



**T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FOSFAT BAĞLI DİŞ KALIBI ALMA MALZEMELERİNİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Tuğba ERKOÇ**

**Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
Proses ve Reaktör Tasarımı Programı**

**Danışman**

**Prof. Dr. İsmail AYDIN**

**OCAK, 2015**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 20/01/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Proses ve Reaktör Tasarımı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi:**



Prof. Dr. İsmail AYDIN(Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Ahmet KAŞGÖZ  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Haşmet ULUKAPI  
İstanbul Üniversitesi  
Dışhekimliği Fakültesi



Doç. Dr. Gülin Selda POZAN SOYLU  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Selva ÇAVUŞ  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması 25.03.2014-20.01.2015 tarihleri arasında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı Reoloji Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bu tez konusunu bana vererek dental malzemeleri tanımama vesile olan ve tez çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, her zaman yol gösteren, sorunlara hemen çözüm getiren çok değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. İsmail Aydın'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca alanlarında en güncel bilgileri bizimle paylaşan, bizi araştırmaya ve yeniyi aramaya yönlendiren başta Bölüm Başkanımız Sn. Prof. Dr. Mehmet Bilgin olmak üzere tüm Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı akademisyenlerine teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında bana gösterdiği yardım ve öğrenimim sırasında benimle paylaştığı dostluğu için arkadaşım Gökür Dönmez ve Nur Özparlak'a en içten sevgilerimle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini ve yardımlarını her zaman gösteren, daima yanımda olan ve emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim çok değerli annem Handan Demirkol, babam İlyas Demirkol ve kardeşim Ahmet Demirkol'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman anlayışı, desteği ve güzel gülümsemesiyle hayatıma anlam katan eşim Muhammet Mucip Erkoç'a tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezi hayatım boyunca bana ilham veren, artık yanımda olamadığı halde desteğini her zaman hissettiğim sevgili dedem Ahmet Demirkol'a ithaf ediyorum.

Ocak, 2015

Tuğba ERKOÇ

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ .....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>4</b>
2.1.REVETMAN .....	5
2.1.1. Revetmanlarda Aranılan Özellikler.....	6
2.2. REVETMAN ÇEŞİTLERİ .....	8
2.2.1.Alçı Bağlı Revetmanlar.....	9
2.2.1.1.Alçı Bağlı Revetmanlarda Genleşme.....	15
2.2.2. Fosfat Bağlı Revetmanlar .....	24
2.2.3. Silika Bağlı Revetmanlar .....	31
2.3. REVETMANLARIN ÖZELLİKLERİ .....	33
2.3.1. Isısal Stabilite.....	33
2.3.2. Porozite .....	34
2.3.3. Büzülme Karşılıyan Genleşme.....	34
2.3.4.Dayanıklılık.....	35
2.3.5. İncelik .....	36
2.4. REVETMANDA GENLEŞME .....	37
2.4.1. Revetmanda Higroskopik Genleşme.....	37
2.4.2. Revetmanda Isısal (Termal) Genleşme .....	37
2.4.3. Revetmanda Normal Sertleşme Genleşmesi .....	38
2.5. REVETMANA ALMA .....	38
2.6. BÜZÜLMENİN KONTROLÜ .....	40

2.7. DÖKÜM BOYUTLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....	40
2.8. VAKUMLA REVETMANLAMA .....	41
2.9. UYGULAMA ALANLARI.....	41
2.10. UYGULANAN ANALİZLER .....	42
2.10.1. Eğme Deneyi.....	42
2.10.2. Materyallerin Mekanik Özellikleri .....	44
2.10.2.1. Gerilim .....	44
2.10.2.2. Kopma gerilim kuvveti .....	47
2.10.2.3. Zorlama .....	47
2.10.2.4. Gerilim-zorlama ilişkisi.....	47
2.10.2.5. Yorgunluk özellikleri .....	54
2.10.2.6. Abrasyona direnç .....	55
2.10.2.7. Sertlik .....	56
2.10.2.8. Elastiklik ve Viskoelastiklik.....	56
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>59</b>
3.1. MALZEME.....	60
3.1.1. KULLANILAN KİMYASALLAR .....	60
3.1.1.1. Magnezyum Oksit (MgO) .....	60
3.1.1.2. Monoamonyum Fosfat (MAP):.....	61
3.1.1.3. Kullanılan SiO <sub>2</sub> Dolgular.....	63
3.1.2. KULLANILAN CİHAZLAR .....	65
3.1.2.1. Tartım Cihazı .....	65
3.1.2.2. Universal Mekanik Test Cihazı .....	65
3.2. YÖNTEM .....	68
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>71</b>
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>103</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>106</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>108</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1: Revetman kalıp örneği. ....	6
Şekil 2.2: Revetman modeller. ....	8
Şekil 2.3: 575°C’da kuartz dönüşümü sırasında bağlarda düzen değişikliği.....	10
Şekil 2.4: Üç alçı ürününün ısıtıldıkları zaman gösterdikleri boyutsal değişme. ....	11
Şekil 2.5: Dört silika formunun termal genişleme eğrileri. ....	12
Şekil 2.6: İki değişik tip revetmanda ısıya göre lineer genişleme. ....	13
Şekil 2.7: A: Normal sertleşme, B: Higroskopik sertleşme, C ve D: Bir ve iki astar tabakası ile kaplanmış manşetin kısıtlanmış genişmesi. ....	17
Şekil 2.8: Belli hazırlama faktörlerinin higroskopik genişleme üzerindeki etkisinin eklene miktarına göre değişimi. ....	20
Şekil 2.9: % 25 alçı, %75 kuartz ihtiva eden revetmanın termal genişmesi. ....	21
Şekil 2.10: Kuartz yerine kristobalit ihtiva eden revetmanın termal genişmesi. ....	22
Şekil 2.11: %20 alçı, %80 kuartz ihtiva eden revetmanın termal genişmesi üzerinde su/toz oranının etkisi. ....	23
Şekil 2.12: Sıvı konsantrasyonunun fosfat bağlı revetmanların sertleşme ve termal genişmesi üzerindeki etkisi. ....	29
Şekil 2.13: Fosfat bağlı revetmanların suyla karıştırılması ve özel sıvı kullanılması durumunda termal genişmeleri. ....	30
Şekil 2.14: Refraktör model ve sert alçıdan elde edilmiş model. ....	42
Şekil 2.15: İki uçtan mesnetli eğme yüküne maruz çubuk. ....	43
Şekil 2.16: a) Kompresif gerilimini, b) germe gerilimini ve zorlamayı gösteren şema.....	44
Şekil 2.17: Üç nokta veya transvers testini gösteren şema. ....	45
Şekil 2.18: Kirişin bükülmesi germe ve baskı gerilimlerini aynı anda oluşturur. ....	45
Şekil 2.19: Üç nokta veya transvers testinin uygulanması. ....	46
Şekil 2.20: Kırılgan madde için çap doğrultusunda baskı testi. ....	46

<b>Şekil 2.21:</b> Çekilebilir madde için çap doğrultusunda baskı testi.....	46
<b>Şekil 2.22:</b> Basit bir gerilim zorlama eğrisi.....	48
<b>Şekil 2.23:</b> Gerilim zorlama eğrisinin altındaki alanlar reziliens (çizgili alan) ve peklik (tüm alan) özelliklerinin belirtilmesi için kullanılır.....	50
<b>Şekil 2.24:</b> Yüzeyde yer alabilecek bozuklukların etkisini gidermek için mukavemet testlerinde çentikli örnek kullanılır.....	51
<b>Şekil 2.25:</b> Yüzeyde yer alabilecek bozuklukların etkisini gidermek için mukavemet testlerinde çentikli örnek kullanılır.....	51
<b>Şekil 2.26:</b> Darbe mukavemetinin ölçülmesinde kullanılan Charpey Impact test aleti.....	52
<b>Şekil 2.27:</b> Charpey ve Izod testlerinin genel şeması.....	53
<b>Şekil 2.28:</b> Altı değişik gerilim- zorlama ilişkisi.....	54
<b>Şekil 2.29:</b> Yorgunluk testi.....	55
<b>Şekil 2.30:</b> a) Elastik, b) Plastik, c) ve d) viskoelastik materyalleri belirten modeller.....	57
<b>Şekil 3.1:</b> Ana hatları ile çalışma süresince izlenen deneysel yöntem ve kullanılan malzemeler.....	59
<b>Şekil 3.2:</b> Deneysel çalışmalarda kullanılan magnezyum oksit tozu.....	60
<b>Şekil 3.3:</b> Monoamonyum fosfat.....	62
<b>Şekil 3.4:</b> Hounsfield H10K-S üniversal mekanik test cihazı; 1) Açma/kapama düğmesi, 2) hareketli üst zımba, 3) LCD panel ve 4) Cihazın "QMAT" kontrol programı yüklü bilgisayar.....	66
<b>Şekil 3.5:</b> Revetman hazırlama.....	68
<b>Şekil 3.6:</b> Çubuk ve silindir kalıplar.....	68
<b>Şekil 3.7:</b> Revetmanın farklı kalıplara alınması.....	69
<b>Şekil 3.8:</b> Çubuk ve silindir kalıplardan çıkarılan revetmanlar.....	69
<b>Şekil 3.9:</b> Çubuk ve silindir kalıplardan çıkarılan revetmanlar.....	70
<b>Şekil 3.10:</b> Basma ve üç nokta kırma testleri için kullanılan düzenekler.....	70
<b>Şekil 4.1:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 1 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	72
<b>Şekil 4.2:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 1 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	72

<b>Şekil 4.3:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 2 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	73
<b>Şekil 4.4:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 2 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	74
<b>Şekil 4.5:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 3 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	75
<b>Şekil 4.6:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 3 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	75
<b>Şekil 4.7:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 4 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	76
<b>Şekil 4.8:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 4 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	77
<b>Şekil 4.9:</b> MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	78
<b>Şekil 4.10:</b> MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	78
<b>Şekil 4.11:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	79
<b>Şekil 4.12:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	80
<b>Şekil 4.13:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup, Q45 ağırlık oranının %40, M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	81
<b>Şekil 4.14:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup, Q45 ağırlık oranının %40, M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	81
<b>Şekil 4.15:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	82
<b>Şekil 4.16:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	83



<b>Şekil 4.17:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	84
<b>Şekil 4.18:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	84
<b>Şekil 4.19:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	85
<b>Şekil 4.20:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-50µm ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	86
<b>Şekil 4.21:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, 150-250µm ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	87
<b>Şekil 4.22:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, 150-250µm ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	87
<b>Şekil 4.23:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 1 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	91
<b>Şekil 4.24:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 1 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	91
<b>Şekil 4.25:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 2 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	92
<b>Şekil 4.26:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 2 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	92
<b>Şekil 4.27:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 3 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	93
<b>Şekil 4.28:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 3 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	93
<b>Şekil 4.29:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 4 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	94

<b>Şekil 4.30:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 4 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	94
<b>Şekil 4.31:</b> MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	95
<b>Şekil 4.32:</b> MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	95
<b>Şekil 4.33:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	96
<b>Şekil 4.34:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	96
<b>Şekil 4.35:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup, Q45 ağırlık oranının %40, M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	97
<b>Şekil 4.36:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup, Q45 ağırlık oranının %40, M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	97
<b>Şekil 4.37:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	98
<b>Şekil 4.38:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	98
<b>Şekil 4.39:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	99
<b>Şekil 4.40:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	99
<b>Şekil 4.41:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	100
<b>Şekil 4.42:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	100
<b>Şekil 4.43:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, 150-250µm ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....	101

**Şekil 4.44:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, 150-250µm ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin basma testi sonuçları.....101

**Şekil 4.45:** Üç nokta kırma ve basma testleri sonucu revetman numuneler.....102

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Tablo 2.1:</b> Çeşitli revetmanların kullanım alanları.....	42
<b>Tablo 3.1:</b> Kullanılan magnezyum oksitin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	61
<b>Tablo 3.2:</b> Kullanılan Monoamonyum fosfatın kimyasal özellikleri.....	62
<b>Tablo 3.3:</b> M6000 analiz değerleri.....	63
<b>Tablo 3.4:</b> M6000 Kimyasal analiz değerleri (%).....	63
<b>Tablo 3.5:</b> M8 analiz değerleri.....	64
<b>Tablo 3.6:</b> M8 Kimyasal analiz değerleri (%).....	64
<b>Tablo 3.7:</b> Bu Tez çalışması süresince hazırlanan revetman malzemesi içeriğinde yer alan bileşenlerin karışım miktarları.....	67
<b>Tablo 4.1:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen 1 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	71
<b>Tablo 4.2:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen 2 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	73
<b>Tablo 4.3:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen 3 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	74
<b>Tablo 4.4:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen 4 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	76
<b>Tablo 4.5:</b> MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	77
<b>Tablo 4.6:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	79
<b>Tablo 4.7:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	80

<b>Tablo 4.8:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	82
<b>Tablo 4.9:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları. ....	83
<b>Tablo 4.10:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	85
<b>Tablo 4.11:</b> MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, M6000 ağırlık oranının %10 olarak sabit tutulup 150-250µm ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.....	86
<b>Tablo 4.12:</b> Silindir revetmanların mekanik özelliklerinin sonuçları. ....	88

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>MgO</b>	: Magnezyum oksit
<b>MAP</b>	: Monoamonyum fosfat
<b>Ag - Pd</b>	: Gümüş- Palladyum alaşımı
<b>Cr</b>	: Krom

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>S/T</b>	: Sıvı / Toz
<b>rpm</b>	: Dakikadaki devir sayısı (Revolution per minute)
<b>ED</b>	: Eğilme dayanımı
<b>EM</b>	: Eğilme modülü

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### FOSFAT BAĞLI DIŞ KALIBI ALMA MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tuğba ERKOÇ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. İSMAİL AYDIN

Metal seramik restorasyonların kullanımındaki olağanüstü artış, alçı bağlı revetmanlarla kullanılmayan yüksek erime ısıyla alaşımların kullanımını gerekli kılmıştır. Bununla beraber temel metal alaşımların kullanımının artması da fosfat bağlı revetmanların kullanımını gerektirmektedir.

Bu çalışmamızda; fosfat bağlı dış kalıbı alma malzemelerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Mum örneğinin, metal yapıya dönüştürülmesi için kullanılan, özelliğine göre yüksek ısıya dayanıklı, çalışma modeli ve kalıp hazırlığında kullanılan bu maddeye revetman denir. Fosfat bağlı revetmanlar; magnezyum oksit (MgO), amonyum fosfat ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) ve inorganik dolgu (genellikle farklı tane boyutlarındaki  $\text{SiO}_2$ ) materyallerinin bileşimlerinden elde edilmiştir. Bu tez; laboratuvarında farklı formülasyonlarla hazırlanan revetman karışımlarının döküm sonrası yapılarının elde edilerek mekanik özelliklerinin değişiminin incelenmesini amaç edinmiştir. Bu bağlamda uygulanan mekanik analizler üç nokta kırma ve basma testleridir. Fosfat bağlı revetmanların kalıplanması sonrası fakat ısı işlem öncesi yapılarının reolojik özellikleri hakkında literatürde bir yayına rastlanmamıştır. Oysa ısı işlem sonrası içine döküm yapılacak bu malzemenin özellikleri; döküm öncesi formülasyon ve reolojik özelliklerine bağlıdır. Bu çalışma ile, ilgili literatürde fosfat bağlı revetmanların kalıplanması sonrası mekanik özellikleri hakkında bilgi sağlanmış olacaktır.

Ocak 2015, 124.

**Anahtar kelimeler:** Revetman, magnezyum oksit, monoamonyum fosfat, inorganik dolgu.

## **SUMMARY**

**M.Sc. THESIS**

### **INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF PHOSPHATE-BONDED DENTAL MOULD INVESTMENT MATERIALS**

**Tuğba ERKOÇ**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Chemical Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. İSMAİL AYDIN**

Remarkable increase of the use of metal-ceramic restorations makes essential the use of alloys having high melting temperatures which are actually not used with the formulations of plaster investment materials. Also, the increase of the use base metal alloys necessitates the use of phosphate-bonded investment materials.

In this study, the mechanical properties of the phosphate-bonded dental moulding investment materials are studied. The material used to convert the mould taken by means of waxes into real metal structure which is also high temperature resistant is called revetment (investment material). The phosphate-bonded investment materials are obtained from the combination of magnesium oxide, ammonium phosphate and inorganic filler materials. In this study, investment materials were prepared with various formulations and resulting materials were analysed by means of mechanical tests namely three points flexural and compression tests. There has not been found any paper on the rheological properties of phosphate-bonded investment materials before heat treatment. On the other hand, physical and chemical properties of this material where a casting will be applied in depends very much on the formulation and rheological properties of the material before heat treatment. With this work, information on the mechanical properties of phosphate bonded investment materials before heat treatment will have been provided.

January 2015, 124.

**Keywords:** Investment materials, magnesium oxide, monoammonium phosphate, inorganic filler.



## 1. GİRİŞ

Dökümcülük, özünde metallere şekil verme eylemidir; insanın doğayı değiştirip dönüştürerek, onu kendi yararı ve estetik duyumu doğrultusunda işleyip yeniden oluşturmasıdır. Dökümcülük, bir sanat işidir. Dökümcülüğün tarihi son çözümlemede madenciliğin tarihine indirgenebilir. İnsanlığın taş madenciliğinden metal madenciliğine geçtiği Neolitik Çağ, dökümcülüğün de başladığı çağdır. Bir çok topluluk bakır, tunç ve demirden ilk aletleri bu çağda yapmışlardır. Katolitik Çağ, bakır ve tunç işlemeciliğinin geliştiği çağ olmuştur. Yakın Doğu halkların köktenci sonuçlara gebe buluşları; hayvanların çekim gücünün koşumlanması; tekerlekli araçları, çömlekçi çarkını, tuğlayı bu sayede gerçekleştirebilmişlerdir.

İlk döküm teknolojisi, eritilmiş sıvı bakırın, genellikle balçıktan yapılmış bir kalıp içine akıtılışı temeline dayanmıştır. İlk döküm ustasından günümüzün döküm operatörüne, bin yılları kapsayan uzun zaman sürecinde dökümcülüğün dayanağı olan bu temel ilke değişmemiştir. Dün olduğu gibi bugün de dökümü yapılacak metal eritilmekte, eritilmiş metal daha sonra bir kalıba akıtılmaktadır. Değişen, teknolojidir.

Çağımızda en yaygın ve gözde döküm yöntemi, kayıp mum tekniğiyle hassas dökümdür. Birçok sanayi dalında kullanılan bu yöntem, özellikle kuyumculuk alanında yaygın ve etkin bir biçimde uygulanmaktadır.

Altından dökülmüş, bilinen en eski parça Mezopotamya'da Ur kazılarında bulunan ve yaklaşık 4600 yıl öncesine ait bir heykelciktir. Kayıp mum tekniği Anadolu uygarlıklarınca, eski Yunanlılar, Mısırlılar, Çinlilerce de kullanılmıştır. Aztekler, Mayalar ve İspanyol fethi öncesinde Orta ve Güney Amerika yerlileri ve Afrika kabileleri de bu tekniğin yabancısı değildi.

Bu tekniğe "Kayıp Mum Tekniği" adı verilmesinin nedeni, dökülecek eşyanın önce mumdan modelinin yapılıp sonra da ısıya dayanıklı bir malzemeyle çerçevelelenerek bir kalıp oluşturulması ve kalıp ısıtıldığında mumun eriyip "kaybolması"dır.

Kayıp mum tekniğini yetkinleştiren Florasanlı koruyucu ve heykeltraş Benvenuto Cellini olmuştur. Cellini, 16. yüzyılda birçok güzel altın döküm gerçekleştirmiştir. Cellini'den sonra kayıp mum tekniği birçok istisna dışında hemen hemen kullanılmaz olmuştur. Yüzyılımızın başından kayıp mum tekniğine yeniden el atan ve bu tekniği geliştiren bir dişçi olmuştur.

1907'de, Amerikalı dişçi Taggert, çürük kısmı oyulmuş bir diş eski biçimine sokmak için bir yöntem geliştirdi. O zamana kadar dişler, oyuğa altın ya da gümüş doldurularak eski biçimine sokulurdu. Taggert boşluğa mum doldurup orijinal biçimini verecek bir rötüş yaptıktan sonra, mum modeli çıkarıyor, ısıya dayanıklı bir dolgu maddesine gömüyor ve ısıtarak bu mumu bertaraf ettikten sonra, bunun bıraktığı boşluğa altın döküyordu. Bu dolgu boşluğuna, ya hava basıncıyla ya da merkezkaç kuvvetli bir makinayla metal akıtılıyordu.

Dişçiler kayıp mum tekniğini 25 yıl boyunca kullanmışlar, kuyumcular ise bu yöntemi kullanabileceklerini ancak 1930'larda keşfetmişlerdir. Bu yöntemi kuyumculuğa uyarlamayı olanaklı kılan etken, mücevherin mum modellerinin hızla çoğaltılabildiği bir kauçuk kalıbın geliştirilmesi oldu. Bir başka deyişle, kuyumcular, dişçilerin kayıp mum tekniğine bir yenilik, "kauçuk kalıp" katarak, hemen hemen her mücevheri çok seri, hassas ve ucuz biçimde, altın, gümüş, platin ve paladyumdan üretir hale geldiler.

Diş ve diş eti hastalıkları ülkemizde ve dünyada en önemli sağlık sorunları arasındadır. Ancak hayatı doğrudan tehdit etmediği için gereken önem verilmemektedir. Halbuki ağız ve diş sağlığı bozukluklarının birçok farklı rahatsızlığı tetikleyebilmekte ve kişinin toplum içerisindeki özgüvenini zedeleyebilmektedir. Yemek yeme ve temizleme gibi hergün meydana gelen işlemlerin mekanizmalarının anlaşılması; diş hekimlerinin ve çene cerrahlarının, sağlıklı dişlerin devamlılığını sağlayan en uygun yöntemi bulmalarına yardımcı olabilmektedir. Kozmetik hususların yanında kron gibi diş restorasyonları; ağrısız, kullanışlı servisleri uzun yıllar sağlaması ve sürdürmesi gerekmektedir. Restoratif malzemelerin mekanik davranışlarının değerlendirilmesi; işlevlerinin oluşturulmasında önem teşkil etmektedir. Diş hekimliğinde kullanılan materyallerin belirli bir mekanik dirence sahip olmaları gerekir. Örneğin, bazı restorasyon maddeleri ısırma kuvvetleri etkisi ile kırılmamalıdır. Diğerleri yük altında şekillerini koruyabilmelidirler [1].

Diş protez laboratuvar malzemeleri olarak alçı, mum, metalik altlıklar ve seramik porselenler yaygın olarak kullanılmaktadır. Diş hekimliğinde alçı, her türlü model elde etmede, modeli artikülatöre takmada, protezi muflaya almada kullanılır. Mum ise, metal döküm elde edilmesi istenen kuron-köprü çalışmalarında, akrilik esaslı protez çalışmalarında, iskelet protezlerin yapımında, protezlerin çeşitli safhalarındaki ağız içi provalarının tespit ve kayıt çalışmalarında kullanılmaktadır. Mum örneğin, metal yapıya dönüştürülmesi için kullanılan, özelliğine göre yüksek ısıya dayanıklı, çalışma modeli ve kalıp hazırlığında kullanılan maddeye, revetman denir. Alçı, silika ve fosfat bağlı revetmanlar bulunmaktadır. Metal seramik restorasyonların kullanımındaki olağanüstü artış, alçı bağlı revetmanlarla kullanılmayan yüksek erime ısıyla alaşımlarının kullanımını gerekli kılmıştır. Bununla beraber temel metal alaşımlarının kullanımlarının artması da fosfat bağlı revetmanlarının kullanımını gerektirmektedir.

İşte bu tez, fosfat bağlı diş kalıbı alma malzemelerinin mekanik özelliklerinin incelenmesini amaç edinmektedir. Bu çalışma kapsamında formülasyon, proses ve mekanik özellikler üçgeninin revetman kalıp alma malzemesindeki etki süreçlerini incelemiştir.

İlk bölümde; revetman kavramı, revetman çeşitleri, revetmanların özellikleri, uygulama alanları ve uygulanan analizler teorik olarak anlatılmaktadır.

Malzeme ve yöntem bölümünde; kullanılan cihazlar, kimyasallar ve yöntemler detaylı olarak anlatılmış, akım şemasıyla özetlenmektedir.

Dördüncü bölümde deneyde elde edilen bulgular özetlenmektedir.

Tartışma ve sonuç bölümünde; kullanılan malzeme ve yöntemler ile elde edilen bulgular sonuca bağlanmakta, grafiklerle desteklenmektedir.

## 2. GENEL KISIMLAR

Diş protez laboratuvar malzemeleri olarak alçı, mum, metalik altlıklar ve seramik porselenler yaygın olarak kullanılmaktadır. Diş hekimliğinde alçı, her türlü model elde etmede, modeli artikülatöre takmada, protezi muflaya almada kullanılır. Mum ise, metal döküm elde edilmesi istenen kuron-köprü çalışmalarında, akrilik esaslı protez çalışmalarında, iskelet protezlerin yapımında, protezlerin çeşitli safhalarındaki ağız içi provalarının tespit ve kayıt çalışmalarında kullanılmaktadır. Porselene destek olarak kullanılan metallerin, porselenin metal üzerinde pişirilmesi nedeniyle yüksek ısıya dayanıklı soy metal alaşımları olmasını gerektirmektedir.

Mum maketin direkt veya indirekt yöntemle elde edilmesinden sonra, bu maketin bir kalıp maddesi içine alınmasına sıra gelir. Eğer protez bir metal alaşımından yapılacaksa, makete bir döküm yolu takılır ve beraberce döküm manşetine yerleştirilir. Mum maket çevresine revetman maddesi akışkan kıvamda iken dökülür ve sertleşmesi beklenir. Sertleşmeyi takiben mum ve döküm yolu eritilerek veya yakılarak çıkarılır, bunların boşaltılmaları ile elde edilen boşluk erimiş alaşım dökülerek doldurulur.

## 2.1. REVETMAN

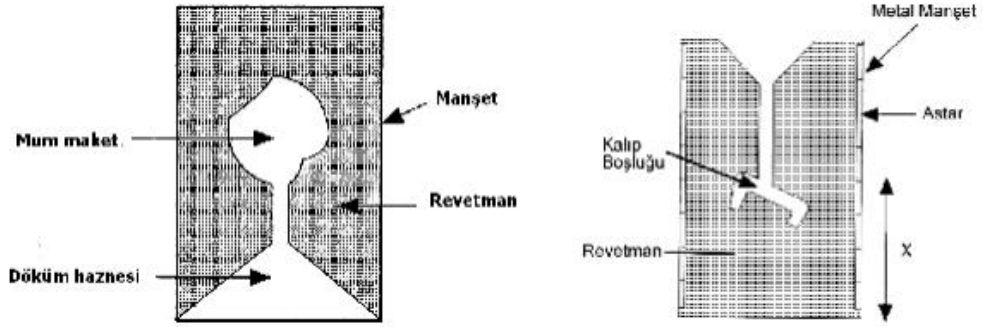
Mum örneğin, metal yapıya dönüştürülmesi için kullanılan, özelliğine göre yüksek ısıya dayanıklı, çalışma modeli ve kalıp hazırlığında kullanılan maddeye, revetman denir. Revetman, döküm işlerinde kullanılan seramik bir maddedir. Başka bir deyişle yüksek sıcaklığa dayanıklı kalıp malzemeleridir. Revetmanlar, bir alçı ürünü olup, toz ve sıvı karıştırılarak sertleştirilir. Revetmanlar, dökülecek mum örneğin şekline, yapısına ve kullanılan alaşımın erime aralığına göre değişmektedir. Revetman, mum modeli sarar, sertleşir ve mumun ısıtılıp uçurulmasından sonra erimiş metal alaşımın akıp yerleşeceği bir kalıp boşluğu oluşturur. Bu nedenle dökümün hassasiyeti, doğrudan doğruya revetmanın kalitesine ve özelliklerine bağlıdır.

Akrilik yapıdaki protezlerin kalıplanması için, mum model alçıyla muflalara yerleştirilir. Muflanın kaynama derecesinin en fazla 95 °C'ye çıkması nedeniyle, akrilik reçine ile kaynamakta olan alçı taşında bir değişiklik olmaz ve polimerizasyonun oluşmasına, muflanın açılmasına kadar, alçıyla elde edilen kalıp görevini devam ettirir. Oysa aynı kalıplama işlemi bir metal protezin dökümü için yapmak istersek alçı taşı kullanamayız. Çünkü kullandığımız metallerin ergime derecesi 600°C' nin üzerindedir. Metal dökümlerinde veya metal lehim işlerinde kalıp maddesi olarak, ısıya dayanıklı bir madde kullanmamız gerekmektedir. Bu amaçla hazırlanmış olan kalıp malzemesine "revetman" denir. Şekil 2.1' de revetman kalıp örneği gösterilmiştir.

Ağız protezlerinin ve köprülerinin dökümü, sanayide yapılan kaba döküm işlemlerine benzemez. Ağızdaki hassas dengenin bozulmaması için hazırlanan mum modelinin tamamen şeklini koruyarak metale dönüşmesi gerekmektedir. Dökülen metal veya alaşımın, döküm sırasında yapısı değişmemelidir. Döküm esnasında alaşımın, döküm sırasında yapısı değişmemelidir. Döküm esnasında alaşımın genleşme ve büzüşmeyle şeklinin değişmemesi sağlanmalıdır. Tüm bu hedeflere ulaşılması için de revetmanın ısıya dayanıklı olması, ısınmada ayrışarak gaz çıkartmaması, metal veya alaşımın büzüşme katsayısı giderebilecek oranda genleşme göstermesi, dökümde metal veya alaşım ile kimyasal reaksiyona girmemesi, dökümdeki santrifüjün etkisi ile parçalanmaması, dökümden sonra kolayca kırılması ve yapışmaması gerekmektedir.

Altın dökümü için imal edilmiş revetmanlar ile krom, molibden, kobalt, nikel ve paslanmaz çeliğin dökümünde kullanılan revetmanlar farklı bileşimdedir. Çünkü bu

elementlerin ve alaşımların ergime dereceleri farklıdır. Altın ve altın alaşımlarının ergimeleri ve dökülebilmeleri için sıcaklığın 800-1000°C arasında olması gerekmektedir. Paslanmaz çelik, krom- kobalt- molibden veya krom- nikel alaşımların dökümde 1300- 1700°C arasında bir sıcaklık gerekmektedir [2].



Şekil 2.1: Revetman kalıp örneği.

Döküm, hazırlanan bir mum yapının ısıya dayanıklı bir revetman materyali ile çevrelenerek, mumun ısı ile elimine edilmesi ve tij olarak ifade edilen döküm kanalından erimiş metali kalıp içerisine sevk etme şeklinde uygulanır.

Hassas bir dökümün elde edilebilmesi için etkili olan unsurlar şunlardır:

- Mum yapının uygun bir şekilde hazırlanması, büzülmesi ve distorsiyonu
- Revetmanın direnci ve yüzey düzgünlüğü
- Revetmanın ısıl genişmesi
- Alaşımın dökümden sonraki büzülmesi

### 2.1.1. Revetmanlarda Aranılan Özellikler

Revetman, içine alaşımın döküleceği kalıp boşluğunu oluşturduğundan, protezin hassasiyeti revetmanın özelliklerinden doğrudan etkilenir.

Revetmanın mum maketin şeklini, boyutunu ve üzerine işlenmiş detayları oluşturabilmesi gerekir. Döküm işlemi 1000°C veya daha yüksek bir ısıda yapıldığından, revetman bu ısılarda şeklini ve bütünlüğünü koruyabilmelidir. Ayrıca, bu

yüksek ısılarda, erimiş alaşımın döküm boşluğuna yollanması için gerekli yüksek döküm kuvvetine karşı koyacak yeterli mukavemete de sahip olmalıdır.

Alaşımalar, döküm ısısından oda ısısına indiklerinde büyük oranda büzülürler. Bu büzülme protezin uyumunu etkiler. Örneğin basit birinci sınıf bir inleynin uyumu kötü, basit bir kuronun kole çapı küçük ve uyumsuz olabilir. Revetmanın işlevlerinden biri de, bu büzülme karşılamaktır. Genellikle büzülme revetmanın sertleşme ve ısı genleşmeleri ile karşılanır.

Revetman seçimindeki belirleyici faktör, dökülecek alaşımın erime derecesidir. Bazı altın alaşımları 900°C, bazı krom alaşımları ise yaklaşık 1450°C civarında dökülür.

Her alaşım için döküleceği döküm ısısında, bütünlüğü koruyabilen ve alaşımın büzülmesini karşılayabilen revetman tipi kullanılmalıdır.

Revetman;

- Kolaylıkla mum modelin etrafına uygulanabilmeli, kısa sürede sertleşmelidir.
- Yüksek sıcaklığa dayanabilecek güçte olmalıdır.
- Döküm sıcaklığında ergimiş metalle reaksiyona girecek gazlar çıkarmamalıdır.
- Mum modelin büzülmesini dengeleyecek genleşme değerine sahip olmalıdır.
- Genleşmesi, metalin genleşmesi ile eşit olmalıdır.
- Isı artışı ile ortaya çıkan reaksiyon gazlarının çıkışına izin verecek kadar gözenekli ve geçirgen olmalıdır.
- Dökümden, metal olabildiğince temiz çıkmalıdır. İnce detaylar ve kenarlar net ve pürüzsüz olmalıdır.
- Dökümden sonra revetman, metalden kolaylıkla ayrılmalıdır.
- Metal yüzey ile reaksiyon vermemelidir.
- Ekonomik olmalıdır [3].



Şekil 2.2: Revetman modeller.

## 2.2. REVETMAN ÇEŞİTLERİ

Revetmanlar genellikle iki kısımdan oluşur.

- 1) Refrakter madde: Normal olarak silikadır. Silika parçalanmadan yüksek ısılara dayanabilir.
- 2) Bağlayıcı madde: Bağlayıcı madde refrakter madde partiküllerini bir arada tutar. Bağlayıcının yapısı, revetmana özelliklerini kazandırır.

Bir revetman üç önemli gereksinimi karşılamalıdır:

1. Mum örneğin detaylı formunu hassas biçimde taklit edebilmelidir.
2. Yanma ve erimiş metalin esas dökümü sırasındaki yüksek ısı seviyesine karşı koyabilecek yeterli dayanıklılıkta olmalıdır.
3. Alaşımın katılaşma büzülmesini telafi edebilmek için yeterli düzeyde genişlemelidir.

Üç tip revetman mevcuttur.

- Alçı bağlı revetmanlar
- Fosfat bağlı revetmanlar
- Silika bağlı revetmanlar

Alçı bağlı revetmanlar, Tip I, Tip II, Tip III altın alaşımları için kullanılırlar. Fosfat bağlı revetmanlar metal-seramik çalışmalarda kullanılırlar. Silika bağlı revetmanlar ise

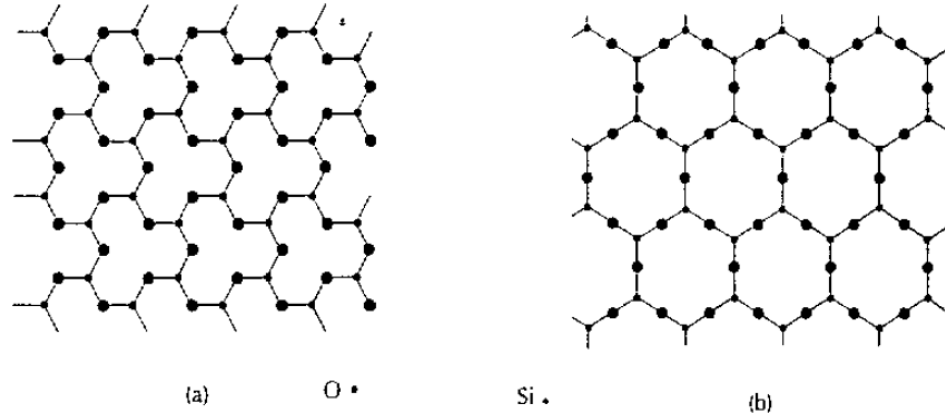


yüksek sıcaklıklarda eriyen baz metal alaşımlarında, hareketli bölümlü protez dökümlerinde kullanılırlar. I. Tip revetmanlar; inley ve kronların yapımında ve alaşımın döküm büzülmesinin, revetmanın termal genişmesi ile giderildiği durumlarda kullanılır. II. Tip revetmanlar da inley ve kron yapımında kullanılır. Ancak buradaki büzülme giderme yöntemi revetmanın higroskopik genişmesine bağlıdır. III. Tip revetmanlar ise bölümlü protezlerin yapımında kullanılırlar.

Alçı bağlı revetmanlar, düşük ısı gerektiren altın ve alaşımlarının, fosfat bağlı revetmanlar ise metal seramik restorasyonlarda kullanılan yüksek ısıda dökülebilen alaşımların revetmanlarıdır. Silika bağlı revetmanlar ise daha yüksek ısı gerektiren temel metal alaşımların dökümüyle elde edilen bölümlü protezlerin hazırlanmasında kullanılır [4].

