



T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ALT ÇENE ÖN BÖLGEDEKİ ÇAPRAŞIKLIĞIN
SEVİYELLENMESİNDE DÜŞÜK DOZ LAZER UYGULAMASININ
ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Diş Hekimi Yasemin TUNCA
ORTODONTİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Yeşim KAYA**

**İKİNCİ DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Nazlı Zeynep ALPASLAN YAYLI**

VAN-2022

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALT ÇENE ÖN BÖLGEDEKİ ÇAPRAŞIKLIĞIN
SEVİYELENMESİNDE DÜŞÜK DOZ LAZER UYGULAMASININ
ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Diş Hekimi Yasemin TUNCA
ORTODONTİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Yeşim KAYA**

**İKİNCİ DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Nazlı Zeynep ALPASLAN YAYLI**

VAN-2022

ETİK BEYAN

T.C.

VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Alt Çene Ön Bölgedeki Çapraşıklığın Seviyelenmesinde Düşük Doz Lazer Uygulamasının Etkinliğinin Değerlendirilmesi” başlıklı tezim; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir. Bu tezdeki bütün bilgiler akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak hazırlanıp, bu kural ve ilkeler gereği, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçlara atıf yapılmış ve kaynak gösterilmiştir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Yasemin TUNCA

Tarih: 28/03/2022

İmza:

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezimin araştırma ve yazım aşamasında bana yol gösteren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, kendisinden çok şey öğrendiğim ve daha çok şey öğrenmeyi umduğum değerli danışman hocam Doç. Dr. Yeşim KAYA'ya,

Tezimin hazırlanması sırasında verdiği değerli bilgilerle bana destek olan kıymetli hocam ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nazlı ALPASLAN YAYLI'ya, Dr. Öğr. Üyesi Beyza ÜNALAN DEĞİRMENCİ ve Dr. Öğr. Üyesi Dicle ALTINDAL'a, doktora eğitimim sırasında çalışma fırsatı bulduğum bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Dr. Cihan AYDOĞAN'a,

Ortak doktora programında tüm bilgi ve birikimlerini paylaşan ve desteklerini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'ndaki değerli hocalarım Prof. Dr. Sema YÜKSEL, Prof. Dr. Sevil AKKAYA, Prof. Dr. Neslihan ÜÇÜNCÜ, Prof. Dr. Tuba TORTOP, Prof. Dr. Nilüfer DARENDELİLER, Prof. Dr. Refia Lale TANER, Prof. Dr. Cumhur TUNCER, Prof. Dr. Burcu BALOŞ TUNCER, Prof. Dr. M. Çağrı ULUSOY'a,

Doktora eğitimim boyunca birbirimize destek olduğumuz asistan arkadaşlarım Hüseyin Melik BÖYÜK, Seda KOTAN, Helin DURSUN, Selma BİLEN, Nihal FAHRZADEH, Sema KAYA'ya ve anabilim dalımızın değerli yardımcı personellerine,

Doktora eğitimimin her aşamasında bana örnek olan, yol gösteren, hayatımın her anında sonsuz sevgi veren, destek olan, sabrını esirgemeyen, her kararında bana güvenen ve sonuna kadar destekleyen sevgili eşim Murat TUNCA'ya, sayesinde tanıdığım ikinci aileme, varlıklarıyla bana güç veren canım oğlum Batu'ya ve canım oğlum Mete'ye,

Hayatım boyunca desteklerini her zaman hissettiğim canım annem, babam ve kardeşlerime, uzak mesafelere rağmen desteklerini esirgemeyen tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

ÖZET

Tunca Y, Alt Çene Ön Bölgedeki Çapraşıklığın Seviyelenmesinde Düşük Doz Lazer Uygulamasının Etkinliğinin Değerlendirilmesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ortodonti Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Van, 2022. Bu tez çalışmasında alt çene ön bölgedeki çapraşıklığın seviyelenmesinde düşük doz lazer tedavisinin (DDL) etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmaya çekimsiz sabit ortodontik tedavi planlanan, Little'ın düzensizlik indeksine göre alt çene kanin-kanin arası bölgede 4-8 mm çapraşıklığı bulunan, 12-21 yaş aralığında 22 kadın ve 8 erkek dahil edilmiştir. Sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılmasından sonra .012 nikel titanyum ark telleriyle seviyenleme işlemine başlanılmıştır. Seviyenleme esnasında sabit ortodontik tedavi ile beraber alt anterior dişlere lazer uygulanan grup lazer grubu, uygulanmayan grup ise kontrol grubu olarak tanımlanmıştır. DDL 810-nm dalga boyunda yarı geçirgen düşük seviyeli Gallium-Aluminum-Arsenid diyot lazer cihazı kullanılarak, 100 mw enerji gücü ve 8 J/cm² enerji yoğunluğunda devamlı modda gerçekleştirilmiştir. Alt anterior dişlerin kökleri iki eşit parçaya bölündüğünde lazer ışını servikal ve apikal olmak üzere iki bölgenin orta noktasına, her bölge 10 sn olacak şekilde 0., 3., 7., 14. günlerde ve 14. günden sonra seviyenleme tamamlanuncaya kadar her 14 günde bir uygulanmıştır. Ayrıca, 0., 2. ve 6. saatler ile 1., 3., 7., 14. ve 21. günlerde VAS skalasıyla ağrı düzeyleri, bonding işleminden hemen sonra ve 30., 60. ve 90. günlerde ise plak indeks, gingival indeks ve sondalanan cep derinliği ölçümleriyle periodontal durumları değerlendirilmiştir. Ortalama seviyenleme sürelerinin lazer grubunda 111,8 ± 42,9 gün, kontrol grubunda ise 135,67±49,65 gün olduğu belirlenmiştir. Seviyenleme süreleri bakımından lazer ve kontrol grupları arasında istatistik olarak anlamlı fark bulunmamıştır. Gingival indeks, plak indeksi ve sondalanan cep derinliği bakımından grup içi ve gruplar arası karşılaştırma sonuçları anlamlı farklılık göstermemiştir. VAS değerlerinin ise lazer grubunda 6. saat ve 1. günde kontrol grubuna kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. DDL'nin alt çene ön bölgedeki çapraşıklığın seviyelenmesi ve bu esnada oluşan ağrı düzeyine etkisinin anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ortodontik Diş Hareketi, Düşük Doz Lazer Tedavisi, Ağrı.

ABSTRACT

Tunca Y, Evaluation of the Effectiveness of Low-level Laser Therapy in Leveling Anterior Mandibular Crowding., Van Yuzuncu Yıl University, Institute of Health Sciences, Department of Orthodontics, Ph.D. Thesis, Van, 2022. In this thesis, it was aimed to evaluate the effectiveness of low-dose laser therapy (LLLT) in leveling the anterior mandibular crowding. Twenty-two women and eight men between the ages of 12-21, who were planned for fixed orthodontic treatment without extraction, and who had 4-6 mm crowding in the mandibular canine-canine region according to Little's irregularity index, were included in the study. The leveling process was initiated with .012 nickel titanium arch wires after the fixed orthodontic attachments were applied. During the leveling, the laser group was defined as the group that had laser therapy on the mandibular anterior teeth with fixed orthodontic treatment, while the control group was defined as the group that did not apply laser therapy. LLLT was performed in continuous mode at an energy power of 100 mW and an energy density of 8 J/cm² using a semipermeable low-level Gallium-Aluminum-Arsenide diode laser device at 810-nm wavelength. When the roots of the mandibular anterior teeth are divided into two equal parts, the laser beam is transmitted to the midpoint of the cervical and apical regions, each region for 10 seconds, on the 0-hours, 3rd, 7th, 14th days and every 14 days until the leveling is completed after the 14th day has been applied. Additionally, pain levels were assessed using a VAS scale at 0-hour, 2nd hour, 6th hour, 1th day, 3rd day, 7th day, 14th day and 21st day; periodontal health was assessed via plaque index, gingival index, and probing pocket depth measures immediately after bonding and on the 30th, 60th, and 90th days. The mean leveling duration were determined to be 111.8 ± 42.9 days in the laser group and 135.67 ± 49.65 days in the control group. In terms of leveling durations, there was no statistically significant difference between the laser and control groups. In terms of gingival index, plaque index, and probing pocket depth, the intra-group and inter-group comparison results were not significantly different. Furthermore, when compared to the control group, VAS values in the laser group were lower in the 6th hour and on the first day. The effect of LLLT on the leveling of mandibular anterior crowding and the level of pain experienced during this time was determined to be insignificant.

Keywords: Orthodontic Tooth Movement, Low Dose Laser Therapy, Pain.

İÇİNDEKİLER

Kabul ve Onay.....	II
Etik Beyan.....	II
Teşekkür.....	IV
Özet.....	V
Abstract.....	VI
İçindekiler.....	VII
Simgeler ve Kısaltmalar.....	X
Şekiller Listesi.....	XIV
Tablolar Listesi.....	XVI
1.GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Dış Hareketi.....	4
2.2. Ortodontik Dış Hareketi Teorileri.....	5
2.2.1. Basınç-gerilim teorisi.....	6
2.2.2. Kemik bükülme teorisi	6
2.2.3. Biyoelektrik teorisi.....	7
2.2.4. Mikro hasar teorisi.....	8
2.2.5. Bifazik teori	8
2.3. Ortodontik Dış Hareketinde Yer Alan Hücre Tipleri	10
2.3.1. Osteoblastlar.....	10
2.3.2. Osteoklastlar.....	10
2.3.3. Osteositler.....	11
2.3.4. Yüzeyel osteojenik hücreler.....	12
2.3.5. Osteoprogenitör hücreler.....	12
2.4. Ortodontik Dış Hareketinin Aşamaları.....	12
2.5 Ortodontik Dış hareketini Etkileyen Faktörler.....	14
2.5.1. Yaş.....	14
2.5.2. Periodontal hastalıklar.....	15

2.5.3. Sistemik hastalıklar ve kullanılan ilaçlar.....	15
2.6. Hızlandırılmış Diş Hareketi.....	18
2.6.1. Cerrahi yöntemler.....	19
2.6.2. Cerrahi olmayan yöntemler.....	23
2.7. Lazer'in Tarihçesi.....	28
2.7.1. Işık ve özellikleri	30
2.7.2. Lazerin doku üzerindeki etkileri.....	32
2.8. Diş Hekimliğinde Kullanılan Lazerler.....	36
2.8.1. Argon lazer.....	37
2.8.2. Neodriyum: YAG lazer.....	38
2.8.3. Erbium lazer.....	38
2.8.4. Karbondioksit (Co ²) lazer	39
2.8.5. Holmium: YAG lazer.....	39
2.8.6. Diyet lazer	40
2.9. Ortodontide Lazer Kullanımı.....	40
2.9.1. Düşük doz lazerin ortodontik diş hareketine etkileri.....	41
2.9.2. Lazer dozunun hesaplanması.....	43
2.10. Işık Yayan Diyetler	45
2.11. Ağrı	47
2.11.1. Ağrı ölçüm yöntemleri.....	48
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	51
3.1. Hasta Seçimi.....	51
3.2. Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması.....	52
3.3. Çalışma Gruplarının Oluşturulması	53
3.4. Ağız Hijyen Eğitimi	53
3.5. Bireylerden Alınan Kayıtlar	54
3.6. Little'ın Düzensizlik İndeksi Ölçümleri	60
3.7. Sabit Ataşmanların Yapıştırılması.....	61
3.8. Seviyenleme Protokolü.....	62
3.9. Lazer Uygulaması.....	62
3.10. Seviyelenmenin Değerlendirilmesi.....	64
3.11. Periodontal Durumun Değerlendirilmesi	65

3.11.1. Plak indeksi.....	66
3.11.2. Gingival indeks.....	66
3.11.3. Sondlamada cep derinliği indeksi.....	67
3.12. Ağrının Belirlenmesi.....	67
3.13. İstatistiksel Veri Analiz.....	68
4. BULGULAR.....	69
4.1. Method Hatasının Değerlendirilmesi.....	69
4.2. Demografik Bulgular.....	70
4.3. Periodontal Parametrelere İlişkin Bulguların Karşılaştırılması.....	71
4.4. Ağrı Düzeylerine İlişkin Bulgularının Karşılaştırılması	74
4.5 Seviyelenme Sürelerine İlişkin Bulgularının Karşılaştırılması.....	76
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	78
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	119
EKLER.....	120
EK 1. Etik Kurul Raporu.....	120
EK 2. Tez Orjinallik Raporu.....	121
EK 3. Araştırma İçin Bilgilendirilmiş Olur Formu.....	122
EK 4. Araştırma Amaçlı Çalışma İçin Çocuk Rıza Formu.....	124
EK-5. VAS Ağrı Skalası Formu	125
EK-6. İndeksler	126

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Orta oksal düzlemde, anterior nasal spinadan üst keser dişe uzanan kemik konkavitesinin en derin noktası,
ABO	: American Board of Orthodontics
AlGaA	: Aliminyum-galyum-arsenik
AlInGaP	: Alüminyum İndiyum Galyum Fosfit
ANB	: NA ve NB doğruları arasında kalan açı
B	: Orta oksal düzlemde, alt keser diştten çene ucuna uzanan kemik konkavitesinin en derin noktası,
CD	: Cep derinliği
cm²	: Santimetrekaare
CO	: Karbondioksit
COX	: Siklooksijenaz
d	: Effect size
λ	: Dalga boyu
°	: Derece
ER:YAG	: Erbium:Yttrium-Aliminium-Granat
Er,Cr:YSGG	: Erbium,Chromium:Yttrium-Scandium-Gallium-Garnet
FGF	: Fibroblast büyüme faktörü
Gİ	: Gingival indeks
Gn	: Mandibula simfizi dış konturunda en ön ve en alt noktalar arasında kalan yapının orta noktas
gr	: Gram
Go	: Ramus mandibulanın arka kenarına çizilen teğet ile korpus mandibulanın alt kenarına çizilen teğetin oluşturduğu açının açı ortayının kemik üzerindeki izdüşümü
HeNe	: Helyum-Neon
Hz	: Hertz
I	: Boşluk

IL	: İnterlokin
IMPA°	: Alt kesici dişin uzun ekseni ile mandibuler düzlem (GoGn) arasında kalan açı
InGaAs	: İndiyum-galyum-arsenik
InGaN	: İndiyum Galyum Nitrür
J	: Joule
kg	: Kilogram
LAZER	: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LED	: Işık yayan diyot
LII	: Little'ın düzensizlik indeksi
L1i	: Alt orta kesici dişin kesici kenar noktası
Lia	: Alt orta kesici dişin kökünün uç noktası
m	: Metre
M	: Makrofaj hücresi
Maks	: Maksimum
MASER	: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
MMP	: Matriks metalloproteinaz
µm	: Mikrometre
Min	: Minimum
n	: Örneklem büyüklüğü
N	: Frontanasal suturun en ön ve o bölgede bulunan girintinin en derin noktası
N-	: Negatif
NCSS	: Number Cruncher Statistical System
Nd: YAG	: Neodymium: Yttriyum- Alüminyum-Garnet
NiTi	: Nikel-Titanium
nm	: Nanometre
NRS	: Numeric Rating Scale
NSAİİ	: Non-steroid antienflamatuvar ilaçlar
OPG	: Osteoprotegerin

Ort	: Ortalama
<i>p</i>	: <i>p</i> değeri
P	: Pozitif
PDGF	: Platelet-derived büyüme faktörü
PGE	: Prostaglandin
PI	: Periodontal indeks
RANK	: Reseptör aktivatör nükleer faktör kappa B
RANKL	: Reseptör aktivatör nükleer faktör kappa B ligand
S	: Sella tursikanın geometrik orta noktası
°C	: Santigrat
σ	: Standart sapma
SCD	: Sondlanabilir cep derinliği
SiC	: Silikon karbür
sn	: Saniye
SN	: SN ve NA doğruları arasında kalan açı
SNB	: SN ve NB doğruları arasında kalan açı
SN/GoGn (°)	: SN düzlemi ile mandibular düzlem (GoGn) arasında kalan açı
Ss	: Standart sapma
T3	: Tri-iyodotironin
TGF-β	: Transforming büyüme faktörü
TNF-α	: Tümör nekroz faktör alfa
U1i	: Üst orta kesici dişin kesici kenar noktası,
U1a	: Üst orta kesici dişin kökünün uç noktası,
U1L1(°)	: Alt ve üst kesici dişlerinin uzun eksenleri arasında kalan açı
VAS	: Visual Analogue Scale
VRS	: Verbal Rating Scale
%	: Yüzde
yy	: Yüzyıl
W	: Watt
Z	: Z değeri
1-NB (mm)	: Alt orta kesici dişin kronunun vestibül yüzeyinin en uzak noktasının NB doğrusuna olan uzaklığı

- 1-NB°** : A t orta kesici dişin uzun ekseni ile NB doğrusu arasında kalan aı
- 1-NA (mm)** : Üst orta kesici dişin kronunun vestiböl yüzeyinin en uzak noktasının
NA doğrusuna olan uzaklığı
- 1-NA (°)** : Üst orta kesici dişin uzun ekseni ile NA doğrusu arasında kalan aı,
- 1-SN (°)** : Üst kesici dişin uzun ekseni ile SN düzlemi arasında kalan aı



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Kuvvet uygulanmasından sonra 14. günde gelişen osteopeni	9
Şekil 2. Sürekli kuvvet uygulanması ile günler içerisinde gerçekleşen diş hareket miktarını gösteren grafik	13
Şekil 3. Lazerin temel bileşenleri.....	31
Şekil 4. Lazer ışınının doku üzerindeki emilimi ve geçişi	33
Şekil 5. Lazer ışınının doku üzerindeki yansıması	34
Şekil 6. Lazer ışınının doku üzerindeki saçılması	34
Şekil 7. Arndt-Schultz Kanunu	36
Şekil 8. Dental lazer dalga boylarını gösteren elektromanyetik spektrum	37
Şekil 9. Dental lazerlerin çeşitli dalga boylarında farklı dental yapılardaki yaklaşık absorbsiyon eğrileri.....	41
Şekil 10. LED'in temel yapısı	45
Şekil 11. Lazer grubunda yer alan bir hastanın tedavi başı ağız içi ve ağız dışı fotoğrafları.....	54
Şekil 12. Kontrol grubunda yer alan bir hastanın tedavi başı ağız içi ve ağız dışı fotoğrafları	54
Şekil 13. Lazer (A) ve kontrol (B) gruplarında yer alan aynı hastaların tedavi başı lateral sefalometrik radyografileri	55
Şekil 14. Lazer (A) ve kontrol (B) gruplarında yer alan aynı hastaların tedavi başı panoramik radyografileri.....	55
Şekil 15. Lateral sefalometrik radyografilerin analizinde kullanılan noktaları	58
Şekil 16. Lateral sefalometrik radyografilerin analizinde kullanılan sagittal iskeletsel ve dental ölçümler	58
Şekil 17. Lazer grubunda yer alan bir hastanın tedavi başı dijital modelleri	59
Şekil 18. Kontrol grubunda yer alan bir hastanın tedavi başı dijital modelleri.....	59
Şekil 19. OrthoCAD programında Little'ın düzensizlik indeksinin hesaplanması	61
Şekil 20. Sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılması ve .012 NiTi ark teli uygulaması.....	62
Şekil 21. Kullanılan lazer cihazı	63

Şekil 22. Düşük doz lazerin alt sağ kanin, lateral ve santral dişlerin vestibül yüzlerine uygulanması.....	64
Şekil 23. Düşük doz lazerin alt sağ kanin, lateral ve santral dişlerin vestibül yüzlerine uygulanması.....	64
Şekil 24. ABO kriterlerine göre seviyelenmesi tamamlanmış lazer (A) ve kontrol (B) gruplarında yer alan birer hastanın ağız içi fotoğrafları	65
Şekil 25. ABO kriterlerine göre seviyelenmesi tamamlanmış lazer (A) ve kontrol (B) gruplarında yer alan birer hastanın dijital modelleri.....	65
Şekil 26. Periodontal sond.....	66



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.	Little indeksi skorları ve klinik anlamları	60
Tablo 2.	Plak indeksi skorları	66
Tablo 3.	Gingival indeks skorları.....	67
Tablo 4.	Lazer ve kontrol gruplarında Little'ın düzensizlik indeksi için sınıf içi korelasyon katsayıları ve güven aralıkları	69
Tablo 5.	Lazer ve kontrol gruplarında sefalometrik ölçümleri için sınıf içi korelasyon katsayıları v.....	70
Tablo 6.	Yaş, tedavi süresi ve Little'ın düzensizlik indeksi değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri	70
Tablo 7.	Kadın ve erkeklerin lazer ve kontrol gruplarındaki dağılımları	71
Tablo 8.	Yaş ve Little'ın düzensizlik indeksi değerlerinin lazer ve kontrol gruplarındaki dağılımları	72
Tablo 9.	Lazer ve kontrol gruplarında ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan gingival indeks değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları.....	72
Tablo 10.	Lazer ve kontrol gruplarında ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan plak indeksi değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları.....	73
Tablo 11.	Lazer ve kontrol gruplarında ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan sondalanan cep derinliği değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları.....	73
Tablo 12.	Zamana göre lazer ve kontrol gruplarında Gİ, Pİ ve CD değerlerine karşılaştırması	74
Tablo 13.	Zamana göre lazer ve kontrol gruplarında gözlenen ağrı düzeylerine ait tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları	75
Tablo 14.	Zamana göre lazer ve kontrol gruplarında gözlenen ağrı düzeylerinin karşılaştırılması	76

Tablo 15. Lazer ve kontrol gruplarındaki seviyelenme/sıralanma sürelerinin karşılaştırılması.....	77
--	----



1. GİRİŞ

Sabit ortodontik tedavi süresinin 20 ila 30 ay arasında değiştiği bildirilmektedir (Wazwaz ve ark., 2022). Tedavi süresinin uzaması çürük oluşumu, dişeti iltihabı, kök rezorbsiyonu ve alveoler kemik kaybına neden olabilmektedir (Talic, 2011; Roscoe ve ark., 2015). Diş ve çevresindeki periodontal dokularda gözlenebilen bu patolojik durumlarla birlikte ağrı, ağız hijyeninde bozulma ve hasta uyumunda azalma da gözlenebilmektedir (Turbill ve ark., 2001). Bu nedenle, tedavi süresi hem hastalar hem de klinisyenler açısından oldukça önemli bir konu haline gelmektedir (Skidmore ve ark., 2006; Lo Giudice ve ark., 2020).

Ortodontik tedavi süresinin diş hareketinin hızlandırılarak azaltılabileceği belirtilmektedir (Ge ve ark., 2015). Diş hareket hızının ise alveoler kemiğin yeniden şekillenmesinin uyarılmasıyla artırılması amaçlanmaktadır (Nimeri ve ark., 2013). Kortikal kemiğe cerrahi müdahalenin yapıldığı distraksiyon osteogenesizi, piezoinsizyon, mikro-osteoperforasyon ve kortikoininsizyon diş hareketini hızlandırmayı amaçlayan cerrahi yöntemler arasında yer almaktadır (Liao ve ark., 2017). Bu yöntemlerin diş hareket hızını arttırdığı bildirilse de ağrı ve rahatsızlık vermeleri, diş köklerine zarar verme olasılıkları ve oldukça invaziv yöntemler olmaları tercih edilebilirliklerini sınırlamaktadır (Kau ve ark., 2013; Shaughnessy ve ark., 2016).

Diş hareketinin hızlandırılması amacıyla alveoler soketin etrafına D vitamini (Kawakami ve Takano-Yamamoto, 2004), prostaglandin (Seifi ve ark., 2003), osteokalsin (Hashimoto ve ark., 2001) ve relaksin (Madan ve ark., 2007) de enjekte edilebilmektedir. İnvaziv olmayan bu yöntemlerin hastalarda ağrı ve rahatsızlık oluşturduğu ve vücut metabolizmasında sistemik yan etkiler gösterdiği bildirilmektedir (Limpanichkul ve ark., 2006).

İnvaziv olmayan yöntemler arasında elektromanyetik alan (Gkantidis ve ark., 2014), elektrik akımı (Kim ve ark., 2008), titreşim (Gkantidis ve ark., 2014) ve fotobiyomodülasyon (Bakdach ve Hadad, 2020) uygulamaları da yer almaktadır. Düşük seviyeli ışık tedavisi olarak da bilinen fotobiyomodülasyon, biyolojik dokuların görünür kırmızı ışıktan yakın kızılötesine kadar olan spektrumda (600-1200) lazer ışınına maruz

kalması sonucu dokularda hücresel aktiviteyi değiştirerek diş hareket hızını arttırmaktadır (Ng ve ark., 2018). Bu mekanizma artan mitokondriyal metabolizma (Dias ve ark., 2011), yara iyileşmesi (Silveira ve ark., 2009), cilt, kemik, kas ve sinir dokularında anjiyogenezis stimülasyonu (Tuby ve ark., 2007) ile ilişkilendirilmektedir. Fotobiyomodülasyon amacıyla düşük doz lazer tedavisi veya ışık yayan diyotlar kullanılabilmektedir (Shaughnessy ve ark., 2016).

Düşük doz lazer tedavisinin ortodontik diş hareket hızına etkisinin değerlendirildiği çalışmalarda kullanılan lazerin çeşidi, dozajı, dalga boyu ve uygulama prosedürü gibi metodolojik özellikler ile biyomekanik ve diş hareket tiplerindeki farklılıklardan dolayı çelişkili sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir (Limpanichkul ve ark., 2006; Doshi-Mehta ve Bhad-Patil, 2012; Caccianiga ve ark., 2016; AlSayed Hasan ve ark., 2017; Lo Giudice ve ark., 2020). Kanin retraksiyonu esnasında diş hareket hızının değerlendirildiği çalışmaların bazılarında lazer grubunda kontrol grubuna kıyasla daha hızlı diş hareketi gözlemlendiği belirtilirken (Doshi-Mehta ve Bhad-Patil, 2012; Ekizer ve ark., 2015; Üretürk ve ark., 2017; Arumughan ve ark., 2018; Guram ve ark., 2018; Varella ve ark., 2018; Qamruddin ve ark., 2021), bazı çalışmalarda ise gruplar arasında anlamlı fark bulunmadığı belirtilmiştir (Limpanichkul ve ark., 2006; Hosseini ve ark., 2011; Heravi ve ark., 2014; Kansal ve ark., 2014; Yassaei ve ark., 2016).

Işık yayan diyotların seviyelenme esnasındaki diş hareket hızına etkisinin değerlendirildiği çalışmalarda, ekstraoral ve intraoral ışık yayan diyot uygulamalarının diş hareketini hızlandırdığı bildirilmiştir (Kau ve ark., 2013; Shaughnessy ve ark., 2016; Caccianiga ve ark., 2017; Nahas ve ark., 2017; Okla ve ark., 2018; Lo Giudice ve ark., 2020). Düşük doz lazer tedavisinin ise yalnızca bir çalışmada değerlendirildiği gözlenmiştir (AlSayed Hasan ve ark., 2017). Birinci küçük azı çekimi sonrasında maksiller anterior dişlerin seviyelenme esnasındaki diş hareket hızının değerlendirildiği bu çalışmada, düşük doz lazer tedavisinin diş hareketini hızlandırdığı ifade edilmiştir. Literatürde mandibular anterior dişlerde seviyelenme esnasındaki diş hareket hızının değerlendirildiği herhangi bir çalışmaya ise rastlanılmamıştır.

Sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılmasından sonra başlangıç ark telinin uygulamasıyla periodontal ligamente iletilen kuvvetler ağrıya neden olmaktadır (Erdoğan

ve Dinçer, 2004). Ortodontik ağrı hastanın yaşam kalitesinin azalmasına neden olarak tedavinin geleceğine zarar verebilmektedir (Celebi ve ark., 2019). Yapılan çalışmalarda sabit ortodontik tedavi gören hastaların %95'inin tedavi esnasında ağrı hissettiği, %8-30'unun ise ağrı nedeniyle tedaviyi bıraktığı bildirilmiştir (Bergius ve ark., 2000). Ortodontik tedavi sırasında hissedilen ağrı duyusu dişlerin bulunduğu anatomik bölge ve kök morfolojisinden etkilenebilmektedir (Bavbek ve ark.,2016). Debonding ili ilgili yapılmış pek çok çalışmada en ağrılı bölgenin alt çene anterior bölge olduğu bildirilmektedir (Normondo ve ark.,2010; Manghall ve ark.,2013; Bavbek ve ark.,2016)

Düşük doz lazer tedavisinin bölgesel kan dolaşımını artırarak, prostaglandin seviyelerini azaltarak ve COX-2 enzim sekresyonu inhibe ederek analjezik ve anti-enflamatuar etki gösterdiği ifade edilmektedir (Farias ve ark., 2016). Literatürde, düşük doz lazer tedavisinin ortodontik tedavi sırasında meydana gelen ağrıyı azalttığını bildiren çalışmalar bulunmaktadır (Coluzzi ve ark., 2016).

Bu tez çalışmasında alt çene anterior bölgeki çapraşıklığının seviyelenmesinde ve seviyelenme sırasında oluşan ağrının azaltılmasında düşük doz lazer tedavisinin etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Diş Hareketi

Ortodontik tedavinin temeli dişlerin alveol kemik içerisindeki hareketine dayanmaktadır (Alikhani ve ark., 2016). Dişlerin alveol kemik içerisindeki hareketi iki şekilde gerçekleşebilmektedir. Birincisi, diş ve destek dokularının yaşam boyu fonksiyonel ihtiyaçlara uyum sağlama yeteneklerine bağlı olarak alveol kemik içerisindeki sürüklenmeleri olarak tanımlanan fizyolojik diş hareketi, ikincisi ise ortodontik kuvvet uygulaması sonrasında meydana gelen ortodontik diş hareketidir (Graber L. ve ark., 2013; Yu ve ark., 2021).

Periodontal dokuların normal fonksiyonu sonucu fizyolojik olarak meydana gelen diş hareketi daha yavaş gelişirken; ortodontik diş hareketi ise uygulanan kuvvetin fiziksel özelliğine, periodontal ligamentin durumuna ve kuvvete karşı gelişen biyolojik cevaba göre yavaş veya hızlı bir şekilde gerçekleşebilmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2015). Buna rağmen, periodonsiyumda gözlenen histolojik değişiklikler bakımından ortodontik diş hareketi kısmen fizyolojik diş hareketine benzemektedir (Graber L. ve ark., 2013; Yu ve ark., 2021).

19. yüzyılın başlarında ortodontik kuvvet uygulaması ile gerçekleştirilen diş hareketi sırasında meydana gelen histolojik değişiklikler incelenmeye başlanmıştır (Sandstedt, 1904; Oppenheim, 1911; Schwarz, 1932; Reitan, 1960). 19. yüzyılın ortalarına doğru da Julius Wolff kemik dokusuna uyguladığı kuvvet sonucunda kemik dokusunun mimarisinin değiştiğini belirtmiştir (Frost, 1994).

Ortodontik kuvvet uygulaması sonrası periodontal ligamentte basınç ve gerilim alanlarının oluşması ve sonrasında alveol kemik içerisinde apozisyon ve rezorpsiyon olaylarının meydana gelmesi ortodontik diş hareketini meydana getirmektedir (Feller ve ark., 2015). Diş hareketinin başlaması için uygulanan optimal ortodontik kuvvetin büyüklüğü dokularda hareketin başlaması için yeterli aynı zamanda doku hasarı oluşturmayacak aralıkta olmalıdır (Reitan, 1960). Günümüze kadar optimal ortodontik kuvvet konusunda farklı araştırmacılar farklı tanımlamalar yapmışlardır (Li ve ark., 2016). İlk olarak Schwarz optimal ortodontik kuvvetin kapiller kan basıncına denk olması

gerektiğini ve bu basıncın altındaki kuvvetlerde diş hareketi gözlenmezken üstündeki kuvvetlerde ise nekroz alanlarının gözlemlendiğini belirtmiştir (Schwarz, 1932). Oppenheim da optimal ortodontik kuvveti dişin hareket etmesini sağlayan en düşük kuvvet olarak tanımlamıştır (Oppenheim, 1942). Günümüzde ise optimal kuvvet, birey ve dişe göre farklılık gösteren, mekanik stimuluslar sonucu dokularda oluşan hücresel cevabın diş ve periodonsiyumda hasar oluşturmada maksimum diş hareketini meydana getirdiği kuvvet olarak ifade edilmektedir (Ren ve ark., 2003; Proffit ve ark. 2013).

İstenilen diş hareketinin elde edilmesinde uygulanan kuvvetin büyüklüğü oldukça önemli olduğundan ortodontik kuvvetleri hafif ve ağır kuvvetler şeklinde ayırmak mümkündür (Krishnan ve Davidovitch, 2006; Proffit ve ark., 2013). Optimal kuvvet olarak da tanımlanan hafif ortodontik kuvvet uygulaması sonrası periodonsiyumda görülmeye başlayan osteoklastlar, basınç bölgesindeki alveol kemiğini rezorbe etmektedirler. Bu tip rezorpsiyona direkt kemik rezorpsiyonu adı verilmektedir (Isola ve ark., 2016). Ağır ortodontik kuvvetler ise periodontal ligamette hyalinizasyona ve indirekt rezorpsiyona neden olarak diş hareketini yavaşlatmakta ve kök rezorpsiyonuna yol açabilmektedir (Proffit ve ark., 2013). Ağır ortodontik kuvvet uygulaması sonucu oluşan steril nekroz alanında hücresel faaliyetler yavaşlamakta ve kemik iliği boşluklarından gelen osteoklastlar tarafından periodonsiyuma doğru rezorpsiyon gerçekleşmektedir. Bu rezorpsiyona indirekt kemik rezorpsiyonu adı verilmektedir (Proffit ve ark., 2013). 3-4 hafta sonrasında steril nekroz alanında bağ dokusu hücre sayısı artmaya başlamakta ve direkt kemik rezorpsiyonu ile devam etmektedir. Hyalinizasyon ve indirekt kemik rezorpsiyonu kemik iliği hücrelerinde hücre farklılaşmasının beklenmesi ve diş hareketinin gerçekleşmesi için arkadaki kemiğin rezorbe edilmesinin gerekmesinden dolayı diş hareketinde gecikmeye neden olmaktadır (Krishnan ve Davidovitch, 2006; Li ve ark., 2018).

2.2. Ortodontik Diş Hareketi Teorileri

Ortodontik diş hareketini açıklayan teorilerin temeli Wolff'un belirttiği prensiplere dayanmaktadır (Maleh ve ark., 2016). 19. yüzyıldan günümüze kadar periodontal dokuların moleküler düzeyde hücrelerin içinde yer aldığı çeşitli teoriler ileri sürülmüştür.

2.2.1. Basınç-gerilim teorisi

Schwalbe-Flouren'ın eski basınç teorisi olarak bilinen bu teoride, basınç tarafında rezorbsiyonun gerilme tarafında ise apozisyonun gerçekleşmesi sonucu dişin periodontal ligament içerisinde hareket ettiği öne sürülmektedir (Baumrind, 1969; Oppenheim, 2007). Sandstedt (1904), Oppenheim (1911) ve Schwarz (1932) da yaptıkları histolojik çalışmalarda diş hareketi esnasında hareket yönünde basınç bölgeleri aksi yönde ise gerilim bölgeleri oluştuğunu bildirerek bu teoriyi desteklemişlerdir.

Periodontal ligament üzerindeki basınç ve gerilim bölgelerinde kan akımının değişmesi ve bazı mediatörlerin ortaya çıkmasının bu teoriyi desteklediği ifade edilmektedir (Proffit ve ark, 2013). Gerilim bölgesinde osteoblastların sıkışma bölgesinde ise hücreden yoksun steril nekroz alanlarının gözlenmesiyle birlikte osteoklastların ortaya çıktığı bildirilmektedir (Reitan 1967; Proffit ve ark, 2013). Ortaya çıkan osteoblast ve osteoklastların periodontal ligament progenitör hücrelerinden farklılaştığı ileri sürülmektedir (Masella ve Meister, 2006).

Bu teori ile ilgili yapılan hayvan deneyleri genellikle doku reaksiyonları, kuvvet ile birlikte meydana gelen histolojik değişiklikler, farklı kuvvet tipleri ve miktarı ile diş hareket tipleri konularında yapılmıştır (Oppenheim 1911; Reitan 1951, 1957; Macapanpan ve ark., 1954; Waldo ve Rothblatt, 1954; Tayer ve ark., 1968; Gianelly, 1969).

2.2.2. Kemik bükülme teorisi

1888 yılında ilk kez Farar tarafından öne sürülen ‘Kemik bükülme teorisi’ daha sonra çeşitli araştırmacılar tarafından insan ve hayvan deneyleri ile desteklenmiştir (Baumrind, 1969; Grimm, 1972; Heller ve Nanda, 1979). Ortodontik kuvvet uygulamasıyla dişe iletilen uyarılar komşu dokulara iletilmektedir. Bu kuvvetler dişlerin, periodontal ligamentin ve alveol kemiğin bükülmesine neden olmaktadır. Alveol kemiğin diş ve periodontal ligament gibi yapılara oranla daha fazla bükülmesinin diş hareketini hızlandırdığı düşünülmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2006). Bu bükülmenin ardından kemik turn-overı başlamaktadır. Yapılan araştırmalara göre turn-over mekanizması yalnız alveol kemiğin lamina durasında değil, kemiğin trabeküler yapısını

da etkileyecek şekilde gerçekleşmektedir. Hücresel aktivite ile dışardan uygulanan kuvvetlere bağlı olarak kemiğin şeklinde ve iç yapısında değişimler meydana geldiği bildirilmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2006).

Baumrind (1969) Wolff prensiplerine dayanarak bu teori sonucunda;

- Çapraşık dişlerin daha hızlı seviyelenmesi için daha fazla kemik esnekliğine ihtiyaç duyulacağını ve kütleli diş hareketinin göreceli olarak daha yavaş olacağını,
- Diş hareketinin çekim boşluğuna doğru daha hızlı olacağını,
- Genç bireylerde kemik yapısının yetişkinlere oranla daha az kalsifiye ve daha esnek olmasından dolayı diş hareketinin göreceli olarak daha hızlı olacağını bildirmiştir.

2.2.3. Biyoelektrik teorisi

1957 yılında ilk kez Fukada ve Yasuda (1957) adlı araştırmacılar tarafından kuru sıgır kemiklerinde yeterli bükülme ile elektriksel yüklerin elde edilebileceği ifade edilmiştir. Ardından, Basset ve Becker (1962) ortodontik diş hareketi esnasında uygulanan kuvvetler sonucunda dokularda elektrik potansiyel görülebileceğini savunmuşlardır.

‘Biyoelektrik teoride’ ortodontik kuvvet uygulanmasının alveol kemiğin kristal yapısında meydana getirdiği deformite ile kemik yüzeyindeki elektrik yükünü değiştirdiği bildirilmektedir (Proffit ve ark, 2013). Alveoler kemik bükülmesinin basınç bölgesinde kemik rezorpsiyonuna, gerilim bölgesinde ise apozisyona neden olan süreci başlatan elektriksel potansiyellerin artışına neden olduğu iddia edilmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2015). Bununla birlikte, alveoler kemik yapısının homojen olmaması ve kemiğin bir elastik modülünün olması, kuvvet azaldığında kristallerin özgün hale dönmesine ve ters elektron akışının gözlenmesine neden olmaktadır. Pozitif yüklenen alanlarda rezorpsiyon, negatif yüklenen alanlarda apozisyon görülmektedir (Proffit ve ark, 2013; Krishnan ve Davidovitch, 2015).

2.2.4. Mikro hasar teorisi

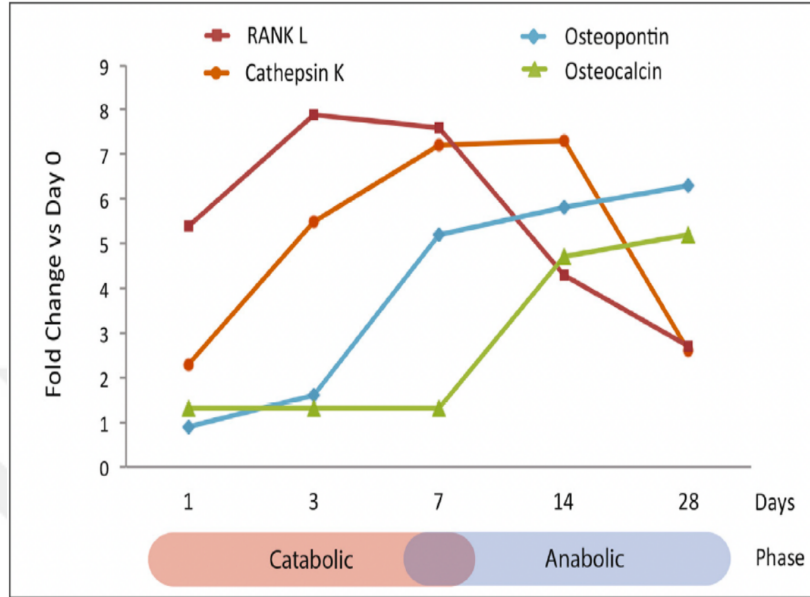
Mekanik kuvvetlerin osteosit hücrelerinde mikro hasar oluşturmaları sonucu oluşan nekroz sayesinde kemikte yeniden şekillenmenin olduğunu belirten teoridir (Frost, 1960). Yapılan bir fare çalışmasında mikrohasar oluşan bölgede osteosit apozisyonu ile kemiğin yeniden şekillenmesi arasında bir ilişkinin var olduğu tespit edilmiştir. Mikro hasarın olduğu bölgede osteoklast aktivasyonunda artış gözlenmiştir (Verborgt ve ark., 2000). Kemikte kuvvete bağlı kemik hücrelerinde hasar meydana geldiğini bildiren araştırmalar olmasına rağmen bu teori pek benimsenmemiştir.

2.2.5. Bifazik teori

2000’li yılların başında Melsen (1999) ile Cattaeno ve ark. (2005) yukarıdaki teorilere karşı Wolf’un prensiplerine atıfta bulunarak, kuvvet altında kalan kemik dokusunun farklı bölgelerde farklı cevaplar oluşturamayacağını savunmuşlardır. Klasik diş hareketi teorilerine göre sıkışma osteoklastları aktive ederken, gerilme osteoblastları aktive etmektedir. Bu nedenle, osteoklastlar sıkışma bölgelerinde, osteoblastlar da gerilme bölgelerinde yer almaktadır. Ayrıca, yıkım ve yapım mekanizmaları periodontal ligamentte dişin zıt taraflarında birbirinden bağımsız olarak oluşmaktadır. Ancak, hem sıkışma hem de gerilme aynı anda gerçekleştiğinden yıkım ve yapım fazları aynı anda meydana gelmektedir (Alikhani ve ark., 2016). Ortodontik diş hareketinde biyolojik olaylar genellikle kemik yıkımının meydana geldiği safhada katabolik aşama ve kemik yapımının meydana geldiği safhada ise anabolik aşama olarak adlandırılmaktadır. Katabolik ve anabolik aşamalarda genel hücresel ve histolojik olaylar net olmasına rağmen bu olayların arkasındaki mekanizma tam olarak açıklanamamıştır (Alikhani ve ark., 2016). Bifazik diş hareketi teorisi ise bu süreçleri desteklemekle beraber bazı noktalarda farklılık olduğunu bildirmektedir (Alikhani ve ark, 2016).

Alikhani ve ark. (2016), sadece anlık histolojik kesitlere dayandırmadığı ‘Bifazik diş hareketi teorisini’ ileri sürmüştür. Daha önceki teorilerin aksine sadece kemik ya da sadece periodontal ligamentte meydana gelen değişimleri ayrı ayrı olaylar ile açıklamak yerine meydana gelen bu değişimlerin birbirini takip eden bir fenomen olduğu ifade edilmektedir (Alikhani ve ark., 2016). Bifazik diş hareketi teorisinin temeli katabolik ve anabolik aşamaların gerçekleşme zamanlamasıdır. Teoriye göre katabolik aşamanın başlaması ile sonraki anabolik aşama arasında ölçülebilir bir süre olduğu bildirilmektedir.

Katabolik aşama ilk gerçekleşen aşama olup diş hareketi sırasında osteoklastların gözlenmesi ile ortaya çıkarken; anabolik aşama ise devamında diş hareketinde osteoblastik aktivitenin artması ile karakterizedir (Alikhani ve ark., 2016) (Şekil 1).



