

# Bölüm 11

## BULK-FİLL KOMPOZİTLERDE POLİMERİZASYON BÜZÜLMESİNİN MİKRO-BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: LİTERATÜR DERLEMESİ

Özge Gizem CABADAĞ<sup>1</sup>

Tuğba MİSİLLİ<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Son yıllarda estetik restorasyonlara yönelik artan talepler nedeniyle kompozit rezinler, günümüz restoratif diş hekimliğinde önemli bir yer edinmiştir. Kompozit restorasyonlar, anterior dişleri restore etmek için ilk seçenek olarak kabul edilmekle birlikte, dental amalgam kullanımının azalması posterior dişlerde de kullanımlarının global ölçekte artmasına neden olmuştur<sup>(1)</sup>. Kompozit rezinlerin direkt anterior ve posterior restorasyonlarda tercih edilmelerinin nedenleri arasında tatmin edici estetiğe sahip olmaları, indirekt restorasyonlara kıyasla diş yapısını korumaları, tamir edilebilirlikleri ve maliyetlerinin uygun olması sayılırken, polimerizasyon büzülmesi ve oluşan büzülme stresi başlıca dezavantajlarını oluşturmaktadır<sup>(2)</sup>. Polimerizasyon büzülmesi, monomerler arasında bulunan Van der Waals bağlarının polimerizasyon reaksiyonunun ilerlemesiyle yerini kovalent bağlara bırakması ve bu süreçte monomerler arası mesafenin 4 Å'dan 1,54 Å'a düşmesiyle birlikte yapıda %1,5-5 oranında meydana gelen hacimsel büzülme olarak tanımlanır<sup>(3)</sup>. Resin materyallerde meydana gelen polimerizasyon büzülme gerilimleri, pre-jel ve post-jel olarak iki ayrı fazda ele alınır. Önemli demarkasyonlardan biri olan jel noktasına kadar olan süreçte rezinin akıcılığı ve kavite içine yayılması stresi kısmen azaltırken, vitrifikasyon noktasına gelmesiyle rezin yüksek elastisite modülü göstermeye başlayıp, akışkanlığını kaybederek camsı bir yapıya dönüştüğü için restorasyon ve diş dokusu arasındaki bağlantı gibi polimerizasyon büzülmesi üzerindeki herhangi bir kısıtlayıcı etki, rezidüel büzülme stresi oluşturmaktadır. Oluşan büzülme stresi, restorasyon/diş arayüzeyi boyunca

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Pamukkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi AD., gizemyndny@outlook.com

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi AD., dt.tugbay@outlook.com

veya restorasyon kenarlarındaki bağlantının kopmasıyla, internal ve marjinal aralanmalara, materyal ve/veya diş yapısında mikro çatlaklara ve kaspal hareketlere neden olabilmekte, nihayetinde restorasyonun kaybına yol açabilmektedir<sup>(4)</sup>.

Polimerizasyon büzülmesi ve bunun sonucunda oluşan streslerin kontrol altına alınabilmesi amacıyla materyallerin yapısında modifikasyonlar, tabakalı yerleştirme teknikleri, farklı ışık uygulama stratejileri ve stres absorban olarak liner kullanımı gibi pek çok yöntem mevcuttur<sup>(4,6)</sup>. Rezin esaslı dental materyallerde polimerizasyon büzülme streslerini materyal içeriği açısından ele alan sistematik bir derleme ve meta-analiz çalışmasında, inorganik doldurucu fazda yapılan modifikasyonların, doldurucu miktarı ve boyutunun arttırılması ile alternatif doldurucu ve nanojel ilavelerini içerdiğinden; silan bağlayıcı ajan modifikasyonlarında non-silanize doldurucular ile alternatif işlevselleştirilmiş (thiol-ene) sistemlerin kullanımından söz edilmiştir. Organik matriks yapıda ise geleneksel formülasyon oranlarında yapılan değişiklikler, alternatif fotobaşlatıcı, siloran ve thiol-ene esaslı monomerler ile thio-üretan oligomer ilaveleri aracılığıyla polimerizasyon büzülme stresleri minimize edilmeye çalışılmıştır<sup>(6)</sup>. Rezin esaslı dental materyallerin polimerizasyon büzülme streslerini teknik protokol ve fotoaktivasyon stratejileri açısından değerlendiren sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında ise polimerizasyon büzülme streslerini azaltmaya yönelik yapılabilecekler; i. materyallerin yerleştirilmesinde alternatif teknik protokollerin kullanımı, ii. materyale uygulanan ışık yoğunluğunun veya toplam enerjinin modifikasyonu, iii. alternatif polimerizasyon kaynakları kullanımı ve iv. alternatif fotoaktivasyon modları kullanımı olmak üzere dört ana başlıkta ele alınmıştır<sup>(7)</sup>. Diğer yandan klinisyenler, yalnızca zaman kazancı için değil hata potansiyelini de azaltmak için basit yaklaşımlar tercih etmektedirler. Son yıllarda restorasyon sürecini hızlandırmak ve tabakalama tekniğinden kaynaklanan problemlerin üstesinden gelmek için üretici firmalar, tek seferde 4-5 mm'ye kadar polimerize edilebildiğini belirttikleri bulk-fill kompozitleri geliştirmiş ve klinik pratikte hızla yer bulmaya başlamıştır. Bulk-fill kompozitlerde polimerizasyon derinliğinin artırılmasında, alternatif ve daha reaktif fotobaşlatıcıların ilavesinin yanı sıra benzer refraktif indeks gösteren doldurucu ve monomer yapıları, doldurucu miktarının azaltılması veya boyutunun artırılmasıyla ışığın daha derin tabakalara penetrasyonunun sağlanması gibi farklı stratejiler kullanılmıştır<sup>(4,8)</sup>. Polimerizasyon büzülme streslerinin azaltılmasında ise polimerizasyon modülatörü, yüksek molekül ağırlıklı monomer ve ilave fragmentasyon monomeri ilaveleri ile stres indirgeyici olarak görev yapan modifiye doldurucu partiküllerin yapıya dahil edilmesi gibi bazı modifikasyonlardan yararlanılmıştır<sup>(8,9)</sup>.

