

# BÖLÜM 7

## FOTOBİYOMODÜLASYON VE MEKANİK TİTREŞİMİN ORTODONTİDE KULLANIM ALANLARI

Merve BAYRAKÇEKEN<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Fotobiyomodülasyon (FBM), kırmızı veya kızılötesine yakın ışığın belirli dalga boylarıyla ışınlanmanın (600-1000 nm) hücrelerde, dokularda, hayvanlarda ve insanlarda bir dizi fizyolojik etki ürettiğini gösteren araştırma bulgularına dayanan bir tedavi yöntemidir.

Fotobiyomodülasyon yaklaşık 50 yıl önce Macaristan'da Endre Mester tarafından keşfedilmiştir. Önceleri FBM, "düşük seviyeli lazer tedavisi" olarak biliniyordu. Çünkü bu amaçla kullanılan ilk cihazlar Ruby lazer (694 nm) ve HeNe lazer (633 nm) cihazlarıydı.(1) Düşük enerjili lazerler, dokularda sıcaklık değişimine neden olmadıkları için fotobiyomodülasyonda kullanılmaktadırlar. FBM için en yaygın kullanılan lazerler:

- Helyum-Neon lazer (He-Ne: 632,8 nm),
- Galyum-Alüminyum lazer (Ga-Al: 630-685 nm),
- Helyum-Neon-Arsenit lazer (He-Ne-As: 780-870 nm),
- Galyum-Arsenit lazer (Ga-As: 904 nm)

Son zamanlarda ise, FBM amacıyla sadece lazerlerin gerekli olmadığı, onun yerine ışık yayan diyotların (LED'ler) da benzer etkiler gösterdiği fikir birliğine varılmıştır. FBM için 670-980 nm dalga boyu aralığında ışyan diyotlar kullanılmaktadır.(2) İlk yıllarda FBM'un etki mekanizması belirsizdi, ancak son yıllarda kromoforların ve sinyal yollarının aydınlatılmasında daha çok ilerleme kaydedilmiştir.(3)

Titreşim bir diğer ifade ile vibrasyon ise; yüksek frekans ve düşük genlikteki uyarı olarak bilinen ve salınım şeklindeki hareket ile karakterize olmuş bir mekanik uyarandır. Titreşim yani vibrasyon 3 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, Hertz (Hz) ile ölçülen ve bir saniye sürede oluşturduğu tekrar sayısını gösteren frekans, titreşim hareketinin büyüklüğünü Newton cinsinden anlatan (genlik)

<sup>1</sup> Dr Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti AD.,  
mervebayrakceken@gmail.com

amplitud ve vibrasyon sırasında ortaya çıkan ivmenin verdiği güç olarak bilinmektedir. Bu 3 özellik uygulanan mekanik stimülasyonu ayırıştırımayı sağlamaktadır.(4)

Düşük doz lazer veya ışık yayan diyotlar (LED) ile fotobiyomodülasyon ve mekanik titreşimin yani vibrasyonun ortodonti alanında kullanımları birçok bilimsel in vitro, in vivo hayvan ve klinik çalışmalarına konu olmuştur. Bu çalışmalarda her iki uygulamanın da ortodontik diş hareketlerine, ortodontik ağrı oluşumuna, kök rezorbsiyonuna etkileri gibi birçok etkileri değerlendirilmiştir.

## **ORTODONTİK DİŞ HAREKETLERİNE ETKİLERİ**

Dişlere uygulanan ortodontik kuvvet ile kemikte remodeling adı verilen alveolar kemiğin yapımı ve yıkımı sonucu diş hareketi gerçekleşmektedir. Bu kuvvet biyolojik aktiviteye dönüştürülmekte, ancak bu aktivite tam olarak anlaşılmasa da üç olası diş hareketi teorisi savunulmaktadır. Bunlar:

