

**Proje Adı (Başlığı)** : Atık Mermer ve Bor Katkılı Epoksi Reçineden Protez Kemik ve Diş Üretimi

### **Özet**

Çalışmada kolemanit katkılı protez dişten daha sert, mukavemeti fazla, dayanımı çok ve daha ekonomik olan atık mermer tozu katkılı protez kemik ve diş üretmek amaçlanmaktadır. Bu çalışmada atık maddelerin önemine vurgu yapmak ve atık maddelerin geri dönüşümünü sağlayarak çevre kirliliğini azaltmak hedeflenmektedir. Atık mermer tozu ve kolemanit katkılı epoksi reçineden sert, sağlam, mukavemeti fazla ve ısıya karşı dayanıklı protez diş üretilmeye çalışılacaktır. Yapılan çalışmalarda en uygun oranlar ayarlanarak reçete hazırlandı. Hazırlanan karışımlar standartlara uygun kalıplara dökülerek uygun numuneler haline getirildi. Elastik ölçümü, akma noktası, basma testi ve sertlik ölçümü analizleri için atık mermer tozu katkılı, kolemanit ve atık mermer tozu ile kolemanit karışımı katkılı numuneler ilimizde bulunan üniversite laboratuvarına gönderildi. Sonuçlar birbiri ile kıyaslanarak elde edilen değerler yorumlanıp karşılaştırıldı. Sonuç olarak atık mermer tozu katkılı malzeme, kolemanit ve atık mermer tozu ile kolemanit katkılı malzemelere göre daha dayanıklı, sağlam, mukavemeti fazla ve sert çıkmıştır. Vita renk skalasına göre atık mermer tozu katkılı malzeme B1 yani beyaz, atık mermer tozu ile kolemanit katkılı malzeme C2 yani açık kahverengi ve kolemanit katkılı malzeme C1 yani kahverengi renk olarak belirlenmiştir. Üç malzemede ağız sıcaklığında şekil değiştirmeden ve yumuşamadan sertliğini devam ettirebilmektedir. Epoksi maddesinin kolay yapışması, asite karşı, alkali ve nem(su buharına) dayanıklı olması ile ısıya karşı kararlı olması bu projenin ağız içinde protez diş olarak kullanılmasını desteklemektedir.

**Anahtar kelimeler:** Atık mermer tozu, kolemanit, bor, epoksi reçine, protez diş

### **Amaç**

Kolemanit katkılı protez dişten daha sert, mukavemeti fazla, dayanımı çok ve daha ekonomik olan atık mermer tozu katkılı protez diş üretmek.

### **Giriş**

#### **Mermer**

Jeolojik olarak mermer, kireçtaşı ve/veya dolomitik kireçtaşının metamorfizma sonucu yeniden kristalleşmesi ile oluşan içeriğinin büyük çoğunluğu kalsiyum karbonat olan metamorfik bir kayadır. [15].

Günümüzde mermer kullanım alanlarının çoğalması ile mermere olan talep gittikçe artmıştır. Mermer üretimi, genel madencilik sektörü içinde önemli bir yere ulaşmıştır. Özellikle son dönemde ülkemizde mermer sektörüne yapılan yatırımlar, uygulamaya başlanan modern ocak üretim yöntemleri ve teknolojinin ocaklarda yaygınlaştırılması sayesinde mermer üretiminde büyük artış kaydedilmiştir. Türkiye’de Afyonkarahisar, Muğla, Eskişehir, Marmara adası, Diyarbakır, Adıyaman, Çanakkale, Elazığ, Burdur, Amasya, Sivas ve Isparta gibi şehirlerimiz ve çevrelerinde mermer üretimleri yoğun şekilde devam etmektedir. Ülkemizin jeolojik yapısı nedeniyle farklı renk ve desenlerde mermer üretimi yapılabilmektedir. Bu çeşitlilik, Afyon beyazı, Marmara beyazı, Elazığ vişnesi, Burdur beji gibi isimlerle birçok ilimizin kendine özgü mermer ürününü ortaya çıkarmıştır. Türkiye’deki mermer üretimlerinin artmasının temelinde, Türk mermerinin kalitesi ile marka olma yolunda olma hedefi, dünyada ve ülkemizde en önemli kamu ve özel sektör yapılarında kullanılması ve ihracatının artması yatmaktadır.

Türkiye, dünya doğal taş ihracatında, mermer ihraç eden ülkeler arasında ve ülkemiz maden grupları içerisinde ilk sıralarda yer almaktadır. Bu kapsamda, Türk mermeri, özellikle ABD, Hindistan, Çin gibi ülkelerde öncelikli talep edilen önemli bir yapı malzemesi olarak ön planda tutulmaktadır [15,23].

Günümüzde mermere olan talebin artması sonucu hem ülkemizde hem de dünyada mermer işletmelerinin de sayısı artmıştır. Bu üretim artışının sonucunda, tesislerde işlenen

mermer bloklarının toz ve kırıntı atıkları, tesislerin atık sahalarına veya tesislerin yakınından geçen akarsulara dökülmektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak da, özellikle mermer işletme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, kamuoyu gözü önünde çevrecilik ve tabii güzelliği bozması sebebiyle olumsuz bir tepki oluşturan mermer atık sahalarının yaygınlaşmasına neden olmuştur [5].

Mermer İşletmelerinde açığa çıkan ve değerlendirilemeyen mermer havuz çökelti malzemesi, yapısal olarak filler malzemesine benzemektedir. Bu açıdan, havuz çökeltileri ve diğer kırıntı mermerlerin çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi ekonomi ve çevresel kirliliği önlemesi açısından önemli yarar sağlayabilir. Mermer atıkları ekolojik dengeyi bozmayan, hava kirliliğine neden olmayan, iklim değişikliklerini etkilemeyen, su kirliliği oluşturmeyen radyoaktif olmayan inşaat sektöründe değerlendirilebilen bir yan üründür [22].