Yeni rezin materyallerin geliştirilmesi yanında, polimerizasyon büzülmesiyle karşımıza çıkan bu kaçınılmaz klinik belirtiler ve semptomlar, konuyu klinisyen-

ler ve araştırmacılar için önemli bir hale getirmektedir. Rezin kompozitlerin restoratif materyal olarak kullanılmasından bu yana, polimerizasyon büzülmesi ve büzülme stresinin etkisinin değerlendirilmesinde pek çok deneysel yöntemden yararlanıldığı gözlenmektedir. Hacimsel ve lineer büzülme ile kaspal defleksiyon ölçümleri, kavite adaptasyon (mikrosızıntı) testleri, sonlu elemanlar analizi ve mikro-bilgisayarlı tomografi ( $\mu$ -BT) gibi görüntüleme teknikleri bu amaçla kullanılan yöntemlerdir<sup>(2,10)</sup>. Bunlardan  $\mu$ -BT yöntemi, numunelerde strese ve bozulmaya yol açmadan, elde edilen verilerin üç boyutlu görüntüler olarak yeniden yapılandırılabilmesine ve diş boşluğu gibi belirli bir geometrik konfigürasyon içindeki materyal davranışının kalitatif ve kantitatif olarak analiz edilmesine olanak tanımaktadır<sup>(11)</sup>. Bu literatür derlemesinde, polimerizasyondan ödün vermeksizin, tabakalı olarak yerleştirilen konvansiyonel kompozitlere benzer büzülme stresi gösterdiği iddia edilen bulk-fill kompozitlerin, polimerizasyon büzülmesinin ve büzülme stresinin etkilerinin ölçülmesinde  $\mu$ -BT analizini kullanan çalışmalar ve kullanım yöntemleri ele alınmıştır.

## **POLİMERİZASYON BÜZÜLMESİ VE BÜZÜLME STRESİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE $\mu$ -BT KULLANIMI**

1980'li yılların başında geliştirilen ve yapıların mikro düzeyde değerlendirilmesine imkan veren  $\mu$ -BT ile devrim niteliğinde bir ilerleme kaydedilmiş ve 5-50  $\mu$ m boyutlarında voksel üretilmesiyle, çok daha iyi uzaysal çözünürlük sağlanmıştır<sup>(12,13)</sup>. Klinik BT tarayıcıların aksine,  $\mu$ -BT cihazında X-ışını kaynağı ve dedektör genellikle sabit olup, ölçüm yapılacak nesne kendi eksenini etrafında döndürüldüğünden vibrasyonun azalıp, çözünürlüğün arttığı ve daha küçük ışık kaynağı kullanılmasının, penumbrayı azaltarak görüntünün keskinliğini artırdığı söylenebilir<sup>(12)</sup>.  $\mu$ -BT diş hekimliğinde, mine kalınlığı ölçümü ve diş karakterizasyonu, kök kanallarının analizi, kraniyofasiyal iskelet gelişiminin değerlendirilmesi, dişlerdeki mineral konsantrasyonunun ölçülmesi, implant ve çevresindeki kemik dokunun mikro yapısının değerlendirilmesi, biyomekanik davranışın analizi (sonlu elemanlar analiziyle birlikte) ve doku mühendisliği gibi pek çok alanda kullanılmakta ve popüleritesinin gün geçtikçe arttığı görülmektedir<sup>(14)</sup>. Ek olarak,  $\mu$ -BT'nin materyal içindeki boşluklarının analizi, doldurucu dağılımı, polimerizasyon büzülmesi ile ilgili araştırmalar ve mikro çatlak analizi dahil olmak üzere dental materyal biliminde de uygulanabileceği bildirilmiştir<sup>(15)</sup>.

