



POLİMETİLMETAKRİLAT PROTEZ KAİDE MATERYALİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK OLARAK GÜÇLENDİRİLMESİ

THE PHYSICALLY AND MECHANICALLY REINFORCEMENT OF POLYMETHYLMETHACRYLATE DENTURE BASE MATERIAL

Yrd. Doç. Dr. Esra KUL*

Prof. Dr. L. İhsan ALADAĞ*

Makale Kodu/Article code: 2445

Makale Gönderilme tarihi: 23.10.2015

Kabul Tarihi: 04.01.2016

ÖZ

Polimetilmetakrilat, protetik diş hekimliğinde protez kaide materyali olarak yaygın kullanılmasına rağmen düşük dayanım ve düşük ısı iletkenliği gibi dezavantajları mevcuttur. Bu derlemede, polimetilmetakrilat içerisine ilave edilen doldurucuların ısı iletkenlik ve eğme dayanımı üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eğme dayanımı, polimetilmetakrilat, ısı iletkenlik

ABSTRACT

Polymethylmethacrylate is widely used in prosthodontics as a denture base material, however it has some disadvantages like low strength, and low thermal conductivity. In this review, the effect of fillers added to polymethylmethacrylate on the thermal conductivity and flexural strength was evaluated.

Key Words: Flexural strength, polymethylmethacrylate, thermal conductivity

GİRİŞ

Tam protezler için yıllardır farklı kaide materyalleri kullanılmıştır. Genellikle tercih edilen protez kaide materyalleri, akrilik rezinler ve kobalt-krom alaşımından elde edilen metal kaide plakları olmuştur. Akrilik rezinlerin hafifliği, uygulama kolaylığı ve daha kabul edilebilir bir estetik görünüm sağlaması ve fiyatının uygun olması gibi avantajları yanında darbe ve yorulmalara karşı dirençlerinin düşük olması ve düşük ısı iletkenliği gibi özellikleri hekimleri metal alaşımından elde edilen kaide plakları kullanmaya yönlendirmektedir.^{1,2} Metal kaide plaklarının ise yeterli dirence sahip olması, ısı iletkenliğinin iyi olması ve dokuya iyi adaptasyonu gibi avantajlarının yanı sıra, özellikle üst tam protezlerde tutuculuk açısından çok önemli bir konu olan ağırlığı ve maliyeti göz önünde bulundurulması gereken dezavantajlarıdır. Diğer dezavantajları da, protezin ağırlığında artma, kemik kaybı olduğu durumlarda doku uyumunu tekrar yerine koyma zorluğu, protez kenar uyumunun zorluğu, relining işleminin zorluğu, yorucu fabrikasyonları ve bitirme süreçleri, estetik sebeplerdir.²⁻⁴ Günümüzde ideal özelliklere sahip bir materyal bulunamamış olsa da akrilik rezin, en fazla kullanılan protez kaide materyalidir.^{5,6}

Akrilik kaide rezinlerinin mekanik özelliklerinin yetersizliği, hareketli protez kullanan hastalarda protez kırılması şikayetine sıklıkla neden olabilmektedir. Bu durumun giderilmesi için günümüze kadar pek çok materyal ve yöntem denenmiştir. Protez kaidesi yapımında kullanılan akrilik rezinlerin insan organizması gibi duyarlı bir yapıya iyi hizmet edebilmesi için bazı özellikler açısından mükemmel olmalarını gerektirir.⁷ Zayıf özelliklerinden biri de ısı iletkenliğinin düşük olmasıdır. Besinlerin sıcaklığı tat algısını etkileyen bir unsur olarak gösterilmektedir, bu yüzden polimetilmetakrilat (PMMA)'ın ısı iletkenliği hasta memnuniyeti açısından önemli bir faktördür.^{2,8-10} Protez kaidesinin ısı iletkenliğinin yüksek olması, dokuların sağlığını korur,^{3,11} daha iyi tat alınmasını sağlar,^{3,12} protezin yabancı madde gibi hissedilmesini azaltır.^{3,13} Bu dezavantajlardan dolayı akriliğin ısı iletiminin artırılması amaçlanmıştır. İletken materyal partikülleri yani metaller akriliğin likitine ya da tozuna katılabilir ve beraber polimerize edilebilir böylece termal iletkenlik artırılabilir, termal ekspansiyon katsayısı azalır, polimerizasyon büzülmesi azalır, su emme azalır.^{3, 14} Oksit seramiklerin ilavesi ile de termal iletkenlik,^{2,15,16} dayanıklılık artabilir, polimerizasyon büzülmesi azalır.¹⁶⁻¹⁸

*Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi AD



Yapılan çalışmalarda çiğneme sırasında, protez kaide materyalinin fiziksel özelliklerinin hastanın protezi kabul etmesini etkilediği ve akrilik rezinlerin ısı iletkenliğinin metallere oranla düşük olduğu belirtilmiştir². PMMA'nın ısı iletkenliği değerlerinin iyileştirilmesi için maddeye yüksek ısı iletkenliğine sahip çeşitli maddeler ilave edilebilir. Bu yazının amacı; son yıllarda protez kaide materyallerinin güçlendirilmesinde kullanılan materyal, metotların ve materyale etkilerinin derlenmesidir.

PMMA'a Güçlendirici Materyal Eklenmesi

Protez kaidelerinin güçlendirilmesi amacıyla, alüminyum ve çelik kaide plakları, paslanmaz çelik tel, kafes ve ızgaraların kullanılması, metal toz ve partiküllerin akrilik rezinlere ilave edilmesi, polietilen, cam, karbon/ grafit ya da aramid gibi fiber sistemlerinin değişik oranlarda ve formlarda kullanılması, ayrıca çapraz bağlantı ajanlarının ve kopolimerlerin rezinlere ilave edilmeleri gibi çeşitli adımlar atılmıştır.^{3,19} Fiberler genellikle protez kaide materyalinin kalın olduğu yerlere yerleştirilebilirler. Fiber ile güçlendirilmiş protezlerin tamiri dışarı çıkan fiber uçları yüzünden karmaşıktır. Bu problem tanecikli doldurucuların kullanımı ile giderilebilir.²⁰ Gümüş, bakır ve alüminyum metal partiküllerinin farklı oranlarda karıştırılarak akrilik tam protez kaidelerine ilave edilmeleriyle kaidenin basma direnci ve transvers dayanıklılığında artma olduğu rapor edilmiştir.³

Geleneksel protez kaide materyaline ısı iletkenliğini artırma amacıyla katılan gümüş, alüminyum ve bakır tozlarının ısıyı 4,5 kat fazla iletmesi için hacimce %25 oranında konulması gerektiği ve bu oranın çekme dayanımını %35 oranında azalttığı,³ metal tozu doldurucularına alternatif olarak termal olarak iletken seramiklerin daha kullanışlı olabileceği, safir (Al_2O_3 'ün tek kristal formu), silikon nitrür (Si_3N_4), boron nitrür (BN), alüminyum nitrür (AIN)'ün bu amaçla kullanılabileceği belirtilmiştir.² Ayrıca metal dolduruculardan üstün olan tarafları ise; yoğunluklarının düşük olmasıdır, böylece protez daha hafif olur. Beyaz olmaları da avantaj sayılabilir protezin görüntüsünü az değiştirir.²

Karışım/kompozit materyal, iki ya da daha fazla sayıda aynı ya da farklı gruplardaki maddelerin özelliklerini yeni ve tek bir materyalde toplamak amacıyla makroskobik düzeyde birleşimleriyle oluşan yapılardır. Bunlar, genellikle, düşük elastiklik modülü ve

dayanıma sahip seramik, metal, karbon ya da organik polimer matriks/temel faz ile bunun içinde dağılmış olan daha az oranda kullanılan ara fazlardan oluşmaktadır. Bu tür kompozit yapılar, atomik ya da moleküler düzeyde tam reaksiyona girerek birleştirilen materyaller değildirler. Kompozit yapı, bileşen materyallerden biriyle kıyaslandığında, bazı özellikleri ile önemli derecede üstünlük gösterebilir.²¹ Akrilik rezini güçlendirmek amacıyla da polimer matriks içine metal, metal oksit ya da seramik tanecikleri ilave edilerek kompozit bir materyal oluşturulabilir. Bu amaçla kullanılan ve kullanılabilecek bazı materyaller;

SiC: Silikon karbür, iyi çekici yarı iletken bir materyaldir. Isı iletkenliğinin bakır, Al_2O_3 ve AIN (alüminyum nitrat)'ı geçtiği belirtiliyor.²² Yüksek miktarda kovalent bağ içerdikleri için oksit seramiklerden daha dayanıklıdır, termal özellikleri iyidir ve medikal implant ve protezlerde kullanmak için uygun bir biyouyumluluk ve mükemmel sitouyumluluk gösterirler.^{23,24}

