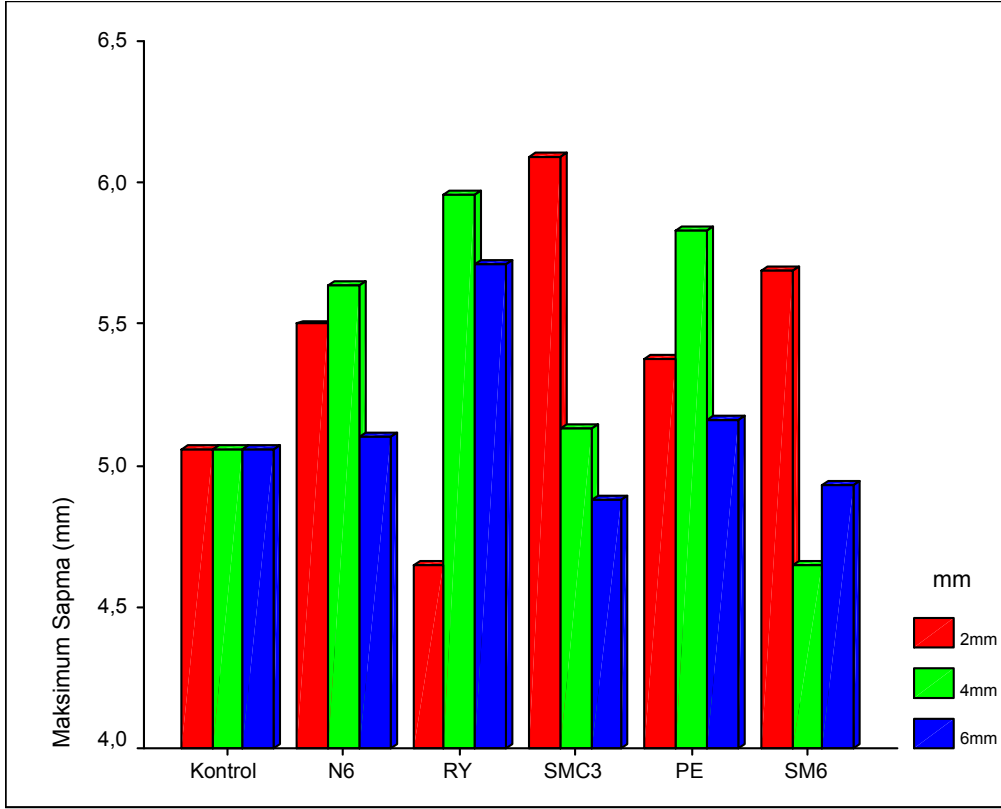
n=5

SM6 grubunda maksimum sapma, maksimum bükülme dayanımı ve bükülme modülü parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna ait ölçümler karşılaştırıldığında farklılık önemsiz bulunmuştur (p>0.05). SM6 2mm uzunluktaki fiber ile desteklenen grup, bükülme modülü parametresi yönünden daha düşük değer sergilemiştir (899.10 ± 192.71MPa) (Çizelge 4.2.5).

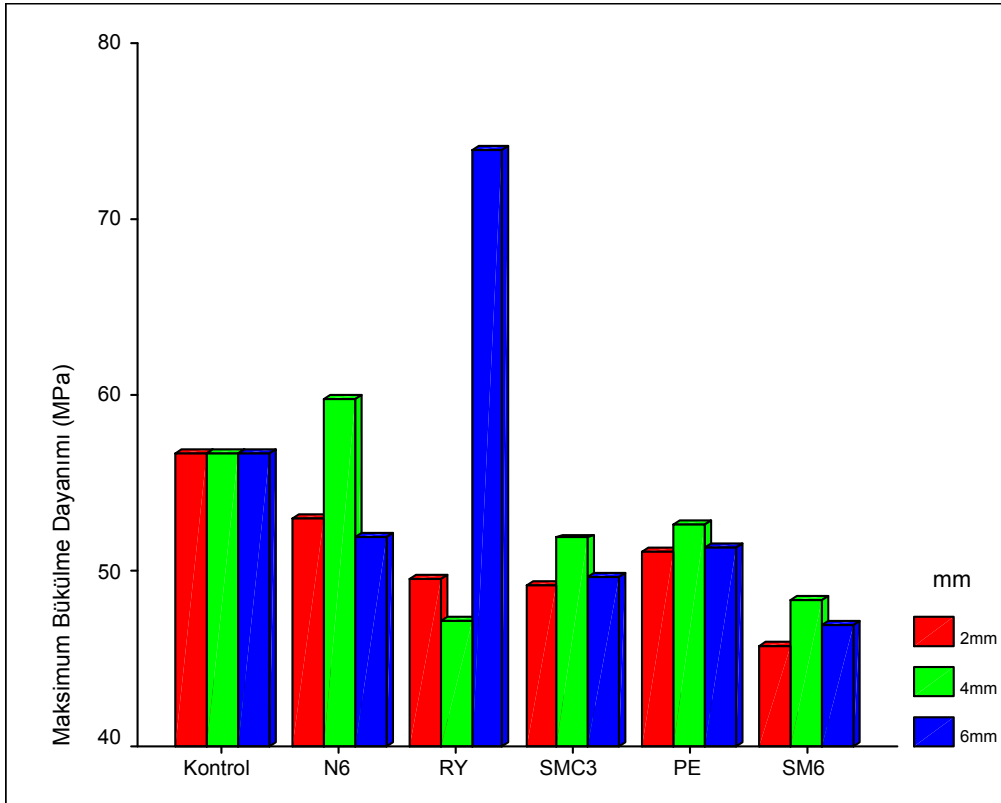
Çizelge 4.2.5 SM6 fiberle desteklenen PMMA örneklerde transvers test sonuçları

Fiber uzunluğu (mm)	Maksimum sapma (mm) X ± Sd	Maksimum bükülme dayanımı (MPa) X ± Sd	Bükülme modülü (MPa) X ± Sd
2	5.69 ± 0.71	45.72 ± 6.46	899.10 ± 192.71
4	4.71 ± 0.59	48.31 ± 7.33	1101.76 ± 74.41
6	4.93 ± 0.58	46.89 ± 6.58	1033.79 ± 102.42
	$\chi^2=3.60$ p=0.165 p>0.05	$\chi^2=0.40$ p=0.819 p>0.05	$\chi^2=2.80$ p=0.247 p>0.05

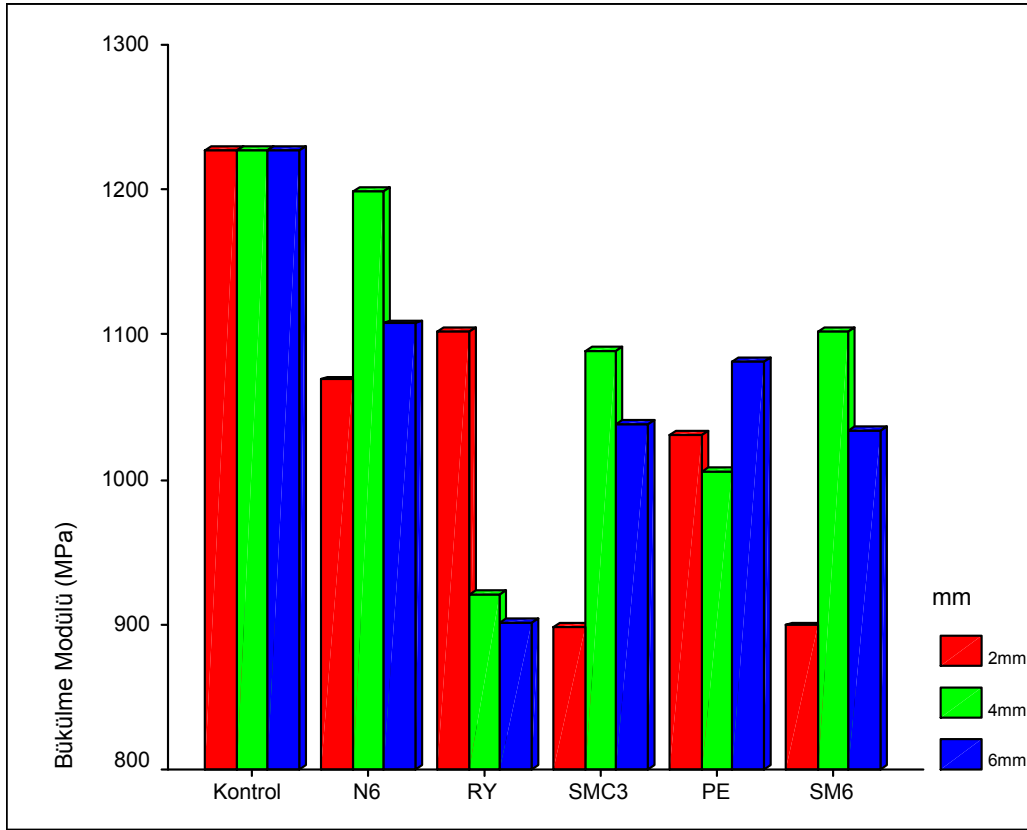
n=5



Şekil 4.2.1 Grupların kendi içlerindeki maksimum sapma değerleri



Şekil 4.2.2 Grupların kendi içlerindeki maksimum bükülme dayanım değerleri



Şekil 4.2.3 Grupların kendi içlerindeki bükülme modülü değerleri

2, 4 ve 6mm uzunlukta farklı tip fiberler ile desteklenen PMMA örnekler ve kontrol grubunun transvers dayanım test verileri Çizelge 4.2.6-4.2.8 ve Şekil 4.2.4-4.2.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.2.6 2mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda transvers test sonuçlarının karşılaştırılması *

Gruplar	Maksimum sapma (mm) X ± Sd	Maksimum bükülme dayanımı (MPa) X ± Sd	Bükülme modülü (MPa) X ± Sd
Kontrol	5.06 ± 0.63	56.71 ± 6.98	1226.75 ± 59.82 ^{a,b,c,d}
N6	5.50 ± 0.49	53.02 ± 5.88	1068.76 ± 104.76 ^a
RY	4.65 ± 0.61	49.57 ± 11.54	1102.24 ± 143.06
SMC3	6.09 ± 0.98	49.17 ± 2.29	898.60 ± 123.19 ^b
PE	5.38 ± 0.41	51.03 ± 6.02	1031.14 ± 107.50 ^c
SM6	5.69 ± 0.71	45.72 ± 6.46	899.10 ± 192.71 ^d
	KW=8.91 p=0.113 p>0.05	KW=7.60 p=0.180 p>0.05	KW=14.20 p=0.014 [‡] p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Mann-Whitney U teste göre istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

2mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda transvers dayanım testi ile belirlenen parametreler değerlendirildiğinde Kruskall-Wallis test, maksimum sapma ve maksimum bükülme dayanımı yönünden grupların farksız olduğunu ($p>0.05$); bükülme modülü açısından ise farklı olduğunu göstermiştir ($p<0.05$). Mann-Whitney U teste göre Kontrol ve N6, Kontrol ve SMC3, Kontrol ve PE, Kontrol ve SM6 arasında bükülme modülü farklı iken ($p=0.014$), diğer gruplar arasındaki fark önemsizdir ($p>0.05$) (Çizelge 4.2.6).

4mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda transvers dayanım testi ile belirlenen parametreler değerlendirildiğinde maksimum sapma yönünden fiber grupları arası fark önemsiz ($p>0.05$); maksimum bükülme dayanımı ve bükülme modülü yönünden fark önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Maksimum bükülme dayanımı yönünden 4 mm gruplarına ait değerler ikişerli kıyaslandığında; N6 ve RY, N6 ve PE, N6 ve SM6 arasında fark önemli bulunurken ($p=0.030$), diğer gruplar farklı bulunmamıştır ($p>0.05$). Bükülme modülü yönünden ise Kontrol ve RY, Kontrol ve SMC3, Kontrol ve PE, Kontrol ve SM6, N6 ve RY, N6 ve PE arasındaki fark önemli iken ($p=0.030$), diğer gruplar arasındaki fark önemsizdir ($p>0.05$) (Çizelge 4.2.7).

Çizelge 4.2.7 4mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda transvers test sonuçlarının karşılaştırılması *

Gruplar	Maksimum sapma (mm) X ± Sd	Maksimum bükülme dayanımı (MPa) X ± Sd	Bükülme modülü (MPa) X ± Sd
Kontrol	5.06 ± 0.63	56.71 ± 6.98	1226.75 ± 59.82 ^{d,e,f,g}
N6	5.64 ± 0.49	59.82 ± 1.83 ^{a,b,c}	1199.21 ± 105.36 ^{h,i}
RY	5.96 ± 1.32	47.17 ± 7.35 ^a	920.39 ± 150.42 ^{d,h}
SMC3	5.13 ± 0.87	51.85 ± 7.07	1088.19 ± 35.34 ^e
PE	5.83 ± 0.90	52.59 ± 3.39 ^b	1005.53 ± 80.77 ^{f,i}
SM6	4.71 ± 0.59	48.31 ± 7.33 ^c	1101.76 ± 74.41 ^g
	KW=7.51 p=0.185 p>0.05	KW=12.38 p=0.030 *p<0.05	KW=17.73 p=0.03 *p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Mann-Whitney U teste göre istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

6mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda transvers dayanım testi ile belirlenen parametreler istatistiksel değerlendirildiğinde, maksimum sapma yönünden farklılık önemsizken ($p>0.05$), maksimum bükülme dayanımı ve bükülme modülü yönünden önemlidir ($p<0.05$). Maksimum bükülme dayanımı yönünden 6mm gruplarına ait değerler ikişerli kıyaslandığında; Kontrol ve RY arasında fark bulunurken

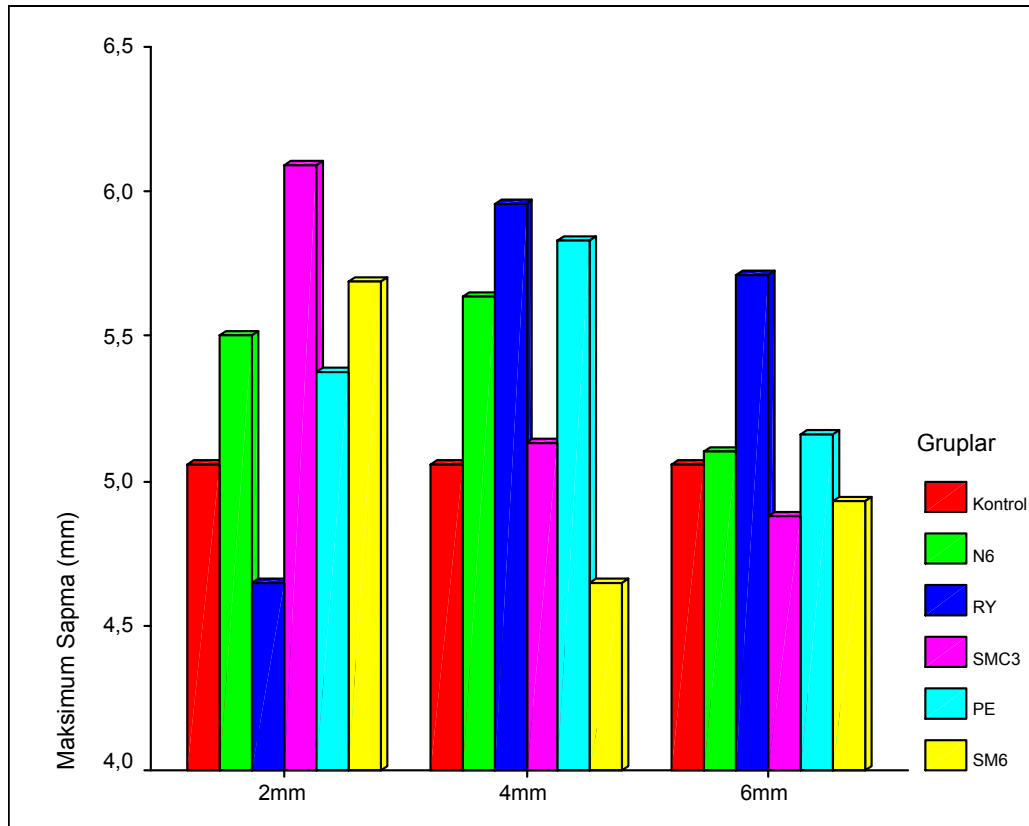
($p=0.048$), diğer gruplar arasında fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Bükülme modülü yönünden ise, Kontrol ve RY, Kontrol ve SMC3, Kontrol ve SM6 grupları arası farklılıklar önemli bulunurken ($p=0.030$), diğer gruplar arasındaki farklılıklar önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$) (Çizelge 4.2.8).

Çizelge 4.2.8 6mm uzunlukta farklı fiberlerle desteklenen tüm gruplarda transvers test sonuçlarının karşılaştırılması*

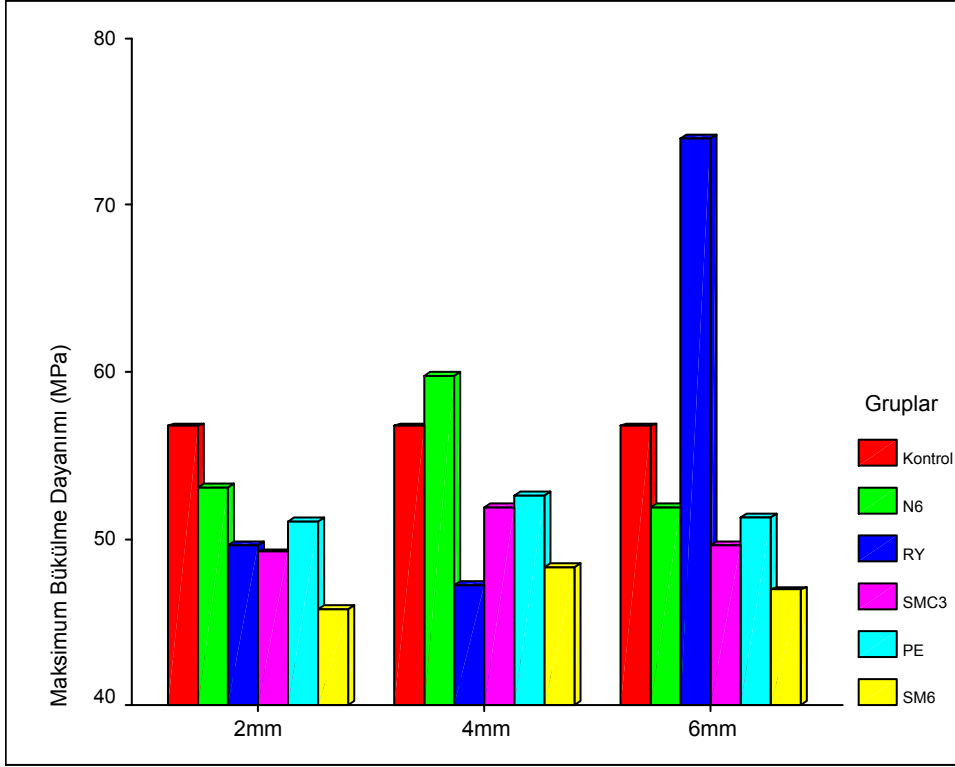
Gruplar	Maksimum sapma (mm) $\bar{X} \pm Sd$	Maksimum bükülme dayanımı (MPa) $\bar{X} \pm Sd$	Bükülme modülü (MPa) $\bar{X} \pm Sd$
Kontrol	5.06 ± 0.63	56.71 ± 6.98 ^a	1226.75 ± 59.82 ^{b,c,d}
N6	5.10 ± 0.77	51.90 ± 8.31	1107.33 ± 300.96
RY	5.71 ± 0.56	73.97 ± 4.65 ^a	901.08 ± 88.45 ^b
SMC3	4.88 ± 0.64	49.62 ± 4.08	1038.80 ± 92.71 ^c
PE	5.16 ± 0.38	51.31 ± 5.74	1081.96 ± 191.78
SM6	4.93 ± 0.58	46.89 ± 6.58	1033.79 ± 102.42 ^d
	KW=4.96 p=0.420 p>0.05	KW=11.19 p=0.048 *p<0.05	KW=12.38 p=0.030 *p<0.05

n=5

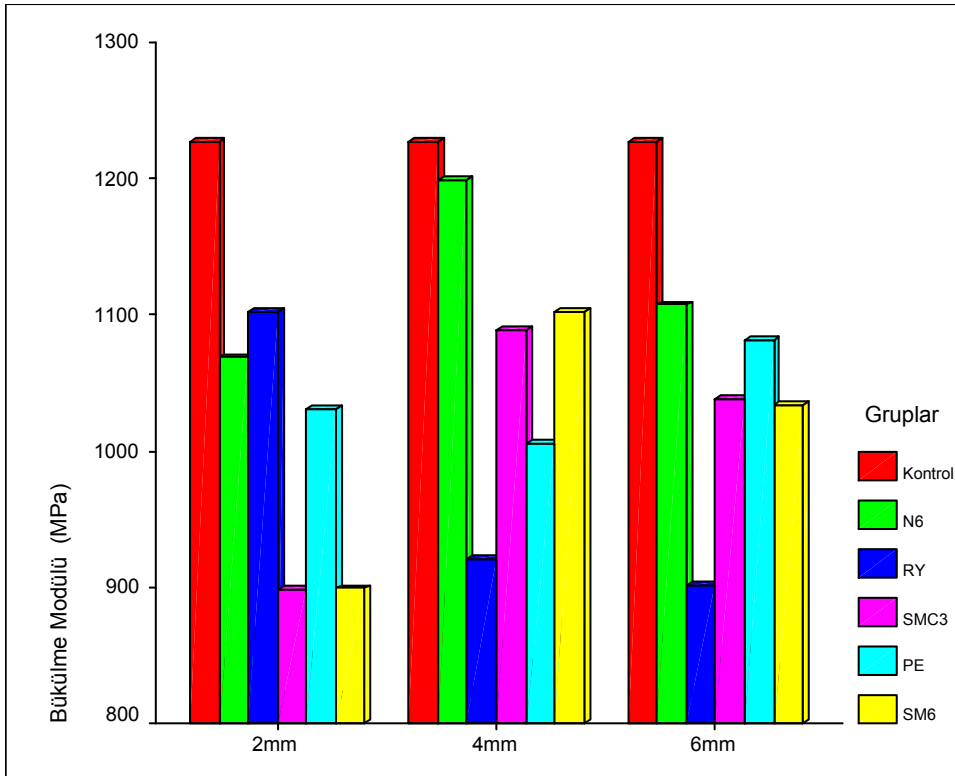
*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Mann-Whitney U teste göre istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).



