

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANA BİLİM DALI



ORTODONTİK RETAINER PLAKLARININ PH'A BAĞLI
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN, RENK DEĞİŞİMİNİN VE
ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN KİYASLANMASI

ORTODONTİ UZMANLIK TEZİ

HÜSEYİN ÇAĞLAR GÖKSU

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. YASEMİN NUR KORKMAZ

BOLU, ARALIK 2025

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
Tez Onay Belgesi

Tezin Başlığı : ORTODONTİK RETAINER PLAKLARININ PH'A BAĞLI
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN, RENK DEĞİŞİMİNİN VE
ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN KIYASLANMASI

Tezin Savunma Tarihi : 15.12.2025

Tezin Danışmanı : Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Kübra Gülnur TOPSAKAL

Üye : Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT

DEKANLIK ONAYI

Bu tez Uzmanlık Tezi standartlarına uygun bulunmuştur.

Prof. Dr. Ali KELEŞ

DEKAN

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Tez Yazım Kılavuzu ve Şablonuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir
- aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında fakülte dekanlığınca belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %5'i geçmemektedir.

HÜSEYİN ÇAĞLAR GÖKSU

ÖZET

**ORTODONTİK RETAINER PLAKLARININ PH'A BAĞLI MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN, RENK DEĞİŞİMİNİN VE ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN
KIYASLANMASI
UZMANLIK TEZİ
HÜSEYİN ÇAĞLAR GÖKSU
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. YASEMİN NUR KORKMAZ)**

BOLU, ARALIK - 2025

XIV + 112 sayfa

Bu çalışmada, vakumla şekillendirilen dört farklı retainer plağının (Atmos–PETG, Erkodur–PETG, Essix ACE–kopoliester, Essix C+–polipropilen) termoformlama ve farklı pH koşullarında yaşlandırma sonrasında mekanik, optik ve çözünürlük/absorbans özelliklerinin değişimleri in-vitro olarak araştırıldı. ISO 527-2 Tip 5B standardına uygun olarak hazırlanan kontrol, pH 4,3, pH 6,7 ve pH 8,3 gruplarında 10’ar adet, her test için toplam 160 numune; deney gruplarında 14 gün boyunca 37 derece sıcaklıkta bekletildi ve ardından çekme testi, Shore A sertlik ölçümü, 350–1000 nm aralığında transmittans–absorbans analizi ile kütle değişimi değerlendirmeleri yapıldı. Verilerin karşılaştırılmasında Kruskal-Wallis testi kullanıldı ve anlamlı farklılığa neden olan marka veya numuneler post-hoc Dunn testi ile belirlendi. İstatistik anlamlılık düzeyi $P<0,05$ kabul edildi. Bulgulara göre Young modülünün kontrol grubunda Atmos için en yüksek, asidik ortamda Essix C+ ve bazik ortamda Essix C+ ile Essix ACE için en düşük olduğu görülmüştür. Atmos ve Essix C+ markalarının young modüllerinde, uygulanan yaşlandırma koşullarında pH’tan bağımsız olarak anlamlı azalma meydana gelmiştir. Shore A sertliği farklı pH solüsyonlarında yaşlandırma sonrasında hiçbir materyalde anlamlı fark göstermemiştir. Optik özellikler açısından Essix C+ grubu, neredeyse tüm koşullarda en yüksek transmittans değerlerini sergilemiştir. Kütle değişiminde ise tüm markalarda her solüsyonda kütle artışı gerçekleşmiştir. PETG esaslı materyallerde kütle artışı daha belirgin olup, Atmos’ta nötr ve Erkodur’da bazik ortamlarda daha yüksek değişimler gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, vakumla şekillendirilen retainer materyallerinin performansının polimer kimyasına ve çevresel koşullara bağlı olarak anlamlı şekilde farklılaştığını ve uzun dönem retansiyon başarısı için materyal seçiminin bilimsel verilere dayalı olarak yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Vakumla şekillendirilen retainerlar, Termoplastik materyaller, Mekanik özellikler, Transmittans, pH değişimi

ABSTRACT

COMPARISON OF THE MECHANICAL PROPERTIES, COLOR STABILITY, AND SOLUBILITY OF VARIOUS ORTHODONTIC RETAINERS AT DIFFERENT PH LEVELS
SPECIALITY THESIS IN ORTHODONTICS
HÜSEYİN ÇAĞLAR GÖKSU
BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY
FACULTY OF DENTISTRY
DEPARTMENT OF ORTHODONTICS
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. YASEMİN NUR KORKMAZ)

BOLU, DECEMBER 2025
XIV + 112 pages

This study investigated the changes in the mechanical, optical, and solubility/absorbance properties of four different vacuum-formed retainer sheets (Atmos–PETG, Erkodur–PETG, Essix ACE–copolyester, Essix C+–polypropylene) after thermoforming and aging under different pH conditions in vitro. A total of 160 specimens—10 specimens for each of the control, pH 4.3, pH 6.7, and pH 8.3 groups and for each test—were prepared in accordance with ISO 527-2 Type 5B standards, aged at 37°C for 14 days, and subsequently evaluated using tensile testing, Shore A hardness measurements, transmittance–absorbance analysis in the 350–1000 nm range, and mass-change assessments. The Kruskal–Wallis test was used for data comparisons, and the brands or specimens causing significant differences were identified with the post-hoc Dunn test. A significance level of $P<0.05$ was adopted. According to the findings, the Young’s modulus was highest for Atmos in the control group, and lowest for Essix C+ in the acidic environment and for Essix C+ and Essix ACE in the basic environment. A significant decrease in the Young’s modulus of Atmos and Essix C+ was observed under the applied aging conditions, independent of pH. Shore A hardness showed no significant differences in any material after aging in different pH solutions. In terms of optical properties, the Essix C+ group exhibited the highest transmittance values under nearly all conditions. For mass change, all brands showed an increase in mass in every solution. Mass increase was more pronounced in PETG-based materials, with higher changes observed in Atmos in the neutral environment and Erkodur in the basic environment. The findings indicate that the performance of vacuum-formed retainer materials differs significantly depending on polymer chemistry and environmental conditions, emphasizing that material selection for long-term retention success should be based on scientific evidence.

KEYWORDS: Vacuum-formed retainers, Thermoplastic materials, Mechanical properties, Transmittance, pH change

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ	ix
FOTOĞRAF LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Ortodontik Tedavi Sonrası Relaps.....	4
2.2 Retansiyonun Biyolojik Temelleri.....	5
2.3 Retainerların Sınıflandırılması	6
2.3.1 Sabit Retainerlar	7
2.3.2 Hareketli Retainerlar.....	8
2.4 Hareketli Retainerlarda Klinik Sonuçların Hasta Uyumuna Bağlı Olarak Karşılaştırılması.....	9
2.5 Vakumla Şekillendirilen Retainer Üretiminde Kullanılan Temel Polimerler	11
2.6 Vakumla Şekillendirilen Retainerların Limitasyonları.....	11
2.6.1 Retainer Kullanımında Hasta Uyumuna	12
2.6.2 Hidrolitik Bozulma	13
2.6.3 Transvers Genişletme Sonrası Retansiyon Zorlukları	13
2.6.4 Retainerların Aşınması ve Yapısal Bozulmaları	15
2.6.5 Posterior Okluzyonun Stabilizasyonu	15
2.7 Retansiyon Zamanlaması.....	16
2.8 İntraoral pH'nın Normal Değerleri.....	16
2.9 İntraoral pH Değişikliklerine Etki Eden Faktörler	17
2.9.1 Tükürüğün Koruyucu Özellikleri	17
2.9.2 İntraoral Asit Kaynakları	20
2.10 İntraoral Ph Değişikliklerinin Ortodontik Apareylere Etkisi.....	21
2.11 Materyal Özelliklerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Testler ...	22
2.11.1 Çekme Testi	22
2.11.2 Transmittans/Absorbans.....	23
2.11.3 Sertlik Testi	24

2.11.4	Çözünürlük ve Absorbans	26
3.	MATERYAL ve YÖNTEM	28
3.1	Numunelerin Hazırlanması	29
3.1.1	Numunelerin Yaşlandırılması	32
3.2	Çekme Testi	39
3.3	Sertlik Ölçümleri	41
3.4	Işık Transmittans ve Absorbans Ölçümleri	42
3.5	Kütle Değişimi (Çözünürlük ve Su Emilimi)	43
3.6	İstatistiksel Analiz	44
4.	BULGULAR	46
4.1	Young Modülü Bulguları	46
4.1.1	Markalar Arası Farklar	46
4.1.2	Numuneler Arası Farklar	46
4.2	Maksimum Çekme Mukavemet Bulguları	51
4.2.1	Markalar arası farklar	51
4.2.2	Numuneler arası farklar	51
4.3	Sertlik Shore A Testi Bulguları	55
4.3.1	Markalar arası farklar	55
4.3.2	Numuneler arası farklar	55
4.4	Absorbans Ölçümü Bulguları	59
4.4.1	Markalar Arası Farklar	59
4.4.2	Numuneler Arası Farklar	59
4.5	Transmittans Ölçüm Bulguları	63
4.5.1	Markalar arası farklar	63
4.5.2	Numuneler arası farklar	63
4.6	İlk kütle, Son kütle ve Kütle değişimi (Son Kütle – İlk Kütle Farkı) Bulguları	69
4.6.1	Markalar Arası Farklar	69
4.6.2	Numuneler Arası Farklar	69
5.	TARTIŞMA	76
5.1	Çalışmanın Amacı	76
5.2	Materyal ve Yöntem	83
5.3	Bulgular	88
6.	SONUÇ ve ÖNERİLER	99
	KAYNAKLAR	101

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Young modülü hesaplanmasına örnek.....	41
Şekil 4.1. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait young modülü tanımlayıcı değerleri.....	49
Şekil 4.2. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait young modülü tanımlayıcı değerleri.....	50
Şekil 4.3. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait maksimum çekme mukavemeti tanımlayıcı değerleri.....	53
Şekil 4.4. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait maksimum çekme mukavemeti tanımlayıcı değerleri.....	54
Şekil 4.5. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait Sertlik Shore A testi tanımlayıcı değerleri.....	57
Şekil 4.6. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait Sertlik Shore A testi tanımlayıcı değerleri.....	58
Şekil 4.7. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait absorbands testi tanımlayıcı değerleri.....	61
Şekil 4.8. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait absorbands testi tanımlayıcı değerleri.....	62
Şekil 4.9. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait transmittans testi tanımlayıcı değerleri.....	67
Şekil 4.10. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait transmittans testi tanımlayıcı değerleri.....	68
Şekil 4.11. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait ilk ve son kütle testi tanımlayıcı değerleri.....	73
Şekil 4.12. Her bir markada ayrı ayrı ilk kütle testi tanımlayıcı değerleri.....	74
Şekil 4.13. Her bir markada ayrı ayrı son kütle testi tanımlayıcı değerleri	75

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Kemik formunda kesilen numunelerin ISO 527-2 tip 5B (International Organization for Standardization, 2012; Tamburrino ve ark., 2020) standartlarında ölçüleri	39
Tablo 4.1. Young modülü bulgularının markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması	48
Tablo 4.2. Maksimum çekme mukavemetinin markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması	52
Tablo 4.3. Sertlik Shore A testinin markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması	56
Tablo 4.4. Absorbans bulgularının markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması	60
Tablo 4.5. Transmittans ölçümlerinin markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması	65
Tablo 4.6. İlk kütle, son kütle ve kütle değişiminin markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması	71

FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 2.1. Lingual retainer	8
Fotoğraf 2.2. Hawley ve Termoplastik Retansiyon Apareyi	9
Fotoğraf 3.1. Rezin model.....	29
Fotoğraf 3.2. Henry Schein Vakumla Şekillendirme Cihazı (Henry Schein Inc., ABD)	30
Fotoğraf 3.3. Model üzerinde şekillendirilmiş plaklar.....	30
Fotoğraf 3.4. Düz şerit halinde kesilmiş termoplastik plak	31
Fotoğraf 3.5. Kemik formunda kesilmiş termoplastik plak	32
Fotoğraf 3.6. Asidik solüsyonun hazırlanması	33
Fotoğraf 3.7. Nötr pH'a sahip solüsyon	34
Fotoğraf 3.8. Bazik solüsyonun hazırlanması	35
Fotoğraf 3.9. Numunelerin marka ve pH değerine göre ayrı ayrı solüsyonlara bırakılması	36
Fotoğraf 3.10. Belirtilen koşullarda inkübatöre alınan numuneler	37
Fotoğraf 3.11. Çekme testi için kesilmiş numunelerin 14 günlük bekletme sonunda kurumaya bırakılması	38
Fotoğraf 3.12. Numaralandırıldığı sırayla kurutulmaya bırakılmış numuneler.....	38
Fotoğraf 3.13. Çekme testi numunenin kopma anı	40
Fotoğraf 3.14. Sertlik testi ölçümü.....	42
Fotoğraf 3.15. Optik analiz cihazı.....	43
Fotoğraf 3.16. Numunelerin hassas terazi ile tartılması.....	44

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

%	: Yüzde
[NH-C(O)-O]	: Üretan bağlantısını gösteren kimyasal fonksiyonel grup
~	: Yaklaşık
°C	: Santigrat derece
µL	: Mikrolitre
A	: Absorbans
A ₀	: Numunenin başlangıç kesit alanı
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri,
Ark.	: Arkadaşları
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Derneği)
BAP	: Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
CO ₂	: Karbondioksit
CP	: Copolyester (Kopolimer poliyester)
E	: Elastisite modülü (Young modülü)
F	: Kuvvet
g	: Gram
HCl	: Hidroklorik asit
I	: Işık şiddeti (çoğunlukla I ₀ ve I _s şeklinde kullanılır)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
inç (inch)	: Uzunluk birimi
kN	: Kilonewton
Lab	: CIE Lab renk uzayı bileşenleri
Log	: Logaritma
m	: Metre
M	: Molarite (Çözelti derişim birimi)
mL	: Mililitre
Mm	: Milimetre
mM	: Milimolar (Derişim birimi)
mm/dk	: Milimetre / dakika (çekme testi hızı birimi)
MPa	: Megapascal (Basınç/gerilme birimi)
N	: Newton (Kuvvet birimi)
NaOH	: Sodyum hidroksit
nm	: nanometre
Ort.	: Ortalama
P	: <i>p</i> -değeri (istatistiksel anlamlılık değeri)
PDL	: Periodontal Ligament
PET	: Polyethylene Terephthalate (Polietilen tereftalat)
PETG	: Polyethylene Terephthalate Glycol-modified (Glikol modifiye polietilen tereftalat)
PET-G	: Polyethylene Terephthalate Glycol-modified (Glikol modifiye PET; PETG ile aynı)
pH	: Hidrojen iyonu konsantrasyonunun negatif logaritması
PU	: Polyurethane (Termoplastik poliüretan)
SS	: Standart sapma
T	: Transmittans

VŞR	: Vakumla Şekillendirilen Retainer
ΔL	: Uzama miktarı
ϵ (epsilon)	: Birim uzama (strain)
σ (sigma)	: Gerilme
σ_k	: Çekme dayanımı (Ultimate tensile strength)



TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden bu yana bilgi ve tecrübesiyle her zaman yolumu aydınlatan; akademik gelişimimde emeği büyük olan değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışma boyunca gösterdiği sabır, desteği ve yol göstericiliği benim için büyük bir ilham kaynağı olmuştur. Akademik bakış açımı geliştiren yönlendirmeleri ve katkıları bu çalışmanın şekillenmesinde belirleyici olmuştur.

Bilgi, nezaketi ve samimiyeti ile yanımda olan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Semiha ARSLAN'a teşekkür ederim.

Tecrübesi, yaklaşımı ve içtenliği ile daima yanımda olan sayın hocam Doç. Dr. Yasin HEZENCİ'ye teşekkür ederim. Akademik eğitimimiz sırasında karşılaştığımız zorluklara karşı destekleyici tavrını asla unutmayacağım.

Uzmanlık eğitimim sürecinde klinik deneyimime değerli katkılar sağlayan, eğitimimizin ilk gününden bugüne klinik desteğini daima hissettiğim değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT'a teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimimin son çeyreğinde tanımama rağmen bilgi birikimi, nezaketi ve desteğiyle yanımda olan Dr. Öğr. Üyesi Aybüke Asena ATASEVER İŞLER'e teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim süresince birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum, bilgi ve deneyimlerini paylaşılarak desteğini hissettiren, her biriyle güzel bir çalışma ortamı oluşturduğum Ortodonti Anabilim Dalı'ndaki tüm değerli meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Akademik hayatta daima örnek aldığım, bana eğitim hayatım boyunca her zaman destek olmuş, çalışmamın laboratuvar süreçlerinde birlikte çalışmaktan onur duyduğum, teknik bilgi ve deneyimiyle çalışmanın en kritik aşamalarında yanımda olan amcam Prof. Dr. Haydar GÖKSU'ya özel olarak teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük emek sahibi olan biricik annem Feride GÖKSU ve canım babam Sadık GÖKSU'ya, koşulsuz sevgileri, fedakârlıkları ve hayatım boyunca bana sundukları güven ve destekleri için gönülden teşekkür ederim. Her adımında yanımda olduklarını bilmek, en büyük güç kaynağım olmuştur.

Diş hekimliğı öğrencisi olan mesleki yolculuğunda ilerleyişini gururla izlediğim canım kardeşim Beste Nur Göksu'ya da manevi desteğı için ayrıca teşekkür ederim.

Asistanlık sürecimin en başından beri yanımda olan, bu uzun ve yorucu yolculuğun en büyük dayanağı, en güvenilir limanı ve en büyük motivasyon kaynağı olan, beni benden önce anlayan, söylemeden hissedem, her adımında destek olup yükümü hafifleten canım eşim Elif ÖNER GÖKSU'ya sonsuz teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

Ortodontik tedavi sonrasında elde edilen diş pozisyonlarının uzun vadede korunabilmesi için aktif tedavi kadar retansiyon aşaması da büyük önem taşımaktadır. Ortodontik tedavi sonrası dişlerin düzeltildiği pozisyonlarda kalabilmesi için retansiyon aşaması kritik öneme sahiptir (Meade ve Millett, 2015). Aktif tedavi sonrasında dişlerde nüks (relaps) görülme riski yüksektir ve literatürde 10-20 yıl takiple çekimli, çekimsiz, genişletme ve seri çekim gibi çeşitli vakalarda %70'e varan nüks oranları bildirilmektedir (Little ve Riedel, 1989; Little ve ark., 1990; Little ve ark., 1981; McReynolds ve Little, 1991; Riedel ve ark., 1992). Bu nedenle güncel yaklaşım, özellikle alt keser bölgesinde, uzun süreli hatta daima retansiyon uygulamaktır (Littlewood ve ark., 2017). Ortodonti alanındaki temel kaynaklar da nüks riskinin ancak uygun retansiyon ile kontrol altına alınabileceğini vurgulamaktadır (Graber ve ark., 2016; Proffit ve ark., 2018). Bu amaçla çeşitli sabit veya hareketli retainer türleri geliştirilmiştir. Son yıllarda, vakumla şekillendirilen retainerlar (VŞR) estetik ve kullanım kolaylığı avantajlarıyla giderek daha popüler hale gelmiştir (Hichens, 2007).

Şeffaf plakların ortodontik retansiyonda kullanımı ilk kez 1971'de Ponitz (Ponitz, 1971) tarafından tanımlanmış ve "görünmez plak" olarak adlandırılmıştır. 1990'larda Sheridan (Sheridan, 1993) tarafından popüler hale getirilen bu şeffaf plaklar, telli Hawley retainerlarına göre çok daha estetik, konforlu ve pratik bir alternatif sunmuştur.

VŞR, alçı model üzerinde ısıtılmış termoplastik bir plakanın vakum basıncı ile şekillendirilmesiyle elde edilir (Raja ve ark., 2014). Bu apareyler ince ve saydam yapıları sayesinde estetik kaygıları minimize eder ve hastalar tarafından genellikle telli plaklardan daha konforlu ve tercih edilebilir bulunur. Ayrıca maliyetinin düşük olması ve laboratuvarında kolay üretilmesi nedeniyle klinisyenler için de avantaj sağlar (Sheridan, 1993). Nitekim randomize bir klinik çalışmada, VŞR'lerin alt ön dişlerdeki tedavi sonuçlarını Hawley plaklarına göre daha iyi koruduğu gösterilmiştir. Bu nedenle günümüzde sabit pekiştiricilere ek olarak veya sabit pekiştiricilerin yerine, pek çok ortodontist VŞR'leri rutin olarak uygulamaktadır (Hichens ve ark., 2007; Vagdouti ve ark., 2019).

Bununla birlikte, şeffaf retainerların kullanımına ilişkin bazı dezavantajlar ve sorunlar da bildirilmiştir. Klinik gözlemler, bu plakların uzun süreli kullanımda

aşınma, deformasyon ve kırılma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur (Raja ve ark., 2014). Örneğin, 1 yıllık kullanım sürecinde VŞR'lerin %38'inin aşırı aşınma nedeniyle değiştirilmesi gerekmiştir (Campbell ve ark., 2009). Lindauer ve Shoff'un (Lindauer ve Shoff, 1998) bildirdiğine göre bazı Essix plaklarda yerleştirmeden sonraki 6-18 ay içinde perforasyonlar ve çatlaklar oluşabilmektedir. İnce yapılı bu apareylerin çiğneme basınçları ve parafonksiyonel hareketler altında zamanla yıpranarak deformasyona uğradığı, dolayısıyla belirli aralıklarla yenilenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca şeffaf olmaları nedeniyle hastalar tarafından yanlışlıkla atılması veya kaybedilmesi de sık karşılaşılan bir sorundur (Anbuselvan ve ark., 2012). Tüm bu nedenlerle, VŞR'lerin uzun dönem dayanıklılığı ve hangi malzemeden üretilen plakların daha uzun ömürlü olduğu önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir.

VŞR'ler çeşitli termoplastik malzemelerden üretilir. Günümüzde en yaygın kullanılan materyaller, polietilen türevi kopolimerler ile polipropilen esaslı plastiklerdir. Bu iki malzeme grubu, fiziksel özellikleri açısından farklılıklar gösterir. PETG hemen hemen tamamen saydam olması nedeniyle estetik avantaj sunar ve ayrıca yüzeylerine akrilik rezin eklenmesine olanak tanır, bu sayede derin kapanış vakalarında ısırma plağı eklenmesi gibi uygulamalarda tercih edilir. Polipropilen esaslı plaklar ise daha esnek ve dayanıklı kabul edilir ancak yarı saydam yapıda olduğu için estetik açıdan dezavantajlıdır,, ayrıca yüzeylerine akrilik eklenmesi mümkün değildir (Raja ve ark., 2014). VŞR'lerin en sık kullanılan kalınlığı ~1 mm olup, bu ince plaklar her iki malzeme türünde de hastaya rahatsızlık vermeyen minimal bir hacimle üretilir (Meade ve Millett, 2013). Ancak malzeme seçimine bağlı olarak plakların aşınma direnci, rijitliği, şeffaflığını koruma kapasitesi gibi önemli performans kriterleri değişebilmektedir.

Kopoliester, polietilen tereftalat (PET), polietilen tereftalat glikol modifiye (PET-G) ve termoplastik poliüretan (PU) gibi materyallerin iyi özelliklere sahip olduğu gösterilmiş olup bu nedenle güncel araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu materyallerin mekanik ve fiziksel özellikleri ağız ortamının pH seviyesinden etkilenebilir ve bu da retainerın etkinliğini değiştirebilecek kimyasal ve fiziksel değişikliklere yol açabilir (Alkawari ve ark., 2025). Asit reflü, tükürük pH'ını 6,7'den yaklaşık 2-1,5 seviyelerine düşürerek dişlere, yumuşak dokulara ve ağız içi apareylere zarar verebilecek asidik bir ortam oluşturur (Fujimori, 2020; Ranjitkar ve ark., 2012). Bu nedenle, klinik açıdan farklı

pH seviyelerine maruz bırakılan materyallerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi büyük önem taşır. Ortodontik teller üzerinde yapılan önceki çalışmalar, tellerin asidik ortama maruz kaldıktan sonra hem mekanik hem de fiziksel özelliklerinde bozulma meydana geldiğini göstermiştir (Baidas ve ark., 2020; Stefanski ve ark., 2019). Baidas ve arkadaşları (Baidas ve ark., 2020), simüle mide asidinde ortodontik ark tellerinin yüzey pürüzlülüğü ve sürtünme direncini incelemiş ve beta-titanyum ile paslanmaz çelik tellerin yüzey pürüzlülüğünün asidik koşullardan anlamlı derecede etkilendiğini bildirmiştir. Chia-Tze Kao ve arkadaşları (Kao ve Huang, 2010), çeşitli metal braket ve tellerin asidik ortamdaki yüzey özelliklerini ve korozyon davranışını incelemiş ve birçok materyalin yapay tükürükte pH 4 ortamında kolayca korozyona uğradığını saptamıştır. Ayrıca hastaların tüketim alışkanlıkları da ağız içi pH değişikliklerini oldukça etkilemektedir (Banan ve Hegde, 2005; Johansson ve ark., 2004; Reddy ve ark., 2016). Bu değerlendirmeler göstermektedir ki hem tedavi hem de retansiyon döneminde oral kavitedeki pH değişiklikleri materyallerin etkinliği ve dayanıklılığı üzerinde kritik öneme sahiptir.

Piyasada ticari olarak satılan ve farklı materyal özelliklerine ve içeriklerine sahip olan pek çok sayıda VŞR markası bulunmaktadır. Bunlara ait yapısal farkların plakların dayanıklılığı ve fizikomekanik özellikleri üzerinde önemli etkileri olabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada dört farklı VŞR materyali olan Essix ACE (Dentsply Raintree Essix, ABD), Essix C+ (Dentsply Raintree Essix, ABD), Erkodur (Erkodent Erich Kopp GmbH, Almanya) ve Atmos (American Orthodontics, ABD)'un, farklı pH değerlerine sahip ortamlarda (pH 4,3, 6,7 ve 8,3) 37 °C sıcaklıkta 14 gün süreyle bekletilmeleri sonrası kütle değişimi (çözünme eğilimi), ışık geçirgenliği, yüzey sertliği, çekme dayanımı gibi fiziksel özelliklerinin in-vitro olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu sayede, retainer materyallerinin ağız kavitesinde meydana gelebilecek pH değişikliklerine karşı dayanıklılığı hakkında nicel veriler elde edilerek, klinik kullanım açısından en uygun VŞR materyalinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Ortodontik Tedavi Sonrası Relaps

Ortodontik kuvvetler, dişin çevresindeki mekanik ortamda değişikliklere yol açar. Bu durum, dento-alveolar komplekste etkili olan fizyolojik kuvvetlerle birlikte, dişin istenen yöne hareket ettirilmesiyle yeni bir denge durumu elde edilmesine yönelik biyolojik tepkilere neden olur. Aktif tedavi sonunda ortodontik kuvvetlerin kesilmesi, mekanik koşulların yeniden bozulmasına ve yeni bir denge durumunun sağlanması için diş hareketiyle sonuçlanan biyolojik bir tepkiye yol açar. Bu durum, fizyolojik bir durumun yeniden kazanılması olarak değerlendirilebilir (Maltha ve ark., 2017). Ancak ortodontik tedavinin amacı, stabil ve düzgün diziliimli bir diş arkı elde etmektir, bu nedenle ortodontistler bu süreci olumsuz bir iyatrojenik etki olarak kabul eder ve buna nüks adını verirler (Maltha ve ark., 2017).

Tıp alanında nüks genel olarak “bir hastalığın ya da kötü bir durumun iyileşme döneminden sonra belirtilerinin yeniden ortaya çıkması” şeklinde tanımlanır. Ortodontide ise bu terim daha dar bir anlamda kullanılır. Ortodontik nüks, “dişlerin mekanik apareyler aracılığıyla kemik içinde hareket ettirildikten sonra eski konumlarına dönme eğilimi” olarak tanımlanır (Joondeph, 1994). Ancak bu tanım bazı araştırmacılar tarafından sorgulanmakta ve nüksün “normal gelişimsel değişiklikler ve yaşlanmaya bağlı değişikliklerden ayırt edilmesi gereken, kendine özgü bir fizyolojik iyileşme süreci” olarak ele alınması gerektiği şeklinde savunulmaktadır (Rossouw, 1999; Vaden ve ark., 1997).

Ortodontik tedavi sonrası gözlenen değişikliklerin temelinde yatan temel sebepler şunlardır:

1. Dişlerin doğal olarak stabil olmayan bir konumda bulunması, oral ve fasiyal yumuşak doku kuvvetlerinden etkilenme olasılıklarını artırır (Melrose ve Millett, 1998). Sonuç olarak, yumuşak dokuların oluşturduğu basınç, dişlerin nihai pozisyonunu belirleyen önemli bir faktör hâline gelir (Artun ve ark., 1990; Mills, 1968; Proffit, 1978).
2. Periodontal ligamentlerdeki kollajen ağlarının reorganizasyonu, relaps riski açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle şiddetli rotasyona uğramış dişlerde, suprakrestal liflerin geri çekilme etkisi relapsa

yatkınlık oluşturur (Reitan, 1959). Bu etkinin tamamen ortadan kalkması için 232 güne kadar uzayabilen bir süreye ihtiyaç duyulmaktadır.

3. İskeletsel olgunlaşma, üç düzlemde farklı zamanlarda gerçekleşir: ilk olarak transvers düzlemde, ardından anteroposterior düzlemde ve son olarak vertikal düzlemde. Bu büyüme değişiklikleri, dinamik bir yapıya sahip olan oklüzal kuvvetleri etkileyebilir. (Thilander, 2009)
4. Ek olarak, geç dönem mandibular büyümenin ve fizyolojik migrasyonun, üçüncü molar eksikliği olan hastalarda dahi alt anterior segmentte çapraşıklığa yol açtığı gösterilmiştir (Thilander, 2009).

Bu nedenle, ortodontik tedavi sonrası retansiyon büyüme süreci boyunca stabil olmayan diş pozisyonlarının korunması, nöromüsküler adaptasyonun sağlanması ve periodontal reorganizasyonun gerçekleşmesi açısından kritik öneme sahiptir (Blake ve Bibby, 1998; Horowitz ve Hixon, 1969). Ark formu genişletilmiş vakalarda, polidiestema ve ciddi diş rotasyonlarının düzeltiminde ve periodontal sağlığın zayıf olduğu durumlarda kalıcı retansiyon önerilmektedir (Kaplan, 1988). Bu nedenle günümüzde uzun süreli, hatta süresiz retansiyon uygulaması genel olarak kabul gören bir yaklaşım hâline gelmiştir (Valiathan ve Hughes, 2010).

2.2 Retansiyonun Biyolojik Temelleri

Gerçek ortodontik nüks, tedavi sonrası meydana gelen değişikliklerin yalnızca küçük bir bölümünü oluşturur. Süreçte esas rolü ise devam eden yüz büyümesi ve yaşlanma oynamaktadır. Ortodontik tedavi sonrası dental relapsın biyolojik temelleri hâlen tam olarak anlaşılamamıştır. Bu konudaki çalışmaların çoğu tanımlayıcı niteliktedir ve diş çevreleyen destek dokulardaki kollajen liflerin relapsın etiolojisinde rol oynadığını öne sürmektedir. Bu da, retansiyonun bu yapıların tamamen yeniden organize olana kadar sürdürülmesi gerektiği hipotezine yol açmıştır (Maltha ve ark., 2017).

Ancak periodontal ligament (PDL) içindeki kollajen döngüsünün son derece hızlı gerçekleştiğine, yalnızca gingival ve transseptal liflerin biraz daha yavaş yenilendiğine dair güçlü kanıtlar bulunmaktadır. Bu nedenle, kollajen liflerin neden olduğu stres ve gerilmelerin dental relapsın temel etkeni olmadığı, bunun yerine diğer hücre dışı matriks bileşenlerinin sürece önemli ölçüde katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (Maltha ve ark., 2017).

Relapsın etiyolojisini aydınlatmak amacıyla iyi tasarlanmış deneysel ve klinik çalışmalara ihtiyaç vardır. Ancak bu sayede, bilimsel kanıtlara dayalı retansiyon protokolleri geliştirilebilecektir (Maltha ve ark., 2017).

Reitan (Reitan, 1960, 1969), klasik çalışmalarında hem köpeklerden hem de insanlardan elde ettiği histolojik kesitleri sunmuştur. Bu çalışmalarda, gingival lif demetlerinin, PDL lifleri kadar kolay yeniden düzenlenmediği sonucuna varmıştır. PDL lifleri orta ve apikal bölgelerde nispeten kısa bir retansiyon süresi sonrası yeniden organize olurken, gingival liflerdeki gerilmenin, 232 günlük bir retansiyon süresinden sonra bile devam ettiği gösterilmiştir.

Bu süreçte rol oynayan lifler iki ana gruba ayrılır: gingival lifler ve PDL lifleri. Gingival lifler kendi içinde şu dört alt gruba ayrılır: sirküler, dentogingival, dentoalveolar ve transseptal lifler. Bu gruplar arasında dentogingival ve transseptal liflerin relaps sürecinde en önemli rolü oynadığı düşünülmektedir. Diğer ana grup olan PDL lifleri ise yönelimlerine göre dört alt gruba ayrılır: alveolar kret lifleri, horizontal, oblik, interradyiküler ve apikal lifler (Maltha ve ark., 2017). Oblik ve apikal lifler diş hareketine gösterdikleri direnç ve 3-12 ay süren reorganizasyon süreçleri nedeniyle nüks açısından periodontal lifler arasında en dikkat çekici olanlarıdır (Reitan, 1960).

Nüksün doğrudan nedeni genel olarak PDL ve gingival liflerden transseptal lif gösterilir, ancak bu iki lif diş hareketi sonrası nüks oluşumuna farklı şekillerde etki edebilir (Thilander, 2000). Bu farkın nedeni olarak, gingival liflerin PDL liflerinden farklı olarak alveolar kemik içine gömülü olmaması, yenilenme hızlarının daha düşük olması ve bu nedenle diş hareketinden sonra aylar boyunca gerilmiş ve yeniden organize olamamış halde kalmaları gösterilmektedir (Tenshin ve ark., 1995; Thilander, 2000). Bu durumda retansiyon, kollajen lif sistemlerinin tamamen yeniden organize olmasına olanak tanıyan morfolojik olarak stabil bir ortam sağlama aracı olarak değerlendirilebilir.

2.3 Retainerların Sınıflandırılması

Retainer protokolleri, genellikle hekimin klinik yaklaşımına bağlı olarak şekillenmekte ve kişisel tercihlere göre değişkenlik göstermektedir. Bazı ortodontistler yalnızca hareketli ya da yalnızca sabit retainer kullanımını tercih ederken, önemli bir kısmı da her iki yöntemin birlikte uygulandığı kombine sistemlere yönelmektedir. Ancak bugüne kadar yapılmış çalışmalar, hangi retainer

yaklaşımının en etkili olduğuna dair güçlü bilimsel kanıtların hâlâ yetersiz olduğunu göstermektedir (Littlewood ve ark., 2016).

Uluslararası uygulamalara bakıldığında, retainer protokollerinin ülkeden ülkeye farklılaştığı görülmektedir. Birleşik Krallık'ta, özel kliniklerde en sık tercih edilen yaklaşım, sabit ve hareketli retainerların birlikte kullanılmasıdır. Buna karşın ABD, Avustralya ve Suudi Arabistan gibi ülkelerde, üst çenede hareketli, alt çenede sabit retainer kullanımını içeren protokoller daha yaygındır. Hollanda ve Norveç gibi bazı Avrupa ülkelerinde ise, üst çenede sabit + hareketli, alt çenede yalnızca sabit retainer kullanımı tercih edilmektedir (Al-Jewair ve ark., 2016; Meade ve Dreyer, 2019; Padmos ve ark., 2018; Michael C Pratt, George Thomas Kluemper, ve ark., 2011; Singh ve ark., 2009; Vandevska-Radunovic ve ark., 2013).

2.3.1 Sabit Retainerlar

Bonded sabit retainerlar, çıkarılabilir retainerlara kıyasla daha az hasta kooperasyonu gerektirir, estetik avantaj sunar ve uzun vadede daha öngörülebilir bir stabilite sağlar (Bearn, 1995). Çok sarımlı tellerin yapısal esnekliği, fizyolojik diş hareketlerine olanak tanıyarak dişlerin bireysel olarak serbest şekilde mikro düzeyde hareket edebilmesine imkân verir. Bu durum, bonding başarısızlıklarının önlenmesine katkıda bulunur (Årtun, 1984; Bearn, 1995; Zachrisson, 2007).

Literatürde genel kabul gören bir diğer bulgu ise, sabit retainerların ağız hijyenini komplike hale getirebilmesidir (Yulianto ve ark., 2019). Retainer varlığı; diş eti çekilmesi, plak akümüasyonu ve sondalamada kanama indekslerinde artış ile ilişkilendirilmiştir (Lew, 1989). Bununla birlikte, bu durumların doğrudan diş çürüklerine yol açtığı, periodontal sağlığı olumsuz etkilediği veya uzun dönem yumuşak doku hasarına neden olduğu yönünde tutarlı bir bulgu bulunmamaktadır (Årtun, 1984; Årtun ve ark., 1997; Booth ve ark., 2008; Lew, 1989; Rody Jr ve ark., 2011).

Tüm sabit retainer uygulamalarında olduğu gibi, telin pasif olarak yerleştirilmesi büyük önem taşır. Telin oklüzyonu etkilemeyecek şekilde konumlandırılması gerekir; aksi takdirde, tel pasif değilse istenmeyen tork kuvvetleri oluşabilir ve bu durum istenmeyen diş hareketlerine neden olabilir (Katsaros ve ark., 2013) (Fotoğraf 2.1.).



Fotoğraf 2.1. Lingual retainer

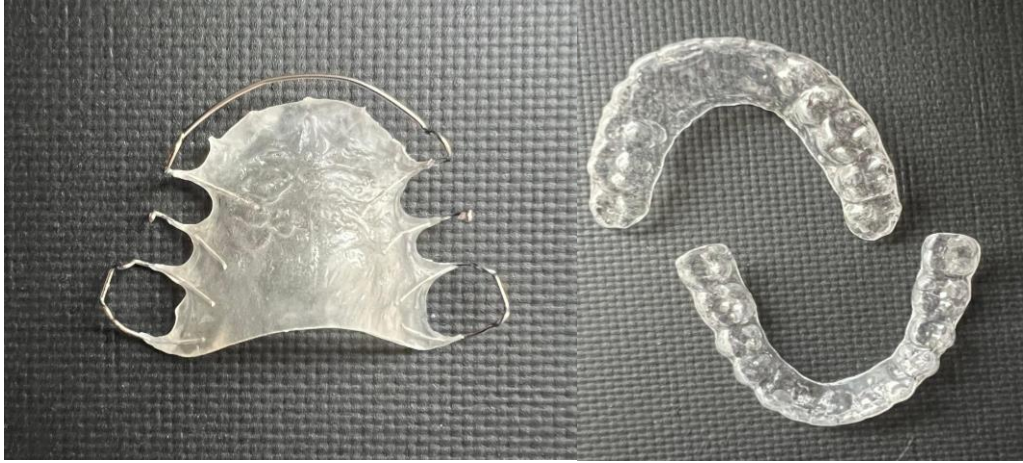
2.3.2 Hareketli Retainerlar

Hawley retainerlar ve VŞR'ler, günümüzde en yaygın kullanılan çıkarılabilir retainer türleridir (Fotoğraf 2.2.).

Hawley retainerlar ilk olarak Charles Hawley tarafından 1919 yılında tanımlanmıştır. Farklı varyasyonları olmakla birlikte, tipik olarak üst çeneyi kaplayan bir akrilik gövde, alt çenede lingual sulkusu örten taban parçası ile birleştirilmiş; ön bölgede labial yay ve premolar ile molar bölgelerde metal kancalar içeren bir tasarıma sahiptirler (Lindauer ve Shoff, 1998).

Şeffaf retainerlar, estetik bir alternatif olarak Ponitz (Ponitz, 1971) tarafından 1971 yılında tanıtılmış; Sheridan (Sheridan, 1993)'ın 1993'te yaptığı katkılarla geliştirilmiş ve yaygınlaştırılmıştır. Bu retainerlar, çalışma modeli üzerine vakum ya da pozitif basınçla şekillendirilen termoplastik şeffaf bir materyalden üretilir ve damak bölgesini kapatmadan yalnızca dişlerin oklüzal yüzeylerini örterler.

Zaman içinde VŞR'ler, estetik görünimleri ve üretim kolaylıkları nedeniyle giderek daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Günümüzde ABD, Birleşik Krallık, İrlanda ve Avustralya gibi ülkelerde ortodontistler tarafından en sık reçete edilen hareketli retainer apareyleri arasında yer almaktadır (Keim ve ark., 2014; Meade ve Millett, 2013; Singh ve ark., 2009; Wong ve Freer, 2004).