Xu ve ark.²⁵ kompozit rezini güçlendirmek amacıyla silikon nitrür ve silikon karbür lifcik kullanmışlardır. Bunların seçilme nedeni, birçok fiberden (cam fiber, carbon fibers ve aramid fiber) daha küçük boyutta olmaları bu yüzden rezin ile daha homojen bir karışım elde edilebilmesi ve fiberlerden çok daha dayanıklı olmalarıdır. Silanlanmış silikon nitrür'ün, eğme dayanımını, silikon karbür'ün ise, esneklik modülünü ve sertliğini daha fazla artırdığı belirtilmiştir. Xu ve ark.²⁶ ve Xu²⁷ diğer çalışmalarında da silikon nitrür'ün indirekt kompozit rezinin mekanik özelliklerini arttırdığını belirtmişlerdir.

Grant ve Greener,²⁸ protez kaide rezinini, ağırlıkça değişik yüzdelerde çeşitli fiberler, SiC lifcik ve Al_2O_3 lifcik ile güçlendirip, elastiklik modülü ve eğme dayanımı ölçtükleri çalışmalarında, silan uygulamasının, lifciklerin yüzey aktivitesini artırdığını ve polimetilmetakrilat'tan lifciklere daha iyi stres transferine olanak verdiğini, PMMA'nın güçlendirilmesinde en uygun malzemenin % 10-13 oranında Al_2O_3 lifcik olduğunu belirtmişlerdir.

Si_3N_4 : Silikon nitrür, yüksek dayanıklılık ve kırılma direncine sahip, son zamanlarda ortopedik biyomateryal olarak spinal cerrahide ve kalça ve diz eklemi protezlerinde kullanılan bir materyaldir.²⁹ Dahası 3 yıldır spinal cerrahide yan etkisi olmadan kullanılmaktadır. Sitotoksik olmadığı belirtilmiş ve biyomedikal uygulamalar için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.³⁰



Al₂O₃: Alüminyum oksit diğer adıyla alümina, alfa fazlıdır ve oksit seramikler içinde en güçlü ve en katı olanıdır.¹⁵ Son yıllarda PMMA'ı güçlendirmek için kullanılan en popüler malzemelerden biridir. Yüksek sertliği, mükemmel dielektrik özellikleri, ısı dayanıklılığı ve iyi termal özellikleri sonucu geniş uygulama alanı vardır.¹⁵ Akrilik rezinlerin güçlendirilmesi amacıyla da kullanılmaktadır.³¹ Al₂O₃'ün kompozit formu günümüzde ortopedik cerrahide en çok kullanılan seramiktir.²⁹

Atla ve ark,¹⁶ ısıyla polimerize olan protez kaide materyaline %5-20 arasında alüminyum oksit tozu ilave etmişler ve alüminyum oksit ilavesinin kaide rezininin termal özelliklerini ve sertliğini arttırdığını, polimerizasyon büzülmesini azalttığını, protez yüzeyinde bakteri oluşumunu inhibite ettiğini ve hasta memnuniyetini artırabileceğini belirtmişlerdir. Ellakwa ve ark.¹⁵ da ağırlıkça %5-20 oranlarında alfa fazlı alüminyum oksit tozu doldurucunun, bükülme dayanımı ve fizyolojik sıcaklık aralığında ısı difüzyonuna etkisini inceledikleri çalışmalarında, ısı iletkenliğinin ve eğme dayanımının eklenen miktara bağlı olarak arttığını ve bunun da hasta memnuniyetinin artmasına yol açacağını belirtmişlerdir.

Akrilik polimerler ağız dokularına en uyumlu polimerdir. Polimerin düşük özgül ağırlığı, üst protezler için avantajdır. Çünkü üst protezlerin yerinden oynamasını kolaylaştıracak yer çekimi kuvveti daha az olacaktır.³² Kul,³³ yaptığı tez çalışmasında aynı ağırlıkta doldurucu tozlar ilave ederek protezin ağırlığını artırmadan güçlendirmeyi amaçlamış. Si₃N₄, SiC ve Al₂O₃ seramik tozlarının ısı iletkenliği en çok artıran materyaller olduğunu, SiC ve Al₂O₃'ün eğme dayanımını etkilemediğini, Si₃N₄ seramik tozunun ise eğme dayanımını azalttığını belirtmiştir.