Şekil 4.2.4 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum sapma değerleri



Şekil 4.2.5 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki maksimum bükülme dayanım değerleri

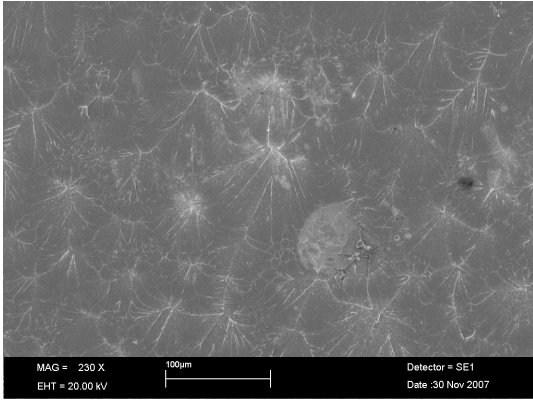


Şekil 4.2.6 Kontrol grubu ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm gruplar arasındaki bükülme modülü değerleri

4.3 Taramalı elektron mikroskop (SEM) bulguları

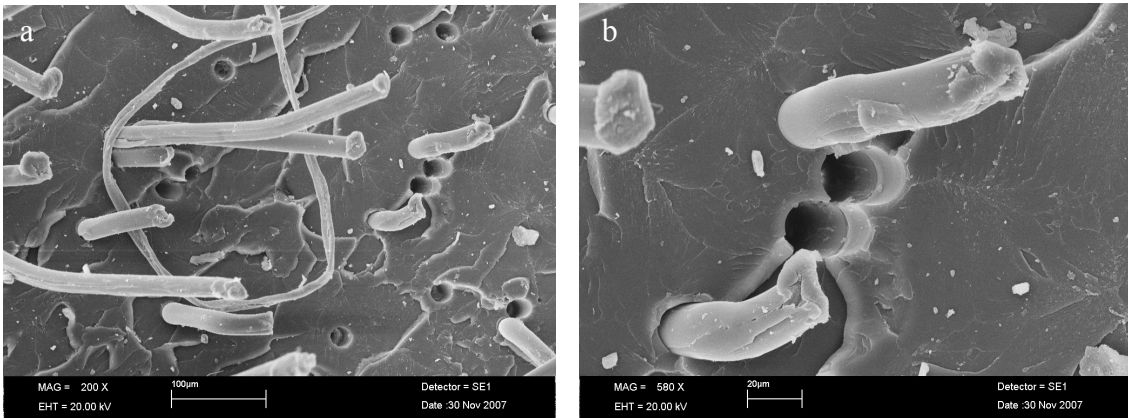
Herbir güçlendirmenin etkisi farklı büyütmelemlerle alınan SEM mikrografilerinde değerlendirildi: Fibersiz PMMA örneklerin SEM görüntüsünde homojen sistem; fiberle güçlendirilen örneklerde ise ana faz içerisine dağılmış fiber sistemi gözlemlendi (Şekil 4.3.1-4.3.6).

Ayrıca bu mikrografilerdeki bar skalalardan herbir fiber çapı ölçüldü; cam demette tek fiber çapı 13µm iken, rayonda 15µm ve diğerlerinde 21µm olarak belirlendi.



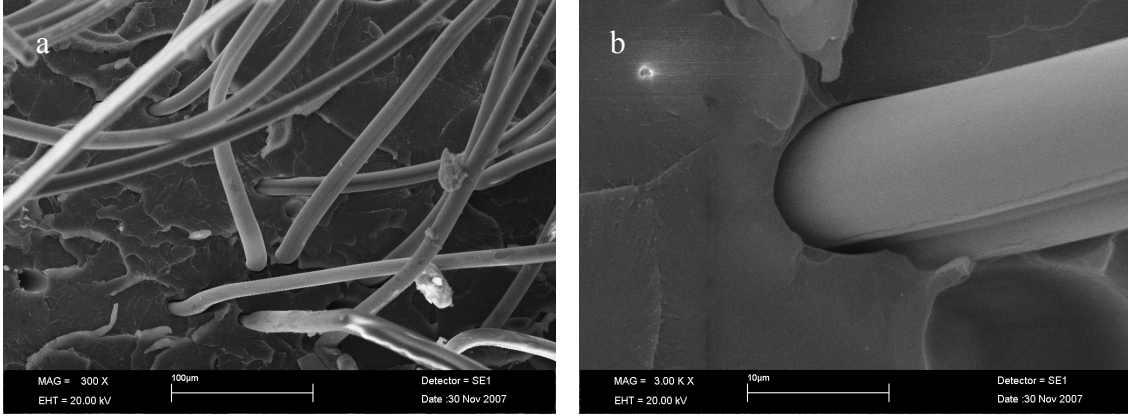
Şekil 4.3.1 Fibersiz kontrol PMMA örneği (x 230)

Tek tek fiber tipine göre SEM imajları değerlendirildiğinde, N6 fiberlerde SEM mikrografileri düz yüzeyler gösterdi. Bazı alanlarda bu fiberler açıkça matriksten ayrılmış ve sıyrılıp çıktıkları alanlarda matrikste yarıklar oluşturmuştur. Polimerle adezyon olmaması dikkat çekicidir (Şekil 4.3.2a,b).



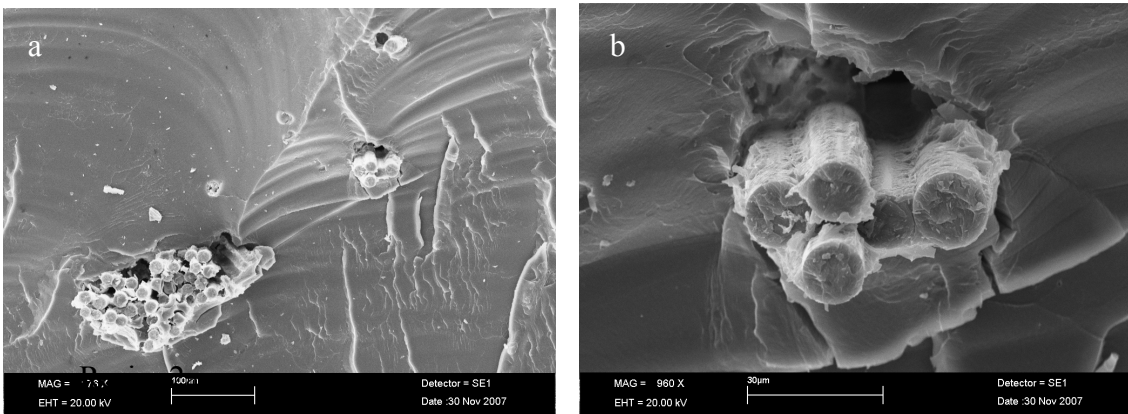
Şekil 4.3.2 N6 fiberli PMMA örnekler: a (x 200); b (x 580)

RY fiberlerin resin içinden sıyrılmaya direnç gösterir şekilde, iç içe girmiş, uniform dağılımı gözlenmektedir. Yüzey görünümü açısından diğer polimerik fiberler kadar düz değildir ve bazı alanlarda uzunlamasına seyreden oluk yapısı ile farklılık göstermektedir. Bu fiberin de PMMA resin matrisle arayüzde bağlantısı olmadığı gözlenmektedir (Şekil 4.3.3a,b).



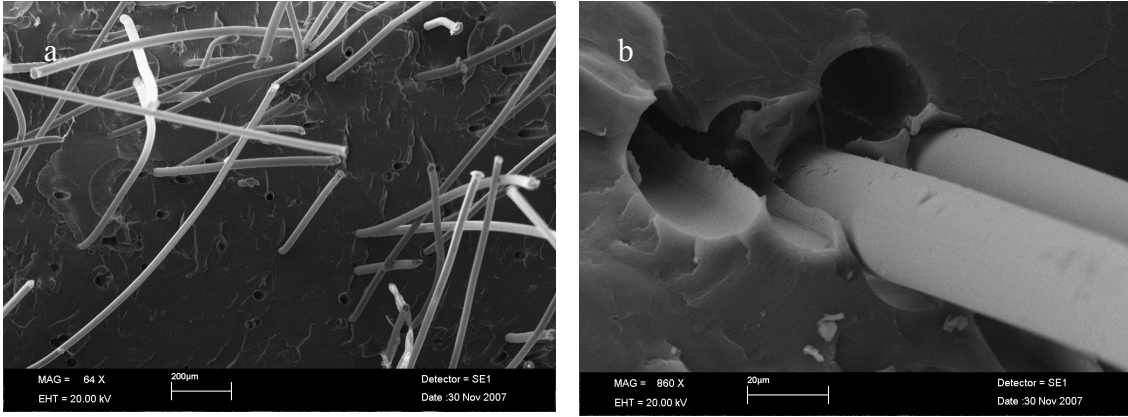
Şekil 4.3.3 RY fiberli PMMA örnekler: a (x 300), b (x 3000)

SMC 3 içeren örneklerde, fiberlerin polimer matrisde uniform dağılmadığı, bazı alanlarda fiberlerin demet yaptığı görülmektedir. Yükleme sırasında bazı fiberler arkalarında boşluk bırakarak, matrisden sıyrılmıştır. Daha fazla büyütmede polimer matrisin cam fiberlere iyi yapıştığı ve iki yapı arasında bağlantının arttığı görülmektedir (Şekil 4.3.4a,b).



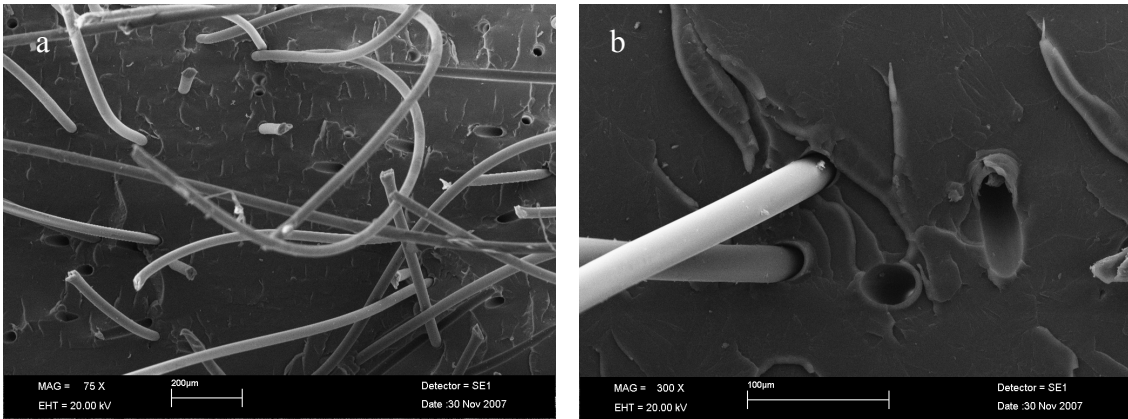
Şekil 4.3.4 SMC3 fiberli PMMA örnekler: a (x 176); b (x 960)

PE fiber dağılımının nispeten homojen olduğu gözlenirken, fiberlerin sıyrıldıkları alandaki dairesel boşluklardan ilerleyen ufak çatlak hatları dikkat çekmektedir. Daha fazla büyütmede fiberler ile matris arasında adezyon varlığı gözlenmedi (Şekil 4.3.5a,b).



Şekil 4.3.5 PE fiberli PMMA örnekler: a (x 64); b (x 860)

SM 6 fiberlerde de N6 fiberlerle elde edilene benzer şekilde yüzey görünümünün düz ve fiberlerin sıyrılıp çıktığı boşluklardan uzayan yarık tarzı çatlakların olduğu gözlemlendi; polimer matris fiber adezyonuna rastlanmadı (Şekil 4.3.6a,b)



Şekil 4.3.6 SM6 fiberli PMMA örnekler: a (x 75); b (x 300)

4.4 Su emilim test sonuçları

4.4.1 Fiber gruplarının kendi içinde uzunluk yönünden değerlendirilmesi

Su emilim testi ile üç farklı uzunlukta aynı tip fiber ile desteklenen PMMA rezin örneklerden elde edilen veriler, Friedman test ile analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.4.1.1-4.4.1.5, Şekil 4.4.1.1-4.4.1.5'de sunulmuştur. Şekil 4.4.1.6-4.4.1.10 ise aynı uzunlukta farklı fiber ilave edilen tüm örneklerin su emilim değerlerinin zamana göre değerlendirmesini göstermektedir.

2mm, 4mm ve 6mm N6 fiberle güçlendirilen örneklerde I. gün, II. gün, I. hafta ve IV. haftada ölçülen su emilim değerleri arası farklılık önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). N6 2mm grubu, istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte I. gün ($0.014 \pm$

0.002mg/cm³) ve II. günde (0.016 ± 0.001mg/cm³), 4mm ve 6mm gruplarına göre daha yüksek su emilim değeri göstermiştir. IV. haftada N6 6mm grubu su emilim değeri bariz şekilde yüksektir (0.036 ± 0.022mg/cm³).

Çizelge 4.4.1.1 N6 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları *

Fiber uzunluğu (mm)	I. gün X ± Sd	II. gün X ± Sd	I. hafta X ± Sd	II. hafta X ± Sd	IV. hafta X ± Sd
2	0.014 ± 0.002	0.016 ± 0.001	0.022 ± 0.002	0.026 ± 0.001 ^a	0.027 ± 0.001
4	0.011 ± 0.002	0.014 ± 0.001	0.020 ± 0.001	0.027 ± 0.007	0.027 ± 0.002
6	0.012 ± 0.001	0.015 ± 0.001	0.022 ± 0.001	0.020 ± 0.002 ^a	0.036 ± 0.022
	$\chi^2=1.36$ p=0.504 p>0.05	$\chi^2=2.84$ p=0.241 p>0.05	$\chi^2=2.00$ p=0.368 p>0.05	$\chi^2=6.40$ p=0.041 *p<0.05	$\chi^2=0.31$ p=0.854 p>0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

II. haftaya ait 2mm, 4mm ve 6mm su emilim değerleri karşılaştırıldığında ise, farklılık önemli bulunmuştur (p<0.05). Wilcoxon test sonucunda II. haftada 2mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.05). N6 6mm grubu II. haftada diğer gruplardan su emilimi açısından en düşük değeri sergilemiştir (0.020 ± 0.002mg/cm³) (Çizelge 4.4.1.1).

Çizelge 4.4.1.2 RY fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları *

Fiber uzunluğu (mm)	I. gün X ± Sd	II. gün X ± Sd	I. hafta X ± Sd	II. hafta X ± Sd	IV. hafta X ± Sd
2	0.022 ± 0.002 ^{a,b}	0.022 ± 0.001	0.026 ± 0.001	0.025 ± 0.002 ^{c,d}	0.024 ± 0.002 ^{f,g}
4	0.017 ± 0.003 ^a	0.022 ± 0.003	0.029 ± 0.002	0.033 ± 0.001 ^{c,e}	0.038 ± 0.001 ^{f,h}
6	0.017 ± 0.001 ^b	0.020 ± 0.001	0.027 ± 0.003	0.023 ± 0.001 ^{d,e}	0.034 ± 0.002 ^{g,h}
	$\chi^2=7.60$ p=0.022 *p<0.05	$\chi^2=2.63$ p=0.268 p>0.05	$\chi^2=5.20$ p=0.074 p>0.05	$\chi^2=10.00$ p=0.007 *p<0.05	$\chi^2=10.00$ p=0.007 *p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

2mm, 4mm ve 6mm uzunlukta RY fiberle desteklenen örneklerde II. gün ve I. hafta parametrelerine göre su emilim değerleri karşılaştırıldığında farklılık önemsiz bulunmuştur (p>0.05). I. gün, II. hafta ve IV. haftalarda ise 2mm, 4mm, 6mm ölçüm değerleri karşılaştırıldığında farklılık önemli bulunmuştur (p<0.05). Wilcoxon test sonucunda; I. günde, 2mm ile 4mm ve 2mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.05). I. günde en yüksek su emilim değeri 2mm grubunda

görülmüştür ($0.022 \pm 0.002\text{mg/cm}^3$). II. hafta ve IV. haftada, 2mm ile 4mm ve 2mm ile 6mm ve 4mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). RY 4mm grubuna ait II. hafta ($0.033 \pm 0.001\text{mg/cm}^3$) ve IV. hafta ($0.038 \pm 0.001\text{mg/cm}^3$) su emilim değerleri 2mm ve 6mm gruplarından daha yüksektir. (Çizelge 4.4.1.2).

2mm, 4mm ve 6mm uzunlukta SMC3 fiberle desteklenen örneklerde II. gün, I. hafta ve II. hafta parametrelerine göre su emilim değerleri karşılaştırıldığında, farklılık önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). I. gün ve IV. haftalarda ise 2mm, 4mm, 6mm ölçümleri arası farklılıklar ayrı ayrı önemlidir ($p<0.05$). Wilcoxon test sonucunda; I. günde, 2mm ile 4mm ve 2mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). SMC3 2mm grubu ($0.007 \pm 0.002\text{mg/cm}^3$), hem 4mm hem de 6mm grubu ile kıyaslandığında en düşük su emilim değerini göstermiş olup, akrilik rezine SMC3 fiber ilavesinde uzunluk artışıyla su emilim değerlerinde doğru orantılı denebilecek bir artış gözlenmiştir ($0.007 \pm 0.002 < 0.012 \pm 0.002 < 0.022 \pm 0.003\text{mg/cm}^3$). IV. haftada 2mm ile 6mm ve 4mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). IV. haftada akrilik rezine SMC3 fiber ilavesinde uzunluk artışıyla su emilim değerlerinde ters orantılı bir düşüş gözlenmiştir ($0.031 \pm 0.001 > 0.027 \pm 0.003 > 0.020 \pm 0.001\text{mg/cm}^3$) (Çizelge 4.4.1.3).

