

MİNERAL TRİOKSİT AGGREGAT VE YENİ GELİŞTİRİLEN DENEY MATERYALİ'NİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN *İN VİTRO* OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI*

IN VITRO COMPARISON OF PHYSICAL PROPERTIES OF MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE AND EXPERIMENTAL MATERIAL

Serkan ÇINAR¹

Hüma ÖMÜRLÜ²

Serkan TÜRK³

Güller GÜL⁴

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, endodontik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan Mineral Trioksit Agregat (MTA) benzerinin ülkemiz şartlarında üretilerek kullanılabilir hale gelmesi için planlandı.

Gereç ve Yöntem: Toz halindeki beyaz MTA ve T.C Çimento Müstahsilleri Birliği Laboratuvarı'nda ürettiğimiz MTA benzeri deney materyalinin içerdiği bileşenler X-ışını kırınım faz analizi ile, alkali özellikleri günlük pH değişimleri incelenerek, radyografik özellikleri alüminyum step wedge kullanarak karşılaştırıldı. 16 örneğin sertlik değerleri Vickers sertlik ölçüm cihazı ile, 41 dişin apikal mikrosızıntıları ise sıvı filtrasyon yöntemi ile değerlendirildi.

Bulgular: Yaptığımız *in vitro* çalışmalar sonucunda, deney materyalinin beyaz MTA'dan daha az sızıntı gösterdiği bulguları. Dokularla uyumluluğun ve antimikrobiyal özelliğin karakteristiği olan alkali pH, deney materyalinde ve beyaz MTA'da benzer bulundu. İçerdikleri bileşenlerin x-ışını kırınım faz analizleri ile birbiriyle uyumlu olduğu belirlendi. Bu materyallerden deney materyalinin radyoopasite ve sertlik değerlerinin beyaz MTA'dan daha az olduğu tespit edildi.

Sonuç: Beyaz MTA benzeri deney materyali ile yaptığımız bu çalışmanın sonuçları materyalin ülkemiz şartlarında üretilebilir olması nedeniyle klinik uygulamaları artırıcı rol oynayabilir. Ancak ilerleyen dönemlerde klinik olarak kullanılabilir hale gelmesi için geliştirdiğimiz bu deney materyalinin diğer fiziksel ve biyolojik özelliklerinin de araştırılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: MTA, retrograd kök kanal dolgusu, radyoopasite, mikrosızıntı, sertlik, x ışını kırınım.

SUMMARY

Aim: In this study, we aim to produce MTA-like material considering conditions that are appropriate in Turkey to make its use become prevalent.

Material and Method: The composition of white MTA powder is compared with MTA-like material, which was synthesized at Turkish Cement Manufacturers' Association laboratory, by x-ray diffraction phase analysis method. The alkaline properties were analyzed by observing the change in pH with one day interval. Aluminum step wedge method was used to evaluate radiographic characteristics of these materials. The hardness of 16 samples were measured with Vickers hardness test. Liquid filtration method is applied to determine the apical microleakage of 41 teeth.

Results: The results of our study indicate that MTA-like test material shows less leakage than white MTA. The value of alkaline pH, which is an indicator for the characteristic of tissue conformity and antimicrobial property, was found to be similar in test material and white MTA. The x-ray diffraction phase analysis shows that the composition of test material and white MTA is in accordance. The radiopacity and the hardness of the test material were found to be less than white MTA.

Conclusion: The MTA-like material can play an important role to increase the clinical applications due to the fact that this material can be produced in conditions suitable to Turkey. However, other physical and biological properties of this test material should be investigated to be able to use it in clinics in the future.

Key words: MTA, x-ray diffraction phase analysis, radioopacity, microleakage, hardness, retrograde root canal filling.

Makale Gönderiliş Tarihi : 30.06.2008

Yayına Kabul Tarihi : 22.12.2008

* Bu araştırma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 11/2004-04 proje numarası ile desteklenmiştir

¹ Serbest Diş Hekimi, Dr.

² Gazi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Prof. Dr.

³ T.C. Çimento Müstahsilleri ARGE Bölümü Y. Kimyager

⁴ T.C. Çimento Müstahsilleri ARGE Bölümü Dr. Kimyager

GİRİŞ

Pulpa ve kök ucu çevre dokularının ağız ortamına açılması, bu dokuların patolojisi ile sonuçlanabilmektedir. Mikroorganizmalar, pulpa ve periodonsiyumun en önemli iritanlarıdır. Bakteriyel sızıntıyı önlemek için kök kanal sistemi ile periodonsiyum arasındaki ilişki onarım materyalleriyle engellenmelidir. Bu materyaller, canlı dokularla temasa geçtiğinde, biyoyumlu ve dokuların iyileşmesine yardımcı olmalıdır. Bu amaçla birçok materyal kullanılmaktadır. Bunlar arasında amalgam, çinko oksit ojenol bazlı simanlar olan Süper EBA (süper-etoksi benzoik asit simanı) ve IRM (Intermediate Restorative Material), kompozit reçineler ve cam iyonomer simanlar sayılabilir. Bu materyallerin mikrosızıntı, toksisite ve nemden etkilenmeleri gibi dezavantajları göz önüne alınarak, 1993 yılında Loma Linda Üniversitesinde Mineral Trioksit Aggregate (MTA) adlı endodontik bir materyal geliştirilerek Lee ve arkadaşları¹⁹ tarafından aynı yıl tanıtıldı. Torabinejad ve arkadaşları²⁹, MTA'nın içeriğini, trikalsiyum silikat ($3CaO.SiO_2$, C₃S, Alite), trikalsiyum alüminat ($3CaO.Al_2O_3$, C₃A, Aluminite), trikalsiyum oksit (Ca_2O_3) ve silikat oksit'in (SiO_2) ince hidrofilik partiküllerini içeren bir toz olarak tanımladılar. Bizmut oksit tozu yapıya radyoopak özelliği sağlamak amacıyla katılmıştır. Materyalin öncelikli olarak % 55-70'nin kalsiyum oksitten, % 15-25'nin silikon dioksitten ve alüminyum oksitten oluştuğunu belirttiler. Bu hammaddelerin fırınlanması sonucu trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, trikalsiyum alüminat ve demir tozuna bağlı olarak çok az miktarda da tetrakalsiyum alüminoferrit oluşur. Bu bileşenlerin su ile reaksiyona girmesi sonucu kalsiyum silikat hidrat jeli oluşur. MTA bileşenleri Portland çimentosu bileşenlerinin benzeridir. Aralarındaki tek fark MTA'da bulunan bizmut oksit bileşenidir.

