

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇANKIRI-ELDIVAN YÖRESİ BENTONİTİNİN
DÖKÜM KALIP KUMU ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra TÜYSÜZ

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇANKIRI-ELDIVAN YÖRESİ BENTONİTİNİN
DÖKÜM KALIP KUMU ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Esra TÜYSÜZ
(521131014)**

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Necip ÜNLÜ

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 521131014 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Esra TÜYSÜZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇANKIRI-ELDİVAN YÖRESİ BENTONİTİNİN DÖKÜM KALIP KUMU ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Necip ÜNLÜ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sebahattin GÜRMEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 25 Kasım 2016
Savunma Tarihi : 23 Aralık 2016

Aileme...

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın planlanmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan hocam Sn. Doç. Dr. Necip ÜNLÜ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mekanik deney çalışmalarında laboratuvarını kullanmama imkan sağlayan saygı değer hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU ve karakterizasyon çalışmalarımı gerçekleştirmeme yardımcı olan hocam Sayın Prof. Dr. Gültekin GÖLLER'e çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında kullanmış olduğum bentonit temininde desteklerini esirgemeyen KARAKAYA BENTONİT A.Ş. ve Maden Müh. Bünyamin ERTEK'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca değerli Öğr. Gör. Onur TAZEGÜL, Öğr. Gör. Faiz MUHAFFEL ve Öğr. Gör. Sıddıka MERTDİNÇ'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşım Rabia SEFEROĞLU'na çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında varlıklarıyla bana güç veren ailem, her koşulda bana inanan ve beni asla yalnız bırakmayan anneme, her zaman destek olan babama ve her konuda yanımda olup manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen ablam Dr. Nesrin TÜYSÜZ'e, abim Hamdi TÜYSÜZ'e ve yengem Nilay ŞENER TÜYSÜZ'e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Kasım 2016

Esra TÜYSÜZ
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. KİL VE BENTONİT'İN TANIMI.....	3
2.1 Kil ve Kil Grupları	3
2.1.1 Kaolin Grubu.....	5
2.1.2 Klorit Grubu	6
2.1.3 İllit-mika grubu	6
2.1.4 Montmorillonit grubu.....	7
2.2 Bentonit	12
2.2.1 Bentonitlerin Fiziksel Özellikleri.....	13
2.2.1.1 Şişme özelliği	13
2.2.1.2 Plastisite	14
2.2.1.3 Katyon değişim özelliği	14
2.2.1.4 Reolojik özellikler.....	15
2.2.1.5 Adsorplama özelliği	15
2.2.2 Bentonitlerin Kimyasal Özellikleri	15
2.2.3 Dünya’da ve Türkiye’de Bentonit.....	16
2.3 Bentonit Sınıflandırılması	18
2.3.1 Genel anlamda sınıflandırma	18
2.3.1.1 Kalsiyum Bentonitleri (Ca-B).....	18
2.3.1.2 Ara tip bentonitler	18
2.3.1.3 Sodyum Bentonitleri (Na-B)	18
2.3.2 Endüstriyel kullanıma göre sınıflandırma.....	18
2.3.2.1 Alkali bentonitler	19
2.3.2.2 Yarı alkali bentonitler	20
2.3.2.3 Toprak alkali bentonitler	20
2.3.2.4 Yarı toprak alkali bentonitler	20
2.4 Bentonitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları	20
3. KALIP KUMLARI	23
3.1 Kalıp Kumu Çeşitleri	23
3.1.1 Doğal Kalıp Kumları.....	23
3.1.2 Sentetik Kalıp Kumları	23
3.2 Kalıp Kumu İlaveleri.....	24

3.2.1 Pulverize Kömür İlavesi.....	24
3.2.2 Odun Talaşı İlavesi.....	24
3.2.3 Tahıl Bazlı İlaveler.....	24
3.2.4 Demir Oksit İlavesi	25
3.2.5 Silis Tozu İlavesi.....	25
3.2.6 Fuel Oil İlavesi.....	25
3.3 Kum Kalıp Çeşitleri.....	25
3.3.1 Yaş Kum Kalıp Özellikleri.....	25
3.3.2 Kuru Kum Kalıp Özellikleri.....	25
4. KUM KALIP ÖZELLİKLERİNİN DÖKÜM PARÇASINA ETKİLERİ.....	27
4.1 Yaş Mukavemet.....	27
4.1.1 Tane Şekli.....	27
4.1.2 Tane İnceliği.....	28
4.1.3 Bağlayıcı.....	28
4.1.4 Nem Miktarı	29
4.2 Kuru Mukavemet.....	29
4.3 Sıcak Mukavemet	29
4.4 Gaz Geçirgenliği.....	29
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
5.1 Deneylerde Kullanılan Hammaddeler	31
5.2 Bentonit Numunelerinin Hazırlanması, Kimyasal ve Fiziksel Analizleri	32
5.2.1 Bentonit numunelerinin hazırlanması	32
5.2.2. Bentonitin Kimyasal Analizi	32
5.2.2.1 Bentonitin XRF analizi.....	32
5.2.2.2 Bentonitin HCl ile tepkime analizi.....	32
5.2.3. Bentonitin Fiziksel Analizi.....	33
5.2.3.1 Şişme Deneyi.....	33
5.2.3.2 Saat Camı Deneyi.....	33
5.3. Kalıp Kumu Karışımının Hazırlanması.....	34
5.3.1 Kalıp Kum Karışımlarından Numune Hazırlanması.....	34
5.4 Bentonitlerin Döküm Kalıp Kumu Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi	35
5.4.1 Yaş basma mukavemetinin tayini	35
5.4.2 Kuru basma mukavemeti tayini.....	36
5.4.3 Gaz geçirgenliği ölçümü	37
5.4.4 Shatter indeksi tayini.....	38
5.4.5 Kalıplanabilirlik indeksi tayini.....	39
5.5 İncelenen Döküm Kalıp Kumu Karışım Reçetelerinin Optimizasyon Çalışmaları.....	40
6. DENEYSEL SONUÇLAR.....	41
6.1 Çankırı-Eldivan Yöresi Bentoniti Kimyasal ve Fiziksel İnceleme Sonuçları ..	41
6.1.1 XRF analizi sonuçları.....	41
6.1.2 HCl ile tepkime analiz sonuçları	41
6.1.3 Şişme deneyi sonuçları.....	42
6.1.4 Saat camı testi sonuçları.....	43
6.2 Çankırı-Eldivan Yöresi Bentonitin Döküm Kalıp Kumu Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi Sonuçları	44
6.2.1 Yaş basma mukavemeti sonuçları.....	44
6.2.2 Kuru basma mukavemeti sonuçları	45
6.2.3 Gaz geçirgenliği sonuçları.....	46
6.2.4 Shatter indeksi sonuçları	48

6.2.5 Kalıplanabilirlik indeksi sonuçları	49
6.3 İncelenen Döküm Kalıp Kumu Karışım Reçetelerinin Optimizasyon Çalışması	
Sonuçları.....	50
6.3.1 %7 nem- %7 Çankırı-Eldivan bentoniti içeren kalıp kumu karışımına fuel oil katkısı sonucu	52
6.3.2 %7 nem- %7 Çankırı-Eldivan bentoniti içeren kalıp kumu karışımına grafit tozu katkısı sonuçları.....	53
6.3.3 %3 nem- %10 Çankırı-Eldivan bentoniti içeren kalıp kumu karışımına mısır unu katkısı sonucu	53
7. GENEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER.....	57
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ.....	69

KISALTMALAR

AIPEA	: Uluslararası Etüt Kulübü Derneği
CMS	: Kıl Mineralleri Derneği
JNCs	: Ortak Nomenklatür Komiteleri
AFS	: Amerikan Dökümcüler Derneği
XRF	: X-ışınları Floreans Spektrometresi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Bentonit gruplarına ait kimyasal bileşimler [66].	16
Çizelge 6.1 : Bentonit numunesinin XRF analiz sonuçları.	41
Çizelge 6.2 : Çankırı-Eldivan bentonitinin şişme deney sonuçları.	42
Çizelge 6.3 : Optimum kalıp özelliklerini verebilecek karışımlara ait deneysel sonuçlar ile literatürde mevcut olan, döküm endüstrisinde 100 kg üzeri çelik parçalar için tanımlı değer aralıklarının kıyaslaması.	51
Çizelge 7.1 : Optimum kalıp özelliklerini verebilecek karışımlar ve karışımlara yapılan ek katkılar sonucu elde edilen karışımların sonuçları ile literatürde mevcut olan ve döküm endüstrisinde 100 kg üzeri çelik parçalar için tanımlı değer aralıklarının kıyaslaması.	59

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Kil minerallerinin yapı taşı [20].	3
Şekil 2.2	: Kil tanesinin birimleri a) Tetrahedral birim, b) Silika tabakası c)Oktahedral birim, d) Alümina tabakası [22].	4
Şekil 2.3	: Tetrahedral katmanın üstten görünümü [23].	4
Şekil 2.4	: Kaolin grubu minerali [20].	5
Şekil 2.5	: Klorit grubu minerali [20].	6
Şekil 2.6	: İllit grubu minerali [19].	7
Şekil 2.7	: Montmorillonit grubu minerali [20].	8
Şekil 2.8	: Montmorillonitin suda şişmesi [36].	9
Şekil 2.9	: 1:1(TO) ve 2:1(TOT) kil tabakalarının, tabaka aralarına su girişini simgeleyen şematik gösterim.	10
Şekil 2.10	: Killerin kullanım alanları ve sınıflandırılmasıyla ilgili sınıflandırma şeması [17].	11
Şekil 2.11	: Türkiye’de bentonit yatakları [70].	17
Şekil 2.12	: Bentonitin kullanım alanları [95].	20
Şekil 4.1	: Yaş mukavemetin tane şekli ile değişimi [103].	27
Şekil 4.2	: Tane inceliğinin kalıp kumu yaş mukavemetine etkisi [103].	28
Şekil 4.3	: Yaş mukavemetin bağlayıcı miktarı ile değişimi [103].	28
Şekil 4.4	: Gaz geçirgenliğinin tane inceliği ile değişimi.	30
Şekil 5.1	: Çankırı-Eldivan yöresi bentonit numunesinin temin edildiği haldeki görünüşü	32
Şekil 5.2	: Hazırlanan kalıp kum karışımlarında kullanılan kumun elek analizi sonucu.	34
Şekil 5.3	: AFS standart numune hazırlama seti [105].	35
Şekil 5.4	: George Fisher marka AFS standart mukavemet test cihazı [105].	36
Şekil 5.5	: SHIMADZU AGS-J 10 kN Universal Çekme ve Basma Cihazı	37
Şekil 5.6	: Standart AFS gaz geçirgenlik cihazı [105].	38
Şekil 5.7	: Shatter indeksi test cihazı [107].	39
Şekil 5.8	: Kalıplanabilirlik indeksi cihaz ve takımları	40
Şekil 6.1	: Deneyde kullanılan bentonitin HCl ile tepkime analiz sonucu	42
Şekil 6.2	: İncelenen bentonitin (a) 48 saat sonrası ve (b) 30. gün sonundaki şişme sonucu mezürde kapladığı hacimler.	43
Şekil 6.3	: Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin saat camı testi.	43
Şekil 6.4	: Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun yaş basma mukavemeti-(%) nem değişimi.	45
Şekil 6.5	: Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun kuru basma mukavemeti-(%) nem değişimi.	46
Şekil 6.6	: Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun gaz geçirgenliği-(%) nem değişimi.	47
Şekil 6.7	: Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun shatter indeksi-(%) nem değişimi.	48

Şekil 6.8 : Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun kalıplanabilirlik indeksi-(%) nem değişimi.	50
Şekil 6.9 : Kalıplama özelliklerinin shatter indeksi ve yaş basma mukavemeti ilişkisi verilerek gösterilmesi.....	51
Şekil 6.10 : %7 nem-%7 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında kalıplanabilirlik indeksine %0.1 fuel oil ilavesinin etkisi. ..	52
Şekil 6.11 : %7 nem-%7 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında kalıplanabilirlik indeksine grafit tozu ilavesinin etkisi.	53
Şekil 6.12 : %3 nem-%10 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında kuru basma mukavemetine %1 mısır unu ilavesinin etkisi.	54
Şekil 6.13 : %3 nem-%10 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında shatter indeksine %1 mısır unu ilavesinin etkisi.	54

ÇANKIRI-ELDIVAN YÖRESİ BENTONİTİNİN DÖKÜM KALIP KUMU ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bentonitler, çoğunlukla smektitler olarak adlandırılan silikat sınıfına ait bir kil minerali olan montmorillonitten oluşur. Bentonitler, montmorillonite ilave olarak çeşitli yardımcı mineraller içerebilir. Bunlara kaolin, mika, illit gibi kil minerallerinin yanı sıra kuvars, feldispat, kalsit ve jips gibi kil olmayan mineraller dahildir. Bentonit, yapısının genleşmesine ve şişmesine neden geniş su emme kapasitesine sahip, olan bir kil grubudur. Şişme özelliği yanı sıra, kolloidal özellikte olması, yüksek plastisiteye sahip olması ve en önemlisi bağlayıcı özellikte olması bentonitin birçok sektörde kullanım alanı bulmasını sağlamaktadır. Bu kullanım alanlarından, en başta gelenlerden bir tanesi de döküm sektörüdür.

Tez kapsamında, Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin döküm sektörü açısından kullanılabilirliğinin tespit edilmesi ve en uygun olacak şekilde kullanım şartlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Çankırı bentonitin kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla kimyasal bileşim analizi (XRF), HCl ile tepkime testi, saat camı testi, şişme kapasitesi deneyi yapılmış ve yoğunluğu tespit edilmiştir. Bentonitin özellikleri belirlendikten sonra, döküm sektörüne yönelik asıl amacı gerçekleştirmek için, AFS tane incelik numarası 41,09 olan döküm kalıp kumuna değişik oranlarda bentonit (%3, 7, 10) ve su (%3, 7, 9) ilave edilerek hazırlanan karışımların yaş basma mukavemeti, kuru basma mukavemeti, gaz geçirgenliği, shatter indeksi ve kalıplanabilirlik indeksi özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde bulunan sonuçlarla kıyaslanmış ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma da kullanılan Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin yoğunluğu 2.8 g/cm^3 olarak belirlenmiş ve aynı zamanda şişme deneyinin 30. günü sonunda orijinal hacminin 19 katı şişme gösterdiği tespit edilmiştir. Şişme deneyinden elde edilen bu sonuç, Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin ticari anlamda iyi bir bentonit olduğu ve döküm sektöründe kullanılabilir düzeyde olduğu şeklinde ifade edilebilir. Saat camı testinde, su ile teması sonucunda şişme gösteren bentonitin, kuruma esnasında yıldızvari bir bölünme gösterdiği gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda deneyde kullanılan Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin, şişme özelliğine sahip bir bentonit olduğu saptanmıştır.

%3, %7 ve %10 Çankırı-Eldivan bentoniti içerikli kalıp kum karışımlarının yaş basma mukavemetleri, nem oranı artmasıyla birlikte artış göstermiştir, bunun sonucunda incelenen kum karışımlarında en yüksek nem oranı olan %9 su içeriğinde, yaş basma mukavemeti maksimumdur.

%7 ve %10 Çankırı bentoniti ile hazırlanan karışımlarda kuru basma mukavemeti nem oranının artmasıyla paralel olarak artış göstermiştir. %3 bentonit içeren karışımın %7 nem içermesi durumunda düşük bentonit oranında, maksimum kuru basma mukavemeti elde edilmiştir. Nem oranı sabit olacak şekilde değişik bentonit oranlarında karşılaştırma yapıldığında, %3 nem oranında en düşük kuru basma mukavemetine maksimum yani %10 oranında bentonit içeren karışımda görülmektedir. En yüksek nem oranı olan %9 nem oranında ise %10 bentonit içeren

kalıp kum karışımının en yüksek kuru basma mukavemetine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

İncelenen karışımlarda, nem oranı %3'ten %9'a arttığında gaz geçirgenliği değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bentonit oranının artışına oranlı olarak gaz geçirgenliği değerlerinde herhangi bir standart eğilim gözlemlenmemiştir. %3 nem oranında %7 bentonit içeren kalıp kum karışımı en yüksek gaz geçirgenliğine sahip iken %9 nem oranında %7 bentonit içeren kalıp kumu karışımının en düşük gaz geçirgenliği değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Üç farklı nem oranında hazırlanan %3 ve %7 bentonit içeriğinde olan tüm kum karışımlarında, nem oranı arttıkça shatter indeksi değeri artıyorken, %10 bentonit içeren kum karışımlarında nem oranı artışıyla shatter indeksi önce azalmış ve sonra artış göstermiştir.

Kalıplanabilirlik değeri literatürde optimum değer olarak gösterilen değer aralığında bulunan %10 bentonit ve %3 nem içeren kum karışımı haricinde, hazırlanan diğer bütün karışımların kalıplanabilirlik indeksi literatüre kıyasla çok düşük değerlerdedir.

İncelenen %3-10 bentonit ve %3-9 nem içeriklerine sahip kalıp kum karışımlarının içerisinde 100 kg üzeri çelik parça dökümü için optimum kalıp özelliklerini verebilecek bentonit-nem oranlarının Çankırı-Eldivan yöresi bentonitli kalıp kum karışımları için %7 nem - %7 bentonit ve %3 nem - %10 bentonit olduğu yapılan deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir

%7 nem - %7 Çankırı-Eldivan yöresi bentonit içeren kalıp kum karışımında deneysel olarak tespit edilmiş olan kuru basma mukavemeti, gaz geçirgenliği ve shatter indeksi değerleri literatürde 100 kg üzeri çelik parçaların kum kalıba dökümü için tanımlanmış değer aralıklarını sağladığı saptanmıştır. Kalıplanabilirlik indeksi değerini artırabilmek ve olması gereken standart aralığa çıkartabilmek için kum karışımına fuel-oil katkısı veya grafit tozu katkısı yapılmıştır. %0.1 oranında fuel oil ile %1 ve %2 oranda grafit tozu katkısı yapılarak hazırlanan kalıp kumu karışım reçetelerinde, kalıplanabilirlik indeksi değerinin olması gereken değer aralığına yükselmesinin aksine sırasıyla 3, 3,75 ve 3,25 değerlerine düştüğü gözlemlenmiştir. Ek katkı ilavesi yapılmış olan kalıp kum karışımlarının, ek katkı ilave yapılmadan hazırlanan %7 nem-%7 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kalıp kum karışımından daha düşük kalıplanabilirlik indeksi değerlere sahip olduğu görülmüştür.

%3 nem - %10 Çankırı-Eldivan yöresi bentonit içeren kalıp kum karışımında kalıplanabilirlik indeksi ve gaz geçirgenliği değerleri literatürde 100 kg üzeri çelik parçaların kum kalıba dökümü için tanımlanmış değer aralıklarını sağlamaktadır. Kuru basma mukavemet değeri arttırılması gereken kum karışımına, mısır unu ilavesi yapılmıştır. Karışımdaki shatter indeksi özelliğinin literatürdeki uygun değer aralığına çıkartılabilmesi için tahıl grubu katkı ilavesi gerekli olduğu tespit edilmiştir. Kuru basma mukavemeti değerini arttırabilmek için hazırlanan mısır unu katkılı kalıp kum karışım reçeteleri incelenmiş ve kuru basma mukavemeti değerlerinde düşük oranda da olsa bir artış olduğu belirlenmiştir. Shatter indeksi değerini de optimum değer aralığına yükseltmek için tahıl grubu ek katkıları kullanılabilmekte olup mısır unu katkılı kalıp kum karışımıyla yapılan incelemeler sonucunda, mısır ununun shatter indeksi değerinde de artışa neden olduğu gözlemlenmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BENTONITE ORIGINATED AT ÇANKIRI-ELDIVAN REGION ON CASTING MOLD SAND PROPERTIES

SUMMARY

Bentonite is a type of clay which constitutively consists of montmorillonite. Bentonites may contain various auxiliary minerals in addition to montmorillonite. These additional clay minerals can be different clay minerals such as kaolin, mica, illite and also these additives can be non-clay minerals such as quartz, feldspar, calcite and gypsum. Bentonite is a clay batch that has a large water absorption capacity, causing its structure to expand and swell.

Bentonites show swelling properties when they interact with water. The swelling feature supports the separation of bentonites into three groups as well as ion exchange. Calcium bentonite (Ca-B) is not too much swollen and sodium bentonite (Na-B) is very swollen. Intermediate bentonite (Ca-B) and (Na-B) mixed bentonite show moderate swelling.

Calcium and sodium bentonites are used in casting sands. The two bentonite species also impart different properties to the sand mixtures. Calcium bentonites provide high green compression strength, low dry compression strength. The sodium bentonites provide higher dry compression strength and lower green compressive strength than the calcium bentonites.

In addition to its swelling properties, its colloidal properties, its high plasticity and its most important binding properties, allows bentonite to be used in many sectors. One of the most important usage area of bentonite is the foundry industry. Bentonite is commonly used with silica sand which has very common usage area among the casting sands, in metal forming process by casting method. Bentonite gives high strength and plasticity to the molding sand mixture.

As a binder in the foundry industry, bentonites have outstanding importance during the preparation of moulding sand mixtures. Bentonites, originated from the deposits in Turkey, have important attitude in the applications of foundry industry.

In the scope of the thesis, it is aimed to indicate the usability of Çankırı-Eldivan region bentonite in terms of foundry industry and to determine the most suitable usage conditions for casting molds.

Chemical composition analysis (XRF), acid reaction test with HCl, watch-glass test, swelling capacity test and density were characterized to determine the chemical and physical properties of the bentonite originated from Çankırı-Eldivan region.

After the determination of the properties of the bentonite, the mixture prepared by adding bentonite (3, 7, 10%) and moisture (3, 7, 9%) to the casting mold sand which has the AFS grain number 41.09. Green compression strength, dry compression strength, gas permeability, shatter index and moldability index were determined. The results obtained were compared with the results in the literature and evaluated.

The density of bentonite of Çankırı-Eldivan region was found 2.8 g / cm³ and the swelling capacity test showed that swelling capacity of this bentonite is 19 times more than original volume after 30 days of swelling.

