

Yer Tutucuların Sonlu Elemanlar Analiziyle Değerlendirilmesi

Saadet Nilsu Muttepe¹

Özet

Yer tutucular, süt dişlerinin erken kaybı sonrasında daimi dişlerin süreceği boşluğun korunmasını amaçlayan, pediatrik diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan apareylerdir. Bu apareylerin uzun dönem başarısı yalnızca klinik stabilitelere değil, aynı zamanda biyomekanik uygunluklarına da bağlıdır. Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis, FEA), karmaşık yapıların mekanik davranışlarını dijital ortamda simüle edebilen ileri bir mühendislik yöntemidir ve son yıllarda diş hekimliğinde de yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yer tutucularla ilgili çalışmalarda FEA, farklı tasarım ve materyallerin stres dağılımını değerlendirme, zayıf bölgeleri belirleme ve tasarım iyileştirmelerine olanak tanıma açısından büyük avantaj sağlar. Ayrıca, dijital tarayıcılar ve üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte FEA, bireyselleştirilmiş aparey tasarımı ve üretimi sürecinde vazgeçilmez hâle gelmiştir. Bu bölümde, yer tutucuların FEA kullanılarak değerlendirilmesine ilişkin temel kavramlar, yöntemsel yaklaşımlar, literatür bulguları ve geleceğe yönelik öngörüler ele alınmıştır. Biyomekanik analizlerin klinik verilerle entegre edilmesi sayesinde, çocuk hastalarda daha kanıta dayalı ve uzun ömürlü tedavi planlarının oluşturulması hedeflenmektedir.

1. Giriş

Çocuklarda süt dişlerinin fizyolojik düşme yaşından önce çekimi, oral sağlık ve dental gelişim açısından çeşitli komplikasyonlara yol açabilmektedir. Erken süt dişi kaybı sonrası oluşan dişsiz boşluklara, komşu dişlerin devrilme eğilimi göstermesi ark boyutlarında değişime neden yol açabilmektedir. Bu durum, alttaki daimi dişin sürmesini engelleyerek dental oklüzyonun bozulmasına ve çene gelişiminin olumsuz etkilenmesine sebep olabilmektedir. Bunun sonucu olarak, çocuğun ileriki yaşlarda daha karmaşık

1 Uzman Diş Hekimi, Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, nilsumuttepe@gantep.edu.tr. ORCID ID: 0000-0002-0311-4703

ve uzun süreli ortodontik tedavilere ihtiyaç duyma olasılığı artmaktadır (1). Bu olumsuz sonuçların önüne geçmek adına çekim boşluğunun korunması büyük önem taşımaktadır. Çocuk Diş Hekimliğinde bu amaçla kullanılan yer tutucular dişlerin mesio-distal hareketini (devrilme) kısıtlayarak ark boyutlarını korumayı amaçlamaktadır.

Süt veya karma dişlenme döneminde birden fazla süt azı dişinin kaybı, diş arki dengesi ve çocuğun dental gelişimi üzerinde ciddi sorunlara neden olabileceğinden, kalan dişlerin pozisyonunu ve ilişkisini korumak, ayrıca gelişmekte olan daimi dişlerin sürmesine rehberlik etmek amacıyla uygun bir aparey uygulanması gerekmektedir. Aparey kullanılmadığı takdirde, dişsiz boşlukların daralması ve komşu dişlerin devrilmesi gibi mekanik sorunlar meydana gelebilmektedir (2). Süt azı dişlerinin kaybindan sonra herhangi bir müdahale yapılmazsa, daimi azı dişlerin yer değiştirmesi ve bunun sonucunda posterior çapraz kapanışın meydana gelmesi beklenmektedir (3). Oluşacak olan yer kaybı nedeniyle, daimi küçük azı dişleri ektopik olarak sürebilmekte ve aşırı durumlarda persiste kalabilmektedir.

Yer tutucularla ilgili çalışmalar, genellikle modeller üzerinden veya panoramik filmler üzerinden yapılan ölçümlerle olmaktadır. Ölçü alınarak modeller oluşturulması ve bunun belli aralıklarla tekrarlanması; hasta kooperasyonuna ihtiyaç duyulmasına ve çalışma süresinin uzamasına yol açmaktadır. Bunların yanı sıra, klasik ölçüm yöntemlerinin iki boyutlu olması, dental ark ve dişlerin ilişkilerinin tam anlamıyla değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. İki boyutlu ölçümler, dişlerin üç boyutlu anatomik pozisyonlarını ve komşu dişlerle olan dinamik ilişkilerini doğru bir şekilde yansıtamadığından, alınan sonuçların güvenilirliğini sınırlandırmaktadır.

Bir dişte meydana gelen hareket, diş kuvvete maruz kaldığında PDL'de meydana gelen stres dağılımına bağlı olmaktadır. Diş hareketi, PDL'nin indüklediği kemik reaksiyonlarıyla meydana gelen biyolojik bir süreçtir (4,5). Kemikte oluşan sıkışma ve gerilme bölgelerinde, PDL'nin indüklemesiyle kemik yıkımı ve yeniden oluşumu gözlenmektedir. Bu da dişin genellikle kuvvetin geldiği yöne doğru hareket etmesine neden olmaktadır. Diş hareketini olabildiğince doğru bir şekilde inceleyebilmek için PDL ve alveol kemiğin biyolojik davranışını simüle etmek gerekmektedir. Yapılan ortodontik ve periodontolojik çalışmalarda böyle bir matematiksel modelin oluşturulması için "sonlu elemanlar analizi (SEA)" faydalı bulunmuştur (6,7). Çocuk diş hekimliği alanında yapılan benzer çalışmalarda genellikle olgunlaşmış dişler üzerinden diş hareketleri incelenmiştir. Olgunlaşmış dişlere gelen stresler uzun kökler sayesinde geniş bir alana yayılarak dağılabilmektedir. Gelişimi devam etmekte olan dişler ise benzer stresleri alttaki kemiğe aktarmak için

daha küçük bir yüzey alanına sahiptir. Bu nedenle, böyle dişlerde PDL'de daha fazla stres oluşması beklenmektedir. Bu tarz değişkenlerin doğru bir şekilde aktarılması ve incelenmesi için SEA' nın uygun bir yöntem olduğu bilinmektedir (8,9).