Materyal öncelikle kök ucu dolgu maddesi olarak tasarlanmış olmakla beraber daha sonraları pulpa dokusunun kapaklaması, kök ucu bariyeri ve furkal perforasyonların tamiri gibi çeşitli klinik uygulamalarda da alternatif olarak yer almıştır^{27,28}. MTA endodontik tedavi yaklaşımlarında hekimlere yeni ufuklar açan bir materyal olmasına karşın halen ülkemizde yaygın olarak kullanılamamaktadır. Bunda en önemli etken; sağlanma güçlüğü ve yüksek maliyetidir. Bu da özellikle gelir düzeyinin yeterince yüksek olma-

dığı ülkemizde kullanımını oldukça zor kılmaktadır. Ayrıca mevcut sağlık sigortaları da ülkemizde bu materyalin ağız-diş tedavilerinde uygulanmasını desteklememektedir.

Bu çalışma, yapısı itibarıyla ağırlıkça % 75 Portland çimentosu, % 20 bizmut oksit ve % 5 alçı taşı ihtiva ettiği belirtilen MTA'nın, ülkemiz şartlarında benzerinin üretilmesi ve daha uygun koşullarda kullanılabilir hale getirilmesi amacıyla planlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

X-Işını Kırınım Deneyi

X-ışını kırınım deneyi, T.C. Çimento Müstahsilleri Birliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Toz halindeki beyaz MTA (Pro Root MTA, Dentsply, Tulsa Dental, Oklahoma USA) ve Torabinejad ve arkadaşlarının²⁹ geliştirmiş oldukları bu MTA'nın kimyasal içeriğine [trikalsiyum silikat ($3CaO.SiO_2$, C₃S, Alite), trikalsiyum alüminat ($3CaO.Al_2O_3$, C₃A, Aluminite), trikalsiyum oksit (Ca_2O_3) ve silikat oksit'in (SiO_2)] benzer olarak T.C. Çimento Müstahsilleri Birliği Laboratuvarı'nda ürettiğimiz deney materyali örnekleri x-ışını kabına yerleştirildi. x-ışınları difraktometre (kırınım ölçer) cihazında (Philips X'Pert PW 3040, Eindhoven, Holland), CuK α (k-0.154 nm) anot x ışını 40 kV voltaj ve 30 mA akım kullanılarak ölçümler gerçekleştirildi. Faz taramaları 5-65° ve 9-29 aralığında dakikada 0.83 tarama hızında yapıldı.

pH'nin Değerlendirilmesi Deneyi

Beyaz MTA ve deney materyalinin pH değerlerinin karşılaştırıldığı deney, Santos ve arkadaşlarının²⁵, Duarte ve arkadaşlarından⁸ örnek olarak uygulamış olduğu pH ölçüm metodunun bir benzeri ile Gazi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Oral Patoloji Bilim Dalı laboratuvarında gerçekleştirildi. Her iki siman grubu için 1 mm çapında 10 mm uzunluğunda plastik tüpler hazırlandı. Beyaz MTA üretici firmanın talimatlarına uygun olarak, deney materyali de toz likit oranı 1/3 olacak şekilde, distile su ile steril bir cam üzerinde macun kıvamına gelecek şekilde karıştırıldı. Hazırlanan patlar tepiciler vasıtasıyla plastik tüplerin içerisini tamamen doldurana kadar sıkıştırıldı. Hem beyaz MTA hem de deney materyali için 10'ar adet örnek hazırlandı.

Örnekleri içeren tüplerin her biri 10 ml distile su içeren plastik kaplara yerleştirildi. 36°C'de ve % 90-100 arasında değişen nem oranına sahip etüv (NÜVE EN 400, Türkiye) içerisinde 24 saat bekletildi.

12 gün süreyle, 24 saatlik periyotlarda plastik kaplardaki her örneğin distile sularının pH'ları bir pH metre (Hanna Instruments, Ponta Delgada Portugal) vasıtasıyla kaydedildi. Bütün ölçümler yapıldıktan sonra materyallerin pH değerleri 'tekrarlı ölçümler varyans analizi' kullanılarak değerlendirildi.

Mikrosızıntı Deneyi

Beyaz MTA ve deney materyalinin kök ucu mikrosızıntılarının sıvı filtrasyon yöntemi ile değerlendirme işlemleri Selçuk Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Araştırma Laboratuvarı'nda, Çobankara ve arkadaşlarının⁴ kurmuş oldukları deney düzeneğinde gerçekleştirildi.

Mikrosızıntı deneyi için 41 adet çekilmiş ön grup diş rastgele seçilerek 2 gruba ayrıldı. Yirmi adet diş beyaz MTA grubu için, 20 adet diş deney materyali için ve 1 adet diş de pozitif kontrol grubu için seçildi.

Kök kanal boyunu standardize edebilmek için kök boyları yaklaşık 17 mm olacak şekilde ayarlandı ve geri kalan kron kısmı dişten uzaklaştırıldı. Çalışma boyutu 10 numara ege apikalde görüldükten sonra, 1 mm kısa olacak şekilde ayarlandı. Her ege arasında sodyum hipoklorit ile kök kanalları yıkandı ve apikal genişlik 40 numaralı K tipi ege boyutuna gelene kadar standardize teknikle preperasyona devam edildi.