This result, obtained from the swelling test, can be expressed as that the bentonite of Çankırı-Eldivan region is a commercially good type of bentonites in the foundry industry.

According to the watch-glass test, it was observed that bentonite, showing swelling as a result of water contact, showed a star-type splitting during drying. As a result, the bentonite of Çankırı-Eldivan region used in the experiment was determined as a bentonite with swelling properties.

The green compression strength of the molding sand mixture having bentonite addition in 3%, 7% and 10% rates showed an increase with increase of the moisture proportion. As a result of this observation, the maximum value of the green compression strength among the molding sand mixtures is the molding mixture which has the highest moisture content, 9%.

Dry compression strength is the strength required to protect the shape of the mold after it is dried. Dry compression strength in the mixtures prepared with the bentonite of Çankırı region in the rate of 7% and 10% showed an increase in parallel with the increase in moisture content. When the mixture containing 3% bentonite and 7% moisture, the maximum dry compression strength was obtained among the molding sand mixtures having lowest bentonite (%3) ratio. When different bentonite ratios were compared with a constant moisture content, it was determined that the molding sand mixture having the lowest dry compression strength at the 3% moisture content is the mixture containing maximum bentonite ratio which is 10%. Beside of this, at the highest moisture content, 9%, the mixture containing 10% bentonite has the highest dry compression strength value compared to other molding sand mixtures at the same moisture ratio.

Molding sand is capable of allowing the passage of air, gas and water vapor during casting. Gas permeability increases in direct proportion to the sand gaps between each other. Gas permeability is the numerical value obtained by the velocity of passage of air passing under standard pressure from the standard test sample.

Among the molding sand mixtures examined, it was observed that the gas permeability value decreased when the moisture rate increased from 3% to 9%. No standard trends in gas permeability values were observed, proportionally to the increase in the ratio of bentonite. The mold sand mixture containing 7% bentonite at the moisture content of 3% has the highest gas permeability while the mold sand mixture containing 7% bentonite at the moisture content of 9% had the lowest gas permeability value.

In every case, there are features that affect the performance of the mold sand as well as the properties that affect the yield. Among the most important properties that affect this performance of the molding sand mixture, is seen as a moldability index. Moldability index values of all samples, containing 3%, 7% and 9% moisture and 3% and 7% bentonite content, were 20 or less. In the case of a moldability index value below 60, the molding sand mixtures could have some difficulties to operate. Excessive voids will be visible on the separation surface between model and the mold and the vertical walls of the mold cavity will be compacted inadequately.

The molding sand mixture prepared with 10% bentonite and %3 moisture content has a optimum value of moldability index compared to value range from the literature. The

moldability index of all the other sand mixtures prepared were determined very low also compared to the same value range from the literature.

In all molding sand mixtures containing 3% and 7% bentonite content prepared at three different moisture rates (%3, %7, %9), the shatter index values increased with the increased moisture content, while the shatter index first decreased and then increased with increasing moisture content in the sand mixtures having 10% bentonite.

The bentonite originated from Çankırı and moisture ratios which can give the optimum mold characteristics for steel casting pieces over 100 kg in the molding sand mixtures among the mixture having 3 to 10 % bentonite rates and 3- to 9 % moisture content are the 7% moisture - 7% bentonite and 3% moisture – 10% bentonite.

The values of the dry compression strength, gas permeability and shatter index of the molding sand mixture having 7% moisture - 7% bentonit experimentally determined are in the optimum value range for sand casting of steel parts over 100 kg in the literature. In order to increase the moldability index value of this mixture having 7% moisture and 7% bentonite and remove it to the standard range value it needs to be had, fuel oil addition or graphite powder addition is required to the sand mixture.

It has been observed that the molding sand mixtures prepared with the addition of fuel oil and graphite powder have lower values of moldability index than the molding sand mixture containing only 7% moisture and 7% bentonite, as opposed to the required optimum moldability value range. The moldability values of the molding sand mixtures prepared with 0.1% fuel oil, 1% graphite powder and 2% graphite are, respectively, 3, 3,75 and 3,25.

The values of the green compression strength, moldability index and gas permeability of the molding sand mixture having 3% moisture - 10% bentonit experimentally determined are in the optimum value range for sand casting of steel parts over 100 kg in the literature. It is required to add corn flour or dextrin to this molding sand mixture which needs to be increased in dry compression strength value. The addition of cereal has been determined to be able to extract the shatter index property of the mixture to the appropriate value range in the literature.

To increase the dry compression strength value, the addition of cereals, such as corn-flour was performed for the molding sand mixture including 3% moisture and 10% bentonite. As a result, the dry compression strength value was increased as expected, but this value was not enough for the required range.

Cereal addition into the molding sand mixture can be used to increase the shatter index value to the optimum value range from the literature. It has been observed from the mixture prepared with corn-flour that corn flour increases the shatter index value of molding sand mixture as a result of the addition of the that type of cereal.

The value of dry compression strength and shatter index obtained as a result of the corn-flour addition to the molding sand mixture containing 3% moisture - 10% bentonite originated at Çankırı-Eldivan region could not reached the required value ranges from the literature. Na(sodium) bentonite addition is recommended in order to improve dry compression strength and shatter index properties of molding sand mixtures which is used in casting industry. It is advisable to mix Ca(calcium) bentonite with Na (sodium) bentonite in order to have intermediate type bentonite for optimizing the dry compression strength and shatter index properties of sand mixture instead of using just Ca bentonite. The addition of Na affects the dry compression strength values in the positive direction.

1. GİRİŞ

Kil, insanlar tarafından antik çağlardan beri bilinmekte ve kullanılmakta olan ham maddelerdendir. Nitekim kil, biyomoleküllerin sentezinde ve yeryüzündeki yaşamın kökeni ile ilişkilendirilmiş ve zaman ilerledikçe de, modern yaşam için vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir [1].

Kil için henüz üniform bir terminoloji bulunmamakla birlikte, 'kil' ve 'kil mineralleri' terimlerinin anlamı hakkında bir görüş birliği bulunmamaktadır. Bu terimlerin ortak anlamını bulmak yerine, bu malzemelerin günümüz yaşamı üzerindeki etkisini ve gittikçe artan potansiyellerini vurgulamak daha doğru ve yararlı bir amaç olacaktır [2-3].

Minerolojinin kurucusu olarak anılan Georgius Agricola (1494-1555), kil tanımını resmileştiren ilk kişi olarak ifade edilebilir [4]. Bu kil tanımını resmileştirmek adına yapılan en son çaba, beş yüzyıl sonra, Uluslararası Etüt Kulübü Derneği'nin (AIPEA) ve Kil Mineralleri Derneği'nin (CMS) ortak nomenklatür komiteleri (JNCs) tarafından yapıldı. Bu komiteler (JNCs), kili 'esas olarak, uygun su içeriklerinde plastik olan ve silisyum karbür (SiC) ile kurutularak veya fırınlanarak sertleşecek olan ince taneli minerallerden oluşan ve doğal olarak oluşan bir malzeme' olarak tanımlamıştır [4].

Bentonit, bünyesinde çok yüksek oranlarda (%90-95) montmorillonit minerali bulunduran yüksek plastisite, geniş yüzey alanı, yüksek sıcaklığa dayanıklılık gibi iyi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bir kil çeşididir [5]. Ayrıca, bentonit, su veya diğer benzer moleküllerin bulunduğu ortamlarda şişme özelliği gösterebilen, plastisitesi yüksek ve bağlayıcılık özelliği yüksek olan bir ham madde olması nedeniyle farklı sektörlerde, farklı şekillerde birçok kullanım alanına sahiptir [6].

Bentonitin doğada miktarca bol bulunması ve kolay elde edilebilmesi de, birçok alanda kullanılabilmesine avantaj sağlamaktadır. Bentonit gıda sanayinde ağartma işlemlerinde, kâğıt ve plastik sanayinde katkı maddesi olarak, petrol rafinasyonunda, hayvan yemi katkısı ve kedi altlığı olarak, sondaj çamuru katkı maddesi olarak çok değişik alanlarda kullanılmaktadır [6]. Bentonit, bu gibi birçok sanayi dalında

kullanıldığı gibi metalürjide de kullanılmaktadır. Bentonitin bağlayıcılık özelliğine sahip olması, metalürji de döküm kalıplarının kumdan hazırlanmasında ve ince taneli demir cevherlerinin pelet haline getirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [7].

Bentonitin döküm kalıp kum sistemlerinde kullanılmaya başlanması yakın geçmişimize dayanmaktadır. Endüstrinin düşük maliyetli ve bunun yanında kaliteli dökümlere olan ihtiyacı, döküm kalıplarının daha dayanıklı ve düzgün yapıda olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla, bentonit yaygın olarak kullanım sahası bulmaktadır [8].

Döküm sanayiinde kalıplamada kullanılan bağlayıcıda, bağlayıcılık özelliğinin yanı sıra döküm kumuna kalıptan sıyrılma, plastisite, dayanıklılık, akıcılık ve dökümden sonra kolay dağılabilme özelliği de vermesi gerekir. Modern dökümhanelerde kullanılmak istenen bentonitin özelliklerinin, belirgin özelliklere sahip olması gereken veya özellikleri iyileştirilmek istenen döküm kalıp kumuna, ne yönde tesir edeceğinin kontrolü ön deneme çalışmaları yapılmasıyla belirlenmektedir [9].

Bu çalışmada, Çankırı-Eldivan yöresine ait bentonitin döküm sektörü açısından teknolojik değerlerinin ve optimum kullanım şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle, Çankırı bölgesine ait olan bu bentonitin kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla kimyasal bileşim analizi, HCl ile tepkime testi, saat camı testi, şişme kapasitesi deneyi yapılmış ve piknometre ile yoğunluğu saptanmıştır. Daha sonra, döküm endüstrisine yönelik asıl amacı gerçekleştirmek için, AFS tane incelik numarası 41,09 olan döküm kalıp kumuna değişik oranlarda bentonit (%3, 7, 10) ve su (%3, 7, 9) ilaveleri yapılarak hazırlanan karışımların yaş basma mukavemeti, kuru basma mukavemeti, gaz geçirgenliği, shatter indeksi ve kalıplanabilirlik indeksi özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde [10-13] bulunan sonuçlarla kıyaslanmıştır.

2. KİL VE BENTONİT'İN TANIMI

2.1 Kıl ve Kıl Grupları

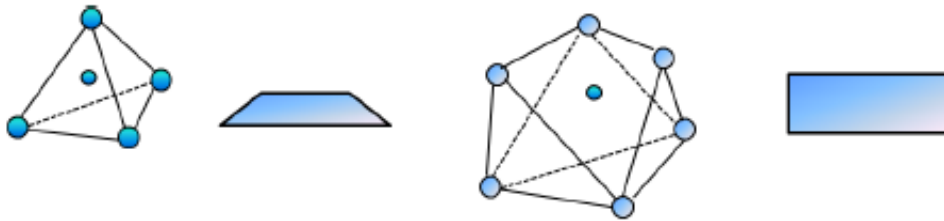
Killer, genellikle monoklinik veya triklinik kristal yapılı, doğal ve içerdiği çoğu taneciğin boyutu 2μ 'dan küçük olan tortul kayaçlardır [14]. Killer sert görüldüğü halde kesilebilecek kadar yumuşak, su ile ıslatıldığında kolayca şekillenebilen, plastik özellik gösteren ve ısıtıldığı zaman sertleşebilen hidroksillenmiş ve hidratlaşmış silikat karışımlarıdır [14-15]. Killer ısıtıldıklarında hacim artışı gösterirken, kurtulduklarında hacimsel düşüşe uğrar ve genellikle çatlarlar [16].

Kompleks mineral diziliminde olan kıl mineralleri, birçok etkene maruz kalarak oluşum göstermelerinden dolayı sınıflandırmaları da farklılık göstermektedir [17]. Minerolojik özelliklerine, yapılarına, kimyasal içeriklerine, fiziksel özelliklerine, üretildikleri yatak ve bölgeye ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılabilirler [18].

Bu karmaşık mineral dizisi, kimyasal açıdan en basit şekilde aşağıdaki gibi formüle edilebilir (2.1) [15];

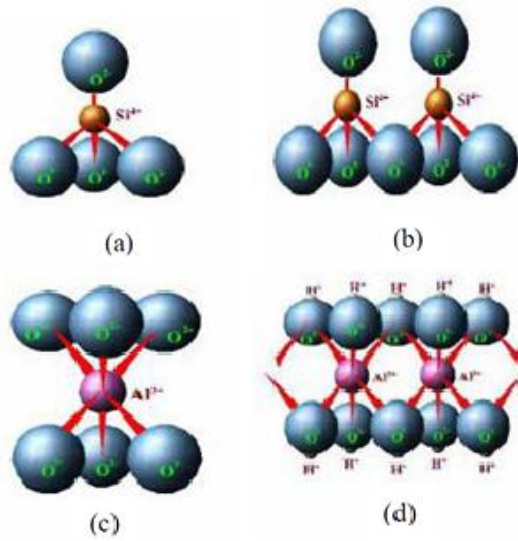
$$\text{KİL} = \text{Ana kıl minerali} + \text{Diğer kıl mineralleri} + \text{Eser organik maddeler} \quad (2.1)$$

Kıl minerallerinin, atomik yapısına bakıldığında tetrahedronlardan yani tek silis atomunu kuşatan dört oksijen atomundan oluşan silika (SiO_4^{4-}), ve oktahedronlardan yani alüminyum gibi atomları kuşatan altı oksijen veya hidroksilden oluşan alümina (Al-O-OH) olmak üzere iki çeşit kristal yapıdan oluşmaktadır [19]. Bunların atomik yapısı ve temsili simgeleri Şekil 2.1'de görülmektedir.

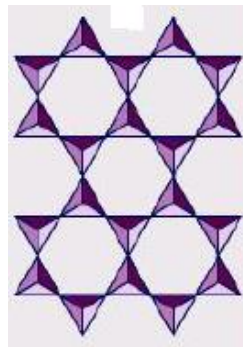


Şekil 2.1 : Kıl minerallerinin yapı taşı [20].

Tetrahedralde (silika); silisyum (Si) atomu köşelerdeki dört oksijene (O) aynı uzaklıklarda tetrahedralin merkezinde bulunur [20]. Bir tetrahedral birimi oksijenlerinin, diğer tetrahedral birimlerle paylaşılması sonucunda oluşan yapı silika yapısıdır. Tetrahedaller, hekzagonal bir kristal kafes biçiminde oluşacak şekilde üst üste dizilirler [21]. İkinci yapısal birim ise; birbirine yakın olarak sıralanmış iki oksijen (O) veya hidroksil (OH^-) tabakasından oluşan ve bu iki tabakanın arasında oktahedral koordinasyonlu bir alüminyum (Al) veya magnezyum (Mg) elementlerinden biri bulunan oktahedral yapıdır [20]. $\text{AlO}_3(\text{OH})_3^{6-}$ kimyasal formülüne sahiptir. Tek bir oktahedral yapıda altı oksijen ya da hidroksil grubu bulunur. Alümina tabakaları, oktahedraillerin diğer oktahedral birimleri tarafından paylaşılması sonucu oluşur. (Şekil 2.2). Dört yüzlü ve sekiz yüzlülerin bir araya gelerek oluşturdukları düzlemler farklı şekillerde üst üste gelerek kil minerallerini meydana getirirler (Şekil 2.3).



Şekil 2.2 : Kil tanesinin birimleri a) Tetrahedral birim, b) Silika tabakası c) Oktahedral birim, d) Alümina tabakası [22].

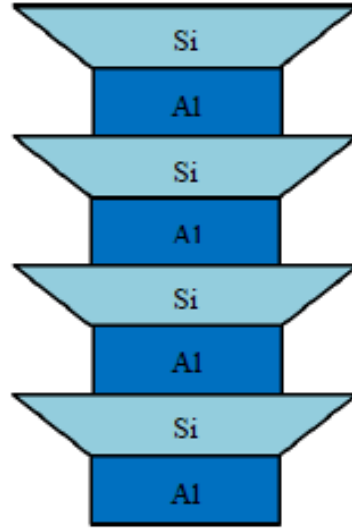


Şekil 2.3 : Tetrahedral katmanın üstten görünümü [23].

Kil minerallerinin çoğu bu temel kristal levhaların değişik bağlarla ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanması sonucunda oluşmuşlardır [19]. İçerdikleri minerallerin oran ve bileşimlerine bağlı olarak killerin renkleri gri, pembe, yeşil, beyaz, kahverengi tonlarında olabilmektedir [24-25]. Değişik minerolojik özelliklere sahip birçok kil minerali bulunması rağmen kaolin, klorit, illit ve montmorillonit en yaygın olan kil mineralleridir [26].

2.1.1 Kaolin Grubu

Kaolin grubu, bir silika (tetrahedron) ve bir alümina (oktahedron) katmanının sürekli tekrarlanması ve aralarında bulunan kuvvetli hidrojen bağlarıyla bu katmanların bağlanması sonucu oluşur (Şekil 2.4). Bu hidrojen bağları, tetrahedronların oksijen düzlemi ile oktahedronların hidroksil düzlemi arasında oluşur.



Şekil 2.4 : Kaolin grubu minerali [20].

Bu katmanların kalınlığı yaklaşık olarak 0,72 nm olup 1:1 (TO tabakası) kil tabakası şeklinde ifade edilir [19]. Bu TO tabakalarının birbirlerine çok yakın olması aralarına su veya benzeri moleküllerin girmesini zorlaştırır. Bu durumdan dolayı kaolin su alıp şişme özelliği göstermez [27]. Kaolin grubu minerallerinin formülü (2.2);

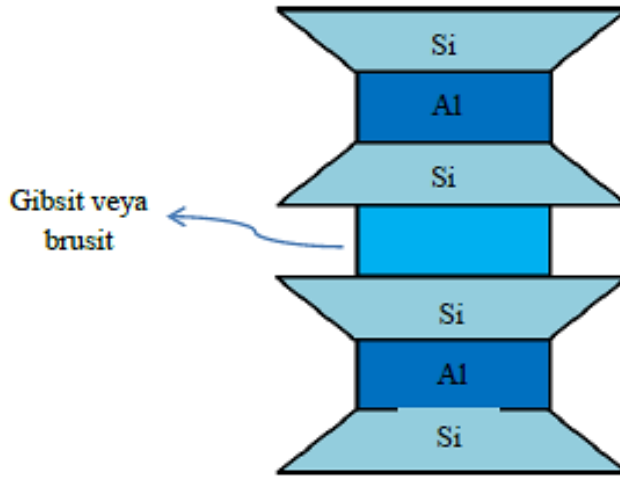


şeklindedir.

Kaolinler kullanım alanlarına göre sınıflandırıldıkları gibi alüminli, silisli, demirli, kaolin şeklinde mineralojik bileşimine, yağlı, sert, döküm, yumuşak, plastik kaolin, refrakter kaolini şeklinde fiziksel özelliklerine göre de sınıflandırılabilirler.

2.1.2 Klorit Grubu

Klorit grubu, Şekil 2.5'te de görüldüğü üzere, bir silis, ortada bir alümina ve bir diğer silis levhasından oluşan tabakalar, aralarında bulunan gibsit (Al) veya brunit (Mg) levhasından oluşmaktadır. 2:1:1 minerali şeklinde ifade edilen grupta, oluşan katmanın kalınlığı yaklaşık 0,14 nm'dir.

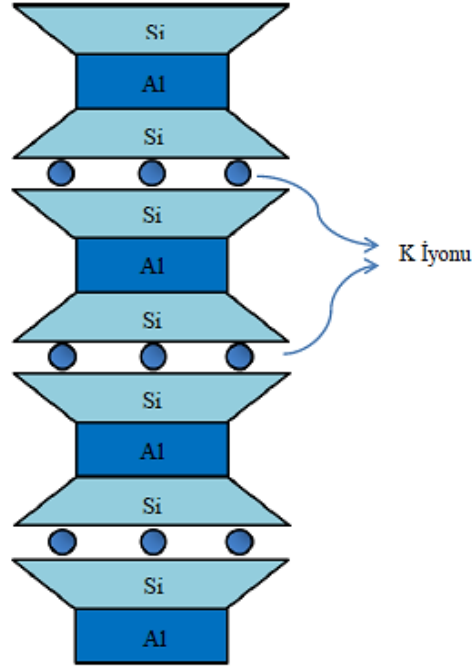


Şekil 2.5 : Klorit grubu minerali [20].

Klorit'te yer değiştirme çok fazla olmasından dolayı, bazı durumlarda brunit veya gibsit katmanı eksik olabilir. Bu katmanların eksikliğinden ötürü, su levhalar arasına kolaylıkla girerek şişmeye karşı duyarlı hale getirmektedir. Montmorillonit mineral grubuna oranla, bu grup mineralleri daha az aktif özellik göstermektedir [19]. Klorit grubu kil mineralleri, hidratlaşmış magnezyumlu alüminyum silikatlar olarak nitelenebilir.

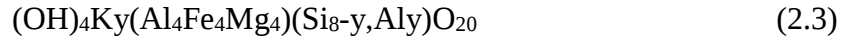
2.1.3 İllit-mika grubu

İllit grubu veya mika grubu, kil minerallerinin yapısı montmorillonit grubunun kil minerallerine benzerlik göstermektedir (Şekil 2.6). Bu grupta bulunan kil minerallerinin montmorillonit grubu minerallerinden farkı, potasyum (K^+) içermeleridir. İllit tabakaları negatif yüklü olup, bu katmanlar arasındaki negatif yüklü olma durumunu başka iyonlarla kolayca yer değiştiremeyen K^+ iyonları dengelemektedir [28].



Şekil 2.6 : İllit grubu minerali [19].