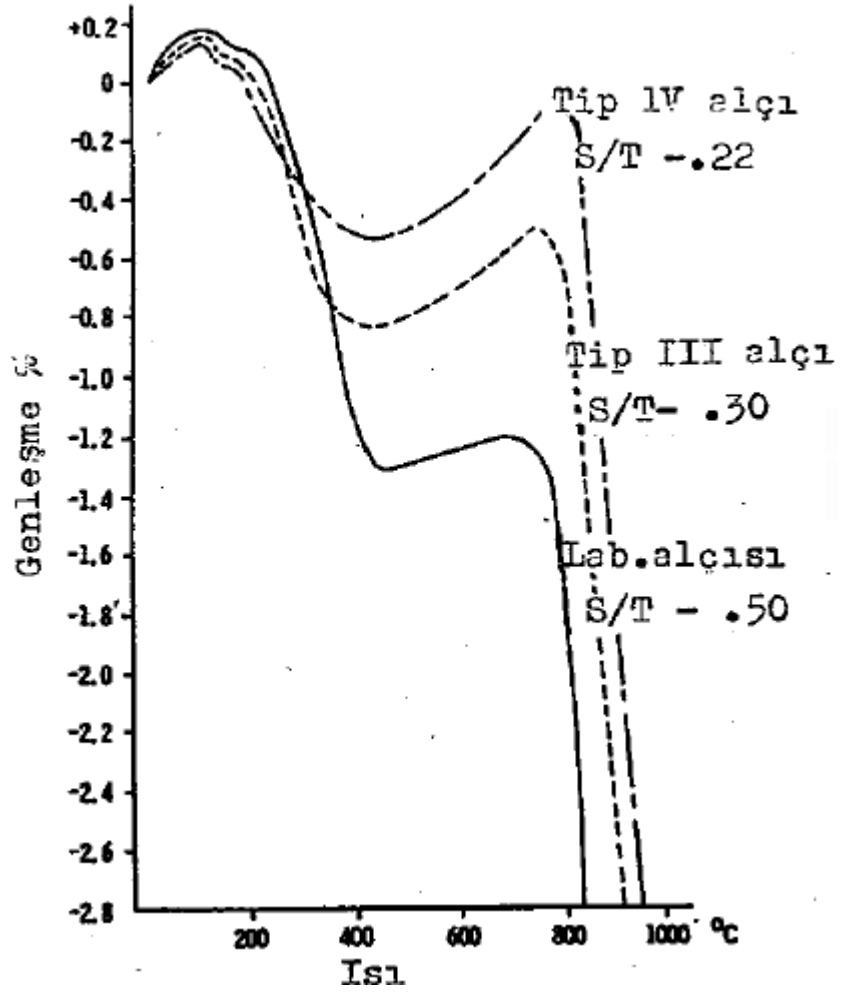
### **2.2.1. Alçı Bağlı Revetmanlar**

**Bileşimi:** Alçı bağlı revetmanın ana bileşeni, kalsiyum sülfat hemihidrat alçısı ve silikadır. Bu tip revetmanlarda bağlayıcı olarak alçı, refraktör materyal olarak da kalıbı oluşturmak için kuartz ve kristobalit kullanılır. Kuartz ve kristobalit mumun eritilmesi sırasında kalıbın ısıl genişmesinden sorumludur. Sertleşme zamanını kontrol etmek için grafit, toz bakır gibi bazı modifiye edici maddeler ilave edilir. Toz şeklindedirler ve su ile karıştırılarak kullanılırlar. Bu revetmanların bileşimi %60-65 oranında kuvars veya kristobalit veya ikisinin karışımından oluşur. %30-35 oranında  $\alpha$ -kalsiyum sülfat hemihidrat ve %5 oranında da kimyasal maddeler içerirler. 1000°C altında eriyen altın alaşımlarının dökümünde kullanılır. Alçı bağlı revetmanlarda; alçı ile silika su karıştırıldığında, bir genişleme oluşur. Alçı bağlı revetmanlarda ayrıca alçının su ile temasına bağlı higroskopik genişme görülür. Alçı bağlı revetmanların termal tip ve higroskopik tip olmak üzere iki tipi vardır. Alçı bağlayıcı revetmanlar, tip I,II ve III altın alaşımları ile kullanılırlar.



**Şekil 2.3:** 575°C'da kuartz dönüşümü sırasında bağlarda düzen değişikliği.

Şekil 2.3'de 575°C altında daha yoğun, 575°C üstünde daha seyrek bir bağ yapısı görülmektedir. Daha yüksek dayanıklılık sağladığı için günümüzde birçok revetman  $\alpha$ -hemihidrat ihtiva etmektedir.  $\alpha$ -hemihidrat, diğer bileşenleri bir arada tutmanın yanı sıra, sertlik de sağlar. Revetman %25-45 alçı ürünü ihtiva edebilir. Ancak bu madde tam bir dehidratasyona uğrar ve döküm sıcaklığına kadar ısıtıldığı zaman büyük bir büzülme oluşur ve genellikle kırılır. Erime aralığı 1000°C'ın altında olan altın alaşımlarının dökümünde kullanılan revetmanların bağlayıcısı genellikle bu hemihidrat formudur. Yaygın olarak kullanılan üç alçı ürününün termal genişleme eğrileri incelendiğinde Şekil 2.4'de, üçünde de 200-400°C'taki dehidratasyonda büyük bir büzülme, 700°C civarında ufak bir genişleme ve bundan sonra da olağanüstü büyük bir büzülme gösterdikleri görülmektedir [5].



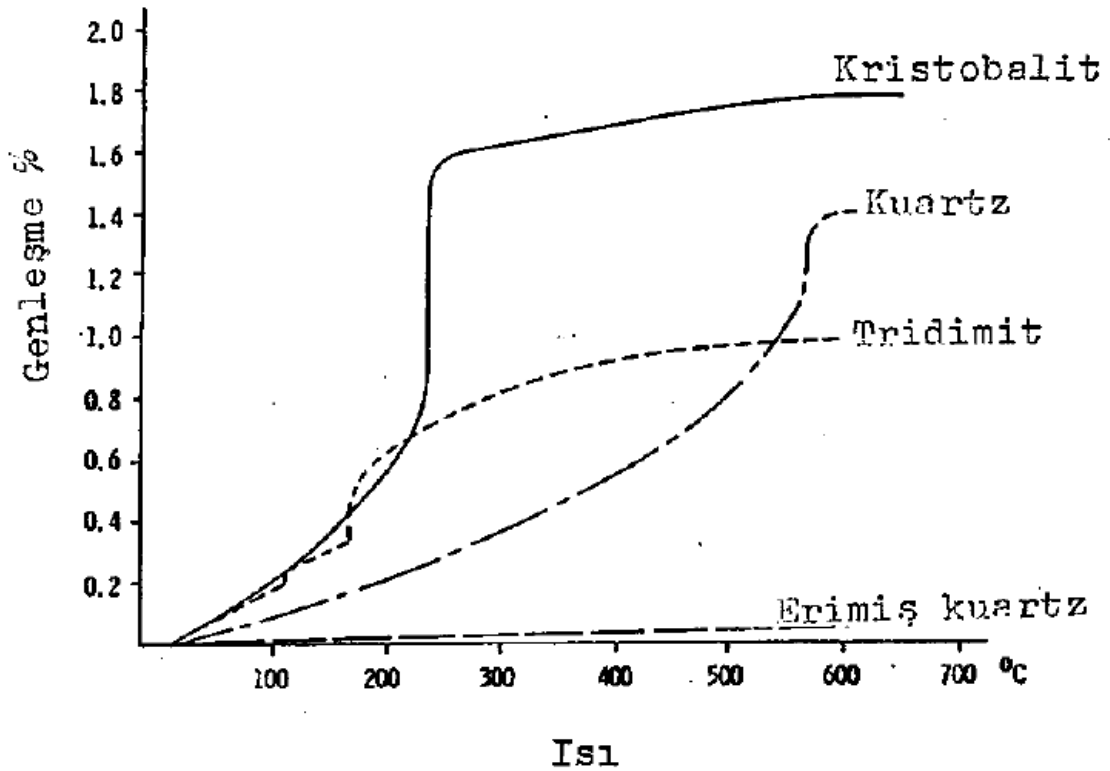
Şekil 2.4: Üç alçı ürününün ısıtıldıkları zaman gösterdikleri boyutsal değişim.

Bu son büzülme, bozunma ve çıkan kükürt gazlarından kaynaklanmaktadır. Bozunma, büzülmeyle beraber, dökülen alaşımların yapısındaki gümüş, bakır gibi elementlerle sülfürler oluşturarak alaşımın kirlenmesine neden olur. Bu nedenle alçı ürününün 700 °C'nin üstünde ısıtılmamasına dikkat edilmelidir.

**Silika:** revetmanın ısıtılması sırasında yanma direnci oluşturup termal genişlemeyi ayarlar. Termal genişleme, revetmanın ısıtılması sırasında meydana gelerek, alaşımın dökümü sırasında oluşan büzülmeyle kısmen veya tamamen giderilir. Eğer uygun bir silika formu kullanılırsa alçının ısıtıldığı zaman gösterdiği büzülme ya giderilir ya da ısıtma sırasında genişlemeye dönüşür. Silika, döküm sırasında kullanılan ısılara dayanabilen refrakter bir maddedir. Silika; kuartz, kristobalit, erimiş kuartz ve tridimit olmak üzere dört allotropik formda bulunur. Bunlardan kuvars ve kristobalit dental

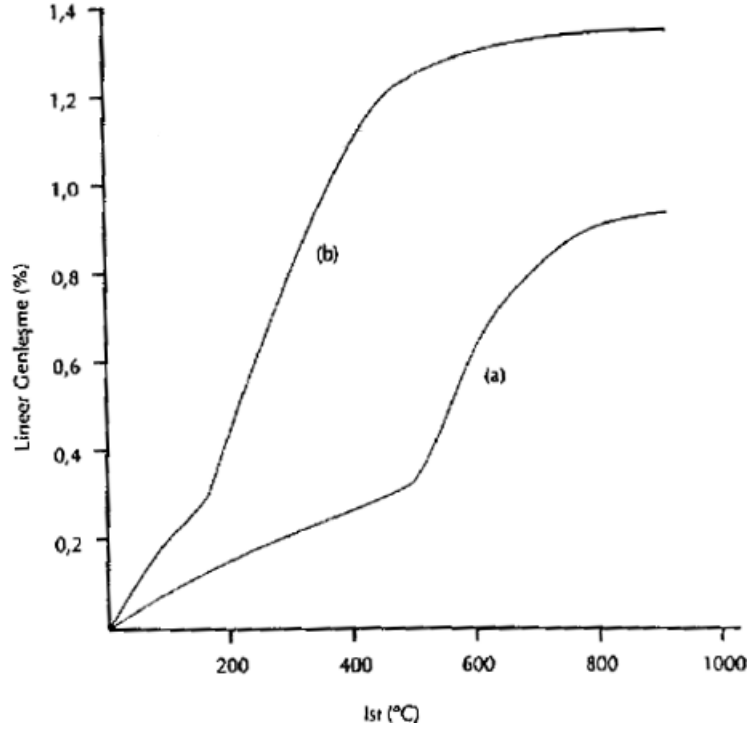
açından önemlidir. Bunlar kimyasal olarak aynıdır, fakat kristal şekillerinde küçük farklılıklar vardır. Kuartz ve kristobalit revetmanlarda yaygın olarak kullanılır. Silika, revetmana ısıya karşı dayanıklılığın yanı sıra, döküm sırasında alaşımın büzülmesini, karşılayacak genleşmeyi sağlar. Revetmanın genleşmesi, ısı genleşmesi ve kristal yapısının dönüşümü ile oluşan genleşmenin toplamıdır. Kuartz 575°C civarında  $\alpha$ -kuartz şeklinden  $\beta$ -kuartz şekline dönüşür. Kristobalit daha düşük ısıda, 200-270°C, yaklaşık 210°C'de,  $\alpha$  şeklinden  $\beta$  şekline dönüşür. Tridimit 117-163°C'de benzeri değişimi gösterirler. Bu allotropik formlar yalnızca belirtilen bu geçiş sıcaklıkları üzerinde oluşur, soğutma durumunda tekrar  $\alpha$  formlarına dönüşürler.

Yoğunluk,  $\alpha$  formundan  $\beta$  formuna doğru azalırken, hacim artar. Bu olay lineer genişlemede meydana gelen ani bir artışla kendini gösterir. Dolayısıyla bu kristalin silikalardan herhangi birini katmak suretiyle alçı büzülmesini gidermek mümkün olur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Dört silika formunun termal genişleme eğrileri.

Genleşme, muhtemelen Şekil 2.6'da görüldüğü gibi kimyasal bağların düzelmesi sonucu daha seyrek bir yapı oluşması ile meydana gelmektedir. Dönüşüm reversible, yani geri dönüşebilir. Soğuma sonucu eski şekil geriye döner. Kristobalit ihtiva eden revetmanlardaki toplam genleşme kuartz ihtiva edenlerden daha fazladır.



**Şekil 2.6:** İki değişik tip revetmanda ısıya göre lineer genleşme.

a) Kuartz içeren revetman, b) Kristobalit içeren revetman.

Dental revetmanlarda, kuartz, kristobalit veya bunların kombinasyonu kullanılabilir. Bunların her ikisi de saf halde bulunabilir. Kullanılan silika tiplerine bağlı olarak dental revetmanlara “Kuartz revetmanları” veya “Kristobalit revetmanları” adı verilir.

Kalsiyum sülfat hemihidrat, revetmanın temel maddelerinden biridir. Su ile reaksiyona girerek refrakter silikayı bir arada tutan kalsiyum sülfat dihidratı oluşturur. Alçının sertleşmesi sırasında meydana gelen sertleşme genleşmesi kısmen döküm sırasında oluşan büzülmeyle karşılar, ayrıca higroskopik genleşme ile daha fazla genleşme elde edilebilir. Higroskopik genleşme alçının su altında genleşmesidir ve bu şekilde normal sertleşme genleşmesinin beş katına kadar çıkan bir genleşme sağlanabilir. Diğer bir metot ise su ilavesi metotudur. Bu metotta ölçülü miktarda su manşet içindeki

revetmanın üst yüzeyine konulur. Bu yöntem daha kontrollü bir genişleme sağlar. Higroskopik genişleme manşetin çevresine revetman kitlesine daha fazla su sağlayabilecek ıslak bir amyant tabakası sarılarak artırılabilir. Bu yöntem yani su ilave yöntemi higroskopik genişmeden yararlanılmasa da rutin olarak kullanılmaktadır.

Higroskopik genişlemenin mekanizması tam olarak açıklanamamakla beraber, alçı kristalleri arasına kapiller hareket sonucu giren suyun, alçı kristallerinin birbirlerini itmesine yol açması sonucu olduğu sanılmaktadır. Alçı bağlayıcı revetmanların higroskopik genişleme miktarı alçı model ve yalancı köklerin genişlemesinden daha fazladır.

Modifiye ediciler; revetmanın yapısında, alçı ve silikanın yanında renk maddeleri gibi modifiye ediciler ve karbon gibi düzenleyici (indirgeme) maddeleri bulunur. Düzenleyiciler altın alaşımlarının dökümü sırasında, kalıpta okside edici olmayan bir atmosfer oluşturmak amacıyla kullanılır.

Alaşımın büzülmesini karşılaması amacıyla revetmanda sertleşme genişmesi istenir. Borik asit ve sodyum klorür gibi eklenen bazı modifiye ediciler yalnızca sertleşme genişmesini ayarlamakla kalmaz, alçının 300°C'nin üstünde ısıtılması durumunda meydana gelen büzülmenin büyük kısmını da önler.

Alçı tek başına, revetman olarak dökümlerde kullanılamaz. Çünkü ısıtılınca suyunu kaybederek büzülür ve döküm ısısına ulaşmadan çatlar. 320°C üzerinde hızla artan büzülme revetmanlara sodyum klorit ve borik asit ilave edilerek büyük oranda azaltılır.

### **2.2.1.1. Alçı Bağlı Revetmanlarda Genleşme**

Revetmanlarda sertleşme süresinin 5 dakikadan kısa, 25 dakikadan uzun olmaması istenir. Günümüzde kullanılan revetmanlar 9-18 dakika arasında sertleşir. Sertleşme işlemi esnasında yapısındaki maddelerden dolayı revetmanlarda genleşme olayı ortaya çıkar.

Dökümün istenilen boyutlarda elde edilebilmesi için üç tip genleşmeden yararlanılabilir: sertleşme, higroskopik ve ısısal.

**Normal Sertleşme Genleşmesi:** Alçı, silika ile karıştırıldığında sertleşme genleşmesi artar. Silika partikülleri, sertleşme sırasında oluşan kristallerin içine girerler. Kristaller dışı doğru büyür ve görülebilir bir genleşme meydana gelir.

Alçı bağlı revetman karıştırıldıktan sonra sertleşirken bir miktar genişir ve kalıbın hafifçe genişlemesine neden olur. Karışımdaki toz ve su oranı değiştirilerek genleşmenin az veya çok olması sağlanabilir. Suyun az kullanılması, karıştırma süresinin uzatılması ve ilave bir tampon maddesinin kullanılması genleşmeyi artırır.

Genel olarak, I. Tip revetman için maksimum sertleşme genleşmesini %0.5 ile sınırlar. Çok kullanılan, modern dental revetmanların sertleşme genleşmesi %0.4'dur. bu modifiye edicilerle ayarlanabilir.

Sertleşme genleşmesinin amacı, revetman kalıbın genişlemesi ve dökümün büzülmesini kısmen önlemektir.

Revetmanın normal sertleşme genleşmesi, alçıda olduğu gibi lineer boyutsal değişimlerin ölçülmesiyle görülebilir. Ancak bu yol, revetmanın normal kullanım şartlarında gösterdiği gerçek genleşme katsayısını hassas bir şekilde ölçemez.

Sertleşme genleşmesini etkileyen birçok değişken mevcuttur. Sertleşme genleşmesinin mum örneği içeren manşeti genişletmedeki etkinliği, örneğin revetmanın sertleşmesi sırasında ortaya çıkan reaksiyon ısıyla gösterdiği termal genleşmeye bağlıdır. Buradan, sertleşme genleşmesinin etkinliğinin, muma aktarılan ekzotermik ısı miktarına bağlı olduğu ortaya çıkar. Ortaya çıkan ısı, revetmanın alçı miktarına bağlıdır. Dolayısıyla yüksek alçı içeren revetman kalıbın genleşme etkinliği, düşük alçı

içerenlere oranla çok daha yüksektir. Benzer olarak, düşük su/toz oranı gibi şartlar ekzotermik ısıyı artırarak sertleşme genişmesini artırır.

Bunun yanında mum örneğe bağlı olarak revetman kalıbın şekli de genişme üzerinde etkilidir. Eğer kronun duvarları ince ise, sertleşme genişmesi kalın duvarlı krona göre daha fazladır. Çünkü revetman ince duvarları daha kolay iter.

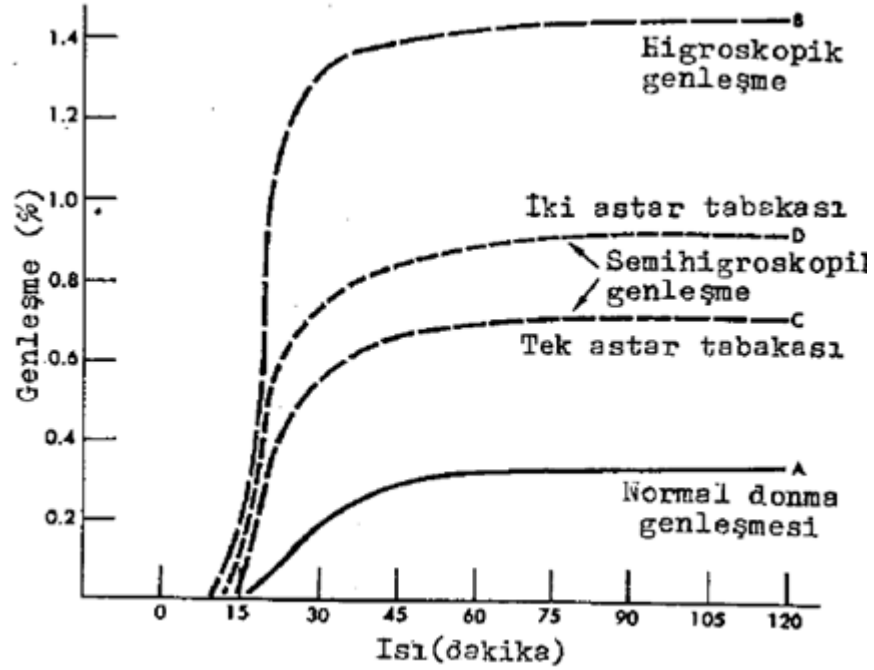
Ayrıca mum ne kadar yumuşak ise genişme o kadar fazla olur. Yumuşak mum kullanılırsa sertleşme genişmesi şekilde önemli distorsiyona sebep olabilir.

Revetmanın sertleşme genişmesi için gerekli toleransın bırakılması gerekir. Metal manşet ve tij yolu sertleşme genişmesini önleyebilir. Öyle ki sertleşme genişmesinin bu şekilde önlenmesinden dolayı döküm daha küçük çıkabilir. Bu küçülme, sertleşmenin önlenmesinden kaynaklanan ters basınçtan dolayı olabilir. Bu dezavantaj sertleşme genişme kuvveti ile hacimsel büyüme gösteren üç parçalı veya çok esnek lastik manşetler kullanılmak sureti ile giderilebilir.

Bu sertleşme genişmesinin önlenmesini ortadan kaldırmak için en çok kullanılan yol manşeti sertleşme genişmesine karşı bir yastık oluşturacak asbest tabakası veya benzeri bir malzeme ile astarlamaktır. Bu astarlama aynı zamanda metal manşet tarafından revetmanın termal genişmesinin kısıtlanmasını da önler. Vakumla revetmanlama esnasında astarın bükülmesini önlemek amacıyla manşet kuru iken astar ile kaplanıp ek noktalarından yapışkan bir mum ile tutturulur. Bu astarlanmış manşet daha sonra tam su emmesi sağlanacak süre kadar su içinde tutulur. Aşırı su silkelemek sureti ile uzaklaştırılır. Astarı sıkıştırmakta suyu uzaklaştırmanın değişik bir şeklidir.

Astarlama, revetmanda daha fazla sertleşme genişmesi sağlamakla kalmayıp, emilmiş su Şekil 2.7'de görüldüğü gibi sertleşme sırasında revetmanın içine çekilerek semihigroskopik bir genişmeye sebep olur.





Şekil 2.7: A: Normal sertleşme, B: Higroskopik sertleşme, C ve D: Bir ve iki astar tabakası ile kaplanmış manşetin kısıtlanmış genleşmesi.

Manşet bir astar tabakası ile kaplandığında (C), normal sertleşme genleşmesinden daha fazla bir artış olur. Daha kalın astarlama veya iki tabaka ile astarlama (D), hem daha fazla semihigroskopik genleşme oluşturur hem de revetmanın normal sertleşmesinin sınırsız bir şekilde meydana gelmesine olanak sağlar. Bu gözlem çok avantajlıdır. Genleşme ufak bir oranda artırılmak isteniyorsa bir kat astar yerine iki kat astar kullanılabilir. Her iki durumda da astarın kalınlığı 1 mm'yi geçmemelidir.

Astarın istenen uzunluğu halen tartışma konusudur. Eğer astarın boyu, manşetinkindne kısa ise revetman, manşetin uçlarına sıkışır. Manşetin uçlarında astarlanmış olduğu durumla karşılaştırıldığı zaman yatay sertleşme ve higroskopik genleşme sınırlıdır.

Ancak revetmanın sınırlı olmayan yöne yani uzunlamasına olan genleşmesi manşete doğru olan yatay yöndekinden daha fazladır. Bu yüzden uzunlamasına olan genleşmenin azaltılması gerekir. Astarın manşetin kısa uçlarına yerleştirilmesi (3 mm) daha düzenli bir genleşme oluşturup mumda ve kütleinde daha az distorsiyon oluşturur.

**Higroskopik Genleşme:** Bu durum, sertleşme sırasında su ilave edildiğinde ortaya çıkar. Genellikle bu işlem dökülmesinden hemen sonra 1 saat süre ile 37°C'lik su banyosunda bekletilmesi ile sağlanır. Bu uygulama genleşmenin artmasına ve daha düşük ön ısıtma işlemine izin verir. Tampon maddenin ıslak olarak kullanılması da belirli ölçüde higroskopik genişemeye imkan verir.

Alçı ürününün suyla temas ettirilerek veya su içinde sertleşmesi durumunda meydana gelen higroskopik sertleşme genleşmesi normal sertleşme genleşmesinden farklı ve daha büyüktür. Dental revetmanın higroskopik sertleşme genleşmesi normal sertleşme genleşmesinden altı yedi kat daha fazla olabilir.

Higroskopik sertleşme genleşmesi devamlı bir işlemdir. Çünkü eklenen su, hidrasyon suyunun yerini alarak büyüyen kristallerin, aşırı suyun yüzey gerilimi tarafından tutulmasını önler.

Kuartz partiküllerinin seyreltme etkisinden dolayı, bu revetmanlardaki sertleşme genleşmesi, alçı bağlayıcısının tek başına kullanıldığı revetmanlardan çok daha yüksektir. Bu olay tamamen fizikseldir. Higroskopik genleşme için mutlaka hemihidrat gerekli değildir. Diğer tip revetmanlar da; su altında sertleştirilirse genleşme gösterirler. Su tanecikleri kapiller olarak etkileyerek partiküllerin ayrılmasına ve genişemeye sebep olur. Eğer bir bağlayıcı yoksa, bu etki devamlı değildir ve su ayrıldıktan sonra tekrar eski haline döner.

Silika veya diğer doldurucuların miktarı ne kadar fazla ise eklenen su sertleşen maddeye çok daha kolay bir şekilde difüzenir ve genişemede o kadar fazla olur.

Sertleşme başladıktan sonra su katılması durumunda, higroskopik genleşme daha az olur. Çünkü kristallenmenin bir kısmı normal bir şekilde başlamıştır. Bazı kristaller su katıldıktan sonra daha fazla kristal büyümesini önler. Aynı nedenle daha az su katılması durumunda genleşme daha düşüktür, yani yüzey geriliminin karşı etkisi daha azdır.

***Higroskopik Sertleşme Genleşmesine Etki Eden Faktörler;***

***Bileşim:*** Higroskopik sertleşme genleşmesinin büyüklüğü diğer faktörleri aynı olması şartı ile yapısındaki silika miktarına bağlıdır. Silika tanecikleri ne kadar küçükse genleşme de o kadar fazla olur. Silika ortamda olduğunda  $\alpha$ -hemihidrat,  $\beta$ -hemihidrattan çok daha büyük higroskopik genleşmeye sebep olur.

Dental revetman, higroskopik genleşmeden sonra yeterli dayanıklılık oluşturmak için silika ile yeterli miktarda hemihidrat bağlayıcı içermelidir. Aksi halde sertleşmiş revetman kururken bir büzülme meydana gelir. Kuruma büzülmesi için en az %15 bağlayıcı gereklidir.

***Su/Toz oranı:*** Revetman karışımının su/toz oranı ne kadar yüksekse higroskopik sertleşme genleşmeside o kadar azdır.

***Karıştırma:*** Revetmanların çoğunda karıştırma süresi ne kadar düşük tutulursa higroskopik genleşme o kadar küçük olur. Bu faktör sertleşme genleşmesini kontrol etmekte de oldukça önemlidir.

***Saklama süresi:*** Revetman ne kadar eski ise higroskopik genleşmesi o kadar azdır. Bu nedenle ihtiyaçtan fazla revetman almaktan kaçınılmalıdır.

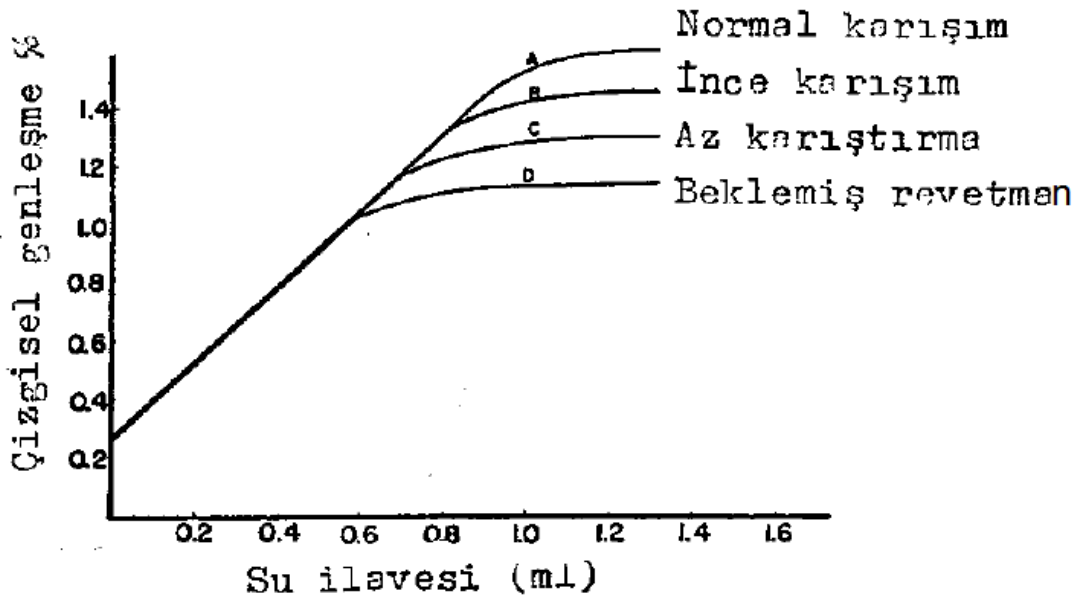
***Su banyosuna daldırmanın etkisi:*** Revetman ne kadar uzun su banyosuna daldırılırsa revetmanın sertleşmesi de o kadar geciktirilmiş olur. Higroskopik genleşme de daha az meydana gelir.

***Bekleme etkisi:*** Hem normal hem de higroskopik sertleşme genleşmesi revetmanın konulduğu manşet veya mum örneğin duvarlarının yaptığı karşı kuvvetlerce tutulur. Ancak bu bekleme etkisi higroskopik genleşme üzerinde normal genleşmeden daha fazla kendini gösterir. Dolayısıyla etkin higroskopik sertleşme, beklenen genleşme oranını normal sertleşme genleşmesinden daha düşük gösterir.

***Eklenen su miktarının etkisi:*** Revetman su içerisine daldırılarak gerekli olan su miktarını emmesi düşünülmektedir. Ancak higroskopik sertleşme genleşmesinin miktarı sertleşen revetmana eklenen su miktarı ile kontrol edilebilir.

Higroskopik genişlemenin büyüklüğü maksimal genişleme olana kadar geçen sürede direkt olarak eklenen su oranına bağlıdır. Daha sonra eklenen su miktarı ile bir genişleme gözlenmemektedir.

Şekil 2.8’de, önce de belirtilen bazı faktörlerin maksimum higroskopik genişleme miktarı üzerindeki etkisi, eklenen su miktarına göre verilmiştir.



Şekil 2.8: Belli hazırlama faktörlerinin higroskopik genişleme üzerindeki etkisinin eklenen su miktarına göre değişimi.

Görüldüğü gibi bu faktörlerin maksimal genişleme üzerindeki etkileri tahmin edildiği gibidir. Buradaki en önemli konu, maksimal genişlemenin altında higroskopik genişlemenin büyüklüğü yalnızca eklenen su miktarına bağlı olup su/toz oranı, karıştırma miktarı, revetmanın bileşimi ve saklama süresinden bağımsızdır.

**Isısal (Termal) Genleşme:** Kuartz bağlı revetmanın termal genişmesi, kullanılan silikanın tipine ve miktarına bağlıdır.

Revetman yanma fırınında ısıtıldığında meydana gelir. Revetman içerisindeki silika refraktör materyalin faz değişimi, bu olaydan sorumludur.

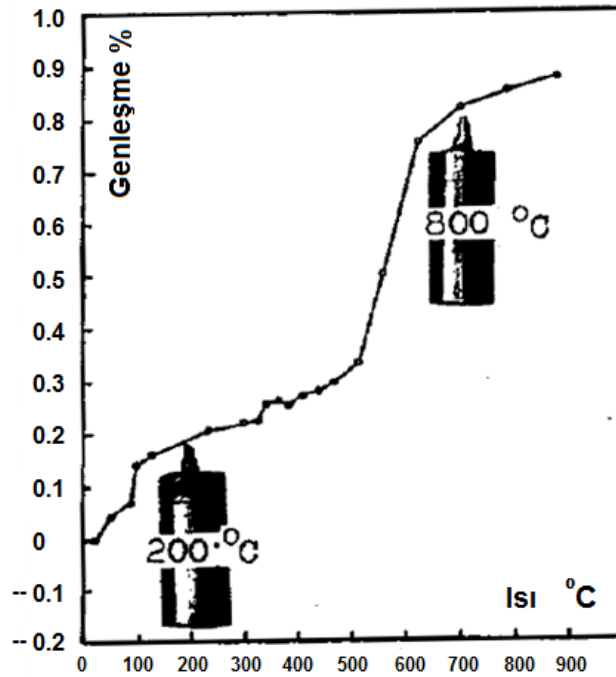
Alçının ısıtılması sırasında meydana gelen büzülme karşılamak amacıyla büyük oranda kuartz gereklidir. Revetmanın %60'ı kuartz, geri kalanı da hemihidrat bağlayıcı olsa bile, hemihidratın başlangıç büzülmesini ortadan kaldırmak mümkün değildir. Alçının büzülmesi ancak %75 kuartz miktarı ile tam olarak karşılanabilir.

Eğer yeter miktarda sertleşme genişmesi mevcut  $700^{\circ}\text{C}$ ' da yapılan bir döküm büyük olasılıkla modele iyi oturur.

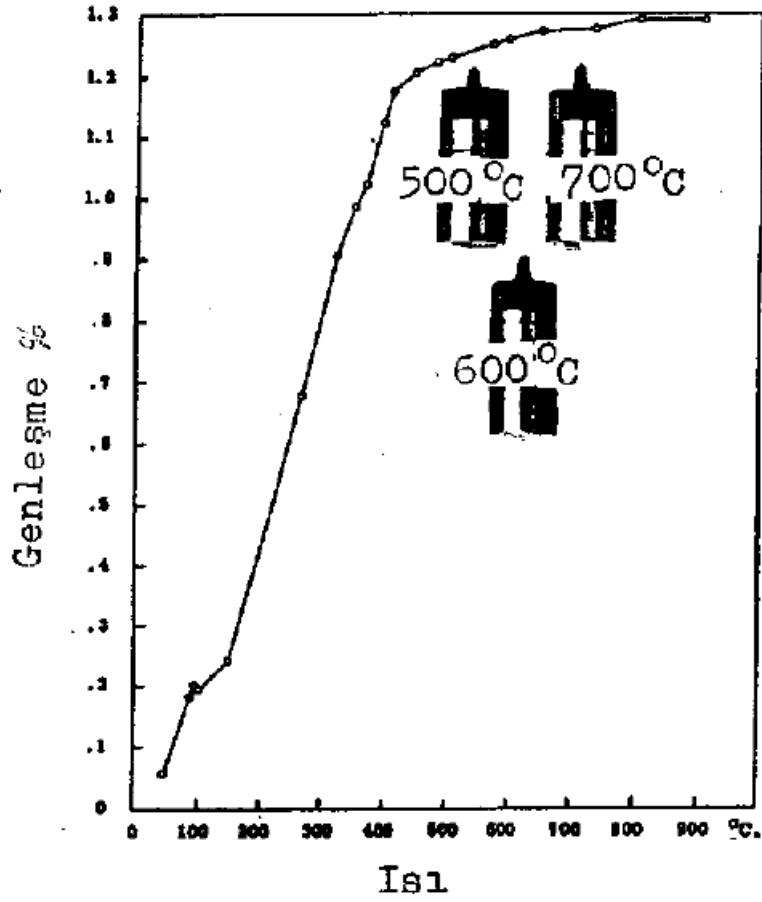
Kuartz revetmanlarının termal genişleme eğrileri; kuartzın partikül boyuna, kullanılan alçı bağlayıcısının tipine ve uygun bir karışım oluşturmak için kullanılan su/toz oranına bağlıdır.

Kristobalit dönüşümü sırasında çok daha yüksek genişleme göstermesi dolayısıyla ısıtma sırasında alçının gösterdiği büzülme kolayca karşılanmaktadır.

Ayrıca genişleme, kristobalite, kuartzdakinden çok daha düşük dönüşüm sıcaklığında meydana gelir (Şekil 2.9-2.10).



Şekil 2.9: % 25 alçı, %75 kuartz ihtiva eden revetmanın termal genişmesi.



Şekil 2.10: Kuartz yerine kristobalit ihtiva eden revetmanın termal genişmesi.