Çizelge 4.4.1.3 SMC3 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları *

Fiber uzunluğu (mm)	I. gün X ± Sd	II. gün X ± Sd	I. hafta X ± Sd	II. hafta X ± Sd	IV. hafta X ± Sd
2	$0.007 \pm 0.002^{a,b}$	0.014 ± 0.003	0.019 ± 0.002	0.020 ± 0.001^a	0.031 ± 0.001^c
4	0.012 ± 0.002^a	0.014 ± 0.001	0.019 ± 0.003	0.020 ± 0.001	0.027 ± 0.003^d
6	0.022 ± 0.003^b	0.023 ± 0.025	0.027 ± 0.002	0.019 ± 0.001^a	$0.020 \pm 0.001^{c,d}$
	$\chi^2=7.60$ p=0.022 * p<0.05	$\chi^2=0.73$ p=0.692 p>0.05	$\chi^2=3.26$ p=0.096 p>0.05	$\chi^2=2.11$ p=0.348 p>0.05	$\chi^2=8.40$ p=0.015 * p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

2mm, 4mm ve 6mm uzunlukta PE fiberle desteklenen örneklerde II. gün ve II. hafta parametrelerine göre su emilim değerleri karşılaştırıldığında farklılık önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). I. gün, I hafta ve IV. haftalarda ise 2mm, 4mm, 6mm ölçümleri arası farklılıklar ayrı ayrı önemlidir ($p<0.05$). Wilcoxon test sonucunda; I. günde yalnızca 2mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı olmakla, aynı zamanda akrilik rezine PE fiber ilavesinde akrilik rezine diğer fiber ilavelerinde elde edilen değerlerden düşük olacak şekilde mm artışıyla, su emilim değerlerinde doğru orantılı denebilecek bir artış gözlenmiştir ($0.009 \pm 0.002 < 0.011 \pm 0.002 < 0.012 \pm 0.001\text{mg/cm}^3$).

I. haftada 2mm ile 6mm ve 4mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). I. haftada en yüksek su emilim değeri 6mm grubunda görülmüştür ($0.021 \pm 0.001 \text{mg/cm}^3$).

IV. haftada 2mm ile 4mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). IV. haftada en düşük su emilim değeri 2mm grubunda görülmüştür ($0.023 \pm 0.001 \text{mg/cm}^3$) (Çizelge 4.4.1.4).

Çizelge 4.4.1.4 PE fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları *

Fiber uzunluğu (mm)	I. gün $\bar{X} \pm Sd$	II. gün $\bar{X} \pm Sd$	I. hafta $\bar{X} \pm Sd$	II. hafta $\bar{X} \pm Sd$	IV. hafta $\bar{X} \pm Sd$
2	0.009 ± 0.002^a	0.014 ± 0.001	0.018 ± 0.001^b	0.020 ± 0.002	0.023 ± 0.001^d
4	0.011 ± 0.002	0.012 ± 0.001	0.018 ± 0.001^c	0.019 ± 0.001	0.025 ± 0.001^d
6	0.012 ± 0.001^a	0.014 ± 0.002	$0.021 \pm 0.001^{b,c}$	0.018 ± 0.001	0.024 ± 0.001
	$\chi^2=7.68$ $p=0.021$ $*p<0.05$	$\chi^2=5.44$ $p=0.066$ $p>0.05$	$\chi^2=7.89$ $p=0.019$ $*p<0.05$	$\chi^2=2.00$ $p=0.368$ $p>0.05$	$\chi^2=10.00$ $p=0.048$ $*p<0.05$

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

2mm, 4mm ve 6mm uzunlukta SM6 fiberle desteklenen örneklerde; I. gün, II. gün, I. hafta, II. hafta ve IV. hafta parametrelerine göre 2mm, 4mm, 6mm grubuna ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında farklılık önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Wilcoxon test sonucunda; I. gün ve I. haftada 2mm ile 6mm ve 4mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). II. gün ve II. haftada 2mm ile 4mm, 2mm ile 6mm ve 4mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$). IV. haftada 2mm ile 4mm ve 2mm ile 6mm grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.05$).

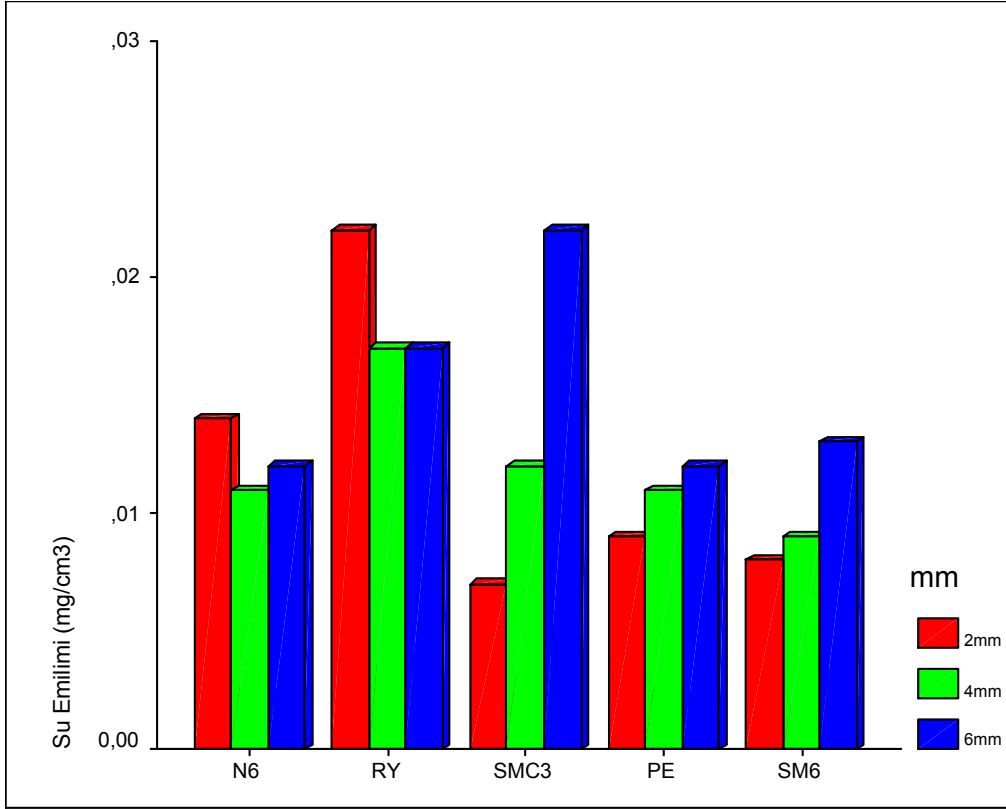
Akrilik rezine ilave edilen farklı uzunluktaki tüm SM6 fiber grupları tüm test zaman dilimlerinde uzunluk artışıyla su emilim değerlerinde doğru orantılı bir artış sergilemişlerdir (Çizelge 4.4.1.5).

Çizelge 4.4.1.5 SM6 fiber ile güçlendirilen PMMA örneklerde su emilim test sonuçları *

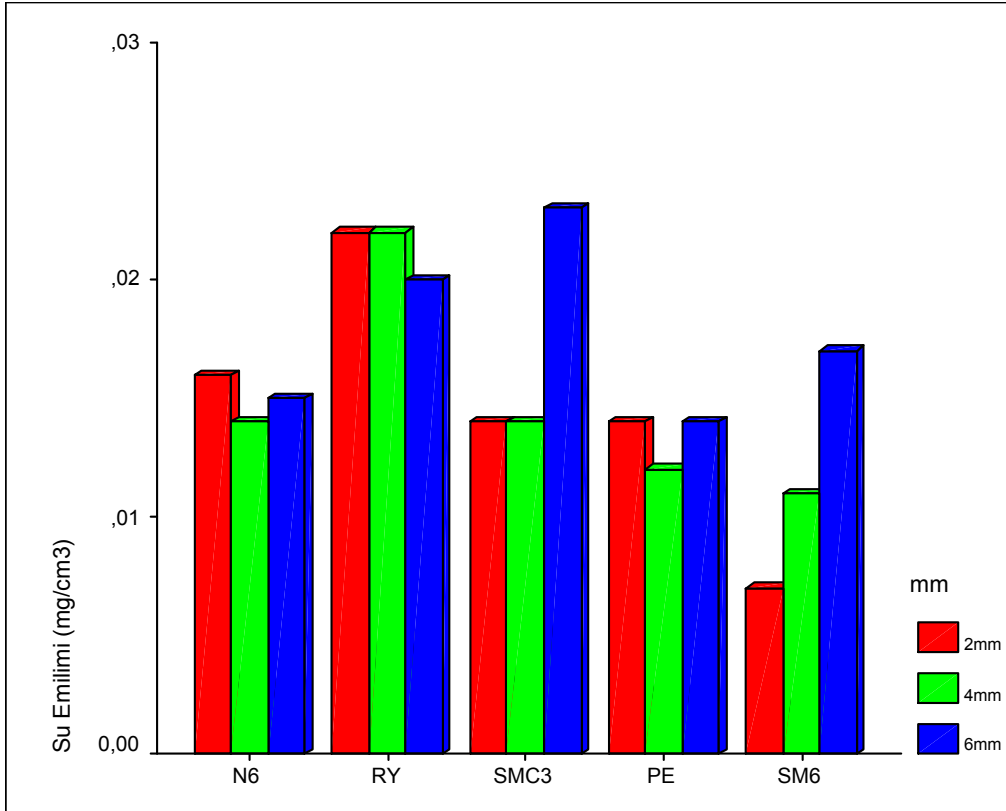
Fiber uzunluğu (mm)	I. gün $\bar{X} \pm Sd$	II. gün $\bar{X} \pm Sd$	I. hafta $\bar{X} \pm Sd$	II. hafta $\bar{X} \pm Sd$	IV. hafta $\bar{X} \pm Sd$
2	0.008 ± 0.003^a	$0.007 \pm 0.002^{c,d}$	0.014 ± 0.001^f	$0.012 \pm 0.003^{h,i}$	0.015 ± 0.001^k
4	0.009 ± 0.001^b	$0.011 \pm 0.001^{e,e}$	0.016 ± 0.002^g	$0.018 \pm 0.002^{h,j}$	$0.025 \pm 0.001^{k,l}$
6	$0.013 \pm 0.002^{a,b}$	$0.017 \pm 0.001^{d,e}$	$0.022 \pm 0.001^{f,g}$	$0.035 \pm 0.002^{i,j}$	0.026 ± 0.001^l
	$\chi^2=7.60$ $p=0.022$ $*p<0.05$	$\chi^2=10.00$ $p=0.007$ $*p<0.05$	$\chi^2=8.31$ $p=0.016$ $*p<0.05$	$\chi^2=10.00$ $p=0.007$ $*p<0.05$	$\chi^2=9.57$ $p=0.008$ $*p<0.05$

n=5

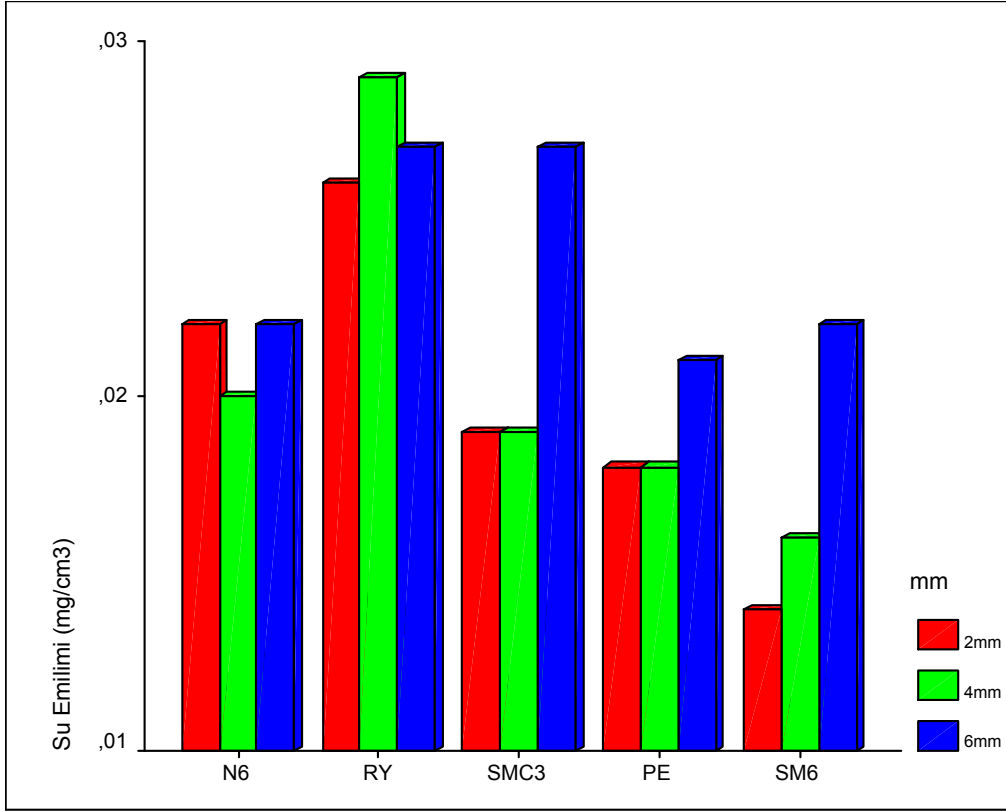
*Dikey sütunlarda aynı küçük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).



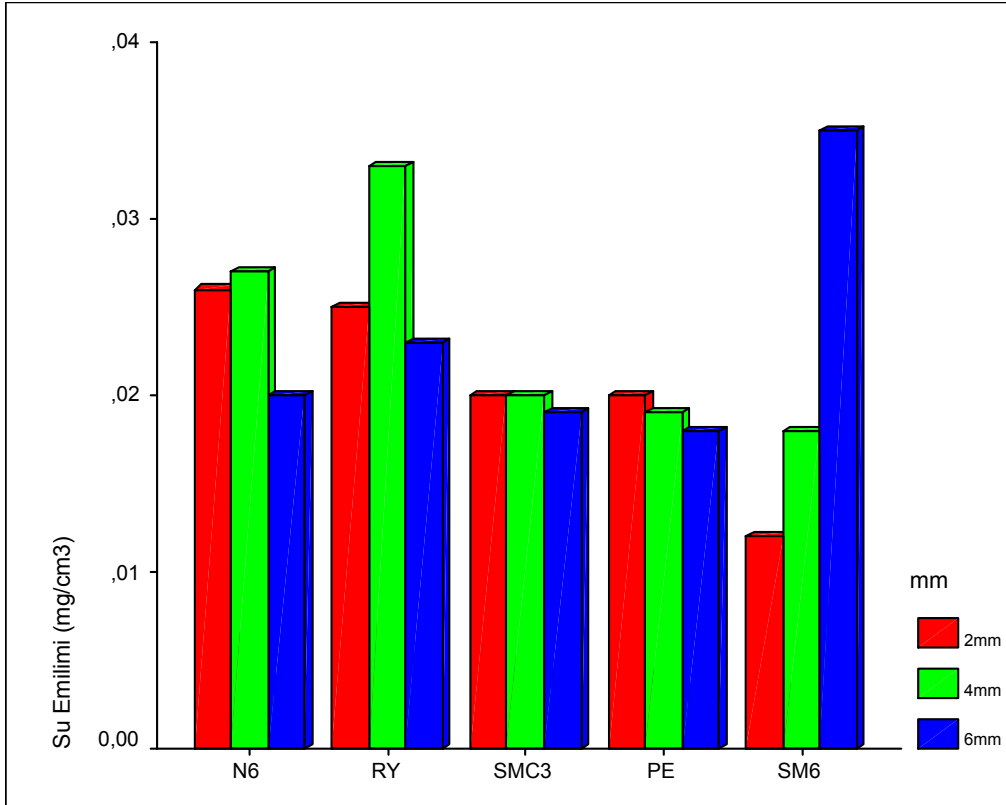
Şekil 4.4.1.1 I. güne ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri



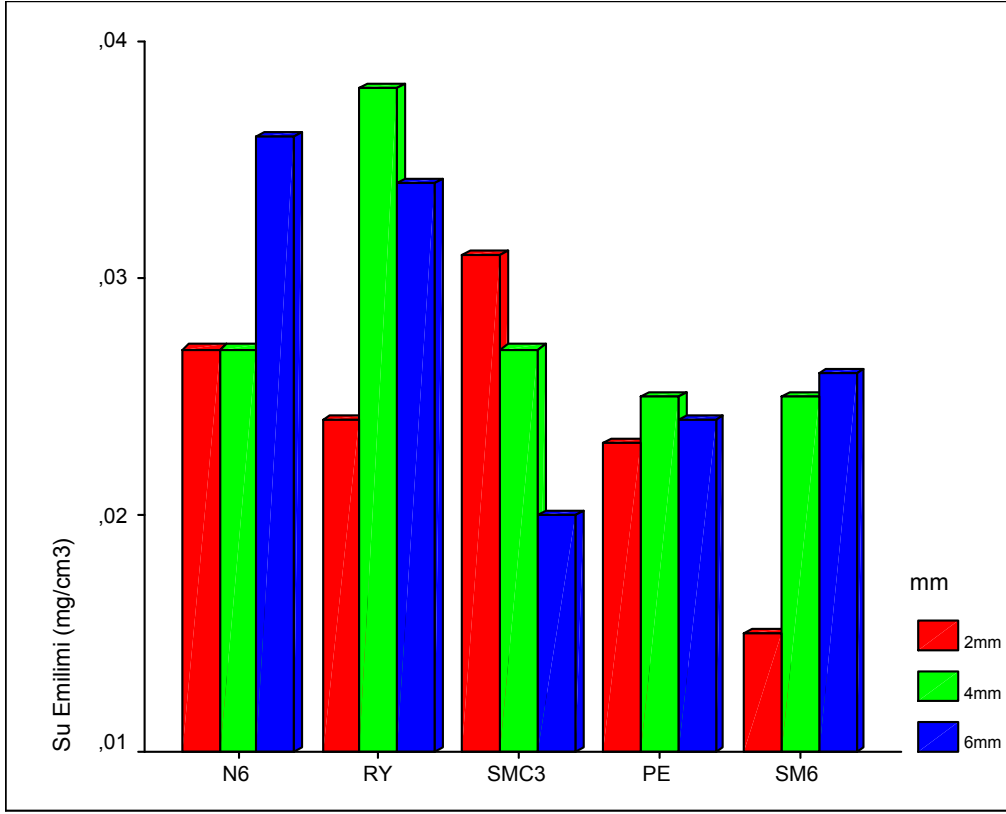
Şekil 4.4.1.2 II. güne ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri



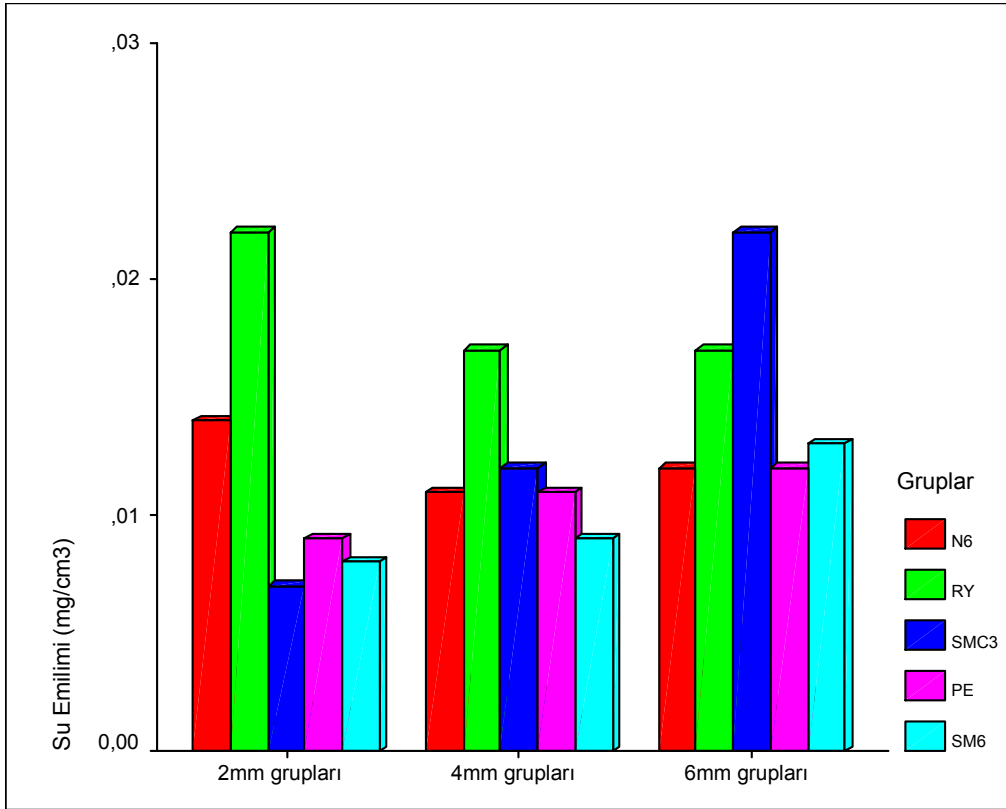
Şekil 4.4.1.3 I. haftaya ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri



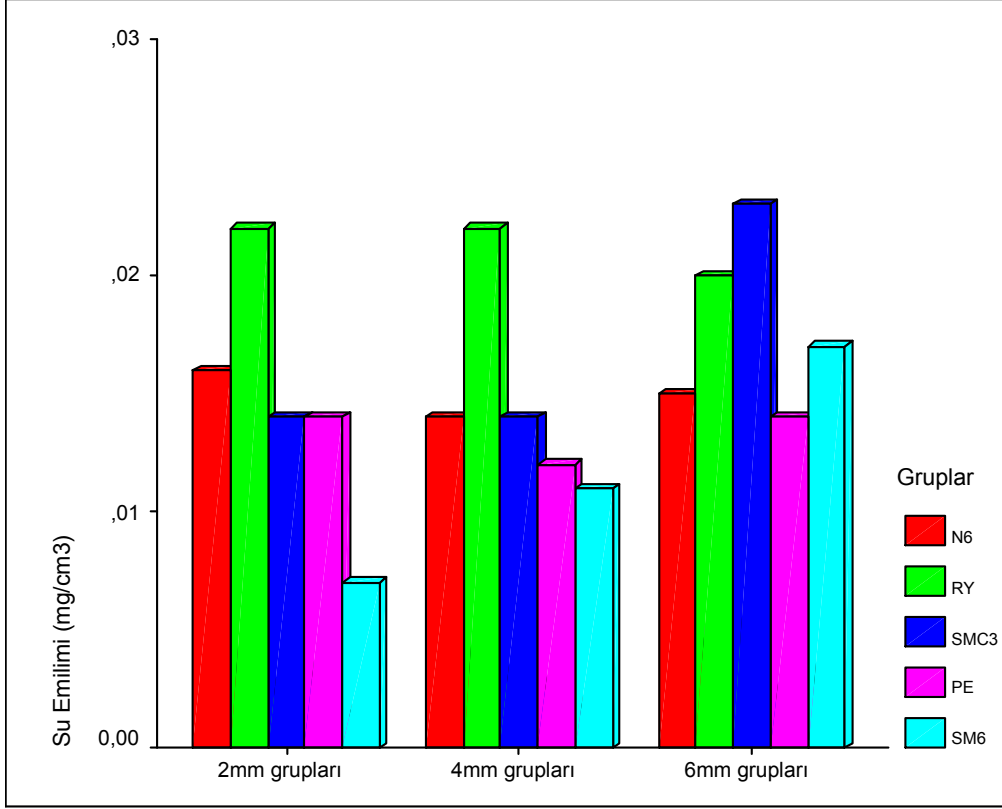
Şekil 4.4.1.4 II. haftaya ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri



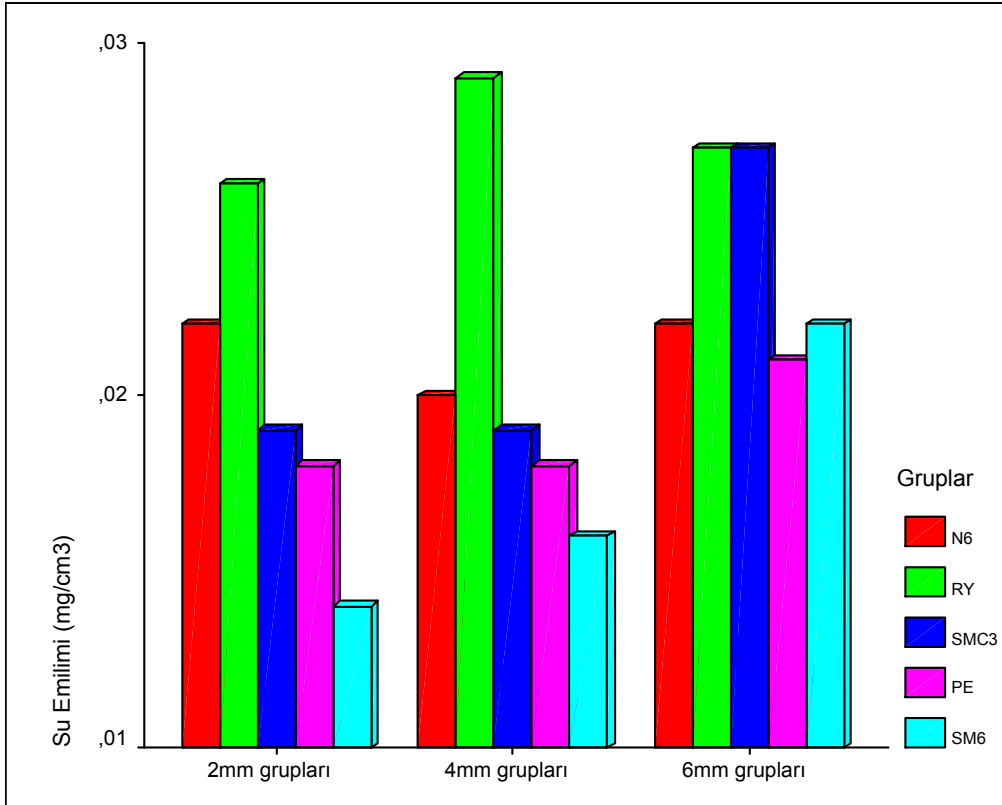
Şekil 4.4.1.5 IV. haftaya ait her bir grubun kendi içerisindeki su emilim değerleri



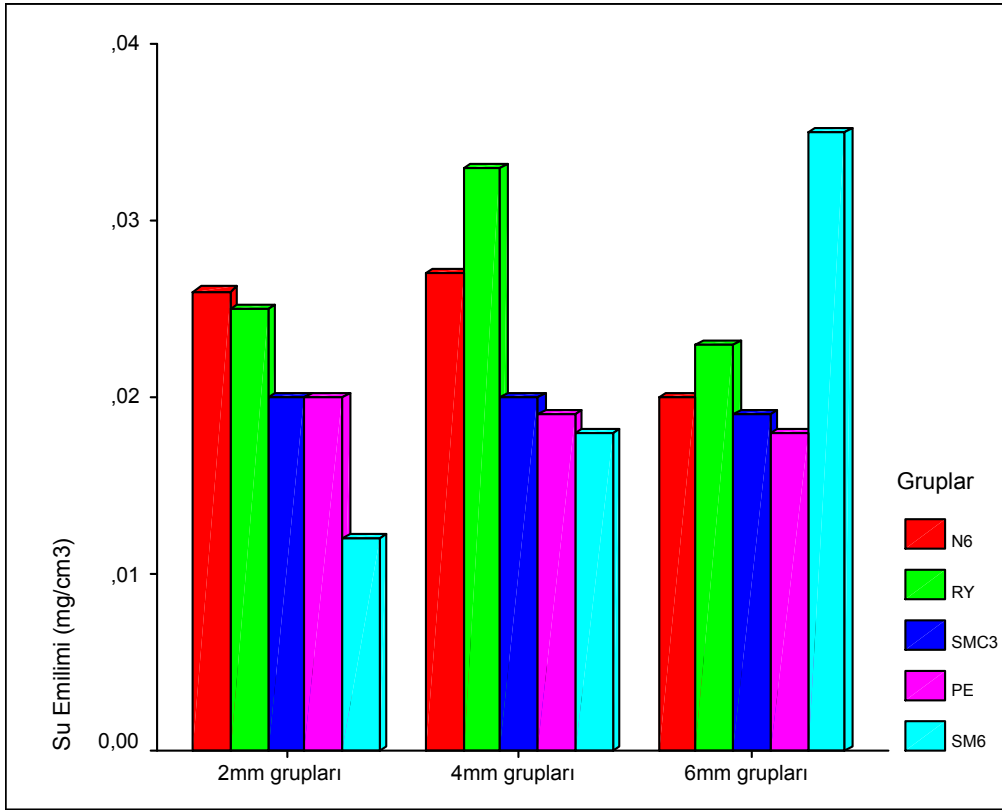
Şekil 4.4.1.6 I. güne ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri



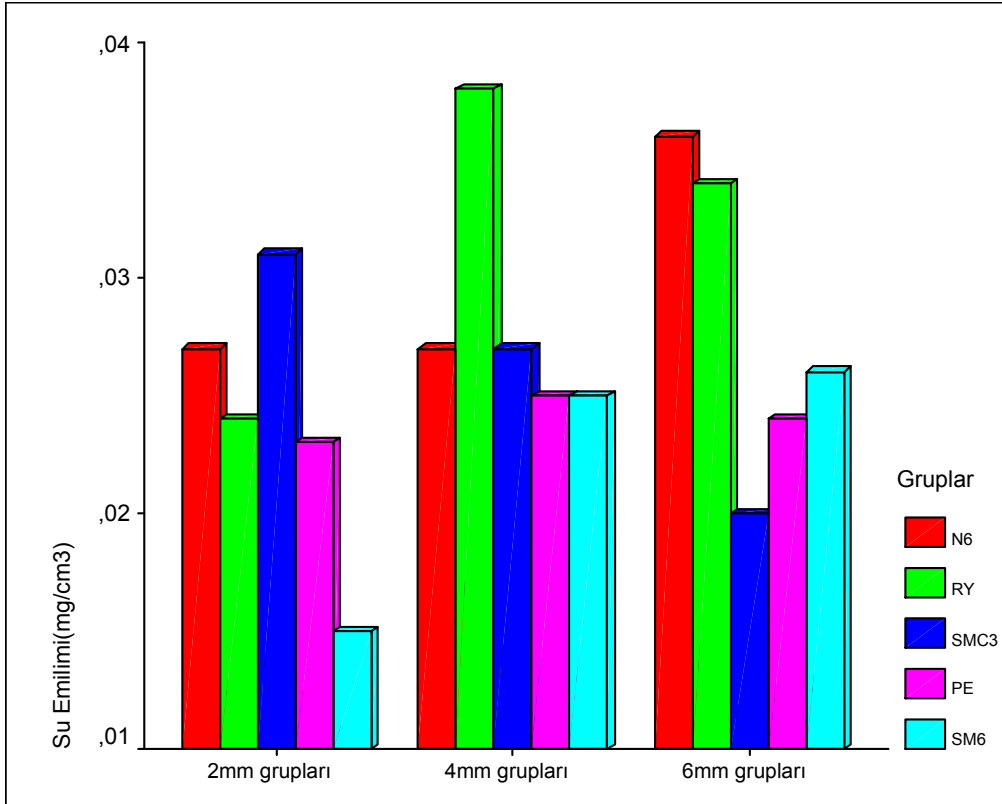
Şekil 4.4.1.7 II. güne ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri



Şekil 4.4.1.8 I. haftaya ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri



Şekil 4.4.1.9 II. haftaya ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri



Şekil 4.4.1.10 IV. haftaya ait aynı uzunlukta fiber ilave edilen tüm grupların su emilim değerleri

4.4.2 Değişen test zaman dilimlerinde, kontrol ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen test gruplarına ait su emilim değerlerinin gruplar arası kıyaslaması

2, 4 ve 6mm uzunlukta farklı tip fiberler ile desteklenen PMMA örneklerin ve kontrol grubunun su emilim test verileri, Çizelge 4.4.2.1-4.4.2.3, Şekil 4.4.2.1-4.4.2.3'te sunulmuştur.

2mm fiberle güçlendirilen örneklerde su emiliminin zamana göre değişim sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.4.2.1).

Kruskall-Wallis test sonuçları, tüm zamanlar için gruplar arası farkın önemli olduğunu göstermiştir ($p<0.05$). Mann-Whitney U test ile yapılan ikişerli karşılaştırma sonuçlarına göre I. güne ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında Kontrol ve RY, Kontrol ve SMC3, Kontrol ve SM6, N6 ve RY, N6 ve SMC3, N6 ve PE, N6 ve SM6, SMC3 ile PE, SMC3 ile SM6 arasında fark bulunurken ($p=0.00$), diğer gruplar arasında fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Çizelge 4.4.2.1 2mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda su emilim test sonuçları *

Gruplar (mm)	I. gün $\bar{X} \pm Sd$	II. gün $\bar{X} \pm Sd$	I. hafta $\bar{X} \pm Sd$	II. hafta $\bar{X} \pm Sd$	IV. hafta $\bar{X} \pm Sd$
Kontrol	0.013 ± 0.001 ^{a,b,c}	0.017 ± 0.001 ^{l,k}	0.019 ± 0.001 ^{s,y}	0.019 ± 0.002 ^{z,A,B}	0.024 ± 0.001 ^{J,K,L}
N6	0.014 ± 0.002 ^{d,e,f,g,h}	0.016 ± 0.001 ^{l,m}	0.022 ± 0.002 ^{l,u,ü}	0.026 ± 0.001 ^{z,C,D,E}	0.027 ± 0.001 ^{J,M,N,O}
RY	0.022 ± 0.002 ^{a,d,e}	0.022 ± 0.001 ^{j,l,n,o,ö}	0.026 ± 0.001 ^{s,t}	0.025 ± 0.001 ^{A,F,G,H}	0.024 ± 0.002 ^{Ö,P}
SMC3	0.007 ± 0.002 ^{b,f,i}	0.014 ± 0.003 ^{n,p}	0.019 ± 0.003 ^v	0.020 ± 0.001 ^{C,F,I}	0.031 ± 0.001 ^{K,M,Ö,R,S}
PE	0.009 ± 0.002 ^{g,t}	0.014 ± 0.001 ^{o,r}	0.018 ± 0.001 ^{u,y}	0.020 ± 0.002 ^{D,G,I}	0.023 ± 0.001 ^{N,R,Ş}
SM6	0.008 ± 0.003 ^{c,h,i}	0.007 ± 0.002 ^{k,m,ö,p,r}	0.014 ± 0.001 ^{s,ü,v,y}	0.012 ± 0.003 ^{B,E,H,I,i}	0.015 ± 0.001 ^{L,O,P,S,Ş}
	KW=24.17 p=0.00 * p<0.05	KW=24.21 p=0.00 * p<0.05	KW=23.82 p=0.00 * p<0.05	KW=24.17 p=0.00 * p<0.05	KW=25.78 p=0.00 * p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük veya büyük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Mann-Whitney U teste göre istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

II. güne ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında; Kontrol ve RY, Kontrol ve SM6, N6 ve RY, N6 ve SM6, RY ve SMC3, RY ve PE, RY ve SM6, SMC3 ve SM6, PE ve SM6 arası fark önemliyken ($p=0.00$), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

I. haftaya ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında Kontrol ve RY, Kontrol ve SM6, N6 ve RY, N6 ve PE, N6 ve SM6, SMC3 ve SM6, PE ve SM6 arası fark önemliyken ($p=0.00$), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

II. haftaya ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında Kontrol ve N6, Kontrol ve RY, Kontrol ve SM6, N6 ve SMC3, N6 ve PE, N6 ve SM6, RY ve SMC3, RY ve PE,

RY ve SM6, SMC3 ve SM6, PE ve SM6 arası fark önemliyken ($p=0.00$), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

IV. haftaya ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında Kontrol ve N6, Kontrol ve SMC3, Kontrol ve SM6, N6 ve SMC3, N6 ve PE, N6 ve SM6, RY ve SMC3, RY ve SM6, SMC3 ve PE, SMC3 ve SM6, PE ve SM6 arası fark önemliyken ($p=0.00$), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

4mm fiberle güçlendirilen örneklerde su emiliminin zamana göre değişim sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.4.2.2).

Kruskall-Wallis test sonuçları, tüm zamanlar için gruplar arası farkın önemli olduğunu göstermiştir ($p<0.05$). Mann-Whitney U test ile yapılan ikişerli karşılaştırma sonuçlarına göre I. güne ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında, Kontrol ve RY, Kontrol ve SM6, N6 ve RY, RY ve SMC3, RY ve PE, RY ve SM6 arası fark önemliyken ($p=0.004$), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Çizelge 4.4.2.2 4mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda su emilim test sonuçları *

Gruplar (mm)	I. gün X ± Sd	II. gün X ± Sd	I. hafta X ± Sd	II. hafta X ± Sd	IV. hafta X ± Sd
Kontrol	0.013 ± 0.001 ^{a,b}	0.017 ± 0.001 ^{g,h,i}	0.019 ± 0.001 ⁿ	0.019 ± 0.002 [§]	0.024 ± 0.001 ^z
N6	0.011 ± 0.002 ^c	0.014 ± 0.001 ^j	0.020 ± 0.001 ^{n,o,ö}	0.027 ± 0.007 ^{s,t,u}	0.027 ± 0.002 ^{z,A}
RY	0.017 ± 0.003 ^{a,c,d,e,f}	0.022 ± 0.003 ^{g,j,k,l,m}	0.029 ± 0.002 ^{o,p,r,s}	0.033 ± 0.001 ^{ü,v,y}	0.038 ± 0.001 ^{A,B,C,D}
SMC3	0.012 ± 0.002 ^d	0.014 ± 0.002 ^k	0.019 ± 0.003 ^p	0.020 ± 0.001 ^ü	0.027 ± 0.007 ^B
PE	0.011 ± 0.002 ^e	0.012 ± 0.001 ^{h,l}	0.018 ± 0.001 ^r	0.019 ± 0.001 ^{t,v}	0.025 ± 0.001 ^C
SM6	0.009 ± 0.001 ^{b,f}	0.011 ± 0.002 ^{l,m}	0.016 ± 0.002 ^{ö,s}	0.018 ± 0.002 ^{u,y}	0.025 ± 0.001 ^D
	KW=17.13 p=0.004 p<0.05	KW=24.06 p=0.00 p<0.05	KW=19.17 p=0.001 p<0.05	KW=22.30 p=0.00 p<0.05	KW=18.16 p=0.003 p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük veya büyük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Mann-Whitney U teste göre istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

II. güne ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında, Kontrol ve RY, Kontrol ve PE, Kontrol ve SM6, N6 ve RY, RY ve SMC3, RY ve PE, RY ve SM6 arası fark önemliyken ($p=0.00$), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

I. haftaya ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında Kontrol ve N6, N6 ve RY, N6 ve SM6, RY ve SMC3, RY ve PE, RY ve SM6 arası fark önemli ($p=0.001$).

II. haftaya ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında, Kontrol ve N6, N6 ve PE, N6 ve SM6, RY ve SMC3, RY ve PE, RY ve SM6 arası fark olduğunu göstermiştir ($p=0.00$).

IV. haftaya ait su emilim değerleri arası fark Kontrol ve N6, N6 ve RY, RY ve SMC3, RY ve PE, RY ve SM6 için önemli bulunmuştur (p=0.003).

6mm fiberle güçlendirilen örneklerde su emiliminin zamana göre değişim sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.4.2.3).

Kruskall-Wallis test, tüm zamanlar için gruplar arası farkın önemli olduğunu göstermiştir (p<0.05). Mann-Whitney U test ile yapılan ikişerli karşılaştırma sonuçlarına göre I. güne ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında Kontrol ve PE, Kontrol ve SM6, N6 ve PE, RY ve PE, RY ve SM6, SMC3 ve PE, SMC3 ve SM6, PE ve SM6 arası fark önemliken (p=0.017), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur (p>0.05).