### **1. POLİMERİZASYON BÜZÜLMESİNİN HACİMSSEL DEĞERLENDİRMESİ**

Hacimsel büzülme, genellikle iki boyutlu yöntemlerle, üç boyutlu değişikliklerin tahmin edilmesiyle değerlendirilmesine rağmen, üç boyutlu bir olgudur.  $\mu$ -BT

gibi yeni teknolojilerin geliştirilmesi ile hacimsel büzülmenin üç boyutlu analizi daha basit ve güvenilir hale gelmiştir<sup>(16,17)</sup>. Hacimsel büzülmenin belirlenmesinde temelde kullanılan kalitatif veya yarı kantitatif geleneksel yöntemlere kıyasla,  $\mu$ -BT ile kantitatif bir analiz yapılabilmektedir<sup>(18)</sup>. Analiz, polimerizasyon öncesi ve sonrası kompozit hacimlerinin ölçülmesiyle gerçekleştirilmekte ve internal boşluklar da tespit edilebilmektedir<sup>(2)</sup>. Yöntemin sınırlaması, dental adezivler gibi yeterli radyoopasite göstermeyen ve düşük dolduruculu veya doldurucu içermeyen materyallerin yeniden yapılandırma yoluyla ayırt edilmesinin zorluğudur<sup>(19)</sup>.

Bulk-fill kompozitlerdeki hacimsel büzülmenin  $\mu$ -BT kullanılarak değerlendirildiği çalışmalarda, geleneksel kompozitlere kıyasla, kendi içlerinde viskozitelerine göre ve dental adezivlerin kullanılmasının etkisi gibi farklı açılardan ele alındığı gözlenmektedir. Çalışmaların bir kısmında veriler, mikrosertlik, polimerizasyon derinliği<sup>(16)</sup>, bağlanma dayanımı<sup>(18)</sup> bulgularıyla ilişkili olarak da incelenmiştir. Genel olarak, tüm kompozitlerin adeziv rezin uygulamasıyla daha az büzülme gösterdiği<sup>(20,21)</sup>, bulk-fill kompozitlerin, geleneksel rezin kompozitlere benzer<sup>(16,18,22,23)</sup> veya daha düşük<sup>(16,21,23,24)</sup>, akışkan tipteki formlarının ise yüksek viskoziteli olanlara kıyasla daha fazla<sup>(20,22)</sup> hacimsel polimerizasyon büzülmesi gösterdiği sonucuna varılmıştır. Kavitelelerin bağlanmamış serbest yüzeylerinde (oklüzal ve aproksimal dış yüzeyler) meydana gelen büzülmenin, diğer yüzeylerine göre daha belirgin olduğu bildirilmiştir<sup>(21-24)</sup>.

Bulk-fill kompozitler ele alındığında göz önünde bulundurulması gereken bir diğer faktör, kompozit rezinlerin yapısında oluşan içsel boşlukların sayısını ve boyutunu azaltmanın bir yolu olarak bazı bulk-fill kompozit üreticileri tarafından sistemlerine eklenen sonik aktivasyon ve ön ısıtma uygulamalarıdır. Diğer yandan hacimsel büzülme ve boşluk oluşumu korelasyonunu inceleyen bir çalışma da bu iki parametre arasında zayıf bir pozitif ilişki ortaya koymuştur<sup>(25)</sup>.  $\mu$ -BT analiz yönteminde elde edilen 3 boyutlu görüntülerin toplu hacimsel değerlendirilme imkanı tanınması, kompozit restorasyonlardaki içsel porözitelerin tespiti için de uygun bir araç haline getirmektedir. İçsel boşluklar, potansiyel stres konsantrasyon alanlarıdır ve materyalin mekanik dayanımını ve aşınma direncini azaltarak, kırılma ve çatlak ilerlemesi için başlangıç noktaları olarak hareket edebilmekte ve restorasyonlarda başarısızlıklara yol açabilmektedir<sup>(26)</sup>. Bu nedenle bulk-fill kompozitlerin  $\mu$ -BT ile analizlerinde bir diğer araştırma konusu, ön ısıtma ve sonik aktivasyon uygulamalarının materyalde içsel boşlukların oluşması ve oranları üzerine etkisinin değerlendirilmesi olmuştur. Klinik rutinde sonik aktivasyonla uygulanmak üzere geliştirilmiş bulk-fill kompozitin, farklı uygulama metodlarından (geleneksel, sonik aktivasyon, ön ısıtma) etkilenmediği, diğer kompozit rezinlerde sonik aktivasyonun, geleneksel ve ön ısıtma uygulamalarına kıyasla

daha yüksek boşluk oranlarına neden olduğu ortaya konmuştur. Diğer yandan ön ısıtma ile uygulanmak üzere geliştirilmiş, termovisköz özellik gösteren bulk-fill kompozit yanında, diğer bulk-fill kompozitlerde de ön ısıtma uygulamasının boşluk oranlarını önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir<sup>(27)</sup>. Sonik aktivasyon yönteminin değerlendirildiği başka bir çalışmanın bulguları da benzer şekilde, kullanılan restoratif materyale bağlı olarak boşluk oluşumunun artabileceği savını desteklemektedir<sup>(25,26)</sup>.