Fotoğraf 2.2. Hawley ve Termoplastik Retansiyon Apareyi

2.4 Hareketli Retainerlarda Klinik Sonuçların Hasta Uyumuna Bağlı Olarak Karşılaştırılması

Hareketli retainer sistemlerinin başarısı, büyük ölçüde hastanın kullanım disiplinine, yani uyumuna bağlıdır. Bazı çalışmalar, tam zamanlı ve yarı zamanlı kullanım arasında klinik etkinlik açısından anlamlı bir fark olmadığını belirtmiş olsa da (Gill ve ark., 2007; Jäderberg ve ark., 2012; Shawesh ve ark., 2010; Thickett ve Power, 2010) pratiğe yansıyan veriler, yalnızca hastaların %8'inin retainer kullanım talimatlarına eksiksiz uyduğunu ortaya koymuştur (Schäfer ve ark., 2015). Bu nedenle, ortodontik tedavi sırasındaki ve sonrası dönemde görülen uyumsuzluk, çoğu zaman tekrarlayan ortodontik tedavi ihtiyacının başlıca sebeplerinden biri olarak kabul edilmektedir (Wang ve ark., 2018).

Uyum oranlarını kıyaslamaya yönelik çok sayıda anket çalışması, kısa süreli takiplerde Hawley ve VŞR arasında karşılaştırmalar yapmıştır (Manzon ve ark., 2018; Michael C Pratt, G Thomas Kluemper, ve ark., 2011; Sawhney, 2013). Bu çalışmalarda, VŞR apareylerin uyum oranı %95, Hawley apareylerinin ise %85 olarak bildirilmiştir (Rowland ve ark., 2007). Ancak bu farkın, gruplar arasında uygulanan takma sürelerinin farklı olması nedeniyle anlamsız olabileceği ifade edilmiştir. Benzer şekilde Hawley ve VŞR karşılaştırıldığı, Al-Moghrabi ve arkadaşları (Al-Moghrabi ve ark., 2018) tarafından gerçekleştirilen 4 yıllık takip uygulanan bir randomize kontrollü çalışmada, VŞR kullanımına yönelik uyumun zamanla anlamlı biçimde azaldığı görülmüştür. Hasta uyumunu artırmaya yönelik teknolojik girişimler de araştırılmıştır. Zhang ve arkadaşları (Zhang ve ark., 2022) tarafından yapılan bir çalışmada, mobil uygulamalarla hastalara kullanım

hatırlatmaları gönderilmiş ve VŞR ve Hawley kullanım süresi mikroelektronik sensörlerle objektif olarak ölçülmüştür. Ancak 12 aylık takip sonunda, mobil yazılımın hastaların uyumunu artırmadığı ve VŞR ile Hawley kullanımının beklenen sürenin altında kaldığı bildirilmiştir.

Retainer türlerinin klinik etkinlikleri değerlendirildiğinde, bazı veriler VŞR'lerin rotasyona uğramış dişleri stabilize etmede Hawley'e göre 4,88 kat daha güvenilir olduğunu göstermiştir (Rohaya ve ark., 2006). Ancak, Rowland ve arkadaşları (Rowland ve ark., 2007) tarafından gerçekleştirilen randomize çalışmada, iki sistem arasında interkanin ve intermolar genişlikler açısından fark saptanmamış; ancak ön segment stabilitesi bakımından VŞR'lerin Little düzensizlik indeksi açısından daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir. Bu farkın klinik açıdan anlamlı olmadığı, ayrıca her iki gruba farklı kullanım talimatları verilmiş olmasının ve takip süresinin kısa olmasının sonuçları etkileyebileceği belirtilmiştir.

Little düzensizlik indeksi, mandibular anterior dişlerin dizilimindeki bozulmayı nicel olarak değerlendirmek amacıyla Little (Little, 1975) tarafından tanımlanmış bir ölçüm yöntemidir. Bu indeks, alt ön altı dişin kontakt noktaları arasındaki labio-lingual yöndeki sapmaların toplamı olarak hesaplanır. Her bir komşu diş çiftinin kontakt noktaları arasındaki lineer mesafe milimetre cinsinden ölçülür ve bu beş mesafenin toplamı düzensizlik indeksini verir.

Barlin ve arkadaşları (Barlin ve ark., 2011) tarafından gerçekleştirilen ve 1 yıllık takip süresine sahip retrospektif bir çalışmada, VŞR ve Hawley retainerlerinin tam zamanlı kullanımında, ark genişliği, ark uzunluğu veya modifiye Little indeksi açısından istatistiksel ya da klinik olarak anlamlı fark saptanmamıştır. Modifiye Little düzensizlik indeksi, klasik Little indeksinin üst çene için uyarlanmış halidir ve hem alt hem üst çenedeki çapraşıklığın derecesini ölçmek amacıyla kullanılan ölçümlerdir (Gambardela-Tkacz ve ark., 2023).

Ashari ve arkadaşları (Ashari ve ark., 2022) tarafından yürütülen çok merkezli randomize kontrollü çalışmada, maksiller genişletme tedavisi sonrası palatal bölgeye kadar uzatılmış 1mm kalınlığında VŞR ile geleneksel Hawley retainer 24 aylık bir takip sürecinde karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, her iki apareyin de ark stabilitesi, plak uyumu ve materyal dayanıklılığı açısından benzer klinik performans gösterdiği bildirilmiştir. Ancak kullanılan 1 mm'lik polipropilen esaslı termoplastik materyalin damak bölgesini de kapsamaması, alışılmışın dışında

bir tasarımdı. Bu nedenle çalışma süresince örneklem kayıp oranı yüksek olmuştur ve bu durumun çalışmanın güvenilirliğini etkilediği bildirilmiştir.

Genel olarak, retainer kullanımının hasta konforu, estetik tatmin düzeyi ve konuşma üzerine etkileri açısından bilimsel kanıtlar sınırlı olsa da, mevcut veriler VŞR'lerin Hawley apareylerine göre daha yüksek hasta memnuniyeti sağladığını göstermektedir (Saleh ve ark., 2017). Bu üstünlük, özellikle şeffaflık, plak konforu ve konuşmaya daha az müdahale etmesi ile ilişkilendirilmektedir.

2.5 Vakumla Şekillendirilen Retainer Üretiminde Kullanılan Temel Polimerler

VŞR'ler, farklı termoplastik polimerlerden üretilebilmektedir. En sık kullanılan malzemeler arasında polipropilen (PP), polietilen tereftalat glikol (PETG), polietilen kopoliester (PET kopoliester), ve son dönemde poliüretan (PU) yer almaktadır. Bu polimerlerin amorf ya da yarı kristalin yapıda olmaları, mekanik ve fiziksel davranışları üzerinde belirleyici olmaktadır. Aynı zamanda, bu yapısal farklar, malzemelerin intra oral şartlara verdiği tepkiyi de etkilemektedir (Albilali ve ark., 2023a; Alfadil ve ark., 2024).

Poliüretan (PU), içerisinde üretan bağları $[NH-C(O)-O]$ bulunduran amorf bir polimerdir. Bu yapı, hidroksil ($-OH$) grubu içeren poliol ile izosiyanat ($-N=C=O$) bileşiklerinin reaksiyona girmesiyle oluşur. Ancak bu polimerizasyon sistemde en az iki izosiyanat grubu mevcutsa gerçekleşebilir (de Souza ve ark., 2021).

PETG ise 1,4-sikloheksandimetanol, etilen glikol ve tereftalik asidin polikondenzasyonu ile oluşturulan amorf bir polimerdir (Tsai ve ark., 2007; Wang ve ark., 2021).

Polipropilen (PP) ise yarı kristalin yapıdadır ve propilen ($CH_2=CH-CH_3$) monomerlerinin polimerizasyonu ile elde edilir. Bu reaksiyon sürecinde metilen ve metin (C-H) grupları ardışık olarak dizilerek polimer zinciri içinde sarkık metil gruplarına yol açar (Karger-Kocsis, 2012; Smith, 2018).

2.6 Vakumla Şekillendirilen Retainerların Limitasyonları

VŞR'ler estetik, konfor ve kolay kullanım avantajlarına rağmen, uzun dönemli klinik performanslarını etkileyebilecek çeşitli sınırlılıklara sahiptir. Bu

sınırlılıklar; materyalin mekanik ve kimyasal dayanıklılığının yanı sıra, hastanın kullanım alışkanlıklarıyla da yakından ilişkilidir.

2.6.1 Retainer Kullanımında Hasta Uyumu

Uyum, en yalın haliyle hastanın davranışının, hekimin önerdiği tedavi planına ne derece paralel olduğunu tanımlar. Horne (Horne, 2006), bu durumu “hastanın davranışının, önerilen tedavi ile ne ölçüde örtüştüğü” şeklinde tanımlamaktadır. Bu nedenle, optimal düzeyde hasta uyumu, retansiyon sürecindeki bireysel deneyimlerle doğrudan ilişkili olabilir.

Literatürde, hastaların retansiyon dönemi boyunca yaşadıkları deneyimler ve yaşam kalitesine etkiler, çoğunlukla anket temelli yöntemlerle değerlendirilmiştir (Forde ve ark., 2017; Hichens ve ark., 2007; Jäderberg ve ark., 2012; Michael C. Pratt ve ark., 2011; Sawhney, 2013; Scribante ve ark., 2011; Störmann ve Ehmer, 2002).

Her ne kadar anket değerlendirmeleri, hasta deneyimini ölçmede yaygın ve sistematik bir yol sunsa da bu tür çalışmalar yanlılık riski taşır. Özellikle hastaların, yanıtlarında hekimi memnun etme isteği ya da anket sorularının belli bir aparey türünü ima eden biçimde hazırlanmış olması, sonuçların güvenilirliğini azaltabilir (Alfadil ve ark., 2024).

Retainer kullanımı ve bunun hastanın genel yaşam kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için, hasta tarafından bildirilen veriler önemlidir. Zira her retainer türünün beraberinde getirdiği konfor ya da zorlukların objektif olarak kıyaslanabilmesi bu tür verilerle mümkündür. Ancak uyumsuzluk, genellikle rahatsızlık hissi ya da günlük kullanımda yaşanan zorluklar ile ilişkilendirilmiştir (Michael C Pratt, G Thomas Kluemper, ve ark., 2011; Wong ve Freer, 2004). Ayrıca bazı hastalar, özellikle estetik kaygı ve konuşma üzerinde olumsuz etkisi nedeniyle hareketli aparey takarken rahatsızlık ya da sosyal anksiyete yaşayabilmektedir (Forde ve ark., 2017; Hichens ve ark., 2007; Jäderberg ve ark., 2012).

Bununla birlikte, Frawley ve arkadaşları (Frawley ve ark., 2022) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, 11–17 yaş arası bireylerin farklı retainer türlerine yönelik tutumları değerlendirilmiştir. Çalışmada bildirilen olumsuz geri bildirimlerin büyük kısmı geçici olup, özellikle retainer kullanımının ilk aşamalarında yaşanan zorluklara bağlı bulunmuştur.

2.6.2 Hidrolitik Bozulma

VŞR'ler farklı termoplastik polimerlerden üretildiği için, bu malzemeler çevredeki havadan veya sıvı ortamlardan su absorbe edebilir. Bu durum zamanla materyalin hidrolitik bozulma olarak bilinen kimyasal bir sürece maruz kalmasına neden olur. Hidrolitik bozulma, su moleküllerinin polimer zincirleri arasına girerek kimyasal bağları zayıflatmasıyla gerçekleşir. Bu süreç, retainer materyalinin kimyasal yapısını ve mekanik özelliklerini kalıcı olarak değiştirebilir (Alfadil ve ark., 2024).

Bu bozulmanın temel mekanizması, su moleküllerinin amorf bölgelerde polimer zincirleri arasına girerek mesafe oluşturmaları ve bazı polimerlerde kristalin bölgeleri de etkilemesidir (Porojan ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2011). Bu, materyalin mekanik dayanımını zamanla azaltan bir etki yaratabilir.

Bradley ve arkadaşları (Bradley ve ark., 2015) ortalama 44±15 gün kullanılmış poliüretan esaslı şeffaf plaklarda yaşlanma sonrası meydana gelen kimyasal ve mekanik değişiklikleri araştırmıştır. Kullanılmış şeffaf plak örnekleri, yeni üretilmiş olanlarla karşılaştırılmış ve analizler Zayıflatılmış Toplam Yansıma–Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, yaşlanma sonrası kimyasal bileşimde anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak önceki literatürde bazı termoplastik malzemelerde moleküler düzeyde değişimlerin meydana geldiği belirtilmiştir. Özellikle, ortalama molekül ağırlığında azalma, kristalitenin artışı, gerilme-gerinim eğrisinde değişiklik, akma dayanımında artış ve nihai çekme dayanımı ile uzamada azalma gibi parametrelerde değişiklikler bildirilmiştir (Ahn ve ark., 2015; Bradley ve ark., 2015; Diaz ve ark., 2018; Mondal ve Martin, 2012).

Bununla birlikte, termoplastik retainerlarda hidrolitik bozulmanın spesifik etkilerine dair literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, bu malzemelerin su emilimi ve yüzey aşınmasının kimyasal yapıya etkilerini değerlendiren ileri düzey araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Alfadil ve ark., 2024).

2.6.3 Transvers Genişletme Sonrası Retansiyon Zorlukları

Transvers genişletme, sabit ya da hareketli apaneyler ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla sıklıkla kullanılan araçlar arasında fonksiyonel apaneyler, hareketli genişletme plakları, sabit ortodontik apaneyler,

hızlı üst çene genişletme (HÜÇG) sistemleri ve quad-helix yer alırken, daha şiddetli vakalarda ve hızlı üst çene genişletmesiyle sonuç alınamayacak yetişkin hastalarda cerrahi destekli hızlı palatal genişletme teknikleri tercih edilmektedir (Alfadil ve ark., 2024).

Ancak elde edilen transvers genişliğin uzun vadede korunması, klinik olarak zorlu bir süreçtir. Bu süreçte, arkın yeniden daralma riskini en aza indirmek için yüksek rijitlik gereksinimi ile, arkta meydana gelebilecek küçük boyutsal değişimlere uyum sağlayacak esneklik ihtiyacı arasında bir denge kurulmalıdır. Çünkü rijitliği fazla olan apareyler küçük boyutsal değişimlerde yerleşemeyebilir; rijitliği düşük apareyler ise ark stabilitesini korumada yetersiz kalabilir (Alfadil ve ark., 2024).

Vargo ve arkadaşları (Vargo ve ark., 2007) tarafından yapılan randomize kontrollü bir çalışmada, çeşitli genişletme apareylerinin kısa dönem relaps oranları karşılaştırılmış; interkanin mesafesinde %16, intermolar mesafede ise %26 (yaklaşık 1.6 mm) oranında relaps bildirilmiştir. Benzer şekilde, Lagravère ve arkadaşları (Lagravère ve ark., 2010) bir yıllık takip süresi sonunda, retansiyon uygulanmayan olgularda intermolar genişlikte %27 oranında relaps saptamıştır. Mutinelli ve arkadaşları (Mutinelli ve ark., 2008) tarafından yürütülen iki yıllık takip çalışmasında ise, 10 mm'lik genişleme uygulanan olgularda retansiyon yapılmadığında, 1,6 mm intermolar relaps meydana geldiği bildirilmiştir.

Bu bulgular, özellikle retansiyon uygulanmayan olgularda transvers relapsın kısa sürede belirgin olabileceğini göstermektedir. Öte yandan, bazı çalışmalar, 6 aylık etkili bir retansiyon süreci sonrasında relaps oranlarının minimal seviyede kaldığını bildirmiştir. Örneğin, Godoy ve arkadaşları (Godoy ve ark., 2011) ile Petrén ve arkadaşları (Petrén ve ark., 2011), intermolar mesafede sırasıyla sadece %3,4 ve %1,2'lik relaps gözlemlemiştir.

Ayrıca, transvers retansiyon konusundaki çalışmalar sınırlı olmasına rağmen, Hawley retainerlar, yüksek yapısal rijitlikleri nedeniyle genellikle VŞR'lere tercih edilmektedir. Bununla birlikte, transvers genişlemenin kaybını önlemek amacıyla, VŞR'lerin modifiye edilmiş versiyonları da geliştirilmiştir (Ashari ve ark., 2022).

2.6.4 Retainerların Aşınması ve Yapısal Bozulmaları

VŞR'ler, aşınma direnci açısından belirli sınırlılıklara sahiptir. Bu apareylerin zamanla mekanik stres altında deformasyona uğradığı ve yüzey bozulmaları gösterdiği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. Örneğin, Campbell ve arkadaşları (Campbell ve ark., 2009), 12 aylık takip sürecinde, termoplastik retainer değişimlerinin %38'inin aşırı aşınmaya bağlı olduğunu raporlamıştır.

Lindauer ve Shoff (Lindauer ve Shoff, 1998), 6 ila 18 aylık ağız içi kullanım sonrası yapılan değerlendirmelerde, retainerlarda çatlaklar ve yüzey perforasyonları gözlemlemiştir. Benzer şekilde, Sun ve arkadaşları (Sun ve ark., 2011) da başarısızlıkların ana nedeninin retainer kırıkları olduğunu ve bu kırıkların çoğunlukla orta hat bölgesinde meydana geldiğini bildirmiştir.

Bu kırılmalar, büyük ölçüde termoformlama işlemi sırasında oluşan kalınlık farklarından kaynaklanıyor olabilir. Doğramacı ve arkadaşları (Doğramacı ve ark., 2018) termoformlama sonrası elde edilen retainerların kesici dişlerin labial yüzeyinde ortalama kalınlığın sadece $0,32 \pm 0,08$ mm olduğunu saptamıştır. Bu, özellikle 1 mm'lik başlangıç kalınlığına sahip materyallerin işlem sonrası ne kadar incelendiğini göstermektedir.

Bir başka çalışma ise retainer kalınlığı arttıkça kırılma oranlarının azaldığını ortaya koymuştur. 0,7 mm kalınlığındaki retainerlarda %43,2 oranında başarısızlık, 1 mm'lik retainerlarda ise %25 oranında başarısızlık gözlenmiştir. Bu da daha kalın materyallerin uzun dönem kullanıma daha dayanıklı olduğunu desteklemektedir (Zhu ve ark., 2017).

VŞR'lerin farklı polimer zinciri yapılarına sahip olması, bu materyallerin şeffaflık, esneklik ve dayanıklılık gibi karakteristik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, farklı ticari markalara ait VŞR'lerin standardize koşullarda karşılaştırılması, hem klinik dayanıklılık hem de malzeme seçimi açısından önem taşımaktadır (Alfadil ve ark., 2024).

2.6.5 Posterior Okluzyonun Stabilizasyonu

Özellikle hem maksilla hem mandibulada VŞR ile retansiyon sağlanırsa dişlerin okluzal yüzeyi üzerindeki materyal kalınlığı, okluzyondaki posterior dişler arasında boşluğa neden olabileceği için problem yaratabilir. Hawley retansiyon apareyi kullanıldığında altıncı aydaki posterior okluzyonun, sadece maksiller arkta

kullanılan VŞR'lerden daha iyi bir okluzal sonuç verdiği gösterilmiştir ancak uzun dönem kontrol seanslarında bir fark yoktur (Mai ve ark., 2014).

Maksiller arkta kullanılan VŞR ile beraber kullanılan mandibular lingual retainerlar, maksiller ve mandibular VŞR'nin birlikte kullanılmasından daha iyi sonuçlar vermektedir (Proffit ve ark., 2018).

2.7 Retansiyon Zamanlaması

İntraark düzensizliklerin düzeltilmesi amacıyla sabit ortodontik tedavi görmüş tüm hastalarda retansiyon gerekir. Retansiyon protokolü Proffit'e (Proffit ve ark., 2018) göre şöyle olmalıdır:

Hareketli retansiyon apareyleri ilk 3 ila 4 ay boyunca tam zamanlı kullanılmalı, yalnızca yemek yerken çıkartılmalıdır. Sabit retansiyon apareyleri (daimi splintleme gerektiren periodontal kemik kaybı veya diğer özel durumlar hariç) çiğneme sırasında dişlerin fizyolojik hareketine izin verecek kadar esnek olmalıdır.

Diş eti dokularının yeniden şekillenmesine zaman tanımak için en az 12 ay boyunca yarı zamanlı kullanılmalıdır.

Büyük oranda büyüme potansiyeli mevcut ise büyüme tamamlanıncaya kadar yarı zamanlı olarak kullanılmaya devam edilmelidir.

Kısaca pratik olarak bu, erken daimi dentisyon döneminde tedavi gören hemen hemen tüm hastalarda en azından geç adölesan döneme kadar seviyelenmiş kesici dişlerin korunması gerektiği ve başlangıçta iskeletsel problem varsa yarı zamanlı fonksiyonel aparey veya ağız dışı kuvvet uygulaması anlamına gelir. Fonksiyonel tedavi görmüş iskeletsel problemlili hastalarda genellikle gündüz retansiyon apareyi bırakıldıktan sonra en az 24 ay daha geceleri retansiyona devam edilmesi gereklidir. Başlangıçta iskeletsel problem ne kadar şiddetli ve hasta aktif tedavi sonunda ne kadar genç ise headgear veya fonksiyonel bir apareyin gerekliliği o kadar fazladır.

2.8 İntraoral pH'nın Normal Değerleri

İntraoral pH'nın başlıca belirleyicisi tükürük pH'sıdır ve bu değer gün boyunca değişkenlik gösterir (Dawes, 1969). Uyarılmamış tükürüğün ortalama pH'sı yaklaşık 6,8 olup, uyarılma ile 7,8'e kadar yükselir (Edgar, 1990). Yüksek

tükürük pH'sı, asitleri etkili şekilde tamponlayarak mine remineralizasyonunu kolaylaştırır ve asidürik bakterilerin proliferasyonunu baskılar (Walsh, 2007).

2.9 İntraoral pH Değişikliklerine Etki Eden Faktörler

2.9.1 Tükürüğün Koruyucu Özellikleri

Tükürük, üç ana büyük tükürük bezinden (sublingual, submandibular ve parotis) ve damak ile oral mukozadaki küçük bezlerden salgılanır (Sreebny, 2000). Tükürüğün ilk koruyucu mekanizması, diş yüzeyinde pelikül adı verilen yarı kalıcı bir film tabakası oluşturmaktır. Bu tabaka, diş yüzeyinin asitle doğrudan temasını engelleyen fiziksel bir bariyer görevi görür (Hara ve Zero, 2014).

İkinci olarak, tükürük ağıza giren asitleri yutkunma yoluyla (mekanik temizlenme) ve tükürük akış hızını artırarak kademeli biçimde uzaklaştırır (Hara ve Zero, 2014). Ayrıca koruyucu proteinler ve tampon sistemleri içeriği sayesinde asit saldırılarını nötralize eder (Dodds ve ark., 2005) ve intraoral pH'ı fizyolojik olarak sağlıklı 6,8–7,8 aralığında tutar (Edgar, 1990).

Tükürüğün Mineral İçeriği

Tükürükte bulunan florür, kalsiyum ve fosfat iyonları diş yüzeylerinin remineralizasyonundan sorumludur (Buzalaf ve ark., 2012). Kalsiyum ve fosfat, mine ve dentin minerallerinin çözünme hızını yavaşlatır (Meurman ve ark., 1994). Florür, hidroksiapatit kristal yapısına entegre olarak çözünürlüğü azaltır ve çürük oluşturuca ataklar altında demineralizasyonu önler (Larsen, 2001).

Dentin ve mine, kalsiyum yönünden eksik karbonatlı hidroksiapatit kristallerinden oluşur (Shellis ve ark., 2014). Bu kristal yapı, kalsiyum, fosfat ve hidroksit iyonlarının yanı sıra az miktarda sodyum, potasyum, magnezyum ve klor gibi iyonları da çökelmiş olarak içerir. Tükürük gibi iyon içeren çözeltilerle temas ettiğinde, kristal faz ile çevresindeki çözeltide karşılıklı iyon değişimi gerçekleşir (Shellis ve ark., 2014). Bu süreçte karbonat iyonları fosfat iyonlarının yerini alabilir, hidroksit iyonları ise florürle yer değiştirebilir. Ancak, karbonat içeriğinin artması, kristal örgüdeki bağları zayıflatır ve yapıyı asit çözünmesine (erozyona) daha duyarlı hale getirir (Shellis ve ark., 2014).

Kritik pH, çözeltinin diş sert dokularının mineral fazı ile iyon dengesi bakımından doaygunluk eşiğinde bulunduğu, yani çözünme ve çökelme hızlarının birbirine eşit olduğu pH'dır (Lussi ve ark., 2011). Bu değeri, katı fazın

çözünürlüğüne ve çözeltideki belirli iyonların (örneğin kalsiyum, fosfat) aktivitesine bağlıdır. Diş çürüğünde ve erozyonda kritik pH genellikle 5,5–5,7 aralığındadır; bu değerin altındaki pH'larda mine çözünmesi başlar (Lussi ve ark., 2011).

Tükürük Akış Hızı

Tükürük akış hızı, tükürüğün koruyucu özelliklerinin en iyi klinik göstergesi olarak kabul edilir (Hara ve Zero, 2014). Tükürük akışı arttıkça mineral içeriği ve bikarbonat tampon sistemi de artar (Dawes, 1969); bu sistem asitleri nötralize etmekten sorumludur (Dodds ve ark., 2005). Tükürük akışındaki artış aynı zamanda yutkunma oranını da artırarak, asidin ağızda daha etkili şekilde seyreltilmesini ve uzaklaştırılmasını sağlar (Loke ve ark., 2016). Bunun tersi bir örnek, ağızdan nefes alma alışkanlığıdır; bu durumda oral kavitenin dehidratasyonu gerçekleşir ve temizlenme hızı ile bikarbonat tampon sistemi azalır (Loke ve ark., 2016).

Temizlenme hızı ağız içindeki bölgelere göre değişir. Asidik uyaran sonrası pH'ın eski hâline dönme süresi, üst santral dişlerin palatinal yüzeyinde, üst molarların palatinal yüzeyine göre daha kısadır (Millward ve ark., 1997). Bu durum, dilin asidik maddeleri yutmadan önce üst molar bölgelere doğru hareket ettirmesiyle açıklanabilir; dolayısıyla bu bölgelerde asidik uyaranın temizlenmesi daha yavaş olmaktadır (Loke ve ark., 2016).

Tükürük temizlenmesinin en hızlı olduğu bölge mandibular kesici dişlerin lingual yüzeyleri (submandibular ve sublingual bezler), en yavaş olduğu bölge ise dişlerin bukkal yüzeyleridir (parotis bezi) (Dawes, 2008).

Belirli aktiviteler ve tıbbi durumlar tükürük akış hızını azaltabilir; bu da tükürüğün tampon kapasitesinin düşmesiyle intraoral pH'ın azalmasına neden olur. Egzersiz veya spor gibi fiziksel aktiviteler terlemeye yol açar ve vücut sıvı kaybına yanıt olarak tükürük akışını azaltır (Lussi, 2009). Baş-boyun bölgesine radyoterapi uygulanmış bireylerde, Sjögren sendromu olanlarda veya antimuskarinik ajan içeren ilaçlar kullananlarda tükürük üretimi ve akışında azalma bildirilmiştir (Dodds ve ark., 2005; Scully Cbe, 2003; Wynn ve Meiller, 2000).

İlginç bir şekilde, psikosomatik bozuklukları (bulimia ve/veya anoreksiya) olan bireylerde kusma öncesinde artmış tükürük üretimi (hipersalivasyon) bildirilmiştir. Bunun, düşük pH'lı mide içeriğinin ağıza gelmesine karşı erozyonu en aza indirmeyi amaçlayan bir kendini koruma mekanizması olduğu düşünülmüştür (Feldman ve ark., 1998; Lussi ve Jaeggi, 2008). Ancak bu durum

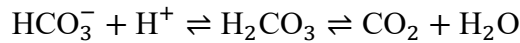
gastroözofageal reflü hastalığı olan bireylerde görülmez; çünkü regürjitasyon istemsizdir ve tükürüğün asit atağına yanıt vermesi için yeterli zaman yoktur (Saksena ve ark., 1999).

Tamponlama Kapasitesi

Tükürük, pH değişimlerine direnç göstermek için işlev gören çeşitli tampon sistemleri içerir (Humphrey ve Williamson, 2001). Bu tampon sistemlerinin başlıcaları dihidrojen fosfat/hidrojen fosfat ve karbonik asit/bikarbonat sistemleridir (Bardow, Madsen, ve ark., 2000; Dodds ve ark., 2005; Larsen ve Nyvad, 1999).

Tükürükteki başlıca tampon bileşeni bikarbonat (HCO_3^-) iyonudur ve asitlerin nötralizasyonundan sorumludur. Uyarılmış tükürükteki bikarbonat konsantrasyonu ortalama 28 mM civarındadır ve bireyler arasında büyük farklılıklar gösterebilir. Ayrıca, uyarılmış tükürükteki bu konsantrasyonun, uyarılmamış tükürüğe (~2–5 mM) kıyasla yaklaşık 12 kat daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Dawes ve Kubieniec, 2004; Miles ve ark., 2004).

Uyarılmış tükürüğün temel görevi, yüksek tampon kapasitesi sayesinde dental sert dokuları dışsal asidik uyaranlara karşı korumaktır (Dodds ve ark., 2005). Bu sistemdeki denge reaksiyonu şu şekildedir:



Tükürükte bulunan bikarbonat (HCO_3^-), asitlerden gelen hidrojen iyonlarıyla (H^+) reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda protonlar bağlanarak karbonik asit (H_2CO_3) oluşur. Karbonik asit, tükürükte bulunan karbonik anhidraz enzimi aracılığıyla karbondioksit (CO_2) ve su (H_2O)'ya dönüştürülür (Murakami ve Sly, 1987). Ardından CO_2 gazı, tükürük ve dış ortam arasındaki parsiyel basınç farkı nedeniyle çevreye difüze olur (Bardow, Moe, ve ark., 2000).

Dihidrojen fosfat tampon sistemi, zıt yönde çalışan ikincil bir mekanizmadır. Bu sistemin konsantrasyonu uyarılmamış tükürükte yaklaşık 5 mM, uyarılmış tükürükte ise 3 mM civarındadır (Ferguson, 1975); ancak toplam tampon kapasitesine katkısı görece küçüktür.

Buna ek olarak tükürük, protein yapılı tamponlar da içerir. Bir proteinin tamponlama yeteneği, yapısındaki amino asitlerin kimyasal gruplarına bağlıdır. Çözeltideki pH değerine göre proteinlerin amin (NH_3^+) ve karboksil (COOH) grupları hidrojen iyonu alabilir veya bırakabilir; bu da pH değişimlerine karşı denge sağlar (Sherwood, 2005).

2.9.2 İntraoral Asit Kaynakları

İntraoral pH, asitlerin ağız boşluğuna girmesiyle düşer. Bu asitler ekstrinsik ve intrinsik kaynaklı olabilir (Loke ve ark., 2016).

Bir asidin pH değeri dental erozyon potansiyelini göstermekle birlikte, asidin tampon kapasitesi ya da titre edilebilir asitliği daha belirleyici bir parametredir (Stefanski, 2014). Yüksek tampon kapasitesine sahip içecekler, ağız ortamında düşük pH'ı daha uzun süre koruyarak mine iyonlarının çözünmesini artırır (Zero ve Lussi, 2005).

Meyve suları, özellikle turuncgil kökenli olanlar, yüksek tampon kapasitesiyle düşük pH'ın uzun süre sürmesine neden olur. Sitrik asit, hidrojen iyonu sağlamanın yanı sıra kalsiyuma bağlanarak kristal yapının erozyona yatkın hale gelmesine neden olan bir şelatördür (Wang ve ark., 2014).

Asidik yiyecek ve içeceklerin sık tüketimi intraoral pH'ı düşürür ve dental erozyona neden (Reddy ve ark., 2016). Ayrıca, tüketim şekli de etkilidir: “Uzun yudumlama” ve “ağızda çalkalama” gibi davranışlar intraoral pH'nın uzun süre düşük kalmasına yol açarak erozyon riskini artırır (Johansson ve ark., 2004).

Tükürük pH'ının bireye özgü günlük, aylık ve yıllık döngüleri vardır. Tükürük pH'ının en düşük olduğu zamanın sabah 9:00 olduğu ve bunun bireyler arasında belirgin ölçüde değişiklik gösterdiği bildirilmiştir. Bunun vücut metabolizmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir; çünkü tükürük pH'ı gün içinde artış gösterir ve özellikle metabolik aktivitelerin arttığı sabah 9:00–11:00 saatleri arasında daha yüksektir (Hofman, 2001). Eurobarometer ağız sağlığı raporunun ortaya koyduğu üzere, Birleşik Krallık'taki atıştırma sıklığı Avrupa ortalamasının üzerindedir. 2010'daki araştırmada, Birleşik Krallık'taki katılımcılar günde ortalama 6,7 yeme veya içme olayı bildirmiştir; bu değer Avrupa ortalaması olan 5,4'ün üzerindedir (Commission, 2010). Yapılan bir çalışmada (Banan ve Hegde, 2005), düşük pH'lı meyve sularının tüketilmesinden sonra plak ve tükürük pH'sında anlamlı bir düşüş kaydedilmiştir. Çoğu katılımcıda maksimum düşüş, tüketimi takip eden 5 dakika içinde kritik pH seviyesinin ($5,5 \pm 0,3$) altına inmiştir. Bunu, yaklaşık 30 dakika içinde normale yakın değerlere doğru kademeli bir toparlanma izlemiştir. Karyojenik ve asidik beslenmenin oral kavitedeki pH değişikliği ve bu değişikliğin normale dönme süresi göz önünde bulundurulduğunda; günde ortalama 5,5-6,5 öğün yenildiği düşünülürse gerek

dental ve yumuşak dokuların gerekse de ağız içi ortodontik apareylerin bundan etkileneceği düşünülmelidir.

İçsel asit kaynaklarının en önemlisi mide asididir (Kopic ve Geibel, 2013). Kusma ve gastroözofageal reflü sırasında asidik mide içeriği ağız boşluğuna ulaşarak özellikle maksiller dişlerin palatinal yüzeylerinde erozyona neden olur (Moazzez ve ark., 2004).

2.10 İntraoral Ph Değişikliklerinin Ortodontik Apareylere Etkisi

Ortodontik teller üzerine yapılan önceki çalışmalar, asidik ortama maruz kalındığında hem mekanik hem de fiziksel özelliklerde bozulmalar meydana geldiğini göstermiştir (Baidas ve ark., 2020; Kao ve Huang, 2010; Rajendran ve ark., 2019; Stefanski ve ark., 2019).

Baidas ve arkadaşları (Baidas ve ark., 2020), ortodontik ark tellerinin yüzey pürüzlülüğü ve sürtünme direncini simüle edilmiş mide asidi içerisinde değerlendirmiş ve hem beta-titanyum hem de paslanmaz çelik tellerin yüzey pürüzlülüğünün asidik koşullarda anlamlı şekilde etkilendiğini bildirmiştir.

Chia-Tze Kao ve arkadaşları (Kao ve Huang, 2010), çeşitli elektrolit çözeltilerinde metal braket ve tellerin yüzey özellikleri ile korozyon davranışlarını incelemiş ve pH 4 ortamındaki yapay tükürükte çoğu tel ve braket materyalinin kolaylıkla korozyona uğradığını rapor etmiştir.

Ortodontik tedavide kullanılan sentetik elastik zincirler, diizosiyanat ile bir poliylol arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda üretilen doğrusal bir polimer olan poliüretandan yapılmıştır (Wong, 1976). Güncel odak noktası, ortalama 4 haftalık klinik kullanım süresinde en düşük kuvvet kaybına uğrayan elastiklerin belirlenmesidir; çünkü düşük elastisite, anlamlı bir diş hareketi sağlamayabilir (Buchmann ve ark., 2012). Santos ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada (Santos ve ark., 2013) elastik zincirlerin yapay tükürüğe daldırılması koşullarında pH seviyelerinin kuvvet kaybı ve sitotoksiste üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. pH'ın kuvvet kaybı ve sitotoksiste üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Elastik zincirlerin kullanım süresi ise özellikle poliüretan elastik zincirlerde bulgulardaki değişkenliğe daha fazla katkıda bulunmuştur.

Blagec ve arkadaşları (Blagec ve ark., 2024) yine intraoral elastik zincirlerle yaptıkları çalışmada yaygın kullanılan içeceklerle temas sonrası elastomerik ortodontik zincirlerin kuvvet kaybı ve renk değişimini değerlendirmeyi

amaçlamışlardır. Toplam 120 zincir parçası, iki farklı üreticiden (GC Orthodontics Europe GmbH, Breckerfeld, Almanya ve Forestadent® – Bernhard Foerster GmbH, Pforzheim, Almanya) hazırlanmıştır. Halkalar arasındaki mesafeye göre, her üreticiden iki tip zincir seçilmiştir: kısa ve orta tip. Zincirler, farklı pH değerlerine sahip 10 yaygın içeceğe daldırılmıştır. Yedi gün sonra, kuvvet kaybı üniversal test cihazı (Model 4411; Instron, Canton, ABD) ile değerlendirilmiştir. Poliüretan elastik zincirlerde pH değeri ile kuvvet kaybı arasında bir ilişki bulunmamıştır.

Alkawari ve arkadaşlarının (Alkawari ve ark., 2025) çalışması, pH 4 ve pH 1,2’de simüle edilmiş mide asidinin üç farklı ortodontik retainer materyalinin yüzey mikrosertliği, fleksural dayanımı ve renk değişimi üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, tüm deney gruplarında pH 1,2 ve pH 4 solüsyonlarına daldırma sonrası fleksural dayanımda anlamlı bir azalma olduğunu göstermiştir. En fazla etkilenen materyal PET-G olmuş, bunu kopoliester ve polipropilen izlemiştir. Yüzey mikrosertliğinde anlamlı bir düşüş yalnızca kopoliester grubunda, pH 4 çözeltisine daldırma sonrası gözlenmiştir. Tüm materyallerde renk değişimi belirgin düzeyde olmuştur.

Bu tür değerlendirmeler, ortodontik materyallerin tedavi ve retansiyon fazları boyunca etkinlik ve dayanıklılığının belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gün içerisinde yeme içme sıklığı, beslenme alışkanlıkları ve birtakım metabolik faktörlerin oral kavitede pH değişiklikleri yaptığı ve bunun materyallerin yapısını, fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyebileceği unutulmamalıdır.

2.11 Materyal Özelliklerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Testler

2.11.1 Çekme Testi

Ortodontide kullanılan şeffaf hizalayıcı materyallerin mekanik davranışları, doğrudan bu materyallerin polimer yapısı ve kimyasal bileşenleriyle ilişkilidir. Malzemelerin dayanıklılık düzeylerini değerlendirmek amacıyla en çok tercih edilen yöntemler arasında çekme, eğilme ve basma testleri yer alır. Ancak bu testlerin standart ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için, numunelerin standardize edilmiş şekil ve boyutlara sahip olması gerekir (Lach ve ark., 2016; Tamburrino ve ark., 2020).

Bu testler içerisinde çekme testi, şeffaf termoplastiklerin temel mekanik karakteristiklerini belirlemek açısından oldukça yaygındır. Test sonucunda elde edilen veriler öncelikle uygulanan kuvvet (F) ve uzama miktarı (ΔL) üzerinden değerlendirilir. Ancak modern malzeme bilimi yaklaşımı, bu değerleri gerilme (σ) ve birim uzama (ϵ) biçiminde normalize ederek gerilme-uzama eğrisi (stress-strain curve) oluşturmayı tercih etmektedir. Gerilme hesaplaması, uygulanan kuvvetin numunenin başlangıç kesit alanına (A_0) bölünmesiyle elde edilir ($\sigma = F/A_0$) ve bu sayede daha karşılaştırılabilir ve klinik açıdan anlamlı sonuçlar sunulur (Davis, 2004).

Çekme testi sonucunda elde edilen temel mekanik parametreler; elastisite modülü, çekme dayanımı ve kopma uzaması gibi önemli özellikleri kapsamaktadır. Elastisite modülü (Young's modulus, E), malzemenin elastik deformasyona karşı gösterdiği direnç düzeyini tanımlarken; çekme dayanımı (σ_k), materyalin kopma öncesinde taşıyabileceği maksimum yük miktarını ifade eder. Kopma uzaması ise, numunenin kopma noktasına ulaşana kadar ne ölçüde uzayabildiğini gösteren bir deformasyon göstergesidir (Jun ve ark., 2017). Bu değerlerin her biri, kullanılan termoplastik materyalin kimyasal bileşimi, moleküler yapısı, üretim aşamasındaki termoformlama koşulları ve bu süreçte meydana gelen kalınlık değişimleri gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Dolayısıyla çekme testi yalnızca mekanik dayanım verileri sunmakla kalmaz; aynı zamanda materyalin klinik performansının öngörülmesinde de önemli bir rol oynar (Jun ve ark., 2017; Pavlina ve Van Tyne, 2008).