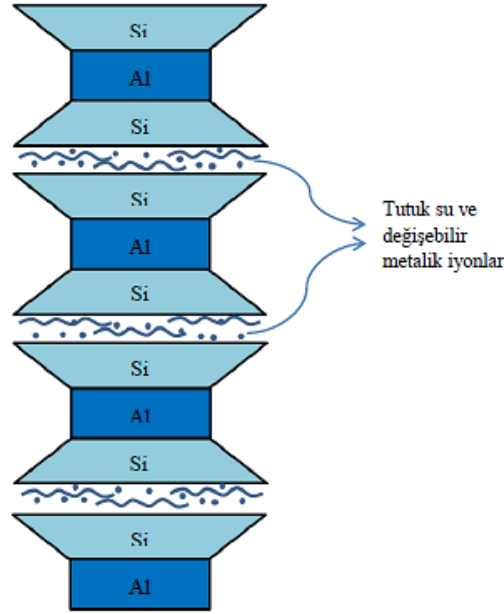
Montmorillonit grubuyla aynı tabaka yapısına sahip olmakla birlikte kimyasal bileşimleri farklıdır. 2:1 tabaka yapısında olan illit grubu kil tabakasının katman kalınlığı 0,1 nm'dir [20,28-29]. Kimyasal bileşimi ise;



(2.3) formülü ile tanımlanır. Formüldeki y değeri 1,0 ve 1,5 arasında değişmektedir.

2.1.4 Montmorillonit grubu

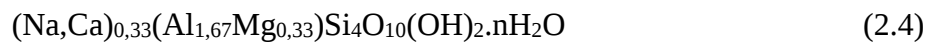
Montmorillonit [30-31], Mauduyt tarafından Fransa'nın Montmorillon şehrinden dolayı 'montmorilloniste' ismini almıştır [32]. Ayrıca, Damour ve Salvetat, bu adı Montmorillon'da bulunan bir mineral için önermiştir [31]. Correns, grup adı olarak 'montmorin' önermiştir [33]. Bir yıl sonra, "montmorillonoid" terimi, belirli bir mineral adı olan montmorillonit ile karıştırılmamak için bir grup adı olarak önerilmiştir [34]. Bu isimlerden hiçbiri hakkında olumlu sonuç bulunamamıştır. İngiltere Mineraloji Cemiyeti Kil Mineralleri Grubu tarafından 'Smektit' adı montmorillonit grubu adı olarak önerilmiştir. En başından beri, özellikle birçok Amerikalı mineralojist tarafından bu öneri güçlü muhalefetle karşılaştı fakat ancak bu öneri yaygın olarak kabul görmeye başlamıştır [35]. Montmorillonit (Smektit) grubu, iki silika ve bir alümina katmanlarından oluşan bir kil mineralidir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Montmorillonit grubu minerali [20].

Silika ve alümina katmanları arasında kuvvetli bir iyonik bağ olmasına rağmen birim tabakalar arasında bulunan bağ zayıf bir bağ olan Van der Waals bağlarıdır. Katmanın kalınlığı yaklaşık 0,96 nm olup 2:1 kil (TOT) minerali şeklinde ifade edilir [19]. En yaygın simektit minerali montmorillonittir. Bu grubun diğer üyeleri ise, montmorillonit mineralinin izomorfik iyon değişimi sonucu oluşan beidellit, nontronit, hektorit ve saponit gibi kil mineralleridir [35,38].

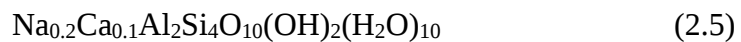
Bu grubun genel yapı formülü (2.4) ;



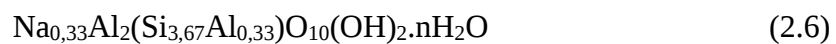
ile ifade edilir.

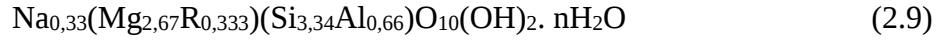
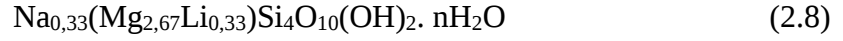
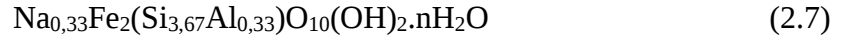
Formüldeki, $n\text{H}_2\text{O}$ birim tabakalar arasındaki suyu göstermekte olup, bu formüle göre teorik olarak mineraller %66,7 SiO_2 , %28,3 Al_2O_3 ve % 5 H_2O 'dan oluşmaktadır.

Dioktahedral yapıda olan montmorillonit kil mineralinin genel yapı formülü (2.5) aşağıda yer almaktadır.



Simektit grubunun diğer üyeleri olan beidellit, nontronit, hektorit ve saponitin formülleri sırasıyla formül (2.6), (2.7), (2.8) ve (2.9)'da verilmiştir.

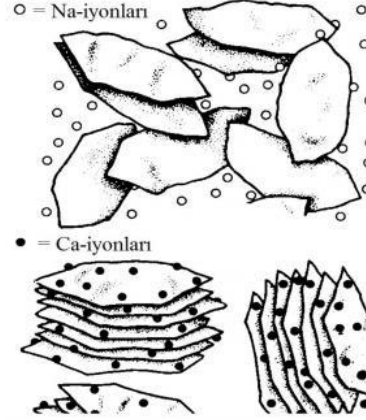




Fe^{3+} ün Al^{3+} ile yer değiştirmesiyle oluşan nontronit, beidellite çok benzemektedir. Nontronit, topraklarda çok az bulunur [39].

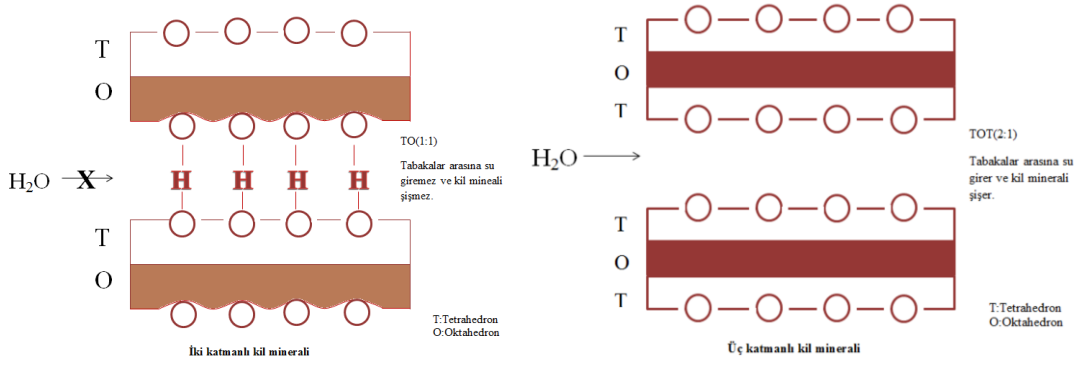
Simektit grubu kil minerallerinde, silika ve alümina katmanlarından oluşan tabakalar arasına su molekülü ve katyonlar bulunur. Bu katyonlar yapıdaki pozitif yük eksikliğini karşılayabilen katyonlardır. Doğal killerde bulunan ve yapıda yük dengelenmesini sağlayan bu değişebilen katyonlar çoğunlukla Na^+ , K^+ ve Ca^{+2} iyonlarıdır [35]. Bu değişebilen katyonların cinsi ve sayısı, kil mineralinin şişme oranını değiştirebilir [40].

Levhalar arası bağlar Van der Waals ve katyonlarla sağlandığı için su ile temas ettiklerinde bu kil minerali çok fazla şişer (şekil 2.8), bunun tam tersi olarak bünyesinde herhangi bir su kaybı olduğunda hacimde azalma olarak büzölme gerçekteşir ve devamında bir çatlama meydana gelir [20].



şekil 2.8 : Montmorillonitin suda şişmesi [36].

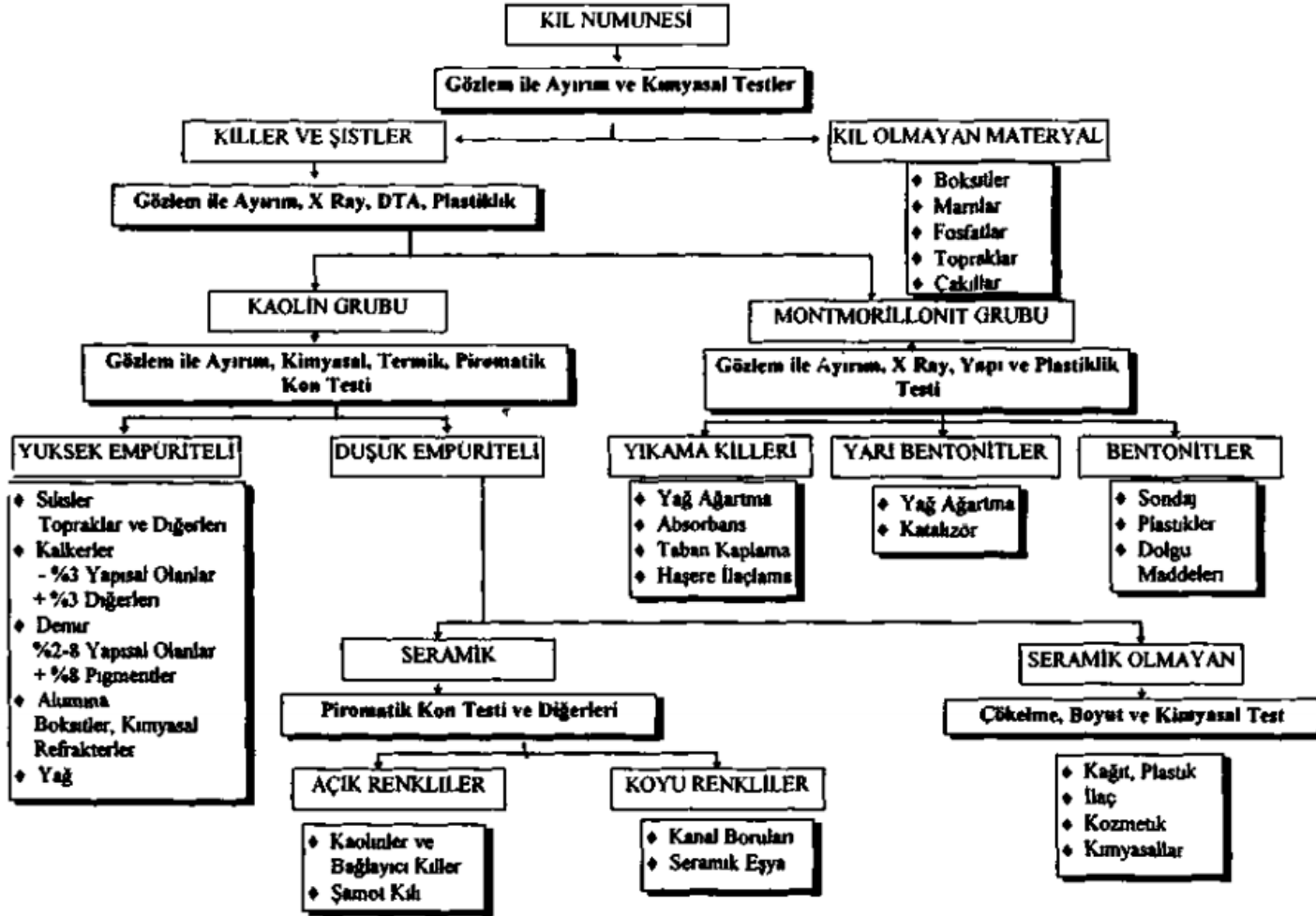
Aşağıda verilen şekil 2.9 'da aralarında kuvvetli H (hidrojen) bağları olan ve birbirlerine çok yakın olan 1:1 (TO) kil tabakası ile tabakalar arasında zayıf Van der Waals bağları olan 2:1 (TOT) kil tabakası arasında su veya diğer benzer moleküllerin tabaka aralarına yerleşmesi şematik olarak gösterilmiştir. 1:1 tabakaları arasına su girişini H (hidrojen) bağları oldukça zorlaştırırken, 2:1 tabakalarında su veya benzeri moleküllerin girişi kolaydır [23,37].



Şekil 2.9 : 1:1 (TO) ve 2:1 (TOT) kil tabakalarının, tabaka aralarına su girişini simgeleyen şematik gösterim.

Montmorillonit kil minerallerinde iki tip şişme görülür: Kristalsi şişme ve osmotik şişme. Bu şişme özelliği basal boşluğun genişleme büyüklüğüne göre farklılık gösterir. İlk tip olan kristalsi şişme, su moleküllerinin birim tabakalar arasına girmesi sonucunda meydana gelir [41-42]. İkinci tip olan osmotik şişme ise, kristalsi şişmeye oranla daha büyük hacimlerde değişime neden olur. Bu tip şişme, değişebilir katyon olarak Na⁺, Li⁺ gibi hidratlı katyonlara sahip olan killerde gerçekleşir [42-44].

Literatür bilgileri yanı sıra endüstriyel kullanımlarında da killerin sınıflandırmasında ve özelliklerin belirlenmesinde genel bir ortak payda mevcut değildir. Bu nedenle çok farklı yapı ve özellik değişimine sahip bu hammaddelerin belli bir sistematigi oluşturulmaya çalışılmış ve endüstriyel kullanım alanları göz önünde bulundurularak aşağıdaki şema (Şekil 2.10) hazırlanmıştır. [17].



Şekil 2.10 : Killerin kullanım alanları ve sınıflandırılmasıyla ilgili sınıflandırma şeması [17].

2.2 Bentonit

"Bentonit" terimi, ana mineralojik malzemesi smektit grubu tarafından oluşturulan bir kil malzemesini ve smektit mineralleri ile karakterize edilen fiziksel özelliklerini tanımlamak için kullanılır [35]. Bentonit kil minerali başlangıçta ABD'deki madenlere dikkatleri çeken William Taylor onuruna "taylorit" olarak isimlendirilmiştir [45]. Bentonit ismi Knight (1898) tarafından, ABD-Montana-Fort Benton bölgesine yakın bir alanda maden ilk keşfedildiğinde verilmiştir [46]. Hewett ise, bu kil malzemesinin volkanik külün in-situ (bulunduğu ortamda) değişimi sonucu oluştuğunu göstermiştir [47].

Bentonit, ana minerali montmorillonit olan ve içerisinde montmorillonite oranla daha az beidellit bulunan, alüminyum ve magnezyum açısından zengin, içinde kolloidal silis bulunan, volkanik küllerin ve lavların kimyasal ayrışması sonucu oluşan kayalara, killere verilen addır [35]. Ağartma kili, ağartma toprağı, volkanik kil gibi isimlerde bentoniti ifade etmek için kullanılır [48]. Genel kimyasal formülleri (2.10) da verilmiştir.



Karakteristik mineralleri tamamen kristaldır. Kolay kırılmaya sahip olmakla birlikte ele sürüldüğünde yağsı, sabunumsu bir görünüşle yayılır. Ayrıca bentonitlerin yüzeye yapışma özelliğı de vardır. Yüksek adsorptif güç gösterir ve bu özellik kimyasal bileşimden çok fiziksel forma bağımlıdır [49]. Bunların yanı sıra, iyonlaşma kapasitesi özelliğı de bentonitlerde oldukça yüksektir. Bentonitin renkleri beyaz, açık sarı, açık yeşil veya açık pembe olabilir [50]. Bentonit içerik olarak çoğunlukla montmorillonitten oluşan bir kil olmasına rağmen, bünyesinde kaolin ve illit gibi doğal katkı maddeleri de bulunmaktadır. Bunların yanı sıra, bentonit içeriğinde kil dışı minerallerden kuars, jips, dolomit, kalsit gibi materyaller bulunmaktadır [51].

Bentonitlerin, elektriksel dengeleri tetrahedral tabakadaki Si'in Al ile ve oktahedral tabakadaki Al'nin Mg, Fe veya Zn iyonlarıyla yer değiştirmesi sonucu bozulmaktadır. Bu durum, değişebilen iyonlar tarafından sağlanmaktadır ve pozitif yük eksikliğine sebebiyet verir. Bu pozitif yük eksikliğini gidermek amacıyla alkali veya toprak alkali iyonları, genellikle Na^+ ve Ca^+ iyonları, tabakalar arasına girmektedir [52]. Tabakalar arasında dominant olan iyonla göre bentonitlerin genel sınıflandırılması oluşturulmuş

olup, üç farklı grup elde edilmiştir. Ca^+ iyonunun baskın olduğu kalsiyum bentonit (Ca-B), Na^+ iyonunun baskın olduğu (Na-B) ve kalsiyum bentonit (Ca-B) ile sodyum bentonit (Na-B) karışımı sonucu oluşan ‘Ara Tip Bentonit’ nu üç tipi oluşturmaktadır.

Bentonitlerin su ile etkileşime girdiklerinde şişme özelliği gösterirler. Şişme özelliği de, iyon değişimi özelliğinde olduğu gibi bentonitlerin üç gruba ayrılmasını desteklemektedir. Kalsiyum bentoniti (Ca-B) su ile teması sonucu çok fazla şişmemekte, sodyum bentoniti (Na-B) ise tam tersi çok fazla şişebilmektedir. Ara tip bentonit olan (Ca-B) ve (Na-B) karışımı bentonit ise orta derece şişme gösterir. Diğer bir özellik ise, koloidal boyutlara sahip partikülleri olduğundan dolayı bentonitler, su içinde uzun süre süspansiyon halinde kalabilirler. Na-Bentonitlerin süspansiyon ömürleri uzun olurken, Ca-Bentonitlerinin süspansiyonları daha kısa ömürlüdür [53-54].

Bir bentoniti ticari bentonit olarak ifade edebilmek için, su ile etkileşime girdiğinde en az beş kat şişmesi gerekmektedir [15]. İyi bir bentonit 10-20 kata kadar şişebilen bentonitlerdir.

Bentonitler, su ile şişme özelliğini belirli bir sıcaklıktan sonra kaybederler. Kuru haldeki bentonit yoğunluğu $2,7-2,8 \text{ g/cm}^3$ aralığındadır, fakat aynı bentonit toz haline getirildiğinde ise yoğunluğu düşerek $1,6-1,8 \text{ g/cm}^3$ olmaktadır [55].

2.2.1 Bentonitlerin Fiziksel Özellikleri

Bentonitlerin, sadece kimyasal bileşimleri gibi özelliklerine bakılarak hangi tip bentonit olduğu kesin olarak söylenemeyebilir. Bu kimyasal özelliklerin yanında fiziksel özellikleri de bilinen bentonitlerin, tipi belirlenebilir. Bu fiziksel özelliklerin en önemlileri şişme özelliği, plastisite, katyon değişim özelliği, reolojik özellikler ve adsorplama özellikleridir.

2.2.1.1 Şişme özelliği

Şişme özelliği, bentonitlerin hacimce çok yüksek oranlarda suyu bünyesine emmesi ve kristal yapısını genişletmesi olarak tanımlanmakla birlikte, bu özellik bentonitleri diğer kil minerallerinden ayıran en önemli özelliklerden biridir. Öyle ki, bu şişme özelliği sayesinde, bentonitlerin sınıflandırılması da yapılabilir. Suda şişen bentonit olarakta adlandırılan Na-Bentonit, orta derece şişme özelliği gösteren ara tip bentonitler ve suda şişmesi çok az olan bentonitler Ca-Bentonitlerdir [56]. Bentonit

şişme özelliğini sıcaklığa bağlı olarak kaybeder. Bu sıcaklık çok yüksek olmayıp 100-150 °C civarındadır. Bentonitler kurutulduğunda özkütleleri 2.7-2.8 g/cm³ aralığında olmaktadır [55]. Şişme özelliği, bir bentonitin tipi hakkında, fiziksel veya kimyasal olarak en iyi sonuç veren özelliktir.

2.2.1.2 Plastisite

Kil materyallerinin plastik özelliklerini Atterberg sınırları cinsinden ifade etmek uygun bulunmuştur. Bentonitlerin plastisiteleri, bentonit olmayan kil materyalleri aralığında olan illit killeri ve kaolinlerinkinden önemli derecede yüksektir. Aynı zamanda araştırmalar sonucu elde edilmiş veriler, bentonitlerin sınır değerlerinin değiştirilebilir katyonun niteliğine bağlı olarak büyük ölçüde değişebileceğini, buna karşılık illit killeri ve kaolin için varyasyonlar çok küçük olduğunu göstermektedir. Smektit killerinde değiştirilebilir katyonlar olarak sodyum ve lityumun varlığı yüksek plastik limitlerine ve aşırı sıvı limitlerine neden olur [57].

Doğal bentonitler yaygın olarak değiştirilebilir katyon olarak, sodyum veya kalsiyum taşırırlar. Bu durum doğal bentonitlerin sınır değerlerinin büyük oranda değişebileceğini gösterir. Bentonitlerin limit değerleri, adsorplanmış katyonun doğasına büyük ölçüde bağlı olduğundan, bu killerin kullanıldığı durumlarda daha sonraki özellikler bozulmamış orijinal kil üzerinde belirlenenlerden önemli ölçüde farklı olabilir [58].

2.2.1.3 Katyon değişim özelliği

Killerin 100 gramı içinde bulunan değişebilen katyonların eşdeğer madde miktarına Katyon Değiştirme Kapasitesi (KDK) denilmektedir. Katyon değişim kapasitesi (KDK), bentonitin şişme özellikleri için önem taşıyan değiştirilebilir iyonların, KDK molar yükünü ortaya çıkarır. Bu nedenle çok önemli bir değişkendir [59].

Killerin nötral olmadığı durumlarda elektrik yük dengesi tabakalar arasına giren katyonlar tarafından sağlanmaktadır. İzomorfik iyon değişimi ile tetrahedral katmandaki Si⁴⁺ iyonu yerine kısmen Al³⁺ iyonların ve oktahedral katmandaki Al³⁺ iyonları yerine kısmen Fe²⁺ ve Mg²⁺ iyonlarının girmesiyle tabakalar eksi işaretli elektrikle yüklenmektedir. Her katyon iyonu ile yer değiştirebilen Ca²⁺ ve Na⁺ gibi iyonlar, bu yüklü tabakalar arasına yerleşebilir ve nötr olma durumu sağlanmaya çalışılır. Bu değişken katyonlardan, smektit grubu içerisinde Ca²⁺ katyonu baskın ise kalsiyum smektit (CaS) ; Na⁺ baskın ise o smektit grubu (NaS) olarak ifade edilebilir.

$\text{NH}_4^- > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ katyonlar bu sıraya göre yer değiştirirler, yani Na iyonu Ca iyonuna oranla daha zor yer değiştirebilir [60].