Mermer üretimi sonucunda ortaya çıkan artıklar, genel olarak boyutuna ve yerine göre ikiye ayırabilmektedir. Boyutuna göre, parça (moloz) ve toz artıklar olarak iki farklı şekilde ele alınabilmektedir. Parça olarak çıkan artıklar, genellikle moloz olarak adlandırılan, ticari olarak blok olarak değerlendirilemeyen ve belirli geometrik bir şekli olmayan irili ufaklı parçalardır. Toz artıklar ise, geçirildikleri işlemde sonra ortaya çıkan tozlar ve arama veya üretim sırasında yapılan kazı ya da taşıma gibi işlemler sonucu kayaç ve kayaç parçacıklarının ezilmesi sonucu oluşan tozlardır. Mermer ocaklarında oluşan artıklar, dünya genelinde etkisiz atık (inert) olarak değerlendirilmektedir. Ancak, bu artıklar, etkisiz atık olma özelliğine rağmen mermer sektörünün en önemli sorunlarından birisidir. Bu sorunun temelinde, halkın bilgilendirme eksikliği ve bu artıkların değerlendirilmeden yıllarca ocak sahalarında bekletilerek yapay artık dağlarının oluşması gibi hususlar yatmaktadır. Bu artıkların değerlendirilmemesi çok fazla ekonomik kayba neden olmaktadır. Oysa, bu parça ve toz artıkları bir çok alanda değerlendirilebilmektedir. Mermer üretimi ve mermerin işleme sürecinde açığa çıkan parça mermer artıkları, belirli bir boyuta kırılarak ya da bazı işlemlerden geçirilerek farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilir. Bu alanlar, mineral sıva yapımı, palladyen yer döşeme, mozaik döşeme, ekşitilmiş parça döşeme, yapay döşeme, agrega (mırcır) üretimi ve metalürji sanayi gibi alanlardır. Toz mermer artıklar ise, çimento, seramik, kağıt, soda, cam, boya, plastik sanayilerinde, kireç, çelik ve refrakter tuğla üretimi yapımında ve tarım sektöründe kullanılabilir [15,3].

Ülkemizde mermer ocaklarında genel olarak blok veriminin çok düşük olması nedeniyle büyük miktarlarda artık oluşmaktadır. Blok alınmasında jeolojik yapı olarak mermer yatağındaki kırık, çatlak ve eklem sistemleri en önemli husus olup, bunun dışında, blok veriminin düşmesinde, hatalı ocak yeri seçimi ve plansız üretimin de etkili olduğu bilinmektedir. Üretim sonucu açığa çıkan artıkların gelişigüzel çevreye atılması nedeniyle, artık yığınlarının kayması şeklinde meydana gelebilecek tehlikeli durumlar söz konusu olmaktadır. Ayrıca üretimin artması ile artan artık miktarı nedeniyle, daha fazla depolama alanı ihtiyacı doğmakta ve orman, mera ya da tarım arazi kullanımı da artabilmektedir. Üretim sonucu ortaya çıkan artıkların başka endüstriyel alanlarda değerlendirmeye alınmaması da, uzun yıllar sonucu biriken bu artıkları, görüntü kirliliği açısından yapay artık dağları olarak karşımıza çıkarmaktadır. Mermer ocaklarında, görüntü kirliliği, artık sorunu dışında önemli diğer çevresel etkilerden biri de üretim esnasında ortaya çıkan tozun çevreye verdiği etkidir. Ancak, mermer ocak işletmelerinde oluşan tozlanmanın herhangi bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Bir işletmede oluşacak 50 mikrondan büyük tanelerin tozlanma sonucunda yaklaşık 800 metrelik uzaklığa kadar bir alan etki altında kalabilmektedir. Ocak yollarının ve üretim alanlarının sulanması gibi alınacak basit önlemlerle mermer madenciliğinde tozun önemli bir çevresel etki yaratan unsur olmaktan çıktığı rahatça söylenebilmektedir [18,3]



**Şekil 1.** Atık Mermer Tozu

### **Kolemanit**

Kolemanit, bor mineralleri arasında en yaygın bulunan cevherdir.  $B_2O_3$  içeriği  $\%40\pm 0,50$ 'dir. Suda yavaş, asidik ortamda hızlı çözünür. Cevher, konsantratör tesisinde zenginleştirilme işlemine tabi tutularak konsantre ürün elde edilmektedir. Konsantre ürün sırasıyla kırma ve öğütme işlemlerinden geçirilerek öğütülmüş ürün elde edilmekte ve paketleme ünitesinde paketlenerek satışa hazır hale getirilmektedir.

Endüstride önemli bir yere sahip olan bor elementi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bor elementi doğal/ham halde bor minerallerinin içerisinde bor trioksit ( $B_2O_3$ ) olarak bulunmaktadır. Dünya çapında  $B_2O_3$  rezerv dağılımı  $\%73$ 'lük dilim ile (955 milyon ton kapasite) Türkiye'dedir [16]. Kolemanit ise bor mineralleri arasında en yaygın bulunan cevherlerden biridir. Cevher, konsantratör tesisinde zenginleştirilme işlemine tabi tutularak konsantre ürün elde edilmektedir. Konsantre ürün sırasıyla kırma ve öğütme işlemlerinden geçirilerek öğütülmüş ürün elde edilmekte ve paketleme ünitesinde paketlenerek satışa hazır hale getirilmektedir [24]. Kolemanit minerali ise son zamanlarda beton teknolojisi sektöründe yoğun olarak araştırılmaktadır. Kolemanit mineralinin betonda kullanılması ile betonun sertleşme süresini uzattığı ancak zamanla basınç dayanımını arttırdığı belirtilmektedir [8,14,17].