2. Yer Tutucular

Yer tutucular, henüz sürmemiş bir diş uygun konumda yönlendirmek ve boşluğu korumak için kullanılan bir araçtır. Dişin erken kaybı sonrası, yer tutucular daimi dişin düzgün bir şekilde hizalanmasını sağlar ve oklüzyona ulaşmasına yardımcı olur. Yer tutucular hem estetiğe hem de fonksiyona yardımcı olmaktadır. Bu aparatlar, koruyucu ve durdurucu ortodontinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (10). Yer tutucular oklüzyonun mevcut durumunu koruyarak ark çevresinin, uzunluğunun ve genişliğinin korunmasını sağlamaktadır. Oklüzal düzlemin normal olarak oluşması için gerekli olan maymun diastemalarının kapatılmasını önlemektedir. Diş olarak yapıldığında yer tutucular estetik bir görüntüye, çiğnemeye ve fonetiğe katkı sağlayabilmektedir (11).

2.1. Yer Tutucular ve Biyomekanik Temeller

Yer tutucular, çocuğun yaşına, kaybedilen diş sayısına ve ark durumuna göre sabit ya da hareketli olarak planlanabilir. Ancak bu aparatların sabitlenmesiyle ağız içerisinde oluşan kuvvetlerin yönü, şiddeti ve yayılımı, sadece ilgili diş değil, komşu dişleri, periodontal ligamentleri ve hatta alveol kemiğini de etkileyebilir. Özellikle sabit yer tutucularda (örneğin band-loop veya lingual ark), yemek sırasında oluşan çiğneme kuvvetleri ya da dil/bukkal basınçlar belirli bölgelerde stres birikimine yol açabilir. Bu streslerin dağılımı, kullanılan malzemenin elastik modülü, yer tutucunun kalınlığı, bağlantı şekli gibi parametrelerle doğrudan ilişkilidir. Ayrıca çocuk hastalarda büyüme gelişimin etkisiyle kemik yoğunluğu, diş konumları ve oklüzal kuvvetler zaman içinde değişkenlik gösterdiğinden, bu biyomekanik değerlendirmelerin yaşa özgü yapılması daha doğru sonuçlar verecektir (12).

2.2. Yer tutucuların sınıflandırılması

Yer tutucular çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bunlardan bazıları:

- Fonksiyonlarına göre; fonksiyonel olanlar ve fonksiyonel olmayanlar
- Dişlere uyguladıkları kuvvetlere göre aktif ve pasif olanlar
- Kullanım durumlarına göre; sabit ve hareketli yer tutucular şeklindedir.

Genel olarak kullanılan ana sınıflandırma, sabit ve hareketli yer tutuculardır. Sabit yer tutucular da kendi arasında alt başlıklara ayrılmaktadır (13,14).

2.2.1. Sabit Yer Tutucular

Dişsiz boşluğa komşu diş simante edilerek yapılan, ortodontik tel ve bantlardan oluşan yer tutuculardır. Tek taraflı ve eksik diş sayısı az olan, kooperasyonun zayıf olduğu vakalarda bu tür yer tutucular tercih edilmektedir. Sabit yer tutucu tipi, yer tutucunun simante edileceği dişlerin hangi çenede bulunduğuna ve arktaki konumuna bağlı olarak değişmektedir. Bunlar:

- Band-loop yer tutucu
- Kron-loop yer tutucu
- Distal uzantılı aparey (Distal shoe retainer)
- Nance apareyi
- Transpalatal ark
- Lingual ark
- Kompozit Rezine ile Yapıştırılan Farklı Sabit Yer Tutucular (15,16).

Sabit yer tutucuların avantajları:

- Destek aldığı dişin düşmesine ve sürmesine etkisi bulunmamaktadır
- Kooperasyonun başarıya etkisi yoktur.
- Sürecek olan daimi diş etkilememektedir.
- Çenelerin büyümesini etkilememektedir (15,17).

Sabit yer tutucuların dezavantajları:

- Plak birikiminin kolaylaşmasıyla, gingivitis ve çürük oluşumunda artış gözlemlenebilmektedir
- Uygun olmayan yer tutucular nedeniyle destek alınan dişlerden istenmeyen hareketler gerçekleşebilmektedir
- Yer tutucu zamanla desimante olabilmektedir
- Minede demineralizasyon izlenebilmektedir
- Bandın zamanla dişetine gömülmesiyle yumuşak dokuda zedelenme meydana gelebilmektedir

➤ Yer tutucu metal yorgunluğu ya da tüketilen besin çeşidine bağlı olarak kırılabilir (18,19,20).