2.2.1.4 Reolojik özellikler

Bentonit süspansiyonları, çok iyi reolojik özelliklerinden dolayı endüstriyel proseslerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bentonitlerin reolojik davranışı, bentonit parçacıklarının boyutu ve şekli, bentonitin türü ve konsantrasyonu, değiştirilebilir iyonlar konsantrasyonu da dahil olmak üzere farklı faktörlere bağlıdır [61]. Ca-Bentonit ise üstün ağartıcı ve absorpsiyon özellikleri gösterir. Genellikle, bentonit dispersiyonlarının akışı $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ oranına karşı çok hassastır [62].

Akış tipi, viskozite gibi reolojik özelliklere sahip olan bentonitin bu özelliği kilin su içeriğine bağlı olarak farklılık gösterebilir. Malzemelerin akış ve deformasyon davranışlarını ortaya çıkarmak için önemli bir rota olan bentonit dispersiyonlarının reolojik ölçümleri, sadece ticari ürünlerin formülasyon sürecini iyileştirmekle kalmaz aynı zamanda tasarım ve proses değerlendirmesinde, kalite kontrolünde ve depolama stabilitesinde çok önemli olabilir [62].

2.2.1.5 Adsorplama özelliği

Adsorpsiyon, bir maddeyle diğer bir madde arasında oluşan yüzeyde adsorblanan malzeme konsantrasyonunun artması olarak ifade edilir. Adsorplama, özellikle sıvı ile temas edildiğinde bentonitler de çok görülen bir özelliktir [63].

Bentonitler adsorpsiyon kapasitesi olarak oldukça iyi olmakla birlikte diğer çeşitlere oranla maliyeti daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bentonitin adsorban olma özelliği birçok alanda kullanılmaktadır. Ağartma işlemlerinde, şarapların ve sirkelerin berraklaştırılmasında, atık suların temizlenmesinde gibi alanlarda özellikle yoğun kullanılmaktadır [64-65].

2.2.2 Bentonitlerin Kimyasal Özellikleri

Bentonit çeşitlerine ait kimyasal bileşim tablosu Çizelge 2.1 'de yer almaktadır. Bu bileşimler bize doğrudan bentonitlerin hangi tip olduğuyla alakalı bilgi veremese de fiziksel özelliklerle desteklendiğinde sonuç elde edilir.

Çizelge 2.1: Bentonit gruplarına ait kimyasal bileşimler [66].

Bileşen (%)	Na Bentoniti	Ca Bentoniti	Ara Bentonit
SiO ₂	64,0	59,0	62,0
Al ₂ O ₃	21,0	19,7	15,9
Fe ₂ O ₃	3,5	5,9	3,0
MgO	2,3	5,5	2,6
CaO	0,5	1,7	4,5
Na ₂ O	2,6	0,2	2,0
K ₂ O	0,4	0,2	1,0

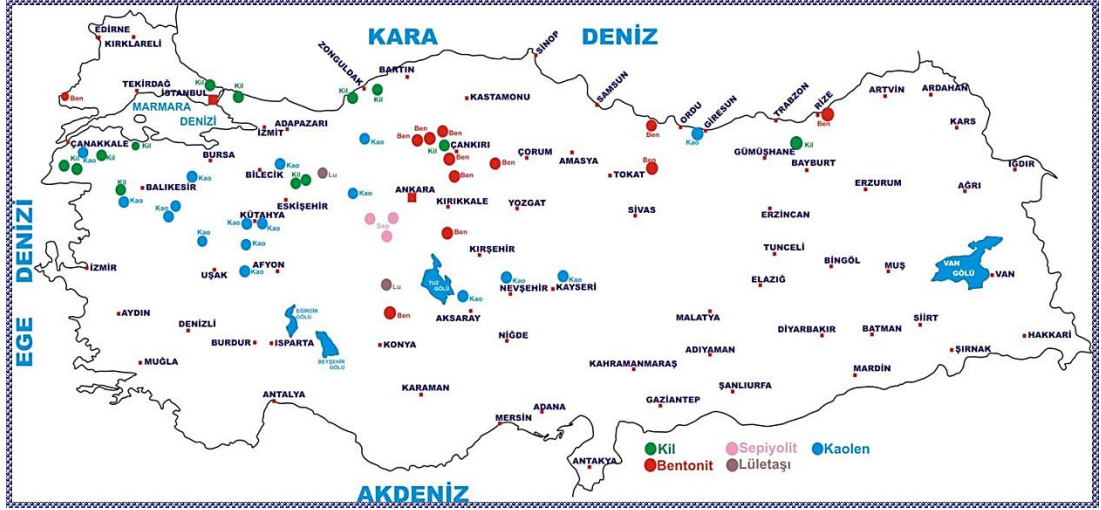
Bentonit yağlı ve sabun gibi bir his yaratır [67]. Yeni elde edilen bentonit beyazdan soluk yeşil renge veya maviye ve zamanla yapılan müdahale sonucunda sarı, kırmızı veya kahverengiye dönüşür [68].

Tabakalar arasında dominant olan iyonla göre bentonitlerin genel sınıflandırılması oluşturulmuş olup üç farklı grup elde edilmiştir. Ca⁺ iyonunun baskın olduğu kalsiyum bentonit (Ca-B), Na⁺ iyonunun baskın olduğu (Na-B) ve kalsiyum bentonit (Ca-B) ile sodyum bentonit (Na-B) karışımı sonucu oluşan ‘Ara Tip Bentonit’ üç tipi oluşturmaktadır [52].

Kil mineral örgüsünde tutulan tabakalar arası su, montmorillonit grubu kil minerallerinin plastik, bağlanma, sıkıştırma, süspansiyon ve diğer özelliklerini kontrol eden ek bir ana faktördür. Her bir kristal içinde, su tabakası, kalınlık olarak bir tam sayı molekül gibi görünmektedir. Silika katmanları arasında emilen su kaybı düşük sıcaklıklarda (100-200°C) gerçekleşir. Yapısal su kaybı (yani hidroksil) 450-500°C’de başlar ve 600-750°C de tamamlanır. 800-900°C’ye kadar ısıtma, kristal kafesin parçalanmasına neden olur [35, 68].

2.2.3 Dünya’da ve Türkiye’de Bentonit

Türkiye, bentonit yataklarınınca jeolojik ortama sahip ve zengin bir konumdadır. Tokat-Reşadiye, Ankara-Kalecik, Çankırı-Kurşunlu, Eldivan, Ilgaz ve Çerkeş, Çorum-Sungurlu, Balıkesir-Kepsut, Edirne-Enez, Ordu-Fatsa ve Ünye, Giresun-Tirebolu, Trabzon ve Konya başta olmak üzere birçok bölgede değişik özellikte bentonit yatakları belirlenmiştir (Şekil 2.11) [69].



Şekil 2.11 : Türkiye’de bentonit yatakları [70].

Tokat- Reşadiye civarlarındaki yataklar sondaj, pelet ve döküm amaçlı kullanıma uygun özelliktedirler. Ankara-Kalecik ve Çankırı bölgesi’nde kalitesi biraz düşük olan sodyum ve karışık tip bentonit yatakları bulunmaktadır. Kalecik ve Kurşunlu bentonitleri, daha çok döküm sanayinde kullanılmaktadır [71].

Ordu-Ünye ve Fatsa, Giresun-Tirebolu, Balıkesir, Kütahya, Edirne, Konya çevresi yatakları kalsiyum bentonit tipi olup, ağartma işlemlerinde, biralarn berraklaştırılması, deterjan sanayi, kağıt sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Bu yataklardaki hammadde için de aktivasyon işlemi gerekmektedir. Ordu ve Giresun bölgelerindeki beyaz renkli bentonitler deterjan sanayinde kullanıma uygun olması nedeni ile ayrı bir öneme sahiptir [71]. Ülkemizde; sondaj, döküm ve ağartma sanayilerinde kullanılabilir olan görünür/muhtemel bentonit rezervi yaklaşık 250 543 000 ton olarak raporlanmaktadır. Yıllık bentonit ihracat miktarı ise, yaklaşık 100-200 bin ton düzeylerinde seyretmektedir [72].

Dünyanın en önemli bentonit rezervleri Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Yunanistan, Almanya, Japonya, İtalya, İspanya ve İngiltere’de bulunmaktadır. Bunun yanı sıra Almanya, Kanada Hollanda, İngiltere ve Japonya bentonit ithalatında ilk sıralarda bulunan ülkelerdir [73].

2.3 Bentonit Sınıflandırılması

2.3.1 Genel anlamda sınıflandırma

Bentonitlerin, elektriksel dengeleri tetrahedral tabakadaki ve oktahedral tabakalardaki iyonların diğer iyonlarla, yer değiştirmesi sonucu bozulmaktadır. Bu durum, değişebilen iyonlar tarafından sağlanmaktadır ve pozitif yük eksikliğine sebebiyet verir. Bu pozitif yük eksikliğini gidermek amacıyla alkali veya toprak alkali iyonları, genellikle Na^+ ve Ca^+ iyonları, tabakalar arasına girmektedir [52]. Tabakalar arasında dominant olan iyonla göre bentonitlerin genel sınıflandırılması oluşturulmuş olup üç farklı grup elde edilmiştir.

2.3.1.1 Kalsiyum Bentonitleri (Ca-B)

Pozitif yük eksikliğinin gidermek amacıyla bulunan Ca^+ iyonunun baskın olduğu kalsiyum bentonit (Ca-B)'dir. Bu tip bentonitler şişme özelliği çok göstermezler. Bazı durumlarda direk anlaşılmadığından dolayı, bentonit tipinin anlaşılması için asitle tepkime verip vermediğinin kontrolünü yapmak gerekebilir. Bu tepkime sonucu bentonit güçlü köpürüyorsa kalsiyum bentonittir denilebilir [74]. Ca-Bentonitlerinin süspansiyonları daha kısa ömürlüdür [53].

2.3.1.2 Ara tip bentonitler

Sodyum bentonit (Na-B) ve kalsiyum bentonit (Ca-B) karışımı olan bentonitlere “ Ara tip bentonit ” denir. Bu tip bentonitler orta derece şişme gösterir ve düşük seviyede neme ihtiyaç duyarlar [74].

2.3.1.3 Sodyum Bentonitleri (Na-B)

Sodyum bentonitler (Na-B), temel minerali sodyum montmorillonit olan bentonit tipidir. Çok iyi oranlarda şişme özelliği gösterebilen bentonitlerdir. Öyle ki, kendi hacminin 15 katına kadar şişebilirler [74]. Na-Bentonitlerin süspansiyon ömürleri Ca bentonitlerine oranla daha uzun ömürlü olur [53].

2.3.2 Endüstriyel kullanıma göre sınıflandırma

Asit ve alkali etkileri, mineral bozunmasında [75-76] ve oluşumlarında önemli kontrolörlerdir [78-80].

Minerallerin oldukça yüksek konsantrasyonlarda ve genellikle yüksek sıcaklıklarda inorganik asitlerle işleme tabi tutulması, 'asit aktivasyonu' olarak adlandırılır ve yaygın olarak endüstride sorbentlerin veya katalizörlerin üretimi için veya çevre koruma önlemlerinde kullanılır [81-84].

Alkali ve tuzdan etkilenmiş topraklarda [85] meydana gelen toprak asitleşmesindeki son artış, pH değişimlerine karşı toprak tepkisini kontrol eden mekanizmalar ve parametrelerin anlaşılmasının gerekli olduğunu vurgulamaktadır.

Toprağın asit ile olan reaksiyonu, toprağın yapısını, su ve iyon adsorpsiyonunu, asit-baz dengesini [86-87] değiştirebilir [88]. Bu değişim pH'daki değişikliklere oldukça duyarlıdır [89].

Asit veya alkali girdilerine verilen toprak yanıtını daha iyi anlamak için toprak unsurlarının, diğer bir ifadeyle toprak minerallerinin pH'a bağlı yüzey davranışları bilinmesi gerekmektedir.

Genel olarak, yapı bozunması içeren asit tedavisi altındaki çeşitli mineraller ve silikon oksitlerin oluşumu için benzer bozunma yolları gözlemlenir. Temas süresine bağlı olarak pH 3'ün altındayken smektitler delaminasyona yani katman katman ayrılmaya uğrar ve kısmen çözülür. Smektit yapısının tahrip edilmesi, oktahedral katyonların ortadan kaldırılması ile bağlantılıdır ve bunların arasında Mg en kolay şekilde uzaklaştırılanıdır [90]. Smektitlerin asidik çözünme hızı artan oktahedral Mg veya Fe içeriği ile artmaktadır; ve çözünme mekanizması tabaka bileşiminden bağımsızdır [91].

Montmorillonitlerin oktahedral katmanlarının azaltılması, ilk minerallerin asit tepkilerine karşı kendi özgün direnç düzeyine bağlı olarak farklı seviyelerde yapısal bozunmaya yol açabilir [92].

Bentonitler genel özelliklerine göre sınıflandırılmaları dışında sülfirik aside (H_2SO_4) karşı verdikleri tepkiye göre de sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma sonucu dört farklı tip bentonit oluşur [69].

2.3.2.1 Alkali bentonitler

Asitle tepkimeye girdiklerinde özelliklerini koruyabilen ve yer değişimini kolaylıkla yapabilen, içerisinde alkali baz bulunduran bentonit tipidir [69].

2.3.2.2 Yarı alkali bentonitler

Alkali bentonitler aksine asitle reaksiyon verdiklerinde yer değiştirebilen alkali bazlar içerir ve bu reaksiyon sonucu özelliklerini yitiren bentonitlerdir [69].

2.3.2.3 Toprak alkali bentonitler

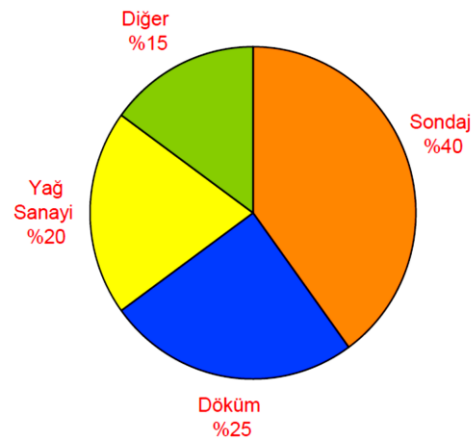
Bu tip bentonitler toprak alkali baz içerir ve bu bazlar yer değiştirebilen bazlardır. Asitle tepkime vermenin öncesinde veya sonrasında alkali bir tuzun eklenmesiyle alkali bentonite dönüşebilen bentonit tipidir [69].

2.3.2.4 Yarı toprak alkali bentonitler

Bu tip bentonitlerde toprak alkali bentonitler gibi kolay yer değiştirebilen bazlardır fakat asitle tepkimeye girdiklerinde alkali bentonit özelliği elde etmezler [69].

2.4 Bentonitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları

Bentonitin başlıca kullanım alanları; demir cevheri peletleme, döküm kum kalıpları ve petrol kuyusu sondajıdır (Şekil 2.12). Bununla birlikte, birçok çevresel uygulamada bentonit kullanımı hızla artmaktadır. Filtreleme, renk giderme ve berraklaştırma (çoğunlukla topraklama ağartması şeklinde), hayvan yemi peletleme, evcil hayvan atıklarında, böcek zehiri taşıyıcı ve yağ ile gres absorblayıcısı olarak büyük hacimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Az miktarda bentonit, kozmetik ve kozmetik kullanımlar, atık bertarafı, yağlayıcı olarak, çimento ve harç katkı maddeleri, katalizörler ve katalizör destekleri, su arıtma, gübreler, seramikler ve toz yıkama katkı maddeleri, gazete geri dönüşümü gibi diğer muhtelif uygulamalar için gereklidir [24,93-94].



Şekil 2.12: Bentonitin kullanım alanları [95].

Bentonitin hem fiziksel hem kimyasal yapısı birçok endüstriyel alanda kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu özelliklerden en önemlileri tane boyutu ve şekli, yüzey kimyası ve yüzey alanı, aşındırma, plastisite, absorpsiyon, adsorpsiyon olarak sıralanabilir [96].

Su-kil oranının düşük olması durumunda, bu kombinasyon, çeşitli malzemeler için bağlayıcı maddesi olarak kullanılır, çünkü karışımın kıvamı plastikten daha katıdır ve yapışma özelliklerine sahiptir. Buna bağlı olarak, bentonitler değişik sektörlerde, örnek olarak döküm kalıplama kumları, hayvan yemleri, yalıtım malzemeleri ve demir cevherlerini birleştirmek için kullanılır. Su-kil oranı arttıkça, bentonitin su emme kapasitesi aşıldığında, karışımda plastisite gelişir. Bu kil-su kombinasyonları, bazı seramik ürünler ve betonlarda plastikleştirici bir madde olarak kullanılır.

Çok yüksek su-kil oranlara sahip süspansiyonlar, en geniş kullanımı sondaj çamurları veya döner sondaj endüstrisi için akışkanlar olmakla birlikte birçok endüstriyel uygulama da yer bulmaktadır. Bu bentonit süspansiyonları çok yönlü olup, ilaçlarda olduğu gibi orman yangınlarıyla mücadelede de yanmaz materyal gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabileceği gözlemlenmiştir [7].

3. KALIP KUMLARI

Kum kalıp yöntemi, döküm yöntemi ile üretimin büyük bir kısmını kapsamaktadır. Kalıp malzemeleri belirli özellikleri olması şartıyla, refrakter özelliği yani ısıl dayanım özelliği sağlayan kum, bu kum tanelerini birbirine bağlayacak olan bağlayıcı kil ve son olarak kum ile kil tanelerinin birbirine bağlanmasını sağlayacak olan su yani nemden oluşmaktadır. Bu malzemeler dışında kalıp kum özelliklerinin iyileştirilmesi için, mevcut karışımdaki oranı %8'i geçmeyecek şekilde, yabancı madde eklenmesi de yapılabilir. Bu yabancı maddeler kömür tozu, demir oksit, talaş gibi malzemelerdir [7].

3.1 Kalıp Kumu Çeşitleri

Kum kalıba döküm yönteminde, kalıplama yöntemi ile dökülen parçanın büyüklüğü ve dökülen metalin cinsine göre, ortalama 1 ton döküm için 4-5 ton kum kullanılmaktadır [97]. Kalıp kumunu oluşturmada gerekli olan malzemelerden kumun elde edilmesine göre iki tipi bulunmaktadır. Bu tipler doğal kalıp kumları ve sentetik kalıplama kumları olarak adlandırılır [7].

3.1.1 Doğal Kalıp Kumları

Doğal olarak bünyelerinde bulunan kil miktarı kadar kil içerirler, ayrıca bu kalıp kumu çeşidi hiçbir ön işlem görmeden bulundukları durumlarıyla kullanılırlar.

Doğal kumlarda nem, uzun süre korunabilmektedir fakat bunun yanında doğal olarak bulunan nem istenilen özelliklere yetmediğinde su ilavesi yapılmaktadır. Avantajları olduğu gibi, dezavantajları da olan doğal kalıplama kumlarının, en büyük dezavantajı ise özelliklerinin sürekli aynı şekilde sabit kalamamasıdır [97].

3.1.2 Sentetik Kalıp Kumları

Döküm endüstrisi tarafından sıvı metali içermesi ve şekillendirmesi için kullanılan sentetik kalıplama kumları esasen saf kuvars kumu, bentonit ve toz haline getirilmiş kömür veya tahıl gibi bir katkı maddesi ile sudan oluşur [98].

Çok düşük miktarda kil içeriği ile çıkarılan kuma veya yıkanarak tüm kili giderilmiş kuma bentonit ve su ilavesi ile elde edilen kumlardır. Sentetik kalıp kumlarının, doğal kalıp kumuna kıyasla daha kırılğan oluşu, kalıplarda tamir yapılmasını zorlaştırır. Daha yüksek refrakter özelliğe sahip olmaları sentetik kalıp kumlarının en önemli özelliklerinden biridir. Aynı zamanda, daha az bağlayıcı ve su ihtiyacı, özelliklerinin kolay kontrol edilebilir oluşu, tane boyutunun daha üniform oluşu, daha az depolama alanı gereksinimi, geçirgenliğinin daha fazla olması ve kalıbın daha iyi dövülebilmesine imkan vermesi en önemli özellikleridir.

Bu kumlardaki temper suyuna olan gereksinimin düşük değerlerde olması, kalıp boşluğunda daha az oranda oksitleyici atmosferin oluşması anlamına gelir [99].

3.2 Kalıp Kumu İlaveleri

3.2.1 Pulverize Kömür İlavesi

Karbon içerikli ilaveler, kalıpta kontrollü atmosfer oluşturmak için ilave edilir. Karbon içerikli ilaveler döküm esnasında yanarak, kalıp yüzeyi ile döküm parçası arasında gaz film tabakası oluşturarak sıvı metali oksitlere karşı korur. Petrol ürünlerinden ve çok ince öğütülmüş kömürden elde edilebilir [100-101].

3.2.2 Odun Talaşı İlavesi

Odun talaşı yüksek sıcaklıklarda yanarak metal ile kalıp ara yüzeyinde gaz filmi oluşturarak, metalin kalıp yüzeyini ıslatmasını engeller. Bir diğer etkisi ise, sıcak basma dayanımını azaltmasıdır ve kalıp bozulmasını kolaylaştırır [103].

3.2.3 Tahıl Bazlı İlaveler

Tahıllar, mısır unu, dekstrin ve diğer nişastaları içerirler. Islandıklarında yapışkan özellik aldıklarından dolayı bağlayıcı görevi görürler. Bağlayıcı özelliği yanında, kumu sertleştirir. Bununla birlikte, tahıl kullanımı, sarsakta kalıp bozmayı (shakeout) daha zor hale getirir. Aşırı miktarlar, kumları fazla sertleştirebilir ve kumun kum karıştırma makinelerinde aglomere olmasına neden olabilir. Tahıllar uçucu olduğu için, yanlışlıkla kullanıldığında dökümlerde gaz hatalarına neden olabilirler [102].

3.2.4 Demir Oksit İlavesi

Demir oksit ilavesi kalıbın sıcak mukavemetini arttırmak için kullanılır. İnce öğütülmüş hematit cevherinden elde edilirler. Kalıp kumuna % 0.25–1.60 oranında kullanılırlar [103].

3.2.5 Silis Tozu İlavesi

Kalıbın sıcak mukavemetini arttırmak amacı ile % 35 oranına kadar 74 µm'dan ince pulverize silis katılır [103].