Biyomekanik preperasyonu takiben dişler AH-26 (Dentsply DeTrey GmH, Konstanz, Germany) kanal patı ve standart güta perka (Diadent Int. Group, Kore) ile lateral kondensasyon tekniği uygulanarak dolduruldu. Giriş kaviteleri çinko oksit ojenol siman (Kalzinol, Dentsply DeTrey, Germany) ile kapatıldı. Dişler % 10'luk formol solüsyonu içerisinde kanal patı sertleşene kadar 48 saat bekletildi.

Bu sürenin sonunda dişlerin apikal 3 mm'lik kısmı, uzun eksenine paralel olacak şekilde 012 karbit fissür frez (Diatech, Colténe, Switzerland) ile horizontal olarak yüksek devirli (300,000 rpm) bir başlık kullanılarak kaldırıldı.

Bu işlemi takiben kök ucu kaviteleri sonik başlık (KaVo Sonic Flex 2000 N, Germany) ve 56 numaralı sonik uç kullanılarak su soğutması altında 3 mm derinliğinde olacak şekilde hazırlandı.

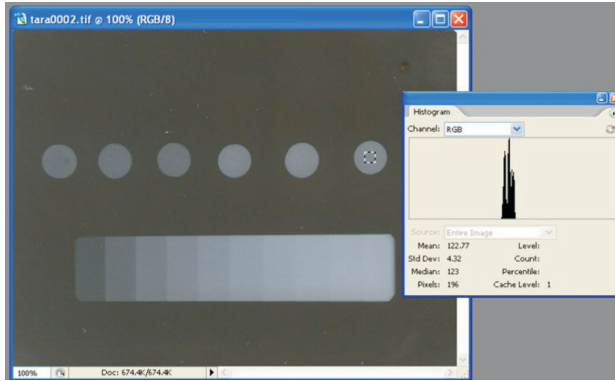
Beyaz MTA üretici firmanın talimatlarına uygun olarak toz ve likiti ile, deney materyali de distile su ile karıştırılarak hazırlandıktan sonra özel kök ucu tepicileri yardımıyla kavitelere yerleştirildi. Pozitif kontrol amacıyla hazırlanan dişlerin kök ucu kaviteleri doldurulmayarak boş bırakıldı. Örneklerin sertleşmesinin sağlanması için dişler etüvde nemli ortamda 48 saat boyunca bekletildi. Bu sürenin sonunda diş köklerinin sızıntılarının değerlendirilmesi istenen kısımları pembe uçlu enjektör iğnelerinin tepesine Patex (Henkel, İstanbul, Türkiye) adlı yapıştırıcı ile sabitlendi. Bütün örnekler bu şekilde hazırlandıktan sonra, Pashley ve arkadaşlarının²³ daha önceden tanımladığı, Wu ve Wesselink'in³³ endodontik sızıntı çalışmaları için modifiye ettikleri sıvı filtrasyon yöntemiyle sızıntılarının ölçülmesi için deney düzeneğindeki plastik hortuma yerleştirildi. 2'şer dakikalık aralıklarla toplam 8 dakika olacak şekilde hava baloncuğunun hareketi kaydedildi ve ortalamaları alındı. Böylelikle hava baloncuğunun hareketi ile dakikadaki sıvı hareketi ölçümlenmiş oldu.

Bütün değerler kaydedildikten sonra sonuçlar Student t testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi.

Radyoopasite Değerlendirme Deneyi

Radyoopasitesi değerlendirilecek olan beyaz MTA üretici firmanın talimatlarına uygun olarak ve deney materyali de distile su ile karıştırılarak hazırlandıktan sonra 2 mm derinliğinde 5 mm çapında paslanmaz çelik kalıplara fulvarlar ve ağız spatülleri yardımıyla yerleştirildi. Üç adet beyaz MTA, 3 adet de deney materyali olarak hazırlanan örnekler 24 saat boyunca 36 °C'de etüv içerisinde bekletildi. 24 saat sonra üzerlerine Soft-Lex disklerle (3M ESPE AG, Seefeld, Germany) bitirme işlemleri uygulandı. Daha sonra kalınlıkları mikrometre ile ölçülerek standart kalınlıkta olmaları sağlandı. Örneklerin radyo densitelerini karşılaştırmak için, her basamağın kalınlığı 2 mm olan 10 basamaklı % 99 saflıkta alüminyum step wedge kullanıldı. Çalışma sırasında alüminyum step wedge'nin 10 mm'lik ilk 5 basamağı referans olarak alındı.

Tüm test materyalleri ve alüminyum step wedge, ultraspeed okluzal bir film (Kodak Co., New York, USA) üzerine yerleştirildi. 70 kV, 8 mA'de, film ile ışın kaynağı arası 25 cm iken 1 sn süresince bir X-ray cihazı (Prostyle Intra Planmeca, Helsinki, Finland) ile ışınlandı. Bu işlem 3 kez tekrarlanarak aynı örnekten 3 adet film elde edildi. Baz ve fog densitesini belirlemek için, ışın almamış bir okluzal film de diğerleri ile birlikte banyo edildi. Tüm filmler, otomatik banyo cihazında (Velopex Extra-x, GB), standart koşullarda taze banyo solüsyonu ile bir seferde banyo edildi. Filmler transparan adaptörü olan bir tarayıcı (HP Scanjet 4070 Photosmart Scanner, China) vasıtası ile bilgisayara TIFF formatında aktarıldı. Örneklerin radyografik görüntüleri üzerinde, test materyalinin ve alüminyum step wedge'in her basamağının tam ortasından 13x13 piksel boyutlarında bir alan seçildi. Bu alanların ortalama grilik değerleri (Mean Gray Value, MGV), bir bilgisayar programı aracılığıyla (Adobe Photoshop CS2 Version 9.0.2, Adobe Systems Inc, USA) histogram fonksiyonu kullanarak belirlendi (Resim 1). Hem MTA hem de deney materyalinin her 3 filminden üçer kez ölçüm yapılarak toplam 54 MGV değeri hesaplandı .