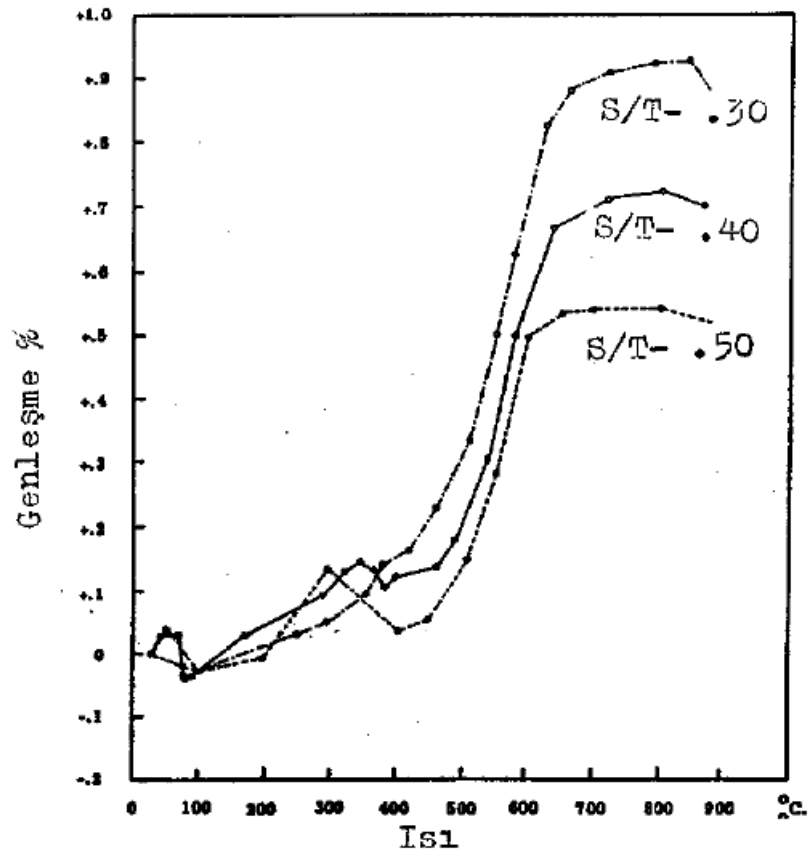
Şekillerde görüldüğü gibi kristobalit ihtiva eden revetman, kuartz ihtiva eden revetmana göre çok daha önce ve çok daha fazla genişlemeye uğrar. Bazı modern revetmanlar genellikle hem kuartz hem de kristobalit içermektedir.

Dental bir revetmanın termal genişmesinin büyüklüğü kullanımına bağlıdır. Eğer II. Tip revetmanlarda olduğu gibi alaşımın büzülmesini karşılamak için higroskopik genişleme istenirse termal genişmenin %0.0 ile %0.6 arasında bulunması gerektiği bulunmuştur. Büzülmenin karşılanması için termal genişmeye güvenilen I.tip revetmanlarda ise termal genişmenin %1.0 ile %2.0 arasında olması gerekir. Ancak mevcut spesifikasyonlarda maksimum ve minimum birleşik sertleşme veya higroskopik genişme ve buna karşılık gelen termal genişmeler belirlenmiştir.

### *Termal Genleşmeye Etki Eden Faktörler*

#### *Su/tuz oranı*

Termal genişlemenin büyüklüğü toz oranının büyüklüğüne bağlıdır. Revetmanın karıştırırken ne kadar çok su kullanılırsa termal genişlemenin o kadar az olması beklenir (Şekil 2.11). Şekilin değerlendirilmesi yapıldığında, ideal bir kompensasyon için su/toz oranının ölçülmesi gerekliliğini ortaya koyar. Çünkü su/toz oranındaki değişimler belirgin bir etki meydana getirmektedir.



Şekil 2.11: %20 alçı, %80 kuartz ihtiva eden revetmanın termal genişmesi üzerinde su/toz oranının etkisi.

### ***Modifiye ediciler***

Revetman, içerdiği silikanın aşırı miktarı ile zayıflar. Revetmana az miktarda sodyum, potasyum veya lityum klorürleri katmak suretiyle alçı büzülmesinin giderilmesinin yanında aşırı miktarda silika kullanılması da önlenmiş olur.

Borik asit de benzer bir etkiye sahiptir. Ayrıca, sertleşmiş revetmanın daha da sertleştirir. Ancak borik asit, revetman ısıtıldığında ayrışarak döküm yüzeyinin kabalaşmasına neden olur.

Klorürler yaklaşık 700°C’de alçı büzülmesini minimuma indirirler.

Revetman 700°C’den itibaren soğutulursa,  $\beta$  kuartz veya kristobalitin oda sıcaklığında kararlı olan formuna dönüşürken, büzülme eğrisi genleşme eğrisini takip eder. Gerçekte revetman, orjinal boyutlarından çok az bir miktarda büzülme yapar. Bu büzülme, ilk ısıtmada alçının büzülmesinden kaynaklanır. Eğer revetman tekrar ısıtılırsa, ilk ısıtıldığı zamanki maksimum değerine doğru termal olarak genişir. Ancak pratikte, revetmanın ikinci kez ısıtması yapılmamalıdır. Çünkü bu durumda iç yarılmalar meydana gelebilir.

### **2.2.2. Fosfat Bağlı Revetmanlar**

Metal-seramik restorasyonların kullanımındaki olağanüstü artış, alçı bağlı revetmanlarla kullanılmayan yüksek erime ısıyla alaşımlarının kullanımını gerekli kılmıştır. Bununla beraber temel metal alaşımlarının kullanılmalarının artması da fosfat bağlı revetmanlarının kullanımını gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak günümüzde fosfat bağlı revetmanlar, alçı bağlı revetmanlardan daha popülerdir.

***Bileşim:*** Fosfat bağlı revetmanlar, yanmaz bir doldurucu içerir. Bu doldurucu %80 kontrasyonunda kristobalit veya kuartz veya ikisinin karışımı şeklinde silikadır. Doldurucu maddenin amacı, yanmazlık ve yüksek termal genleşme sağlamaktır.

Bağlayıcı, magnezyum oksit (bazik) ve fosfat (asidik) ihtiva eder. Orjinal olarak fosforik asit kullanılmaktadır. Ancak fosforik asitin kullanımının zor olması, bunun yerini monoamonyum fosfatın almasına neden olmuştur. Fosfat bağlı revetmanlarda toz, sulu kolloid silika süspansiyonu ile karıştırılır.



Bu materyaller silika, magnezyum oksit ve amonyum fosfat ihtiva eden tozlardır. Su veya kolloidal silika solusyonu ile karıştırılınca fosfat ile oksit arasında bir reaksiyon oluşarak magnezyum amonyum fosfat oluşur.



Bu ise silikayı bir arada tutarak revetman kalıbı oluşturur. Magnezyum amonyum fosfat bir hidratasyon reaksiyonu sonucu meydana gelir, bunu daha sonra alçı taşının oluşmasına benzeyen kristalizasyon takip eder. Yine alçıda olduğu gibi dışı doğru büyüyen kristallerin itmesi sonucu bir miktar genleşme meydana gelir. Materyal sertleşme esnasında nemli bir ortamda bırakılırsa higroskopik genleşmeye uğrayabilir. Nem kullanılmamış tozu kötü etkiler. Bu nedenle revetman kutularının kapakları kullanılmadığı zamanlar sıkı bir şekilde kapatılmalıdır.

Toz su yerine kolloidal silika ile karıştırılırsa iki etki meydana gelir. Bir yandan sertleşme genleşmesi artar, diğer yandan da sertleşmiş revetmanın mukavemeti artar [4].

Yeni altın alaşımları ve metal – seramik alaşımları, geleneksel altın alaşımlarından daha yüksek erime ısılarına sahip olduklarından, katılaşma sırasında gösterdikleri büzülme de fazladır. Bu da revetmanın daha fazla genleşmesini gerektirir. Fosfat bağlı revetmanlarda kolloid-silika süspansiyonu kullanılarak bu gerçekleştirilir. Kolloid-silika çözeltisi soğuk havada sertleştiğinden işlemi basitleştirmek ve taşınmayı kolaylaştırmak amacıyla, karıştırma sıvısı olarak suyun kullanıldığı fosfat revetmanları kullanılmaktadır.

Temiz bir döküm elde edebilmek ve dökümü kolayca çıkarabilmek için revetmana karbon ilave edilir. Eğer dökülen alaşım altın ise karbonun herhangi bir zararı olmaz. Ancak Ag-Pd ve diğer temel alaşımların dökümünde kullanılan fosfat revetmanlarda karbon kullanımı konusunda tartışmalar vardır. Karbonun yanma sıcaklığında kadar ısıtma durumunda alaşımın kırılğan olduğu iddia edilmektedir. Palladyumun 1504°C’ın altında karbonla reaksiyona giremediği, çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu nedenle yüksek palladyum içeren bir alaşımın döküm sıcaklığı bu noktayı aşacağından karbon içermeyen bir fosfat revetmanı kullanılmalıdır.

Ayrıca, alaşım eritilirken kullanılan pota karbon potası olmamalıdır. Metal- seramik alaşımları ve altın alaşımları da kömür potalarda eritilmemelidir. Çünkü alaşıma kuvvet veren eser elementler ya uzaklaşır ya da istenen seviyenin altına düşer.

Yüksek ısıya karşı alçı bağlı revetmanların dayanıksız olması, fosfat bağlı revetmanları gündeme getirmiştir. Fosfat bağlı revetmanlar %80 oranında kristobalit ve kuvars ile bağlayıcı olarak magnezyum oksit ve fosfat içerir. Fosfat bağlı revetmanların sertleşmesini ortam ısı etkiler. Sıcaklık arttıkça sertleşme süresi kısalmaktadır [1].

Fosfat bağlı revetmanlar çok daha kuvvetlidir ve alçı bağlı revetmanlara göre çok daha yüksek ısıya dayanıklıdır. Metal-seramik alaşımlarından birçoğu 1200°C civarında eridiğinden soğuma sırasında ilave bir büzülme gösterir. Bunu kompanse etmek için daha geniş bir kalıp gereklidir. Bu ilave genleşme fosfat bağlı revetmanlarla sağlanabilir.

Alçı bağlı revetmandan temel farkı, bağlayıcı olarak magnezyum oksit ve amonyum fosfat bileşimi içermesi ve silika refraktör materyalinin nisbeten yüksek konsantrasyonudur.

Bu revetmanların birçoğu özel olarak hazırlanmış kolloidal silikanın sudaki suspansiyonları ile karıştırılır. İçerisinde karbon bulunan fosfat bağlı revetmanlar baz metallerle kullanılmamalıdır. Çünkü karbon mevcudiyetinde baz metal alaşımları kırılabilir hale gelir. Bu revetmanlar, yüksek altın veya palladyum içeren alaşımlarda kullanılırlar.

Kolloidal silika çözeltisi ve su oranlarının değiştirilmesi ile genleşme çeşitlendirilebilir:

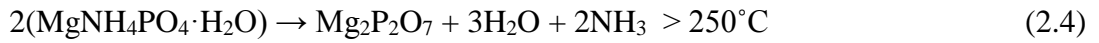
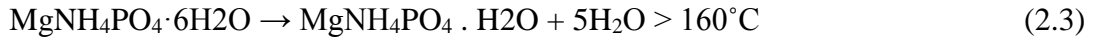
1. Daha fazla kolloidal silika ve daha az su=daha fazla genleşme
2. Daha az kolloidal silika ve daha fazla su=daha az genleşme

Alçı bağlı revetmanlara kıyasla çalışma süreleri daha kısadır. Bu materyallerin ekzotermik reaksiyonları sertleşmeyi hızlandırır. Uzun karıştırma süresi sertleşme reaksiyonunu ve ısı artışını belirgin bir şekilde artırır, böylece de çalışma süresi kısalmaktadır. Reaksiyon sırasında gaz oluşumu söz konusu olup dökümde nodüllere neden olacağından vakum uygulaması gereklidir [6].

Dökümden önce revetmanın ısıtılmasıyla hem ısı hem de kristal yapının dönüşümüne bağlı genişleme meydana gelir. Isı genişmesi koloidal silika ile karıştırılan revetmanlarda su ile karıştırılanlara göre daha fazladır. 300°C civarında aşağıdaki reaksiyon sonucu amonyak ve su açığa çıkar:



Ancak fosfatlar epey karmaşık olup, reaksiyon yukarıdaki kadar basit değildir. Bu reaksiyonda oluşan magnezyum amonyum fosfatın polimerik olduğu öne sürülmüştür. Magnezyum ve mono amonyum fosfat eşit oranlarda bulunmaktadır. Ancak daima aşırı magnezyum mevcuttur ve bir kısmı asla tam reaksiyona girmemektedir. Oluşan madde aşırı MgO ve bağlayıcıların çevresinde biriken koloidal ve multimoleküler ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )'dir.



Daha yüksek ısılarda kalan fosfatın bir kısmı silika ile reaksiyona girerek silikofosfat komplekslerini oluştururlar. Bu ise döküm ısısında materyalin dayanıklılığını belirgin şekilde artırır [1].

Sonuç ürün, biraz artı MgO ve değişmemiş kuartz ve/veya kristobalitle birlikte  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 'dir. Revetman aşırı ısıtılır veya erimiş metal manşet duvarına temas ederse  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  meydana gelir.

### ***Sertleşme ve Termal Genleşme:***

Teorik olarak reaksiyon sonucunda, alçı ürünlerinde olduğu gibi bir büzülme meydana gelmesi gerekirken, pratikte hafif bir genişleme olur. Bu genişlemeyi su yerine, koloidal silika çözeltisi kullanmak suretiyle artırmak mümkündür. Bu işlemi yapmak suretiyle, fosfat revetmanlarında büyük bir genişleme oluşturarak avantaj sağlanabilir. Kolloid süspansiyonu konsantrasyonunun, sertleşme ve termal genişleme üzerinde etkisi Şekil 2.12'de gösterilmiştir.

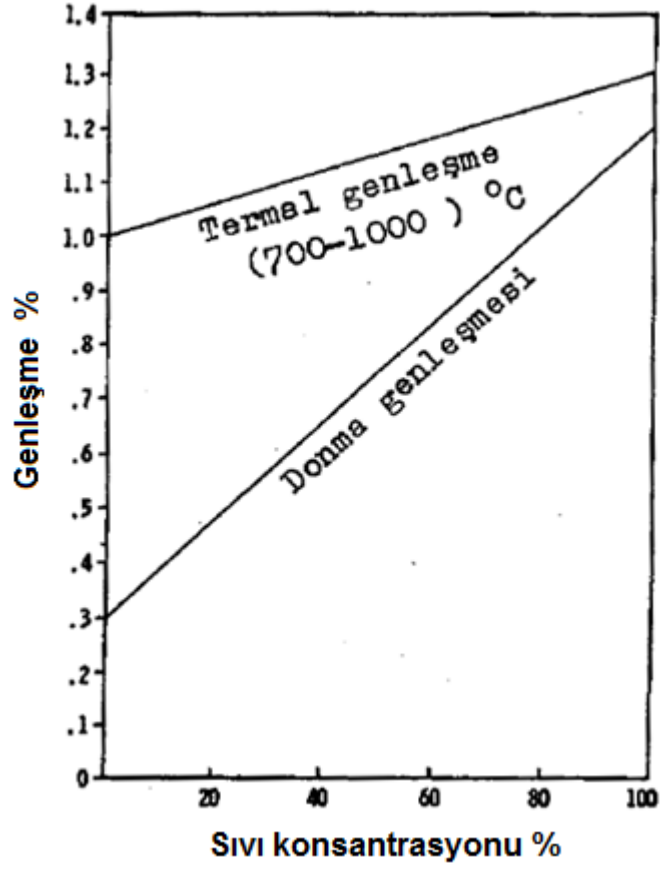
Su ile karıştırılan fosfat bağlı revetman ve özel bir sıvı ile karıştırılan fosfat bağlı revetmanın karıştırılması Şekil 2.13'de yapılmıştır. Fosfat revetmanları su ile karıştırıldıklarında alçı bağlı revetmanlar ile aynı sıcaklıkta, büzülme gösterirler (200-400°C). Bu büzülme su yerine koloidal silika kullanılması durumunda pratik olarak elimine edilir.

Fosfat bağlı revetman kullanıldığında, genişlemenin azaltılması, özel sıvı konstrasyonunun azaltılması yerine su/toz oranını artırılması yoluyla gerçekleştirilebilir.

Fosfat revetmanların termal büzülmesi, magnezyum amonyum fosfatın bozunmasından kaynaklanır ve amonyak çıkışıyla kendini gösterir. Ancak bu büzülme yanmaz doldurucunun, özellikle kristobalitin genişmesiyle maskelenir.

#### ***Çalışma ve Sertleşme Süreleri:***

Alçı revetmanlardan farklı olarak fosfat revetmanları sıcaklıktan büyük oranda etkilenir. Karışım, ne kadar sıcaksa, o kadar çabuk sertleşir. Sertleşme reaksiyonunun ısı vermesi de, sertleşme hızını arttırır. Karıştırma süresi ne kadar uzunsa daha hızlı sertleşme ve sıcaklık artışına sebep olur. Genel olarak karıştırma ne kadar hassassa döküm o kadar düzgün ve hassas olur. En ideal karıştırma tekniği revetmanlama için yeterli süreyi oluşturarak mümkün olduğunca uzun karıştırmaktır. Vakum altındaki karıştırma tercih edilir.

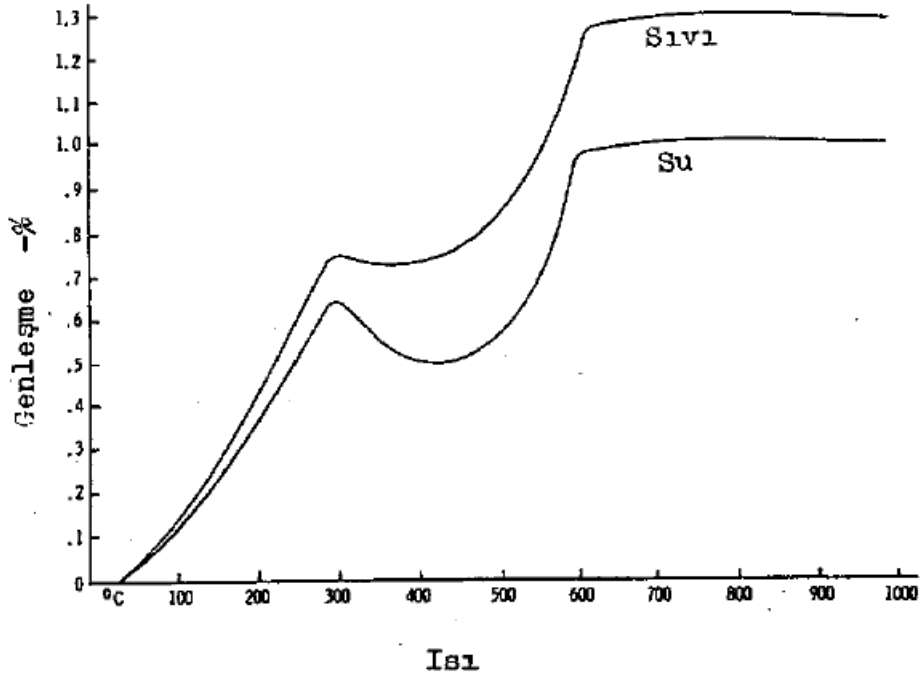


**Şekil 2.12:** Sıvı konsantrasyonunun fosfat bağlı revetmanların sertleşme ve termal genleşmesi üzerindeki etkisi.

Çalışma ve sertleşme süresini etkileyen üçüncü değişken ise, kullanıcının tercihinine bağlı olarak değiştirilen sıvı/toz oranıdır. Sıvı/toz oranını artırmak çalışma süresini artırır. Bu süre, üreticinin tavsiye ettiği S/T oranına, yüksek hız (1750 rpm) ve tavsiye edilen süreye göre son derece kısa olabilir (2 dakika veya daha kısa). Bu durumla, laboratuvar sıcak ve sıvı soğutulmamışsa çok karşılaşılır.

Fosfat revetmanları çok kuvvetli görünmelerine rağmen yanma sırasında bozucu etkilere maruz kalırlar. İlk önce mum yumuşar daha sonra revetmandan çok daha hızlı bir şekilde genleşir. Revetmanlarken her mum örneğin etrafında 3-6 mm'lik revetman bırakmak ve birkaç örnek yerleştirilecekse bunları manşet içerisine yaymak gerekir. Aynı düzlem içinde birden fazla mum örnek olması, olağanüstü bir basınç oluşturur ve özellikle fosfat bağlı olanlar dahil olmak üzere her türlü revetmanı kırar. Kristobalitin

300°C'da gösterdiği büyük genleşme, kırılmayı önlemek için yavaş yavaş ısıtılmasını gerektirir. Sıcaklık 400°C'ı geçince ısıtma hızı korkmadan artırılabilir.



**Şekil 2.13:** Fosfat bağlı revetmanların suyla karıştırılması ve özel sıvı kullanılması durumunda termal genleşmeleri.

Alaşımın erime aralığına bağlı olarak 700-900°C arasında yapılan yanmadan sonra döküm yapılır. Fosfat bağlı revetmanların geçirgenliği alçı bağlı olanlara oranla düşüktür. Dolayısıyla alçı kalıbı için gerekli döküm basıncı daha yüksektir.

Fosfat bağlı revetmanlar kullanıldığında, dökümün temizlenmesi çok zordur. Çünkü bu madde yumuşak alçı ürünü içermez. Ayrıca partiküller genellikle geniş kuartz grenleri ihtiva ederler. Altın içeren alaşımlar da olduğu gibi bazı durumlarda revetman dış yüzeyden kolayca kırılarak uzaklaşır. Diğer alaşımlarda ise revetman inatçı bir şekilde yapışır ve temizlenmesi için ultrasonik temizleyici gerekir. Ne fosfat bağlayıcısı ne de silika yanmaz maddesi hidroklorik veya sülfirik asitte çözünmez. Soğuk hidroflorik asit altın-palladyum-gümüş alaşımında silika yanmaz maddesini kolaylıkla çözer, ancak

alaşım gümüş- palladyum esaslı ise dikkatli olunması gerekir. Ayrıca hidroflorik asit kullanımını için tecrübe gereklidir.

### 2.2.3. Silika Bağlı Revetmanlar

Bu materyaller toz halindeki kuartz veya kristobalitin silika jeli ile bağlanmasından meydana gelir. Isıtma sonucu silika jeli silikaya dönüşür ve revetman kalıp birbirine sıkıca bağlı silika partiküllerinden oluşur.

Bağlayıcı solusyon genellikle etil silikat veya onun oligomerlerinin seyreltik hidroklorik asit ve ispirto ile karıştırılmasından elde edilir. İspirto, etil silikat ile suyun karışmasını kolaylaştırır, çünkü normal koşullarda iki likit birbiri ile karışmaz, birbirleri içinde erimezler. Etil silikat yavaşça hidrolize olur ve yan ürün olarak etil alkol açığa çıkar.



Alkali ortamda, silisik asit kuartz veya kristobalit tozu ile karışarak silika jeli oluşturur. İstenilen pH toz içine magnezyum oksit konularak elde edilir.

Hidrolize edilmiş etilsilikat solusyonları genellikle koyu renkli cam şişelerde hazırlanır ve korunur. Solusyon zamanla jel haline geçer ve 3-4 hafta sonra viskozitesi artar. Bu durumda yeni solusyon hazırlamak gerekir.

Piperidin gibi aminlerle hidroliz ve jelasyon aynı anda sağlanabilir. Ancak böyle bir işlem hidroliz reaksiyonu sonucu kabul edilemeyecek bir büzülmenin oluşmasına neden olur.

Materyalin döküm ısısında yeterli dayanıklılıkta olabilmesi için bağlayıcı solusyon içine mümkün olduğu kadar fazla toz katılması gerekir. Bu büyük ve küçük partikül büyüklüğündeki tozların beraberce kullanılmasıyla sağlanır. Böylece küçük tozlar büyükler arasındaki mesafeyi doldururlar. Oldukça katı kıvamda bir revetman karıştırılır ve partiküllerin birbirine yaklaşması için titreştirilir. Böylece dayanıklı bir revetman kitlesi elde edilir.

Manşet ısıtılırken, ilk dönemde bir miktar büzülme meydana gelir. Bu jel içindeki suyun ve alkolün kaybedilmesidir. Büzülme ısının artması ile yerini ısı genişmesine ve daha sonra silikanın kristal yapısının dönüşümüyle oluşan genişmeye bırakmaktadır [4].

Bu revetmanlarda bağlayıcı olarak silika kullanılır. Cr, alaşımlarının dökümünde kullanılır. Silisyum dioksit (deniz kumu) tozları daha kuvvetle birbirine tutunduğu için 850-1100°C arası sıcaklığa dayanırlar.



## 2.3. REVETMANLARIN ÖZELLİKLERİ

### 2.3.1. Isısal Stabilité

Revetmanlarda aranan en önemli özelliklerden biri, döküm ısısında bütünlüğünü koruyabilmesi ve erimiş alaşımın döküm boşluğuna girmesi esnasında oluşan yüksek gerilimlere dayanabilmesidir.

Alçı bağı revetmanlar, 1200°C civarında silikanın kalsiyum sülfatla reaksiyonu sonucu, sülfür trioksit gazı açığa çıkararak parçalanırlar:



Bu olay yalnızca revetman kitlesinin zayıflamasına yol açmaz, meydana gelen gazlar dökümde poroziteye de neden olur. Bu nedenle alçı bağı revetmanların kullanımı 1200°C'nin oldukça altındaki ısılarla sınırlanmalıdır. Bu ısılarda, eriyebilen alaşımlar, altın alaşımları ve bazı düşük erime dereceli kıymetsiz alaşımlardır. Ancak kıymetsiz alaşımların büyük bölümü yüksek erime derecesine sahiptir ve silika veya fosfat bağı revetmanlarla dökülürler.

Alçı bağı revetmanların ısıtılması esnasında oluşabilecek bir başka reaksiyon ise kalsiyum sülfat ile karbon arasında geçer:



Burada karbon, mum maketin yanması sonucu kalan artık olabileceği gibi, revetmanın bileşiminden de gelebilir. Reaksiyon devam ederek sülfür dioksit açığa çıkabilir:



Bu reaksiyonlar 700°C üzerinde meydana gelir ve etkilerini giderebilmek için manşet fırında dökümden önce uzun süre bekletilmelidir. Böylece döküm öncesi reaksiyonlar tamamlanmış olur.

Bazı revetmanlarda var olan oksalat, karbondioksitin daha yüksek ısılarda açığa çıkmasını sağlayarak alçının parçalanmasını önler.

Kıymetsiz alaşımların dökümünde yüksek ısılara karşı dayanıklı fosfat ve silika bağlı revetmanlar kullanılır. Fosfat bağlı revetmanlarda silikofosfat oluşumu dayanıklılığı daha da arttırır.

Fosfat bağlı revetmanların koheziv dayanıklılıkları çok yüksek olduğundan, döküm sırasında metal manşetle desteklenmeleri gerekmez. Revetman genellikle dökümden önce çıkarılan plastik manşetler içine dökülür.

### **2.3.2. Porozite**

Döküm sırasında metalin erimesi ile içerideki hava dışarı çıkar. Bir dökümün gözeneksiz olması için gerekli havayı boşaltmanın en genel yolu revetmanın gözenekleridir.

Genel olarak revetman sertleştiğinde yapısındaki alçı miktarı ne kadar azsa gözenekliliği de o kadar az olur. Dolayısıyla hemihidrat miktarı ne kadar az ve karıştırma suyu ne kadar fazla ise, revetman o kadar gözeneklidir.

Alçı ve fosfat bağlı revetmanlar, döküm esnasında oluşan gazların kaçmasına olanak verecek bir poroziteye sahiptirler. Fakat silika bağlı revetmanlar hemen hemen porozitesiz bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle, döküm esnasında geri basınç olursa döküm eksik veya poröz çıkabilir. Bu problemler mum modelaj revetmana alınırken sisteme havalandırma çıkışları eklenerek ortadan kaldırılır.

### **2.3.3. Büzülmeyi Karşılamanın Genleşme**

Dökümün hassasiyeti, alaşımın büzülmesinin revetmanın genleşmesiyle karşılanmasına bağlıdır. Alaşımların farklı büzülme oranları vardır. Ancak genel olarak, altın alaşımları %1.4, nikel-krom alaşımları %2.0 ve kobalt-krom alaşımları %2.3 oranında büzülürler.

Genleşme, sertleşme genleşmesi, ısıl genleşme ve yüksek ısıda kristal yapının dönüşümüyle oluşan genleşmenin toplamıdır.

Higroskopik genleşmeden alçı ve fosfat bağlı revetmanlarda yararlanılır. Fakat fosfat bağlı revetmanlarda higroskopik genleşme çok az kullanılır.

Tipik bir alçı bağlı revetmanın sertleşme genleşmesi %0.3 kadardır. Bu miktar higroskopik genleşme ile yaklaşık %1.3'e kadar yükseltilebilir.

Isı genleşmesi miktarı kullanılan refrakter maddeye ve ısıtma ısısına bağlıdır. Kristobalit içeren revetmanlar kuvars içerenlere göre daha fazla genişirler. Eğer higroskopik genişmeden yararlanılırsa, ısı genleşmesine çok az gerek duyulur. Büzülmeyi karşılamak için esas olarak ısı genleşmesinden yararlanılacaksa, kristobalit içeren revetmanların 700°C civarında ısıtılması gerekir.

Silika bağlı revetmanlar sertleşme sırasında ve ısıtmanın erken dönemlerinde bir miktar büzülme gösterirler. Bu sertleşme reaksiyonu esnasında materyalin su ve alkol kaybetmesine bağlıdır. Isıtmanın devam etmesi sonucu oldukça fazla bir genişme meydana gelir. 600°C civarında genişme yaklaşık %1.6 oranına ulaşır.

Fosfat bağlı revetmanlar için özel silika jeli kullanılması halinde sertleşme ve ısı genleşmelerinin miktarı toplam olarak %2 kadar olur.

Alçı bağlı revetmanların altın alaşımlarındaki büzülmeyi karşılamalarına karşın, kıymetsiz alaşımlardaki büzülme silika ve fosfat bağlı revetmanlarca yeterince karşılanamamaktadır. Kıymetsiz alaşımlarda oluşan büzülme mevcut revetmanlarla karşılanamayacak boyuttadır ve bunun sorunlara neden olması beklenir. Ancak protezin yapım sürecinde diğer safhalarda oluşacak boyutsal değişmelerle bu büzülme karşılanabilir. Örneğin, ölçünün biraz büzülmesiyle istenen sonuca ulaşılabilir.

#### **2.3.4. Dayanıklılık**

Revetman, alaşımın ısıtılması veya dökümü sırasında kalıbın kırılmasını önleyecek kadar dayanıklı olmalıdır.

Çeşitli tekniklerle yapılan uyum çalışmalarında tüm dökümlerde sabit bir distorsiyon görülmüştür. Bu distorsiyon, alaşımın oda sıcaklığına doğru soğuması sırasında, revetmanın, dökümün termal büzülmesi yönünde yaptığı sınırlamadan kaynaklanır.

Revetmanın termal büzülmesi, alaşımın döküm sıcaklığı oda sıcaklığına düşmesi sırasındaki büzülmeye benzer olmasına karşın, 550°C'nin altına düşene kadar oldukça sabittir. Yani alaşım sıcak ve zayıf iken revetman dayanıklılığı ve sabit boyutundan dolayı, alaşımın büzülmesine karşı koyabilir. Bu daha sonra alaşımın sıcak kuvveti az ise döküm bozulmalarına hatta kırılmalara neden olabilir.

Bu nedenle, dental bir dökümün boyutsal hassasiyetini değerlendirirken, revetman kalıbın sıkıştırma dayanıklılığı ile genişmesi göz önüne alınmalıdır. İdeal olarak, revetman, alaşımın termal genişmesini karşılamak için yeterli genişlemeye sahip olmalıdır.

Revetmanın kuvveti genellikle sıkıştırma gerilimi altında ölçülür. Sıkıştırma kuvveti, kullanılan alçı bağlayıcısının tipi ve miktarına göre artırılabilir.  $\alpha$ - hemihidrat alçısı kullanılması durumunda revetmanın sıkıştırma kuvveti kesin bir artış gösterir. Kimyasal modifiye ediciler kullanılması, dayanıklılığın artmasına yardımcı bulunur. Çünkü bu durumda termal genişmede büyük bir azalma olmadan daha fazla bağlayıcı kullanılmış olur.

Alçı bağlı revetmanların 2 nolu spesifikasyonuna göre bir revetmanın sıkıştırma kuvveti sertleştikten 2 saat sonra test edildiği zaman 2.5 MPa'dan daha aşağı olmamalıdır. Bu şartı sağlayan tüm revetmanlar, altın ve alaşımlarının dökümü için yeterli dayanıklılığa sahiptir. Ancak daha geniş ve komplike dökümler yapılırken III. Tip bölümlü protez revetmanlarından istenildiği gibi daha yüksek dayanıklılık gerekir.

Bu revetmanın kuvveti aynen diğer alçı ürünlerinde olduğu gibi su/toz oranından etkilenir. Karşılaştırmada ne kadar çok su kullanılırsa sıkıştırma kuvveti o kadar azalır. Revetmanın 700°C'a kadar ısıtmak bileşime bağlı olarak kuvvetini %65'e kadar azaltabilir veya artırabilir. Isıtma sırasında, dayanıklılıkta en büyük azalma sodyum klorür ihtiva eden revetmanlarda meydana gelmektedir. Revetman oda sıcaklığına düşürülünce, soğutma sırasında meydana gelen ince yarıklar nedeniyle dayanıklılıkta büyük bir azalma ortaya çıkabilir.

### **2.3.5. İncelik**

Revetmanın inceliğini, sertleşme süresi, dökümü yüzey özelliği ve diğer özellikleri etkiler. İnce silika kullanılması, kaba silika kullanımından çok daha yüksek higroskopik genişme meydana getirir. Bu nedenle ince partikül boyu tercih edilir. Revetman ne kadar ince ise döküm yüzeyi o kadar düzenli olur [7].

## **2.4. REVETMANDA GENLEŞME**

Revetmanın genleşmesi, dış etkilere bağlı olarak şekil değiştirmesidir. Kalıp boşluğunu oluşturan revetmanın genleşebilme özelliği çok önemlidir; çünkü döküm kitlesinin kontraksiyonu, revetman kitlesinin ekspansiyonu ile giderilir. Aksi halde döküm estorasyonların yerlerine oturabilmesi mümkün olmaz.

Piyasada bulunan tüm revetmanların üç çeşit genleşmesi vardır.

### **2.4.1. Revetmanda Higroskopik Genleşme**

Revetmanın sertleşmesi sırasında ilave su emmesine bağlı olarak görülen genleşmedir.

Mum, model revetmana gömüldükten sonra sertleşme sırasında, revetman herhangi bir nedenle su emmeye başlayabilir. Örneğin; manşet su banyosuna daldırılabilir, manşet üzerindeki revetman yüzeyine su serpilebilir ya da manşetin iç yüzüne ıslak bir amyant şerit sarılabilir.

Genel olarak higroskopik sertleşme, sertleşme genleşmesinden iki-dört kat daha çoktur.

### **2.4.2. Revetmanda Isısal (Termal) Genleşme**

Revetmanda ısısal genleşme, mumların uçurulması esnasında sertleşmiş olan revetman kitlesinde sıcaklığın artmasına bağlı olarak görülen genleşmedir.

Su-tuz oranının artması, yani, karışımda fazla su kullanılması kitlenin ısısal genleşme miktarını azaltır. Mevcut silikanın oranına ve cinsine bağlıdır.

Revetman hazırlanırken karıştırma süresi, ne şekilde karıştırıldığı (el ile mekanik veya elektrikli aletlerle) veya revetmanın eski ya da yeni olması, maddenin termal genleşmesini etkilemez.

Mumun kalitesi ve döküm yolunun yeri gibi faktörlerin, revetman kitlesinin ısısal genleşmesine etkisi bazı durumlarda daha azdır.

### 2.4.3. Revetmanda Normal Sertleşme Genleşmesi

Revetmanda normal sertleşme genleşmesi, revetman açık havada sertleşirken meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu fiziksel boyutlarında görülen çizgisel genleşmedir.

Revetmanı ilk aşamada ısıtmaya başlayınca, oda sıcaklığından itibaren 105°C'ye kadar genişir. 200°C'ye gelişte revetmanın hacmi ya aynı ya da çok az sıkışmıştır. Sıcaklık yükseldikçe bu defa genleşme meydana gelir. Bu durum, revetmanın içindeki silika miktarına bağlıdır. Böylece, sıkışma (kontraksiyon) dengelenmiş kompanseve kalıp boşluğunun hacmi değişmemiş olur.

Revetman kitlesinin genleşmesi, dökümün sağlığı açısından çok önemlidir. Çünkü dökülen metalin büzülmesini telafi edebilmek için kalıp boşluğunun genleşmesi gerekir.

Mum örneğin içinde ve çevresindeki revetman genleşmesi, etkili sertleşme genleşmesi olarak adlandırılır. Mahler, etkili sertleşme genleşmesinin metal restorasyonun uyumunu belirlediğini ve etkili sertleşme genleşmesini etkileyen faktörlerin göz önünde bulundurulmasının, döküm işleminin boyutsal stabilitesini sağlamak bakımından önemli olduğunu belirtmiştir [8].

### 2.5. REVETMANA ALMA

Mum örnek yüzeyinin her türlü kir ve ayırıcı maddeden temizlenmesi gerekir. Bunun için çok sayıda ticari madde mevcuttur, ayrıca seyreltik deterjanlarda kullanılabilir. Örnek daha sonra oda sıcaklığındaki su ile temizlenip hava ile soğutulur veya ıslatma amacıyla şeklin üzerinde bir miktar temizleme maddesi bırakılır. Karıştırılacak revetman ile su hassas bir şekilde orantılanmalıdır. Revetman ile su karıştırılırken, alçının suyla karıştırılması durumunda dikkat edilmesi gereken hususlara aynen uyulması gerekir. Revetman tozunu suya katarken bir elekten geçirerek bu safhadaki hava katılmasını minimuma düşürmek gerekir. Karışım daha sonra titreştirilerek büyük hava kabarcıkları uzaklaştırılır. Eğer karıştırma el ile yapılmış ise işlem sırasında titreşim yapılmalıdır.

İster el ile ister motorla çalıştırılsın mekanik karıştırıcıların kullanılması daha uygundur. Kanatların dönme hızı o kadar fazladır ki mevcut hava kabarcıkları parçalanarak dökümün yüzey kabalığı üzerine yaptığı etki minimuma indirilir. Revetman karıştırıldıktan sonra ikinci kez titreşime tabi tutulur.