3.2.6 Fuel Oil İlavesi

Kumun kalıplanabilme özelliğini artırmak ve serbest nem miktarını azaltmak amacı ile kalıp kumuna ilave edilir [103].

3.3 Kum Kalıp Çeşitleri

3.3.1 Yaş Kum Kalıp Özellikleri

Kum kalıba dökümün temelini, yaş kum kalıplar meydana getirir. Bu kalıpların kuru kum kalıplarından farkı içerisindeki nem oranıdır. Bileşimine bağlı olarak tekrar tekrar kullanıma uygun kalıplardır. Bu özelliği yaş kum kalıpların ekonomik olmasını sağlamaktadır. Fakat yüksek erozyon direnci ve/veya yüksek mukavemet gerektiren durumlarla sınırlıdır. Parçanın şekli de, bir noktada sınırlayıcı bir unsurdur.

Yaş kum kalıptan istenen özellikler; kalıba şekil verilme aşamasında, modelin şeklini alabilmesi ve modelin kalıptan sıyrılması sırasında şeklini koruması, sıvı metalin dökümü sırasında metalin kalıba yaptığı basınca karşı şeklini koruyabilmesi, döküm esnasında oluşan gazların kalıptan dışarı atılabilmesi için yeterli seviyede gaz geçirgenliği ve de kalıp bozma aşamasında kalıbın kolay ve kısa sürede bozulabilmesi istenir [104].

3.3.2 Kuru Kum Kalıp Özellikleri

Kuru kum kalıplar, yaş kum kalıpların 150-350°C sıcaklıkta hava ile kurutulması ile oluşturulur. Kurutulan kum kalıplar yaş kum kalıplara kıyasla daha yüksek mukavemet ve refrakter özellik gösterirler. Fakat kurutma işlemi 400°C' nin üzerinde yapılması, bağlanmış suyu kalıptan uzaklaştıracağı için killerin bağlayıcılıklarını olumsuz etkiler. Bu sebepten kurutma işleminde sıcaklık seçimine dikkat edilmelidir. Kuru kum

kalıpların en büyük avantajı, kalıp kumunda serbest nem olmamasıdır. Yaş kum kalıplara göre daha düşük gaz geçirgenliği ile çalışılabilmeye olanak sağlayarak, kalıbın daha iyi sıkıştırılabilmesi ve/veya ince taneli kumun kullanılabilmesini mümkün kılar, döküm parçasının yüzey kalitesini de arttırır. Bu kalıp türünün dezavantajı ise kalıbı kurutmak için harcanan süre ve enerjidir [103].

4. KUM KALIP ÖZELLİKLERİNİN DÖKÜM PARÇASINA ETKİLERİ

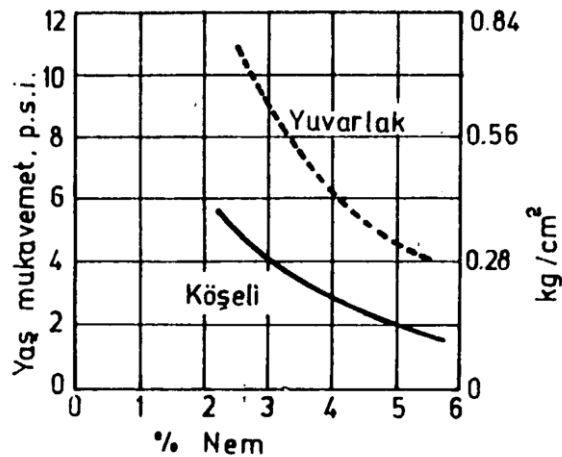
Kalıp kumundan beklenen ve öncelikle kontrol edilen özellikler; döküm yapılan kum kalıbın yaş mukavemeti, kuru mukavemeti, gaz geçirgenliği, kum tane inceliği ve dağılımı ve kil/nem oranıdır.

4.1 Yaş Mukavemet

Kalıp kumuna temper suyu ilavesinin ardından ölçülen mukavemettir. Bu mukavemet, kalıp hazırlanması ve kalıba dökümün yapılmaya başlandığı andan itibaren şeklini koruyabilmesi için gerekli olan mukavemettir. Yaş mukavemetin kontrolünde kumun tane inceliği, tane şekli, tane dağılımı, bağlayıcı cinsi, bağlayıcı miktarı ve nem miktarı önemlidir.

4.1.1 Tane Şekli

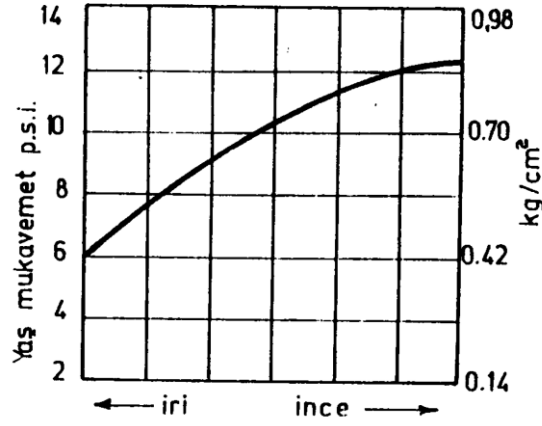
Yaş mukavemet, kum tanelerinin birbirleriyle olan teması ile doğru orantılı olduğundan, temas yüzeyi kumun tane şekliyle doğrudan ilişkilidir. Yuvarlak şekilli taneler, sivri veya köşeli tanelere kıyasla daha sıkı ve dolayısı ile daha güçlü bir bütün meydana getirirler (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Yaş mukavemetin tane şekli ile değişimi [103].

4.1.2 Tane İnceliği

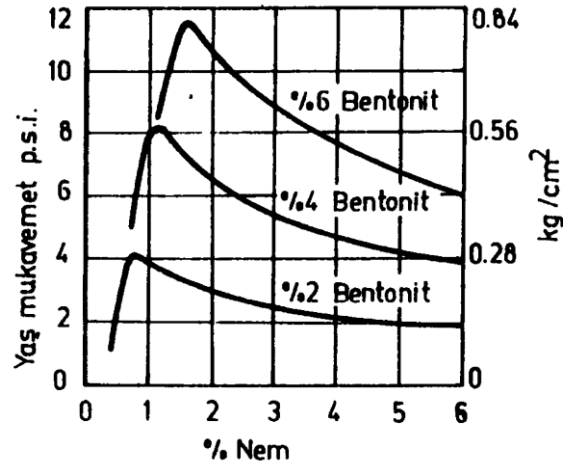
Belli bir kum hacmi için taneler ne kadar küçük boyutlu ise, taneler arası temas yüzeyi o kadar büyüktür. Dolayısı ile ince taneli bir kumun yaş mukavemeti daha yüksek olacaktır. Aynı düşünce şekli, iri taneli kum içinde geçerli olacaktır. Başka bir ifadeyle, yaş mukavemet, iri taneli kumlarda daha düşüktür (Şekil 4.2) [103].



Şekil 4.2 : Tane inceliğinin kalıp kumu yaş mukavemetine etkisi [103].

4.1.3 Bağlayıcı

Yaş mukavemet, kuma ilave edilen bağlayıcının cinsi ve miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bağlayıcı miktarı arttıkça, yaş mukavemet de artacaktır (Şekil 4.3) [103].



Şekil 4.3 : Yaş mukavemetin bağlayıcı miktarı ile değişimi [103].

4.1.4 Nem Miktarı

Yaş mukavemet, nem miktarı ile önce artar sonra azalmaya başlar. Mukavemet artışı bölgesine tekabül eden nem “temper suyu” olarak ifade edilir. Bu noktadan sonra mukavemet değerinde düşüş görülür [103].

4.2 Kuru Mukavemet

Kalıbın kurutulduktan sonra şeklini koruyabilmesi için gerekli olan mukavemettir. Döküm kumlarının kuru mukavemetlerini etkileyen özellikler; tane inceliği, tane şekli, nem miktarı ve bağlayıcı cinsi ve miktarıdır. Tane inceliği, tane şekli ve nem miktarının etkisi, yaş mukavemet özelliklerine etkisi ile benzerlik gösterir. Bağlayıcı cinsine göre kuru mukavemetin değişiminde Na-bentoniti, Ca-bentonitine göre daha yüksek kuru mukavemet sağlar. Ancak Ca-bentoniti yaş mukavemeti de, Na-bentonitine kıyasla daha yüksektir.

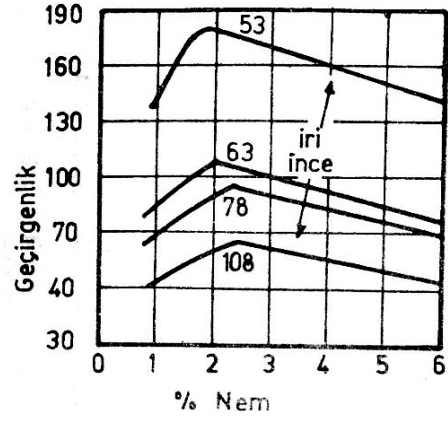
4.3 Sıcak Mukavemet

Kum kalıbın ergimiş metalin sıcaklığına ulaştığı andaki mukavemettir. Bu mukavemet, metalin katılaşmaya başlayana kadar kalıbın şeklini koruyabilmesi için gereklidir. Sıcak mukavemete etki eden faktörler kuru mukavemete etki eden faktörler ile aynı olup, benzer biçimde etki etmektedir [104].

4.4 Gaz Geçirgenliği

Kalıp kumunun döküm sırasında hava, gaz ve su buharının geçişine imkan verme kabiliyetidir. Gaz geçirgenliği, kum tane aralığı ile doğru orantılı olarak artış gösterir. AFS standart deney numunesi içerisinde standart basınç altında geçen havanın geçiş hızı ile elde edilen sayısal değerdir. İri taneli kumun ince taneli kuma kıyasla daha yüksek geçirgenlik özelliği gösterir. Tanelerin küçülmesi ile geçirgenlik paralel olarak düşüş göstermektedir.

Köşeli taneler, yuvarlak tanelere kıyasla daha az temas yüzeyine sahip olduklarından daha yüksek geçirgenlik özelliği gösterirler. Düşük nem miktarlarında geçirgenliğin yüksek olmasının sebebi, kum taneleri arasını dolduran kuru kil tanecikleridir. Fakat nem miktarının artması ile kil taneciklerin aglomere olması ile geçirgenlikte artış görülür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Gaz geçirgenliğinin tane inceliği ile değişimi.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, Çankırı ili Eldivan ilçesi Büyük Hacıbey köyü sınırları içerisinde oluşmuş olan, ticari değere sahip bentonitin döküm endüstrisi açısından teknolojik değerlerinin ve optimum kullanım şartlarının belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmaların devamı süresince, farklı bentonit ve nem oranlarında hazırlanmış numunelerin ortalama sonuçlarına göre, döküm kalıp kumları için gerekli olan özellikler değerlendirilmiştir.

Bentonit numunelerinin incelenmesinde, fiziksel özelliklerin tespiti için yoğunluk, saat camı testi, HCl ile tepkime testi ve şişme deneyleri yapılmış, numunelerin kimyasal analizleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

İncelenen Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti, SİLTAS A.Ş.'ye ait AFS tane incelik numarası 41.09 olan sentetik kalıplama kumuna değişik oranlarda ve değişik nem içeriklerinde ilave edilerek, yaş basma mukavemeti, kuru basma mukavemeti, gaz geçirgenliği, kalıplanabilirlik indeksi ve shatter indeksi özelliklerinin değişimlerine etkisi belirlenmiştir.

5.1 Deneylerde Kullanılan Hammaddeler

Tez kapsamında kullanılan Çankırı-Eldivan yöresine ait bentonit 5 kg'lık plastik poşet içerisinde ince öğütme işlemi gerçekleştirilmiş halde KARAKAYA BENTONİT A.Ş. tarafından temin edilmiş olup, araştırma çalışmalarına bu durumdaki malzeme üzerinden başlanmıştır.

Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti, ince öğütme işlemine tabi tutulmuş durumda olup, yaklaşık % 10 oranında nem içermektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan bentonit numunesinin doğal renginin açık haki-yeşil renkte olduğu görülmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Çankırı-Eldivan yöresi bentonit numunesinin temin edildiği haldeki görünüşü.

5.2 Bentonit Numunelerinin Hazırlanması, Kimyasal ve Fiziksel Analizleri

Çankırı bölgesine ait bentonit 5 kg'lık plastik poşet içerisinde ince öğütme işlemi gerçekleştirilmiş halde KARAKAYA BENTONİT A.Ş. tarafından temin edilmiş olup, araştırma çalışmalarına bu durumdaki malzeme üzerinden başlanmıştır.

5.2.1 Bentonit numunelerinin hazırlanması

Deneyisel çalışmalarda kullanılan bentonit numuneleri 110 °C'de ağırlıkları sabitleşene kadar etüvde (maksimum 250 °C'ye çıkabilen) tutulmuşlardır. Elek açıklığı 63 mikron olan elekten elenmiş ve elek altında kalan numuneler incelemelerde kullanılmıştır.

5.2.2. Bentonitin Kimyasal Analizi

Bentonit numunesinin kimyasal karakterizasyonu için X-ışını floresan spektrometresi (XRF) ve hidroklorik asit (HCl) ile tepkime analizleri yapılmıştır.

5.2.2.1 Bentonitin XRF analizi

XRF analiz sonucu, bentonit numunelerinin kimyasal bileşimi ve bünyelerinde mevcut minerallerin miktarı hakkında bilgi verdiğiinden önemlidir [103].

5.2.2.2 Bentonitin HCl ile tepkime analizi

Bünyesinde kalker (CaCO_3) karışmış olan bentonit ve kaolenler HCl ile tepkimeye girdiklerinde köpürme meydana gelmektedir. Bu deneyi yapmak amacıyla saat camına 10 gram bentonit numunesi koyulup 5 cc. 0.5 N HCl çözeltisiyle tepkimeye

sokulmuştur. Tepkime sonucunda, köpürmenin meydana gelip gelmediği belirlenmiştir.

5.2.3. Bentonitin Fiziksel Analizi

Bentonitlerin fiziksel karakterizasyonu için, şişme deneyi ve saat camı testi yapılmıştır.

5.2.3.1 Şişme Deneyi

Bir kil mineralinin yapısına su aldıkça genişleme göstermesine şişme denir. Bentonitler, su ile etkileştiklerinde şişme özelliği gösterirler, sodyum bentonitler su ile fazla şişerken, ara tip bentonitler orta ölçüde şişer, kalsiyum bentonit ise sodyum bentonitlerine oranla oldukça az miktarda şişer [52-53]. Bir bentonit çeşidini, ticari olarak iyi bir bentonit olarak ifade edebilmek için su ile temas ettiğinde en az beş kat şişmesi gerekmektedir.

Çankırı-Eldivan yöresi bentonit numunesinin şişme özelliği, 100 cc'lik mezürdeki saf suya 63 mikron elekaltı incelikteki 2 gram kuru bentonitin ilavesiyle belirlenmiştir. Bentonitin suda tamamen dağılması ve şişmeyi tam sağlamak için, bentonit tozu su dolu mezüre çok yavaş şekilde ilave edilmiştir. Her seferinde spatülün ucunu kaplayacak kadar alınan bentonit, suyun yüzeyine serpilmiş ve ikinci ilave yapılmadan önce ilk ilavenin tamamen çökmesi beklenmiştir. Son kısım bentonitin ilave edilmesini takiben 2 gün, 7 gün, 15 gün ve 30 gün sonra bentonitlerin mezürde kapladığı hacim okunmuştur. Bu aşama sırasında, bentonit için yoğunluk değeri Accupyc II 1340 model piknometre kullanılarak belirlenmiştir.

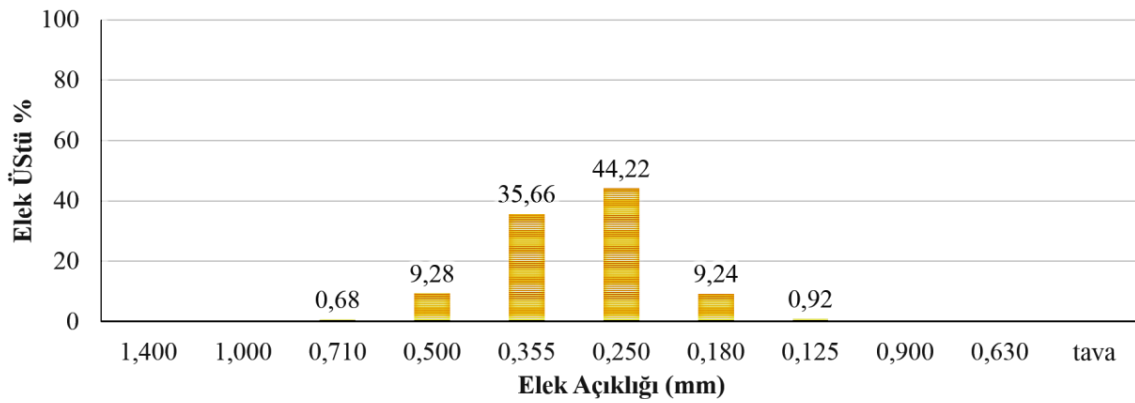
5.2.3.2 Saat Camı Deneyi

Deneyde kullanılan bentonit, 63 mikron elek açıklığı olan elekten geçirilmiş ve elekaltında toplanan bentonit tozundan, 1 gram tartılıp bir saat camının ortasına konulmuştur. Spatül ucuyla hafifçe bastırılarak numunenin konik bir tepe şeklini alması sağlanmış ve şişme esnasında oluşacak olan halkadaki değişimler tespit edilmiştir. Saat camının kenarından bentonit numunesine doğru damlalıklı 3-4 damla su ilave edilmiş ve saat camı saat yönünde hareket ettirilerek suyun bentonit yığının etrafını sarması sağlanmıştır.

5.3. Kalıp Kum Karışımının Hazırlanması

Bu çalışmada yapılan bütün deneylerde SİLTAS A.Ş.'ye ait AFS tane incelik numarası 41.09 olan kum kullanılmıştır. Değişik nem (% 3, 7, 9) ve bentonit (% 3, 7, 10) içeriklerine bağlı olarak hazırlanan döküm kalıp kum karışımı, standart AFS mikserinde 10 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi iki kademede yapılmış olup, ilk kademede kum ve bentonit numunesi mikser boşaltılıp bir dakika kuru olarak karıştırılmış, bentonitin kum içerisinde homojen dağılımı sağlanmıştır. İkinci kademede, homojen hale gelen kum karışımı belirli oranlarda su ilavesi yapılarak 9 dakika karıştırma işlemine tabi tutulmuştur.

Hazırlanan kalıp kum karışımlarında 63 mikronluk elekten geçirilmiş olan elekaltı bentonit numuneleri kullanılmıştır. Kullanılan kumun (%) elek üstü-elek açıklığı değişimi Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 : Hazırlanan kalıp kum karışımlarında kullanılan kumun elek analizi sonucu.

5.3.1 Kalıp Kum Karışımlarından Numune Hazırlanması

Standart silindirik numune hazırlanması esnasında AFS standart silindirik numune hazırlama seti (Şekil 5.3), yani AFS standart numune dövme cihazı, numune tüpü, tüp altlığı ve numune çıkarma desteği kullanılmıştır. 50 mm çapında ve 50 mm yüksekliğinde olan silindirik numune, tüp içine konulan kum karışımı üzerine 6,342 kg. ağırlığındaki parçanın üç defa düşürülmesiyle elde edilmiştir [103].



Şekil 5.3 : AFS standart numune hazırlama seti [105].

Kumun yoğunluğu nem miktarına, tane boyutlarına ve bağlayıcı cinsine göre değiştiğinden, her ayrı kum karışımı için deneme yanılma yoluyla uygun kum karışımı ağırlığı tespit edilmiştir. Bu miktar genellikle 155-160 g. kadardır.

Tartılan kum karışımı, özel altlığı üzerine yerleştirilmiş ve çapı 50 mm olan tüp içine boşaltılmıştır [10]. Tüp, dövme cihazının altına yerleştirilip cihazın sağ tarafında bulunan kol üç defa çevrilmiştir. Dönme hareketi ile ağırlık yukarıya kalkar ve aşağıya düşürülür. AFS standart silindirik numune, tüple birlikte dövme cihazının altından alınıp, numune çıkarma desteğine yerleştirilip, yavaş bir hareketle tüpten çıkarılır.

5.4 Bentonitlerin Döküm Kalıp Kumu Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Döküm kalıp kumunun en önemli özelliklerinden olan yaş basma mukavemeti, kuru basma mukavemeti, gaz geçirgenliği, kalıplanabilirlik indeksi ve shatter indeksi özelliklerine etkisi incelenmiştir.

5.4.1 Yaş basma mukavemetinin tayini

Yaş basma mukavemeti, kalıbın hazırlanması esnasında ve sıvı metalin döküldüğü anda kalıbın şeklini muhafaza etmesi için gerekli olan mukavemettir [103]. Yaş mukavemet, kalıp kumunun temper suyu ilavesinden hemen sonraki mukavemettir.

Hazırlanan döküm kum kalıp karışımlarının yaş basma mukavemetlerinin belirlenmesi için AFS standart silindirik numuneler hazırlanmıştır.

Mukavemet cihazına basma aparatları takılmıştır. Tüpten çıkartılan numune, yaş basma mukavemetinin belirlenmesi amacıyla George Fisher marka AFS standart mukavemet test cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 : George Fisher marka AFS standart mukavemet test cihazı [105].

Değişik bentonit ve nem içeriklerinde yaş basma mukavemet değerlerinin belirlenmesinde her oran için 5 adet standart AFS silindirik numunesi hazırlanmıştır. 5 adet numuneden belirlenen yaş basma mukavemet değerlerinin ortalaması alınmıştır.

5.4.2 Kuru basma mukavemeti tayini

Kurutulan kalıplarda kalıbın şeklini koruyabilmesi için gerekli olan dayanımdır [103]. Döküm kumlarının kuru dayanımı, genellikle bağlayıcı çeşidine ve miktarına bağlıdır. Bir örnek olarak; bentonit türlerinde bu etkinin çeşide göre nasıl değiştiğine Ca bentonitlerinin Na bentonitlerine göre daha düşük kuru mukavemet özelliğine sahip olduğu verilebilir.