Resim 1. Örneklerin ve Al Step-Wedge'in radyograf görüntülerinin bilgisayarda incelenmesi

Mikrosertlik Deneyi

Beyaz MTA ve deney materyalinin mikrosertliklerinin değerlendirildiği deney çalışmaları Gazi Üniversitesi, Dış Hekimliği Fakültesi, Dış Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Mikrosertliğine bakılmak üzere beyaz MTA üretici firmanın talimatla-

rına uygun olarak ve deney materyali distile su ile karıştırılarak hazırlandıktan sonra 2 mm derinliğinde 5 mm çapında paslanmaz çelik kalıplara yerleştirildi. 24 saat boyunca 36 °C'de etüv içerisinde bekletildi. 24 saat sonunda örnekler kalıplardan çıkartılarak distile su içeren ağzı kapalı plastik tüpler içerisinde tekrar etüve yerleştirilerek bekletildi. 48 saat sonunda örneklerin mikro sertlikleri HMV mikro sertlik cihazında (Mikro Hardness Tester, Japonya) ölçüldü. Örnekler 10 sn süresince 100 gr kuvvet uygulandı. Her örnek üzerinde 20 u.m aralıklarla 3 iz oluşturuldu. İz oluşturulabilen 8 beyaz MTA ve 8 deney materyali örneklerinin her birinden 3'er kez olmak üzere toplam 48 ölçüm yapılarak Vickers sertlik değerleri belirlendi. Sertlik değerlerinin ortalaması alındı ve elde edilen değerler MannWhitney U testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi.

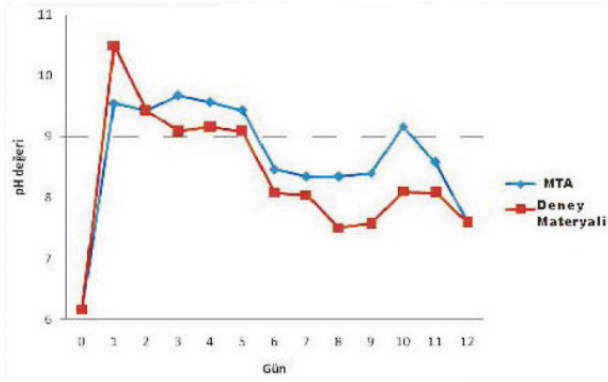
BULGULAR

X-Işını Kırınım Bulguları

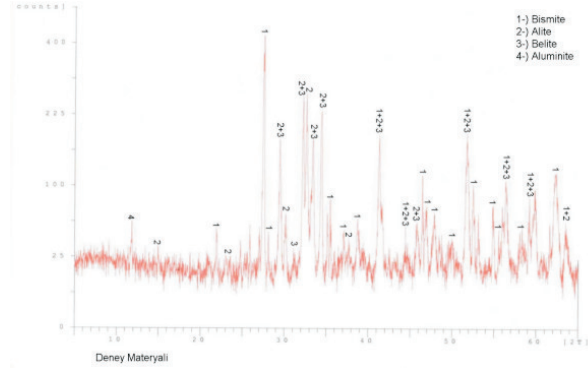
Hem beyaz MTA hem de deney materyaline ait faz analizleri Şekil 1, 2 ve 3'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlardan her iki materyalin fazlarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmekle birlikte, bismite fazında beyaz MTA'nın deney materyaline göre daha fazla pik yaptığı gözlemlendi . Hem beyaz MTA hem de deney materyali için C₃S fazı en yüksek pik değeri (C₃S fazının en fazla görüldüğü yer) 29'da 34.41 °de bulundu. İlave olarak C₃S fazı 29.50°, 32.26°, 41.21° ve 51.78°lerinde pik yaptılar. Hem beyaz MTA hem deney materyali için C₃A fazında en yüksek pik değeri 29 da 33.18°de bulundu. İlave olarak 47.15° ve 48.05° ve 58.94°lerinde pik gösterdiler. Bismite fazı en yüksek pik değerini her iki materyal için de 29'da 27.38°'de gösterdi. Ayrıca 33.04°, 46.31°, 52.38°, 61.49°lerinde pik yaptılar. C₂S için en yüksek pik değeri 32.14°'sinde bulundu. Ayrıca 32.59°, 41.21° ve 34.33°'lerinde pik gösterdiler.

pH Bulguları

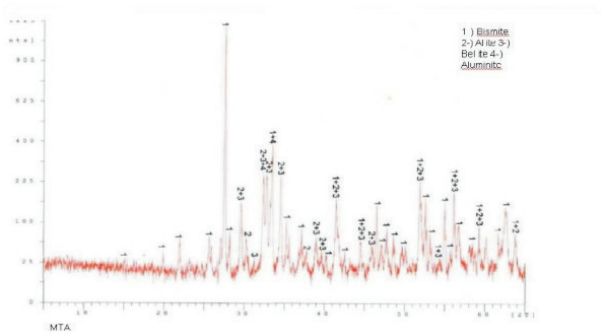
Hem beyaz MTA hem de deney materyaline ait günlük pH ölçüm dağılımları Grafik 1'de gösterilmiştir. Buna göre beyaz MTA ve deney materyali arasında pH değerleri açısından istatistiksel olarak bir fark bulunmadı. (p=0,285).