TiO₂: Titanyum dioksit de protez kaide rezininin güçlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır.¹⁸ Antimikrobiyal özelliği olduğu ve rezinin antimikrobiyal (*Candida albicans* ve *Streptococcus mutans*) özelliklerini arttırdığı da belirtmiştir.³⁴ Hernandez ve ark,³⁵ % 10 oranında silanlı TiO₂'i akrilik rezine ilave etmiş ama eğme dayanımına faydalı bir etkisi olmadığını belirtmişler. Yoshida ve Greener,³⁶ birkaç bağlanma ajanı (silan) ile metal oksit-rezin kompozitinin (TiO₂, Al₂O₃, ZrO₂ ve SiO₂) etkinliğini değerlendirdikleri çalışmalarında, doldurucuları ağırlıkça % 50 oranında ilave etmişler ve bağlantı ajanı uygulamasıyla eğme dayanımının arttığını fakat bir ay suda bekletme işlemi sonunda eğme dayanımının azaldığını belirtmişler.

Ag: Gümüş periyodik tabloda simgesi Ag olan, beyaz, parlak bir metalik elementtir. Elektrik ve ısıyı çok iyi iletir. Antik çağlardan beri yanıkların ve kronik yaraların tedavisinde kullanılan gümüş aynı zamanda kuyumculukta, fotoğrafçılıkta ve dental alışımlarda kullanım alanı bulmaktadır.³⁷ Antimikrobiyal tıbbi ürünlerin geliştirilmesi amacıyla gümüşten yararlanılmaktadır.³⁸ Protez kaide materyalini güçlendirme amacıyla da kullanılmıştır, yüksek termal iletkenliği, oral kavitede kullanılabilmesi ve antimikrobiyal olması nedeniyle tercih edilmiştir.^{3,39} Literatürde protez kaide rezinine doldurucu olarak gümüş, termal iletkenliği yüksek olduğu ve oral kavitede kullanılabilirdiği için seçilmiş ve yapılan bazı çalışmalarda PMMA'nın ısı iletkenliğini en fazla artıran materyal olmuştur.^{3,40, 41}

Sehajpal ve Sood³ protez kaide rezininin ısı iletkenliğini artırmak için hacimce %5-25 oranlarında gümüş, bakır ve alüminyum doldurucu kullanmıştır. Isı iletkenliği orana bağlı olarak artarken, gerilme ve eğme dayanımının azaldığı bildirilmiştir. Dayanımdaki bu azalmanın nedenleri çapraz kesitte polimer matris desteğinin azalması, doldurucular sebebiyle stres birikimi, rezin kompozitin elastiklik modülünün değişmesi, dolduruculara bağlı çatlağın ilerlemesi, içeride kalan hava ve neme bağlı porozite oluşumudur.^{3, 14, 42} Radyolojik incelemede en çok radyopak olan tozun gümüş olduğu, % 5 doldurucu oranında mikroskobik incelemede doldurucunun birbirinin üzerine gelmediği ve PMMA ile izole edildiği için iletkenliğin pek mümkün olmadığı belirtilmiştir. %20 ve 25 oranlarında metal partiküllerinin birbirinin üzerine örttüğü ve iletkenlik için bir köprü oluşturabildiği gözlenmiştir.³ Yadav ve ark.⁴¹ hem in vivo hem de in vitro yaptıkları çalışmalarının in vitro kısmında PMMA'a %10, 20, 30 oranında metal doldurucu (alüminyum ve gümüş) ilavesinin çekme, basma ve bükülme dayanımına etkisini incelemişler. Artmış eğme dayanımını tozların asitlenmesine, silan kullanımına ve doldurucu tozların küçük partikül büyüklüğüne (1 µm) bağlamışlardır. İn vivo kısmında ise, sıcaklık algısının klinik değerlendirmesini 10 tane dişsiz hasta üzerinde incelemişler. Maksiller protezinin palatinal kısmına %20 oranında alüminyum partikülleri ilaveli PMMA yerleştirilen hastalar böylelikle sıcak soğuk hissinin arttığını ve bu yeni protezi tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, termal iletkenlik ve mekanik özellikleri iyileştirme açısından PMMA'a metal doldurucu ilavesi tavsiye

edilmektedir, böyle bir protezin daha iyi tad alma hissi sağlayacağı ve oral mukozanın sağlığını koruyacağı, dahası bağlanma ajanı kullanılmasının metal ve PMMA matriksi arasındaki bağı güçlendirdiği de belirtilmektedir. Yine başka bir çalışmada da nano boyutta gümüş partiküllerinin protez kaide rezininin ısı iletkenliğini artırdığı ve protezin palatinal bölgesinde kullanılabileceği belirtilmiştir.⁴³