Çizelge 4.4.2.3 6mm uzunlukta farklı fiberler ile desteklenen tüm gruplarda su emilim test sonuçları *

Gruplar (mm)	I. gün X ± Sd	II. gün X ± Sd	I. hafta X ± Sd	II. hafta X ± Sd	IV. hafta X ± Sd
Kontrol	0.013 ± 0.001 ^{a,b}	0.017 ± 0.001 ^{t,j,k,l}	0.019 ± 0.001 ^{r,s,ş,t}	0.019 ± 0.002 ^{C,D,E,F}	0.024 ± 0.001 ^{O,O,P}
N6	0.012 ± 0.001 ^c	0.015 ± 0.001 ^{m,n}	0.022 ± 0.001 ^{r,u,ü}	0.020 ± 0.002 ^{C,G,H}	0.036 ± 0.022 ^{O,R,S}
RY	0.017 ± 0.002 ^{d,e}	0.020 ± 0.002 ^{i,o,ö}	0.027 ± 0.003 ^{v,y}	0.023 ± 0.001 ^{D,I,J}	0.034 ± 0.002 ^{Ö,S,T}
SMC3	0.022 ± 0.003 ^{f,g}	0.023 ± 0.025 ^{l,p}	0.027 ± 0.002 ^{s,z,A}	0.019 ± 0.001 ^{G,I,L,M}	0.020 ± 0.001
PE	0.012 ± 0.001 ^{a,c,d,f,h}	0.014 ± 0.002 ^{k,m,o}	0.021 ± 0.001 ^{ş,u,v,z,B}	0.018 ± 0.001 ^{E,K,L,N}	0.024 ± 0.001 ^{R,Ş}
SM6	0.013 ± 0.002 ^{b,e,g,h}	0.017 ± 0.001 ^{l,n,ö,p}	0.022 ± 0.001 ^{t,ü,y,A,B}	0.035 ± 0.002 ^{F,H,J,M,N}	0.026 ± 0.001 ^{P,S,T}
	KW=13.72 p=0.017 * p<0.05	KW=17.41 p=0.004 * p<0.05	KW=18.14 p=0.003 * p<0.05	KW=19.66 p=0.001 * p<0.05	KW=19.44 p=0.002 * p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük veya büyük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Mann-Whitney U teste göre istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

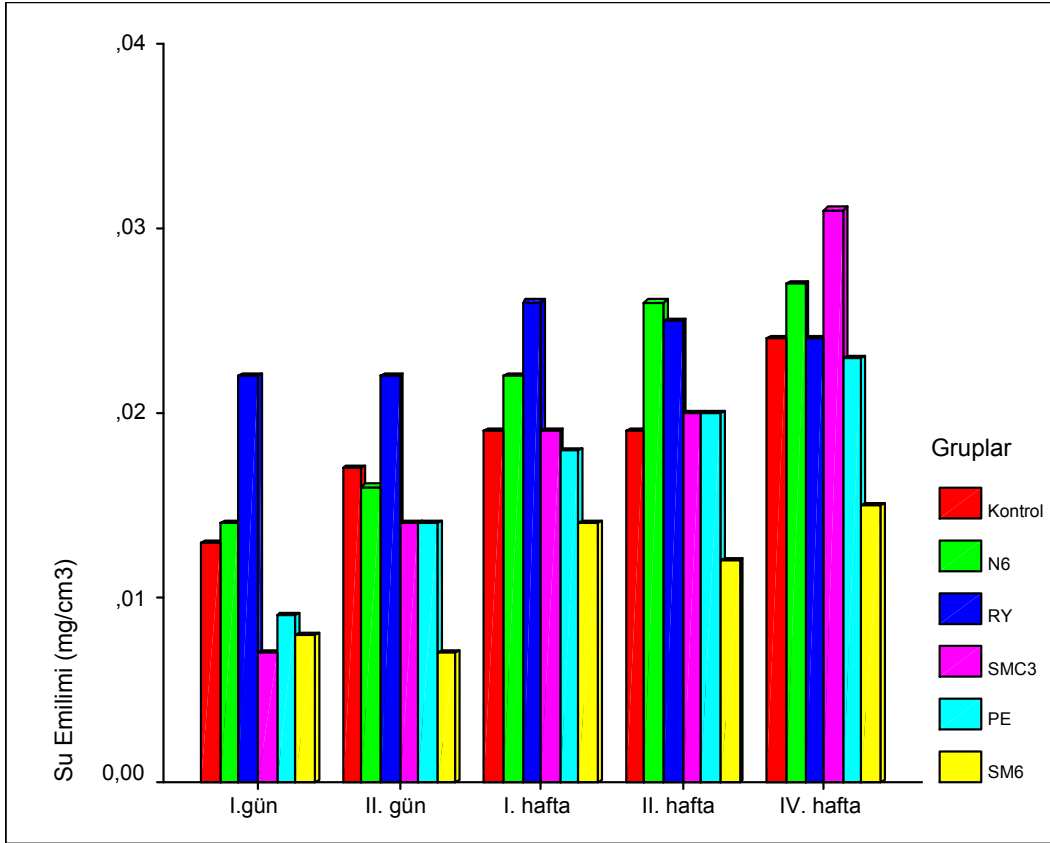
II. güne ait su emilim değerlerinin kıyaslanması sonucunda Kontrol ve RY, Kontrol ve SMC3, Kontrol ve PE, Kontrol ve SM6, N6 ve PE, N6 ve SM6, RY ve PE, RY ve SM6, SMC3 ve SM6 arası fark önemliken (p=0.004), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur (p>0.05).

I. haftaya ait su emilim değerlerinin ikişerli kıyaslanması, Kontrol ve N6, Kontrol ve SMC3, Kontrol ve PE, Kontrol ve SM6, N6 ve PE, N6 ve SM6, RY ve PE, RY ve SM6, SMC3 ve PE, SMC3 ve SM6, PE ve SM6 arası farkların önemli olduğunu göstermiştir (p=0.003).

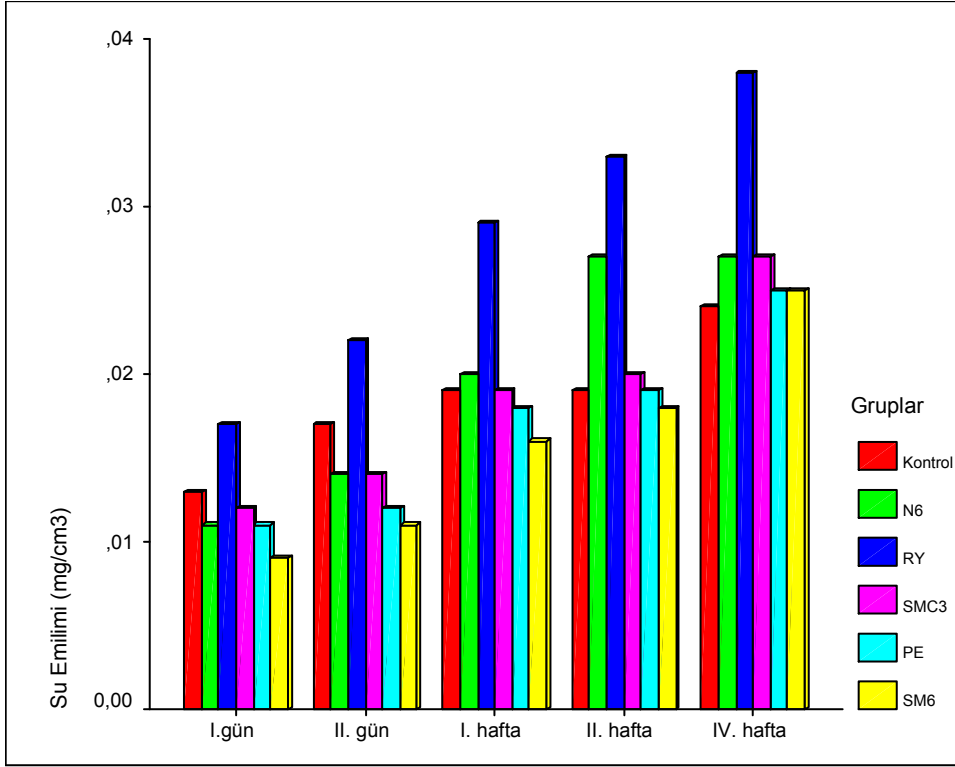
II. haftaya ait su emilim değerleri karşılaştırıldığında, Kontrol ve N6, Kontrol ve RY, Kontrol ve PE, Kontrol ve SM6, N6 ve SMC3, N6 ve SM6, RY ve SMC3, RY ve

SM6, SMC3 ve PE, SMC3 ve SM6, PE ve SM6 arası fark önemli ($p=0.001$), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

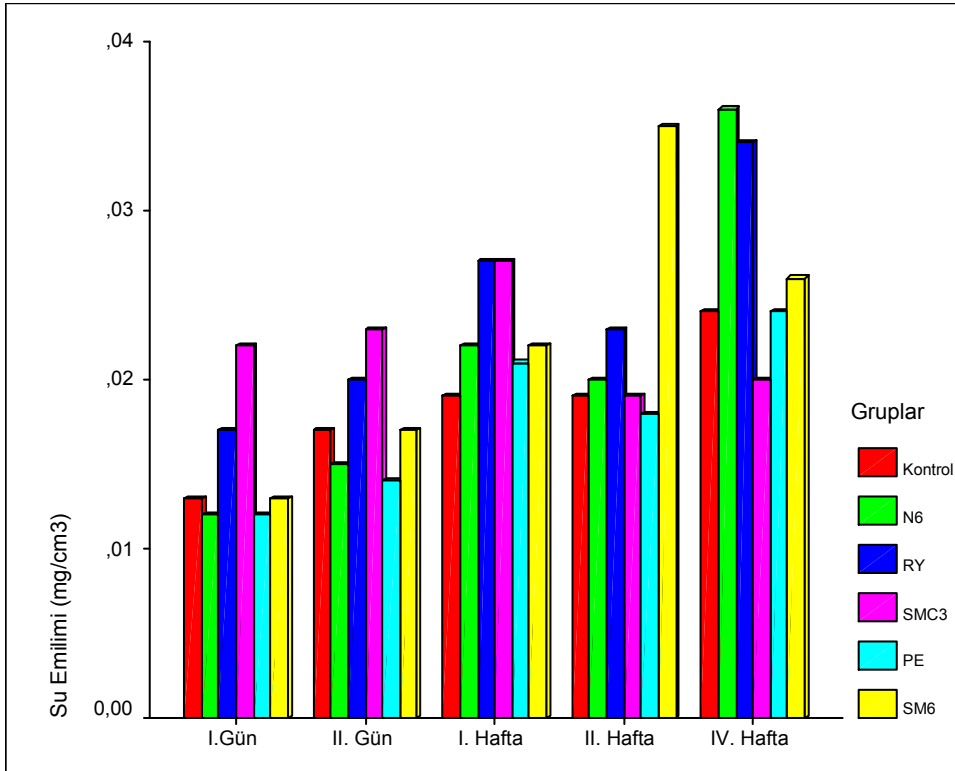
IV. haftaya ait su emilim değerlerinin ikişerli kıyaslanması sonucunda, Kontrol ve N6, Kontrol ve RY, Kontrol ve SM6, N6 ve PE, N6 ve SM6, RY ve PE, RY ve SM6 arası fark önemli ($p=0.002$), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).



Şekil 4.4.2.1 Kontrol ve 2mm gruplarının test zaman dilimleri içerisinde gösterdikleri su emilim değerleri



Şekil 4.4.2.2 Kontrol ve 4mm gruplarının test zaman dilimleri içerisinde gösterdikleri su emilim değerleri



Şekil 4.4.2.3 Kontrol ve 6mm gruplarının test zaman dilimleri içerisinde gösterdikleri su emilim değerleri

4.4.3 Kontrol ve aynı uzunlukta fiber ilave edilen test gruplarında, test zaman dilimleri aralarındaki su emilim değerlerinin grup içi kıyaslaması

2, 4 ve 6mm uzunlukta farklı tip fiberler ile desteklenen PMMA örneklerin ve kontrol grubunun su emilim test verileri, Çizelge 4.4.3.1-4.4.3.3, Şekil 4.4.3.1-4.4.3.3'de sunulmuştur. Friedman testi, kontrol dahil, aynı uzunlukta fiber ilave edilen farklı fiber gruplarında I. gün, II. gün, I. hafta, II. hafta, IV. haftaya ait su emilim ölçüm değerlerinin farklı olduğunu göstermiştir ($p<0.05$). Zaman dilimlerinin ikişerli kıyaslanması için Wilcoxon test uygulanarak, grup içi farklılıklar belirlenmiştir. Buna göre Kontrol grubunda I. gün ve II. gün; I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve IV. hafta; II. hafta ve IV. hafta arası farklar önemlidir ($p=0.001$) (Çizelge 4.4.3.1).

2mm uzunlukta farklı fiberle güçlendirilen örnekler için ikişerli karşılaştırma sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.4.3.1).

N6 grubunda I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve II. hafta; I. hafta ve IV. hafta arası fark önemli bulunurken ($p=0.001$), diğer gruplar arası fark önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Çizelge 4.4.3.1 2mm uzunlukta ilave edilen değişik fiberlerin değişen zamanlarda ölçülen su emilim değerleri*

Zaman	Kontrol X ± Sd	N6 X ± Sd	RY X ± Sd	SMC3 X ± Sd	PE X ± Sd	SM6 X ± Sd
I. gün	0.013±0.001 ^{a,b,c,d}	0.014±0.002 ^{i,j,k}	0.022±0.002 ^{p,r,s,ş}	0.007±0.002 ^{v,y,z}	0.009±0.002 ^{D,E,F,G}	0.008±0.003 ^{L,M,N}
II. gün	0.017±0.001 ^{a,e,f}	0.016±0.001 ^{l,m,n}	0.022±0.006 ^{p,t,u,ü}	0.014±0.003 ^{A,B}	0.014±0.001 ^{D,H,I,J}	0.007±0.002 ^O
I. hafta	0.019±0.001 ^{b,g}	0.022±0.002 ^{i,l,o,ö}	0.026±0.001 ^{r,t}	0.019±0.002 ^{v,C}	0.018±0.001 ^{E,H,K}	0.014±0.001 ^L
II. hafta	0.019±0.002 ^{c,e,h}	0.026±0.001 ^{j,m,o}	0.025±0.001 ^{s,u}	0.020±0.001 ^{y,A}	0.020±0.002 ^{F,I}	0.012±0.003 ^{M,O}
IV. hafta	0.024±0.001 ^{d,f,g,h}	0.027±0.001 ^{k,n,ö}	0.024±0.002 ^{s,ü}	0.031±0.001 ^{z,B,C}	0.023±0.001 ^{G,J,K}	0.015±0.001 ^N
	$\chi^2=19.06$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=19.19$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=11.45$ p=0.022 *p<0.05	$\chi^2=18.08$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=19.11$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=15.10$ p=0.004 *p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük veya büyük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

RY grubunda I. gün ve II. gün; I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta arası farklar önemlidir ($p=0.022$).

SMC3 grubunda I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve IV. hafta arası farklar önemlidir (p=0.001).

PE grubunda I. gün ve II. gün; I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve IV. hafta arası farklar önemli bulunmuştur (p=0.001).

SM6 grubunda I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta arası farklar önemli bulunurken (p=0.004), diğer gruplar arası farklar önemsiz bulunmuştur (p>0.05).

4mm uzunlukta farklı fiberle güçlendirilen örnekler için ikişerli karşılaştırma sonuçlarına göre (Çizelge 4.4.3.2):

N6 grubunda I. gün ve II. gün; I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve II. hafta; I. hafta ve IV. hafta arası farklar önemli bulunurken (p=0.001), diğer gruplar arası farklar önemsiz bulunmuştur (p>0.05).

Çizelge 4.4.3.2 4mm uzunlukta ilave edilen değişik fiberlerin değişen zamanlarda ölçülen su emilim değerleri*

Zaman	Kontrol X ± Sd	N6 X ± Sd	RY X ± Sd	SMC3 X ± Sd	PE X ± Sd	SM6 X ± Sd
I. gün	0.013±0.001 ^{a,b,c,d}	0.011±0.002 ^{i,j,k,l}	0.017±0.003 ^{r,s,ş}	0.012±0.002 ^{z,A,B}	0.011±0.002 ^{G,H,I}	0.009±0.001 ^{M,N,O,Ö}
II. gün	0.017±0.001 ^{a,e,f}	0.014±0.001 ^{i,m,n,o}	0.022±0.003 ^{t,u,ü}	0.014±0.001 ^{C,D}	0.012±0.001 ^{J,K,L}	0.011±0.001 ^{M,P,R,S}
I. hafta	0.019±0.001 ^{b,g}	0.020±0.001 ^{j,m,ö,p}	0.029±0.006 ^{t,v}	0.019±0.003 ^{z,E}	0.018±0.001 ^{G,J}	0.016±0.002 ^{N,P,Ş}
II. hafta	0.019±0.002 ^{c,e,h}	0.027±0.001 ^{k,n,ö}	0.033±0.001 ^{s,u,y}	0.020±0.001 ^{A,C,F}	0.019±0.001 ^{H,K}	0.018±0.002 ^{O,R,T}
IV. hafta	0.024±0.001 ^{d,f,g,h}	0.027±0.001 ^{l,o,p}	0.038±0.001 ^{ş,ü,v,y}	0.027±0.007 ^{B,D,E,F}	0.025±0.001 ^{I,L}	0.025±0.001 ^{Ö,S,Ş,T}
	$\chi^2=19.06$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=14.36$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=19.19$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=18.89$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=19.19$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=19.83$ p=0.001 *p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük veya büyük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

RY grubunda I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve IV. hafta; II. hafta ve IV. hafta arası farklar önemlidir (p=0.001).

SMC3 grubunda I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve IV. hafta arası farklar önemli bulunurken (p=0.001), diğer gruplar arası farklar önemsiz bulunmuştur (p>0.05).

PE grubunda I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve IV. hafta; II. hafta ve IV. hafta arası farkların önemli olduğu bulunmuştur (p=0.001).

SM6 grubunda I. gün ve II. gün; I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve IV. hafta; II. hafta ve IV. hafta arası farklar önemli bulunurken (p=0.001), diğer gruplar arası farklar önemsiz bulunmuştur (p>0.05).

6mm uzunlukta farklı fiberle güçlendirilen örnekler için ikişerli karşılaştırma sonuçlarına önemli fark gösteren gruplar aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.4.3.3).

N6 grubunda I. gün ve II. gün; I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve IV. hafta arası farklar önemli bulunurken (p=0.001), diğer gruplar arası farklar önemsiz bulunmuştur (p>0.05).

Çizelge 4.4.3.3 6mm uzunlukta ilave edilen değişik fiberlerin değişen zamanlarda ölçülen su emilim değerleri*

Zaman	Kontrol X ± Sd	N6 X ± Sd	RY X ± Sd	SMC3 X ± Sd	PE X ± Sd	SM6 X ± Sd
I. gün	0.013±0.001 ^{a,b,c,d}	0.012±0.001 ^{i,j,k,l}	0.017±0.002 ^{p,r,s}	0.022±0.003	0.012±0.001 ^{z,A,B}	0.013±0.002 ^{H,I,J}
II. gün	0.017±0.001 ^{a,e,f}	0.015±0.001 ^{i,m,n,o}	0.020±0.002 ^{s,t,u}	0.023±0.003	0.014±0.002 ^{C,D,E}	0.017±0.001 ^{K,L,M}
I. hafta	0.019±0.001 ^{b,g}	0.022±0.001 ^{j,m,ö,p}	0.027±0.003 ^{p,s,ü,v}	0.027±0.002	0.021±0.001 ^{z,C,F}	0.022±0.001 ^{H,K,N,O}
II. hafta	0.019±0.002 ^{c,e,h}	0.020±0.002 ^{k,n,ö}	0.023±0.001 ^{r,t,ü,y}	0.019±0.001	0.018±0.001 ^{A,D,G}	0.035±0.002 ^{I,L,N}
IV. hafta	0.024±0.001 ^{d,f,g,h}	0.036±0.022 ^{l,o,p}	0.034±0.003 ^{s,u,v,y}	0.020±0.001	0.024±0.001 ^{B,E,F,G}	0.026±0.001 ^{J,M,O}
	$\chi^2=19.06$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=18.08$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=19.36$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=6.69$ p=0.153 p>0.05	$\chi^2=19.19$ p=0.001 *p<0.05	$\chi^2=19.04$ p=0.001 *p<0.05

n=5

*Dikey sütunlarda aynı küçük veya büyük harfle izlenen ortalamalar arasındaki fark Wilcoxon teste göre istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

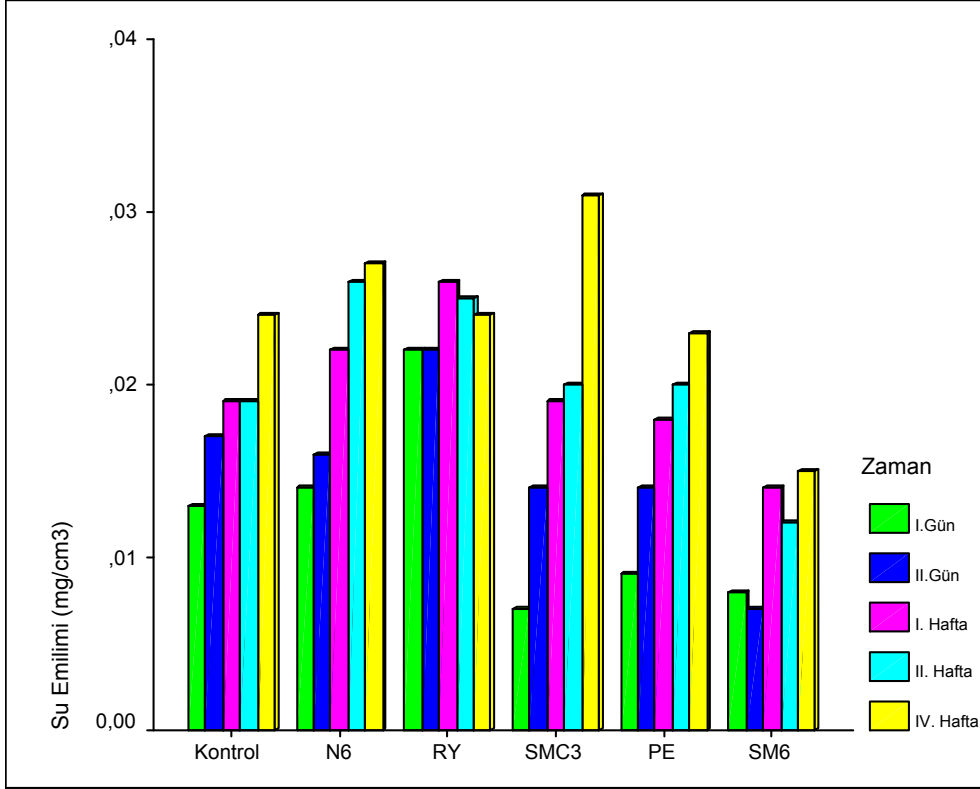
RY grubunda I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve II. hafta; I. hafta ve IV. hafta; II. hafta ve IV. hafta arası farklar önemlidir (p=0.001).