2.2.1.1. Band-loop yer tutucular

Karışık dişlenme veya süt dişlenme dönemlerinde; arka tek bir tarafında bir tane süt azısının erken kaybı halinde kullanılmaktadır (21). Band-loop yer tutucular düşük maliyetlidir ve kolaylıkla uygulanabilir. Bunların yanında düzenli bakım ve kontrol gerektirmesi, sabitlendiği dişte çürüğe neden olabilmesi, oklüzal olarak fonksiyon karşılamaması gibi dezavantajları vardır (17,22). Bu aparatlar, dişsiz boşluğun distalindeki daimi diş veya 2. süt azı dişine simanla sabitlenen bir bant ve buna lehimlenen, boşluğun mesialindeki diş dayanarak destek alacak şekilde hazırlanan bir telden oluşmaktadır (14,23,24,25).

Endikasyonları:

- Daimi birinci büyük azı dişinin henüz ağızda olmadığı, birinci süt azının kaybedildiği durumlarda
- Tek süt dişinin kaybedildiği durumlarda
- Hastanın ileriki dönemlerde ortodontik tedavi gerektirecek maloklüzyonlarının bulunmaması
- Daimi birinci azıların ağızda daimi kesicilerin ise henüz ağızda olmadığı, süt azılardan herhangi birinin tek veya çift taraflı kayıp olduğu durumlarda endikedir (14,23,26).

2.2.1.2. Kuron-loop yer tutucular

Dişsiz boşluğa komşu olan destek dişte fazla madde kaybı varsa ve ideal bir restorasyon planlanamıyorsa bu yer tutucu tercih edilmektedir. Destek diş uygulanan kuron ve buna lehimlenen, diğer komşu diş dayanarak destek alan telden oluşmaktadır. Destek alınan dişin kuronlanmasıyla, çürüğe yatkınlık dezavantajı ortadan kalkmaktadır. Bu yer tutucunun en büyük problemi, kırılma gibi bir durumla karşı karşıya gelindiğinde tamirinin yapılamamasıdır. Bu durumda aparat yapımının tekrarlanması gerekebilmektedir. Diğer bir çözüm ise kuron üzerine band yerleştirilerek, band-loop yer tutucuya dönüşümün sağlanmasıdır (27).

2.2.1.3. Distal uzantılı aparat (Distal shoe retainer)

Daimi birinci büyük azı diş sürmeden önce, ikinci süt azı dişleri kaybedilirse bu yer tutucular kullanılır (15). Dişsiz boşluğun distal hizasına denk gelecek şekilde dişetine ve alveole gömülen bir parçası bulunmaktadır. Buradaki

amaç daimi birinci büyük azının mesiale doğru hareketini önlemektir. Bu parça süt 1.azı dişine simante edilen bir bantla lehimlenmektedir (28,29). Bu yer tutucu yapılırken anestezi yapılmalı, invaziv bir işlem olduğundan enfektif endokardit riskine dikkat edilmelidir (30). Bu yer tutuculara sahip hastalar için oral hijyene dikkat etmek çok önemlidir. Daimi birinci büyük azı sürüldükten sonra, distal uzantılı aparey başka uygun bir yer tutucuyla değiştirilmelidir (23,25).

2.2.1.4. Alt çene lingual arki

Alt çenede çift taraflı olarak süt azı dişlerinin kaybında kullanılmaktadır. Bu aparey sadece daimi birinci molarlar ve alt daimi keser dişler ağızdayken yapılabilmektedir. Aksi taktirde süt keserlerin lingualinde konumlanmış olan daimi keserlerin sürmesini engelleyebilmektedir. Daimi keserlerin henüz sürmediği durumlarda iki taraflı olarak band veya kuron loop kullanılmaktadır (23,31). Lingual ark daimi birinci azılara ya da ikinci süt azılara simante edilen band ve bunlara lehimlenen telden oluşmaktadır (22). Bu apareyler, karşıt çenedeki dişlerden de destek alabildiğinden stabil ve etkili bir yer tutucu olmaktadır (15,23,32). Lingual arklar, çeşitli elemanlar eklenerek veya bükümler yapılarak aktifleştirilebilmekte ve çeşitli modifikasyonlarda kullanılabilmektedir (17,33).

2.2.1.5. Nance apareyi

Nance apareyi, lingual arkin üst çenedeki versiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Kesici dişlere uzakta konumlandığından süt dişlenme dönemindeki yer tutucu ihtiyaçlarına da cevap vermektedir. Üst çenede erken süt diş kaybı nedeniyle oluşan yer darlığı azı dişlerin migrasyonundan kaynaklanmaktadır. Nance apareyleri tam olarak bunu önlemek için tasarlanmıştır (22,34,35).. Nance apareyi, arkin her iki tarafında dişsiz boşluğun distalindeki süt veya daimi azılara sabitlenen bant ve bunlara lehimlenen telden (0.9 mm) oluşmaktadır. Arkin iki tarafından gelen teller palatal rugalar bölgesinde damakla temasta olan bir akrilik butonla birleşmektedir (14,23,25). Akrilik butonun amacı telin palatal mukozaya gömülmesine engel olarak, molar dişlerin mesiale doğru devrilmesini önlemektir. Nance apareyi; alışkanlık kırıcı olarak, ankraj arttırmak için ve keser diş eksikliğinde diş eklenerek farklı amaçlarla da kullanılabilmektedir (36,37). Bu aparey, damaktaki akrilik teması nedeniyle doku irritasyonuna ve hiperplazisine neden olabilmektedir. Uzun dönemde kullanıldığında damak dokusuna gömülmeler gözlenebilmektedir. Bu nedenle ağız hijyenine dikkat edilmeli, düzenli olarak kontrollerinin yapılması gerekmektedir (15,38).

