

## Bölüm 6

# İMLANT DESTEKLİ SABİT PROTEZLERDE KULLANILAN CAD-CAM YÜKSEK PERFORMANS POLİMERLERİ

Fatih DEMİRCİ<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Günümüzde implant destekli sabit protezler, diş eksikliklerinin tedavisinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Özellikle implant destekli protezler, restoratif sistemden bağımsız olarak, mekano-reseptörlerin periferik feedback mekanizmasının ve okluzal kuvvetlerin absorpsiyonunu sağlayan periodontal ligamanın yokluğu gibi nedenlerle diş destekli protezlere göre daha yüksek düzeyde teknik komplikasyon sergilemiştir. İmplant destekli protezlerde, biyomekanik ve estetik başarının sağlanması için birçok materyal monolitik veya altyapı-veneer restorasyonlar olarak araştırılmaya devam edilmektedir. Günümüzde estetik beklentinin artmasına paralel olarak, implant destekli tek kuronlarda diş rengi monolitik tam seramik restorasyonlar kullanılsa da, tek kuron veya parsiyel sabit protezlerin uygulanacağı çoğu durumda, mekanik stabilitenin ve klinik ömrün artırılması için destekleyici bir alt yapıya ihtiyaç vardır (1,2). Genellikle, sabit dental protezler için bu altyapılar kıymetli-kıymetsiz metal alaşımlarından veya seramiklerden yapılır. Bununla birlikte, metal altyapılı sabit dental protezlerin üretimi için, altın içeren alaşımlar ile değerli metaller içermeyen alaşımlar arasında bir ayrım yapılmalıdır. Krom-kobalt-molibden alaşımları ve daha seyrek olarak titanyum, çeşitli parsiyel protez tipleri için altyapı olarak kullanılır. Altyapılar için kullanılan tüm bu metaller, diş renginde kompozit rezin veya seramik veneer uygulanmasını mümkün kılmıştır. Metal seramik restorasyonlar altın standart olsa da, estetik açıdan zor durumlarda yüksek kaliteli sabit protezler için tam seramik restorasyonlar avantaj sağlamaktadır. Tam seramik restorasyonlar, üstün estetik özelliklerine rağmen kırılma dayanımının yeterli olmaması nedeniyle implant destekli çok üyeli restorasyonlarda pek tercih edilmemektedir. Tamamen diş rengindeki diş protezlere olan bu istek, aslında artan estetik taleplerden kaynaklanmaktadır. Ek

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, İnönü Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD., fatihdemirci.dr@gmail.com

olarak, metal alaşımlara karşı tıbbi olarak kanıtlanmış alerjiler ve hipersensivite de önemli etkenlerdir. Bu durum, diş hekimliğinde alternatif çözümlerin geliştirilmesine neden olmuştur (1-4).

Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM) ile yüksek performans polimerleri, yakın zamanda diş protezlerinin üretimi için pazarlanmaktadır. Titanyum ve zirkonyaya alternatif materyaller olarak geliştirilen CAD-CAM yüksek performans polimerleri; kimyasal maddelere, darbeye, ısıya karşı dayanıklı ve metal içermeyen polimerlerdir. Yeniliklerin en sık yaşandığı polimer gruplarından biridir. yüksek performans polimerlerinin, metal içermemesi nedeniyle yüksek biyouyumluluk, ısı ve solvent direnci, mükemmel elektrik yalıtımı ve aşınma ve yorulma dirençleri gibi mekanik özellikleri onları tercih edilir hale getirmiştir. Ek olarak, yüksek performans polimerlerinin doğal radyölüseni, bunlardan yapılan protezlerin, metal destekli restorasyonlara göre daha az artefakt oluşturması bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans görüntüleme ve X-ışını gibi tanısal görüntülemeye bu materyalleri uygun hale getirir. Bu özellikler, yüksek performans polimerlerini, seramik ve metal içerikli restorasyonlara karşı bir alternatif haline getirir (5,8). Diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan yüksek performans polimerleri; polietereterketon (PEEK) ve polieterketonketon (PEKK) bazlı materyaller olarak bilinen poliarileterketon (PAEK) materyalleri ile modifiye kompozit rezinlerdir. Yüksek performans polimerleri; protetik diş hekimliğinde hareketli parsiyel protezler, rezin bazlı sabit parsiyel protezler, endo-kuron ve implant ve diş destekli sabit parsiyel protezler için altyapı materyalleri olarak kullanılmaktadır (6-9).

### **POLİARİLETERKETON (PAEK) AİLESİ: POLİETERKETONKETON (PEKK) VE POLİETERETERKETON (PEEK)**

Titanyum, kobalt-krom ve hatta zirkonyanın fiziksel ve mekanik bazı dezavantajları nedeniyle, metal içermeyen materyaller, yani yüksek performans polimerleri, tıpta implant materyalleri olarak önerilmektedir. PEKK ve PEEK, PAEK ailesinin en iyi bilinen iki üyesidir. PEEK ve PEKK, özellikle dental uygulamalarda yaygın olarak kullanılan yüksek performans polimerleridir (8). PAEK ailesi termoplastik polimerlerdir ve 1980'lerden beri mühendislik alanında ve mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. PAEK ailesi, işleme parametrelerine bağlı tüm termoplastik kompozitler arasında ultra yüksek performans (kimyasallara dirençli üstün mekanik performans) gösterir. PEKK, birçok uygulamada kullanılabilen mükemmel özellikleri nedeniyle araştırmacıların ilgisini çeken yeni bir polimerik materyaldir. PEKK, metakrilat içermeyen termoplastik yüksek performanslı bir materyaldir. PEKK ilk olarak 1962'de Bonner tarafından tanıtıldı ve o zamandan

beri farklı endüstriyel ve askeri amaçlar için kullanıldı. Son zamanlarda PEKK, dental ve tıbbi uygulamalar için uygun özelliklere sahip bir biyomateryal olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. PEKK, restoratif, protetik ve implant diş hekimliğinde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. PEKK, kranial ve ortopedik implantlar alanında gelecek vaat eden bir materyaldir. Geniş biyomedikal uygulamaları, daha yüksek mekanik mukavemeti ve yüzeyinde daha fazla yüzey modifikasyonuna izin vermesi yapısındaki ikinci keton grubunun varlığından kaynaklanmaktadır (8,10,11).