2.11.2 Transmittans/Absorbans

Polimerlerin optik özellikleri, bu malzemelerin sahip olduğu termal, mekanik, reolojik ve dielektrik özellikler gibi diğer fiziksel ve kimyasal karakteristiklerine ek olarak oldukça dikkat çekicidir. Polimerlerin optik davranışları kapsamında en çok araştırılan parametreler arasında; ışık geçirgenliği (transmittans), yansıtma (reflektans), ışık soğurma (absorbans), kırılma indisi, optik bant enerjisi ve dispersiyon katsayıları yer almaktadır. Bu optik özellikler, büyük ölçüde kullanılan polimerin ya da kopolimerin kimyasal yapısına, içerdiği renklendirici ajanlar, dolgu maddeleri, plastikleştiriciler, stabilizatörler ve diğer katkı maddelerinin formülasyonuna, ayrıca polimerin amorf ya da kristalin yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterir (Kurt ve ark., 2019; Kurt ve Koca, 2015).

Bununla birlikte, polimerlerin mekanik, termal veya kimyasal bozunmaya maruz kalması, üretim veya işlenme sürecinde karşılaştığı mekanik zorlanmalar, ısı işlemleri, çevresel koşullar, çözücülerle etkileşimleri ya da diğer kimyasal faktörler de bu optik özelliklerin zaman içinde anlamlı biçimde değişmesine yol açabilir (Kurt ve ark., 2019; Kurt ve Koca, 2015).

Transmittans bir numune içinden geçen ışık yoğunluğunun gelen ışığa oranıdır ve %T olarak ifade edilir ($T = I / I_0$). Absorbans ise transmittansın logaritmik türevidir ($A = -\log_{10}T$), dolayısıyla düşük geçirgenlikli materyallerin yüksek absorbans değerleri olur (Skoog ve ark., 2007).

Transmittans ve absorbans arasındaki ilişki, optik analizlerde en temel değerlendirme kriterlerinden biridir. Beer–Lambert Yasası’na (Swinehart, 1962) göre, bir maddenin absorbans değeri, hem madde konsantrasyonuna hem de ışığın geçtiği yol uzunluğuna bağlıdır. Bu yasa çerçevesinde, Ultraviyole-Görünür bölge spektrofotometresi ile ölçülen % transmittans değerlerinden logaritmik dönüşüm yapılarak absorbans değerleri elde edilir. Özellikle polimer esaslı VŞR materyallerinin optik özelliklerini değerlendirirken bu yasa, ışık geçirgenliği kayıplarını kantitatif olarak analiz etmeye olanak sağlar (McNaught ve McNaught, 1997).

2.11.3 Sertlik Testi

Sertlik, genel anlamda bir maddenin başka bir cisim tarafından deformasyona uğratılmasına karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Tarihsel açıdan değerlendirildiğinde, bu özellik ilk olarak mineralojik bağlamda ele alınmış ve 1822 yılında Friedrich Mohs (Mohs, 1825) tarafından geliştirilen çizilme esasına dayalı Mohs sertlik skalası ile ölçülmüştür. Ancak daha sonraki yıllarda, özellikle Martens’in 1898 yılında ortaya koyduğu “sertlik, bir cismin başka (daha sert) bir cisim tarafından delinmeye karşı gösterdiği dirençtir” tanımı, günümüzde yaygın olarak kullanılan penetrasyon esaslı sertlik testlerinin temelini oluşturmuştur (Lach ve ark., 2021).

Sertlik, katı bir cismin yüzeyine uygulanan lokal kuvvetlere karşı deformasyona direnç gösterme kapasitesini ifade eder. Bu direnç, farklı malzeme grupları için farklı test yöntemleriyle nicel hale getirilir. Örneğin, metallerde yüzeye belirli bir yükte sert bir baskı ucu uygulanır ve oluşan kalıcı izin boyutuna

göre sertlik değeri hesaplanır. Bu prensip, plastik deformasyona uğrayabilen diğer malzemeler için de geçerlidir (Tabor, 1970).

Polimerler ve elastomer benzeri yumuşak malzemelerde ise, bir iğne ya da konik uçla yapılan penetrasyonun derinliği değerlendirilir. Kauçuk benzeri elastik malzemelerde kullanılan bu yöntem, uygulanan yük altındaki gömülme miktarını ölçer. Öte yandan, mineraller ve kırılgan katılar için klasik yaklaşım, bilinen sertlikte bir malzeme ile yüzeyin çizilmeye çalışılmasıdır (Tabor, 1970).

Farklı ölçüm tekniklerine sahip olsalar da bu testlerin ortak noktası, malzemenin yerel deformasyona karşı koyma kapasitesini nicel olarak tanımlamalarıdır. Başka bir deyişle, her biri farklı yüzey davranışlarını ölçüyor gibi görünse de, aslında bu sertlik testleri bir malzemenin hacimsel mekanik özelliklerini yansıtan ortak bir fiziksel temele dayanır (Tabor, 1970).

Sertlik Testlerinin Sınıflandırılması ve Temel Prensipleri

Sertlik, bir malzemenin dış kuvvetlere karşı plastik deformasyona direnç gösterme kapasitesini tanımlayan temel bir mekanik özelliktir. Sertlik ölçüm yöntemleri, uygulama şekillerine ve değerlendirme kriterlerine göre genellikle üç ana başlık altında sınıflandırılır: çizilme , girinti ve dinamik testler (Chandler, 1999; Herrmann, 2011).

Çizilme sertliği, malzemenin başka bir daha sert malzeme ile yüzeyinin çizilmesine karşı gösterdiği dirençtir. Bu yöntemin klasik örneği, Mohs sertlik skalasıdır. Bu test daha çok mineralojide kullanılır ve sertliğe niteliksel bir yaklaşım sunar (Chandler, 1999).

Girinti sertliği, sert bir yapıya sahip belirli geometrilerdeki batıcı uçların sabit yük altında malzeme yüzeyine batırılmasıyla elde edilen kalıcı izin ölçülmesi esasına dayanır. Brinell, Vickers, Rockwell ve Knoop gibi klasik yöntemlerde girinti izinin çapı, derinliği veya diagonalı ölçülerek sertlik sayısal olarak hesaplanır (Herrmann, 2011). Bu testler, metaller başta olmak üzere çoğu mühendislik malzemesi için güvenilir sonuçlar verir (Herrmann, 2011). Örneğin Vickers testinde, elmas piramit şeklindeki batıcı uç ile uygulanan yük sonrası iki diyagonal uzunluk ölçülerek Vickers sertliği belirlenir. Rockwell testinde ise girinti derinliği esas alınır ve test süresi kısa olduğu için seri üretimde yaygın şekilde kullanılır (Chandler, 1999).

Girinti testleri içinde özel bir konumda olan Shore durometre yöntemleri ise özellikle elastomerik ve termoplastik malzemeler için geliştirilmiştir. Shore A ve Shore D gibi alt ölçeklerde, yaylı bir sistemle bastırılan konik bir uçla malzemeye girinti uygulanır ve derinliğe bağlı olarak 0 ile 100 arasında değişen bir değer okunur. Bu yöntem, esnek polimerlerin karakterizasyonunda hızlı ve tahribatsız bir ölçüm sağlar (Herrmann, 2011).

Dinamik (geri sekme) sertlik testleri ise, malzeme yüzeyine çarpan bir cismin geri sekme yüksekliği veya hızı üzerinden sertliğini belirler. Bu yöntemin temel prensibi, çarpma sonrası elastik enerjinin ne kadar geri kazanıldığına dayanır. Shore skleroskopu gibi klasik sistemler ve Leeb test cihazları, darbe öncesi ve sonrası hızları karşılaştırarak malzemenin dinamik sertlik değerini hesaplar (Chandler, 1999).

Sertlik test yöntemleri, ölçüm prensipleri, batıcı uç geometrileri, yükleme süreleri ve değerlendirme metotları bakımından farklılık gösterse de her biri, malzemenin yapısal özelliklerini anlamada kritik rol oynar. Doğru yöntemin seçimi, malzemenin tipi, şekli ve kullanım koşullarına göre belirlenmelidir (Herrmann, 2011).

2.11.4 Çözünürlük ve Absorbans

VŞR materyalleri, klinik kullanım süresince ağız ortamıyla sürekli etkileşim hâlinindedir. Bu durum, materyalin yüzeyinde meydana gelebilecek topografik değişiklikler açısından önemli bir araştırma alanı oluşturur. Polimerlerde gerçekleşen su emilimi multifaktöriyel bir süreç olup, başta polimer zincirlerinin hidrofilik karakteri, amorf ya da yarı-kristalin yapısal özellikleri, zincirler arası boşluklar ve porozite gibi parametrelerle ilişkilidir. Emilim sonucu oluşan higroskopik genleşme, şeffaf hizalayıcıların adaptasyonunu ve uygulanan ortodontik kuvvetleri önemli ölçüde etkileyebilir (da Silva ve ark., 2013).

Ryokawa ve arkadaşlarının (Ryokawa ve ark., 2006) gerçekleştirdiği bir çalışmada, PETG ve poliüretan esaslı retainer materyallerinin su emilimi test edilmiştir. 37 °C’de distile su ortamında yapılan incelemede, PETG malzemenin ortalama %0,8 su emdiği, poliüretanın ise yaklaşık %1,5’e ulaşan daha yüksek bir su emilimi sergilediği bildirilmiştir. Aynı çalışma, bu su emiliminin termoplastiklerin kalınlık değişimine neden olabileceğini, bu değişimlerin ise uzun vadede retainer stabilitesini etkileyebileceğini ortaya koymuştur.

VŞR oluşturan poliüretan, polietilenglikol gibi polimerlerin pH değişimlerine karşı gösterdiği çözünürlük davranışı ise malzemenin kimyasal yapısına bağlıdır. Özellikle ester bağları içeren polimerlerde, asidik ya da bazik çözeltilerde zamanla gerçekleşen hidroliz reaksiyonları sonucu zincir kırılmaları ve buna bağlı olarak kütle kayıpları gözlenebilir. Bu süreç, özellikle uzun süreli maruziyetlerde malzeme dayanıklılığı üzerinde negatif etki oluşturabilir. Ayrıca çözünme sonucu çıkan yan ürünler doğaya ve insan sağlığına toksik etkiler doğurabilir (Albilali ve ark., 2023b).

Su emilimi genellikle kütle artışı ile sonuçlanırken, çözünme ise kütle kaybına neden olur. Bu nedenle, farklı pH koşullarında VŞR materyallerinin davranışını değerlendirmek için hassas terazi ile yapılan kütle ölçümleri, bu iki mekanizmanın birbirinden ayrıştırılmasında kullanılabilir. Özellikle ortodontik plakların stabilitesi ve kullanım ömrü açısından hem su emilimi hem de çözünürlük özelliklerinin doğru biçimde değerlendirilmesi klinik başarı açısından kritik önem taşır (Porojan ve ark., 2020; Ryokawa ve ark., 2006; Zafeiriadis ve ark., 2014).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu in-vitro çalışmada; Essix Ace (Dentsply Raintree Essix, ABD), Essix C+ (Dentsply Raintree Essix, ABD), Erkodur (Erkodent Erich Kopp GmbH, Almanya) ve Atmos (American Orthodontics, ABD) olmak üzere dört farklı VŞR materyalinin 3 farklı pH koşulunda 14 gün süre ile yaşlandırılması sonrası kütle değişimi, ışık geçirgenliği ve absorbanı, Shore A sertlik ve çekme dayanımı parametrelerindeki değişimler değerlendirilmiştir.

Örneklem büyüklüğü, 0,05 α anlamlılık düzeyi, %80 güç ve 0,37 etki büyüklüğü ile G*Power Software sürüm 3.1.9.7 (Düsseldorf Üniversitesi, Almanya) kullanılarak yapılan bir güç analizine dayanarak hesaplandı. Güç analizi, her bir alt grupta 10 örneğin yeterli olduğunu gösterdiğinden, 4 markadan kontrol grubu için 10'ar adet ve her pH grubunda deney grupları için 10'ar adet olmak üzere her test için 160 adet numune, toplam 640 numune oluşturulmuştur.

Bu çalışmada değerlendirilen VŞR markalarında kullanılan materyallerin her biri vakum yöntemiyle plak yapımına uygun termoplastik ürünler olmakla birlikte, kimyasal yapıları farklılık göstermektedir. Essix ACE, PET türevi bir kopoliester (PET kopolyester) malzemedir (Albilali ve ark., 2023a; Albilali ve ark., 2023b). Şeffaflığı yüksek olan Essix ACE, klasik VŞR yapımında yaygın kullanılan standart materyallerden biridir. Essix C+ ise esasen polipropilen polimer yapıda bir plak malzemesidir (Raja ve ark., 2014). Daha esnek ve darbeye dayanıklı olması amacıyla geliştirilmiş olan Essix C+, üretici firma tarafından özellikle bruksizm hastalarında retansiyon için önerilmektedir. Çiğneme basıncına daha iyi dayanması sayesinde bruksizm vakalarında tel içermeyen estetik plak alternatifi sunar. Erkodur da PETG temelli şeffaf bir plak materyalidir (Porojan ve ark., 2024). Erkodur serisi plaklar, PETG yapıları sayesinde yüksek biçimlenme kararlılığı ve saydamlık sağlamaktadır (Porojan ve ark., 2025). Atmos ise yakın dönemde geliştirilmiş bir VŞR materyalidir ve üretici firma tarafından “üstün form alabilme ve nem dayanımı” özellikleriyle tanıtılmaktadır. Atmos da bir PETG yapısında olmakla birlikte (Michelaki, 2024) üretici firma tarafından vakumla şekillendirildiğinde berraklığını koruması ve lekelenmeye dirençli olması hedeflenmiştir. Özetle çalışmada incelenen dört plak malzemesinden ikisi (Erkodur, Atmos) PETG iken Essix ACE PET kopolyester türevi amorf termoplastiktir ve Essix C+ ise yarı kristalin yapıda polipropilen polimerdir. Bu yapısal farkların, plakların

dayanıklılığı ve fiziko-mekanik özellikleri üzerinde önemli etkileri olabileceği öngörülmüştür.

Bu çalışma Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi 2025-DUP-007 numaralı BAP projesi tarafından desteklenmiştir.

Çekme testi Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirildi. Diğer testler ise Düzce Üniversitesi Kaynaşlı Meslek Yüksekokulu laboratuvarında gerçekleştirildi.

3.1 Numunelerin Hazırlanması

Klinikte en sık tercih edilen kalınlıklar olduğu için Erkodur marka retainer plaklarının kalınlığı 1mm seçilirken diğer markaların kalınlıkları 0,04 inç olarak belirlendi.

Numunelerin standart boyutlarda üretilmesini sağlamak için öncelikle Solid Works programı yardımıyla 50 mm uzunluk, 15 mm yükseklik, 25 mm taban genişliği, 10 mm tavan genişliğine sahip bir model tasarlandı (Lee ve ark., 2022). Tasarlanan model daha sonra Elegoo Satürn 8k reçine yazıcı ile Chitubox 1.8 programıyla segmente edilerek 8k reçine ile 0,05 kesit aralığında 2,5 pozlama süresinde (her bir katmanın reçine tarafından yeterli şekilde sertleşebilmesi için UV ışığına maruz bırakıldığı süre) (Fotoğraf 3.1.) basıldı.

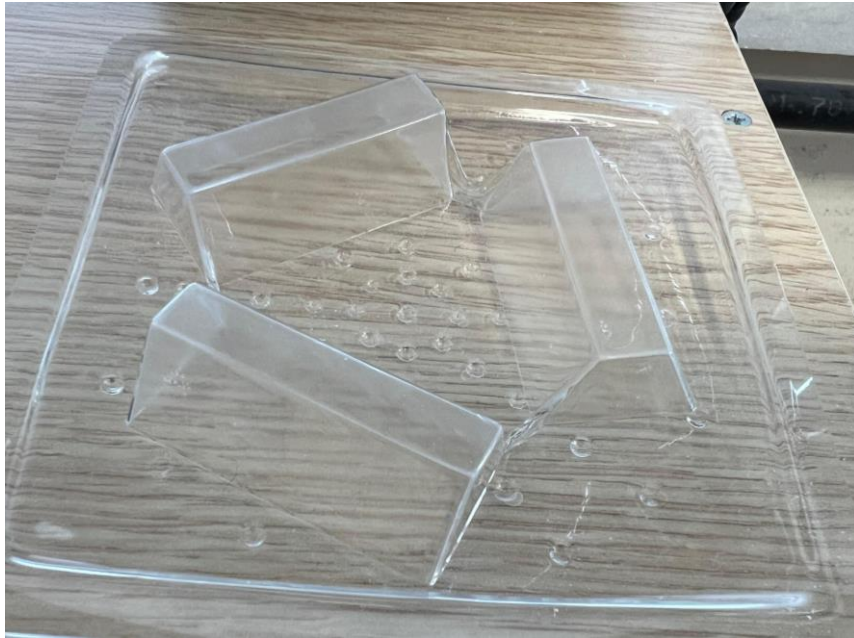


Fotoğraf 3.1. Rezin model

Daha sonra bu model üzerine 4 farklı markadan plaklar Henry Schein vakumla şekillendirme cihazı (1006234LL, Henry Schein Inc., ABD) kullanılarak (Fotoğraf 3.2.), üretici talimatlarına uygun olarak vakumla şekillendirildi (Fotoğraf 3.3.).

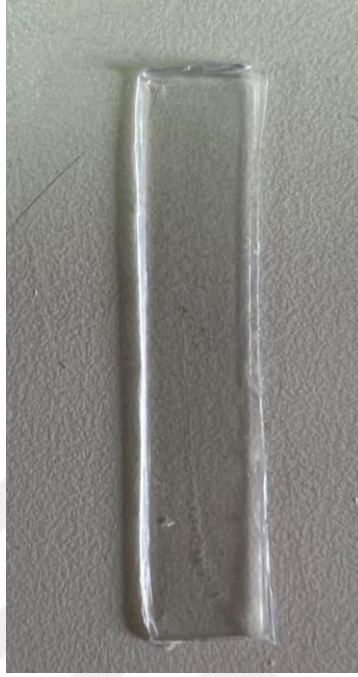


Fotoğraf 3.2. Henry Schein Vakumla Şekillendirme Cihazı (Henry Schein Inc., ABD)



Fotoğraf 3.3. Model üzerinde şekillendirilmiş plaklar

Termoformlama sonrası numuneler modelden ayrılmış, kenar düzeltmeleri yapılmış ve belirlenen ölçütlere göre kesilmiştir (International Organization for Standardization, 2012) (Fotoğraf 3.4.).



Fotoğraf 3.4. Düz şerit halinde kesilmiş termoplastik plak

Sertlik ölçümü ve ışık geçirgenliği testleri için ise düz plaka formundaki kesitler kullanılmıştır. Düz plaka kesitlerin ölçüleri 40 mm uzunluk 10 mm genişlik olarak belirlenmiştir (Albilali ve ark., 2023a) (Fotoğraf 3.4.). Çekme testi numuneleri, ISO 527 standardına uygun “köpek kemiği” formunda hazırlanmıştır (International Organization for Standardization, 2012) (Fotoğraf 3.5.) (Tablo 3.1.).



Fotoğraf 3.5. Kemik formunda kesilmiş termoplastik plak

3.1.1 Numunelerin Yaşlandırılması

Çalışmada elde edilen deney numuneleri, intraoral ortamın pH değişimlerini taklit etmek amacıyla üç farklı pH değerinde hazırlanmış yapay solüsyonlarda yaşlandırılmıştır. Deney grupları, pH 4,3 (asidik), pH 6,7 (nötr) ve pH 8,3 (bazik) olarak ayarlanmış solüsyonlarda 37 °C’de 14 gün süreyle (Porojan ve ark., 2024) bekletilmiştir. Kontrol grubu numuneler ise herhangi bir yaşlandırma işlemine maruz bırakılmadan doğrudan testlere tabi tutulmuştur.

Solüsyonların Hazırlanışı

Solüsyonlar Düzce Üniversitesi Kaynaşlı Meslek Yüksekokulu laboratuvarında hazırlanmıştır. Solüsyonların hazırlanmasında 500 ml 0,1 M HCl, 0,1M NaOH stok çözeltileri kullanılmıştır. Hedef pH asit baz dengesine göre yapılmıştır (Khopkar, 1998).

HCl Stok Çözeltisinin Hazırlanması:

Çalışmada kullanılan ticari HCl çözeltisi %36 derişimde olup üretici tarafından bildirilen yoğunluğu 1,49 g/ml’dir. 0,1 M, 500 mL HCl çözeltisi hazırlamak için 3,35 mL konsantre HCl, bir miktar distile su içeren 500 mL balon jojeye dikkatlice eklenmiş ve hacim distile su ile 500 mL’ye tamamlanmıştır. Böylece 0,1 M HCl stok çözeltisi elde edilmiştir (Khopkar, 1998).

NaOH Stok Çözeltisinin Hazırlanması:

0,1 M, 500 mL NaOH çözeltisi hazırlamak için 2 g NaOH distile su içinde çözülmüş ve hacim 500 mL'ye tamamlanmıştır (Khopkar, 1998).

Asidik ortam (pH 4,3):

0,25 ml 0,1 M HCl stok çözeltisi içerisinde bir miktar distile su bulunan balon jojeye ilave edilmiştir. Çözelti hacmi 500 ml olana kadar distile su eklenmiştir. pH değeri dijital pH metre (Hanna Instruments, ABD) yardımıyla kontrol edilmiştir (Khopkar, 1998). Hassas ayar için damlatmalı ekleme yöntemi kullanılmıştır (Fotoğraf 3.6.).



Fotoğraf 3.6. Asidik solüsyonun hazırlanması

Nötr ortam (pH 6,7):

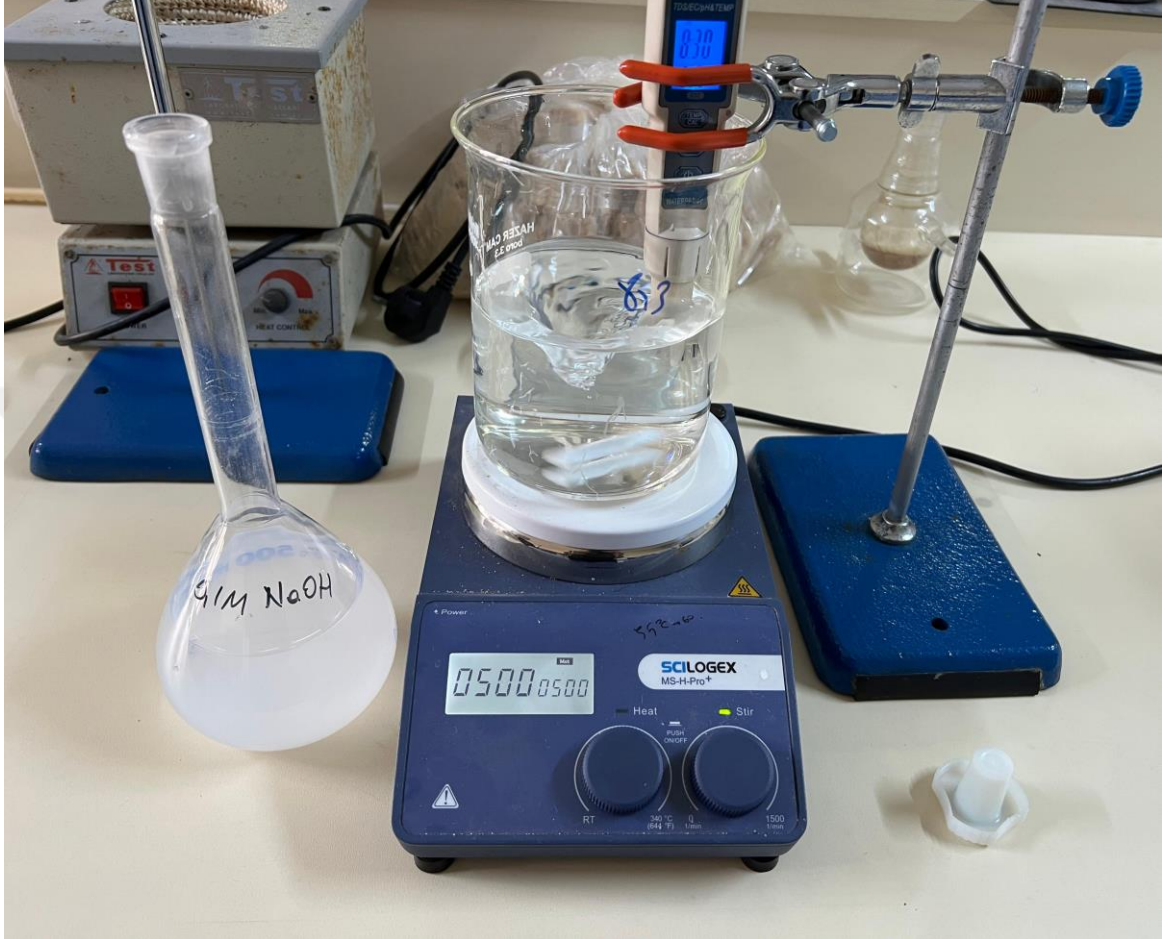
Distile suya 0,99 μL gibi çok düşük konsantrasyonda HCl ilavesiyle hacim 500 ml'ye tamamlanmış ve pH değeri ayarlanmıştır (Khopkar, 1998) (Fotoğraf 3.7.). Bu grup, fizyolojik oral pH değerlerini simüle etmektedir.



Fotoğraf 3.7. Nötr pH'a sahip solüsyon

Bazik ortam (pH 8,3):

Yaklaşık 10 µL 0,1 M NaOH stok çözeltisi distile suya eklenerek hazırlanmış, çözelti 500 ml'ye tamamlanmış ve pH metre yardımıyla hedef değere getirilmiştir (Khopkar, 1998) (Fotoğraf 3.8.).



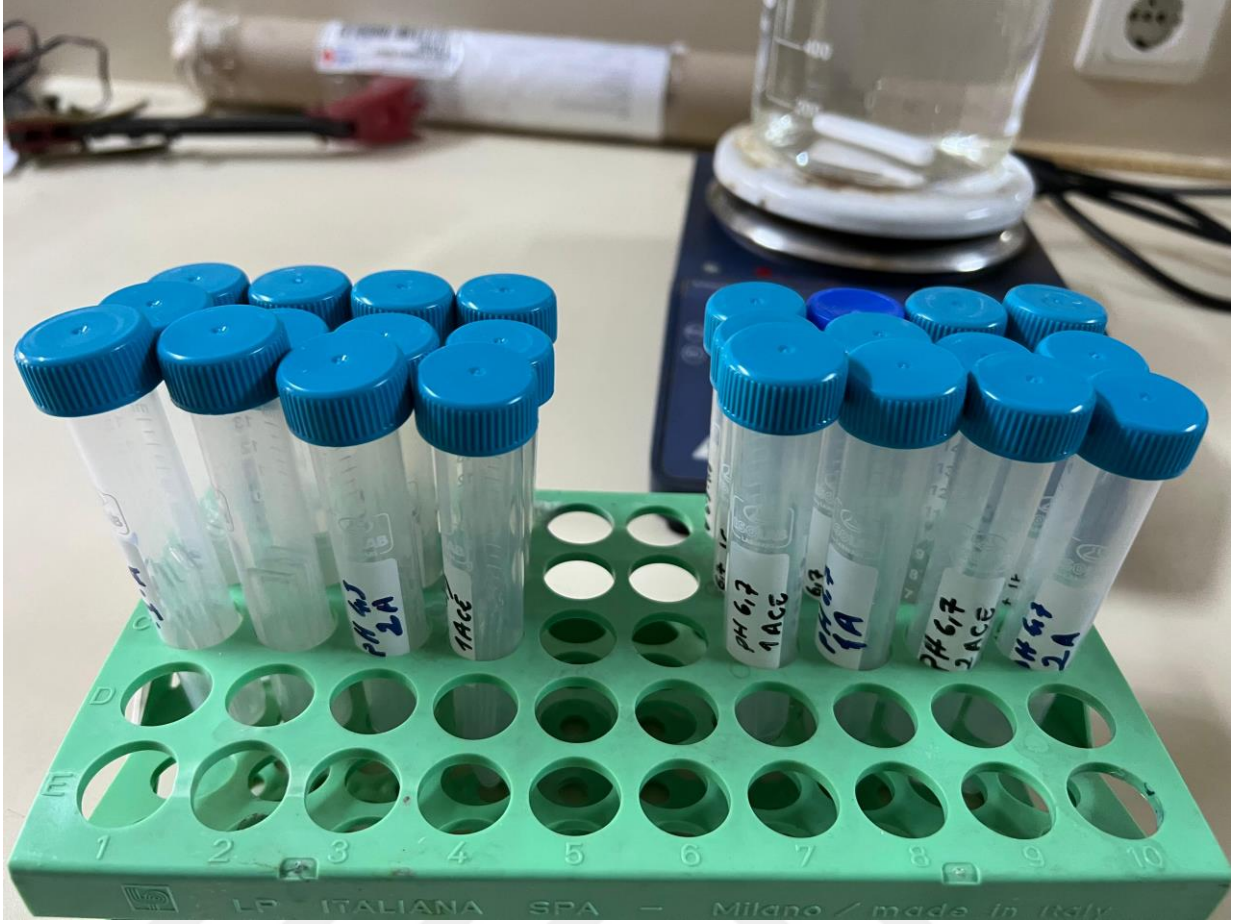
Fotoğraf 3.8. Bazik solüsyonun hazırlanması

Hazırlanan tüm solüsyonlar, manyetik karıştırıcı ve ısıtıcı (Scilogex MS-H-Pro+, ABD) üzerinde homojen hale getirilmiş ve 37 °C'ye sabitlenmiştir.

Yaşlandırma Prosedürü

Numuneler steril deney tüplerine yerleştirilmiş ve her bir deney tüpü, deney gruplarına uygun pH değerine ayarlanmış solüsyonlarla doldurulmuştur (Fotoğraf 3.9.). Deney tüpleri, sıcaklık ve nem kontrolü sağlanmış inkübatörde (Shin Saeng FineTech BOD, Kore) 37 derecede 14 gün boyunca bekletilmiştir (Porojan ve ark., 2024) (Fotoğraf 3.10.).

Bu yöntemle numunelerin, ağız ortamında karşılaşılabilecekleri asidik, nötr ve bazik koşulların etkisi simüle edilmiştir.



Fotoğraf 3.9. Numunelerin marka ve pH değerine göre ayrı ayrı solüsyonlara bırakılması

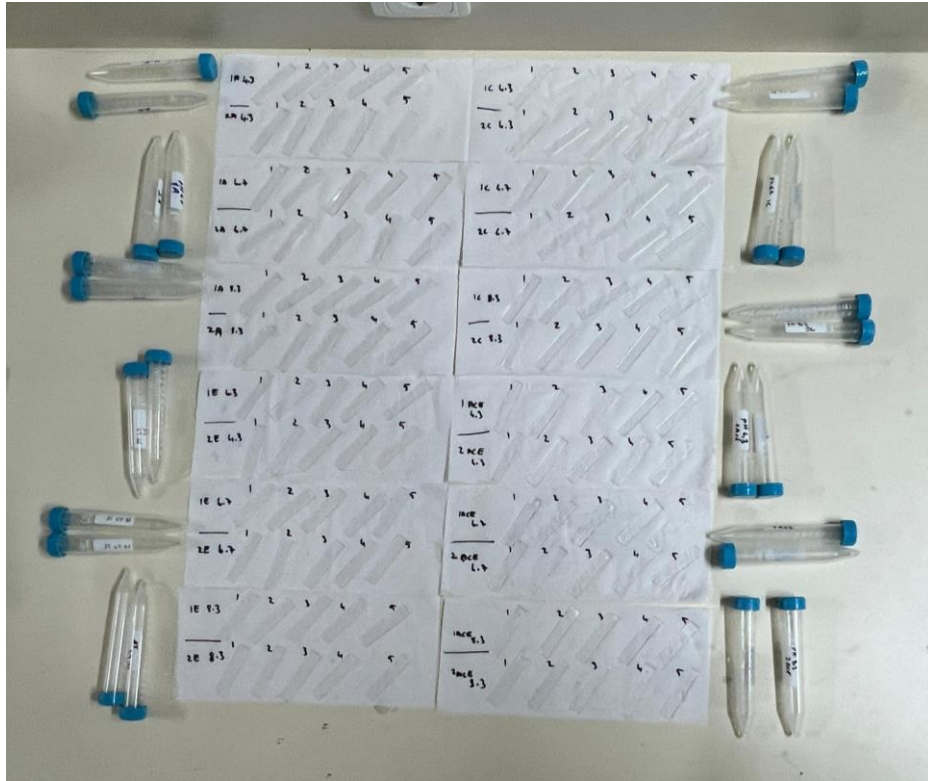


Fotoğraf 3.10. Belirtilen koşullarda inkübatöre alınan numuneler

Bekletme süresinin tamamlanmasının ardından numuneler, solüsyon kalıntılarının uzaklaştırılması amacıyla fizyolojik serum ile yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur (Fotoğraf 3.11.). Ardından, mekanik ve optik testlerin uygulanabilmesi için çalışma protokolünde belirtilen parametrelere göre gruplandırılmıştır. Bu işlem, numunelerin deney koşullarına hazırlığının standart ve tekrarlanabilir bir şekilde sağlanması için gerçekleştirilmiştir. Kütle değişimi açısından değerlendirilecek numuneler karıştırılmaması amacıyla numaralandırılmıştır (Fotoğraf 3.12.).



Fotoğraf 3.11. Çekme testi için kesilmiş numunelerin 14 günlük bekletme sonunda kurumaya bırakılması



Fotoğraf 3.12. Numaralandırıldığı sırayla kurutulmaya bırakılmış numuneler

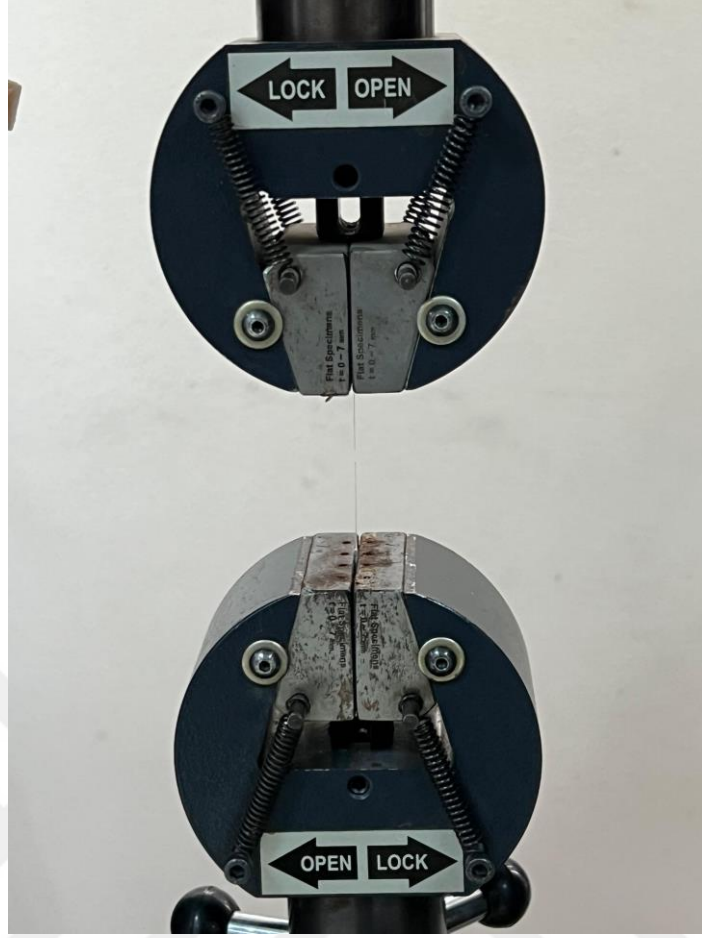
3.2 Çekme Testi

Numunelerin çekme dayanımı ve elastisite modüllerinin belirlenmesi amacıyla deneyler, Besmak (Besmak Malzeme Test Makinaları, Türkiye) marka, 200 kN kapasiteli universal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Her pH grubunda 10' ar adet deney ve 10 adet kontrol olmak üzere 40 adet örnek üzerinde uygulanmıştır. 4 marka için toplam 160 numune üzerinde testler yapılmıştır. Numuneler, standardize edilmiş kemik formda hazırlanmış olup boyutları Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Buna göre numunelerin toplam uzunluğu 35 mm, dar kısmın uzunluğu 12 mm, dar kısmın genişliği 2 mm, son genişlik 6 mm, küçük ve büyük yarıçaplar ise 3 mm olarak belirlenmiştir. Kulplar arasındaki başlangıç mesafesi 20 mm olarak ayarlanmıştır (International Organization for Standardization, 2012; Tamburrino ve ark., 2020) (Tablo 3.1.).

Tablo 3.1. Kemik formunda kesilen numunelerin ISO 527-2 tip 5B (International Organization for Standardization, 2012; Tamburrino ve ark., 2020) standartlarında ölçüleri

Tanım	Uzunluk (mm)
Tüm uzunluk	35
Son genişlik	6
Dar kısmın uzunluğu	12
Dar kısmın genişliği	2
Küçük yarıçap	3
Büyük yarıçap	3
Kulplar arası başlangıç mesafesi	20

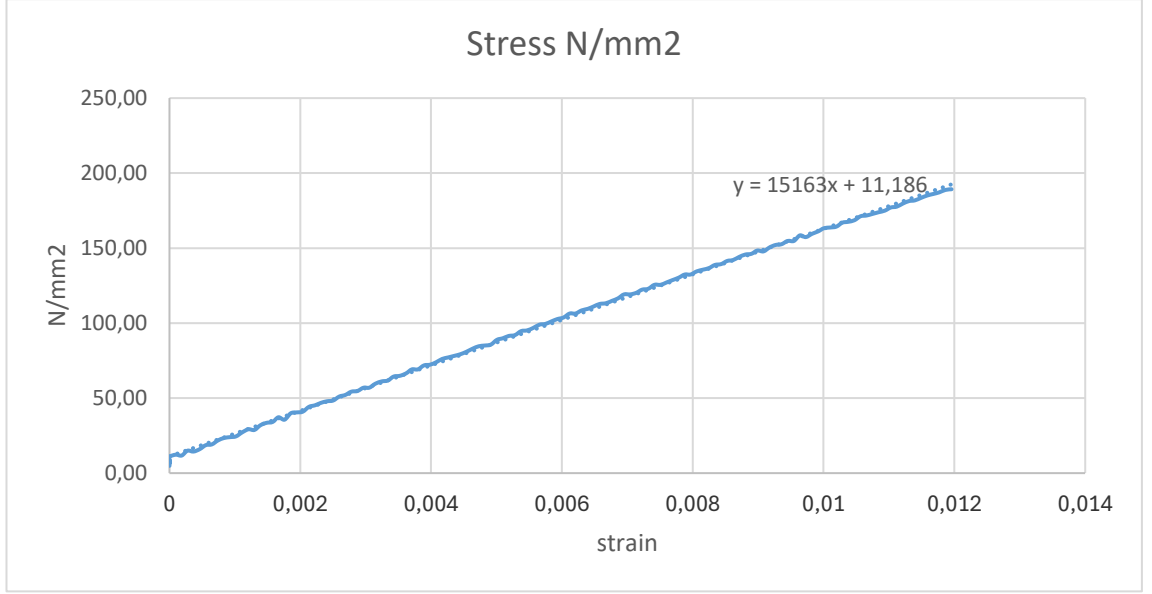
Testler sırasında numuneler, cihazın tutucu çeneleri arasına dikkatlice yerleştirilmiş ve kaymayı önlemek amacıyla çene kilitleme mekanizmaları kullanılmıştır. Deneyler, sabit bir çekme hızı (5 mm/dk) ile gerçekleştirilmiştir (Özay ve ark., 2022) (Fotoğraf 3.13.). Cihaz, uygulanan yük (N) ve uzama (mm) değerlerini kaydetmiş, bu verilerden gerilme (N/mm²) ve birim uzama (strain) değerleri hesaplanmıştır.



Fotoğraf 3.13. Çekme testi numunenin kopma anı

Elde edilen gerilme–birim uzama eğrileri üzerinden her numune için elastik bölge tespit edilerek doğrusal regresyon uygulanmış ve eğimin karşılığı olarak Young modülü (Elastisite modülü, MPa) hesaplanmıştır (Şekil 3.1.). Ayrıca, maksimum gerilme değerinden çekme dayanımı belirlenmiş ve kopma sonrası numunelerde gözlenen deformasyon özellikleri kaydedilmiştir.