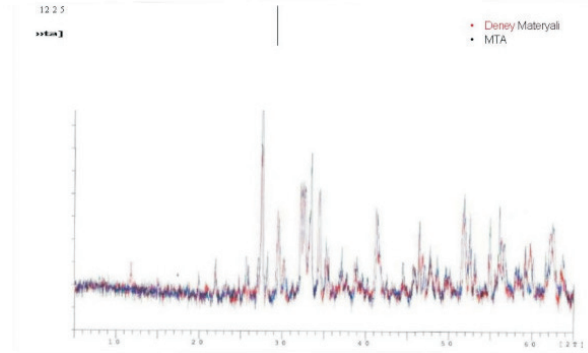
Grafik 1. MTA ve deney materyalinin günlere göre pH değerlerinin dağılımı



Şekil 2. Deney Materyali x-ışını kırınım faz analiz grafiği
1) Bismite 2) Alite 3) Belite 4) Aluminite



Şekil 1. MTA x-ışını kırınım faz analiz grafiği 1) Bismite 2) Alite 3) Belite 4) Aluminite



Şekil 3. MTA ve Deney Materyali x-ışını kırınım faz analizleri karşılaştırma grafiği • MTA • Deney Materyali

Mikrosızıntı Bulguları

Sıvı filtrasyon metodu kullanılarak beyaz MTA ve deney materyalinin kök ucu sızıntı miktarları karşılaştırıldığında, beyaz MTA grubundaki sızıntı miktarının deney materyaline oranla istatistiksel olarak daha fazla olduğu bulundu ($p=0,013$) (Tablo I). Pozitif kontrol dışteki sızıntı ise istatistiksel olarak her iki gruptan farklı bulundu ($p<0,01$).

Tablo I. MTA ve deney materyali ortalama sızıntı (\pm SDE) değerleri

	Ortalama	Std. Sapma	Median	Minimum	Maksimum	Ortalamaların Standart Hatası
MTA	0,0028	0,0015	0,0026	0,0003	0,0054	0,0003
Deney Materyali	0,0018	0,0009	0,0018	0,0003	0,0035	0,0002

Tablo II. MTA ve deney materyali ortalama alüminyum kalınlık (\pm SDE) eşdeğerleri

	Örnek Sayısı	Ortalama Al Kalınlık Eşdeğeri (mm)	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum	Maksimum
MTA	3	8.0533	.93302	.53868	7.08	8.94
Deney Materyali	3	4.5667	.52700	.30427	3.98	5.00
Toplam	6	6.3100	2.02642	.82728	3.98	8.94

materyalinin ortalama grilik değeri $MGV=99,39$ olarak bulundu. Üçüncü filmde de ortalama grilik değerleri birinci filmdeki gibi hesaplanarak beyaz MTA'nın ortalama grilik değeri $MGV=121,47$, deney materyalinin ortalama grilik değeri ise $MGV=101,22$ olarak bulundu. Her 3 filmde de beyaz MTA'nın ortalama grilik değerlerinin deney materyalinden fazla olduğu gözlemlendi.

Sonuçta elde edilen alüminyum kalınlık eşdeğerleri Tablo II'de verilmektedir. Materyaller arasında alüminyum eşdeğerlerine göre % 95 güven aralığında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edildi ($p=0,005$).

Mikrosertlik Bulguları

Beyaz MTA ve deney materyaline ait Vickers sertlik değerleri, örneklerin incelenmesi sonucunda beyaz MTA'nın deney materyaline göre istatistiksel olarak daha sert olduğu bulundu ($p=0,016$) (Tablo III).

TARTIŞMA

Başarısız endodontik tedavili dişlerin yeniden tedavilerinde öncelikle cerrahi olmayan tekrarlayan endodontik tedaviler uygulanır. Bu şekilde genelde başarılı sonuçlara ulaşılır. Bununla beraber, kök kanal sisteminin kompleks yapısı, enstrümantasyonun yetersizliği ve enstrümantasyona engel fiziki engellerin olması bazen tekrarlayan endodontik tedavi ile başarıya ulaşmayı imkansız kılar. Bu nedenlerden dolayı cerrahi endodontik tedavi seçeneği ortaya çıkar. Kök ucu dolgu maddesi olarak kullanılan dolguların amacı; iritanların kök kanal sisteminden kök ucu çevre dokulara geçişinin önlenmesidir.

Kök kanal sistemi ile ağız boşluğu ve kök ucu çevre dokuları arasındaki ileti yollarını tıkamaya yönelik, amalgam, Super EBA ve IRM, Cavit, kompozit reçineler ve cam iyonomer simanlar gibi birçok materyal geliştirilmiştir. Bu materyallerin mikrosızıntı, değişik derecelerde toksisite ve neme duyarlılık gibi önemli dezavantajları

vardır^{1,27}. Kök kanal sistemi içerisinde nemin elimine edilmesi her zaman güç olmuştur. Torabinejad ve arkadaşları²⁷, 1993 yılında MTA adlı endodontik materyali Loma Linda Üniversitesinde geliştirdiler. Bu materyal ilk olarak Lee ve arkadaşları¹⁹ tarafından yapılan bir çalışma ile diş hekimliğine tanıtıldı. Başlangıçta kök ucu dolgu malzemesi olarak kullanılan MTA, ilerleyen dönemlerde pulpa kapaklama maddesi olarak, apeksifikasyon tedavisinde apikal bariyer olarak, iyatrojenik ve resorbsiyona bağlı perforasyonların tamirinde tamir materyali olarak ve devital dişlerin ağartılmasında bariyer olarak kullanılmaya başlandı. Mitchell ve arkadaşları²¹ yaptıkları bir çalışmada floresans spektrometre kullanarak MTA ve Portland çimentolarının ana yapılarını incelediklerinde, her iki materyalin de benzer bileşenler içerdiğini saptamışlardır. Biz de bu bulgu doğrultusunda beyaz MTA benzerinin ülkemiz şartlarında daha ucuz maliyetlerle üretilebileceği düşüncesiyle deney materyalini oluşturduk. Çalışmamızda beyaz MTA ve geliştirdiğimiz deney materyalinin kristal yapılarını x-ışını kırınım faz analizi yaparak değerlendirdik.