2.2.1.6. Transpalatal ark (TPA)

Nance apareyine benzer şekilde, lingual arkın üst çenede kullanılan versiyonudur. Transpalatal ark (TPA); çiğneme kuvvetlerinin etkisiyle daimi birinci büyük azı dişlerin palatinal kökler üzerinde rotasyon hareketi getirmesiyle oluşacak yer kaybını engellemeyi amaçlamaktadır (22,39). Bu aparey, daimi birinci büyük azı dişlerine yerleştirilen bantlar ve bu bantlara lehimlenen, transpalatal olarak her iki tarafa uzanan, dokudan 2-3 mm uzakta olacak şekilde teması olmayan telden oluşmaktadır (22,34,40,41). TPA, palatal mukozaya teması olmadığı için doku iritasyonuna sebep olmamaktadır ve gömülme izlenmemektedir (15,42). TPA'nın bir diğer avantajı da daimi azı dişlerin dikey boyutunu korumaya katkısıdır. Daimi azı dişlerin aşırı sürmesine ve devrilmesine engel olmaktadır. İkinci süt azı dişlerin her ikisinin de erken kaybedildiği durumlarda TPA'nın kullanımı tartışmalı bir konudur. Özellikle daimi ikinci azıların erken sürmesi TPA'nın etkinliğini azaltabilmektedir. Bazı çalışmalar TPA kullanımının tek taraflı süt azı kayıplarında sınırlandırılması gerektiğini savunmaktadır (4,43,44).

2.2.1.7. Kompozit rezin ile yapıştırılan farklı sabit yer tutucular

Bu yer tutucular dişsiz boşluğa komşu dişlere kompozit rezin kullanılarak tutturulmasıyla hazırlanmaktadır. Tutuculuklarının artırılması için mekanik aşındırma, asitlendirme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yer tutucuların uzun dönem başarısı; hastanın oral hijyeni düzeyi, uygulama sırasındaki izolasyon, kullanılan bond ve kompozit çeşidi gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Bu yer tutucular; ortodontik telden oluşan direkt bonded yer tutucular, fiberle güçlendirilmiş kompozit rezinle uygulanan yer tutucular, paslanmaz çelik kuronun vestibül yüzüne açılan pencereye yapıştırılan yer tutucular ve EZ space maintainer olarak sınıflandırılmaktadır (18,45).

2.2.2. Hareketli yer tutucular

Hareketli yer tutucular hem karma hem de süt dişlenme döneminde kullanılabilir. Tek veya çift taraflı olarak çoklu diş eksiklerinde tercih edilmektedirler. Hareketli yer tutucuların sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi için hem hastanın hem de hasta velisinin iş birliğine ihtiyaç bulunmaktadır (46,47). Fonksiyonel hareketli apareyler kullanıldığında, oklüzal fonksiyon sağlanabilir. Daimi dişler sürmeye başladığında hareketli yer tutucudaki akrilik aşındırılarak modifiye edilmelidir. Hareketli yer tutucuların maliyeti sabit olanlara göre daha fazladır. Uzun vadede doku iritasyonuna yol açabilmesi, ağızda çok yer kaplaması ve kolayca kaybolabilmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Zamanla retansiyonu azalabileceği için düzenli kontroller yapılması gerekmektedir (48,49).

3. Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)

Sonlu elemanlar analizi deneysel olarak çözümlenmesi zahmetli olan durumların bilgisayar yardımıyla çözümlenip matematiksel olarak hesaplanmasını sağlayan bir analiz yöntemidir. Uzun yıllardır mühendislik başta olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analizi, ağız içindeki biyomekanik süreçlerin daha iyi anlaşılması ve etkili tedaviler yapılabilmesi için, diş hekimliğinde de uzun süredir yaygın bir şekilde kullanılmaktadır(50). Bu analiz yöntemi, çeşitli kuvvetler uygulandığında periodontal ligament ve alveol kemikteki gerilimleri, bunların dağılımını ve bunların etkisiyle meydana gelebilecek diş hareketlerini simüle edebilmektedir (51,52).

3.1. Sonlu elemanlar analiziyle ilgili kavramlar

3.1.1. Kuvvet

Cisimlerde etki oluşturabilen; şiddeti, yönü, doğrultusu olan vektörel bir büyüklüktür. Kuvvet, temasta olan iki cisim arasında olabildiği gibi aralarında mesafe olan iki cisim arasında da olabilmektedir (53,54).

3.1.2. Gerilme (Stres)

Deforme edici bir dış kuvvete karşı üretilen, uygulanan kuvvetle ters yönde ancak aynı büyüklükte olan iç direnç gerilme (stres) olarak ifade edilmektedir. Dışarıdan gelen kuvvet de sebep olduğu stres de belirli bir yüzey alanına dağıldığından; stres birim alan başına düşen kuvvet şeklinde hesaplanmaktadır (55). Üç temel stres tipi bulunmaktadır:

- Çekme gerilimi; bir cisim aynı hat üzerinde ancak farklı yönlerde hareket eden iki kuvvete maruz kaldığında ortaya çıkan, bu kuvvetlerin neden olduğu deformasyona karşı oluşan tepkidir.
- Basınç gerilimi; bir cisme aynı yönde ancak farklı yönlerde etki eden iki kuvvetin neden olduğu stresi ifade etmektedir.
- Makaslama gerilimi; bir cisme etki eden iki farklı karşıt kuvvetin oluşturduğu gerilimi ifade etmektedir.