1)Kemik Bükme Teorisi

2)Biyolojik Elektrik Teorisi

3)Basınç-Gerilim Teorisi

1. Kemik bükme teorisi: Farrar(5), diş ortodontik bir kuvvet uygulandığında, kuvvetin uygulama alanına yakın tüm dokulara iletildiğini belirtmiştir. Bu kuvvetler kemiğin, dişin ve periodontal bağın katı yapılarının bükülmesine sebep olmaktadır. Kemik diğer yapılara göre daha elastik olduğu için zahmet-sizce bükülmekte ve dişin hareket süreci hızlanmaktadır.(6) Bu aynı zamanda, kemiğin yoğun şekilde kireçlenmediği ve daha esnek olduğu pediatrik hastalarda ve çekim bölgelerinde meydana gelen diş hareketlerinin daha hızlı oluşunu açıklamaktadır.(7)
2. Biyolojik Elektrik Teorisi: Bu teori 1962'de Bassett ve Becker tarafından önerilmiştir. Onlara göre, alveolar kemik ne zaman bükülürse, elektrik sinyalleri yayar ve bir dereceye kadar diş hareketinden sorumludur. Bu sinyallerin piezo-elektrik sinyalleri olduğu düşünülmektedir.(8) Ortodontik kuvvetler sırasında kemik üzerinde stres oluşturan periodontal lifler, ortodontik kuvvet ve dento alveolar kompleks arasındaki elektro-kimyasal ilişkinin doğası ile ilişkilendirilmiştir. Elektronegatif yüklü alanın, yüksek düzeyde osteoklastik aktivite ile karakterize olduğu ve elektropozitif yük alanının, yüksek düzeyde osteoblastik aktivite ile karakterize olduğu sonucuna varılmıştır. Eksojen elektrik akımı ortodontik kuvvetlerle birlikte ortodontik diş hareketini hızlandırmaktadır. Bu, kemik bükülmesine bağlı piezoelektrik tepkinin "hücre-ysel ilk haberci" olarak işlev görebileceğini düşündürmektedir.(9, 10)
3. Basınç-Gerilim Teorisi: Tablo 1'de de görüldüğü gibi Schwarz tarafından yapılan histolojik araştırmada, bir dişin periodontal boşlukta bir basınç ve gerilim

tarafı oluşturarak hareket ettiğini belirtmiştir. Bu, periodontal ligamentteki kan akışının değişimini açıklamaktadır. Bu değişiklik, periodontal bağın sıkışması nedeniyle basınç tarafında daha az oksijen seviyesi ile sonuçlanmakta, gerilim tarafında daha fazla oksijen seviyesi ile sonuçlanmaktadır. Düşük oksijen seviyesi Adenozin trifosfat (ATP) aktivitesinde azalmaya neden olmaktadır. Bu değişiklikler doğrudan veya dolaylı olarak hücresel aktivite ve farklılaşma üzerinde etkili olmaktadır.(11)

**Tablo 1. Basınç-Gerilim teorisine göre diş hareketini etkileyen faktörler.**

Diş hareketini etkileyen faktörler	Basınç tarafı	Gerginlik tarafı
Kan akışı	Azalır	Artar
Oksijen seviyesi	Azalır	Artar
Karbondioksit seviyesi	Artar	Azalır
Hücre replikasyonu	Azalır	Artar
Lif üretimi	Azalır	Artar

## **FOTOBİYOMODÜLASYONUN ORTODONTİK DİŞ HAREKETLERİNE ETKİSİ**

Ortodontik kuvvetler dişlere uygulandıktan sonra gerçekleşen diş hareketinin hızı, alveolar kemiğin rezorpsiyon ve apozisyon ile yeniden şekillenme kapasitesine bağlıdır. Alveolar remodelling hızı, prostoglandinlerin ve sitokinlerin kontrolü altındaki osteoklastlar, osteoblastlar ve osteositler gibi kemik hücrelerinin aktivite düzeyi ile belirlenmektedir. Yapılan çalışmalar FBM'nin hücresel kemik aktivite düzeylerini artırarak ortodontik diş hareketini hızlandırdığını göstermektedir. FBM ile hücresel reaksiyon basamaklarının başlaması sonucunda mitokondriyel solunum zincir komponentlerinin aktivasyonu gerçekleşmektedir. Ayrıca enerji metabolizmasını artırarak ve hücre canlılığını geliştirerek etki göstermektedir. Yani sitokrom-c oksidaz enzimini aktive ederek mitokondriyal elektron transferini, dolaylı olarak da ATP üretiminde artışı sağlamaktadır. (12, 13)