Torabinejad ve arkadaşları²⁹, x-ışını kırınım faz analizi sonucunda gri MTA'nın öncelikli olarak trikalsiyum silikat ve dikalsiyum silikattan oluştuğunu, ilave olarak da az miktarda trikalsiyum alüminat ve tetrakalsiyum alüminoferrit alaşımlarından oluştuğunu göstermişlerdir. MTA bileşenleri Portland çimentosu bileşenlerinin benzeridir. Aralarındaki tek fark MTA'da bulunan bizmut oksit bileşenidir.

Camilleri ve arkadaşları², beyaz Portland çimentosu, Proto A ve beyaz MTA'nın gri Portland çimentosu ve gri MTA'dan daha ince olduklarını belirlemişlerdir.

Bizim çalışma sonuçlarımızın da Torabinejad ve arkadaşları²⁹ ile Camilleri ve arkadaşlarının² sonuçları ile uyumlu olduğu görüldü. Her iki materyalin de ana yapısının öncelikli olarak trikalsiyum silikat ve dikalsiyum silikattan oluştuğunu, ilave olarak da az miktarda trikalsi-

Tablo III. MTA ve deney materyali için ortalama sertlik (\pm SDE) değerleri

	Ortalama	Standart Sapma	Median	IQR*	Minimum	Maksimum	Ortalamanın Standart Hatası
MTA	19,82	4,73	18,62	3,53	15,87	30,87	1,67
Deney Materyali	15,37	2,31	15,05	4,52	12,57	18,27	0,82

*IQR=interquartile range (standart sapmanın medyan için olanı)

yum alüminat içerdiğini tespit ettik. Bu sonuçlar doğrultusunda her iki materyalin içerdikleri bileşenlerin genelde birbiriyle uyumlu olduğu bulundu. Su bazlı simanlarda dikkat edilmesi gereken önemli bir husus da arsenik ve kurşunun elimine edilmesidir. Arsenik ve kurşun, Portland çimentosu tozunun bir bileşeni olan kireç taşında bulunurlar. ISO standartlarının 9917-1:2003 maddesine göre su bazlı dental simanlarda asitte çözünen arseniğin 2 mg/kg'dan az, asitte çözünen kurşunun ise 100 mg/kg'dan az olması gerektiği belirtilir.

Duarte ve arkadaşları⁹ Portland çimentosu, MTA ve MTA-Angelus'taki arsenik miktarının (0,007-0,006 ppm) klinik uygulamalar için kontrendikasyon oluşturmadığı sonucuna vardılar. Biz de laboratuvar şartlarında deney materyalini üretirken, arsenik miktarının düşük olması için üretimde saf bileşenleri kullanma yoluna gittik. Çünkü Portland çimentosunun yapımında kullanılan ve doğadan alınan bazı materyallerde (kil, alçı taşı gibi) az da olsa arsenik bulunmaktadır. Saf bileşenler üzerinden Portland çimentosunun üretilmesi ile bu olumsuzluğun ortadan kaldırılabileceğini ileri sürebiliriz.

MTA'nın bağ dokusunda pH'nın yükselmesine ve antibakteriyel etkinin artmasına neden olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir^{8,11,26,29,30}.

Torabinejad ve arkadaşları²⁹ ile Schmitt ve arkadaşları²⁶ yaptıkları çalışmalarda, MTA'nın su ile karıştırıldığında ilk pH değerinin 10,2 olarak görüldüğünü, 3 saat içinde pH'nın 12,5'e yükselerek bu seviyelerde kaldığını ve bu değerlerin kalsiyum hidroksit ile karşılaştırabilir bir pH derecesi olduğunu belirttiler. Duarte ve arkadaşları⁸, yapmış oldukları çalışmada MTA ve MTA-Angelus arasında pH ve Ca²⁺ iyon salımı açısından istatistiksel olarak bir fark bulmadılar.

Santos ve arkadaşları²⁵ da yaptıkları bir çalışmada MTA-Angelus ile Portland çimentosundan üretilen deney materyalini karşılaştırdılar. İlk 24 saatte pH değerlerinde hidroksil iyonu salımına bağlı olarak belirgin bir artış buldular.

Beyaz MTA ve deney materyalinin pH değerlerinin günlük değişimlerinin değerlendirildiği çalışmamızda ise

MTA ve deney materyalinin günlük pH değişimlerinin birbiriyle benzer olduğu ve ilk 24 saatte pH değerlerinin hızla yükselmesi Santos ve arkadaşlarının²⁵, Torabinejad ve arkadaşları²⁹ ile Schmitt ve arkadaşlarının²⁶ sonuçlarıyla uyumludur. Bizim çalışmamızda zaman içinde görülen pH daki düşme, dokularla uyumluluğun ve antimikrobik özelliğin karakteristiği olan alkali sınırlarda olup, deney koşulları ile ilgili olabilir. Torabinejad ve arkadaşları^{27,31,32} yaptıkları farklı çalışmalarda MTA'nın amalgam, Super EBA ve çinko oksit ojenol simanlara oranla daha az sızıntı gösterdiğini bildirmişlerdir. Fischer ve arkadaşları¹², MTA'nın amalgam, IRM ve Super EBA'dan daha az sızıntı gösterdiğini ileri sürmüşlerdir. Erkut ve arkadaşları¹⁰ yapmış oldukları çalışmada MTA, amalgam, IRM ve çinko fosfat simanın kök ucu dolgu materyali olarak kullanıldığında göstermiş olduğu sızıntıları karşılaştırdıklarında, MTA'nın amalgam ile belirgin bir fark göstermemesine rağmen en az sızıntı gösteren materyal olduğunu bildirmişlerdir. Islam ve arkadaşları¹⁶, MTA ve Portland çimentosunu karşılaştırdıkları bir çalışmada bütün örneklerin sertleşme sırasında hafifçe genleştiğini bulgulamışlardır. Bu genleşme, ideal kök ucu dolgu maddeleri için gerekli olan tıkama özelliğini artırır. Biz de MTA'nın bu avantajlarını ve özellikle maliyet unsurunu göz önünde bulundurarak çalışmamızda beyaz MTA ve benzeri deney materyalini geliştirerek kullandık.