Kuru basma mukavemet tayini için hazırlanan AFS standart silindirik numuneler etüvde 110°C’ de 2 saat tutularak kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığında soğutulduktan sonra SHIMADZU AGS-J 10 kN Universal Basma Cihazı (Şekil 5.5) kullanılarak oda sıcaklığında ve 3 mm/s basma hızıyla kuru basma mukavemetleri belirlenmiştir. 5 adet numuneden belirlenen kuru basma mukavemet değerlerinin ortalaması alınmıştır.



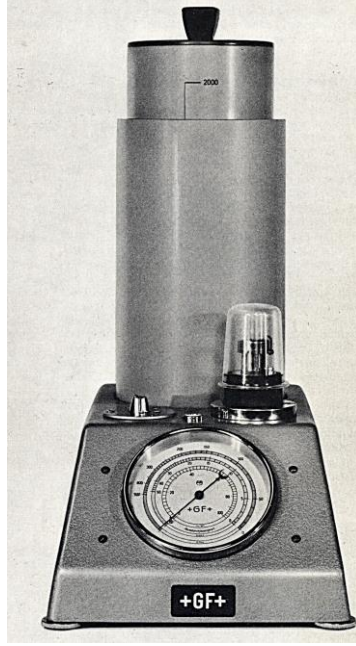
Şekil 5.5 : SHIMADZU AGS-J 10 kN Universal Çekme ve Basma Cihazı.

5.4.3 Gaz geçirgenliği ölçümü

Gaz geçirgenliği, kalıp kumunun hava, gaz veya buharın geçişine imkan verme özelliğidir. Sıvı metal, kalıp boşluğunu doldurmaya başladığında kalıp kum karışımı içerisindeki su buharlaşır. Bu buharı kalıp dışına atmak için değişik yöntemler kullanılsada kalıp kumlarının gaz geçirgenliklerinin iyi olması gerekmektedir. Bu da kullanılan silis tane büyüklüğüne, tane boyut dağılımına, kil miktarına, su miktarına ve kalıbın sıkıştırılmasına bağlıdır [106].

Gaz geçirgenliği, kum taneleri arası açıklık arttıkça artan ve standart basınç altında kum içinden havanın geçiş hızı ile ifade edilir [103].

Gaz geçirgenliği deneyinin yapılması esnasında da, mukavemet deneylerinde olduğu gibi, standart silindirik numune hazırlanmıştır. Gaz geçirgenliği deneyi, kum karışımının standart silindirik deney numune tüpü içinde olduğu halde iken standart AFS gaz geçirgenlik test cihazına sıkıca yerleştirilerek ölçülür (Şekil 5.6). Hava belirli bir basınçta standart tüpteki numuneden geçirilir ve bu sırada kum tabakasının hava akımına karşı gösterdiği direnç göstergeden okunur.



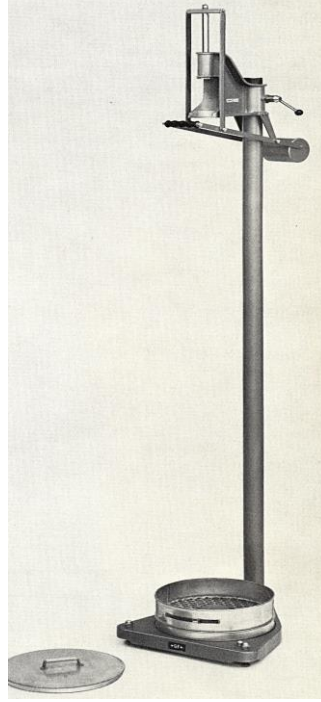
Şekil 5.6 : Standart AFS gaz geçirgenlik cihazı [105].

5.4.4 Shatter indeksi tayini

Yaş kum kalıplama prosesi temel olarak kompaktlama ve sıyrılma olmak üzere iki farklı işlemden oluşmaktadır. Bu iki işlemden herhangi birinin hatalı olması durumunda, iyi bir kalıp elde edilememektedir. Başlangıçta model ile temas edecek olan aşırı gevşek kum, malzemenin model etrafında rijit halde pekiştirilmesini sağlamak amacıyla kullanılan derece içine dökülür ve sonrasında sarsma ve/veya sıkıştırma gibi yöntemlerle kompaktlanmaktadır.

Adhesif gücü olan kil bağlayıcı, yalnızca kum tanelerini birbirine bağlamakla kalmaz, kum karışımının da modele yapışmasına neden olur. Bu yapışma etkisi, karmaşık şekilli modellerde oldukça önemli ayrılma problemleri meydana getirebilmektedir. Kalıbın modelden ayrılma hareketi “sıyrılma” olarak ifade edilmekte olup, yaş kum kalıplamada önemli yer tutmaktadır. İyi sıyrılma özelliklerine sahip bir kum karışımı, temiz bir şekilde modelin bu ayrılmasında imkan verecektir. Kötü bir sıyrılma özelliğine sahip kum ise bu işlemle birlikte çatlama ve modelin uzaklaştırılması esnasında boşluklar meydana getirecektir. Tatmin edici bir sıyrılma, kum karışımının belirli fiziksel özelliklere sahip olmasını gerektirmektedir. Kompaktlanmış olan kum kütlesi, çatlama olmaksızın küçük çarpma deformasyonlarını tolere edebilmek zorundadır. Ayrıca, kum kalıplama esnasındaki taşıma ve kullanım işlemleri esnasında yapılan tesviyeleme işlemlerini karşılayabilecek derecede mukavemetli olmak zorundadır. Bir kumun çarpma deformasyon karakteristiğinin belirlenmesinde

kullanılan yöntem, shatter testidir [107]. Hazırlanan silindirik test numuneleri shatter indeksi tayin cihazı (Şekil 5.7) yardımıyla 182 cm yükseklikten serbest düşme ile 13,2 mm elek açıklığına sahip elek üzerine bırakılır. Toplam standart test numune miktarına, elek üzerinde kalan kum miktarının oranlanması ile shatter indeksi değeri tespit edilmiştir [107]. Shatter indeksi değerlerinin belirlenmesi esnasında her orandaki karışım için 5 numune hazırlanmış, elde edilen değerlerin ortalama değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.7 : Shatter indeksi test cihazı [107].

5.4.5 Kalıplanabilirlik indeksi tayini

Kalıplanabilirlik deneyi, kuma şekil vermek için gerekli dövme enerjisinin dövülmemiş karışımındaki birbirine yapışmış kum tanecik gruplarının ayrılması için gerekli enerji ile orantılı olduğu prensibi esas alınarak geliştirilmiştir. [35,103]. Kısacası kalıplanabilirlik, bir döküm kumunun, kalıp haline getirilmesi sırasında modelin şeklini almadaki davranışını belirleyen kum özelliğinin adıdır. [107].

Kalıplanabilirlik indeksi deneyinde kullanılan cihaz ve takımları Şekil 5.8 'de verilmiş olup, bu deneyde ilk olarak, değişik nem ve bentonit içeriklerinde hazırlanan kum karışımından 300 g. kadarı elek açıklığı 9.51 mm. olan elekte elenmiştir. Elek altında kalan kum karışımından 200 gramı tartılır. Tartılan 200 g. kum karışımı, kalıplanabilirlik indeksi cihazının elek açıklığı 2.38 mm olan elekli tamburuna boşaltılmış ve motoru sayesinde tamburun 10 saniye boyunca kendi ekseninde

dönmesi sağlanmıştır. Daha sonra elekli tamburdan geçen kum karışım miktarı tartılmıştır. Tartılan bu miktara bağlı olarak kalıplanabilirlik indeksi değeri tespit edilmiştir.



Şekil 5.8 : Kalıplanabilirlik indeksi cihaz ve takımları.

5.5 İncelenen Döküm Kalıp Kumu Karışım Reçetelerinin Optimizasyon Çalışmaları

İncelenen %3-10 bentonit ve %3-9 nem içeriklerine sahip kalıp kum karışımlarının içerisinde 100 kg üzeri çelik parça dökümü için optimum kalıp özelliklerini verebilecek bentonit-nem oranları Çankırı-Eldivan yöresi bentonitli karışımlar için belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlara dayanarak, kum karışım reçetelerinin optimizasyonu amacıyla ilave katkılar, fuel oil, mısır unu vb. yapılarak, katkıların kum kalıp karışımı özelliklerine etkileri de saptanmıştır.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde, öncelikle tez sırasında kullanılmış olan Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları verilmiştir. Daha sonrasında, aynı bentonitin döküm kalıp kumu özelliklerine, yani yaş basma mukavemetine, kuru basma mukavemetine, gaz geçirgenliğine, shatter indeksine ve kalıplanabilirlik indeksine etkisinin sonuçları verilmiştir.

6.1 Çankırı-Eldivan Yöresi Bentoniti Kimyasal ve Fiziksel İnceleme Sonuçları

Deneylerde kullanılan bentonitin kimyasal karakterizasyonu için XRF analizi, HCl ile tepkime analizi sonuçları yanında fiziksel karakterizasyonu için yapılmış olan şişme deneyi ve saat camı deneyi sonuçları verilmiştir.

6.1.1 XRF analizi sonuçları

Bentonit numunesinin XRF analiz sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Bentonit numunesinin XRF analiz sonuçları.

Bentonit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SrO
Çankırı-Eldivan	63.6	20.5	5.25	3.98	2.4	0.75	0.50	2.7	0.12	0.2

6.1.2 HCl ile tepkime analiz sonuçları

Çankırı-Eldivan yöresi bentonit numunesinin bünyesinde kalker (CaCO₃) içerip içermediğini saptamak amacıyla yapılan HCl ile tepkime analizi sonuçları belirlenmiştir. HCl ile tepkime analizinde, bentonitin orta seviye de reaksiyon verdiği tespit edilmiştir (Şekil 6.1). Bentonit numunesinin XRF analiz sonuçları da dikkate alındığında, bu tepkimenin bentonit içerisinde bulunan CaO oranıyla paralellik gösterdiği görülebilmektedir.



Şekil 6.1 : Deneyde kullanılan bentonitin HCl ile tepkime analiz sonucu.

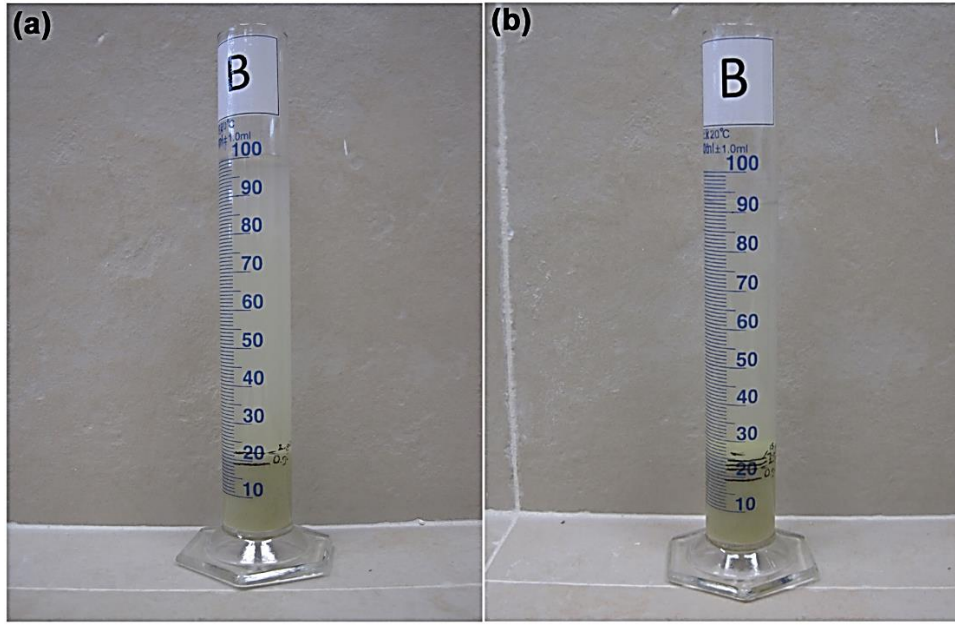
6.1.3 Şişme deneyi sonuçları

Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin yoğunluğu Accupyc II 1340 model piknometre kullanılarak belirlenmiştir. $2,8 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenen bentonit yoğunluk değerinin, literatürde tanımlı olan $2,2\text{-}2,8 \text{ g/cm}^3$ aralığında [5] olduğu görülmüştür.

Bentonit numunesinin şişme deney sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiş olup, Şekil 6.2’de 48 saat sonrası ve 30.gün sonunda bentonit numunesinde hacimsel şişme değişimleri görülmektedir. Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin 30 gün sonunda orijinal hacminin yaklaşık 19 katı şişme gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 6.2 : Çankırı-Eldivan bentonitinin şişme deney sonuçları.

Çankırı Bölgesi bentoniti	Şişmiş Hacim (cm^3)	Hacimce Şişmenin Orijinal Hacmin Kaç Katı Olduğu
2 g Kuru Numune (Şişmemiş)	1.428	-----
48 Saat Sonra	22	15.40
7 Gün Sonra	23	16.10
15 Gün Sonra	24.5	17.15
30 Gün Sonra	27	18.91



Şekil 6.2 : İncelenen bentonitin (a) 48 saat sonrası ve (b) 30. gün sonundaki şişme sonucu mezürde kapladığı hacimler.

6.1.4 Saat camı testi sonuçları

Şekil 6.3'te Çankırı-Eldivan bentonit numunesinin saat camı testi sonuçları verilmiştir. Saat camı testinde bentonit numunesine temas eden su, ilk aşamada konik şekilde duran bentonit tozunun etrafında ince bir şerit olarak bölgedeki bentoniti şişirmiştir. Su daha iç kısımlara nüfuz edemediği için, iç kısım kuru kalmış, bentonit tozunun dış çevre kısmında ıslanma olmuş, şişmiş (kabarmış) bir bentonit halkası oluşmuştur. Zamanla halkanın kalınlığında artma olsa da, su tamamen bütün bentoniti ıslatamadığı için, orta kısım devamlı kuru kalmıştır. Islak kısmın suyu uçunca, kuru kısmın etrafında yıldızvari parça parça bölünmüştür. Dolayısıyla numunelerin, şişme özelliğine sahip bentonit numunesi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.3 Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin saat camı testi.

6.2 Çankırı-Eldivan Yöresi Bentonitinin Döküm Kalıp Kumu Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi Sonuçları

Döküm kalıp kumlarına bentonit etkisinin incelenmesi için, yaş basma mukavemeti, kuru basma mukavemeti, gaz geçirgenliği, kalıplanabilirlik indeksi ve shatter indeksi özellikleri belirlenmiştir. Bu özelliklere ait sonuçlar Şekil 6.4 ile Şekil 6.8 arasında verilmiştir.

6.2.1 Yaş basma mukavemeti sonuçları

Kum kalıpta yapılan bir ürünün kalıptan sıyrılması, çıkartılması; kalıplama kumu deformasyon ve şekillenebilme özelliğine bağlıdır, bu özellikler de yaş basma mukavemeti değerleriyle kontrol edilebilmektedir [103].

%3, 7, 10 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kalıp kum karışımlarının nem oranları %3, 7 ve 9 oranlarında değişmektedir. Deneyde kullanılan her bentonit oranı için nem arttıkça, yaş basma mukavemeti doğrusal olarak artmaktadır. Aynı zamanda deneyde kullanılan üç farklı bentonit oranından, %10 bentonit ilavesi ile elde edilen yaş basma mukavemeti en yüksek değerlere sahiptir. Bunun yanı sıra, %9 olan en yüksek nem değerlerinde bütün numuneler en yüksek yaş basma mukavemetini vermektedir.

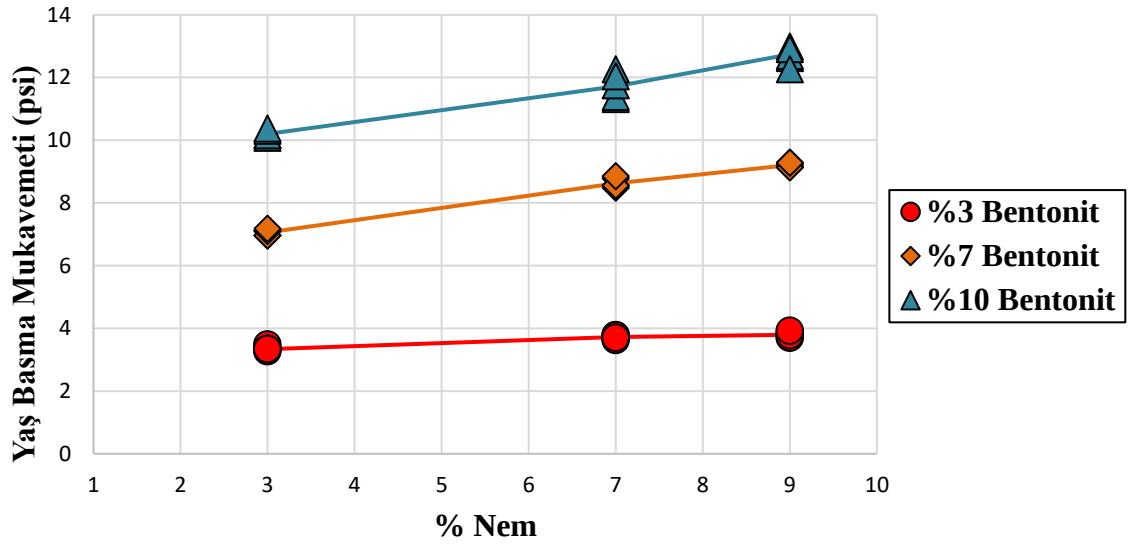
%3 bentonit ve %3 nem içeriğinde yaş basma mukavemet ortalaması 3,336 psi olup, nem içeriğinin üç kat arttığı durumda (%9) yaş basma mukavemet ortalaması $3,795 \pm 0,04$ psi değerine yükselmektedir. Yaş basma mukavemet değerleri önce artarak “temper suyu” olarak adlandırılan pik noktasına çıkar ve sonrasında mukavemet değerinde düşüş gözlenir. Temper suyundan sonraki nem oranlarında verilen suya “serbest su” adı verilir [108].

Bu çalışma için yaş basma mukavemeti, nem arttıkça artmakta olup temper suyu noktasına deney yapılan nem oranlarında henüz varılamadığı ifade edilebilir. Bu da nem miktarının daha yüksek oranlara arttırılmasıyla yaş basma mukavemetinin artabileceği anlamına gelebilir.

Şekil 6.4’ten de anlaşıldığı üzere, Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan kalıp kum karışımlarında sabit nem içeriklerinde bentonit miktarının artması durumunda da yaş basma mukavemet değerlerinde artış gözlenmiştir. % 3 nem ve %3 bentonit içeren kalıp kum karışımlarında yaş basma mukavemeti 3,336 psi iken, bentonit içeriğinin

%10 oranında, üç kattan fazla bir oranda olması durumunda, yaş basma mukavemetinin $10,201 \pm 0,084$ psi yani yaklaşık üç kat artmış olduğu gözlenmiştir.

Amerikan Dökümcüler Birliğince (American Foundrymen's Association) farklı döküm alaşımları için elde edilmiş olan kum test verileri [109] göz önüne alındığında 100 kg üzeri çelik parçalar için AFS tane boyutu 38-62 aralığındaki kalıp kum karışımlarında, % 4-10 kil içeriğinin 6,5-7,5 psi yaş basma mukavemet aralığı ile tatmin edici sonuçlar verdiği rapor edilmiştir. Bu çalışmada incelenen AFS tane boyutu 41,09 olan kum sisteminde %3 nem ve %7 kil içeriğinde, Çankırı-Eldivan yöresi bentonitli karışımda yaş basma mukavemeti değerinin $7,059 \pm 0,084$ psi olduğu tespit edilmiştir. Çankırı-Eldivan yöresi bentonitli karışımın Amerikan Dökümcüler Birliğince tanımlanmış olan yaş basma mukavemet aralığı içerisinde olduğu da tespit edilmiştir.

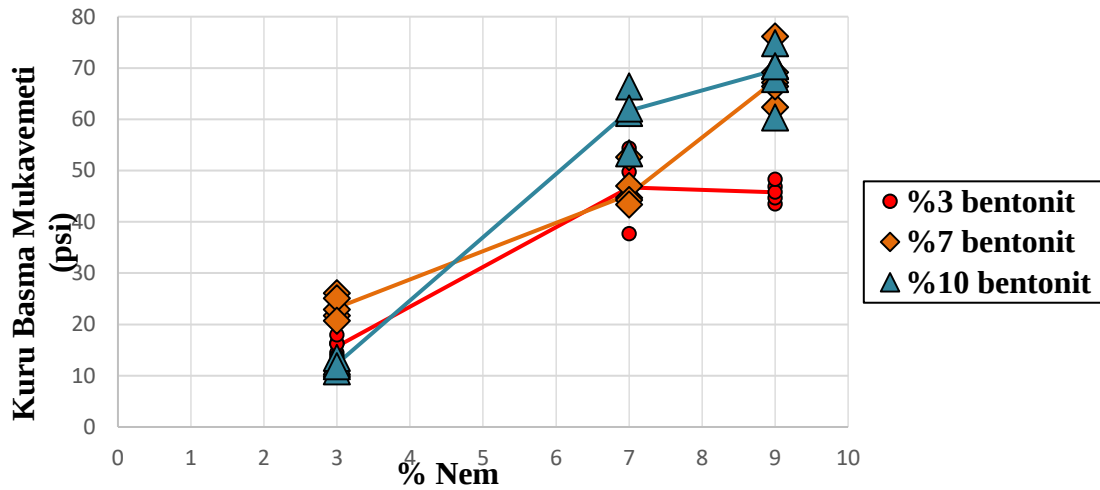


Şekil 6.4 : Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun yaş basma mukavemeti-(%) nem değişimi.