Revetman hazırlanırken karıştırma süresi ve ne şekilde karıştırıldığı (el ile, mekanik veya elektrikli aletlerle) önemlidir. Diğer önemli olan nokta da revetmanın eski ya da yeni olmasıdır. Kullanılan revetmanın, belli oranlarda toz ve su karışımı ile vakum altında elde edilmesi en uygundur. Sulu revetman, sıcağa dayanıklı değildir, çatlamalara neden olur, mekanik dayanıklılığı azdır. Sert hazırlanan revetman ise akıcılığı az olduğu için bol miktarda hava kabarcığı içerir.

Genel olarak mum örneğin revetmana alınmasında iki metot takip edilir. İlkinde, tijlenmiş mum örnek potaya yapıştırılarak ters bir şekilde manşete yerleştirilir. Hafif bir vibrasyonla revetman manşet içerisine akıtılır. İkinci metotta ise astarlanmış manşet önce revetman ile doldurulur, daha sonra potaya tutturulmuş mum örnek hafif bir baskı ile manşetle temas edene kadar revetmana doğru itilir. Daha sonra ya bu şekilde sertleşmeye bırakılır veya manşet ters çevrilerek pota oluşturucusunun manşeti desteklemesi sağlanır.

Her iki teknikte de, özellikle ikincisinde mum örnek revetmanla doldurulmuş manşete batırılmadan önce bir tabaka revetman ile örtülür. Ayrıca bu işlemde önce mum yüzeyinin yüzey gerilimini düşürücü bir madde ile örtülmesi büyük avantaj sağlar. Bu tip yüzey maddeleri alçının sertleşmesini geciktirdiğinden revetman uygulanmadan, aşırı ıslatma maddeleri bir fırça veya hava akımı ile temizlenmelidir.

Eğer higroskopik teknik kullanılacaksa, pota oluşturucusunun ucu aşağıya gelecek şekilde manşet hemen 37-38°C arasındaki bir su banyosuna daldırılmalıdır. Termal genişleme tekniğinde revetman manşet içerisinde sertleşmeye bırakılır. Her iki teknikte de mum eritilmesine başlanılmadan önce bir saat beklenmelidir.

## 2.6. BÜZÜLMENİN KONTROLÜ

Bazı durumlarda revetman kütesinin boyutlarını büyölmek veya küçölmek istenebilir. MOD bir inley veya tam döküm kronunda, basit bir okluzal inleye göre daha fazla döküm büzölmesinin kompanse edilmesi istenebilir. Bu durumda dökümde çok az bir küçölme ile uzun ve paralel olan kavite duvarları arasındaki sürtünmeden dolayı tam olarak oturma meydana gelmez. Ayrıca mum sekin durumu da etkin sertleşme veya higroskopik genişmeyi etkiler. İnce ve hassas bir mum örneğinin duvarları, revetmanın sertleşmesi sırasında, tam döküm kronların kalın ve kütleli duvarları, revetmanın sertleşmesi sırasında, tam döküm kronların kalın ve kütleli duvarlarına oranla çok daha kolay yerinden oynar [9].

## 2.7. DÖKÜM BOYUTLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Döküm boyutlarını etkileyen bir çok faktör vardır:

- İki kat astarlama tek kat astarlamadan daha fazla sertleşme ve termal genişmeye sebep olur.
- Tijin mum örneğe takıldığı yön belli bir oranda dökümün boyutlarını etkiler.
- Sertleşme, higroskopik ve termal genişme, su/toz oranını değıştirmek suretiyle belli oranda kontrol edilebilir. Su/toz oranı ne kadar yüksek ise büzölmenin kontrolü de o kadar fazladır. Bazı revetmanlarda su/toz oranının etkisi daha azdır.
- Kristobalit revetman kullanılması durumunda termal genişme sırasında kalıbın fazla genişmesi de büyük sorun yaratır.
- Higroskopik genişme su/toz oranının yanı sıra, sertleşen revetmanın suya daldırılma süresi veya sertleşme sırasında eklenen su miktarı ile de kontrol edilir. Revetman su banyosuna ne kadar geç daldırılırsa higroskopik genişme de o kadar az olur.
- Yumuşak mum kullanılması durumunda sert mum kullanılmasından daha yüksek genişme sağlar. Mum eritme ve su banyosunun sıcaklığını artırmak sureti ile genişme



artırılabilir. Bu sıcaklığın düşürülmesi genleşmeyi de azaltır. Ancak bu metotlarda asla aşırıya kaçılmamalıdır.

- Büzülme genleşmesi revetman sertleşirken su eklemek suretiyle kontrol edilir. Bu tekniğe genellikle “kontrollü su ekleme tekniği” denilir.

## **2.8. VAKUMLA REVETMANLAMA**

Dökümde meydana gelen en büyük sorunlardan birisi revetmanlama sırasında oluşan hava kabarcıklarından dolayı yüzeyde meydana gelen kabarcıklardır. Meydana gelebilecek kişisel hataların giderilmesi için en mantıklı çözüm, oluşan hava kabarcıklarını uzaklaştırmak için revetmanlama işlemi esnasında su- revetman karışımı vakuma tutmaktır.

Elde karıştırılan revetmanlarda, vakumla yapılanlar kadar mükemmel sonuç elde edilmektedir. Ancak vakum metodu yüzey kabarcıklarının oluşmaması açısından daha güvenilirdir. Bu iki metodu karşılaştırılmak için yapılan bir çalışmada vakumla revetmanlanan dökümlerin %95’i, elle revetmanlanan dökümlerin ise yalnızca %17’sinin tamamen yüzey kabarcıklarından arınmış olduğu görülmektedir. Yüzey bozukluklarının olmaması çok önemlidir. Çünkü en ufak bir kabarcık bile, döküm, hazırlanan kaviteye konurken hassas mine marjinine zarar verir. Bitmiş dökümler bu tip bozuklukları tespit etmek amacıyla daima mikroskop altında incelenmelidir.

## **2.9. UYGULAMA ALANLARI**

Revetman model, ölçüm işlemi yapılmış ana modelden dublikasyon yolu ile ve üzerinde metal kaideli protezin iskelet yapımı için elde edilen modeldir. Revetman kullanmanın amacı; dökümde yüksek sıcaklığa dayanan ve bozulmayan bir model oluşturmaktır. Bu modele, refraktor model de denir [10].

Tablo 2.1, üç revetman grubunun uygulama alanlarını özetlemektedir.

Üç grup revetmandan, fosfat bağlı olanlar daha sık kullanılmaktadırlar. Günümüzde silika bağlı revetmanlar nadiren kullanılmaktadır. Bunların kullanımı pratik değildir,

likitindeki etanol'un yüksek ısıda parlama veya patlama tehlikesi vardır. Bazı laboratuvarlar fosfat bağlı revetmanları altın alaşımlarının dökümünde de kullanırlar. Laboratuvarlar bu şekilde tek bir revetman stoklayarak uygulamalarına pratik çözümler getirmektedir.

**Tablo 2.1:** Çeşitli revetmanların kullanım alanları.

Revetman	Kullanımı
Alçı veya sert alçı	Akrilik protezler için kalıp
Alçı bağlayıcı	Altın alaşımlarının dökümü
Silika bağlayıcı	Kıymetsiz alaşımlarının dökümü(nadiren)
Fosfat bağlayıcı	Kıymetsiz ve altın alaşımlarının ve dökülebilir seramiklerin dökümü.



**Şekil 2.14:** Refraktör model ve sert alçıdan elde edilmiş model.

## 2.10. UYGULANAN ANALİZLER

Diş hekimliğinde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, uygulanan işlemin başarısı ve kalıcılığı açısından oldukça önemlidir. Malzemenin sertliği, aşınma direnci ve mekanik özellikleri en önemli etkenlerdir.

### 2.10.1. Eğme Deneyi

Eğme deneyi ile, eğilen bir çubuğa etkiyen yük ve elastik deformasyon arasındaki ilişkiyi göstermek amaçlanır. Sabit veya değişken yükleme şartlarında, elastik deformasyon sahasında çubuğun dayandığı maksimum eğilme yükü bulunur [11].

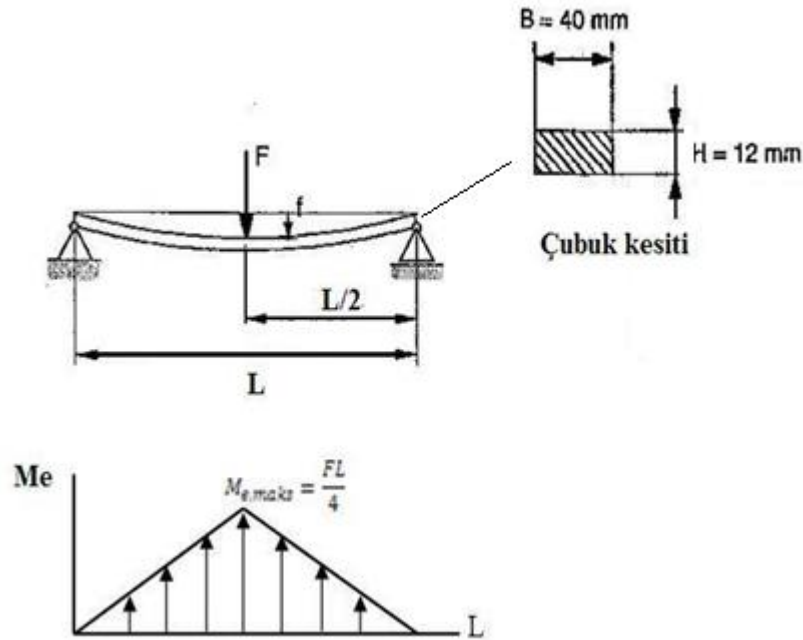
Şekil 2.15’de görüldüğü gibi, bir çubuk, eğme yüküne maruz bırakıldığında, elastiklik modülünün ve kesit atalet momentinin etkisi belirmeye başlar. Eğme deneyi, iki mesnet üzerine yerleştirilmiş ve konsantre bir kuvvetle yüklenmiş bir çubuğu inceler.

Merkezi kuvvet tatbiki incelenmesi dışında, mesnet aralığını değiştirerek, kuvvet uygulamak da mümkündür. Merkezden yüklü bir eğilme çubuğundaki sehim,  $F$  yükünün bir fonksiyonudur. Mesnetlerin aralığı  $L$ , kesit atalet momentini  $I$  ve elastik modülü  $E$  alınrsa, sehim  $f$  aşağıdaki formül ile bulunur.

$$f = (F \cdot L^3) / 48EI \quad (2.8)$$

Düzlemsel atalet momentini,  $B$  genişliğinde ve  $H$  yüksekliğine sahip dikdörtgen kesitli bir malzeme için aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$I = BH^3 / 12 \quad (2.9)$$



Şekil 2.15: İki uçtan mesnetli eğme yüküne maruz çubuk.

### 2.10.2. Materyallerin Mekanik Özellikleri

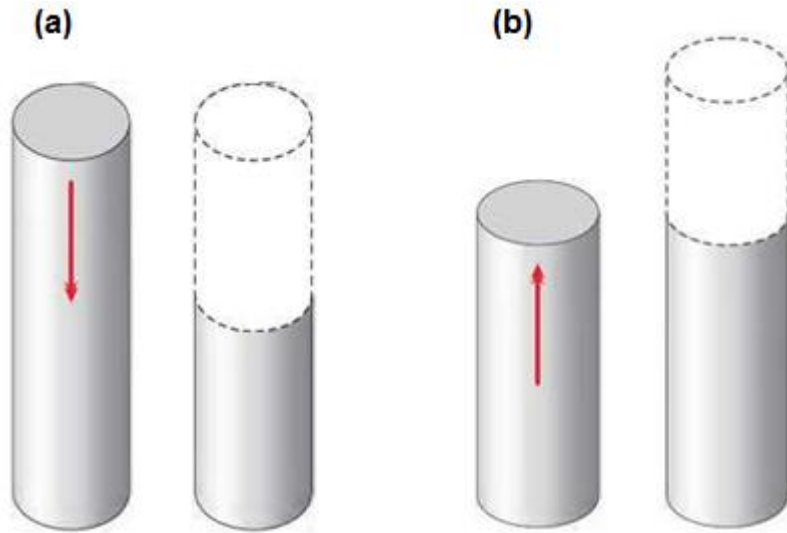
Diş hekimliğinde kullanılan materyallerin belirli bir mekanik dirence sahip olmaları gerekir. Örneğin, bazı restorasyon maddeleri ısırma kuvvetleri etkisi ile kırılmamalıdır. Diğerleri yük altında şekillerini koruyabilmelidirler. Bu tip özellikler Şekil 2.16'da gösterilen test aletleri kullanılarak elde edilen gerilim-zorlama eğrileriyle tespit edilir.

#### 2.10.2.1. Gerilim

Bir kitle veya malzeme üzerine dışarıdan bir kuvvet uygulandığı zaman, kitle içinde eşit miktarda, ancak ters yönde bir tepki oluşur. Basit bir baskı veya germe olayında gerilim şu şekilde ifade edilir:

$$\text{Gerilim} = F / A \quad (2.10)$$

Burada F uygulanan kuvveti, A kuvvetin uygulandığı cismin kesitinin alanını gösterir(Şekil 2.17). Baskı kuvvetine karşı gelişen gerilim baskı gerilimi, germe kuvvetine karşı oluşan gerilim ise germe gerilimidir. Gerilim ünitesi paskaldır (Pa). Bu 1 Newton (N)'luk bir kuvvetin 1m<sup>2</sup>'lik alana etki yapması sonucu ortaya çıkar.



Şekil 2.16: a) Kompresif gerilimini, b) germe gerilimini ve zorlamayı gösteren şema.

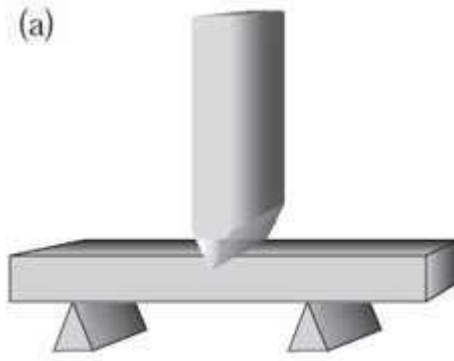
Diş hekimliği materyalleri için sıklıkla kullanılan bir test metodu da üç nokta bükme veya transvers testidir (Şekil 2.17).

Test edilecek çubuğun orta noktasına bir kuvvet uygulandığı zaman gerilimler şekilde gösterildiği gibi değişir. Gerilimin sayısal değeri şu şekilde ifade edilir:

$$\text{Gerilim} = 3 FL / 2 bd^2 \quad (2.11)$$

Burada L destekler arasındaki mesafeyi, b örneğin enini, d'de örneğin kalınlığını belirtir.

Kırılğan bir materyalden elde edilmiş silindire çapı boyunca baskı kuvveti Şekil 2.18'de gösterildiği gibi uygulanırsa, kitle içinde germe gerilimi oluşur (Şekil 2.17). Bu teste çap doğrultusunda baskı germe testi denir ve test materyalinin kırılğan yapısından dolayı geleneksel çekme testlerinin uygulanamadığı durumlarda kullanılır. Kırılğan olmayan maddelerin testinde yukarıdaki formül kullanılmaz, zira test aleti ile test materyali arasındaki alan artar (Şekil 2.18).



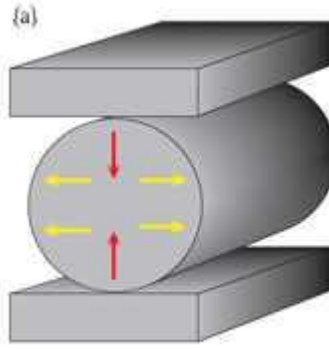
Şekil 2.17: Üç nokta veya transvers testini gösteren şema.



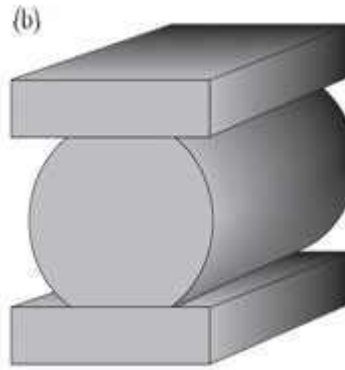
Şekil 2.18: Kirişin bükülmesi germe ve baskı gerilimlerini aynı anda oluşturur.



Şekil 2.19: Üç nokta veya transvers testinin uygulanması.



Şekil 2.20: Kırılgan madde için çap doğrultusunda baskı testi.



Şekil 2.21: Çekilebilir madde için çap doğrultusunda baskı testi.

### **2.10.2.2. Kopma gerilim kuvveti**

Materyal kitlesinin veya örneğin, uygulanan kuvvete kırılmadan dayanabildiği bir sınır vardır. Kopma esnasındaki gerilim genellikle materyalin mukavemetini belirtmek için kullanılır. Bir germe testinde, kopma gerilimi germe mukavemetini belirlerken; baskı testinde, kopma gerilimi baskı mukavemetini belirtir. Çap doğrultusundaki baskı testi ise germe mukavemetini verir.

Bükme testinde, kopma normal olarak örneğin germe gerilimine maruz kaldığı kısımdan başlar. Kopma esnasındaki bükülme gerilimine bükülme gerilimi denir ve germe dayanıklılığı ile ilişkilidir.

Kırılgan materyallerde bükülme mukavemeti yüzeyde olan mikroçatlaklardan ve defektlerden etkilenir. Bu defektler materyalin yüzeyinde gerilimlerin birikmesine ve kırılmasına neden olabilir.

### **2.10.2.3. Zorlama**

Kitleye dışarıdan bir kuvvet uygulandığında boyutsal bir değişim meydana gelir. Örneğin bir kitleye germe kuvveti uygulandığında, kitle uzar. Bu uzamanın boyutu uygulanan kuvvete ve materyalin özelliklerine bağlıdır. Zorlamanın sayısal değeri şu ilişki ile verilir:

$$\text{Zorlama} = \text{Boyuttaki değişim} / \text{Esas boyut} \quad (2.12)$$

Uygulanan kuvvetin etkisi ile meydana gelen boyutsal bir değişimin, başlangıç boyuna oranı olan zorlamanın hiçbir birimi yoktur.

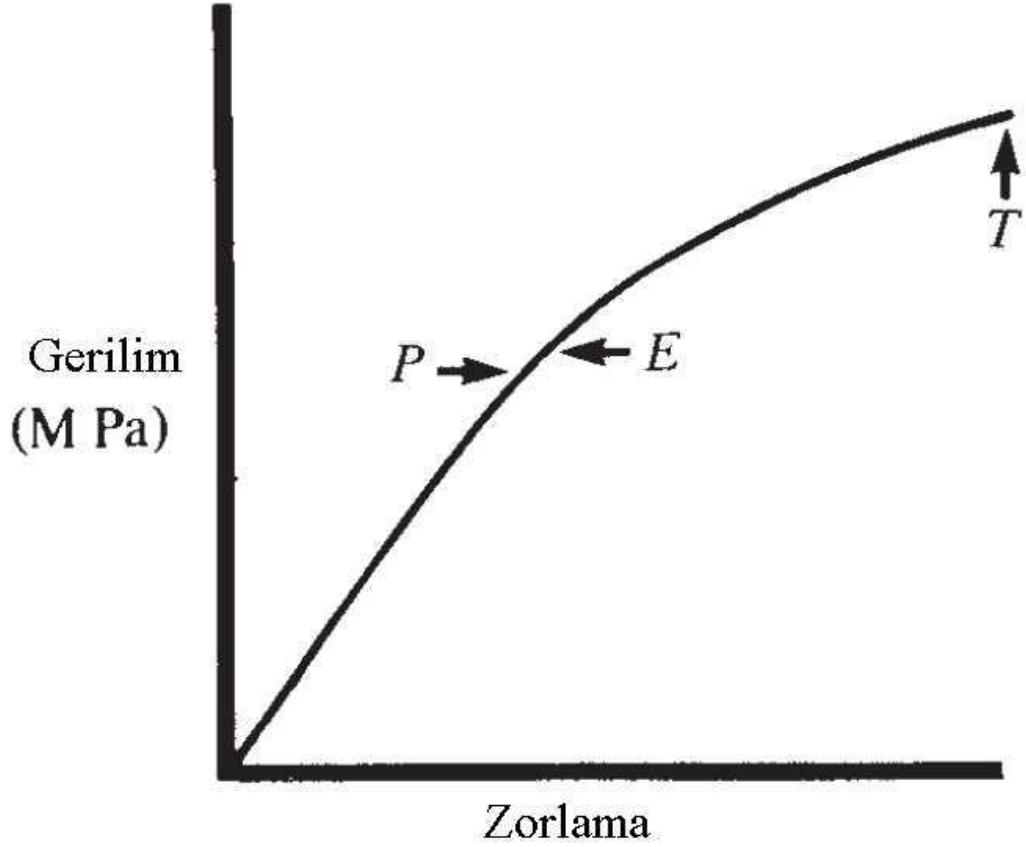
### **2.10.2.4. Gerilim-zorlama ilişkisi**

Dışarıdan uygulanan bir kuvvet materyalde gerilime neden olur. Bunun sonucunda materyalin boyutunda bir değişim veya içinde zorlama meydana gelir. Uygulanan bu kuvvet baskı veya germe tipinde bir kuvvet olabilir.

Gerilim ve zorlama arasındaki ilişki maddelerin mekanik özelliklerini tanımlamada kullanılır. Bu ilişki genellikle Şekil 1'de gösterilen test aletleri aracılığıyla saptanır. Bu aletlerde zorlama otomatik olarak gerilimin fonksiyonu olarak tespit edilir. Modern

aletler, zorlamayı belli hızda artırarak gerilimi ölçebilmekte veya gerilimi belli bir hızda artırarak, zorlamayı ölçmektedir.

En basit bir baskı veya germe testinde dahi, yazıcı ucun çizeceği eğri Şekil 2.22’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.22: Basit bir gerilim zorlama eğrisi.

Bu örnekte, P noktasına kadar gerilim ile zorlama arasında çizgisel bir ilişki olduğu görülmektedir. Gerilimdeki daha fazla artışlar T noktasındaki kopmaya kadar zorlamada orantısız bir artışa neden olur. T noktasında materyal kopar, bu nokta kopma gerilimi noktasıdır. Germe tipi testte bu germe mukavemetini, baskı tipi bir testte ise baskı mukavemetini belirtir. Orantılı gerilim oluşmasının bitim noktasına orantılı limit (P noktası) denir.

E noktası elastik limittir. Gerilimlerin artık tamamen geriye dönüşmediği noktayı belirtir. Yani materyalin daimi deformasyona uğramadan dayanabileceği maksimum



gerilimdir. Bir materyalin yüksek orantılı limite sahip olması, materyalin daimi deformasyona uğramadan uygulanan kuvvete ne kadar karşı koyabileceğini gösterir.

Yüksek orantılı limit gerektiren durumların başında parsiyel protezlerin kroşeleri gelir. Bu kroşelerin şekillerini korumaları önemlidir, bu nedenle daimi deformasyona uğramamaları gerekir. İskelet protezlerin kroşelerinde daimi deformasyona uğramadan bu kuvvetlere karşı koyabilecek yüksek orantılı limite sahip alaşımların kullanımı gerekir. Krom-kobalt alaşımları bu uygulamalar için uygundur.

Gerilim-zorlama eğrisinin çizgisel kısmı elastiklik modulusunu gösterir. Elastiklik modulusu şu şekilde ifade edilir:

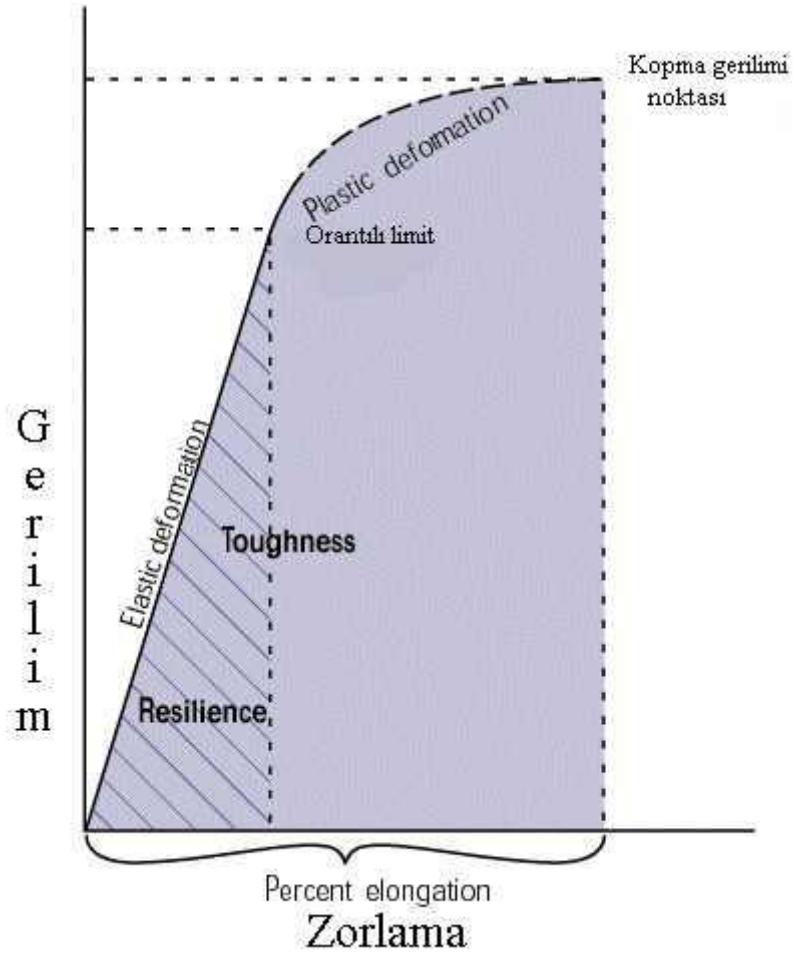
$$\text{Elastiklik modulus} = \text{Gerilim} / \text{Zorlama} \quad (2.13)$$

Bu da gerilim bir birime sahiptir. Bu adlandırma ise oldukça yanıltıcıdır, zira elastiklik modülü elastiklikten çok rijiditeyi belirten bir özelliktir.

Dik bir eğim, yüksek elastiklik modülü belirtirken, rijit bir materyali tanımlar. Eğimin hafif olması ise, düşük elastik modülü ve bükülebilir bir materyali belirtir.

E ile T noktası arasında kayıtlı edilen zorlama değeri, materyalin kopma noktasına kadar göstereceği daimi deformasyonu gösterir. Germe testinde, çekilebilirlik özelliği, baskı testinde ise dövülebilirlik özelliği hakkında bilgi verir.

Gerilim-zorlama eğrisinin altındaki alanlar da, test materyalleri hakkında bazı önemli bilgiler verir (Şekil 2.23).

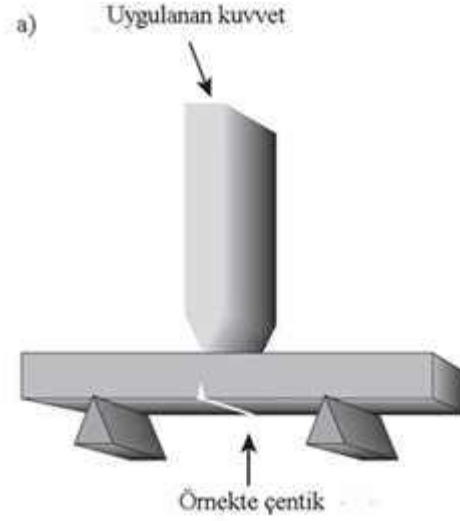


**Şekil 2.23:** Gerilim zorlama eğrisinin altındaki alanlar reziliens (çizgili alan) ve peklik (tüm alan) özelliklerinin belirtilmesi için kullanılır.

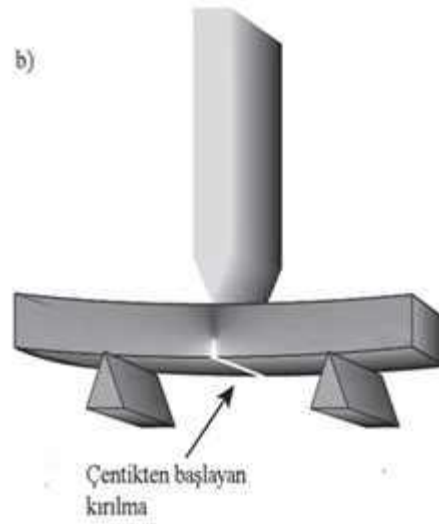
Eğrinin düz kısmının altındaki bölüm, yani elastik limite kadar olan kısım reziliensi belirtir, birimi enerjidir. Reziliens şu şekilde tanımlanabilir: elastik limite kadar, materyalin elastik deformasyona uğraması için absorbe etmesi gereken enerji miktarıdır. Yüksek reziliens elastomerik ölçü maddelerinin özelliklerini belirtmek için kullanılır. Rezilient materyallerde, kuvvet uygulandığında, enerji materyalin bünyesine alınır ve kuvvetin kalkması ile enerji dışa verilerek materyal eski haline döner.

Zorlama-gerilim eğrisinin altındaki tüm alan materyalin peklik (toughness) özelliğini gösterir. Bu da yine enerjidir ve materyalin kopmaya kadar absorbe edebileceği enerji miktarını ifade eder. Yüksek miktarda enerji absorbe eden maddelere pek (tough material) denir. Peklik özelliğinin karşıtı kırılgenliktir. Kırılgenlik diş hekimliğinde kullanılan birçok madde için önemli bir özelliktir. Bir transvers testle kırılgenliğin

ölçülmesi esnasında uygulanan kuvvetin hızı ve test edilecek örneğin yüzeyinde çatlamların ilerlemesine yol açabilecek yapısal bozukluklar önemlidir. Bu nedenle transvers testte, genellikle çentikli örnekler kullanılır.



**Şekil 2.24:** Yüzeyde yer alabilecek bozuklukların etkisini gidermek için mukavemet testlerinde çentikli örnek kullanılır.

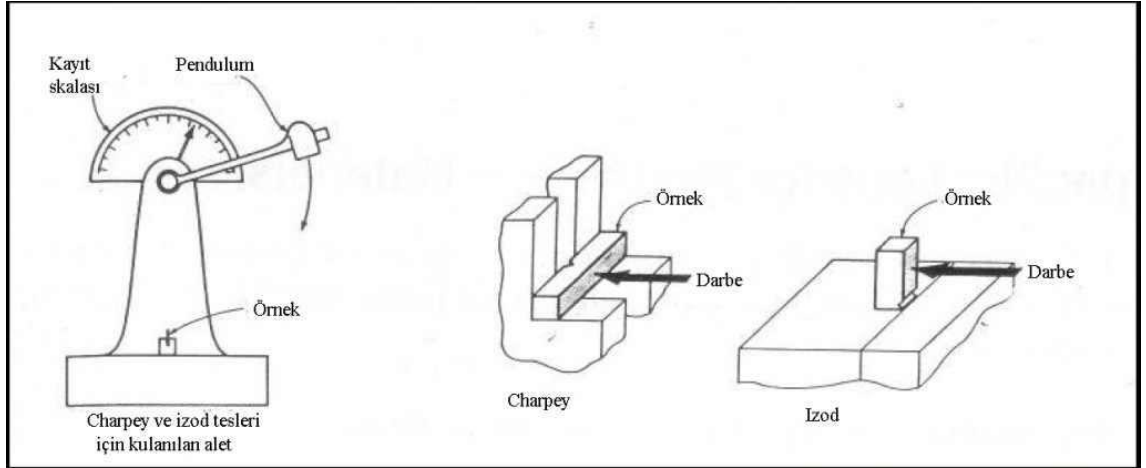


**Şekil 2.25:** Yüzeyde yer alabilecek bozuklukların etkisini gidermek için mukavemet testlerinde çentikli örnek kullanılır.

Çentikli örnekler daha çok kırılma pekliği özelliğini ölçmek için kullanılır. Kırılma pekliği basit olarak uygulanan kuvvet, örneğin boyutları ve çentiğin boyutu ile hesaplanabilir. Kırılma pekliğinin birimi  $MNm^{-1.5}$ 'dur. Kırılma pekliği denklemi yalnızca kırılma mekanizması ile kopan maddelerde kullanılmaktadır. Plastik deformasyonların meydana geldiği durumlarda sonuç yanıltıcı olabilir. Materyaller zorlama veya gerilimin hızla artırıldığı durumlarda daha kırılğan özellik gösterirler. Zorlamanın hızlı artırıldığı bir testte kuvvetin hızla uygulanması darbe testi olarak adlandırılır ve elde edilen özelliğe darbe mukavemeti adı verilir. Darbe testi için Şekil 9'de gösterilen alet kullanılır. Bu tip aletlere Charpey Impact test aleti denilir. Örneği kırdıktan sonra sarkacın eriştiği pozisyon kırılma esnasında örneğin ne kadar enerji absorbe ettiğini gösterir. Bir başka impact test yöntemi de Izod tipi (izod type) test yöntemidir. Bu test yönteminde belli bir mesafeden malzemeye darbe vurulur. Charpey ve izod tip darbe testlerinin genel şeması Şekil 2.26'da gösterilmiştir [12].

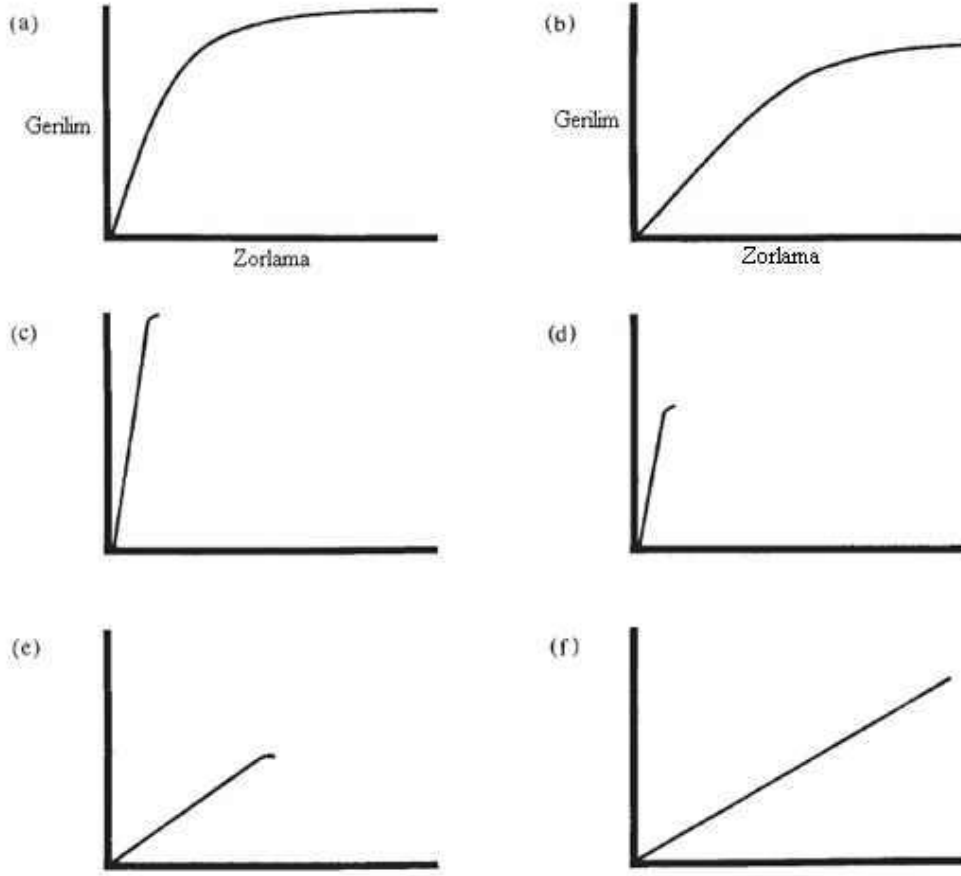


**Şekil 2.26:** Darbe mukavemetinin ölçülmesinde kullanılan Charpey Impact test aleti.



**Şekil 2.27:** Charpey ve Izod testlerinin genel şeması.

Şekil 2.28’de çeşitli gerilim-zorlama eğrileri verilmiştir. Materyallerin özelliklerine göre gerilim-zorlama eğrilerinde de farklılıklar gözlemlenmektedir. Şekil 2.28’deki materyal: rijit, kuvvetli, mukavim, çekilebilir; b’deki materyal: bükülebilir, mukavim; c’deki materyal: rijit, mukavim, kırılğan; d’deki materyal: rijit, zayıf, kırılğan; e’deki materyal: bükülebilir, zayıf, kırılğan; f’deki materyal: bükülebilir, rezilient.