3.1.3. Gerinim (Strain)

Belli bir kuvvetin birim boyutunda meydana getirdiği değişikliği ifade etmektedir. Meydana gelen bu değişimin, normal boyuta olan oranıyla gerinim elde edilmektedir. Gerinim, gerilimden farklı olarak bir büyüklüğü olan skaler bir niceliktir (56,57). Kuvvete maruz kaldıkları zaman cisimlerde meydana gelen boyutsal değişiklik iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunlar elastik

ve plastik deformasyonlar olarak adlandırılmaktadır. Elastik deformasyon; etki eden kuvvet ortadan kalktığında eski hale dönebilmeyi ifade ederken, kuvvet ortadan kalktığında cismin orijinal halini koruyamaması plastik deformasyonu ifade etmektedir (58).

3.1.4. Eleman (Element)

Sonlu elemanlar analizi sistemin tanımlayıcı bölgesinin geometrik şekillere bölünmesi ile elemanlar oluşmaktadır. Elemanlar, düğümler olarak bilinen belirli sitelerde bilinmeyen değerler olarak temsil edilmektedir. Gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek için eleman sayısı artırılmaktadır. Elemanların sayısını artırmak, daha gerçeğe yakın ve doğru sonuçlara yol açmaktadır. Elementler; boyutlarına (tek, iki, üç boyutlu), geometrik şekillerine (üçgen, dörtgen vb.), ve sahip oldukları düğüm sayısına göre ayrılmaktadır (59,60).

3.1.5. Düğüm noktası (Node)

Sonlu elemanlar analizinde, elemanlar belirli konumlarda birleştirilir. Bu konumlar düğüm noktası (node) olarak adlandırılmaktadır. Düğüm noktalarında oluşan değişiklikler elemanların gerilmelerini diğer elemanlara aktarmaktadır. Bu nedenle düğüm noktalarının belli noktalardan sabitlenmesi gerekmektedir (61).

3.1.6. Elastisite modülü

Bir materyalin şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirence denmektedir ve gerilme/gerinim oranı kullanılarak hesaplanmaktadır. Elastisite modülü ne kadar yüksek olursa, uğranan deformasyon derecesi o kadar az olmaktadır (62).

3.1.7. Poisson oranı

Bir cisme çekme kuvveti uyguladığında elastik sınırlar içinde uzamaktadır. Sıkışma kuvveti uygulandığında ise kısalmaktadır. Bir cismin enine deformasyon/boyuna deformasyon oranı poisson oranı olarak ifade edilmektedir. Poisson oranı her bir materyal için 0- 0.5 arasında değişmektedir (63).

3.1.8. Ağ yapısı (Mesh)

Ağ yapısı, düğümlerin ve elemanların koordinatlarını oluşturmaktadır. Ağ yapısı kullanıcı tarafından manuel veya otomatik olarak yapılabilir. Ağ yapısı oluşturulurken birim başına daha fazla eleman eklemek verimliliği artırmaktadır. Önemli ölçüde element içeren veya içermesi beklenen

bölgelerde birim alana düşen element sayısı kendi sınırları içinde önemli farklılıklar göstermektedir. Kilit nokta modeli daha küçük parçalara ayırabilmek için gereken en etkili yöntemi belirlemektir. Ağ yapısı oluşturma işlemi bittikten sonra, hareketsiz noktaları ve kuvvetin uygulandığı yerleri belirtmek için sınır koşulları belirlenmektedir (64).

3.1.9. Sınır koşulları (Boundary Conditions)

Sınır koşulları, sınırlardaki gerilmelerin ve yer değiştirmelerin sınırlarını kapsamaktadır. Kuvvetin uygulandığı yeri ve sabitleme noktasının yerini göstermektedir. Sınır koşulları belirlenirken analizi yapılan cismin hangi bölgesine kuvvet uygulanacağı dikkate alınmaktadır (64).

3.2. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan stres tipleri

3.2.1. Von mises stresleri

Cisimlere uygulanan kuvvetler farklı boyutlarda ele alınmaktadır. Üç boyutlu olarak ele alındığında x , y ve z düzlemlerinde herhangi bir noktada üç sıkışma stresi oluşmaktadır. Bu üç stresin kombinasyonu von mises stresini ifade etmektedir (65,66).

3.2.2. Principle stres

3 boyutlu bir cisimde tüm bileşenlerin makaslama değeri sıfır olduğunda, en büyük stres değeri oluşmaktadır. Bu durumda, cismin maruz kaldığı normal streslere “principle stres” denmektedir. Bu stresler, x , y ve z düzlemlerinde oluşmaktadır. En yüksek gerilme değerine sahip ve daima pozitif olan değer “maksimum principle stres” ara değerlere sahip değer “ara principle stres”, değeri her zaman negatif olan sıkıştırma değeri ise minimum principle stres olarak adlandırılmaktadır (67).

3.3. Sonlu elemanlar analizinin aşamaları

3.3.1. Analiz öncesi aşama

İncelencek olan yapının üç boyutlu modelinin yapılması için elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Bu fazda yapının alansal, hacimsel, noktasak ve çizgisel olarak geometrisinin sunulması amaçlanmaktadır. Oluşturulan bu ağ yapısı sonlu elemanlar denilen ve birbirleriyle düğüm noktalarıyla bağlanan alt bölümlere ayrılmaktadır. Bağlandıkları düğüm noktaları sınır koşullarını oluşturmaktadır (68,69).