4 markadan 3 farklı pH ve kontrol grubu olmak üzere 10 ar adet numune seçilmiştir. Toplam 160 numune üzerinde ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.1. Young modülü hesaplanmasına örnek

3.3 Sertlik Ölçümleri

Numunelerin sertlik ölçümleri, ASTM D2240 (ASTM International, 2021) standardı'na uygun olarak Shore A durometre (Gibitre Instruments, Italy) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Fotoğraf 3.14.). Bu yöntem, polimerik malzemelerin lokal yüzey deformasyonuna karşı gösterdiği direncin belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

ASTM D2240 (ASTM International, 2021) standardına göre, sertlik testi için kullanılan numunelerin kalınlığının en az 6 mm olması gerekmektedir. Bu kalınlık, durometre iğnesinin batma derinliğinin alt yüzeyden etkilenmemesi için zorunlu tutulmaktadır. Daha ince numunelerde, gerekli kalınlığa ulaşmak için aynı malzemeden hazırlanmış örneklerin üst üste istiflenmesi veya uygun destek bloklarının kullanılması önerilmektedir.

Test sırasında her numune altına standart bir düz polimer blok yerleştirilmiştir. İğne batımı sonrasında elde edilen değerler cihaz ekranından okunarak kaydedilmiştir. Ölçümler, her bir numunede farklı noktalardan üç kez tekrarlanmış ve ortalama değerler değerlendirmeye alınmıştır. Sertlik testleri, polimer malzemelerin elastikiyet, sertlik ve klinik dayanıklılıklarının değerlendirilmesinde önemli parametrelerden biridir.

Bu testte de her markadan 3 farklı pH ve kontrol grubu olmak üzere 10'ar adet numune seçilmiştir. Toplam 160 numune üzerinde ölçümler yapılmıştır.



Fotoğraf 3.14. Sertlik testi ölçümü

3.4 Işık Transmittans ve Absorbans Ölçümleri

Bu çalışmada, şeffaf VŞR materyallerinin ışık geçirgenliği özellikleri, Smart Spectro (LaMotte, SmartSpectro, ABD) cihazı ile 350–1000 nm dalga boyu aralığında ölçülmüştür (Fotoğraf 3.15). Bu spektral aralık, ultraviyole (UV) (350–400 nm), görünür bölge (400–780 nm) hem de yakın kızılötesi (780–1000 nm) ışık spektrumunu kapsayacak şekilde ölçüm imkânı sunmaktadır (Smart Spectro Spectrophotometer - Specifications). Her numune, cihazın standart düz numune tutucusu içerisine yerleştirilmiş ve % transmittans (%T) verileri cihaz yazılımı aracılığıyla elde edilmiştir. Ölçümler sırasında entegrasyon küresi kullanılmamış, yalnızca doğrudan geçen ışık dikkate alınmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen %T değerlerinden absorbans ($A = -\log_{10}T$) hesaplanmış ve farklı pH koşullarının ve yaşlanmanın optik özellikler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ölçüm

yapılan numunelerin boyutları 40 mm uzunluk 10 mm genişlik olarak belirlenmiştir (Albilali ve ark., 2023a).



Fotoğraf 3.15. Optik analiz cihazı

Her markadan 3 farklı pH ve 1 kontrol grubu olmak üzere 4 gruptan 10 ar adet numune seçilmiştir. Toplam 160 numune üzerinde ölçümler yapılmıştır.

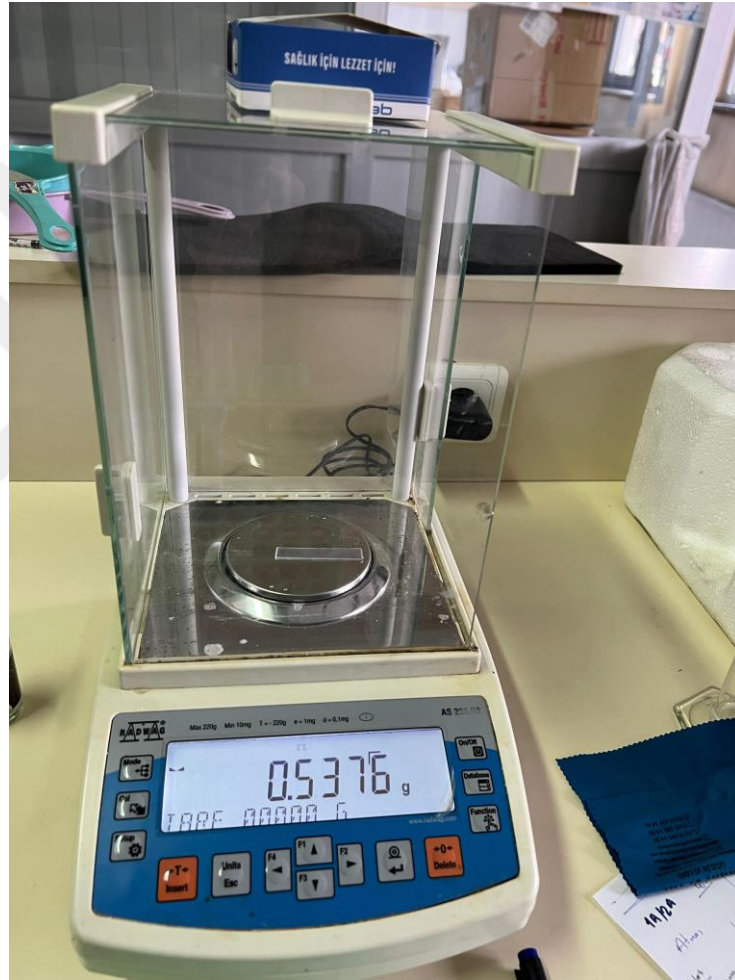
3.5 Kütle Değişimi (Çözünürlük ve Su Emilimi)

Hassas terazi ($\pm 0,0001$ g) ile yapılan kütle ölçümlerinde, her numune deney öncesinde kurutularak ilk kütle (m_1) belirlenmiştir (Fotoğraf 3.16.). Deney grupları 14 gün boyunca belirlenen pH değerlerindeki yapay tükürük solüsyonlarında bekletilmiş ve sonrasında yüzeyleri kurularak ikinci kütle (m_2) ölçülmüştür. Kütledeki artış su emilimi olarak, azalma ise çözünme olarak değerlendirilmiştir.

Bu test için 4 markadan 3 farklı pH için ayrı ayrı 10'ar numune kullanılmıştır. Toplam 120 numune değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada su emilimi ve çözünürlük için ISO 20795-1 (International Organization for Standardization, 2013) veya benzeri uluslararası standartlardaki hesaplama yöntemleri kullanılmamış; bunun yerine yalnızca numunelerin 14

günlük farklı pH'lı çözeltilerde bekletilmesi öncesi ve sonrası kütleleri hassas teraziyle ölçülerek toplam kütle değişimi değerlendirilmiştir (Alfadil ve ark., 2024). Bu yöntemle elde edilen veriler, malzemenin ortam koşullarına bağlı olarak kütle kaybı (çözünme) ya da kütle kazanımı (su emilimi) eğilimlerini yorumlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu anlamda bakıldığında ISO 20795-1 (International Organization for Standardization, 2013) standartlarının bir modifikasyonu olarak değerlendirilebilir.



Fotoğraf 3.16. Numunelerin hassas terazi ile tartılması

3.6 İstatistiksel Analiz

Yapılan ölçümlere ait tanımlayıcı istatistikler, ortalama, standart sapma (SS), ortanca (medyan) ve 25. İle 75. Yüzdelik değerler olarak hesaplandı. Alt gruplarda 10 materyal kullanıldığı için normal dağılıma uyum testi yapılamadı ve veri analizinde parametrik olmayan testler kullanıldı. Uygulanan fiziksel ve optik değerlendirme testleri ve ilk ve son kütle arasında meydana gelen değişim

bakımından markaların ve numunelerin karşılaştırılmasında Kruskal-Wallis testi kullanıldı ve anlamlı farklılığa neden olan marka veya numuneler post-hoc Dunn testi ile belirlendi. İstatistik anlamlılık düzeyi $P < 0,05$ kabul edildi. Hesaplamalarda SPSS (Social Sciences software package for Windows, 29.0, SPSS, Şikago, ABD) programı kullanıldı.



4. BULGULAR

4.1 Young Modülü Bulguları

Young modülü açısından her bir numunede ayrı ayrı markalar karşılaştırıldığında ve her bir markada ayrı ayrı numuneler karşılaştırıldığında Tablo 4.1.' de verilen ortalama, standart sapma ve *P* değerleri elde edildi. Tablo 4.2.'de ise medyan, 25. ve 75. yüzdelik değerler verilmiştir. Tablolar incelendiğinde;

4.1.1 Markalar Arası Farklar

Kontrol numunesinde 4 farklı markanın Young modülü karşılaştırmasında anlamlı fark tespit edildi. Kontrol numunesinde Atmos markasının ortalaması diğer 3 markadan anlamlı düzeyde daha yüksek bulundu ancak diğer 3 marka arasında anlamlı farka rastlanmadı.

pH'ı 4,3 olan numunede 4 farklı markanın Young modülü karşılaştırmasında anlamlı fark bulundu. pH'ı 4,3 olan numunede Essix C+ markasının ortalaması diğer 3 markadan anlamlı düzeyde düşük bulundu; ancak diğer 3 marka arasında anlamlı farka rastlanmadı.

pH'ı 6,7 olan numunede 4 markanın Young modülü ortalamaları arasında anlamlı farka rastlanmadı.

pH'ı 8,3 olan numunede 4 farklı markanın Young modülü karşılaştırmasında anlamlı fark tespit edildi. pH'ı 8,3 olan numunede Essix C+ ve Essix ACE markalarının ortalaması diğer 2 markadan anlamlı düzeyde düşük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

4.1.2 Numuneler Arası Farklar

Atmos markasında 4 farklı numune grubu arasında Young modülü karşılaştırmasında anlamlı fark tespit edildi. Atmos markasında kontrol numunesinin ortalaması diğer 3 numuneden anlamlı düzeyde yüksek bulundu ancak diğer 3 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı.

Essix C+ markasında 4 farklı numune grubu arasında Young modülü karşılaştırmasında anlamlı fark bulundu. Essix C+ markasında kontrol numunesinin ortalaması diğer 3 numuneden anlamlı düzeyde yüksek bulundu ancak diğer 3 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı.

Erkodur ve ACE markalarında 4 numune grubu arasında anlamlı farka rastlanmadı.

Şekil 4.1.'de markaların, şekil 4.2.'de ise numunelerin kutu grafikleri verilmiştir.



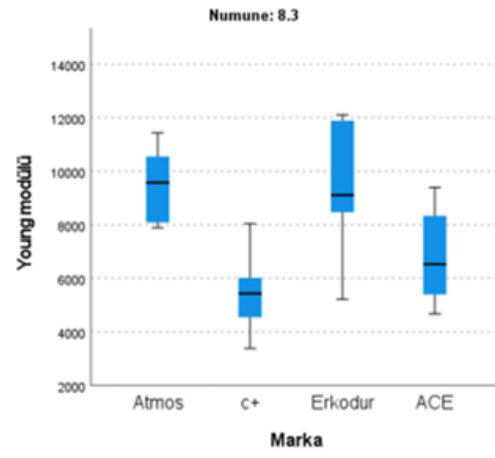
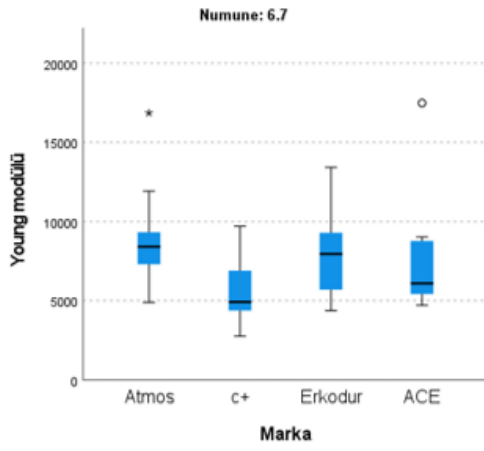
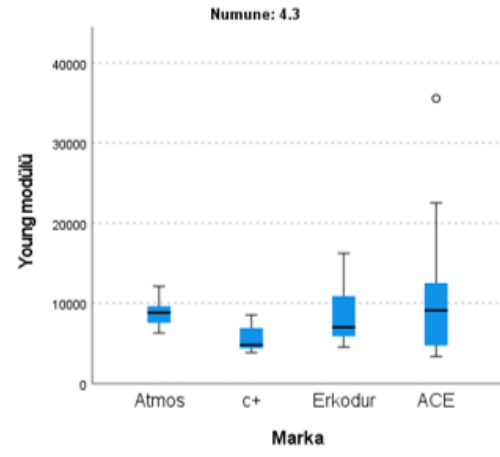
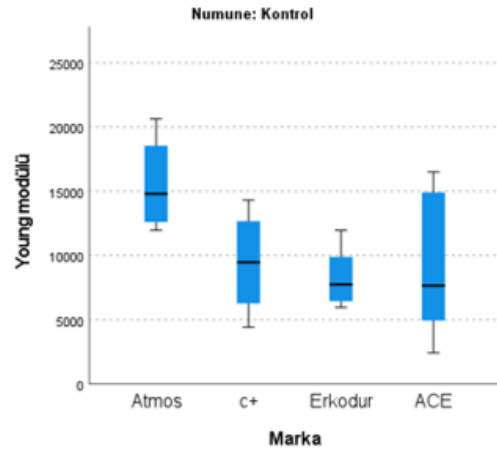
Tablo 4.1. Young modülü bulgularının markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması

	Numune	Atmos		C+		Erkodur		ACE		P
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	
Young modülü	Kontrol	A15523,2 ^a	3241,2	A9488,8 ^b	3565,8	8263,1 ^b	2097,3	8781,3 ^b	5153,0 ^b	0,002
	4,3	B8886,1 ^a	1811,9	B5616,8 ^b	1681,3	8627,8 ^a	3846,7	11782,4 ^a	10086,7	0,038
	6,7	B8860,5	3462,0	B5438,4	2014,1	7763,7	2669,0	7716,8	3760,24	0,053
	8,3	B9522,7 ^a	1239,49	B5389,1 ^b	1286,76	9599,5 ^a	2193,1	6663,0 ^b	1661,57	<0,001
	P	<0,001		0,017		0,358		0,744		

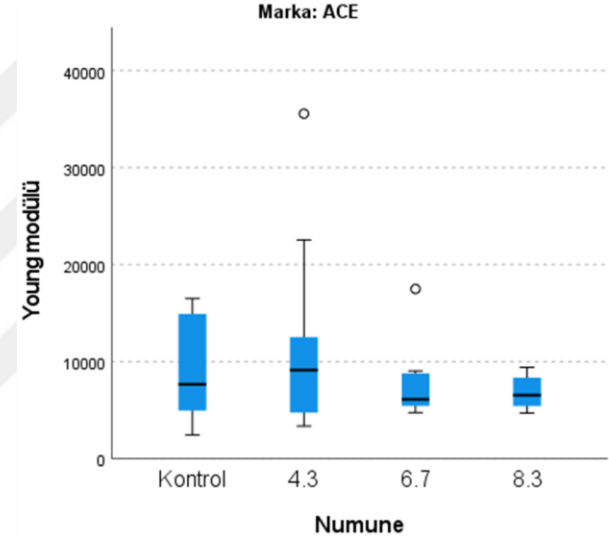
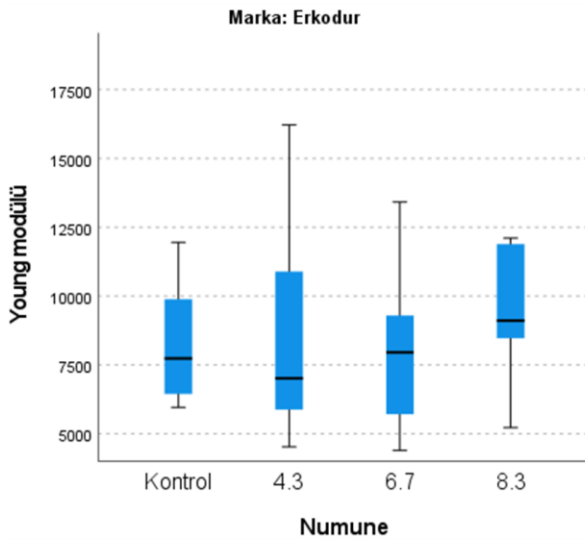
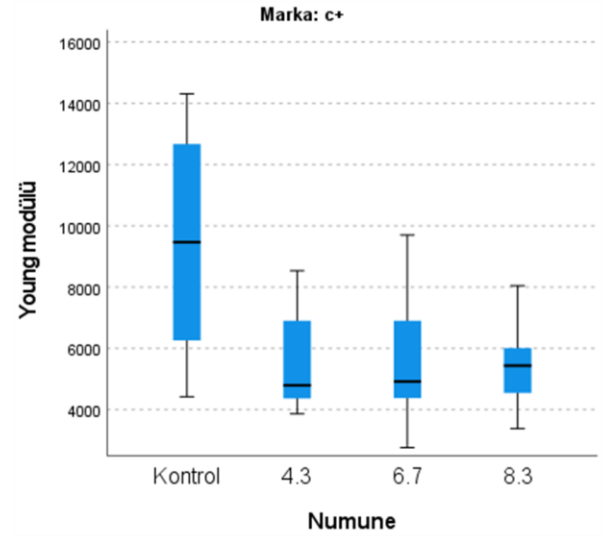
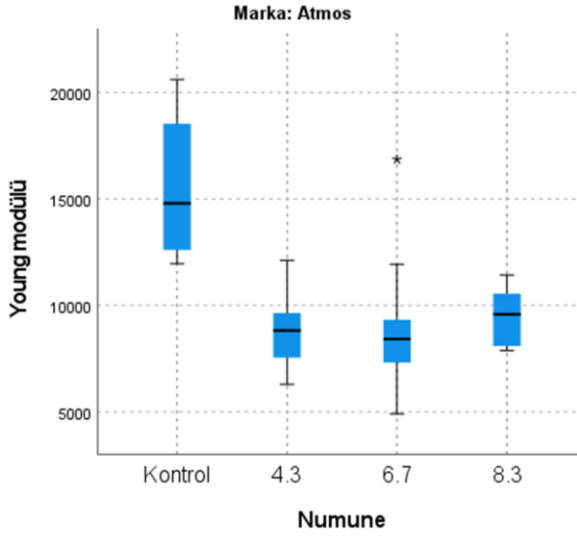
Ortalamaların sağ üst köşesinde yer alan farklı küçük harfler aynı satırdaki markalar arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ortalamaların sol alt köşesinde yer alan farklı büyük harfler aynı sütundaki numuneler arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ort.: Ortalama; SS: Standart Sapma

Tablo Ek 4.1. Young modülü açısından markalar ve numunelere ait yüzde 25. ile 75. değerler ve medyan

	Numune	Atmos			C+			Erkodur			ACE		
		Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.
Young modülü	Kontrol	14791,5	12462,75	18704,5	9465,5	6067,25	12774,5	7732,5	6386,25	10036	7645,5	4385,25	14963,5
	4,3	8818,5	7358,75	10033,25	4794,5	4345,75	7225	7005,5	5782,75	11530,75	9109	4504	15022
	6,7	8414,50	6735,25	9974,25	4919	4130	6954,5	7949	5469,75	9324,75	6092,5	5393,75	8834,5
	8,3	9574	8050,50	10618	5432	4472	6092	9103,5	8461	11926,00	6523	5238	8420,75



Şekil 4.1. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait young modülü tanımlayıcı değerleri



Şekil 4.2. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait young modülü tanımlayıcı değerleri

4.2 Maksimum Çekme Mukavemet Bulguları

Maksimum çekme mukavemeti açısından her bir numunede ayrı ayrı markalar karşılaştırıldığında ve her bir markada ayrı ayrı numuneler karşılaştırıldığında Tablo 4.2.' de ve Tablo ek 4.2.'de sunulan değerler elde edildi. Tablolar incelendiğinde;

4.2.1 Markalar arası farklar

Kontrol grubu, pH' ı 4,3 olan numune ve pH' ı 6,7 olan numunede markalar arasında anlamlı farka rastlanmadı.

pH' ı 8,3 olan numunede 4 farklı markanın maksimum çekme mukavemeti karşılaştırmasında anlamlı farka rastlandı. pH' ı 8,3 olan numunede Essix C+ ve Essix ACE markalarının ortalaması diğer 2 markadan anlamlı düzeyde düşük bulundu ancak diğer farklar anlamlı değildi.

4.2.2 Numuneler arası farklar

Atmos markasında 4 farklı numune grubu arasında maksimum çekme mukavemeti karşılaştırmasında anlamlı fark tespit edildi. Atmos markasında kontrol numunesinin ortalaması pH' ı 4,3 ve pH' ı 8,3 olan numunelerden anlamlı düzeyde yüksek olarak bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

Essix C+, Erkodur ve Essix ACE markalarında 4 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı.

Şekil 4.3.'te markaların Şekil 4.4.'te ise numunelerin kutu grafikleri verilmiştir.

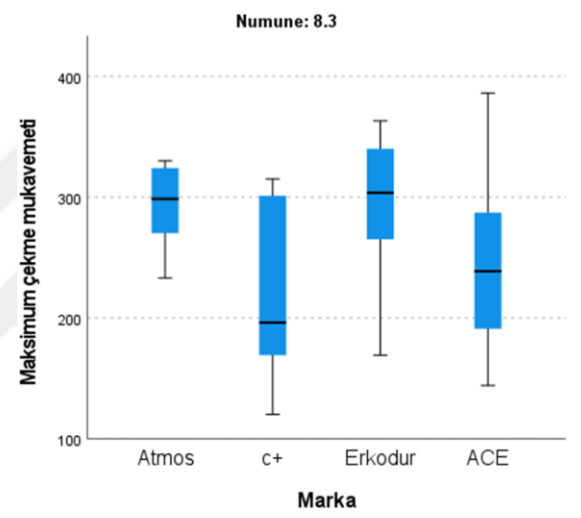
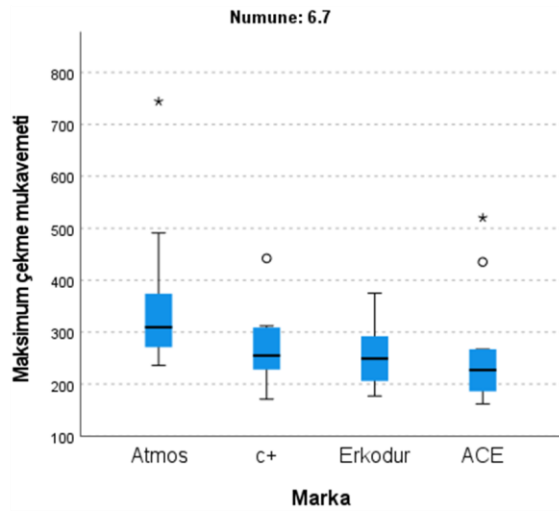
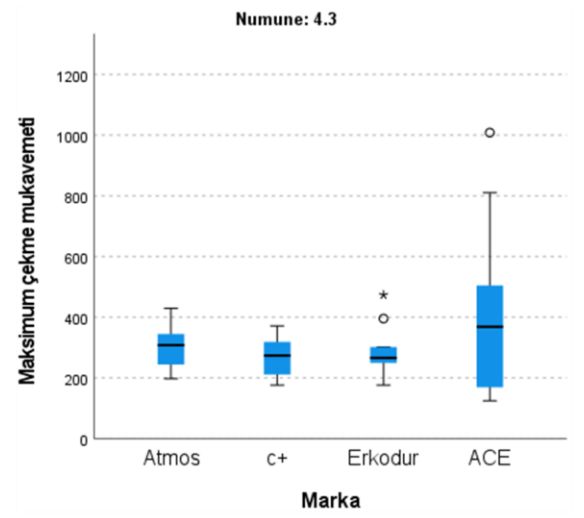
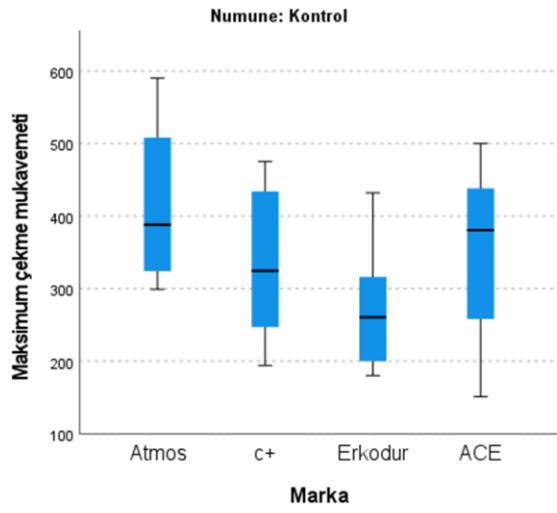
Tablo 4.2. Maksimum çekme mukavemetinin markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması

	Numune	Marka								P
		Atmos		C+		Erkodur		ACE		
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	
Maksimum çekme mukavemeti	Kontrol	A415,00	102,90	334,10	104,74	277,80	85,77	351,20	116,20	0.060
	4,3	B301,70	67,34	268,00	63,43	285,20	91,15	412,30	291,42	0.719
	6,7	AB362,30	152,39	265,60	77,71	254,50	61,07	264,80	118,59	0.062
	8,3	B292,40 ^a	36,06	217,60 ^b	69,46	294,20 ^a	58,80	247,60 ^b	77,71	0.034
	P	0,026		0,057		0,553		0,249		

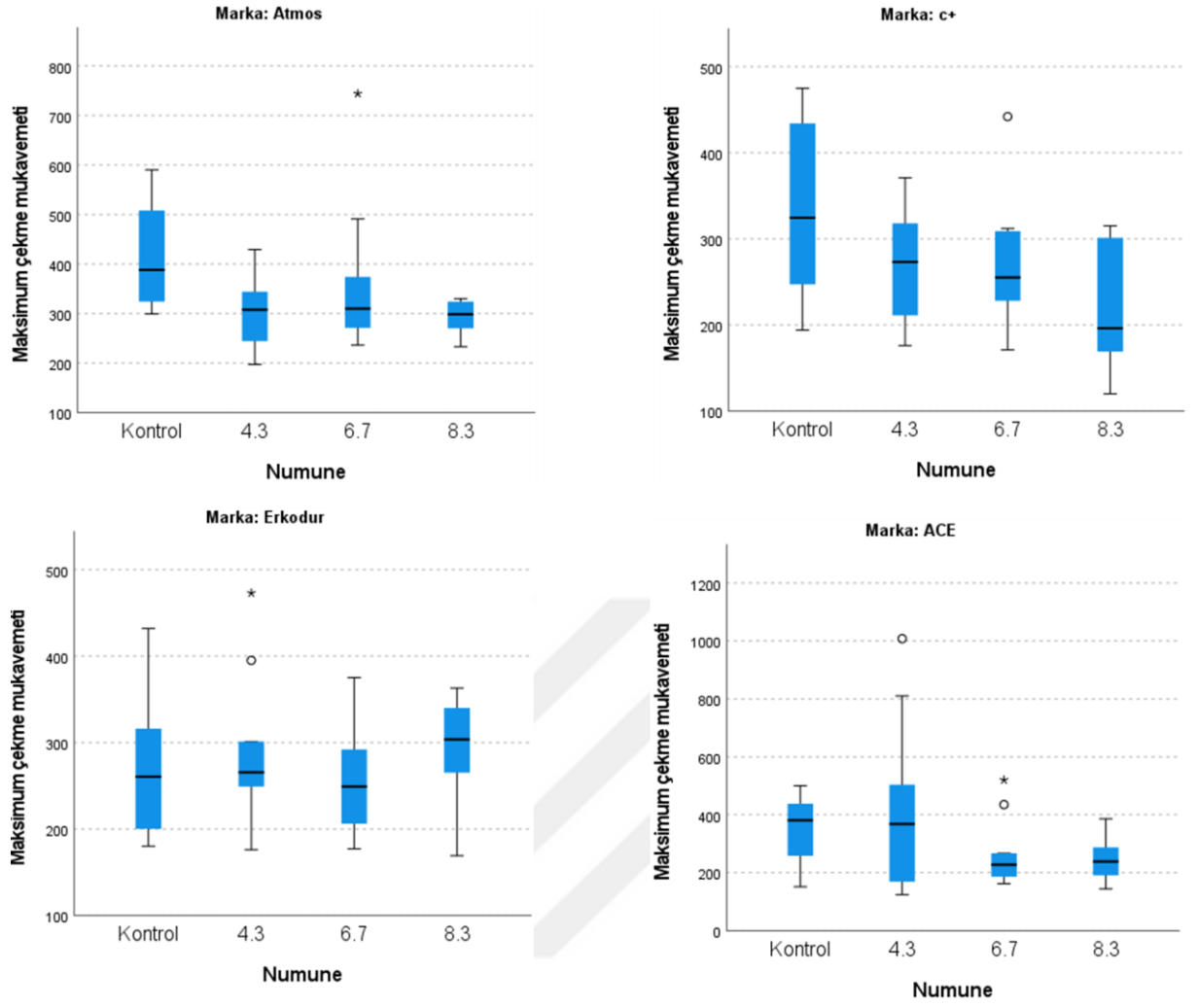
Ortalamaların sağ üst köşesinde yer alan farklı küçük harfler aynı satırdaki markalar arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ortalamaların sol alt köşesinde yer alan farklı büyük harfler aynı sütundaki numuneler arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ort.: Ortalama; SS: Standart Sapma

Tablo Ek 4.2. Maksimum çekme mukavemeti açısından markalar ve numunelere ait yüzde 25. ile 75. değerler ve medyan

	Numune	Marka											
		Atmos			C+			Erkodur			ACE		
		Medyan	25.	75	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.
Maksimum çekme mukavemeti	Kontrol	388	319,5	512,5	324,5	244,25	437,25	260,5	196,5	335,25	380,5	248,75	447
	4,3	307,5	242,5	347	273	211	319,25	265,5	231,25	324,5	368	167,75	580,5
	6,7	309,5	267,25	403,25	255	214,75	309,75	249	199,75	294,75	227	182,5	309
	8,3	298,5	263	325	196	165,5	302,25	303,5	261	343,5	238,5	189,5	304,75



Şekil 4.3. Her bir numune için ayrı ayrı markalara ait maksimum çekme mukavemeti tanımlayıcı değerleri



Şekil 4.4. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait maksimum çekme mukavemeti tanımlayıcı değerleri

4.3 Sertlik Shore A Testi Bulguları

Sertlik Shore A testi açısından her bir numunede ayrı ayrı markaların ve her bir markada ayrı ayrı numunelerin karşılaştırılması Tablo 4.3.' te ve Tablo Ek 4.4.'te sunulmuştur.

4.3.1 Markalar arası farklar

4 numunede de markalar arasında anlamlı farka rastlanmadı.

4.3.2 Numuneler arası farklar

4 markada da numuneler arasında anlamlı farka rastlanmadı.

Şekil 4.5. 'te markaların Şekil 4.6.'da ise numunelerin kutu grafikleri verilmiştir.



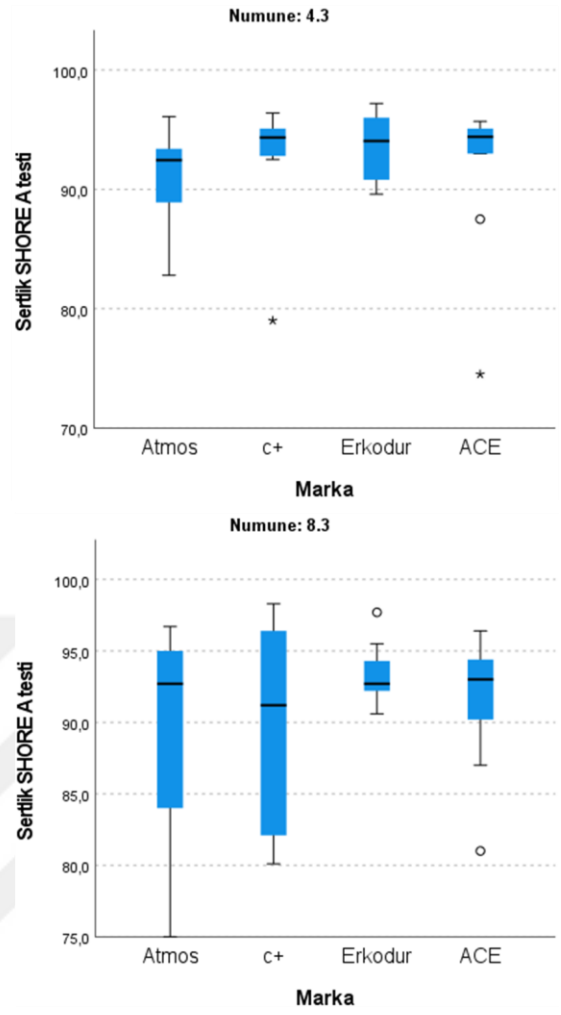
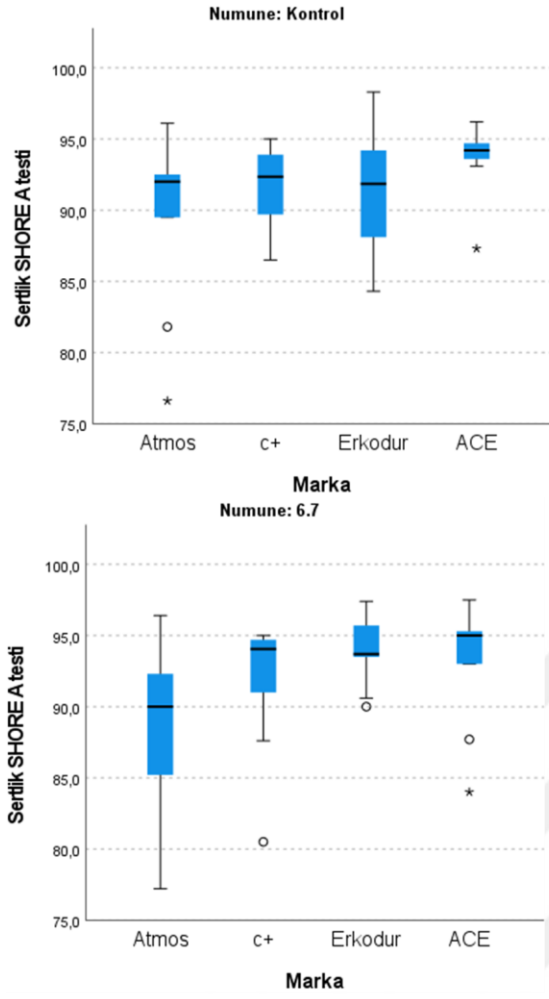
Tablo 4.3. Sertlik Shore A testinin markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması

	Numune	Marka								<i>P</i>
		Atmos		C+		Erkodur		ACE		
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	
Sertlik SHORE A testi	Kontrol	89,93	6,09	91,84	2,84	91,23	4,33	93,74	2,46	0.133
	4,3	90,85	4,22	92,87	5,07	93,64	2,72	91,95	6,58	0.294
	6,7	88,94	5,80	91,98	4,65	94,02	2,43	93,25	4,21	0.125
	8,3	89,65	7,34	90,07	7,37	93,26	2,18	91,62	4,64	0.918
	<i>P</i>	0,896		0,590		0,351		0,550		

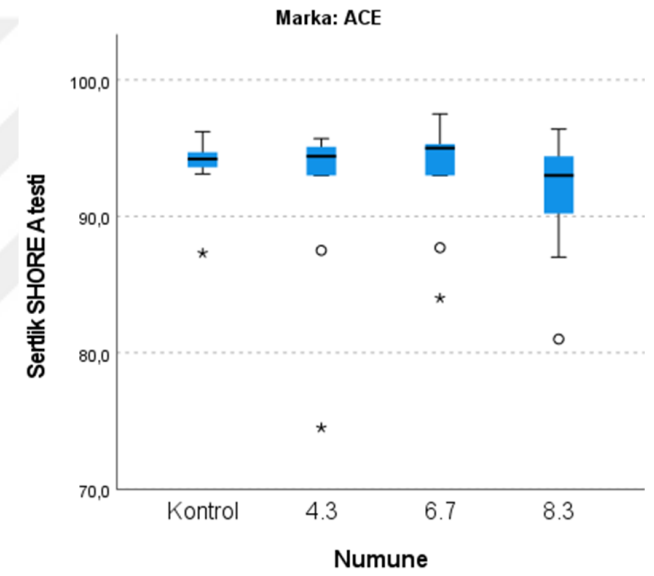
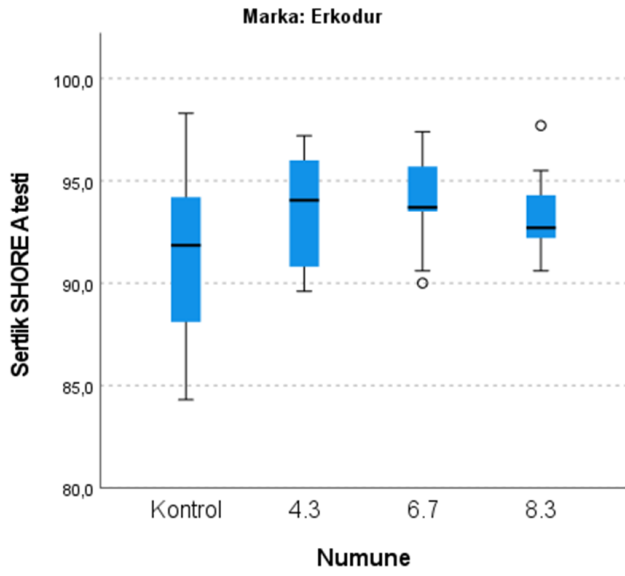
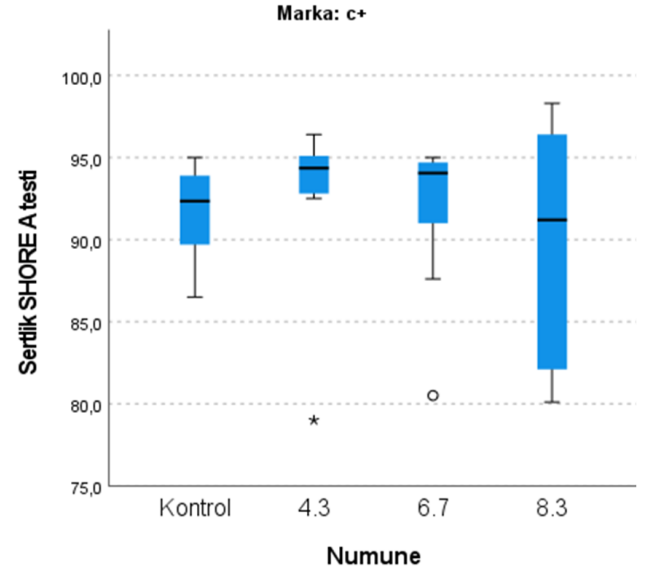
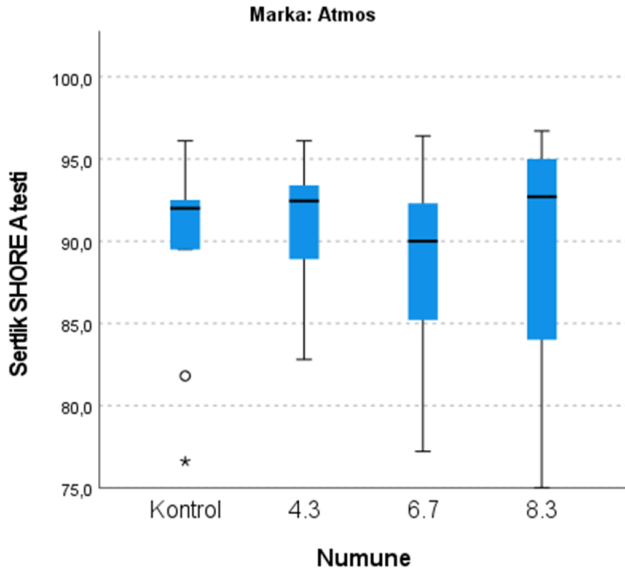
Ort.: Ortalama; SS: Standart Sapma

Tablo Ek 4.3. Sertlik Shore A testi açısından markalar ve numunelere ait yüzde 25. ile 75. değerler ve medyan

	Numune	Marka											
		Atmos			C+			Erkodur			ACE		
		Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.
Sertlik Shore A testi	Kontrol	92,0	87,6	93,2	92,4	89,3	94,1	91,9	87,3	94,3	94,2	93,5	95,0
	4,3	92,5	88,	93,7	94,4	92,7	95,4	94,1	90,7	96,0	94,4	91,6	95,2
	6,7	90,0	85,2	93,2	94,1	90,2	94,8	93,7	92,8	96,1	95,0	91,7	95,6
	8,3	92,7	83,1	95,0	91,2	81,8	96,7	92,7	91,8	94,6	93	89,4	94,8



Şekil 4.5. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait Sertlik Shore A testi tanımlayıcı değerleri



Şekil 4.6. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait Sertlik Shore A testi tanımlayıcı değerleri

4.4 Absorbans Ölçümü Bulguları

Absorbans açısından her bir numunede ayrı ayrı markalar karşılaştırıldığında ve her bir markada ayrı ayrı numuneler karşılaştırıldığında Tablo 4.4.' te ve Tablo Ek 4.4.'te sunulan değerler elde edildi. Tablolar incelendiğinde;

4.4.1 Markalar Arası Farklar

Kontrol numunesinde 4 farklı markanın optik absorbans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark tespit edildi. Kontrol numunesinde Atmos ve C+ markalarının ortalaması diğer 2 markadan anlamlı düzeyde daha düşük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

pH'ı 4,3 olan numunede 4 marka arasında absorbans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark görülmedi.

pH'ı 6,7 olan numunede 4 marka arasında absorbans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark bulundu. C+ markasının ortalaması diğer 3 markadan anlamlı düzeyde daha düşük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

pH'ı 8,3 olan numunede 4 marka arasında absorbans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark bulundu. C+ markasının ortalaması diğer 3 markadan anlamlı düzeyde daha düşük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

4.4.2 Numuneler Arası Farklar

Atmos markasında 4 ayrı numune grubu arasında absorbans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark tespit edilmiştir. Atmos markasında kontrol numunesinin ortalaması pH'ı 6,7 ve pH'ı 8,3 olan numunelerden anlamlı düzeyde düşük bulundu ancak diğer farklar anlamlı çıkmadı.