Şekil 1. Kuvet uygulanmasından sonra 14. günde gelişen osteopeni (Alikhani ve ark., 2016).

Günümüzde bu hipotezlerin hiçbiri ortodontik diş hareketinin biyolojik mekanizmasını tam olarak açıklayamamaktadır. 20. yy'da ve 21. yy'ın başlarında gerçekleştirilen histolojik, histokimyasal ve immüno-histokimyasal çalışmalar diş hareketi sürecinde hem fiziksel hem de kimyasal çok sayıda moleküler düzeydeki faktörlerin etkili olduğunu göstermiştir (Krishnan ve Davidovitch, 2015). Mekanik kuvvet uygulandığında hücreler, periodontal ligament ve alveoler kemik eşzamanlı veya birbiri ardına yanıtlar oluşturarak alveoler dokuda yeniden yapılanmaya neden olmaktadır. Son yıllarda bu fiziko-kimyasal olaylara ve etkileşimlere yanıt olarak hücrelerin, sitokinlerin, büyüme faktörlerinin, mediatörler ve nörotransmitter maddelerin de ortodontik diş hareketinde etkili olduğu konusunda çalışmalar artmaktadır (Krishnan ve Davidovitch, 2015).

2.3. Ortodontik Diş Hareketinde Yer Alan Hücre Tipleri

Ortodontik kuvvet uygulaması sonrasında gerçekleşen diş hareketinde osteoblastlar, osteoklastlar, osteositler, osteoprogenitör hücreler ve yüzeyel osteojenik hücreler olmak üzere beş tip hücre yer almaktadır (Milne ve ark., 2009).

2.3.1. Osteoblastlar

Osteoblastlar, kemik yüzeyinde yer alan tek çekirdekli hücrelerdir. Kemik iligindeki mezenkimal kök hücrelerden farklılaşmaktadır. Kollajen ve nonkollajen proteinleri sentezleyerek osteoid doku olarak bilinen organik kemik matriksini oluşturmaktadır (Alansari ve ark., 2015). Özellikle erişkinlerin iskelet yapısında bulunan ve kemik yüzeylerini örten aktif olmayan osteoblastlar “kemik yüzey hücreleri” olarak adlandırılmaktadır. Bu hücreler, büyüme faktörleri veya diğer anabolik uyarılarla çoğalmadıkları ve osteoblastlara farklılaşmadıkları sürece aktif değildir. Osteoblastlar, diş hareketi sırasında alveoler kemiğin bütünlüğünün korunmasında önemli rol oynarken, diş hareket miktarını kontrol edememektedir (Alansari ve ark., 2015)

Osteoblastların farklılaşması ve olgunlaşması kemik morfojenik protein ve çeşitli sinyal mekanizmaları tarafından aktiflenen osteojenik transkripsiyon faktörleri tarafından düzenlenmektedir. Osteogenez sürecinde rol oynayan sinyal mekanizmasının kemik morfojenik protein, nitroz oksit veya prostaglandinler tarafından aktiflenen diğer hücreler arası sinyal mekanizmalarıyla ilişki içerisinde olduğu bildirilmektedir (Feller ve ark., 2019). Osteoblastlar tarafından sentezlenen kemik sialoprotein, osteokalsin, alkalik fosfataz ve tip I kollajen kemik yapımı için gereklidir. Osteoblastların fonksiyonel aktivitesi paratiroid hormon, 1,25-dihidroksi vitamin D ve büyüme faktörleri (PDGF-platelet-derived büyüme faktörü, TGF- β -transforming büyüme faktörü, FGF-fibroblast büyüme faktörü) tarafından düzenlenmektedir (Feller ve ark., 2019).

2.3.2. Osteoklastlar

Osteoklastlar hematopoetik (kan hücrelerinin üretimini sağlayan) kök hücrelerden farklılaşarak meydana gelmektedir. Ortodontik diş hareketi için gerekli kemik rezorbsiyonundan sorumlu çok çekirdekli dev kemik hücreleridir. Monosit/makrofaj soyundan tamamen farklılaşan osteoklastların, kalsitonin reseptörü ve tartrata dirençli asit fosfataz gibi fenotipik özelliklere sahip olduğu bildirilmektedir (Alansari ve ark., 2015).

Osteoklast farklılaşması, olgunlaşması ve fonksiyonunun düzenlenmesinde RANK/RANKL/OPG sinyal sistemi, makrofaj koloni stimulan faktör, paratiroid hormon, östrojen ve çeşitli sitokinler gibi çok sayıda biyolojik ajanlar rol oynamaktadır (Feller ve ark. 2019).

Osteoklast farklılaşması ve aktivasyonu için anahtar rolü olan düzenleyici sistem RANK/RANKL/OPG reseptör-ligand sistemidir. RANKL, osteoblastların ve periodontal ligament hücrelerinin dış yüzeyinde bulunmaktadır. RANKL, olgun osteoklastlar ve osteoklast öncül hücrelerinde bulunan bir transmembran protein olan RANK reseptörüne bağlanarak osteoklast aktivitesini arttırmaktadır (Kobayashi ve ark., 2009). RANKL ve RANK etkileşimi osteoklast farklılaşması, aktivasyonu ve kemik metabolizmasının devamlılığı için oldukça önemlidir. Bunun tersi olarak OPG'nin ise RANKL'a bağlanabilen ve RANK'ın inhibisyonunu sağlayan bir protein olduğu belirtilmektedir. OPG ve RANKL bağlanmasıyla osteoklastogenez ve kemik yıkımı kısıtlanmış olmaktadır (Simonet ve ark., 1997; Ominsky ve ark., 2008).

2.3.3. Osteositler

Kemik matriksinde lakünalar içinde yer alan olgun osteoblast hücreleridir. Osteositler hareketsiz olmalarına rağmen, kanalikül adı verilen tüneller yardımıyla mineralize matrisi geçerek, kemik yüzeyinde bulunan osteoblastlar ve diğer osteositlerle ilişki içinde olabilmektedir. Kemik dokuya kuvvet uygulanmasıyla lakünler ve kanaliküller de dahil olmak üzere tüm matrikste gerilme veya sıkışma meydana gelmektedir. Bu deformasyon, sıvı kayma gerilimi veya elektrik akımı potansiyeli yoluyla osteositik tepkiler uyandırmaktadır (Alansari ve ark. 2015). Osteositler salgıladıkları prostaglandin, nitrik oksit, insülin benzeri büyüme faktörü gibi faktörlerle tüm remodeling sistemini düzenlemektedir. Ortodontik kuvvetlerin etkisi altında osteositlerin, kuvveti tespit etmede ve osteoklast-osteoblast eşleşmesini harekete geçirmede kritik rol oynadıkları ancak, diş hareket hızını düzenleyemedikleri belirtilmektedir (Alansari ve ark. 2015).

Sağlıklı kemik dokusundaki remodeling süreci, bir dizi hücresel aktiviteyle gerçekleşmektedir. Uygulanan mekanik kuvvetlere bağlı olarak lakünler ve kanaliküller

içerisindeki osteositlerin distorsiyona uğraması sonucu genellikle mikro çatlaklar oluşmaktadır. Oluşan bu çatlaklar osteoklastlar tarafından düzeltilmektedir. Kemik yıkımı olan bölgelerde osteoblastlar tarafından yeni kemik yapımı gerçekleşmektedir. Bu osteoblastlardan bazıları oluşan yeni kemik doku içerisinde kalarak osteositleri oluşturmaktadır. Sonuç olarak, kemik dokusu osteositler, osteoklastlar ve osteoblastlar arasındaki birtakım sinyal mekanizmaları ile yeniden şekillenmektedir (Alansari ve ark. 2015).

2.3.4. Yüzeyel osteojenik hücreler

Yüzeyel osteojenik hücreler dördüncü tip hücre olarak osteoblastlardan farklılaştığı düşünülen kemik hücreleridir. Yüzeyel osteojenik hücreler kemiğin korunması ve kemik sıvılarının sürdürülmesinde rol oynamaktadır. Kemik rezorpsiyonunu ve kemiğin yeniden şekillenmesini başlatan aktivasyon sinyalinin yayılmasında rol oynadıkları düşünülmektedir (Matic ve ark., 2016).

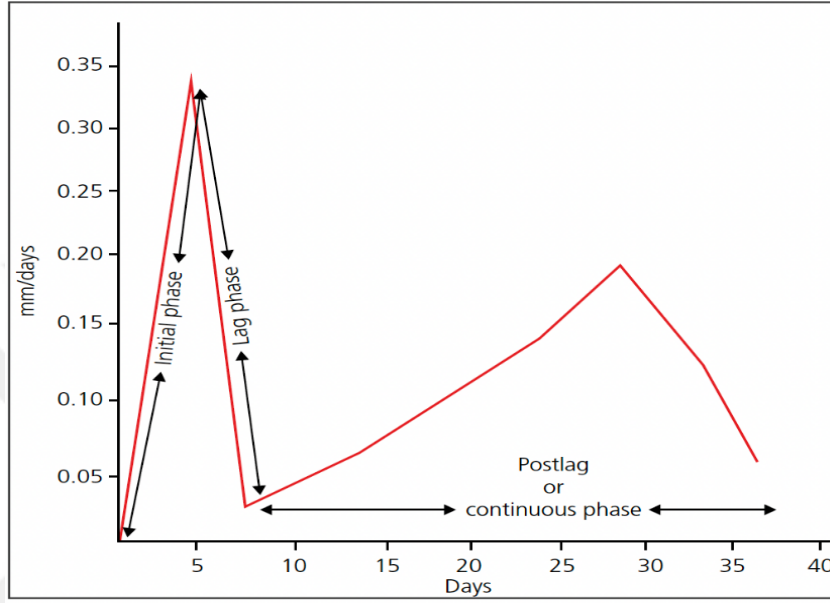
2.3.5. Osteoprogenitör hücreler

Osteoprogenitör hücrelerin periodontal ligament içerisindeki kan damarlarının yakınında bulunan osteoblastların oluşmasından sorumlu kök hücreler olduğu bildirilmektedir (Agata ve ark., 2007). Ortodontik diş hareketi, hücre-hücre ve hücre-matriks etkileşimlerinin yanı sıra sistemik hormonların, sitokinlerin ve büyüme faktörlerinin bir araya gelmesini içeren karmaşık olaylar dizisinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

2.4. Ortodontik Diş Hareketinin Aşamaları

Burstone ortodontik diş hareketini başlangıç fazı, duraklama fazı ve duraklama sonrası faz olmak üzere 3 kısımda değerlendirmiştir (Krishnan ve Davidovitch, 2015) (Şekil 2). Başlangıç fazı, dişe ortodontik kuvvet uygulanmasının hemen akabindeki ilk iki günde biyolojik değişimlerin meydana geldiği dönem olarak belirtilmektedir (Proffit ve ark, 2013). Ortodontik kuvvet uygulamasını takiben periodontal ligamentte, basınç-gerilim alanlarındaki liflerin sıkışması ve gerilmesi sonucu kan basıncı ve oksijen

seviyelerinin değiştiği, sitokin ve prostaglandin benzeri mediatörlerin salgılandığı bildirilmektedir (Ren ve ark., 2008; Li ve ark., 2018). Başlangıç fazı, dişe kuvvet uygulandıktan hemen sonra dişin hızlı hareketi ile karakterize edilmektedir. Bu hareketin büyük ölçüde dişin periodontal ligament boşluğunda yer değiştirmesiyle olduğu belirtilmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2006).



şekil 2. Sürekli kuvvet uygulanması ile günler içerisinde gerçekteşen diş hareket miktarını gösteren grafik (Krishnan ve Davidovitch, 2015).

Başlangıç fazının ardından diş hareketinin yavaşladığı ya da durduğu 20 ila 30 gün arasında değişkenlik gösteren duraklama fazı başlamaktadır. Sıkışma alanında periodontal ligamentin şekli değişmekte ve kan akımında duraksama meydana gelmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2006). Ağır ortodontik kuvvet uygulanması sonucu periodontal ligamentin sıkışma bölgesinde kan akımının durmasıyla hiyalinize alan oluşumu başlamakta ve diş hareketi 4- 20 gün arasında durmaktadır (Isola ve ark., 2016). Komşu periodontal ligamentten ve interradüküler alveol kemik dokusundan gelen makrofajlar, yabancı cisim dev hücreleri ve osteoklastlar gibi fagositik hücrelerin hiyalinize alana ulaşması ile hiyalinize doku rezorbe olmaktadır (Krishnan ve Davidovitch, 2006). Eşzamanlı olarak gerilim bölgesinde ise osteoblastlar genişlemekte ve yeni kemik matriksi yapımına başlamaktadır. Gerilim bölgesindeki periodontal ligamentte bulunan fibroblastlar çoğalarak etraflarındaki matriksin yeniden şkillenmesini sağlamaktadır. Diş hareketindeki duraklamanın periodontal ligamentteki

hyalinizasyon bölgelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Hyalinize alanın bir kısmı yeni hücreler tarafından yeniden doldurulduğunda, diş hareketinin devam ettiği bildirilmektedir (Isola ve ark., 2016).

Duraklama sonrası fazda ise ilk ortodontik kuvvet uygulanmasından yaklaşık 40 gün sonra diş hareketi hızının kademeli olarak arttığı bildirilmektedir. Bu fazda dişler hızlı bir şekilde yer değiştirerek ortodontik diş hareketinin devamlılığı sağlanmaktadır. Sıkışma bölgesinde kollajen lifler düzensiz bir şekilde ortaya çıkmakta ve bu bölgelerde direkt rezorpsiyonu çağrıştıran düzensiz kemik yapısı görülmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2006). Duraklama sonrası faz, neoanjiogenez sonrası osteoblast ve osteoklastlar aracılığı ile kemiğin yeniden şekillenmesinin meydana geldiği fazdır. Özellikle ağır kuvvetlerin uygulandığı durumlarda, bu aşamada basınç alanlarında hyalinizasyon bölgelerine rastlanabileceği bildirilmektedir (Asiry, 2018).

2.5. Ortodontik Diş Hareketini Etkileyen Faktörler

2.5.1 Yaş

Yaşın ilerlemesiyle kemik dokusunun içeriğinin değişmesi, periodontal dokulardaki hücrelerin daha az aktif olması ve metabolizmanın yavaşlamasına bağlı olarak diş hareketinin etkilenebileceğini belirten çok sayıda araştırma bulunmaktadır (Ren ve ark., 2003; Shimpo ve ark., 2003; Persy ve D’Haese, 2009; Krieger ve ark., 2013). Harris (2001), Begg tekniği ile tedavi ettiği sınıf II maloklüzyona sahip 139 bireyde cinsiyet bakımından alt ve üst azı dişlerin hareketinde anlamlı bir farklılık olmadığını, yaşın ise üst azı dişlerin gövdesel hareketinde oldukça etkili olduğunu bildirmiştir.

Ortodontik diş hareketinin miktarı periodontal ligament hücrelerinin mekanik uyarılara tepki verme yeteneğine bağlıdır. Dişin kemik içerisinde ne ölçüde hareket edeceği osteoblast ve osteoklastların sayısı ve aktivitesi ile belirlenmektedir. Bu sürecin en belirgin özelliklerinin, periodontal ligamentin remodelingi ve alveol kemiğinin yıkım ve yapımı olduğu bildirilmektedir (Alikhani, 2016). Krieger (2013), fibroblast hücrelerinin ilerleyen yaşlarda azalma gösterdiğini ve dişlerin ortodontik hareket hızında azalmalar olabileceğini bildirmiştir. İlerleyen yaşlarda kemik döngüsünün göstergesi olan RANKL/OPG oranında azalma olduğu dolayısıyla kemik içerisinde rezorbsiyon ve

apozisyonların azalacağı buna bağlı olarak da ortodontik diş hareketi hızının azalabileceği bildirilmektedir (Kawasaki ve ark., 2006).

2.5.2 Periodontal hastalıklar

Sıklıkla rastladığımız periodontal hastalıklar ataşman ve alveol kemik kayıpları ile karakterizedir. Periodontal dokuların harabiyeti sonucu dişlerin alveol içerisindeki pozisyonlarında değişimler gözlenmektedir. Bu noktada, ortodontik tedavi gereksinimi olan bireylerde periodontal hastalığın tedavi edilmesi ve oral hijyenin sağlanması gerekmektedir (Ramachandra ve ark., 2011).

Periodontal hastalığı olan bireylerde ataşman ve alveol kemiği kaybına bağlı olarak dişlerin direnç merkezleri kök ucuna doğru bir miktar yer değiştirmektedir. Bu durumda, uygulanan ortodontik kuvvet sabit kalsa dahi oluşan moment artmakta ve periodontal dokularda olması gereken fizyolojik aktivite değişmektedir. Basit devrilme hareketinden çok gövdesel hareketin istendiği ataşman kaybı olan dişlerde hafif ortodontik kuvvetler tercih edilmelidir (Ong ve Wang, 2002; Ramachandra ve ark., 2011).

2.5.3 Sistemik hastalıklar ve kullanılan ilaçlar

Osteoporoz

Osteoporoz, kemik yapım ve yıkım mekanizmalarının birbirinden bağımsız olarak daha hızlı gerçekleştiği ve kemik metabolizmasının hızlandığı bir hastalık olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaşa bağlı olarak kemik kütlelerinin azalması ve kemiğin mikro yapısında bozulmalar meydana gelmesiyle karakterizedir. Buna bağlı olarak kemiğin kırılabilirliği artmaktadır. Bu durum, ortodontik tedavi uygulanılacak bireylerde göz önüne alınmalıdır (Sidiropoulou-Chatzigiannis ve ark., 2007).

Diyabet

Sistemik ve lokal etkileri bulunan diyabetin, öncelikle sistemik etkileri kontrol altına alınmalı sekonder olarak ise periodontal dokular üzerindeki etkileri incelenmelidir (Villarino ve ark., 2011). Kontrol altına alınamadığı durumlarda ise periodontal dokular üzerinde yıkıcı etkilerinin olduğu bildirilmektedir. Ortodontik diş hareketinin normal

fizyolojisine cevap veren kemik ve periodontal ligamentin bu hastalıkta bozulduğu, kemiğin yeniden şekillenme süresi ve rezorbsiyon miktarının arttığı ifade edilmektedir (Li ve ark., 2010; Ferreira ve ark., 2018).

Tiroid hastalığı

Tiroid bezinin ürettiği hormonlardan biri olan tri-iyodotironin (T3) fiziksel büyüme ve gelişim ile hücre aktivitesi ve metabolizmasıyla yakından ilişkili olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, tiroid hormonlarının intestinal sistemde kemik emilimi ve şekillenmesi ile vertebra ve kıkırdak dokuların gelişiminde etkili olduğu bildirilmektedir (Gameiro ve ark., 2007; Bartzela ve ark., 2009). Shirazi ve ark.(1999), sıçanlarda yapmış oldukları araştırmada tiroid hormonundaki artışın diş hareket hızını artırdığını ve kök rezorpsiyonunu azalttığını belirtmişlerdir.

Bifosfonatlar

Osteoklastları inhibe eden bifosfonatlar kemik rezorpsiyonunu negatif etkilemektedir. Ayrıca, dental tedavilerde kemik iyileşmesini geciktirme, diş hareket hızını yavaşlatma ve osteonekroza neden olma gibi yan etkileri bulunmaktadır (Zahrowski, 2007).

Non-steroid antienflamatuvar ilaçlar (NSAİİ)

Analjezik, anti-enflamatuvar ve antipiretik etkiye sahip non-steroid antienflamatuvar ilaçlar (NSAİİ) sıklıkla kullanılmaktadır. Tüm NSAİİ'lerin benzer bir etkiyle prostonoid (tromboksan, prostasiklin ve prostaglandin) üretim yolu temel enzimleri olan COX-1 ve COX-2'yi inhibe ettiği bildirilmektedir. Bu nedenle, NSAİİ kullanımının diş hareketini yavaşlattığı bildirilmektedir (Bartzela ve ark., 2009). Moleküler mekanizmaya göre kollajenaz aktivitesinin artması matriks metalloproteinaz (MMPs 2 ve MMPs 9) seviyesini arttırmakta ancak pro-kollajen sentezi ise aynı kalmaktadır. Siklooksijenaz aktivitesinin baskılanması vasküler ve ekstrasellüler yeniden yapılanmayı etkilemektedir. Değişen vasküler ve ekstrasellüler matris şekillenmesine bağlı olarak da diş hareketinin azaldığı bildirilmektedir (Arias ve Marquez-Orozco, 2006).

1,25 Dihidroksikolekalsiferol (Vitamin D3)

Vitamin D'nin en aktif formu olan 1,25 dihidroksikolekalsiferol'un en önemli görevi böbreklerden kalsiyum ve fosfatın geri emilimini gerçekleştirmektir. Kalsiyum ve fosfatın serum seviyesini düzenlemekte, paratiroid hormonunu inhibe etmekte ve kemik depozisyonunu sağlamaktadır (Bartzela ve ark., 2009). Kale ve ark.'(2004) nin yaptığı araştırmada 1.25(OH)2D3 enjekte edilmiş dişlerde ortodontik diş hareketinin hızlandığı bildirilmektedir.

Parasetamol (Asetaminofen)

Parasetamolün zayıf bir siklooksijenaz inhibisyon ve antiinflamatuvar etki gösterdiği bildirilmektedir. Bu nedenle analjezik ve antiinflamatuvar etki göstermesi için yüksek dozda kullanılması gerekmektedir. Bu durum, parasetamolün prostaglandin üzerindeki olumsuz etkisinin yok denecek kadar az olduğunu ve ortodontik diş hareketine negatif etkisinin bulunmadığını göstermektedir (Walker ve Buring, 2001).

Oral kontraseptifler

Olyae ve ark. (2013) oral kontraseptiflerin ortodontik diş hareket hızına etkisini sıçanlar üzerinde inceledikleri çalışmalarında sondayla deney grubuna haftada 5 kez 100 mcg/kg ethinylestradiol (Estinyl) ve 1 mg/kg norgestrel (Ovrette) uygulamışlardır. Aparent uygulaması sonrası deney grubunda osteoklastların anlamlı derecede azaldığı ve kontrol grubuna kıyasla ortodontik diş hareketinin daha yavaş gerçekleştiği sonucuna varmışlardır.

Alkol ve nikotin

Kronik alkol kullanımı osteopeni ve osteoporoz için risk oluşturmalarının yanında, kemik kırılma insidansını arttırmakta ve kırık sonrası iyileşme dönemini uzatmaktadır (Chakkalakal, 2005). Kemik hücrelerinde nikotinamid adenin dinükleotid fosfat aktivitesinden kaynaklanan alkol bağımlı oksidatif stres beraberinde RANKL-RANK sinyalizasyonunu arttırarak, osteoklastogenezis riskini arttırmaktadır. Bu sebeple, kronik alkol kullanan hastaları tedavi eden klinisyenler aşırı kuvvet uygulamaktan kaçınmalı ve

kemik yenilenmesinin gecikmesi ihtimaline karşı hazırlıklı olmalıdırlar (Chakkalakal, 2005).

2.6. Hızlandırılmış Diş Hareketi

Sabit ortodontik tedavi süresinin 20 ila 30 ay aralığında değişkenlik gösterdiği bildirilmektedir (Wazwaz ve ark., 2022). Tedavi süresini maloklüzyonun şekli, tedavi planlaması, hekimin klinik tecrübesi ve hasta kooperasyonu gibi faktörlerin etkilediği belirtilmektedir (Yi ve ark., 2017). Tedavi süresinin uzaması hasta kooperasyonunun azalmasına yol açarken kök rezorbsiyonu, periodontal problemler ve beyaz nokta lezyonu gibi komplikasyonların da gelişmesine neden olabilmektedir (Nimeri ve ark., 2013). Bu nedenle, ortodontik diş hareketinin hızlandırılması ve bunun sonucunda tedavi süresinin kısalması ortodontistlerin önemli hedeflerinden biri olmuştur (Yi ve ark., 2017). Diş hareketinin hızlandırılması konusunda yapılan araştırmalar giderek artmaktadır (Huang ve ark., 2014). Ortodontik tedavileri daha kısa sürede gerçekleştirebilmek için uygulanan ortodontik kuvvetin şiddetinin artırılması, periodontal ligamentin basınç bölgesinde kan akımının durmasına sebep olmakta ve hücresel faaliyetlerde yavaşlamaya neden olan hyalinizasyon dokusunu oluşturmaktadır (Engström ve ark., 1988). Diş hareketinin hızlandırılması amacıyla ortodontik tedavide kullanılan mekaniklerin karşılaştırıldığı çalışmalarda da farklı tel ve braket sistemlerinin diş hareketini hızlandırdığı ile ilgili kesin bir sonuç bildirilmemiştir (Fleming ve Johal, 2010; Miles, 2017).

Bu nedenle, ortodontik kuvvetin şiddeti artırılmadan, dişin hareketi esnasında çevresel faktörleri değiştirerek dentoalveolar dokuların verdiği biyolojik cevaba yönelik diş hareketini hızlandırmak, buna bağlı olarak da tedavi süresini kısaltmak amacıyla son yıllarda çeşitli cerrahi ve cerrahi olmayan (farmakolojik uygulamalar ve mekanik-fiziksel stimülasyonlar) yöntemler kullanılmaktadır (Gkantidis ve ark., 2014; Miles, 2017).

2.6.1. Cerrahi yöntemler

Cerrahi destekli uygulamalar diş hareketini genel olarak kortikal kemik direnci ve alveol kemikte hyalinizasyon dokusu oluşumunu azaltarak hızlandırmaktadır. Alveoler kemikte oluşturulan herhangi bir travma sonrası kemik dokudaki remodelingin ve kemik

turn-overın, iyileşmeyi hızlandırmak için büyük oranda arttığı bildirilmektedir (Bhattacharya ve ark., 2014). Travma sonrası kemik dokuda artan metabolik faaliyet 1983 yılında Harold Frost tarafından “bölgesel hızlanma fenomeni” olarak isimlendirilmiştir (Frost, 1983). Bölgesel hızlanma fenomeni, iyileşmekte olan kemikte ilk başta hızlı bir osteoklastik aktivitenin, ardından kemik densitesinde azalmanın, sonrasında da hızlı bir osteoblastik aktivitenin ve remodeling işleminin olduğu kompleks bir fizyolojik olaydır. Hızlanan metabolik faaliyet sayesinde diş hareketi esnasında oluşan hyalinizasyon dokusu daha erken ortadan kaldırılmakta ve yeni hyalinizasyon dokularının oluşma riski azalmaktadır (Kim ve ark., 2009).

Cerrahi yöntemler distraksiyon osteogenezi (periodontal ve dentoalveolar distraksiyon), kortikotomi/osteotomi ve kortikotomi destekli uygulamalar (piezo-insizyon, piezopuncture, mikro-osteoperforasyon, kortizisyon) şeklinde alt başlıklar altında incelenebilmektedir.

Distraksiyon osteogenezi

Distraksiyon osteogenezi kemik segmentlerinin aşamalı olarak çekme ve germe kuvvetleri ile birbirinden uzaklaştırılarak, ayrılan kemik segmentleri arasında yeniden kemik formasyonunun olduğu cerrahi işlem olarak belirtilmektedir (Sayin ve ark., 2003).

Distraksiyon osteogenezi, dentoalveolar distraksiyon ve periodontal distraksiyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Nimeri ve ark., 2013). Dentoalveolar distraksiyonda dişlerin etrafındaki alveolar kemik üzerinde monokortikal perforasyonlar açılarak distraktör yardımıyla diş retrakte edilmektedir (İşeri ve ark., 2005). Kurt ve ark. (2017), kanin retraksiyonunda konvansiyonel yöntem ve dentoalveolar distraksiyon uygulamasını karşılaştırdıkları çalışmalarında dentoalveolar distraksiyonun herhangi bir yan etkiye neden olmadan kanin retraksiyonunu hızlandırdığını ve tedavi süresini kısalttığını bildirmişlerdir. Dental distraksiyon adı da verilen periodontal distraksiyon ise çekim socketinin mezyaline vertikal oluklar açılıp interseptal kemik zayıflatıldıktan sonra distraktör aracılığıyla kanin dişinin çekim boşluğuna doğru distal yönde hareket ettirilmesi işlemidir (Liou ve Huang, 1998). Kharkar ve ark. (2010), periodontal ve dentoalveolar distraksiyonları karşılaştırdıkları çalışmalarında dentoalveolar

distraksiyonda kanin retraksiyonun daha hızlı olduğunu ancak periodontal distraksiyona göre daha kapsamlı cerrahi işlem gerektirdiğini bildirmişlerdir.

Kortikotomi ve osteotomi

Kortikotomi ve osteotomi diş hareketini hızlandırmak, zor diş hareketlerini kolaylaştırmak ve alveol kemiği yeniden şekillendirmek amacıyla ortodontide cerrahi olarak uygulanan yöntemler arasında yer almaktadır (Sulewska ve ark., 2018). Osteotomi işleminde kortikal ve trabeküler kemikler tamamen kesilip ardından serbestleşen kısımlar cerrah tarafından yeniden konumlandırılmaktadır. Kortikotomi işleminde ise osteotominin aksine trabeküler kemiğe dokunmadan sadece kortikal kemik üzerinde yüzeysel perforasyonlar ve kesiler yapılmaktadır (Hoogeveen ve ark., 2014). Kortikotomi tekniğiyle kortikal kemiğin direnci azaltılarak diş hareketinin hızlandırılacağı düşünülmektedir. Ayrıca, trabeküller yapıdaki damarların korunması yeterli kan akımına ve beslenmenin gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır (Nimeri ve ark., 2013).

Kortikotomi tekniğinin daha hızlı diş hareketi, daha kısa tedavi süresi, daralmış arkların daha güvenli genişletilmesi ve ortodontik tedavi sonrası stabilitenin artması gibi avantajları olduğu bildirilmektedir (Sulewska ve ark., 2018). En önemli dezavantajları ise invaziv olması ve diş hareketindeki hızlanmanın ilk 3-4 ayda gerçekleşip ilerleyen zamanda anlamlı bir fark gözlenmemesidir (Nimeri ve ark., 2013).

Kortikotomi destekli uygulamalar

Piezo-insizyon

Piezo cerrahi bıçakları kullanılarak flep açılmadan uygulanan ve bukkal dişetinde sınırlı kalan bu teknikte, bukkal kemik korteksinde kesiler yapılmasına olanak sağlayan vertikal mikro insizyonlar kullanılmaktadır (Shahrin ve ark., 2021). Minimal invaziv bir işlem olması, postoperatif komplikasyonun çok az olması, sert ve yumuşak doku augmentasyonuna izin vermesi ve hastalar tarafından kolay kabul edilmesi bu tekniğin başlıca avantajları arasında yer almaktadır (Dibart, 2016). Abbas ve ark.(2016), kortikotomi ve piezo-insizyonun dişin hareket hızı ve kök rezorpsiyonuna etkilerini kontrol grubu ile karşılaştırdıkları çalışmalarında, konvansiyonel ortodontik uygulamalara kıyasla kanin dişin hareket hızının kortikotomi grubunda 1,5-2 kat, piezo-

insizyon grubunda ise 1,5 kat daha hızlı olduğunu, kök rezorpsiyonu bakımından ise gruplar arasında anlamlı fark bulunmadığını ifade etmişlerdir. Literatürde sınırlı sayıda çalışma yer almasından dolayı piezo-insizyonun diş hareket hızına etkisinin uzun dönem değerlendirildiği daha fazla çalışma yapılması önerilmektedir (Huang ve ark., 2014).

Piezopuncture

Kortikotomiye nazaran daha az agresif olduğu belirtilen bu yöntemde, piezotom kullanarak dişetinde herhangi bir kesi yapmadan kortikal kemikte delikler açılmaktadır (Kim ve ark., 2013). Kim ve ark. (2013), köpeklerde yapmış oldukları çalışmada maksillada ilk iki haftada mandibulada ise ikinci haftada kontrol gurubuna kıyasla deney grubunda daha hızlı diş hareketinin elde edildiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, piezopuncture'ın anabolik aktiviteyi de anlamlı miktarda artırdığı belirtilmektedir (Abbas ve ark., 2016; Omidkhoda ve ark., 2018). Omidkhoda ve ark. (2018), çekimli sabit ortodontik tedavi uygulanan iki farklı vakada piezopuncture tekniğini değerlendirdikleri çalışmalarında, iki aylık retraksiyon süreci sonunda bu tekniğin kullanıldığı bölgedeki kanin diş hareketinin daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır.

Mikro-osteoperforasyon

Mikro-osteoperforasyon, yapışık diş etinin delinmesiyle kemik dokusunda gerçekleştirilen minimal invaziv bir yöntemdir. Ortodontik tedavi sırasında alveoler kemiğin mikro-osteoperforasyonlarla stimüle edilmesinin enflamatuvar yanıtı güçlendirdiği ve kemik rezorpsiyon mekanizmasını artırarak ortodontik diş hareketini hızlandığı belirtilmektedir (Shahrin ve ark., 2021). Hayvan çalışmalarında da ortodontik diş hareketi sırasında alveoler kemikte oluşturulan mikro osteoperforasyonların enflamatuvar mediyatörlerin salınımını önemli ölçüde uyurabildiği gösterilmiştir (Alikhani ve ark., 2013).

Ortodontik kuvvet uygulaması, enflamatuvar mediyatörlerin salınım ve aktivasyonunu belirli seviyelerin üstüne çıkaramazken; mikro osteoperforasyonların eklenmesi enflamatuvar mediyatörlerin seviyesini arttırmaktadır (Teixeira ve ark., 2010). Alikhani ve ark. (2013), sınıf II divizyon 2 vakalarda mikro-osteoperforasyonların kanin dişin retraksiyon hızına etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, tekniğin diş hareketini

anlamalı miktarda arttırdığını ve hastaların operasyon sonrası kayda değer bir ağrı, rahatsızlık ve komplikasyon yaşamadıklarını bildirmişlerdir (Alikhani ve ark., 2013).

Kortizisyon

Fleksiz kortikotomi cerrahi yöntemlerden biri olan kortizisyon, bir çekiç ucuna yerleştirilen bistüri ile dişeti üzerinden yaklaşık 10 mm derine girilerek kortikal kemik içinde kesiler yapılmaktadır (Kim ve ark., 2009). Bu tekniğin dezavantajları yumuşak ve sert doku greftlemesine olanak tanımaması ve maksilla üzerine agresif şekilde çekiç ve keski uygulanmasının vertigo riskini arttırmasıdır (Keser ve Naini, 2022).

Cerrahi yöntemler invaziv metotlar olmasının yanında eksternal kök rezorbsiyonu, kök yüzeyinde meydana gelen iatrojenik hasarlar, devitalizasyon, periodontal problemler, greftleme problemleri ve kemik büyümeleri gibi sert doku problemlerine de neden olabilmektedirler. Bunlarla birlikte yumuşak dokularda ödem, yara yeri iyileşmesine bağlı konfor kaybı ve sistemik komplikasyonlar da dezavantajları arasında yer almaktadır (Huang ve ark., 2014; Abbas ve ark., 2016). Cerrahi yöntemler hızlı diş hareketi sağlayan etkili yöntemler olmalarına rağmen oldukça masraflı, zahmetli ve en önemlisi invaziv yöntemlerden oluşmaktadırlar. Fakat bu dezavantajlar teknolojinin ilerlemesi ve yaklaşık 100 yıldır araştırmacıların cerrahi destekli yöntemler konusunda yaptıkları çalışmalar sayesinde minimize edilmeye çalışılmış ve cerrahi yöntemler modern ortodontinin önemli bir parçası haline gelmiştir (Oral ve ark., 2020).

2.6.2. Cerrahi olmayan yöntemler

Cerrahi yöntemlerin invaziv olması ve operasyon sonrası uzun dönem komplikasyonlarının tam olarak bilinmemesi, cerrahi olmayan yöntemler konusunda çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu amaçla, farmakolojik uygulamalar ve mekanik-fiziksel stimülasyonlarla kemiğin hızlı bir şekilde yeniden şekillenmesini sağlayacak yöntemler uygulanmaktadır (Huang ve ark., 2014).

Farmakolojik uygulamalar

Ortodontik diş hareketi periodontal ligament ve alveol kemikte gerçekleşen remodeling olayları sonucunda meydana gelmektedir. Diş hareketinin oluşmasında mediatörlerin etkin olduğunun anlaşılması ve bölgesel hızlanma fenomeninin tanımlanmasıyla diş hareketini hızlandırmada bazı endojen ve ekzojen ajanların kullanılması gündeme gelmiştir (Nimeri ve ark., 2013). Sitokinler, prostaglandinler, kortikosteroidler, 1,25-dihidroksikolekalsiferol, paratiroid hormon ve relaksin gibi farmakolojik uygulamaların bu amaçla kullanıldığı gözlenmektedir (Gianelly, 1969; Yamasaki ve ark., 1982; Burrow ve ark., 1986; Collins ve Sinclair, 1988; Ashcraft ve ark., 1992; Hashimoto ve ark., 2001; Gurton ve ark., 2004; Stewart ve ark., 2005).

Sitokinler

İmmün sistem hücrelerinden olan osteoblastlar ve fibroblastlar tarafından salgılanan biyokimyasal mediyatörlere sitokin adı verilmektedir (Teixeria ve ark. 2010). İnterlökinler (IL-1, IL-2, IL-3 IL-6, IL-8) ve tümör nekroz faktör alfa (TNF- α) gibi yüksek sitokin konsantrasyonları kemik remodelinginde önemli rol oynamaktadır. Bunlar arasında IL-1'in osteoklastlar üzerindeki reseptörü aracılığıyla osteoklast fonksiyonunu doğrudan uyardığı bildirilmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2006).

Diş hareketinin hızlanmasında rol oynayan sitokinlerden biri de RANKL'dir. Osteoblastların yüzeyinde bulunan bir protein olan RANKL, osteoklast yüzeyindeki RANK reseptörüne bağlanarak osteoklast farklılaşmasını sağlamaktadır. Diğer yandan, osteoprotegerin kemik hücreleri üzerindeki biyolojik etkisi ile osteoklastların aktivasyonunu baskılayarak osteoklastogenezi inhibe etmektedir. Kemik remodeling işlemi RANKL-RANK sistemi ve osteoprotegerin arasındaki denge ile gerçekleşmektedir (Nimeri ve ark. 2013). RANKL geninin periodontal dokuya transferi sonucunda osteoklastogenez ve diş hareketi hızının arttığı, osteoprotegerin gen transferinin ise ortodontik diş hareketini yavaşlattığı rapor edilmiştir (Kanzaki ve ark., 2006).

Prostaglandinler

Prostaglandinler, enflamatuar mediatörü olup çevresindeki hücrelere etki eden bir parakrin hormondur. Doğrudan osteoklast sayısını arttırarak kemik rezorbsiyonunu uyardığı belirtilmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2006; Nimeri ve ark., 2013). Çeşitli

araştırmacılar tarafından yapılan klinik ve hayvan çalışmaları, prostaglandinlerin (PGE1 ve PGE2) kemik rezorpsiyonunu uyarmadaki etkinliğini bildirmişlerdir (Lee, 1990; Leiker ve ark., 1995). Leiker (1995), ortodontik mekanik streslerin lokalize hücreler tarafından prostaglandinlerin sentezini ve salgılanmasını indüklediğini ve bunun da osteoklastik kemik rezorpsiyon sürecini uyardığını bildirmiştir. Sıçanlarda yaptığı araştırmasında eksojen PGE2 enjeksiyonlarının diş hareketinin hızlanmasına neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, birinci küçük azı dişlerinin çekildiği insan çalışmalarında PGE1 enjeksiyonunun kanin dişin distal hareket hızını 1,6 kat arttırdığı ifade edilmiştir (Yamasaki ve ark., 1984).

Ortodontik diş hareket hızının tekli veya çoklu enjeksiyonlardan ve enjekte edilen PGE2 konsantrasyonundan etkilenmediği, kök rezorpsiyonunun ise enjeksiyon sayısı ve PGE2 konsantrasyonu ile yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, PGE2'nin kalsiyum varlığında uygulanmasının diş hareketini hızlandırırken kök rezorpsiyonunu stabilize ettiği de gösterilmiştir (Seifi ve ark., 2003).

Kortikosteroidler

Adrenal kortekste sentezlenen bir steroid hormon grubu olan kortikosteroidlerin anti-enflamatuar etkisi nedeniyle diş hareket miktarını azaltabileceği bildirilmektedir. IL-6 gibi sitokinlerin varlığında ise osteoklastogenezin uyarılmasına yardımcı olarak osteoporoz meydana getirmektedir. Bu nedenle, uygulanan doz miktarına ve ortamdaki sitokin varlığına bağlı olarak kortikosteroidlerin diş hareket hızına etkisi değişebilmektedir (Alansari ve ark., 2015). Ong ve ark. (2000) ratlara 1 mg/kg dozunda kortikosteroid türevi olan prednisol uyguladıkları çalışmalarında diş hareket hızında anlamlı bir değişiklik olmadığı ancak tedavi grubunda daha az kök rezorpsiyonu görüldüğü sonucuna varmışlardır. Ashcraft ve ark. (1992) ise tavşanlara 15 mg/kg dozunda kortizon asetat enjekte ettikleri çalışmalarında kontrol grubuna kıyasla diş hareketinin 4 kat daha fazla olduğunu ve aktif diş hareketi sonrasında alınan kesitlerde kemik rezorpsiyon alanlarının daha fazla gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

1,25-Dihidroksikolekalsiferol

Ortodontik diş hareketinde önemli bir faktör olarak tanımlanan diğer bir ajan da D vitamininin biyolojik aktif bir formu olan ve kalsitonin ve paratiroid hormonu ile kalsiyum homeostazında önemli bir rol oynayan 1,25-dihidroksikolekalsiferol'dür (Nimeri ve ark., 2013). D3 vitamini, kalsiyum ve fosfatın bağırsaklardan ve böbreklerden emilimini arttırarak serumdaki seviyelerini düzenlemektedir. Ayrıca, kemik yapımını arttırdığı ve paratiroid hormon salınımını inhibe ettiği belirtilmektedir. Bu mekanizmalara dayanarak, D3 vitamininin diş hareket hızını azaltması beklenmektedir (Alansari ve ark., 2015). Ancak, D3 vitamininin aktif formu olan 1,25(OH)₂D₃'ün lokal olarak enjekte edildiği çalışmalarda, diş hareket hızını arttırılabileceği gösterilmiştir (Suda ve ark., 2003)

Paratiroid hormon

Paratiroid bezleri tarafından salgılanan paratiroid hormon, kalsitonin ve 1,25-dihidroksikolekalsiferol hormonları ile birlikte vücuttaki kalsiyum dengesini düzenlemekte ve kemik yıkımını uyararak serumdaki kalsiyum konsantrasyonunu arttırmaktadır (Nimeri ve ark., 2013). Lokal olarak enjekte edilen paratiroid hormon ile gerçekleştirilen lokal kemik yıkımının, sistemik paratiroid hormon uygulamalarına oranla daha etkili olduğu gösterilmiştir (Takano-Yamamoto ve Rodan, 1990). Bu amaçla, araştırmacılar enjeksiyon yapılan alandaki paratiroid hormonun ortamda bulunma süresini uzatmak için paratiroid hormonun yavaş salınımını sağlayan %2'lik metilselüloz jel kullanmışlar ve 1,6 kat daha hızlı diş hareketi elde etmişlerdir (Soma ve ark., 2000).

Farmakolojik uygulamalar, cerrahi yöntemlerin invaziv olmalarına bir alternatif olarak düşünülse de birçok çalışma hayvan deneyleri düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Sistemik veya lokal yan etkilerinin olabileceği ihtimaline karşılık klinik olarak insanlarda henüz yeterince uygulamanın olmadığı bildirilmektedir. Klinik olarak uygulanabilir hale gelmesi ve insanlarda uygulanacak dozajların ve metotların belirlenebilmesi açısından daha fazla deneysel ve klinik çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulduğu ifade edilmektedir (Acar ve Biren, 2018).

Mekanik ve fiziksel stimülasyonlar

Ortodontik diş hareket hızını arttıran cerrahi olmayan diğer bir uygulama ise mekanik ve fiziksel stimülasyonlardır. Bu yöntemler arasında elektrik akımı, elektromanyetik alan, titreşim ve fotobiyostimülasyon veya düşük doz lazer tedavisi bulunmaktadır (Nimeri ve ark., 2013).