## **2. İTERNAL/MARJİNAL ADAPTASYONUN İNCELENMESİ**

Restorasyonların dış arayüzlerinde açık marjinler oluşması ve kompozit-diş arasındaki internal adaptasyon bütünlüğünün etkilenmesi, kompozit rezinlerde polimerizasyon büzülmesi sonucu meydana gelebilecek istenmeyen durumlardandır. Restoratif materyallerdeki yetersiz arayüz adaptasyonu, adezyon kayıplarına, tekrarlayan çürüklere ve pulpa irritasyonu gibi sorunlara yol açması nedeniyle değerlendirilmesi gereken faktörlerdir. Bu kusurlu arayüzlerin tespitinde, farklı mikroskop türleri veya replikalar aracılığıyla kenarların görselleştirilmesi için sıklıkla boya penetrasyon yöntemleri ve örneklerden kesit alınmasını gerektiren teknikler kullanılmaktadır<sup>(28)</sup>. Elde edilen veriler araştırmacı tarafından yapılan görsel değerlendirmelere dayalı olarak yarı kantitatif ve aralık oluşum alanlarının tümünü temsil etmezler.  $\mu$ -BT analizinde ise x-ışınlarının penetrasyon kabiliyeti sayesinde derinliğinden bağımsız olarak diş sert dokularının değerlendirilmesi mümkündür<sup>(29)</sup>. Böylece restorasyonların kavite duvarlarında ve pulpal tabanında oluşan internal aralıkların ve pörözitelerin kantitatif olarak tespitini sağlayarak, örneklerde tahribat yaratan geleneksel yöntemlerin limitasyonlarının üstesinden gelmektedir<sup>(30)</sup>. Ayrıca aynı tarama içinde restorasyon için farklı tipte parametre ve testlerin analizi mümkündür<sup>(31)</sup>.

Bulk-fill kompozit restorasyonların internal ve marjinal adaptasyonlarının analizinde  $\mu$ -BT kullanan araştırmalar incelendiğinde, farklı kavite formlarında kullanılan restoratif materyalin tipi, yaşlandırma prosedürleri ve cam iyonomer esaslı liner kullanımı gibi çeşitli faktörlerin etkisinin ve polimerizasyon büzülme gerinimi/stresi ve kırılma direnciyle etkileşimlerinin ele alındığı gözlenmektedir. Bunun yanında araştırmalarda, internal adaptasyon bütünlüğünün tespiti için gümüş nitratin pulpa boşluğundan dentin tübülleri yoluyla internal mikro aralanmalara penetrasyonunun,  $\mu$ -BT görüntülerindeki gri eşik değerlerinden yararlanılarak, kusurlu kenarların tüm duvar uzunluğuna oranlarının hesaplanması<sup>(32,33)</sup> veya kontrast madde olmadan diş-restorasyon arayüzeyinde siyah alanlar olarak görülen boşluk hacminin<sup>(29,34)</sup> ve boşluk hacminin tüm restorasyon hacmine oranının hesaplanması<sup>(25)</sup> gibi farklı ölçüm metodlarından yararlanıldığı görülmekte-

dir. Bu çalışmalarda ilk olarak termomekanik yaşlandırmanın, internal adaptasyonu olumsuz yönde etkilediği ve bunun materyalin elastisite modülüne bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ortaya konmuştur<sup>(32)</sup>. Akışkan bulk-fill kompozitler, yüksek viskoziteli bulk-fill ve hibrit kompozitlere göre; kaviteletin pulpal tabanı ve gingival basamağı, proksimal kavitenin bukkal ve lingual duvarlarına göre daha düşük arayüzey bütünlüğü sergilemiştir<sup>(33)</sup>. Diğer yandan internal adaptasyon, polimerizasyon büzülme gerinimi/stresi ile yakından ilişkili bulunurken<sup>(32,33)</sup>, hacimsel büzülme ile arasında orta şiddette bir pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Ayrıca bulk-fill kompozitlerin sonik veya el aletleriyle uygulanmasının, tabakalama tekniği uygulanan geleneksel kompozitlere benzer polimerizasyon büzülmesi ve aralık oluşumuna neden olduğu ve restorasyonda aralık oluşumunun polimerizasyon büzülmesi veya materyaldeki boşlukların hacmindense, kaviteye yerleştirilmesi esnasında meydana gelen aralık oluşumundan kaynaklandığı rapor edilmiştir<sup>(25)</sup>. Benzer şekilde bir diğer çalışmada da hacimsel polimerizasyon büzülmesi ile aralık oluşumunun birbiriyle tamamen ilişkilendirilemeyeceği bildirilmiştir<sup>(23)</sup>. Oğlakçı ve ark.<sup>(34)</sup>, hem polimerizasyon sürecinin hem de yaşlandırmanın, test edilen tüm kompozitler için aralık hacminde önemli bir artışa neden olduğunu, akışkan bulk-fill kompozitlerin koronal bölgede aralık oluşumu açısından diğer test edilen kompozitlerle benzer bir davranış sergilediğini, servikal bölgede ise kullanılan materyal tipinin özellikle polimerizasyon sonrası gap oluşumu açısından belirgin farklılıklara yol açabileceğini tespit etmişlerdir. Farklı yerleştirme tekniklerinin Sınıf II kavite aproksimal kenarlarındaki aralık oluşumuna etkisi değerlendirildiğinde, uygulama yöntemi farketmeksizin gingival basamakta akışkan bulk-fill kullanımının, tabakalama yöntemiyle tek başına uygulanan geleneksel bir kompozite göre daha az oranda aralık oluşumuna neden olduğu bildirilmiştir<sup>(31)</sup>. Akışkan bulk-fill kompozitlerde liner cam iyonomer siman (CİS) kullanımını, kök kanal tedavili molar dişlerde boşluk oluşumu ve kırılma direnci açısından, geleneksel kompozitlerle kıyaslayan bir çalışmada da her iki tipteki kompozit materyalinin tek başına uygulanmaların benzer sonuçlara yol açtığı, cam iyonomer siman liner kullanımının kırılma direncini azaltıp, boşluk oluşumunu arttırdığı tespit edilmiştir<sup>(30)</sup>. Akışkan ve yüksek viskoziteli bulk-fill kompozitler, rezin modifiye cam iyonomer (RMCİS) liner ile birlikte kullanımları açısından değerlendirildiğinde ise yalnızca sonik aktivasyonlu bulk-fill kompozitlerin gap oluşumunda belirgin azalma sağlandığı sonucuna varılmıştır<sup>(29)</sup>. Sonik aktivasyonlu bulk-fill kompozit, süt dişlerinde geleneksel CİS ve RMCİS ile karşılaştırıldığında da geleneksel CİS ile benzer boşluk oluşumu ve RMCİS'dan daha iyi bir kavite adaptasyonu gösterdiği tespit edilmiştir<sup>(35)</sup>.