ZrO₂: Akrilik rezinlerin güçlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır.¹⁷ Isıyla polimerize olan akrilik rezinin su emilimini ve çözünürlüğünü azalttığı ve kırılma tokluğunu artırdığı belirtilmiştir.¹⁷ Zuccari ve ark,³¹ akriliği güçlendirme amacıyla alüminyum, magnezyum, zirkonyum oksit tozları kullanmışlar ve bunlar arasında elastiklik modülü, sertlik, bükülme direnci gibi mekanik özellikleri en iyi artıran tozun zirkonyum oksit olduğunu belirtmişlerdir. Bu materyallerin biyouyumlulukları iyi olduğu için biyo inert seramik kemik doldurucusu olarak kullanıldığı bildirilmiştir.⁴⁴

Alhareb ve Ahmad,⁴⁵ PMMA'a ağırlıkça %5 oranında silansız Al₂O₃/ZrO₂ seramik karışımı ilave edilmesinin, eğme dayanımını, kırılma tokluğunu ve elastisite modülünü arttırdığını fakat çekme dayanımını azalttığını belirtmişler. ZrO₂ mekanik özellikleri güçlendirdiği için, Al₂O₃ sertliği yüksek olduğu için ve ikisi de biyouyumlu olduğu için seçilmiş, iki materyalin karıştırılmasıyla daha sert, dayanıklı ve dental uygulamalar için daha kullanışlı kompozit bir materyal elde edildiği belirtilmiştir.⁴⁵

Asar ve ark.¹⁷ PMMA'a hacimce % 2 oranında ZrO₂, Al₂O₃ ve TiO₂ tozu ilave ettikleri çalışmalarında, düşük yoğunlukta olan bu doldurucular ile hafif ama kırılma tokluğu artmış, su emilimi ve çözünürlüğü azalmış bir akrilik rezin elde edildiğini belirtmişlerdir. Özellikle ZrO₂'in protez kırıklarını ve oral sıvılardan kaynaklanan istenmeyen fiziksel değişiklikleri önlemede kullanılabileceğini belirtmişlerdir.¹⁷

Hidroksiapatit (HA): Doğal kemik inorganik ve organik yapılar içeren kompozittir, nano yapıda hidroksiapatit (Ca₅(PO₄)₃(OH)) ve kollojen fiberlerden oluşmuştur. Biyoseramik bir malzemedir. Hidroksiapatit, sert dokuların biyouyumlu, biyoaktif, osteokonduktif, toksik olmayan major inorganik bileşendir.⁶ HA daima mekanik ve termal özellikleri değiştirmek için kullanılır.⁴⁶ Protez kaide akriliğini güçlendirmek için hidroksiapatit (HA) lifcik kullanılmaktadır.⁶

Hidroksiapatit ilavesinin PMMA'ın elastisite modülünü artırdığı fakat eğme dayanımını azalttığını

belirten çalışmalar mevcuttur.^{47,48} Tham ve ark⁴⁶ da MTS ile silanlanmış HA ilavesi ile PMMA'ın termal stabilitesinin ve elastisite modülünün arttığını fakat eğme dayanımının azaldığını belirtmişler.

Doldurucu partiküllerinin şekil ve büyüklüğü:

Literatürde protez kaide maddesinin ısı iletkenliğini inceleyen çok az sayıda çalışma vardır.^{2,3,14,15,41} PMMA içerisine katılan partiküllerin şekilleri ve büyüklükleri de ısı iletkenliği açısından önem taşımaktadır. Hansen ve Tomkiewicz⁴⁹, karbon ve grafit fiberleri epoksi rezinin içinde doldurucu olarak kullandıkları çalışmalarında, ısı iletiminin iyi olduğunu ve uzamış partiküllerin uzamamış partiküllerden daha iyi ısı iletmesini belirtmişler. Yine başka bir çalışmada doldurucuların ideal formunun uzamış partiküller olduğu,²⁸ plastiği daha iletken yaptığı için düşük konsantrasyonlarda eklenebileceği belirtilmiştir.⁴⁹ Ancak başka bir çalışmada da Al₂O₃'in küre şeklindeki partikülleri ısı difüzyonu ve bükülme özelliklerini anlamlı olarak artırmaktadır. Bunun sebebi olarak da alümina kürelerinin protez kaide tozları içindeki uygun dağılımı gösterilmektedir.¹⁵ Doldurucuların ortalama 10 µm partikül büyüklüğü PMMA'a maksimum yüklemeye izin verir⁵⁰ ve ısı iletkenlik doldurucu rezin oranına bağlı olduğu için partikül büyüklüğünün de önemi vardır.³ Kul,³³ bu durumu hem nano hem mikro boyutta kullandığı SiC tozu ile daha iyi açıklamaktadır. Nano boyutta SiC doldurucu içeren PMMA'ın hem ısı iletkenlik hem de eğme dayanımı değerleri, mikro boyutta SiC doldurucu içeren gruptan anlamlı olarak daha düşüktür.