SMC3 grubunda Friedman test sonuçlarına göre zaman dilimleri yönünden gruplar arasında farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0.005).

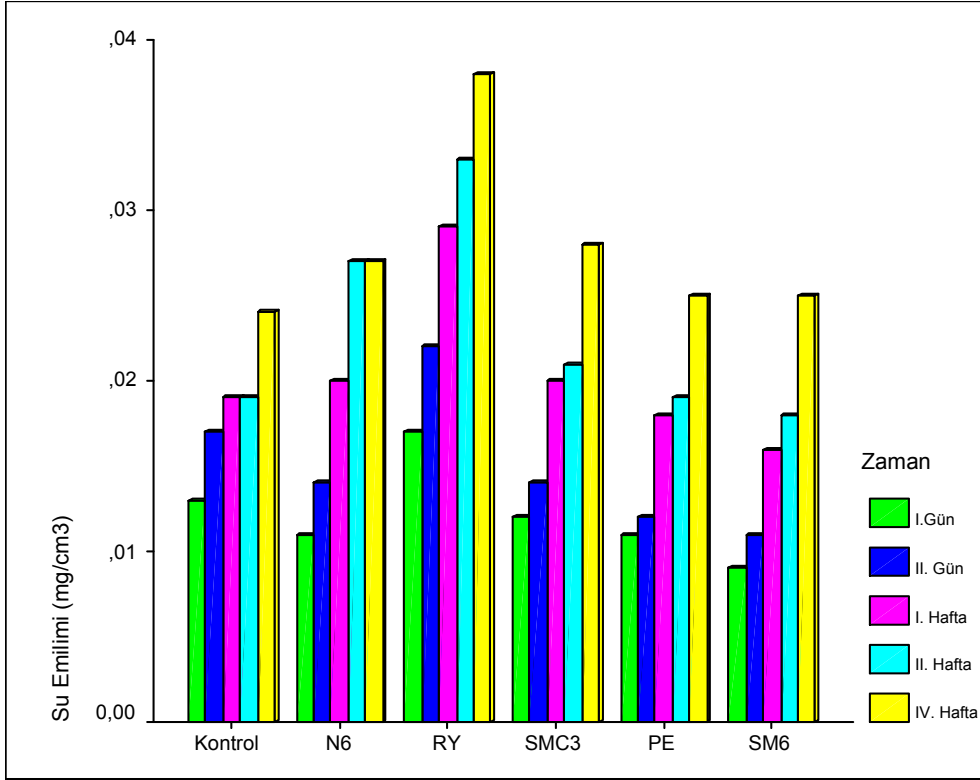
PE 6mm grubunda I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve IV. hafta; II. hafta ve

IV. hafta arası farklar önemli bulunurken ($p=0.001$), diğer gruplar arası farklar önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

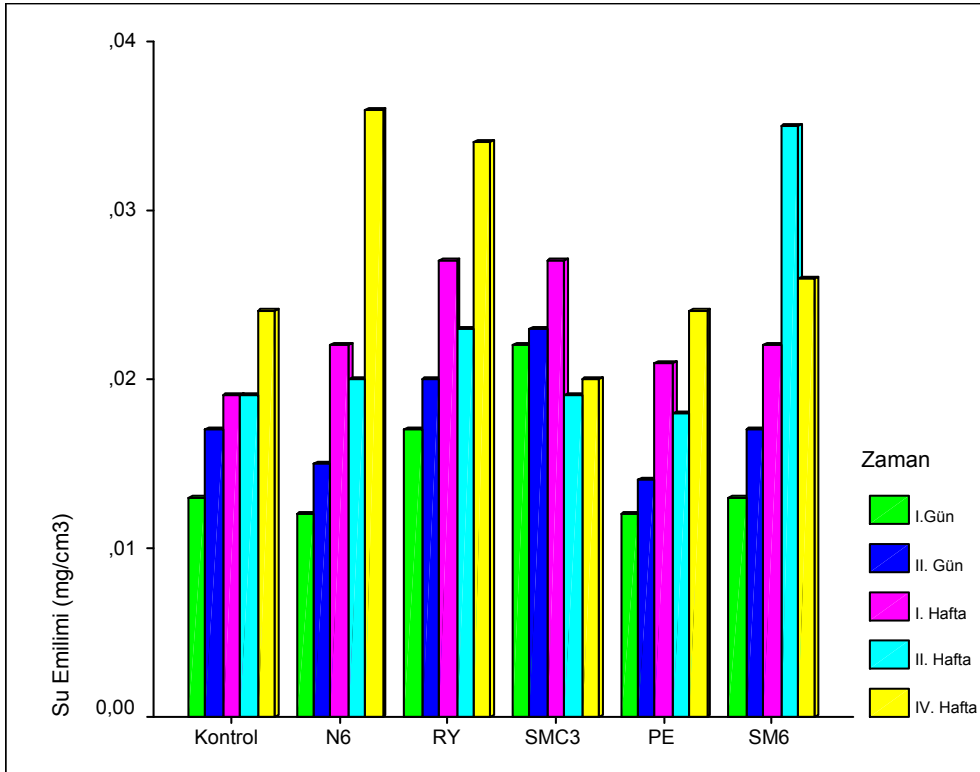
SM6 grubunda I. gün ve II. gün; I. gün ve I. hafta; I. gün ve II. hafta; I. gün ve IV. hafta; II. gün ve I. hafta; II. gün ve II. hafta; II. gün ve IV. hafta; I. hafta ve II. hafta; I. hafta ve IV. hafta arası farklar önemlidir ($p=0.001$).



Şekil 4.4.3.1 Test zaman dilimleri içerisinde kontrol ve 2mm gruplarının gösterdikleri su emilim değerleri



Şekil 4.4.3.2 Test zaman dilimleri içerisinde kontrol ve 4mm gruplarının gösterdikleri su emilim değerleri



Şekil 4.4.3.3 Test zaman dilimleri içerisinde kontrol ve 6mm gruplarının gösterdikleri su emilim değerleri

5. TARTIŞMA

Protez kaide plağı olarak yaygın kullanılan PMMA rezinler, minimum maliyet, mükemmel estetik, uyum, ağız ortamında stabil olma ve manüplasyon kolaylığı gibi uygun özelliklere sahiptir. Ancak, düşük yorulma direnci, bükülme ve çarpma dayanımları gibi nispeten zayıf mekanik özellikleri, kullanım sırasında başarısızlık nedeni olabilmektedir [64-66].

Akrilik rezin protez kırıkları, özellikle üst tam protezlerde orta hat kırıkları protetik alanda genel klinik bir sorundur [67] ve henüz tamamen çözümlenememiştir [57]. Johnston ve ark. [68], yapımını takiben akrilik rezin protezlerin %68'inin birkaç yıl içinde kırıldığını göstermişlerdir. Ağız içi tekrarlanan çiğneme kuvvetleri materyal yorulmasına yol açarken, ağız dışında yüksek çarpma kuvvetleri protezlerin düşürülmesi ile oluşabilir; bunların sonucunda protez çatlar ya da kırılır [32,37,57,67,69-71].

Poliamid, epoksi rezin, polistiren, vinil akrilik polikarbonat ve naylon gibi değişik polimerler, PMMA'nın mekanik yetersizliklerinin üstesinden gelmek için protez kaide rezini olarak kullanılmış, ancak tatminkar materyale ulaşamamıştır [37,72]. PMMA'ya alternatif materyal arayışında, kimyasal yapının polietilenglikol dimetakrilat gibi çapraz bağlantı ajan ilavesi veya bütadien stiren formunda lastik katılımı ile modifikasyonları yapılmış ve dayanım özelliklerinde önemli artış gözlenmemiştir. Plastikleştirici ajan katılımı ile çarpma dayanımı artsa da elastiklik modülü, yorulma direnci ve bükülme dayanımı gibi diğer özelliklerde düşüş gözlenmiştir [32,37].

Bu alandaki son gelişmeler, PMMA rezin matriks içine lastik parçacıklar veya fiberler gibi kuvvetlendirici solid katkıların kullanımını kapsar. Pratik açıdan fiberle güçlendirme, diğer yöntemlere kıyasla daha iyi estetik, artmış rezin matriks adezyonu ve tamir kolaylığı nedeniyle en iyi seçenek olarak görünmektedir [32,57,69].

Fiberle güçlendirme mekanizması, fiberler üzerine uygulanan yükü nispeten yumuşak plastik polimer matriksin ara yüzde makaslama kuvvetleri ile tamamen transfer edebilmesi ilkesi ile açıklanmaktadır. Böyle bir fiber/polimer kompozit yapıda, fiberler esas yük taşıyıcı eleman olurken; matriks fiberleri yerinde tutar ve onları çevreleyen sürekli fazı şekillendirir [58].

Karbon, aramid, polietilen ve cam fiberlere değişen seçeneklerle PMMA rezinin çarpma ve bükülme özelliklerinde artış sağlandığı bildirilmiştir [32,57]. Bunlar arasında

cam fiberler estetik kaliteleri ve silan kaplama ajanları ile rezin matrikse iyi bağlanmaları dolayısıyla ön plana çıkmakta ve kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Öte yandan sınırlı da olsa naylon, rayon ve polyester fiberle güçlendirilen rezin özelliklerine ilişkin bazı çalışma sonuçları, bu fiberlerin estetik ve çarpma dayanımında önemli düzelmelere işaret etmektedir. John ve ark. [54], naylon fiberle güçlendirilen PMMA rezinin bükülme özelliklerinin güçlendirilmemiş rezinlerden daha iyi olduğunu; Chen ve ark. [55], Chen ve Liang [56], polyester fiberlerin, Doğan ve ark. [57] ise, polyester, cam, rayon, naylon 6 ve naylon 6,6 fiber katılımının kompozit yapının çarpma dayanımını artırdığını bildirmişlerdir. Ancak bu fiberlerle güçlendirilen polimerlerin uzun süreli kullanımında önemli parametreler olarak çekme dayanımı ve su emme gibi özellikleri henüz incelenmemiştir. Bu nedenle çalışmamızda yaygın olarak kullanılan E-cam fiberin yanı sıra uygulamalarda nispeten yeni sayılabilecek bu estetik fiberlerin, güçlendirilen PMMA yapının bükülme ve çekme dayanımları ile su emme özelliklerine etkileri değerlendirildi.

Fiberle güçlendirme etkisinin fiber tipi dışında, fiber uzunluğu, formu, oryantasyonu ile fiber/matriks adezyonuna bağlı olduğu bildirilmiştir [19,30,69,73,74]. Fiberler sürekli tek yönlü, kısa kesilmiş ve örgü formda kullanılabilir. Sürekli tek yönlü fiberler kompozit yapıya bir yönde anizotropik, dokuma/örgü fiberler bir düzlemde ortotropik mekanik özellik verirken, kısa kesilmiş fiberler izotropik özellik sağlarlar [27,30,44,69]. Kısa fiberler rasgele yerleştirildiğinde mekanik özellikler tüm yönlerde aynıdır; böyle yapılarda kompozitin dayanımı, kırma kuvvet yönüyle ilgili değildir. Bu tip fiberlerin rasgele yerleştirimi sırasında kaide yönünde paralel olanların dayanıma katkısı fazla iken, diğerlerinin daha az, hatta bazılarının hiç katkısı olmadığı sonucuna varılmıştır. Yine de fiberlerin rasgele yerleştirilmesinin kolay ve basit olması, tekniğin geniş ölçüde kullanımını popüler kılmış; muflalama işleminde fiberlerin istenen şekilde oryantasyonu için zaman kaybını ortadan kaldırmıştır [30,65].

Fiber uzunluğu da mekanik özellikleri etkiler. Kompozit yapılarda kuvvet doğrudan fiberlere uygulanmaz, matrikse gelen kuvvetler fiber sonlanmaları boyunca fiberlere iletilir. Kısa fiberlerde fiber uçları, stres birikim noktaları olarak davranır ve çok küçük yüklemelerde bile fiber sonlanmalarının matriksten ayrılmasına ve mikro çatlaklar gelişmesine neden olabilir. Aynı durum, sürekli fiberlerde en zayıf fiber kesit alanında kırılmalarda da oluşabilir. Fiber/matriks ara yüz bağlantısının güçlü olması bu durumu engelleyebilir [59,75]. Sürekli fiber uygulaması kısa fiberlere göre daha üstün güçlendirme sağlasa da, protezin zayıf bölgelerine maksimum etki için, bu fiberi viskoz

PMMA hamura yerleştirmek zordur; ilave teknik işlem gerektirir, ayrıca presleme sırasında konumu değişebilir [45,66,76]. Kısa fiber sistemlerin kullanımı daha ucuzdur ve konvansiyonel protez yapım metodları ile kolayca uygulanabilirler.

Fiber oranı, güçlendirme etkisinde dikkate alınması gereken diğer önemli husustur. Bu oran hacim veya ağırlıkça belirlenebilir. Matriks ve fiber yoğunluğu bilindiğinde ağırlıkça fiber miktarından hacimce fiber miktarı hesaplanabilir. Ancak hacimle güvenilir sonuç alabilmek için fiber/matriks bağlantısının optimum olması gerekir [30].

Stipho [50], düşük konsantrasyonda kısa kesilmiş cam fiberin rasgele rezine karıştırılarak kullanılmasının hem kolay, hem de yararlı bir teknik olduğunu belirtmiştir. Gutteridge [45], 6mm polietilen fiberler ile çarpma dayanımı ölçümünde fiber oranının ağırlıkça %3 üzerine çıktığında yarar sağlamadığını; %4'ten yüksek fiber konsantrasyonunun manüplasyon güçlüğüne neden olan kuru ve gevrek hamur oluşturduğunu bildirmiştir. Polietilen fiberler için etkili fiber oranı Ladizesky ve ark. [47] tarafından %4; Clarke ve ark. [77] tarafından ise, %2 olarak belirlenmiştir. Chen ve ark. [55], farklı uzunluk (2, 4 ve 6mm) ve ağırlıkça (%1, 2, 3 konsantrasyonda) cam, aramid ve polyester fiber ilavesinin akrilik rezin mekaniğine etkisini değerlendirmişler; uzunluk ve oran artışının çarpma dayanımını artırdığını; bükölme dayanımında ise etkisiz olduğunu bildirmişlerdir. Polyesterle en iyi sonuçların 6mm uzunluk ve ağırlıkça %3 konsantrasyonda alındığı bu deneysel çalışmada, %3 üzeri fiber katılımının manüplasyon güçlüğü ve estetik soruna neden olduğuna işaret edilmiştir. %0.1'den %3'e değişen farklı oranlarda viskoz rayon fiber katılımı ile oluşturulan kompozit yapıda reolojik özellikler Katsikas ve ark. [53] tarafından değerlendirilmiş ve fiber miktar artışının viskoziteyi dolayısıyla akrilik rezinin hamur safhasını etkilediği bildirilmiştir.

Fiberler, bir polimer materyali güçlendirmek için kullanıldığında, fiber/polimer matriks arasında optimal adezyon esastır [30,37]. Solnit [52], cam fiber yüzeylerine bağlayıcı ajan uygulamaksızın doğrudan akrilik rezin içine karıştırılması durumunda, fiberlerin yabancı cisim gibi davranarak, yapıyı güçlendirmek yerine zayıflatacağını belirtmiştir. Bununla birlikte, Kanie ve ark. [41], silanlı ve silansız cam fiberle güçlendirilen test örneklerin bükölme dayanımında fark olmadığını, ara yüz dayanımında fiber/matriks arası sürtünmesel kuvvetin daha etkin olduğunu bildirmişlerdir.

Tüm bu bilgiler ışığında çalışmamızda test edilen fiberler, yüzey işlemine tabi tutulmaksızın, 2, 4 ve 6mm uzunlukta kısa kesilmiş ve gevşek formda, rasgele oryantasyonla uygulandılar.

Ağız ortamında protezlerin uzun süreli kullanılabilirliği dikkate alındığında, materyallerin uygulanan fonksiyonel streslere dayanmak üzere yeterli mekanik özelliklere sahip olmaları çok önemlidir. Farklı ürün performanslarını kıyaslamak veya protez kaide rezinlerinde güçlendirici ajanların etkinliğini araştırmak için, çeşitli mekanik testler uygulanabilir. Yorulma testi, kliniksel başarısızlık mekanizmasını yansıtmada oldukça uygundur, ancak, zaman alıcıdır; alternatif olarak bükülme testinin kullanılabilmesi önerilmektedir. Bu test, sadece dayanıklılığı belirlemez, aynı zamanda materyal rijiditesi hakkında da bilgi sağlar [58,67,71,78]. Materyalin bükülme dayanımı basma, çekme ve makaslama dayanımlarının bir kombinasyonudur. Çekme ve basma dayanımı arttıkça, materyali kırmak için gereken kuvvet de artacaktır [54]. Bu çalışmada bükülme dayanım ölçümü, çiğneme sırasında oluşan streslere tekabül eden protez kaide polimerlerinin direncini kıyaslamak için kullanıldı ve bükülme testi sonrasında kırılmış yüzeylerde fiber/matriks ilişkisi SEM ile gözlemlendi.

Hareketli protez kullanan hastaların ağız ortamındaki çekme gerilimlerinin fazlalığı ve bu gerilimlerin ağza uygulanan materyallerin çekme dayanımlarını etkilemesi, materyal seçimi açısından oldukça önemlidir. Çekme dayanım testi ile materyalin karşılık verebileceği en yüksek çekme dayanımı ve bu esnada göstereceği yüzde uzama belirlenebilir [79]. Aynı testle gerilim-gerilme eğrisinden materyal esnekliğinin bir ölçütü olarak elastiklik modülü (Young's modülü) hesaplanabilir. Yüksek dirence sahip materyalin elastiklik modülü de yüksektir. PMMA rezine uygulanan gerilim materyalin orantı sınırının altında olduğu zaman elastik deformasyon oluşur ki bu da materyalde kalıcı olmayan değişikliğe işaret eder [6,8]. Çalışmamızda, farklı uzunluk ve farklı tipte fiberlerin sonuç yapının gerilme karşısındaki dayanım ve kırılma öncesi uzama yüzdesi ile deforme olabilirliği hakkındaki verilerin tayini için, çekme testi uygulandı.

Konuya ilişkin daha önce yapılan çalışmalarda mekanik testlerde farklı kırma hızları kullanılmıştır. Uygulanan hız, materyalin çekme gerilimi esnasında materyalden alınacak gerilim-gerilme verilerinin sayısını etkilemektedir. Bu çalışmada, her bir test için ilgili standartta belirtilen hız esas alındı. Test öncesi örnekler, rezinlerin polimerizasyonu sırasında oluşan stresleri azaltmak veya elimine etmek için 24 saat 37°C de suda bekletildi.

Protez kaide rezini, ağız boşluğunun nemli ortamında kullanılır; kullanılmadığı durumda ise, suda saklanır. Bundan dolayı, suyun polimerle etkileşimi önemli faktördür. Protez kaide polimerlerinin su emilimine ilişkin yapılan çalışmalar, su emmenin yapının mekanik özelliklerinde düşüşe neden olduğunu göstermiştir [18,80,81].

Su emilimini ölçmenin bir yöntemi ADA tarafından önerildiği üzere, suya maruz kalan yüzey alanının her biriminde resin ağırlığındaki artışı tayin etmektir. Diğer yöntem ise, ISO tarafından önerilen birim hacimdeki kütle artışının belirlenmesidir. Çalışmamızda su emilim testi, örnek boyutlarının farklılığı dışında ISO 1567: 1999'a göre yapıldı [16].