Fotobiyomodülasyon tedavisi, Arndt-Schulz yasasının "herhangi bir madde veya ilacın düşük dozunun uyarıcı, yüksek dozun ise engelleyici etkisi olduğunu" belirten ilkesine dayanmaktadır.(14) Bu tedavinin düşük dozları, fotonların mitokondride sitokrom-c oksidaz tarafından emildiği ve adenozin trifosfat (ATP) üretimini ve düşük seviyelerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) uyarıldığı moleküler ve kimyasal mekanizma ile hücre uyarımına neden olan bir fotonik radyasyondur. Bu anabolik etki, osteoblast, osteoklast, fibroblastlar ve periodontal ligament hücreleri gibi farklı hücre soylarının proliferasyonunu ve farklılaşmasını

uyararak diş hareketinin hızlanmasını arttırmakta, böylece kemiğin yeniden şekillenmesi, kollajen sentezi ve revaskülarizasyon için uyarıcı etki sağlamaktadır. Temel fibroblast büyüme faktörü, makrofaj koloni uyarıcı faktör, c-fms, tartarat dirençli asit fosfataz, matris metalopeptidaz-9, Katepsin K ve integrin ekspresyonu bu sürece katkıda bulunmaktadır. Ayrıca nükleer faktör-kB reseptör aktivatörü (RANK) ve RANK ligandı (RANKL) indüksiyonu yoluyla da diş hareketinin hızı uyarılmaktadır. (12, 15-18)

Fotobiyomodülasyonun ortodontik diş hareketine etkisi ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan çoğu diş hareketlerini hızlandırdığı yönünde iken bazı çalışmalar ise diş hareketlerini etkilemediği ve aksine yavaşlattığı yönündedir. Yapılan tüm bu çalışmaların farklı sonuçlar içermesi ise farklı uygulama yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Klinik uygulamalarda ışık kaynaklarının (lazer veya LED) yanı sıra uygulanan ışığın dalga boyu, çıkış gücü, dalganın sürekli veya atımlı oluşu ve atım parametreleri (atım süresi, sıcaklığı vb.) değiştirilerek farklı koşullarda çalışılabilmektedir. Yapılan çalışmalarda da standart ortak bir uygulama bulunmamaktadır. Işık kaynağı (lazer-LED), uygulama yeri ve süresi (klinik-ev, ağız içi-ağız dışı, günlük-aylık, 5-20sn), kullanılan dalga boyu (618-850 nm), cihazın çıkış gücü (20-200 mW), dokuya verilen enerji miktarı (2-8 J/cm<sup>2</sup>) gibi parametreler farklılık göstermektedir. Bu nedenle farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır.(18, 19) Son yıllarda derin dokulara nüfuz etmesinin iyileştirilmesi için daha yüksek dalga boyları (800-900 nm) ve çıkış güçlerine (10 miliwatt) sahip cihazlar tercih edilmektedir. Ayrıca LED ışık kaynağının lazere göre daha güvenilir bir uygulama olması, hastanın evde kendi başına uygulayabiliyor olması, lazer ile benzer etkilere sahip olması ve ekonomik yönden lazerden daha az maliyetli olması kullanım sıklığını artırmaktadır.



Şekil 1: Lazer Cihazı



Şekil 2: Ağız İçi LED Cihazı (OrthoPulse)

Şekil 1 ve 2'de görüldüğü gibi ortodontik diş hareketini hızlandırmak amacıyla lazer cihazı ve LED ışık kaynağının kullanıldığı ağız içi cihaz (OrthoPulse®) ile yapılmış çalışmalar mevcuttur.

Galyum-Alüminyum-Arsenid (Ga-Al-As) diode lazer kullanılarak yapılan çalışmalardan birinde 780 nm dalga boyu, 20mW güç ve 5 J/cm<sup>2</sup> doz kullanılarak 10 sn yapılan ışınlamayla diş hareket hızının %34 oranında artış gösterdiği bildirilmiştir.(20) Bir diğer çalışmada ise 809 nm dalga boyu 100 mW güç, 8 J/cm<sup>2</sup> doz kullanılarak 10 sn yapılan ışınlamayla kontrol grubunun 2 katı kadar diş hareketi elde edildiği belirtilmiştir.(21)

850 nm dalga boyunda LED ışık kaynağı olan OrthoPulse cihazı kullanılarak yapılan klinik çalışmalarda farklı çıkış gücü ile hastanın evde kendisinin uyguladığı günlük 3-5 dk arasındaki uygulamalarla yaklaşık %30-35 arası diş hareket oranında artış olduğu belirtilmiştir.(22-25)

Fotobiyomodülasyonun ortodontik diş hareketine etkisinin değerlendirildiği derlemelerde çoğu çalışma diş hareketini hızlandırdığını savunurken, aksine FBM uygulamasının diş hareketlerini etkilemediğini veya azalttığını savunarak konu üzerine daha fazla çalışma yapılması gerektiğini belirten yayınlar da mevcuttur.(18, 19)