### 3. BÜZÜLME VEKTÖRLERİNİN HESAPLANMASI VE GÖRSELLEŞTİRİLMESİ

Polimerizasyon büzülmesinin büzülme vektörleri biçiminde görselleştirilmesi, Inai ve ark.<sup>(36)</sup> tarafından tanıtilan, ardından Chiang ve ark., Cho ve ark. ile Rösch ve ark.<sup>(19,37,38)</sup> tarafından benimsenerek geliştirilen oldukça hassas bir yöntem olup, polimerizasyon öncesi ve sonrası kompozit restorasyonların  $\mu$ -BT taramaları, işaretleme yardımcıları materyalin üç boyutlu hareketinin vektörel olarak görselleştirilmesini sağlayarak, polimerizasyon büzülmesinin büyüklüğünü ve yönünü anlamamızı imkan tanır<sup>(2)</sup>. Büzülme vektörü değerlendirme yönteminin kısıtlılığını, polimerizasyon kütsel hareketini izlemek için yapısal bileşenlerde doğal olarak mevcut değilse, radyopak zirkonya doldurucular veya radyolüsent cam boncuklar gibi izleyici parçacıkların eklenmesi gerekliliği oluşturmaktadır. Böylece doldurucuların konum değişiklikleri takip edilerek, polimerizasyon sonrası hareket mesafeleri üç boyutlu olarak elde edilir. Bununla birlikte, kompozitlerin yüksek viskozitesi, cam kürelerin ilave edilmesini ve yüksek radyoopasite, artefaktlara neden olarak  $\mu$ -BT tabanlı büzülme vektörü değerlendirmesini engellemektedir<sup>(39)</sup>.

Literatürde bu yöntemden, akışkan tipteki bulk-fill ve geleneksel kompozitlerde, bulk veya tabakalı yerleştirme tekniği uygulanmasının, bir diğer çalışmada ise bulk-fill kompozitler altında akışkan liner kullanımının, polimerizasyon büzülme vektörleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde yararlandığı gözlenmektedir. Her iki çalışma için de polimerizasyon vektörlerinin izlenmesinde akışkan kompozitlerin yapısına silanize edilmiş radyolüsent cam boncuklar eklenmiştir. Yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit ise orijinal şekliyle yapısındaki doğal olarak mevcut olan küçük hava kabarcıklarıyla izlenmiştir<sup>(10,39)</sup>. İlk çalışmada bulk uygulama metodunun, daha yüksek büzülme vektör değerlerine ve kavite tabanından ayrılma eğilimine neden olduğu ve tabakalama yönteminin kompozit rezinin yerleştirilmesinde altın standart olmaya devam ettiği rapor edilmiştir<sup>(10)</sup>. Diğer araştırmada ise bulk-fill kompozitlerin tercihen tabakalı yerleştirilmesinin ve altına ince veya kalın akışkan liner uygulanmasının stres gidermede belirgin bir etki oluşturduğu ortaya konmuştur<sup>(39)</sup>.