Elektrik akımı ve elektromanyetik alan uygulamaları

Elektrik akımının alveoler kemik metabolizmasına etkisinin incelendiği çalışmalarda elektrik akımı uygulamasıyla hücre organellerinde kemik remodelingini etkileyen birtakım değişiklikler gözlemlenmiştir (Karanth ve Shetty, 2001). 15 ila 20 mikroamper arasında uygulanan doğru akımın alveoler kemiğin hücre membranı etrafındaki elektrolit akımını değiştirerek diş hareketini hızlandırdığı bildirilmiştir (Karanth ve Shetty, 2001). Elektromanyetik alan uygulamaları ise periodontal aralıktaki hücresel faaliyetleri etkileyerek hem osteoklastik hem de osteoblastik aktiviteyi hızlandırmakta ve artan osteogenezise bağlı olarak diş hareket hızını arttırmaktadır (Stark ve Sinclair, 1987).

Spadari ve ark. (2017) sıçanların ortodontik olarak hareket ettirilecek dişlerine günde 5 dakika 10 mikroamper elektrik akımı uyguladıkları çalışmalarında elektrik akımının doku yanıtını arttırdığını ve bu şekilde hızlı ve güvenilir diş hareketi elde edilebileceğini bildirmişlerdir. Periodonsiyuma doğrudan elektrik akımı uygulamasının doku yaralanması, iyonik reaksiyonlar ve kemik dokunun bağ doku ile yer değiştirmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Kolahi ve ark., 2009). Manyetik alanların serum kalsiyumunun düşmesi ve kan kimyasının değişmesi gibi sistemik ve santral sinir sistemi üzerinde yan etkilerinin olabileceği de araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Darendeliler ve ark., 1995). Günümüzde elektromanyetik yöntemlerin dokularda hasara yol açması, ekipman gerektirmesi ve diş hareketini hızlandırdığına dair kanıtlarının yetersiz olması sebebiyle rutin kullanımda uygulanması gerçekleşmemiştir (Gkantidis ve ark., 2014).

Titreşim uygulaması

Ortodontik tedavi sırasında uygulanan titreşim ile periodontal ligament hücrelerinin aktivitesinde, osteoklast sayısında ve RANKL seviyesinde artış olduğu ve

bu sayede diş hareketinin hızlandığı belirtilmektedir (Nishimura ve ark., 2008). Leethanakul ve ark. (2016) üst birinci premolar çekimli vakalarda kanin distalizasyonu esnasında hafif ortodontik kuvvetlere (60 gr) ek olarak hastalara sadece tek taraftaki kanin dişine elektrikli diş fırçası ile 2 ay boyunca günde 3 defa 15'er dakika titreşim uygulamalarını istemiş ve sonuçta interlökkin 1β (IL-1β) sekresyonunun ve diş hareket miktarının elektrikli diş fırçası kullanılan tarafta anlamlı derecede fazla olduğunu bildirmişlerdir. Liao ve ark. (2017) da kanin distalizasyonu sırasında 150 gr ortodontik kuvvete ek olarak dişlerin bukkal yüzlerinden uygulanan 50 Hz frekansında ve 20 gr büyüklüğündeki titreşimin diş hareketini hızlandırdığını saptamışlardır. Kalajzic ve ark. (2014) ise diş hareketinin titreşim kuvvetlerin uygulanmasıyla önemli ölçüde engellendiğini rapor etmişlerdir.

Fotobiyomodülasyon

Lazer ışığının dokuda en fazla 1°C'lik ısı artışı yaratarak oluşturduğu etkilere 'biyostimülan etkiler' denilmektedir (Altan ve ark., 2012). Lazer ışınlarının biyostimülan etkilerinden faydalanılarak dokularda fiziksel, kimyasal ve metabolik değişiklikler meydana getirmesiyle yapılan tedavi düşük doz lazer tedavisi, fotobiyostimülasyon, fotobiyomodülasyon veya lazer biyoaktivasyonu olarak da adlandırılmaktadır (Heiskanen ve Hamblin, 2018).

Işığın teşhis ve tedavi amaçlı tıbbi kullanımının antik çağlardan kaldığı bilinmektedir. Eski zamanlarda ışık, doktorların cilt rengini ve yaraları incelemelerinde ve uygun bir tedavi planı oluşturmalarında kullanılmıştır. Eski Mısırlılar, Çinliler ve Hintliler ışığı raşitizm, sedef hastalığı, cilt kanseri ve hatta psikozunu tedavi etmek için kullanmışlardır (Daniell ve Hill, 1991). Ayrıca eski Mısırlılar, Hintliler ve Yunanlılar maydanoz ve bazı bitkilerde bulunan ışığa karşı duyarlılık oluşturan psoraleni aktive ederek, vitiligo hastalarında etkilenen cildin yeniden pigmentasyonu için doğal güneş ışığını kullanmışlardır (Convissar, 2016). On sekizinci ve on dokuzuncu yüzyıllarda Avrupalı doktorlar kutanöz tüberküloz, sedef hastalığı ve egzamayı tedavi etmek için güneş ışığı ve yapay ışığı kullanmışlardır. Bu ve diğer ışık uygulamaları, tıp alanında özel bir ışık biçimi üreten optik yükseltici cihazların icadının ve sonraki kullanımının habercisi olmuştur (Convissar, 2016).

Fotobiyomodülasyon ışık tedavisi olarak da bilinen elektromanyetik spektrumun 600-1200 nm görünür kırmızı ışık ve yakın kızılötesi aralığında olan terapötik dalga boylarında dokuların ışığa maruz kalmasını içermektedir (Nahas ve ark., 2017). Bu dalga boyları ışığın hemoglobin ve su tarafından emilimini azaltarak lazer ışığının derindeki yumuşak dokuya ve alveoler kemiğe daha iyi penetrasyonunu sağlamaktadır. Ortaya çıkan stimülasyon adenozin trifosfat üretiminde olumlu potansiyel etkiye sahip olmaktadır (Kacprzak ve Strzecki, 2018). Sonuç olarak, hücresel aktivite ve kemik metabolizması artmakta bu da diş hareketinin hızlanmasına neden olmaktadır (Shaughnessy ve ark., 2016).

Fotobiyomodülasyon tedavisi tutarlı ışık üreten düşük doz lazer ve tutarsız ışık üreten diyot ile yapılabilmektedir (Kacprzak ve Strzecki, 2018). Bu iki yöntemden birinin diğerine üstünlüğüne ilişkin herhangi bir bilgi bulunmamaktadır (Chung ve ark., 2012). Araştırmacıların hücresel tepkinin ışığın kaynağına bağlı olmayıp ışığın dozu ve dalga boyuna bağlı olduğu konusunda hemfikir olduğu görülmüştür (Casalechi ve ark., 2009).

2.7. Lazer'in Tarihçesi

20. yy'ın başlarında fizik alanındaki gelişmelerle Albert Einstein tarafından öne sürülen lazer teorisinin temelleri atılmış ve bu teori ışığın özel formunun icadıyla sonuçlanmıştır. Kısa bir süre sonra araştırmacılar lazer teknolojisinin tıp ve diş hekimliği alanındaki tedavi uygulamalarını keşfetmeye başlamışlardır (Convissar, 2016).

Başlangıçta ışık doğasının parçacıklardan, dalgalardan, basınçtan, başka bir maddeden veya kuvvetten mi oluştuğu konusunda hemfikir olunamamıştır. İranlı matematikçi İbnü'l-Heysem 1021'de yayınladığı Optik kitabında ışığın düz çizgilerde hareket eden ve çarptıkları nesnelerden sıçrayan küçük parçacıklardan oluştuğunu belirtmiştir (Convissar, 2016). 1900 yılından önceki teoriler de faydalı olmalarına rağmen bilim adamları tarafından ışığın gözlemlenen özelliklerini tam olarak tanımlayamamışlardır. Yüzyıllardır sadece parçacık şeklinde yayıldığı düşünülen ışığın aslında hem parçacık hem dalgalar halinde yayıldığı konusunda yapılan çalışmalar kuantum teorisinin ortaya çıkmasına yol açmıştır (Karu 1989).

14 Aralık 1900'de Alman fizikçi Max Planck ışığın kuantum adını verdiği ayrık ve bölünmez ışık enerjisi paketlerinden oluştuğunu teorileştirdiği bir konferansı Alman Fizik Derneği'ne sunmuştur. Albert Einstein ise 1905 yılında kuantum teorisine ilave olarak fotoelektrik etki olarak bilinen; bir yüzeye gönderilen ultraviyole ışığın levhaya çarptığında elektronlarının saçıldığını gözlemlemiştir (Townes, 1962). Albert Einstein bu etkiyi ışığın fotonlar ya da enerji paketleri içeren bir akışı olarak tanımlamıştır. 1916 yılında ise bir maddenin uyarılarak radyasyon yayılımı yapabileceğini ileri sürmüş ve lazerin ana ilkesi olan kuantum mekaniği ile ışığın korpüsküler yayılım teorisini geliştirerek lazer kavramının temellerini atmıştır (Convissar, 2016). 1952 yılında Arthur L. Schalow ve Charles H. Townes tarafından atomların dışardan uyarılması neticesinde dışarıya salınan radyasyon yardımı ile elde edilen genliği yükseltilmiş elektromanyetik dalga anlamına gelen MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) prensibi kabul görülmüştür (Townes, 1962). 1958 yılında Schawlow ve Townes MASER prensibinin elektronları daha düşük enerji seviyesinden daha yüksek enerji seviyesine yükseltmek için ışığın kullanılabileceğine dikkat çekerek “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” (LASER) kavramını ortaya koymuşlardır (Convissar, 2016). 1960 yılında Theodore Harold Maiman sentetik yakut çubuğunu kullanarak ilk lazer cihazını üretmiştir (Coluzzi, 2004). İlk gaz kaynaklı lazer olan Helyum-Neon (HeNe) lazer 1961 yılında tanımlanmıştır (Chung ve ark., 2012). 1964 yılında CO2 lazer cihazı, aynı yıllarda Neodymium: Yttrium- Alüminyum-Garnet (Nd: YAG) lazer ve daha sonra Erbiyum: Yttrium-Alüminyum-Garnet (Er: YAG) lazer geliştirilmiştir (Baggett ve ark., 1999; Coluzzi, 2004).

Bir teknolojik ürün olarak görülen lazer zamanla gelişerek tıp ve cerrahi alanlarında kullanılmıştır (Vladimirov ve ark., 2004; Parker, 2007). 1990'lı yılların başında modifiye edilerek Terry D. Myers tarafından diş hekimliği pratiğine yönelik ilk lazer cihazı olarak geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Convissar, 2016). Diş hekimliğinde lazer gingivektomi/gingivoplasti, uvulopalatoplasti, tümörlerin ve diğer lezyonların eksizyonu, insizyon/eksizyon biyopsileri, frenektomi, hiperplastik/granülasyon dokusunun çıkarılması, yönlendirilmiş doku rejenerasyonu ve periodontal hastalıkların tedavisi, aftöz ülserler, herpetik lezyonlar, lökoplaki, verrüköz karsinom, vasküler lezyonlarda kanama kontrolü, artroskopik temporomandibular eklem cerrahisi, çürük

teşhisi ve temizlenmesi, diş beyazlatma solüsyonlarının aktivasyonu, kök-kanal tedavisi, subgingival diş taşının tespit edilmesi ve ortodontinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır (Convissar, 2016).

2.7.1. Işık ve özellikleri

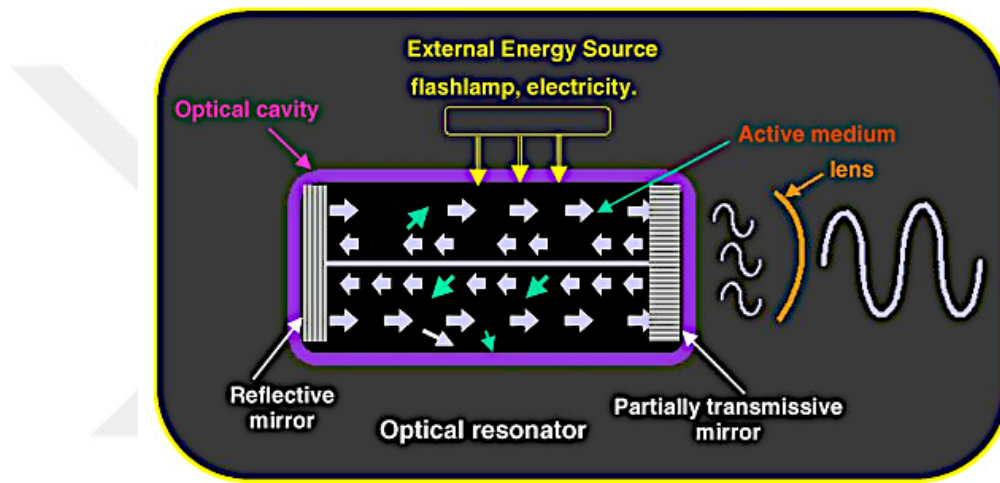
‘**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation’ tanımlamasının baş harflerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan ‘LASER’ terimi, dilimize ‘LAZER’ olarak giren bir kısaltmadır. Radyasyonun uyarılmış emisyonu ile ışığın güçlendirilmesi anlamına gelmektedir.

Işık, bir parçacık olarak var olan ve dalgalar halinde sabit hızla hareket eden bir elektromanyetik enerji şeklidir. Bu ışımaya enerjisinin temel birimine foton denmektedir (Convissar, 2016). Işık hızında hareket eden fotonların genlik ve dalga boyu olmak üzere iki temel özelliği bulunmaktadır. Genlik, dalganın sıfır ekseninin etrafında hareket etmesi sırasındaki dikey yükseklik olarak tanımlanmaktadır. Genlik ne kadar büyükse, gerçekleştirilebilecek potansiyel iş miktarı da o kadar büyük olmaktadır. Kullanılan enerji birimi Joule (J)’ dür. İkinci özellik olan dalga boyu (λ) ise dalga üzerinde karşılık gelen herhangi iki nokta arasındaki yatay mesafe olarak belirtilmektedir. Bu ölçüm hem lazer ışığının cerrahi bölgeye nasıl iletildiği hem de doku ile nasıl tepki verdiği açısından önemli olmaktadır. Dalga boyu metre (m) cinsinden ölçülmektedir. Diş hekimliğinde kullanılan lazerler metrenin milyarda birine (10^{-9}) eşit olan nanometre (nm) veya milin milyonda biri (10^{-6}) olan mikrometre (μm) olmak üzere çok daha küçük birimler düzeyinde dalga boylarına sahiptir (Convissar, 2016).

Lazer dalgaları yol alırken sıfır eksenini etrafında saniyede belirli sayıda yükselip düşmesine salınım denmektedir. Birim zamandaki salınım sayısı frekans olarak tanımlanmaktadır. Frekans hertz (Hz) cinsinden ölçülmektedir. 1 Hz, saniyede bir salınım anlamına gelmektedir. Frekans, dalga boyu ile ters orantılıdır. Dalga boyu ne kadar kısa olursa frekans o kadar yüksek olmaktadır. Hertz, spesifik olarak, yayılan lazer enerjisinin saniyedeki atım sayısını tanımlamak için de kullanılmaktadır (Coluzzi, 2004).

Lazer ışığı üreten bir lazer cihazının bileşenleri üç kısımda incelenebilmektedir. Lazerin merkezine lazer boşluğu adı verilmektedir. Aşağıdaki üç bileşen lazer boşluğunu oluşturmaktadır (Convissar, 2016) (Şekil 3).

- Aktif ortam
- Pompalama mekanizması
- Optik rezonatör



Şekil 3. Lazerin temel bileşenleri (Coluzzi, 2004).

Aktif ortam kimyasal elementlerden, moleküllerden veya bileşiklerden oluşmaktadır. Lazerler genel olarak aktif ortamda bulunan madde ile adlandırılmaktadır (Coluzzi, 2004). Örneğin CO₂ lazerde bir kutu karbon dioksit (CO₂) gazı , erbiyum katkılı bir YAG (Er: YAG) lazerde katı bir kristal; diyet lazerde ise katı hal yarı iletkeni veya bazı tıbbi lazer cihazlarında kullanılan bir sıvı bulunabilmektedir (Coluzzi, 2004).

Bu aktif ortamı çevreleyen bir flaş lambası, flaş cihazı, elektrik devresi, elektrik bobini veya aktif ortama enerji pompalayan benzer bir enerji kaynağı bulunmaktadır. Bu pompalama mekanizması enerjiyi aktif ortama yönlendirdiğinde ortamdaki atomların en dış kabuğundaki elektronlar enerjiyi absorbe etmektedir. Bu elektronlar daha yüksek bir enerji seviyesinde olan çekirdekten daha uzaktak bir sonraki kabuğa ulaşmak için de belirli bir miktarda enerji absorbe etmektedir. Bu uyarılmış durumdaki elektronlar daha

sonra dinlenme durumlarına dönerek bu enerjiyi foton olarak bilinen bir formda yaymaktadırlar. Buna kendiliğinden (uyarılmamış) emisyon adı verilmektedir (Convissar, 2016).

Lazer boşluğunu tamamlayan optik boşluğun her iki ucunda birer tane birbirine paralel yerleştirilmiş iki ayna bulunmaktadır. Bu aynalar veya cilalı yüzeyler, dalgaları ileri geri yansıtan optik rezonatörler gibi davranarak gelişen ışını paralelleştirmeye ve güçlendirmeye yardımcı olmaktadır (Convissar, 2016).

Lazer ışığı sıradan ışıktan iki özelliği ile ayrılmaktadır. Lazer ışığı monokromatiktir. Dalga boyu spektrumun görünür kısmının dışında olduğunda görünmez olan tek renkli bir ışın olarak üretilmektedir. Ayrıca lazer ışığının dalgaları tutarlıdır (koherent). Fiziksel boyut ve şekil bakımından değişkenlik göstermediği bildirilmektedir. Böylece tüm foton dalgalarının genlik ve frekansının aynı olduğu belirtilmektedir. Bu tutarlılık odaklanmış elektromanyetik enerjinin belirli bir formda üretilmesiyle sonuçlanmaktadır. Lazer cihazından yayılan ışın uzun bir mesafe boyunca bütün dalgalar birbirine paralel olacak biçimde üretilmektedir. Ancak, lazer ışığı optik fiberler veya uçlar gibi belirli iletim sistemlerine girdiğinde (örn. Nd:YAG, erbium ve diyot lazerler) birbirinden ayrılmaktadır (Convissar, 2016).

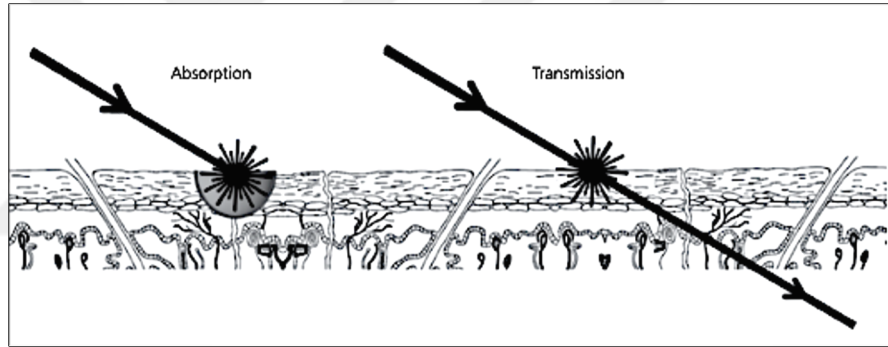
2.7.2. Lazerin dokular üzerindeki etkileri

Lazer ışığı biyolojik dokulara ulaştığında sadece lazerin fiziksel özellikleri değil aynı zamanda dokunun özellikleri de önem taşımaktadır (Priya ve ark., 2014). Lazer ışığı temel olarak dalga boyu, maruz kalma süresi, frekansı, sürekli veya atımlı olması, spot alanı, güç ve enerji yoğunluğu ile karakterizedir. Lazer dalga boyları aynı dokularda aynı şekilde reaksiyona girememektedir. Lazerin biyolojik dokulardaki geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz bu etkileri, lazer ışığının etkilerine bağlı olduğu kadar hedef dokunun özelliklerine göre de değişiklik göstermektedir. Hedef dokunun mineral ve su oranına, pigmentasyon düzeyine ve lazer ışınını soğurma kapasitesine bağlı olduğu belirtilmektedir (Demirsoy ve Kurt, 2020).

Dokunun optik özelliklerine bağlı olarak, bir lazerden gelen ışık enerjisi, hedef doku ile geçiş (transmisyon), emilim (absorbsiyon), yansıma (refleksiyon) ve saçılma

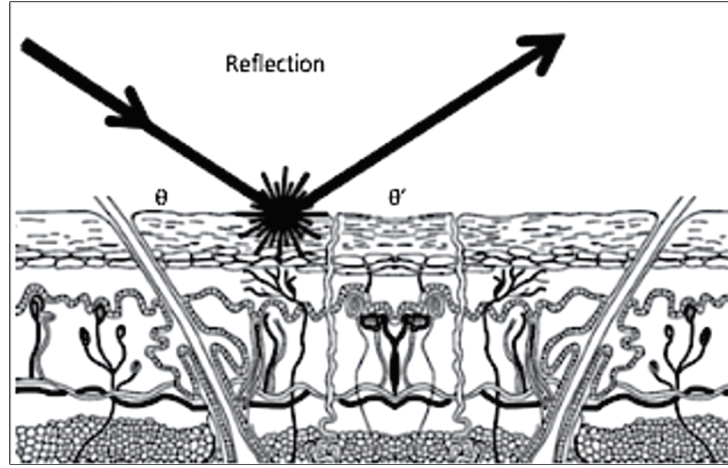
(scattering) olmak üzere dört farklı şekilde etkileşime geçmektedir (Mulder-van Staden ve ark., 2020).

- **Geçiş:** Lazer ışınının hedef doku üzerinde hiçbir etkisi olmaksızın doğrudan doku üzerinden iletilmesidir (Şekil 5). Bu etki aynı zamanda lazer ışığının dalga boyuna da bağlı olmaktadır. Örnek olarak; doku sıvılarının su bileşeni tarafından absorbe edilmeyen diyot ve Nd: YAG lazerde geçiş fazla olurken, doku sıvılarının su bileşeni tarafından absorbe edilen CO₂ ve erbium lazerlerde en az seviyede geçiş olduğu bildirilmektedir (Coluzzi, 2004).
- **Emilim:** Lazer enerjisinin amaçlanan hedef doku tarafından emilmesidir (Şekil 4). Doku tarafından emilen enerji miktarının, o dokunun pigmentasyonu, su içeriği ve lazer dalga boyuna bağlı olduğu belirtilmektedir (Coluzzi, 2004).



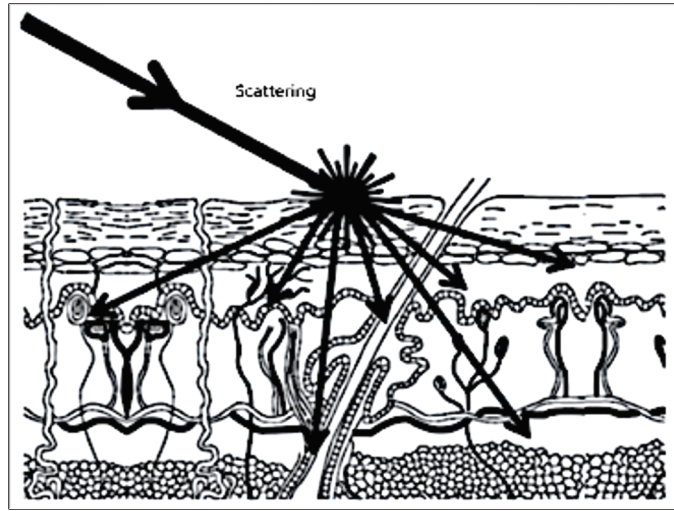
Şekil 4. Lazer ışınının doku üzerindeki emilimi ve geçişi (Zezell ve Ana, 2015).

- **Yansıma:** Lazer ışınının hedef dokuda hiçbir etki yaratmaksızın yön değiştirmesidir (Şekil 5). Yansıyan ışık, daha dar bir ışın demetinde kolimasyonunu sürdürmekte veya yayılmaktadır. Lazer cihazının başlığı ile hedef doku arasındaki mesafe arttıkça ışın demetinde daha fazla yansıma meydana gelmektedir (Coluzzi, 2004).



Şekil 5. Lazer ışınının doku üzerindeki yansıması (Zezell ve Ana, 2015).

- **Saçılma:** Lazer ışınının kontrolsüz bir şekilde saçılması, hedeflenen enerjiyi zayıflatmakta ve etkisiz bir ışık oluşmasına sebep olmaktadır (Şekil 6). Lazer ışınının saçılması cerrahi alanda ve komşu dokularda ısı artışına neden olabilmektedir. Bu özellik, farklı amaçlarla kullanıldığında örneğin kompozit rezinlerin sertleştirilmesinde veya kök kanalı dezenfeksiyonunda yararlı olabilmektedir (Coluzzi, 2004).



Şekil 6. Lazer ışınının doku üzerindeki saçılması (Zezell ve Ana, 2015).

Bu etkileşimler sonucunda diş hekimliğinde kullanılan lazer ışını dokuda bazı biyolojik değişimler meydana getirmektedir (Convissar, 2016).

Fototermal etki

Lazer enerjisinin doku üzerindeki termal etkisi dokunun su içeriği ve sıcaklığındaki değişime bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık artış hızı bu etkide önemli bir rol oynadığından cerrahi bölgenin soğutulması ve çevreleyen dokunun ısıyı dağıtma yeteneği oldukça önemlidir. Lazer enerjisinin dokudaki termal etkisi lazer emisyon modu, güç yoğunluğu ve maruz kalma süresi gibi çeşitli lazer parametrelerinden etkilenmektedir (Coluzzi, 2004). Yaklaşık 60° ile 100°C arasındaki sıcaklıklarda proteinler alttaki dokuda herhangi bir buharlaşma olmaksızın denatüre olmaya başlamaktadır. Bu özellik, doku sıcaklığı kontrol edilebildiği sürece sağlıklı dokuyu etkilemeden hastalıklı granüloamatöz dokunun cerrahi olarak çıkarılmasında faydalı olmaktadır. Su içeren hedef doku 100°C' ye ulaştığında doku içindeki su buharlaşmakta ve bu işleme ablasyon adı verilmektedir. Yumuşak dokular yüksek oranda su içermelerinden dolayı yumuşak doku eksizyon ve kesme işlemleri bu sıcaklıkta başlamaktadır. Dokudaki suyun tamamen buharlaşması sonucu hücre proteininin denatüre olması lazere çok derin dokulara inebilme özelliği kazandırmaktadır (Convissar, 2016). Doku sıcaklığı yaklaşık 200°C' ye ulaştığında ise doku susuz kalarak yanmaya başlamakta ve son ürün olarak karbon açığa çıkarmaktadır (Convissar, 2016).

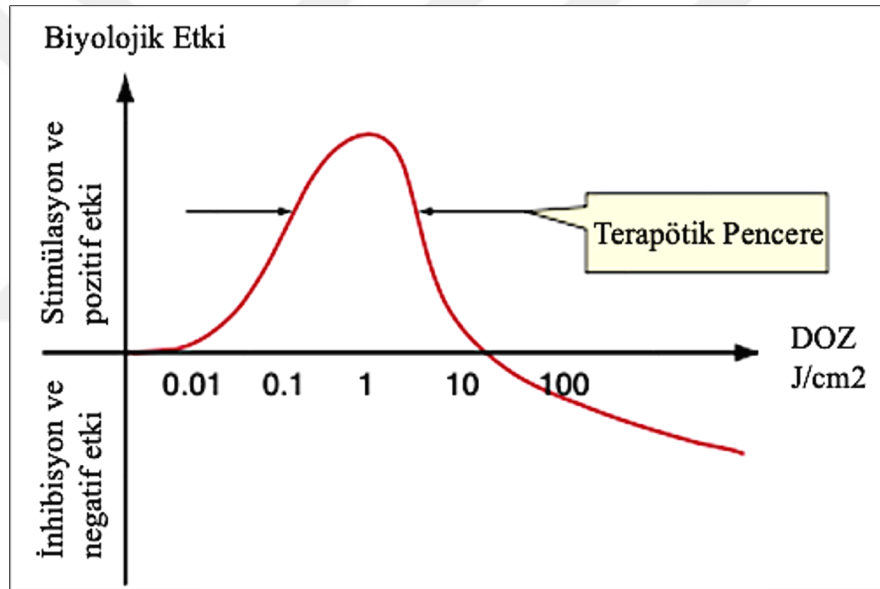
Fotokimyasal etki

Fotokimyasal etki lazer uygulanmasına bağlı olarak dokudaki molekül ve atomların fiziksel veya kimyasal özelliklerinin değişmesi ile ortaya çıkmaktadır. Fotokimyasal etkiye, lazer enerjisine maruz kalan ışığa duyarlı bileşiklerin kullanılması sonucu kimyasal bağların kırılması ile periodontal cep ve endodontik kanalların dezenfeksiyonu sonucu tekli oksijen radikallerinin açığa çıkması örnek verilebilmektedir (Convissar, 2016).

Orta ve düşük dozlardaki lazerler hızlı yara iyileşmesi, analjezik etki, artan kollajen büyümesi ve genel bir antienflamatuvar etki için biyostimülan etki meydana getirmektedir. Lazer ışını dokuda absorbe edildiğinde mitokondrial aktivite ve hücre zarının geçirgenliği artmakta, hücre metabolizması hızlanmakta, büyüme faktörleri artmakta, hücre zarının aktif taşıma yapan enzimleri aktive olmakta ve lokal kan akımı

artmaktadır. Böylece canlı dokunun kendi kendini tamir edebilme yeteneği uyarılarak biyostimulan etki elde edilmektedir (Chung ve ark., 2012).

Kullanılan lazerin özelliğine göre dokularda elde edilen etkiler değişiklik gösterebilmektedir. Bu değişik etkiler Arndt ve Schultz'un geliştirip Ohshiro'nun modifiye ettiği yasayla açıklanmıştır (Ohshiro ve Calderhead, 1991). Literatürde bu yasaya 'Arndt-Schultz Kanunu' denilmektedir. Bu kanuna göre zayıf uyaranlar fizyolojik aktiviteyi stimüle ederken, orta güçteki uyaranlar stimülasyona yardımcı olmakta, güçlü uyaranlar biyolojik aktiviteyi geciktirmekte, çok güçlü uyaranlar ise aktiviteyi inhibe etmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere en pozitif biyostimulan etki 0.1-12 J/cm² enerji yoğunluğuna sahip radyasyon aralığında elde edilmektedir (Şekil 7).



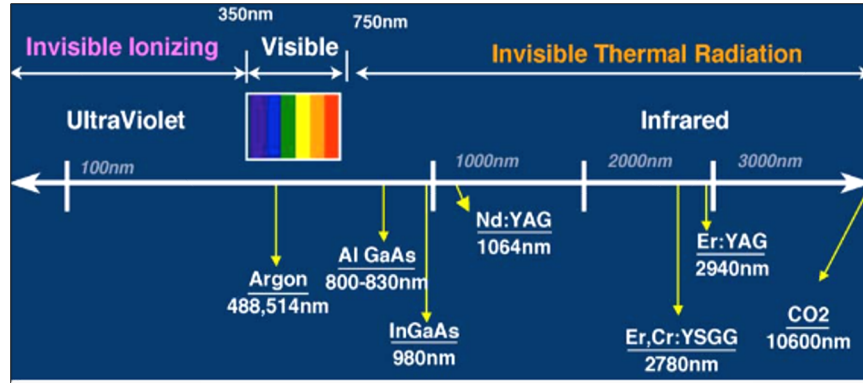
Şekil 7. Arndt-Schultz Kanunu (Convissar, 2016).

Fotomekanik ve fotoelektrik etki

Lazerin kısa ama çok yüksek enerjiyle uygulanması sonucu dokuda tahrip edici olayların meydana gelmesidir. Doku fotoablasyon ve fotodistrüpsiyon gibi mekanizmalar ile tahrip olmaktadır (Convissar, 2016). Bu etki, dokunun termal etkileşimlerinden veya absorpsiyon özelliğinden bağımsız olarak hava gibi geçirgen ortamlarda gerçekleşmektedir (Cernavin ve ark., 1994).

2.8. Diş Hekimliğinde Kullanılan Lazerler

Lazerler aktif ortamlarına, dalga boylarına, iletim sistemlerine, emisyon özelliklerine, doku absorpsiyonlarına ve klinik uygulamalarına göre adlandırılmaktadır (Demirsoy ve Kurt, 2020) (Şekil 8).



Şekil 8. Dental lazer dalga boylarını gösteren elektromanyetik spektrum (Coluzzi, 2004).

2.8.1. Argon lazer

Aktif bir argon gazı ortamına sahip olan argon lazer sürekli ve atımlı modlarda çalışabilmektedir. Ayrıca, görünür spektrumunda yer almakta ve diş hekimliğinde 488 nm ve 514 nm olmak üzere iki dalga boyu kullanılmaktadır (Coluzzi, 2004). 488 nm dalga boyundaki mavi ışın kompozit restoratif materyallerin polimerizasyonunda, ışıkla beyazlatma ajanlarının aktivasyonunda ve ölçü malzemelerinde kullanılmaktadır (Miresmaeili ve ark., 2014). 514 nm dalga boyundaki yeşil ışın hemoglobin ve melanin içeren dokularda yüksek absorpsiyon özelliğine sahiptir (Nalcaci ve Cokakoglu, 2013). Akut enflamatuvar periodontal hastalık ve hemanjiyom gibi yüksek oranda vaskülarize lezyonların argon lazer ile tedavi edildiği bildirilmektedir (Coluzzi, 2004). Bununla birlikte diş eti cerrahisinde kanama kontrolü için ve transillüminasyon tekniğiyle diş yüzeyindeki çatlak ve çürüklerin tespitinde de kullanılabilir (Westerman ve ark., 2002). Ancak, argon lazerin her iki dalga boyunun da pigmentsiz ve sert dokular tarafından zayıf emilim gösterdiği ifade edilmektedir (Nalcaci ve Cokakoglu, 2013).

2.8.2. Neodymium: YAG lazer

Nd: YAG lazer, nadir toprak elementleri yttriyum ve alüminyum ile birleştirilmiş ve neodymiyum iyonları ile katılanmış bir granat kristali olan katı aktif ortama sahiptir. 1064 nm dalga boyunda lazer ışını üretmektedir. Spektrumun kızılötesi kısmında yer alan bu dalga boyu insan gözü tarafından algılanamamaktadır. Nd: YAG lazer enerjisi melanin tarafından yüksek oranda emilim gösterirken hemoglobin tarafından argon lazere oranla daha az emilim göstermekte ve suda yaklaşık %90 oranında absorbe edilmektedir (Coluzzi, 2004). Ayrıca, diş sert dokuları tarafından emilimi az miktarda gerçekleştiğinden sağlam diş yapısı ile çok az etkileşime girmektedir. Bu da, dişe komşu yumuşak doku cerrahisinin güvenli ve hassas olmasını sağlamaktadır (White ve ark., 1991). İnsizyon, hemostaz, subgingival küretaj ve sterilizasyon amacıyla kullanılabilir (Nazemisalman ve ark., 2015).

2.8.3. Erbiyum lazer

Erbium lazerin iki farklı dalga boyu bulunmaktadır. Erbiyum, krom: YSGG (2780 nm), erbiyum ve krom katkılı yttriyum skandiyum galyum granat kristalinin katı aktif ortamına sahiptir. Erbiyum: YAG (2940 nm), erbiyum katkılı katı yttriyum alüminyum granat kristalinin katı aktif ortamına sahiptir. Bu dalga boylarının her ikisi de spektrumun kızılötesi görünmeyen kısmında yer almaktadır (Coluzzi, 2004). Bu iki dalga boyununda sudaki absorpsiyonu ve hidroksiapatit anfinitesinin en yüksek olduğu belirtilmiştir. Lazer enerjisinin apatit kristalindeki hidroksil radikali ve dişin kristal yapısındaki su ile birleşebilmesi çürüğün temizlenmesi ve kavitenin hazırlanmasına olanak sağlamaktadır (Tokonabe ve ark., 1999). Ayrıca, çürük materyal ablasyon yapılırken sağlam diş yapısı daha iyi korunabilmekte, sağlıklı diş dokusundan daha fazla su içeren çürük diş dokusu sağlıklı dokuya en az hasar verecek şekilde uzaklaştırılabilmektedir (DenBesten ve ark., 2001). Değerli metal ve porselen materyalleri ile etkileşiminin olmaması, uygulayıcının bu restorasyonları çevreleyen çürükleri zarar vermeden temizlemesine olanak sağlamaktadır. Kök kanal tedavisinde pulpa dokusunun ekstirpasyonu ve kanal preperasyonu da kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir (Coluzzi, 2004). Bu dalga boyunun kemik dokusuna yüksek afinitesi nedeniyle kemik kaldırılması gereken durumlarda da kullanılmaktadır (DenBesten ve ark. 2001). Ancak, dokunun aşırı ısınması önlenmeli ve cerrahi amfizem

ihtimalini ortadan kaldırmak için hava spreynin miktarı ve basıncı takip edilmelidir (Coluzzi, 2004).

2.8.4. Karbondioksit (CO₂) lazer

Aktif ortamında CO₂ gazı bulunan ve dalga boyu 10.600 nm olan CO₂ lazerin, diş hekimliğinde kullanılan lazerler içerisinde en yüksek dalga boyuna sahip lazer olduğu belirtilmektedir (Coluzzi, 2004). Işık spektrumunda kızılötesi alanda yer almaktadır. Bu dalga boyu su tarafından iyi absorbe edilmekte ve absorpsiyon bakımından erbiyum ailesinden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Coluzzi, 2004). Yumuşak dokuyu kolayca kesebilmekte, oldukça yüksek hemostatik özelliği bulunmaktadır. Dokudaki yüzeysel penetrasyonu sayesinde dokunun alt katmanlarında hasar oluşturmadığı belirtilmektedir. Tüm dental lazerler arasında hidroksiapatitte anfinitesi en yüksek lazerdir ve bu değer erbiumdan 1000 kat daha fazladır. Bu nedenle yumuşak doku cerrahi bölgesine komşu diş yapısının dikkatle korunması gerekmektedir (Coluzzi, 2004). CO₂ lazerlerin sürekli dalga emisyonu, uzun darbe süresi ve düşük pik güçlerinden dolayı pulpada termal hasar ile diş yapısında karbonizasyon ve çatlama meydana gelebileceğinden sert doku uygulamaları sınırlıdır (Pogrel ve ark., 1993; Wilder-Smith ve ark., 1995). En sık kullanıldığı endikasyonların gingivektomi ve gingivoplastik operasyonlar, mukozada oluşan patolojik lezyonlar, preprotetik cerrahi işlemler ve frenektomi olduğu bildirilmektedir (Coluzzi, 2004).

2.8.5. Holmium: YAG lazer

Holmiyum ve thulium iyonları ile katkılanmış, yttriyum alüminyum granat kristali içermektedir. 2100 nm dalga boyunda olan bu lazer, radyasyon spektrumunun yakın kızılötesi kısmında bulunmaktadır (Coluzzi, 2004). Sudaki Emilimi Nd: YAG ile karşılaştırıldığında 100 kat daha fazladır. Yumuşak doku lazerleri gibi hemoglobin ve diğer doku pigmentleri ile etkileşime girememektedir (Kautzky ve ark., 1997). Holmium lazer sıklıkla temporomandibuler eklemin artroskopik cerrahilerinde kullanılmaktadır (Hendler ve ark., 1992).

2.8.6. Diyet lazer

Diyet lazer, alüminyum veya indiyum elementlerinin, galyum ve arsenik kombinasyonları kullanılarak yarı iletken kristallerden yapılan bir katı hal lazeridir. Alüminyum-galyum-arsenik (AlGaAs) içeren diyetler 810 nm; İndiyum-galyum-arsenik (InGaAs) içeren diyetler ise 980 nm dalga boyunda emisyon yapmaktadır (Coluzzi, 2004). Elektromanyetik spektrumda kızılötesi bölümün başlangıcında yer almaktadır. Diyet lazerler sürekli dalga lazeri olmakla beraber atımlı olarak da kullanılabilir. Ancak bu durumda çıkış gücünün yaklaşık yarısı kaybedilmektedir (Coluzzi, 2004). Diyet lazerin tüm dalga boyları pigmentli doku tarafından yüksek oranda absorbe edilmektedir. Cerrahi uygulamalarda yumuşak dokuyla temas halinde veya daha derin koagülasyon için temassız olarak kullanılabilir. Ayrıca, yüksek vaskülarize dokuları kesmede ve hemostazı sağlamada uygulanabilir. Ancak, hemostaz argon lazeri kadar hızlı sağlanamamaktadır. Diş yapısı tarafından nispeten zayıf absorbe edilmesinden dolayı mine, dentin ve sementte komşu alanlardaki yumuşak doku cerrahisi güvenle yapılabilir (Convissar, 2016). Diyet lazerin sürekli dalga emisyon modu, hedef dokuda hızlı bir sıcaklık artışına neden olabilir. Doku etkisi ise Nd:YAG' a benzemektedir ancak daha derin dokularda daha az olumsuz termal etkiye neden olmaktadır (Wyman ve ark., 1992). Yumuşak doku cerrahisi için en ideal lazerlerden biri olan diyet lazer gingivektomi, gingivoplasti, dişeti oluşu debridmanı, küretaj, frenektomi gibi yumuşak doku uygulamalarında başarıyla kullanılabilir (Sumra ve ark., 2019).

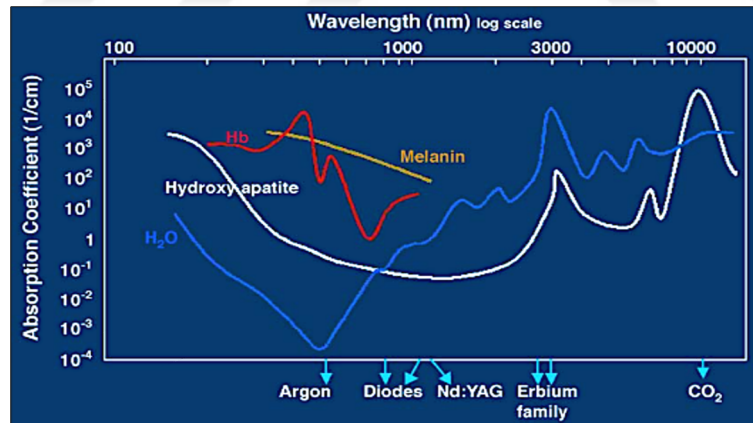
2.9. Ortodontide Lazer Kullanımı

Ortodontik tedavide lazer diş hareketinin hızlandırılması, kemiğin yeniden şekillenmesi, bonding öncesi minenin pürüzlendirilmesi, seramik braketlerin debonding, mine demineralizasyonunun önlenmesi, mini-implant stabilizasyonu, lazer tarayıcıları arayıcılığıyla ağız içi tarama ve ortodontik kuvvet sonrası ağrının azaltılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Nalcaci ve Cokakoglu, 2013; Demirsoy ve Kurt, 2020). Yumuşak doku uygulamaları arasında ise gingivektomi, gingivoplasti, sürmemiş ve kısmen sürmüş dişlerin operkülektomisi, hipertrofik ve iltihaplı dokuların çıkarılması, frenektomiler, aftöz veya herpetik lezyonlarının tedavisi yer almaktadır (Sarver ve Yanosky, 2005). Yumuşak doku lazerleri ayrıca iyi bir gülümseme için dişetinin estetik

konturlanmasında, braket yerleştirilmesinden önce dişin kron boyunun orantılı olarak düzeltilmesinde, kron boyu uzatmada ve dişeti/interdental papillerin şekillendirilmesinde kullanılabilmektedir (Burke ve ark., 2012).