Chow ve ark. [82], ISO ve ADA tarafından önerilen tamamen kurutma işleminin pratik olmadığını; ancak bu işlemin in vitro çalışmalarda resin örnekler arasındaki hazırlama farklılığından kaynaklanan nem oranlarının birbirine yakınlaştırılması için yapıldığını bildirmişlerdir. Aşırı kurutulan resin-fiber örneklerde ara yüzde ayrılmalar olabileceği ifade edildiğinden, çalışmamızda su emilim örnekleri 37°C etüvde, desikatörde 4 gün süre ile kurutulmuştur.

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler, çekme dayanımı, bükülme dayanımı ve su emilim değerlerine dayalı olarak ayrı ayrı irdelenebilir:

Çekme dayanım test sonuçları değerlendirildiğinde, aynı fiberle güçlendirilen örneklerde fiber uzunluk değişiminin incelenen hemen tüm parametrelerde önemli farklılık oluşturmadığı gözlemlendi (Çizelge 4.1.1-4.1.5). Yalnızca cam fiberle güçlendirilen örneklerin uzama ve gerilme yüzdeleri, tüm uzunluklarda birbirinden farklı olarak en yüksek 2mm'lik örneklerde elde edildi ($p<0.05$). Aynı fiber uzunluğunda farklı fiber katılımının etkisi, kontrol grubu örnekleriyle karşılaştırıldığında çekme dayanım değerlerinde düşüş gözlemlendi. Kontrol grubu için Young's modülü 2174.97MPa; maksimum kırma kuvveti 678N; maksimum çekme dayanımı 55.28MPa ve maksimum uzama 2.56mm olarak belirlendi.

2mm uzunlukta farklı fiberlerle güçlendirilen örnek grupları karşılaştırıldığında en yüksek Young's modülü naylon 6,6 için (2138.23MPa); maksimum kırma kuvveti ve maksimum çekme dayanımı naylon 6 için (658.78N ve 53.43MPa); ve en fazla deformasyon polyester fiber için (5.55mm) belirlendi. 4mm fiber uzunluğun etkisi irdelendiğinde, en yüksek Young's modülü 2200.28MPa ile cam fiber için gözlenirken, diğer parametrelerde 2mm'lik örneklerde olduğu gibi naylon 6 (648.33N ve 52.86MPa) ve polyester fiber katılımı ile (2.84mm) en yüksek değerlere ulaştı. 6mm'lik fiber

katılımında ise, Young's modülü en yüksek değerine naylon 6 ile (2110.57MPa); en yüksek kırma kuvveti ve çekme dayanımına polyester fiber ile (660.45N ve 53.84MPa) ve en fazla deformasyona rayon fiber ile (3.76mm) ulaştı. Sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde, 6mm uzunlukta polyester fiberlerin kontrolden sonra en yüksek çekme dayanımını gösterdiği ve 4 mm'lik örneklerde cam fiberin Young's modülünde önemli artış olduğu belirlendi. Tüm gruplar arasında kırılma öncesi minimum deformasyon 2.10mm ile yine 4mm'lik cam fiber grubunda elde edildi (Çizelge 4.1.6-4.1.8).

Çalışmamız bulgularına ters olarak Kanie ve ark. [41], üç farklı tipte kısa kesilmiş E-cam fiberlerin çekme dayanım verilerini güçlendirilmemiş örneklerden ve bizim elde ettiğimiz değerlerden daha yüksek bulmuşlardır. Bu sonuç, deney koşulları ve kullanılan cam fiber yapısındaki farklılıklara bağlanabilir. Diğer fiber tipleriyle benzer test sonuçlarına ilişkin literatürde veri olmaması, bu bulguların kıyaslanmasını mümkün kılmamaktadır, bununla birlikte aynı testin uygulandığı diğer tipte fiber uygulanan çalışma sonuçları değerlendirmede fikir verici olabilir:

Bulgularımızla uyumlu olarak Ladizesky ve Ward [83], çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen monofilamentleri ile güçlendirilen örneklerde fiber katılımının fibersiz kontrol grubuna göre düşüş gösterdiğini bulmuşlardır. Araştırmacılar, test sonucu oluşan başarısızlığın fiber-rezin ara yüzünden ziyade, fiber yapısında oluştuğunu belirtmişler; bozulmanın fiber/rezin birleşiminin yakınında fiber içerisinde başladığına işaret etmişlerdir. Taner ve ark. [84], 6mm uzunluk ve ağırlıkça %1, 2, 3, 4, 5, 7 ve 10 konsantrasyonda çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen fiberle güçlendirilen polimer kompozit yapının çekme dayanımının fibersiz kontrol grubuna göre düşük olduğunu bulmuşlardır. Vallittu [27], fiber/polimer kompozit yapıda zayıf impregne alanların, kısaca fiberler arasında oluşan boşlukların sonuç yapının çekme dayanımı ve elastiklik modülünde düşüslere neden olduğunu bildirmiştir.

Fiber uzunluk etkisine ilişkin olarak ortaya çıkan değişiklik şöyle açıklanabilir: Resin matriks ve fiber farklı elastiklik modülünden dolayı farklı çekme gerilmesi gösterirler. Fiber sonlanma alanlarında fiberde oluşan gerilme matrikstekine oranla çok daha azdır. Bu fark nedeni ile fiber eksenini yönünde fiber çevresinde makaslama stresi oluşur ve fiber gerildiğinde stres artar. Bundan dolayı uzunluk artışı ile fiber, kırılıncaya değin önemli miktarda yüke dayanabilir [66].

Bu çalışmada her bir fiber grubunda, uzunluk değişimi transvers dayanım test sonuçlarını önemli ölçüde etkilemedi. Aynı fiber farklı uzunlukta kullanıldığında,

bükülme modülü, bükülme dayanımı ve maksimum uzama yönünden farklar istatistiksel olarak önemsiz bulundu ($p>0.05$); ancak yalnızca 4mm'lik cam fiber kullanılan örneklerin bükülme modülü 1088.19MPa değeri ile 2mm uzunluğun kullanıldığı örnek grubuna (898.60MPa) göre önemli derecede yüksek bulundu ($p>0.05$) (Çizelge 4.2.1-4.2.5).

Aynı uzunlukta farklı tipte fiberle güçlendirilen örneklerin bükülme özellikleri birbirleriyle ve kontrol grubuna göre kıyaslandı. Kontrol grubu için bükülme dayanımı 56.71MPa; bükülme modülü 1226.75MPa ve maksimum uzama 5.06mm olarak belirlendi. 2mm'lik fiberle güçlendirilen örneklerde, en yüksek bükülme dayanımı naylon 6 için (53.02MPa); en yüksek bükülme modülü rayon için (1102.24MPa) ve en yüksek uzama cam fiber için (6.09mm) olarak belirlenirken; 4mm'lik örneklerde en yüksek bükülme dayanım ve modülü naylon 6 için (59.82MPa; 1199.21MPa) ve en yüksek uzama rayon için (5.96mm) belirlendi. 6mm'lik fiber kullanımında ise, en yüksek bükülme modülü naylon 6 ile (1107.33MPa) ve en yüksek bükülme dayanım ve uzama rayon ile (73.97MPa ve 5.71mm) elde edildi (Çizelge 4.2.6-4.2.8).

Genel olarak bükülme dayanımları kontrol grubundan düşük bulundu, ancak naylon 6 (4mm) ve rayon fiberlerin (6mm) güçlendirime etkisi, kontrol grubuna göre artış göstererek rayonla güçlendirilen örneklerde istatistiksel olarak farklı bulundu ($p<0.05$). En az uzama, 2mm'lik rayon fiber kullanımında (4.65mm) en yüksek bükülme modülü ile birlikte (1102.24MPa) gözlemlendi ki bu oluşan sonuç yapının sağlamlığına işaret etmektedir. En fazla uzamanın belirlendiği 6.09mm ile 4mm'lik cam fiber grubu için böyle güçlendirilen kaidenin açıkça klinik görüntü vermeden daha fazla derecede daimi deformasyona uğradığı söylenebilir.

John ve ark. [54], 5mm uzunluk ve ağırlıkça %2 oranda cam, aramid ve naylon fiberlerle güçlendirilen rezin örneklerin bükülme dayanımlarını test etmişler ve kontrol grubuna göre tüm gruplarda değerlerin arttığını belirlemişlerdir. Ancak elde edilen değerler çalışmamızda kaydedilen değerlerden daha yüksektir. Farklılığın kullanılan fiberlerdeki yapı farkı ve deney koşullarından ileri geldiği söylenebilir.

Yunus ve ark. [78], naylon kaide plağını da içeren dört farklı kaide rezinin bükülme özelliklerini değerlendirmişler; çalışmamızda kullanılanla aynı ısıyla polimerize kaide rezini için bu değeri 70.5MPa, naylon kaide rezini için 55.3MPa olarak belirlemişlerdir. Aynı çalışmada naylon 1714MPa ile en düşük bükülme modülü gösteren polimer olup, araştırmacılar naylonun konvansiyonel polimerlerden daha az rijit

olduğuna ve fleksibilite gerektiren vakalarda kullanılabileceğine işaret etmişlerdir. Benzer bulgu Stafford ve ark. [85], MacGregor ve ark. [86] ve Hargreaves [33] tarafından da önceki çalışmalarda bildirilmiştir.

Çalışmamızda bükölme dayanım verilerinin genel olarak kontrol grubuna göre düşük olması birçok faktöre bağlanabilir: İlki, fiberlerin yüzey işlemsiz kullanımı olabilir. İşlem görmemiş fiberlerin yabancı cisim gibi davranarak gerçekte rezin sistemi zayıflattığı ve aynı zamanda rasgele yerleştirimin dayanıma önemli katkı sağlamadığı bildirilmiştir [52]. Fiber ilavesi, rezin matriks devamlılığını bozarak iki materyal arasında (fiber-rezin) veya aynı materyal içinde bile stres iletimini engelleyebilir. PMMA/fiber arası zayıf adezyon da bükölme dayanımında azalmaya neden olabilir ki bu daha çok akrilik hamurun yüksek viskozitesinden dolayı fiberlerin zayıf ıslanması ile açıklanabilir. Protetik diş hekimliğinde kullanılan polimerler, sıklıkla prepolimerize toz kürecik ve çapraz bağlantılı metil metakrilat monomer gibi likitten oluşan çok fazlı akrilik rezin sistemlerdir. Böyle bir polimer-monomer karışımı veya hamuru nispeten yüksek viskoziteli olduğundan güçlendirici fiberlerin rezinle yeterli impregnasyonunun sağlanmasını güçleştirir. Resin matriks/fiber impregnasyonu, fiberlerin polimer matriksle kontağa gelmesine izin verir ki bu ara yüz bağlantısı ve dolayısıyla sonuç kompozit yapının dayanımı için ön gereksinimdir [58]. Buna dayalı olarak, çalışmamızda elde edilen düşük dayanım sonuçları, fiber yüzeylerine matriksle kimyasal bağlantı sağlayabilecek kaplama ajanları uygulanmamasına bağlanabilir.

Uzunluğun dayanım verilerini önemli derecede etkilememesi, Chen ve arkadaşlarının [55] çalışma bulgularına paralellik göstermektedir. Benzer çalışmalarında bu araştırıcılar, cam, aramid ve polyester fiberler ile ağırlıkça %1-3 oranında ve 2, 4 ve 6mm kısa kesilmiş rasgele oryantasyonla rezini güçlendirmişler ve tüm deneysel örnek gruplarında kontrol grubuna göre daha düşük değerler elde etmişlerdir. Araştırıcılar, 6mm uzunluk ve %3 oranda polyester fiber ilavesinin diğer fiberlerle güçlendirmeye göre daha etkili bulmuşlardır. Çalışmamızda ise, 6mm'lik rayon fiberle güçlendirilen örnekler (73.97MPa) kontrol grubunda daha etkili bulundu (56.71MPa) ($p < 0.05$). Bunu 4mm'lik naylon 6 ile güçlendirilen (59.82MPa) örnekler izledi. Rayon fiberler SEM görüntülerinden izlendiği üzere uzunlamasına oluk yapısına sahiptir (Şekil 4.3.3b). Her ne kadar PMMA resin matrikse kimyasal bağlantı gözlenmese de, Kanie ve ark. [41] tarafından belirtildiği üzere, dayanım artışında fiber/matriks arası sürtünmesel kuvvetin daha etkin olduğu söylenebilir.

Öte yandan çalışmamızda kullanılan naylon fiberler, poliamid yapıda ve primer olarak alifatik zincir esaslıdırlar. Amid gruplar son derece polardır ve birbirlerine hidrojenle bağlıdır. Naylonun iskeleti regüler ve simetrik olduğundan çok iyi fiber şekillendirir. Nitekim naylon 6 ile elde edilen veriler bu alanda umut verici bulundu. Naylonun esas avantajı, şok ve tekrarlanan streslere direncinde yatar. Yapıda bulunan diasitlerin karbon zincir uzunluğuna bağlı olarak farklı tipte naylon üretilebilir ve farklı tipler, farklı fiziksel özelliklere sahiptir [58].

Cam fiberlerin düşük dayanım değerlerinde, silansız kullanımlarının yanısıra, hacimsel dağılımın diğer polimerik fiberlere oranla iki kat daha az olması etkili olabilir. Çünkü cam fiber yoğunluğu 2.54g/cm^3 iken, diğer polimerik fiberlerin yoğunluğu $1.14\text{-}1.52\text{g/cm}^3$ aralığındadır [58]. SEM görüntülerinde polimer matrisle kısmi adezyon gözlenmesi ve demetler halinde bulunması da düşük verileri desteklemektedir (Şekil 4.3.4b).

Fraktür öncesi maksimum uzama değerlerinin en düşük bulunduğu grup 4.65mm ile 2mm uzunlukta rayon fiberlerin kullanıldığı örneklerdi. Diğer fiberli gruplara oranla daha yüksek bükülme modülü (1102.24MPa) ile kontrol grubuna yakın özellik verdi ki böyle güçlendirilmiş materyalin daimi deformasyon olmaksızın uygulanan streslere dayanabildiği söylenebilir.

Su emilimi, polimerin yapısal devamlılığı açısından son derece önemlidir. Protez kaide rezinleri laboratuvar işlemleri ve ağız içi kullanım sırasında su emerler. Su molekülleri ufak boyutundan dolayı rezin içine difüze olur; su molekülünün çapı 0.28nm 'den daha küçüktür ki bu rezindeki zincirler arası mesafeden daha küçüktür [10,18,81]. Su difüzyonu ile lineer polimer zincirleri birbirinden ayrılmaya zorlanır. Akrilik rezinlerin suda bekletilme sonrası gösterdikleri ağırlık değişimleri polimer matrisin emdiği su miktarına ve kaybettiği iyonlarla saldıği monomer miktarına bağlıdır. Difüzyon akrilik yüzeyi ile dış ortam arasında oluşur. Su emilimi, akrilik rezinlerde boyutsal değişimlere ve protezlerde uyumsuzluğa neden olur. Bunun neticesinde materyalde oluşan iç gerilimler, çatlak oluşumu ve protezlerin kırılmasına neden olabilir [87].

Su emilimi ve çözünürlük, kaide materyallerinde mümkün olduğunca az olmalıdır. ISO'ya göre diş hekimliğinde kullanılan tüm rezin tiplerinin su emme sınır değeri 0.032mg/cm^3 ; ISO 1567:1999'a göre kaide rezinleri için $0.025\text{-}0.027\text{mg/cm}^3$ tür [23,88]. Bu çalışmada elde edilen değerler farklı uzunluk ve farklı fiber örnekler arasında değişse de, genel olarak belirtilen sınır değerler altında kaldı. Naylon 6,6 hariç

tüm fiberlerle güçlendirilen gruplarda en yüksek su emilim oranı, incelenen periyotlar arasında IV. hafta sonunda gözlemlendi; naylon 6,6 fiberle güçlendirilen örnekler en yüksek değerine II. hafta sonunda ulaştı.

Fiber grupları kendi içinde farklı uzunlukta güçlendirme yönünden değerlendirildiğinde, su emilimi istatistiksel olarak incelenen zaman periyotlarında farklılık gösterdi; ancak uzunluğa paralel olarak artma veya azalma yönünde kesin lineer ilişki kaydedilmedi: Cam fiberlerin 2mm uzunlukta kullanıldığı örnekler, maksimum su emilimi değerine IV. hafta sonunda ulaştı (0.031mg/cm^3). 4mm uzunlukta rayon ve polyester fiber kullanılan örneklerde bu değer, aynı periyotta 0.038 ve 0.025mg/cm^3 olarak ölçülürken, 6mm uzunlukta naylon 6 ve naylon 6,6 fiber içeren örneklerde maksimum su emilimi 0.036 ve 0.035mg/cm^3 olarak sırası ile IV. ve II. hafta sonunda kaydedildi (Çizelge 4.4.1.1-4.4.1.5).

2mm fiber uzunluğuna göre farklı fiber tipleri ile güçlendirilen örneklerde en yüksek su emilimi değeri 0.031mg/cm^3 ile cam fiber örneklerde gözlenirken, bunu 0.027mg/cm^3 ile naylon 6 fiberli grup izledi.

4mm'lik grupta 0.038mg/cm^3 ile rayonlu örnekleri, 0.027mg/cm^3 değeri ile naylon 6 fiberli örnekler izledi. Öte yandan 6mm fiber uzunluğundan 0.036mg/cm^3 ile en yüksek değer naylon 6 için belirlendi. Bunu 0.035mg/cm^3 ile naylon 6,6 (II. hafta) ve 0.034mg/cm^3 ile rayon içeren örnekler izledi.

Çalışmamızda aynı protez kaide rezini ve aynı fiber oranı kullanıldığından su emilimindeki farklılıklar, fiber tipi ve fiber/matriks arayüz bağlantısındaki farklılıklara bağlanabilir. Cam fiber dışında kullanılan diğer polimerik fiberlerin su emilimine ilişkin veri eksikliği doğrudan kıyaslamayı mümkün kılmamaktadır. Cam, kristalizasyon olmaksızın rijit hale soğutulmuş bir inorganik yapıdır [54]. Bu tür fiberle güçlendirilen protez kaide rezininde su emilimi matriks rezini, siloksan bağları ve cam fiberler gibi faktörlerden etkilenir. Cam fiber ve siloksan bağ doğrudan kompozit yapı yüzeyindeki suyla temasta değildir, öncelikle matriks rezin su emer. Matriks rezine geçen su, plastikleştirici gibi davranarak protez kaidesinin dayanımını düşürdüğünden, düşük su emilimli rezin seçmek önemlidir. İkinci olarak, su matriks rezin ve cam arasındaki siloksan bağı etkiler ve ağ yapı hidrolitik bozunmaya uğrar. Son olarak cam fiberin kendisi etkilenebilir; yapıda bulunan alkali iyonlar, toprak alkali iyonlar ve boron oksit (B_2O_3) suya karşı reaktiftir. Hidrolitik etkiler, E-camla güçlendirilen polimer sistemlerin fiziko-kimyasal ve mekanik özelliklerini düşürebilir [69,71,74,89].

Naylona ilişkin olarak bildirilen dezavantajlar arasında materyalin esas renginin bozulması, boyanma eğilimi, yüksek su emme ve kısa süre sonra pürüzlü yüzey gelişimi sayılabilir [78]. Stafford ve ark. [85], naylonla güçlendirilen ısıyla polimerize PMMA örneklerin I haftalık su banyosunda tutulması sonucu, su emiliminde kontrol grubuna göre artış bildirmişler ve bunu matriks/fiber adezyonunun zayıflığına bağlamışlardır. SEM görüntülerinde özellikle bu her iki tip naylon fiber için olmak üzere, tüm polimerik fiberler için adezyon zayıflığı açıkça görülmektedir. Bu tip fiberli yapılarda SEM görüntüsü (Şekil 4.3.2 ve 4.3.6), suyun emildiği çok sayıda boşluk ve impregnasyon olmayan bölgeleri göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında, kullanılan fiberlerle akrilik rezini güçlendirme incelenen parametreler yönünden umut verici bulunsa da oluşturulan kompozit yapıyı anlamada daha ileri çalışmalarla ilave mekanik özelliklerin araştırılmasına ihtiyaç olduğu söylenebilir.