### 4. KASPAL DEFLEKSİYON ÖLÇÜMÜ

Kaspal defleksiyon, kompozit rezinlerin polimerizasyonu sırasında, büzülme hareketlerine direnen diş sert dokuları tarafından üretilen içsel streslerin etkisinin saptanabilir bir göstergesidir<sup>(4)</sup>. Kaspal hareket zamanla mikroçatlakların yayılmasına, mine çatlaklarına, restore edilen dişin kırılma direncinde azalmaya, pos-

toperatif hassasiyete, pulpal problemlere ve aşırı durumlarda tüberkül kırıklarına neden olabilir. Araştırmalarda, kaspal defleksiyonun tespitinde mikroskopi, gerinim ölçerler, esnek şeritler, lineer değişken diferansiyel transformatörler ve transillüminasyon teknikleri gibi farklı metotlardan yararlanılmış<sup>(40)</sup> ve kullanılan metoda bağlı olarak ortalama 15-50 µm arasında değişen kasp hareketi değerleri bildirilmiştir<sup>(2)</sup>. Ancak bu metodolojiler ile diş yapısındaki iki nokta arasındaki lineer değerler ölçülerek, sadece tek boyutta bir sonuç elde edilir. Bununla birlikte µ-BT tekniği, kati kavite sınır koşullarının analiz edilmesine izin vererek, tüm diş hacmi üzerindeki deformasyonu aynı anda üç boyutlu olarak ölçebilmektedir<sup>(40)</sup>.

Bulk-fill kompozitlerde kaspal defleksiyonun µ-BT ile değerlendirildiği çalışmalarda geniş Sınıf II MOD kavite tercih edilmiş ve polimerizasyonla birlikte nasıl bir kasp deformasyonunun geliştiğini ölçmenin yanında zaman içinde meydana gelen higroskopik genleşmenin etkisi de değerlendirilmiştir. Yüksek visköziteli bulk-fill kompozitleri, geleneksel kompozit rezinlerle kıyaslayan araştırmalar, daha az hacimsel kaspal defleksiyona yol açtığını gösterirken<sup>(40,41)</sup>, hem akışkan hem de yüksek visköziteli bulk-fill grupları içeren bir diğer çalışmada doldurucu oranının kaspal defleksiyon üzerinde direkt etkisi olduğu, akışkan bulk-fill kompozitlerin kendi aralarında benzer ve yüksek visköziteli kompozitlere göre daha düşük kaspal defleksiyon değerleri sergilediği tespit edilmiştir<sup>(42)</sup>.

Kompozit rezinlerdeki polimerizasyon büzülmesinin etkilerinin µ-BT ile değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan bir diğer *in vitro* yöntem mikrosızıntı analizidir. Bu yöntem, daha önce anlatılan arayüzey bütünlüğünü incelemek için aralık oluşumunun kontrast maddeyle tespit edilmesine benzer şekilde, ancak farklı olarak boya penetrasyonunun örneklerin radyoopak boyaya daldırılmasıyla kavite dış sınırından sağlanmasıyla gerçekleştirilmektedir<sup>(43,44)</sup>. Literatür incelendiğinde, bulk-fill kompozitlerde µ-BT 3 boyutlu analiziyle gerçekleştirilen bir mikrosızıntı çalışmasına rastlanmamıştır. Bulk-fill kompozitlerin her geçen gün daha da iyileştirilmiş versiyonları piyasaya sunulan bir materyal olmasının yanı sıra, µ-BT'nin de yeni bir teknoloji olması mevcut *in vitro* çalışmaların ve uzun süreli klinik deneylerin nispeten daha az sayıda olmasını açıklamaktadır.

## SONUÇ

Rezin materyallerde meydana gelen polimerizasyon büzülmesinin ölçülmesinde µ-BT verileri kullanılarak, restorasyonda meydana gelen hacimsel değişikliklerin yanında, kompozitin kavite duvarlarından ve marjinlerinden olası ayrılma bölgelerinin, farklı koşulların büzülme vektörlerini nasıl etkilediğinin görüntülenmesi ve nicelleştirilmesi, böylece oluşan büzülme streslerinin etkisinin değerlendirilmesi etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Piyasada nispeten yeni olan bulk-