6.2.2 Kuru basma mukavemeti sonuçları

Şekil 6.5'te Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan kalıp kum karışımlarında kuru basma mukavemeti ile (%) nem değişimi bentonit içeriğine bağlı olarak verilmiştir. Artan nem içeriğiyle kuru basma mukavemeti Çankırı bentonitinin %7 ve %10 oranında eklenmesi ile hazırlanan karışımlarda doğrusal olarak artış gösterdiği Şekil 6.5'te görülmüştür. %7 bentonit ve %3 nem içeren kalıp kum karışımının kuru basma mukavemeti $23,255 \pm 1,69$ psi değeri, nem içeriğinin %9 olması durumunda

67,587±1,43 psi olarak yaklaşık üç kat artış göstermiştir. Benzer şekilde %10 bentonit ve %3 nem içeren kalıp kum karışımında kuru basma mukavemeti 12,33±0,435 psi olup nem içeriğinin üç katı artması durumunda 69,57±1,47 psi değerine ulaşmış yaklaşık altı kat artış göstermiştir. Nem içeriğinin artışa paralel olarak kuru basma mukavemetindeki artış, kalıp kum karışımlarının daha yüksek oranda nem absorblayabileceğini göstermiştir [110]. Fakat diğer yandan düşük oranda bentonit (%3 bentonit) içeren kalıp kum karışımında %7 nem içeriğinde kuru basma mukavemeti maksimuma ulaşmış ve daha yüksek nem içeriğinde mukavemet değerlerinde düşüş olmuştur. %3 bentonit ve %7 nem içeren kalıp kum karışımında kuru basma mukavemeti 46,702±4,31 psi olarak maksimum değere ulaşmış, nem içeriğinin %9 olması durumunda 43,784±1,09 psi'a düşüş göstermiştir. Bu durumda kuru basma değeri açısından %3 bentonit değeri için %7 nem oranı optimum nem içeriği olduğu görülmüştür.



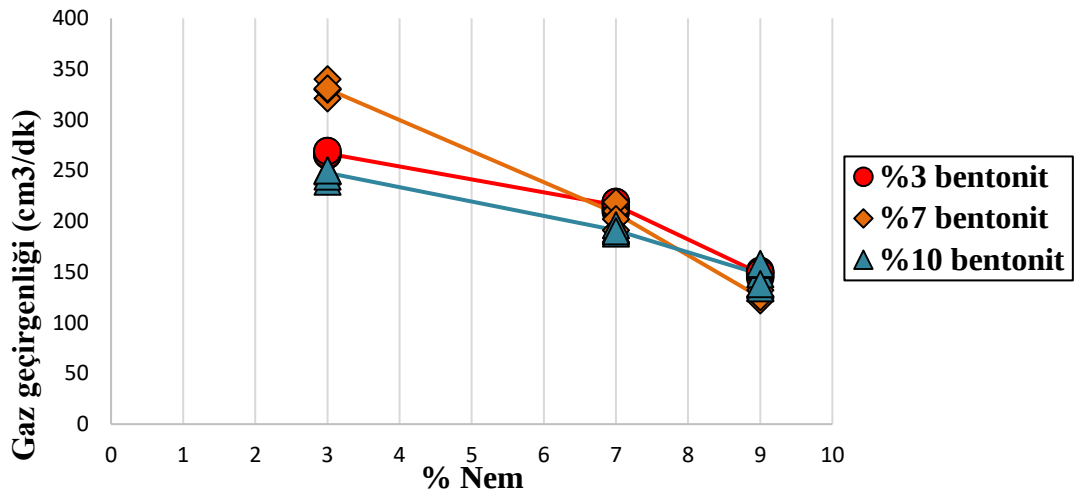
Şekil 6.5 : Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun kuru basma mukavemeti-(%) nem değişimi.

6.2.3 Gaz geçirgenliği sonuçları

Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanmış olan kalıp kum karışımlarına ait gaz geçirgenliği değişimleri, nem içeriğine bağlı olarak Şekil 6.6'da verilmiştir. Kalıp kum karışımının hava, gaz veya buharın geçişine imkan verme özelliği gaz geçirgenliği olarak adlandırılır [103]. Hazırlanan karışımlarda bentonit içeriğinin %3'ten %7'ye yükselmesiyle aynı nem oranında gaz geçirgenliği artış göstermiştir. Bunun yanı sıra %7 bentonit oranından %10'a yükselmesiyle gaz geçirgenliği düşüş göstermiştir. Aynı

bentonit oranı içeriğine sahip olan karışımların yükselen nem içeriğiyle gaz geçirgenliğinin düştüğü gözlemlenmiştir.

%3 bentonit ve %3 nem içeren kum karışımında gaz geçirgenliği ortalama $266 \text{ cm}^3/\text{dk}$ olup, nem oranı aynı kalarak bentonit içeriğinin %10'a artması durumunda gaz geçirgenliği azalarak $248 \text{ cm}^3/\text{dk}$ değerine düşüş göstermiştir. %3 bentonit içerikli kum karışımlarının %3 nem içermeleri durumunda $266 \text{ cm}^3/\text{dk}$ olan ortalama değeri, %9 nem içeriğinde $148 \text{ cm}^3/\text{dk}$ değerine düşmüştür. %10 olan en yüksek bentonit içeriğinde %3 nem oranında $248 \text{ cm}^3/\text{dk}$ olan değer, doğrusal olarak %9 nem oranında $148 \text{ cm}^3/\text{dk}$ değerine düşmüştür. %3 nem içeriğinden itibaren yaş kumdaki absorpsiyon yüzdesinin artışı ile kum taneleri üzerindeki kaplı hidrate kil filmleri kalınlaşmaktadır. Kum numunesinin sıkıştırılması durumunda kum taneleri arasındaki mevcut boşluk hacmi azalmaktadır. Bu da geçirgen kanalların hacmini azaltarak, yaş kum numunelerin test edilen geçirgenliğini azaltmaktadır.



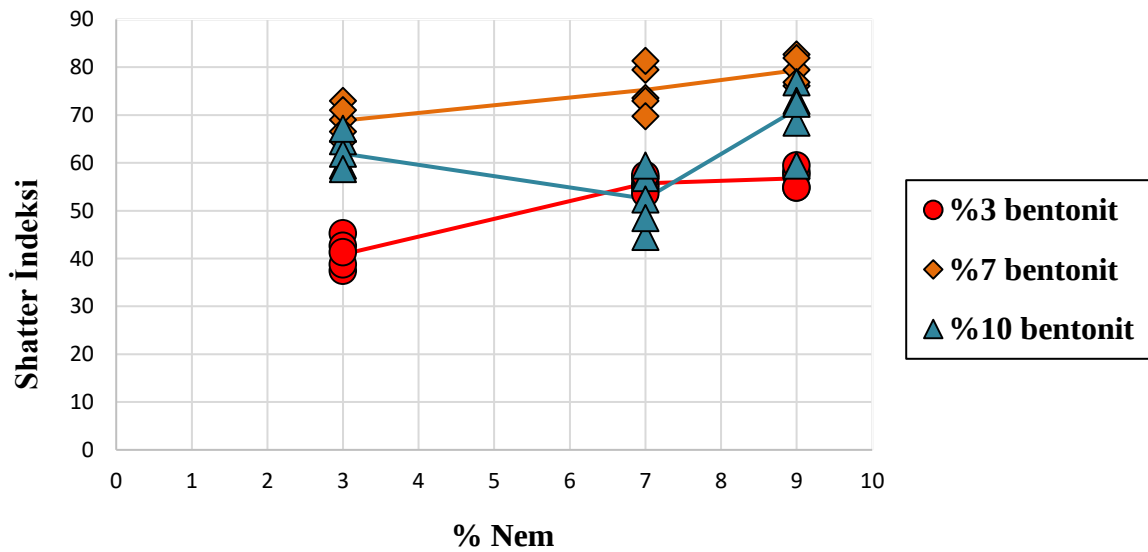
Şekil 6.6 : Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun gaz geçirgenliği-(%) nem değişimi.

Amerikan Dökümcüler Birliğince (American Foundrymen's Association) [107] 100 kg üzeri çelik parçalar için AFS tane boyutu 38-62 aralığındaki kalıp kum karışımlarında, %4-10 kil içeriği ve %2-4 nem içeriğinde kabul edilebilir gaz geçirgenlik aralığı $130-300 \text{ cm}^3/\text{dk}$ olarak verilmiştir. İncelenen Çankırı-Eldivan yöresi bentonitli karışımın, Amerikan Dökümcüler Birliğince [107] tanımlanmış olan gaz geçirgenlik aralığı içerisinde olduğu görülmüştür.

6.2.4 Shatter indeksi sonuçları

Bir kumun çarpma deformasyon karakteristiğinin belirlenmesinde kullanılan yöntem shatter testidir. Pek çok yaş kum karışımlarının shatter indeksi 40 ile 100 arasında olmasıyla birlikte [111], pratik uygulamalardaki istenen tatmin edici shatter indeksi aralığı 70-80 olarak literatürde verilmiştir [112]. Çankırı-Eldivan bentoniti ile hazırlanan kalıp kum karışımlarının artan nem içeriğine bağlı olarak shatter indeksi değişimleri Şekil 6.7’de verilmiştir.

Kullanılan farklı bentonit ve nem oranlarında hazırlanan kum karışımlarının shatter indeksi değerlerinde belirli bir sistematik olmadığı gözlemlenmiştir. Karışımlarda bentonit içeriğinin %3 ve %7 olması durumunda, nem oranının artışıyla shatter indeksi değeri de doğrusal olarak artmıştır. %3 bentonit ve %3 nem içeriğinde shatter indeksi değeri $40,87 \pm 1,98$ iken, %7 nem içeriğinde $55,7 \pm 1,01$ olmuş ve %9 nem olduğu durumda $56,77 \pm 1,74$ değerinde olduğu görülmektedir. %7 bentonit içeriğinde de sırasıyla %3, 7 ve 9 nem içeriğinde shatter indeksi değerlerinin $68,83 \pm 2,25$, $75,27 \pm 3,6$ ve $79,37 \pm 2,6$ olduğu ve nem artışıyla birlikte değerlerinde arttığı gözlemlenmiştir. Fakat %10 bentonit içeriğinde diğer bentonit oranlarına kıyasla, nem oranındaki artışla birlikte shatter indeksi sürekli artış göstermemiştir. %10 bentonit içeriğinde %3 nem oranında shatter indeksi değeri $61,93 \pm 2,5$ iken %7 nem içeriğinde shatter indeksi $52,5 \pm 4,2$ değerine düşmüştür. Aynı bentonit içeriğinde %9 nem oranında shatter indeksi $71,2 \pm 2,44$ olarak ölçülmüş ve değerin artışa geçtiği kaydedilmiştir.



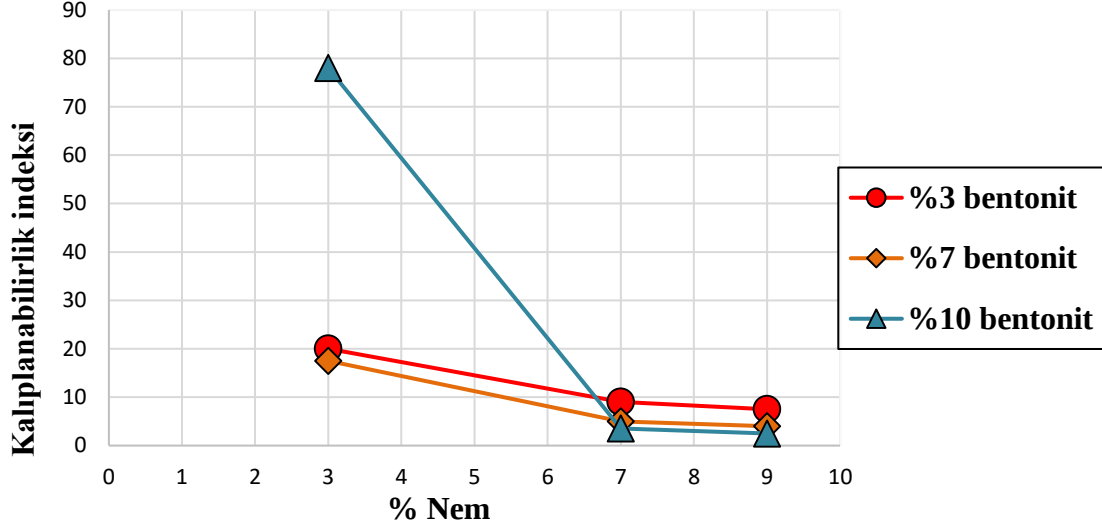
Şekil 6.7 :Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun shatter indeksi-(%) nem değişimi.

6.2.5 Kalıplanabilirlik indeksi sonuçları

Her durumda verimi etkileyen özellikler olduğu gibi kalıp kumlarının performansını da etkileyen özellikler bulunmaktadır. Bu performansı etkileyen özellikler içinde en önemlilerden biride kalıplanabilirlik indeksi olarak görülmektedir. Çünkü kalıplanabilirlik indeksi, minimum boşluklu bir kalıp yüzeyi meydana getirme ve kolayca dövülebilme yeteneğinin göstergesi [113] olmakla birlikte kum karışımının kalıp haline dövülmesi esnasında modelin şeklini almadaki tutumunu belirleyen bir özelliktir. . Hazırlanan kalıp kum karışımlarının artan nem ve bentonit içeriğine bağlı olarak tespit edilmiş olan kalıplanabilirlik indeksi değişimleri Şekil 6.8’de verilmiştir.

İncelenen karışımlarda artan bentonit içeriği sonucunda kalıplanabilirlik indeksi değerlerinde doğrusal olarak bir artış olduğu Şekil 6.8’de görülmektedir. Bunun yanı sıra aynı bentonit içeriğinde nem içeriğinin artışıyla birlikte kalıplanabilirlik indeksi değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

% 3, 7 ve 9 nem içeren, %3 ve %7 bentonit içerikli karışımlardan oluşan tüm numunelerin kalıplanabilirlik indeksi değerleri 20 ve altında kalmıştır. 60’ın altındaki kalıplanabilirlik indeksi durumunda, kum kullanım zorlukları çıkartacak, ayırma yüzeyinde aşırı boşluklar gözlenebilecek ve kalıp boşluğunun düşey duvarları yetersiz bir şekilde kompaktlanacaktır [113]. Bu sebeplerden ötürü, bu çalışmada kullanılan bentonitin, %3 ve %7 oranında eklendiği kalıp kum karışımlarının, %10’a kadar olan nem oranlarında sağlam bir kalıp yüzeyi oluşturamayacak bir karışım verdiği görülmüştür. Diğer yandan, %10 bentonit ve %3 nem içeren kum karışımının kalıplanabilirliği 78 olup, literatürde [113] belirtilen boşluksuz ve sağlam bir kalıp yüzeyi oluşturan kum karışımı kalıplanabilirlik indeksi aralığı olan 78-90 değerleri arasında yer almaktadır.



Şekil 6.8 : Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile hazırlanan döküm kalıp kumunun kalıplanabilirlik indeksi-(%) nem değişimi.

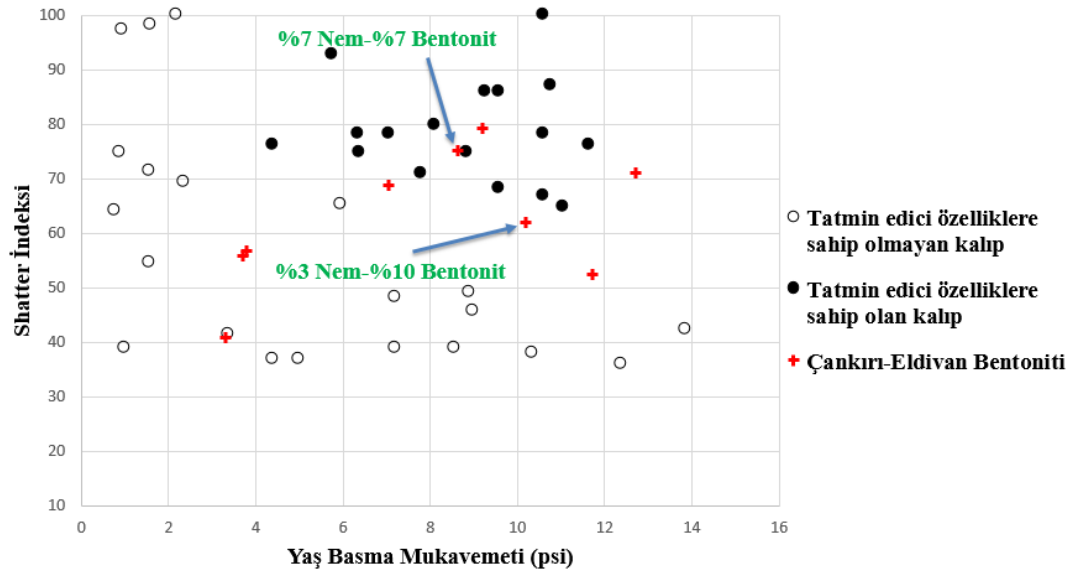
6.3 İncelenen Döküm Kalıp Kumu Karışım Reçetelerinin Optimizasyon Çalışması Sonuçları

İncelenen % 3-10 bentonit ve % 3-9 nem içeriklerine sahip kalıp kum karışımlarının içerisinde 100 kg üzeri çelik parça dökümü için optimum kalıp özelliklerini verebilecek bentonit-nem oranları Çankırı-Eldivan yöresi bentonitli karışımlar için %7 nem - %7 bentonit ve %3 nem - %10 bentonit olduğu yapılan deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Çizelge 6.3'te optimum kalıp özelliklerini verebilecek karışımlara ait deneysel sonuçlar literatürde mevcut olan ve döküm endüstrisinde 100 kg üzeri çelik parçalar için tanımlanmış değer aralıkları ile birlikte verilerek kıyaslaması yapılmıştır.

Çizelge 6.3 : Optimum kalıp özelliklerini verebilecek karışımlara ait deneysel sonuç lar ile literatürde mevcut olan, döküm endüstrisinde 100 kg üzeri çelik parçalar için tanımlı değer aralıkların kıyaslaması.

Bileşim Özellik	%7 Nem-%7 Bentonit Çankırı-Eldivan	%3 Nem-%10 Bentonit Çankırı-Eldivan
Kalıplanabilirlik İndeksi	5 (78-90) [113]	78 (78-90) [113]
Yaş Basma Mukavemeti (psi)	8,63 (6,5-7,5) [107]	10,20 (6,5-7,5) [107]
Kuru Basma Mukavemeti (psi)	45,30 (40-80) [10]	12,30 (40-80) [10]
Gaz Geçirgenliği (cm ³ /dk)	207 (130-300) [107]	247 (130-300) [107]
Shatter İndeksi	75 (70-80) [112]	62 (70-80) [112]

Çizelge 6.3'te verilen sonuçlar yanı sıra literatürde [114] yapılan çalışma sonucu elde edilen Şekil 6.9 da shatter indeksi değerine karşılık olarak yaş basma mukavemeti değerlerini karşılaştırıp, tatmin edici özelliklere sahip kalıp değerlerini bulmaya yardımcı olmuştur. Bu şekilde görüldüğü üzere, işaretlenen %7 nem-%7 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti ile %3 nem- %10 Çankırı-Eldivan bentoniti içeren kalıp kum karışımları tatmin edici özelliklere sahip kalıp değerleri arasındadır.



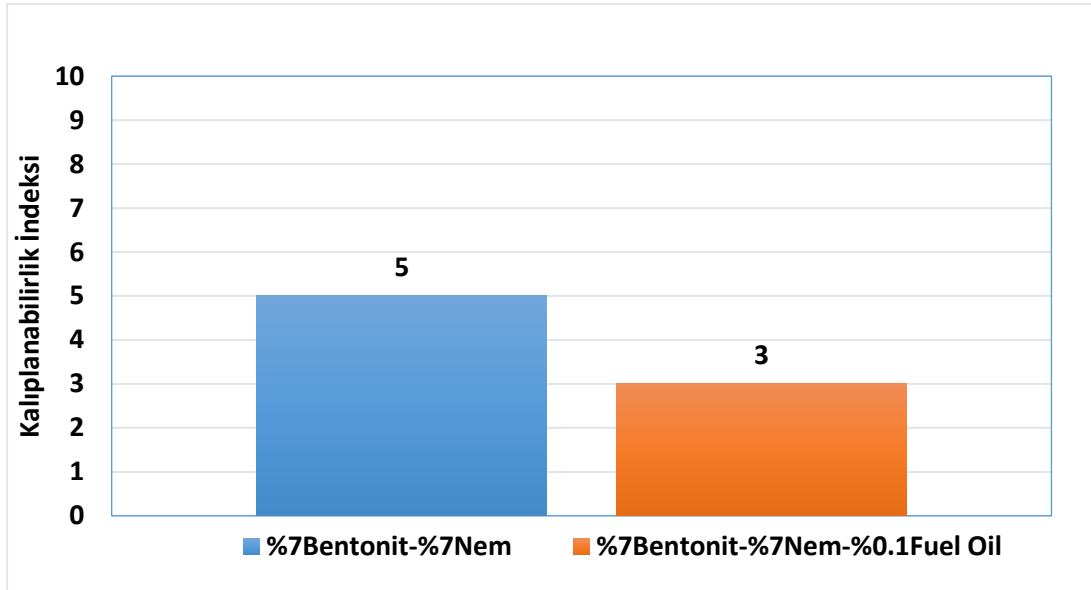
Şekil 6.9 : Kalıplama özelliklerinin shatter indeksi ve yaş basma mukavemeti ilişkisi verilerek gösterilmesi.

%7 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti-%7 nem içeren kum kalıp karışımında kalıplanabilirlik indeksinin literatürde [113] olması gereken aralığı sağlamadığı görülmüştür. Kalıplanabilirlik indeksini arttırmak amacıyla % 0.1 oranında fuel oil [103] ve %2 ile %1 oranında grafit tozu katkısı [103] yapılmıştır.

%10 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti- %3 nem içeren kum kalıp karışımında ise Çizelge 6.3'den anlaşıldığı üzere kuru basma mukavemeti ve shatter indeksi değerleri, literatürde [10,112] olması gereken değerlerin altında kalmaktadır. Bu değerlerin istenen değer aralığında olmasını sağlamak amacıyla kalıp kumuna, tahıl grubundan olan mısır unu katkısı [103] %1 oranında yapılmıştır.

6.3.1 %7 nem- %7 Çankırı-Eldivan bentoniti içeren kalıp kumu karışımına fuel oil katkısı sonucu

Şekil 6.10'da %7 nem - %7 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında kalıplanabilirlik indeksine %0.1 fuel oil ilavesinin etkisi verilmiştir.