Silan (Bağlayıcı Ajan) Uygulaması

Yadav ve Elkawash⁵¹ akrilik rezine %5 oranında Al₂O₃ eklenmesi sonucunda, eğilme dayanımının azalmasını ya doldurucu partiküllerin akrilik rezin içinde düzensiz dağılmasına ki bu stres artmasına neden olur ya da silan olmamasına bağlı, silan uygulamasını tavsiye etmişlerdir. Silan kullanılması bir alternatif yüzey hazırlığıdır, rezin matrix ile doldurucuların bağlanmasını artırır.⁵² Günümüzde silan uygulamasının dolduruculu PMMA'ın eğilme ve aşınma direncini artırdığı epeyce aydınlatılmıştır ve en yaygın kullanılan bağlanma ajanı 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MTS)'dir.^{41,52-54} Fakat kullanılması gereken silan miktarı henüz netlik kazanmamıştır. Ayrıca hem metal hem de seramik için yeni bir silan oluşturmak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır.⁵⁵



SONUÇ

1. Hem ısı iletkenliğin hem de eğme dayanımının yüksek olabilmesi için doldurucu tozların PMMA matriksinde homojen bir şekilde dağılması ve iki madde arasında iyi bir birleşme olması gerekmektedir.
2. Silan uygulaması, rezin matrix ile doldurucuların bağlantısını artırabilir.
3. Metal tozu doldurucularına alternatif olarak termal olarak iletken seramikler daha kullanışlı olabilir.

KAYNAKLAR

1. Mack A. *Full Dentures: The Treatment of The Edentulous Patient*. 1 ed. Dorchester, John Wright And Sons Ltd.:1978: 51-3.
2. Messersmith PB, Obrez A, Lindberg S. New acrylic resin composite with improved thermal diffusivity. *J Prosthet Dent* 1998;79:278-84.
3. Sehajpal SB, Sood VK. Effect of metal fillers on some physical properties of acrylic resin. *J Prosthet Dent* 1989;61:746-51.
4. Powers JM, Wataha JC. *Dental Materials: Properties and Manuplation*. 10 ed. Mosby, 2012. p. 76-81
5. Aydin AK, Terzioglu H, Akinay AE, Ulubayram K, Hasirci N. Bond strength and failure analysis of lining materials to denture resin. *Dent Mater* 1999;15:211-8.
6. Pan YY, Liu FW, Xu D, Jiang XZ, Yu H, Zhu MF. Novel acrylic resin denture base with enhanced mechanical properties by the incorporation of PMMA-modified hydroxyapatite. *Progress In Natural Science-Materials International* 2013;23:89-93.
7. Keskin Y. Farklı yöntemlerle polimerizasyonu sağlanan akriliklerin bazı fiziksel özelliklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, 1993.
8. Green BG, Frankmann SP. The effect of cooling on the perception of carbohydrate and intensive sweeteners. *Physiology Behavior* 1988;43:515-9.
9. Nakamura M, Kurihara K. Temperature dependence of amiloride-sensitive and -insensitive components of rat taste nerve response to NaCl. *Brain Research* 1988;444:159-64.
10. Nakamura M, Kurihara K. Differential temperature dependence of taste nerve responses to various taste stimuli in dogs and rats. *The American Journal of Physiology* 1991;61:1402-1408.
11. Kapur KK, Fischer EE. Effect of denture base thermal conductivity on gustatory response. *The J Prosthet Dent* 1981, 46: 603-609.
12. Henderson D, Steffel VL. *McCracken's Removable partial prosthodontics*. 3 ed. Mosby Company, St Louis, 1981: 108.
13. Phillips RW. *Skinner's Science of Dental Materials*. 2 ed. Philadelphia, W. B Saunders Co, 1982: p. 177-247.
14. Türk Y. Metal tozlarının polimetilmetakrilat protez kaide maddesinin termal özelliklerine etkisinin incelenmesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul: İstanbul Üniversitesi, 2010.
15. Ellakwa AE, Morsy MA, El-Sheikh AM. Effect of aluminum oxide addition on the flexural strength and thermal diffusivity of heat-polymerized acrylic resin. *J Prosthodont* 2008;17:439-44.
16. Atla J, Manne P, Gopinadh A, Sampath A, Muvva SB, Kishore K, Sandeep C, Chittamsetty H. The Effect of Al₂O₃ Addition on the Thermal Diffusivity of Heat Activated Acrylic Resin. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* 2013;7:1797-8.
17. Asar NV, Albayrak H, Korkmaz T, Turkyilmaz I. Influence of various metal oxides on mechanical and physical properties of heat-cured polymethyl methacrylate denture base resins. *J Adv Prosthodont* 2013;5:241-7.
18. Panyayong W, Oshida Y, Andres CJ, Barco TM, Brown DT, Hovijitra S. Reinforcement of acrylic resins for provisional fixed restorations. Part III: effects of addition of titania and zirconia mixtures on some mechanical and physical properties. *Bio-medical Materials and Engineering* 2002;12:353-66.
19. Kaplan R, Özçelik B, Gürbüz A. Tam protezlerin yapımında kullanılan akrilik rezinleri güçlendirme yöntemleri. *Atatürk üniv diş hek fak derg* 2006: 70-6.
20. Albayrak H. Farklı metal oksit ilave edilmiş poli(metilmetakrilat)'ın bazı fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi, 2007.