İmplant destekli sabit protezlerde altyapı olarak birçok PAEK materyal markası mevcuttur. PAEK'lerin en yaygın formülasyonları şunlardır: Doldurucusuz, saf % 100 PEEK (örneğin, JUVORA, Invibio/JUVORA Ltd, Wyre, Lancashire, İngiltere; Coprapeak, White Peaks Dental Systems GmbH&Co. KG., Essen, Almanya), % 20 nano-seramik doldurucu %80 PEEK (ör. BreCAM.BioHPP, Bredent GmbH, Senden, Almanya), % 20 titanyum dioksit doldurucu % 80 PEEK (ör. Dentokeep disk, NT Trading GmbH&Co. KG., Karlsruhe, Almanya; KERA<sup>®</sup> starPEEK, Eisenbacher Dentalwaren ED GmbH, Wörth/Main, Almanya) ve % 20 titanyum dioksit doldurucu % 80 PEKK (ör. Pekkton Ivory, Cendres+Mettax, SA, İsviçre), ve yüksek performans rezin-seramik takviyeli PEEK (örn. Tecno Med Mineral, Zirkohnzahn Srl, Gais, İtalya) (6,7).

PEKK, düşük yoğunluğa, düşük elastisite modülüne, yüksek mukavemete ve kabul edilebilir aşınma direncine sahiptir. PEEK (saf ve cam takviyeli) ile karşılaştırıldığında, PEKK eğilme, çekme ve basınç dayanımı açısından daha iyi mekanik özellikler göstermektedir (12). Bir PEKK ürünü olan Pekkton<sup>®</sup> ivory (Cendres+Métaux, SA, İsviçre), doldurucusuz PEEK'e kıyasla % 80 daha yüksek basınç dayanımına sahiptir (13). PEKK'de titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) ilavesi sertliği ve aşınma direncini artırır. Sabit protezlerde restoratif materyal olarak kullanımı için potansiyel bir materyal olabilir (8,14). Son zamanlarda, PEKK protetik restorasyonların üretiminde, CAD-CAM teknolojileri kullanılmaktadır. Pekkton<sup>®</sup> ivory (PEKK), monolitik veya indirekt kompozit veneerli olarak kullanılmaktadır. Çeşitli adeziv sistemleri kullanılarak yapıştırılmasında PEKK için çeşitli yüzey işleme yöntemleri formüle edilmiştir (8,13). Lee ve ark.(15) yaptıkları çalışmada PEKK'ye çeşitli yüzey işleme yöntemleri kullanarak PEKK'nin dental rezin kompozitine bağlanma mukavemetini incelemiş ve mekanik yüzey işleminin kimyasal yüzey işleminden (% 95 sülfürik asit ve 110 µm ve 50 µm alümina air-abrazyon) daha iyi davrandığını bulmuştur. 10-metakriloiloksidesil dihidrojen fosfat ve silan içeren universal adezivler (All-Bond Universal<sup>®</sup> veya Single Bond Universal<sup>®</sup>) veya metilmetakrilat (MMA) içeren (Luxatemp Glaze & Bond<sup>®</sup>, Visio.link<sup>®</sup> veya Monobond Plus/Heliobond<sup>®</sup>) adezivlerin air abrazyon ile kombinasyonlarının, kompozit rezin ile PEKK arasındaki makaslama bağlanma dayanımını artırdığı

bildirilmiştir. Benzer şekilde, air-abrazyon ile termal olmayan plazma yüzey modifikasyonu, rezin siman ile PEKK arasındaki makaslama bağlanma dayanımını arttırmıştır (16). Scotchbond Universal ve Adhese Universal gibi ilave amine sahip kamforokinonlu universal adezivler, visio.link ile benzer bağlanma dayanımı değerleri göstermiştir (17).

Amelya ve ark. (18) yaptıkları çalışmada; kompozit rezin veneerli PEKK, lityum disilikat veneerli PEKK, floroapatit veneerli zirkonya ve monolitik zirkonya üç üyeli implant destekli posterior sabit parsiyel protezlerin uzun süreli kullanım (5 yıllık simülasyon) sonrasında yük taşıma kapasitelerini karşılaştırmış ve lityum disilikat veneerli PEKK ile üretilen sabit parsiyel protezlerin (1526.56±95.54 N), kompozit rezin veneerli PEKK (1069.54±67.94 N) ile üretilen sabit parsiyel protezlerden önemli ölçüde daha yüksek kırılma yüküne sahip olduğunu bildirmiştir.

Bae ve ark. (19) PEKK ve zirkonya kopingleri marjinal ve internal adaptasyon açısından incelemiş ve PEKK kopinglerde 51.64±1.5(36.12±1.34) µm ve zirkonya kopinglerde ise 69.62±8.11(41.6±1.63) µm olarak sırasıyla marjinal adaptasyonun (internal adaptasyon) klinik kabul edilebilir aralıkta olduğunu bildirmiştir.

Yılmaz ve ark.(6) implant destekli sabit, kantilever protezler için kullanılan yüksek performans polimerleri (PEEK, PEKK ve modifiye kompozit rezinler) ile yeni nesil kübik zirkonyanın başarısızlık analizini değerlendirdikleri çalışmada, ti-base olmayan yüksek performans polimerleri ve zirkonyanın, tüm gruplarda ti-base olanlara göre önemli ölçüde daha yüksek yük-arıza değerlerine sahip olduğunu ve ti-base olan PEKK için, diğer materyallere göre önemli ölçüde daha düşük yük-arıza değerleri bildirmiştir.

PEKK altyapılar implant destekli sabit protezler için umut verse de sınırlı sayıda klinik çalışma mevcuttur (20,21). Oh ve ark. (20) mandibulektomi olan bir hastanın PEKK altyapılı PMMA rezin kuronlarla üretilen implant destekli sabit tam protezlerinin 1 yıllık takibinde olumlu estetik ve fonksiyonel sonuçlar bildirmiştir. Dawson ve ark. (21) implant destekli sabit dental protezler için PEKK'in bir altyapı materyali olarak lityum disilikat cam seramik kuronlar ile klinik olarak uygulanabilir olduğunu bildirmiştir.