2.9.1. Düşük doz lazer tedavisinin ortodontik diş hareket hızına etkileri

Biyostimülasyon, biyolojik etki elde edebilmek için dokulara düşük enerjili lazer ışını uygulanması olarak tanımlanmaktadır. Uygulanan dokunun sıcaklığını normal vücut sıcaklığını (36,5°C) en fazla 1°C arttıracak şekilde düşük doz enerji veren lazer uygulaması düşük doz lazer tedavisi olarak adlandırılmaktadır (Lim ve ark., 1995; Altan ve ark., 2012). Düşük doz lazer tedavisi veya fotobiyomodülasyon doku onarımını desteklemek, iltihabı azaltmak veya ağrıyı hafifletmek için hücreleri doğrudan uyarmak amacıyla uygulamaktadır (Carroll ve ark., 2014). Dokular terapötik dalga boyundaki (600-1200 nm) lazer ışınının etkilerine maruz kalmaktadır (Nahas ve ark., 2017). Bu dalga boyu aralığı lazer ışının hemoglobin ve su tarafından emilimini azaltarak daha derindeki yumuşak doku ve alveoler kemiğe ulaşmasını sağlamaktadır (Coluzzi, 2004) (Şekil 9).



Şekil 9. Dental lazerlerin çeşitli dalga boylarında farklı dental yapılarındaki yaklaşık absorpsiyon eğrileri (Coluzzi, 2004).

Lazer ışını, uygulanmış olduğu dokudaki adenosin trifosfat üretiminde artışa neden olmaktadır (Amat ve ark., 2004). Foton alıcısı olan enzim sitokrom c oksidaz tarafından emilen lazer ışını, nitrik oksit ve sitokrom c oksidaz arasındaki bağlanmayı ayırarak onun krebs döngüsündeki adenosin trifosfat üretimine devam etmesine izin

vermektedir (Quirk ve Whelan, 2020). Ayrıca, doğal biyolojik süreçleri uyararak azalmış oksidasyon-redüksiyon (redoks) reaksiyonu ile hücreleri etkilemektedir (Qamruddin ve ark., 2021). Asidik olan düşük redoks durumundaki bir hücre lazer ışını uygulanmasından sonra alkali hale gelerek diş hareketi için ideal şartları oluşturmaktadır (Almeida-Lopes ve ark., 2001).

Lazer ışınının, dokularda kemik yıkım ve yapımında yer alan hücreler ile fibroblast hücrelerini aktive etmesi diş hareketini etkilemektedir (Takeda, 1988; Saito ve Shimizu, 1997; Altan ve ark., 2012). Hücresel aktivasyonun dışında RANK/RANKL gibi mediatörler üzerindeki etkisiyle de diş hareket hızını arttırmaktadır (Fujita ve ark., 2008). Prostaglandin ve sitokin gibi mediatörlerin kontrolünde aktive olan osteoblastlar, osteoklastlar ve osteositler lazer ışını uygulamasıyla ortodontik diş hareket hızının artırılmasında önemli rol oynamaktadır (Huang ve ark., 2014). Habib ve ark. (2010), düşük doz lazer uygulamasının 7-13. günlerde osteoblastik aktiviteyi, 7-19. günlerde ise osteoklastik aktiviteyi anlamlı olarak arttırdığını bildirmişlerdir. Arisu ve Türköz (2006) ise düşük doz Nd:YAG uygulamasının osteoblast proliferasyonunu aktive ederek hücre canlılığını arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Ge ve ark. (2015) düşük doz lazer tedavisinin ortodontik diş hareket hızına etkilerini değerlendirdikleri sistematik derlemelerinde, çeneler arası farklılık göstermeksizin diş hareket hızının düşük doz lazer tedavisi ile arttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, optimal doz konusunda kesin bir fikir birliği sağlanmasa da 2,5-5 J/cm² ve 8 J/cm² gibi daha düşük enerji yoğunluklarının 20 J/cm², 25 J/cm² ve hatta daha yüksek olanlardan daha etkili sonuç verdiğini bildirmişlerdir. Shaughnessy ve ark. (2016) çekimsiz sabit ortodontik tedavi uygulanan bireyleri kontrol grubu ile karşılaştırdıkları çalışmalarında, düşük doz lazer uygulanan grupta diş hareket hızının 2,9 kat daha hızlı, seviyelenme süresinin ise %54 daha kısa olduğunu bildirmişlerdir. AlSayed Hasan ve ark. (2017) üst çenede anterior bölgede çapraşıklığı bulunan ve birinci premolar diş çekimi endikasyonu konulan bireylerde düşük doz lazer tedavisinin etkinliğini kontrol grubu ile karşılaştırdıkları çalışmalarında, düşük doz lazer uygulanan grupta ilk iki ayda gözlenen seviyelenme daha anlamlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Nahas ve ark. (2017) alt çene anterior bölgede çapraşıklık olan ve çekimsiz sabit ortodontik tedavi endikasyonu konulan bireylerde, düşük doz lazer tedavisi uygulanan grupta seviyelenme süresinin kontrol grubuna kıyasla %25 daha az olduğu sonucuna varmışlardır. Guram ve ark. (2018) çekimli sabit ortodontik tedavi uygulanan bireylerde düşük doz lazer tedavisinin diş hareket hızı ve ağrıya etkisini kontrol grubu ile karşılaştırdıkları çalışmalarında, düşük doz lazer uygulanan grupta kanin dişin retraksiyon süresinde ve ilk iki gündeki ağrı algısında anlamlı azalma olduğunu ifade etmişlerdir.

Üst birinci premolar çekimi endikasyonu konulan ve kanin retraksiyonu planlanan bireylerde düşük doz lazer tedavisinin diş hareket hızına etkisinin kontrol grubu ile karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada ise hem retraksiyon miktarı hem de diş eti oluşu sıvısındaki interlökin-1 β , nükleer faktör kappa B reseptör aktivatörü (RANKL) ve osteoprotegerin seviyeleri değerlendirilmiştir. Düşük doz lazer tedavisi uygulanan grupta osteoprotegerin seviyesinde anlamlı düşüş, interlökin-1 β ve nükleer faktör kappa B reseptör aktivatörü seviyelerinde ise anlamlı artış saptanmıştır. Araştırma sonucunda düşük doz lazer tedavisinin bir dereceye kadar kemik metabolizmasında değişikliğe yol açarak ortodontik diş hareketini hızlandırdığı ifade edilmiştir (Zheng ve Yang, 2021).

Literatürde düşük doz lazer tedavisinin ortodontik diş hareket hızını arttırdığını bildiren bu araştırmaların yanısıra anlamlı etkisinin olmadığını bildiren araştırmalar da yer almaktadır (Limpanichkul ve ark., 2006; Markezan ve ark., 2010; Salehi ve ark., 2015). Long ve ark. (2013) yapmış oldukları sistematik derlemede düşük doz lazer tedavisi, kotikotomi, elektrik akımı ve elektromanyetik alan ile dentoalveoler ve periodontal distraksiyonun diş hareket hızına etkisini dişin hareket hızı ve istenilen mesafeye ulaşma süresi, ankraj kaybı, periodontal sağlık, pulpa canlılığı ve kök rezorpsiyonu gibi altı parametre kullanılarak değerlendirilmişlerdir. Diş hareket hızının arttırılmasında kortikotominin diğer yöntemlere göre daha etkili ve güvenli olduğu; düşük doz lazer tedavisinin ise etkili olmadığı sonucuna varmışlardır.

2.9.2. Lazer dozunun hesaplanması

Biyostimülasyon etkisinin belirlenmesinde optimal dozun oldukça önemli olduğu belirtilmektedir (Convissar, 2016). Arndt-Schulz kanununa göre düşük doz lazer tedavisinde çok küçük bir uyaran herhangi bir etki başlatamamaktadır. Artan stimülasyon etkiyi optimal doz seviyesine kadar arttırmaktadır. Dozu daha da arttırmak uyarının kademeli olarak azalmasına neden olabileceği gibi çok yüksek dozlarda uyaran inhibe de olabilmektedir (Ohshiro ve Calderhead, 1991). Bazı hastalarda özellikle ağrı yönetimi için stimülasyondan ziyade inhibisyon amaçlanmaktadır (Convissar, 2016).

Santimetre kare başına joule (J/cm²) olarak ölçülen lazer dozu, enerji yoğunluğu olarak ifade edilmektedir. Üretilen toplam enerji, lazerin miliwatt cinsinden çıkış gücünün saniye cinsinden maruz kalma süresiyle çarpılmasıyla belirlenmektedir.

$$\text{Enerji (J)} = \text{Güç (W)} \times \text{zaman (sn)}$$

Doz, tedavi sırasında uygulamanın yapıldığı alandaki toplam enerji miktarını belirtmektedir. Enerji birimi Joule (J), ışık alanı ve lazer ışınının spot çapı dikkate alınarak hesaplanmaktadır (Convissar, 2016).

$$\text{Doz (J/cm}^2\text{)} = \text{Enerji (J)} / \text{ışın alanı (cm}^2\text{)}$$

$$\text{Doz (J/cm}^2\text{)} = \text{Enerji (J)} / \text{spot alanı (cm}^2\text{)}$$

Doz, büyük ölçüde spot boyutuna da bağlı olmakla birlikte küçük spot boyutu J/cm²' de yüksek dozlar oluşturmaktadır. Küçük spot boyutu dokuya uygulanan enerji miktarının yüksek olduğu anlamına gelmemekte, uçtaki ışın enerjisinin yoğunluğunun yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca, küçük spot boyutu ısınlanan dokunun santimetre karesi başına daha büyük bir güç konsantrasyonu oluştururken, daha geniş bir spot boyutu aynı enerjiyi daha geniş bir alana yaymaktadır.

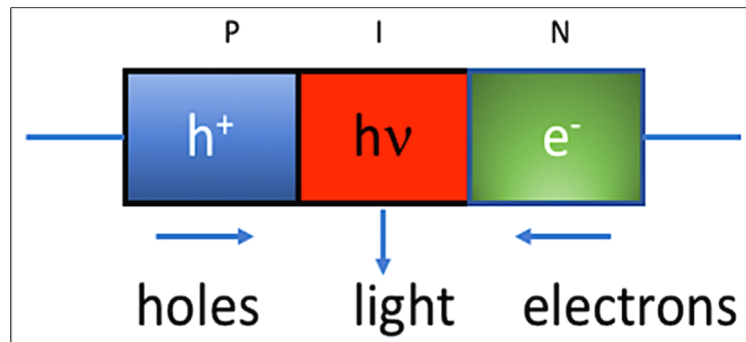
Enerjinin, dozun ve spot boyutunun hesaplanmasının ardından bir başka hesaplanması gereken konu da doku dozunun belirlenmesidir. Hedef yüzeyin uzaklığı 1 cm'nin altındaysa hedefe ulaşmadan önce enerji yansımakta, saçılmakta ve emilmektedir (Convissar, 2016). Bu nedenle hedef bölgenin derinliği ile ışın ve hedef doku arasındaki doku tipi de dikkate alınmalıdır. Düşük seviyeli dalga boylarının ana emicilerinin kandaki hemoglobin gibi pigmentli kromoforlar olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, yüksek

vasküler dokular bu dalga boylarını iyi absorbe ederken daha az vasküler dokular ise bu dalga boylarını zayıf bir şekilde absorbe etmektedir (Sun ve Tuner, 2004). Mukoza ve kemik dokusunun düşük seviyeli dalga boylarına karşı geçirgenliği yüksek olmasına karşın zengin kan kaynağı olan kas dokusu geçirgen değildir. Düşük seviyeli dalga boylarının bir başka güçlü emicisinin ise melanin kromoforu olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle, daha derin dokulara ulaşmak yerine yüzeysel olarak daha fazla ışık enerjisi absorbe ederek lokal ısınmaya ve ağrıya neden olabilmektedir (Convissar, 2016)

2.10. Işık Yayan Diyotlar (LED)

Işık yayan diyotlar (LED), çoğunlukla InGaN (%60) ve AlInGaP (%38) olmak üzere yarı iletken malzemelerin elektrolüminesans fenomenine dayanmaktadır (Heiskanen ve Hamblin, 2018). 1907’li yıllarda bilim adamları LED’lerin yarı iletken bir malzeme olan silikon karbür (SiC) kristallerinin içinden elektrik akımı geçtiğinde parladığını bildirmiştir. İlk görünür LED ise 1962 yılında Nick Holonyak tarafından icat edilmiştir (Heiskanen ve Hamblin, 2018).

LED ve diyot lazerlerin temel çalışma prensibi aynı olup LED’ler yarı iletken diyot olarak adlandırılmaktadır (Heiskanen ve Hamblin, 2018) (Şekil 10). Yarı iletkene uygulanan bir elektrik potansiyeli, negatif (N) bölümündeki elektronların ve pozitif (P) bölümündeki boşlukların ayrılmasına neden olmaktadır. Elektronlar ve boşluklar iç (I) bölümünde yeniden birleştiğinde fotonlar şeklinde enerji oluşmaktadır (Heiskanen ve Hamblin, 2018). Bu etkiye aynı zamanda elektrolüminesans denilmektedir (Chung ve ark., 2012).



Şekil 10. LED’in temel yapısı (Heiskanen ve Hamblin, 2018).

LED'lerle fotobiyomodülasyon 20. yüzyılın sonlarına doğru yaygınlaşmaya başlamıştır. 2001 yılından itibaren LED ve düşük doz lazer tedavisinin karşılaştırıldığı çalışmalar literatürde sıklıkla yer almaya başlamıştır (Kim ve Calderhead, 2011; Nishioka ve ark., 2012; Kau ve ark., 2013; Shaughnessy ve ark., 2016; Nahas ve ark., 2017; Okla ve ark., 2018).

LED'lerin lazer cihazlarından daha hafif ve maliyet olarak çok daha ucuz olduğu bilinmektedir (Nahas ve ark., 2017). Son yıllarda hastalar evde kişisel kullanım için kendilerine LED cihazı satın almaktadırlar. LED cihazlarının fiyatları günümüzde artan talepler dolayısıyla giderek düşmektedir. LED'e alternatif olan lazer cihazlarının maliyetlerinin oldukça yüksek olmasının yanında terapötik seansların fizyoterapistler, hemşireler veya doktorlar gibi donanımlı sağlık personeli tarafından yapılması ek maliyetlerin çıkmasına neden olmaktadır.

Birden fazla LED'in düzlemsel diziler halinde kullanılabilmesi ışınlanan alanı önemli ölçüde arttırarak geniş vücut alanlarını tedaviyi etmeyi kolaylaştırmaktadır. Giyilebilir LED dizileri bandaj olarak (örneğin eklemlerin etrafına ya da karın bölgesine) veya baş boyun bölgesi için başlık şeklinde spesifik bölgeye özel uyarlanabilmektedir (Kau ve ark., 2013; Nahas ve ark., 2017). Ağız içi özel tasarlanmış LED cihazları da fotobiyostimülasyon amaçlı diş hareket hızını arttırmada ve ağrıyı azaltmada kullanılabilmektedir (Shaughnessy ve ark., 2016; Okla ve ark., 2018).

LED'ler birbirine paralel olmayan ışın demetleri halinde ışın yaymaktadır (Heiskanen ve Hamblin, 2018). Bu durum ışınların dokuda genişigüzel dağılmasına ve yüksek seviyelerdeki enerjinin hedefte olan tek bir nokta yerine farklı yerlere saçılmasına neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar ışınların tutarlı olmasının fotobiyomodülasyon açısından oldukça önemli olduğunu bildirmektedirler (Smith, 2005). Bununla birlikte yarı monokromatik olan LED ışınları, lazer ışınları gibi benzer dalga boyuna sahip olmayıp (non-coherent) fiziksel boyut ve şekil bakımından değişkenlik göstermektedir (Hashmi ve ark., 2010). Bu özellik fotobiyomodülasyon tedavisinde LED'in dokulara penetrasyonunu azaltabilecek bir dezavantaj olarak görülsede (Laakso ve ark., 1993), yüzeysel yaraların iyileşmesinde ve ağrının giderilmesinde bir dezavantaj olmadığı belirtilmektedir (Heiskanen ve Hamblin, 2018).

Genel olarak, bugüne kadar yapılan araştırmalar başlangıç niteliğindedir ve yarı monokromatik, non-coherent ve paralel olmayan bir ışıkla uygun fotobiyomodülasyonun gerekleşiip gerçekleşmeyeceği halen tartışılmaktadır.

2.11. Ağrı

Uluslararası Ağrı Araştırmaları Teşkilatına göre ağrı, “gerçek veya olası doku hasarı ile ilişkili hoş olmayan duygusal veya duyusal deneyim” olarak tanımlanmaktadır (Cohen ve ark., 2018). Ağrı hissi, aynı uyaran karşısında bile bireyden bireye farklılık gösterebilen hatta aynı bireyde farklı zaman dilimlerinde farklı ifade edilebilen bir durumdur (Görgülü ve ark., 2015). Ağrı her ne kadar hoş olmayan bir duyu olarak tanımlansa da dokularda hasar oluşturma ihtimali olan ya da hasar oluşturan olaylara karşı vücudun bir savunma mekanizması olarak ifade edilmektedir (Görgülü ve ark., 2015).

Ortodontik diş hareketinin neden olduğu orofasiyal ağrı olarak tanımlanan ortodontik ağrı, pratikte sıklıkla karşılaşılan bir durumdur (Krishnan, 2007). Dişe kuvvet uygulandığında periodontal dokularda ve pulpada kan akımında meydana gelen değişikliklerle beraber vasküler, hücresel ve immonolojik olaylar dizisi ağrının oluşum mekanizmasını meydana getirmektedir (Chavarría-Bolaños ve ark., 2014; Long ve ark., 2016). Özellikle bradikinin ve prostaglandinlerin rol oynadığı bu üç mekanizma birbirleri ile yakından ilişkilidir (Long ve ark., 2016). Ortodontik kuvvet uygulaması sonrası periodontal dokularda sıkışma ve lokal iskemi meydana gelmektedir. Lokal iskemi ile P maddesi, bradikinin, protonlar, prostaglandinler lokotrienler ve interlokin gibi mediatörler ortama gelmekte ve lokal enflamasyon oluşmaktadır (Long ve ark., 2016). Lokal enflamasyonunun mediatörler aracılığı ile başlaması sonucu ntrfiller, mast hücreleri, makrofajlar, çok sayıda lökosit hücreleri ve monositler ortamda gözlenmektedir. Son yıllarda özellikle M1 ve M2 olarak adlandırılan iki tip makrofaj hücresinin ağrı ve enflamasyonda önemli rol oynadığı ifade edilmektedir. M1 hücreleri fagositoz ve hücre hasarını desteklemektedir. M2 hücrelerinin ise ortodontik ağrıda rol aldığı düşünülen proenflamatuvar hücreler olduğu belirtilmektedir (Long ve ark., 2016). Meydana gelen bu vasküler ve hücresel olayların sonucu ortamda P maddesi, IL-1β, IL-6, IL-8 ve TNFα gibi proenflamatuvar mediatrlerde artış meydana gelmektedir (Yamaguchi ve ark., 2004). Davranış biçimi, emosyonel durum, impulsların beyin

kökündeki düzeyi, önceki ağrı deneyimi, yaş ve cinsiyet gibi faktörlerin ağrının hissedilme düzeyinde etkili olduğu ifade edilmektedir (Polat, 2007).

Bireyler ortodontik uygulamalardan sonra %70 ila %95 gibi yüksek bir oranda ağrı hissettiklerini ifade etmişlerdir (Kavaliauskiene ve ark., 2012). Ayrıca, % 39'u işleminden sonra bir hafta boyunca ağrıyı azalarak da olsa hissettikleri belirtmişlerdir (Bergius ve ark., 2002). Ortodontide separasyon, band yerleştirilmesi, sabit ataşmanların çıkarılması ve ark teli uygulaması gibi işlemlerde sıklıkla ağrı ile karşılaşmaktadır (Panda ve ark., 2015). Ark teli uygulanması ile meydana gelen ağrının genel olarak 12 saat içinde başladığı bir gün içinde zirve yaptığı ve 3. günden sonra kademeli olarak azaldığı ifade edilmiştir. Bir ay sonra ise başlangıç seviyesine tekrar geri dönebileceği bildirilmiştir (Erdoğan ve Dinçer, 2004; Wang ve ark., 2012).

Klinik olarak sıklıkla karşılaştığımız ağrı şikayetinin bireylerin sadece hissettikleri olumsuz duygu-durum bozukluğunun yanı sıra çiğneme performanslarını ve konuşmalarını etkileyerek yaşam kalitelerinin düşürdüğü bildirilmektedir (Johal ve ark., 2014). Ağrının subjektif bir tanımlama olması nedeniyle de tanımlanmasında ve değerlendirilmesinde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

2.11.1. Ağrı ölçüm yöntemleri

Ağrının şiddeti, süresi, lokalizasyonu, ortaya çıkan duygusal durumda saptanması ve objektif bir duruma dönüştürülerek tespit edilmesi gerekmektedir (Saka, 2011). Bu subjektif tanımlamaları objektif verilere dönüştürmek oldukça güç olsa da ölçüm yöntemlerinden beklenen başlıca özellikler arasında güvenilirlik, geçerlilik, basit ve kolay anlaşılabilir olma, ekonomik olma ve tedavi etkinliğini ayırt edebilme yer almaktadır. Ağrı tek boyutlu veya çok boyutlu ölçüm yöntemleri kullanılarak ölçülebilmektedir. Tek boyutlu yöntemler ile daha çok ağrının şiddeti ölçülebilmektedir (Ong ve Seymour, 2004). Bu yöntemlerin başlıcaları şunlardır:

- Vizuel Analog Skala (VAS)
- Sözel Değerlendirme Skalası (Verbal Rating Scale, VRS)
- Yüz İfadesi Skalası (Face Pain Scale, FPS)

- Dermatomal Ağrı Çizimi
- Sayısal Derecelendirme Skalaları (Numeric Rating Scale, Sayısal Ağrı Skalası, NRS)

Tek boyutlu ölçüm yöntemlerinin en önemli dezavantajı ağrının çok boyutluluğu ile ilgili değişik özelliklerini yansıtmaktan uzak olmalarıdır. Çok boyutlu ölçüm yöntemleri ağrının şiddeti yanında diğer boyutlarının da ölçülmesine olanak sağladığından ağrı değerlendirme yöntemleri olarak da kabul edilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır (Ong ve Seymour, 2004):

- McGill Ağrı Anketi
- West Haven-Yale Çok Boyutlu Ağrı Envanteri
- Kısa Ağrı Envanteri
- Memorial Ağrı Değerlendirme Kartı
- Tanımlayıcı Diferansiyel Skala
- Ağrı Algılama Profili
- Ağrı Rahatsızlık Skalası

Ağrı tespit yöntemleri arasında Görsel Analog Skala (Visual Analogue Scale, VAS) sıklıkla kullanılmaktadır. Bu skala 10 cm uzunluğunda düz bir çizgiden oluşmaktadır. Çizgi yatay olabileceği gibi, dikey de olabilmektedir. Çizginin bir ucu ağrının olmadığı durumu, diğer ucu ise ızdırap verici ağrıyı ifade etmektedir. Hasta çizgi üzerinde bu aralıkta istediği herhangi bir noktayı işaretlemekte özgürdür. Sıfır noktasından hastanın işaretlediği noktaya kadar olan mesafe ölçülmektedir. Bu mesafe hastanın hissetmiş olduğu ağrının sayısal şiddetini göstermektedir (Kelly, 2001; Bergius ve ark., 2002).

Bireylerin yorgun ve kooperasyonlarının düşük, kronik ağrılı ve yaşlı olması bu skalanın kullanım dezavantajları arasında yer almaktadır. Ancak, lisandan bağımsız oluşu, uluslararası değerlendirme yapılabilmesine olanak vermesi, çabuk sonuç vermesi ve hastanın yönlendirilme ihtimalinin söz konusu olmamasından dolayı en sık kullanılan ağrı tespit yöntemleri arasında yer almaktadır (Kelly, 2001; Bergius ve ark., 2002).

Literatürde fotobiyomodülasyon tedavisinin dişlerin seviyelenme sürelerine etkisinin değerlendirildiği çalışmalarda ekstraoral ve intraoral LED cihazlarının kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma yer alırken ((Kau ve ark., 2013; Shaughnessy ve ark., 2016; Caccianiga ve ark., 2017; Nahas ve ark., 2017; Okla ve ark., 2018; Lo Giudice ve ark., 2020), düşük doz lazer tedavisinin kullanıldığı sadece bir çalışmaya rastlanılmıştır (AlSayed Hasan ve ark., 2017). 830 nm dalga boyuna, 150 mW güç çıkışına ve 2 J/point enerjiye sahip Ga-Al-As diyot lazerin kullanıldığı bu çalışmada premolar çekimli sabit ortodontik tedavi uygulanan bireylerde maksiller anterior dişlerin seviyelenme süreleri değerlendirilmiştir. Mandibular anterior dişlerde seviyelenme sürelerinin değerlendirildiği herhangi bir çalışmaya ise rastlanılmamıştır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında alt çene anterior bölgeki çapraşıklığının seviyelenmesinde ve seviyelenme sırasında oluşan ağrının azaltılmasında düşük doz lazer tedavisinin etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Null (sıfır) hipotezimiz: (1) Düşük doz lazer tedavisinin dişlerin seviyelenme sürelerine etkisi yoktur, (2) Düşük doz lazer tedavisinin seviyelenme esnasında gözlenen ağrı düzeyine etkisi yoktur, şeklinde ifade edilmektedir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Hasta Seçimi

Bu tez çalışmasına Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda .018 slot Roth braketler (Gemini Roth Sistem, 3M, Unitek, ABD) kullanılarak straight-wire mekaniğiyle çekimsiz sabit ortodontik tedavi uygulanmış, 12-21 yaş aralığında 22 kadın ve 8 erkek olmak üzere toplam 30 birey dahil edilmiştir.

Helsinki deklarasyonu etik kuralları rehberliğinde gerçekleştirilen çalışmamız için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Araştırma Etik Kurulu'ndan onay alınmıştır (Bkz. Ek1). Çalışmaya katılmayı kabul eden tüm bireylere ve 18 yaşından küçük olan hastaların ebeveynlerine çalışmanın amacı ve yöntemi hakkında ayrıntılı bilgi verildikten sonra yazılı onam alınmıştır (Bkz. Ek2).

Dahil edilme kriterleri:

- ◆ Daha önceden fonksiyonel ortopedik ve/veya sabit ortodontik tedavi uygulanmamış,
- ◆ Daimi dişlenme döneminde olan,
- ◆ İskeletsel sınıf 1 ilişkiye sahip ($1,02 < ANB^{\circ} \leq 4,28$),
- ◆ Alt-üst keser dişleri retrüziv veya norm değerlerde (1-NA açısı ve boyutu, 1-SN açısı, 1-NB açısı ve boyutu, IMPA açısı) olan,
- ◆ Little'ın düzensizlik indeksine göre alt çene kanin-kanin arası bölgede 4-8 mm çapraşıklığı bulunan,
- ◆ Her iki dental arkta da çekimsiz sabit ortodontik tedavi planlanan,
- ◆ Alt anterior dişlerinde şekil, boyut ve kök anomalisi bulunmayan,
- ◆ Konjenital diş eksikliği gözlenmeyen,
- ◆ Gebelik veya emzirme döneminde olmayan,

- ◆ Kemik metabolizması ve diş hareketini etkileyecek herhangi bir medikal tedavi almayan (NSAİİ, trisiklik antidepresanlar, doksisisiklin vb.),
- ◆ Kemik yapısını ve yoğunluğunu etkileyecek herhangi bir sistemik hastalığı bulunmayan (Osteoporoz, hiperparatiroidizm, D vitamin eksikliği vb.),
- ◆ Ataşman kaybı ile 4 mm'den fazla cep derinliği bulunmayan periodontal olarak sağlıklı bireyler şeklinde belirlenmiştir.

Dahil edilmeme kriterleri:

- ◆ Daha önceden fonksiyonel ortopedik ve/veya sabit ortodontik tedavi uygulanmış,
- ◆ Dudak-damak yarığı gibi konjenital anomaliler ile sendromu bulunan,
- ◆ Alt-üst keser dişleri protrüziv (1-NA açısı ve boyutu, 1-SN açısı, 1-NB açısı ve boyutu, IMPA açısı) olan,
- ◆ Çekimli sabit ortodontik tedavi planlanan,
- ◆ Plak birikimi ve dişeti enflamasyonu ile alt çene anterior dişlerinde çürük, restorasyon ve beyaz nokta lezyonları bulunan,
- ◆ Parafonksiyonel alışkanlık ve temporomandibular eklem rahatsızlığı gözlenen,
- ◆ Sigara ve alkol kullanma alışkanlığı olan,
- ◆ Alt çenede lingual ark ve mini vida gibi ankraj mekanizmalarına ihtiyaç duyulan bireyler olarak belirlenmiştir.

3.2. Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması

Örneklem büyüklüğü daha önce yapılan bir randomize klinik kontrollü araştırmanın bulgularından faydalanarak G-Power istatistik paket programında (Versiyon 3.1 Franz Faul, Universität Kiel, Almanya) hesaplanmıştır. AlSayed ve ark. (2017) lazer ve kontrol gruplarında ortalama seviyelenme sürelerinin sırasıyla 81,23 ve 109,23 gün, standart sapmalarının (σ) ise sırasıyla 15,29 ve 14,18 gün olduğunu bildirmişlerdir. Tez çalışmamızda da örneklem büyüklüğü belirlenirken eşit gruplar için hesaplanan etki büyüklüğü (d, effect size) 1,89 olarak elde edilmiştir. I. tip hata ($\alpha = 0,05$) ve %99 güç

değeri için örneklem büyüklüğü: $n = Z^2 \times \sigma^2 / d^2$ eşitliği kullanılarak hesaplandığında ise her grup için minimum 12 olmak üzere toplam 24 birey olarak belirlenmiştir. Ancak, çalışmadan çıkarılma oranının %15 olduğu varsayılarak her iki gruba 15 hasta olmak üzere toplam 30 hastanın dahil edilmesi uygun görülmüştür.

3.3. Çalışma Gruplarının Oluşturulması

Çalışma grubu, tedavi başında toplanan rutin ortodontik materyalin analizi sonucunda çekimsiz sabit ortodontik tedavi endikasyonu konulan ve Little'ın düzensizlik indeksine göre alt çene kanin-kanin arası bölgede 4-8 mm çapraşıklığı bulunan 22 kadın, 8 erkek olmak üzere toplam 30 bireyden oluşturulmuştur. Alt çene kanin-kanin arası bölgenin seviyelenmesi esnasında sabit ortodontik tedavi ile beraber alt anterior dişlere lazer uygulanan grup lazer grubu, uygulanmayan grup ise kontrol grubu olarak tanımlanmıştır. Bireylerin lazer ve kontrol gruplarına rastgele dağılımı, çalışmaya dahil olmayan biri tarafından yazı tura atılarak yapılmıştır. Ancak, cinsiyet bakımından gruplar arasında farklılık bulunmaması açısından kadın ve erkekler kendi içlerinde rastgele iki gruba dağıtılırken; Little'ın düzensizlik indekslerinin de gruplarda benzer olmasına dikkat edilmiştir.

3.4. Ağız Hijyen Eğitimi

Sabit ortodontik tedavi öncesinde ve tedavi süresince yeterli ağız hijyeninin sağlanması amacıyla bireylere oral hijyen eğitimi verilmiştir. Dişlerini günde en az 3 kez florür içeren beyaz diş macunu ile fırçalaması gerektiği belirtilmiştir. Ulaşılması güç bölgeler için ara yüz fırçası önerilmiştir. Ayrıca, tedavi süresince düzenli ilaç kullanımını gerektirecek herhangi bir sistemik hastalık geliştiğinde bir an önce hekimine bilgi vermesi konusunda tembihlenmiştir. Kontroller süresince de bireylerin oral hijyeni kontrol edilmiş, gerekli görülen durumlarda tekrar oral hijyen eğitimi verilmiş ve hasta motivasyonunun üst düzeyde olması sağlanmıştır.

3.5. Bireylerden Alınan Kayıtlar

Çalışmaya dahil edilen tüm bireylerden tedavi başında aynı araştırmacı tarafından (YT) ağız içi ve ağız dışı fotoğraflar, lateral sefalometrik ve panoramik radyografiler ve alt-üst çene alçı modeller toplanılmıştır (Şekil 11 ve 12).

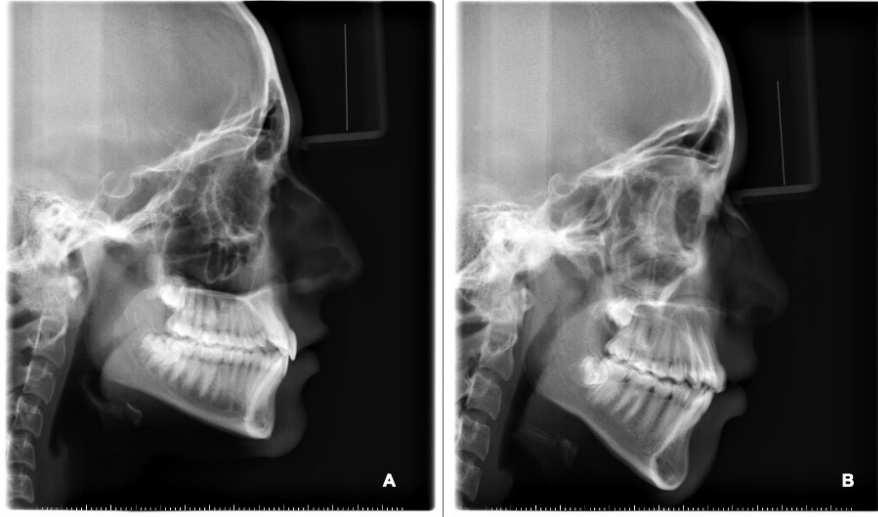


Şekil 11. Lazer grubunda yer alan bir hastanın tedavi başı ağız içi ve ağız dışı fotoğrafları.

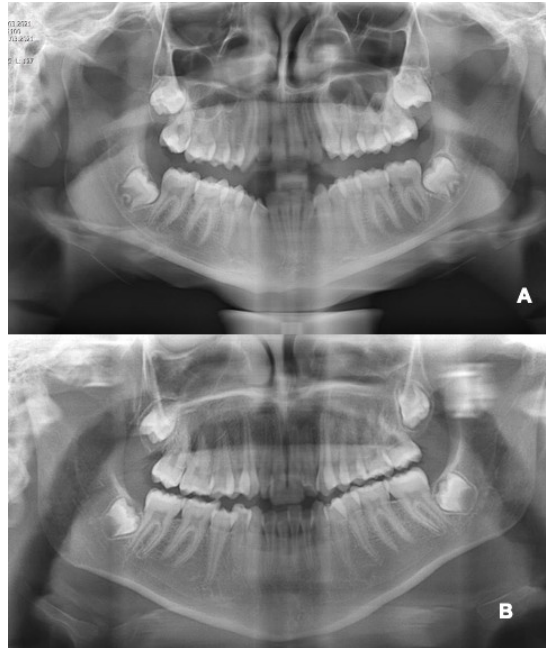


Şekil 12. Kontrol grubunda yer alan bir hastanın tedavi başı ağız içi ve ağız dışı fotoğrafları.

Ağız içi ve ağız dışı fotoğraflar Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda bulunan dijital fotoğraf makinesiyle (Canon EOS 450D, Kuzey Amerika) standart koşullarda alınmıştır. Ağız dışı fotoğraflarda beyaz arka fon kullanılmıştır.



Şekil 13. Lazer (A) ve kontrol (B) gruplarında yer alan aynı hastaların tedavi başı lateral sefalometrik radyografileri.



Şekil 14. Lazer (A) ve kontrol (B) gruplarında yer alan aynı hastaların tedavi başı panoramik radyografileri

Lateral sefalometrik ve panoramik radyografiler Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda bulunan dijital röntgen cihazıyla (Orthophos Ceph, Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Almanya) çekilmiştir (Şekil 13). Lateral sefalometrik radyografiler hasta başı, yumuşak doku Frankfurt horizontal düzlemi yere paralel olacak şekilde konumlandırılarak çeneler sentrik ilişkide ve dudaklar gerilimsiz pozisyondayken alınmıştır. Akabinde, NemoCeph NX 2005 (Nemotec, Madrid, Spain) paket programında yapılan sefalometrik analiz sonucunda sagittal iskeletsel ve dental ölçümler değerlendirilmiştir.

Lateral sefalometrik radyografilerin analizinde kullanılan noktalar (Şekil 15):

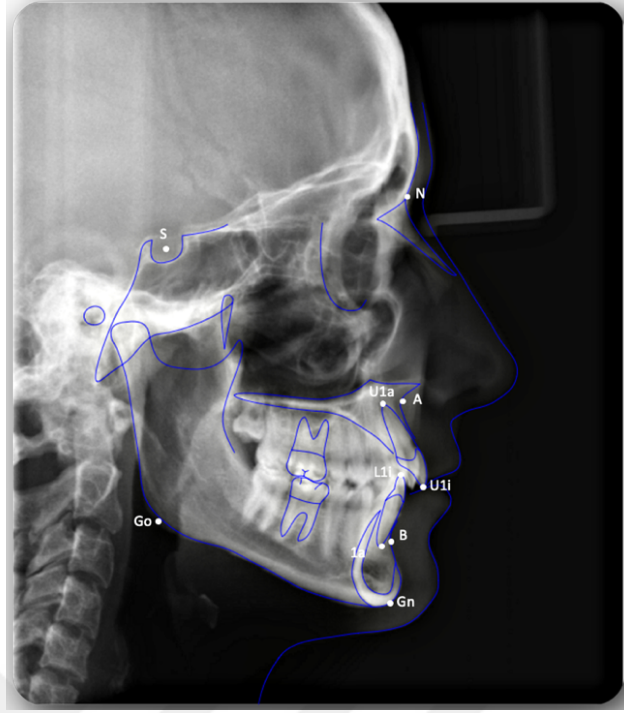
1. **Sella (S) noktası:** Sella tursikanın geometrik orta noktası,
2. **Nasion (N) noktası:** Frontanasal suturun en ön ve o bölgede bulunan girintinin en derin noktası,
3. **A noktası:** Orta oksal düzlemde, anterior nasal spinadan üst keser dişe uzanan kemik konkavitesinin en derin noktası,
4. **B noktası:** Orta oksal düzlemde, alt keser diştten çene ucuna uzanan kemik konkavitesinin en derin noktası,
5. **Gnathion (Gn):** Mandibula simfizi dış konturunda en ön ve en alt noktalar arasında kalan yapının orta noktası,
6. **Gonion (Go):** Ramus mandibulanın arka kenarına çizilen teğet ile korpus mandibulanın alt kenarına çizilen teğetin oluşturduğu açının açıortayının kemik üzerindeki izdüşümü,
7. **U1i:** Üst orta kesici dişin kesici kenar noktası,
8. **U1a:** Üst orta kesici dişin kökünün uç noktası,
9. **L1i:** Alt orta kesici dişin kesici kenar noktası,
10. **L1a:** Alt orta kesici dişin kökünün uç noktası.

Lateral sefalometrik radyografler üzerinde yapılan sagittal iskeletsel ve dental

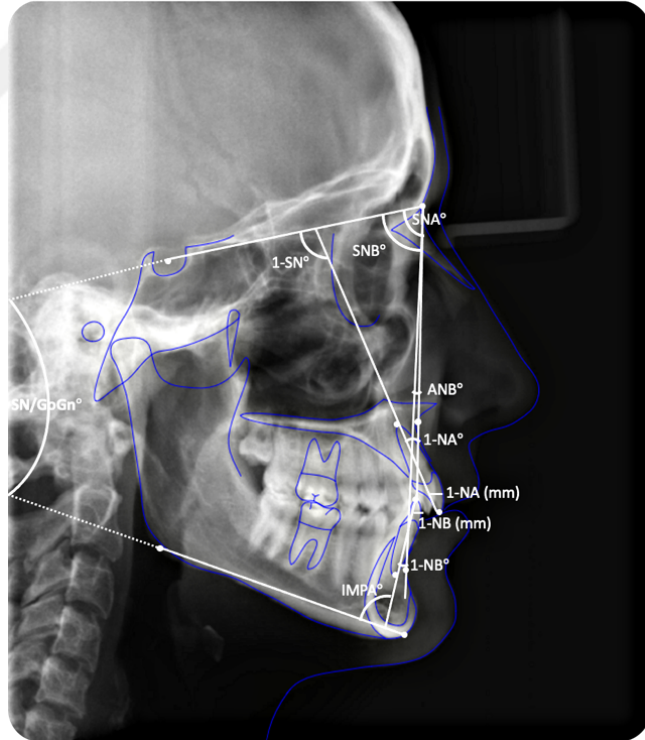
ölçümler (Şekil 16):

1. **SNA açısı (°):** SN ve NA doğruları arasında kalan açı,
2. **SNB açısı (°):** SN ve NB doğruları arasında kalan açı,
3. **ANB açısı (°):** NA ve NB doğruları arasında kalan açı,
4. **1-NB boyutu (mm):** Alt orta kesici dişin kronunun vestibül yüzeyinin en uzak noktasının NB doğrusuna olan uzaklığı,
5. **1-NB açısı (°):** Alt orta kesici dişin uzun eksenini ile NB doğrusu arasında kalan açı,
6. **IMPA açısı (°):** Alt kesici dişin uzun eksenini ile mandibuler düzlem (GoGn) arasında kalan açı,
7. **1-NA boyutu (mm):** Üst orta kesici dişin kronunun vestibül yüzeyinin en uzak noktasının NA doğrusuna olan uzaklığı,
8. **1-NA açısı (°):** Üst orta kesici dişin uzun eksenini ile NA doğrusu arasında kalan açı,
9. **1-SN açısı (°):** Üst kesici dişin uzun eksenini ile SN düzlemi arasında kalan açı,
10. **U1L1 açısı (°):** Alt ve üst kesici dişlerinin uzun eksenleri arasında kalan açı,
11. **SN/GoGn açısı (°):** SN düzlemi ile mandibular düzlem (GoGn) arasında kalan açı.

ANB açısı için $2,65 \pm 1,63$, 1-NA boyutu için $4,82 \pm 2,0$, 1-NB açısı için $21,47 \pm 6,0$, 1-SN açısı için $102,07 \pm 9,7$, 1-NB boyutu için $4,82 \pm 2,0$, 1-NB açısı için $27,68 \pm 4,97$, IMPA açısı için ise $96,50 \pm 7,50$ norm değerler olarak kabul edilmiştir. Sefalometrik analiz sonucunda $1,02 < ANB^\circ \leq 4,28$ olduğu iskeletsel sınıf 1 ilişkiye sahip ve alt- üst keser dişlerin retrüviz ve/veya norm değerlerde olduğu bireyler çalışma kapsamına alınmıştır (Basciftci ve ark., 2004).

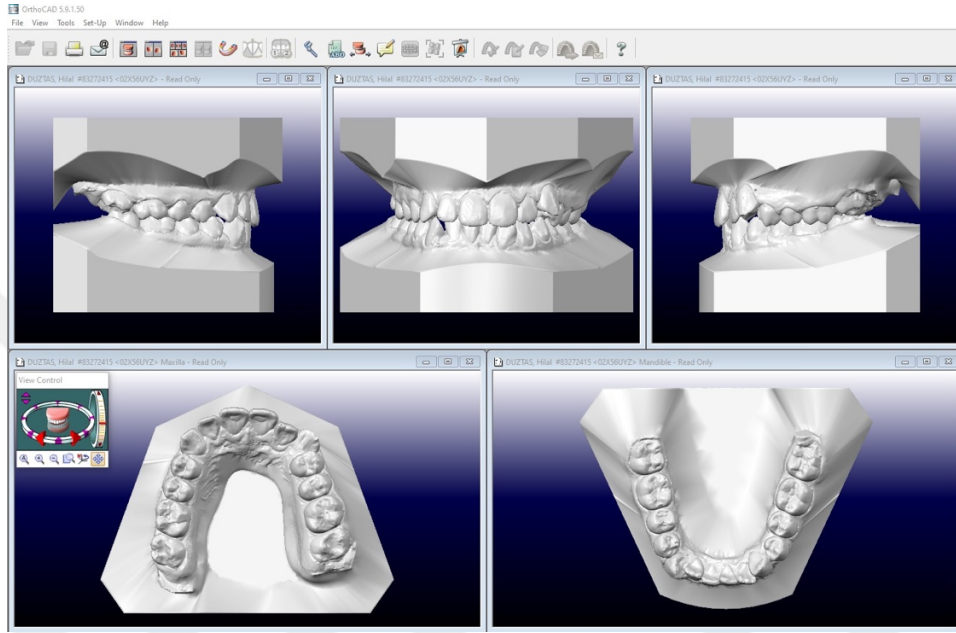


Şekil 15. Lateral sefalometrik radyografilerin analizinde kullanılan noktalar.