Kolemanitin basınç dayanımına olumlu etkisi de kolemanitin mineral yapısı ile açıklanmaktadır [1]. Ayrıca beton teknolojisinde kolemanit mineralinin kullanımı ile yapılan çalışmalar arasında radyasyon geçirgenliği üzerine çalışmalar mevcuttur [13,7]. Oysaki kolemanit mineralinin yol betonu olarak kullanımı ve maruz kalacağı aşınma direnci sonucunda oluşabilecek aşınma kaybı ile alakalı çalışmalar oldukça yetersizdir. Kolemanit minerali ile yapılan çalışmalarda yüksek oranda kullanılmasının dayanıma olumsuz etki ettiği ve bu durumun mineralin yapısındaki bor oksit ( $B_2O_3$ ) ile ilişkili olduğu belirtilmektedir [8].



**Şekil 2.** Kolemanit

## Epoksi reçine

Epoksi reçineleri, yüksek yapışma mukavemeti, düşük rötre miktarı, ısıl kararlılık, kısa kürlenme süresi ve uygulama sonrası derhal kullanıma başlanabilmesi gibi çok iyi mekanik ve kimyasal özellikleri sebebiyle mühendislikte artan oranda bir tüketime sahiptir [21].

Epoksi reçineleri kendi başlarına kullanılmazlar, formülasyona katılan başka maddelerle polimerize olarak veya çapraz bağlanarak değişik özelliklere sahip termoset yapıda plastik madde oluştururlar. Kimyasal reaksiyon sonucu (kür işlemi, sertleşme veya çapraz bağlayıcı ajanlarının kullanımı sonucu) elde edilen sert, geri dönüşü olmayan aşağıdaki özellikleri olan reçine meydana gelmektedir [12].

- Değişik yüzeylere mükemmel yapışma,
- Aşınmaya karşı dayanıklılık,
- Düşük rötre miktarı,
- Isıl kararlılık,
- Boşluk doldurma özelliğine sahip olması,
- Alkali, asit ve çözücülere, rutubete karşı dayanıklılık,
- Birbirlerine benzemeyen farklı malzemeleri yapıştırma,
- Düşük sıcaklıklarda yük altında uzun süre kullanılması, -
- Kısa kürlenme süresi ve uygulama sonrası derhal ve güvenle kullanıma başlanabilmesi gibi çok iyi mekanik ve kimyasal özellikleri sayesinde mühendislikte artan oranda bir tüketime sahiptir [12,4].

## Kimyasal Özellikler

Epoksi reçineleri gerçekte polieter yapısındadırlar ve polieterlerin önemli bir grubunu oluştururlar. Epoksilerin çapraz bağlanması sırasında uçucu madde oluşmaz, çapraz bağlanma sonrası büzülme oranları % 5'ten daha düşüktür. Kullanım sıcaklıkları 150 °C'ye kadar çıkabilir. Girdilerin oranı ve özellikleri ayarlanarak, farklı alanlarda kullanılacak ürünler hazırlanır. Epoksiler, kimyasallara karşı dirençleri, dayanıklılıkları, esnek oluşları ve iyi yapışma özellikleri nedeniyle yüzey kaplamaları için eşsiz bir polimerdir. Kimyasal korozyona ve aşınmaya karşı yüzeylerin kaplanması; yüksek kuvvetler etkisinde kalan yerlerin kaplanması; tüp, boru ve endüstriyel tankların astarlanmasında kullanılmaktadır [4].

**Tablo 1.** Epoksi Sisteminin Kimyasal Özellikleri [4]

| Kimyasal Etkiler                          | Epoksi Sistem |
|---|---------------|
| Yaş-kuru döngüsüne direnç                 | Mükemmel      |
| Klor iyonlarının tuz oluşturmasına direnç | Mükemmel      |
| Yiyecek asitlerine direnç                 | Mükemmel      |
| Şekerin çözmesine direnç                  | İyi           |
| Petrol ve ürünlerine direnç               | Mükemmel      |
| Deterjan etkisine direnç                  | Mükemmel      |
| Alkali etkisine direnç                    | Mükemmel      |
| Sülfat etkisine direnç                    | Mükemmel      |

Plastik reçinelerin kullanım alanlarının giderek artması hem günlük hayatta hem de bazı meslek kollarında etkilenmeyi beraberinde getirmektedir. Reçine bir dizi kimyasal tepkime sonucu ısıya dayanıklı hale gelen bir plastiktir. Epoksi grubu içeren plastik reçineler için “epoksi reçine sistemi” (ERS) adı kullanılmaktadır. ERS reçine, sertleştiriciler ve reaktif çözücüler gibi diğer katkı maddelerinden meydana gelmektedir. [10].

Reçineyi oluşturan monomerlere ve diğer katkı maddelerine mesleki maruziyet sonucu çeşitli dermatozlar meydana gelebilmektedir. ERS’ye bağlı dermatozlar direk temasta, iş yerinde kullanılan eldivenler aracılığıyla veya havayolu ile oluşabilir. [10]. ERS içindeki diğer katkı maddeleri ise metilakrilatlar, poliüretanlar, fenol formaldehit, polyester, aminoresinler, poliviniller, polistrenler, poliamidler ve polikarbonatlardır. [10].