Dayan ve ark. (22) yaptıkları çalışmada, maksillaya all-on-4 konsept sabit tam protezlerde titanyum ve monolitik zirkonya gibi sert materyal altyapıların, PEEK ve PEKK gibi yarı sert polimer alt yapılara kıyasla biyomekanik açıdan protez bileşenlerinde, dental implantlarda ve peri-implant kemikte stresi azalttığını bildirmiştir. Benzer şekilde Sirandoni ve ark.(23), implant destekli sabit protezlerde sert altyapıların kullanılmasının, PEEK ve karbon fiber takviyeli PEEK materyalleri gibi polimerik altyapılara kıyasla olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir. PEKK altyapı, gerilme stresi ile karşılaştırıldığında sıkıştırma stresi altında implanta ve

dokuya daha az stres oluşturur. Bu nedenle, PEKK altyapılar esnek olduğundan bazı alanlarda sınırlandırılmalıdır. Sert altyapılı protezler, uygun gerilim dağılımı gösterir. Oral implantolojide geniş bir PEKK uygulaması olmasına rağmen, uygun bir amaç için uygulanmaları gerekmektedir (8,24).

PEEK polimeri, 300°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yüksek mekanik ve kimyasal direnç sergileyen PAEK polimer ailesinin bir üyesidir. PEEK, iki eter ve bir keton monomeri içeren yarı kristalli bir termoplastik kompozit polimerdir. PEEK polimeri, tekrar eden bir keton molekülü ve iki eter molekülü içerirken poli(oksi-1,4-fenilen-oksi-1,4-fenilen), oldukça kararlıdır ve yalnızca karbon(C), hidrojen(H) ve oksijen(O) atomları varlığından dolayı tamamen aromatik doğrusal bir yapıya sahiptir. PEKK'den sadece eter gruplarına göre farklılık gösterirler. PEEK polimeri, üstün kimyasal ve fiziksel stabilitesi, yani yaşlanma karşıtı davranışı nedeniyle doku uyumluluğunun yanı sıra geniş uygulama alanına sahiptir. Bu şekilde PEEK polimeri, sterilizasyon sırasında uygulanan ısıya ve radyasyona karşı direnç gösterir. Biyomekanik açıdan, Saf PEEK'in elastisite modülü yaklaşık 3-4 GPa'dır ve PEEK'in farklı doldurucularla modifikasyonu sayesinde, insan kortikal kemiğine benzer bir elastisite modülüne (18 GPa) sahip olması onu "izoelastik" bir implant materyali yapar (5,9,10). PEEK materyalini; metal içermemesi nedeniyle yüksek biyoyumluluk, ısı ve solvent direnci, mükemmel elektrik yalıtımı ve aşınma ve yorulma direnci gibi mekanik özellikleri onları tercih edilir hale getirmiştir. PEEK'in yüksek doku uyumluluğu ve düşük bakteri plağı tutma gibi avantajları diş hekimliğinde kullanımını daha da teşvik edebilir. Ek olarak, bu umut verici fiziksel ve mekanik özellikler sayesinde PEEK, geleneksel alaşımlara ve seramiklere göre bazı avantajlar sergilemektedir (10,11).

Amber veya inci beyazı opak rengi nedeniyle doldurucusuz PEEK materyaline seramik ve titanyum oksit gibi doldurucular eklenerek hem mekanik hem de estetik özellikleri iyileştirilmektedir. PEEK'in düşük yarı saydımlık ve renk gibi zayıf optik özellikleri, PEEK'in tam kapsamlı monolitik restorasyonlar olarak kullanımını sınırlar. Bu nedenle diş rengi PEEK restorasyonlarında, estetik beklentiyi sağlamak için kompozit rezin gibi daha estetik materyallerle geleneksel veya CAD-CAM teknolojisi ile üretilen kompozit veneerler gerekir. (25,26). Lityum disilikat gibi farklı seramikler ile PEEK altyapılara veneerler uygulanırsa da özellikle kompozit veneerler uygulama ve onarım kolaylığı sağlamaktadır (27,28). PEEK gibi katı bir yüzeyin ıslanabilirliği, hem yüzey kimyası hem de morfoloji ile doğrudan ilişkilidir. PEEK ile kompozit rezin arasında doğrudan bir kimyasal bağlanma mümkün görünmemektedir. PEEK'in kimyasal eylemsizliği ve düşük yüzey enerjisi kompozit rezinlere bağlanmasını olumsuz etkilese de PEEK altyapılara uygulanan air-abrazyon aşındırma, lazer ve plazma uygulamaları, piranha

solüsyonu ve sülfürik asit ile aşındırma gibi farklı kimyasal veya mekanik yüzey modifikasyonları bu dezavantajın üstesinden gelmek için kullanılmaktadır. Bu yüzey ön işlem yöntemlerine ek olarak, farklı üreticiler tarafından yapılan adeziv sistemleri de uygulanmaktadır. Özellikle kimyasal aşındırma, fonksiyonel grupları artırarak materyal yapışkanlığını geliştirir. PEEK ve PEKK gibi yüksek performans polimerlerinin adezyon kalitesi ve dayanıklılığı ile ilgili literatürün azlığı, özellikle diş hekimliği uygulamaları için verimli bir yüzey koşullandırma protokolünün kurulmasını engellemiştir (5,25).

Literatürde PEEK implant destekli sabit protezler hakkında sınırlı sayıda klinik çalışma vardır (27,29-32). Cabello-Domínguez ve ark. (27) tam dişsiz bir hastanın rehabilitasyonunda mandibulaya PEEK altyapılı lityum disilikat kuronlarla implant destekli sabit protezlerin uygulanabileceğini önermiştir. PEEK altyapılar, zirkonya altyapılara göre daha hafif ve yüksek elastikiyete sahiptir, bu da mekanik komplikasyon riskini azaltabilir, ancak bu çözüm, geleneksel metal-seramik veya metal-akrilik restorasyonlara kıyasla daha yüksek bir maliyete sahiptir. Parmigiani-Izquierdo ve ark.(30), maksiller molar bölgeye uygulanan zirkonya implant ve PEEK altyapılı kompozit veneer restorasyonların 1 yıllık takibinde herhangi bir biyo-mekanik ve biyolojik komplikasyona rastlanmamıştır. Ayrıca, birkaç in vitro çalışmada, PEEK'in sabit dental protezler için uygun bir alternatif olabileceği iddia edilmiştir (33-39). Stawarczyk ve ark. (35), üç üyeli PEEK sabit dental protezlerin 1200 N plastik deformasyona ve 1383 N kırılma yüklemesine sahip olduğunu ve PEEK restorasyonların tamamen kırılmadan plastik deformasyona uğrayabileceğini bildirmiştir. Nazari ve ark. (39), zirkonya, nikel-krom alaşımı ve PEEK ile üretilen üç üyeli implant destekli sabit dental protezleri değerlendirdiği bir in vitro çalışmada, sırasıyla  $2086\pm362$  N,  $5591\pm1200$  N ve  $1430\pm262$  N'lik arıza yükleri bildirmiştir. Bununla birlikte, PEEK protezleri için bildirilen kırılma dayanımı, fizyolojik posterior maksimum çiğneme kuvveti olan 870 N'den daha yüksektir (40). Bu nedenle, PEEK protezlerinin molar bölgede oklüzal kuvvetlere dayanabildiği kabul edilirken, gözlenen başarısızlık modu veneer kompozit ve PEEK altyapı arasında adeziv tiptedir (39). El Sayed ve ark.(41) yaptıkları çalışmada PEEK kuronlarda, titanyum ve zirkonya implant abutmentleri tarafından desteklenen zirkonya ve lityum disilikat kuronlara kıyasla daha yüksek kırılma direnci bildirmiştir. 870 N ortalama posterior maksimum çiğneme kuvveti olarak kabul edilirse (40) PEEK, yük taşıyan bölgelerdeki restorasyonlar için uygun bir materyal olarak kabul edilebilir. Öte yandan Preis ve ark.(42) simante veya vida tutuculu implant destekli PEEK molar kuronların yorulma testinde, zirkonyadan daha düşük kırılma direnci bulurken, vida tutuculu restorasyonlar için kullanılan PEEK altyapılı geleneksel kompozit veneer kuronlarda vida kanallarının yer-