3.3.2. Analiz aşaması

Oluşturulan yapı üzerindeki elemanların özellikleri ve koşullarının belirlendiği aşamadır. Elastisite ve poisson oranları kullanılmaktadır. Daha sonra kuvvetle ilgili özellikler belirlenmektedir(70).

3.3.3. Analiz sonrası aşama

Analiz sonrası elde edilen stres ve yer değiştirme gibi değerler değerlendirilmeye alınmaktadır. Elde edilen verilerin değerlendirmesi incelenen yapının tipine göre yapılmaktadır. Çekilebilir yapılar (metal vb.) Von mises stresler, kemik, porselen gibi kırılabilir yapılar için ise principle stresler kullanılmaktadır(70,71).

4. Literatürde Yer Tutucular ve SEA

Literatüre göre SEA, biyolojik yapıların stres, deformasyon ve yer değiştirme davranışlarını üç boyutlu olarak analiz edebilen, yüksek doğrulukta ve tekrarlanabilir sonuçlar sunan matematiksel bir modelleme tekniğidir. Bu yöntem, diş hareketlerinin simülasyonunda, geleneksel klinik ve radyografik değerlendirmelere kıyasla daha hassas ve etik bir alternatif sunduğundan farklı senaryolar altında yer tutucuların etkinliği değerlendirilebilmektedir (4)(72)(73). Literatürde yapılan birçok çalışma, SEA' nın tutarlı sonuçlar sağladığını ve diğer test yöntemleriyle yüksek uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır (72).

SEA, yer tutucuların özellikle aşağıdaki yönlerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır:

- Stres dağılımı: Band ve loop gibi geleneksel yer tutucuların stres alanlarının belirlenmesi.
- Malzeme karşılaştırmaları: Paslanmaz çelik ile fiber destekli rezin sistemlerin karşılaştırılması
- Tasarım optimizasyonu: Dövme yerine lazerle kesilmiş yer tutucular gibi yeni tasarımların mekanik avantajları.

Dokuya etkiler: Kemik ve mukozaya iletilen kuvvetlerin değerlendirilmesi (74).

Kojima ve Fukui yaptıkları bir çalışmada; sonlu elemanlar analizinin klinik koşulları başarılı bir şekilde taklit edebileceğini savunmuştur. Sonlu elemanlar analizinin ortodontik çalışmalarda; diş hareketi gibi karmaşık olayları simüle edebilmesi, çocuk diş hekimliği alanında da yer tutucuları araştırmada kullanılması konusunda yol gösterici olmuştur (75).

Sabeti ve arkadaşlarının 2020 yılında sabit yer tutucuların etkinliğini sonlu elemanlar analizi (SEA) ile incelediği çalışmada, yer tutucu uygulandığında periodontal ligamente (PDL) iletilen stresin azaldığı, gelen streslerin yer tutucu üzerinde ve daimi dişin distal bölgesinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir (3).

Stivaros ve ark. TPA ile ilgili yaptıkları bir sonlu elemanlar analizi çalışmasında, daimi azı dişlerin mesiaopalatinal rotasyonunun teorik olarak TPA tarafından kontrol edilebileceğini ve düzeltilebileceğini ancak yer tutma konusundaki etkinliğinin öngörülemez olduğunu savunmuştur (47,76).

5. Geleceğe Yönelik Perspektifler

SEA kullanımı, çocuk hastalarda tedavi planlamasının kişiselleştirilmesine olanak tanımaktadır. Yeni nesil yer tutucuların dijital tasarımı ve üç boyutlu yazıcılarla üretimiyle birlikte, FEA bu sürecin ayrılmaz bir parçası haline gelecektir. Aynı zamanda biyomekanik analizlerin, klinik sonuçlarla entegrasyonu sayesinde, daha kanıta dayalı tedavi protokolleri geliştirilecektir (77).

Referanslar

1. Hakim MAA, Khatab NMA, Mohamed KMG, Elheeny AAH. A Comparative Three-Dimensional Finite Element Study of Two Space Regainers in the Mixed Dentition Stage. *Eur J Dent.* 2020 Feb;14(1):107–14.
2. Barbería E, Lucavechi T, Cárdenas D, Maroto M. Free-end space maintainers: design, utilization and advantages. *J Clin Pediatr Dent.* 2006 Autumn;31(1):5–8.
3. Sabeti AK, Karimizadeh Z, Rafatjou R. Maximum equivalent stress induced and the displacement of the developing permanent first molars after the premature loss of primary second molars: A finite element analysis. *Dent Med Probl.* 2020 Oct;57(4):401–9.
4. Kupietzky A, Tal E. The transpalatal arch: an alternative to the Nance appliance for space maintenance. *Pediatr Dent.* 2007 May;29(3):235–8.
5. Poiate IAVP, de Vasconcellos AB, de Santana RB, Poiate E. Three-dimensional stress distribution in the human periodontal ligament in masticatory, parafunctional, and trauma loads: finite element analysis. *J Periodontol.* 2009 Nov;80(11):1859–67.
6. Santler G, Kärcher H, Ruda C. Indications and limitations of three-dimensional models in cranio-maxillofacial surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 1998 Feb;26(1):11–6.
7. Bobak V, Christiansen RL, Hollister SJ, Kohn DH. Stress-related molar responses to the transpalatal arch: a finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997 Nov;112(5):512–8.
8. Chauhan SP, Sharma DS, Jain ML. Initial stresses induced in permanent maxillary first molar in mixed dentition under normal masticatory forces: A finite element study. *J Clin Pediatr Dent.* 2016;40(4):334–40.
9. Zhang H, Cui JW, Lu XL, Wang MQ. Finite element analysis on tooth and periodontal stress under simulated occlusal loads. *J Oral Rehabil.* 2017 Jul;44(7):526–36.
10. Jitesh S, Mathew MG. Space maintainer-A review. *Drug Inven Today* [Internet]. 2019;11. Available from: <https://medicopublication.com/index.php/ijfmt/article/download/13189/12149/25191>
11. Adak A, Saha S, Sarkar S, Saha N, Pal S. SPACE MAINTAINERS IN PEDIATRIC DENTISTRY - A REVIEW [Internet]. *wbidajournal.org*; 2018. Available from: <http://wbidajournal.org/upload/article/article127.pdf>
12. Pokorná H, Marek I, Kucera J, Hanzelka T. Space Reduction After Premature Loss of A Deciduous Second Molar -Retrospective Study. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences.* 2016 Nov 1;15(11):1–08.