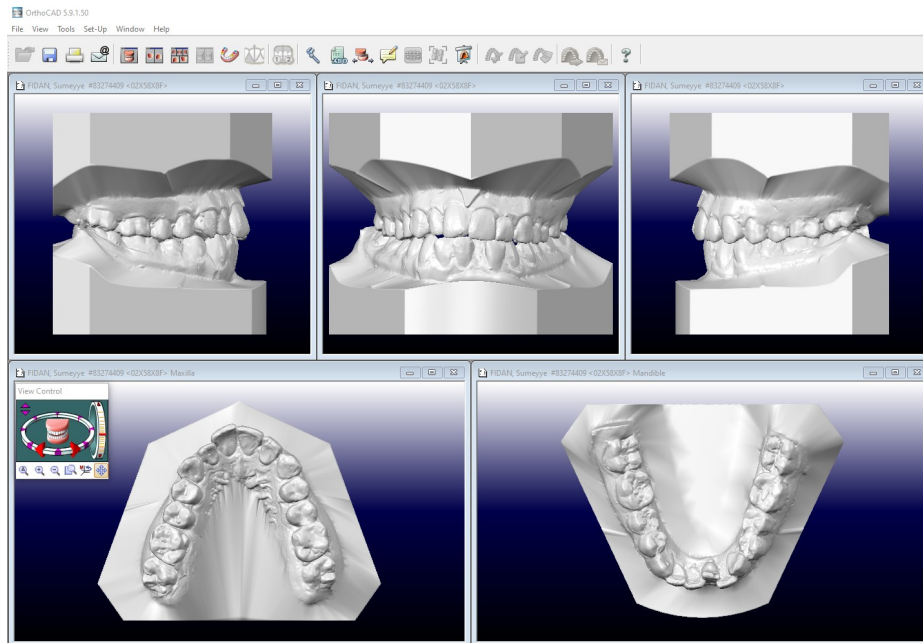


Şekil 16. Lateral sefalometrik radyografilerin analizinde kullanılan sagittal iskeletsel ve dental ölçümler.

Alt-üst çene alçı modeller dijital analizlerinin yapılabilmesi amacıyla üç boyutlu model tarama cihazında (iTero Element 2, Align Technology, San Jose, Kaliforniya) taratılarak üç boyutlu dijital ortodontik modelleri oluşturulmuştur. Ayrıca, elde edilen bu üç boyutlu dijital ortodontik modeller üç boyutlu tarama cihazında kaydedilerek arşivlenmiştir.



Şekil 17. Lazer grubunda yer alan bir hastanın tedavi başı dijital modelleri.



Şekil 18. Kontrol grubunda yer alan bir hastanın tedavi başı dijital modelleri.

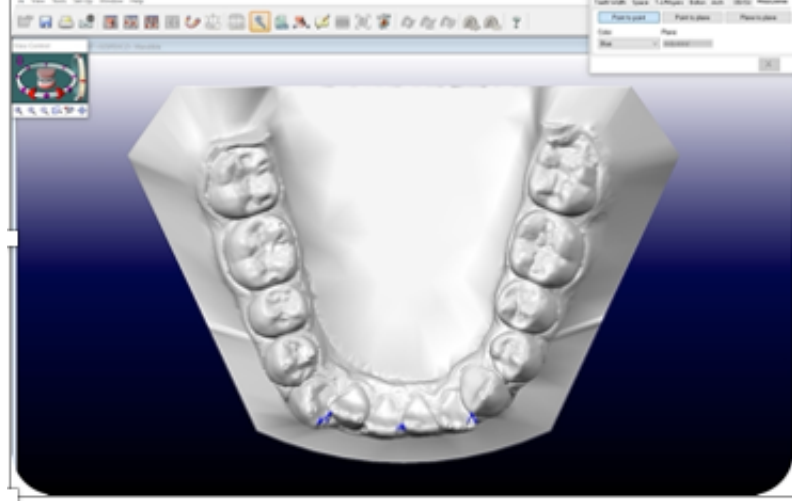
3.6. Little'ın Düzensizlik İndeksi Ölçümleri

Lazer ve kontrol gruplarına dahil edilen bireylerin tedavi başı alçı modellerinden elde edilen üç boyutlu dijital ortodontik modellerinde alt çene kanin-kanin arası bölgedeki çapraşıklık miktarını hesaplamak için Little'ın düzensizlik indeksi kullanılmıştır (Little 1975). Little düzensizlik indeksi ön bölgedeki bir dişin kontakt noktasının, komşu dişin kontakt noktasına göre doğrusal yer değiştirme miktarının ölçülmesiyle elde edilmektedir. Toplamda beş noktadan yapılan ölçümlerin toplamı ön bölgedeki çapraşıklık miktarını ifade etmektedir. Çapraşıklık miktarı arttıkça skor da artmaktadır.

Tablo 1. Little indeksi skorları ve klinik anlamları.

Skor (mm)	Klinik anlamı
0 - 1	Mükemmel seviyelenme
1 - 3	Minimal çapraşıklık
4 - 6	Moderate çapraşıklık
7 - 9	Şiddetli çapraşıklık
> 10	Çok şiddetli çapraşıklık

Alt çene kanin-kanin arası bölgedeki Little düzensizlik indeksi, üç boyutlu dijital ortodontik modeller bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra OrthoCAD (Align Technology) programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu amaçla, dijital ortodontik modellerin oklüzal yüzeylerinden geçen bir düzlem referans alınmış ve anterior altı dişin kontakt noktalarının bu düzlem üzerindeki izdüşümleri işaretlenmiştir. Düzlem üzerinde işaretlenen bu kontak noktaları arasındaki beş doğrusal mesafenin toplamı ölçülerek Little'ın düzensizlik indeksi belirlenmiştir. Bu noktada, alt çene kanin-kanin arası bölgedeki Little'ın düzensizlik indeksinin 4-8 mm olduğu, orta veya şiddetli çapraşıklığa sahip bireyler araştırma kapsamına alınmıştır.



Şekil 19. OrthoCAD programında Little'ın düzensizlik indeksinin hesaplanması.

3.7. Sabit Ortodontik Ataşmanların Yapıştırılması

Lazer ve kontrol gruplarının oluşturulmasından sonra sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılması aşamasına geçilmiştir. Tez çalışmamızda sabit ortodontik ataşman olarak .018 Roth braketler (Gemini Roth Sistem, 3M Unitek, ABD) kullanılmıştır.

Bonding işlemi öncesinde braket uygulanacak diş yüzeylerindeki organik maddeler flor içermeyen pomza ile (İmipomza, Imicryl, Türkiye) uzaklaştırıldıktan sonra, su ile yıkanmış ve hava spreyi ile hafifçe kurutulmuştur. Dişlerin bukkal yüzleri %35'lik jel fosforik asitle (Scotchbond™ Universal Etchant, 3M Unitek, Monrovia, CA, ABD) 30 sn pürüzlendirilmiş, su ile 15 sn yıkanmış ve yağ içermeyen hava spreyi ile kurutulmuştur. Tebeşirimsi görüntünün izlendiği mine yüzeyine ince bir tabaka primer (Transbond XT, 3M Unitek, ABD) üretici firmanın aplikatörü ile uygulanıp, hava ile inceltirilmiştir. Tabanlarına adeziv (Transbond XT, 3M Unitek, ABD) uygulanan braketler dişlerin bukkal yüzünün mezio-distal ve oklüzo-gingival yönde orta bölgesine yerleştirilmiştir. Diş yüzeyi ile braket tabanı arasında optimum miktarda adeziv kalacak şekilde tek nokta teması uygulanarak diş yüzeyine doğru bastırılmıştır. Braket tabanının kenarlarından taşan adeziv artıkları bir sond yardımıyla temizlendikten sonra her diş LED ışık cihazıyla mezial, distal, oklüzal ve gingival yüzeylerinden 5 sn olacak şekilde 20 sn ısıtılmıştır (Şekil 20).



Şekil 20. Sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılması ve .012 NiTi ark teli uygulaması.

3.8. Seviyelenme Protokolü

Bonding işlemi sonrası seviyelenme işlemi için .012 nikel titanyum (NiTi) ark telleri (3M Unitek Monrovia, CA ABD) uygulanmıştır. Ark telleri elastik ligatür (QuiK-StiK™, 3M Unitek, Monrovia, ABD) aracılığıyla bağlanmış ve bu ligatürler on dört günde bir değiştirilmiştir. Seviyelenme işlemi esnasında oluşabilecek braket kopmalarının tedavi süresini uzatacağı konusunda hasta ve velisi bilgilendirilmiş ve bu durumda acilen hekime ulaşılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, böyle bir durumu hastanın fark etmemesi veya ihmat etmesi ihtimaline karşın bireyler rutin olarak iki haftada bir kontrole çağrılmıştır. Bonding işlemi yapılan ve .012 NiTi ark teli uygulanan her hastanın ilk işlem tarihi not edilmiştir.

3.9. Lazer Uygulaması

Bonding işlemi sonrası .012 NiTi ark teli uygulamasını takiben alt çene kanin-kanin arası bölgenin seviyelenmesi esnasında alt anterior dişlere lazer uygulanan grup lazer grubunu, uygulanmayan grup ise kontrol grubunu temsil etmiştir.

Düşük doz lazer tedavisi 810-nm dalga boyunda yarı geçirgen düşük seviyeli Gallium-Aluminum-Arsenid (Ga-Al-As) diyot lazer cihazı (Cheese Diode Laser, Wuhan Gigaa Optronics Technology, Wuhan, Çin) kullanılarak, 100 mW enerji gücü ve 8 J/cm² enerji yoğunluğunda devamlı modda gerçekleştirilmiştir (Şekil 21). Uygulama süresince

mukozaya temas edecek şekilde tutulan lazer cihazının ucunun 4 mm yarı çapında, spot alanının ise yaklaşık olarak 0.125 cm² olduğu belirlenmiştir.

$$\text{Enerji (J)} = \text{Güç (W)} \times \text{zaman (s)} = 0,1\text{W} \times 10\text{sn} = 1\text{J}$$

$$\text{Enerji yoğunluğu (Doz)} = \text{Enerji (J)} / \text{ışık alanı (cm}^2\text{)} = 1\text{J} / 0,125 \text{ cm}^2 = 8 \text{ J/cm}^2$$

Lazer ışını alt çene kanin-kanin arası bölgedeki dişlerin köklerinin vestibül yüzlerine uygulanmıştır (Şekil 22 ve 23). Alt anterior dişlerin kökleri iki eşit parçaya bölündüğünde servikal ve apikal olmak üzere iki bölgenin orta noktası, her bölge 10 sn olacak şekilde ışınlanmıştır. Seans başına bir diş için 20 sn, toplamda altı diş için 120 sn olacak şekilde 8 j/cm² enerji yoğunluğunda diyet lazer ışını verilmiştir. Lazer ışınının olası yan etkilerine karşı uygulama esnasında hasta ve hekim koruyucu gözlük kullanmıştır.

Lazer ışını bonding işlemi sonrası .012 NiTi ark teli uygulamasından hemen sonra (0. gün), 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 14. günden sonra seviyelenme tamamlanıncaya kadar her 14 günde bir aynı araştırmacı tarafından (Y.T) uygulanmıştır. Hastanın ağrı durumlarını değerlendirmede etkili olabileceği düşünülerek, kontrol grubuna da lazer cihazının pedalına basmadan belirtilen günlerde plasebo ışınlama yapılmıştır. Lazer ve kontrol gruplarının her ikisinde de elastik ligatürler 14 günde bir değiştirilmiş, seviyelenme süresince .012 Niti ark teli defleksiyona uğramadıysa değiştirilmemiştir.



Şekil 21. Kullanılan lazer cihazı.



Şekil 22. Düşük doz lazerin alt sağ kanin, lateral ve santral dişlerin vestibül yüzlerine uygulanması.



Şekil 23. Düşük doz lazerin alt sol kanin, lateral ve santral dişlerin vestibül yüzlerine uygulanması.

3.10. Seviyelenmenin Değerlendirilmesi

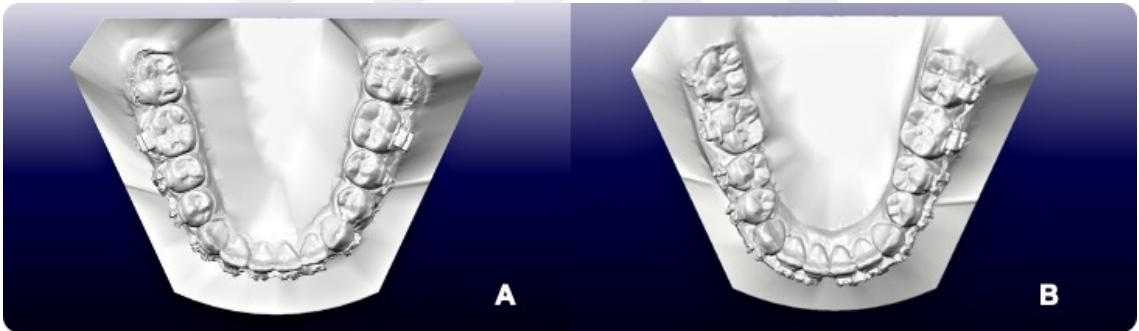
Alt çene kanin-kanin arası bölgenin seviyelenmesinde American Board of Orthodontics (ABO) Faz III objektif değerlendirme kriterleri esas alınmıştır (Casko ve ark., 1998). ABO kriterlerine göre uygun seviyelenme, alt kesici ve kanin dişlerin insizal kenarlarının ve labial insizal yüzeylerinin koordinasyonu ile karakterizedir.

Seviyelenmenin tamamlanıp tamamlanmadığı iki araştırmacı (Y.T ve S.K) tarafından kararlaştırılmıştır (Şekil 24). Akabinde hastanın alt çene alçı modelleri elde edilmiş, üç boyutlu model tarama cihazında (iTero Element 2, Align Technology, San Jose, Kaliforniya) taratılarak üç boyutlu dijital ortodontik modelleri oluşturulmuştur (Şekil 25). Bilgisayar ortamına aktarılan dijital ortodontik modellerde OrthoCAD (Align Technology) programı kullanılarak Little'in düzensizlik indeksi hesaplanmıştır. Little'in

düzensizlik indeksininin 0,5 mm ve/veya altında olması durumunda seviyelenmenin tamamlandığı tarih hasta kartına not edilmiştir (Şekil 24). Bonding işlemi ve seviyelenmenin tamamlanması arasındaki süre gün olarak hesaplanıp kaydedilmiştir.



Şekil 24. ABO kriterlerine göre seviyelenmesi tamamlanmış lazer (A) ve kontrol (B) gruplarında yer alan birer hastanın ağız içi fotoğrafları.



Şekil 25. ABO kriterlerine göre seviyelenmesi tamamlanmış lazer (A) ve kontrol (B) gruplarında yer alan birer hastanın dijital modelleri.

3.11. Periodontal Durumun Değerlendirilmesi

Her bir hastada bonding işleminden hemen sonra (T0), 30. gün (T1), 60. gün (T2) ve 90. günlerde (T3) plak indeks, gingival indeks ve sondalanan cep derinliğini (SCD) içeren klinik periodontal parametrelerin ölçümleri yapılmıştır. Tüm ölçümler aynı araştırmacı (Y.T) tarafından periodontal sond (PQW7 Williams, Hu Friedy, Chicago, ABD) kullanılarak yapılmıştır (Şekil 26).



Şekil 26. Periodontal sond (PQW7 Williams, Hu Friedy, Chicago, ABD).

3.11.1. Plak indeksi (PI; Silness ve L  e, 1964)

Plak miktarları tüm dişlerin mezio-bukkal, vestibüler orta nokta, disto-bukkal ve lingual/palatinal orta noktalarından gözle ve sondla değerlendirilmiştir. Ölçümler bu indekse göre 0-3 arasında skorlanmıştır. Tüm skorlar toplanıp dörde bölünerek her bir di   için PI skoru belirlenmiştir. Her bir di   için elde edilen PI skorları toplanıp mevcut diş sayısına bölünerek de her birey için ortalama PI skoru elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Plak indeksi skorları .

Skor	��l���t
0	Plak yok
1	çıplak gözle görülmeyen, ancak sondun ucu gingival s��lkusa gezdirildi��inde fark edilen plak varlığı
2	çıplak gözle görülebilen seviyede, di��seti kenarında ve di�� yüzeyinde inceden orta kalınlığa kadar plak varlığı
3	Kalınlığı gingival s��lkusu dolduran yumuşak eklenti ve plak varlığı

3.11.2. Gingival indeks (GI; L  e ve Silness, 1963)

Di  seti enflamasyonu bütün dişlerin mezio-bukkal, vestibüler orta nokta, disto-bukkal ve lingual/palatinal orta noktalarından değerlendirilmiştir. Bu indekste di   etinin

rengi, kıvamı ve ödem derecesi dikkate alınarak 0-3 arasında skorlanmaktadır. Tüm skorlar toplanıp dörde bölünerek her bir diş için GI skoru belirlenmiştir. GI skorları toplanıp diş sayısına bölünerek de her birey için ortalama GI skoru elde edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Gingival indeks skorları.

Skor	Ölçüt
0	Sağlıklı dişeti
1	Hafif enflamasyon, renk değişikliği ve ödem bulunmaktadır. Sondlamada kanama yoktur
2	Orta derecede enflamasyon, dişetinde parlak kırmızılık ve ödem vardır. Sondlamada kanama bulunmaktadır
3	İleri derecede enflamasyon, dişetinde belirgin kırmızılık ve ödem vardır. Spontan kanamaya eğilim ve ülserasyon bulunmaktadır

3.11.3. Sondalanan cep derinliği (SCD)

Bütün dişlerinin mezio-bukkal, vesitbüler orta nokta, disto-bukkal ve lingual/palatinal orta noktalarından SCD ölçümleri yapılmıştır. Periodontal sond cep tabanında hafif bir basınç hissedilinceye kadar cep içerisine yerleştirilerek, serbest dişeti kenarı ile cep tabanı arasındaki mesafe milimetrik olarak ölçülmüştür. Ölçümler toplanıp dörde bölünerek o diş için ortalama SCD değeri, tüm SCD değerlerinin toplanıp diş sayısına bölünmesiyle de her birey için ortalama SCD değeri elde edilmiştir.

3.12. Ağrının Belirlenmesi

Değerlendirmeler bonding işleminden hemen sonra (0. saat), 2. saat, 6. saat, 1. gün, 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 21. günlerde yapılmıştır. Bonding işleminden itibaren hem lazer hem de kontrol gruplarında ağrının değerlendirilmesi amacıyla Visual Analog Skala (VAS) kullanılmıştır. Bu skala bir ucunda ‘ağrı yok’ ifadesinin bulunduğu 0 cm’den başlayan diğer ucunda ise ‘dayanılmaz ağrı’ ifadelerinin bulunduğu 10 cm’lik düz bir çizgiden oluşmaktadır. Hastalardan geçmişte yaşadığı en şiddetli ağrı deneyimini (diş

ağrısı, kırık ve yanık gibi) gözönüne getirip bunu ‘10’ olarak kabul etmesi ve buna göre doğru üzerinde ağrısını yansıtan yere işaret koyması istenmiştir. Ağrının sayısal şiddeti doğru üzerinde belirlediği numerik değere göre hesaplanmıştır.

Değerlendirmeler bonding işleminden hemen sonra (0. saat), 2. saat, 6. saat, 1. gün, 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 21. günlerde yapılmıştır. Tüm bireylere formlarını ne zaman ve nasıl doldurmaları gerektiği konusunda ayrıntılı bilgi verilmiştir (Y.T). Ancak, formların doldurulmasında oluşabilecek aksaklıkların yine de önüne geçebilmek için hangi formun hangi saat, hangi günde doldurulacağını içeren zaman çizelgesi hazırlanmıştır (Bkz. Ek5).

3.13. İstatistik Veri Analizi

İstatistiksel analizler için NCSS (Number Cruncher Statistical System) 2007 (Kaysville, Utah, USA) programı kullanılmıştır. Çalışma verileri değerlendirilirken tanımlayıcı istatistiksel metotların (ortalama, standart sapma, frekans, oran, minimum ve maksimum) yanı sıra verilerin dağılımı Shapiro-Wilk Testi ile değerlendirilmiştir. Niceliksel verilerin iki grup karşılaştırmasında normal dağılım gösteren gruplarda Student T testi, normal dağılım göstermeyen gruplarda Mann-Whitney U Testi kullanılmıştır. Üç ve üzeri dönem karşılaştırmalarda Friedman testi; iki dönem karşılaştırmalarında ise Wilcoxon testi kullanılmıştır. Anlamlılık $p<0.01$ ve $p<0.05$ düzeylerinde değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Metod Hatasının Değerlendirilmesi

Little'ın düzensizlik indeksi ve lateral sefalometrik radyografilerden elde edilen değerlerin sınıf içi korelasyon katsayıları sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5'te gösterilmiştir. Tez çalışmamızda kullanılan ve tedavi başı dijital ortodontik modellerde OrthoCAD programıyla hesaplanan Little'ın düzensizlik indeksi ölçümlerindeki bireysel hata payını saptamak için lazer ve kontrol gruplarının herbirinden rastgele seçilen 10 bireyin ölçümleri ilk ölçümlerinden üç hafta sonra tekrarlanmıştır. Little'ın düzensizlik indeksi için sınıf içi korelasyon katsayılarının lazer ve kontrol gruplarında sırasıyla 0,996 ve 0,997 olduğu belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Lazer ve kontrol gruplarında Little'ın düzensizlik indeksi için sınıf içi korelasyon katsayıları

	Sınıf içi korelasyon katsayısı
Lazer grubu	0,996
Kontrol grubu	0,997

Tablo 5. Lazer ve kontrol gruplarında sefalometrik ölçümleri için sınıf içi korelasyon katsayıları

	Lazer grubu	Kontrol grubu
	Sınıf içi korelasyon katsayısı	Sınıf içi korelasyon katsayısı
SNA ⁰	0,970	0,978
SNB ⁰	0,980	0,978
ANB ⁰	0,992	0,977
1-NB (mm)	0,992	0,996
1-NB ⁰	0,997	0,997
IMPA ⁰	0,999	0,999
1-NA (mm)	0,998	0,998
1-NA ⁰	0,997	0,998
1-SN ⁰	0,998	0,998
U1-L1 ⁰	0,999	0,999
SN-GOGN ⁰	0,998	0,995

Tedavi başı lateral sefalometrik radyografilerde NemoCeph NX 2005 (Nemotec, Madrid, Spain) paket programından elde edilen SNA açısı, SNB açısı, ANB açısı, 1-NB boyutu (mm), 1-NB açısı, IMPA açısı, 1-NA boyutu (mm), 1-NA açısı, 1-SN açısı, U1L1 açısı, SN/GoGn açısı değerlerindeki bireysel hata payını saptamak için lazer ve kontrol gruplarının herbirinden rastgele seçilen 10 bireyin ölçümleri ilk ölçümlerinden üç hafta sonra tekrarlanmıştır. Elde edilen sefalometrik değerler için sınıf içi korelasyon katsayılarının lazer grubunda 0,970-0,99; kontrol gruplarında ise 0,977-0,999 arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 5).

4.2. Demografik Bulgular

Alt çene kanin-kanin arası bölgenin seviyelenmesi esnasında düşük doz lazer tedavisinin diş hareket hızına etkisinin değerlendirildiği bu tez çalışmasında çalışmaya katılan bireylerin yaş, tedavi süresi ve Little'ın düzensizlik indeksi değerlerini gösteren tanımlayıcı istatistikler Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6. Yaş, tedavi süresi ve Little'ın düzensizlik indeksi değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri.

	Ort±Ss	Min	Maks
Yaş (yıl)	16,39±2,26	12,5	21
Little'ın düzensizlik indeksi (mm)	6,51±0,18	4,24	8,08
Tedavi süresi (gün)	123,73±47,18	50	216

Ort: Ortalama, Ss: Standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum

Tablo 6'da görüldüğü üzere çalışmaya dahil edilen bireylerin yaş ortalamasının 16,39±2,26 yıl (min: 12,5 yıl ve maks: 21 yıl), Little'ın düzensizlik indeksi değerinin ortalama 6,51±0,18 mm (min: 4,24 mm, maks: 8,08 mm), ortalama tedavi süresinin ise 123,73±47,18 gün (min: 50 gün, maks: 216 gün) olduğu belirlenmiştir.

Lazer ve kontrol gruplarındaki kadın, erkek dağılımlarını gösteren tanımlayıcı istatistikler Tablo 7'da gösterilmektedir.

Tablo 7. Kadın ve erkeklerin lazer ve kontrol gruplarındaki dağılımları.

	Kadın		Erkek		Toplam
	Birey sayısı (n)	Yüzde (%)	Birey sayısı (n)	Yüzde (%)	
Lazer grubu	11	73,3	4	26,7	15
Kontrol grubu	11	73,3	4	26,7	15
Toplam	22	73,3	8	26,7	30

Tablo 7’ de ki veriler incelendiğinde bu tez çalışmasına 22 kadın ve 8 erkek olmak üzere toplam 30 birey dahil edildiği gözlenmiştir. Ayrıca, lazer ve kontrol gruplarının her birinde 11 kadın (%73,3) ve 4 erkek (%26,7) olmak üzere toplam 15 birey yer aldığı belirlenmiştir.

Yaş ve Little’ın düzensizlik indeksi değerlerinin lazer ve kontrol gruplarındaki karşılaştırılmalı istatistikleri Tablo 8’de sunulmaktadır.

Tablo 8. Yaş ve Little’ın düzensizlik indeksi değerlerinin lazer ve kontrol gruplarındaki dağılımları.

		Ort±Ss	Min	Maks	<i>p</i>
Yaş (yıl)	Lazer	15,61±1,28	13,08	18,25	0,059
	Kontrol	17,16±2,76	12,5	21,08	
Little’ın düzensizlik İndeksi (mm)	Lazer	6,57±0,29	4,35	8,00	0,749
	Kontrol	6,45±0,22	4,24	8,08	

Ort: Ortalama, Ss: Standart sapma, Min: minimum, Max: maksimum
Student T testi yapılmıştır. * $p < 0,05$.

Tablo 8’de izlendiği üzere yaş ortalamalarının lazer grubunda $15,61 \pm 1,28$ yıl, kontrol grubunda ise $17,16 \pm 2,76$ yıl olduğu belirlenmiştir. Little’ın düzensizlik indeksi değerinin de lazer grubunda $6,57 \pm 0,29$ mm, kontrol grubunda ise $6,45 \pm 0,22$ mm olduğu bulunmuştur. Yaş ortalamaları ve Little’ın düzensizlik indeksi değeri bakımından lazer ve kontrol grupları arasındaki fark istatistik olarak anlamlı bulunmamıştır.

4.3. Periodontal Parametrelere İlişkin Bulguların Karşılaştırılması

Tez çalışmamıza katılan tüm bireylerin gingival indeks, plak indeksi ve sondalanan cep derinliği ölçümleri ortodontik tedaviye başlamadan önce ve 1., 2., ve 3. aylarda dört yarım çeneden ölçülmüştür. Ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan gingival indeks değerleri bakımından lazer ve kontrol grupları arasında istatistik olarak anlamlı fark bulunamamıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Lazer ve kontrol gruplarında ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan gingival indeks değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları.

	Gruplar	Ort±Ss	Min	Maks	<i>p</i>
Ortodontik tedavi öncesi	Lazer	1,13±0,29	0,5	1,46	0,198
	Kontrol	0,98±0,27	0,35	1,35	
1. ay	Lazer	1,35±0,27	0,87	1,76	0,901
	Kontrol	1,33±0,29	0,67	1,84	
2. ay	Lazer	1,48±0,19	1,22	1,85	0,198
	Kontrol	1,26±0,28	0,58	1,67	
3. ay	Lazer	1,42±0,16	1,18	1,78	0,063
	Kontrol	1,23±0,34	0,62	1,78	

Ort: Ortalama, Ss: Standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum
Mann Whitney U testi yapılmıştır. * $p<0,05$, ** $p<0,01$.

Ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan plak indeksi değerleri bakımından lazer ve kontrol grupları arasında istatistik olarak anlamlı fark bulunamadığı belirlenmiştir (Tablo 10). Ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan sondalanan cep derinliği değerleri bakımından lazer ve kontrol grupları arasında istatistik olarak anlamlı fark görülmemiştir (Tablo 11).

Grup içi karşılaştırma sonuçları da ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan gingival indeks, plak indeksi ve sondalanan cep derinliği ölçümlerinde anlamlı farklılık göstermemiştir (Tablo 12).

Tablo 10. Lazer ve kontrol gruplarında ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan plak indeksi değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları.

	Gruplar	Ort±Ss	Min	Maks	<i>p</i>
Ortodontik tedavi öncesi	Lazer	1,19±0,31	0,71	1,56	0,065
	Kontrol	0,94±0,31	0,25	1,32	
1. ay	Lazer	1,55±0,19	1,24	1,89	0,329
	Kontrol	1,4±0,36	0,85	1,98	
2. ay	Lazer	1,68±0,21	1,24	1,98	0,130
	Kontrol	1,51±0,32	0,89	1,98	
3. ay	Lazer	1,05±0,71	0,78	1,36	0,394
	Kontrol	1,43±0,38	0,66	1,92	

Ort: Ortalama, Ss: Standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum
Mann Whitney U testi yapılmıştır. *p <0,05, **p <0,01.

Tablo 11. Lazer ve kontrol gruplarında ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan sondalanan cep derinliği değerlerinin karşılaştırmalı sonuçları

	Gruplar	Ort±Ss	Min	Maks	<i>p</i>
Ortodontik tedavi öncesi	Lazer	1,21±0,16	1,03	1,66	0,967
	Kontrol	1,19±0,14	0,84	1,4	
1. ay	Lazer	1,2±0,15	1	1,54	0,901
	Kontrol	1,17±0,12	0,89	1,34	
2. ay	Lazer	1,28±0,16	1	1,23	0,852
	Kontrol	1,17±0,12	0,91	1,32	
3. ay	Lazer	1,18±0,16	0,34	1,45	0,213
	Kontrol	1,19±0,12	0,86	1,36	

Ort: Ortalama, Ss: Standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum
Mann Whitney U testi yapılmıştır. *p <0,05, **p <0,01.

Tablo 12. Ortodontik tedavi öncesi ve 1., 2., ve 3. aylarda alınan gingival indeks, plak indeksi ve sondalanan cep derinliği ölçümlerinin lazer ve kontrol gruplarındaki karşılaştırmalı sonuçları.

		TÖ	1. ay	2. ay	3. ay	p
		Ort±Ss	Ort±Ss	Ort±Ss	Ort±Ss	
Lazer	Gingival indeks	1,13±0,29	1,25±0,27	1,38±0,19	1,22±0,16	0,268
	Plak indeksi	1,19±0,31	1,35±0,19	1,28±0,21	1,22±4,71	0,678
	Sondalanan Cep Derinliği	1,21±0,16	1,2±0,15	1,22±0,46	1,28±0,16	0,963
Kontrol	Gingival indeks	0,98±0,27	1,33±0,29	1,36±0,78	1,23±0,34	0,531
	Plak indeksi	0,94±0,31	1,2±0,36	1,11±0,32	1,23±0,38	0,784
	Sondalanan Cep Derinliği	1,19±0,14	1,17±0,12	1,17±0,12	1,19±0,12	0,652

Ort: Ortalama, Ss: Standart sapma, TÖ: Tedavi öncesi
Friedman Testi yapılmıştır. *p <0,05.

4.4. Ağrı Düzeylerine İlişkin Bulgularının Karşılaştırılması

Lazer ve kontrol gruplarının VAS ile belirlenen ağrı düzeylerinin grup içi karşılaştırma sonuçları Tablo 13’de gruplar arası karşılaştırma sonuçları ise Tablo 14’de sunulmaktadır.

Tablo 13’de görüldüğü üzere lazer grubunda 0. saat, 2. saat, 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 21 gün VAS değerlerinin grup içi karşılaştırma sonuçları istatistik olarak anlamlı farklılık göstermektedir (p=0,001; p<0,01). 0. saat VAS değerinin 2. saat, 6. saat, 1. gün, 3. gün ve 14. güne göre düşük olması istatistik olarak anlamlı bulunmuştur (p=0,001; p<0,01). 2. saat VAS değerinin 1. güne göre düşük, 21. güne göre ise yüksek olması istatistik olarak anlamlı görülmüştür (p=0,001; p<0,01). 6. saat VAS değerinin 7. gün, 14. gün ve 21. güne, 1. gün VAS değerinin 7. gün, 14. gün ve 21. güne, 3. gün VAS değerinin 7. gün, 14. gün ve 21. güne ve 14. gün VAS değerinin 21. güne göre yüksek olması istatistik olarak anlamlı bulunmuştur (p=0,001; p<0,01).

Tablo 13. Zamana göre lazer ve kontrol gruplarında gözlenen ağrı düzeylerine ait tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları.

	Lazer grubu			Kontrol grubu		
	Ort±Ss	Min	Maks	Ort±Ss	Min	Maks
0. saat	0,53±0,83 ^{b,c,d,e,g}	0	3,1	0,73±1,49 ^{b,c,d,e,f}	0	4,8
2. saat	1,87±0,92 ^{a,d,h}	0	2,99	2,87±1,55 ^{a,c,d,g,h}	1	5,01
6. saat	2,67±1,29 ^{a,f,g,h}	1	4,09	5,60±1,50 ^{a,b,c,e,f,g,h}	3	10
1. gün	3,07±1,58 ^{a,b,f,g,h}	1	5	5,27±2,22 ^{a,b,c,e,f,g,h}	2	10
3. gün	2,67±1,45 ^{a,f,g,h}	0	5	4,00±2,54 ^{a,c,d,f,g,h}	1	10
7. gün	1,27±1,33 ^{c,d,e}	0	2,21	2,47±1,96 ^{a,c,d,e,g,h}	0	6,9
14. gün	1,40±1,06 ^{c,d,e,h}	0	2,01	1,40±1,30 ^{b,c,d,e,f,h}	0	3,2
21. gün	1,00±0,93 ^{b,c,d,e}	0	2,1	0,67±0,90 ^{b,c,d,e,f,g}	0	3,01
p	0,001**			0,001**		

Ort: Ortalama, Ss: Standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum
Friedman Testi yapılmıştır. **p<0,01.

a ölçüm günü ile 0. saat arasındaki fark istatistik olarak anlamlı
b ölçüm günü ile 2. saat arasındaki fark istatistik olarak anlamlı
c ölçüm günü ile 6. saat arasındaki fark istatistik olarak anlamlı
d ölçüm günü ile 1. gün arasındaki fark istatistik olarak anlamlı
e ölçüm günü ile 3. gün arasındaki fark istatistik olarak anlamlı
f ölçüm günü ile 7. gün arasındaki fark istatistik olarak anlamlı
g ölçüm günü ile 14. gün arasındaki fark istatistik olarak anlamlı
h ölçüm günü ile 21. gün arasındaki fark istatistik olarak anlamlı

Kontrol grubunda da 0. saat, 2. saat, 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 21. gün VAS değerlerinin grup içi karşılaştırma sonuçları istatistik olarak anlamlı farklılık göstermiştir (p=0,001; p<0,01). 0. saat VAS değeri 2. saat, 6. saat, 1. gün, 3. gün ve 7. güne göre istatistik olarak daha düşük bulunmuştur (p=0,001; p<0,01). 2. saat VAS değerinin 6. saat, 1. güne göre düşük; 14. gün ve 21. güne göre yüksek olması istatistiksel olarak anlamlı görülmüştür (p=0,001; p<0,01). 6. saat VAS değerinin 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 21. güne göre, 1. gün VAS değerinin 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 21. güne göre, 3. gün VAS değerinin 7. gün, 14. gün ve 21. güne göre, 7. gün VAS değerinin 14. gün ve 21. güne göre ve 14. gün VAS değerinin 21. güne göre yüksek olması istatistik olarak anlamlı bulunmuştur (p=0,001; p<0,01) (Tablo 13).

Tablo 14. Zamana göre lazer ve kontrol gruplarında gözlenen ağrı düzeylerinin karşılaştırılması.

		Ort±Ss	Min	Maks	p
0. saat	Lazer	0,53±0,83	0	3	0,691
	Kontrol	0,73±1,49	0	5	
2. saat	Lazer	1,87±0,92	0	3	0,092
	Kontrol	2,87±1,55	1	5	
6. saat	Lazer	2,67±1,29	1	5	0,001**
	Kontrol	5,60±1,50	3	10	
1. gün	Lazer	3,07±1,58	1	5	0,006**
	Kontrol	5,27±2,22	2	10	
3. gün	Lazer	2,67±1,45	0	5	0,181
	Kontrol	4,0±2,54	1	10	
7. gün	Lazer	1,27±1,33	0	4	0,074
	Kontrol	2,47±1,96	0	7	
14. gün	Lazer	1,40±1,06	0	4	0,931
	Kontrol	1,40±1,30	0	4	
21. gün	Lazer	1,0±0,93	0	3	0,256
	Kontrol	0,67±0,90	0	3	

Ort: Ortalama, Ss: Standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum
Mann Whitney U Testi yapılmıştır. *p<0,05, **p<0,01.

Tablo 14’de gruplar arası karşılaştırma sonuçları 0. saat, 2. saat, 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 21 günde VAS değerleri bakımından lazer ve kontrol grupları arasında anlamlı fark bulunmadığını göstermiştir (p>0,05). Lazer grubunun 6. saat ve 1. gün VAS değerlerinin ise kontrol grubuna kıyasla istatistik olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir (p=0,001; p<0,05).

4.5. Seviyelenme Sürelerine İlişkin Bulgularının Karşılaştırılması

Alt çene kanin-kanin arası bölgenin seviyelenmesi esnasında düşük doz lazer tedavisinin diş hareket hızına etkisinin değerlendirildiği bu tez çalışmasında seviyelenme süresi gün olarak hesaplanmıştır. Lazer ve kontrol gruplarındaki seviyelenme sürelerine ilişkin karşılaştırmalı istatistikler Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15. Lazer ve kontrol gruplarındaki seviyelenme sürelerinin karşılaştırılması.

		Ort±Ss	Min	Maks	p
Seviyelenme süreleri	Lazer	111,8±42,9	61	185	0,170
	Kontrol	135,67±49,65	50	216	

Ort: Ortalama, Ss: Standart sapma, Min: Minimum, Maks: Maksimum
Student T Testi yapılmıştır. *p<0,05.

Tablo 15’de belirtildiği üzere ortalama seviyelenme sürelerinin lazer grubunda 111,8 ± 42,9 (min: 61, maks: 185) gün, kontrol grubunda ise 135,67 ± 49,65 (min: 50, maks:216) gün olduğu belirlenmiştir. Ortalama seviyelenme süreleri bakımından lazer ve kontrol grupları arasındaki fark istatistik olarak anlamlı bulunmamıştır (p>0,05).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sabit ortodontik tedavi süresinin 20 ila 30 ay aralığında değişkenlik gösterdiği bildirilmektedir (Wazwaz ve ark., 2022). Tedavi süresinin uzaması beyaz nokta lezyonları, periodontal hastalıklar ve kök rezorbsiyonları gibi komplikasyonlara neden olabilmektedir (Jing ve ark., 2017). Ayrıca, uzayan tedavi süreleri klinik performansı da olumsuz yönde etkileyerek artan sabit ortodontik tedavi taleplerinin karşılanamamasına neden olmaktadır (Skidmore ve ark., 2006; Qamruddin ve ark., 2015). Bu nedenle, diş hareketinin hızlandırılması ve tedavi süresinin kısaltılmasına yönelik çalışmalar son yıllarda oldukça önem kazanmaktadır (Gkantidis ve ark., 2014; El-Angbawi ve ark., 2015; Fleming ve ark., 2015).

Diş hareketinin hızlandırılmasına yönelik çalışmalarda, sabit ortodontik tedavi mekaniklerini daha verimli hale getirmek için sürtünmesiz sistemler, kapaklı braket sistemleri, ark telleri ve biyomekanik konularına yer verilmiştir (Qamruddin ve ark., 2015). Bu alanda yapılan çalışmalarda sabit ortodontik tedavi süresini azaltmada anlamlı ölçüde fark oluşturmadığı rapor edilmiştir (Čelar ve ark., 2013; Abdelrahman ve ark., 2015; de Araújo Gurgel ve ark., 2020; Maizeray ve ark., 2021). Ayrıca, ağır ortodontik kuvvet uygulanmasının kök rezorbsiyonuna yol açtığı belirlenmiştir (Scott ve ark., 2008). Bu nedenle, son yıllarda diş hareketini hızlandırmak için ortodontik kuvvet uygulaması sonrası periodontal ve dentoalveolar dokuların verdiği biyolojik cevaba yönelik çalışmalar popülerite kazanmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalar cerrahi ve cerrahi olmayan yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Miles, 2017).

Cerrahi yöntemlerde kemik dokusunda travma meydana getirilerek kemik metabolizmasının hızlandırılması amaçlanmaktadır. Frost'un literatüre kazandırdığı bölgesel hızlandırma fenomeni, ortodontik kuvvet uygulaması sonrası alveol kemiğinde ilk başta hızlı bir osteoklastik aktivitenin, ardından kemik densitesinde azalmanın, sonrasında da hızlı bir osteoblastik aktivitenin ve remodeling işleminin olduğu kompleks bir fizyolojik olay olarak tanımlanmaktadır (Frost, 1994). Cerrahi yöntemlerin en temel dezavantajı invaziv olmalarıdır. Bu nedenle, cerrahi yöntemlerin de kendi aralarında daha az invaziv olmaları yönünde geliştirilmesine devam edilmektedir (Fleming ve ark., 2015). Distraksiyon osteogenesizi, kortikotomi ve osteotomi, kortikotomi destekli uygulamalar,

kortizisyon, piezo-insizyon ve mikro-osteoperforasyon başlıca cerrahi yöntemler arasında yer almaktadır (Liou ve Huang, 1998; İşeri ve ark., 2005; Dibart ve ark., 2016; Alikhani ve ark., 2015; Gibreal ve ark., 2019).

Cerrahi yöntemlerin diş hareket hızını arttırdığını ifade eden çalışmalar olduğu gibi (Charavet ve ark., 2016; Yavuz ve ark., 2018; Gibreal ve ark., 2019; Strippoli ve ark., 2019) diş hareket hızına etkisinin olmadığını ifade eden çalışmalar da bulunmaktadır (Uribe ve ark., 2017; Shahrin ve ark., 2021). Eksternal kök rezorbsiyonu, kök yüzeyinde iatrojenik hasar, devitalizasyon, periodontal problemler, greftleme problemleri, kemik büyümeleri, ödem, yara yeri iyileşmesine bağlı konfor kaybı ve sistemik komplikasyonlar cerrahi yöntemlere bağlı oluşabilecek başlıca komplikasyonlardır. Ayrıca, hekimler için komplike, zaman alıcı ve ekipman gerektiren uygulamalar olduğu bildirilmektedir (Tunçer ve Özçirpici, 2015). Afzal ve ark. (2021), altı randomize klinik kontrollü ve iki randomize olmayan klinik kontrollü çalışmayı dahil ettikleri sistematik derlemesinde anterior çapraşıklık seviyelenme süresinin yanısıra ağrı, periodontal sağlık ve kök rezorbsiyonu açısından piezo-insizyon yöntemi uygulayarak değerlendirmişlerdir. Piezo-insizyon yöntemi uygulanan gruplarda konvasiyonel sabit ortodontik tedavi uygulanan gruplara göre seviyelenmenin daha az sürede gerçekleştiğini ve ağrı düzeyleri bakımından gruplar arasında anlamlı fark olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, periodontal sağlık ve kök rezorbsiyonu olmadığına dair zayıf kanıtların bulunduğunu ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, ortodontik diş hareketinin hızlandırılmasında uygulanan piezoinsizyon yönteminin uzun dönem sonuçları ile ilgili daha fazla randomize klinik çalışmalara ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır.