leştirilmesi nedeniyle daha fazla toplam başarısızlık oranı gözlenmiştir. Dahası, CAD-CAM teknolojisi ile üretilen PEEK sabit dental protezlerin kırılma direnci, lityum disilikat cam seramik (950 N), alümina (851 N) ve zirkonyadan (981-1331 N)(43,44) çok daha yüksektir. Düşük elastisite modülü sayesinde PEEK, deformasyon yoluyla fonksiyonel gerilmelerin emilmesine izin verir ve dayanak dişlere aktarılan kuvvetleri azaltan gerilme kırıcı görevi görür (32,33). Niem ve ark. (32) yaptıkları çalışmada zirkonya, lityum disilikat ve yüksek içerikli bir altın alaşımı ile karşılaştırıldığında PEEK, esneklik modülü için lityum disilikattan daha yüksek bir değer sunmuştur; bu, yıkıcı kırılma enerjisini elastik olarak absorbe etme kabiliyetinin yüksek olduğunu göstermektedir. PEEK, farklı solüsyonlarda yaşlandırıldıktan sonra; kompozit rezinler, hibrit materyaller ve PMMA bazlı rezinler ile karşılaştırıldığında en düşük çözünürlük ve su absorpsiyon değerleri göstermiştir (36).

PEEK altyapıların azaltılmış bir ağırlığa ve esneklik modülüne sahip olması implant destekli sabit protezlerde daha az mekanik komplikasyona yol açabilir. PEEK kullanımı, periodontal ligamanların yokluğuyla proprioepsiyonun azaldığı ve metal-seramik veya monolitik zirkonya restorasyonları için bildirilen fonksiyon sırasındaki klik sesini ve veneer kırıkları gibi mekanik komplikasyonları ortadan kaldırdığından implant destekli sabit protezler için avantajlı olabilir (26,27,33). Bu ifadeyle uyumlu olarak, Wachtel ve ark.(45) titanyum implantlar üzerindeki vida tutuculu PEEK kuronları değerlendirdikleri bir in vitro çalışmada, çiğneme simülasyonu sırasında vida gevşemesi veya altyapı ve veneer hasarı görülmediği bildirilmiştir. Ayrıca, ortalama maksimum eğilme momenti  $352.13 \pm 48.96$  Ncm ölçülmüştür. Ferrario ve ark. (46) genç erkek bireylerde birinci azı dişleri için, maksimum çiğneme kuvvetini, yaklaşık 168 Ncm'lik bir bükülme momentine karşılık gelen  $306.07 \pm 41.99$  N'de rapor edildiği düşünülürse PEEK altyapıların birinci molarlara yerleştirilen bir implanta üst yapı olarak hizmet ederken ağız boşluğunda karşılaşılan kuvvetlere dayanabilecektir. Taufall ve ark. (37), PEEK altyapılı üç üyeli sabit dental protezlerin arıza yüklerini çeşitli veneer materyalleri ile karşılaştırdı. Dijital kompozit veneerli sabit dental protezler (1882–2021 N), geleneksel kompozit veneerli sabit dental protezlerden (1008–1229 N) önemli ölçüde daha yüksek kırılma yüklerine sahipti. Preis ve ark. (42) yaptıkları çalışmada, PEEK altyapılı implant destekli molar kuronlarda CAD-CAM ile üretilen kompozit veneerlerin (1920.9 N) geleneksel kompozit veneerlerden (921.3 N) daha iyi kırılma direncine sahip olduğunu bildirmiştir.

Kabul edilebilir marjinal adaptasyonun 50 ila 100  $\mu$ m arasında olduğu, klinik olarak marjinal aralığın 120  $\mu$ m'dan daha az olması gerektiği öne sürülmüştür. Ghodsi et al. (47) bir in vitro çalışmada, PEEK ve kompozit implant destekli

kopingler klinik olarak kabul edilebilir marjinal aralıkta bulunmazken, zirkonya kopingler en iyi marjinal ve internal adaptasyon göstermiştir. Başka bir çalışmada PEEK implant destekli altyapıların simantasyon öncesi ve sonrasındaki marjinal adaptasyonun, klinik kabul edilebilir sınırdadır, fakat zirkonya altyapılara göre önemli ölçüde daha yüksek marjinal tutarsızlığa sahip olduğu bildirilmiştir (48). Öte yandan Jin ve ark. (49) PEEK üç üyeli implant destekli altyapılar için ortalama  $19 \pm 4 \mu\text{m}$ 'lik iyi marjinal adaptasyon değeri bildirmiştir. Abou-Ayash ve ark. (50) yüksek performanslı polimerleri (PEEK ve PEKK) ve titanyumdan üretilen implant destekli tam ark sabit protez altyapılarının doğruluğunu ve marjinal adaptasyonunu değerlendirdikleri çalışmada; PEEK, PEKK ve Titanyum altyapıların doğruluğunda, frezeleme işlemi sonrasında farklılık olduğunu bildirmiştir. Ayrıca bu çalışmada, PEEK'in en yüksek doğruluğa sahip olduğu ve bununla birlikte, altyapıların benzer marjinal adaptasyon (Ortalama  $< 90 \mu\text{m}$ ) değerleri gösterdiği belirtilmiştir. Wachtel ve ark. (45) çığneme simülasyonu sırasında vida tutuculu PEEK kuronlarda bakteri sızıntısı olmadığını bildirmiştir. PEEK destekli protezler, metallere ve metal tada alerjisi olan veya metal içermeyen restorasyonlar talep eden hastalarda uygun bir tedavi seçeneği olabilir (51).