fill kompozitlerle yapılan çalışmalar, geleneksel restoratif materyallere benzer bir davranış sergilediklerini göstermiştir. Bu durum klinik prosedürleri basitleştirmeye ve tedavi sürelerini azaltmaya yönelik çabaların umut verici olduğu anlamına gelmektedir. Her geçen gün özellikleri iyileştirilmiş yeni versiyonlarıyla tanıştığımız bulk-fill kompozitlerin klinik davranışlarının tahmin edilmesinde yüksek doğruluk sağlayan  $\mu$ -BT analizinin kullanılmasının, klinisyenlere öneri oluşturmada önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Maran BM, de Geus JL, Gutiérrez MF, et al. Nanofilled/nanohybrid and hybrid resin-based composite in patients with direct restorations in posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 2020; 99, 103407. Doi: 10.1016/j.jdent.2020.103407
2. Kaisarly D, El Gezawi M. Polymerization shrinkage assessment of dental resin composites: a literature review. *Odontology*, 2016; 104(3), 257-270. Doi: 10.1007/s10266-016-0264-3
3. Ağaccioğlu M, Aytaç F. Kompozit rezinlerin polimerizasyon özellikleriyle ilgili analiz yöntemleri. *Türkiye Klinikleri. Dishekimliği Bilimleri Dergisi*, 2019; 25(2), 201-212. Doi: 10.5336/dentalsci.2017-58555
4. Soares CJ, Faria-E-Silva AL, Rodrigues MDP, et al. Polymerization shrinkage stress of composite resins and resin cements—What do we need to know? *Brazilian Oral Research*, 2017; 31, e62. Doi: 10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0062
5. Al Sunbul H, Silikas N, Watts DC. Polymerization shrinkage kinetics and shrinkage-stress in dental resin-composites. *Dental Materials*, 2016; 32(8), 998-1006. Doi: 10.1016/j.dental.2016.05.006
6. Meereis CTW, Münchow EA, da Rosa WLDO, et al. Polymerization shrinkage stress of resin-based dental materials: a systematic review and meta-analyses of composition strategies. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2018; 82, 268-281. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.03.019
7. Münchow EA, Meereis CTW, da Rosa WLDO, et al. Polymerization shrinkage stress of resin-based dental materials: A systematic review and meta-analyses of technique protocol and photo-activation strategies. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2018; 82, 77-86. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2018.03.004
8. Lima, RBW, Troconis CCM, Moreno MBP, et al. Depth of cure of bulk fill resin composites: A systematic review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 2018; 30(6), 492-501. Doi: 10.1111/jerd.12394
9. Reis AF, Vestphal M, Amaral RCD, et al. Efficiency of polymerization of bulk-fill composite resins: a systematic review. *Brazilian Oral Research*, 2017; 31, e59. Doi: 10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0059
10. Kaisarly D, El Gezawi M, Keşler A, et al. Shrinkage vectors in flowable bulk-fill and conventional composites: bulk versus incremental application. *Clinical Oral Investigations*, 2021; 25(3), 1127-1139. Doi: 10.1007/s00784-020-03412-3
11. Tosco V, Vitiello F, Furlani M, et al. Microleakage analysis of different bulk-filling techniques for class II restorations:  $\mu$ -CT, SEM and EDS evaluations. *Materials*, 2021; 14(1), 31. Doi: 10.3390/ma14010031
12. Keleş A, Alçin H. Mikro bilgisayarlı tomografi ve endodontik araştırmalardaki yeri. *Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics*, 2015; 1(3), 32-39.
13. Kurt MH, Orhan K. Diş hekimliğinde mikro-bilgisayarlı tomografi kullanımı. *Türkiye Klinikleri J Oral Maxillofac Radiol-Special Topics*, 2016; 2(1), 14-21.
14. Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *International Journal of Oral Science*, 2009; 1(4), 177-188. Doi: 10.4248/IJOS09031

15. Koenig A, Schmohl L, Scheffler J, et al. Is micro X-ray computer tomography a suitable non-destructive method for the characterisation of dental materials? *Polymers*, 2021; 13(8), 1271. Doi: 10.3390/polym13081271
16. Rizzante FAP, Duque JA, Duarte MAH, et al. Polymerization shrinkage, microhardness and depth of cure of bulk fill resin composites. *Dental Materials Journal*, 2019; 38(3), 403-410 Doi: 10.4012/dmj.2018-063
17. Atria PJ, Sampaio CS, Cáceres E, et al. Micro-computed tomography evaluation of volumetric polymerization shrinkage and degree of conversion of composites cured by various light power outputs. *Dental Materials Journal*, 2018; 37(1), 33-39. Doi: 10.4012/dmj.2016-430
18. Junior LJDSA, Lula ECDO, Penha KJDS, et al. Polymerization shrinkage of bulk fill composites and its correlation with bond strength. *Brazilian Dental Journal*, 2018; 29, 261-267. Doi: 10.1590/0103-6440201801838
19. Chiang YC, Rösch P, Dabanoglu A, et al. Polymerization composite shrinkage evaluation with 3D deformation analysis from microCT images. *Dental Materials*, 2010; 26(3), 223-231. Doi: 10.1016/j.dental.2009.09.013
20. Ersen KA, Gürbüz Ö, Özcan M. Evaluation of polymerization shrinkage of bulk-fill resin composites using microcomputed tomography. *Clinical Oral Investigations*, 2020; 24(5), 1687-1693. Doi: 10.1007/s00784-019-03025-5
21. Hirata R, Clozza E, Giannini M, et al. Shrinkage assessment of low shrinkage composites using micro-computed tomography. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 2015; 103(4), 798-806. Doi: 10.1002/jbm.b.33258
22. Algamaiah H, Sampaio CS, Rigo LC, et al. Microcomputed tomography evaluation of volumetric shrinkage of bulk-fill composites in class II cavities. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 2017; 29(2), 118-127. Doi: 10.1111/jerd.12275
23. Sampaio CS, Arias JF, Atria PJ, et al. Volumetric polymerization shrinkage and its comparison to internal adaptation in bulk fill and conventional composites: A  $\mu$ CT and OCT in vitro analysis. *Dental Materials*, 2019; 35(11), 1568-1575. Doi: 10.1016/j.dental.2019.07.025
24. Sampaio CS, Chiu KJ, Farrokhmanesh E, et al. Microcomputed tomography evaluation of polymerization shrinkage of class I flowable resin composite restorations. *Operative Dentistry*, 2017; 42(1), E16-E23. Doi: 10.2341/15-296-L
25. Junior LJDSA, Penha KJDS, Souza AF, et al. Is there correlation between polymerization shrinkage, gap formation, and void in bulk fill composites? A  $\mu$ CT study. *Brazilian Oral Research*, 2017; 31, e100. Doi: 10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0100
26. Hirata R, Pacheco RR, Cáceres E, et al. Effect of sonic resin composite delivery on void formation assessed by micro-computed tomography. *Operative Dentistry*, 2018; 43(2), 144-150. Doi: 10.2341/16-331-L
27. Demirel G, Orhan AI, Irmak Ö, et al. Micro-computed tomographic evaluation of the effects of pre-heating and sonic delivery on the internal void formation of bulk-fill composites. *Dental Materials Journal*, 2021; 40(2), 525-531. Doi: 10.4012/dmj.2020-071
28. Han SH, Sadr A, Tagami J, et al. Non-destructive evaluation of an internal adaptation of resin composite restoration with swept-source optical coherence tomography and micro-CT. *Dental Materials*, 2016; 32(1), e1-e7. Doi: 10.1016/j.dental.2015.10.009
29. Oglakci B, Kazak M, Donmez N, et al. The use of a liner under different bulk-fill resin composites: 3D GAP formation analysis by x-ray microcomputed tomography. *Journal of Applied Oral Science*, 2020; 28, e20190042. Doi: 10.1590/1678-7757-2019-0042
30. Thongbai-on N, Chotvorarak K, Banomyong D, et al. Fracture resistance, gap and void formation in root-filled mandibular molars restored with bulk-fill resin composites and glass-ionomer cement base. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 2019; 10(4), e12435. Doi: 10.1111/jicd.12435
31. Sampaio CS, Garcés GA, Kolakarnprasert N, et al. External marginal gap evaluation of different resin-filling techniques for class II restorations—a micro-CT and SEM analysis. *Operative Dentistry*, 2020; 45(4), E167-E175. Doi: 10.2341/19-053-L