Cerrahi olmayan yöntemler farmakolojik uygulamalar ve mekanik-fiziksel stimülasyonlar alt başlıkları altında incelenmektedir. Farmokolojik yöntemlerde kemiğin yeniden şekillenmesini hızlandırmak amacıyla sitokinler, prostaglandinler, kortikosteroidler, büyüme hormonu, paratiroid hormon ve relaksin gibi uygulamaların literatürde yer aldığı görülmektedir (Yamasaki ve ark., 1982; Burrow ve ark., 1986; Collins ve Sinclair, 1988; Ashcraft ve ark., 1992; Verna ve ark., 2000; Hashimoto ve ark., 2001; Gurton ve ark., 2004; Stewart ve ark., 2005; Güleç ve ark., 2017). Farmakolojik yöntemlerin daha çok hayvan deneyi düzeyinde yapıldığı, sistemik ve lokal yan

etkilerinin olabileceği ve klinik doz uygulamalarının yeterince olmadığı bildirilmektedir (Acar ve Biren, 2018).

Mekanik ve fiziksel stimölasyonlar arasında elektrik akımı, elektromanyetik alan, titreşim, fotobiyostimölasyon veya düşük doz lazer tedavisi yer almaktadır. Elektrik akımı uygulamasında basınç bölgelerinde anoda ve gerilim bölgelerinde katoda doğru akım uygulanarak kemiğin yeniden şekillenmesinin hızlandığı bildirilmiştir (Nimeri ve ark., 2013). Maksiller kanin dişin retraksiyonu sırasındaki diş hareket hızının değerlendirildiği bir hayvan çalışmasında 14 gün boyunca elektirik stimölasyonu uygulanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, alveol kemiğine uygulanan 15-20 mikroamper doğru akımın biyoelektrik potansiyeli değiştirerek ortodontik diş hareketini hızlandırdığı rapor edilmiştir (Davidovitch ve ark., 1980). Elektrik akımı uygulamaları, elektrik kaynağının ve civa bataryalarının intraoral yerleşimindeki klinik kullanım güçlüklerinden dolayı tercih edilmemektedir (Kolahi ve ark., 2009; Huang ve ark., 2014).

Elektromanyetik alan uygulamasının alveoler kemiğin yeniden şekillenmesini ve alkalen fosfataz metabolizmasını etkileyerek ortodontik diş hareket hızını arttırdığı bildirilmektedir (Sakata ve ark., 2008). Histolojik analizler, manyetik alanların etkisi ile kemik hücrelerinin aktivitelerinin artması sonucu alveoler kemiğin yeniden şekillenmesinin arttığını göstermiştir (Huang ve ark., 2014). Yapılan hayvan çalışmalarında elektromanyetik alan uygulamalarının ortodontik diş hareket hızını arttırdığını bildiren çalışmalar olsa da (Huang ve ark., 2014); Tengku ve ark. (2000) statik manyetik alanın diş hareket hızını artırmadığını, ancak kök rezorpsiyonunu arttığını ve bu yöntemin etkinliği ve güvenilirliğine dair daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Bununla beraber, elektromanyetik alan uygulamalarının serum kalsiyum seviyesini düşürmesi, kan değerlerinde minör değişikliklere neden olması ve santral sinir sistemi üzerindeki muhtemel yan etkileri tekniğin kullanımı ile ilgili endişelerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Kolahi ve ark., 2009). Long ve ark. (2013), cerrahi yöntemler ve lazer uygulamaları ile elektrik akımı ve elektromanyetik alan uygulamalarının diş hareket hızına etkisini karşılaştırdıkları sistematik derlemede, elektrik akımı ve elektromanyetik alan uygulamalarının diş hareket hızına etkisinin olduğu ile ilgili yeterli kanıtların olmadığını ifade etmişlerdir.

Uygun miktarlarda uygulanan mekanik basınçların yani titreşimin kemik şekillenmesini ve anabolik yanıtı hızlandırabileceği belirtilmektedir (Andrade ve ark., 2014). Titreşim uygulaması ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, diş hareket hızına etkisinin gözlemlendiği çalışmalar olduğu gibi (Darendeliler ve ark., 2007; Nishimura ve ark., 2008; Kau, 2011; Leethanakul ve ark., 2016) diş hareket hızında anlamlı bir değişime neden olmadığını (Woodhouse ve ark., 2015; Yadav ve ark., 2015) ya da diş hareket hızını azalttığını ortaya koyan çalışmalar da (Kalajzic ve ark., 2014) bulunmaktadır.

Literatürde düşük doz lazer tedavisinin ortodontik diş hareket hızını arttırdığını bildiren çalışmaların yanısıra (Kawasaki ve Shimizu, 2000; Sun ve ark., 2001; Cruz ve ark., 2004; Youssef ve ark., 2008; Yoshida ve ark., 2009; Shaughnessy ve ark., 2016; Nahas ve ark., 2017) anlamlı etkisinin olmadığını bildiren çalışmalar da yer almaktadır (Limpanichkul ve ark., 2006; Marquezan ve ark., 2010; Dalaie ve ark., 2015; Salehi ve ark., 2015). Bir çalışmada ise düşük doz lazer uygulamasının ortodontik diş hareket hızını yavaşlattığı bildirilmektedir (Goulart ve ark., 2006). Çalışmaların sonuçlarındaki farklılıkların kullanılan lazer ışının dozu, ışıma modu, enerji yoğunluğu, uygulama yeri ve süresi, farklı diş hareketleri ve bazı çalışmaların hayvan deneyi olması gibi faktörlerden kaynaklanabileceği ifade edilmektedir (Kawasaki ve Shimizu, 2000; Youssef ve ark., 2008; Dalaie ve ark., 2015). Bu noktada, birbirinden farklı sonuçlar elde edilen bu çalışmalar incelendiğinde daha fazla deneysel ve randomize klinik çalışmalara ihtiyaç duyulduğu görülmektedir (Kalemaj ve ark., 2015).

Düşük doz lazer tedavisinin ortodontik diş hareket hızının yanı sıra sabit ortodontik işlemler sonrasında meydana gelen ağrı üzerinde de etkili olduğu ifade edilmektedir (Tortamano ve ark., 2009; Doshi-Mehta ve Bhad-Patil, 2012; Kim ve ark., 2013; Nóbrega ve ark., 2013; Eslamian ve ark., 2014; Deshpande ve ark., 2016; Farias ve ark., 2016; Qamruddin ve ark., 2016; AlSayed Hasan ve ark., 2018). Sabit ataşmanların yapıştırılması ve ark teli uygulanması hastada ağrıya neden olabilmektedir (Tortamano ve ark., 2009; Deshpande ve ark., 2016). Ağrıyı azaltmak amacıyla non-steroidal antieflamatuvar ilaçlar, opioidler, parasetamol ve lokal anestezikler kullanılabilmektedir (Austrup ve Korean, 1999; Krishnan, 2007; Karthi ve ark., 2012; Knop ve ark., 2012).

Bu ilaçların genel olarak etkili olduğu ancak birbirlerine göre üstünlüğünün olmadığı belirtilmiştir (Monk ve ark., 2017).

Ağrının şiddetini azaltmak için diyet lazerler sıklıkla tercih edilmektedir (Youssef ve ark., 2008). Tortamano ve ark. (2009) yaşları 12 ile 18 arasında değişen ortodontik tedavi ihtiyacı olan 60 bireyde ilk ark teli uygulamasından hemen sonra diyet lazer uygulamasının ağrı düzeyine etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, plasebo ve kontrol gruplarına göre fotobiyomodülasyon grubunda ağrı süresi ve yoğunluğunun istatistik olarak anlamlı derecede daha az olduğunu bildirmişlerdir. Fotobiyomodülasyonun, ilk ark teli uygulamasından kaynaklanan ağrıyı etkili bir şekilde kontrol ettiği sonucuna varmışlardır. Bu nedenle, bu tez çalışmamızda da düşük doz lazer tedavisinin alt çene ön bölgedeki çapraşıklık seviyelenme süresi ile seviyelenme esnasındaki ağrı düzeyine etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Grupların belirlenmesinde bireyler öncelikle cinsiyet, yaş, periodontal sağlık, sistemik ve lokal hastalıklar açısından değerlendirilmiştir. Cinsiyetin diş hareket hızına etkisinin değerlendirildiği çalışmalarda kadın ve erkekler arasında anlamlı fark bulunmadığı bildirilmiştir (Dudic ve ark., 2013). Yaş ile ilişkisinin değerlendirildiği çalışmalarda ise erişkin bireylerde aktif osteoblast ve osteoklast hücrelerinin sayısının azalması, osteoblast hücrelerinin yapısal değişikliklere uğraması ve kortikal kemik yoğunluğunun artmasına bağlı olarak azaldığı belirtilmiştir (Schubert ve ark., 2020). Krieger ve ark. (2013) dişin periodontal bağ dokusundaki fibroblast yoğunluğunun da yaş ilerledikçe azaldığını ifade etmişlerdir. Buna bağlı olarak periodontal ligamentin yeniden şekillenmesi için gerekli fizyolojik veya patolojik olayların diş hareketini yavaşlatabileceği ve ortodontik tedavi süresinde gecikmelere neden olabileceği sonucuna varmışlardır.

Kesici dişlerin seviyelenme sürelerinin incelendiği çalışmalarda oluşturulan grupların yaş aralıklarına bakıldığında, maksiller kesici dişlerin değerlendirdiği AlSayed Hasan ve ark.'nın (2017) çalışmasına 16-24 yaş aralığındaki bireylerin, mandibular kesici dişlerin değerlendirildiği Gibreal ve ark.'nın (2019) çalışmasına 16-27 yaş, Lo Guidice ve ark.'nın (2019) çalışmasına ise 13-30 yaş aralığındaki bireylerin dahil edildiği gözlenmiştir. Tez çalışmamızda da cinsiyet ve yaşa bağlı değişikliklerin minimize

edilmesi amacıyla gruplar kadın ve erkek oranlarının eşit olduğu 12-21 yaş aralığındaki bireylerden oluşturulmuştur. Bu noktada, tez çalışmamızda grupların cinsiyet bakımından eşit dağılım göstermiş olduğu, yaş bakımından ise benzer çalışmalar ile uyumlu olduğu saptanmıştır.

Sistemik ve lokal hastalıklar bakımından osteoporoz, diyabet, tiroid ve D vitamini hastalıkları ile bifosfonat, non-steroid antienflamatuvar ilaçlar, kolesterol ilaçları, ağrı kesiciler ve oral kontraseptif kullanımının yanısıra kronik alkol ve sigara tüketiminin de diş hareket hızını etkileyebileceği bilinmektedir (Mundy, 2001; Walker ve Buring, 2001; Gameiro ve ark., 2007; Sidiropoulou-Chatzigiannis ve ark., 2007; Bartzela ve ark., 2009; Li ve ark., 2010; Karthi ve ark., 2012; Olyae ve ark., 2013). Ayrıca, sistemik hastalıklara bağlı olarak ya da oral hijyenin bozulması sonucu periodontal hastalık gelişen bireylerde, ataşman ve alveol kemik kayıpları dişin direnç merkezinin yer değiştirmesine neden olmaktadır. Bu dişlere uygulanan ortodontik kuvvetler sonucu oluşan moment, periodontal dokularda olması gereken fizyolojik aktivitede değişikliğe yol açmaktadır (Tosun, 1999; Ong ve Wang, 2002). Bu nedenle, sistemik ve lokal hastalıkların diş hareket hızını etkileyecek olası yan etkilerini önlemek amacıyla tez çalışmamıza sistemik rahatsızlığı olmayan, periodontal açıdan sağlıklı ve oral hijyeni iyi bireyler dahil edilmiştir.

Sayin ve Türkkahraman (2004) Türk toplumunda 793 kadın ve 563 erkek bireyde maloklüzyon tiplerini, maloklüzyon tiplerinin cinsiyete göre dağılımını ve alt ve üst çenede çapraşıklık miktarlarını değerlendirdikleri çalışmalarında, orta dereceli çapraşıklığın alt çenede daha fazla görüldüğünü belirtmişlerdir. Alt azı dişlerin mezyo-distal boyutları ile alt çenenin büyüme ve gelişime bağlı değişimi alt çene ön bölgede çapraşıklığın daha fazla görülmesinde etken olabilmektedir (Rajbhoj ve ark., 2021). Son yıllarda yapılan, fotobiyomodülasyon yöntemi kullanılarak kesici dişlerin seviyelenme sürelerinin karşılaştırıldığı dört çalışmada, çapraşıklık miktarının belirlenmesinde Little'ın düzensizlik indeksinin tercih edildiği görülmüştür (Shaughnessy ve ark., 2016; AlSayed Hasan ve ark., 2017; Nahas ve ark., 2017; Lo Giudice ve ark., 2020). Bu indeks, alt anterior dişlerin beş kontakt noktası arasındaki doğrusal yer değiştirme miktarlarının toplanmasıyla elde edilmektedir (Little, 1975). Orta dereceli çapraşıklıklarda Little'ın düzensizlik indeksinin alt çene ön bölgede yer darlığını belirlemede diğer indekslere göre

daha hızlı ve tanısal kapasitesinin yüksek olduğu ifade edilmektedir (Bernabé ve Flores-Mir, 2006). Bu nedenle, tez çalışmamızda da alt çene ön bölgedeki çapraşıklık miktarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılan Little'ın düzensizlik indeksi tercih edilmiştir.

Dişlerin seviyelenmesi sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılmasının akabinde NiTi tellerin uygulanması ile başlamaktadır (Cai, 2019). Düşük sertlik ve yüksek elastiklik gösteren NiTi tellerin diş hareketinin başlamasında ve seviyelenme aşamasında etkili olduğu belirtilmektedir (Khier ve ark., 1991; Tosun, 1999). NiTi teller gerek elastik deformasyon noktasına kadar gerekse de ark uygulandıktan sonra ark formuna dönerken sabit stres değeri göstermektedir. Bu da, NiTi ark tellerinin aktivasyonuna bakılmaksızın aynı miktar kuvvet uyguladığı anlamına gelmektedir (Tosun, 1999). Bununla birlikte, hareket etmeye çalışan iki cisim birbirine temas ettiğinde statik ve dinamik sürtünme kuvveti ortaya çıkmaktadır (Tosun, 1999). NiTi tel ark uygulandıktan sonra ark telinin elastik deformasyonu ile birlikte dişlere bir kuvvet uygulayacak ve teli braketin içerisinde hareket etmeye zorlayacaktır. Aynı zamanda ark teli ile braket arasında bir sürtünme kuvveti meydana gelecektir (Tosun, 1999; Mendes ve Rossouw, 2003). Meydana gelen bu hareket ve sürtünme kuvveti oluşurken kilitlenme (Binding) ve çentiklenme (Notching) meydana gelebilmektedir. Kilitlenme kayma hareketi yapacak dişin braketini ile ark teli arasında ilk temas ettiğinde oluşan açısı olarak, çentiklenme ise kilitlenme sonucu ark telinde kalıcı şekil değişikliğinin meydana gelmesi olarak tanımlanmaktadır (Kusy ve Whitley, 1999; Tosun, 1999). Bu durum özellikle NiTi tellerde yüksek kuvvet uygulanması ile ortaya çıkmaktadır (Tosun, 1999).

Alt çene ön bölgede dişlerin mezyo-distal boyutlarının küçük olmasından dolayı braketler arası mesafelerin azalması ve çapraşıklığa bağlı oluşabilecek kilitlenme olasılığını en aza indirmek için seviyelenmeyi sağlayabilecek en elastik ark telinin kullanılması gerektiğini düşünmekteyiz. Ayrıca, başarılı bir seviyelenmenin periodontal dokularda rahatsızlık ve kök rezorpsiyonu gibi komplikasyonları en aza indirerek gerçekleşmesi için devamlı ancak hafif kuvvetler uygulanmasının önemi vurgulanmıştır. Proffit, Bennett ve McLaughlin ortodontik tedavinin ilk aşaması olan seviyelenme esnasında hafif kuvvet üreten yuvarlak tellerin uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir (Sebastian, 2012). Bu nedenle, tez çalışmamızda diş hareketinde etkili olabilecek

faktörlerin standardizasyonu açısından .012 NiTi ark teli hiç değiştirilmeyerek seviyelenmenin tamamlanması beklenilmiştir.

Nd: YAG, CO₂, Erbiyum, Diyot gibi cerrahi amaçlı kullanılan lazerler dokularda vaporizasyon, koagülasyon ve ablasyon gibi etkiler gösterirken, fotobiyomodülasyon amaçlı kullanılan düşük doz lazerler hedef dokuda sıcaklık artışına yol açmadan biyostimülatif etki ortaya çıkarmaktadır (Convissar, 2016). Fotobiyomodülasyon amaçlı kullanılan lazerlerin dalga boyları 600-1200 nm arasında elektromanyetik spektrumun kırmızı ile yakın kızılötesi kısmında bulunmaktadır (Nahas ve ark., 2017). Bu spektrumdaki lazerler hücresel düzeyde fotokimyasal etkileri indükleyen düşük enerji yoğunluğuna sahip lazerlerdir (Convissar, 2016). Çıkış güçleri, atımlı veya sürekli dalga emisyonu ile çalışan 50-500 mW arasında değişmektedir. Dokularda biyostimülatif etkinin oluşturulması amacıyla diyot lazerlerin genellikle Indium-Gallium-Aluminum-Phosphide (InGaAlP) ya da Gallium-Aluminum-Arsenid (Ga-Al-As) içeren yarı geçirgen türleri tercih edilmektedir (Convissar, 2016). Penetrasyon kabiliyeti spektrumun kırmızı kısmındaki lazerler için yüzeysel iken, kızılötesi lazerler hedef dokuya ve dalga boyuna bağlı olarak 3 ila 5 cm'ye kadar derine nüfuz olabilmektedir (Convissar, 2016).

Lazerden gelen ışık enerjisi hedef doku ile yansıma (refleksiyon), geçiş (transmisyon), saçılma (scattering) ve emilim (absorbsiyon) olmak üzere dört farklı şekilde etkileşime girmektedir (Coluzzi, 2004; Zezell ve Ana, 2015). Lazer ışını enerjisinin dokuda biyolojik, kimyasal ve termal etkilerinin gerçekleşmesi için istenilen derinliğe ulaşabilmesi gerekmektedir (Coluzzi, 2004). Lazer uygulamasının ortodontik diş hareket hızını arttırdığını belirten çalışmalarda farklı dozların uygulandığı ve fikir birliğinin oluşmadığı gözlenmiştir (Kawasaki ve Shimizu, 2000; Youssef ve ark., 2008; Dalaie ve ark., 2015).

Lazer ışını uygulandığında doku içerisinde bir enerji kaybı gerçekleşmektedir. Dokuya aktarılan lazer enerjisinin doku derinliğinin %50'sine ulaşması 'yarı penetrasyon derinliği' olarak adlandırılmaktadır. Lazer ışınının ulaşabildiği en son derinlikte bile biyostimülatif etki elde edilebilmektedir. Ancak, lazer ışını ilerledikçe dokunun tabakalarında biriken enerji miktarı azalmaktadır (Altan, 2012). Bununla birlikte, farklı braket tiplerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada alt çene ön bölgedeki çapraşıklığın

seviyelenmesi değerlendirme kriteri olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeninin, seviyelenmenin kanin retraksiyonu gibi bir diş hareketinin aksine büyük ölçüde ark teli ile braket arasındaki boşluğa (free play) bağlı olması ve miktarının Little'ın düzensizlik indeksi ile kantitatif olarak hesaplanabilmesi olduğunu ifade etmişlerdir (Pandis ve ark., 2007). Tez çalışmamızda da alt kesici dişlerin köklerinin labio-lingual boyutlarının üst kesici dişlerin köklerinden daha küçük olmasına bağlı olarak lazer ışınının dişlere ve yumuşak dokulara daha homojen dağılabilmesi ve Little'ın düzensizlik indeksi ile kantitatif değerler elde edilebilmesinden dolayı alt çene ön bölgedeki çapraşıklığın seviyelenmesi değerlendirilmiştir.

Fotobiyomodülasyon, dokuların lazer ışınının terapötik dalga boylarına (600-1200 nm) maruz kalması sonucu meydana gelen etkidir (Nahas ve ark., 2017). Ortaya çıkan stimülasyon, lazer ışınının sitokrom C oksidaz tarafından Emilimiyle hücre içi değişimler sonucu ATP sentezinin artmasına neden olmaktadır. ATP seviyelerindeki artış, yüksek metabolik aktivite nedeniyle hücrelerin yeniden şekillenme sürecine girmesine neden olmaktadır (Kacprzak ve Strzecki, 2018). Bu amaçla, düşük yoğunlukta ışık yayan diyot (LED) ve düşük doz lazer uygulamaları sıklıkla kullanılmaktadır (Vladimirov ve ark., 2004; Fekrazad ve ark., 2016).

Diş hareketinin hızlandırılması amacıyla fotobiyomodülasyon tedavisinde uygulanan ışın aynı dalga boyunda olduğu sürece ışık kaynağının LED veya düşük doz lazer olmasının önemli olmadığı belirtilmiştir (Heiskanen ve Hamblin, 2018). LED'lerin maliyetlerinin daha ucuz, uygulama yöntemlerinin ise daha kolay olması ve geniş bir alana ışın verecek diziler halinde üretilmesi bu yöntemin başlıca avantajları arasında yer almaktadır (Heiskanen ve Hamblin, 2018). Son yıllarda yapılan çalışmalarda LED uygulamasının diş hareketi hızını arttırdığını belirten çalışmalar olduğu gibi herhangi bir etkisinin olmadığını belirten çalışmalar da bulunmaktadır (Heiskanen ve Hamblin, 2018).

LED'ler ilk uygulandığında en önemli dezavantajının yarı monokromatik yapısı olduğu ifade edilmekteydi. Ayrıca, dalga boyunun geniş olması, spot boyutu ve lazer uygulamaları ile elde edilen güce ulaşmanın zorluğu gibi faktörler de LED uygulamalarının dezavantajları arasında yer almaktadır. Ancak, yapıları nedeniyle de hücresel aktivitede düşük doz lazer uygulamalarıyla aynı etkiyi sağladıkları bildirilmiştir

(Heiskanen ve Hamblin, 2018). LED uygulamaların kemik dokusunun biyostimülasyonu, hücre proliferasyonu ve farklılaşmasındaki olumlu etkilerinin yanı sıra rejeneratif tedavilerde de etkili olduğu gözlenmektedir (Fekrazad ve ark., 2016). Çalışmaların standardizasyonunun sağlanamaması, araştırma sonuçlarını ve LED uygulamalarını fotobiyomodülasyon konusunda tartışmalı hale getirmektedir (Heiskanen ve Hamblin, 2018).

Ortodontik diş hareketinin hızlandırılmasında sıklıkla ışık spektrumunun kırmızı ve yakın kızılötesine denk gelen 600-1200 nm dalga boyundaki düşük doz lazer uygulamaları tercih edilmektedir (Nahas ve ark., 2017). Bu dalga boyundaki lazer ışınının pigmentli dokular tarafından iyi absorbe olup, hemoglobin ve su tarafından absorpsiyonun az olması dokulara düzgün bir şekilde penetre olmasını sağlamaktadır (Kacprzak ve Strzecki, 2018).

Düşük doz lazer tedavisi sonrası diş hareket hızının değerlendirildiği çalışmalarda kanin retraksiyonu, molar distalizasyonu, molar mezializasyonu veya dişlerin seviyelenmesi gibi farklı diş hareketleri için farklı dalga boylarındaki diyot lazerlerin kullanıldığı gözlenmektedir. Düşük doz lazer uygulaması sonrası kanin retraksiyon hızının değerlendirildiği çalışmalarda Doshi-Mehta ve Bhad-Patil (2012) ile Arumughan ve ark. (2018) 810 nm dalga boylu Ga-Al-As diyot lazeri, Limpanichkul ve ark. (2006) 860 nm dalga boylu Ga-Al-As diyot lazeri, Qamruddin ve ark. (2017, 2021) 940 nm dalga boylu Ga-Al-As diyot lazeri tercih etmişlerdir. AlSayed ve ark. (2017) ise birinci küçük azı çekimi sonrasında maksiller kesicilerde seviyelenmeyi değerlendirdikleri çalışmalarında 830 nm dalga boyuna sahip Ga-Al-As diyot lazer cihazını kullanmışlardır. 2020 yılında farklı dalga boylarına sahip Ga-Al-As diyot lazerlerin diş hareket hızına etkisinin değerlendirildiği bir sistematik derlemede, 780 ile 830 nm dalga boyları arasındaki diyot lazerlerin diş hareketi için ideal olduğu belirtilmiştir (Domínguez Camacho ve ark., 2020). Bu nedenle, tez çalışmamızda da bu dalga boyu aralığına denk gelen 810 nm dalga boyundaki Ga-Al-As diyot lazer cihazı kullanımı tercih edilmiştir.

Kullanılan lazer cihazının yanı sıra lazer ışının çıkış gücü ve uygulama sürelerindeki değişikliklerin de araştırma sonuçlarını etkilediği belirtilmektedir

(Domínguez Camacho ve ark., 2020). Işınlanan nokta başına düşen enerji miktarı lazer cihazının gücü ve uygulama süresinin çarpımı sonucu belirlenmektedir. Bu enerji miktarı Joule olarak ifade edilmektedir (Convissar, 2016). Yapılan çalışmalarda, Doshi-Mehta ve Bhad-Patil'in (2012) 250 mW çıkış gücüne sahip Ga-Al-As diyot lazeri 10 sn uyguladığı ve ışınlanan nokta başına 2,5 J enerji aktardığı gözlenmiştir. AlSayed ve ark.'nın (2017) da 150 mW çıkış gücüne sahip Ga-Al-As diyot lazeri 15 sn uyguladığı ve ışınlanan nokta başına 2,25 J enerji aktardığı, Qamruddin ve ark. (2017) ise 100 mW çıkış gücüne sahip Ga-Al-As diyot lazeri 3 sn uyguladığı ve ışınlanan nokta başına 3 J enerji aktardığı saptanmıştır. Tez çalışmamızda da alt anterior dişlerin kökleri servikal ve apikal olmak üzere iki eşit bölgeye ayrılarak, her bölgenin orta noktasına 100 mW çıkış gücüne sahip Ga-Al-As diyot lazer 10 sn uygulanmış ve ışınlanan nokta başına 1 J enerji aktarımı sağlanmıştır.

Yapılan çalışmalarda düşük doz lazer tedavilerinin biyostimülatif etkilerinin enerji yoğunluklarına (optimal doz) bağlı olduğu ve farklı enerji yoğunluklarının dokularda değişik etkiler meydana getirdiği ifade edilmektedir (Cruz ve ark., 2004; Ge ve ark., 2015; Nahas ve ark., 2017; Arumughan ve ark., 2018). Arndt-Schultz Kanunu'na göre fizyolojik aktivitede düşük enerji yoğunluğunda stimülasyon; yüksek enerji yoğunluğunda ise inhibisyon görüldüğü bildirilmektedir (Ohshiro ve Calderhead, 1991).

Farklı enerji yoğunluklarının değerlendirildiği sistematik bir derlemede 2,5, 5 ve 8 J/cm² enerji yoğunluğuna sahip diyot lazerlerin 20, 25 ve daha yüksek J/cm² enerji yoğunluğuna sahip diyot lazerlerden daha etkili olduğu ancak optimal dozun ise belirsiz olduğu belirtilmiştir (Ge ve ark., 2015). 25 kontrollü randomize klinik çalışmanın karşılaştırıldığı bir diğer sistematik derleme ve meta analizde ise lazer dozunun daha önceki çalışmalarda kullanılan J/cm² yerine aylık uygulanan toplam joule sayısı olarak (J/ay) ifade edilmesi ve buna göre değerlendirilmesi tavsiye edilmiştir. Ayrıca, 2,5, 5 ve 8 J/cm² gibi düşük enerji yoğunluklarının 20 ve 25 J/cm² enerji yoğunluklarına kıyasla daha etkili olduğu ile ilgili yeterli kanıtın olmadığı ifade edilmiştir (Bakdach ve Hadad, 2020). Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde ise AlSayed ve ark.'nın (2017) 4 farklı noktadan 15'er saniye 2,25 J/cm² enerji yoğunluğu, Quamruddin ve ark.'nın (2017) 10 farklı noktadan 3'er saniye 7,5 J/cm² enerji yoğunluğu, Limpanichkul ve ark.'nın (2006) ise 8 farklı noktadan 23'er saniye 25 J/cm² enerji yoğunluğu ile ışınlama yaptığı

gözlenmiştir. Tez çalışmamızda da alt anterior dişlerin her biri 20 sn, toplamda altı diş 120 sn olacak şekilde 8 J/cm² enerji yoğunluğu ile ışınlama yapılmıştır.

Lazer cihazları, hedef dokuda devamlı (continuous) ve atımlı (puls) mod olmak üzere iki şekilde ışın yayabilmektedir (Coluzzi, 2000). Yapılan çalışmalarda lazer modu olarak çoğunlukla ışının yalnızca bir güç seviyesinde yayıldığı mod olan devamlı modun tercih edildiği gözlenmiştir. Qamruddin ve ark. (2017) maksiller kanin dişleri bukkal ve lingualden 5'er olmak üzere toplam 10 farklı noktadan devamlı modda, AlSayed ve ark. (2017) ise maksiller kesici dişleri bukkal ve lingualden 2'er olmak üzere toplam 4 farklı noktadan devamlı modda ışınlamışlardır. Tez çalışmamızda da lazer ışını alt anterior dişlere bukkal 2 noktadan devamlı modda uygulanmıştır.

Diş hareketi başlangıç fazı, duraklama fazı ve duraklama sonrası faz olmak üzere üç dönemde değerlendirilebilmektedir (Proffit ve ark, 2013). Başlangıç fazı dişe kuvvet uygulanmasının hemen akabindeki ilk iki günde biyolojik değişimlerin meydana geldiği dönem olarak tanımlanmaktadır. Başlangıç fazının ardından diş hareketinin yavaşladığı ya da durduğu 4-20 günler arasında olan duraklama fazı ve sonrasında tekrar diş hareketinin başladığı duraklama sonrası faz meydana gelmektedir (Krishnan ve Davidovitch, 2015).

Literatürde düşük doz lazer tedavisinin ortodontik diş hareket hızına etkisinin değerlendirildiği çalışmalarda farklı gün ve sıklıklarda lazer ışınının uygulandığı görülmüştür (Cruz ve ark., 2004; Heravi ve ark., 2014; Kansal ve ark., 2014; AlSayed Hasan ve ark., 2017; Caccianiga ve ark., 2017, 2017; Arumughan ve ark., 2018; Guram ve ark., 2018; Lo Giudice ve ark., 2020). Kanin distalizasyonu esnasında diş hareket hızının değerlendirildiği Cruz'un (2004) çalışmasında ilk ayda 0, 3, 7 ve 14. günlerde, ikinci ayda ise 33, 37 ve 44. günlerde, Sousa'nın çalışmasında (2011) 0, 3, 7, 30, 33, 37, 60, 63 ve 67. günlerde, Qamruddin'nin (2017) çalışmasında 0, 21 ve 42. günlerde, Doshi-Mehta ve Bhad-Patil'in (2012) çalışmasında ise 0, 3, 7 ve 14. günlerde ve sonrasında ikinci aydan itibaren 15 günde bir ışınlama yapılmıştır. Maksiller kesici dişlerde seviyelenme/sıralanmanın değerlendirildiği AlSayed ve ark.'nın (2017) çalışmasında birinci ayda 0, 3, 7 ve 14. günlerde ve ikinci aydan itibaren ise 15 günde bir seviyelenme/sıralanma tamamlanıncaya lazer ışını uygulanmıştır. Tez çalışmamızda da

literatürle uyumlu olarak lazer ışını bonding işlemi sonrası .012 NiTi ark teli uygulamasından hemen sonra (0. gün), 3., 7., 14. günlerde ve 14. günden sonra seviyelenme tamamlanıncaya kadar her 14 günde bir aynı araştırmacı tarafından uygulanmıştır.

Özellikle başlangıç ark teli uygulamasından hemen sonra oluşan ortodontik kuvvetler periodontal dokularda ödem ve akut iskemik reaksiyonlara neden olmaktadır (Erdoğan ve Dinçer, 2004). Bu reaksiyonlar ortodontik tedaviyi ağırlı bir işlem haline getiren enflamatuvar mediatörleri ortaya çıkarmaktadır. Yapılan çalışmalarda ortodontik tedavi uygulanan bireylerin %95'inin ortodontik tedavi sırasında ağrı hissettiği, %8-30'unun ise ağrı nedeniyle ortodontik tedaviyi bıraktığı belirtilmektedir (Bergius ve ark., 2000; AlSayed Hasan ve ark., 2020). Ark teli uygulanmasıyla ağrının 12 saat içinde başladığı, bir gün içinde zirve yaptığı ve 3. günden sonra kademeli olarak azaldığı ifade edilmiştir (Erdoğan ve Dinçer 2004; Wang vd. 2012). Ortodontik ağrının azaltılmasında davranışsal ve bilişsel terapi, sakız, sert veya yumuşak ısırma blokları, farmakolojik ilaçlar, topikal anestetik jeller, titreşim kuvvetlerinin uygulanması ve düşük doz lazer tedavisi kullanılabilmektedir (Wang ve ark., 2012; Bayani ve ark., 2016; AlSayed Hasan ve ark., 2020). Bunlardan sıklıkla tercih edilen nonsteroid anti-inflamatuvar ilaçların prostaglandin sekresyonunu inhibe ederek ağrıyı azalttığı ancak kanama bozuklukları, böbrek yetmezliği, astım, mide ülserasyonu, alerji, hipertansiyon, ateroskleroz gibi sistemik yan etkilerinin bulunduğu ve diş hareket hızının yavaşlamasına neden olduğu belirtilmektedir (Diravidamani ve ark., 2012; Celebi ve ark., 2019; Li ve ark., 2015). Bu durum, son yıllarda ortodontik ağrının azaltılmasında düşük doz lazer tedavisinin biyostimülatif etkisinin yanı sıra analjezik etkisinin de ön plana çıkmasına neden olmuştur (Qamruddin ve ark., 2017; Wu ve ark., 2018; Celebi ve ark., 2019; AlSayed Hasan ve ark., 2020). Düşük doz lazer tedavisinin bölgesel kan dolaşımını artırarak, prostaglandin seviyelerini azaltarak ve COX-2 enzim sekresyonu inhibe ederek analjezik ve anti-enflamatuvar etki göstermektedir (Farias ve ark., 2016).

Ağrı subjektif bir tanımlama olduğundan ağrının süresi, özelliği veya şiddetinin objektif bir duruma dönüştürülerek tespit edilmesi gerekmektedir. Ağrı şiddetinin ölçüldüğü yöntemler temel olarak çok boyutlu ve tek boyutlu ölçekler şeklinde adlandırılmaktadır (Ong ve Seymour, 2004). Ağrıyı tüm yönleriyle ele alan çok boyutlu

ölçeklerde değerlendirmelerin uzun sürmesi ve anlaşılmasının güç olması, bu ölçeklerin özellikle akut ağrı ya da tedavi etkinliğinin belirlenmesinde kullanımını sınırlandırmıştır (Ong ve Seymour, 2004). Tek boyutlu ölçekler arasında yer alan sözel, sayısal ve görsel skalalardan ortodonti alanında en çok VAS skalası kullanılmaktadır (Kelly, 2001; Bergius ve ark., 2002). 0 cm'den (ağrı yok) 10 cm'ye (mümkün olan en kötü ağrı) kadar belirgin bir yatay çizgiden oluşan VAS skalası, bireyin öznel ağrı hissini nicel olarak değerlendirmede hassas ve güvenilir bir araç olarak kabul edilmektedir (Stinson ve ark., 2006). VAS skalasının en büyük avantajı basit olması ve yedi yaşından itibaren motor fonksiyonları yerinde olan bütün hastalarda rahatlıkla kullanılabilmesidir. Ayrıca herhangi bir sözcük içermediği için lisandan bağımsız olması elde edilen verilerin istatistik olarak uygun bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır (Ong ve Seymour, 2004). Tez çalışmamızda da hem uygulamasının kolay olması hem de diğer ortodonti çalışmaları ile karşılaştırılabilmesine olanak tanınması nedeniyle ağrı düzeyinin belirlenmesinde VAS skalası kullanılmıştır.

Düşük doz lazer tedavisinin ortodontik ağrıya etkisinin VAS skalası kullanılarak değerlendirildiği çalışmalarda farklı protokoller (uygulama noktaları ve süresi) ve lazer parametrelerinin (enerji, dalga boyu, güç, enerji yoğunluğu) kullanıldığı, ortodontik tedavinin farklı aşamalarında (elastomerik seperasyonların yerleştirilmesi, ilk ortodontik ark teli yerleştirilmesi, kanin diş retraksiyonu, seviyelenme/sıralanma ve debonding) ağrı seviyelerinin değerlendirildiği ve farklı sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir (Ren ve ark., 2015; AlSayed Hasan ve ark., 2018, 2020; Celebi ve ark., 2019; Kaya ve ark., 2021; Qamruddin ve ark., 2021). Ren ve ark. (2015) deney ve kontrol gruplarından oluşan, beşi paralel ve dokuzu bölünmüş ağız olmak üzere toplam 14 randomize kontrollü klinik çalışmayı inceledikleri sistematik derleme ve meta-analizde, düşük doz diyet lazer tedavisinin ortodontik ağrıya etkisini değerlendirmişlerdir. Ortodontik ağrının VAS skalası ve/veya anketler aracılığıyla değerlendirildiği, prevelansı, süresi ve yoğunluğunu ölçüldüğü bu çalışmalardaki metodolojik eksiklikler ve planlanma farklılıklarına bağlı olarak düşük doz lazer tedavisinin ortodontik ağrıya etkisiyle ilgili yeterli kanıtın olmadığı bildirilmiştir.

Literatürde düşük doz lazer tedavisinin dişlerin seviyelenmesi sırasında gözlenen ortodontik ağrıya etkisinin değerlendirildiği sınırlı sayıda çalışma yer almaktadır (Celebi

ve ark., 2019; AlSayed Hasan ve ark., 2020). Bunlardan, Celebi ve ark. (2019) Little'ın düzensizlik indeksine göre üst çenede 3-6 mm çapraşıklığı bulunan ve çekimsiz sabit ortodontik tedavi uygulanan bireylerde düşük doz lazer tedavisinin .014 NiTi ark teli uygulaması sonrası dişlerin seviyelenmesi sırasında gözlenen ortodontik ağrıya etkisini titreşim grubu ve kontrol grubu ile karşılaştırmışlardır. Maksiller 12 dişin bukkal ve palatinal 3 farklı noktadan 16 sn toplamda 25 dk 820 nm dalga boyu, 50 mW güç çıkışı, 0.8 J/point enerji veren ve 1.76 J/cm² enerji yoğunluğuna sahip Ga-Al-As diyot lazer ile ışınladığı çalışmada ağrı düzeyleri 0. saat, 2. saat, 24. saat, 2. gün, 3. gün ve 7. günlerde VAS skalası ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ortodontik ağrının 2. saatten itibaren 24. saate kadar pik yaptığını, 7. güne doğru azaldığını ve gruplar arasında ağrı düzeyleri bakımından istatistik olarak anlamlı fark bulunmadığını bildirmişlerdir. AlSayed Hasan ark. (2020) ise Little'ın düzensizlik indeksine göre üst çenede ön bölgede 7 mm'den fazla çapraşıklığı bulunan ve premolar çekimli sabit ortodontik tedavi uygulanan bireylerde 830 nm dalga boyu, 150 mW güç çıkışı ve 2 J/point enerji aktarımı yapan Ga-Al-As diyot lazer tedavisinin .014 NiTi ark teli uygulaması sonrası dişlerin seviyelenmesi sırasında gözlenen ortodontik ağrıya etkisini kontrol grubu ile karşılaştırmışlardır. Üst çene anterior dişlerin köklerinin bukkal ve palatinalden servikal ve apikal olmak üzere iki farklı noktadan 15'er sn toplamda 6 dk ışınladığı çalışmada ağrı düzeylerini VAS skalası ile 1. saat, 6. saat, 1. gün, 2. gün ve 3. günlerde değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda ortodontik ağrının 24. saatte pik seviyeye ulaştığını ve 3. gün dışında lazer ve kontrol grupları arasında ağrı düzeyleri bakımından anlamlı fark bulunmadığını belirtmişlerdir.

Tez çalışmamızda ise Little'ın düzensizlik indeksine göre alt çene ön bölgede 4-8 mm çapraşıklığı bulunan ve çekimsiz sabit ortodontik tedavi uygulanan bireylerde düşük doz lazer tedavisinin .012 NiTi ark teli uygulaması sonrası gözlenen ortodontik ağrıya etkisi kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. 810 nm dalga boyu, 100 mW güç çıkışı ve 1J/point enerjiye sahip Ga-Al-As diyot lazerin kullanıldığı çalışmamızda alt çene ön bölgedeki dişlerin köklerine bukkalden servikal ve apikal olmak üzere iki farklı noktadan 10'nar saniye toplamda 2 dk lazer ışını uygulanmıştır. 0. saat, 2. saat, 6. saat, 1. gün, 3. gün, 7. gün, 14. gün ve 21. günlerde ağrı düzeylerinin VAS sakalası ile değerlendirildiği çalışmamızın sonucunda ortodontik ağrının kuvvet uygulamasını takiben ilk birkaç saat

içinde ortaya çıktığı, 1. günde en yüksek değere ulaştığı ve 3. günden sonra azalarak 21. günde normal düzeyine döndüğü gözlenmiştir. Grup içlerinde zamana bağlı meydana gelen bu değişikliklerin istatistik olarak anlamlı olduğu ve lazer grubunun 6. saat ve 1. gün VAS değerlerinin kontrol grubuna kıyasla istatistik olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuçlarımızın Celebi ve ark. (2019) ile AlSayed Hasan ve ark.'nın (2020) çalışma sonuçlarıyla genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Minimal farklılıkların ise lazer parametrelerinin ve uygulama protokollerinin farklı olmasından, Celebi ve ark.'nın yaş ve cinsiyet dağılımlarını belirtmemiş olmasından, AlSayed ve ark.'nın gruplar arası yaş ortalamasının farklı olması aynı zamanda cinsiyet dağılımının eşit olmamasından son olarak da bu iki çalışmanın maksiller dişlerde yapılmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sabit ataşmanların yapıştırılmasından sonra sadece ağrı düzeylerinin 7 gün süresince incelendiği çalışmalardan, 170 ortodonti hastasının başlangıç ark teli uygulaması sonrası değerlendirildiği Scheurer ve ark.'nın (1996) çalışmasında ilk 4 saatte %64,7, 24. saatte %94, 48. saatte %85,4 hasta ağrı oluştuğu, sonraki 3. gün, 4. gün, 5. gün, 6. gün ve 7. günlerde ise bu yüzdelerin gittikçe azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca, çoğu hastada ilk 7 günde ağrı düzeyinde bir azalma gözlene de %25,5'inin hala ağrı duyduklarını belirtmişlerdir. 120 ortodonti hastasının başlangıç ark teli uygulaması sonrası değerlendirildiği Fernandes ve ark.'nın (1998) çalışmasında ise VAS skalası ile değerlendirilen ağrı düzeyinin 1. günün gecesine kadar her saat arttığı, sonra azalarak 7. günde başlangıç seviyesine geldiği ifade edilmiştir. Ortodontik ağrının şiddet ve süresini belirlemek için yapılan bu çalışmaların sonuçları tez çalışmamızın kontrol grubunun 7. güne kadar olan sonuçlarıyla da benzerlik göstermiştir (Scheurer ve ark., 1996; Fernandes ve ark., 1998).

Fotobiyomodülasyon tedavisinde uygulanan ışın aynı dalga boyunda olduğu sürece ışık kaynağının çalışma prensipleri aynı olan ve ışık yayan diyot olarak adlandırılan LED veya düşük doz lazer olmasının önemli olmadığı belirtilmiştir (Heiskanen ve Hamblin, 2018). Güncel bir literatür taraması fotobiyomodülasyon uygulaması sonrası dişlerin seviyelenme sürelerinin değerlendirildiği sınırlı sayıda klinik çalışma olduğunu göstermiştir. Bunlardan, LED cihazının kullanıldığı üç çalışmada ekstraoral LED uygulaması (Kau ve ark., 2013; Nahas ve ark., 2017; Lo Giudice ve ark.,

2020), üç tanesinde ise intraoral LED uygulamasının (Shaughnessy ve ark., 2016; Caccianiga ve ark.,2017; Okla ve ark., 2018) yapıldığı saptanmıştır. Düşük doz lazer tedavisinin ise sadece bir çalışmada uygulandığı belirlenmiştir (AlSayed Hasan ve ark., 2017).