Sızıntı çalışmalarının standart, karşılaştırabilir ve güvenilirliğinin artırılması için Wu ve Wesselink³³ sıvı filtrasyon sistemini önerdiler. Derkson⁷ tarafından 1986 yılında ilk defa tanımlanan bu sistem, Pashley²³ tarafından geçici dolgu maddelerinin tıkama etkinliğinin değerlendirilmesi için tasarlanmış ve Wu ve Wesselink³³ tarafından endodontik sızıntı çalışmaları için modifiye edilmiştir.

Biz de beyaz MTA ve deney materyalinin kök ucu dolgu maddesi olarak kullanıldığında göstermiş oldukları sızıntı miktarlarını sıvı filtrasyon yöntemini uygulayarak belirledik. Çalışmamız sonucunda deney materyalinin beyaz MTA'ya oranla daha az sızıntı gösterdiğini bulgularımız. Deney materyalinin partikül büyüklüklerinin beyaz MTA'ya oranla homojen olmayışı büyük partiküllerin arasında küçük partiküllerin girerek daha iyi bir tıkama sağla-

ması beyaz MTA ile karşılaştırıldığında daha az sızıntı göstermesinin açıklaması olabilir. Onarım materyallerinin dentinden daha radyopak, mineye eşdeğer veya mineden daha radyopak olması gerektiğini ileri süren çalışmalardan Laghios ve arkadaşları¹⁸, MTA'nın Super-EBA (9,9 mm Al), IRM (9,3 mm Al), güta perka (11 mm Al) ve amalgamdan (15,6 mm Al) daha az, çinko oksit ojenol bazlı kök kanal patları ile eşit radyoopasitede olduğunu buldular. Camps ve arkadaşları³ daha sonra yaptıkları bir çalışmada, MTA'nın radyoopasitesinin 5,1-9,1 mm Al kalınlık eşdeğeri arasında olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Bizim çalışmamızda beyaz MTA, deney materyaline göre daha radyopak bulunmuştur. Beyaz MTA'nın 8,05 mm Al, deney materyalinin de 4,56 mm Al kalınlık eşdeğerine sahip olduğu bulundu. Ancak her iki materyal de ISO ve ANSI/ADA'nın 57 nolu şartnamesinde belirtmiş olduğu değerleri karşılayan düzeydedir. Çalışma sonuçlarımızın Camps ve arkadaşlarının³ sonuçları ile uyumlu olduğu da görülmektedir.

Çalışmamızda x-ışını kırınım faz analiz verilerinin de gösterdiği üzere beyaz MTA bismite fazında deney materyaline göre daha fazla pik yapmıştır. Bu da beyaz MTA'nın deney materyaline oranla daha radyopak olmasını açıklamaktadır. X-ışını kırınımında MTA'da bismite fazının deney materyaline göre daha fazla pik yapmasının nedeni, bizmut oksit kristallerinin yapısının deney materyaline oranla daha çok olmasından kaynaklandığını ileri sürebiliriz.

Onarım malzemelerinin değerlendirilmesinde dikkat edilmesi gereken önemli özelliklerden biri de sertlik dereceleridir. Sertlik bir materyalin sürekli yüklemeye veya penetrasyona direnci olarak tanımlanır²².

Danesh ve arkadaşları⁶ Vickers mikrosertlik testinden yararlanarak yaptıkları bir çalışmada MTA ve iki farklı Portland çimentosunun sertliklerini karşılaştırmış ve sonuçta MTA'nın her iki Portland çimentosundan belirgin oranda daha sert olduğunu belirlemişlerdir. Matt ve arkadaşları²⁰ apikal bariyer olarak kullanılan MTA'nın 5 mm kalınlığında olması gerektiğini önermişlerdi. Çünkü 5 mm kalınlığındaki MTA'nın 2 mm kalınlığında olandan belirgin oranda daha sert olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca MTA'nın kök ucu dolgu malzemesi olarak kullanıldığında

minimum 3 mm ve apeksifikasyon tedavisinde apikal bariyer olarak kullanıldığında ise minimum 4 mm kalınlıkta olması gerektiği çeşitli çalışmalarda bildirilmektedir^{13,17}.

Biz de çalışmamızda beyaz MTA ve deney materyalinin sertliklerini karşılaştırırken Vickers mikrosertlik testinden yararlandık ve örnekleri 5 mm kalınlığında hazırladık.

Ryge ve arkadaşlarına²⁴ göre sağlam dentinin sertliği yaklaşık 70 Vickers sertlik değeri civarındadır ve bu değer MTA'nın yaklaşık 2 katıdır. Bu araştırmanın sonucunda beyaz MTA'nın deney materyaline oranla belirgin oranda daha sert olduğunu bulguladık. Çalışmamızda kullanılan deney materyalinin daha ince ve homojen partikül büyüklüğüne getirilmesi ve içerdiği potasyum miktarının incelenerek gerekiyorsa azaltılması ile MTA'ya benzer sertlik değerlerine ulaşması sağlanabilir düşüncesindeyiz.