## **MEKANİK TİTREŞİMİN ORTODONTİK DİŞ HAREKETLERİNE ETKİSİ**

Yüksek frekanslı düşük genlikli mekanik titreşimin kemik yapımını uyararak ve kemik yoğunluğunu artırarak kemiğin yeniden şekillenmesini teşvik ettiği böylece ortodontik diş hareketlerini hızlandırdığı düşünülmektedir. Ancak bu etkinin altında yatan biyolojik mekanizma henüz tam olarak netlik kazanmamıştır. Bununla ilgili yapılmış çalışmalarda mekanik titreşimin pozitif etkisinin olmasının yanında, hiçbir etkisinin olmadığını hatta diş hareket hızını azalttığını bildiren çalışmalar da mevcuttur.(26, 27) Sonuçların farklı olmalarının bir sebebi FBM uygulamasında olduğu gibi standart bir uygulama prosedürünün mevcut olmayışıdır. Yapılan çalışmalarda yüksek frekans ve düşük genlikli mekanik titreşim olarak, 20-200 Hz aralığında frekans ve 0.05-2 Newton aralığında yükleme genliği kullanılmıştır. Ayrıca uygulama süreleri de oldukça değişkenlik göstermektedir. Çalışmaların çoğunda uygulama süresi günde 5-20 dk arasında değişmektedir. Ortodontik diş hareketini hızlandırmak amacıyla kullanılan non-invaziv mekanik titreşim cihazı olarak son çalışmalarda Şekil 3'de görülen Acceledent® isimli cihaz kullanılmaktadır. Cihazın 0.25 N (25 g) kuvvet ve 30 Hz frekans ile günde 20 dk uygulama prosedürü bulunmaktadır.(28, 29)



Şekil 3: AcceleDent Cihazı

Mekanik titreşimin diş hareketlerine etki mekanizması ve uygulama prosedürü konusunda daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

## ORTODONTİK AĞRIYA ETKİLERİ

Ağrı, mevcut veya potansiyel doku hasarı ile ilişkili hoş olmayan duyuşsal ve duyuşsal bir deneyimdir ve ortodontinin en sık görülen komplikasyonlarından biri olup hastaların tedaviyi bırakmalarına sebep olabilmektedir. Sabit ortodontik tedavi başlangıcında hastaların yaklaşık %65-95'inde ağrı gelişmekte, yemek yemelerini ve günlük aktivitelerini etkilemektedir.(30) Uygulanan ortodontik kuvvetler ile gerçekleşen alveolar remodelling sürecinde, kan akışındaki değişiklikler, inflamatuvar sitokinlerin (histamin, prostaglandinler, encefalin, P maddesi, lökotrienler, vb.) salınımı, afferent sinir liflerinin uyarılması gibi reaksiyonlar çoğunlukla ağrıya neden olmaktadır.(31, 32)

Ortodontik ağrıyı kontrol etmek için farklı metodların etkinliği araştırılmaktadır. Nonsteroidal Anti-inflamatuvar İlaçlar (NSAID'ler), azalmış prostaglandin sentezi ile ilişkili siklooksijenaz enzim sistemi inhibisyonu yoluyla ortodontik ağrıyı azaltmanın en yaygın ve etkili yollarından biridir. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda alerji, mide ülseri, kanama bozuklukları, diş hareket hızında azalma gibi birçok yan etki bildirilmiştir.(33, 34)

Ortodontik ağrıyı azaltmak için kullanılan yöntemlerden biri fotobiyomodülasyondur. FBM ve ağrı mekanizmalarındaki güncel kavramlar hala gelişmektedir; bununla birlikte, çok sayıda destekleyici klinik çalışma göz önüne alındığında, FBM'yi ortodontide ağrı konusunda destekleyici bir önlem olarak düşünmek mantıklıdır. Uygulanan dalga boyu ve ışımda farklılıklar olmasına rağmen,

FBM'nin ağrı yönetiminde etkili bir yöntem olabileceği yönünde bir eğilim mevcuttur.(19, 35, 36)

Altta yatan mekanizma daha fazla araştırma gerektirse de, PBM analjezik etkisi, sinir hücrelerinin uyarılması, membran potansiyellerinin stabilizasyonu ve inflamatuvar dokuda nörotransmitterlerin salınımı ile açıklanmıştır.(37) Ortodontide, PBM'nin analjezik etkisi genellikle sabit ortodontik tedavi başlangıcı, bant yerleştirilmesi, elastik seperatör yerleştirilmesi gibi uygulamalarda ağrıyı azaltmak için uygulanmış ve ortodontik ağrıyı azalttığı bulunmuştur. Ancak ortodontik ağrıya herhangi bir etkisinin olmadığını belirten çalışmalar da mevcuttur.(35, 38-40)