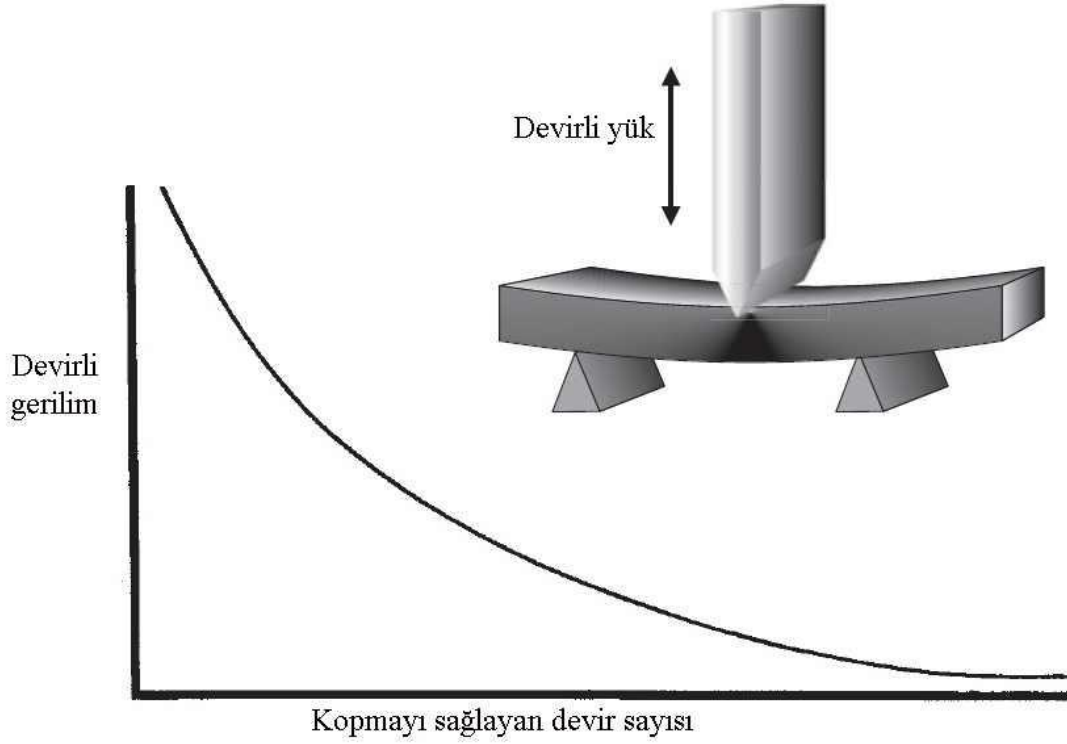
**Şekil 2.28:** Altı değişik gerilim- zorlama ilişkisi.

#### 2.10.2.5. Yorgunluk özellikleri

Diş hekimliğinde kullanılan çeşitli restoratif veya protetik malzeme uzun bir zaman diliminde aralıklarla gerilimlere maruz kalır. Malzeme germe, baskı veya transvers testlerdeki kuvvetlerden çok düşük kuvvetlerle karşılaşsa bile, yorgunluk sonucu zaman içinde başarısızlığa uğrayabilir. Protezin veya restorasyonun biçimine bağlı olarak yüzeyinde bulunan muhtemel bir hatanın çevresinde oluşan gerilim yoğunlaşması mikroçatlakların oluşmasına yol açar. Çatlak yavaş yavaş kırılma meydana gelinceye kadar ilerler. Sonuçta kırılma çok düşük bir kuvvet altında dahi meydana gelebilir, örneğin hastalar protezlerinin çok yumuşak yiyecekler yerken kırılması karşısında şaşırırlar.

Yorgunluk özellikleri iki şekilde incelenir. Birincisi, belli büyüklükte devirli bir gerilim belli frekanslarla uygulanır ve beklenen başarısızlığın ortaya çıkması için kaç devir

gerektiği gözlenir. Buna malzemenin yorgunluk ömrü denir. Diğer yöntem de ise, belli bir devir sayısı seçilir, örneğin 10000. Malzemeyi bu devir sayısı içinde koparan devir sayısı tespit edilmeye çalışılır. Bunun sonucuna ise ‘yorgunluk limiti denir. Sonuçlar Şekil 2.29’daki gibi grafikte gösterilir. Uygulanan devirli gerilimin büyüklüğü arttıkça, kopma için gerekli devir sayısı da azalır.



Şekil 2.29: Yorgunluk testi.

Yorgunluk testi. Sonuçlar genellikle uygulanan yükleme devrine göre kopma olarak verilir. Yük düşük olduğunda kırılma daha yüksek devirlerde meydana gelir.

#### 2.10.2.6. Abrazyona direnç

Ağız boşluğu, restorasyonlar veya protezler için göreceli olarak zararlı etkenlerin bulunduğu bir ortamdır. Yıpranma, mekanik veya kimyasal orijinli birçok mekanizma sonucu meydana gelebilir. Ağızda yiyeceklerin çiğnenmesi ve diş fırçalama gibi

etkenlerle oluşan aşınmaya abrazyon denir. Abrazyona direnç ise materyalin sertliği ile bağlantılıdır.

Bazı materyallerin aşınması kimyasal parçalanmaya bağlanabilir. Buna erozyon denilir ve bu şekilde fiziksel aşınmadan ayırt edilmeye çalışılır.

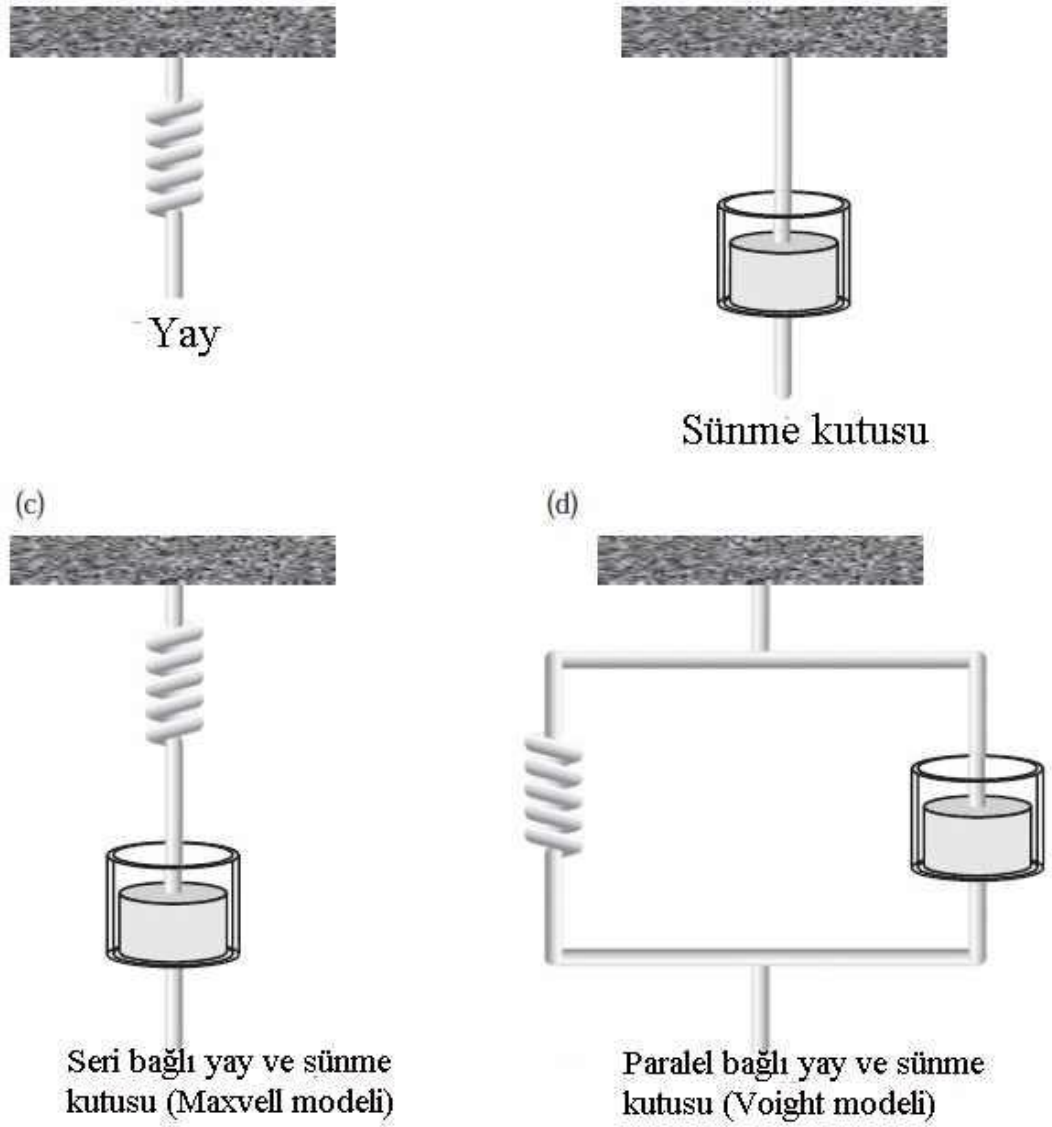
#### ***2.10.2.7. Sertlik***

Sertlik, bir materyale sert bir cismin nüfus etme miktarı ile ölçülür. Bu özellik genellikle sertlik değeri olarak tanımlanır. Düşük değerler yumuşak materyalleri, yüksek değerler ise sert materyalleri belirtir [13].

#### ***2.10.2.8. Elastiklik ve Viskoelastiklik***

Elastik sınır önceleri malzemenin elastik alanını tanımlamada kullanılırdı. Elastik sınır materyalin daimi deformasyona uğradığı değerdir. Bu değerin üzerindeki kuvvetler karşısında daimi deformasyon olur, yani zorlama oluşturan kuvvetin kaldırılması ile malzeme eski haline geri dönemez. Eğer bir materyal uygulanan kuvvetin ortadan kalkması sonucu tam bir elastik düzelmeye uğruyorsa, yani eski boyutunu ve şeklini alabiliyorsa, elastik materyal olarak adlandırılır. Bu şekildeki geri dönüşmeye elastik düzelme denir [14].





Şekil 2.30: a) Elastik, b) Plastik, c) ve d) viskoelastik materyalleri belirten modeller.

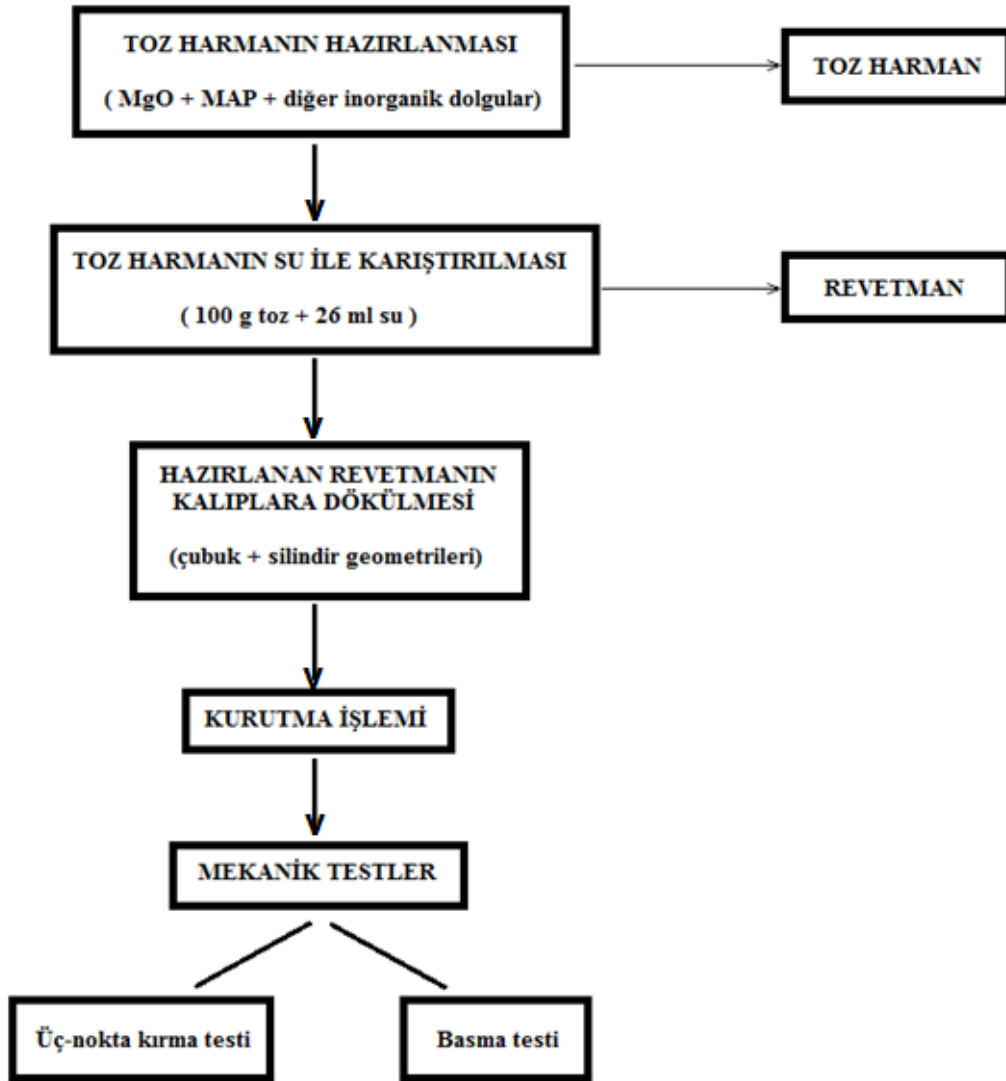
Eğer düzelme yavaş yavaş oluyorsa veya malzemede belli oranda daimi deformasyon kalıyorsa, materyalin viskoelastik olduğu söylenir. Malzemelerin elastik ve viskoelastik davranışlarını açıklamak için yaylar ve sünme kutusu gibi modeller kullanılabilir (Şekil 2.30).

Elastiklik ve viskoelastiklik özellikleri, diş hekimliğinde kullanılan birçok malzeme için, özellikle ölçü maddeleri için pratik öneme sahiptir. Tüm bu materyaller viskoelastiktir ve undercutlardan çıkarılırken daimi distorsiyona uğrayabilirler. Daimi deformasyon uygulanan kuvvete bağlıdır. Yani ölçünün ağızdan çıkarılması esnasında

uygulanan kuvvet ve bu kuvvetin süresi deformasyonda etkilidir. Kuvvetin büyüklüğü materyalin elastik modülü ve elastikliğiyle yakından ilgili olduğu gibi, ölçü maddesinin kalınlığı ve undercutların derinliği distorsiyon miktarında etkili olur [15].

### 3.MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma süresince izlenen deneysel yöntem Şekil 3.1’de özetlenmiştir. Uygulanan yöntemler, ana hatlarıyla kullanılan malzemeler ile birlikte bu bölümde açıklanmaktadır.



Şekil 3.1: Ana hatları ile çalışma süresince izlenen deneysel yöntem ve kullanılan malzemeler.

### 3.1. MALZEME

#### 3.1.1. KULLANILAN KİMYASALLAR

Alınan mum örneğın metal yapıya dönüştürülmesi amacıyla kullanılan, özelliğine göre yüksek ısıya dayanıklı kalıp alma malzemesine revetman denir. Fosfat bağlı revetmanlar; magnezyum oksit (MgO), amonyum fosfat (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) ve inorganik dolgu (genellikle farklı tane boyutlarında olan SiO<sub>2</sub> tozları) materyallerinin bileşimlerinden elde edilmiştir. Bu çalışmada; laboratuvarda hazırlanan revetman karışımların mekanik özelliklerinin incelenmesi amaç edinilmektedir. Aşağıda, deney sırasında kullanılan kimyasal malzemeler hakkında sırasıyla bilgi verilmektedir.

##### 3.1.1.1. Magnezyum Oksit (MgO)

Hızlı reaksiyon ve maksimum yüzey alanı gerektiren durumlar için önerilen yüksek saflıkta MAGOX<sup>®</sup> Super Premium marka magnezyum oksit kullanılmıştır. şekil 3.2'de bu Tez kapsamında kullanılan magnezyum oksit (MgO) görülmekte, kimyasal ve fiziksel özellikleri de Tablo 3.1'de verilmektedir.



şekil 3.2: Deneysel çalışmalarda kullanılan magnezyum oksit tozu.

**Tablo 3.1:** Kullanılan magnezyum oksitin kimyasal ve fiziksel özellikleri.

KİMYASAL ANALİZİ			
	Normal	Maksimum	Minimum
LOI (1000 °C)	8,00	10,0	
Klorit (Cl)	0,30		
Sülfat (SO <sub>3</sub> )	0,05		
MgO	98,20		97,00
CaO	0,80		
SiO <sub>2</sub>	0,35		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10		
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ			
Spesifik Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g) B.E.T. azot adsorpsiyonu	150		130
Ortalama Tane Boyutu (mikron) X-ray Sedigraph	5,0		
Serbest Yığın Yoğunluk, lb/ft <sup>3</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	24 (0,38)		
Sıkıştırılmış Yığın Yoğunluk, lb/ft <sup>3</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	34 (0,51)		
ELEK ANALİZİ, ağırlık%			
(U.S.A. Serisi)			
-100 mesh			99,9
- 325 mesh			99,0

**3.1.1.2. Monoamonyum Fosfat (MAP):**

Proyan S.A. (Belçika) markalı, kimyasal formülü NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> ve molekül ağırlığı 115,02 olan 7722-76 CAS No'lu monoamonyum fosfat kullanılmıştır. Şekil 3.4'de bu Tez kapsamında kullanılan monoamonyum fosfat görülmekte ve kimyasal özellikleri Tablo 3.2'de verilmektedir. Bileşiminde nitrat ve üre azotu bulunmayan bu malzemenin 20°C sudaki çözünürlüğü 365 g/l'dir ve beyaz kristal renk görünümüne sahiptir.



Şekil 3.3: Monoamonyum fosfat.

Tablo 3.2: Kullanılan Monoamonyum fosfatın kimyasal özellikleri.

Yapı	MAP Kristal			
Görünüm	Susuz beyaz kristal			
Kimyasal Özellikleri	Birim	Analizler	Özellikler	Yöntem
N (ammoniacal)	%	12,0	11,8 min.	ELC 24 - Titrimetri
Toplam P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	61,4	61,1 min.	ELC 20 Technicon
pH (Solüsyon 1 M)		4	3,9 – 4,4	ELC 17 – pH metre
Yapı	%	99,8	99 min.	Hesaplama
Çözünmez maddeler	%	< 0,01	0,05 maks.	ELC 15 – Gravimetri
Desikasyon kaybı	%	0,07	0,1 maks.	ELC 14 – Gravimetri
Impurities content:				
SO <sub>3</sub>	ppm	350	700 maks.	
As	ppm	0,5	2 maks.	
Cl	ppm	3	10 maks.	
F	ppm	90	250 maks.	
Ca	ppm	3	20 maks.	
Heavy metals (as Pb)	ppm	<10	10 maks.	
Pb	ppm	< 1	1 maks.	

### 3.1.1.3. Kullanılan SiO<sub>2</sub> Dolgular

Bu çalışmamızda magnezyum oksit ve monoamonyum fosfat karışımına ek olarak; M6000 ve M8 (Sibelco Specialty Minerals, Belçika), Q45 ve 150-250µm (Matel Hammadde San. Tic., İstanbul) kodlu SiO<sub>2</sub> tozları inorganik dolgu olarak kullanılmıştır. Aşağıdaki Tablo 3.3-3.6'da analiz değerleri ve yüzde kimyasal bileşenleri belirtilmiştir.

**Tablo 3.3:** M6000 analiz değerleri.

Analiz	M6000
D10 (µm)	1,5
D50 (µm)	4
D90 (µm)	8
Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	2,3
Yağ absorpsiyonu (g/100g)	28
Sertlik (Mohs)	6,5
pH	9
Renk	98
Isıl genleşme katsayısı (20-300°C)	54.10 <sup>-6</sup> /K
Kırılma indisi	1,48

**Tablo 3.4:** M6000 kimyasal analiz değerleri (%).

Kimyasal Analiz (%)	M6000
SiO <sub>2</sub>	99,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2
TiO <sub>2</sub>	0,02
K <sub>2</sub> O	0,05
CaO	0,01

**Tablo 3.5:** M8 analiz değerleri.

<b>Analiz</b>	<b>M8</b>
D10 ( $\mu\text{m}$ )	4
D50 ( $\mu\text{m}$ )	27
D90 ( $\mu\text{m}$ )	75
Yoğunluk ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )	2,65
Yağ absorpsiyonu ( $\text{g}/100\text{g}$ )	17
Sertlik (Mohs)	7
pH	7
Renk	91,8
Kırılma indisi	8

**Tablo 3.6:** M8 kimyasal analiz değerleri (%).

<b>Kimyasal Analiz (%)</b>	<b>M8</b>
$\text{SiO}_2$	99,4
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,03
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,10
$\text{TiO}_2$	0,07

Tablo 3.4 ve Tablo 3.6'da M6000 ve M8'in yüzde kimyasal analiz değerleri belirtilmiştir. Görüleceği zere; M8 inorganik dolgusunda M6000'e göre  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{CaO}$  kimyasalları bulunmamaktadır. Tablo 3.3 ve Tablo 3.5'de M6000 ve M8 inorganik dolgu malzemelerinin sertlik, pH, renk, kırılma indisi, yoğunluk, çap ve yağ absorpsiyonu gibi fiziksel analiz değerleri gösterilmiştir. Q45 ve 150-250 $\mu\text{m}$  (Matel Hammadde San. Tic., İstanbul) kodlu  $\text{SiO}_2$  tozları için ise %98 saflıkta  $\text{SiO}_2$  içerdiği ve Q45'in d50=45 mikron ve 150-250 mikron için ise aynı kuvarsın d50=200 mikron tane boyutlu olduğu tedarikçi firma tarafından belirtilmiştir.



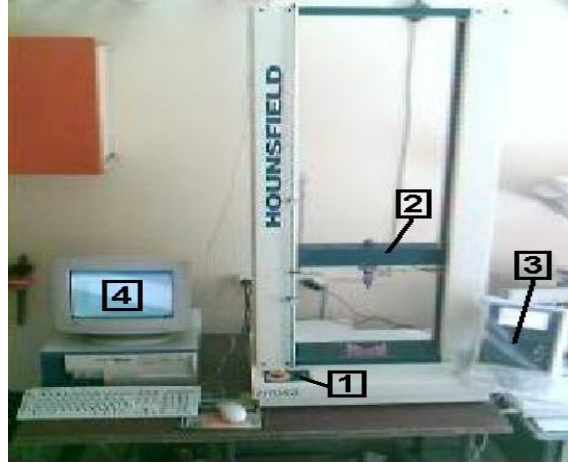
### 3.1.2. KULLANILAN CİHAZLAR

#### 3.1.2.1. Tartım Cihazı

Çalışmalar sırasında malzeme tartımları için kullanılan terazi VA304 Model GEC (Avery, İngiltere) tartım terazisidir. Bu terazi 0,0001 gr (0.1 mg) hassasiyete sahiptir.

#### 3.1.2.2. Universal Mekanik Test Cihazı

Revetman sementinin mekanik özellikleri; belirli oranlarda karıştırılan magnezyum oksit, amonyum fosfat ve dolgu malzemelerinin farklı toz/sıvı oranları ile karıştırılması akabinde kalıba dökülüp sertleşmesi sonrasında ölçülmüştür. Tablo 3.7’de bu Tez çalışması süresince uygulanan farklı oranlardaki malzeme karışım miktarları belirtilmiştir. Mekanik testler Hounsfield HKS10 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.4’de Hounsfield HKS10 cihazı görülmektedir. Bilgisayar kontrollü cihaz öncelikle açma / kapama düğmesi ile devreye alınarak üst zımbanın hareket hız ayarları gerek LCD panelden veya gerekse cihazın bağlı bulunduğu bilgisayardan yapılmıştır. Elde edilen değerler, cihazın QMAT bilgisayar programı tarafından sayısal olarak kaydedilmiştir. QMAT programından, uygulanacak üç nokta bükülme testi için kütüphanesinden ilgili modül seçildikten sonra, deney hızı, dayanaklar arası mesafe, numune kalınlık ve en değerleri girilerek deney başlatılmıştır. Numuneye uygulanan kuvvet miktarı üst aparata monte edilmiş olan 500 N’luk yük hücresi (load cell) aracılığı ile bilgisayardan okunmuştur. E modülü ve kırılma anındaki bükülme direnci değerleri kullanılan QMAT programı tarafından hesaplanarak kaydedilmiştir. Bu cihaz kullanılarak yapılan esneme dayanıklılığı testi, aşağıdaki Yöntem bölümü’nde detaylı olarak açıklanmıştır.



**Şekil 3.4:** Hounsfield H10K-S üniversal mekanik test cihazı; 1) Açma/kapama düğmesi, 2) hareketli üst zımba, 3) LCD panel ve 4) Cihazın "QMAT" kontrol programı yüklü bilgisayar.

**Tablo 3.7:** Bu Tez çalışması süresince hazırlanan revetman malzemesi içeriğinde yer alan bileşenlerin karışım miktarları.

Numune	MgO	MAP	Q45	M8	M6000	150-250 $\mu$ m
1-1	30	20	20			
1-2	30	20	30			
1-3	30	20	40			
1-4	30	20	50			
2-1	30	20		20		
2-2	30	20		30		
2-3	30	20		40		
2-4	30	20		50		
3-1	30	20			20	
3-2	30	20			30	
3-3	30	20			40	
3-4	30	20			50	
4-1	30	20				20
4-2	30	20				30
4-3	30	20				40
4-4	30	20				50
5-1	10	40				
5-2	20	30				
5-3	30	20				
5-4	40	10				
6-1	30	20	10	40		
6-2	30	20	20	30		
6-3	30	20	30	20		
6-4	30	20	40	10		
7-1	30	20	10		40	
7-2	30	20	20		30	
7-3	30	20	30		20	
7-4	30	20	40		10	
8-1	30	20	10			40
8-2	30	20	20			30
8-3	30	20	30			20
8-4	30	20	40			10
9-1	30	20		40	10	
10-1	30	20			10	40
11-1	30	20		10		40
11-2	30	20		20		30
11-3	30	20		30		20
11-4	30	20		40		10

### 3.2. YÖNTEM

**Revetman Hazırlama:** Her 100 gram toz karışımı için 26 ml su kullanılarak farklı oranlardaki bileşenler Şekil 3.5'deki gibi karıştırılıp çubuk ve silindir kalıplarda mekanik testler için şekil verilerek hazırlanmıştır. Şekil 3.6'da çubuk ve silindir kalıplar görülmektedir. Dökümün net ve ayrıntılı bir biçimde elde edilebilmesi için farklı oranlardaki toz ve su çok iyi karıştırılmalıdır. Ancak bu şekilde hazırlanan revetmanlar, ilgili diğ geometrisinin elde edilebilmesinde başarılı olabilir.



Şekil 3.5: Revetman hazırlama.



Şekil 3.6: Çubuk ve silindir kalıplar.

Hazırlanan revetmanların, karıştırma akabinde; çubuk ve silindir kalıplara dökümü yapılarak sertleşip soğuyana kadar beklenir. Şekil 3.7'de bu aşama görülmektedir.



**Şekil 3.7:** Revetmanın farklı kalıplara alınması.

Soğuyan revetmanlar çubuk ve silindir kalıplardan (Şekil 3.7) çıkarılarak 39.5 mm yüksekliğinde ve 23.2 mm çapında silindir ve 1,5 cm yüksekliğinde 15 cm uzunluğunda çubuk geometrileri elde edilmiş ve numuneler kodlanarak testler için desikatörde bekletilmiştir (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8:** Çubuk ve silindir kalıplardan çıkarılan revetmanlar.



**Şekil 3.9:** Çubuk ve silindir kalıplardan çıkarılan revetmanlar.

Hazırlanan fosfat bağlı dental revetmanların Hounsfield HKS10 cihazı kullanılarak gerçekleştirilen mekanik (basma ve üç nokta kırma) testleri Şekil 3.10'da görülmektedir.



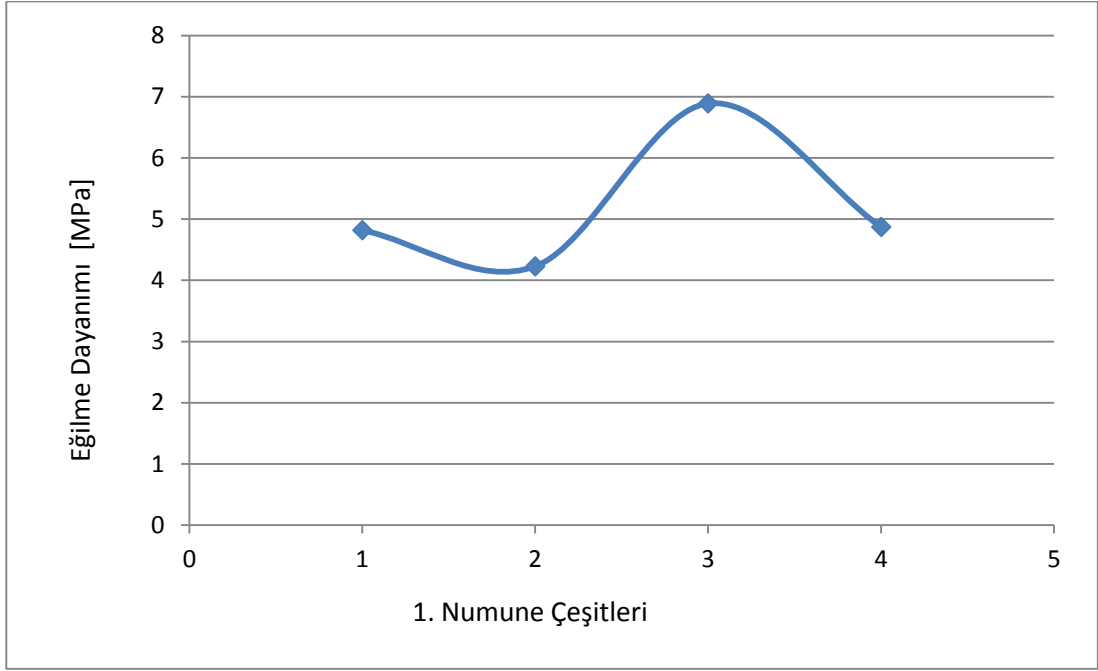
**Şekil 3.10:** Basma ve üç nokta kırma testleri için kullanılan düzenekler.

## 4.BULGULAR

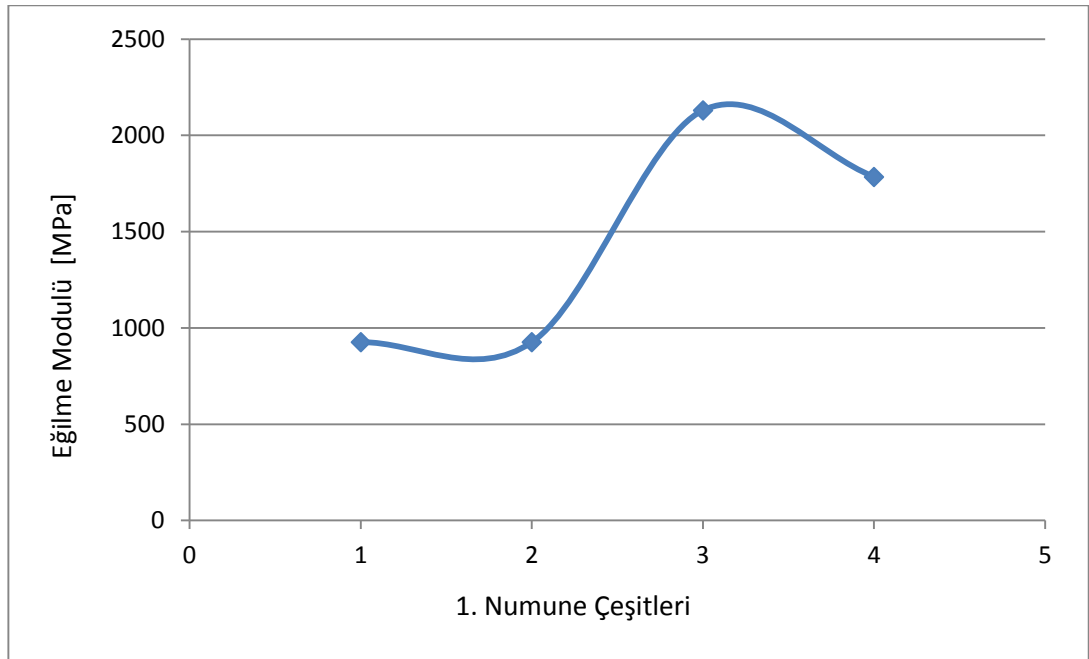
Fosfat bağı dental silindir ve çubuk revetmanların, Hounsfield HKS10 cihazı ile elde edilen analiz sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

**Tablo 4.1:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen 1 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
1-1	1-Q45-%20a	5,23	1100	4,82	926,7
	1-Q45-%20b	4,67	867,1		
	1-Q45-%20c	4,57	813		
1-2	1-Q45-%30a	4,04	866	4,23	926
	1-Q45-%30b	4,46	1062		
	1-Q45-%30c	4,17	850		
1-3	1-Q45-%40a	6,59	2804	6,89	2130
	1-Q45-%40b	6,9	2066		
	1-Q45-%40c	7,18	1521		
1-4	1-Q45-%50a	4,98	1685	4,87	1785,3
	1-Q45-%50b	5,36	1802		
	1-Q45-%50c	4,26	1869		



**Şekil 4.1:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 1 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

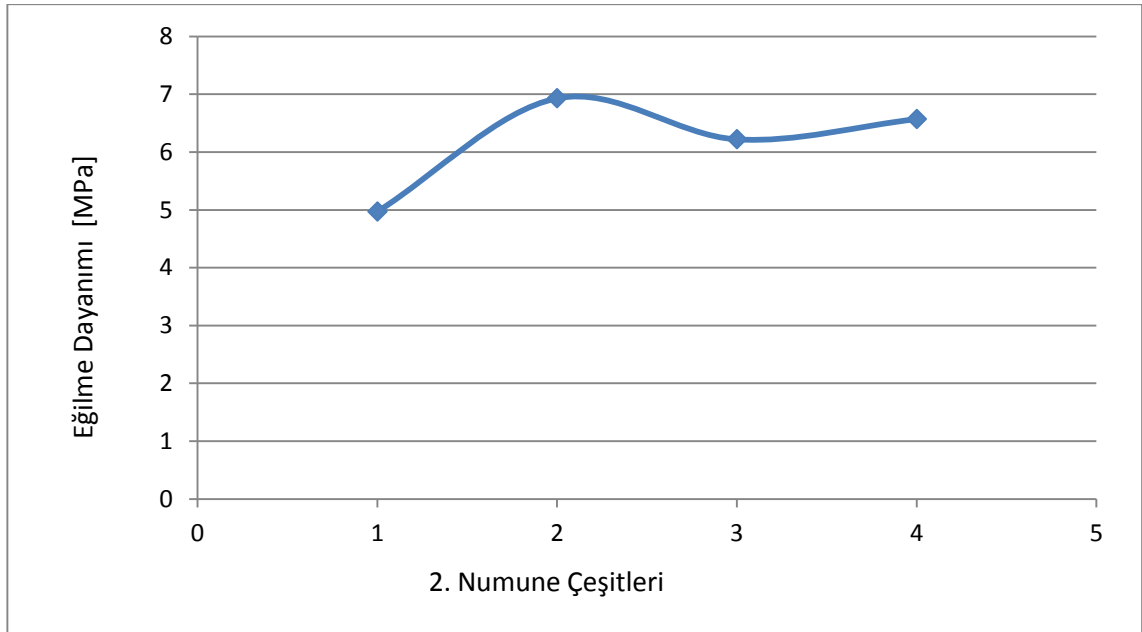


**Şekil 4.2:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 1 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

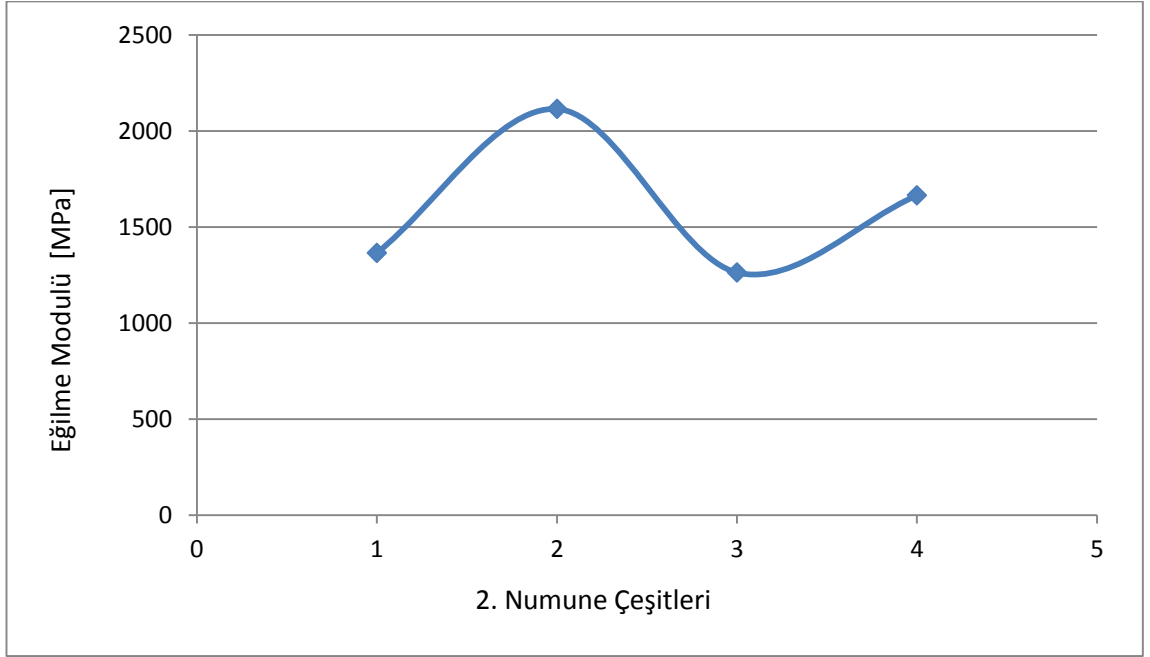


**Tablo 4.2:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen 2 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
2-1	2-M8-%20a	3,85	1174	4,97	1365
	2-M8-%20b	6,46	1585		
	2-M8-%20c	4,60	1336		
2-2	2-M8-%30a	7,77	2914	6,93	2114,3
	2-M8-%30b	6,56	1818		
	2-M8-%30c	6,45	1611		
2-3	2-M8-%40a	6,68	1388	6,22	1263
	2-M8-%40b	5,98	1058		
	2-M8-%40c	6,01	1343		
2-4	2-M8-%50a	4,97	1804	6,57	1664
	2-M8-%50b	7,82	1519		
	2-M8-%50c	6,91	1669		