C+ markasında 4 ayrı numune grubu arasında absorbans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark tespit edilmiştir. C+ markasında pH'ı 8,3 olan numunenin ortalaması diğer 3 numuneden anlamlı düzeyde düşük bulundu ancak diğer 3 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı.

Erkodur ve ACE markalarında 4 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı. Şekil 4.7.'de markaların Şekil 4.8.'de numunelerin kutu grafikleri verilmiştir.

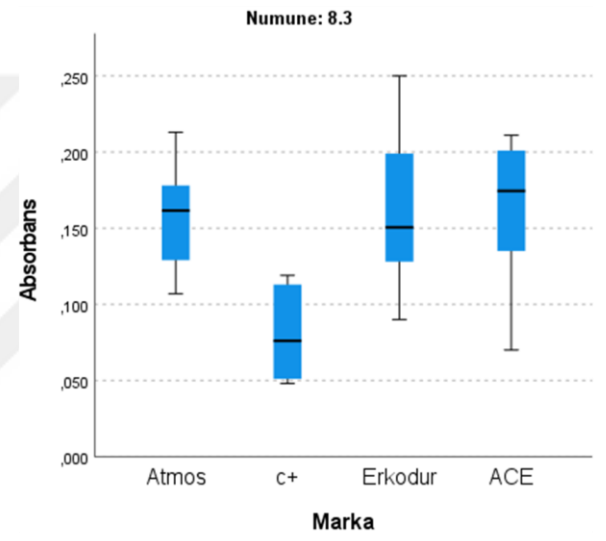
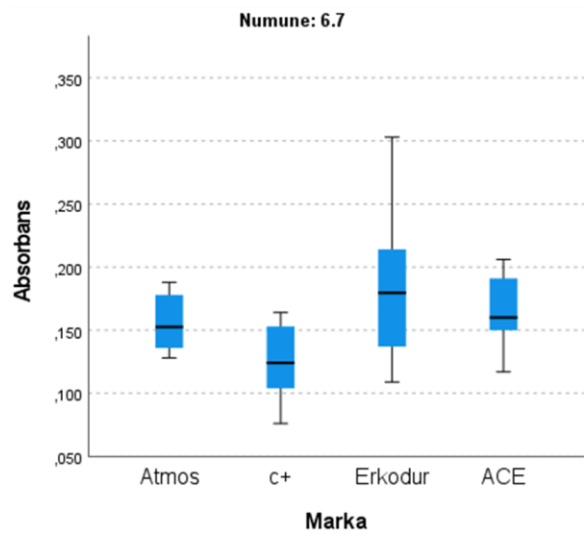
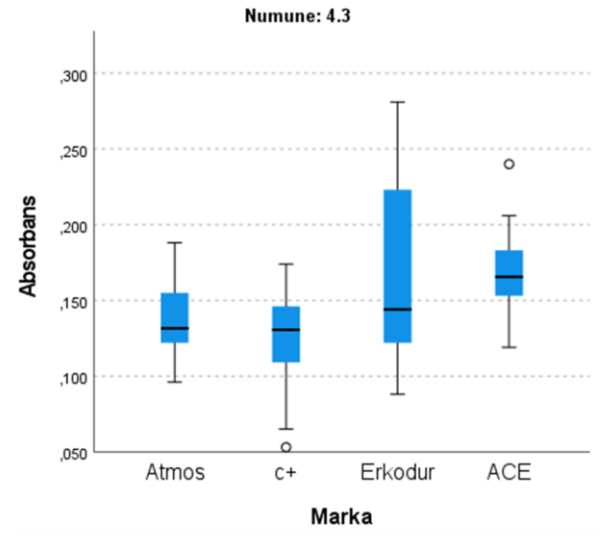
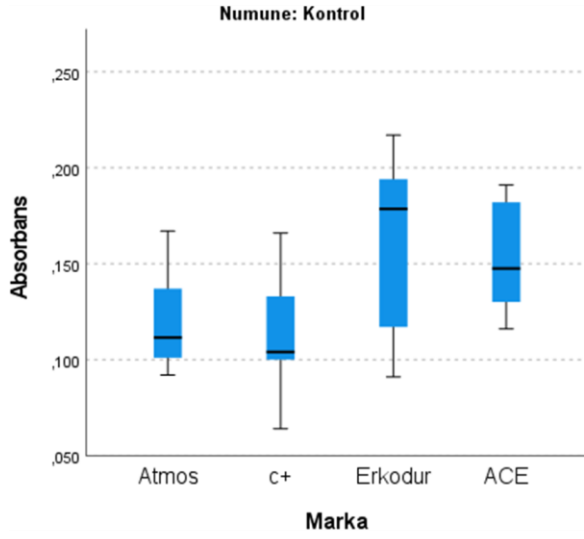
Tablo 4.4. Absorbans bulgularının markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması

	Numune	Marka								P
		Atmos		C+		Erkodur		ACE		
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Absorbans	Kontrol	A0,119 ^a	0,025	A0,113 ^a	0,028	0,161 ^b	0,046	0,152 ^b	0,027	0,016
	4,3	AB0,136	0,027	A0,121	0,038	0,169	0,066	0,170	0,034	0,054
	6,7	B0,157 ^a	0,022	A0,123 ^b	0,031	0,185 ^a	0,056	0,167 ^a	0,027	0,009
	8,3	B0,157 ^a	0,036	B0,082 ^b	0,028	0,162 ^a	0,054	0,161 ^a	0,049	0,001
	P	0,019		0,027		0,775		0,594		

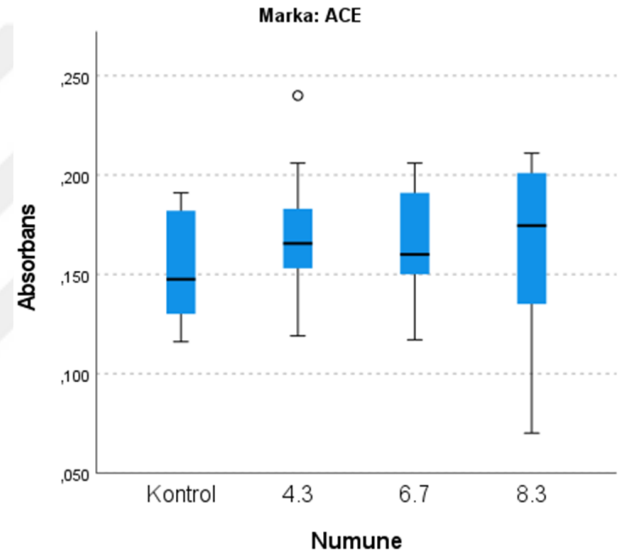
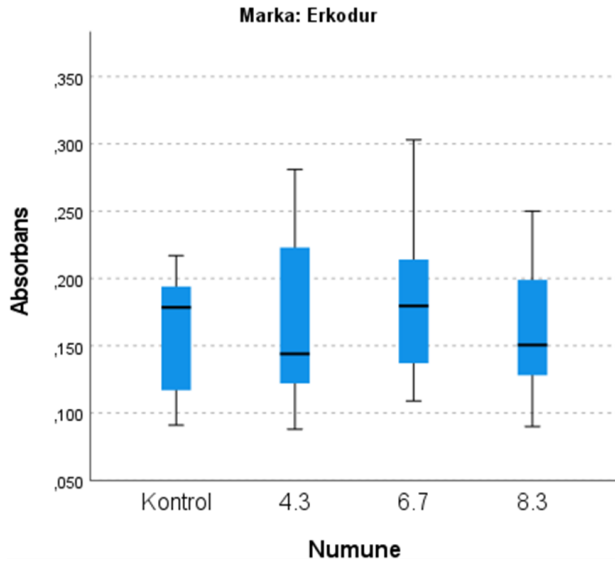
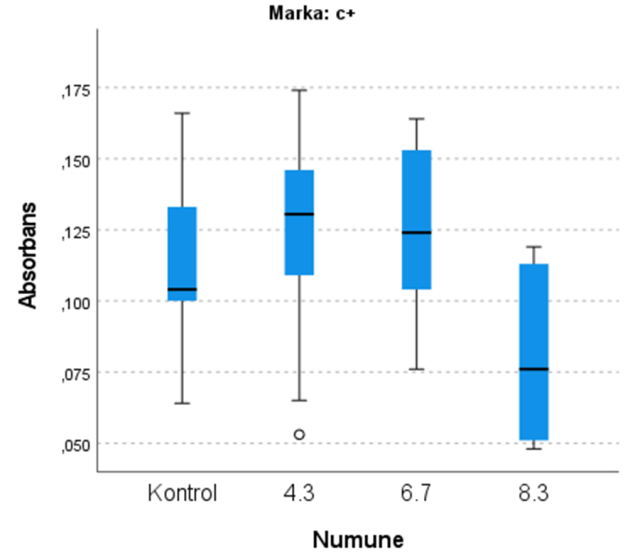
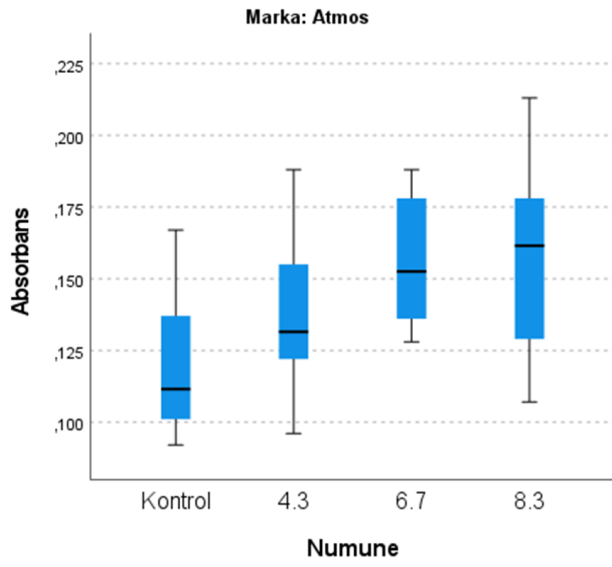
Ortalamaların sağ üst köşesinde yer alan farklı küçük harfler aynı satırdaki markalar arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ortalamaların sol alt köşesinde yer alan farklı büyük harfler aynı sütundaki numuneler arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ort.: Ortalama; SS: Standart Sapma

Tablo Ek 4.4. Absorbans ölçümleri açısından markalar ve numunelere ait yüzde 25. ile 75. değerler ve medyan

	Numune	Marka											
		Atmos			C+			Erkodur			ACE		
		Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.
Absorbans	Kontrol	0,112	0,100	0,141	0,104	0,100	0,136	0,179	0,111	0,195	0,148	0,130	0,182
	4,3	0,132	0,119	0,157	0,131	0,098	0,147	0,144	0,116	0,228	0,165	0,151	0,189
	6,7	0,153	0,136	0,180	0,124	0,099	0,155	0,180	0,135	0,216	0,160	0,150	0,193
	8,3	0,162	0,125	0,184	0,076	0,051	0,113	0,151	0,122	0,210	0,175	0,124	0,201



Şekil 4.7. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait absorbans testi tanımlayıcı değerleri



Şekil 4.8. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait absorbans testi tanımlayıcı değerleri

4.5 Transmittans Ölçüm Bulguları

Transmittans açısından her bir numunede ayrı ayrı markaların ve her bir markada ayrı ayrı numunelerin karşılaştırılması Tablo 4.5.' te ve Tablo 4.5. Ek'te sunulmuştur. Tablolar incelendiğinde;

4.5.1 Markalar arası farklar

Kontrol numunesinde 4 farklı markanın transmittans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark bulundu. Kontrol numunesinde 4 farklı markanın transmittans ölçümü karşılaştırmasında Atmos ve C+ markalarının ortalaması diğer 2 markadan anlamlı düzeyde daha büyük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

pH' ı 4,3 olan numunede 4 farklı markanın transmittans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark bulundu. Atmos ve C+ markalarının ortalaması diğer 2 markadan anlamlı düzeyde daha büyük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

pH' ı 6,7 olan numunede 4 farklı markanın transmittans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark bulundu. C+ markasının ortalaması diğer 3 markadan anlamlı düzeyde daha büyük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

pH' ı 8,3 olan numunede 4 farklı markanın transmittans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark bulundu. C+ markasının ortalaması diğer 3 markadan anlamlı düzeyde daha büyük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

4.5.2 Numuneler arası farklar

Atmos markasında 4 farklı numune grubunun transmittans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark bulundu. Kontrol numunesinin ortalaması pH' ı 6,7 ve pH' ı 8,3 olan numunelerden anlamlı düzeyde büyük olarak tespit edildi ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

C+ markasında 4 farklı numune grubunun transmittans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark tespit edildi. pH' ı 8,3 olan numunenin ortalaması diğer 3 numuneden anlamlı düzeyde yüksek görüldü ancak diğer 3 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı.

Erkodur ve ACE markalarında 4 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı.

Şekil 4.9.'da markalara Şekil 4.10.'da numunelere ait kutu grafikleri verilmiştir.



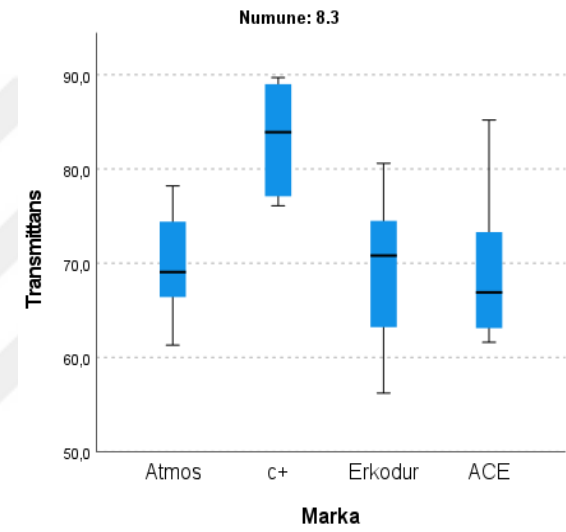
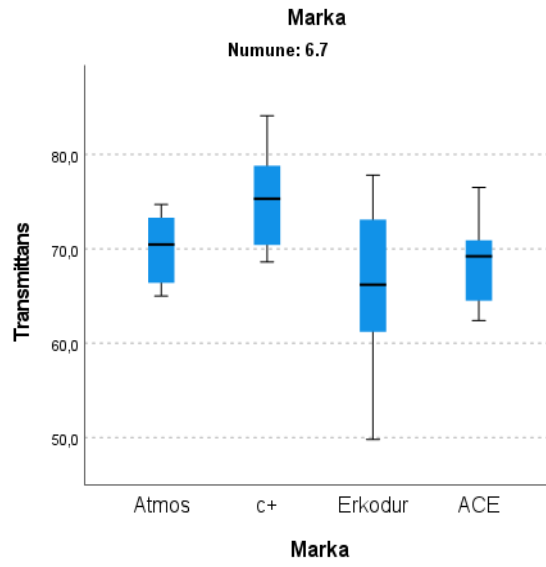
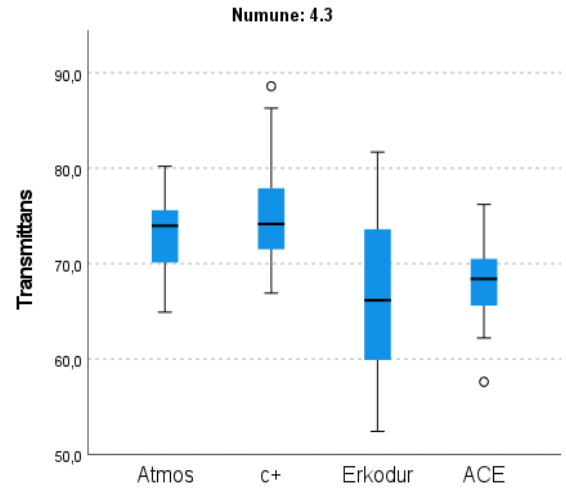
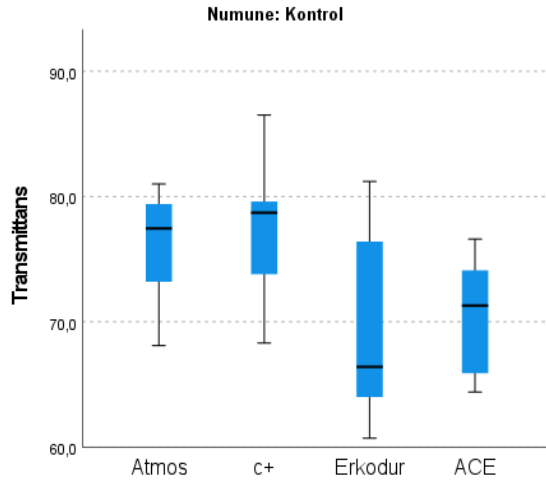
Tablo 4.5. Transmittans ölçümlerinin markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması

		Marka								
	Numune	Atmos		C+		Erkodur		ACE		
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	<i>P</i>
Transmittans	Kontrol	A76,26 ^a	4,33	A77,27 ^a	5,03	69,43 ^b	7,55	70,63 ^b	4,38	0,017
	4,3	AB73,31 ^a	4,46	A75,99 ^a	6,87	67,04 ^b	10,05	67,84 ^b	5,21	0,031
	6,7	B69,91 ^b	3,51	A75,68 ^a	5,33	65,88 ^b	8,13	68,26 ^b	4,31	0,008
	8,3	B70,00 ^b	5,80	B83,04 ^a	5,28	69,37 ^b	8,31	69,45 ^b	8,14	0,001
	<i>P</i>	0,019		0,028		0,737		0,584		

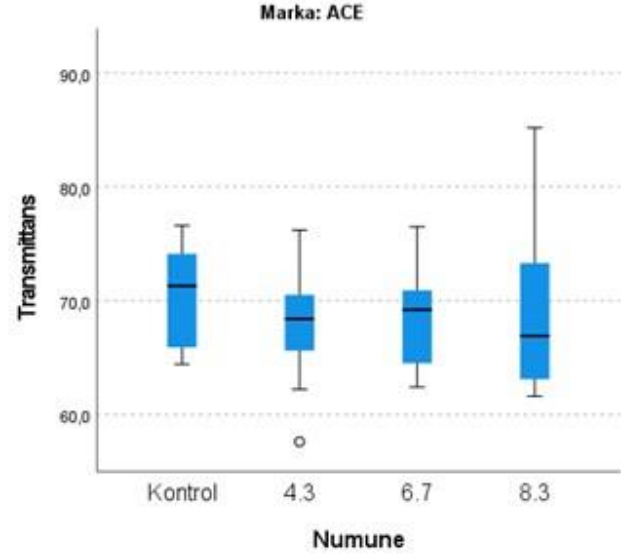
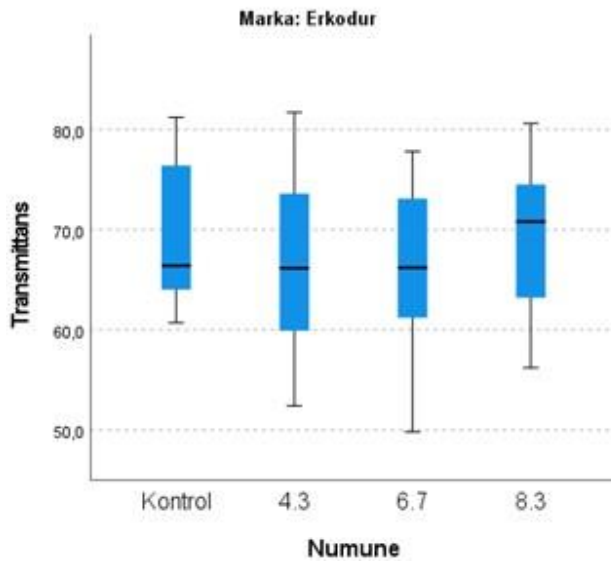
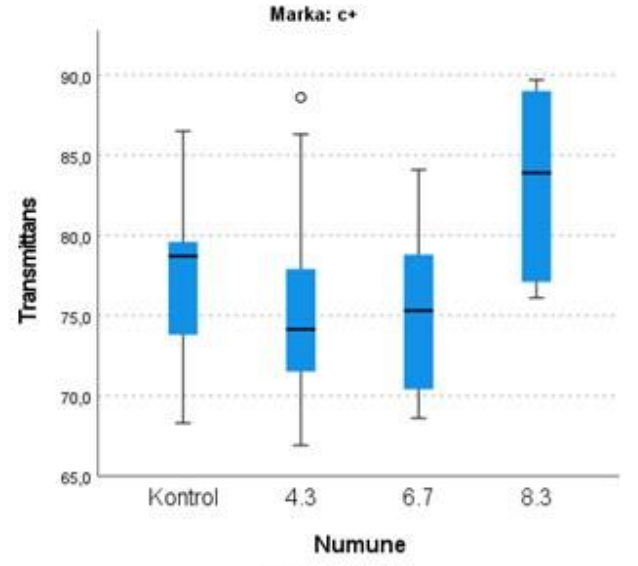
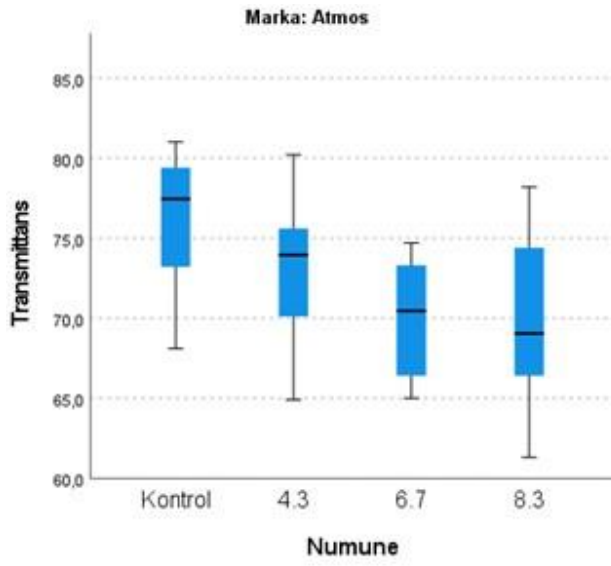
Ortalamaların sağ üst köşesinde yer alan farklı küçük harfler aynı satırdaki markalar arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ortalamaların sol alt köşesinde yer alan farklı büyük harfler aynı sütundaki numuneler arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ort.: Ortalama; SS: Standart Sapma

Tablo Ek 4.5. Transmittans ölçümleri açısından markalar ve numunelere ait yüzde 25. ile 75. değerler ve medyan

		Marka											
	Numune	Atmos			C+			Erkodur			ACE		
		Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.
Transmittans	Kontrol	77,45	72,50	79,65	78,70	73,32	79,65	66,40	63,82	77,45	71,3	65,85	74,23
	4,3	73,95	69,80	76,10	74,15	71,27	80,00	66,15	59,20	75,13	68,4	64,75	70,90
	6,7	70,450	66,10	73,300	75,30	70,17	79,80	66,20	60,92	73,35	69,2	64,27	70,93
	8,3	69,05	65,60	75,07	83,90	77,05	89,03	70,80	61,67	75,57	66,9	63,05	75,25



Şekil 4.9. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait transmittans testi tanımlayıcı değerleri



Şekil 4.10. Her bir markada ayrı ayrı numunelere ait transmittans testi tanımlayıcı değerleri

4.6 İlk kütle, Son kütle ve Kütle değişimi (Son Kütle – İlk Kütle Farkı) Bulguları

Her bir numunede ayrı ayrı markalar karşılaştırıldığında ve her bir markada ayrı ayrı numuneler karşılaştırıldığında Tablo 4.6.' da ve Tablo Ek 4.6.'da sunulan değerler elde edildi. Tablo incelendiğinde;

4.6.1 Markalar Arası Farklar

pH'ı 4,3 olan numune grubunda 4 farklı markanın hem ilk kütle hem de son kütle ölçümlerinin karşılaştırmalarında anlamlı fark tespit edildi. Atmos markasının ortalaması diğer 3 markadan da anlamlı düzeyde yüksek bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

pH'ı 6,7 olan numune grubunda 4 farklı markanın hem ilk kütle hem de son kütle ölçümlerinin karşılaştırmalarında anlamlı fark görüldü. Atmos markasının ortalaması en büyük, bunu Erkodur markasının takip ettiği diğer iki markanın ise en düşük ortalamaya sahip olduğu görüldü.

pH'ı 8,3 olan numune grubunda 4 farklı markanın ilk kütle ve son kütle ölçümlerinin ayrı ayrı karşılaştırmalarında anlamlı fark tespit edilmedi.

Tüm numune gruplarında son kütleden ilk kütle çıkarılarak bulunan kütle değişimi karşılaştırmasında 4 marka arasında anlamlı farklar görüldü. pH' ı 4,3 olan numunede en büyükten küçüğe doğru sırasıyla değişim ortalaması Atmos, Erkodur, ACE ve C+ markalarında bulundu. Ayrıca pH' ı 6,7 olan numunede en fazla değişim Atmos markasında, bunu Erkodur markasının izlediği ve en düşük ortalamanın ise diğer 2 markada olduğu belirlendi. pH' ı 8,3 olan numunede ise en fazla değişim Erkodur markasında, bunu Atmos markasının izlediği ve sonrasında ise sırasıyla ACE ve C+ markalarının izlediği belirlendi.

4.6.2 Numuneler Arası Farklar

Atmos markasında 4 farklı numune grubunun ilk kütle ve son kütle ölçümlerinin ayrı ayrı karşılaştırmasında anlamlı fark bulunmuştur. Atmos markasında pH' ı 6,7 olan numunenin ortalaması pH' ı 8,3 olan numuneden anlamlı düzeyde yüksek bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

Buna karşın C+, Erkodur ve ACE markalarında 4 numune arasında anlamlı fark yoktur.

Atmos markasında 4 farklı numune grubunun kütle değişimi ölçümlerinin karşılaştırılmasında anlamlı fark görüldü. Atmos markasında pH' ı 6,7 olan numunenin ortalaması diğer 2 numuneden anlamlı düzeyde büyük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

Erkodur markasında 4 farklı numune grubunun kütle değişimi ölçümlerinin karşılaştırılmasında anlamlı fark görüldü. Kütle değişimi açısından incelendiğinde, Erkodur markasında pH' ı 4,3 ve pH' ı 6,7 olan numunelerin ortalaması pH' ı 8,3 olan numuneden anlamlı düzeyde düşük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı.

Kütle değişimi açısından incelendiğinde, C+ ve ACE markalarında numuneler arasında anlamlı farka rastlanmadı.

Şekil 4.11.'de markalara ait ilk ve son kütle ortalamalarını, Şekil 4.12.'de numunelere ait ilk kütle ortalamalarını ve Şekil 4.13.'te numunelere ait son kütle ortalamalarını gösteren kutu grafikleri verilmiştir.

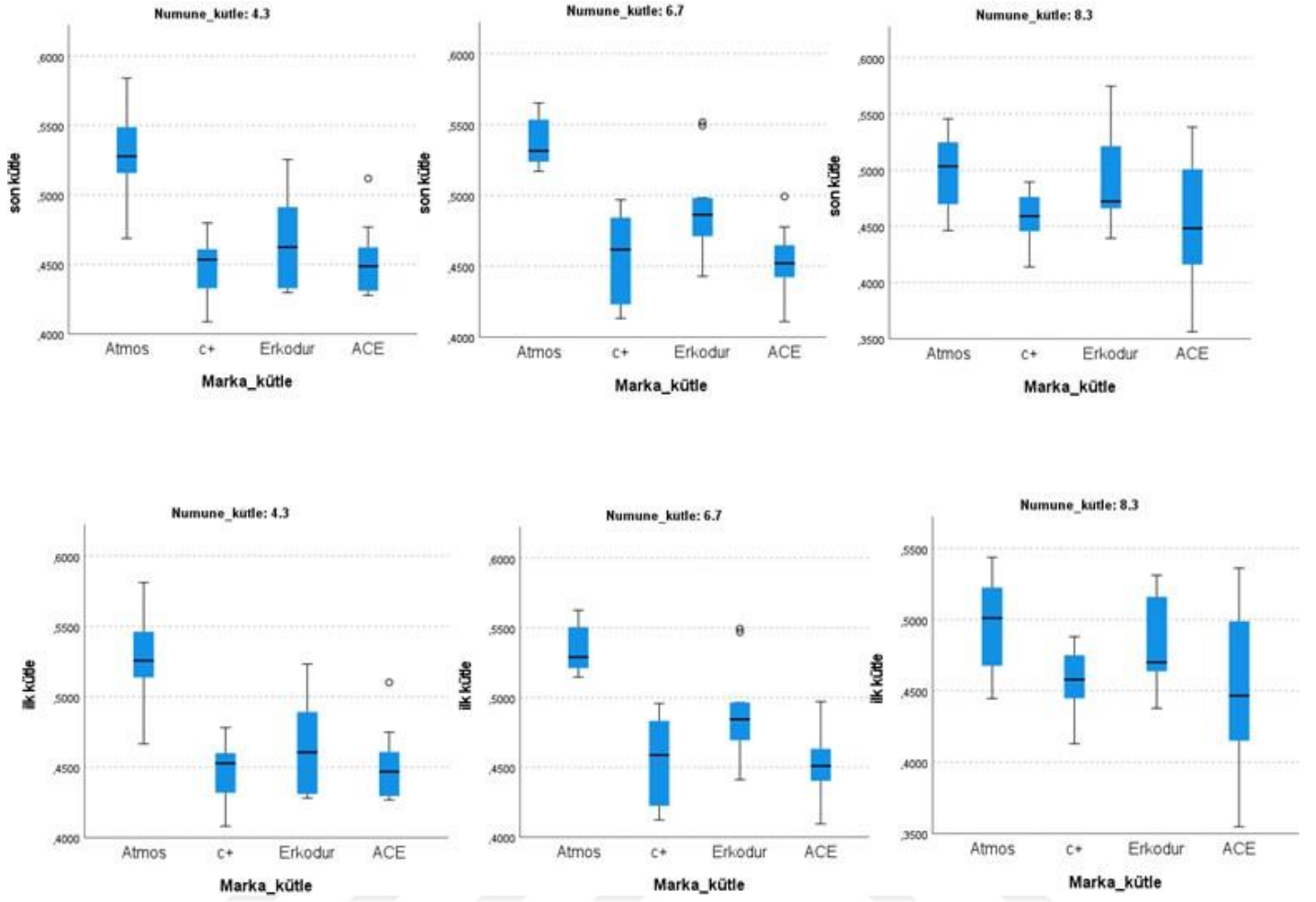
Tablo 4.6. İlk kütle, son kütle ve kütle değişiminin markalar ve numuneler arasında karşılaştırılması

	Numune	Marka								P
		Atmos		C+		Erkodur		ACE		
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
İlk kütle	4,3	AB0,524 ^a	0,033	0,448 ^b	0,021	0,466 ^b	,033	0,452 ^b	0,026	<0,001
	6,7	A0,535 ^a	0,018	0,457 ^c	0,030	0,490 ^b	,034	0,453 ^c	0,023	<0,001
	8,3	B0,499	0,034	0,458	0,022	0,483	,033	0,454	0,059	0,057
	P	0,048		0,572		0,310		0,873		
Son kütle	4,3	AB0,526 ^a	0,034	0,449 ^b	0,022	0,468 ^b	,034	0,453 ^b	0,026	<0,001
	6,7	A0,537 ^a	0,018	0,459 ^c	0,031	0,492 ^b	,035	0,455 ^c	0,024	<0,001
	8,3	B0,501	0,034	0,459	0,022	0,492	,043	0,456	0,059	0,053
	P	0,042		0,519		0,318		0,897		
Kütle değişimi (son kütle – ilk kütle Farkı)	4,3	B0,0023 ^a	0,0003	0,0011 ^d	0,0004	A0,0020 ^b	,0289	0,0016 ^c	0,0003	<0,001
	6,7	A0,0026 ^a	0,0002	0,0015 ^c	0,0013	A0,0020 ^b	,0002	0,0015 ^c	,0004	<0,001
	8,3	B0,0021 ^b	0,0003	0,0011 ^c	0,0002	B0,0085 ^a	,0192	0,002 ^d	0,0475	<0,001
	P	0,003		0,777		0,030		0,857		

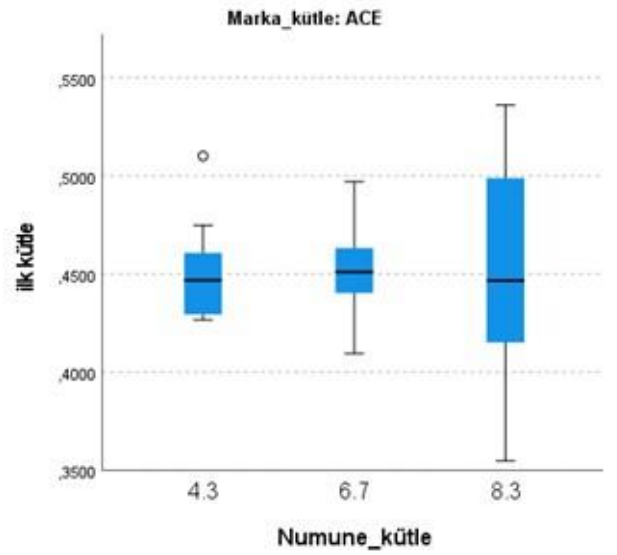
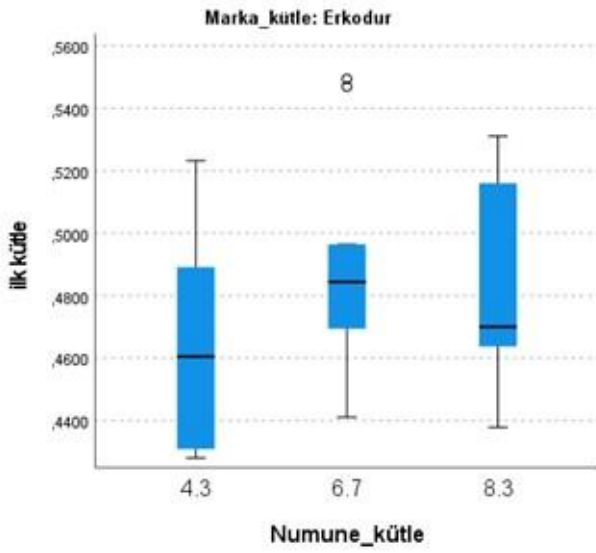
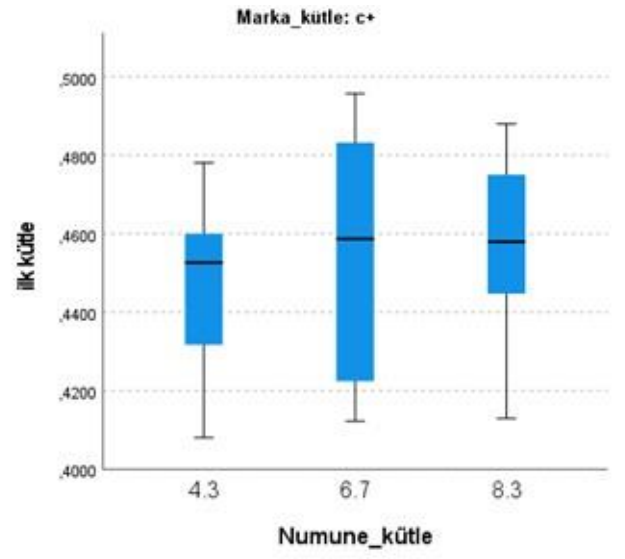
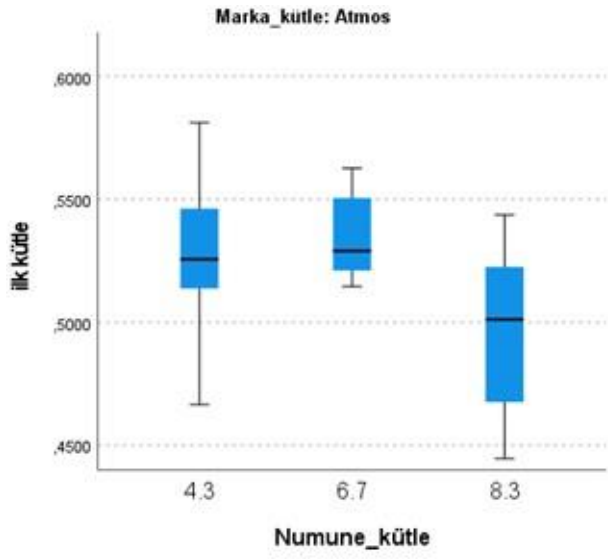
Ortalamaların sağ üst köşesinde yer alan farklı küçük harfler aynı satırdaki markalar arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ortalamaların sol alt köşesinde yer alan farklı büyük harfler aynı sütundaki numuneler arasındaki anlamlı farklılığı göstermektedir. Ort.: Ortalama; SS: Standart Sapma

Tablo Ek 4.6. İlk kütle, son kütle ve kütle değişimi açısından markalar ve numunelere ait yüzde 25., ve 75. değerleri ve medyan

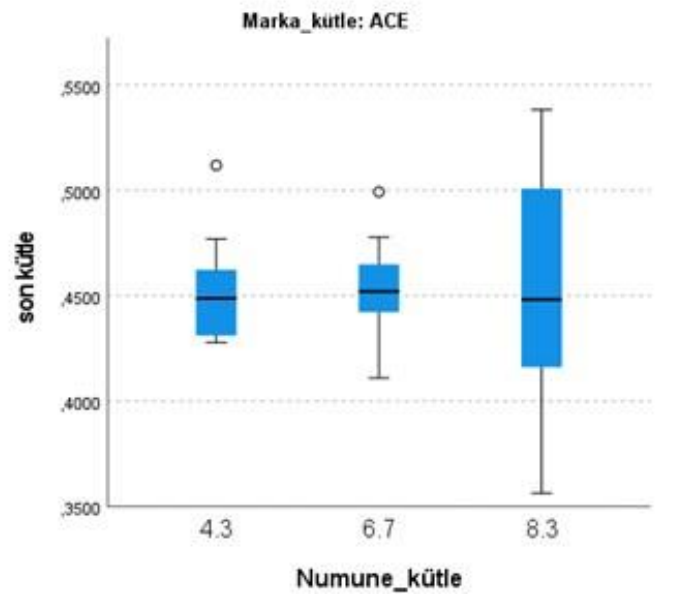
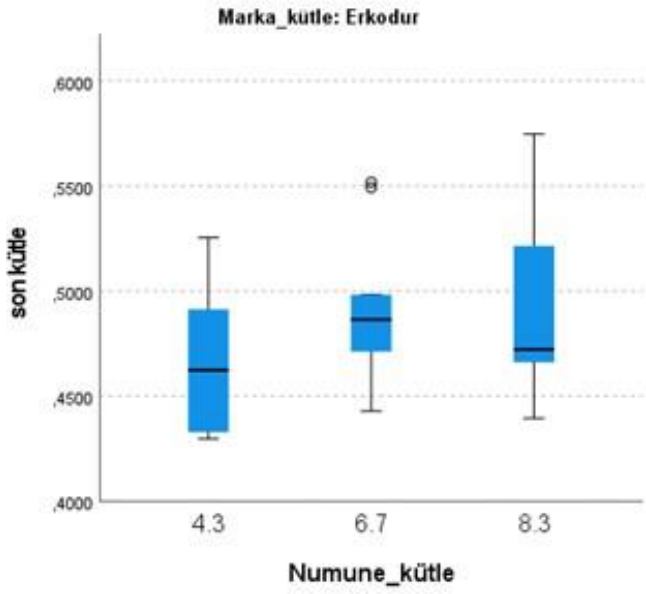
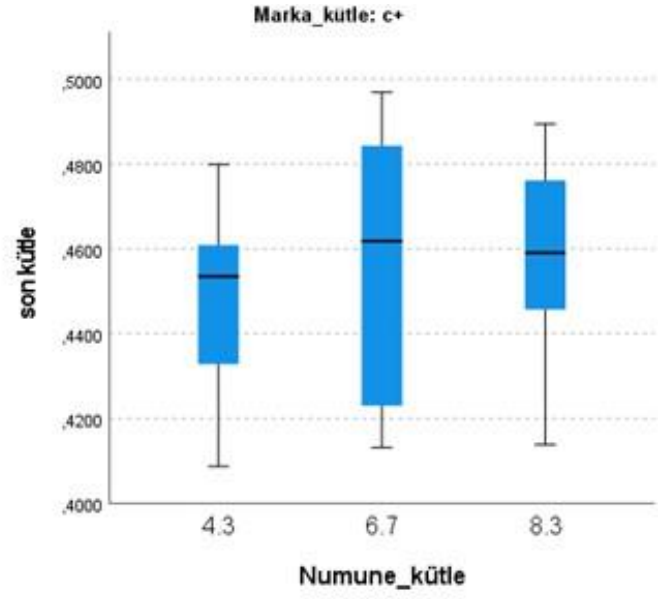
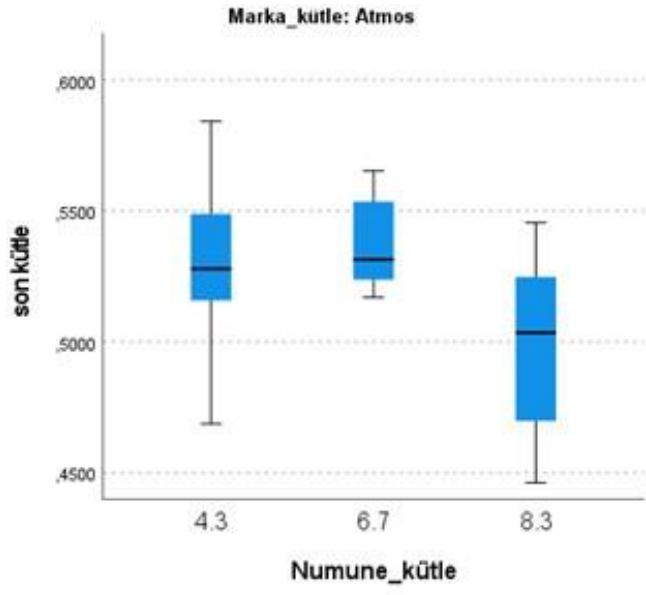
		Marka											
	Numune	Atmos			C+			Erkodur			ACE		
		Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.	Medyan	25.	75.
İlk kütle	4,3	0,526	0,506	0,547	0,453	0,431	0,463	0,461	0,431	0,492	0,447	0,429	0,464
	6,7	0,529	0,519	0,553	0,459	0,422	0,484	0,484	0,468	0,509	0,451	0,440	0,466
	8,3	0,501	0,465	0,527	0,458	0,445	0,478	0,470	0,459	0,517	0,447	0,409	0,506
Son kütle	4,3	0,528	0,508	0,549	0,454	0,432	0,464	0,462	0,433	0,494	0,449	0,430	0,466
	6,7	0,531	0,522	0,556	0,462	0,423	0,485	0,486	0,470	0,511	0,452	0,441	0,468
	8,3	0,503	0,467	0,530	0,459	0,446	0,479	0,472	0,462	0,525	0,448	0,410	0,508
Kütle değişimi (son kütle – ilk kütle Farkı)	4,3	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
	6,7	0,003	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
	8,3	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	-0,006	0,009



Şekil 4.11. Her bir numunede ayrı ayrı markalara ait ilk ve son kütle testi tanımlayıcı değerleri



Şekil 4.12. Her bir markada ayrı ayrı ilk kütle testi tanımlayıcı değerleri



Şekil 4.13. Her bir markada ayrı ayrı son kütle testi tanımlayıcı değerleri

5. TARTIŞMA

Ortodontik tedavi sonrası retansiyon; literatüre göre, vakaların yaklaşık %70'inin nüksle sonuçlandığı göz önünde bulundurulduğunda tedavi için oldukça önemli bir konudur (Arvystas, 1996; Green, 2013). Ortodontik tedavide retansiyon, çıkarılabilir veya sabit retainerlar kullanılarak sağlanabilir (Littlewood ve ark., 2006). Son yıllarda, üretim kolaylığı ve yüksek estetik özellikleri nedeniyle VŞR'lerin popülaritesi artmıştır (Chang ve ark., 2014). Ancak bu popülarite artışına rağmen, farklı pH koşullarına mağruz kalan VŞR'lerin mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimi inceleyen detaylı çalışmalar yeterli değildir.