Yapılan çalışmaların bir çoğunda FBM'nin ağrıya etkisini değerlendirmek amacıyla diode lazer kullanılmıştır.(36) LED ışık kaynağı ile lazer karşılaştırıldığında ise, her ikisinin de pozitif etkisinin olduğu ancak LED ile uygulanan FBM'nin lazere göre ortodontik ağrıyı azaltmada daha etkili olduğu belirtilmektedir.(41)

Mekanik titreşimin ortodontik ağrıya etkisini değerlendiren az sayıda çalışma bulunmaktadır. Etki mekanizması olarak da periodontal ligamentteki kan akımının artışıyla bölgede biriken metabolitler uzaklaştırılmakta ve ağrı azaltılabilmektedir. Yapılan çalışmalarda ortodontik tedavi sırasında özellikle başlangıç aşamasında ve ark tellerinin değişmesi seanslarında oluşan ağrıların ve ısırma ağrılarının mekanik vibrasyon ile azalabileceği bildirilmiştir.(42, 43)

Ortodontik tedavi gören hastalarda ağrı duyarlılığının önlenmesi ve kontrolü için klinik protokoller oluşturmak için lazer (kırmızı ve yakın kızılötesi), LED (yakın kızılötesi) ve mekanik titreşim ile yapılmış daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

## **ORTODONTİK KÖK REZORBSİYONUNA ETKİLERİ**

Ortodontik olarak indüklenen inflamatuvar kök rezorpsiyonu (OİİKR), ortodontik diş hareketinin olumsuz bir etkisi olarak ortaya çıkan oldukça yaygın bir durumdur. Kök yüzey kusurları veya kök boyunda kısılma şeklinde kendini gösterebilen kök yapısı kaybını ifade etmektedir. Hemen hemen tüm hastaların ve tüm dişlerin %91'e kadarının tedavi sonucunda bir dereceye kadar kök kısılması gösterdiği bulunmuştur.(44) OİİKR'nin dişlerin fonksiyonel kapasitesini tehlikeye atmadığına inanılmaktadır.(45) Ancak uzun süreli çalışmalarda şiddetli OİİKR'li maksiller kesicilerin yaşla birlikte artan hareketlilik gösterme eğiliminde olduğu belirtilmiştir.(46)

Ortodontik kök rezorbsiyonunu engellemek amacıyla birçok yöntem üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Ancak son yıllarda non-invaziv oluşları sebebiyle

fotobiyomodülasyon ve mekanik titreşim üzerine yapılan araştırmalar artış göstermektedir.(47)

Fotobiyomodülasyonun ortodontik olarak indüklenen inflamatuvar kök rezorbsiyonunun önlenmesi ve/veya tamirinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Yapılan hayvan çalışmaları bu düşünceyi desteklemektedir. FBM uygulanan gruplarda kontrol gruplarına göre daha az kök rezorbsiyonu olduğu bildirilmiştir.(48-50)

Yapılan klinik çalışmalarda ise yine uygulama metod farklılıklarından dolayı farklı sonuçlar bildirilmiştir. Fotobiyomodülasyonun kök rezorbsiyonunu azalttığını bildiren çalışmalar mevcutken, etkisinin olmadığını hatta kök rezorbsiyonunu artırdığını bildiren çalışmalar da mevcuttur.(47) Lazer ve LED ışık kaynaklarının kök rezorbsiyonuna etkisinin karşılaştırıldığı bir çalışmada ise ikisi arasında anlamlı fark bulunmamıştır.(51)

Mekanik titreşimin ortodontik olarak indüklenen kök rezorbsiyonuna etkisi üzerine yapılmış az sayıda çalışma bulunmaktadır. Etki mekanizması hakkında ise net bir bilgi bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalarda OİİKR'nin mekanik titreşimle azaldığı belirtilmektedir.(52) Ancak tersini iddia eden ve herhangi bir etkisinin olmadığını belirten çalışmalar da mevcuttur.(53) Bu konuda yapılacak daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

## **ORTODONTİK KEMİK FORMASYONUNA ETKİLERİ**

Ortodontik tedavilerde kemik formasyonu diş hareketleri haricinde de büyük öneme sahiptir. Sabit ortodontik tedavilerde ankrajı artırmak amacıyla kullanılan mini vidaların stabilitesini artırmak, hızlı çene genişletmesi uygulamasında kemik formasyonunu artırmak ve/veya hızlandırmak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Kimyasal ajanların kullanımları, fotobiyomodülasyon ve mekanik titreşim uygulanması bu yöntemler arasında yer almaktadır. Kimyasal ajanların uygulama zorluğu, sistemik etkileri ve olası yan etkileri sebebiyle pratikte kullanılmamaktadır. FBM ve mekanik titreşimin etkileri için yapılan çalışma sayısı artırılarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmelidir.