**Şekil 4.3:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 2 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

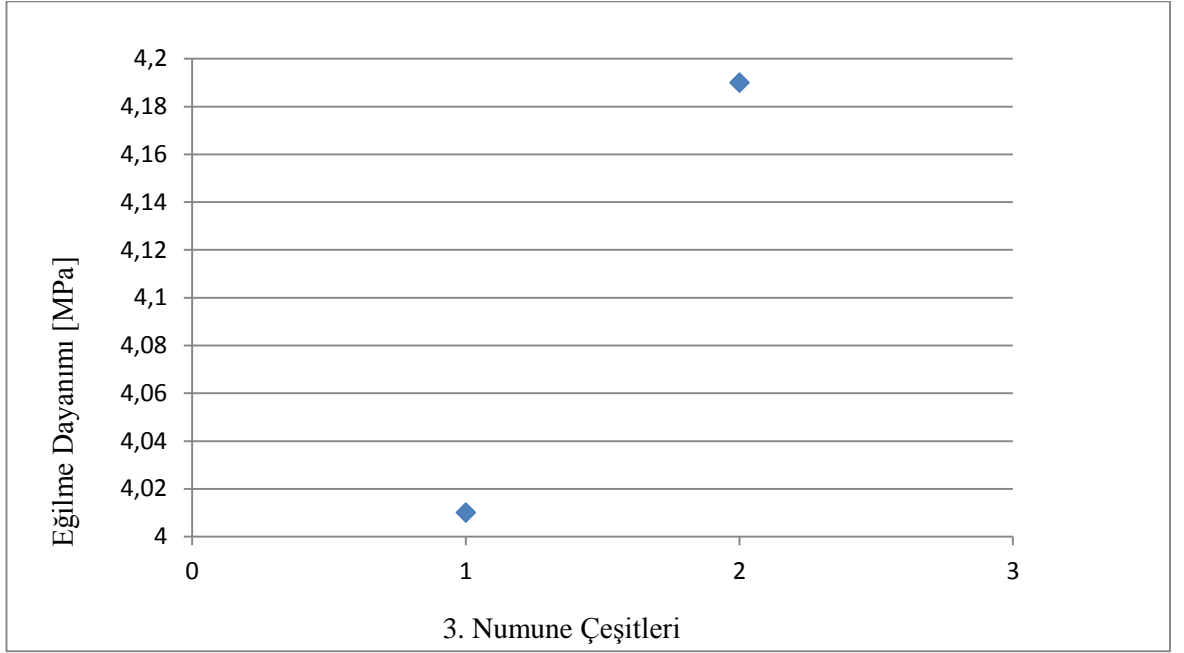


**Şekil 4.4:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 2 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

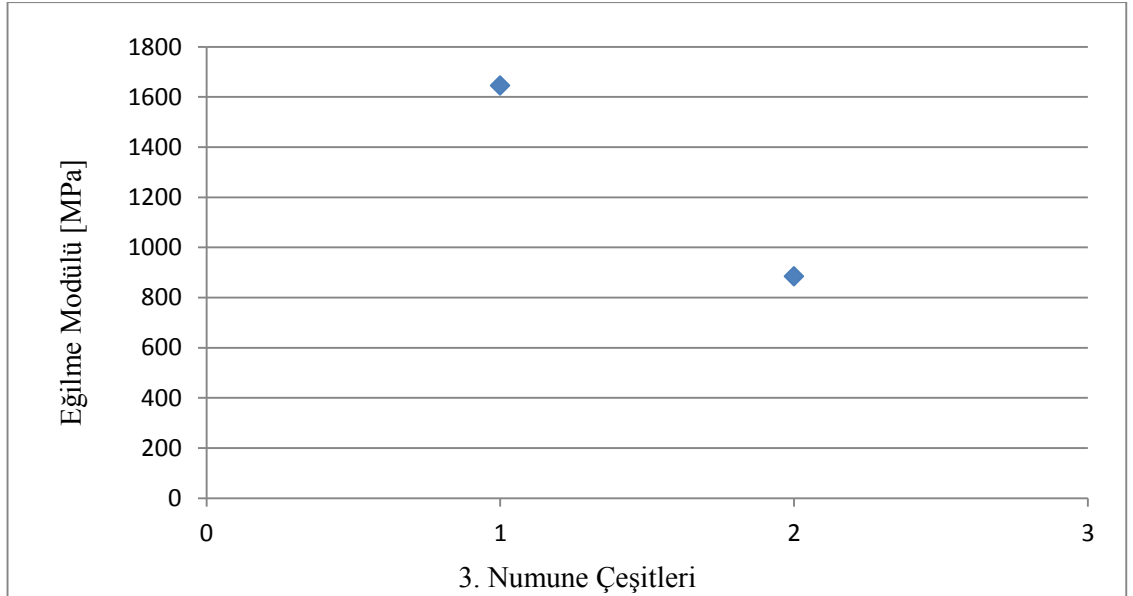
**Tablo 4.3:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen 3 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
3-1	3-M6000-%20a	4,07	1855	4,01	1647
	3-M6000-%20b	3,47	1282		
	3-M6000-%20c	4,49	1806		
3-2	3-M6000-%30a	4,77	1220	4,19	886
	3-M6000-%30b	3,81	248.9		
	3-M6000-%30c	4,00	1189		

%40 ve %50 oranlarında M6000 silisli karışım, karıştırma esnasında yarı katılaşma göstermiş, deney sonuç vermemiştir.



**Şekil 4.5:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen iki adet 3 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

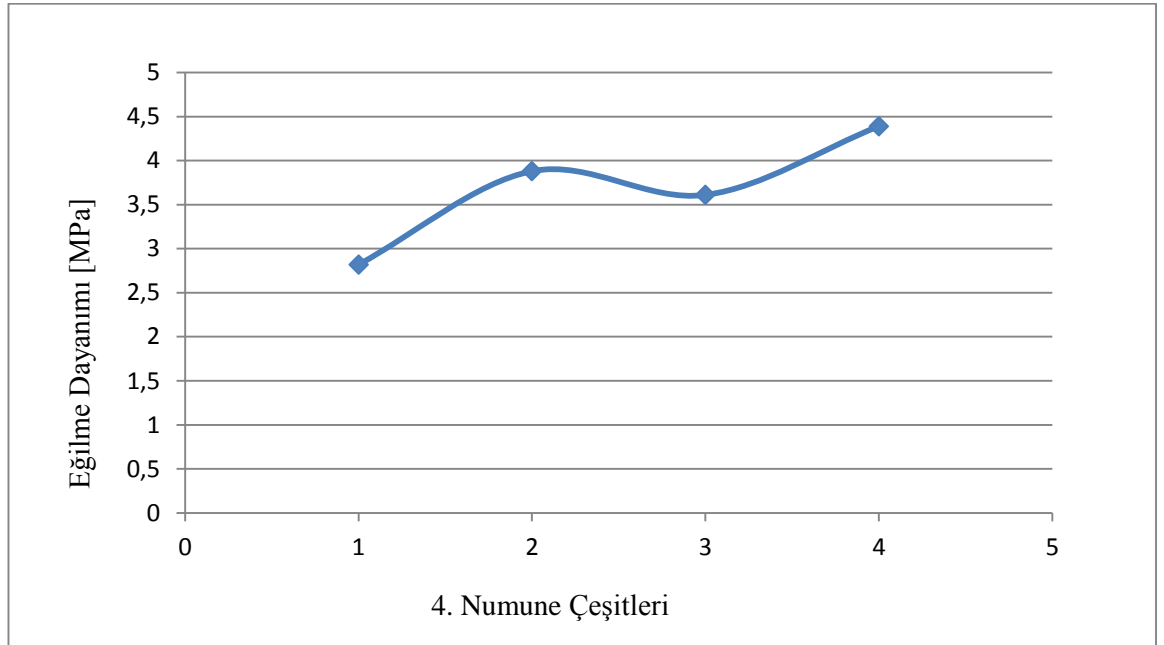


**Şekil 4.6:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen iki adet 3 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

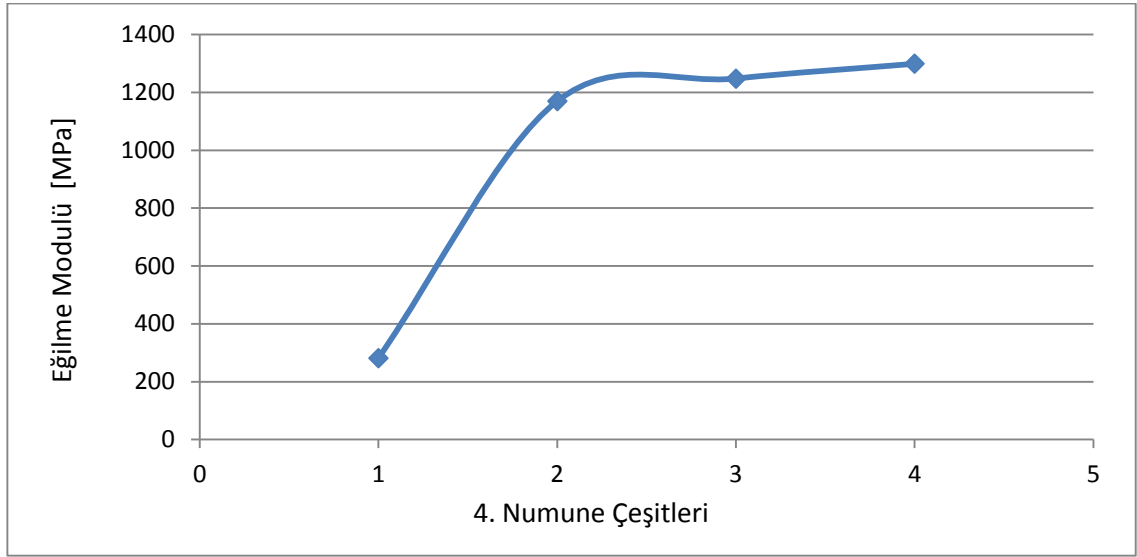
**Tablo 4.4:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen 4 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
4-1	4-150-250 µm-%20a	3,57	135,2	2,82	281,7
	4-150-250 µm-%20b	2,42	710,0		
	4-150-250 µm-%20c	2,46	*		
4-2	4-150-250 µm-%30a	3,76	1221	3,88	1169,7
	4-150-250 µm-%30b	3,75	1611		
	4-150-250 µm-%30c	4,13	677,0		
4-3	4-150-250 µm-%40a	4,68	1754	3,61	1248,0
	4-150-250 µm-%40b	3,5	1332		
	4-150-250 µm-%40c	2,64	657		
4-4	4-150-250 µm-%50a	4,76	1569	4,39	1299,0
	4-150-250 µm-%50b	4,27	1405		
	4-150-250 µm-%50c	5,19	1515		
	4-150-250 µm-%50d	3,35	706,0		

\*Bu değer alınamamıştır.



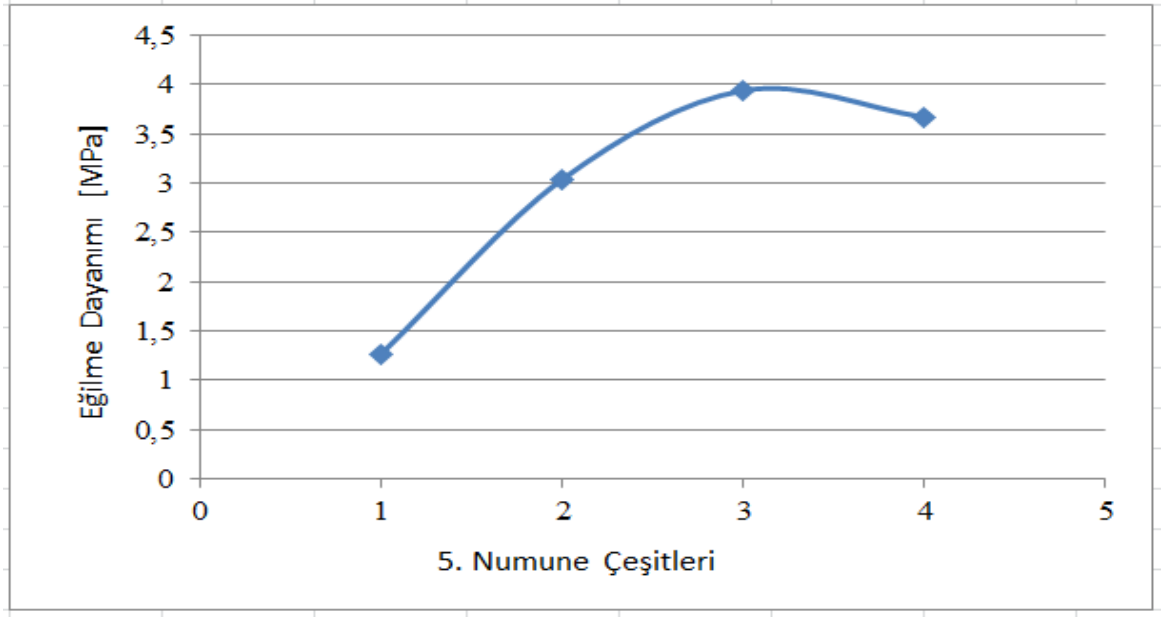
**Şekil 4.7:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 4 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.



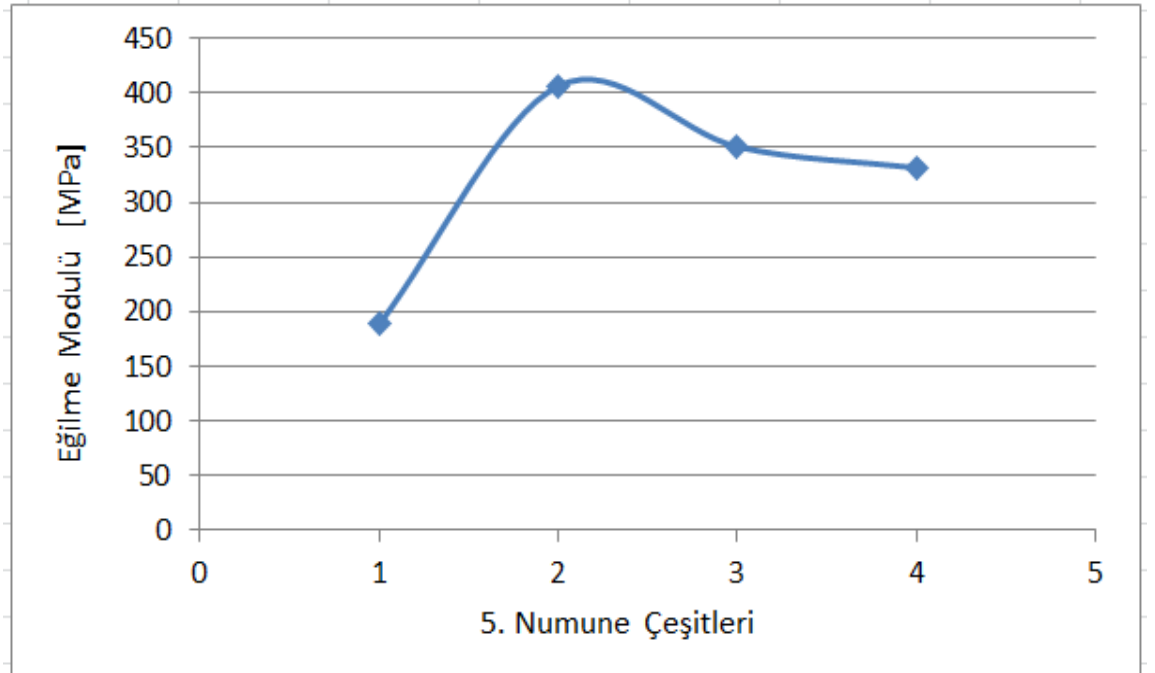
**Şekil 4.8:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumununun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 4 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

**Tablo 4.5:** MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
5-1	5-MgO%10-MAP%40a	1,04	307,4	1,27	188,6
	5-MgO%10-MAP%40b	1,42	108,4		
	5-MgO%10-MAP%40b	1,35	149,9		
5-2	5-MgO%20-MAP%30a	4,18	479,2	3,04	406,4
	5-MgO%20-MAP%30b	1,52	448,2		
	5-MgO%20-MAP%30c	3,29	330,6		
	5-MgO%20-MAP%30d	3,16	367,6		
5-3	5-MgO%30-MAP%20a	2,93	350,5	3,94	350,9
	5-MgO%30-MAP%20b	3,8	316,88		
	5-MgO%30-MAP%20c	5,08	385,32		
5-4	5-MgO%40-MAP%10a	3,26	566	3,67	331,6
	5-MgO%40-MAP%10b	4,59	299,4		
	5-MgO%40-MAP%10c	3,16	129,5		



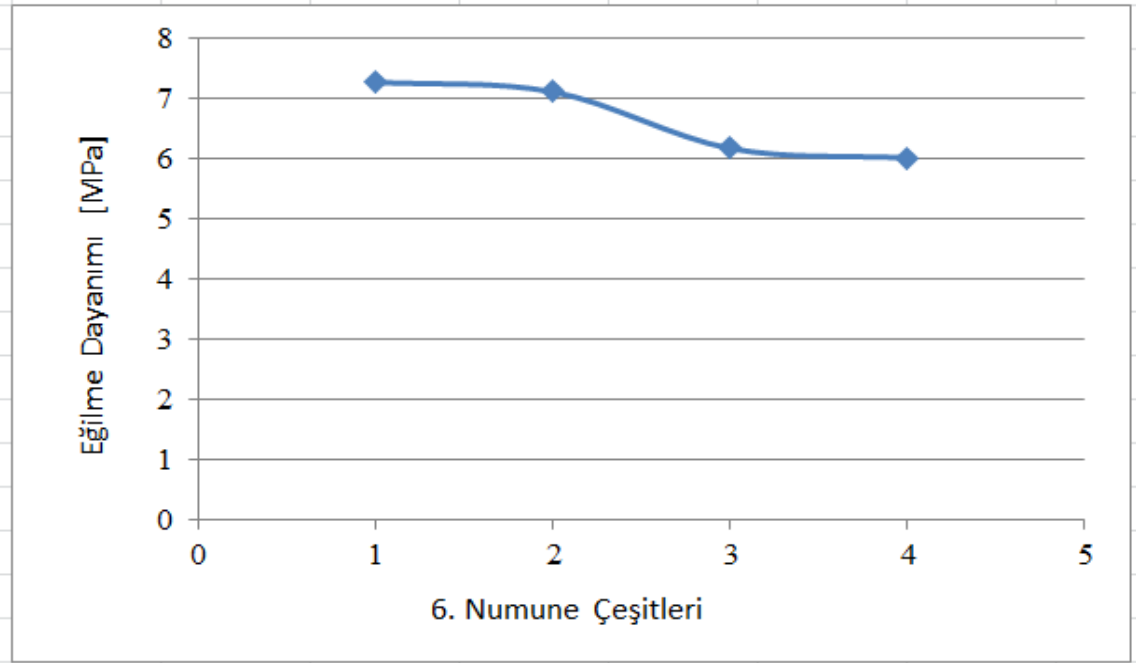
**Şekil 4.9:** MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.



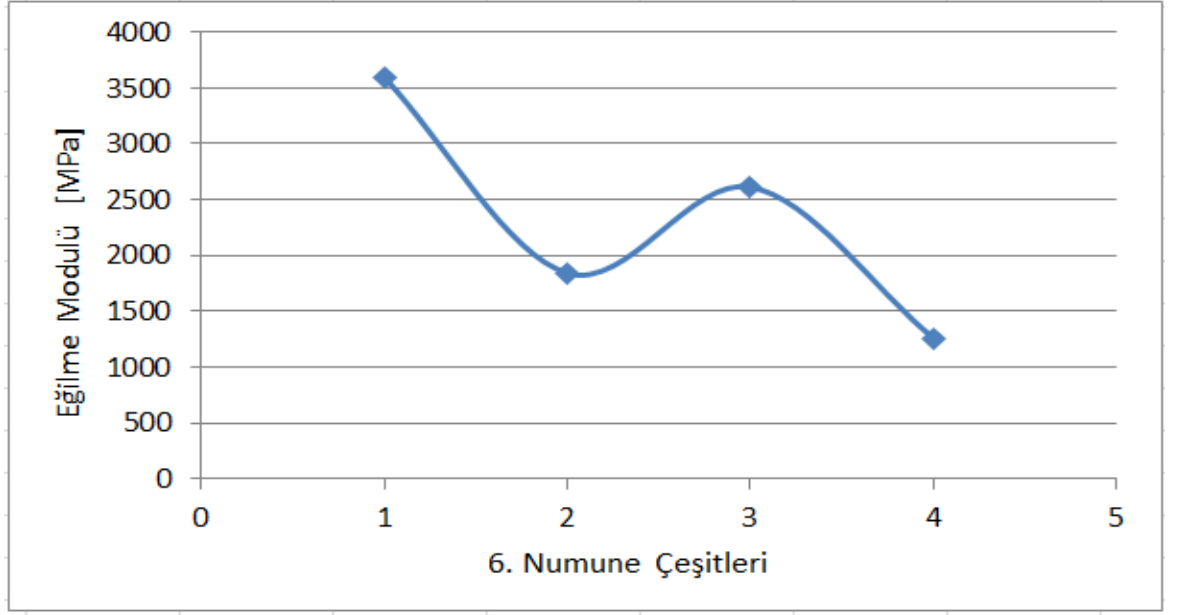
**Şekil 4.10:** MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

**Tablo 4.6:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumununun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
6-1	6-Q45%10- M8%40a	6,59	3254	7,27	3593
	6-Q45%10- M8%40b	7,47	3393		
	6-Q45%10-M8%40c	7,76	4162		
6-2	6-Q45%20- M8%30a	5,46	1898	7,11	1842
	6-Q45%20- M8%30b	8,19	762		
	6-Q45%20- M8%30c	7,67	2864		
6-3	6-Q45%30- M8%20a	6,26	1928	6,17	2613
	6-Q45%30- M8%20b	6,53	2901		
	6-Q45%30- M8%20c	5,73	3011		
6-4	6-Q45%40- M8%10a	6,53	1632	6,01	1258
	6-Q45%40- M8%10b	5,33	929		
	6-Q45%40- M8%10c	6,17	1213		



**Şekil 4.11:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumununun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.



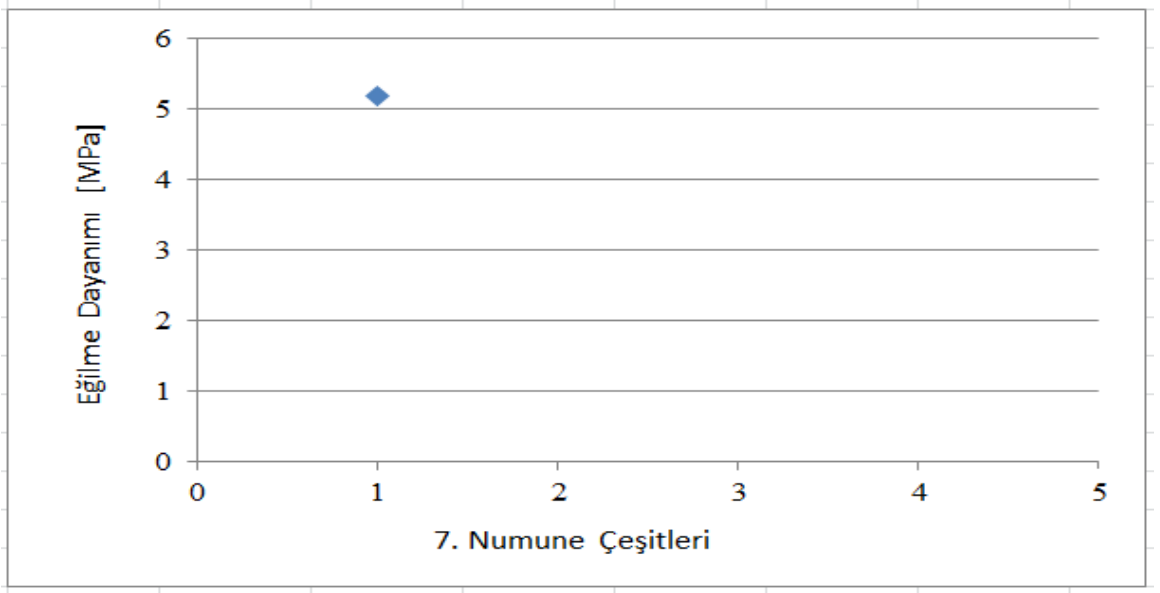
**Şekil 4.12:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

**Tablo 4.7:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup, Q45 ağırlık oranının %40, M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

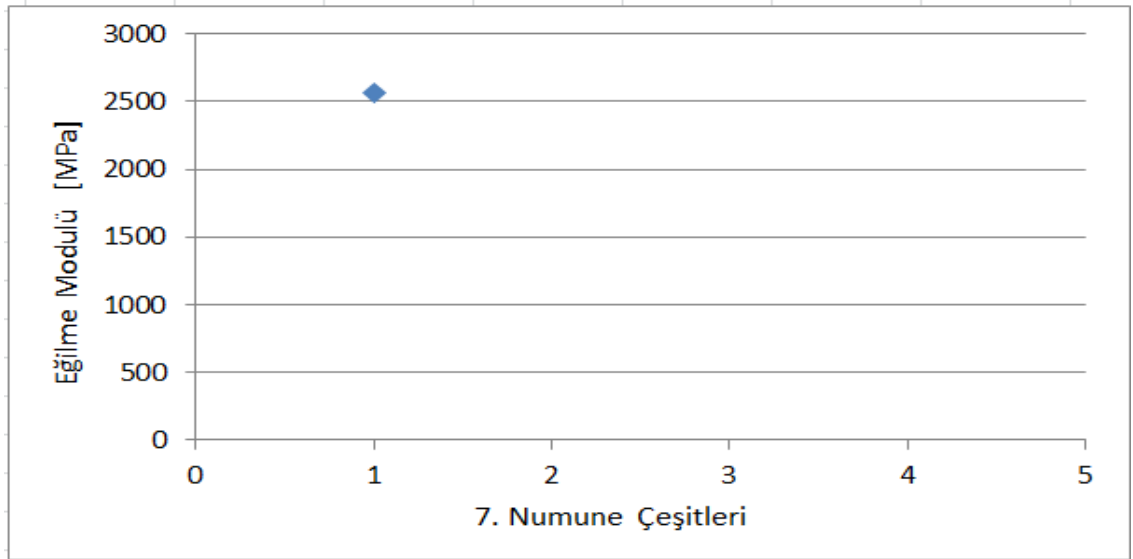
Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
7-1	7-M6000%40 Q45%10a	5,6	2306	5,18	2569
	7-M6000%40 Q45%10b	4,91	2607		
	7-M6000%40 Q45%10c	5,02	2795		

Q45 ve M6000 karışımli formüllerde M6000 tozunun %40, %30 ve %20 miktarlarında daha karıştırma anında bölgesel katılma olmuş ve karışım kalıplara dökülemediği.





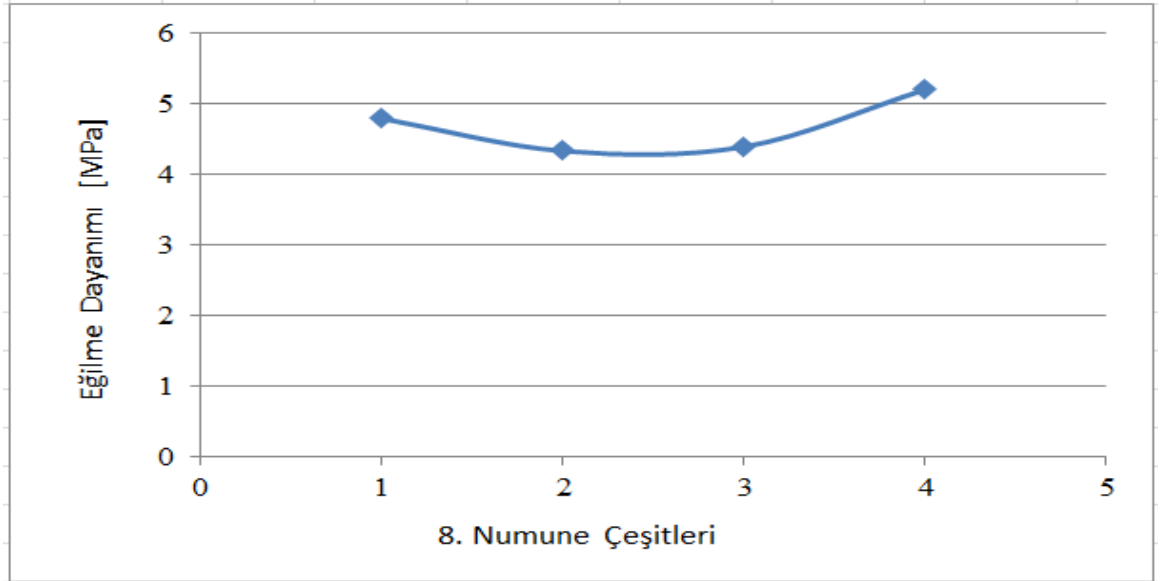
**Şekil 4.13:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup, Q45 ağırlık oranının %40, M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.



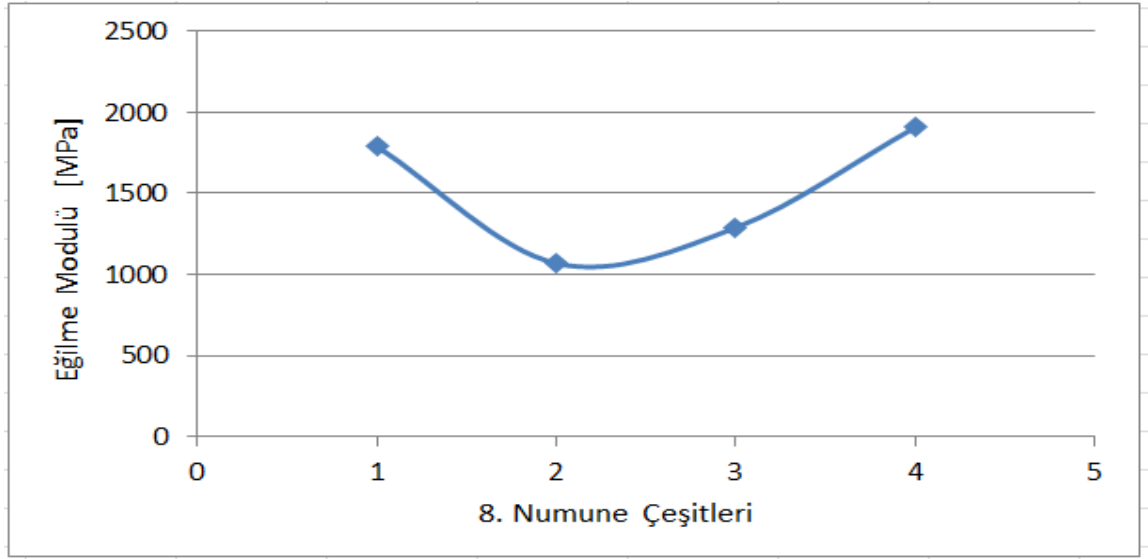
**Şekil 4.14:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup, Q45 ağırlık oranının %40, M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

**Tablo 4.8:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250 $\mu$ m ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
8-1	8-150-250 $\mu$ m%40-Q45%10a	5,23	1814	4,79	1789
	8-150-250 $\mu$ m%40-Q45%10a	4,6	1840		
	8-150-250 $\mu$ m%40-Q45%10c	4,54	1713		
8-2	8-150-250 $\mu$ m%30-Q45%20a	4,76	1410	4,33	1069
	8-150-250 $\mu$ m%30-Q45%20b	4,27	636		
	8-150-250 $\mu$ m%30-Q45%20c	3,96	1160		
8-3	8-150-250 $\mu$ m%20-Q45%30a	4,52	1416	4,39	1290
	8-150-250 $\mu$ m%20-Q45%30b	4,45	1996		
	8-150-250 $\mu$ m%20-Q45%30c	4,19	458,5		
8-4	8-150-250 $\mu$ m%10-Q45%40a	4,92	1559	5,2	1908
	8-150-250 $\mu$ m%10-Q45%40b	5,18	2154		
	8-150-250 $\mu$ m%10-Q45%40c	5,5	2013		



**Şekil 4.15:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250 $\mu$ m ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

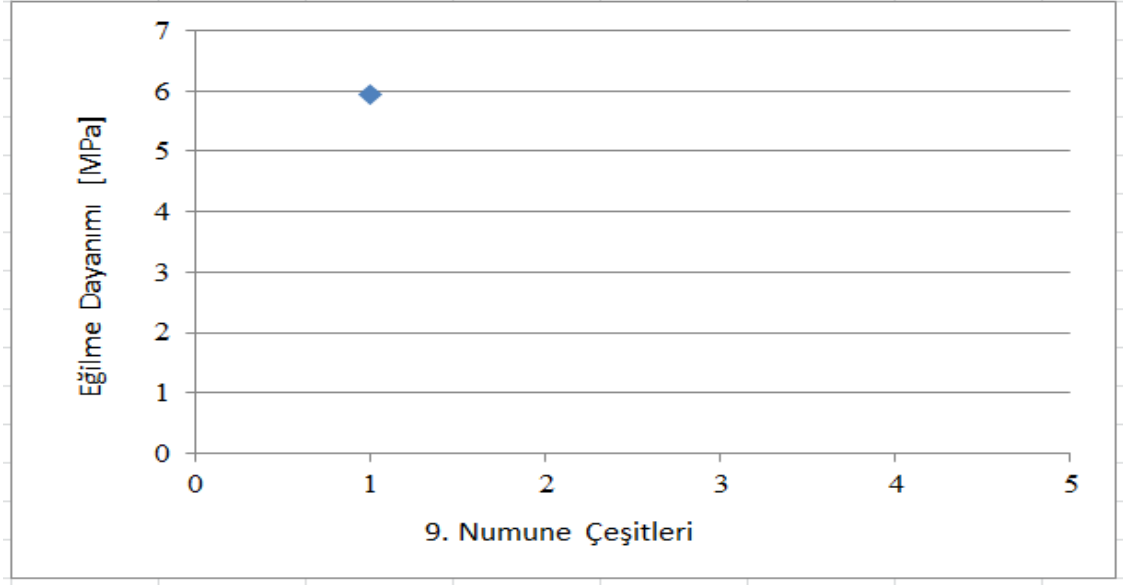


**Şekil 4.16:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

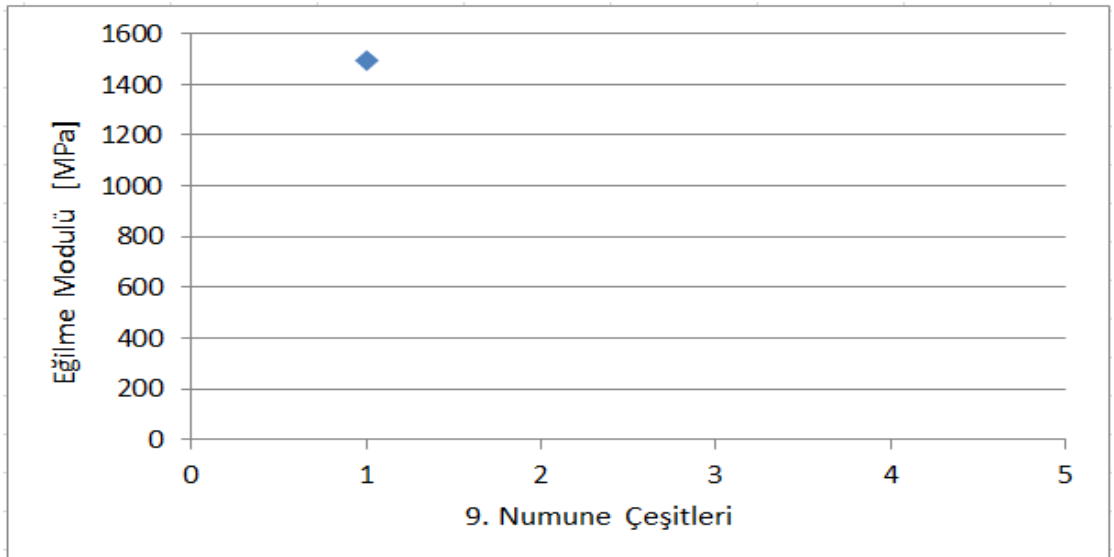
**Tablo 4.9:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
9-1	9-M8%40-M6000%10a	3,5	1450	5,94	1494
	9-M8%40-M6000%10b	7,32	1415		
	9-M8%40-M6000%10c	7,1	1569		
	9-M8%40-M6000%10d	5,82	1542		

M8 ve M6000 karışımli formüllerde M6000 tozunun %40, %30 ve %20 miktarlarında daha karıştırma anında bölgesel katılaşma oluşmuş ve karışım kalıplara dökülememiştir.