## **FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT REZİNLER (MODİFİYE KOMPOZİT REZİN POLİMERLER)**

Havacılık alanında uzun süredir kullanılan fiber takviyeli kompozitler, yüksek mukavemetleri ve sertlik/ağırlık oranları nedeniyle ileri biyomedikal uygulamalar için umut verici bir materyal sınıfı olarak ortaya çıkmıştır. Dental fiber takviyeli kompozitler genellikle, bir bağlayıcı ajan tarafından polimerik bir matrise bağlanan güçlendirici bileşikler olarak inorganik partiküller ve fiberlerden oluşur. Fiber takviyeli kompozit sistemlerin özellikleri, fiber tipi, matris içindeki fiber hacim oranı, fiber mimarisi ve oryantasyonu, kullanılan polimer matrisi ve fiber ile matris arasındaki ara-yüzey adezyonundan doğrudan etkilenir. Fiber takviyeli kompozit destekli dental restorasyonlar; maliyet, rezin simana kimyasal adezyon ve onarılabilirlik açısından önemli klinik avantajlar sunabilir. Ayrıca, fiber takviyeli kompozit, implant destekli protezler, yüksek mukavemete ek olarak aynı zamanda düşük elastisite modülleri sayesinde materyalin esnekliğini artırarak çığneme kuvvetlerinin emilimini ve stres dağılımını sağlar. Fiber takviyeli kompozit protezlerin klinik performansı, oklüzal kuvvet dağılımı ile yapısal bir ilişkinin ardından altyapının uygun bir boyutu, geometrisi ve üç boyutlu konumu tarafından belirlendiği gösterilmiştir. Fiber takviyeli kompozit altyapılardan maksimum performans elde etmek için, fiberler maksimum ana stres yönü ile paralel olarak hizalanmalıdır (52-56).



Diş destekli fiber takviyeli kompozit sabit protezlerde yüksek sağkalım oranları (5 yıl sonra %94.4) göstermiştir. Kompozit veneer (%9.5) ve altyapı (%3.7) kırığı en sık bildirilen komplikasyonlardır (52). Bu sonuç, geleneksel olarak üretilen fiber takviyeli kompozitlerde tek yönlü fiber hizalanması nedeniyle yetersiz bir oklüzal desteğin yanı sıra, boşluklu yapısı nedeniyle de fiber/matris adezyonunu tehlikeye atması ile ilişkilendirilebilir. Bu nedenle, CAD-CAM sistemleri ile kullanımına yönelik fiber takviyeli kompozitlerde diskler kontrollü basınç ve sıcaklık parametreleri altında endüstriyel olarak üretildiğinden, kusur popülasyonunun azalmasına ve yapısal güvenilirliğin artmasına neden olduğu için son zamanlarda dikkat çekmiştir. Ayrıca fiber hizalanması farklı yönlerde daha hassas bir şekilde düzenlenebilir. Ek olarak, diş ve implant destekli protez bileşenlerinin anatomik bir üretimi planlanabilir. Ancak, fiber takviyeli kompozit CAD-CAM sistemlerinin performansını ele alan literatür çok azdır (54,55,57,58).

PEEK'e benzer şekilde, fiber takviyeli kompozit rezin polimerleri, daha düşük bükülme mukavemetine, şok emici davranışa ve kemikle benzer düşük bir esneklik modülüne sahiptir (53,59). PEEK'in aksine, fiber takviyeli kompozit rezin polimerlerde, dental protezlerin üretimi için şu anda frezelenen birkaç ürün mevcuttur. Örneğin, Trilor (Bioloren Srl, Sareno, İtalya), Trinia (Shofu Dental Corporation, San Marcos, California, ABD) ve Zantex (Biofunction Materials, Boca Raton, FL, ABD) şu anda CAD-CAM frezeleme materyalleri olarak mevcuttur. Hi-Tech Fiber-Composite(Trilor), çok yönlü cam fiber ile güçlendirilmiş epoksi reçine matrisinden oluşan yeni bir CAD-CAM materyalidir (4,6,9). CAD-CAM bloklar ve diskler titanyum dioksit ile renklendirilmiştir. Fiber takviyeli kompozit rezin polimer (Trinia), önceden polimerize edilmiş CAD-CAM bloklar olarak mevcuttur ve birkaç katmanda bir epoksi reçine matrisinde geçmeli çok yönlü cam fiberden oluşur. Üç boyutlu olarak düzenlenmiş fiber takviyeli kompozit rezin polimer (Zantex), yaklaşık %75 fiber içeriği ile bir epoksi reçine matrisine inorganik bileşikler ile çok katmanlı çift yönlü bir şekilde paralel olarak dağıtılmış düzenli geometriye sahip cam fiber ağı ile güçlendirilmiş yüksek performanslı bir polimer matrisinden yapılmıştır. Bu kompozitler temelde bir polimer matris ve farklı fiber oryantasyonuna, fiber içeriğine ve geometrisine sahip fiberler olmak üzere en az iki bileşenden oluşur. Daha fazla mukavemet ve sertlik gibi çeşitli avantajlar sunarlar, bu da onları diş hekimliğinde kullanımı için ilginç kılar. Bununla birlikte, bu yeni materyal grubunun klinik olarak bazı önemli parametreleri zaten araştırılmıştır (4,9,52).