21. Vallittu PK. Acrylic resin-fiber composite--Part II: The effect of polymerization shrinkage of polymethyl methacrylate applied to fiber roving on transverse strength. *J Prosthet Dent* 1994;71:613-7.
22. Harris GL. Properties of silicon carbide. 5 ed. London; inspec:1995. P 35-8.
23. Cappi B, Neuss S, Salber J, Telle R, Knuchel R, Fischer H. Cytocompatibility of high strength non-oxide ceramics. *Journal of Biomedical Materials Research. Part A.* 2010;93:67-76.
24. Barillet S, Jugan ML, Laye M, Leconte Y, Herlin-Boime N, Reynaud C, Carriere M. In vitro evaluation of SiC nanoparticles impact on A549 pulmonary cells: cyto-genotoxicity and oxidative stress. *Toxicology letters* 2010;198:324-30.
25. Xu HH, Quinn JB, Smith DT, Giuseppetti AA, Eichmiller FC. Effects of different whiskers on the reinforcement of dental resin composites. *Dent Mater* 2003;19:359-67.
26. Xu HH, Smith DT, Schumacher GE, Eichmiller FC, Antonucci JM. Indentation modulus and hardness of whisker-reinforced heat-cured dental resin composites. *Dent Mater* 2000;16:248-54.
27. Xu HH. Whisker-reinforced heat-cured dental resin composites: effects of filler level and heat-cure temperature and time. *J Dent Res* 2000;79:1392-7.
28. Grant AA, Greener E.H. Whisker reinforcement of polymethylmethacrylate denture base resins. *Australian Dental Journal* 1967;12:29-33.
29. Bal BS, Rahaman MN. Orthopedic applications of silicon nitride ceramics. *Acta Biomaterialia* 2012;8:2889-98.
30. Neumann A, Reske T, Held M, Jahnke K, Ragoss C, Maier HR. Comparative investigation of the biocompatibility of various silicon nitride ceramic qualities in vitro. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine* 2004;15:1135-40.
31. Zuccari AG, Oshida Y, Moore BK. Reinforcement of acrylic resins for provisional fixed restorations. Part I: Mechanical properties. *Bio-medical Materials and Engineering*, 1997;7:327-43.
32. Craig RG. Restorative Dental Materials. 10.ed. St. Louis, CV Mosby Co, 1989. 127-136, 479-482, 500-4.
33. Kul E. Farklı materyaller ile güçlendirilen polimetilmetakrilat protez kaide materyalinin ısıl iletkenlik ve eğme dayanımı özelliklerinin incelenmesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Dış Tedavisi Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Erzurum: Atatürk Üniversitesi, 2015.
34. Song R, Tao XH, Lin L. Improvement of mechanical and antimicrobial properties of denture base resin by nano-titanium dioxide and nano-silicon dioxide particles. *Pigment & Resin Technology* 2011;40:393-8.
35. Hernandez EP, Oshida Y, Platt JA, Andres CJ, Barco MT, Brown DT. Mechanical properties of four methylmethacrylate-based resins for provisional fixed restorations. *Bio-Medical Materials and Engineering* 2004;14:107-22.
36. Yoshida K, Greener EH. Effects of coupling agents on mechanical properties of metal oxide-polymethacrylate composites. *J Dent* 1994;22:57-62.
37. Chen X, Schluesener HJ. Nanosilver: a nanoparticle in medical application. *Toxicology Letters* 2008;176:1-12.
38. Castellano JJ, Shafii SM, Ko F, Donate G, Wright TE, Mannari RJ, Payne WG, Smith DJ, Robson MC. Comparative evaluation of silver-containing antimicrobial dressings and drugs. *International Wound Journal* 2007;4:114-22.
39. Kurt A. Metal ilave edilmiş polimetilmetakrilat protez kaide maddesinin mikrobiyolojik ve sitotoksik özelliklerinin değerlendirilmesi. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Dış Tedavisi Anabilim Dalı. Doktora Tezi, İstanbul: İstanbul Üniversitesi 2013.
40. Kawahara H, Yamagami A, Nakamura M, Jr. Biological testing of dental materials by means of tissue culture. *Inter Dent J*, 1968; 18: 443-67.
41. Yadav P, Mittal R, Sood VK, Garg R. Effect of incorporation of silane-treated silver and aluminum microparticles on strength and thermal conductivity of PMMA. *J Prosthodont*, 2012 21:546-51.
42. Hull D. An introduction to composite materials. 1st ed. London: University Press Cambridge; 1981. pp. 1-7.
43. Hamedi-Rad F, Ghaffari T, Rezaii F, Ramazani A. Effect of nanosilver on thermal and mechanical properties of acrylic base complete dentures. *J Dent (Tehran, Iran)* 2014;11:495-505
44. Manicone PF, Rossi Iommetti P, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: basic properties and