**Şekil 4.17:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

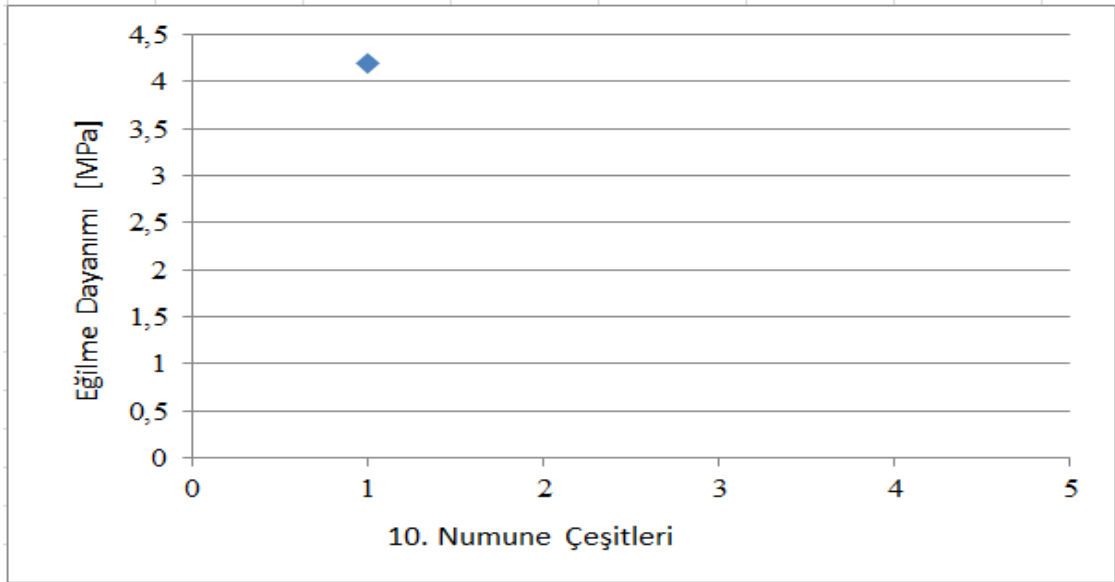


**Şekil 4.18:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

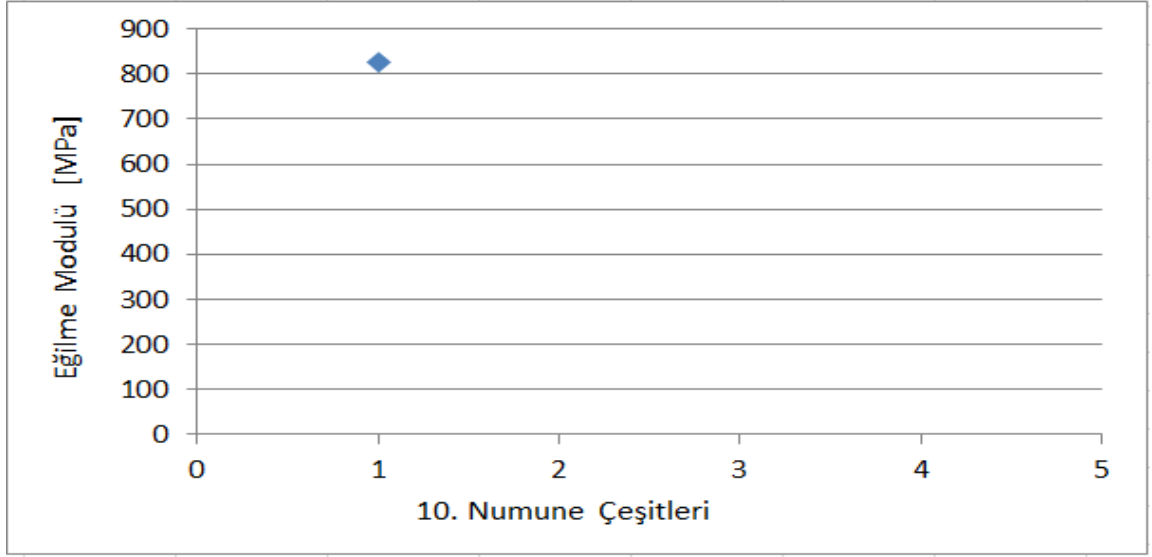
**Tablo 4.10:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250 $\mu$ m ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
10-1	10-150-250 $\mu$ m%40-M6000%10a	4,06	288,5	4,2	824,5
	10-150-250 $\mu$ m%40-M6000%10b	4,41	890		
	10-150-250 $\mu$ m%40-M6000%10c	4,13	1295		

150-250 $\mu$ m ve M6000 karışımli formüllerde M6000 tozunun %40, %30 ve %20 miktarlarında daha karıştırma anında bölgesel katılaşma olmuş ve karışım kalıplara dökülememiştir.



**Şekil 4.19:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250 $\mu$ m ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

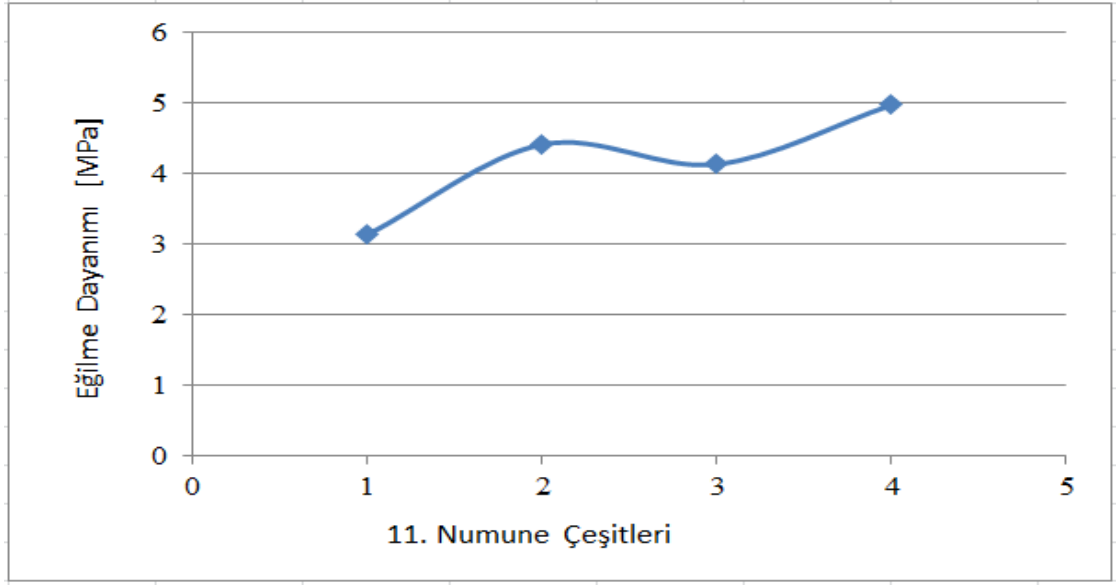


**Şekil 4.20:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-50 $\mu$ m ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

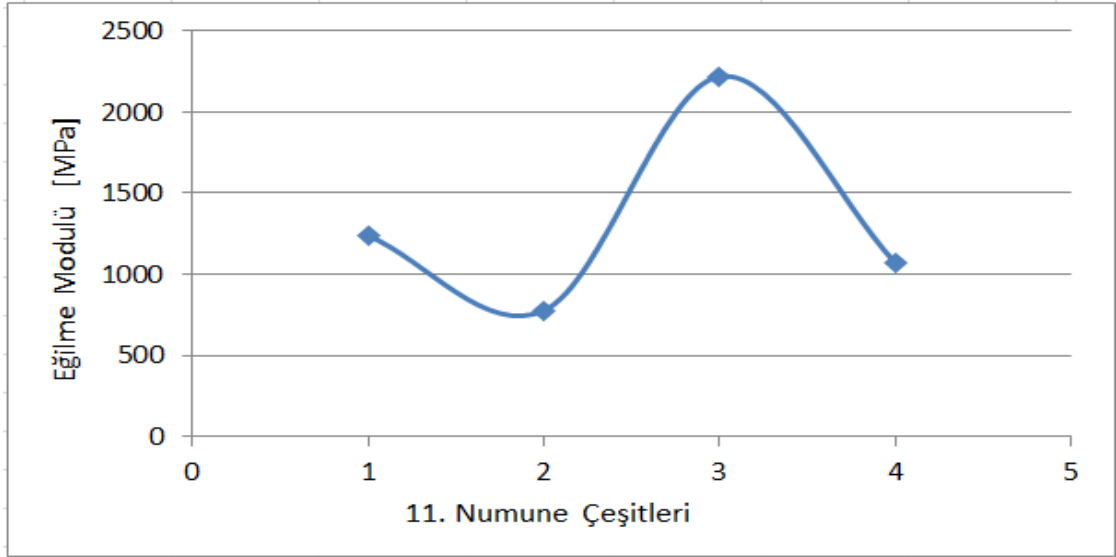
Bu çalışmalar neticesinde M6000 oranını %10 (ağırlıkça) tutarak 150-250 $\mu$ /M8 oranı aşağıdaki gibi değiştirilmiştir ve mekanik testler gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 4.11:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, 150-250 $\mu$ m ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

Numune Grafik Kodu	Çubuk Numune	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Modülü (MPa)
11-1	11-150-250 $\mu$ m%40-M8%10a	4,4	1975	3,13	1237
	11-150-250 $\mu$ m%40-M8%10b	4,09	1047		
	11-150-250 $\mu$ m%40-M8%10c	3,91	690		
11-2	11-150-250 $\mu$ m%30-M8%20a	3,41	1001	4,41	778
	11-150-250 $\mu$ m%30-M8%20b	4,54	811		
	11-150-250 $\mu$ m%30-M8%20c	4,17	496,3		
	11-150-250 $\mu$ m%20-M8%20d	5,53	827		
11-3	11-150-250 $\mu$ m%20-M8%30a	3,91	1744	4,13	2219
	11-150-250 $\mu$ m%20-M8%30b	4,2	2304		
	11-150-250 $\mu$ m%20-M8%30c	4,27	2611		
11-4	11-150-250 $\mu$ m%10-M8%40a	4,46	1407	4,97	1068
	11-150-250 $\mu$ m%10-M8%40b	4,79	856		
	11-150-250 $\mu$ m%10-M8%40c	4,89	464,4		
	11-150-250 $\mu$ m%10-M8%40d	5,73	1544		



**Şekil 4.21:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, 150-250 $\mu$ m ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.



**Şekil 4.22:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, 150-250 $\mu$ m ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin üç nokta kırma testi sonuçları.

**Tablo 4.12:** Silindir revetmanların mekanik özelliklerinin sonuçları.

Silindir Numune	Maksimum Uzama mm	% Maksimum uzama	Ortalama % Maksimum uzama	Kırılma gerilmesi MPa	Ortalama kırılma MPa
<b>1-Q45-%20</b>	2,31	5,85	5,70	1,408	0,56
	2,7	6,84		0,0118	
	1,74	4,41		0,28	
<b>1-Q45-%30</b>	1,02	2,58	2,37	1,15	1,30
	0,70	1,77		1,31	
	1,09	2,76		1,45	
<b>1-Q45%40</b>	1,51	3,82	5,41	1,35	1,85
	1,74	4,41		3,50	
	3,16	8,00		0,69	
<b>1-Q45-%50</b>	4,05	10,25	8,11	0,15	0,29
	2,23	5,65		0,08	
	3,33	8,43		0,64	
<b>2-M8-%20</b>	2,52	6,38	6,64	0,42	0,43
	1,62	4,10		0,16	
	3,54	8,96		0,72	
<b>2-M8-%30</b>	2,39	6,04	7,11	0,58	1,13
	3,50	8,87		1,92	
	2,53	6,41		0,90	
<b>2-M8-%40</b>	3,19	8,07	5,80	1,82	1,57
	2,00	5,06		0,49	
	2,12	5,37		2,10	
	1,85	4,68		1,87	
<b>2-M8-%50</b>	1,79	4,53	5,21	3,62	2,37
	1,57	3,98		1,43	
	2,02	5,11		2,80	
	2,85	7,21		1,61	
<b>3-M6000-%20</b>	2,20	5,56	7,42	1,48	0,78
	3,39	8,58		0,64	
	2,94	7,44		0,56	
	3,20	8,10		0,43	
<b>3-M6000-%30</b>	1,41	3,57	5,24	0,51	0,27
	3,29	8,33		0,20	
	1,51	3,83		0,11	
<b>4-150-250µm-%20</b>	5,26	13,31	14,06	1,53	1,43
	6,55	16,58		0,89	
	4,85	12,28		1,87	

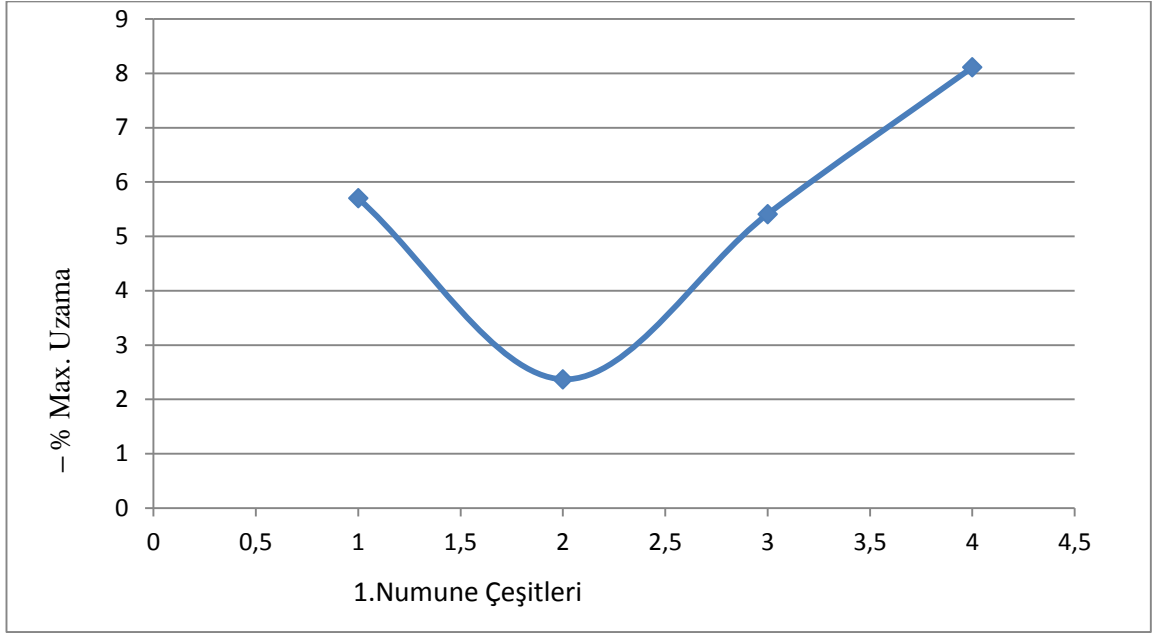


Tablo 4.12: (devam)

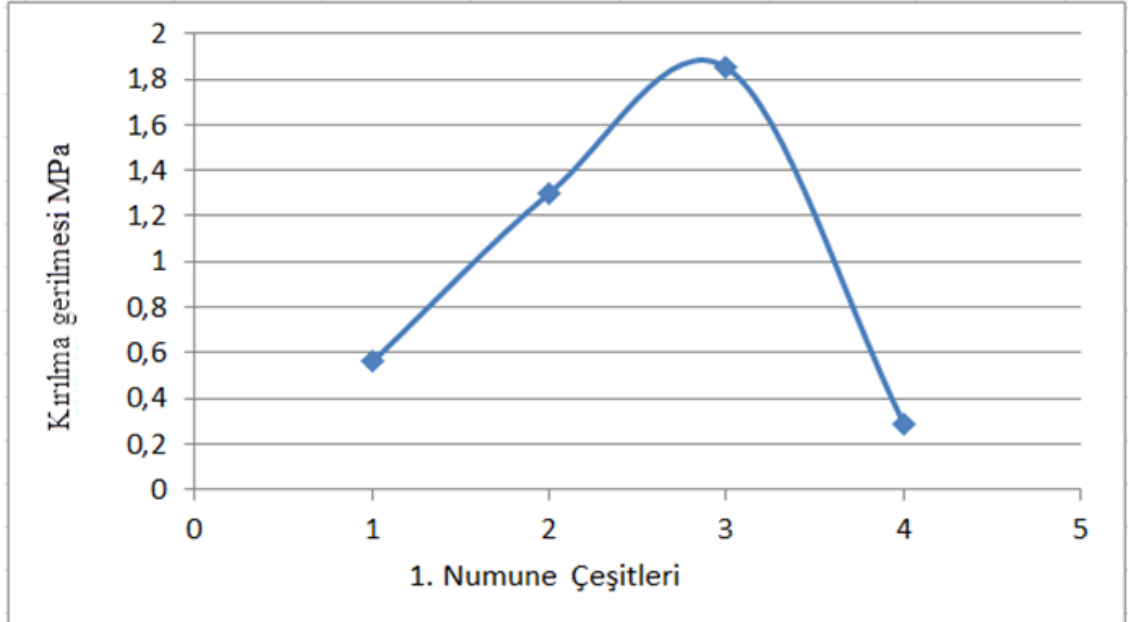
Silindir Numune	Maksimum Uzama mm	% Maksimum uzama	Ortalama % Maksimum uzama	Kırılma gerilmesi MPa	Ortalama Kırılma MPa
4-150-250µm-%30	2,25	5,69	9,54	0,80	1,25
	5,15	13,04		1,82	
	3,91	9,90		1,13	
4-150-250µm-%40	2,1	5,32	6,81	1,24	0,89
	2,11	5,35		1,03	
	3,86	9,77		0,39	
4-150-250µm-%50	2,95	7,47	7,60	0,28	0,58
	2,84	7,19		0,08	
	3,22	8,15		1,37	
5-MgO%10-MAP%40	3,72	9,42	8,07	0,43	0,32
	2,88	7,29		0	
	2,01	5,08		0,25	
	3,76	9,52		0,18	
	3,58	9,05		0,43	
5-MgO%20-MAP%30	3,28	8,3	8,87	3,11	3,80
	3,78	9,57		4,86	
	2,67	6,76		3,90	
	4,29	10,86		3,33	
5-MgO%40-MAP%10	2,78	7,04	9,03	0,49	0,96
	5,25	13,29		1,69	
	2,67	6,76		0,72	
5-MgO%30-MAP%20	2,98	7,54	9,18	1,72	1,45
	3,54	8,96		1,05	
	4,36	11,04		1,59	
6-M8%40-Q45%10	3,26	8,24	8,76	5,60	4,75
	4,04	10,23		4,69	
	3,08	7,8		3,96	
6-M8%30-Q45%20	1,76	4,46	5,60	4	3,79
	1,91	4,84		4,9	
	2,96	7,49		2,48	
6-M8%20-Q45%30	2,43	6,16	6,34	3,99	4,06
	1,89	4,78		3,9	
	3,19	8,08		4,28	
6-M8%10-Q45%40	2,35	5,95	6,81	1,75	1,48
	2,77	7,01		1,44	
	2,95	7,47		1,26	
7-M6000%10-Q45%40	7,6	19,24	8,81	2,07	3,01
	1,81	4,58		3,73	
	1,03	2,61		3,22	

Tablo 4.12: (devam)

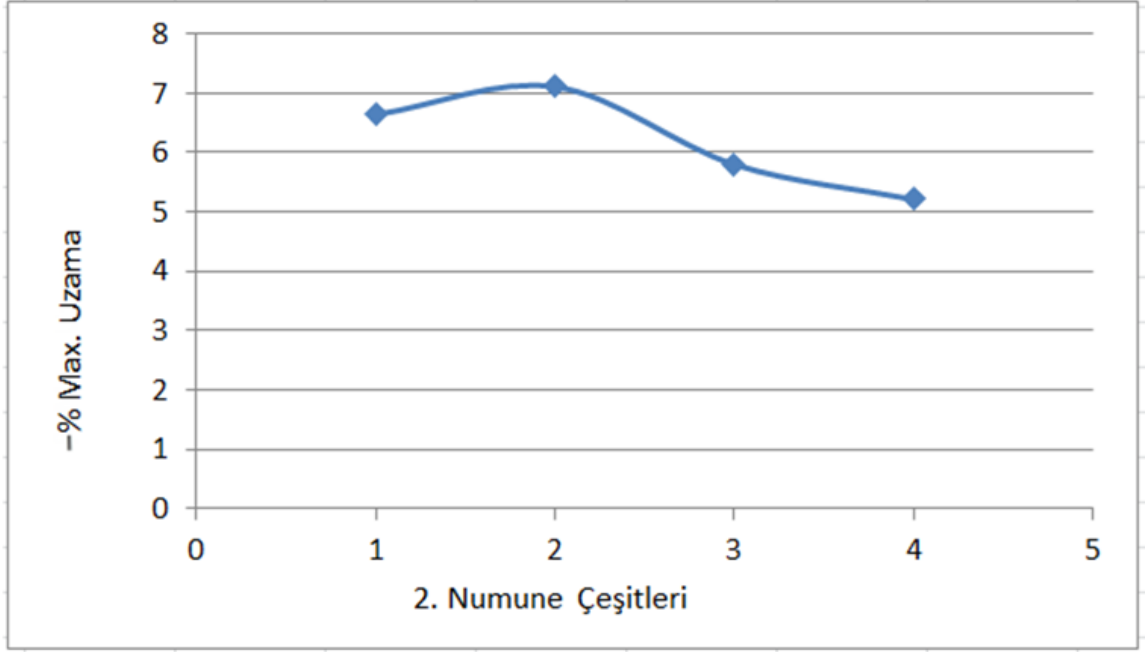
Silindir Numune	Maksimum Uzama mm	% Maksimum uzama	Ortalama % Maksimum uzama	Kırılma gerilmesi MPa	Ortalama kırılma MPa
8-Q45-%10-150-250µm%40	3,12	7,9		0,68	
	1,91	4,84	5,97	1,29	1,16
	2,04	5,16		1,51	
8-Q45-%20-150-250µm%30	2,62	6,63		0,81	
	1,86	4,71	5,62	1,67	1,36
	2,18	5,52		1,61	
8-Q45-%30-150-250µm%20	2,61	6,6		0,7	
	2,92	7,39	5,87	0,76	1,16
	1,43	3,62		2,03	
8-Q45-%40-150-250µm%10	3,73	9,44		0,94	
	2,82	7,14	7,75	3	1,88
	2,63	6,66		1,7	
9-M6000%10-M8%40	2,99	7,57		2,86	
	2,85	7,21	6,88	3,96	3,69
	2,32	5,87		4,25	
10-150-250µm%40-M6000%10	1,53	3,87		1,86	
	2,83	7,17	5,12	6,54	4,2
	1,71	4,33			
11-150-250µm%40-M8%10	3,36	8,51		1,58	
	5,34	13,52	9,93	1,94	1,37
	3,06	7,75		0,58	
11-150-250µm%30-M8%20	1,95	4,94		12,26	
	2,32	5,87	6,37	0,95	4,85
	1,58	4		3,51	
	4,14	10,47		2,67	
11-150-250µm%20-M8%30	1,56	3,95		1,82	
	2,12	5,37	5,62	1,61	1,59
	2,98	7,53		1,34	
11-150-250µm%10-M8%40	2,81	7,11		4,17	
	3,18	8,05	6,46	0,64	2,10
	1,67	4,23		1,5	



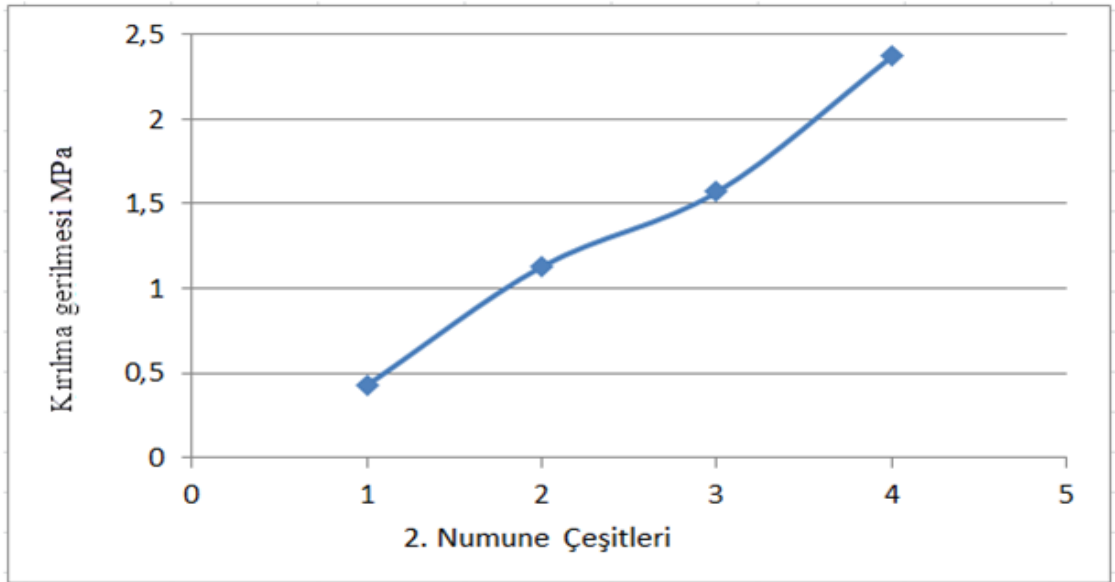
**Şekil 4.23:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 1 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



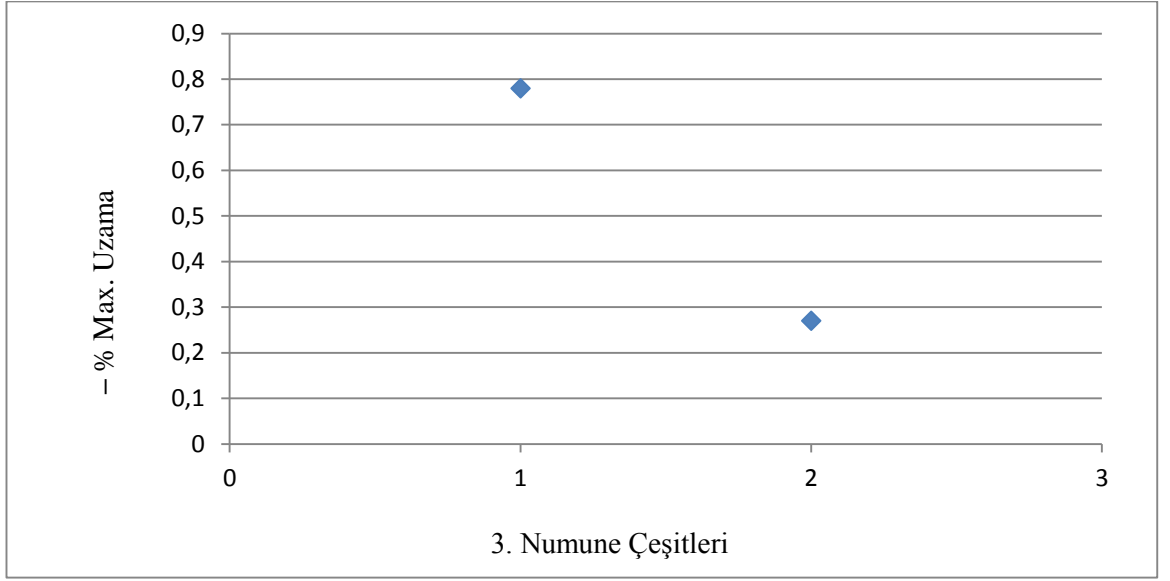
**Şekil 4.24:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup Q45 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 1 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



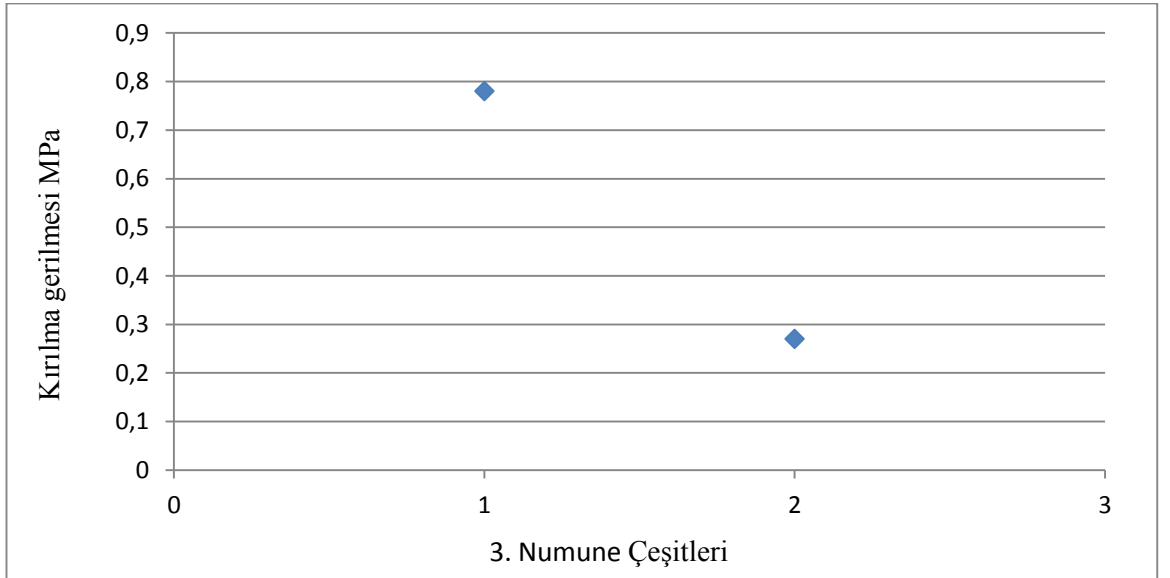
**Şekil 4.25:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 2 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



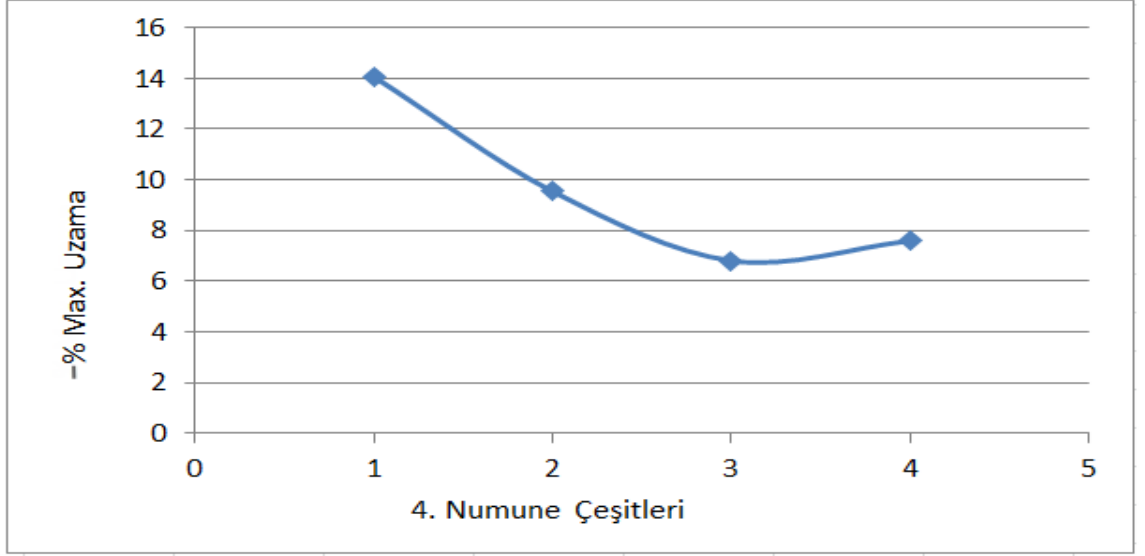
**Şekil 4.26:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 2 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



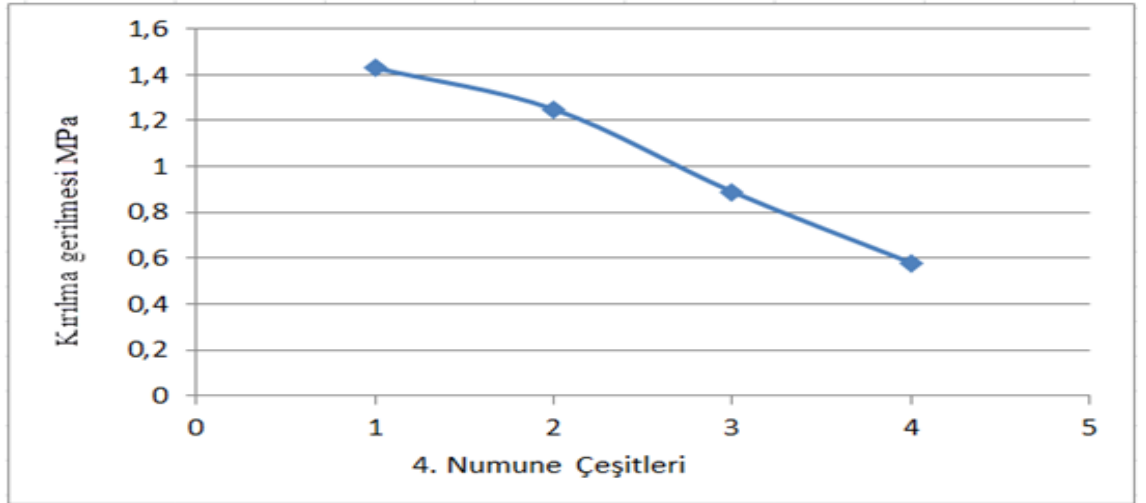
**Şekil 4.27:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen iki adet 3 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



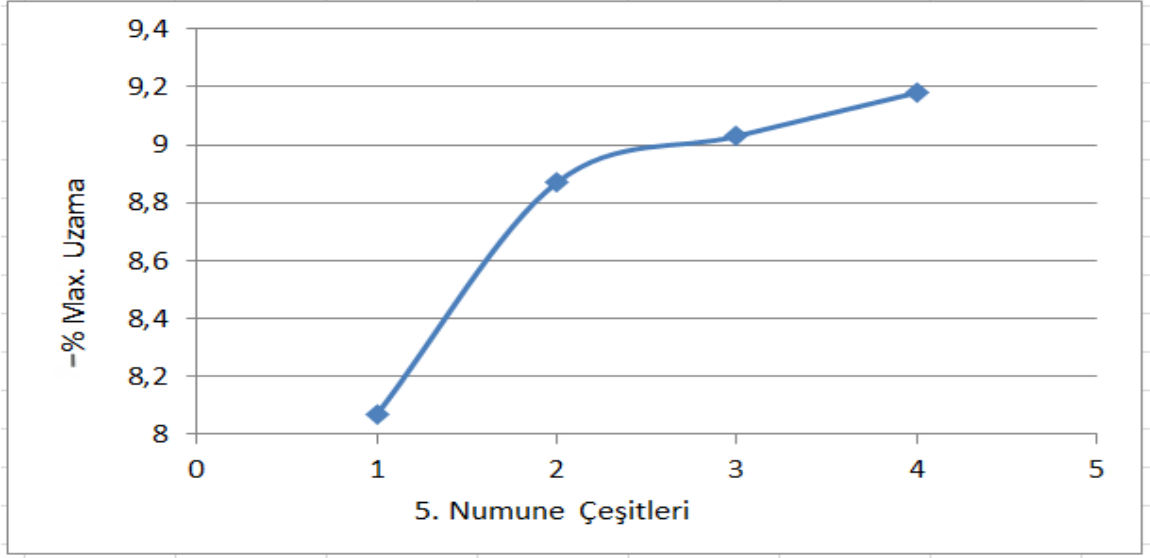
**Şekil 4.28:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M6000 silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen iki adet 3 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



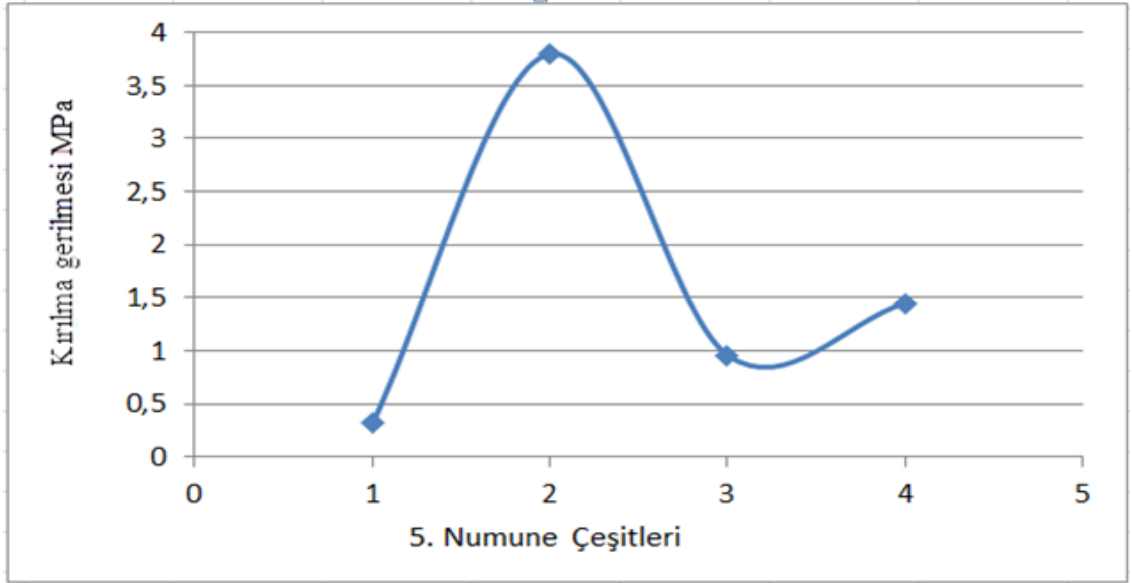
**Şekil 4.29:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 4 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



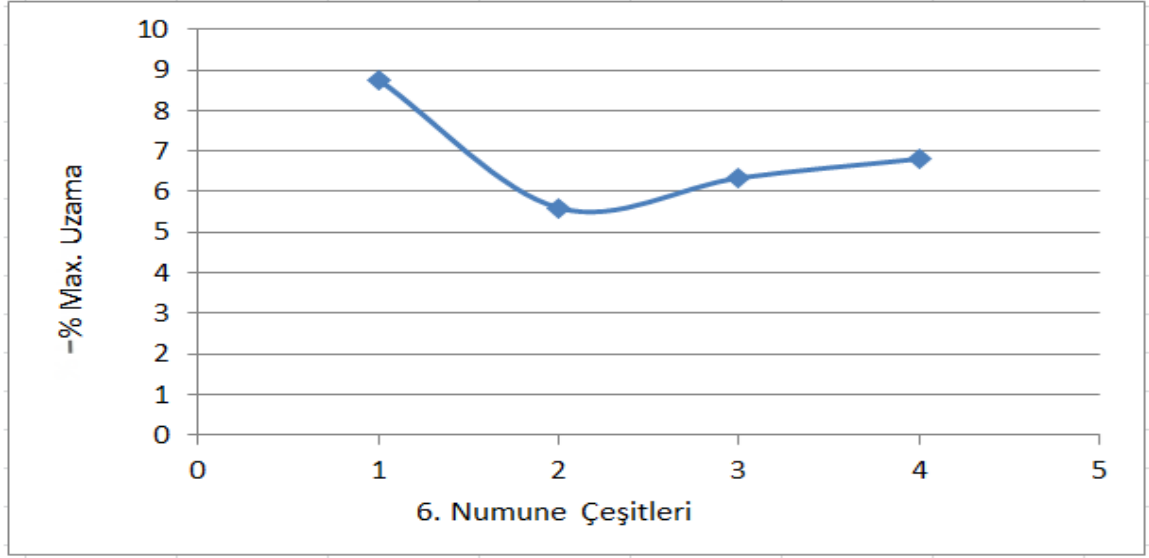
**Şekil 4.30:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm silis kumunun %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen dört adet 4 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



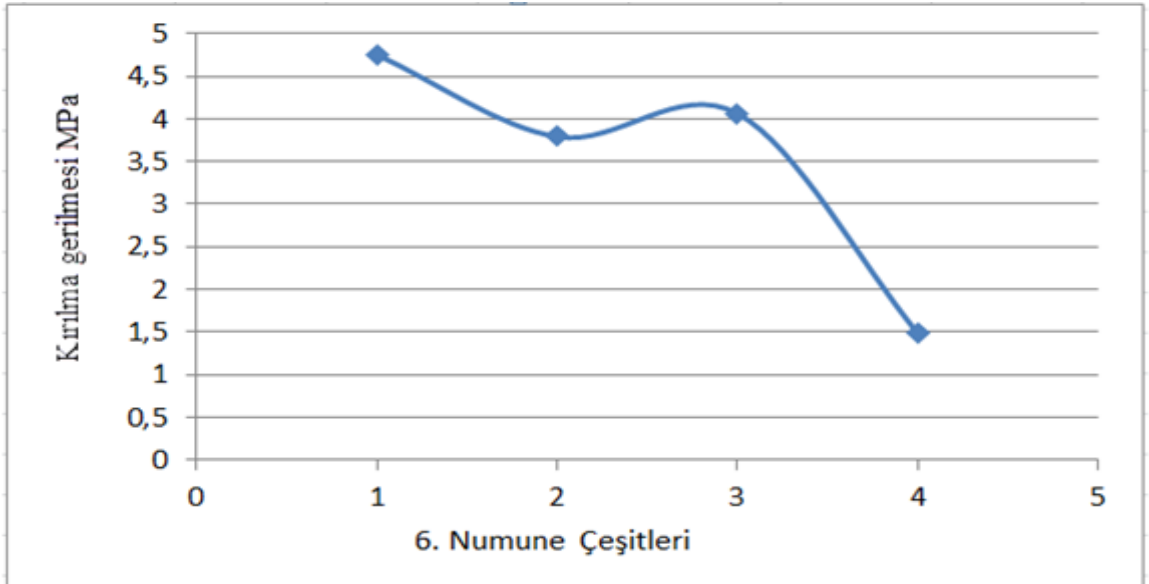
Şekil 4.31: MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



Şekil 4.32: MgO ağırlık oranının ve MAP ağırlık oranının değiştirilerek elde edilen 5 numaralı numunenin basma testi sonuçları.