Epoksi reçineleri güçlü kimyasal ve mekanik özellikleri nedeni sanayide en yaygın kullanılan ürünlerdir. Dünyada her yıl 500.000 tondan fazla epoksi reçinesi kullanılmakta olup bunun %40’ı kaplama alanı oluşturmaktadır. [10,9]

Kimyasal yapıları oldukça sert olup, sıcağa, soğuğa, suya ve kimyasallara dayanıklı moleküllerdir. Ayrıca metal, plastik, lastik, tahta, cam, seramik, beton yüzeylere ve elektrik yalıtım ekipmanlarına güçlü yapışma özelliği gösterirler. Bu özellikleri nedeniyle sanayide en yaygın kullanılan ürünlerdir. [10,2]

Sertleştiriciler likid veya macun kıvamındaki reçineyi en son hali olan plastiğe dönüştürürler. Eklenen miktara göre sıvı veya macun kıvamındaki reçineden solid, üç boyutlu ve daha kompleks bir molekül oluşur. Sertleştiriciler yakıcı özelliklerinden dolayı epoksi reçinesinin kendisinden daha duyarlandırıcı ve daha irritandırlar. [10,11]



**Şekil 3.** Epoksi reçine ve sertleştirici

### **Protez diş**

Diş protezleri, diş sorunlarının çözümünde tercih edilen bir tedavi yöntemidir. Diş sağlığı ile ilgili sorunların başında diş çürümesi, diş kırılması ya da düşmesi, dolgunun yetersiz kalması vb. hususlar oluşmaktadır. Bu durumlarda öncelikle lokal ve basit tedavi yöntemleriyle hasarlar giderilmeye/düzeltilmeye çalışılır. Eğer, dişlerdeki hasar tedaviyle düzeltilemeyecek kadar büyükse, diş protezlerinden yararlanılır [6].

Diş protezlerinin iki farklı türü bulunmaktadır. Sabit protezler, dişe sabitlenerek kullanılmaktadır. Ağız içerisine yapıştırılırlar, kişi kendi isteğiyle bu protezi çıkaramaz. Sabit protezlerin en önemli özelliği, kişinin kendi dişi kullanılarak üretilmesidir. Diş kaybı az olan kişilere uygulanan bir protez türüdür. Sabit protez işleminde öncelikle diş kesilir. Kesilen diş, prepare edilir, daha sonra kaplanır ve kesilen diş yerine sabitlenir. Bu protezler porselen ya da metal yapıdadır. Sabit protezler, köprü ve kron olmak üzere iki çeşittir [19].

### **Diş rengi skalası**

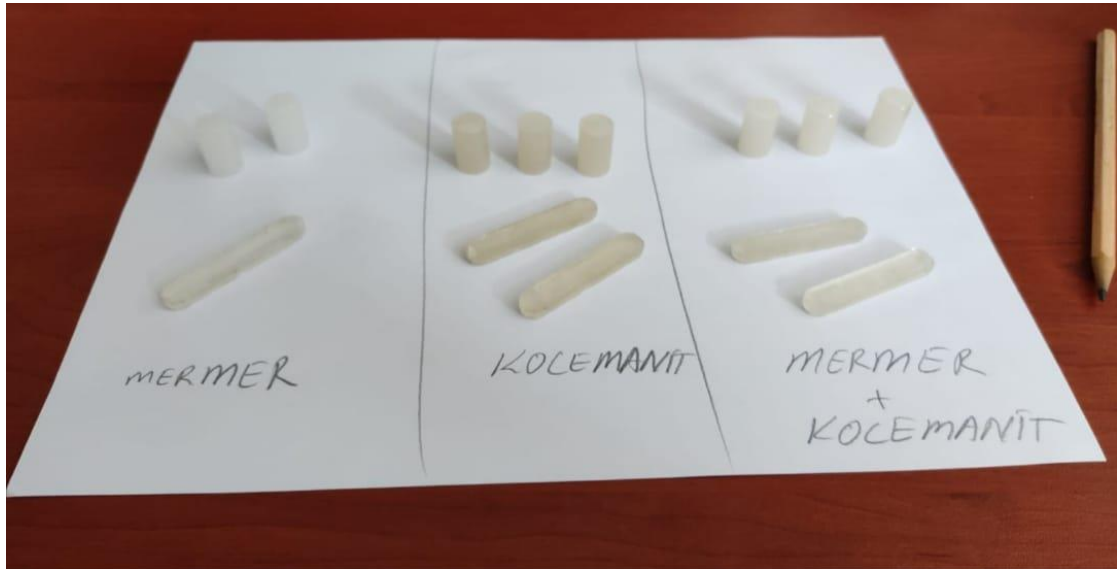
Diş hekimliğinde ana renk yaygın olarak Vita klasik renk skalasında A, B, C, D harfleriyle temsil edilmektedir.



**Şekil 4.**Vita skalası

### **Protez kemik**

Ortopedide biyomalzemeler, travma sonucu kırılan kemiklerin iyileşmesi için sabitleme ya da osteoporoz gibi bir hastalık tarafından hasar gören eklem ya da kemiklerin yerini alması amacıyla kullanılır. Ortopedide kullanılan biyomalzemelerin çoğunluğunu metaller oluşturmaktadır. Metal olmayan malzemeler ise seramikler, polimerler ve kompozitler olarak üçe ayrılabilir [25].



**Şekil 5.** Standartlara uygun numuneler

### **Yöntem**

Epoksi reçine ve sertleştirici temin edildi. Kolemanit, Eti Maden İşletmeciliğinden dilekçe ile talep edildi. Atık mermer tozu ise mermer atığı çıkaran mermer fabrikasından ücretsiz temin edildi. Belirli oranlarda epoksi reçine, sertleştirici ve kolemanit ile mermer tozu karıştırılarak standartlara uygun bir şekilde kalıplara döküldü. Elde edilen standartlara uygun

numuneler elastik ölçümü, akma noktası, basma testi ve sertlik ölçümü analizleri için atık mermer tozu katkılı, kolemanit ve atık mermer tozu ile kolemanit karışımı katkılı standartlara uygun numuneler ilimizde bulunan üniversite laboratuvarına gönderildi. Sonuçlar birbiri ile kıyaslanarak değerler yorumlanıp karşılaştırıldı.