13. Hitchcock HP. Preventive orthodontics. In: Clinical Pedodontics. S.B. Finn. W.B. Saunders Co, editor. Bölüm 16;
14. Bijoor RR, Kohli K. Contemporary space maintenance for the pediatric patient. N Y State Dent J. 2005 Mar;71(2):32–5.
15. Marwah N. Textbook of pediatric dentistry. 2018; Available from: https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=ZK52DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Marwah+N.+Development+of+occlusion,+textbook+of+pediatric+dentistry,+In:Marwah+N,+Vishwanathiah+S,+Gr+R,+eds.+Fourth+edition,+New+Delhi,+London,+Panama:+Jaypee++Brothers,+2019,+p:165-179.&ots=i0sEiThTxO&sig=I86-s_I_9zTDXKkEu9WlcscLGBA
16. Kirzioğlu Z, Ertürk MSO. Success of reinforced fiber material space maintainers. J Dent Child . 2004 May-Aug;71(2):158–62.
17. Marwah N. Pediatric Space Managment. In: TEXTBOOK OF PEDIATRIC DENTISTRY. 3rd ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers; 2014. p. 424- 54.
18. S Deshpande S, D Bendgude V, Kokkali V V. Survival of Bonded Space Maintainers: A Systematic Review. Int J Clin Pediatr Dent. 2018 Oct 1;11(5):440–5.
19. Santos VL, Almeida MA, Mello HS, Keith O. Direct bonded space maintainers. J Clin Pediatr Dent. 1993 Summer;17(4):221–5.
20. Demir P, Evren A. Koruyucu ve Durdurucu Pedodonti ve Ortodonti Uygulamaları. Livre de Lyon; 2021. 178 p.
21. Kharbanda OP. Orthodontics: Diagnosis and Management of Malocclusion and Dentofacial Deformities, E-Book. Elsevier Health Sciences; 2019. 1402 p.
22. Christensen JR, Fields H, Sheats RD. Treatment planning and management of orthodontic problems. In: Pediatric Dentistry. Elsevier; 2019. p. 512–53.e3.
23. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. Int J Paediatr Dent. 2009 May;19(3):155–62.
24. Bijoor RR, Kohli K. Contemporary space maintenance for the pediatric patient. N Y State Dent J. 2005 Mar;71(2):32–5.
25. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. Int J Paediatr Dent. 2009 May;19(3):155–62.
26. Subramaniam P, Babu G, Sunny R. Glass fiber-reinforced composite resin as a space maintainer: a clinical study. J Indian Soc Pedod Prev Dent. 2008;26 Suppl 3:S98–103.

27. Qudeimat MA, Sasa IS. Clinical success and longevity of band and loop compared to crown and loop space maintainers. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2015 Oct;16(5):391–6.
28. Hicks EP. Treatment planning for the distal shoe space maintainer. *Dent Clin North Am*. 1973 Jan;17(1):135–50.
29. Gegenheimer R, Donly KJ. Distal shoe: a cost-effective maintainer for primary second molars. *Pediatr Dent*. 1992 Jul;14(4):268–9.
30. Brill WA. The distal shoe space maintainer chairside fabrication and clinical performance. *Pediatr Dent*. 2002 Nov;24(6):561–5.
31. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. *Int J Paediatr Dent*. 2009 May;19(3):155–62.
32. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. *Int J Paediatr Dent*. 2009 May;19(3):155–62.
33. Rebellato J, Lindauer SJ, Rubenstein LK, Isaacson RJ, Davidovitch M, Vroom K. Lower arch perimeter preservation using the lingual arch. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1997;112(4):449–56.
34. Terlaje RD, Donly KJ. Treatment planning for space maintenance in the primary and mixed dentition. *ASDC J Dent Child*. 2001 Mar-Apr;68(2):109–14, 80.
35. Terlaje RD, Donly KJ. Treatment planning for space maintenance in the primary and mixed dentition. *ASDC J Dent Child*. 2001 Mar-Apr;68(2):109–14, 80.
36. Evans RD, Jones AG. Modified Nance appliance for cases with missing anterior teeth. *J Clin Orthod*. 1994 Jan;28(1):40–2.
37. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. *Int J Paediatr Dent*. 2009 May;19(3):155–62.
38. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. *Int J Paediatr Dent*. 2009 May;19(3):155–62.
39. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. *Int J Paediatr Dent*. 2009 May;19(3):155–62.
40. Bijoor RR, Kohli K. Contemporary space maintenance for the pediatric patient. *N Y State Dent J*. 2005 Mar;71(2):32–5.
41. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. *Int J Paediatr Dent*. 2009 May;19(3):155–62.
42. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. *Int J Paediatr Dent*. 2009 May;19(3):155–62.
43. Terlaje RD, Donly KJ. Treatment planning for space maintenance in the primary and mixed dentition. *ASDC J Dent Child*. 2001 Mar-Apr;68(2):109–14, 80.