5.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; Essix Ace, Essix C+, Erkodur ve Atmos olmak üzere 4 farklı VŞR markasının asidik (4,3 pH), nötr (6,7 pH) ve bazik (8,3 pH) ortamlarda 37 derece sıcaklıkta 14 gün süre ile inkübe edilmesi sonrası meydana gelen fiziksel, mekanik ve optik özellik değişimlerinin in-vitro karşılaştırılmasıdır.

İn-vitro çalışmalar, araştırmacıya deneysel koşullar üzerinde yüksek düzeyde kontrol imkânı sağlayarak karmaşık biyolojik süreçlerin temel mekanizmalarının izole bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır. Çevresel faktörlerin tam olarak standardize edilebilmesi, biyolojik ortamdaki değişkenliği ortadan kaldırarak elde edilen sonuçların tekrarlanabilirliğini ve istatistiksel güvenilirliğini artırır. Ayrıca in-vitro modeller, etik açıdan canlı denek kullanımına gerek duyulmaması, kısa uygulama süresi gibi avantajlar sunar.

Bu tezde in-vitro tasarımın tercih edilmesinin temel nedeni, termoplastik retainer materyallerinin (Atmos, Essix Ace, Essix C+ ve Erkodur) farklı pH koşulları altında gösterdiği fiziksel, mekanik ve optik değişimlerin dış etkilerden arındırılmış, tamamen kontrollü bir ortamda değerlendirmektir. Ağız ortamında pH, sıcaklık, tükürük akışı, mekanik çiğneme kuvvetleri ve mikrobiyal aktivite sürekli değiştiği için, yalnızca pH'ın materyal üzerindeki etkisini ayırtmak klinik olarak mümkün değildir. İn-vitro bir model kullanarak her bir pH grubunda (asidik 4,3; nötr 6,7; bazik 8,3) daldırma süreleri, sıcaklık, numune geometrisi, cihaz parametreleri (transmittans ölçümleri, mekanik test protokolleri vb.) ve kurutma-tartım aşamaları tamamen standardize edilmiştir. Böylece materyaller arasındaki farklar yalnızca kontrol edilen değişkenlerden kaynaklanmış ve bulguların

karşılaştırılabilirliği artmıştır. Ayrıca uzun süreli daldırma, yüksek hassasiyetli optik ölçümler, mekanik testler ve kütle değişimlerinin tekrarlı değerlendirilmesi gibi klinik ortamda uygulanması mümkün olmayan testlerin yalnızca in-vitro düzeneklerde gerçekleştirilebilmesi, bu çalışma için laboratuvar koşullarını daha elverişli hale getirmiştir. Tüm bu nedenlerle, çalışma kapsamında elde edilen bulguların güvenilirliğini artırmak amacıyla in-vitro model en uygun yaklaşım olarak tercih edilmiştir.

Ryokawa ve arkadaşları (Ryokawa ve ark., 2006), dental termoplastik materyallerin mekanik özelliklerini simüle edilmiş intraoral ortamda değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda sekiz farklı materyal [Etilen vinil asetat kopolimer (Bioplast), Polietilen (Copolyplast), PETG (Duran), PP (Hardcast), Polikarbonat (Imprelon S), kopoliester (Essix A+), polipropilen etilen kopolimer (Essix C+), PU (Invisalign)] üzerinde su emilimi, termoformlama ve su absorpsiyonu sonrası kalınlık değişimi değerlendirilmiş ve çekme testleri uygulanmıştır. Çalışmada özellikle sıcaklık (37 °C) ve su emilimi gibi çevresel faktörlerin mekanik davranış üzerindeki etkileri araştırılmış, sonuç olarak VŞR materyallerinin nem ve sıcaklıktan etkilendiği ortaya konmuştur.

Ryokawa ve arkadaşlarının (Ryokawa ve ark., 2006) çalışması, termoplastik materyallerin çevresel koşullara duyarlılığını ortaya koyan temel araştırmalardan biridir. Bu sonuçlar, dental termoplastik materyallerin mekanik özelliklerinin çevresel faktörlere bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca davranış değişikliklerinin moleküler yapı ve zincir yönelimine bağlı olduğu bildirilmiştir (Ryokawa ve ark., 2006). Ancak onların çalışmasında çevresel etken yalnızca su ve sıcaklıkla sınırlı tutulmuş, pH değişimlerinin etkisi değerlendirilmemiştir. Bu eksikliğin, mevcut çalışmada kontrollü pH ortamlarının (4,3; 6,7; 8,3) kullanılmasıyla giderilmesi düşünülmüştür ve çevresel kimyasal değişkenin materyal davranışı üzerindeki etkisinin izole biçimde incelenmesi amaçlanmıştır.

Ryu ve arkadaşları (Ryu ve ark., 2018), şeffaf ortodontik hizalayıcıların üretiminde kullanılan termoplastik materyallerde termoformlama işleminin fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda dört farklı materyal (Duran, Essix A+, Essix ACE ve eCligner) farklı kalınlıklarda termoformlanarak, şeffaflık, su emilimi, çözünürlük, yüzey sertliği, eğilme ve çekme testleri açısından termoformlama öncesi ve sonrası karşılaştırılmıştır.

Bu yönüyle Ryu ve arkadaşlarının (Ryu ve ark., 2018) çalışması, termoformlama sonrası fiziksel özelliklerin değişimini ortaya koyarak VŞR ve şeffaf hizalayıcı materyallerinde üretim sürecinin önemini vurgulamaktadır. Ancak bu çalışmada çevresel faktörler (örneğin pH veya kimyasal maruziyet) dikkate alınmamış, yalnızca termoformlama sonrası mekanik değişiklikler değerlendirilmiştir. Mevcut çalışmamızda ise termoformlama sonrası örnekler, farklı pH koşullarında (4,3; 6,7; 8,3) inkübe edilerek çevresel kimyasal değişimlerin optik, mekanik ve fiziksel parametreler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Böylece bu tez, termoformlama odaklı modeli çevresel etki boyutuyla genişleterek klinik açıdan daha kapsamlı bir değerlendirme sağlamayı amaçlamaktadır.

Alfadil ve arkadaşları (Alfadil ve ark., 2024), beş farklı VŞR materyalinin uzun ömürlülük, aşınma özellikleri ve rijitlik açısından in-vitro farklılıklarını karşılaştırmayı ve bu materyallerin transversal stabilite üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada Duran 1-1,5 (PETG), Essix C+ (PP), Zendura (PU) ve Vivera (PU) materyalleri, sadece termoformlanmış ve termoformlama sonrası aşınma testine maruz bırakılmış olmak üzere iki gruba ayrılarak yapay tükürük ve deiyonize su içinde test edilmiştir. Değerlendirilen parametreler arasında su emilimi, aşınma direnci, yüzey sertliği, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ile hidrolitik stabilite ve transversal deformasyon yer almıştır. Alfadil ve arkadaşları (Alfadil ve ark., 2024), retainer materyallerinin hidrolitik stabilite ve yapısal rijitlik özelliklerini inceleyen kapsamlı bir çalışma yapmış olmakla birlikte, çevresel faktör olarak yalnızca deiyonize su ve yapay tükürük kullanmış, pH değişimlerini değerlendirmemiştir. Mevcut çalışmada ise, materyal tabanlı yaklaşıma ilave olarak pH değişkeninin etkisinin de değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Böylece VŞR materyallerinin klinik dayanıklılığına ilişkin daha bütüncül bir bakış açısı kazandırmak hedeflenmiştir.

Albilali ve arkadaşları (Albilali ve ark., 2023a), termoformlama ve termal siklus uygulamasının ardından farklı VŞR materyallerinin mekanik davranışındaki değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada altı farklı materyal; eğilme modülü, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü parametreleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu araştırma, retainer materyallerinin termal değişimlere karşı dayanıklılığını ortaya koyması bakımından literatürde önemli bir referans niteliğindedir. Ancak burada çevresel değişken yalnızca sıcaklıkla sınırlı tutulmuş, pH değişimlerinin kimyasal ve fiziksel etkileri değerlendirilmemiştir. Mevcut çalışmada ise test ortamı farklı pH

koşullarını içerecek biçimde yeniden yapılandırılmıştır, ayrıca farklı tipte VŞR'lerin incelenmesi hedeflenmiştir. Böylelikle yalnızca ısısal etkiler değil, asidik, nötr ve bazik koşulların mekanik ve optik özellikler üzerindeki etkileri de sistematik biçimde gözlemlenmiştir.

Wible (Wible, 2017), Essix ACE ve Essix C+ retainer materyallerinde sekiz farklı temizleme yönteminin uzun dönem etkilerini incelemiştir. Çalışmanın temel hedefi, bu materyallerin esneklik, yüzey pürüzlülüğü ve translüenslik değerlerindeki değişimleri altı aylık süreçte değerlendirmektir. Bu yönüyle çalışma, VŞR'lerin kimyasal ajanlara maruziyetine ilişkin ilk uzun süreli in-vitro araştırmalardan biri olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, kullanılan solüsyonlar farklı aktif bileşenler içerdiğinden (etanol, hipoklorit, peroksit, klorheksidin vb.), yalnızca pH değişiminin etkisi izole olarak değerlendirilememiştir. Mevcut tezde ise, kimyasal bileşen farkları elimine edilmiş ve doğrudan pH değişkeninin sistematik biçimde test edilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede, pH temelli klinik koruyuculuk önerilerinin geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir. Ayrıca Wible'ın çalışmasından farklı olarak, transmittans, absorbans, çekme dayanımı, sertlik, çözünürlük ve su absorpsiyonuna bağlı kütle değişimi gibi farklı testler de dahil edilmiştir.

Özay, Marşan ve Aydemir'in (Özay ve ark., 2022) çalışmasında, farklı şeffaf plak materyallerinin mekanik davranışlarındaki farklılıkların ortodontik kuvvet üretimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amaçlanmıştır. Altı farklı termoplastik materyal üzerinde (CA Pro, GT Flex, Zendura Flex, Zendura, Taglus, GT Pro) yapılan çekme testleri, bu materyallerin elastisite modülü, çekme dayanımı ve kopma uzaması gibi temel mekanik parametrelerde anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu araştırma, şeffaf plak materyallerinin mekanik karakterizasyonu konusunda önemli bir veri sağlamaktadır. Ancak çalışmada çevresel faktörler (örneğin pH, sıcaklık veya nem değişimleri) sabit tutulmuş; dolayısıyla materyallerin bu koşullar altındaki davranışı değerlendirilmemiştir. Mevcut tezde ise yine mekanik test yöntemi benimsenmiş, fakat değerlendirme farklı pH ortamlarında gerçekleştirilerek çevresel kimyasal etkiler de sisteme dahil edilmiştir. Bu sayede, yalnızca başlangıç özellikleri değil, ağız ortamını simüle eden pH koşullarında malzemelerin davranışının da karşılaştırmalı biçimde ortaya konması amaçlanmıştır.

Porojan ve arkadaşları (Porojan ve ark., 2024), dört farklı PETG esaslı termoplastik dental materyalde farklı pH koşullarının su Emilimi, çözünürlük ve yüzey topografisi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada Leone, Crystal, Erkodur ve Duran materyalleri, asidik, nötr ve bazik yapay tükürük çözeltilerinde değerlendirilmiş, hem mikro hem nano ölçekte yüzey pürüzlülüğü analiz edilmiştir. Porojan ve arkadaşlarının (Porojan ve ark., 2024) çalışması, VŞR materyallerinin pH kaynaklı hidrofilik davranışını detaylı biçimde inceleyen ender araştırmalardan biridir. Ancak inceleme yalnızca PETG esaslı materyallerle sınırlı kalmış; PP veya PU bazlı materyaller dahil edilmemiştir. Mevcut tezde, benzer pH koşullarının farklı kimyasal kompozisyonlara sahip (PP, PETG) retainer materyallerine etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca Porojan'ın çalışmasında yalnızca su absorpsiyonu, çözünürlük ve yüzey topografisi analiz edilirken, bu tezde ek olarak transmittans-absorbans, sertlik ve çekme dayanımı ve elastisite modülü parametreleri de incelenerek, bulgular optik ve mekanik yönleriyle de değerlendirilmektedir. Böylelikle pH odaklı yaklaşım daha geniş materyal ve yöntem setiyle derinleştirilerek, VŞR'lerin fiziksel-optik-mekanik stabilitesine yönelik literatürdeki değerlendirmeyi daha kapsamlı hale getirmek amaçlanmıştır.

Porojan ve arkadaşlarının (Porojan ve ark., 2023) bir başka çalışmasında, PETG esaslı termoplastik dental aparat materyallerinin su sorpsiyonu ile ilişkili optik ve topografik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Araştırmada hem mikro hem nano ölçekli yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiş; optik analizde CIE L a b renk koordinatları üzerinden translüsenslik, opaklık oranı ve opalesans parametreleri hesaplanmıştır. Bulgular, su Emilimi sonrası küttelede anlamlı artışa bağlı olarak pürüzlülük değerlerinde yükselme olduğunu, ancak bu değişimlerin klinik açıdan kritik sınırların altında kaldığını göstermiştir. Ayrıca translüsenslik ile renk koordinatları arasında korelasyon bulunmuştur. Porojan ve arkadaşlarının (Porojan ve ark., 2023) çalışması, termoplastik materyallerin su Emilimi-optik değişim ilişkisini detaylı biçimde ortaya koymuştur. Ancak inceleme yalnızca PETG tabanlı materyaller ile sınırlı kalmış ve pH değişkeni göz ardı edilmiştir. Mevcut tezde ise, optik testler % transmittans ve absorbans olarak değerlendirilmiş olup farklı pH koşullarının etkileri dikkate alınmış; su absorpsiyonu, çekme dayanımı, elastisite modülü ve sertlik ölçümleri pH farklılıklarına bağlı olarak karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu yönüyle bu çalışma, VŞR materyallerinin

çevresel koşullara karşı fiziksel ve optik stabilitesine ilişkin literatürdeki değerlendirmeyi derinleştirmeyi amaçlamıştır.

Alkawari ve arkadaşları (Alkawari ve ark., 2025), üç farklı retainer materyalini simüle edilmiş gastrik asit ortamında (pH 1,2 ve pH 4) değerlendirerek ekstrem asidik ortamların fleksural dayanım, mikrosertlik ve renk stabilitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yazarların vurguladığı ana gerekçe, güncel klinik popülasyonlarda gastroözofageal reflü hastalığı, bulimia ve bariatrik cerrahi sonrası reflü sıklığının artması nedeniyle retainerların düşük pH'a maruz kalma riskinin belirgin şekilde yükselmesidir. Bu yönüyle çalışma, retainer malzemelerinin fizyolojik olmayan çevresel streslere karşı davranışının anlaşılmasının, doğru materyal seçimi ve uzun dönem stabilite açısından zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır. Mevcut çalışma da farklı pH koşullarına karşı VŞR materyallerinin fiziksel, optik ve mekanik dayanıklılığını inceleyerek Alkawari ve arkadaşlarının çalışmasına paralellik göstermektedir. Bununla birlikte iki çalışma arasında metodolojik açıdan belirgin bir ayrım vardır: Alkawari aşırı asidik koşulları simüle ederken, bu tez oral pH'ın fizyolojik varyasyonlarını temsil eden üç farklı pH değerlerini kullanmıştır. Dolayısıyla bu tez çalışması, retainerların günlük klinik ortamı daha gerçekçi biçimde modellediği için orta ve uzun dönem biyomekanik davranışın anlaşılmasında daha doğrudan klinik yansıma sunmayı amaçlamaktadır.

Tamburrino ve arkadaşları (Tamburrino ve ark., 2020), şeffaf plak üretiminde kullanılan üç farklı termoplastik polimerin (Duran, Biolon, Zendura) termoformlama sonrası ve yapay tükürükte bekletme süreçlerine bağlı mekanik değişimlerini incelemişlerdir. Çalışmada ISO 527-1 standardına uygun çekme testleri uygulanmış; her materyal için elastisite modülü ve akma gerilimi değerlendirilmiştir. Tamburino ve arkadaşlarının çalışmasında, çevresel değişken olarak yalnızca nötr pH'taki yapay tükürük kullanılmıştır. Mevcut tezde ise, benzer çekme testi protokolü uygulanmış; ancak örnekler asitik, nötr ve bazik pH koşullarında 14 gün boyunca bekletilerek çevresel kimyasal faktörlerin etkisi de araştırılmıştır. Ayrıca çekme testinin yanı sıra optik ve farklı mekanik fiziksel ölçümlerle çalışmanın detaylandırılması hedeflenmiştir.

Literatürde yer alan mevcut çalışmalar, termoplastik ortodontik materyallerin çevresel faktörler karşısında mekanik, optik ve fiziksel özelliklerinde anlamlı değişiklikler gösterebildiğini ortaya koymuştur. Ancak bu araştırmaların büyük bölümü, termoformlama, kimyasal maruziyet gibi değişkenleri tek başına

izole ederek değerlendirmiş; ağız ortamının dinamik koşullarını aynı deneysel düzlemde bütüncül olarak ele almamıştır. Ayrıca çevresel etken olarak çoğunlukla nötr pH'taki yapay tükürük kullanılmış, farklı pH ortamlarının materyal davranışı üzerindeki etkileri sınırlı biçimde incelenmiştir.

İntraoral ortamdaki enzimler, sıcaklık değişimleri, sürekli tükürük akışı, mikrobiyal kolonizasyon, gıdalarla temas, içeceklerin kimyasal bileşimi, ağız içi mekanik yükler (iğneme, sıkma, bruksizm), CO₂ dengesi, oksidasyon süreçleri ve nem gibi çok sayıda faktör nedeniyle ağız içi ortam oldukça dinamik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, ağız içinde uzun süre kullanılan tüm apareyler gibi VşR'ler de zamanla fiziksel, kimyasal ve mekanik değişimlere maruz kalabilmektedir. Literatürde bu değişimlerin; su emilimi, yüzey pürüzlülüğü, optik özellikler, esneklik/rijitlik, kalınlık stabilitesi ve mikroyapısal bütünlük üzerinde etkili olabileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte, ağız içindeki en hızlı ve en sık değişen parametrelerden birinin pH olduğu bilinmektedir. Yemek yeme sıklığı ve diyet, asitli içecek tüketimi, reflü, mikrobiyal metabolizma ve tükürük tampon kapasitesindeki bireysel farklılıklar nedeniyle oral pH gün içinde defalarca kez dalgalanabilmektedir. Bu nedenle hem asidik hem de bazik ortamların değerlendirilmesi klinik açıdan önem taşımaktadır. Hastalar özellikle retansiyon apareyleri ağızlarındayken içecek tüketebilmektedirler ve bu da apareylerin direkt olarak farklı pH'lardaki sıvılara maruz kalmasına neden olabilmektedir. Oral pH, fizyolojik olarak çoğunlukla nötr seviyelerde seyretse de, bireylerin ağız bakım ürünleri, bazı ağız gargaraları, yüksek pH'lı tükürük varyasyonları, karbonat/bikarbonat içerikli diş macunları ve tükürük tamponlama kapasitesindeki bireysel farklılıklar nedeniyle zaman zaman bazik değerlere yükseldiği bilinmektedir. Karyojenik diyet, düşük pH'lı meyve suları ve gazlı içecekler, bütün ürünlerinin kullanımına bağlı ağız kuruluğu gibi faktörlerse intraoral pH'ı düşüren dişsal faktörlere örnek olabilir. Bu durumlar, özellikle polimer esaslı retainer materyallerinin moleküler yapısını, mekanik dayanımını ve optik özelliklerini doğrudan etkileyebilecek potansiyele sahiptir.

Bu nedenle alışmamızda, VşR'lerin farklı polimerik yapılarda üretilmiş olmalarını da dikkate alarak, değişen pH koşullarının bu materyaller üzerindeki mekanik (Young modülü, çekme dayanımı, sertlik), fiziksel (sıvı absorpsiyonu ve çözünürlük) ve optik (transmittans-absorbans) etkilerini değerlendirmek hedeflenmiştir. Böylece retainerların gerçek ağız ortamını temsil eden pH

değişimlerine karşı davranışlarının ortaya konması amaçlanmıştır. Mevcut çalışmada, önceki araştırmalarda eksik bırakılan bu yönün ele alınması amaçlanmıştır; asidik (pH 4,3), nötr (pH 6,7) ve bazik (pH 8,3) koşulların, dört farklı VŞR materyalinin (Atmos, Essix ACE, Essix C+, Erkodur) mekanik (çekme ve sertlik), optik (transmittans) ve fiziksel (kütle değişimi) özellikleri üzerindeki etkileri çok boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Bu tez çalışması hem kullanılan pH aralıkları hem de uygulanan testlerin çeşitliliği bakımından, VŞR materyallerinin in-vitro olarak farklı pH koşullarında farklı özelliklerini inceleyen literatürdeki en kapsamlı karşılaştırmalı çalışmalardan biri olma amacı taşımaktadır. Çalışmada ayrıca piyasada yeni sayılabilecek ve üzerinde yeterince çalışma yapılmamış bir retainer markası olan Atmos'a da yer verilerek literatürdeki bu eksikliği kapatmak amaçlanmıştır.

5.2 Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Essix ACE, Essix C+, Erkodur ve Atmos marka VŞR materyallerinin seçilmesinin temel nedeni, VŞR'ler arasında klinikte en sık kullanılan polimer ailelerini temsil etmeleridir. Essix C+ PP temelli bir materyal iken, Atmos ve Erkodur PETG esaslı polimer materyali olup Essix ACE ise PET kopoliester içerikli bir polimerdir (Albilali ve ark., 2023a; Albilali ve ark., 2023b; Michelaki, 2024; Porojan ve ark., 2024; Raja ve ark., 2014). Böylece PP, PETG ve kopoliester gibi VŞR üretiminde yaygın kullanılan üç ana termoplastik yapı aynı deneysel çatı altında karşılaştırılabilmektedir.

Üç farklı pH değerinin (4,3; 6,7; 8,3) seçilmesi, VŞR'lerin farklı intraoral kimyasal koşullarda gösterebileceği davranışı değerlendirme amacına dayanmaktadır. Nötr pH 6,7 istirahat halindeki tükürük pH'sını temsil ederken, pH 4,3; gazlı içecekler, sık atıştırma veya reflü gibi durumlarda görülen asidik ortamı, pH 8,3 ise bikarbonat içeriği yüksek hafif bazik koşulları simüle etmektedir. Önceki pek çok çalışma yalnızca distile su veya nötr yapay tükürük kullanırken (Ryokawa ve ark., 2006; Ryu ve ark., 2018; Tamburrino ve ark., 2020), bu tezde asidik–nötr–bazik spektrumun birlikte incelenmesi, günlük yaşamda sık değişen ağız pH'sının VŞR'ler üzerindeki etkisini daha izole bir biçimde incelemek için model sunmayı amaçlamıştır. Wible (Wible, 2017) sekiz farklı temizleme ajanını kullandığı çalışmasında 2 farklı VŞR materyalinde esneklik, yüzey pürüzlülüğü ve translüenslik değerlerindeki değişimleri altı aylık süreçte değerlendirilmiştir. VŞR

materyallerinin çalışmada adı geçen temizleyici ajanlara maruziyet süreleri kısıtlıdır. Oysa oral kavitenin pH değişiklikleri içsel ve dışsal sebeplerle oldukça sık değişiklik göstermektedir. Bu nedenle mevcut çalışmada kimyasal ajanlar, renklendirici solüsyonlar (Zafeiriadis ve ark., 2014) gibi kısa süreli maruziyet oluşturacak faktörler yerine doğrudan pH değişiminin etkisi üzerinde durulmuştur. Ayrıca literatürde pH değişikliğinin VŞR'ler üzerindeki etkisini inceleyen çalışmaların yetersizliği dikkate değerdir.

Numunelerin standart boyutlarda oluşturulması yapılan testlerin karşılaştırılabilir olabilmesi için oldukça önemlidir. Çalışmada mekanik, fiziksel ve optik testlerin uygulanacağı standart boyutlardaki numunelerin vakumla oluşturulacağı prizmatik bir akrilik model üç boyutlu yazıcı ile oluşturulmuştur. Akrilik modelin boyutları, VŞR plaklar model üzerine vakumla şekillendirildikten sonra kemik formdaki numunelerin kesilerek oluşturulması için yeterli olacak büyüklükte seçilmiştir. Vakumla şekillendirme için oluşturduğumuz modelin tasarımı ise Ryu ve arkadaşlarının (Ryu ve ark., 2018) modeline benzerlik göstermektedir.

Numuneler 14 gün boyunca vücut sıcaklığını simüle etmesi amacıyla 37 °C sıcaklıkta solüsyonlarda bekletilmiştir. Sıcaklığın stabilize edilmesi inkübatör kullanılarak sağlanmıştır. Benzer şekilde Porojan ve arkadaşları (Porojan ve ark., 2024) da çalışmalarında numuneleri aynı koşul ve sürelerde inkübe etmiştir. Sıcaklık parametresini çalışmasına dahil eden birçok çalışma da numuneleri 37 °C sıcaklıkta inkübe etmiştir (Alfadil ve ark., 2024; Porojan ve ark., 2024; Ryokawa ve ark., 2006).

Çekme testi, VŞR materyallerinin elastisite modülü ve çekme dayanımını (maksimum çekme mukavemeti) ortaya koymak için uygulanmıştır. Numunelerin ISO 527-2 tip 5B standardına uygun “kemik formda” hazırlanması, termoplastik malzemelerin mekanik değerlendirilmesinde uluslararası kabul görmüş bir geometri kullanılması ve Özay ve arkadaşları (Özay ve ark., 2022), Tamburrino ve arkadaşları (Tamburrino ve ark., 2020) ve Alfadil ve arkadaşları (Alfadil ve ark., 2024) gibi aynı şekilde numune hazırlamış olan çalışmalarla doğrudan kıyaslama yapılabilmesi açısından önemlidir. Kemik formda hazırlanmış numunelerin ölçüleri belirlenirken Tamburrino ve arkadaşlarının (Tamburrino ve ark., 2020) çalışması baz alınmıştır. Çekme hızının 5 mm/dk olarak seçilmesi, ISO önerileri ve cihaz kapasitesi dikkate alınarak, polimerlerin viskoelastik davranışını ortaya koyacak

ancak test süresini klinik açıdan kabul edilebilir düzeyde tutacak bir ara hız sağlamaktadır. Ryu (Ryu ve ark., 2018), Alfadil (Alfadil ve ark., 2024) ve Ryokawa (Ryokawa ve ark., 2006) çalışmalarında çekme testlerini daha yüksek hızlarda (yaklaşık 12 mm/dk) çalışmışlardır. Mevcut çalışmada tercih edilen daha düşük test hızı, polimer zincirlerinin gerilme sırasında yeniden düzenlenmesine olanak tanıyarak viskoelastik cevabın daha belirgin şekilde ortaya çıkmasını amaçlamıştır (Siviour ve Jordan, 2016). Bu çalışmada ayrıca daha yavaş bir test hızı seçilerek ani kopma, deformasyon gibi test hatalarının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmadaki 5mm/dk test hızı Özay ve arkadaşlarının (Özay ve ark., 2022) çalışmasında seçilen test hızı ile paralellik göstermektedir. Tamburrino ve arkadaşlarının (Tamburrino ve ark., 2020) çalışmasında uygulanan 0,25 mm/dk test hızı ise oldukça yavaş olup bu çalışmadaki test uygulanan numune sayısı dikkate alındığında pratikte çok uygulanabilir bulunmamıştır.

Bu çalışmada numunelerin sertlik ölçümleri, ASTM D2240 (ASTM International, 2021) standardına uygun olarak Shore A durometre (Gibitre Instruments, İtalya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Shore durometre yöntemleri özellikle elastomerik ve termoplastik malzemeler için geliştirilmiştir. Shore A ve Shore D gibi alt ölçeklerde, yaylı bir sistemle bastırılan konik bir uçla malzemeye girinti uygulamakta ve derinliğe bağlı olarak 0 ile 100 arasında değişen bir değer vermektedir (Herrmann, 2011). Daha önce Ryu ve arkadaşları (Ryu ve ark., 2018) çalışmalarında Knoop sertlik testini kullanmış, Albilali ve arkadaşları (Albilali ve ark., 2023a) ise benzer bir çalışmada VŞR'ler üzerinde Vickers sertlik testi ile ölçüm yapmıştır. Shore A sertlik testi özellikle kauçuklar, silikonlar, termoplastik elastomerler ve daha yumuşak termoplastikler ve termosetler gibi malzemelerin ölçümleri için ideal seçimdir. Shore A'da kullanılan izaçar, yumuşak malzemeleri delmek için uygun olan konik bir uca sahiptir. Shore A durometre, 35° konik bir kafa kullanarak malzemeye yaklaşık 8 N kuvvet uygular (John, 1992). Çalışmada seçilen materyallerin malzeme yapısı ele alındığında bu sertlik testinin uygun olabileceği düşünülmüştür. Sertlik testinin uygulandığı numunelerin ölçüleri 40 mm uzunluk 10 genişlik olarak belirlenmiştir. Bu ölçülerin belirlenmesinde Albilali ve arkadaşlarının (Albilali ve ark., 2023a) çalışması referans olarak kabul edilmiştir.

Bu tezde kullanılan optik karakterizasyon yaklaşımı, ışık geçirgenliği ve absorbans ölçümlerinin doğrudan değerlendirilmesi üzerine kuruludur ve

literatürdeki farklı optik analiz yöntemleriyle hem benzer hem de belirgin biçimde ayrışan yönleri sahiptir. Cremonini ve arkadaşlarının çalışmasında (Cremonini ve ark., 2022) transmittans ölçümleri 400–700 nm arasında, yalnızca görünür ışık bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım alignerların klinik görünürlüklerini değerlendirmek açısından uygun olsa da ultraviyole ve yakın kızılötesi bölgelerini kapsamaması nedeniyle materyalin tam optik davranışını sınırlı şekilde yansıtmaktadır. Bu tezde ise kullanılan Smart Spectro cihazının 350–1000 nm aralığı, ultraviyole–görünür ışık–yakın kızılötesi bantlarının tamamını kapsayarak polimerlerin hem kısa dalga boyu soğurma davranışını hem de uzun dalga boyu saçılma özelliklerini değerlendirme imkânı sunmuştur. Ryu ve arkadaşlarının (Ryu ve ark., 2018) çalışmasında transmittans ölçümleri CM-3500D spektrofotometre ile yine görünür bölge (400–700 nm) içinde yapılmıştır. Ryu’nun çalışması ile bu tez arasındaki önemli benzerlik, entegrasyon küresi kullanılmamış olmasıdır. Her iki yaklaşım da yalnızca doğrudan geçen ışığı ölçmekte ve difüz yansıma/saçılma bileşenlerini dışarıda bırakmaktadır. Mevcut çalışmada entegrasyon küresi kullanılmayarak yüzey pürüzlülüğü, termoformlama sonrası kalınlık değişimi ve pH’a bağlı yüzey-matriks etkileşimlerinin transmittans üzerindeki gerçek etkisini daha hassas biçimde değerlendirmek amaçlanmıştır. Agarwal ve arkadaşları (Agarwal ve ark., 2018), 7 temizleme metodunun PU retainerlar üzerindeki uzun dönem etkisini inceledikleri bir çalışmada ışık geçirgenliğini entegre küre sistemiyle ölçmüş, bu nedenle doğrudan ve saçılarak geçen ışık bileşenlerini birlikte değerlendirmiştir. Porojan ve arkadaşlarının çalışması (Porojan ve ark., 2023) metodolojik açıdan diğer tüm çalışmalardan belirgin biçimde farklıdır. Bu çalışmada spektrofotometrik transmittans yerine CIE L*a*b* renk koordinatları, translüsensi parametresi, opalesans ve opaklık gibi renk tabanlı optik ölçümler kullanılmıştır. Bu yöntem materyalin ışığı ne kadar geçirdiğini değil, ışığa maruz kaldığında nasıl bir renk değişikliği veya renk kaybı oluşturduğunu analiz etmektedir. Buna karşın bu tezde kullanılan yöntem transmittans ve absorbans doğrudan ölçtüğü için, renk eğilimlerinden bağımsız şekilde materyalin ışık geçirme kapasitesindeki gerçek fiziksel kaybı değerlendirmektedir.

Bu çalışmanın literatürdeki optik testlerden bir diğer önemli farkı, pH değişkeninin sistematik biçimde dahil edilmesidir. Cremonini ve arkadaşları (Cremonini ve ark., 2022), Agarwal ve arkadaşları (Agarwal ve ark., 2018) ve Porojan ve arkadaşları (Porojan ve ark., 2024) çalışmalarında tek bir yapay tükürük

çözeltisi veya renklenme/temizleme solüsyonları kullanılmıştır. Bu tezde ise; asidik, nötr ve bazik olmak üzere üç farklı kimyasal ortamda 14 günlük yaşlandırma yapılmıştır. Bu protokol, ağız içindeki diyet asitleri, plak metabolitleri ve oral bakım ürünlerinin oluşturduğu geniş pH değişim aralığını temsil etmektedir.

Bu tez çalışmasında kütle değişimi değerlendirmesi, numunelerin 14 gün boyunca üç farklı pH değerine sahip solüsyonlarda bekletilmesi öncesi ve sonrasında hassas terazi ile ölçülen kütle farkına ($m_2 - m_1$) dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, ISO 20795-2:2013 (International Organization for Standardization, 2013) standardında tanımlanan su sorpsiyonu ve solübilite testlerinin doğrudan uygulanmasından farklı olup, esasen toplam net kütle değişimini gösteren modifiye edilmiş bir yöntem niteliğindedir.

ISO 20795-2 standardı, sorpsiyon ve solübilitenin doğru şekilde ayrıştırılabilmesi için üç aşamalı tartım döngüsünü (m_1 : başlangıç kütlesi, m_2 : suya doymuş kütleye, m_3 : yeniden kurutulmuş kütleye) gerektirirken, bu tez çalışmasında yalnızca m_1 – m_2 farkı değerlendirilmiştir. Bu yöntem; Porojan ve arkadaşları (Porojan ve ark., 2024) ile Ryu ve arkadaşları (Ryu ve ark., 2018) tarafından uygulanan standartlaştırılmış üç aşamalı hesaplama prosedüründen ayrılmaktadır. Porojan ve Ryu'nun çalışmalarında numuneler önce tamamen kurutulup (m_1), ardından hidrasyonla suya doymuş hale getirilip (m_2) tekrar desikatörle kurutulup (m_3) gerçek sorpsiyon ve çözünme değerleri birbirinden ayrıştırılmıştır. Bizim çalışmamızda ise m_3 basamağı kullanılmamış, bu nedenle su emilimi ile çözünme davranışı birbirinden ayıramamış ve sonuçlar net kütle değişimi olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, retainer materyallerinin klinik kullanımında maruz kaldığı çevresel koşulların eşzamanlı etkileri düşünüldüğünde, bu yaklaşımın günlük oral maruziyeti daha bütüncül şekilde temsil ettiği söylenebilir. Ryokawa ve arkadaşları (Ryokawa ve ark., 2006) tarafından yürütülen çalışmada da ISO'daki m_3 aşaması bulunmamakta olup, yalnızca m_1 ve m_2 değerlerine dayalı su emilimi hesaplanmıştır. Bu durum, Ryokawa'nın yönteminin sorpsiyon-solübilite ayırımından çok toplam kütle değişimini ölçtüğünü göstermektedir ve bu açıdan bu tezin yaklaşımıyla metodolojik olarak benzerdir. Bununla birlikte Ryokawa'nın çalışması yalnızca distile su ortamında ve tek pH değerinde gerçekleştirilmişken, bu tez üç farklı pH'ta polimer davranışının kimyasal ortam değişimine duyarlılığını değerlendirme açısından daha geniş bir kapsam sunmaktadır. Alfadil ve arkadaşlarının (Alfadil ve ark., 2024) çalışmasında ise

numuneler 6 aya kadar uzanan uzun dönemli su emilim testlerine tabi tutulmuş ve değerlendirme çoklu zaman aralıklarında yapılmıştır (12 saat – 24 saat – 1 ay – 3 ay – 6 ay). Ayrıca hem deiyonize su hem de yapay tükürük kullanılmış, buna ek olarak Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi ile kimyasal degradasyon değerlendirilmiştir. Mevcut çalışma daha kısa süreli (14 gün) ve yalnızca başlangıç-son tartıma dayalı tek zamanlı bir ölçüm sağlamaktadır. Dolayısıyla sonuçlar uzun dönemli degradasyon eğilimini göstermek yerine, kısa süreli pH etkisi altında oluşan net kütle değişimini yansıtmaktadır.