### **Süreçler:**

1. Epoksi reçine, sertleştirici, kolemanit ve atık mermer tozu temin edildi.
2. 10 mililitre epoksi reçine içerisine 5 mililitre sertleştirici eklenerek 15 dakika homojen hale gelmesiye kadar karıştırıldı.
3. Bir gramdan fazla oranlarda katkı maddesi eklendiğinde katkı maddeleri karışımın dibine çöktü.
4. Karışımın içerisine 1 gram atık mermer tozu eklendi.
5. Karışımın içerisine 1 gram kolemanit eklendi.
6. Karışımın içerisine 0,5 gram atık mermer tozu ile 0,5 gram kolemanit eklendi.
7. Hazırlanan üç ayrı karışım homojen hale gelmesiye kadar 15 dakika boyunca karıştırıldı.
8. Karışımlar elastik ölçümü, akma noktası, basma testi ve sertlik ölçümü analizleri için hazırlanan uygun numunelere dökülerek bir gün kuruması için beklendi.
9. Kuruyan numuneler ilçe diş hastanesinde uygun aletlerde çıkarılarak numunelerin özdeş hale gelmesi sağlandı.
10. Standartlara uygun olarak çıkan numuneler elastik ölçümü, akma noktası, basma testi ve sertlik ölçümü analizleri için ilimizde bulunan üniversite laboratuvarına götürüldü.
11. Analiz sonuçları birbirleri ile karşılaştırılarak bir sonuca varılmıştır.
12. Numunelerden diş modelleri yapıldı.
13. Protez dişler vita renk skalasına göre harflendirildi.
14. Protez dişler 40 °C sıcaklıkta 1 dakika boyunca bekletildi.



**Şekil 6.** Epoksi reçineye atık mermer tozu ve kolemanit katkılı protez kemik ve dişler

## Proje İş-Zaman Çizelgesi

| İşin Tanımı                     | AYLAR |       |         |        |         |       |      |       |        |      |
|---------------------------------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|------|
|                                 | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Ocak |
| Literatür Taraması              | X     | X     | X       | X      | X       | X     | X    | X     |        |      |
| Arazi Çalışması                 |       | X     | X       | X      | X       | X     | X    | X     |        |      |
| Verilerin Toplanması ve Analizi |       | X     | X       | X      | X       | X     | X    | X     | X      | X    |
| Proje Raporu Yazımı             |       |       |         |        |         |       |      |       | X      | X    |

### Bulgular

**Tablo 2.** Protez dişler için hazırlanan en uygun reçete

| Numuneler                     | Epoksi reçine<br>(mlt) | Sertleştirici<br>(mlt) | Katkı maddesi<br>(gram) |           |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------|
|                               |                        |                        | Atık mermer tozu        | Kolemanit |
| Saf(katkısız)                 | 10                     | 5                      | -                       |           |
| Atık mermer tozu              | 10                     | 5                      | 1                       |           |
| Kolemanit                     | 10                     | 5                      | 1                       |           |
| Atık mermer tozu ve kolemanit | 10                     | 5                      | Atık mermer tozu        | Kolemanit |
|                               |                        |                        | 0,5                     | 0,5       |

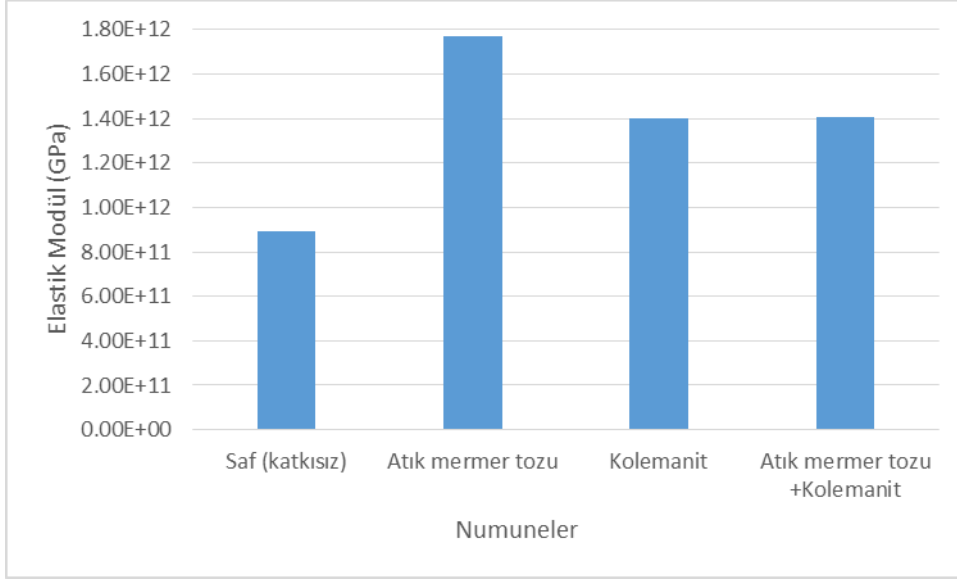
Epoksi reçine ve sertleştiriciye farklı miktarlarda katkı maddesi katılarak homojen bir karışım elde edildi. En uygun karışımın dibine katkı maddesi çökmeyen reçete Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Numunelerin elastik modül değerleri(Pa)