Başaran ve ark. (60) yaptıkları çalışmada CAD-CAM sistemi ile hazırlanan, fiber takviyeli kompozit bloklardan üretilen molar kuronların, fiber takviyesiz kompozit rezin ve seramik bloklara kıyasla daha yüksek yük taşıma kapasitesi-

ne sahip olduğunu bildirmiştir. Bonfante ve ark. (53) üç üyeli implant destekli sabit protezlerde CAD-CAM sistemi ile üretilen fiber takviyeli kompozit altyapıların hayatta kalma olasılığını, Weibull modülünü, karakteristik dayanımını ve başarısızlık modlarını değerlendirdi ve hayatta kalma olasılığı açısından 3-mm<sup>2</sup> veya 12-mm<sup>2</sup> konnektör alanlı CAD-CAM fiber takviyeli kompozit, monolitik kompozit veya metal-seramik implant destekli sabit dental protezler arasında bir farklılık bildirilmemiştir. Aynı çalışmada, 800 N üzerindeki kuvvetlerde monolitik kompozitlerde onarım fırsatı vermeyen katastrofik kırıklar görülürken, Tersine, CAD-CAM fiber takviyeli kompozit alt yapılarda hiçbir arıza gözlenmedi ve arızaların çoğu, veneer kompozitte koheziv olarak gözlendi. Bu, potansiyel olarak veneere kompozit ilaveleri yoluyla onarıma izin verdiği için bu durumun daha umut verici olduğu bildirilmiştir. Rayyan ve ark. (61) yaptıkları çalışmada seramik veneerli zirkonya, indirekt kompozit rezin veneerli zirkonya ve indirekt kompozit rezin veneerli fiber takviyeli kompozit altyapılı üç üyeli implant destekli sabit dental protezleri statik ve yorulma yüklemesi altında başarısızlık ve hayatta kalma olasılığı açısından karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, çiğneme fonksiyonunu statik testlerden daha iyi simüle eden yorulma testinde, indirekt kompozit rezin veneerli fiber takviyeli kompozit rezin altyapılarda, seramik veneerli zirkonya'ya göre daha yüksek bir hayatta kalma olasılığı gözlemlendi. Ayrıca altyapı kırıkları sadece fiber takviyeli kompozit altyapı grubunda gözlenmediği, bu da devam eden fonksiyon için indirekt kompozit ilavesi ile hasta başı onarımına bir avantaj sağladığı bildirilmiştir. Bergamo ve ark. (54) implant destekli sabit dental protezler için bir CAD-CAM fiber takviyeli kompozit polimerin(Zantex) fizikokimyasal ve mekanik özelliklerini değerlendirdikleri çalışmada, fiber takviyeli kompozit rezin altyapılı sabit dental protezler için başlıca arıza modları, düşük yüklerde veneer kompozitinin koheziv ve daha yüksek yüklerde ise veneer kompozitinin adeziv kırılması olduğu bildirilmiştir.

Erkmen ve ark. (7) metal-seramik ve fiber takviyeli kompozit 3-üyeli implant destekli sabit parsiyel protezlerin kemik, implant-dayanak kompleksi ve protezik yapılardaki stres dağılımına etkisini değerlendirdi ve fiber takviyeli kompozit implant destekli sabit parsiyel protezlerin kemik-implant arayüzündeki aşırı stresleri ortadan kaldırayabileceği ve çevreleyen kemiğin normal fizyolojik yükünü koruyabileceği, dolayısıyla implant çevresi kemik kaybı riskini en aza indirebileceğini bildirmiştir. Zapparoli ve ark. (62) fotoelastik stres analizi ile mandibular tam ark implant destekli sabit protezler için kullanılan farklı bar materyallerini ve üretim tekniklerini incelediği çalışmada, fiber takviyeli kompozit rezinden (Trinia-CAD-CAM) üretilen barın, Co-Cr ve Titanyum ile üretilenlere göre daha uygun sonuçlar gösterdiğini bildirmiştir.

Batak ve ark. (9) CAD-CAM yüksek performans polimerlerinin (PEEK, PEKK ve 2 farklı fiber takviyeli kompozit rezin polimerler) yüzey pürüzlülüğünü ve citalamanın yüzey pürüzlülüğüne etkisini değerlendirdikleri çalışmada, farklı bileşimlerdeki yüksek performans polimerlerinin yüzey pürüzlülük değerlerinin 0.2 µm'lik klinik kabul edilebilirlik eşiğinin üzerinde bulunsa da, frezeleme sonrası yüzey pürüzlülüğünün benzer olduğunu bildirmiştir.

## **SONUÇ**

Yüksek performans polimerlerinin peri-implant kemik bölgesine stres aktarım karakteri hakkında yeterli kanıt yoktur. Farklı klinik durumlar için implant sistemine ve peri-implant kemik bölgesine stres aktarımını simüle eden daha ileri çalışmalara ihtiyaç vardır. Yapılan çalışmalarda, yüksek performans polimerlerinin olumlu mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle implant destekli sabit protezler için uygun olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, yüksek performans polimerlerinin köklü protez materyallerine alternatif olarak güvenle önerilebilmesi için ve bu protezlerin uzun vadeli klinik performansını değerlendirmek için daha fazla in vitro ve klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

## **KAYNAKLAR**

1. Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, Hämmerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: Fixed dental prostheses. Clin Oral Implants Res. 2007;18(3):86-96.
2. Pjetursson BE, Brägger U, Lang NP, Zwahlen M. Comparison of survival and complication rates of tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs) and implant-supported FDPs and single crowns (SCs). Clin Oral Implants Res. 2007 Jun;18 Suppl 3:97-113.
3. Pjetursson BE, Thoma D, Jung R, Zwahlen M, Zembic A. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years. Clin Oral Implants Res. 2012;23(6):22-38.
4. Bunz O, Benz CI, Arnold WH, Piwowarczyk A. Shear bond strength of veneering composite to high performance polymers. Dent Mater J. 2021;40(2):304-311.
5. Gama LT, Duque TM, Özcan M, Philippi AG, Mezzomo LAM, Gonçalves TMSV. Adhesion to high-performance polymers applied in dentistry: A systematic review. Dent Mater. 2020;36(4):e93-e108.
6. Yılmaz B, Batak B, Seghi RR. Failure analysis of high performance polymers and new generation cubic zirconia used for implant-supported fixed, cantilevered prostheses. Clin Implant Dent Relat Res. 2019;21(6):1132-1139.
7. Erkmén E, Meriç G, Kurt A, Tuñç Y, Eser A. Biomechanical comparison of implant retained fixed partial dentures with fiber reinforced composite versus conventional metal frameworks: a 3D FEA study. J Mech Behav Biomed Mater. 2011;4(1):107-16.
8. Alqurashi H, Khurshid Z, Syed AUY, Rashid Habib S, Rokaya D, Zafar MS. Polyetherketoneketone (PEKK): An emerging biomaterial for oral implants and dental prostheses. J Adv Res. 2020;28:87-95.
9. Batak B, Çakmak G, Johnston WM, Yılmaz B. Surface roughness of high-performance polymers used for fixed implant-supported prostheses. J Prosthet Dent. 2021 Feb 11:S0022-3913(20)30750-2.