5.3 Bulgular

Bu çalışmada 4 farklı VŞR materyalinin (Atmos, Essix Ace, Essix C+, Erkodur) Young modülü ve maksimum çekme dayanımı, yalnızca termoform edilmiş kontrol grubu ve üç farklı pH ortamında (asit, nötr ve baz) 14 gün 37 derecede inkübe edilmiş numune grupları olmak üzere 4 gruba ayrılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar markalar ve numune grupları arasında anlamlı farklılıklar göstermiştir.

Markalar arası karşılaştırmalarda, kontrol grubunda Atmos'un Young modülü anlamlı şekilde en yüksek bulunmuştur. Bu durum Atmos'un PETG esaslı olmasının yanında daha yüksek oryantasyon kazanmış bir üretim profilinden gelmesi ile açıklanabilir. Amorf yapı gösteren PETG moleküler yapısı Atmos'un kontrol grupları arasında daha rijit çıkmasının sebebi olabilir. Çünkü amorf yapıdaki polimerler yarı kristalin yapıdaki polimerlere göre (PP ve PE) yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahiplerdir (Ryokawa ve ark., 2006). Asidik ve bazik ortamlarda ise özellikle pH 4,3 grubunda Essix C+ (PP) anlamlı derecede düşük modül göstermiştir. Buna karşılık pH 6,7 grubunda markalar arası anlamlı fark saptanmamış, bu da nötre yakın pH'ın materyallerin rijitliği üzerinde minimal etkisi olduğunu düşündürmektedir. pH 8,3 grubunda Essix C+ ve Essix Ace'nin Young modülleri anlamlı düzeyde düşük bulunmuş; alkalın ortamın özellikle PP ve kopoliester yapılarında moleküler zincir mobilitesini artırarak sertliği azalttığı düşünülmektedir.

Numuneler arası karşılaştırmalarda, Atmos ve Essix C+ materyallerinde kontrol grubunun diğer pH gruplarına göre anlamlı derecede daha yüksek Young modülü göstermesi dikkat çekicidir. Bu durum, termoformlamanın ardından 14 günlük 37 derece sıcaklıkta sıvı maruziyetinin özellikle bu iki materyalde zincirler

arası etkileşimleri gevşeterek rijitliği azalttığını düşündürmektedir. Üç farklı pH ortamında da kontrol grubundan daha düşük Young modülü değerleri tespit edilirken farklı pH koşullarına bağlı olarak anlamlı fark bulunmaması Atmos ve Essix C+ materyallerinin pH farklılıklarından etkilenmediğini göstermektedir. Erkodur ve ACE'de ise pH değişimi elastisitede anlamlı bir değişikliğe yol açmamıştır. Plastikler, camsı geçiş sıcaklığının altında cam benzeri katı bir haldedir; ancak üzerine çıkıldığında hızla yumuşar (Ryokawa ve ark., 2006). Amorf yapıdaki PETG malzemelerin yüksek camsı geçiş sıcaklık değerleri, sıcaklık değişimlerinin mekanik özellikler üzerine etkisini sınırlamaktadır. Bununla birlikte amorf polimerlerin su emilimi de yüksek olduğundan, su emiliminin mekanik özelliklere etkisi malzemeden malzemeye değişebilir. Atmos amorf yapısı nedeniyle sıvı absorpsiyonu gösterebilen bir materyaldir ve tüm pH'larda mekanik özellikleri bu durumdan etkilenmiştir. Essix C+ PP yapısında olması nedeniyle yarı kristalin bir moleküler yapı gösterir. Yarı kristalin polimerler daha sıkı moleküler yapıları nedeniyle sıvılar ile daha az etkileşime geçerlerken camsı geçiş sıcaklıklarının düşük olması bu materyallerin solüsyonlarda 37 °C de bekletilmeleri sonrası ısıya bağlı Young modüllerindeki anlamlı düşüşü açıklayabilir.

Maksimum çekme dayanımı açısından, markalar arasında yalnızca pH 8,3 grubunda anlamlı farklılık elde edilmiş; bu grupta C+ ve ACE'nin kopma dayanımı Atmos ve Erkodur'dan anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur. Bu bulgu çalışmamızın Young modülü bulgularıyla paralellik göstermiştir. Numuneler arası incelemede yalnızca Atmos materyalinde kontrol grubunun asidik ve bazik ortama göre daha yüksek kopma dayanımı göstermesi, PETG'nin pH değişimlerine belirli ölçüde hassas olduğunu ancak bu hassasiyetin materyalin moleküler formülasyonuna göre farklılaştığını göstermektedir.

Alfadil ve arkadaşlarının (Alfadil ve ark., 2024) çalışmasında Essix C+ (PP) en düşük Young modülüne sahip materyal olarak bildirilmiştir. Bu bulgu bizim çalışmamızdaki C+'ın kontrol hariç tüm gruplarda anlamlı olarak en düşük Young modüllerini göstermesi ile örtüşmektedir. Ayrıca Alfadil ve arkadaşları, PETG materyallerin PP'ye göre daha yüksek rijitlik sergilediğini bildirmiştir. Bu bulgu da çalışmamızdaki Atmos/Erkodur (PETG) markalarının asidik ve bazik pH'larda C+'dan anlamlı şekilde daha yüksek değerler almasıyla uyumludur. Alfadil ve arkadaşları çekme testini 37 °C sıcaklıkta gerçekleştirmiştir. Bu durum da bizim

çalışmamızda olduğu gibi PP yapıdaki Essix C+ materyalinin sıcaklık değişimine duyarlı olabileceğini düşündürmektedir.

Tamburrino ve arkadaşlarının (Tamburrino ve ark., 2020) çalışması, şeffaf hizalayıcı üretiminde yaygın olarak kullanılan üç farklı termoplastik materyalin (Biolon, Zendura ve Duran) termoform işlemine, yapay tükürükte depolamaya ve bu iki sürecin kombinasyonuna maruz bırakılmasının, mekanik özellikler üzerindeki etkisini karşılaştırmıştır. Çalışma yapay tükürükte depolamanın polimerlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Biolon'un elastik modülü ve çekme akma dayanımı oldukça stabil kalmıştır; termoformlama ve yapay tükürükte depolama koşullarının oluşturduğu değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Buna karşın, Duran ve Zendura materyallerinde elastik modülde belirgin bir düşüş saptanmıştır. Benzer biçimde, Duran ve Zendura gruplarında çekme akma dayanımında da azalma gözlenmiştir. Bu azalma, tükürükte bekletme sırasında gerçekleşen sıvı emilimiyle ilişkilendirilmiştir. Emilim sonucu polimer zincirleri arasına giren su molekülleri plastikleştirici etki göstererek camsı geçiş sıcaklığını düşürür. Suyun bu plastikleştirici etkisi, özellikle amorf polimerlerde belirgin bir sorundur (Hancock ve Zografi, 1994). Oysa PP yapıda yarı kristalin bir polimer olan Biolon sıvı absorpsiyonundan minimum düzeyde etkilenmiştir.

Ryokawa ve arkadaşları (Ryokawa ve ark., 2006), sekiz farklı termoplastik materyalin termoformlanmamış, termoformlanmış ve termoformlanıp 37 derece sıcaklıkta suda bekletilmiş numunelerinin mekanik özelliklerini karşılaştırmıştır. Gerilme-gerinim eğrisinde belirgin akma noktası gösteren gruptaki malzemeler (PC, PETG, A+ ve PU) amorf plastiklerdir ve yüksek elastik modül değerlerine sahiptir. Bu malzemelerin yüksek camsı geçiş sıcaklık değerleri, sıcaklık değişimlerinin mekanik özellikler üzerine etkisini sınırlamaktadır. Bununla birlikte su emilimi de yüksek olduğundan, su emiliminin mekanik özelliklere etkisi malzemedan malzemeye değişebilir. Su emilimi sonucu mekanik özellikleri değişen malzemeler bu durumdan etkilenmiştir. Belirgin akma noktası göstermeyen Hardcast ve Essix C+ (PP ve C+)’ta ise termoformasyon sonrası simüle edilmiş ağız içi koşullarında elastik modül ve akma dayanımlarında anlamlı düşüş meydana gelmiştir. Bu malzemeler yarı kristalin plastiklerdir ve hem su emilimi düşük hem camsı geçiş sıcaklık değerleri düşüktür. Su emiliminin mekanik özelliklere etkisi sınırlı olsa da 23–37°C arası sıcaklık artışı mekanik özelliklerde belirgin düşüşe

neden olmuştur. Mevcut çalışmada elastisite modülleri açısından elde edilen bulgular Ryokawa ve arkadaşlarının çalışmasıyla bu bağlamda paralellik göstermiştir.

Alkawari ve arkadaşları (Alkawari ve ark., 2025) reflüye bağlı asidik oral ortamı simüle ettikleri çalışmalarında kopoliester (CP), PP ve PETG içerikli üç VŞR materyalinde üç nokta bükülme testi uygulamışlar ve asidik ortamda tüm markaların esnekliğinin arttığını tespit etmişlerdir. Mekanik değişimden en çok PETG sonrasında sırasıyla PP ve CP etkilenmiştir. Mevcut tezde materyallerin pH'a bağlı mekanik değişimleri bu çalışmanın bulgularıyla örtüşmektedir.

Bu çalışmada, dört farklı termoplastik retainer materyalinin Shore A sertlik değerleri, ASTM D2240 (ASTM International, 2021) standardına uygun durometre ölçümleriyle değerlendirilmiş ve farklı pH koşullarında 14 günlük inkübatörde 37 °C sıcaklıkta bekletilmenin materyalin yüzey özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen veriler hem markalar arası karşılaştırmalarda hem de aynı markanın farklı pH grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir sertlik farkının bulunmadığını göstermiştir. Başka bir ifadeyle, tüm materyaller test edilen süre ve koşullar altında yüzey sertliğini korumuş, asidik (pH 4,3), nötr (pH 6,7) ve bazik (pH 8,3) ortamlar sertlik üzerinde ölçülebilir bir değişime yol açmamıştır. Bu bulgu, polimer yüzey davranışının kimyasal yapıyla yakından ilişkili olması nedeniyle anlamlıdır. PETG ve PET kopoliester yapı, ester bağları ve amorf faz oranları nedeniyle hidrolize duyarlı olabilse de yüzey sertliğinde anlamlı bir düşüş gözlenmemesi, 14 günlük maruziyet süresinin hidrolitik bozunma için yeterli olmamasına ve polimer zincirlerinin yüzeyde plastikleşmeye uğrayacak düzeyde su difüzyonu gerçekleşmemesine bağlanabilir. Literatürde, termoformlanmış retainer materyallerinde yüzey sertliğinin değişebildiğini bildiren çalışmalar mevcuttur.

Ryu ve arkadaşları (Ryu ve ark., 2018), Knoop mikrosertlik testinde Essix A+ ve Essix ACE için termoformlama sonrası sertlik artışı, Duran ve eClinger için ise anlamlı değişim olmadığını bildirmiştir. Ancak Ryu ve arkadaşlarının çalışması termoformlama öncesi–sonrası karşılaştırmaya odaklandığından, ortam pH'sının etkisini incelememiştir. Ayrıca kullanılan test yöntemi (Knoop mikrosertlik) farklıdır. Bu nedenle iki testin hassasiyetinin farklı olması doğal bir sonuçtur.

Albilali ve arkadaşlarının (Albilali ve ark., 2023a) çalışmasında ise Vickers sertlik testinde uzun süreli termal döngü sonrasında sonrası tüm materyallerin sertlik değerleri anlamlı derecede artmıştır. Bizim çalışmamızda ise Shore A

durometrenin daha makro ölçekli bir deformasyon ölçmesi nedeniyle, mikroyapısal değişimler sertlik değerlerine yansımamış olabilir. Ayrıca Albilali ve arkadaşlarının çalışmasında 10.000 termal döngü (~1 yıllık klinik kullanım) uygulanırken, mevcut çalışmada yalnızca 14 günlük statik pH maruziyeti kullanılmıştır; bu da bulgular arasındaki farklılığı açıklayan önemli bir metodolojik ayrım olarak kabul edilebilir.

Alkawari ve arkadaşları (Alkawari ve ark., 2025) ise pH 1,2 ve pH 4 ortamlarında kopoliester materyalde sertlik kaybı bildirmiştir. Bu çalışmada kaydedilen sertlik azalması, kullanılan asit çözeltisinin (simüle gastrik asit) çok daha yüksek asiditesine ve daha agresif hidrolitik koşullara bağlanabilir. Bu tez çalışmasında en düşük pH olan 4,3 bu kadar güçlü bir hidroliz potansiyeli yaratmadığından, kopoliester temelli Essix ACE'de benzer bir sertlik kaybı gözlenmemesi tutarlı kabul edilebilir.

Mevcut çalışmada numuneler arası karşılaştırmalar incelendiğinde, hiçbir markada farklı pH grupları arasında sertlik değerlerinin anlamlı şekilde farklılaşmadığı görülmüştür. Bu durum, test edilen materyallerin yüzey mekanik özelliklerinin kısa süreli pH değişikliklerine karşı stabil kaldığını düşündürür. Polimerlerde sertlik değişimi genellikle su absorpsiyonu, plastifikasyon, mikroçatlak oluşumu veya yüzey morfolojisinde belirgin değişim gerektirdiği için 14 günlük maruziyetin bu seviyede bir yüzey değişimi oluşturmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca Shore A testi yüzeyin geniş bir alanını değerlendirdiğinden, lokal mikroskobik değişimlerin makroskobik sertliğe yansımaları sınırlı olabilir.

Sonuç olarak bu çalışmanın bulguları, değerlendirmeye alınan dört retainer materyalinin kısa süreli farklı pH koşulları altında yüzey sertliği bakımından yüksek stabilite gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu klinik açıdan değerlidir. Hastaların günlük yeme-içme alışkanlıklarına bağlı pH değişimlerinin, en azından kısa dönemde retainer yüzey sertliğini olumsuz etkileyebilecek düzeyde bir kimyasal etki yaratmadığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, literatürde uzun süreli termal döngülerin veya aşırı düşük pH değerlerinin sertlik üzerinde etkili olabileceği gösterildiğinden, gelecekte daha uzun süreli ve daha agresif yaşlandırma protokollerinin değerlendirilmesi önerilebilir.

Bu çalışmada dört farklı VŞR materyalinin transmittans ve absorbans özellikleri, farklı pH koşullarında 14 günlük yaşlandırma sonrası değerlendirilmiş ve optik özelliklerdeki değişimlerin polimer yapısı ile ilişkisi incelenmiştir. Optik davranışın değerlendirilmesi, klinik kullanım sırasında retainerların estetik

performansının yanı sıra, polimerlerin kimyasal stabilitesi, yüzey morfolojisi ve ışık-madde etkileşimleri hakkında dolaylı bilgi sunmaktadır. Transmittans ve absorbansın birlikte ele alınması hem ışığın doğrudan geçişini hem de malzeme tarafından soğurulma eğilimini ortaya koyduğu için optik kalitenin bütüncül değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Kontrol gruplarında Atmos ve Essix C+ materyallerinin diğer iki markaya göre daha yüksek transmittans ve daha düşük absorbans göstermesi, bu materyallerin yapısal homojenliğine ve düşük ışık saçılımına sahip olduğunu göstermektedir. Atmos (PETG) için bu durum, yüksek amorfite derecesi ve düşük kristalin faz oranıyla açıklanabilir (De Santis ve Pantani, 2013). Amorf polimerlerde zincir düzensizlikleri ışık saçılımını minimize eder ve ışığın doğrudan geçişini kolaylaştırır. pH 4,3 gruplarında Atmos ve Essix C+ markaları anlamlı biçimde daha yüksek transmittans gösterirken, buna karşılık aynı koşullarda Erkodur ve Essix ACE materyalleri daha düşük transmittans değerleri göstermiştir. pH 6,7 ve pH 8,3 gruplarında markalar arası değerlendirme yapıldığında Essix C+ markasının diğer tüm markalardan anlamlı olarak daha yüksek transmittans değerleri ortaya koyduğu görülmüştür. Bu da Essix C+ markasının ışık geçirgenliğinin her koşulda daha başarılı olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Numuneler arası karşılaştırmalarda Atmos markasında kontrol numunesinin ortalaması pH' ı 6,7 ve pH' ı 8,3 olan numunelerden anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ancak diğer farklar anlamlı görülmemiştir. Atmosun nötr ve bazik koşullardaki ışık geçirgenliğindeki bu kaybın amorf yapısından kaynaklı zincirler arası boşlukların su molekülleri ve iyonlarla etkileşimi sonucu gerçekleşmiş olabileceği düşünülebilir. Essix C+ markasında 4 farklı numune grubunun transmittans ölçümü karşılaştırmasında pH' ı 8,3 olan numunenin ortalaması diğer 3 numuneden anlamlı düzeyde yüksek görüldü ancak diğer 3 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı. Bazik solüsyonda gözlenen bu durum materyalin üretim ve termoform işlemleri sırasında yüzeyinde kalan düşük molekül ağırlıklı kalıntıların, yağlayıcı ajanların ve ince film tabakasının bazik ortama bağlı uzaklaştırılmasından kaynaklanabilir. Bu temizlenme etkisinin, yüzeydeki ışık saçılımını azaltarak daha düzgün bir optik yüzey oluşturduğu düşünülmektedir. Erkodur ve Essix ACE markalarında farklı pH grupları arasında anlamlı fark bulunmaması, bu iki materyalin optik davranışlarının pH değişimine ve sıvı maruziyetine karşı daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Bu bulgular PET

temelli kopoliesterlerde ve PETG polimerlerde yüksek amorf yapının korunmasının, çözünme ya da su absorpsiyonu kaynaklı düzensizliği sınırlayarak ışık geçirgenliğinin daha stabil seyretmesini sağladığını düşündürebilir.

Absorbans açısından markalar arası karşılaştırmalarda kontrol grubunda Atmos ve C+ materyallerinin daha düşük absorbans göstermesi, bu polimerlerin ışığı daha az absorbe ederek daha yüksek optik geçirgenlik sunduğunu göstermektedir. Atmos'un PETG türevi amorf yapısı, ışık saçılımını minimal düzeyde artıran homojen zincir dağılımı ile açıklanabilirken; C+ (PP) materyalinde kristalin bölgelerin sınırlı optik soğurma yaratması bu durumu desteklemektedir. pH 4,3 koşulunda markalar arasında anlamlı fark bulunmasa da Essix C+ diğer materyallerden daha düşük absorbans bulguları göstermiştir. Asidik ortam absorptif davranış üzerinde markalar arası belirgin bir ayırıcı etki yaratmasa da Essix C+ düşük absorbans özelliğini korumaya devam etmiştir. pH'sı 6,7 ve 8,3 olan numunede Essix C+ markasının ortalaması diğer 3 markadan anlamlı düzeyde daha düşük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı. Bu bulgular transmittans bulguları ile uyumlu bulunmuştur.

Absorbans bulgularının numuneler arası karşılaştırmasındaysa Atmos markasında kontrol numunesinin ortalaması pH'ı 6,7 ve pH'ı 8,3 olan numunelerden anlamlı düzeyde düşük bulundu ancak diğer farklar anlamlı bulunmadı. C+ markasında 4 ayrı numune grubu arasında absorbans ölçümü karşılaştırmasında anlamlı fark tespit edilmiştir. C+ markasında pH'ı 8,3 olan numunenin ortalaması diğer 3 numuneden anlamlı düzeyde düşük bulundu ancak diğer 3 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı. Erkodur ve ACE markalarında 4 numune arasında anlamlı farka rastlanmadı. Bu bulgular da transmittans testi bulgularımızla örtüşmekte ve birbirlerini tamamlamaktadırlar.

Işık geçirgenliği üzerine yapılan bir çalışmada (Cremonini ve ark., 2022) 14 günlük in-vitro yaşlandırma sonrası farklı termoform yazıcılarla üretilmiş şeffaf hizalayıcıların ışık geçirgenlik seviyelerini araştırılmıştır. Tüm örnekler, 14 gün boyunca sabit sıcaklıkta, gıda boyası eklenmiş yapay tükürük içinde in-vitro yaşlandırılmıştır. Test edilen tüm şeffaf hizalayıcılar yaşlandırma sonrasında daha düşük ışık geçirgenliği göstermiştir.

Alkawari ve arkadaşlarının (Alkawari ve ark., 2025) pH 4 ve pH 1,2'de simüle edilmiş mide asidinin üç farklı VŞR materyaline mekanik ve optik etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında tüm materyallerde renk değişimi belirgin düzeyde

bulunmuştur. Alkawari ve arkadaşlarının çalışmasında asitten en az etkilenen materyal PETG olurken en fazla etkilenerek şeffaflığını en fazla kaybeden materyal kopoliester yapılı materyal olmuştur. Mevcut tezdeki transmittans ve absorbans testlerinden elde edilen bulgular reflüye bağlı gelişebilecek agresif asidik ortamın VŞR materyallerinin şeffaflığı üzerindeki etkisini ele alan Alkawari ve arkadaşlarının çalışması ile paralellik göstermemektedir. Bulgulardaki bu farklılık uygulanan test yönteminden kaynaklanabilir. Bu çalışmada transmittans ve absorbans ölçümleri doğrudan geçen ışığın spektral davranışını değerlendirmekte olup, $L \cdot a \cdot b$ tabanlı renk ölçümlerinden farklı olarak algısal renk değişimini değil, materyalin optik yoğunluğunu ve iç yapısal değişimlere bağlı ışık geçiş özelliklerini yansıtmaktadır.

Agarwal ve arkadaşları (Agarwal ve ark., 2018), 7 temizleme metodunun PU retainerlar üzerindeki uzun dönem etkisini inceledikleri bir çalışmada ışık geçirgenliğini entegre küre sistemiyle ölçmüş, bu nedenle doğrudan ve saçılarak geçen ışık bileşenlerini birlikte değerlendirmiştir. Altı ay boyunca yedi farklı temizleme yöntemine maruz bırakılan poliüretan retainer örneklerinde, başlangıç ile 6. ay arasındaki ölçümlerde anlamlı düzeyde değişim gösteren tek özelliğin ışık geçirgenliği olduğu belirlenmiştir. Tüm temizleme yöntemleri, altı ay boyunca poliüretan örneklerin ışık geçirgenliğinde anlamlı bir azalmaya neden olmuştur.

Wible ve arkadaşlarının (Wible, 2017) 8 farklı temizleyici ajanın Essix Ace ve Essix C+ retainerları üzerinde 6 aylık uzun dönem etkisini incelediği çalışmada her iki materyalde de her koşulda opasitenin arttığı görülmüştür. Wible kontrol gruplarında ve 6 aylık test sonuçlarında Essix C+ materyalinin daha opak sonuçlar verdiğini belirtmiş ve bunu da yarı kristalin yapıda olmasına bağlamıştır. Mevcut çalışmadaki ölçümlerdeyse çıkan sonuçlar Essix C+'nin daha yüksek transmittans değerleri verdiğini ve pH koşullarından daha az etkilendiğini ortaya koymuştur. Wible ve arkadaşlarının çalışmasında entegrasyon küresi kullanılmış olması hem doğrudan hem de saçılan ışığı bir arada ölçmüş ve toplam ışık geçirgenliği hesaplanmıştır. Bu yöntem yarı kristalin polimerlerde saçılan ışığı da topladığı için, kristalin yapıdan kaynaklanan opaklık farklı şekilde değerlendirilmiştir. Bizim çalışmamızda ise entegrasyon küresi kullanılmamış, yalnızca doğrusal geçtiği kabul edilen ışık ölçülmüştür. Bu nedenle Essix C+ kontrol grubunda elde edilen daha yüksek transmittans değerinin metodolojik farktan kaynaklandığı düşünülebilir.

Mevcut tez çalışmasında farklı pH'larda 14 gün boyunca 37 °C sıcaklıkta çözünürlük ve sıvı absorbansının net etkisini görmek için yapılmış olan kütle değişimi ölçümlerinin bulgularında anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Tüm numunelerde 14 gün sonunda kütle artışı tespit edilmiştir. Bu bulgu bize tüm VŞR materyallerinin zamanla sıvı absorbe edebildiğini göstermiştir. pH' ı 4,3 olan numunede en büyükten küçüğe doğru sırasıyla değişim ortalaması Atmos, Erkodur, ACE ve C+ markalarında bulunmuştur. Ayrıca pH' ı 6,7 olan numunede en fazla değişim Atmos markasında, bunu Erkodur markasının izlediği ve en düşük ortalamanın ise diğer 2 markada olduğu belirlenmiştir. pH' ı 8,3 olan numunede ise en fazla değişim Erkodur markasında, bunu Atmos markasının izlediği ve sonrasında ise sırasıyla ACE ve C+ markalarının izlediği belirlenmiştir. Tüm ortamlarda PETG özellikli olan VŞR materyallerinin daha yüksek su absorpsiyonu potansiyeli göstermiş olduğu dikkate değerdir.

Atmos markasında 4 farklı numune grubunun kütle değişimi ölçümlerinin karşılaştırmasında anlamlı fark görülmüştür. Atmos markasında pH' ı 6,7 olan numunenin ortalaması diğer 2 numuneden anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ancak diğer farklar anlamlı bulunmamıştır. Erkodur markasında 4 farklı numune grubunun kütle değişimi ölçümlerinin karşılaştırmasında anlamlı fark görülmüştür. Kütle değişimi açısından incelendiğinde, Erkodur markasında pH' ı 4,3 ve pH' ı 6,7 olan numunelerin ortalaması pH' ı 8,3 olan numuneden anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ancak diğer farklar anlamlı bulunmamıştır. Bu bulgular Atmos'un nötr ortamdan en çok etkilenip sıvı absorbe ettiğini, Erkodur'un ise bazik koşullardan daha çok etkilenip sıvı absorbe ettiğini göstermiştir. Kütle değişimi açısından incelendiğinde, Essix C+ ve Essix ACE markalarında numuneler arasında anlamlı farka rastlanmamıştır. Bu bulgu ise farklı pH ortamlarında kütle değişimlerinin birbirine benzer olduğunu göstermiştir.

Elde edilen bu bulgulara göre 3 farklı pH'ta da su Emilimi yönünden en az etkilenen materyal Essix C+ olmuştur. Yarı kristalin yapıda olan Essix C+ oldukça hidrofobik ve inert bir polimerdir. Mevcut çalışmada yarı kristalin PP yapıdaki materyal olan Essix C+ en az etkilenirken amorf yapıda olan PETG yapıları VŞR polimerlerinin (Atmos ve Erkodur) sıvı absorpsiyonlarının yüksek olması tutarlı sonuçlar olarak kabul edilebilir. Ayrıca Essix ACE ve Essix C+ materyallerinde numuneler arasında anlamlı fark görülmemesi bu materyallerin pH değişikliğinden

etkilenmediğini ve kütle artışlarının pH değişikliğine bağlı gerçekleşmediğini göstermektedir.

Porojan ve arkadaşlarının (Porojan ve ark., 2024) çalışmalarında, dört farklı PETG esaslı VŞR materyali (Leone, Crystal, Erkodur, Duran) termoform edilmiş ve 14 gün boyunca farklı pH değerlerine sahip yapay tükürük solüsyonlarında (4,3; 6,7; 8,3) 37°C’de inkübe edilerek materyallerdeki çözünme ve sorpsiyon değişiklikleri ISO standartlarına göre incelenmiştir. Daldırma sonrasında tüm örneklerin ağırlığı nötr tükürükte %0,33–0,52, bazik tükürükte %0,69–1,41, asidik tükürükte %0,46–1,27 oranında artmıştır. Mevcut çalışmadaki veriler ile Porojan ve arkadaşlarının çalışması Erkodur markasına ait VŞR materyalin en yüksek su emilimini bazik ortamda göstermesi yönünden benzerlik göstermektedir. Ancak bir başka PETG olan Atmos ile arasında farklılıklar çıkmasında önceki başlıklarda da anlatılan ölçüm yöntemlerindeki farklılıklar, kurutma yöntemleri ve solüsyonların yapısındaki farklılıklar etkili olmuş olabilir.

Polimerlerdeki su absorpsiyon süreci multifaktöriyel kabul edilir. Bu süreç; polimer birimlerinin hidrofilik yapısı, polimerin amorf ve/veya kristalin yapısı, ayrıca polimer içindeki moleküller arası boşluklar ve poroziteler nedeniyle meydana gelir. Su absorpsiyonu ve çözünürlüğü, test edilen materyallerin moleküler ağırlığı, yoğunluğu, kimyasal bileşimi ve kristallenme yapısı ile ilişkili olabilir; bu faktörler, su moleküllerinin polimer içerisine ne ölçüde nüfuz edebileceğini belirler (Albilali ve ark., 2023b; International Organization for Standardization, 2013; Ryokawa ve ark., 2006).

Ryokawa ve arkadaşları (Ryokawa ve ark., 2006), sekiz farklı termoplastik materyalin termoformlanmamış, termoformlanmış ve termoformlanıp 37 derece sıcaklıkta suda bekletilmiş numunelerinin absorpsiyonu ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Ryokawa ve arkadaşlarının iki haftalık su absorpsiyon çalışmasında PP ve C+’ın düşük su alımına sahip olduğu, PP ile C+ arasında fark bulunmadığı, PETG ve A+’ın daha yüksek su absorbe ettiği, PU’nun ise en yüksek absorpsiyonu gösterdiği belirtilmiştir. Bu bulgular da yarı kristalin PP materyallerinin su absorpsiyonuna karşı direncini ortaya koymaktadır. Bu yönüyle mevcut tez çalışması Ryokawa ve arkadaşlarının çalışmasıyla uyumludur.

Alfadil ve arkadaşları’nın (Alfadil ve ark., 2024) çalışmasında, beş farklı VŞR materyali sadece termoformlanmış ve termoformlama sonrası aşınma testine maruz bırakılmış olmak üzere iki gruba ayrılarak yapay tükürük ve deiyonize su

içinde test edilmiştir. Numuneler 6 aya kadar uzanan uzun dönemli su emilim testlerine tabi tutulmuş ve değerlendirme çoklu zaman aralıklarında yapılmıştır (12 saat – 24 saat – 1 ay – 3 ay – 6 ay). Alfadil ve arkadaşlarının bu çalışmasında Essix C+ (PP), kontrol grubunda (termoforme edilmiş örneklerde) 6 ay sonunda yapay tükürükte %15 oranında en yüksek su emilimini göstermiştir. Zendura ise deneysel grupta (aşınmaya uğramış örneklerde) %15 ağırlık artışıyla en yüksek emilimi göstermiş, onu Essix C+ takip etmiştir. Mevcut tez çalışmasındaki Essix C+ materyalinin düşük sıvı absorpsiyonuna ait bulgular Alfadil ve arkadaşlarının çalışmasıyla benzerlik göstermemektedir. Numunelerin daldırılma süresindeki (2 hafta yerine 6 ay), daldırma ortamındaki (yapay tükürük) ve kurutma yöntemlerindeki değişikliklerin gözlenen farklılıklar üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma, vakumla şekillendirilen retainer materyallerinin farklı pH koşullarındaki mekanik, optik ve kütle değişimi özelliklerini ayrıntılı şekilde incelemiş olmakla birlikte, bazı metodolojik sınırlılıkları da içermektedir:

Bu in-vitro çalışmada kullanılan solüsyonlar pH değerlerini simüle etse de gerçek ağız ortamındaki enzimatik aktivite, mikrobiyal flora, tükürük akış hızı, mekanik çiğneme kuvvetleri ve sıcaklık dalgalanmaları gibi çoklu faktörleri tam olarak yansıtamamaktadır. Bu nedenle materyallerin uzun dönem intraoral davranışı klinik kullanımda farklılık gösterebilir. Kütle değişimi hesaplamasında yalnızca $m_1 - m_2$ farkı değerlendirilmiş, ISO standardındaki m_3 (yeniden kurutma) ölçümü yapılmadığından sorpsiyon ve solübilite ayrı değişkenler olarak analiz edilememiş, yalnızca net kütle değişimi yorumlanabilmiştir. Optik ölçümlerde entegrasyon küresi kullanılmamış olması nedeniyle transmittans ölçümlerinde yalnızca doğrudan geçen ışık değerlendirilmiş, yüzeyden saçılan ışık hesaba katılmamıştır. Bu durum özellikle matlaşma eğilimi gösteren PETG türü materyallerde optik kayıpların olduğundan düşük ölçülmesine yol açmış olabilir. Shore A sertlik testinde ASTM D2240 gereği numune kalınlığının 6 mm olması beklenir. Kalınlığın 6mm'ye tamamlanması için numune altına destek bloğu yerleştirilmiş olsa da gerçek retainer kalınlıkları 1 mm civarındadır. Bu nedenle Shore A sertlik değerleri klinik retainer yüzey davranışını tam olarak yansıtmayabilir. Çalışma 14 günlük yaşlandırma üzerine kurulmuştur. Oysa retainerlar aylarca hatta yıllarca kullanıldığından, polimerlerdeki hidrolitik degradasyon ve optik değişimler uzun vadede daha belirgin olabilir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Dört farklı retainer materyalinin (Atmos-PETG, Erkodur-PETG, Essix ACE-kopoliester, Essix C+-PP) mekanik, optik ve kütle değişimi özellikleri pH'a bağlı olarak farklı hassasiyet göstermiştir:

1. Yüksek kuvvet dayanımı gereken vakalarda başlangıç elastisite modülü yüksek olan Atmos (PETG) daha uygun bir materyaldir. Ancak rijiditesinin sıvı maruziyetinden etkilendiği unutulmamalıdır.
2. Atmos'un ve Essix C+'ın elastik modüllerinde solüsyonlarda bekletildikten sonra her biri için anlamlı düşüş tespit edilmiştir. Ancak pH'a bağlı anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Bu bulgular bu iki VŞR materyalinin pH değişikliğinden değil doğrudan sıvı maruziyetinden etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca Essix C+'ın düşük camsı geçiş sıcaklığının 37 derecelik sıcaklıktan etkilenmesine sebep olduğu düşünülmektedir.
3. Asidik ortamda Essix C+, bazik ortamda ise Essix ACE ve Essix C+ diğer markalardan daha düşük rijitlik sergilemişlerdir.
4. Atmos markasının asidik ve bazik koşullarda kopma dayanımı anlamlı şekilde düşmüştür.
5. Yüzey sertliği (Shore A), tüm materyallerde farklı pH koşullarında yaşlandırma sonrasında stabil kalmıştır, bu durum materyal yüzey sertliklerinin 14 günlük kimyasal yaşlanmaya karşı dirençli olduğunu göstermiştir.
6. Işık geçirgenliği açısından Atmos ve Essix C+ kontrol grubunda ve asidik koşullarda en yüksek şeffaflığı göstermiştir. Nötr ve bazik şartlarda Essix C+ diğer tüm materyallerden anlamlı düzeyde daha şeffaf bulunmuştur.
7. Essix C+'ın bazik pH koşullarında kontrol grubundan bile daha şeffaf hâle gelmesi, PP'nin kimyasal inert yapısı nedeniyle yüzeydeki düşük molekül ağırlıklı kalıntıların uzaklaştırılması ve yüzey düzgünlüğünün artmasıyla açıklanabilir.
8. Estetik beklentisi yüksek hastalarda en yüksek şeffaflığı gösteren Essix C+ tercih edilebilir.
9. Sıvıların tamamında tüm numunelerde kütle artışı tespit edilmiştir.