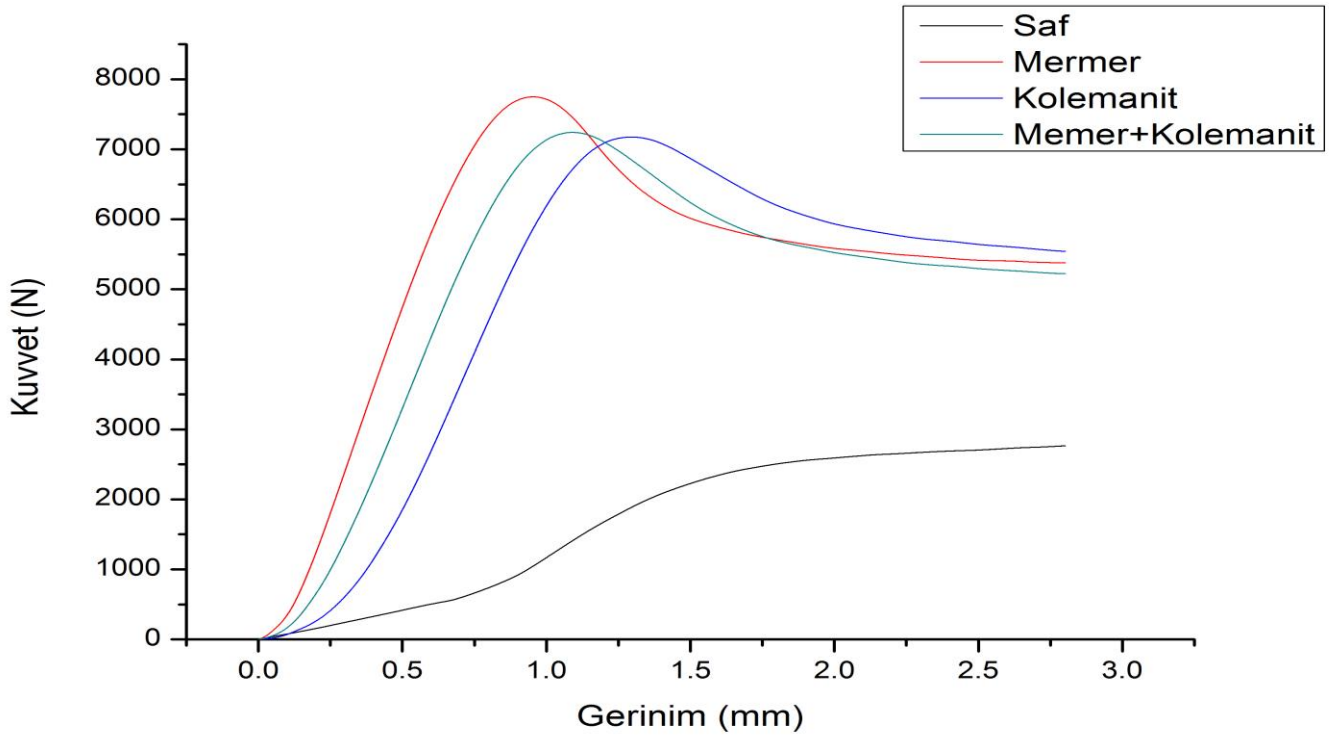
| Numune Adı                  | Elastik Modül (Depo Modülü)Pa |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Saf (katkısız)              | $0,8949 * 10^{10}$            |
| Atık mermer tozu            | $1,768 * 10^{10}$             |
| Kolemanit                   | $1,401 * 10^{10}$             |
| Atık mermer tozu +Kolemanit | $1,405 * 10^{10}$             |



**Grafik 1.** Numunelerin elastik modül değerleri(Pa)



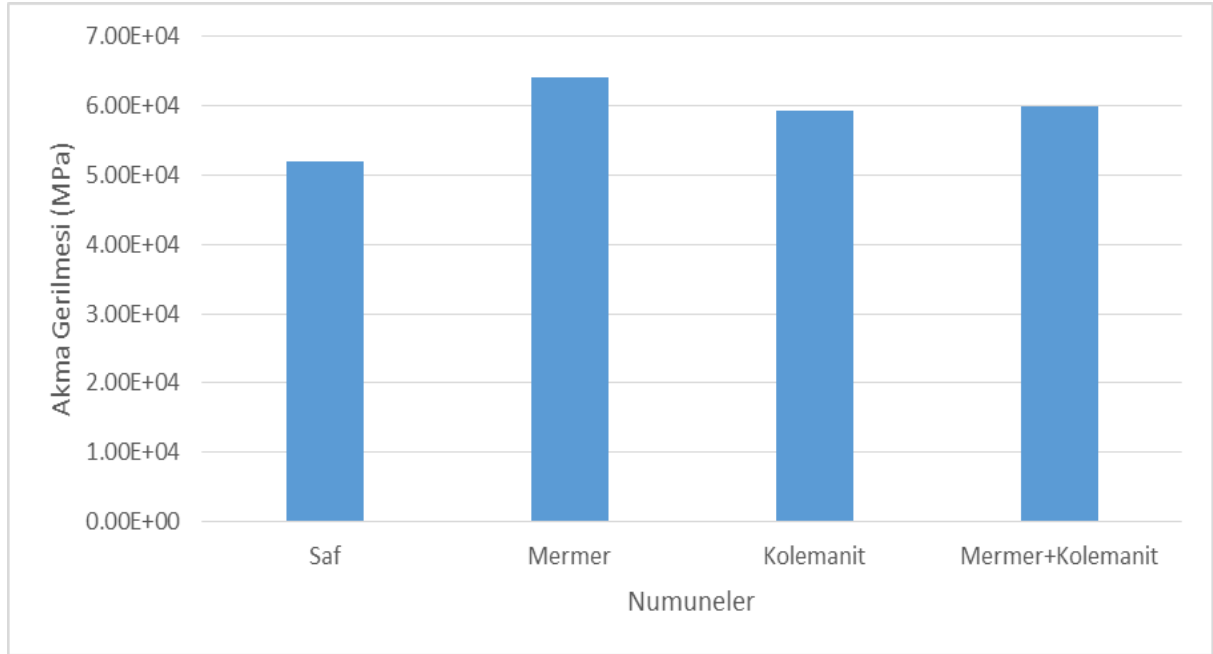
**Grafik 2.** Basma – gerinim eęrisi (kuvvet-mm/dk)



**Tablo 4.** Numunelerin akma gerilimi değerleri(Gpa)

| Numune Adı       | Akma Gerilmesi (MPa) |
|------------------|----------------------|
| Saf              | 52,03                |
| Mermer           | 64,17                |
| Kolemanit        | 59,41                |
| Mermer+Kolemanit | 59,96                |

**Grafik 3.** Numunelerin akma gerilimi değerleri(MPa)



**Tablo 5.** Numunelerin sertlik ölçüm değerleri(Shore-D)

| Deney numarası                  | Atık mermer tozu | Kolemanit | Atık mermer tozu +Kolemanit |
|---------------------------------|------------------|-----------|-----------------------------|
| 1                               | 85               | 80        | 81                          |
| 2                               | 83               | 82        | 82                          |
| 3                               | 82               | 81        | 82                          |
| 4                               | 82               | 82        | 82                          |
| 5                               | 84               | 80        | 81                          |
| <b>Deney ortalama değerleri</b> | 83,2             | 81        | 81,6                        |

Ölçümler rastgele olarak her numune türünden 5 adet olacak şekilde alınmıştır.