Ekstraoral OrthoPulse ve ATP38® LED cihazlarının kullanıldığı üç çalışmada metodolojik farklılıklar bulunmasına rağmen seviyelenme esnasında diş hareket hızının artmasına bağlı olarak ortodontik tedavi süresinin anlamlı olarak azaldığı ifade edilmiştir. Bunlardan; Kau ve ark. (2013) 850 nm dalga boyuna ve 60 mW/cm² güç çıkışına sahip ekstraoral OrthoPulse LED (Biolum Research, Vancouver, Canada) cihazıyla 20 dk/gün, 30 dk/gün veya 60 dk/hafta'lık sürelerde toplamda 72 J/cm², 108 J/cm² veya 216 J/cm² enerji yoğunluğu elde edecek şekilde yanağı ışınlamışlardır. LED ve kontrol gruplarında Little'ın düzensizlik indeksi ortalamasının sırasıyla 6,35 mm ve 5,04 mm olduğu belirlenmiştir. Kadın ve erkek oranlarının dengeli dağılmadığı çalışmada sabit ortodontik tedavi uygulanan bireylerin 10-36 yıl yaş aralığında yer aldığı gözlenmiştir. Tüm bireylerde ilk seviyelenme ark teli için çapraşıklık miktarına göre 014 NiTi veya 016 NiTi uygulandığı görülmüştür. Ortalama haftalık diş hareketinin LED grubunda 1,12 mm, kontrol grubunda ise 0,49 mm olduğu sonucuna varmışlardır.

Nahas ve ark. (2017) alt çene anterior bölgede Little'ın düzensizlik indeksine göre ortalama LED grubunda 5,64 mm, kontrol grubunda ise 5,62 mm çapraşıklığı bulunan ve çekimsiz sabit ortodontik tedavi uygulanan bireylerde 850 nm dalga boyuna ve 90 mW/cm² güç çıkışına sahip ekstraoral OrthoPulse LED (Biolum® Ltd., Vancouver, Canada) cihazıyla günlük 20 dk toplamda 108 J/cm² enerji yoğunluğu elde edecek şekilde yanağı ışınlamışlardır. Cinsiyet dağılımına ilişkin herhangi bir bilginin verilmediği çalışmada yaş ortalamalarının ise LED ve kontrol gruplarında sırasıyla 21,8 yıl ve 21,1 yıl olduğu gözlenmiştir. Sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılmasından sonra başlangıç ark teli olarak ısıyla aktive olan .016 NiTi (HANT) uygulanmış sonrasında ise .018 NiTi uygulanarak alt anterior dişlerin seviyelenmesi tamamlanıncaya kadar aynı ark telinde bekletilmiştir. Ortalama tedavi süresinin LED grubunda 68,3 gün, kontrol grubunda ise 87,8 gün olduğu bulunmuştur.

Lo Giudice ve ark. (2020) ise çekimsiz sabit ortodontik tedavi uygulanılan bireylerin alt çene dental arklarında ekstraoral ATP38® (Biotech Dental, Alle e de Craponne, Salon deProvence, Fransa) LED cihazının tedavi etkinliğini kontrol grubu ile karşılaştırmışlardır. Bu cihaz, alanına bağlı olarak 450 nm ila 835 nm dalga boylarının bir kombinasyonu ile soğuk polikromatik ışıklar yayan çok panelli bir sisteme sahiptir. Panellerin toplam enerji yoğunluğu 48 J/cm^2 olup, etkili bir fotobiyomodülasyon için ilk seansta 8 dk 144 J/cm^2 enerji yoğunluğu uygulanmış ve bu uygulama 14 günde bir tekrar edilmiştir. LED ve kontrol gruplarında sırasıyla Little'ın düzensizlik indeksi ortalaması 7,38 mm ve 6,89 mm, yaş ortalamasının 19,02 yıl ve 17,86 yıl ve cinsiyet dağılımının ise nispeten dengeli olduğu gözlenmiştir. Sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılmasından sonra başlangıç ark teli olarak ısıyla aktive olan .016 NiTi (HANT) uygulanmış, sonrasında 19x25 NiTi ark teline kadar ilerlenmiştir. Ortalama tedavi süresinin LED ve kontrol gruplarında sırasıyla 203 gün ve 260 gün olduğu belirlenmiştir.

İntraoral LED cihazlarının kullanıldığı üç çalışmada da metodolojik farklılıklar bulunmasına rağmen seviyelenme esnasında diş hareket hızının artmasına bağlı olarak ortodontik tedavi süresinin anlamlı olarak azaldığı ifade edilmiştir. Bunlardan; çekimsiz sabit ortodontik tedavi uygulanılan bireylerde 850 nm dalga boyuna, 42 mW/cm^2 güç çıkışına sahip intraoral OrthoPulse® (Biolum Vancouver, BC, Canada) cihazının kullanıldığı Shaughnessy ve ark.'nın (2016) çalışmasında her bir ark için günde 3,8 dk ışınlama yapılmıştır. LED ve kontrol gruplarına sırasıyla 18 ve 10 dental arkın dahil edildiği, Little'ın düzensizlik indeksi ortalaması 5,8 mm ve 7,3 mm, yaş ortalamasının 14,1 yıl ve 13,5 yıl ve cinsiyet dağılımının nispeten dengeli olduğu belirlenmiştir. Sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılmasından sonra başlangıç ark teli olarak .016 NiTi, sonrasında ise .018 NiTi ark teli uygulandığı görülmüştür. Seviyelenme sürelerinin LED ve kontrol gruplarında sırasıyla 48 gün ve 104 gün olduğu belirlenmiştir.

Çekimsiz sabit ortodontik tedavi uygulanılan ve 980 nm dalga boyuna, 1 W/cm^2 güç çıkışına sahip intraoral Wiser LED (Doctor Smile–Lambda Spa, Brendola, VI) cihazının kullanıldığı bir diğer çalışmada mandibular dental arkta dişlerin seviyelenme /sıralanma süreleri değerlendirilmiştir. LED ışını, ilk seansta mandibular dental arkta dört farklı noktadan toplam 50 saniye olacak şekilde üst üste üç defa 2 dk'lık aralıklarla uygulanmış ve toplamda 150 J/cm^2 enerji yoğunluğu elde edilmiştir. Sonrasında ise aylık

kontrollerde bir defa olacak şekilde uygulanmıştır. Sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılmasından sonra başlangıç ark teli .014 termal NiTi'yi takiben sırasıyla 16x22 ve 17x25 termal NiTi ark telleri uygulanmıştır. LED ve kontrol gruplarında Little'ın düzensizlik indeksi ortalaması 9,08 mm ve 8,86 mm, yaş ortalamasının 17,11 yıl ve 16,83 yıl ve cinsiyet dağılımının nispeten dengeli olduğu belirlenmiştir. Seviyelenme/sıralanma sürelerinin LED ve kontrol gruplarında sırasıyla 211,8 gün ve 284.1 gün olduğu bulunmuştur (Caccianiga ve ark., 2017).

Okla ve ark. (2018) ise maksiller anterior bölgede Little'ın düzensizlik indeksine göre LED grubunda 5,7 kontrol grubunda ise 5,0 mm çapraşıklığı bulunan çekimsiz sabit ortodontik tedavi uygulanan bireylerde 850 nm dalga boyuna ve 0,065 J/cm² enerji yoğunluğuna sahip intraoral OrthoPulse® (Biolum Vancouver, BC, Kanada) LED cihazıyla ark başına günde 5 dakika ışınlama yapmışlardır. Kadın ve erkek oranlarının dağılımına ilişkin herhangi bir bilginin verilmediği çalışmada, yaş ortalamasının LED ve kontrol gruplarında sırasıyla 16,7 yıl ve 13,2 yıl olduğu saptanmıştır. Tüm bireylerde sırasıyla .016 NiTi (HANT), 19x25 NiTi (HANT) ve 19x25 paslanmaz çelik ark tellerin paslanmaz çelik ligatürlerle kullanıldığı görülmüştür. Ortalama seviyelenme/sıralanma sürelerinin LED ve kontrol gruplarında sırasıyla 41,0 gün ve 63,3 gün olduğu belirlenmiştir.

810 nm dalga boyu, 100 mW güç çıkışı ve 8 J/cm² enerji yoğunluğuna sahip Ga-Al-As diyot lazerin kullanıldığı tez çalışmamızda da lazer ve kontrol gruplarında sırasıyla Little'ın düzensizlik indeksinin 6,57 mm ve 6,45 mm, yaş ortalamasının 15,61 yıl ve 17,16 yıl ve kadın erkek oranlarının dengeli dağıldığı belirlenmiştir. Çekimsiz sabit ortodontik tedavinin uygulandığı tüm bireylerde ortodontik ataşmanların yapıştırılmasından sonra .012 NiTi ark teli elastik ligatürler aracılığıyla uygulanmış ve seviyelenme süresince aynı ark telinde bekletilmiştir. Lazer grubundaki (111,8 gün) seviyelenme süresi kontrol grubuna (135,67 gün) kıyasla daha kısa bulunmasına rağmen, aralarındaki farkın istatistik olarak anlamlı olmadığı saptanmıştır. Ayrıca, tez çalışmamızdaki seviyelenme süresinin Nahas ve ark. (2017), Shaughnessy ve ark. (2016) ve Okla ve ark.'nın (2018) çalışmalarından daha uzun, Lo Giudice ve ark. (2020) ile Caccianiga ve ark.'nın (2017) çalışmalarından ise daha kısa olduğu belirlenmiştir. Sonuçlardaki farklılıkların sabit ortodontik tedavinin çekimli mi çekimsiz mi olduğu

konusunda bir çalışmada kesin bilginin verilmemesinden (Kau ve ark., 2013), Little'ın düzensizlik indeksi değerlerindeki farklılıklardan, yaş ve cinsiyet dağılımındaki farklılıklardan ve kullanılan LED cihazları ile uygulama yöntemlerindeki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceğini düşünmekteyiz. Bununla birlikte, ekstraoral LED uygulamalarında istenilen bölge dışında alt üst çene tüm dişlerin ısınlması ve verilen enerji yoğunluğunun %80-95 oranında yanaklar tarafından emilmesi bu uygulamaların standardizasyonu açısından büyük dezavantaj oluşturduğunu düşünmekteyiz. İntraoral uygulamalarda ise uygulamaların bir kısmının hasta tarafından yapılması, uygulama sonucunun hastanın beyanına bağlı olması ve hastaların uygulama sürelerinin bilinmemesi dezavantaj oluşturmaktadır.

Uygulanan düşük doz lazer tedavisinin türü bakımından tez çalışmamızla uyumlu tek çalışma ise AlSayed Hasan ve ark. (2017) tarafından yapılmıştır. Lazer ve kontrol gruplarında sırasıyla Little'ın düzensizlik indeksinin 8,91 mm ve 10,8 mm, yaş ortalesının 18,53 yıl ve 21,61 yıl olduğu ve kadın erkek oranlarının nispeten dengeli dağıldığı belirlenmiştir. Birinci premolar çekimli sabit ortodontik tedavi uygulanan 26 bireyde maksiller kesici dişlerin seviyelenme sürelerinin değerlendirildiği çalışmada 830 nm dalga boyuna, 150 mW güç çıkışına ve 2 J/point enerjiye sahip Ga-Al-As diyot lazer kullanılmıştır. Tüm bireylerde sırasıyla .014 NiTi, 16x16 NiTi, 17x25 NiTi ve 19x25 NiTi ark telleri kullanılmıştır. Sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılması ve başlangıç ark teli olan .014 NiTi'nin uygulamasından hemen sonra lazer ışını maksiller anterior dişlere servikal ve apikalde iki bukkal iki de palatinal olmak üzere toplam dört noktadan uygulanmıştır. Her noktaya 15 sn olmak üzere bir dişe toplamda 1 dk ısınlama yapılmıştır. Lazer ışını uygulamasına sabit ortodontik ataşmanların yapıştırılması ve başlangıç ark teli uygulanmasından hemen sonra başlanılmış (0. gün), 3. gün, 7. gün, 14. gün ve daha sonra her 15 günde bir seviyelenme/sıralanma gerçekleşene kadar devam edilmiştir. Seviyelenme/sıralanma süresinin lazer ve kontrol gruplarında sırasıyla 81,23 gün ve 109,23 gün olduğu ve gruplar arasındaki farkın istatistik olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar tez çalışmamızın sonuçlarından daha kısa olmasına rağmen kısmen benzerlik göstermektedir. Seviyelenme/sıralanma süresi bakımından lazer ve kontrol grupları arasındaki fark AlSayed Hasan ve ark.'nın (2017) çalışmasında 28 gün iken, tez çalışmamızda 23,87 gün olarak belirlenmiştir. AlSayed Hasan ve ark.'nın (2017)

alışmasında ekimli sabit ortodontik tedavinin uygulanmış, maksiller anterior dişlerin değeriendirilmiş ve sırasıyla .014 NiTi, 16x16 NiTi, 17x25 NiTi ve 19x25 NiTi ark tellerinin kullanılmış olmasının bu farklılıkların nedeni olabileceğini düşünmekteyiz.

Çalışmamızın bulgularına göre ilk Null (sıfır) hipotezimiz kabul edilmiş; ikinci Null (sıfır) hipotezimiz ise kısmen kabul edilmiştir. Sınırlı örneklem büyüklüğü, aynı Little'ın düzensizlik indeksi değerlerine sahip hastaların çalışmaya dahil edilememiş olması, tek dalga boyunda düşük doz lazer tedavisinin uygulanması, sadece seviyelenmenin değeriendirilmiş olması ve diş hareket hızının zaman göre değeriendirilmemiş olması bu tez çalışmasının başlıca limitasyonları arasındadır. Bu nedenle, daha geniş örneklem büyüklüğünde farklı dalga boyu, çıkış gücü ve enerji yoğunluğa sahip düşük doz lazerlerin farklı prosedürlerle uygulandığı, seviyelenme/sıralanma ve zamana göre diş hareket hızının değeriendirildiği yeni kontrollü klinik çalışmalar yapılması önerilmektedir.

Sonuç ve Öneriler:

1. Ortodontik tedavi öncesi ve 1. ay, 2. ay ve 3. ayda alınan gingival indeks, plak indeksi ve cep derinliği değerieleri bakımından lazer ve kontrol grupları arasında istatistik olarak anlamlı fark bulunamamıştır.
2. Lazer ve kontrol gruplarının gingival indeks, plak indeks ve cep derinliği değerielerinin ortodontik tedavi öncesi ve 1. ay, 2. ay ve 3. ayda alınan zamana göre grup içi karşılaştırmalarında istatistik olarak anlamlı fark görülmemiştir.
3. Lazer ve kontrol gruplarından elde edilen VAS değerielerinde, ağrının kuvvet uygulamasını takip eden ilk birkaç saat içinde ortaya çıktığı, birinci günde en yüksek değerielere ulaştığı ve üçüncü günden sonra azalarak 21. gün sonra normal düzeyine döndüğü gözlenmiştir.
4. Lazer grubunun 6. saat ve 1. gün VAS değerielerinin kontrol grubuna kıyasla istatistik olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir.
5. Ortalama seviyelenme süresinin lazer grubunda $111,8 \pm 42,9$ gün, kontrol grubunda ise $135,67 \pm 49,65$ gün olduğu belirlenmiştir. Ortalama seviyelenme

süreleri bakımından lazer ve kontrol grupları arasındaki fark istatistik olarak anlamlı bulunmamıştır.

6. Daha geniş örneklem büyüklüğünde farklı dalga boyu, çıkış gücü ve enerji yoğunluğa sahip düşük doz lazerlerin farklı prosedürlerle uygulandığı, seviyelenme/sıralanma ve zamana göre diş hareket hızının değerlendirildiği yeni kontrollü klinik çalışmalar yapılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Abbas NH, Sabet NE, Hassan IT. Evaluation of corticotomy-facilitated orthodontics and piezocision in rapid canine retraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149(4):473-80.
- Abdelrahman RS, Al-Nimri KS, Al Maaitah EF. A clinical comparison of three aligning archwires in terms of alignment efficiency: A prospective clinical trial. *Angle Orthod.* 2015;85(3):434-9.
- Acar YB, Biren S. Hızlandırılmış ortodontik diş hareketinde farmakolojik uygulamalar. *Türkiye Klinikleri J Orthod- Özel Sayı.* 2018;4(1):14-20.
- Afzal E, Fida M, Malik DS, Irfan S, Gul M. Comparison between conventional and piezocision-assisted orthodontics in relieving anterior crowding: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2021;43(3):360-66.
- Agata H, Asahina I, Yamazaki Y, Uchida M, Shinohara Y, Honda MJ, Kagami H, Ueda M. Effective bone engineering with periosteum-derived cells. *J Dent Res.* 2007;86(1):79-83.
- Alansari S, Sangsuwon C, Vongthongleur T, Kwal R, Teo M chneh, Lee YB, Nervina J, Teixeira C, Alikhani M. Biological principles behind accelerated tooth movement. *Semin Orthod.* 2015;21(3):151-61.
- Alikhani M, Alansari S, Sangsuwon C, Nervina J, Teixeira C. Biphase Theory of Tooth Movement: Cytokine Expression and Rate of Tooth Movement. Shroff B, editor. *Biology of Orthodontic Tooth Movement: Current Concepts and Applications in Orthodontic Practice.* USA: Springer; 2016.
- Alikhani M, Raptis M, Zoldan B, Sangsuwon C, Lee YB, Alyami B, et al. Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(5):639-48.
- Almeida-Lopes L, Rigau J, Zângaro RA, Guidugli-Neto J, Jaeger MM. Comparison of the low level laser therapy effects on cultured human gingival fibroblasts proliferation using different irradiance and same fluence. *Lasers Surg Med.* 2001;29(2):179-84.
- AlSayed Hasan MMA, Sultan K, Ajaj M, Voborná I, Hamadah O. Low-level laser therapy effectiveness in reducing initial orthodontic archwire placement pain in premolars extraction cases: a single-blind, placebo-controlled, randomized clinical trial. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):209.
- AlSayed Hasan MMA, Sultan K, Hamadah O. Low-level laser therapy effectiveness in accelerating orthodontic tooth movement: A randomized controlled clinical trial. *Angle Orthod.* 2017;87(4):499-504.
- AlSayed Hasan MMA, Sultan K, Hamadah O. Evaluating low-level laser therapy effect on reducing orthodontic pain using two laser energy values: a split-mouth randomized placebo-controlled trial. *Eur J Orthod.* 2018;40(1):23-8.
- Altan BA, Sokucu O, Ozkut MM, Inan S. Metrical and histological investigation of the effects of low-level laser therapy on orthodontic tooth movement. *Lasers Med Sci.* 2012;27(1):131-40.

- Amat A, Rigau J, Nicolau R, Aalders MCG, Fenoll-Brunet MR, van Gemert M, Tomàs J. Effect of red and near-infrared laser light on adenosine triphosphate (ATP) in the luciferine–luciferase reaction. *J Photochem Photobiol B*. 2004;168:59-65.
- Andrade I, Sousa AB dos S, da Silva GG. New therapeutic modalities to modulate orthodontic tooth movement. *Dental Press J Orthod*. 2014;19(6):123-33.
- de Araújo Gurgel J, Pinzan-Vercelino CRM, Ferreira MC, de Oliveira da Silva D, Flores-Mir C, Schwartz EA. Effectiveness of two thermal activated orthodontic archwire sequences based on transition temperature range during alignment: A randomized non-controlled comparative study. *Int Orthod*. 2020;18(4):706-13.
- Arias OR, Marquez-Orozco MC. Aspirin, acetaminophen, and ibuprofen: their effects on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006;130(3):364-70.
- Arisu HD, Türköz E, Bala O. Effects of Nd:Yag laser irradiation on osteoblast cell cultures. *Lasers Med Sci*. 2006;21(3):175-80.
- Arumughan S, Somaiah S, Muddaiah S, Shetty B, Reddy G, Roopa S. A Comparison of the Rate of Retraction with Low-level Laser Therapy and Conventional Retraction Technique. *Contemp Clin Dent*. 2018;9(2):260-6.
- Ashcraft MB, Southard KA, Tolley EA. The effect of corticosteroid-induced osteoporosis on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1992;102(4):310-9.
- Asiry MA. Biological aspects of orthodontic tooth movement: A review of literature. *Saudi J Biol Sci*. 2018;25(6):1027-32.
- Austrup ML, Korean G. Analgesic agents for the postoperative period. Opioids. *Surg Clin North Am*. 1999;79(2):253-73.
- Baggett F, Mackie I, Blinkhorn A. The clinical use of the Nd : YAG laser in paediatric dentistry for the removal of oral soft tissue. *Br Dent J*. 1999;187:528-30.
- Bakdach WMM, Hadad R. Effectiveness of low-level laser therapy in accelerating the orthodontic tooth movement: A systematic review and meta-analysis. *Dent Med Probl*. 2020;57(1):73-94.
- Bartzela T, Türp JC, Motschall E, Maltha JC. Medication effects on the rate of orthodontic tooth movement: a systematic literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;135(1):16-26.
- Basciftci FA, Uysal T, Buyukerkmen A. Craniofacial structure of Anatolian Turkish adults with normal occlusions and well-balanced faces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004;125(3):366-72.
- Bassett CA, Becker RO. Generation of electric potentials by bone in response to mechanical stress. *Science*. 1962;137(3535):1063-4.
- Baumrind S. A reconsideration of the propriety of the “pressure-tension” hypothesis. *Am J Orthod*. 1969;55(1):12-22.
- Bavbek NC, Tuncer BB, Tortop T, Celik B. Efficacy of different methods to reduce pain during debonding of orthodontic brackets. *Angle Orthod*. 2016;86(6):917-924.

- Bayani S, Rostami S, Ahrari F, Saeedipouya I. A randomized clinical trial comparing the efficacy of bite wafer and low level laser therapy in reducing pain following initial arch wire placement. *Laser Ther.* 2016;25(2):121-9.
- Bergius M, Berggren U, Kiliaridis S. Experience of pain during an orthodontic procedure. *Eur J Oral Sci.* 2002;110(2):92-8.
- Bergius M, Kiliaridis S, Berggren U. Pain in orthodontics. A review and discussion of the literature. *J Orofac Orthop.* 2000;61(2):125-37.
- Bernabé E, Flores-Mir C. Estimating arch length discrepancy through Little's Irregularity Index for epidemiological use. *Eur J Orthod.* 2006;28(3):269-73.
- Bhattacharya P, Bhattacharya H, Anjum A, Bhandari R, Agarwal DK, Gupta A, Ansar J. Assessment of corticotomy facilitated tooth movement and changes in alveolar bone thickness - A CT Scan Study. *J Clin Diagn Res.* 2014;8(10):ZC26-30.
- Burke B, Hamdan AM, Tufekci E, Shroff B, Best AM, Lindauer SJ. Perceptions of soft tissue laser use in orthodontics. *Angle Orthod.* 2012;82(1):75-83.
- Burrow SJ, Sammon PJ, Tuncay OC. Effects of diazepam on orthodontic tooth movement and alveolar bone cAMP levels in cats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1986;90(2):102-5.
- Caccianiga G, Crestale C, Cozzani M, Piras A, Mutinelli S, Lo Giudice A, Cordasco G. Low-level laser therapy and invisible removal aligners. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2016;30(2 Suppl 1):107-13.
- Caccianiga G, Paiusco A, Perillo L, Nucera R, Pinsino A, Maddalone M, Cordasco G, Lo Giudice A. Does Low-Level Laser Therapy Enhance the Efficiency of Orthodontic Dental Alignment? Results from a Randomized Pilot Study. *Photomed Laser Surg.* 2017;35(8):421-6.
- Cai Y. A three-dimensional finite element analysis of the effect of archwire characteristics on the self-ligating orthodontic tooth movement of the canine. *Technol Health Care.* 2019;27(S1):195-204.
- Carroll JD, Milward MR, Cooper PR, Hadis M, Palin WM. Developments in low level light therapy (LLLT) for dentistry. *Dent Mater.* 2014;30(5):465-75.
- Casalechi HL, Nicolau RA, Casalechi VL, Silveira L, De Paula AMB, Pacheco MTT. The effects of low-level light emitting diode on the repair process of Achilles tendon therapy in rats. *Lasers Med Sci.* 2009;24(4):659-65.
- Casko JS, Vaden JL, Kokich VG, Damone J, James RD, Cangialosi TJ ve ark. Objective grading system for dental cast and panoramic radiographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;114(5):589-99.
- Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B. The finite element method: a tool to study orthodontic tooth movement. *J Dent Res.* 2005;84(5):428-33.
- Čelar A, Schedlberger M, Dörfler P, Bertl M. Systematic review on self-ligating vs. conventional brackets: initial pain, number of visits, treatment time. *J Orofac Orthop.* 2013;74(1):40-51.

- Celebi F, Turk T, Bicakci AA. Effects of low-level laser therapy and mechanical vibration on orthodontic pain caused by initial archwire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019;156(1):87-93.
- Cernavin I, Pugatschew A, de Boer N, Tyas MJ. Laser applications in dentistry: a review of the literature. *Aust Dent J.* 1994;39(1):28-32.
- Chakkalakal DA. Alcohol-induced bone loss and deficient bone repair. *Alcohol Clin Exp Res.* 2005;29(12):2077-90.
- Charavet C, Lecloux G, Bruwier A, Rompen E, Maes N, Limme M, Lambert F. Localized Piezoelectric Alveolar Decortication for Orthodontic Treatment in Adults: A Randomized Controlled Trial. *J Dent Res.* 2016;95(9):1003-9.
- Chavarría-Bolaños D, Martínez-Zumaran A, Lombana N, Flores-Reyes H, Pozos-Guillen A. Expression of substance P, calcitonin gene-related peptide, β -endorphin and methionine-enkephalin in human dental pulp tissue after orthodontic intrusion: a pilot study. *Angle Orthod.* 2014;84(3):521-6.
- Chung H, Dai T, Sharma SK, Huang Y-Y, Carroll JD, Hamblin MR. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Ann Biomed Eng.* 2012;40(2):516-33.
- Cohen M, Quintner J, van Rysewyk S. Reconsidering the international association for the study of pain definition of pain. *Pain Rep.* 2018;3(2):e634.
- Collins MK, Sinclair PM. The local use of vitamin D to increase the rate of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988;94(4):278-84.
- Coluzzi DJ. An overview of laser wavelengths used in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2000;44(4):753-65.
- Coluzzi DJ. Fundamentals of dental lasers: science and instruments. *Dent Clin North Am.* 2004;48(4):751-7.
- Convissar RA. Principles and Practice of Laser Dentistry. Second Edition. New York: Elsevier Mosby;2016. Chapter 2, Laser Fundamentals;p.12-26.
- Convissar RA. Principles and Practice of Laser Dentistry. Second Edition. New York: Elsevier Mosby;2016. Chapter 15, Photobiomodulation in Dentistry;p.251-258.
- Cruz DR, Kohara EK, Ribeiro MS, Wetter NU. Effects of low-intensity laser therapy on the orthodontic movement velocity of human teeth: a preliminary study. *Lasers Surg Med.* 2004;35(2):117-20.
- Dalaie K, Hamed R, Kharazifard MJ, Mahdian M, Bayat M. Effect of Low-Level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement: A Clinical Investigation. *J Dent (Tehran).* 2015;12(4):249-56.
- Daniell MD, Hill JS. A history of photodynamic therapy. *Aust N Z J Surg.* 1991;61(5):340-8.
- Darendeliler MA, Sinclair PM, Kusy RP. The effects of samarium-cobalt magnets and pulsed electromagnetic fields on tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995;107(6):578-88.

- Darendeliler MA, Zea A, Shen G, Zoellner H. Effects of pulsed electromagnetic field vibration on tooth movement induced by magnetic and mechanical forces: a preliminary study. *Aust Dent J*. 2007;52(4):282-7.
- Davidovitch Z, Finkelson MD, Steigman S, Shanfeld JL, Montgomery PC, Korostoff E. Electric currents, bone remodeling, and orthodontic tooth movement. II. Increase in rate of tooth movement and periodontal cyclic nucleotide levels by combined force and electric current. *Am J Orthod*. 1980;77(1):33-47.
- Demirsoy KK, Kurt G. Use of laser systems in orthodontics. *Turk J Orthod*. 2020;33(2):133-40.
- DenBesten PK, White JM, Pelino JEP, Furnish G, Silveira A, Parkins FM. The Safety and Effectiveness of an Er:YAG Laser for Caries Removal and Cavity Preparation in Children. *Med Laser Appl*. 2001;16(3):215-22.
- Deshpande P, Patil K, Mahima VG, Shivalinga BM, Suchetha M, Ranjan A. Low-level laser therapy for alleviation of pain from fixed orthodontic appliance therapy: A randomized controlled trial. *J Adv Clin Res Insights*. 2016;3(2):43-6.
- Dias FJ, Issa JPM, Vicentini FTM de C, Fonseca MJV, Leão JC, Siéssere S, Regalo SCH, Iyomasa MM. Effects of low-level laser therapy on the oxidative metabolism and matrix proteins in the rat masseter muscle. *Photomed Laser Surg*. 2011;29(10):677-84.
- Dibart S. Piezocision™: Accelerating Orthodontic Tooth Movement While Correcting Hard and Soft Tissue Deficiencies. *Front Oral Biol*. 2016; 18:102-108.
- Diravidamani K, Sivalingam SK, Agarwal V. Drugs influencing orthodontic tooth movement: An overall review. *J Pharm Bioallied Sci*. 2012;4(Suppl 2):299-303.
- Domínguez Camacho A, Montoya Guzmán D, Velásquez Cujar SA. Effective Wavelength Range in Photobiomodulation for Tooth Movement Acceleration in Orthodontics: A Systematic Review. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*. 2020;38(10):581-90.
- Doshi-Mehta G, Bhad-Patil WA. Efficacy of low-intensity laser therapy in reducing treatment time and orthodontic pain: a clinical investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012;141(3):289-97.
- Dudic A, Giannopoulou C, Kiliaridis S. Factors related to the rate of orthodontically induced tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013;143(5):616-21.
- Ekizer A, Uysal T, Güray E, Akkuş D. Effect of LED-mediated-photobiomodulation therapy on orthodontic tooth movement and root resorption in rats. *Lasers Med Sci*. 2015;30(2):779-85.
- El-Angebawi A, McIntyre GT, Fleming PS, Bearn DR. Non-surgical adjunctive interventions for accelerating tooth movement in patients undergoing fixed orthodontic treatment. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;(11):CD010887.
- Engström C, Granström G, Thilander B. Effect of orthodontic force on periodontal tissue metabolism. A histologic and biochemical study in normal and hypocalcemic young rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1988;93(6):486-95.
- Erdinç AME, Dinçer B. Perception of pain during orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod*. 2004;26(1):79-85.

- Eslamian L, Borzabadi-Farahani A, Hassanzadeh-Azhiri A, Badiee MR, Fekrazad R. The effect of 810-nm low-level laser therapy on pain caused by orthodontic elastomeric separators. *Lasers Med Sci.* 2014;29(2):559-64.
- Farias RD, Closs LQ, Miguens SAQ. Evaluation of the use of low-level laser therapy in pain control in orthodontic patients: A randomized split-mouth clinical trial. *Angle Orthod.* 2016;86(2):193-8.
- Fekrazad R, Asefi S, Allahdadi M, Kalhori KAM. Effect of Photobiomodulation on Mesenchymal Stem Cells. *Photomed Laser Surg.* 2016;34(11):533-42.
- Feller L, Khammissa R.A.G, Schechter I, Moodley A, Thomadakis G, Lemmer J. Periodontal biological events associated with orthodontic tooth movement: The biomechanics of the cytoskeleton and the extracellular matrix. *Sci World J.* 2015; 894123.
- Feller L, Khammissa RAG, Siebold A, Hugo A, Lemmer J. Biological events related to corticotomy-facilitated orthodontics. *J Int Med Res.* 2019;47(7):2856-64.
- Fernandes LM, Ogaard B, Skoglund L. Pain and discomfort experienced after placement of a conventional or a superelastic NiTi aligning archwire. A randomized clinical trial. *J Orofac Orthop.* 1998;59(6):331-9.
- Ferreira CL, da Rocha VC, da Silva Ursi WJ, De Marco AC, Santamaria M, Santamaria MP, Jardini MAN. Periodontal response to orthodontic tooth movement in diabetes-induced rats with or without periodontal disease. *J Periodontol.* 2018;89(3):341-50.
- Fleming PS, Fedorowicz Z, Johal A, El-Angbawi A, Pandis N. Surgical adjunctive procedures for accelerating orthodontic treatment. *Cochrane Database Syst Rev.* 30 2015;(6):CD010572.
- Fleming PS, Johal A. Self-ligating brackets in orthodontics. A systematic review. *Angle Orthod.* 2010;80(3):575-84.
- Frost H. Presence of microscopic cracks in vivo in bone. *Henry Ford Hosp Med J.* 1960;8(1):25-35.
- Frost HM. The regional acceleratory phenomenon: a review. *Henry Ford Hosp Med J.* 1983;31(1):3-9.
- Frost HM. Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. *Angle Orthod.* 1994;64(3):175-88.
- Fujita S, Yamaguchi M, Utsunomiya T, Yamamoto H, Kasai K. Low-energy laser stimulates tooth movement velocity via expression of RANK and RANKL. *Orthod Craniofac Res.* 2008;11(3):143-55.
- Fukada E, Yasuda I. On the Piezoelectric Effect of Bone. *J Phys Soc Jpn.* 15 1957;12(10):1158-62.
- Gameiro GH, Pereira-Neto JS, Magnani MBB de A, Nouer DF. The influence of drugs and systemic factors on orthodontic tooth movement. *J Clin Orthod.* 2007;41(2):73-71.
- Ge MK, He WL, Chen J, Wen C, Yin X, Hu ZA, Liu ZP, Zou SJ. Efficacy of low-level laser therapy for accelerating tooth movement during orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2015;30(5):1609-18.

- Gianelly AA. Force-induced changes in the vascularity of the periodontal ligament. *Am J Orthod.* 1969;55(1):5-11.
- Gibreal O, Hajeer MY, Brad B. Efficacy of piezocision-based flapless corticotomy in the orthodontic correction of severely crowded lower anterior teeth: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2019;41(2):188-95.
- Gkantidis N, Mistakidis I, Kouskoura T, Pandis N. Effectiveness of non-conventional methods for accelerated orthodontic tooth movement: a systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2014;42(10):1300-19.
- Goulart CS, Nouer PRA, Mouramartins L, Garbin IU, de Fátima Zanirato Lizarelli R. Photoradiation and orthodontic movement: experimental study with canines. *Photomed Laser Surg.* 2006;24(2):192-6.
- Graber LW, Vanarsdall RL, Vig KWL, Huang GJ. *Orthodontics: current principles and techniques.* 6th ed. St.Louis: Elsevier; 2016.
- Grimm FM. Bone bending, a feature of orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics.* 1972;62(4):384-93.
- Guram G, Reddy RK, Dharamsi AM, Syed Ismail PM, Mishra S, Prakashkumar MD. Evaluation of Low-Level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement: A Randomized Control Study. *Contemp Clin Dent.* 2018;9(1):105-9.
- Gurton AU, Akin E, Sagdic D, Olmez H. Effects of PGI2 and TxA2 analogs and inhibitors in orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 2004;74(4):526-32.
- Güleç A, Bakkalbaşı BÇ, Cumbul A, Uslu Ü, Alev B, Yarat A. Effects of local platelet-rich plasma injection on the rate of orthodontic tooth movement in a rat model: A histomorphometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151(1):92-104.
- Habib FAL, Gama SKC, Ramalho LMP, Cangussú MCT, Santos Neto FP, Lacerda JA, Araújo TM, Pinheiro ALB. Laser-induced alveolar bone changes during orthodontic movement: a histological study on rodents. *Photomed Laser Surg.* 2010;28(6):823-30.
- Harris EF. Effects of patient age and sex on treatment: correction of Class II malocclusion with the Begg technique. *Angle Orthod.* 2001;71(6):433-41.
- Hashimoto F, Kobayashi Y, Matakai S, Kobayashi K, Kato Y, Sakai H. Administration of osteocalcin accelerates orthodontic tooth movement induced by a closed coil spring in rats. *Eur J Orthod.* 2001;23(5):535-45.
- Hashmi JT, Huang Y-Y, Osmani BZ, Sharma SK, Naeser MA, Hamblin MR. Role of low-level laser therapy in neurorehabilitation. *PM R.* 2010;2(12 Suppl 2):S292-305.
- Heiskanen V, Hamblin MR. Photobiomodulation: lasers vs. light emitting diodes? *Photochem Photobiol Sci.* 2018;17(8):1003-17.
- Heller IJ, Nanda R. Effect of metabolic alteration of periodontal fibers on orthodontic tooth movement: An experimental study. *Am J Orthod.* 1979;75(3):239-58.
- Hendler BH, Gateno J, Mooar P, Sherk HH. Holmium:YAG laser arthroscopy of the temporomandibular joint. *J Oral Maxillofac Surg.* 1992;50(9):931-4.

- Heravi F, Moradi A, Ahrari F. The effect of low level laser therapy on the rate of tooth movement and pain perception during canine retraction. *Oral Health Dent Manag.* 2014;13(2):183-8.
- Hoogeveen EJ, Jansma J, Ren Y. Surgically facilitated orthodontic treatment: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(4):51-64.
- Hosseini MH, Mahmoodzadeh Darbandi M, Kamali A. Effect of low level therapy on orthodontic movement in human. *J Dent Med.* 2011;24(3):156-64.
- Huang H, Williams RC, Kyrkanides S. Accelerated orthodontic tooth movement: molecular mechanisms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146(5):620-32.
- Isola G, Matarese G, Cordasco G, Perillo L, Ramaglia L. Mechanobiology of the tooth movement during the orthodontic treatment: a literature review. *Minerva Stomatol.* 2016;65(5):299-327.
- Işeri H, Kişnişi R, Bzizi N, Tüz H. Rapid canine retraction and orthodontic treatment with dentoalveolar distraction osteogenesis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;127(5):533- 625.
- Jing D, Xiao J, Li X, Li Y, Zhao Z. The effectiveness of vibrational stimulus to accelerate orthodontic tooth movement: a systematic review. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):143.
- Johal A, Fleming PS, Al Jawad FA. A prospective longitudinal controlled assessment of pain experience and oral health-related quality of life in adolescents undergoing fixed appliance treatment. *Orthod Craniofac Res.* 2014;17(3):178-86.
- Kacprzak A, Strzecki A. Methods of accelerating orthodontic tooth movement: A review of contemporary literature. *Dent Med Probl.* 2018;55(2):197-206.
- Kalajzic Z, Peluso EB, Utreja A, Dymment N, Nihara J, Xu M, Chen J, Uribe F, Wadhwa S. Effect of cyclical forces on the periodontal ligament and alveolar bone remodeling during orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 2014;84(2):297-303.
- Kale S, Kocadereli I, Atilla P, Aşan E. Comparison of the effects of 1,25 dihydroxycholecalciferol and prostaglandin E2 on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;125(5):607-14.
- Kalemaj Z, Debernardi CL, Buti J. Efficacy of surgical and non-surgical interventions on accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *Eur J Oral Implantol.* 2015;8(1):9-24.
- Kansal A, Kittur N, Kumbhojkar V, Keluskar KM, Dahiya P. Effects of low-intensity laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement: A clinical trial. *Dent Res J (Isfahan).* 2014;11(4):481-8.
- Kanzaki H, Chiba M, Arai K, Takahashi I, Haruyama N, Nishimura M, Mitani H. Local RANKL gene transfer to the periodontal tissue accelerates orthodontic tooth movement. *Gene Ther.* 2006;13(8):678-85.
- Karanth HS, Shetty KS. Orthodontic tooth movement and bioelectricity. *Indian J Dent Res.* 2001;12(4):212-21.

- Karthi M, Anbuslevaran GJ, Senthilkumar KP, Tamizharsai S, Raja S, Prabhakar K. NSAIDs in orthodontic tooth movement. *J Pharm Bioallied Sci.* 2012;4(Suppl 2):S304-06.
- Karu T. Photobiology of low-power laser effects. *Health Phys.* 1989;56(5):691-704.
- Kau CH. A radiographic analysis of tooth morphology following the use of a novel cyclical force device in orthodontics. *Head Face Med.* 2011;7:14.
- Kau CH, Kantarci A, Shaughnessy T, Vachiramon A, Santiwong P, de la Fuente A, Skrenes D, Ma D, Brawn P. Photobiomodulation accelerates orthodontic alignment in the early phase of treatment. *Prog Orthod.* 2013;14:30.
- Kautzky M, Susani M, Steurer M, Schenk P. Soft-tissue effects of the holmium:YAG laser: an ultrastructural study on oral mucosa. *Lasers Surg Med.* 1997;20(3):265-71.
- Kavaliauskiene A, Smailiene D, Buskiene I, Keriene D. Pain and discomfort perception among patients undergoing orthodontic treatment: results from one month follow-up study. *Stomatologija.* 2012;14(4):118-25.
- Kawakami M, Takano-Yamamoto T. Local injection of 1,25-dihydroxyvitamin D3 enhanced bone formation for tooth stabilization after experimental tooth movement in rats. *J Bone Miner Metab.* 2004;22(6):541-6.
- Kawasaki K, Shimizu N. Effects of low-energy laser irradiation on bone remodeling during experimental tooth movement in rats. *Lasers Surg Med.* 2000;26(3):282-91.
- Kawasaki K, Takahashi T, Yamaguchi M, Kasai K. Effects of aging on RANKL and OPG levels in gingival crevicular fluid during orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res.* 2006;9(3):137-42.
- Kaya Y, Alkan Ö, Kömüroğlu AU, Keskin S. Effects of ibuprofen and low-level laser therapy on orthodontic pain by means of the analysis of interleukin 1-beta and substance P levels in the gingival crevicular fluid. *J Orofac Orthop.* 2021;82(3):143-52.
- Kelly A. The minimum clinically significant difference in visual analogue scale pain score does not differ with severity of pain. *Emerg Med J.* 2001;18(3):205-7.
- Keser E, Naini FB. Accelerated orthodontic tooth movement: surgical techniques and the regional acceleratory phenomenon. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2022;44(1):1.
- Kharkar VR, Kotrashetti SM, Kulkarni P. Comparative evaluation of dento-alveolar distraction and periodontal distraction assisted rapid retraction of the maxillary canine: a pilot study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2010;39(11):1074-9.
- Khier SE, Brantley WA, Fournelle RA. Bending properties of superelastic and nonsuperelastic nickel-titanium orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;99(4):310-8.
- Kim DH, Park YG, Kang SG. The effects of electrical current from a micro-electrical device on tooth movement. *Korean J Orthod.* 2008;38(5):337-46.
- Kim SJ, Park YG, Kang SG. Effects of Corticision on paradental remodeling in orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 2009;79(2):284-91.
- Kim W-S, Calderhead RG. Is light-emitting diode phototherapy (LED-LLLT) really effective? *Laser Ther.* 2011;20(3):205-15.