32. Kim HJ, Park SH. Measurement of the internal adaptation of resin composites using micro-CT and its correlation with polymerization shrinkage. *Operative Dentistry*, 2014; 39(2), e57-e70. Doi: 10.2341/12-378-L
33. Han SH, Park SH. Comparison of internal adaptation in class II bulk-fill composite restorations using micro-CT. *Operative Dentistry*, 2017; 42(2), 203-214. Doi: 10.2341/16-023-L
34. Oglakci B, Halacoglu DM, Özduman ZC, et al. Volumetric change and gap formation in class V composite restorations: a micro-CT analysis. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2020; 34(24), 2725-2742. Doi: 10.1080/01694243.2020.1782038
35. Gaintantzopoulou MD, Gopinath VK, Zinelis S. Evaluation of cavity wall adaptation of bulk esthetic materials to restore class II cavities in primary molars. *Clinical Oral Investigations*, 2017; 21(4), 1063-1070. Doi: 10.1007/s00784-016-1848-6
36. Inai N, Katahira N, Hashimoto K, et al. (2001). Microfocus X-ray CT Analysis of Shrinking Direction in Resin Composite. *Proceedings of the KACD Conference*, (pp. 559-1).
37. Cho E, Sadr A, Inai N, et al. Evaluation of resin composite polymerization by three-dimensional micro-CT imaging and nanoindentation. *Dental Materials*, 2011; 27(11), 1070-1078. Doi: 10.1016/j.dental.2011.07.008
38. Rösch P, Chiang YC, Kunzelmann K. Quantification of local polymerisation shrinkage from 3D micro-CT images of dental composites. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2009; 4(1), 200-201.
39. Kaisarly D, Meierhofer D, El Gezawi M, et al. Effects of flowable liners on the shrinkage vectors of bulk-fill composites. *Clinical Oral Investigations*, 2021; 1-14. Doi: 10.1007/s00784-021-03801-2
40. Demirel G, Baltacioglu IH, Kolsuz ME, et al. Volumetric cuspal deflection of premolars restored with different paste-like bulk-fill resin composites evaluated by microcomputed tomography. *Operative Dentistry*, 2020; 45(2), 143-150. Doi: 10.2341/19-019-L
41. Oliveira LRS, Braga SSL, Bicalho AA, et al. Molar cusp deformation evaluated by micro-CT and enamel crack formation to compare incremental and bulk-filling techniques. *Journal of dentistry*, 2018; 74, 71-78. Doi: 10.1016/j.jdent.2018.04.015
42. Prager M, Pierce M, Atria PJ, et al. Assessment of cuspal deflection and volumetric shrinkage of different bulk fill composites using non-contact phase microscopy and micro-computed tomography. *Dental Materials Journal*, 2018; 37(3), 393-399. Doi: 10.4012/dmj.2017-136
43. Carrera CA, Lan C, Escobar-Sanabria D, et al. The use of micro-CT with image segmentation to quantify leakage in dental restorations. *Dental Materials*, 2015; 31(4), 382-390. Doi: 10.1016/j.dental.2015.01.002
44. Nie J, Yap AU, Wang XY. Influence of shrinkage and viscosity of flowable composite liners on cervical microleakage of class II restorations: a micro-CT analysis. *Operative dentistry*, 2018; 43(6), 656-664. Doi: 10.2341/17-091-L