**Bilgi:** Mermer MOHS sertlik skalası 3-3.5; kolemanit 4-4.5 civarındadır. Ancak burada sertlik, katkı yapılan malzemenin kürleşme ve termoset zincir oluşumunu etkiler ve parametreler oldukça değişkenlik gösterir.

**Tablo 6.** Vita skalasına göre protez dişlerin renkleri

| Protez Dişler                         | Vita Renk skalası |
|---------------------------------------|-------------------|
| Atık mermer tozu katkılı              | B1                |
| Kolemanit katkılı                     | C2                |
| Atık mermer tozu ve kolemanit katkılı | C1                |

**Tablo 7.** Protez dişlerin 40 °C sıcaklıkta 1 dakika bekletilmesi

| Protez Dişler                         | Esneme | Şekil bozukluğu |
|---------------------------------------|--------|-----------------|
| Atık mermer tozu katkılı              | Yok    | Yok             |
| Kolemanit katkılı                     | Yok    | Yok             |
| Atık mermer tozu ve kolemanit katkılı | Yok    | Yok             |

### Sonuç ve Tartışma

Yapılan testler sonucu atık mermer tozu katkılı numune, kolemanit ve atık mermer tozu ile kolemanit katkılı numunelerden elastik modül, akma gerilmesi ve sertlik değeri daha fazla çıkmıştır. Atık mermer tozu katkılı numunenin saf haline göre anlamlı bir mukavemet artışı görülmüştür. Elastik modülde numuneler üzerinde kuvvet değiştirilerek geçici mi yoksa kalıcı mı şekil değişikliği olduğuna bakılır. Elde edilen veriler geçici şekil değişikliğine bakılarak elde edilmiştir. Elastik modülün atık mermer tozu katkılı numunede diğer numunelere göre fazla çıkması numunenin rijitliğinin (Kuvvet altında bozulmayan) yüksek olduğunun göstergesidir. Başka bir ifade ile kuvvet artışlarına karşı daha az deformasyon gösterebilme özelliğine sahiptir. Atık mermer tozu katkılı numunenin saf haline göre mukavemeti %97,5 artmıştır. Epoksiye katkı olarak atık mermer tozu ilavesi yapıldığında saf ve diğer katkı maddeleri numunelerine göre bir takım moleküller etkileşimi artırdığı sonucuna

ulaşmıştır. Polimer zincirleri arasında moleküler etkileşimin yapıya bütünlük kazandırdığı düşünülmektedir. Atık mermer tozu küllenme (uzun polimer zincirleri bağlanması) esnasında polimer zincir ile etkileşime girerek malzemenin dayanıklılığını artırmıştır. Bundan dolayı atık mermer katkılı numune saf ve diğer numunelere göre daha sağlam, dayanıklı ve sert çıkmıştır

Akma gerilmesi elastikten plastiğe (kalıcı deformasyona) geçerken alınan gerilme (mukavemet) değeridir. Bu analizde de anlamlı bir mukavemet artışı olmuştur. Atık mermer tozunun saf haline göre mukavemetin de % 23,3 bir artış gözükmektedir. Elastikiyet modülü ve akma gerilmesinin uyumlu olması bu projenin olumlu olduğunu göstermektedir. Çekme mukavemeti arttıkça kalıcı şekil değiştirmenin olduğu bölgede de bir dayanım artışı vardır. Numunenin şekli değiştiğinde bile atık mermer tozu hala malzemede iç sürtünme ile zincirlerin kopmaması için tuttuğu söylenebilir. Buda atık mermer tozu katkılı numuneyi daha mukavemetli hale getirebilmektedir..

Basma testinde numunenin üzerine artan şekil değiştirme miktarıyla birlikte dayandığı/taşıdığı kuvvet değerini gözlemlememizi sağlar. Çekme mukavemeti (azami dayanım) ve akma dayanımı (plastik şekil değiştirmeye başladığı kuvvet) basma testinden elde edilmiştir. Elastikiyet modülü dinamik mekanik analiz ile tespit edilebilmektedir. Malzeme belirli bir kalıba bağlanır ve bir taraf sabit diğer taraf aşağı yukarı yer değiştirir ve malzemeye hareket verilir.

Sertlik analizinde iğnesel batıcı bir uçla (Shore-D Sertlik Ölçümü) malzemenin yüzeyi deforme edilmeye çalışılır. Malzeme yüzeysel olarak direnç gösterir. Atık mermer tozu katkılı malzemede diğerlerine göre anlamlı bir sertlik artışı olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak atık mermer tozu katkılı malzeme, kolemanit ve atık mermer tozu ile kolemanit katkılı malzemelere göre daha dayanıklı, sağlam mukavemeti fazla ve sert çıkmıştır. Vita renk skalasına göre atık mermer tozu katkılı malzeme B1 yani beyaz atık mermer tozu ile kolemanit katkılı malzeme C2 açık kahverengi, kolemanit katkılı malzeme C1 kahverengi renk olarak belirlenmiştir. Üç malzemede ağız sıcaklığında şekil değiştirmeden ve yumuşamadan sertliğini devam ettirebilmektedir. Epoksi maddesinin kolay yapışması, asite karşı, alkali, nem(su buharına) dayanıklı olması ile ısıya karşı kararlı olması bu projenin ağız içinde protez diş olarak kullanılmasını desteklemektedir.