Fotobiyomodülasyon uygulamasının, ankraj artırmak amacıyla kullanılan mini vidaların stabilitesini artırdığı düşünülmektedir. Ancak aşırı kuvvet uygulanan mini vidaların stabilitesinin bozulmasını engelleyememektedir.<sup>54</sup> FBM'un kemik formasyonunu artırmadaki etkisi sayesinde maksiller hızlı çene genişletmesi uygulamasında da etkili olduğu yapılan hayvan çalışmaları ve klinik çalışmalarda da bildirilmiştir. Hem maksiller süturun açılmasının artışında hem de relapsın önlenmesi amacıyla beklenen sürenin azalmasında faydalı olduğu bulunmuştur. (55, 56)



## SONUÇ

Günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle birlikte ortodontik tedavilerde tedavi süresinin kısaltılmasına ve tedavi konforunun artırılmasına yönelik yaklaşımlar hızla gelişmektedir. Hem tedavi süresini kısaltmak hem de hasta konforunu artırmak amacıyla uygulanan non-invaziv yöntemler ve cihazlar popüler hale gelmektedir. Bu yöntemlerin ve cihazların; ortodontinin en önemli konuları olan diş hareketlerine, kök rezorbsiyonlarına, ortodontik ağrıya ve kemik formasyonuna etkileri yapılacak olan daha kapsamlı çalışmalarla aydınlatılmalıdır. Ancak bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar göz önüne alındığında bu konulardaki olası pozitif etkileri ve yan etkilerinin yok denecek kadar az olması nedeniyle non-invaziv yöntemlerden ve cihazlardan faydalanmak gerekmektedir. Özellikle ortodontik diş hareket hızını artırmaları ve ortodontik ağrıyı azaltmaları amacıyla fotobiyo-modülasyon ve mekanik titreşim uygulamaları ve cihazları rutinde kullanılabilir hale getirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Hamblin, M. R. (2016). History of low-level laser (light) therapy. In Handbook of Low-Level Laser Therapy (pp. 53-70). Jenny Stanford Publishing.
2. Heiskanen, V. Hamblin, MR. Photobiomodulation: lasers vs. light emitting diodes? Photochem Photobiol Sci, 2018;17(8),1003-17.
3. Hamblin, MR. Mechanisms and applications of the anti-inflammatory effects of photobiomodulation. AIMS Biophys, 2017;4(3),337-61.
4. Mansfield, NJ. Human response to vibration. CRC Press, 2004.
5. Farrar, JN. A Treatise on the Irregularity of the teeth and their Correction. Tome I. New-York. (1888).
6. Kashyap, S. Current concepts in the biology of orthodontic tooth movement: a brief overview. NJDSR, 2016;1(4), 28-31.
7. Baumrind, S. A. reconsideration of the propriety of the "pressure-tension" hypothesis. American Journal of Orthodontics, 1969; 55(1), 12-22.
8. Bassett, CAL, & Becker, R. O . Generation of electric potentials by bone in response to mechanical stress. Science,1962; 137(3535), 1063-1064.
9. Zengo, AN. Pawluk, R. J. & Bassett, C. A. L. Stress-induced bioelectric potentials in the dentoalveolar complex. . American journal of orthodontics, 1973; 64(1), 17-27.
10. Davidovitch, Z. Finkelson, MD. Steigman, S. et al. 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. American journal of orthodontics, 1980;77(1),33-47.
11. Schwarz, AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. International Journal of Orthodontia, Oral Surgery and Radiography, 1932;18(4),331-52.
12. Huang, H. Williams, RC. Kyrkanides, S. Accelerated orthodontic tooth movement: molecular mechanisms. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2014;146(5),620-32.
13. Wong-Riley, MT. Liang, HL. Eells, JT. et al. Photobiomodulation directly benefits primary neurons functionally inactivated by toxins: role of cytochrome c oxidase. Journal of Biological Chemistry 2005;280(6),4761-71.