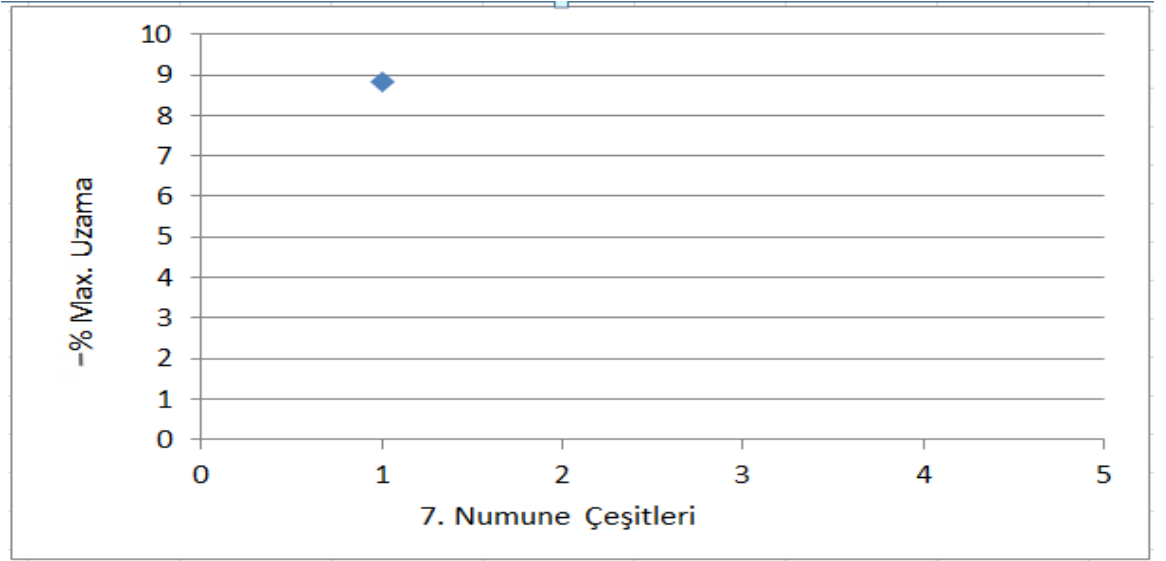


**Şekil 4.33:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin basma testi sonuçları.

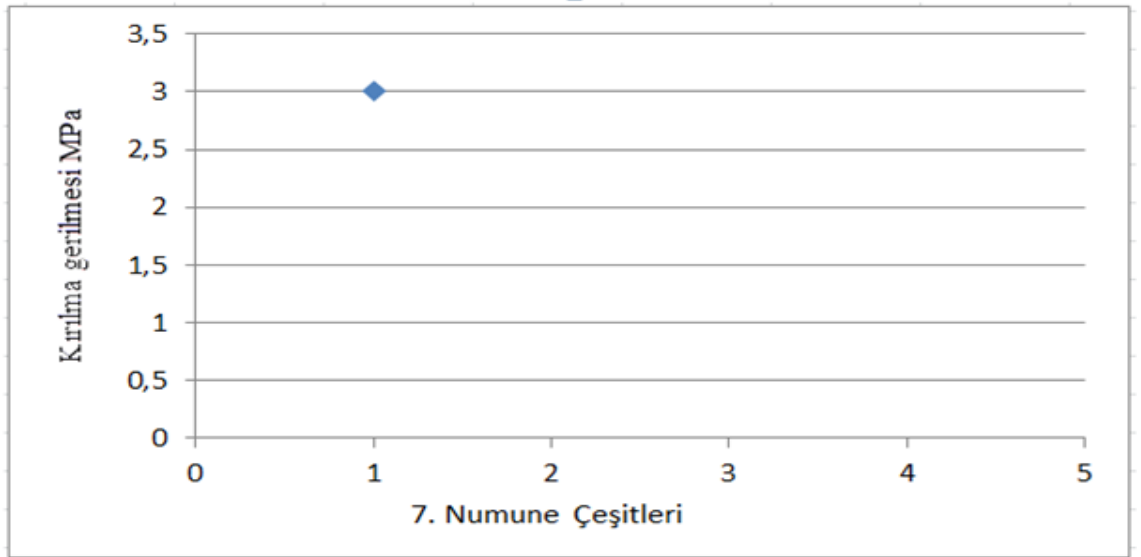


**Şekil 4.34:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 6 numaralı numunenin basma testi sonuçları.

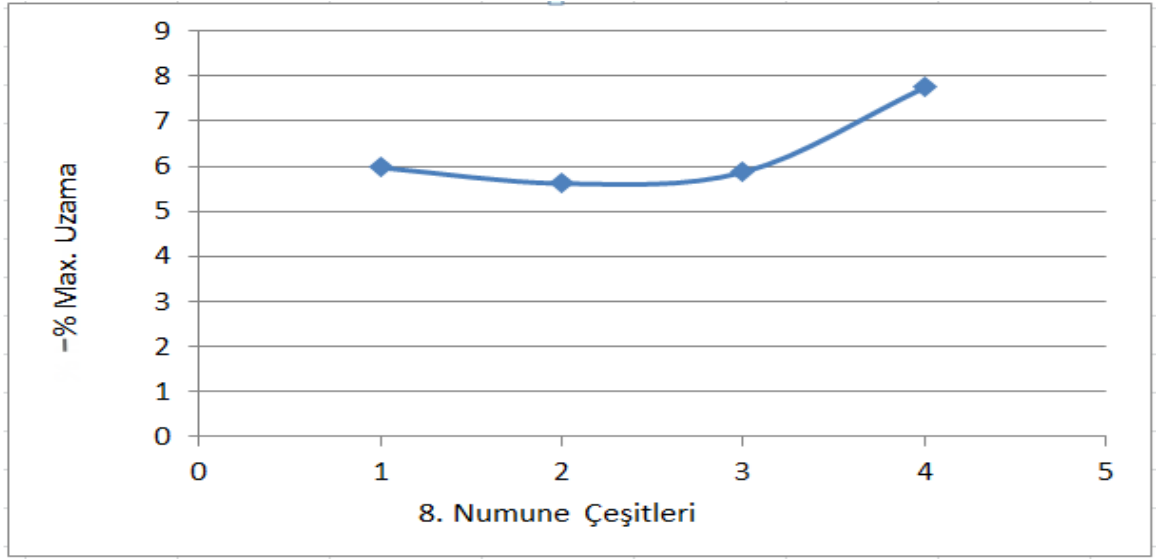




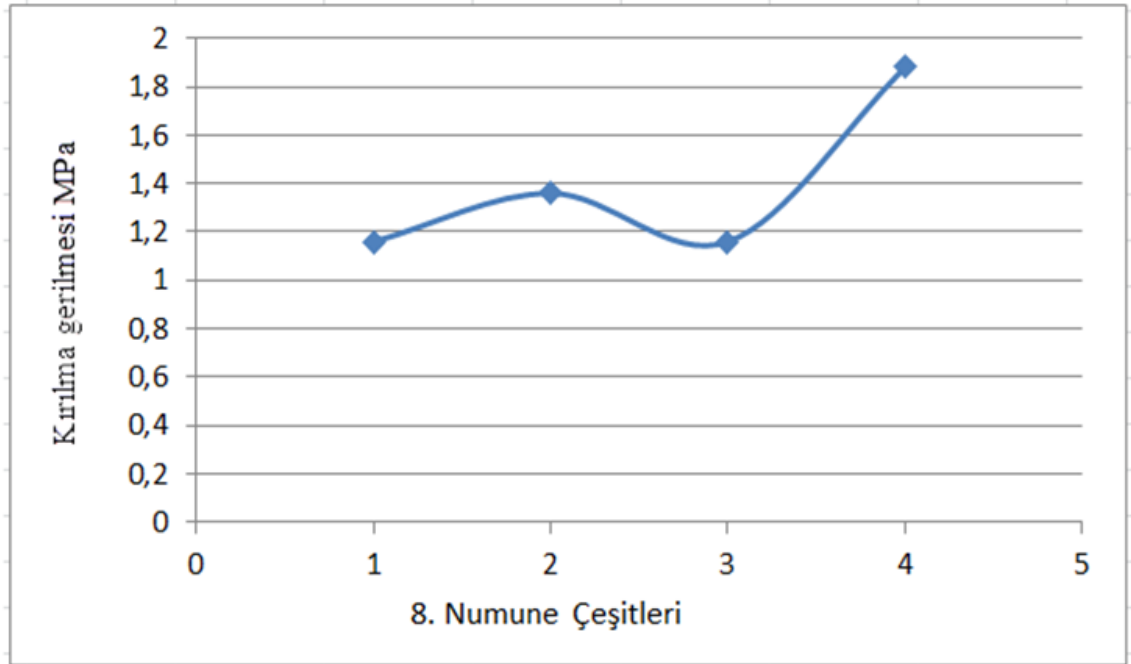
**Şekil 4.35:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup, Q45 ağırlık oranının %40, M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



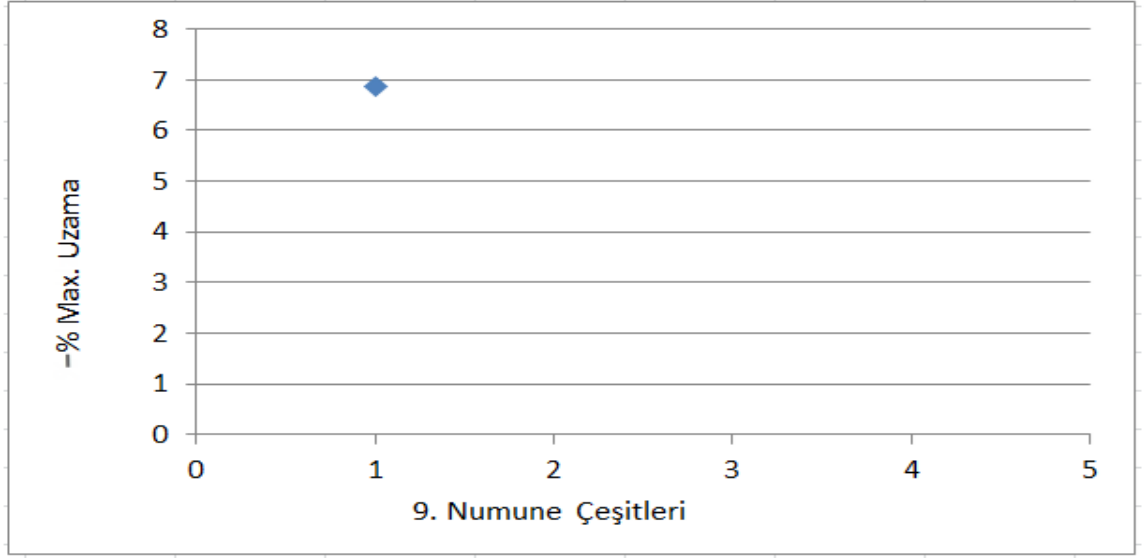
**Şekil 4.36:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup, Q45 ağırlık oranının %40, M6000 silis kumunun %10 değerindeki 7 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



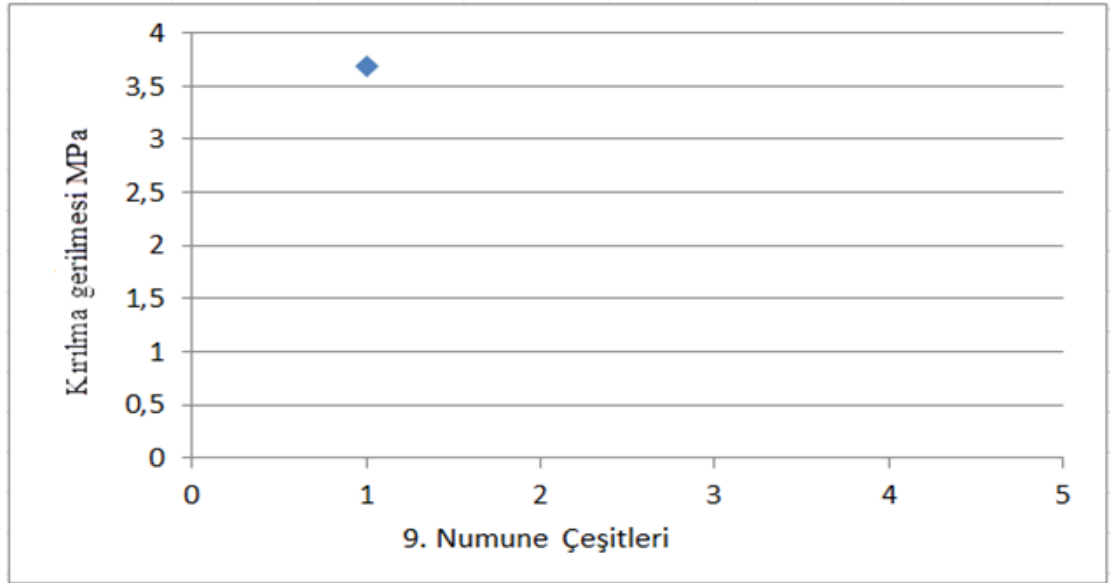
**Şekil 4.37:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250 $\mu$ m ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



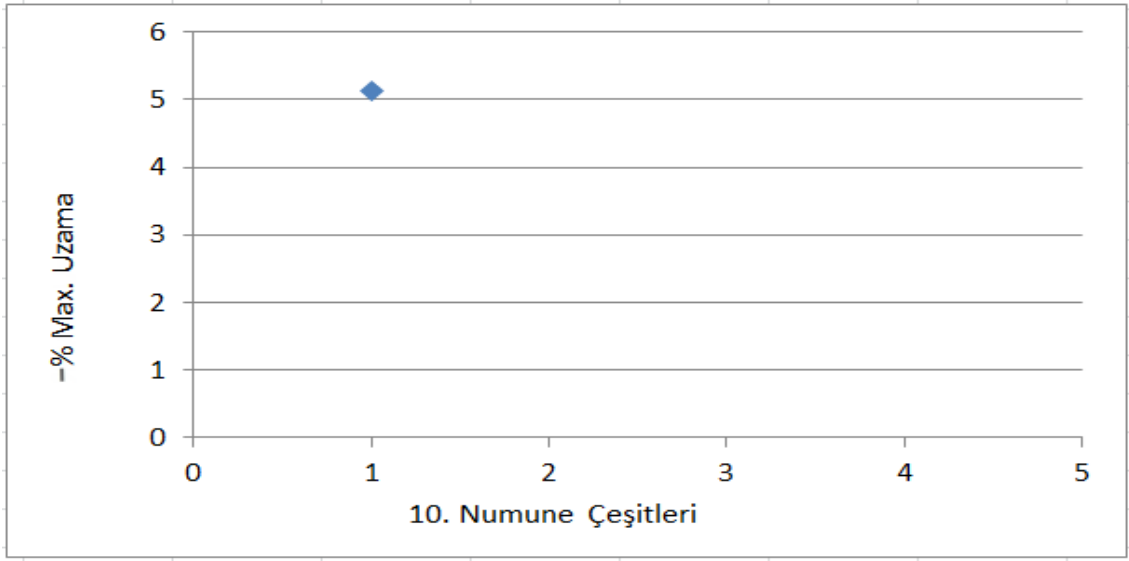
**Şekil 4.38:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250 $\mu$ m ve Q45 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 8 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



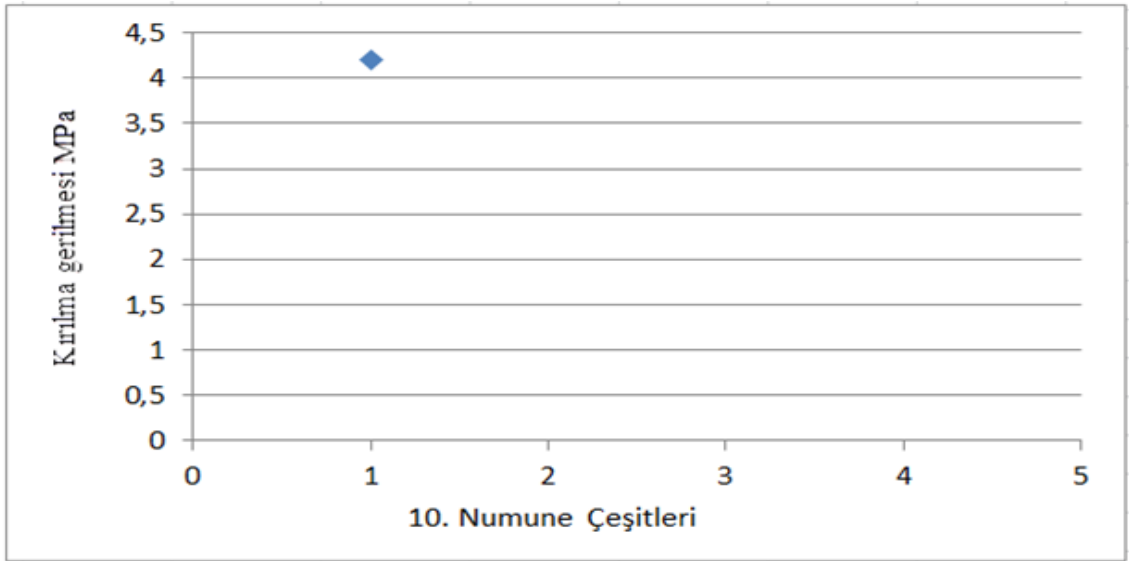
**Şekil 4.39:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



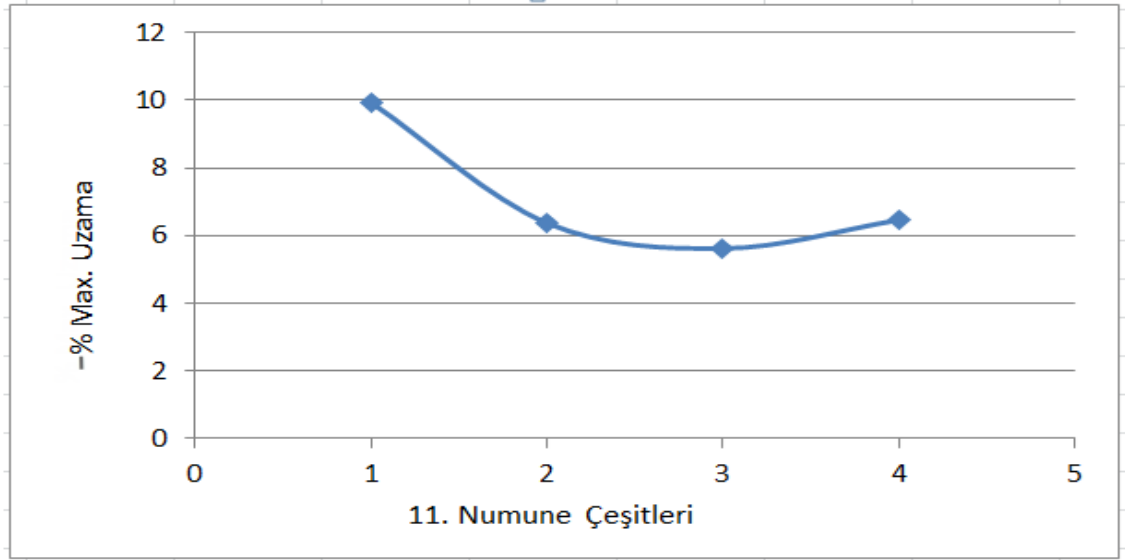
**Şekil 4.40:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup M8 ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 9 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



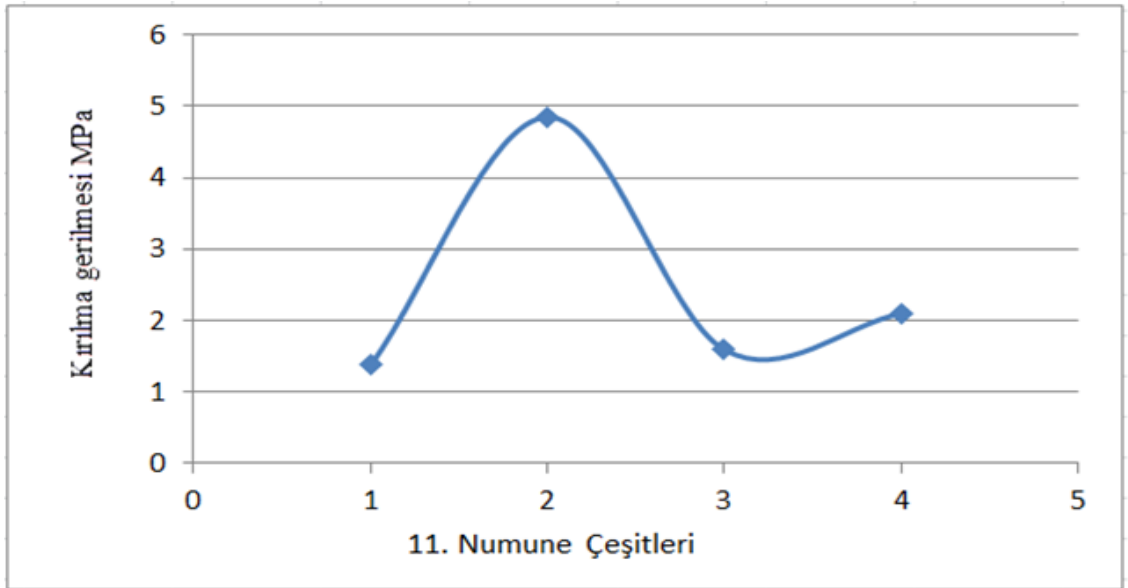
**Şekil 4.41:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



**Şekil 4.42:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulup 150-250µm ağırlık oranının %40 ve M6000 ağırlık oranının %10 olarak değiştirilerek elde edilen 10 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



**Şekil 4.43:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, 150-250 $\mu$ m ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



**Şekil 4.44:** MgO ağırlık oranının %30 ve MAP ağırlık oranının %20, 150-250 $\mu$ m ve M8 silis kumunun %10, %20, %30 ve %40 olarak değiştirilerek elde edilen 11 numaralı numunenin basma testi sonuçları.



**Şekil 4.45:** Üç nokta kırma ve basma testleri sonucu revetman numuneler.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmamızda; fosfat bağlı diş kalıbı alma (revetman) malzemelerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Mum örneğin, metal yapıya dönüştürülmesi için kullanılan, özelliğine göre yüksek ısıya dayanıklı, çalışma modeli ve kalıp hazırlığında kullanılan maddeye revetman denir. Fosfat bağlı revetmanlar; magnezyum oksit (MgO), amonyum fosfat ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) ve inorganik dolgu (farklı tane boyutlarında  $\text{SiO}_2$ ) materyallerinin bileşimlerinden elde edilmiştir. Bu bölümde daha önce açıklandığı üzere farklı formülasyonlarla hazırlanmış olan revetman karışımlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi sonucu elde edilen verilerin sonuçlanarak tartışılıp değerlendirilmesi amaç edinilmektedir.

Farklı oranlarda inorganik dolgular, belli oranlarda magnezyum oksit ve amonyum fosfat ile karıştırılmıştır. Bu Tez çalışmasının ilk kısmında uygun MgO/MAP oranı elde edilmiştir ve bu oranın, yüzde olarak; 30/20 olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4.5'teki veriler ve bu verilerin grafiksel gösterimleri olan Şekil 4.9 ve 10'a bakıldığında eğilme dayanımı değerinin maksimum olduğu 3,94 MPa değeri bu oranda elde edilmiştir. Nitekim Eğilme Modülü değeri de 350.9 MPa bulunmuştur. Her 100 gram toz karışımı için 26 ml su kullanılmıştır. Farklı oranlarda eklenen M8, M6000, Q45 ve 150-250  $\mu\text{m}$  inorganik dolguların magnezyum oksit ve monoamonyum fosfata karşı ilgili grafikleri gösterilmiştir.

Bulgular bölümündeki verilere göre; magnezyum oksit ağırlık oranının %30, monoamonyum fosfat ağırlık oranının %20 olarak sabit tutulduğu, Q45 silis kumunun ağırlık oranının %20, %30, %40 ve %50 olarak değiştirilerek elde edilen 1 numunesinin üç nokta kırma analizi sonucunda eğilme dayanımı ve eğilme modülü %40 ağırlık oranında maksimum değer gösterdiği (ED=6,89 MPa ve EM=2130 MPa) tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Aynı oranlarda M8 silis kumunun üç nokta kırma analizi sonucunda %30 ağırlık oranında maksimum eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerlerini gösterdiği görülmüştür (Şekil 4.3). Burada tane boyutunun 45 mikron değerinden 27 mikron gibi bir değere inmesi sonucu yapının daha az miktardaki daha

düşük tane boyutlu dolguda daha yüksek mukavemet değerine sahip olduğu görülmektedir. M8 dolgusunun Q45 dolgusuna oranla tanelerin birbirlerine tutunmaları veya yaklaşmalarını daha fazla olduğu böylece yapının daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.

M6000 için ise bu değerlerin eldesi için testler sadece %20 ve %30 ağırlık oranında gerçekleştirilebilmiş, %40 ve %50 ağırlık oranlarında bu testler gerçekleştirilememiştir. M6000 miktarı arttıkça kalıp alınmadan homojen olmayan bölgesel sertleşme olayı gerçekleşmiştir. M6000 dolgusu en düşük tane boyutu değerine (4 $\mu$ m) ve en yüksek yağ absorpsiyonu değerine sahiptir. Dolayısıyla çalışılan katı madde/su oranı bu dolgunun %40 ve %50 oranlarında yeterli gelmemiş, kullanılan su bu dolgunun yüzey alanını yeterince ıslatmayarak daha karıştırma aşamasındayken bölgesel katılaşma gerçekleşmiştir. Sonuç olarak bu karışımlar kalıba dökülerek alınamamıştır.

150-250 $\mu$ m silis kumu için eğilme modülü ve eğilme dayanımı %40 ağırlık oranında maksimum değerine ulaşmıştır. Fakat değerleri diğer tozlara (M8 ve Q45) göre düşüktür. Mono-dispers yapılarda tane boyutu arttıkça reaksiyon süresince dolgu fazın yeterince birbirlerine yaklaşmadığı dolayısıyla yapının daha gevşek ve zayıf olduğu anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak öncelikle dolgu tane boyutunun hazırlanan revetman malzemelerin mekanik özelliklerine etkisinin var olduğu görülmüştür. Mono-dispers (tek çeşit ve tane boyutlu) dolgulu revetman formüllerinde tane boyutunun artmasının mekanik değerleri olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Nitekim 150-250 mikron dolgularda eğilme modülü ve eğilme dayanımı değerlerinin düşük seyrettiği görülmektedir. Düşük tane boyutlu dolguların daha büyüklerine göre daha fazla koordinasyon noktalarına sahip olacağı açıktır. Dolayısıyla bu tanelerin magnezyum oksit monoamonyum fosfat reaksiyonu süresince birbirlerine daha yakınlaşmaları ve/veya bağlanmaları olasılığı yüksektir. Bu nedenle düşük taneli dolguların mekanik dayanımları yüksek çıkmıştır. Nitekim (basma testi değerleri dahil) M8 en yüksek değerlere sahiptir. Eğer tane boyutu küçüldükçe yüzey alanı değeri ve absorpsiyon değerleri artarsa (M6000 dolgulu formüllerde olduğu gibi) bu defa reaksiyon tamamlanamadan ve yeterince yapıya dağılamayacağından tüm yapıda sertleşmenin bile yakalanamayacağı ve dolayısıyla yapının elde edilemeyeceği görülecektir.



Bi-modal (ikili) tane boyutlu sistemlerde ise durum yüksek tane boyutlu yapının boşluklarının daha küçük tane boyutlu dolgu ile doldurulması neticesinde mukavemet değerlerinde artış görülmüştür. Bu artış tane boyutu farkı ve katılım oranları ile de değişiklik arz etmiştir. Nitekim; %30 ağırlık oranında magnezyum oksit ve %20 ağırlık oranında monoamonyum fosfat değerleri sabit tutulduğunda Q45/M8 oranının yüzde olarak 10/40, 20/30, 30/20 ve 40/10 olarak değiştirilmesiyle üç nokta kırma testi sonuçlarından yüksek tane boyutlu yapının ağırlıkça daha fazla olan daha düşük tane boyutlu yapı tarafından doldurularak reaksiyonun tamamlanabildiği ve mekanik değerlerin mono-dispers dolgulu revetman sistemlerine göre daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bu örnekte, en yüksek mekanik değerler, yüzde olarak; Q45/M8 = 10/40 oranında elde edilmiştir (ED=7.11 MPa ve EM= 3593 MPa). Bu numunenin farklı Q45/M8 oranları için eğilme dayanımı sonuçlarında yüksek değersel farklılık gözlemlenmemiştir. Bu durum farklı oranlardaki 150-250 mikron/Q45 10/40, 20/30, 30/20 ve 40/10 değerleri için de geçerli olduğu görülmüştür.

Basma testi sonuçları da üç nokta kırma testi sonuçlarına paralellik göstermiştir. Şekil 4.32 incelendiğinde tercih edilen MgO/MAP oranının 30/20 olduğu revetman sisteminin diğer ağırlık oranlarına göre basmaya karşı en yüksek direnci gösterdiği tespit edilmiştir. Yine Q45 tane boyutlu revetman sistemi üç nokta kırma testinde olduğu gibi basma testinde de %40 ağırlık oranında en yüksek kırılma gerilmesi değerini göstermiştir. Bunlarla birlikte, M8 ve 150-250µm tozlarının da ayrı ayrı yer aldığı mono-dispers revetman sistemlerine ait basma testi sonuçları incelendiğinde tane boyutu arttıkça aynı miktarlarda daha büyük tane boyutlu yapıları kırmak için gerekli basma mesafesinin arttığını görmekteyiz. Bu durum; mono-dispers yapılarda tane boyutu arttıkça reaksiyon süresince bu dolgu fazın yeterince birbirlerine yaklaşmadığı dolayısıyla iç yapıdaki tanelerin daha aralıklı olduğu sonucunu vermektedir. Nitekim dolgu miktarı arttıkça basma testindeki en düşük kırma gerilmesi değeri 150-250µm tozun kullanıldığı revetmanda elde edilmiştir (0.58MPa).

## KAYNAKLAR

- [1]. Mc Cabe, J.F. ve Nayır, E.H., 1999, *Dişhekimliği maddeler bilgisi*, İstanbul Üniversitesi Dişhekimliği yayınları, İstanbul, ISBN: 978-9754-044-683.
- [2]. Mc Cabe, J.F. ve Walls, A.W.G.,2008, *Applied dental materials*, 9th yayın,Oxford.
- [3]. O'Brien, W.J.,Walls, A. G., 2002, *Dental materials and their selection*, 3th yayın.
- [4]. Açıkgöz, O., 1996, *Dişhekimliğinde maddeler bilgisi*, Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Yayınları, Erzurum.
- [5]. Vincent, P. F., Stevens, L., Basford, K. E., 1977, *A comprasion of the casting ability of precious and nonprecious alloys for porcelain veneering*, 37 (5), 527-536.
- [6]. Craig, R., 1999, *Restorative dental materials*, 6th Edition, Mosby Co., 1980 St. - Louis, Toronto, London.
- [7]. Hinmann, R.W., Tesk, J.A., Whitlock, R.P., Parry, E.E., Durkowski, J.S., 1985, *A technique for characterizing casting behaviour of dental alloys*, 64 (2), 134-138.
- [8]. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011, *Diş Protez*, Ankara. [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduler\\_pdf/Metal%20Kaide%20Tam%20Protez.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduler_pdf/Metal%20Kaide%20Tam%20Protez.pdf)
- [9]. Güç, D., 2007, *Zirkonyum oksit alt yapıli restorasyonların laboratuar ve klinik aşamalarının incelenmesi*, Tez (PhD), Ege Üniversitesi, İzmir.
- [10]. Preston, J., 1985, *Some laboratory variables affecting ceramo-metal alloys*, 21(4), 717-728, Amerika.
- [11]. Young, M.M., Coffey, J., Caswell, C.W., 1982, *Sprue design and its effect on the castability of ceramo-metal alloys*, 57 (2), 160-164.
- [12]. Aran, A., 2007, *Döküm teknolojisi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine fakültesi yayınları, İstanbul.
- [13]. Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., 1996, *Metalik malzemelerin mekanik deneyleri*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [14]. Barlas, Z., 2013, *Alın kaynaklı levhasal bağlantıların eğme testleri*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

- [15]. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011, *Veneer kuron metal alt yapı*, Ankara.  
[http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduler\\_pdf/Metal%20Kuron%20Metal%20Alt%20yapı.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduler_pdf/Metal%20Kuron%20Metal%20Alt%20yapı.pdf)
- [16]. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011, *Diş protezinin metal alt yapısı*, Ankara.  
[http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduler\\_pdf/Metal%20Kuron%20Metal%20Alt%20yapı.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduler_pdf/Metal%20Kuron%20Metal%20Alt%20yapı.pdf)

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	TUĞBA ERKOÇ
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	26.07.1987, KDZ.EREĞLİ
Telefon	05417670367
E-mail	tdemirkol@windowlive.com

### Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/Kimya Mühendisliği/Proses ve Reaktör Tasarımı Programı	2015
Lisans	Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Mühendislik-Mimarlık Fakültesi/Kimya Mühendisliği	2011
Lise	Ted Kdz. Ereğli Koleji Vakfı Özel Lisesi / Fen Bilimleri	2005