10. Najeeb S, Zafar MS, Khurshid Z, Siddiqui F. Applications of polyetheretherketone (PEEK) in oral implantology and prosthodontics. *J Prosthodont Res.* 2016;60(1):12-9.
11. Stawarczyk B, Eichberger M, Uhrenbacher J, Wimmer T, Edelhoff D, Schmidlin PR. Three-unit reinforced polyetheretherketone composite FDPs: influence of fabrication method on load-bearing capacity and failure types. *Dent Mater J.* 2015;34(1):7-12.
12. Fuhrmann G, Steiner M, Freitag-Wolf S, Kern M. Resin bonding to three types of polyaryletherketones (PAEKs)-durability and influence of surface conditioning. *Dent Mater.* 2014;30(3):357-63.
13. Alsadon O, Wood D, Patrick D, Pollington S. Fatigue behavior and damage modes of high performance poly-ether-ketone-ketone PEKK bilayered crowns. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020 Oct;110:103957. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.103957.
14. Han KH, Lee JY, Shin SW. Implant- and Tooth-Supported Fixed Prosthesis Using a High-Performance Polymer (PEKtton) Framework. *Int J Prosthodont.* 2016;29(5):451-4.
15. Lee KS, Shin MS, Lee JY, Ryu JJ, Shin SW. Shear bond strength of composite resin to high performance polymer PEKK according to surface treatments and bonding materials. *J Adv Prosthodont.* 2017;9(5):350-7.
16. Labriaga W, Song SY, Park JH, Ryu JJ, Lee JY, Shin SW. Effect of non-thermal plasma on the shear bond strength of resin cements to Polyetherketoneketone (PEKK). *J Adv Prosthodont.* 2018;10(6):408-14.
17. Lümckemann N, Eichberger M, Stawarczyk B. Bond strength between a high-performance thermoplastic and a veneering resin. *J Prosthet Dent.* 2020;124(6):790-7.
18. Amelya A, Kim JE, Woo CW, Otgonbold J, Lee KW. Load-Bearing Capacity of Posterior CAD/CAM Implant-Supported Fixed Partial Dentures Fabricated with Different Esthetic Materials. *Int J Prosthodont.* 2019;32(2):201-204.
19. Bae SY, Park JY, Jeong ID, Kim HY, Kim JH, Kim WC. Three-dimensional analysis of marginal and internal fit of copings fabricated with polyetherketoneketone (PEKK) and zirconia. *J Prosthodont Res.* 2017;61(2):106-12.
20. Oh KC, Park JH, Lee JH, Moon HS. Treatment of a mandibular discontinuity defect by using a fibula free flap and an implant-supported fixed complete denture fabricated with a PEKK framework: A clinical report. *J Prosthet Dent.* 2018;119(6):1021-1024.
21. Dawson JH, Hyde B, Hurst M, Harris BT, Lin WS. Polyetherketoneketone (PEKK), a framework material for complete fixed and removable dental prostheses: A clinical report. *J Prosthet Dent.* 2018;119(6):867-72.
22. Dayan SC, Geckili O. The influence of framework material on stress distribution in maxillary complete-arch fixed prostheses supported by four dental implants: a three-dimensional finite element analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2021 Apr 2:1-12.
23. Sirandoni D, Leal E, Weber B, Noritomi PY, Fuentes R, Borie E. Effect of Different Framework Materials in Implant-Supported Fixed Mandibular Prostheses: A Finite Element Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019;34(6):e107-e114.
24. Lee KS, Shin SW, Lee SP, Kim JE, Kim JH, Lee JY. Comparative Evaluation of a Four-Implant-Supported Polyetherketoneketone Framework Prosthesis: A Three-Dimensional Finite Element Analysis Based on Cone Beam Computed Tomography and Computer-Aided Design. *Int J Prosthodont.* 2017;30(6):581-5.
25. Stawarczyk B, Keul C, Beuer F, Roos M, Schmidlin PR. Tensile bond strength of veneering resins to PEEK: impact of different adhesives. *Dent Mater J.* 2013;32(3):441-8.
26. Papathanasiou I, Kamposiora P, Papavasiliou G, Ferrari M. The use of PEEK in digital prosthodontics: A narrative review. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):217. doi: 10.1186/s12903-020-01202-7.
27. Cabello-Domínguez G, Pérez-López J, Veiga-López B, González D, Revilla-León M. Maxillary zirconia and mandibular composite resin-lithium disilicate-modified PEEK fixed implant-supported restorations for a completely edentulous patient with an atrophic maxilla and mandible: A clinical report. *J Prosthet Dent.* 2020;124(4):403-10.