- clinical applications. J Dent 2007;35:819-26.
45. Alhareb AO, Ahmad ZA. Effect of Al₂O₃/ZrO₂ reinforcement on the mechanical properties of PMMA denture base. Journal of Reinforced Plastics and Composites 2011;30:86-93.
 46. Tham WL, Chow WS, Ishak ZAM. The Effect of 3-(Trimethoxysilyl) Propyl Methacrylate on the Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Poly(methyl methacrylate)/Hydroxyapatite Composites. Journal of Applied Polymer Science, 2010;118:218-28.
 47. Chow WS, Tay HK, Azlan A, Mohd Ishak ZA. Mechanical And Thermal Properties Of Hydroxyapatite Filled Poly (Methyl Methacrylate) Composites. Proceedings of the Polymer Processing Society 24th Annual Meeting ~ PPS-24 ~ June 15-19, 2008 Salerno (Italy).
 48. Shyang CW, Khim LY, Ariffin A, Arifin Z, Ishak M. Flexural properties of hydroxyapatite reinforced poly(methyl methacrylate) composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites 2008;27:945-52.
 49. Hansen D, Tomkiewicz R. Heat-Conduction in Metal-Filled Polymers - Role of Particle-Size, Shape, and Orientation. Polymer Engineering and Science 1975;15:353-6.
 50. Phillips RW. Skinner's Science of Dental Materials. 7 ed. Philadelphia W. B Saunders, 1991. p. 88-97
 51. Yadav NS, Elkawash H. Flexural strength of denture base resin reinforced with aluminum oxide and processed by different processing techniques. J Adv Dent Res 2011;2:33-6.
 52. Chaijareenont P, Takahashi H, Nishiyama N, Arksornnukit M. Effect of different amounts of 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane on the flexural properties and wear resistance of alumina reinforced PMMA. Dent Mater J 2012;31:623-8.
 53. Zhang X, Zhang X, Zhu B, Lin K, Chang J. Mechanical and thermal properties of denture PMMA reinforced with silanized aluminum borate whiskers. Dent Mater J 2012;31:903-8.
 54. Ayad NM, Badawi F.M, Fatah AA. Effect of reinforcement of high-impact acrylic resin with zirconia on some physical and mechanical properties. Revista de Clínica e Pesquisa Odontológica 2008;4:145-51.
 55. Kurata S, Umemoto K. Synthesis of new silane coupling agents with a trimellitic anhydride group

and application as primers for ceramics and alloys. Dent Mater J 2007;26:800-4.

Yazışma Adresi

Yrd. Doç. Dr. Esra KUL
Atatürk Üniversitesi
Diş hekimliği Fakültesi
Protetik Diş Tedavisi AD.
ERZURUM
Telefon: +90-442 2360944
e-mail: esra.kul@atauni.edu.tr