6. SONUÇLAR

Ağırlıkça %3 konsantrasyonda ve 2, 4 ve 6mm uzunluklarda kısa kesilmiş naylon 6, rayon, E-cam, polyester ve naylon 6,6 fiberlerin PMMA akrilik rezine rasgele ilavesinin sonuç yapının çekme ve bükülme dayanım özellikleri ile su emilimine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmanın sınırları içerisinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Çekme test sonuçlarına göre,
 - Değişik fiberlerle güçlendirme, kontrol grubuna oranla sonuç yapının çekme dayanım verilerinde düşüşe neden olmuştur.
 - E-cam fiberle güçlendirilenler dışında, fiber uzunluğunun değişimi, sonuçları önemli oranda etkilememiştir. E-cam fiberli örneklerde uzunluk artışı ile maksimum uzama ve maksimum gerilme yüzdelerinde düşüş gözlenmiştir.
 - Tüm fiber grupları arasında, en yüksek çekme dayanımı 6mm uzunlukta polyester; en yüksek Young's modülü 4mm uzunlukta cam fiber ilavesi ile elde edilirken, rayon fiber ilavesi, tüm koşullarda bu parametreler için en düşük değeri vermiştir.
2. Transvers test sonuçlarına göre:
 - Değişik fiber ilavesi, kontrol grubuna göre kompozit yapıların bükülme özelliklerini önemli ölçüde etkilememiştir.
 - Fiber uzunluğunun değişimi, sadece cam fiberle güçlendirilen rezin örneklerin bükülme modülünü etkilemiştir; bu grupta, fiberlerin 2mm uzunluktan 4mm'ye değişimi bükülme modülünü artırmıştır.
 - Fiber grupları arasında maksimum bükülme dayanımı ve bükülme modülü yönünden en yüksek değerler, sırasıyla 6mm uzunlukta rayon ve naylon 6 fiber ilaveleri ile bulunmuştur; en düşük değerler, maksimum bükülme dayanımı için 4mm rayon; ve bükülme modülü için 2mm uzunlukta E-cam fiber ilaveleri ile gözlenmiştir.
3. Rezin/fiber ara yüz bağlantısı yönünden sadece E-cam fiber ve polimer matriks arasında adezyon gözlenmiştir.
4. Su emilim test sonuçlarına göre:
 - Fiber ilavesi ile incelenen tüm periyotlar için elde edilen su emme değerleri, kontrol grubuna göre artış göstermekle beraber, ilgili standartta belirtilen

sınır değeri genelde aşmamıştır; en yüksek değerlere IV. hafta sonunda ulaşılmıştır.

- Fiber uzunluk değişimi, su emilim değerlerini incelenen farklı periyotlarda düzenli olmayan tarzda etkilemiştir.
- Fiber grupları ve incelenen periyotlar arasında en yüksek su emilim değeri 4mm uzunlukta rayon fiberle IV. haftada kaydedilmiştir; en düşük değer ise, 2mm uzunlukta naylon 6,6 fiber ilave edilen grup için II. günde kaydedilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] McCabe, J.F. (1990). *Applied Dental Materials*, pp. 87-96, Blackwell Scientific Publications, London.
- [2] O'Brien, W.J. (1989). *Dental Materials: Properties and Selection*, pp. 79-89, Quintessence Publishing Co. Inc., Chicago.
- [3] Rawls, H.R. (2003). *Dental Polymers*. In: Phillips' *Science of Dental Materials*, Chapter 7, Elsevier Science Ltd., St. Louis.
- [4] Keskin, Y. (1993). Farklı yöntemlerle polimerizasyonu sağlanan akriliklerin bazı fiziksel özelliklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, Doktora Tezi, A.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [5] Kaplan, R. (2002). Isı ve mikrodalga enerjisi ile polimerize olan akrilik kaide rezinlerine dental fiber sistemlerinin etkilerinin in vitro olarak değerlendirilmesi, Doktora Tezi, A.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Craig, R.G. (1993). *Restorative Dental Materials*, pp.72-77, C.V. Mosby, St. Louis.
- [7] Zaimoğlu, A., Can, G., Ersoy, A.E. ve Aksu, L. (1993). Diş Hekimliğinde Maddeler Bilgisi, s. 25-40, 165-180, 201-212, A.Ü. Basımevi, Ankara.
- [8] Craig, R.G. (1991). Denture materials and acrylic base materials, *Current Opinion in Dentistry.*, 1, 235-243.
- [9] Çalikkocaoğlu, S. (1998). *Tam Protezler*, Cilt II, s. 537-548, 604-609, Doyuran Matbaası, İstanbul.
- [10] Narva, K.K., Vallittu, P.K., Helenius, H. and Urpa, A.Y. (2001). Clinical survey of acrylic resin removable denture repairs with glass-fiber reinforcement, *Int. J. Prosthodont.*, 14, 219-224.
- [11] Caycık, S. and Jagger, R.G. (1992). The effect of cross-linking chain length on mechanical properties of a dough-molded poly(methyl methacrylate) resin, *Dent. Mater.*, 8, 153-157.
- [12] Jagger, D.C. and Harrison, A. (1999). The effect of chopped poly(methyl methacrylate) fibers on some properties of acrylic resin denture base material, *Int. J. Prosthodont.*, 12, 542-546.
- [13] Phoenix, M.R.D. (1996). Denture base materials. *Dent. Clin. North. Am.*, 40, 113-120.
- [14] Mutlu, G. (1992). *Studies on prosthetic materials measurement of the reological properties of acrylic resins*, Doctoral Thesis, University of Bristol, Bristol.
- [15] Clarke, R.L. (1999). Denture base resins, *J. Dent.*, 27, 418-421.
- [16] ISO. (1999). *International Standard Dentistry-Denture base polymers*. 3 th ed. ISO 1567.
- [17] Wong, D.M.S., Cheng, L.Y.Y., Chow, T.W. and Claric, R.F.K. (1999). Effect of processing method on the dimensional accuracy and water sorption of acrylic resin dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 81, 300-304.
- [18] Miettinen, V.M., Narva, K.K. and Vallittu, P.K. (1999). Water sorption, solubility and effect of post-curing of glass fiber reinforced polymers, *Biomaterials*, 20, 1187-1194.
- [19] Vallittu, P.K. (1996). Dimensional accuracy and stability of poly methyl methacrylate reinforced with metal wire or with continuous glass fiber, *J. Prosthet. Dent.*, 75, 617-662.

- [20] Vallittu, P.K. (2000). Effect of 180-week water storage on the flexural properties of E-glass and silica fiber acrylic resin composite, *Int. J. Prosthodont.*, 13, 334-339.
- [21] Councils and Bureaus. (1975). Council on dental materials and devices. Revised American Dental Association Specification No 12 for denture base polymers, *J. Am. Dent. Assoc.*, 90, 451-8.
- [22] Barsby, M.J. (1992). A denture base resin with low water absorption, *J. Dent.*, 20, 240-244.
- [23] Beyli, M.S. and von Fraunhofer, J.A. (1981). An analysis of causes of fracture of acrylic resin dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 46, 238-241.
- [24] Darbar, U.R., Huggett, R. and Harrison, A. (1994). Denture fracture: A survey, *Br. Dent. J.*, 176, 342-345.
- [25] Jagger, D. and Harrison, A. (1998). The fractured denture-solving the problem. An update for general dental practice, *J. Primary Dental Care*, 5, 159-162.
- [26] Berge, M. (1983). Bending strength of intact and repaired denture base resins, *Acta. Odontol. Scand.*, 41, 187-191.
- [27] Vallittu, P.K. (1999). Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers, *J. Prosthet. Dent.*, 81, 318-26.
- [28] Okeson, J.P. (2003). *Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion*, p. 52, C.V. Mosby, St. Louis.
- [29] Vallittu, P.K. (1994). Acrylic resin fibre composite. Part II; The effect of polymerization shrinkage of poly methylmethacrylate applied to fibre roving on transverse strength, *J. Prosthet. Dent.*, 71: 613-617.
- [30] Vallittu, P.K. (1996). A review of fiber-reinforced denture base resins, *J. Prosthodont.*, 5, 270-276.
- [31] Ladizesky, N.H. and Chow, T.W. (1992). The effect of interface adhesion, water immersion and anatomical notches on mechanical properties of denture base resins reinforced with continuous high performance polyethylene fibres, *Aust. Dent. J.*, 37, 277-289.
- [32] Kim, S.H. and Watts, D.C. (2004). The effect of reinforcement with woven E-glass fibers on the impact strength of complete dentures fabricated with high-impact acrylic resin, *J. Prosthet. Dent.*, 91, 274-280.
- [33] Hargreaves, A.S. (1969). The prevalence of fractured dentures: A survey, *Br. Dent. J.*, 126, 451-455.
- [34] Ghazali, S., Glantz, P. and Randow, K. (1988). On the clinical deformation of maxillary complete dentures. *Acta. Odontol. Scand.*, 46, 287-295.
- [35] Vallittu, P.K. (1997). Curing of a silane coupling agent and its effect on the transverse strength of autopolymerizing polymethylmethacrylate-glass fibre composite, *J. Oral Rehabil.*, 24, 124-130.
- [36] Şahin, Y. (1998). *Kompozit Malzemelere Giriş*, G.Ü. Teknik Eğitim Fak., Ankara.
- [37] Jagger, D.C., Harrison, A. and Jandt, K.D. (1999). The reinforcement of dentures, *J. Oral Rehabil.*, 26, 185-194.
- [38] DeBoer, J., Vermilyea, S.G. and Brady, R.E. (1984). The effect of carbon fiber orientation on the fatigue resistance and bending properties of two denture resins, *J. Prosthet. Dent.*, 51, 119-121.
- [39] Ekstrand, K., Ruyter, E.I. and Wellendorf, H. (1987). Carbon/graphite fiber reinforced poly(methyl methacrylate); Properties under dry and wet conditions, *J. Biomed. Mater. Res.*, 21, 1065-1080.
- [40] Goldberg, J.A. and Burstone, C.J. (1992). The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent. Mater.*, 8, 197-202.

- [41] Kanie, T., Fujii, K., Arikawa, H. and Inoque, K. (2000). Flexural properties and impact strength of denture base polymer reinforced with woven glass fibers, *Dent. Mater.*, 16, 150-158.
- [42] Braden, M., Davy, K.W.M., Parker, S., Ladizesky, N.H. and Ward, I.M. (1988). Denture base poly(methyl methacrylate) reinforced with ultra-high modulus polyethylene fibres, *Br. Dent. J.*, 164, 109-113.
- [43] Ramos, V., Runyan, D.A. and Christensen, L.C. (1996). The effect of plasma treated polyethylene fiber on the fracture strength of poly(methyl methacrylate), *J. Prosthet. Dent.*, 76, 94-96.
- [44] Narva, K.K., Lassila, L.V. and Vallittu, P.K. (2005). The static strength and modulus of fiber reinforced denture base polymer, *Dent. Mater.*, 21, 421-428.
- [45] Gutteridge, D.L. (1992). Reinforcement of poly (methyl methacrylate) with ultra-high-modulus polyethylene fiber. *J. Dent.*, 20, 50-54.
- [46] Gutteridge, D.L. (1988). The effect of including ultra-high-modulus polyethylene fiber on the impact strength of acrylic resin, *Br. Dent. J.*, 164, 177-180.
- [47] Ladizesky, N.H., Cheng, Y.Y., Chow, T.W. and Ward, I.M. (1993). Acrylic resin reinforced with chopped high performance polyethylene fiber properties and denture construction, *Dent. Mater.*, 9, 128-135.
- [48] Doğan, O.M., Karacaer, Ö. ve Tinçer, T. (2005). Silanla kaplanan ve gamma ışını uygulanan çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen örgü fiberle güçlendirilen akrilik rezinlerin bükülme dayanıklılığı, *G.Ü. Diş Hek. Fak. Derg.*, 22, 147-151.
- [49] Vallittu, P.K. (1998). Compositional and weave pattern analyses of glass fibers in dental polymer fiber composites, *J. Prosthodont.*, 7, 170-176.
- [50] Stipho, H.D. (1998). Effect of glass reinforcement on some mechanical properties of autopolymerizing polymethyl methacrylate, *J. Prosthet. Dent.*, 79, 580-584.
- [51] Vallittu, P.K. (1998). Some aspects of the tensile strength of unidirectional glass fibre-polymethyl methacrylate composite used in dentures, *J. Oral Rehabil.*, 25, 100-105.
- [52] Solnit, G.S. (1991). The effect of methyl methacrylate reinforcement with silane-treated and untreated glass fibers, *J. Prosthet. Dent.*, 66, 310-314.
- [53] Katsikas, N.G., Huggett, R., Harrison, A. and Vowles, R.W. (1994). The effect of esthetic fibers on the flow properties of an acrylic resin denture base material, *Dent. Mater.*, 10, 2-5.
- [54] John, J., Gangadhar, S.A. and Shah, H. (2001). Flexural strength of heat-polymerized poly methyl methacrylate denture resin reinforced with glass, aramid or nylon fibers, *J. Prosthet. Dent.*, 86, 424-427.
- [55] Chen, S.Y., Liang, W.M. and Yen, P.S. (2001). Reinforcement of acrylic denture base resin by incorporation of various fibers, *J. Biomed. Mater. Res. (Appl. Biomater.)*, 58, 203-208.
- [56] Chen, S.Y. and Liang, W.M. (2004). Effects of fillers on fiber reinforced acrylic denture base resins, *Mid. Taiwan J. Med.*, 9, 203-210.
- [57] Doğan, O.M., Bolayır, G., Keskin, S., Doğan, A., Bek, B. ve Boztuğ, A. (2007). The effect of esthetic fibers on impact resistance of a conventional heat-cured denture base resin, *Dent. Mater. J.*, 26, 232-239.
- [58] Doğan, O.M., Bolayır, G., Keskin, S., Doğan, A. ve Bek, B. (2007). The evaluation of some flexural properties of denture base resin reinforced with various aesthetic fibers, *J. Mater. Sci.: Materials in Medicine*, DOI.10.1007/s10856-007-3343-3348.
- [59] Agarwal, B.D. and Broutman, L.J. (1990). Analysis and performance of fiber composites, Chapter 2, 3, Wiley-Interscience Publication, New York.

- [60] Jagger, D.C., Harrison, A. and Al-Marzoug, K. (2000). Effect of the addition of poly(methyl methacrylate) beads on some properties of acrylic resin, *Int. J. Prosthodont.*, 13, 378-382.
- [61] Rahamneh, A., Jagger, D.C. and Harrison, A. (2003). The effect of the addition of different fibers on the transverse and impact strength of acrylic resin denture base material, *Eur. J. Prosthodont. Rest. Dent.*, 11, 75-81.
- [62] ASTM. (1993). Annual Book of ASTM Standards, Vol.08.01, American Society for Testing and Materials ASTM D638-91a, Philadelphia, USA.
- [63] ASTM. (1993). Annual Book of ASTM Standards, Vol.08.01, American Society for Testing and Materials, ASTM D790-92, Philadelphia, USA.
- [64] Çökeliler, D., Erkut, S., Zerne, J., Biederman, H. and Mutlu, M. (2007). Modification of glass fiber to improve reinforcement: A plasma polymerization technique, *Dent. Mater.*, 23(3), 335-342.
- [65] Jagger, D., Harrison, A., Jagger, R. and Milward, P. (2003). The effect of the addition of poly (methyl methacrylate) fibres on some properties of high strength heat-cured acrylic resin denture base material, *J. Oral Rehabil.*, 30, 231-235.
- [66] Marei, M.K. (1999). Reinforcement of denture base resin with glass fillers, *J. Prosthodont.*, 8, 18-26.
- [67] Zappini, G., Kammann, A. and Wachter, W. (2003). Comparison of fracture tests of denture base materials, *J. Prosthet. Dent.*, 90, 578-585.
- [68] Johnston, E.P., Nicholls, J.E. and Smith, D.E. (1981). Flexural fatigue of 10 commonly used denture base resins, *J. Prosthet. Dent.*, 46, 478-481.
- [69] Kanie, T., Arikawa, H., Fujii, K. and Ban, S. (2004). Flexural properties of denture base polymers reinforced with a glass cloth-urethane polymer composite, *Dent. Mater.*, 20, 709-716.
- [70] Polyzois, G.L., Tarantili, P.A., Frangou, M.J. and Andrepoulos, A.G. (2001). Fracture force, deflection at fracture, and toughness of repaired denture resin subjected to microwave polymerization or reinforced with wire or glass fiber, *J. Prosthet. Dent.*, 86, 613-619.
- [71] Segerström, S., Meriç, G., Knarvang, T. and Ruyter, I.E. (2005). Evaluation of two matrix materials intended for fiber-reinforced polymers, *Eur. J. Oral Sci.*, 113, 422-428.
- [72] Jagger, D.C., Jagger, R.G., Allen, S.M. and Harrison, A. (2002). An investigation into the transverse and impact strength of 'high strength' denture base acrylic resins, *J. Oral Rehabil.*, 29, 263-267.
- [73] Hamza, T.A., Rosenstiel, S.F., Elhosary, M.M. and Ibraheem, R.M. (2004). The effect of fiber reinforcement on the fracture toughness and flexural strength of provisional restorative resins, *J. Prosthet. Dent.*, 91, 258-264.
- [74] Lassila, L.V.J., Nohrström, T. and Vallittu, P.K. (2002). The influence of short-term water storage on the flexural properties of unidirectional glass fiber-reinforced composites, *Biomaterials*, 23, 2221-2229.
- [75] Kaw, A.K. (1997). *Mechanics of Composite Materials*, Chapter 1, CRC Press LLC, New York.
- [76] Jagger, D., Harrison, A., Vawles, R. and Jagger, R. (2001). The effect of the addition of surface treated chopped and continuous poly(methyl methacrylate) fibres on some properties of acrylic resin, *J. Oral Rehabil.*, 28, 865-872.
- [77] Clarke, D.A., Ladizesky, N.H. and Chow, T.W. (1992). Acrylic resin reinforced with highly drawn linear polyethylene woven fibres, *Aus. Dent. J.*, 37, 394-399.
- [78] Yunus, N., Rashid, A.A., Azmi, L.L. and Abu-Hassan, M.I. (2005). Some flexural properties of a nylon denture base polymer, *J. Oral Rehabil.*, 32, 65-71.

- [79] Aziz, T., Waters, M. and Jagger, R. (2003). Analysis of the properties of silicone rubber maxillofacial prosthetic materials, *J. Dent.*, 31, 67-74.
- [80] Chow, T.W., Cheng, Y.Y. and Ladizesky, N.H. (1993). Polyethylene fibre reinforced poly(methyl methacrylate) water sorption and dimensional changes during immersion, *J. Dent.*, 21, 367-372.
- [81] Miettinen, V.M. and Vallittu, P.K. (1996). Water sorption and solubility of glass fiber-reinforced denture poly methyl methacrylate resin, *J. Prosthet. Dent.*, 76, 531-534.
- [82] Chow, T.W., Ladizesky, N.H. and Clarke, D.A. (1992). Acrylic resins reinforced with woven highly drawn linear polyethylene fibres. II. Water sorption and clinical trials, *Aust. Dent. J.*, 37, 433-438.
- [83] Ladizesky, N.H. and Ward, I.M. (1983). A study of the adhesion of drawn polyethylene fibre/polymeric resin systems, *J. Mater. Sci.*, 18, 533-544.
- [84] Taner, B., Doğan, A., Tinçer, T. ve Akinay, A.E. (1999). A Study on impact and tensile strength of acrylic resin filled with short ultra-high molecular weight polyethylene fibers, *J. Oral Sci.*, 41, 15-18.
- [85] Stafford, G.D., Huggett, R., MacGregor, A.R. and Graham, J. (1986). The use of nylon as a denture base material, *J. Dent.*, 14, 18-22.
- [86] MacGregor, A.R., Graham, J., Stafford, G.D. and Huggett, R. (1984). Recent experiences with denture polymers, *J. Dent.*, 12, 146-157.
- [87] Minami, H., Suzuki, S., Minesaki, Y., Kurashige, H. and Tanaka, T. (2004). In vitro evaluation of the influence of repairing condition of denture base resin on the bonding of autopolymerizing resins, *J. Prosthet. Dent.*, 91, 164-170.
- [88] Albayrak, H. (2007). Farklı metal oksit ilave edilmiş poli(metilmetakrilat)ın bazı fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi, Doktora Tezi, G.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [89] Meriç, G., Dahl, J.E. and Ruyter, I.E. (2005). Physicochemical evaluation of silica glass fiber reinforced polymers for prosthodontic applications, *Eur. J. Oral Sci.*, 113, 258-264.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Hakan Demir
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 18/04/1980
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, 58140-Sivas
E-posta Adresi	hdemir@cumhuriyet.edu.tr

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Sivas Fen Lisesi, 1997
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2002

İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi	Araştırma görevlisi, 2003-
-------------------------	----------------------------