28. Kanzow P, Wiegand A, Schwendicke F, Göstemeyer G. Same, same, but different? A systematic review of protocols for restoration repair. *J Dent.* 2019;86:1-16.
29. Sulaya K, Guttal SS. Clinical evaluation of performance of single unit polyetheretherketone crown restoration-a pilot study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2020;20(1):38-44.
30. Parmigiani-Izquierdo JM, Cabaña-Muñoz ME, Merino JJ, Sánchez-Pérez A. Zirconia implants and peek restorations for the replacement of upper molars. *Int J Implant Dent.* 2017;3(1):1-5.
31. Zoidis P, Papathanasiou I. Modified PEEK resin-bonded fixed dental prosthesis as an interim restoration after implant placement. *J Prosthet Dent.* 2016;116(5):637-41.
32. Zoidis P, Bakiri E, Papathanasiou I, Zappi A. Modified PEEK as an alternative crown framework material for weak abutment teeth: a case report. *Gen Dent.* 2017;65(5):37-40.
33. Niem T, Youssef N, Wöstmann B. Energy dissipation capacities of CAD-CAM restorative materials: A comparative evaluation of resilience and toughness. *J Prosthet Dent.* 2019;121(1):101-9.
34. Tasopoulos T, Pachiou A, Kouveliotis G, Karaiskou G, Ottenga M, Zoidis P. An 8-Year Clinical Outcome of Posterior Inlay Retained Resin Bonded Fixed Dental Prosthesis Utilizing High Performance Polymer Materials: A Clinical Report. *J Prosthodont.* 2021;30(1):19-23.
35. Stawarczyk B, Beuer F, Wimmer T, Jahn D, Sener B, Roos M, Schmidlin PR. Polyetheretherketone-a suitable material for fixed dental prostheses? *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2013;101(7):1209-16.
36. Liebermann A, Wimmer T, Schmidlin PR, Scherer H, Löffler P, Roos M, Stawarczyk B. Physico-mechanical characterization of polyetheretherketone and current esthetic dental CAD/CAM polymers after aging in different storage media. *J Prosthet Dent.* 2016;115(3):321-8.e2.
37. Taufall S, Eichberger M, Schmidlin PR, Stawarczyk B. Fracture load and failure types of different veneered polyetheretherketone fixed dental prostheses. *Clin Oral Investig.* 2016;20(9):2493-500.
38. Tartuk BK, Ayna E, Başaran EG. Comparison of The Load-Bearing Capacities of Monolithic PEEK, Zirconia and Hybrid Ceramic Molar Crowns. *Meandros Med Dent J.* 2019;20:45-50.
39. Nazari V, Ghodsi S, Alikhasi M, Sahebi M, Shamshiri AR. Fracture strength of three-unit implant supported fixed partial dentures with excessive crown height fabricated from different materials. *J Dent (Tehran).* 2016;13(6):400-6.
40. Waltimo A, Kononen M. A novel bite force recorder and maximal isometric bite force values for healthy young adults. *Scand J Dent Res.* 1993;101(3):171-5.
41. Elsayed A, Farrag G, Chaar MS, Abdelnabi N, Kern M. Influence of different CAD/CAM crown materials on the fracture of custom-made titanium and zirconia implant abutments after artificial aging. *Int J Prosthodont.* 2019;32(1):91-6.
42. Preis V, Hahnel S, Behr M, Bein L, Rosentritt M. In-vitro fatigue and fracture testing of CAD/CAM-materials in implant-supported molar crowns. *Dent Mater.* 2017;33(4):427-33.
43. Beuer F, Steff B, Naumann M, Sorensen JA. Load-bearing capacity of all-ceramic three-unit fixed partial dentures with different computer-aided design (CAD)/computer-aided manufacturing (CAM) fabricated framework materials. *Eur J Oral Sci.* 2008;116:381-6.
44. Kolbeck C, Behr M, Rosentritt M, Handel G. Fracture force of tooth-tooth-and implant-tooth-supported all-ceramic fixed partial dentures using titanium vs. customized zirconia implant abutments. *Clin Oral Implants Res.* 2008;19:1049-53.
45. Wachtel A, Zimmermann T, Sütel M, Adali U, Abou-Emara M, Müller WD, Mühlemann S, Schwitalla AD. Bacterial leakage and bending moments of screw-retained, composite-veneered PEEK implant crowns. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2019;91:32-37.
46. Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Dellavia C, Tartaglia GM. Single tooth bite forces in healthy young adults. *J Oral Rehabil.* 2004 Jan;31(1):18-22.
47. Ghodsi S, Zeighami S, Meisami AM. Comparing retention and internal adaptation of different implant-supported, metal-free frameworks. *Int J Prosthodont.* 2018;31(5):475-7.
48. Zeighami S, Ghodsi S, Sahebi M, Yazarloo S. Comparison of marginal adaptation of different implant-supported metal-free frameworks before and after cementation. *Int J Prosthodont.* 2019;32(4):361-3.

49. Jin HY, Teng MH, Wang ZJ, Li X, Liang JY, Wang WX, Jiang S, Zhao BD. Comparative evaluation of BioHPP and titanium as a framework veneered with composite resin for implant-supported fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent.* 2019;122(4):383-8.
50. Abou-Ayash S, Schimmel M, Özcan M, Oczelik B, Brägger U, Yilmaz B. Trueness and marginal fit of implant-supported complete-arch fixed prosthesis frameworks made of high-performance polymers and titanium: An explorative in-vitro study. *J Dent.* 2021 Aug 19:103784. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103784.
51. Zoidis P. The all-on-4 modified polyetheretherketone treatment approach: a clinical report. *J Prosthet Dent.* 2018;119(4):516-21.
52. Ahmed KE, Li KY, Murray CA. Longevity of fiber-reinforced composite fixed partial dentures (FRC FPD)-Systematic review. *J Dent.* 2017 Jun;61:1-11.
53. Bonfante EA, Suzuki M, Carvalho RM, Hirata R, Lubelski W, Bonfante G, Pegoraro TA, Coelho PG. Digitally produced fiber-reinforced composite substructures for three-unit implant-supported fixed dental prostheses. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2015 Mar-Apr;30(2):321-9.
54. Bergamo ETP, Bastos TMC, Lopes ACO, de Araujo Júnior ENS, Coelho PG, Benalcazar Jalkh EB, Zahoui A, Bonfante EA. Physicochemical and mechanical characterization of a fiber-reinforced composite used as frameworks of implant-supported prostheses. *Dent Mater.* 2021 Aug;37(8):e443-e453.
55. Perea-Lowery L, Vallittu PK. Framework design and pontics of fiber-reinforced composite fixed dental prostheses-An overview. *J Prosthodont Res.* 2018 Jul;62(3):281-286.
56. Vallittu PK, Shinya A, Baraba A, Kerr I, Keulemans F, Kreulen C, Lassila L, Malmstrom H, Novotny R, Peumans M, Van Rensburg J, Wolff D, Özcan M. Fiber-reinforced composites in fixed prosthodontics-Quo vadis? *Dent Mater.* 2017;33(8):877-879.
57. Göncü Başaran E, Ayna E, Vallittu PK, Lassila LV. Load-bearing capacity of handmade and computer-aided design--computer-aided manufacturing-fabricated three-unit fixed dental prostheses of particulate filler composite. *Acta Odontol Scand.* 2011;69(3):144-50.
58. Mehdikhani M, Gorbatikh L, Verpoest I, Lomov SV. Voids in fiber-reinforced polymer composites: a review on their formation, characteristics, and effects on mechanical performance. *J Compos Mater.* 2019;53:1579-1669.
59. Passaretti A, Petroni G, Miracolo G, Savoia V, Perpetuini A, Cicconetti A. Metal free, full arch, fixed prosthesis for edentulous mandible rehabilitation on four implants. *J Prosthodont Res.* 2018;62(2):264-267.
60. Başaran EG, Aktaş G, Vallittu P, Lassila L, Tuncer MC. Scanning electron microscopy assessment of the load-bearing capacity of cad/cam-fabricated molar crowns. *Braz Oral Res.* 2020 Apr 17;34:e035.
61. Rayyan MM, Abdallah J, Segaan LG, Bonfante EA, Osman E. Static and Fatigue Loading of Veneered Implant-Supported Fixed Dental Prostheses. *J Prosthodont.* 2020 Oct;29(8):679-685.
62. Zaparolli D, Peixoto RF, Pupim D, Macedo AP, Toniollo MB, Mattos MDGC. Photoelastic analysis of mandibular full-arch implant-supported fixed dentures made with different bar materials and manufacturing techniques. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2017;81:144-147.