### **Öneriler**

Atık mermer tozunun bor minerali olan kolemanite göre daha dayanıklı olması. Plastik üretimlerinde sıfır maliyeti olan atık mermer tozunun katkı maddesi olarak kullanılması üretilen malzemelerin maliyetini düşürecektir. Üretilen kompozit ve diğer plastik kökenli malzemelerde atık mermer tozunun katkı maddesi olarak kullanılması hem malzemenin mukavemetini artıracak hem de maliyeti düşürecektir. Atıkların değerlendirilmesi ile ülke ekonomisine olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir..

## Kaynaklar

- [1] Aksoğan, O., Binici, H. and Ortlek, E., 2016. Durability of concrete made by partial replacement of fine aggregate by colemanite and barite and cement by ashes of corn stalk, wheat straw and sunflower stalk ashes. *Construction and Building Materials*, 106, 253-263.
- [2] Bangsgaard N, Thyssen JP, Menné T, Andersen KE, Mortz CG, Paulsen E, et al. Contact allergy to epoxy resin: risk occupations and consequences. *Contact Dermatitis* 2012; 67:73-7 (doi: 10.1111/j.1600- 0536.2012.02072.x).
- [3] Bilgin, Ö., Koç, E., 2013. Mermer Madencilğinde Çevresel Etkiler, *Madencilik Türkiye Dergisi*, sayı 28, 68-79.
- [4] Binici H., Temiz, H., Zengin, H., Görür, E.B., Kaplan, H., Yılmaz, S., Epoksi ve Epoksinin Yapı Güçlendirmesinde Kullanımı, *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, Sayfa: 147-153, 2006.
- [5] Cengiz, A.K., Kulaksız, S., (1996). Mermer İşletme Tesislerindeki Atıkların Değerlendirilmesi. *Türkiye'de Mermer Yapı ve Dekorasyon*, Sayı 47, s. 24.
- [6] Çelik, E., Tekmen, Ç. 2004. "Diş Protez Laboratuvar Malzemeleri". DEÜ Mühendis Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. 81-93.
- [7] Demir, F., Budak, G., Sahin, R., Karabulut, A., Oltulu M. and Un, A.,2011. Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight- and normalweight concretes containing colemanite and barite for 0.663 MeV  $\gamma$
- [8] Erdoğan, Y., Zeybek, M.S. and Demirbaş, A., 1998. Cement mixes containing colemanite from concentrator wastes. *Cement and Concrete Research*, 28, 605-609.
- [9] Geier J, Lessmann H, Hillen U, Jappe U, Dickel H, Koch P, et al. An attempt to improve diagnostics of contact allergy due to epoxy resin systems. First results of the multicenter study EPOX 2002. *Contact Dermatitis* 2004;51:263-72.
- [10] Geraut C, Tripodi D, Brunet-Courtois B, Leray F, Geraut L. Occupational dermatitis to epoxydic and phenolic resins. *Eur J Dermatol* 2009;19:205-13 (doi: 10.1684/ejd.2009.0666).
- [11] Jolanki R, Kanerva L, Estlander T. Epoxy resins. In: *Handbook of Occupational Dermatology* (eds) Kanerva L, Elsner P, Wahlberg JE, Mibach HI. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag;2000:570-90.
- [12] Kaya F., Ana Hatları ile YapıÇtırıcılar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004.
- [13] Korkut, T., Ün, A., Demir, F., Karabulut, A., Budak, G., Şahin, R. and Oltulu, M., 2010. Neutron dose transmission measurements for several new concrete samples including colemanite. *Annals of Nuclear Energy*. 37, 996-998.
- [14] Kula, I. Olgun, A., Erdogan, Y. and Sevinc, V., 2001. Effects of colemanite waste, cool bottom ash, and fly ash on the properties of cement, *Cement and Concrete Research*, 31, 491-494.
- [15] Kun, N., 2013. Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi (genişletilmiş 2. Baskı), 222 s., İzmir.
- [16] Kutuk, S., 2017. Öğütülmüş nano boyutlu kolemanit mineralinin elementel ve kristal yapı özellikleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 10, 303-313.
- [17] Olgun, A., Kavas, T., Erdogan, Y. and Once, G., 2007. Physico-chemical characteristics of chemically activated cement containing boron. *Building and Environment*, 42, 2384-2395.
- [18] Onargan, T., 2007., Mermer Madencilğinde Çevre Yönetimi, 2. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 61-75., Ankara.
- [19] Schmidseeder , J. 2000. "All Ceramic Systems", *Aesthetic Dentistry - Color Atlas of Dental Medicine* 1st edition Edition. Thieme. 183-192.

[20] Prof. Dr. Filiz Keyf, Prof. Dr. Gülay Uzun, Dr. Sema Altunsoy. Diş Hekimliğinde Renk Seçimi. Hacettepe Diş Hek. Fak. Derg.(2009) Cilt:33 Sayı:4 Sayfa: 52-58.

[21] Swamy, R, N., Jones R. and Bloxham J. W., Structural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy Bonded Steel Plates, Structural Engineer London, Part A, 65A, 2, 59-8, 1987.

[22] Ünal O. ve Kibici Y., (2001), “Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması” Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001), 317-325, Afyon.

[23] Yadigar, E., Toptanı, A.R, Gül, S., Mevzuat Kapsamında Mermer Sahalarının Rehabilitasyonu, Ulusal Mermer ve Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu, Bildiriler kitabı, 9-17., Isparta.

[24] <http://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/March2019/5-1-ogutulmus-kolemanit.pdf>, (26.11.2022).

[25] Nath S, Basu B. Materials for Orthopedic Applications. Advanced Biomaterials, Hoboken, NJ, USA, John Wiley & Sons, Inc., 2010.