- Kim WT, Bayome M, Park J-B, Park JH, Baek S-H, Kook Y-A. Effect of frequent laser irradiation on orthodontic pain. A single-blind randomized clinical trial. *Angle Orthod.* 2013;83(4):611-6.
- Knop LAH, Shintcovsk RL, Retamoso LB, Ribeiro JS, Tanaka OM. Non-steroidal and steroidal anti-inflammatory use in the context of orthodontic movement. *Eur J Orthod.* 2012;34(5):531-5.
- Kobayashi Y, Udagawa N, Takahashi N. Action of RANKL and OPG for osteoclastogenesis. *Crit Rev Eukaryot Gene Expr.* 2009;19(1):61-72.
- Kolahi J, Abrishami M, Davidovitch Z. Microfabricated biocatalytic fuel cells: a new approach to accelerating the orthodontic tooth movement. *Med Hypotheses.* 2009;73(3):340-1.
- Krieger E, Hornikel S, Wehrbein H. Age-related changes of fibroblast density in the human periodontal ligament. *Head Face Med.* 2013;9:22.
- Krishnan V. Orthodontic pain: from causes to management--a review. *Eur J Orthod.* 2007;29(2):170-9.
- Krishnan V, Davidovitch Z. Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129(4):469.e1-32.
- Krishnan V, Davidovitch Z. *Biological Mechanisms of Tooth Movement: Second Edition.* India: John Wiley & Sons ;2015.
- Kurt G, İşeri H, Kişnişçi R, Özkaynak Ö. Rate of tooth movement and dentoskeletal effects of rapid canine retraction by dentoalveolar distraction osteogenesis: A prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;152(2):204-13.
- Kusy RP, Whitley JQ. Influence of archwire and bracket dimensions on sliding mechanics: derivations and determinations of the critical contact angles for binding. *Eur J Orthod.* 1999;21(2):199-208.
- Laakso L, Richardson C, Cramond T. Quality of light - is laser necessary for effective photobiostimulation? *Aust J Physiother.* 1993;39(2):87-92.
- Lee WC. Experimental study of the effect of prostaglandin administration on tooth movement--with particular emphasis on the relationship to the method of PGE1 administration. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1990;98(3):231-41.
- Leethanakul C, Suamphan S, Jitpukdeebodintr S, Thongudomporn U, Charoemratrote C. Vibratory stimulation increases interleukin-1 beta secretion during orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 2016;86(1):74-80.
- Leiker BJ, Nanda RS, Currier GF, Howes RI, Sinha PK. The effects of exogenous prostaglandins on orthodontic tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995;108(4):380-8.
- Li F, Li G, Hu H, Liu R, Chen J, Zou S. Effect of parathyroid hormone on experimental tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(4):523-532.
- Li M, Yi J, Yang Y, Zheng W, Li Y, Zhao Z. Investigation of optimal orthodontic force at the cellular level through three-dimensionally cultured periodontal ligament cells. *Eur J Orthod.* 2016;38(4):366-72.

- Li X, Zhang L, Wang N, Feng X, Bi L. Periodontal ligament remodeling and alveolar bone resorption during orthodontic tooth movement in rats with diabetes. *Diabetes Technol Ther.* 2010;12(1):65-73.
- Li Y, Jacox LA, Little SH, Ko C-C. Orthodontic tooth movement: The biology and clinical implications. *Kaohsiung J Med Sci.* 2018;34(4):207-14.
- Liao Z, Elekdag-Turk S, Turk T, Grove J, Dalci O, Chen J, Zheng K, Ali Darendeliler M, Swain M, Li Q. Computational and clinical investigation on the role of mechanical vibration on orthodontic tooth movement. *J Biomech.* 2017;60:57-64.
- Lim HM, Lew KK, Tay DK. A clinical investigation of the efficacy of low level laser therapy in reducing orthodontic postadjustment pain. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995;108(6):614-22.
- Limpanichkul W, Godfrey K, Srisuk N, Rattanayatikul C. Effects of low-level laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res.* 2006;9(1):38-43.
- Liou EJ, Huang CS. Rapid canine retraction through distraction of the periodontal ligament. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;114(4):372-82.
- Little RM. The irregularity index: a quantitative score of mandibular anterior alignment. *Am J Orthod.* 1975;68(5):554-63.
- Lo Giudice A, Nucera R, Leonardi R, Paiusco A, Baldoni M, Caccianiga G. A Comparative Assessment of the Efficiency of Orthodontic Treatment With and Without Photobiomodulation During Mandibular Decrowding in Young Subjects: A Single-Center, Single-Blind Randomized Controlled Trial. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2020;38(5):272-9.
- Long H, Pyakurel U, Wang Y, Liao L, Zhou Y, Lai W. Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod.* 2013;83(1):164-71.
- Long H, Wang Y, Jian F, Liao L-N, Yang X, Lai W-L. Current advances in orthodontic pain. *Int J Oral Sci.* 2016;8(2):67-75.
- Long H, Zhou Y, Pyakurel U, Liao L, Jian F, Xue J, Ye N, Yang X, Wang Y, Lai W. Comparison of adverse effects between lingual and labial orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 2013;83(6):1066-73.
- Macapanpan LG, Weinmann JP, Brodie AG. Early Tissue Changes Following Tooth Movement In Rats*. *The Angle Orthod.* 1954;24(2):79-95.
- Madan MS, Liu ZJ, Gu GM, King GJ. Effects of human relaxin on orthodontic tooth movement and periodontal ligaments in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(1):8.e1-10.
- Maizeray R, Wagner D, Lefebvre F, Lévy-Bénichou H, Bolender Y. Is there any difference between conventional, passive and active self-ligating brackets? A systematic review and network meta-analysis. *Int Orthod.* 2021;19(4):523-38.
- Maleeh I, Robinson J, Wadhwa S. Role of Alveolar Bone in Mediating Orthodontic Tooth Movement and Relapse. Shroff B. *Biology of Orthodontic Tooth Movement: Current Concepts and Applications in Orthodontic Practice.* USA. Springer;2016.

- Mangnall LA, Dietrich T, Scholey JM. A randomized controlled trial to assess the pain associated with the debond of orthodontic fixed appliances. *J Orthod.* 2013;40:188–196.
- Marquezan M, Bolognese AM, Araújo MT de S. Effects of two low-intensity laser therapy protocols on experimental tooth movement. *Photomed Laser Surg.* 2010;28(6):757-62.
- Masella RS, Meister M. Current concepts in the biology of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129(4):458-68.
- Matic I, Matthews BG, Wang X, Dymont NA, Worthley DL, Rowe DW, Grcevic D, Kalajzic I. Quiescent Bone Lining Cells Are a Major Source of Osteoblasts During Adulthood. *Stem Cells.* 2016;34(12):2930-42.
- Melsen B. Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 1999;69(2):151-8.
- Mendes K, Rossouw PE. Friction: validation of manufacturer's claim. *Seminars in Orthodontics.* 2003;9(4):236-50.
- Miles P. Accelerated orthodontic treatment - what's the evidence? *Aust Dent J.* 2017;62 Suppl 1:63-70.
- Milne TJ, Ichim I, Patel B, McNaughton A, Meikle MC. Induction of osteopenia during experimental tooth movement in the rat: alveolar bone remodelling and the mechanostat theory. *Eur J Orthod.* 2009;31(3):221-31.
- Miresmaeili A, Etrati Khosroshahi M, Motahary P, Rezaei-Soufi L, Mahjub H, Dadashi M, Farhadian N. Effect of Argon Laser on Enamel Demineralization around Orthodontic Brackets: An In Vitro Study. *J Dent (Tehran).* 2014;11(4):411-7.
- Monk AB, Harrison JE, Worthington HV, Teague A. Pharmacological interventions for pain relief during orthodontic treatment. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;11:CD003976.
- Mulder-van Staden S, Holmes H, Hille J. In vivo investigation of diode laser application on red complex bacteria in non-surgical periodontal therapy: a split-mouth randomised control trial. *Sci Rep.* 2020;10(1):21311.
- Mundy GR. Statins and their potential for osteoporosis. *Bone.* 2001;29(6):495-7.
- Nahas AZ, Samara SA, Rastegar-Lari TA. Decrowding of lower anterior segment with and without photobiomodulation: a single center, randomized clinical trial. *Lasers Med Sci.* 2017;32(1):129-35.
- Nalcaci R, Cokakoglu S. Lasers in orthodontics. *Eur J Dent.* 2013;7(Suppl 1):S119-25.
- Nazemisalman B, Farsadeghi M, Sokhansanj M. Types of Lasers and Their Applications in Pediatric Dentistry. *J Lasers Med Sci.* 2015;6(3):96-101.
- Ng DY, Chan AK, Dalci O, Petocz P, Papadopoulou AK, Darendeliler MA. A pilot study of laser energy transmission through bone and gingiva. *J Am Dent Assoc.* 2018;149(8):704-11.
- Nimeri G, Kau CH, Abou-Kheir NS, Corona R. Acceleration of tooth movement during orthodontic treatment--a frontier in orthodontics. *Prog Orthod.* 2013;14:42.

- Nishimura M, Chiba M, Ohashi T, Sato M, Shimizu Y, Igarashi K, Mitani H. Periodontal tissue activation by vibration: intermittent stimulation by resonance vibration accelerates experimental tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;133(4):572-83.
- Nishioka MA, Pinfildi CE, Sheliga TR, Arias VE, Gomes HC, Ferreira LM. LED (660 nm) and laser (670 nm) use on skin flap viability: angiogenesis and mast cells on transition line. *Lasers Med Sci*. 2012;27(5):1045-50.
- Nóbrega C, da Silva EMK, de Macedo CR. Low-level laser therapy for treatment of pain associated with orthodontic elastomeric separator placement: a placebo-controlled randomized double-blind clinical trial. *Photomed Laser Surg*. 2013;31(1):10-6.
- Normando TS, Calçada FS, Ursi WJ, Normando D. Patients' report of discomfort and pain during debonding of orthodontic brackets: a comparative study of two methods. *World J Orthod*. 2010;11:29-34.
- Ohshiro T, Calderhead RG. Development of low reactive-level laser therapy and its present status. *J Clin Laser Med Surg*. 1991;9(4):267-75.
- Okla N, Bader DanahMA, Makki L. Effect of Photobiomodulation on Maxillary Decrowding and Root Resorption: A Randomized Clinical Trial. *APOS Trends in Orthodontics*. 2018;8:86.
- Olyae P, Mirzakouchaki B, Ghajar K, Seyyedi SA, Shalchi M, Garjani A, Dadgar E. The effect of oral contraceptives on orthodontic tooth movement in rat. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal*. 2013;18(1):e146-50.
- Omidkhoda M, Radvar M, Azizi M, Hasanzadeh N, Author C. Piezopuncture-Assisted Canine Distalization in Orthodontic Patients: Two Case Reports. *J Dent Shiraz Univ Med Sci*. 2018;19(1):74-82.
- Ominsky MS, Li X, Asuncion FJ, Barrero M, Warmington KS, Dwyer D, Stolina M, Geng Z, Grisanti M, Tan H-L, Corbin T, McCabe J, Simonet WS, Ke HZ, Kostenuik PJ. RANKL inhibition with osteoprotegerin increases bone strength by improving cortical and trabecular bone architecture in ovariectomized rats. *J Bone Miner Res*. 2008;23(5):672-82.
- Ong CK, Walsh LJ, Harbrow D, Taverne AA, Symons AL. Orthodontic tooth movement in the prednisolone-treated rat. *Angle Orthod*. 2000;70(2):118-25.
- Ong KS, Seymour RA. Pain measurement in humans. *Surgeon*. 2004;2(1):15-27.
- Ong MMA, Wang H-L. Periodontic and orthodontic treatment in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002;122(4):420-8.
- Oppenheim A. Tissue changes, particularly of the bone, incident to tooth movement. *Int J Orthod*. 1911;57-8.
- Oppenheim A. Human tissue response to orthodontic intervention of short and long duration. *Am J Orthod Oral Surg*. 1942;28(5):263-301.
- Oppenheim A. Tissue changes, particularly of the bone, incident to tooth movement. *Eur J Orthod*. 2007;29(suppl_1):i2-15.

- Görgülü, S., G. S. Duran, and F. Dindaroğlu. "Güncel Bilgiler Işığında Ortodonti (1. Baskı)." Erhan Öz diler, Gümüş Kitabevi: Ankara; 2015.
- Panda S, Verma V, Sachan A, Singh K. Perception of pain due to various orthodontic procedures. Quintessence Int. 2015;46(7):603-9.
- Pandis N, Polychronopoulou A, Eliades T. Self-ligating vs conventional brackets in the treatment of mandibular crowding: a prospective clinical trial of treatment duration and dental effects. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007;132(2):208-215.
- Parker S. Introduction, history of lasers and laser light production. Br Dent J. 2007;202(1):21-31.
- Persy V, D'Haese P. Vascular calcification and bone disease: the calcification paradox. Trends Mol Med. 2009;15(9):405-16.
- Pogrel MA, Muff DF, Marshall GW. Structural changes in dental enamel induced by high energy continuous wave carbon dioxide laser. Lasers Surg Med. 1993;13(1):89-96.
- Polat Ö. Pain and discomfort after orthodontic appointments. Semin Orthod. 2007;13(4):292-300.
- Priya N, N K S, Ramakrishna A. Lasers in dentistry - Thinking ahead...CODS Journal of Dentistry. 2014;6:102-7.
- Proffit WR, Fields HW, Sarver DM (2013). Contemporary orthodontics, 5th ed.:Elseiver, Mosby:2013.
- Qamruddin I, Alam MK, Fida M, Khan AG. Effect of a single dose of low-level laser therapy on spontaneous and chewing pain caused by elastomeric separators. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2016;149(1):62-6.
- Qamruddin I, Alam MK, Mahroof V, Fida M, Khamis MF, Husein A. Effects of low-level laser irradiation on the rate of orthodontic tooth movement and associated pain with self-ligating brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2017;152(5):622-30.
- Qamruddin I, Alam MK, Mahroof V, Fida M, Khamis MF, Husein A. Photobiostimulatory effect of a single dose of low-level laser on orthodontic tooth movement and pain. Pain Res Manag. 2021;1-5.
- Quirk BJ, Whelan HT. What lies at the heart of photobiomodulation: light, Cytochrome C oxidase, and Nitric Oxide-Review of the evidence. Photobiomodul Photomed Laser Surg. 2020; 38(9):527-530.
- Rajbhoj AA, Parchake P, Begnoni G, Willems G, Cadenas de Llano-Pérula M. Dental changes in humans with untreated normal occlusion throughout lifetime: A systematic scoping review. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2021;160(3):340-362.
- Ramachandra CS, Shetty PC, Rege S, Shah C. Ortho-perio integrated approach in periodontally compromised patients. J Indian Soc Periodontol. 2011;15(4):414-7.
- Reitan K. The tissue reaction as related to the functional factor. Dent Rec (London). 1951;71(9):173-83.
- Reitan K. Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics. Am J Orthod. 1957;43(1):32-45.

- Reitan K. Tissue behavior during orthodontic tooth movement. *Am J Orthod.* 1960;46(12):881-900.
- Reitan K. Clinical and histologic observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. *Am J Orthod.* 1967;53(10):721-45.
- Ren C, McGrath C, Yang Y. The effectiveness of low-level diode laser therapy on orthodontic pain management: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2015;30(7):1881-93.
- Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a systematic literature review. *Angle Orthod.* 2003;73(1):86-92.
- Ren Y, Maltha JC, Stokroos I, Liem RSB, Kuijpers-Jagtman AM. Effect of duration of force application on blood vessels in young and adult rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(5):752-7.
- Roscoe MG, Meira JBC, Cattaneo PM. Association of orthodontic force system and root resorption: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147(5):610-26.
- Saito S, Shimizu N. Stimulatory effects of low-power laser irradiation on bone regeneration in midpalatal suture during expansion in the rat. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997;111(5):525-32.
- Saka DÖ. Ağrıyı ölçme ve değerlendirme. *Türkiye Klinikleri J Fam Med-Special Topics.* 2011;2(2):15-20.
- Sakata M, Yamamoto Y, Imamura N, Nakata S, Nakasima A. The effects of a static magnetic field on orthodontic tooth movement. *J Orthod.* 2008;35(4):249-54.
- Salehi P, Heidari S, Tanideh N, Torkan S. Effect of low-level laser irradiation on the rate and short-term stability of rotational tooth movement in dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147(5):578-86.
- Sandstedt C. Einigen Beitrage zur Theorie der Zahnregulierung, Nordisk. *Tand Tidsk.* 1904;(4).
- Sarver DM, Yanosky M. Principles of cosmetic dentistry in orthodontics: Part 3. Laser treatments for tooth eruption and soft tissue problems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;127(2):262-4.
- Sayin MO, Türkkahraman H. Malocclusion and crowding in an orthodontically referred Turkish population. *Angle Orthod.* 2004;74(5):635-9.
- Sayin S, Bengi O, Olmez H, Gurton U, Sagdıç D. Periodontal distraksiyon osteogenezis yöntemi ile gerçekleştirilen hızlı kanin distalizasyonu. *Turk J Orthod.* 2003;16(2):134-41.
- Scheurer PA, Firestone AR, Bürgin WB. Perception of pain as a result of orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod.* 1996;18(4):349-57.
- Schubert A, Jäger F, Maltha JC, Bartzela TN. Age effect on orthodontic tooth movement rate and the composition of gingival crevicular fluid: A literature review. *J Orofac Orthop.* 2020;81(2):113-25.
- Schwarz AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1932;18(4):331-52.

- Scott P, DiBiase AT, Sherriff M, Cobourne MT. Alignment efficiency of Damon3 self-ligating and conventional orthodontic bracket systems: a randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;134(4):470.e1-8.
- Sebastian B. Alignment efficiency of superelastic coaxial nickel-titanium vs superelastic single-stranded nickel-titanium in relieving mandibular anterior crowding: a randomized controlled prospective study. *Angle Orthod*. 2012;82(4):703-8.
- Seifi M, Eslami B, Saffar AS. The effect of prostaglandin E2 and calcium gluconate on orthodontic tooth movement and root resorption in rats. *Eur J Orthod*. 2003;25(2):199-204.
- Shahrin AA, Ghani SHA, Norman NH. Effectiveness of microosteoperforations in accelerating alignment of maxillary anterior crowding in adults: A randomized controlled clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021;160(6):784-92.
- Shaughnessy T, Kantarci A, Kau CH, Skrenes D, Skrenes S, Ma D. Intraoral photobiomodulation-induced orthodontic tooth alignment: a preliminary study. *BMC Oral Health*. 2016;16:3.
- Shimpo S, Horiguchi Y, Nakamura Y, Lee M, Oikawa T, Noda K, Kuwahara Y, Kawasaki K. Compensatory bone formation in young and old rats during tooth movement. *Eur J Orthod*. 2003;25(1):1-7.
- Shirazi M, Dehpour AR, Jafari F. The effect of thyroid hormone on orthodontic tooth movement in rats. *J Clin Pediatr Dent*. 1999;23(3):259-64.
- Sidiropoulou-Chatzigiannis S, Kourtidou M, Tsalikis L. The effect of osteoporosis on periodontal status, alveolar bone and orthodontic tooth movement. A literature review. *J Int Acad Periodontol*. 2007;9(3):77-84.
- Silveira PCL, Silva LA da, Fraga DB, Freitas TP, Streck EL, Pinho R. Evaluation of mitochondrial respiratory chain activity in muscle healing by low-level laser therapy. *J Photochem Photobiol B*. 2009;95(2):89-92.
- Simonet WS, Lacey DL, Dunstan CR, Kelley M, Chang MS, L  thy R, et al. Osteoprotegerin: a novel secreted protein involved in the regulation of bone density. *Cell*. 1997;89(2):309-19.
- Skidmore KJ, Brook KJ, Thomson WM, Harding WJ. Factors influencing treatment time in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006;129(2):230-8.
- Smith KC. Laser (and LED) therapy is phototherapy. *Photomed Laser Surg*. 2005;23(1):78-80.
- Soma S, Matsumoto S, Higuchi Y, Takano-Yamamoto T, Yamashita K, Kurisu K, Iwamoto M. Local and chronic application of PTH accelerates tooth movement in rats. *J Dent Res*. 2000;79(9):1717-24.
- Sousa MV da S, Scanavini MA, Sannomiya EK, Velasco LG, Angelieri F. Influence of low-level laser on the speed of orthodontic movement. *Photomed Laser Surg*. 2011;29(3):191-6.
- Spadari GS, Zaniboni E, Vedovello SAS, Santamaria MP, do Amaral MEC, Dos Santos GMT, Esquisatto MAM, Mendonca FAS, Santamaria M. Electrical stimulation enhances

- tissue reorganization during orthodontic tooth movement in rats. *Clin Oral Investig*. 2017;21(1):111-20.
- Stark TM, Sinclair PM. Effect of pulsed electromagnetic fields on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1987;91(2):91-104.
- Stewart DR, Sherick P, Kramer S, Breining P. Use of relaxin in orthodontics. *Ann N Y Acad Sci*. 2005;1041:379-87.
- Stinson JN, Kavanagh T, Yamada J, Gill N, Stevens B. Systematic review of the psychometric properties, interpretability and feasibility of self-report pain intensity measures for use in clinical trials in children and adolescents. *Pain*. 2006;125(1-2):143-57.
- Strippoli J, Durand R, Schmittbuhl M, Rompré P, Voyer R, Chandad F, et al. Piezocortcision-assisted orthodontics: Efficiency, safety, and long-term evaluation of the inflammatory process. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019;155(5):662-9.
- Suda T, Ueno Y, Fujii K, Shinki T. Vitamin D and bone. *J Cell Biochem*. 2003;88(2):259-66.
- Sulewska M, Duraj E, Bugała-Musiatowicz B, Waszkiewicz-Sewastianik E, Milewski R, Pietruski JK, et al. Assessment of the effect of the corticotomy-assisted orthodontic treatment on the maxillary periodontal tissue in patients with malocclusions with transverse maxillary deficiency: a case series. *BMC Oral Health*. 2018;18(1):162.
- Sumra N, Kulshrestha R, Umale V, Chandurkar K. Lasers in non-surgical periodontal treatment - a review. *J Cosmet Laser Ther*. 2019;21(5):255-61.
- Sun G, Tunér J. Low-level laser therapy in dentistry. *Dent Clin North Am*. 2004;48(4):1061-76, viii.
- Sun X, Zhu X, Xu C, Ye N, Zhu H. Effects of low energy laser on tooth movement and remodeling of alveolar bone in rabbits. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 2001;19(5):290-3.
- Takano-Yamamoto T, Rodan GA. A model for investigating the local action of bone-acting agents in vivo: effects of hPTH(1-34) on the secondary spongiosa in the rat. *Calcif Tissue Int*. 1990;47(3):158-63.
- Takeda Y. Irradiation effect of low-energy laser on alveolar bone after tooth extraction. Experimental study in rats. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1988;17(6):388-91.
- Talic NF. Adverse effects of orthodontic treatment: A clinical perspective. *Saudi Dent J*. 2011;23(2):55-9.
- Tayer BH, Gianelly AA, Ruben MP. Visualization of cellular dynamics associated with orthodontic tooth movement. *Am J Orthod*. 1968;54(7):515-20.
- Teixeira CC, Khoo E, Tran J, Chartres I, Liu Y, Thant LM, Khabensky I, Gart LP, Cisneros G, Alikhani M. Cytokine Expression and Accelerated Tooth Movement. *J Dent Res*. 2010;89(10):1135-41.
- Tengku BS, Joseph BK, Harbrow D, Taverne AA, Symons AL. Effect of a static magnetic field on orthodontic tooth movement in the rat. *Eur J Orthod*. 2000;22(5):475-87.

- Tokonabe H, Kouji R, Watanabe H, Nakamura Y, Matsumoto K. Morphological changes of human teeth with Er:YAG laser irradiation. *J Clin Laser Med Surg.* 1999;17(1):7-12.
- Tortamano A, Lenzi DC, Haddad ACSS, Bottino MC, Dominguez GC, Vigorito JW. Low-level laser therapy for pain caused by placement of the first orthodontic archwire: a randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(5):662-7.
- Tosun Y. Sabit ortodontik apareylerin biyomekanik prensipleri. Ege Üniversitesi Basımevi:İzmir:1999.
- Townes CH. Optical Masers and Their Possible Applications to Biology. *Biophys J. Mart* 1962;(2):325-9.
- Tuby H, Maltz L, Oron U. Low-level laser irradiation (LLLI) promotes proliferation of mesenchymal and cardiac stem cells in culture. *Lasers Surg Med.* 2007;39(4):373-8.
- Tunçer Nİ, Özçirpici AA. Hızlandırılmış diş hareketi alanında cerrahi destekli teknikler. *Türkiye Klinikleri J Orthod-Özel Sayı.* 2015;1(1):34-41.
- Turbill EA, Richmond S, Wright JL. The time-factor in orthodontics: what influences the duration of treatments in National Health Service practices? *Community Dent Oral Epidemiol.* 2001;29(1):62-72.
- Uribe F, Davoody L, Mehr R, Jayaratne YSN, Almas K, Sobue T, Allareddy V, Nanda R. Efficiency of piezotome-corticision assisted orthodontics in alleviating mandibular anterior crowding-a randomized clinical trial. *Eur J Orthod.* 2017;39(6):595-600.
- Üretürk SE, Saraç M, Fıratlı S, Can ŞB, Güven Y, Fıratlı E. The effect of low-level laser therapy on tooth movement during canine distalization. *Lasers Med Sci.* 2017;32(4):757-64.
- Varella AM, Revankar AV, Patil AK. Low-level laser therapy increases interleukin-1 β in gingival crevicular fluid and enhances the rate of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;154(4):535-544.e5.
- Verborgt O, Gibson GJ, Schaffler MB. Loss of osteocyte integrity in association with microdamage and bone remodeling after fatigue in vivo. *J Bone Miner Res.* 2000;15(1):60-7.
- Verna C, Dalstra M, Melsen B. The rate and the type of orthodontic tooth movement is influenced by bone turnover in a rat model. *Eur J Orthod.* 2000;22(4):343-52.
- Villarino ME, Lewicki M, Ubios AM. Bone response to orthodontic forces in diabetic Wistar rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139(4 Suppl):76-82.
- Vladimirov YA, Osipov AN, Klebanov GI. Photobiological principles of therapeutic applications of laser radiation. *Biochemistry (Mosc).* 2004;69(1):81-90.
- Waldo CM, Rothblatt JM. Histologic response to tooth movement in the laboratory rat; procedure and preliminary observations. *J Dent Res.* 1954;33(4):481-6.
- Walker JB, Buring SM. NSAID impairment of orthodontic tooth movement. *Ann Pharmacother.* 2001;35(1):113-5.
- Wang J, Jian F, Chen J, Ye NS, Huang YH, Wang S, et al. Cognitive behavioral therapy for orthodontic pain control: a randomized trial. *J Dent Res.* 2012;91(6):580-5.

- Wazwaz F, Seehra J, Carpenter GH, Ireland AJ, Papageorgiou SN, Cobourne MT. Duration of tooth alignment with fixed appliances: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2022;161(1):20-36.
- Westerman GH, Flaitz CM, Powell GL, Hicks MJ. Enamel caries initiation and progression after argon laser irradiation: in vitro argon laser systems comparison. *J Clin Laser Med Surg*. 2002;20(5):257-62.
- White JM, Goodis HE, Rose CL. Use of the pulsed Nd:YAG laser for intraoral soft tissue surgery. *Lasers Surg Med*. 1991;11(5):455-61.
- Wilder-Smith P, Arrastia AM, Liaw LH, Berns M. Incision properties and thermal effects of three CO₂ lasers in soft tissue. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1995;79(6):685-91.
- Woodhouse NR, DiBiase AT, Johnson N, Slipper C, Grant J, Alsaleh M, Donaldson ANA, Cobourne MT. Supplemental vibrational force during orthodontic alignment: a randomized trial. *J Dent Res*. 2015;94(5):682-9.
- Wu S, Chen Y, Zhang J, Chen W, Shao S, Shen H, Zhu L, Ye P, Svensson P, Wang K. Effect of low-level laser therapy on tooth-related pain and somatosensory function evoked by orthodontic treatment. *Int J Oral Sci*. 2018;10(3):22.
- Wyman A, Duffy S, Sweetland HM, Sharp F, Rogers K. Preliminary evaluation of a new high power diode laser. *Lasers Surg Med*. 1992;12(5):506-9.
- Yadav S, Dobie T, Assefnia A, Gupta H, Kalajzic Z, Nanda R. Effect of low-frequency mechanical vibration on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2015;148(3):440-9.
- Yamaguchi M, Kojima T, Kanekawa M, Aihara N, Nogimura A, Kasai K. Neuropeptides stimulate production of interleukin-1 beta, interleukin-6, and tumor necrosis factor-alpha in human dental pulp cells. *Inflamm Res*. 2004;53(5):199-204.
- Yamasaki K, Shibata Y, Fukuhara T. The effect of prostaglandins on experimental tooth movement in monkeys (*Macaca fuscata*). *J Dent Res*. 1982;61(12):1444-6.
- Yamasaki K, Shibata Y, Imai S, Tani Y, Shibasaki Y, Fukuhara T. Clinical application of prostaglandin E1 (PGE1) upon orthodontic tooth movement. *Am J Orthod*. 1984;85(6):508-18.
- Yassaei S, Aghili H, Afshari JT, Bagherpour A, Eslami F. Effects of diode laser (980 nm) on orthodontic tooth movement and interleukin 6 levels in gingival crevicular fluid in female subjects. *Lasers Med Sci*. 2016;31(9):1751-9.
- Yavuz MC, Sunar O, Buyuk SK, Kantarcı A. Comparison of piezocision and discision methods in orthodontic treatment. *Prog Orthod*. 2018;19:44.
- Yi J, Xiao J, Li Y, Li X, Zhao Z. Efficacy of piezocision on accelerating orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod*. 2017;87(4):491-8.
- Yoshida T, Yamaguchi M, Utsunomiya T, Kato M, Arai Y, Kaneda T, et al. Low-energy laser irradiation accelerates the velocity of tooth movement via stimulation of the alveolar bone remodeling. *Orthod Craniofac Res*. 2009;12(4):289-98.

Youssef M, Ashkar S, Hamade E, Gutknecht N, Lampert F, Mir M. The effect of low-level laser therapy during orthodontic movement: a preliminary study. *Lasers Med Sci.* 2008;23(1):27-33.

Yu Y, Cui C, Guan SY, Xu RS, Zheng LW, Zhou XD, et al. Function of Orofacial Stem Cells in Tooth Eruption: An Evolving Perspective. *Chin J Dent Res.* 2021;24(3):143-52.

Zahrowski JJ. Bisphosphonate treatment: An orthodontic concern calling for a proactive approach. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(3):311-20.

Zezell DM, Ana PA. High power lasers and their interaction with biological tissues.

Freitas MP, Simoes A. *Lasers in Dentistry.* Brazil ;John Wiley & Sons :2015

Zheng J, Yang K. Clinical research: low-level laser therapy in accelerating orthodontic tooth movement. *BMC Oral Health.* 2021;21(1):324.





T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü



G19 –TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tez Başlığı / Konusu	ALT ÇENE ÖN BÖLGEDEKİ ÇAPRAŞIKLIĞIN SEVİYELLENMESİNDE DÜŞÜK DOZ LAZER UYGULAMASININ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ			
İntihal taraması yapılan bölümler ve sayfa sayıları				
Kapak sayfası	Giriş	Ana bölümler	Sonuç bölümleri	Toplam sayfa sayısı
2	3	55	23	83
İntihal taraması yapılan program			Taramanın yapıldığı tarih	Benzerlik oranı %
			29 /03 / 2022	% 12
*Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:				
hariç, - Kabul ve onay sayfası - Teşekkür hariç, - İçindekiler hariç, - Simge ve kısaltmalar hariç, - 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words) - Gereç ve yöntemler hariç, - Kaynakça hariç, - Alıntılar hariç, - Tezden çıkan yayınlar hariç,				
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihali içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabulettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim. Gereğini bilgilerinize arz ederim. Öğrencinin Adı Soyadı Yasemin TUNCA İmza				
Öğrencinin Adı Soyadı	Yasemin TUNCA			
Anabilim Dalı	Ortodonti			
Öğrenci No	17930005016			
Programı	☐ Yüksek Lisans ☒ Doktora			
DANIŞMAN ONAYI UYGUNDUR Doç. Dr. Yeşim KAYA (Unvan, Ad Soyad, İmza)		ENSTİTÜ ONAYI UYGUNDUR Dr. Öğr.Üyesi Alperen DEĞİRMENCİ (Unvan, Ad Soyad, İmza)		

EK-2

**VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ DURSUN ODABAŞ TIP
MERKEZİ**

ARAŞTIRMA İÇİN BİLGİLENDİRİLMİŞ OLUR FORMU

Sayın hasta (veya veli)

Lütfen, elinize verilen bu belgeyi dikkatlice okuyun ve anlattıklarımızı dikkatlice dinleyin. Araştırma ile ilgili detaylı bilgi; haklarınız, araştırmanın yararları ve riskleri konusunda detaylı bilgi bu belgede yer almaktadır. Bu açıklamaların amacı sağlığınız hakkında sizi bilgilendirmektir. Lütfen, anlamadığınız hususları belirtin, sorularınız detaylı olarak açıklanacaktır. Araştırmaya katılmayı kabul ettikten sonra sorularınızın yeterince açıklanmadığını düşündüğünüz durumda veya başka bir nedenle araştırmanın herhangi bir evresinde araştırmadan ayrılabilirsiniz. Araştırma süresinde araştırmamızdan kaynaklanacak sağlık sorunları anında hastanemizde tedavi edilecektir. Bu araştırmaya katıldığınız için sizden ek bir ücret talep edilmeyecek ve size herhangi bir ödeme de yapılmayacaktır. Araştırmamıza katıldığınız için teşekkür ederiz.

Araştırmanın adı: Alt Çene Ön Bölgedeki Çapraşıklığın Seviyelenmesinde Düşük Doz Lazer Uygulamasının Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Araştırmanın konusu, amacı, kullanılacak yöntem, süre ve süreç: Araştırmamız sabit ortodontik tedaviniz esnasında düşük doz lazer uygulaması ile tedavi sürenizin kısalması ve tedavi sırasında hissedebileceğiniz ağrının azaltılması amaçlanmaktadır. Yapılacak işlemler tedavi sürenizi uzatmayacak size mali açıdan ek bir yük getirmeyecektir. Tedaviniz olağan süreci içerisinde ilerleyecektir.

Araştırmayla ilgili önerilen işlem /süreç: Araştırmamız için size rutin klinik işlemler dışında herhangi bir işlem yapılmayacaktır. Yalnızca sabit apareyler takıldıktan sadece tedavinin ilk aşamasında düşük doz lazer uygulaması yapılacak ve tedavi süresi ile hissedebileceğiniz ağrıya olan etkisi ölçülecektir.

Araştırma sırasında oluşabilecek zararlar veya olası riskler: Araştırmamızın herhangi bir riski yoktur.

Araştırma sırasında oluşabilecek araştırmaya özel bir risk yoktur.

Araştırmanın sağlayacağı olası yararlar: Araştırmamız sonucunda elde edilen bilgilerle tedavi sürenizin kısaltılması ve hissedilen ağrının azaltılması sağlanabilecektir.

Sayın hasta veya veli, lütfen, aşağıda yer alan yazıları dikkatle okuyunuz ve ilgili boşluğu doldurun ya da ilgili kutucuğu işaretleyin.

1. Araştırma ile ilgili açık ve sade bir ifade ile anlatılan ön bilgileri aldıktan ve elimdeki olur formunu okuduktan sonra araştırmaya davet edildim. konusu daveti; ☐

Kabul ettim. ☐ **Kabul etmedim.**

2. Araştırmada dikkat edilecek hususları okudum ve dinledim. Araştırma ile ilgili aklıma takılan sorularımı sordum. Gereken aydınlatıcı cevapları ☐ **aldım, anladım.** ☐

almadım, anlamadım.

EK-3

3.Kimliğimin gizli tutulması ve yalnızca eğitim ve araştırma amaçlı kullanılması koşulu ile bana uygulanacak girişim/tedavi sırasında fotoğraf çekilmesine ya da kayıt yapılmasına;

☐ izin **veriyorum** ☐ izin

vermiyorum.

4. Tanısal girişimlerin, tıbbi ve cerrahi tedavilerin yararlarını ve olası risklerini öğrendim, yapılacak işlemleri ☐ kabul **ediyorum.** kabul **etmiyorum.**

5.Araştırma bilgilendirme sürecine okuma/yazmam olmadığı veya tek başıma karar vermek istemediğim için **katıldım.**

6. Araştırma ile ilgili tarafımdan alınan verilerin gizli tutulacağını, ☐ **biliyorum** ☐ **bilmiyorum**

7.Araştırmadan istediğim zaman çekilme hakkımın olduğunu, ☐ **biliyorum** ☐ **bilmiyorum**

8.Araştırma sonucunda herhangi ücret almayacağımı/vermeyeceğimi; ☐ **biliyorum** ☐ **bilmiyorum**

9.Tıbbi bir risk ortaya çıkarsa ücretsiz tıbbi tedavi yapılacağını ☐ **biliyorum** ☐ **bilmiyorum**

10. Araştırma sonucunun olası faydaları konusunda detaylı ☐ **biliyorum** ☐ **bilmiyorum**

11.Araştırma sırasında bir sağlık sorunu ile karşılaştığımda; herhangi bir saatte, Dr. Öğr. Üyesi Yeşim KAYA'yı 0432 225 1744 (iş) veya 05058538459 (cep) no'lu telefonlardan ve Van YYÜ Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı adresinden arayabileceğimi biliyorum.

Tarih:

Araştırmadan

Sorumlu

Katılımcının Ad-Soyadı:

Hekimin Adı-Soyadı
Dr. Öğr. Üyesi Yeşim KAYA

Doğum Tarihi:

Kurum Sicil No :5611

Adresi:

İmza :

Tel. No:

Acil Durumlarda Olur Alınacak Yasal Temsilcisinin

Adı-Soyadı:

Adresi:

Tel. No:

Kanuni Yeterliliği Olmayan Hastalar İçin Veli / Vasinin Adı-Soyadı:.....

Adresi:

Tel. No:

EK-3

ARAŞTIRMA AMAÇLI ÇALIŞMA İÇİN ÇOCUK RIZA FORMU

Sevgili Kardeşim,

Benim adım Dr. Öğr. Üyesi Yeşim KAYA, tedavi sürenizin kısalması ve daha az ağrı hissetmeniz için bir araştırma yapıyoruz. Bu araştırma ile yeni bilgiler öğreneceğiz. Bu araştırmaya katılmanı öneriyoruz.

Araştırmayı ben, Dr Yeşim KAYA ve başka bazı doktorlar birlikte yapıyoruz. Bu araştırmaya katılacak olursan tedavi süresinin kısaltılması ve tedavi sırasında daha az ağrı hissetmen için sana hiçbir zararı olmayan ve herhangi bir ağrı hissetmeyeceğin lazer tedavisi uygulayacağız.

Bu araştırmanın sonuçları senin gibi tel tedavisi gören çocuklar için yararlı bilgiler sağlayacaktır. Bu araştırmanın sonuçlarını başka doktorlara da söyleyeceğiz, sonuçları bildireceğiz ama senin adını söylemeyeceğiz.

Bu araştırmaya katılıp katılmamak için karar vermeden önce anne ve baban ile konuşup onlara danışmalısın. Onlara da bu araştırmadan bahsedip onaylarını/izinlerini alacağız. Anne ve baban tamam deseler bile sen kabul etmeyebilirsin. Bu araştırmaya katılmak senin isteğine bağlı ve istemezsen katılmazsın. Bu nedenle hiç kimse sana kızmaz ya da küsmez. Önce katılmayı kabul etsen bile sonradan vazgeçebilirsin, bu tamamen sana bağlı. Kabul etmediğin durumda da doktorlar muayene ve diğer işlemlerde sana önceden olduğu gibi iyi davranır, önceye göre farklılık olmaz.

Aklına şimdi gelen veya daha sonra gelecek olan soruları istediğin zaman bana sorabilirsin. Telefon numaram ve adresim bu kağıtta yazıyor. Bu araştırmaya katılmayı kabul ediyorsan aşağıya lütfen adını ve soyadını yaz ve imzanı at. İmzaladıktan sonra sana ve ailene bu formun bir kopyası verilecektir.

Çocuğun adı, soyadı:

Çocuğun imzası:

Tarih:

Velisinin adı, soyadı:

Velisinin imzası:

Tarih:

Araştırmacının adı, soyadı, ünvanı: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim KAYA

Adres : Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi

Ortodonti Ana Bilim Dalı

Tel: 0505 853 84 59

İmza:

Tarih:

EK-4

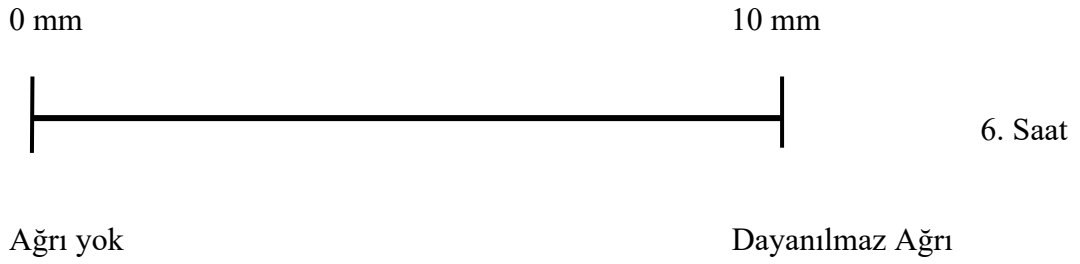
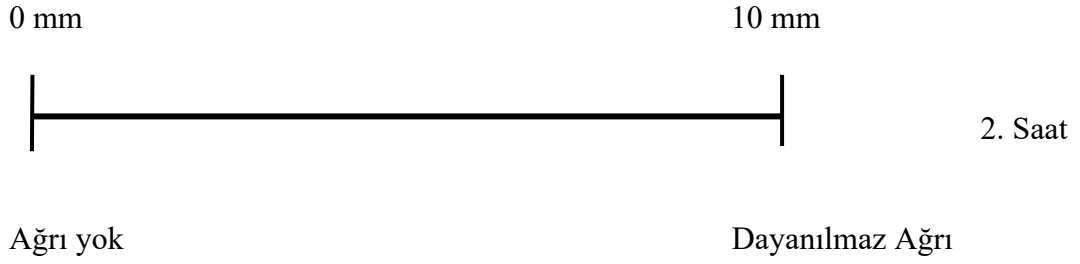
Adı Soyadı:

Tarih:

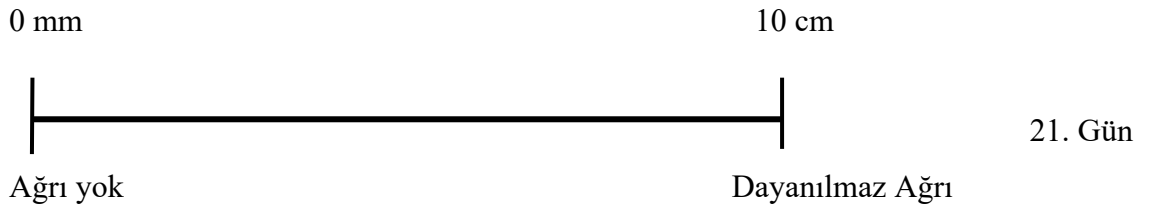
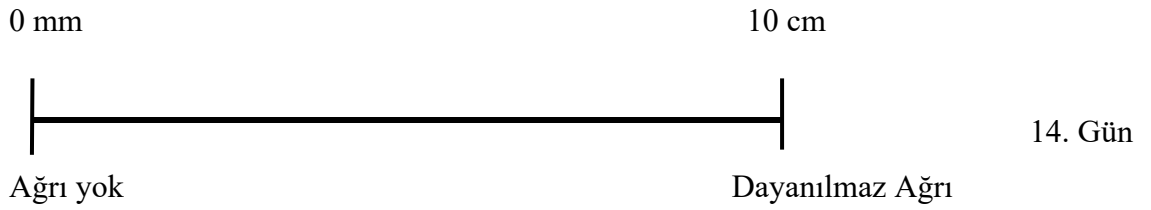
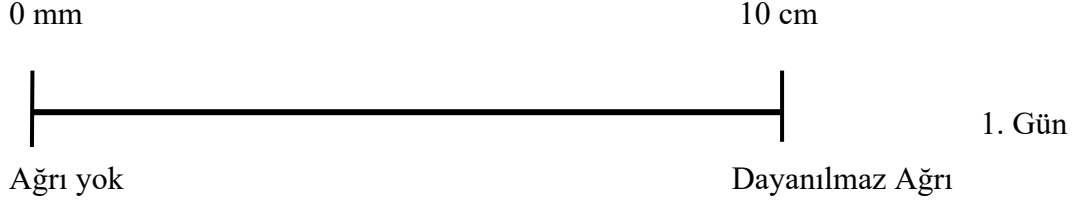
Doğum tarihi:

Cinsiyet:

Lütfen ağrınızın şiddetini belirtmek için ilgili zaman diliminin karşısına aşağıdaki ölçeklere göre işaretleme yapınız.



EK-5



EK-5

TARİH:
HASTA ADI SOYADI:
YAŞI:

PLAK İNDEKSİ

GINGIVAL INDEKS

CEP DERİNLİĞİ

EK-6