10. Kütle değişimi açısından PETG materyaller (Atmos, Erkodur) daha fazla sıvı emilimi göstermiştir. Erkodur bazık ortamda anlamlı olarak daha fazla kütle artışı göstermiştir. Atmos'un ise kütle artışı en fazla nötr ortamda gerçekleşmiştir.
11. Essix C+ ve Essix ACE kütle değişimi açısından en düşük değerleri göstermiştir; PP'nin hidrofobik doğası Essix C+ için bu sonucu desteklemektedir. Bu iki materyalin sıvı emilimi yönünden en dayanıklı olduğu sonucuna varılabilir.
12. Optik, mekanik ve kütle değişimi parametreleri birlikte değerlendirildiğinde materyaller arasında belirgin performans farkları oluştuğu görülmüş ve polimer yapısının kritik rolü doğrulanmıştır.
13. pH koşulları bazı testlerde materyaller üzerinde anlamlı bir fark meydana getirmemişken bazı testlerde ise anlamlı fark görüldüğü halde belirgin bir patern izlememiştir.
14. Retainer materyalleri uzun süreli kullanım öngörülen hastalarda hem mekanik hem optik açıdan düzenli kontrol edilmelidir.
15. Gelecek çalışmalarda daha uzun süreli (aylar–yıllar) yaşlandırma protokolleri uygulanmalı, gerçek intraoral koşullar (enzimler, sıcaklık döngüsü, mikrobiyal etkileşim) simüle edilmelidir. In-vivo çalışmalarla bu tezde elde edilen bulguların klinik karşılığının doğrulanması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Agarwal, M., Wible, E., Ramir, T., Altun, S., Viana, G., Evans, C., Lukic, H., Megremis, S., & Atsawasuwan, P. (2018). Long-term effects of seven cleaning methods on light transmittance, surface roughness, and flexural modulus of polyurethane retainer material. *Angle Orthod*, 88(3), 355-362. <https://doi.org/10.2319/081517-551.1>
- Ahn, H.-W., Ha, H.-R., Lim, H.-N., & Choi, S. (2015). Effects of aging procedures on the molecular, biochemical, morphological, and mechanical properties of vacuum-formed retainers. *J MechBehav Biomed Mater*, 51, 356-366. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.07.026>
- Al-Jewair, T. S., Hamidaddin, M. A., Alotaibi, H. M., Alqahtani, N. D., Albarakati, S. F., Alkofide, E. A., & Al-Moammar, K. A. (2016). Retention practices and factors affecting retainer choice among orthodontists in Saudi Arabia. *Saudi med j*, 37(8), 895-901. <https://doi.org/10.15537/smj.2016.8.14570>
- Al-Moghrabi, D., Johal, A., O'Rourke, N., Donos, N., Pandis, N., Gonzales-Marin, C., & Fleming, P. S. (2018). Effects of fixed vs removable orthodontic retainers on stability and periodontal health: 4-year follow-up of a randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 154(2), 167-174. e161. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.01.007>
- Albilali, A. T., Baras, B. H., & Aldosari, M. A. (2023a). Evaluation of Mechanical Properties of Different Thermoplastic Orthodontic Retainer Materials after Thermoforming and Thermocycling. *Polymers (Basel)*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/polym15071610>
- Albilali, A. T., Baras, B. H., & Aldosari, M. A. (2023b). Evaluation of Water Sorption and Solubility and FTIR Spectroscopy of Thermoplastic Orthodontic Retainer Materials Subjected to Thermoforming and Thermocycling. *Appl Sci*, 13(8), 5165. <https://doi.org/10.3390/app13085165>
- Alfadil, L., Patel, M., Pandis, N., & Fleming, P. S. (2024). Assessment of wear characteristics, longevity and stiffness of Essix-type retainers. *Clin Oral Investig*, 28(3), 185. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05503-x>
- Alkawari, H. M., Baidas, L. F., Alyahya, A. A., Alotaibi, R. A., & Alshayea, E. I. (2025). Impact of simulated gastric acid on the physical and mechanical properties of vacuum-formed retainers: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 25(1), 172. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05548-8>
- Anbuselvan, Kumar, S., Tamilzharasi, & Karthi. (2012). Essix Appliance Revisited.
- Årtun, J. (1984). Caries and periodontal reactions associated with long-term use of different types of bonded lingual retainers. *Am J Orthod*, 86(2), 112-118. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(84\)90302-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(84)90302-6)
- Artun, J., Krogstad, O., & Little, R. M. (1990). Stability of mandibular incisors following excessive proclination: a study in adults with surgically treated mandibular prognathism. *Angle Orthod*, 60(2), 99-106. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1990\)060<0099:Somife>2.0.Co;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1990)060<0099:Somife>2.0.Co;2)
- Årtun, J., Spadafora, A. T., & Shapiro, P. A. (1997). A 3-year follow-up study of various types of orthodontic canine-to-canine retainers. *Eur J Orthod*, 19(5), 501-509. <https://doi.org/10.1093/ejo/19.5.501>
- Arvystas, M. G. (1996). Maintaining orthodontic success: retention for the adult patient. *J Esthet Dent*, 8(6), 279-283. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.1996.tb00880.x>
- Ashari, A., Nik Mustapha, N. M., Yuen, J. J. X., Saw, Z. K., Lau, M. N., Xian, L., Syed Mohamed, A. M. F., Megat Abdul Wahab, R., Yeoh, C. K., & Deva Tata, M. (2022). A two-year comparative assessment of retention of arch width increases between modified vacuum-

- formed and Hawley retainers: a multi-center randomized clinical trial. *Prog Orthod*, 23(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s40510-022-00424-5>
- ASTM International. (2021). *ASTM D2240-21 — Standard test method for rubber property— Durometer hardness* (ASTM D2240-21). A. International.
- Baidas, L., Alkawari, H., Alshihan, N., Almashaan, G., & Alwaalan, H. (2020). Impact of Simulated Gastric Acid on Surface Roughness and Frictional Resistance of Orthodontic Archwires: An In vitro Study. *J Clin Diagn Res*, 14(12). <https://doi.org/10.7860/JCDR/2020/45051.14297>
- Banan, L. K., & Hegde, A. M. (2005). Plaque and salivary pH changes after consumption of fresh fruit juices. *J Clin Pediatr Dent*, 30(1), 9-13. <https://doi.org/10.17796/jcpd.30.1.40145263j4506793>
- Bardow, A., Madsen, J., & Nauntofte, B. (2000). The bicarbonate concentration in human saliva does not exceed the plasma level under normal physiological conditions. *Clin Oral Investig*, 4(4), 245-253. <https://doi.org/10.1007/s007840000077>
- Bardow, A., Moe, D., Nyvad, B., & Nauntofte, B. (2000). The buffer capacity and buffer systems of human whole saliva measured without loss of CO₂. *Arch Oral Biol*, 45(1), 1-12. [https://doi.org/10.1016/s0003-9969\(99\)00119-3](https://doi.org/10.1016/s0003-9969(99)00119-3)
- Barlin, S., Smith, R., Reed, R., Sandy, J., & Ireland, A. J. (2011). A retrospective randomized double-blind comparison study of the effectiveness of Hawley vs vacuum-formed retainers. *Angle Orthod*, 81(3), 404-409. <https://doi.org/10.2319/072610-437.1>
- Bearn, D. R. (1995). Bonded orthodontic retainers: a review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 108(2), 207-213. [https://doi.org/10.1016/s0889-5406\(95\)70085-4](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(95)70085-4)
- Blagec, T., Šimunović, L., Pili Gjumlić, S., Šutej, I., & Meštrović, S. (2024). Influence of pH levels and beverage exposure on force decay and color stability of orthodontic elastomeric chains: An experimental study. *Saudi Dent J*, 36(2), 308-314. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.11.008>
- Blake, M., & Bibby, K. (1998). Retention and stability: a review of the literature. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 114(3), 299-306. [https://doi.org/10.1016/s0889-5406\(98\)70212-4](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(98)70212-4)
- Booth, F. A., Edelman, J. M., & Proffit, W. R. (2008). Twenty-year follow-up of patients with permanently bonded mandibular canine-to-canine retainers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 133(1), 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.10.023>
- Bradley, T., Teske, L., Eliades, G., Zinelis, S., & Eliades, T. (2015). Do the mechanical and chemical properties of Invisalign TM appliances change after use? A retrieval analysis. *Eur J Orthod*, 38(1), 27-31. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjv003>
- Buchmann, N., Senn, C., Ball, J., & Brauchli, L. (2012). Influence of initial strain on the force decay of currently available elastic chains over time. *Angle Orthod*, 82(3), 529-535. <https://doi.org/10.2319/062011-399.1>
- Buzalaf, M. A. R., Hannas, A. R., & Kato, M. T. (2012). Saliva and dental erosion. *J Appl Oral Sci*, 20, 493-502. <https://doi.org/10.1590/s1678-77572012000500001>
- Campbell, A., McMullan, R., Winning, L., Baxter, K., Collins, J., & Lung, Z. (2009). Retention regimes following fixed appliance therapy - a change of practice re-audited. *Br Orthod Soc Clin Effectiveness Bull*, 20-22.
- Chandler, H. (1999). *Hardness testing* (2. Baski). ASM International.
- Chang, C. S., Al-Awadi, S., Ready, D., & Noar, J. (2014). An assessment of the effectiveness of mechanical and chemical cleaning of Essix orthodontic retainer. *J Orthod*, 41(2), 110-117. <https://doi.org/10.1179/1465313313y.00000000088>

- Commission, E. (2010). *Special Eurobarometer 330: Oral Health* (Special Eurobarometer 330, Issue. E. Commission. http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_330_en.pdf
- Cremonini, F., Vianello, M., Bianchi, A., & Lombardo, L. (2022). A spectrophotometry evaluation of clear aligners transparency: Comparison of 3D-printers and thermoforming disks in different combinations. *Appl Sci*, 12(23), 11964. <https://doi.org/10.3390/app122311964>
- da Silva, E. M., Doria, J., da Silva, J. d. J. R., Santos, G. V., Guimarães, J. G. A., & Poskus, L. T. (2013). Longitudinal evaluation of simulated toothbrushing on the roughness and optical stability of microfilled, microhybrid and nanofilled resin-based composites. *J Dent*, 41(11), 1081-1090. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.08.013>
- Davis, J. R. (2004). *Tensile testing* (2. Baski). ASM International.
- Dawes, C. (1969). The effects of flow rate and duration of stimulation on the concentrations of protein and the main electrolytes in human parotid saliva. *Arch Oral Biol*, 14(3), 277-294. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(69\)90231-3](https://doi.org/10.1016/0003-9969(69)90231-3)
- Dawes, C. (2008). Salivary flow patterns and the health of hard and soft oral tissues. *J Am Dent Assoc*, 139, 18S-24S. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2008.0351>
- Dawes, C., & Kubieniec, K. (2004). The effects of prolonged gum chewing on salivary flow rate and composition. *Arch Oral Biol*, 49(8), 665-669. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2004.02.007>
- De Santis, F., & Pantani, R. (2013). Optical properties of polypropylene upon recycling. *ScientificWorldJournal*, 2013, 354093. <https://doi.org/10.1155/2013/354093>
- de Souza, F. M., Sulaiman, M. R., & Gupta, R. K. (2021). Materials and chemistry of polyurethanes. In *Materials and Chemistry of Flame-Retardant Polyurethanes Volume 1: A Fundamental Approach* (s. 1-36). ACS Publications. <https://doi.org/10.1021/bk-2021-1399.ch001>
- Diaz, C. M., Gao, X., Robisson, A., Amarante, M., & Zhu, S. S. (2018). Effect of hydrolytic degradation on the mechanical property of a thermoplastic polyether ester elastomer. *Polym Degrad Stab*, 155, 35-42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.07.002>
- Dodds, M. W., Johnson, D. A., & Yeh, C. K. (2005). Health benefits of saliva: a review. *J Dent*, 33(3), 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2004.10.009>
- Doğramacı, E., Chubb, D., & Rossi-Fedele, G. (2018). Orthodontic thermoformed retainers: a two-arm laboratory study into post-fabrication outcomes. *Aust Dent J*, 63(3), 347-355. <https://doi.org/10.1111/adj.12610>
- Edgar, W. M. (1990). Saliva and dental health. Clinical implications of saliva: report of a consensus meeting. *Br Dent J*, 169(3-4), 96-98. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4807284>
- Feldman, M., Scharschmidt, B. F., & Sleisenger, M. H. (1998). *Sleisenger and Fordtran's gastrointestinal and liver disease: Pathophysiology, diagnosis, management* (7. Baski.). Saunders.
- Ferguson. (1975). Salivary glands and saliva. *J Anat*, 145-179.
- Forde, K., Storey, M., Littlewood, S. J., Scott, P., Luther, F., & Kang, J. (2017). Bonded versus vacuum-formed retainers: a randomized controlled trial. Part 1: stability, retainer survival, and patient satisfaction outcomes after 12 months. *Eur J Orthod*, 40(4), 387-398. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjx058>
- Frawley, T., Parkin, N., Kettle, J., Longstaff, S., & Benson, P. (2022). Young people's experiences of orthodontic retainers: A qualitative study. *J Orthod*, 49(4), 394-402. <https://doi.org/10.1177/14653125221099962>

- Fujimori, S. (2020). Gastric acid level of humans must decrease in the future. *World J Gastroenterol*, 26(43), 6706-6709. <https://doi.org/10.3748/wjg.v26.i43.6706>
- Gambardela-Tkacz, C. M., Alcaraz, G., Cotrin, P., de Freitas, K. M. S., Moura, W., Janson, G., Garib, D., & de Freitas, M. R. (2023). Incisor irregularity and dental arch dimensions changes in subjects with different severity of anterior crowding: a 37-year follow-up. *Prog Orthod*, 24(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s40510-023-00461-8>
- Gill, D. S., Naini, F. B., Jones, A., & Tredwin, C. J. (2007). Part-time versus full-time retainer wear following fixed appliance therapy: a randomized prospective controlled trial. *World J Orthod*, 8(3), 300–306.
- Godoy, F., Godoy-Bezerra, J., & Rosenblatt, A. (2011). Treatment of posterior crossbite comparing 2 appliances: A community-based trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 139(1), 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.06.017>
- Graber, L. W., Vanarsdall, R. L., Vig, K. W., & Huang, G. J. (2016). *Orthodontics: current principles and techniques: first SA Edn* (1. Baski). Elsevier Health Sciences.
- Green, J. (2013). The only way is Essix? Overview of thermoformed retainers. *Dental Nursing*, 9(1), 20-23. <https://doi.org/10.12968/denn.2013.9.1.2>
- Hancock, B. C., & Zografi, G. (1994). The relationship between the glass transition temperature and the water content of amorphous pharmaceutical solids. *Pharm Res*, 11(4), 471-477. <https://doi.org/10.1023/a:1018941810744>
- Hara, A. T., & Zero, D. T. (2014). The potential of saliva in protecting against dental erosion. *Monogr Oral Sci*, 25, 197-205.
- Herrmann, K. (2011). *Hardness testing: principles and applications*. ASM international.
- Hichens, L. (2007). Cost-effectiveness and patient satisfaction: Hawley retainers versus vacuum-formed retainers. *Br J Orthod*, 34(2), 135-139.
- Hichens, L., Rowland, H., Williams, A., Hollinghurst, S., Ewings, P., Clark, S., Ireland, A., & Sandy, J. (2007). Cost-effectiveness and patient satisfaction: Hawley and vacuum-formed retainers. *Eur J Orthod*, 29(4), 372-378. <https://academic.oup.com/ejo/article-abstract/29/4/372/394220?redirectedFrom=fulltext>
- Hofman, L. F. (2001). Human saliva as a diagnostic specimen. *J Nutr*, 131(5), 1621s-1625s. <https://doi.org/10.1093/jn/131.5.1621S>
- Horne, R. (2006). Compliance, Adherence, and Concordance: Implications for Asthma Treatment. *Chest*, 130(1, Supplement), 65S-72S. https://doi.org/https://doi.org/10.1378/chest.130.1_suppl.65S
- Horowitz, S. L., & Hixon, E. H. (1969). Physiologic recovery following orthodontic treatment. *Am J Orthod*, 55(1), 1-4. [https://doi.org/10.1016/s0002-9416\(69\)90168-7](https://doi.org/10.1016/s0002-9416(69)90168-7)
- Humphrey, S. P., & Williamson, R. T. (2001). A review of saliva: normal composition, flow, and function. *J Prosthet Dent*, 85(2), 162-169. <https://doi.org/10.1067/mpr.2001.113778>
- International Organization for Standardization. (2012). *ISO 527-1:2012 — Plastics — Determination of tensile properties — Part 1:General Principles* (ISO 527-1:2012). I. O. f. Standardization.
- International Organization for Standardization. (2013). *Dentistry — Base polymers — Part 2: Orthodontic base polymers* (ISO 20795-2:2013). I. O. f. Standardization.
- Jäderberg, S., Feldmann, I., & Engström, C. (2012). Removable thermoplastic appliances as orthodontic retainers—a prospective study of different wear regimens. *Eur J Orthod*, 34(4), 475-479. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjr040>

- Johansson, A. K., Lingström, P., Imfeld, T., & Birkhed, D. (2004). Influence of drinking method on tooth-surface pH in relation to dental erosion. *Eur J Oral Sci*, 112(6), 484-489. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2004.00172.x>
- John, V. (1992). Hardness and its Measurement. In V. John (Ed.), *Testing of Materials* (pp. 5-20). Macmillan Education UK. https://doi.org/10.1007/978-1-349-21969-8_2
- Joondeph, D. (1994). Retention and relapse. *Orthodontics: Current principles and techniques*
- Jun, C., Li, F.-g., & SUN, Z.-k. (2017). Tensile stress–strain behavior of metallic alloys. *Trans Nonferrous Met Soc China*, 27(11), 2443-2453. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60271-1](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60271-1)
- Kao, C. T., & Huang, T. H. (2010). Variations in surface characteristics and corrosion behaviour of metal brackets and wires in different electrolyte solutions. *Eur J Orthod*, 32(5), 555-560. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjp146>
- Kaplan, H. (1988). The logic of modern retention procedures. *Am J Orthod*, 93(4), 325-340. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(88\)90163-1](https://doi.org/10.1016/0889-5406(88)90163-1)
- Karger-Kocsis, J. (2012). *Polypropylene structure, blends and composites: Volume 3 composites*. Springer Science & Business Media.
- Katsaros, C., Livas, C., & Renkema, A.-M. (2013). Unexpected Complications of Bonded Mandibular Lingual Retainers. *Inf Orthod Kieferorthop*, 45(01), 18-21. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.07.011>
- Keim, R. G., Gottlieb, E. L., Vogels 3rd, D. S., & Vogels, P. B. (2014). 2014 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures, part 1: results and trends. *J Clin Orthod*, 48(10), 607-630.
- Khopkar, S. M. (1998). *Basic concepts of analytical chemistry*. New Age International.
- Kopic, S., & Geibel, J. P. (2013). Gastric acid, calcium absorption, and their impact on bone health. *Physiol Rev*.
- Kurt, A., Gündüz, B., & Koca, M. (2019). A detailed study on the optical properties of 3-benzoyl-7-hydroxy coumarin compound in different solvents and concentrations. *Maced J Chem Chem Eng.*, 38(2), 227-236. <https://doi.org/10.20450/mjccce.2019.1403>
- Kurt, A., & Koca, M. (2015). Optical properties of poly (2-(5-bromo benzofuran-2-yl)-2-oxoethyl methacrylate)/organoclay nanocomposites. *Arab J Sci Eng*, 40(10), 2975-2984. <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1738-2>
- Lach, R., Richter, S., Heilmann, A., & Grellmann, W. (2021). Recording microindentation and adhesion tests to analyse the depth-dependent mechanical and adhesive properties of multilayer polymer films as shown for gelatine-coated polyethylene terephthalate and polyethylene films. *J Plast Film Sheeting*, 37(1), 53-69. <https://doi.org/10.1177/8756087920942810>
- Lach, R., Schön, J., Krolopp, T., Arndt, S., Langer, B., & Grellmann, W. (2016). Depth-Sensing Macroindentation Test and Stepped Isothermal Method–Accelerated Assessment of the Local Retardation Behaviour of Thermoplastic Polymers. *Macromol Symp*, 366(1), 60-65. <https://doi.org/10.1002/masy.201650047>
- Lagravère, M. O., Carey, J., Heo, G., Toogood, R. W., & Major, P. W. (2010). Transverse, vertical, and anteroposterior changes from bone-anchored maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 137(3), 304.e301-304.e312. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.09.016>
- Larsen, M. (2001). Prevention by means of fluoride of enamel erosion as caused by soft drinks and orange juice. *Caries Res*, 35(3), 229-234. <https://doi.org/10.1159/000047461>

- Larsen, M., & Nyvad, B. (1999). Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res*, 33(1), 81-87. <https://doi.org/10.1159/000016499>
- Lee, S. Y., Kim, H., Kim, H. J., Chung, C. J., Choi, Y. J., Kim, S. J., & Cha, J. Y. (2022). Thermo-mechanical properties of 3D printed photocurable shape memory resin for clear aligners. *Sci Rep*, 12(1), 6246. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09831-4>
- Lew, K. (1989). Direct-bonded lingual retainer. *J Clin Orthod*, 23(7), 490-491.
- Lindauer, S. J., & Shoff, R. C. (1998). Comparison of Essix and Hawley retainers. *J Clin Orthod*, 32(2), 95-97.
- Little, R. M. (1975). The irregularity index: a quantitative score of mandibular anterior alignment. *Am J Orthod*, 68(5), 554-563. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(75\)90086-x](https://doi.org/10.1016/0002-9416(75)90086-x)
- Little, R. M., & Riedel, R. A. (1989). Postretention evaluation of stability and relapse—mandibular arches with generalized spacing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 95(1), 37-41. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(89\)90133-9](https://doi.org/10.1016/0889-5406(89)90133-9)
- Little, R. M., Riedel, R. A., & Engst, E. D. (1990). Serial extraction of first premolars—postretention evaluation of stability and relapse. *Angle Orthod*, 60(4), 255-262. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1990\)060<0255:SEOFPP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1990)060<0255:SEOFPP>2.0.CO;2)
- Little, R. M., Wallen, T. R., & Riedel, R. A. (1981). Stability and relapse of mandibular anterior alignment—first premolar extraction cases treated by traditional edgewise orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 80(4), 349-365. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(81\)90171-8](https://doi.org/10.1016/0002-9416(81)90171-8)
- Littlewood, S. J., Kandasamy, S., & Huang, G. (2017). Retention and relapse in clinical practice. *Aust Dent J*, 62, 51-57. <https://doi.org/10.1111/adj.12475>
- Littlewood, S. J., Millett, D. T., Doubleday, B., Bearn, D. R., & Worthington, H. V. (2006). Orthodontic retention: a systematic review. *J Orthod*, 33(3), 205-212. <https://doi.org/10.1179/146531205225021624>
- Littlewood, S. J., Millett, D. T., Doubleday, B., Bearn, D. R., & Worthington, H. V. (2016). Retention procedures for stabilising tooth position after treatment with orthodontic braces. *Cochrane Database Syst Rev*(1). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002283.pub3>
- Loke, C., Lee, J., Sander, S., Mei, L., & Farella, M. (2016). Factors affecting intra-oral pH—a review. *J Oral Rehabil*, 43(10), 778-785. <https://doi.org/10.1111/joor.12429>
- Lussi, A. (2009). Dental erosion—novel remineralizing agents in prevention or repair. *Adv Dent Res*, 21(1), 13-16. <https://doi.org/10.1177/0895937409335592>
- Lussi, A., & Jaeggi, T. (2008). Erosion—diagnosis and risk factors. *Clin Oral Investig*, 12(Suppl 1), 5-13. <https://doi.org/10.1007/s00784-007-0179-z>
- Lussi, A., Schlueter, N., Rakhmatullina, E., & Ganss, C. (2011). Dental erosion—an overview with emphasis on chemical and histopathological aspects. *Caries Res*, 45(Suppl. 1), 2-12. <https://doi.org/10.1159/000325915>
- Mai, W., He, J. a., Meng, H., Jiang, Y., Huang, C., Li, M., Yuan, K., & Kang, N. (2014). Comparison of vacuum-formed and Hawley retainers: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 145(6), 720-727. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.01.019>
- Maltha, J. C., Kuijpers-Jagtman, A. M., Von den Hoff, J. W., & Ongkosuwito, E. M. (2017). Relapse revisited—Animal studies and its translational application to the orthodontic office. *Semin Orthod*, 23(4), 390-398. <https://doi.org/https://doi.org/10.1053/j.sodo.2017.07.009>

- Manzon, L., Fratto, G., Rossi, E., & Buccheri, A. (2018). Periodontal health and compliance: A comparison between Essix and Hawley retainers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 153(6), 852-860. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.10.025>
- McNaught, A. D., & McNaught, A. D. (1997). *Compendium of chemical terminology* (Vol. 1669). Blackwell Science Oxford.
- McReynolds, D. C., & Little, R. M. (1991). Mandibular second premolar extraction—postretention evaluation of stability and relapse. *Angle Orthod*, 61(2), 133-144. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1991\)061<0133:MSPEPE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1991)061<0133:MSPEPE>2.0.CO;2)
- Meade, M. J., & Dreyer, C. W. (2019). A survey of retention and retainer practices of orthodontists in Australia. *Australas Orthod J*, 35(2), 174-183.
- Meade, M. J., & Millett, D. (2013). Retention protocols and use of vacuum-formed retainers among specialist orthodontists. *J Orthod*, 40(4), 318-325. <https://doi.org/10.1179/1465313313Y.0000000066>
- Meade, M. J., & Millett, D. T. (2015). Vacuum-formed retainers: an overview. *Dent Update*, 42(1), 24-34. <https://doi.org/10.12968/denu.2015.42.1.24>
- Melrose, C., & Millett, D. T. (1998). Toward a perspective on orthodontic retention? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 113(5), 507-514. [https://doi.org/10.1016/s0889-5406\(98\)70261-6](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(98)70261-6)
- Meurman, J. H., Toskala, J., Nuutinen, P., & Klemetti, E. (1994). Oral and dental manifestations in gastroesophageal reflux disease. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 78(5), 583-589. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(94\)90168-6](https://doi.org/10.1016/0030-4220(94)90168-6)
- Michelaki, E. I. (2024). *Force decay in thermoformed aligner plastic sheets: An in vitro comparison study* University of Washington.
- Miles, T. S., Nauntofte, B., & Svensson, P. (2004). *Clinical oral physiology*. Quintessence publishing.
- Mills, J. R. (1968). The stability of the lower labial segment. A cephalometric survey. *Dent Pract Dent Rec*, 18(8), 293-306. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(68\)90010-9](https://doi.org/10.1016/0002-9416(68)90010-9)
- Millward, A., Shaw, L., Harrington, E., & Smith, A. (1997). Continuous monitoring of salivary flow rate and pH at the surface of the dentition following consumption of acidic beverages. *Caries Res*, 31(1), 44-49. <https://doi.org/10.1159/000262373>
- Moazzez, R., Bartlett, D., & Anggiansah, A. (2004). Dental erosion, gastro-oesophageal reflux disease and saliva: how are they related? *J Dent*, 32(6), 489-494. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2004.03.004>
- Mohs, F. (1825). *Treatise on Mineralogy: Or, The Natural History of the Mineral Kingdom* (Vol. 1). A. Constable and Company.
- Mondal, S., & Martin, D. (2012). Hydrolytic degradation of segmented polyurethane copolymers for biomedical applications. *Polym Degrad Stab*, 97(8), 1553-1561. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.04.008>
- Murakami, H., & Sly, W. (1987). Purification and characterization of human salivary carbonic anhydrase. *J Biol Chem*, 262(3), 1382-1388. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)75797-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)75797-4)
- Mutinelli, S., Cozzani, M., Manfredi, M., Bee, M., & Siciliani, G. (2008). Dental arch changes following rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod*, 30(5), 469-476. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjn045>
- Özay, A. U., Marşan, G., & Aydemir, B. (2022). Farklı Şeffaf Plak Materyallerinin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *İstanbul Gelişim Üniv Sağlık Bilim Derg*(18), 1028-1040. <https://doi.org/10.38079/igusabder.1125164>

- Padmos, J. A., Fudalej, P. S., & Renkema, A. M. (2018). Epidemiologic study of orthodontic retention procedures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 153(4), 496-504. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.08.013>
- Pavlina, E., & Van Tyne, C. (2008). Correlation of yield strength and tensile strength with hardness for steels. *J Mater Eng Perform*, 17, 888-893.
- Petrén, S., Bjerklín, K., & Bondemark, L. (2011). Stability of unilateral posterior crossbite correction in the mixed dentition: A randomized clinical trial with a 3-year follow-up. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 139(1), e73-e81. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.06.018>
- Ponitz, R. J. (1971). Invisible retainers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 59(3), 266-272. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(71\)90099-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(71)90099-6)
- Porojan, L., Bejan, F. R., Vasiliu, R. D., & Matichescu, A. (2025). Optical Behavior of Clear Thermoplastic Dental Materials in a Simulated Oral Environment. *Polymers*, 17(4), 472. <https://www.mdpi.com/2073-4360/17/4/472>
- Porojan, L., Toma, F. R., Birdeanu, M. I., Vasiliu, R. D., & Matichescu, A. (2023). Topographical and Optical Characteristics of Thermoplastic Dental Appliances Materials Related to Water Sorption. *J Funct Biomater*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/jfb14040190>
- Porojan, L., Toma, F. R., Gherban, M. I., Vasiliu, R. D., & Matichescu, A. (2024). Surface Topography of Thermoplastic Appliance Materials Related to Sorption and Solubility in Artificial Saliva. *Biomimetics (Basel)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/biomimetics9070379>
- Porojan, L., Vasiliu, R.-D., Porojan, S.-D., & Birdeanu, M.-I. (2020). Surface Quality Evaluation of Removable Thermoplastic Dental Appliances Related to Staining Beverages and Cleaning Agents. *Polymers*, 12(8), 1736. <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/8/1736>
- Pratt, M. C., Kluemper, G. T., Hartsfield, J. K., Fardo, D., & Nash, D. A. (2011). Evaluation of retention protocols among members of the American Association of Orthodontists in the United States. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 140(4), 520-526. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.10.023>
- Pratt, M. C., Kluemper, G. T., Hartsfield Jr, J. K., Fardo, D., & Nash, D. A. (2011). Evaluation of retention protocols among members of the American Association of Orthodontists in the United States. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 140(4), 520-526. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.10.023>
- Pratt, M. C., Kluemper, G. T., & Lindstrom, A. F. (2011). Patient compliance with orthodontic retainers in the postretention phase. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 140(2), 196-201. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.02.035>
- Proffit, W. R. (1978). Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. *Angle Orthod*, 48(3), 175-186. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1978\)048<0175:Etrfip>2.0.Co;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1978)048<0175:Etrfip>2.0.Co;2)
- Proffit, W. R., Fields, H., Larson, B., & Sarver, D. M. (2018). *Contemporary Orthodontics-E-Book: Contemporary Orthodontics-E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Raja, T. A., Littlewood, S. J., Munyombwe, T., & Bubb, N. L. (2014). Wear resistance of four types of vacuum-formed retainer materials: a laboratory study. *Angle Orthod*, 84(4), 656-664. <https://doi.org/10.2319/061313-448.1>
- Rajendran, A., Sundareswaran, S., Peediyekkal, L. V., Santhakumar, P., & Sathyanadhan, S. (2019). Effect of oral environment and prescribed fluoride mouthwashes on different types of TMA wires - An in-vivo study. *J Orthod Sci*, 8, 8. https://doi.org/10.4103/jos.JOS_72_18
- Ranjitkar, S., Kaidonis, J. A., & Smales, R. J. (2012). Gastroesophageal reflux disease and tooth erosion. *Int J Dent*, 2012, 479850. <https://doi.org/10.1155/2012/479850>

- Reddy, A., Norris, D. F., Momeni, S. S., Waldo, B., & Ruby, J. D. (2016). The pH of beverages in the United States. *J Am Dent Assoc*, 147(4), 255-263. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2015.10.019>
- Reitan, K. (1959). Tissue rearrangement during retention of orthodontically rotated teeth. *Angle Orthod*, 29(2), 105-113.
- Reitan, K. (1960). Tissue behavior during orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 46(12), 881-900. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(60\)90091-9](https://doi.org/10.1016/0002-9416(60)90091-9)
- Reitan, K. (1969). Principles of retention and avoidance of posttreatment relapse. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 55(6), 776-790. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(69\)90050-5](https://doi.org/10.1016/0002-9416(69)90050-5)
- Riedel, R. A., Little, R. M., & Bui, T. D. (1992). Mandibular incisor extraction—postretention evaluation of stability and relapse. *Angle Orthod*, 62(2), 103-116. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1992\)062<0103:MIEPEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1992)062<0103:MIEPEO>2.0.CO;2)
- Rody Jr, W. J., Akhlaghi, H., Akyalcin, S., Wiltshire, W. A., Wijegunasinghe, M., & Filho, G. N. (2011). Impact of orthodontic retainers on periodontal health status assessed by biomarkers in gingival crevicular fluid. *Angle Orthod*, 81(6), 1083-1089. <https://doi.org/10.2319/011011-15.1>
- Rohaya, M., Shahrul Hisham, Z., & Doubleday, B. (2006). Randomised Clinical Trial: Comparing the Efficacy of Vacuum-formed and Hawley Retainers in Retaining corrected tooth rotations. *Dent J Malays*, 27(1).
- Rossouw, P. E. (1999). Terminology: Semantics of postorthodontic treatment changes in the dentition. *Semin Orthod*, 5(3), 138-141. [https://doi.org/10.1016/s1073-8746\(99\)80004-8](https://doi.org/10.1016/s1073-8746(99)80004-8)
- Rowland, H., Hichens, L., Williams, A., Hills, D., Killingback, N., Ewings, P., Clark, S., Ireland, A. J., & Sandy, J. R. (2007). The effectiveness of Hawley and vacuum-formed retainers: a single-center randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 132(6), 730-737. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.06.019>
- Ryokawa, H., Miyazaki, Y., Fujishima, A., Miyazaki, T., & Maki, K. (2006). The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthod Waves*, 65(2), 64-72. <https://doi.org/10.1016/j.odw.2006.03.003>
- Ryu, J. H., Kwon, J. S., Jiang, H. B., Cha, J. Y., & Kim, K. M. (2018). Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners. *Korean J Orthod*, 48(5), 316-325. <https://doi.org/10.4041/kjod.2018.48.5.316>
- Saksena, R., Bartlett, D., & Smith, B. (1999). The role of saliva in regurgitation erosion. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 7(4), 121-124.
- Saleh, M., Hajeer, M. Y., & Muessig, D. (2017). Acceptability comparison between Hawley retainers and vacuum-formed retainers in orthodontic adult patients: a single-centre, randomized controlled trial. *Eur J Orthod*, 39(4), 453-461. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjx024>
- Santos, R. L. d., Pithon, M. M., & Romanos, M. T. V. (2013). The effect of different pH levels on conventional vs. super-force chain elastics. *Mater Res*, 16, 246-251.
- Sawhney, B. B. (2013). *Orthodontic retainers: a survey of patient compliance and satisfaction* The University of Western Ontario (Canada).
- Schäfer, K., Ludwig, B., Meyer-Gutknecht, H., & Schott, T. C. (2015). Quantifying patient adherence during active orthodontic treatment with removable appliances using microelectronic wear-time documentation. *Eur J Orthod*, 37(1), 73-80. <https://doi.org/10.1093/ejo/cju012>

- Scribante, A., Sfondrini, M. F., Broggin, S., D'Allocco, M., & Gandini, P. (2011). Efficacy of Esthetic Retainers: Clinical Comparison between Multistranded Wires and Direct-Bond Glass Fiber-Reinforced Composite Splints. *Int J Dent*, 2011(1), 548356. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2011/548356>
- Scully Cbe, C. (2003). Drug effects on salivary glands: dry mouth. *Oral Dis*, 9(4), 165-176. [10.1034/j.1601-0825.2003.03967.x](https://doi.org/10.1034/j.1601-0825.2003.03967.x)
- Shawesh, M., Bhatti, B., Usmani, T., & Mandall, N. (2010). Hawley retainers full-or part-time? A randomized clinical trial. *Eur J Orthod*, 32(2), 165-170. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjp082>
- Shellis, R. P., Featherstone, J., & Lussi, A. (2014). Understanding the chemistry of dental erosion. *Monogr Oral Sci*, 25, 163-179. <https://doi.org/10.1159/000359943>
- Sheridan, J. (1993). Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *J Clin Orthod*, 27, 37-45.
- Sherwood, L. (2005). *Fundamentals of physiology: a human perspective*. Cengage Learning.
- Singh, P., Grammati, S., & Kirschen, R. (2009). Orthodontic retention patterns in the United Kingdom. *J Orthod*, 36(2), 115-121. <https://doi.org/10.1179/14653120723040>
- Siviour, C. R., & Jordan, J. L. (2016). High Strain Rate Mechanics of Polymers: A Review. *J Dyn Behav Mater*, 2(1), 15-32. <https://doi.org/10.1007/s40870-016-0052-8>
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2007). *Instrumental analysis* (Vol. 47). Brooks/Cole, Cengage Learning Belmont.
- LaMotte Company. (2016). *SMART Spectro Spectrophotometer: User manual*. <https://www.acild.ca/pdf/LaMotte%20SMART%20Spectro%202.pdf> adresinden 6 Aralık 2025 tarihinde alınmıştır.
- Smith, B. C. (2018). *Infrared spectral interpretation: a systematic approach*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9780203750841>
- Sreebny, L. M. (2000). Saliva in health and disease: an appraisal and update. *Int J Dent*, 50(3), 140-161. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595X.2000.tb00554.x>
- Stefanski, T., Kloc-Ptaszna, A., & Postek-Stefanska, L. (2019). The effect of simulated erosive conditions on the frictional behavior of different orthodontic bracket-wire combinations. *Dent Med Probl*, 56(2), 173-177. <https://doi.org/10.17219/dmp/105832>
- Stefanski, T. P.-S., L. (2014). Possible ways of reducing dental erosive potential of acidic beverages. *Aust Dent J*, 59(3), 280-288. <https://doi.org/10.1111/adj.12201>
- Störmann, I., & Ehmer, U. (2002). A Prospective Randomized Study of Different Retainer Types. *J Orofac Orthop*, 63(1), 42-50. <https://doi.org/10.1007/s00056-002-0040-6>
- Sun, J., Yu, Y. C., Liu, M. Y., Chen, L., Li, H. W., Zhang, L., Zhou, Y., Ao, D., Tao, R., & Lai, W. L. (2011). Survival Time Comparison between Hawley and Clear Overlay Retainers: A Randomized Trial. *J Dent Res*, 90(10), 1197-1201. <https://doi.org/10.1177/0022034511415274>
- Swinehart, D. F. (1962). The beer-lambert law. *J Chem Educ*, 39(7), 333.
- Tabor, D. (1970). The hardness of solids. *Rev Phys Tech*, 1(3), 145. <https://doi.org/10.1088/0034-6683/1/3/101>
- Tamburrino, F., D'Antò, V., Bucci, R., Alessandri-Bonetti, G., Barone, S., & Razionale, A. V. (2020). Mechanical properties of thermoplastic polymers for aligner manufacturing: in vitro study. *Dent J*, 8(2), 47. <https://doi.org/10.3390/dj8020047>

- Tenshin, S., Tuchihashi, M., Sou, K., Lew, H.-s., Hayashi, H., Tanimura, I., & Kawata, T. (1995). Remodeling mechanisms of transseptal fibers during and after tooth movement. *Angle Orthod*, 65(2), 141-150. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1995\)065<0141:RMOTFD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1995)065<0141:RMOTFD>2.0.CO;2)
- Thickett, E., & Power, S. (2010). A randomized clinical trial of thermoplastic retainer wear. *Eur J Orthod*, 32(1), 1-5. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjp061>
- Thilander, B. (2000). Biological basis for orthodontic relapse. *Semin Orthod*, 6(3), 195-205. <https://doi.org/10.1053/sodo.2000.8085>Get rights and content
- Thilander, B. (2009). Dentoalveolar development in subjects with normal occlusion. A longitudinal study between the ages of 5 and 31 years. *Eur J Orthod*, 31(2), 109-120. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjn124>
- Tsai, Y., Fan, C. H., Hung, C. Y., & Tsai, F. J. (2007). Poly (ethylene terephthalate) copolymers that contain 5-tert-butylisophthalic acid and 1-3/1-4-cyclohexanedimethanol: Synthesis, characterization, and properties. *J Appl Polym Sci*, 104(1), 279-285. <https://doi.org/10.1002/app.25592>
- Vaden, J. L., Harris, E. F., & Gardner, R. L. Z. (1997). Relapse revisited. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 111(5), 543-553. [https://doi.org/10.1016/s0889-5406\(97\)70291-9](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(97)70291-9)
- Vagdouti, G., Karvouni, E., Bitsanis, E., & Koletsi, D. (2019). Objective evaluation of compliance after orthodontic treatment using Hawley or vacuum-formed retainers: A 2-center randomized controlled trial over a 3-month period. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 156(6), 717-726. e712. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.07.008>
- Valiathan, M., & Hughes, E. (2010). Results of a survey-based study to identify common retention practices in the United States. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 137(2), 170-177; discussion 177. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.03.023>
- Vandevska-Radunovic, V., Espeland, L., & Stenvik, A. (2013). Retention: type, duration and need for common guidelines. A survey of Norwegian orthodontists. *Orthodontics (Chic.)*, 14(1). <https://doi.org/10.11607/ortho.964>
- Vargo, J., Buschang, P. H., Boley, J. C., English, J. D., Behrents, R. G., & Owen, A. H., III. (2007). Treatment effects and short-term relapse of maxillomandibular expansion during the early to mid mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 131(4), 456-463. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.06.032>
- Walsh, L. J. (2007). Clinical aspects of salivary biology for the dental clinician. *Int J Dent*, 2(3), 16-20.
- Wang, H., Dai, X., Liu, Y., Li, J., & Hou, Z. (2018). Analysis on the reasons for orthodontic re-treatment. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, 53(3), 205-208. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.03.013>
- Wang, K., Shen, J., Ma, Z., Zhang, Y., Xu, N., & Pang, S. (2021). Preparation and Properties of Poly (ethylene glycol-co-cyclohexane-1, 4-dimethanol terephthalate)/Polyglycolic Acid (PETG/PGA) Blends. *Polymers*, 13(3), 452. <https://doi.org/10.3390/polym13030452>
- Wang, Y.-L., Chang, C.-C., Chi, C.-W., Chang, H.-H., Chiang, Y.-C., Chuang, Y.-C., Chang, H.-H., Huang, G.-F., Liao, Y.-S., & Lin, C.-P. (2014). Erosive potential of soft drinks on human enamel: An in vitro study. *J Formos Med Assoc*, 113(11), 850-856. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2014.06.002>
- Wible, E. (2017). *Long-term mechanical and physical effects of various cleaning methods on retainer thermoplastics* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. University of Illinois at Chicago.

- Wong, A. K. (1976). Orthodontic elastic materials. *Angle Orthod*, 46(2), 196-205. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1976\)046<0196:Oem>2.0.Co;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1976)046<0196:Oem>2.0.Co;2)
- Wong, P. M., & Freer, T. J. (2004). A comprehensive survey of retention procedures in Australia and New Zealand. *Aust Orthod J*, 20(2), 99-106. <https://doi.org/10.2478/aoj-2004-0013>
- Wynn, R., & Meiller, T. (2000). Artificial saliva products and drugs to treat xerostomia. *Gen Dent*, 48(6), 630-636.
- Yulianto, H. D. K., Rinastiti, M., Cune, M. S., de Haan-Visser, W., Atema-Smit, J., Busscher, H. J., & van der Mei, H. C. (2019). Biofilm composition and composite degradation during intra-oral wear. *Dent Mater J*, 35(5), 740-750. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.02.024>
- Zachrisson, B. U. (2007). Long-term experience with direct-bonded retainers: update and clinical advice. *J Clin Orthod*, 41(12), 728-737; quiz 749.
- Zafeiriadis, A. A., Karamouzos, A., Athanasiou, A. E., Eliades, T., & Palaghias, G. (2014). In vitro spectrophotometric evaluation of Vivera clear thermoplastic retainer discolouration. *Aust Orthod J*, 30(2), 192-200. <https://doi.org/10.2478/aoj-2014-0017>
- Zero, D. T., & Lussi, A. (2005). Erosion—chemical and biological factors of importance to the dental practitioner. *Int J Dent*, 55, 285-290. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595x.2005.tb00066.x>
- Zhang, N., Bai, Y., Ding, X., & Zhang, Y. (2011). Preparation and characterization of thermoplastic materials for invisible orthodontics. *Dent Mater J*, 30(6), 954-959. <https://doi.org/10.4012/dmj.2011-120>
- Zhang, X., Al-Moghrabi, D., Pandis, N., Shah, S., & Fleming, P. S. (2022). The effectiveness of a bespoke mobile application in improving adherence with removable orthodontic retention over 12 months: A randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 161(3), 327-337. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2021.09.010>
- Zhu, Y., Lin, J., Long, H., Ye, N., Huang, R., Yang, X., Jian, F., & Lai, W. (2017). Comparison of survival time and comfort between 2 clear overlay retainers with different thicknesses: A pilot randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 151(3), 433-439. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.10.019>