14. Guram, G. Reddy, RK. Dharamsi, AM. et al. Evaluation of low-level laser therapy on orthodontic tooth movement: a randomized control study. *Contemporary clinical dentistry*, 2018;9(1),105.
15. Fujita, S. Yamaguchi, M. Utsunomiya, T. et al. Low-energy laser stimulates tooth movement velocity via expression of RANK and RANKL. *Orthodontics & craniofacial research*, 2008;11(3),143-55.
16. Yamaguchi, M. Hayashi, M. Fujita, S. et al. Low-energy laser irradiation facilitates the velocity of tooth movement and the expressions of matrix metalloproteinase-9, cathepsin K, and alpha (v) beta (3) integrin in rats. *The European Journal of Orthodontics*, 2010;32(2),131-39.
17. Zhu, X. Chen, Y. Sun, X. A study on expression of basic fibroblast growth factors in periodontal tissue following orthodontic tooth movement associated with low power laser irradiation. *Hua xi kou Qiang yi xue za zhi= Huaxi Kouqiang Yixue Zazhi= West China Journal of Stomatology*, 2002;20(3),166-68.
18. AlShahrani, I. Togoo, RA. Hosmani, J. et al. Photobiomodulation in acceleration of orthodontic tooth movement: a systematic review and meta analysis. *Complementary Therapies in Medicine*, 2019;47,102220.
19. Cronshaw, M. Parker, S. Anagnostaki, E. et al. Systematic review of orthodontic treatment management with photobiomodulation therapy. *Photobiomodulation, photomedicine, and laser surgery*, 2019;37(12),862-68.
20. Cruz, DR. Kohara, EK. Ribeiro, MS. et al. Effects of low-intensity laser therapy on the orthodontic movement velocity of human teeth: A preliminary study. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, 2004;35(2),117-20.
21. Youssef, M. Ashkar, S. Hamade, E. et al. The effect of low-level laser therapy during orthodontic movement: a preliminary study. *Lasers in medical science*, 2008;23(1),27-33.
22. Al Okla, N. Bader, D. Makki, L. Effect of photobiomodulation on maxillary decrowding and root resorption: A randomized clinical trial. *APOS Trends in Orthodontics*, 2018;8(2),86-86.
23. Samara, SA. Nahas, AZ. Rastegar-Lari, TA. Velocity of orthodontic active space closure with and without photobiomodulation therapy: a single-center, cluster randomized clinical trial. *Lasers in Dental Science*, 2018;2(2),109-18.
24. Shaughnessy, T. Kantarci, A. Kau, CH. et al. Intraoral photobiomodulation-induced orthodontic tooth alignment: a preliminary study. *BMC Oral Health*, 2016;16(1),1-9.
25. Dickerson, TE. Invisalign with photobiomodulation: optimizing tooth movement and treatment efficacy with a novel self-assessment algorithm. *J. Clin. Orthod*, 2017;51(3),157-65.
26. Darendeliler, MA. Zea, A. Shen, G. et al. Effects of pulsed electromagnetic field vibration on tooth movement induced by magnetic and mechanical forces: a preliminary study. *Australian dental journal*, 2007;52(4),282-87.
27. Kalajzic, Z. Peluso, EB. Utreja, A. et al. Effect of cyclical forces on the periodontal ligament and alveolar bone remodeling during orthodontic tooth movement. *The Angle Orthodontist*, 2014;84(2),297-303.
28. Kau, CH. Nguyen, JT. English, J. The clinical evaluation of a novel cyclical force generating device in orthodontics. *Orthodontic Practice US*, 2010;1(1),10-15.
29. Pavlin, D. Anthony, R. Raj, V. et al. Cyclic loading (vibration) accelerates tooth movement in orthodontic patients: a double-blind, randomized controlled trial. Paper presented at: Seminars in Orthodontics, 2015.
30. Scheurer, PA. Firestone, AR. Bürgin, WB. Perception of pain as a result of orthodontic treatment with fixed appliances. *The European Journal of Orthodontics*, 1996;18(1),349-57.
31. Farzanegan, F. Zebarjad, SM. Alizadeh, S. et al. Pain reduction after initial archwire placement in orthodontic patients: a randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2012;141(2),169-73.
32. Krishnan, V. Davidovitch, Ze. Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2006;129(4),469. e1-69. e32.