44. christensen and avery. In: DEAN, JA, McDONALD, RE, AVERY, DR (2000) Managing the developing occlusion In: Dentistry for The Child and Adolescent 7th Ed: RE Mc Donald, DR Avery St Louis: Mosby Co Bölüm 27.
45. Simsek S, Yilmaz Y, Gurbuz T. Clinical evaluation of simple fixed space maintainers bonded with flow composite resin. J Dent Child (Chic). 2004 May;71(2):163-8.
46. Barbería E, Lucavechi T, Cárdenas D, Maroto M. Free-end space maintainers: design, utilization and advantages. J Clin Pediatr Dent. 2006 Autumn;31(1):5-8.
47. Kupietzky A. Clinical technique: Removable appliance therapy for space maintenance following early loss of primary molars. Eur Arch Paediatr Dent. 2007 Nov;8(S1):30-4.
48. Woodward GL. The Use of Space Mantainers in the North York Public Dental Program. 1993. 32 p.
49. Ngan PW, Wei SH, Yen PK. The primary dentition. Orthodontic treatment. Oral Health. 1988 Sep;78(9):17-21.
50. Magne P. Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data. Dent Mater. 2007 May;23(5):539-48.
51. Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B. The finite element method: a tool to study orthodontic tooth movement. J Dent Res. 2005 May;84(5):428-33.
52. Srirekha A, Bashetty K. Infinite to finite: an overview of finite element analysis. Indian J Dent Res. 2010 Jul;21(3):425-32.
53. Bidez MW, Misch CE. Force transfer in implant dentistry: basic concepts and principles. J Oral Implantol. 1992;18(3):264-74.
54. Caputo AA, Standlee JP. Biomechanics in Clinical Dentistry. Quintessence Publishing (IL); 1987. 232 p.
55. McNeill C. Occlusion: what it is and what it is not. J Calif Dent Assoc. 2000 Oct;28(10):748-58.
56. FRANKLIN F. E. Stress Analysis. M. Kutz (Ed.). Mechanical Engineers' Handbook. Wiley Publishing.
57. O'Brien WJ. Dental Materials and Their Selection. Quintessence Publishing (IL); 1997. 444 p.
58. Veli İ. [ALINTI] Üst kanin distalizasyonunda oluşan değişikliklerin sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi. 2012;
59. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. J Prosthet Dent. 2001 Jun;85(6):585-98.
60. Moaveni S. Finite Element Analysis: Theory and Application with Ansys. 2003. 850 p.

61. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2001 Jun;85(6):585–98.
62. Manappallil JJ. *Basic Dental Materials.* JP Medical Ltd; 2015. 630 p.
63. Manappallil JJ. *Basic Dental Materials.* JP Medical Ltd; 2015. 630 p.
64. Avci T, Omezli MM, Torul D. Investigation of the biomechanical stability of Cfr-PEEK in the treatment of mandibular angulus fractures by finite element analysis. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2022 Nov;123(6):610–5.
65. Geng J, Yan W, Xu W. *Application of the Finite Element Method in Implant Dentistry.* Springer Science & Business Media; 2008. 148 p.
66. Shigemitsu R, Yoda N, Ogawa T, Kawata T, Gunji Y, Yamakawa Y, et al. Biological-data-based finite-element stress analysis of mandibular bone with implant-supported overdenture. *Comput Biol Med.* 2014 Nov;54:44–52.
67. Ebrahimi F. *Finite Element Analysis: New Trends and Developments.* BoD – Books on Demand; 2012. 414 p.
68. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2001 Jun;85(6):585–98.
69. Konda. P, Sa. T. Basic principles of finite element method and its applications in orthodontics [Internet]. Available from: <https://www.dent.cmu.ac.th/cmdj/backend/web/uploads/files/6200d8f98f104.pdf>
70. Borcic J, Braut A. *Finite Element Analysis in Dental Medicine.* In: Ebrahimi F, editor. *Finite Element Analysis - New Trends and Developments.* InTech; 2012.
71. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2001 Jun;85(6):585–98.
72. Assunção WG, Barão VAR, Tabata LF, Gomes EA, Delben JA, dos Santos PH. Biomechanics studies in dentistry: bioengineering applied in oral implantology. *J Craniofac Surg.* 2009 Jul;20(4):1173–7.
73. Chien PYH, Walsh LJ, Peters OA. Finite element analysis of rotary nickel-titanium endodontic instruments: A critical review of the methodology. *Eur J Oral Sci.* 2021 Oct;129(5):e12802.
74. Hemdan MBE, El Kalla IHH, El Agamy RA. Clinical Evaluation of Different Designs of Fixed Space Maintainer: A Randomized Clinical Trial. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2024 Apr;17(4):442–50.

75. Kojima Y, Fukui H. Effects of transpalatal arch on molar movement produced by mesial force: a finite element simulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 Sep;134(3):335.e1–7; discussion 335–6.
76. Stivaros N, Lowe C, Dandy N, Doherty B, Mandall NA. A randomized clinical trial to compare the Goshgarian and Nance palatal arch. *Eur J Orthod.* 2010 Apr;32(2):171–6.
77. Aktaş N, Atabek D. Fracture Resistance of Space Maintainers Produced Using 3D Printable Materials. *Eur J Paediatr Dent.* 2024 Dec 1;25(4):266–70.