Ülkemiz kaynaklarından yararlanarak daha uygun şartlarda elde ettiğimiz beyaz MTA benzeri deney materyali ile yaptığımız *in vitro* çalışmalar sonucunda, deney materyalinin beyaz MTA'dan daha az sızıntı gösterdiği bulgulanmıştır. Sızdırmazlık, özellikle kök ucu dolgu maddeleri için gerekli olan en önemli özelliklerden biridir. Dokularla uyumluluğun karakteristiği olan alkali pH'yı hem deney materyali hem de beyaz MTA içermektedir. İçerdikleri bileşenlerin x-ışını kırınım faz analizleri ile birbiriyle uyumlu olduğu belirtilen bu materyallerden MTA'nın radyoopasite ve sertlik değerlerinin daha fazla bulunmasına rağmen bu kriterler klinik uygulamalar açısından kök kanal dolgularında istenen primer özellikler değildir. Bunun yanısıra deney materyalinin radyoopasite değeri, beyaz MTA'dan daha az bulunmakla birlikte standartları karşılayabilen değerlerdir. MTA'nın diş hekimliğinde kullanıldığı alanlar göz önüne alındığında, sertlik değeri fonksiyonel bölgeleri içermediği için pek fazla önem taşımamaktadır. Beyaz MTA benzeri deney materyali ile yaptığımız bu çalışmanın sonuçları seri üretime geçilebilmesi durumunda klinik uygulamalarda daha yaygın kullanım için teşvik edici olabilir. Ancak ilerleyen dönemlerde klinik olarak kullanımının yaygınlaştırılması için ülkemiz şartlarında geliştirdiğimiz bu deney materyalinin diğer fiziksel ve biyolojik özelliklerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Abdullah D, Ford TR, Papaioannou S, Nicholson J, McDonald F. An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material. *Biomaterials* 23: 4001-4010, 2002.
2. Camilleri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J* 38: 834-842, 2005.
3. Camps J, Pommel L, Bukiet F, About I. Influence of the powder/liquid ratio on the properties of zinc oxide-eugenol-based root canal sealers. *Dent Mater* 20: 915-923, 2004.
4. Çobankara FK, Oruçoğlu H, Şengün A, Belli S. The quantitative evaluation of apical sealing of four endodontic sealers. *J Endod* 32: 66-68, 2006.
5. Çobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH. A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *Int Endod J* 35: 979-984, 2002.
6. Danesh G, Dammaschke T, Gerth HU, Zandbiglari T, Schafer E. A comparative study of selected properties of ProRoot mineral trioxide aggregate and two Portland cements. *Int Endod J* 39: 213-19, 2006;
7. Derkson GD, Pashley DH, Derkson ME. Microleakage measurement of selected restorative materials: A new in vitro method. *J Prosthet Dent* 56: 435-440, 1986.
8. Duarte MA, Demarchi AC, Yamashita JC, Kuga MC, Fraga Sde C. pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 95: 345-347, 2003.
9. Duarte MA, De Oliveira Demarchi AC, Yamashita JC, Kuga MC, De Campos Fraga S. Arsenic release provided by MTA and Portland cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 99: 648-650, 2005.
10. Erkut S, Tanyel C, Keklikoğlu N, Yıldırım S, Katipoğlu AB. A comparative microleakage study of retrograd fillings materials. *Turk J Med Sci* 36: 113-120, 2006.
11. Estrela C, Bammann LL, Estrela CR, Silva RS, Pecora JD. Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland cement, calcium hydroxide paste, Sealapex and Dycal. *Braz Dent J* 11: 3-9, 2000.
12. Fischer EJ, Arens DE, Miller CH. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and Super-EBA as a root-end filling material. *J Endod* 24: 176-179, 1998.
13. Giuliani V, Baccetti T, Pace R, Pagavino G. The use of MTA in teeth with necrotic pulps and open apices. *Dent Traumatol* 18: 217-221, 2002.
14. Gutmann JL, Harrison JW. *Surgical endodontics*. Boston: Blackwell Scientific Publications; 1991.
15. International Organisation for Standardization. *Dentistry-Water based cements. Part I: Powder/Liquid acid-base cements*. ISO, 2003.
16. Islam I, Chng HK, Yap AU. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. *J Endod* 32: 193-197, 2006.
17. Laghios CD, Benson BW, Gutmann JL, Cutler CW. Comparative radiopacity of tetracalcium phosphate and other root-end filling materials. *Int Endod J* 33: 311 -315, 2000.
18. Lamb EL, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH. Effect of root resection on the apical sealing ability of mineral trioxide aggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 95: 732-735, 2003.
19. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 19: 541-544, 1993.
20. Matt GD, Thorpe JR, Strother JM, McClanahan SB. Comparative study of white and gray mineral trioxide aggregate (MTA) simulating a one- or two-step apical barrier technique. *J Endod* 30: 876-879, 2004.
21. Mitchell PJ, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F. Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials* 20: 167-173, 1999.
22. O'Brien. *Dental materials and their selection*. 2nd Ed. Chicago: Quintessence Pub. Co.; 1997.
23. Pashley EL, Tao L, Pashley DH. The sealing properties of temporary filling materials. *J Prosthet Dent* 60: 292-297, 1988.
24. Ryge G, Foley DE, Fairhurst CW. Microindentation hardness. *J Dent Res* 40: 1116-1126, 1961.
25. Santos AD, Moraes JC, Araujo EB, Yukimitu K, Valerio Filho WV. Physico-chemical properties of MTA and a novel experimental cement. *Int Endod J* 38: 443-447, 2005.
26. Schmitt D, Lee J, Bogen G. Multifaceted use of ProRoot MTA root canal repair material. *Pediatr Dent* 23: 326-330, 2001.
27. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod* 19: 591-595, 1993.
28. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 25: 197-205, 1999.
29. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 21: 349-353, 1995.
30. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. *J Endod* 21: 403-406, 1995.
31. Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root end filling materials: effects of blood contamination. *J Endod* 20: 159-63, 1994.
32. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod* 21: 109-112, 1995.
33. Wu MK, Wesselink PR. Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J* 26: 37-43, 1993.

Yazışma Adresi

Prof. Dr. Hüma ÖMÜRLÜ

Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi

Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Ankara

e-posta: huma@gazi.edu.tr