33. Polat, O. Karaman, AI. Pain control during fixed orthodontic appliance therapy. *The Angle Orthodontist*, 2005;75(2),214-19.
34. Walker, JB. Buring ,SM. NSAID impairment of orthodontic tooth movement. *Annals of Pharmacotherapy*, 2001;35(1),113-15.
35. Sfondrini, MF. Vitale, M. Pinheiro, ALB. et al. Photobiomodulation and pain reduction in patients requiring orthodontic band application: randomized clinical trial. *BioMed Research International*, 2020;2020.
36. Li, F. Zhang, J. Zeng, X. et al. Low-level laser therapy for orthodontic pain: a systematic review. *Lasers in medical science*, 2015;30(6),1789-803.
37. Turhani, D. Scheriau, M. Kapral, D. et al. Pain relief by single low-level laser irradiation in orthodontic patients undergoing fixed appliance therapy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2006;130(3),371-77.
38. Lim, H-M. Lew, KK. Tay, DK. A clinical investigation of the efficacy of low level laser therapy in reducing orthodontic postadjustment pain. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1995;108(6),614-22.
39. Chow, RT. Armati, PJ. Photobiomodulation: implications for anesthesia and pain relief. *Photomedicine and Laser Surgery*, 2016;34(12),599-609.
40. Deana, NF. Zaror, C. Sandoval, P. et al. Effectiveness of low-level laser therapy in reducing orthodontic pain: a systematic review and meta-analysis. *Pain Research and Management*, 2017;2017.
41. Esper, MÂLR. Nicolau, RA. Arisawa, EÂLS. The effect of two phototherapy protocols on pain control in orthodontic procedure—a preliminary clinical study. *Lasers in medical science*, 2011;26(5),657-63.
42. Lobre, WD. Callegari, BJ. Gardner, G, et al. Pain control in orthodontics using a micropulse vibration device: a randomized clinical trial. *The Angle Orthodontist*, 2016;86(4),625-30.
43. Marie, SS. Powers, M. Sheridan, JJ. Vibratory stimulation as a method of reducing pain after orthodontic appliance adjustment. *Journal of Clinical Orthodontics*, 2003;37(4),205-08.
44. Wahab, RMA. Shafiai, NAA. Ariffin, SHZ. An insight into risk factors for root resorption during orthodontic treatment. *J Med Sci*, 2017;17(01),1-9.
45. Brezniak, N, Wasserstein, A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part II: The clinical aspects. *The Angle Orthodontist*, 2002;72(2),180-84.
46. Jönsson, A. Malmgren, O. Levander, E. Long-term follow-up of tooth mobility in maxillary incisors with orthodontically induced apical root resorption. *The European Journal of Orthodontics*, 2007;29(5),482-87.
47. Nayyer, N. Tripathi, T. Rai, P. et al. Effect of photobiomodulation on external root resorption during orthodontic tooth movement—a scoping review. *Lasers in Dental Science*, 2019;3(4),219-26.
48. Ekizer, A. Uysal, T. Güray, E. et al. Effect of LED-mediated-photobiomodulation therapy on orthodontic tooth movement and root resorption in rats. *Lasers in medical science*, 2015;30(2),779-85.
49. Altan, AB. Bicakci, AA. Mutaf, HI. Et al. The effects of low-level laser therapy on orthodontically induced root resorption. *Lasers in medical science*, 2015;30(8),2067-76.
50. Higashi, DT. Andreello, AC. Tondelli PM. Et al. Three consecutive days of application of LED therapy is necessary to inhibit experimentally induced root resorption in rats: a microtomographic study. *Lasers in medical science*, 2017;32(1),181-87.
51. Goymen, M. Gulec, A. Effect of photobiomodulation therapies on the root resorption associated with orthodontic forces: A pilot study using micro computed tomography. *Clinical Oral Investigations*, 2020;24(4),1431-38.
52. Yadav, S. Dobie, T. Assefnia, A. et al. The effect of mechanical vibration on orthodontically induced root resorption. *The Angle orthodontist*, 2016;86(5),740-45.
53. DiBiase, AT. Woodhouse, NR. Papageorgiou, SN. et al. Effect of supplemental vibrational force on orthodontically induced inflammatory root resorption: A multicenter randomized clinical

- trial. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2016;150(6),918-27.
54. Uysal, T. Ekizer, A. Akcay, H. et al. Resonance frequency analysis of orthodontic miniscrews subjected to light-emitting diode photobiomodulation therapy. The European Journal of Orthodontics, 2012;34(1),44-51.
  55. Saito, S. Shimizu, N. of Dentistry FNUS. Stimulatory effects of low-power laser irradiation on bone regeneration in midpalatal suture during expansion in the rat. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1997;111(5),525-32.
  56. Cepera, F. Torres, FC. Scanavini, MA. et al. Effect of a low-level laser on bone regeneration after rapid maxillary expansion. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2012;141(4),444-5