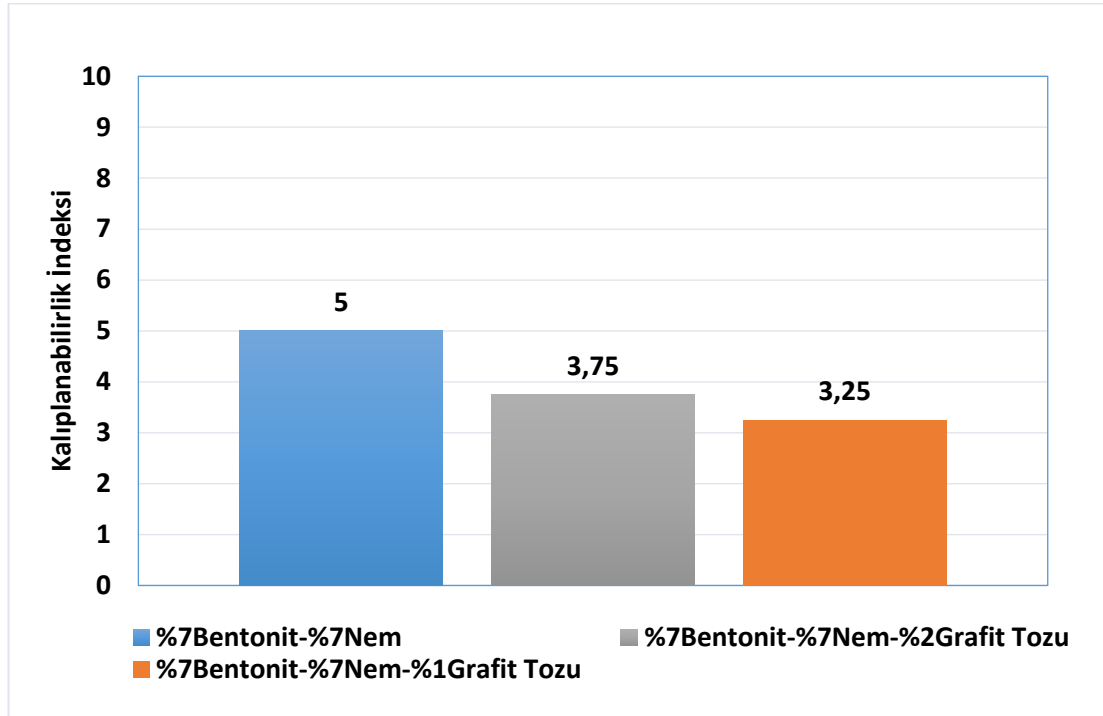


Şekil 6.10 : %7 nem-%7 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında kalıplanabilirlik indeksine %0.1 fuel oil ilavesinin etkisi.

Literatürde [103] fuel oil katkısının kalıplanabilirlik indeksini olumlu yönde etkileyeceği ifade edilmesine rağmen incelenen kum karışımında, fuel oil ilavesi sonucunda kalıplanabilirlik indeksinin 5 olan değerinin 3'e düştüğü gözlenmiştir. Kalıplanabilirlik indeksinin olması gereken değer aralığında [113] olmaması nedeniyle, incelenen kalıp kum karışımında kullanım zorluklarıyla karşılaşılacağı belirlenmiştir.

6.3.2 %7 nem- %7 Çankırı-Eldivan bentoniti içeren kalıp kumu karışımına grafit tozu katkısı sonuçları

Hazırlanan kalıp kum karışımlarında 90 mikronluk elekten geçirilmiş olan elekaltı teknik grafit tozları %1 ve %2 oranlarında kullanılmıştır. Şekil 6.11’de %7 nem - %7 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında kalıplanabilirlik indeksine grafit tozu ilavesinin etkisi verilmiştir.

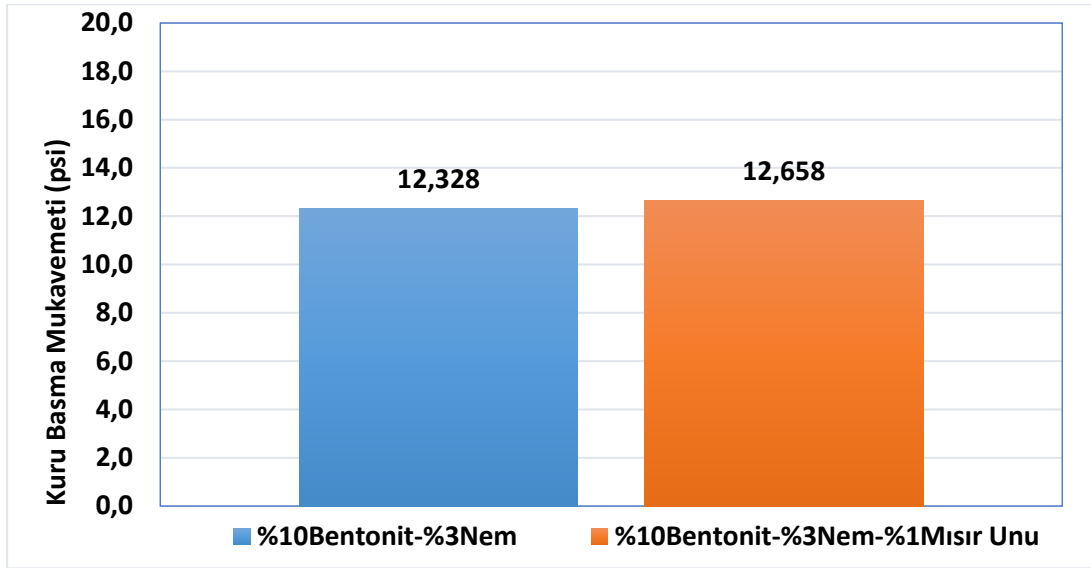


Şekil 6.11 : %7 nem-%7 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında kalıplanabilirlik indeksine grafit tozu ilavesinin etkisi.

Literatürde [103] fuel oil katkısında olduğu gibi grafit tozunun da kalıplanabilirlik indeksi değerini arttırdığı belirlenmiştir. Hazırlanan kalıp kum karışımlarında kullanılan %1 ve %2 oranında grafit tozu katkısının, 5 olan kalıplanabilirlik indeksini sırasıyla 3,25 ve 3,75 değerlerine düşürdüğü gözlemlenmiştir. Kalıplanabilirlik indeksi açısından, hazırlanan kalıp kumu karışımın yeterli niteliği taşımadığı gözlemlenmiştir.

6.3.3 %3 nem- %10 Çankırı-Eldivan bentoniti içeren kalıp kumu karışımına mısır unu katkısı sonucu

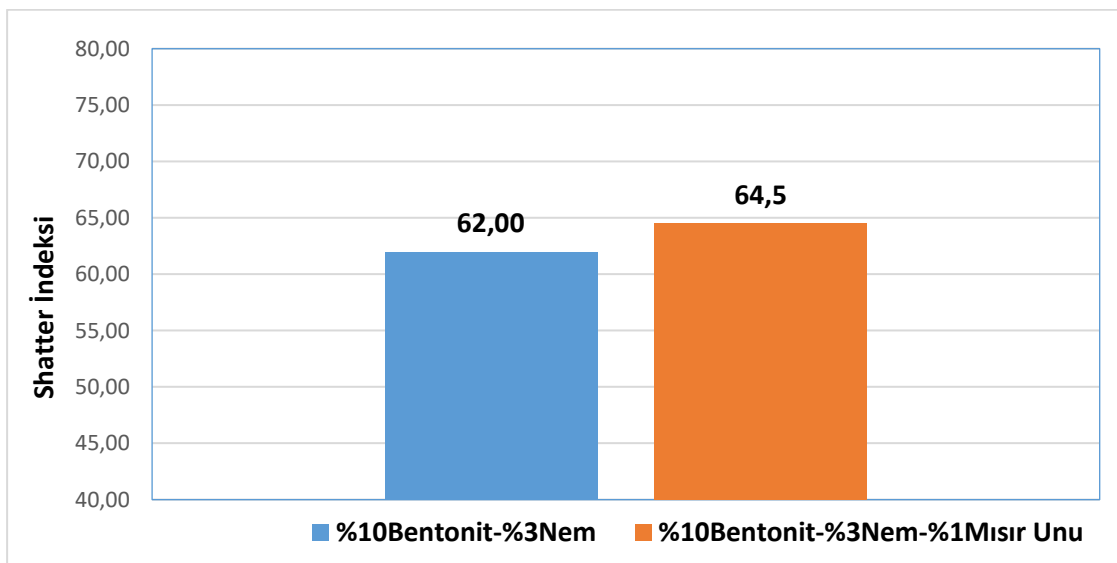
%3 nem - %10 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında kuru basma mukavemetine %1 mısır unu ilavesinin etkisi, Şekil 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6.12 : %3 nem-%10 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında kuru basma mukavemetine %1 mısır unu ilavesinin etkisi.

%3 nem - %10 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımı kuru basma mukavemeti $12,328 \pm 0,435$ psi iken, %1 oranında mısır unu eklenmiş olan kalıp kum karışımının kuru basma mukavemeti $12,658 \pm 0,736$ psi değerindedir. İncelenen kalıp kum karışımında mısır unu ilavesiyle, kuru basma mukavemetinde nispeten düşük oranda bir artış sağlanmış olmasına rağmen, literatürdeki olması gereken değer aralığından oldukça düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Şekil 6.13’de %3 nem-%10 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında shatter indeksine %1 oranında mısır unu ilavesinin etkisi görülmektedir.



Şekil 6.13 : %3 nem-%10 Çankırı-Eldivan yöresi bentoniti içeren kum kalıp karışımında shatter indeksine %1 mısır unu ilavesinin etkisi.

Tahıl grubu katkıları shatter indeksi değerini olumlu yönde etkilemekte ve değer artmasını sağlamaktadır. İncelenen kalıp kumu karışımında $62 \pm 2,55$ olan değer %1 oranında mısır unu ilavesi sonrası, literatürde belirtilen değer aralığında olmamasına rağmen, $64,50 \pm 2,37$ değerine yükselmiş ve artış göstermiştir.

7. GENEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER

Tez kapsamında, Çankırı ili Eldivan ilçesi Büyük Hacıbey köyü sınırları içerisinde mevcut bentonitin öncelikle, kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla XRF analizi, saat camı testi, HCl ile tepki analizi, şişme kapasitesi deneyi yapılmış ve piknometre ile yoğunluğu saptanmıştır. Döküm endüstrisi açısından değerinin ve optimum kullanım şartlarının belirlenmesi amacıyla %3, 7 ve 10 bentonit ve %3,7 ve 9 su ilaveleri ile hazırlanan karışımların yaş basma mukavemeti, kuru basma mukavemeti, gaz geçirgenliği, shatter indeksi ve kalıplanabilirlik indeksi özellikleri belirlenmiştir. İncelenen kum kalıp karışımları sonuçlarına dayanarak, kum karışım reçetelerinin optimizasyonu amacıyla ilave katkıları, fuel oil, mısır unu vb., yapılarak, katkıların kum kalıp karışımı özelliklerine etkileri de saptanmıştır. Bu özelliklerin belirlenmesi ışığında aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir;

- İncelenen Çankırı-Eldivan yöresi bentonitinin orijinal hacminin yaklaşık 19 katı şişme özelliği göstermesi nedeniyle, şişme kabiliyetine sahip kil grubuna girdiği görülmüştür. Bentonit numunesinin saat camı testi sonucunda, şişerek, kuruması esnasında yıldızvari bölünme gösterdiği tespit edilmiştir.
- %3, %7 ve %10 Çankırı-Eldivan bentoniti içerikli kalıp kum karışımlarının yaş basma mukavemetleri, nem oranı ve bentonit oranı arttıkça paralel olarak artmaktadır. En yüksek oran olan %9 su içeriğinde yaş basma mukavemetleri en yüksek değerdedir. Nem oranını sabit tutmak şartıyla numuneler incelendiğinde, bentonit oranı arttıkça yaş basma mukavemeti artmaktadır.
- Artan nem ve bentonit içeriğiyle kuru basma mukavemeti Çankırı bentoniti ile hazırlanan karışımlarda doğrusal olarak artış göstermiştir. %7 ve %10 bentonit içeren kum kalıp karışımlarında, nem oranı arttıkça kuru basma mukavemeti artmıştır. Aynı şekilde nem oranı sabit tutulduğunda, numuneler arasında en yüksek kuru basma mukavemetine sahip olan karışım %10 bentonit içeren karışım olduğu gözlemlenmiştir. %3 bentonit içeren karışımın %7 nem içermesi durumunda düşük bentonit oranında, maksimum kuru basma mukavemeti elde edilmiştir.

- Gaz geçirgenliği, hazırlanan karışımların nem oranı arttıkça (%3'ten %9'a) azalmıştır.
- Hazırlanan kum kalıp karışımlarında bentonit içeriğinin %3 ve %7 olması durumunda, nem oranının artışıyla shatter indeksi değeri de doğrusal olarak artmıştır. Fakat %10 bentonit içeren karışımlarda, shatter indeksi değeri öncelikle düşmüş ve sonra artmıştır.
- Kalıplanabilirlik indeksi için sadece %10 bentonit ve %3 nem içeren karışmda literatürde belirtilen değel elde edilebilmiştir. Deneyleri yapılan diğer bütün karışımların, kalıplanabilirlik indeksinin çok düşük olduğu görülmüştür.
- İncelenen %3-10 bentonit ve %3-9 nem içeriklerine sahip kalıp kum karışımlarının içerisinde 100 kg üzeri çelik parça dökümü için optimum kalıp özelliklerini verebilecek bentonit-nem oranlarının Çankırı-Eldivan yöresi bentonitli karışımlar için %7 nem - %7 bentonit ve %3 nem - %10 bentonit olduğu yapılan deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir.
- %7 nem - %7 Çankırı-Eldivan yöresi bentonit içeren kalıp kum karışımında tespit edilmiş olan kuru basma mukavemeti, gaz geçirgenliği ve shatter indeksi değelieri literatürde 100 kg üzeri çelik parçaların kum kalıba dökümü için tanımlanmış değel aralıklarını sağladığı Çizelge 7.1'den görülmektedir. 5 olan kalıplanabilirlik indeksi değelini, olması gereken standart aralığa (78-90) çıkartabilmek için kum karışımına fuel-oil ilavesi veya grafit tozu ilavesi yapılmıştır.
- Fuel oil, literatürde geçen maksimum oran olarak belirlenen %0.1 oranında %7 nem-%7 bentonit içeren kum karışımına ilave edilmiştir. Sonuç, literatürde belirtilenin aksine fuel oil mevcudiyetiyle birlikte kalıplanabilirlik indeksinden artış yerine %40'lık bir azalma gözlemlenmiş ve indeks değeri 3 olarak belirlenmiştir. Kalıplanabilirlik indeksini optimum değellere yükseltmek amacıyla %7 nem - %7 bentonit içeren kum kalıp karışımına grafit tozu iki farklı oranda ilave edilmiştir. %1 oranında grafit tozu ilavesi sonucunda 5 olan kalıplanabilirlik indeksi değeri 3,25 değelline, %2 oranında ilave sonucunda ise 3,75 değelline azalmıştır. İncelenen bentonit, literatürde ifade edilenin aksine davranış göstermiştir.

Çizelge 7.1: Optimum kalıp özelliklerini verebilecek karışımlar ve karışımlara yapılan ek katkılar sonucu elde edilen karışımların sonuçları ile literatürde mevcut olan ve döküm endüstrisinde 100 kg üzeri çelik parçalar için tanımlı değer aralıkların kıyaslaması.

Bileşim Özellik	%7 Nem- %7 Çankırı- Eldivan Bentoniti	%7 Nem- %7 Çankırı- Eldivan Bentoniti- %0.1 Fuel Oil	% 7 Nem- % 7 Çankırı- Eldivan Bentoniti- % 2 Grafit Tozu	%7 Nem- %7 Çankırı- Eldivan Bentoniti %1 Grafit Tozu	%3 Nem- %10 Çankırı- Eldivan Bentoniti	%3 Nem- %10 Çankırı- Eldivan Bentoniti % 1 Mısır Unu
Kalıplanabilirlik İndeksi	5 (78-90) [113]	3 (78-90) [113]	3,75 (78-90) [113]	3,25 (78-90) [113]	78 (78-90) [113]	85 (78-90) [113]
Yaş Basma Mukavemeti (psi)	8,63 (6,5-7,5) [107]	8,80 (6,5-7,5) [107]	10,83 (6,5-7,5) [107]	9,77 (6,5-7,5) [107]	10,20 (6,5-7,5) [107]	11,30 (6,5-7,5) [107]
Kuru Basma Mukavemeti (psi)	45,30 (40-80) [10]	60 (40-80) [10]	48,30 (40-80) [10]	89,70 (40-80) [10]	12,30 (40-80) [10]	12,65 (40-80) [10]
Gaz Geçirgenliği (cm ³ /dk)	207 (130-300) [107]	290 (130-300) [107]	210 (130-300) [107]	252 (130-300) [107]	247 (130-300) [107]	320 (130-300) [107]
Shatter İndeksi	75 (70-80) [112]	80 (70-80) [112]	67 (70-80) [112]	79 (70-80) [112]	62 (70-80) [112]	64,50 (70-80) [112]

- %3 nem - %10 Çankırı-Eldivan yöresi bentonit içeren kalıp kum karışımında kuru basma mukavemeti üzerinde mısır ununun etkisi incelemek için %1 oranında mısır unu kalıp kum karışıma ilave katkı olarak eklenmiştir. Literatürde de [103] belirtildiği üzere, mısır unu kuru basma mukavemeti değerini $12,328 \pm 0,435$ psi değerinden $12,658 \pm 0,736$ psi değerine yükseltmiştir. Optimum kuru basma mukavemet değerlerine ulaşamamıştır. Literatürde geçerli olan optimum değer aralığına yükseltilmesi gereken %3 nem - %10 Çankırı-Eldivan yöresi bentonit içeren kalıp kum karışımı özelliklerinden bir diğeri, $62 \pm 2,55$ olan shatter indeksidir. Mısır unu ilavesi sonucunda $62 \pm 2,55$ olan değer $64,50 \pm 2,37$ değerine yükselmiştir.
- İncelenen %3 nem - %10 Çankırı-Eldivan yöresi bentonit içeren kalıp kum karışımına yapılan tahıl ilavesi sonucunda elde edilen kuru basma değeri ve shatter indeksi değeri, literatürde olması gereken değer aralıklarına ulaşamamıştır. Endüstriyel dökümhanelerde kuru basma mukavemeti ve shatter indeksi özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla Ca(kalsiyum) bentonitlerine Na(sodyum) bentoniti ilaveleri yapılması tavsiye edilmektedir. Na(sodyum) bentoniti kuru basma mukavemet değerlerine olumlu yönde etki etmesi nedeniyle belirli oranlarda kullanılarak, Ca(kalsiyum) bentonitiyle karıştırılması sonucu elde edilecek olan ara tip bentonitin kuru basma mukavemeti ve shatter indeksi özelliklerinin optimizasyonu için kullanılması tavsiye edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Bergaya, F., & Lagaly, G. (2006). General introduction: clays, clay minerals, and clay science. *Developments in clay science*, 1, 1-18.
- [2] Kühnel, R.A. (1990). The modern days of clays. *Applied Clay Science* 5, 135–143.
- [3] Murray, H. (1999). *Clays for our future*. In: Kodama, H., Mermut, A.R., Torrance, J.K. (Eds.), *Clays for Our Future. Proceedings of the 11th International Clay Conference*, Ottawa, Canada, 1997. ICC97 Organizing Committee, Ottawa, s. 3–11.
- [4] Guggenheim, S., & Martin, R. T. (1995). Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and clay minerals*, 43(2), 255-256 and *Clay Minerals* 30, 257–259.
- [5] Van Olphen, H., & Fripiat, J. J. (1979). Data handbook for clay materials and other non-metallic minerals: providing those involved in clay research and industrial application with sets of authoritative data describing the physical and chemical properties and mineralogical composition of the available reference materials. *Pergamon Press*, s. 127-152.
- [6] Anonim. (2015). *10. Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Cilt IV, Ankara. s. 113-116
- [7] Clem, Arthur G. (1961). Industrial Applications of Bentonite. *Clays and Clay Minerals*, 10(1). 272-283.
- [8] Başar, H., & Deveci Aksoy, N. (2012). Recovery Applications of Waste Foundry Sand. *Sigma Mühendislik ve Fen Dergisi*, 205-224.
- [9] Kamacı, M. (1990). Çankırı, Eskişehir ve Çanakkale Yöresi Bentonitlerinin Değişen Su Miktarlarında Döküm Kumunun Fiziksel Özellikleri Üzerine Olan Etkilerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [10] Heine, R. W., Loper, C. R., & Rosenthal, P. C. (2001). *Principles of metal casting*. Tata McGraw-Hill Education.
- [11] Burns, T. (1986). The Foseco Foundryman's Handbook, (Book). *Foseco(F. S) Ltd.*, 435, 1986, 9. Edition, s.70
- [12] Guili, G. A. O., Dequan, S. H. I., & Lihua, W. A. N. G. (2012). Orthogonal Experiments for Effect of Components on Performance Parameters of Green Sand for High Density Moulding. In *Proceedings of the 1st International Conference on Mechanical Engineering and Material Science*. Atlantis Press. s. 535-538.

- [13] Dietert, H. W. (1963). Moldability Testing and Control, AFS. *Trans*, 71, 394-404.
- [14] Güngör, N. (1981). *Bentonitik kil minerallerinin yapı ve özellikleri üzerine değişebilen katyonların etkilerinin fiziksel yöntemlerle incelenmesi*, (Doctoral dissertation, İTÜ). İstanbul. s. 87.
- [15] Yıldız, N. (2004). Süperkritik Akışkan Ortamında Adsorbantların Regenerasyonu. *TC Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri*. Ankara.
- [16] Önalp, A. (2007). Geoteknik Bilgisi 1 Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [17] Malayoğlu, U., Akar, A. (1995). Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranılan Kriterlerin İrdelenmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*. Köse ve Kızıl (eds). İzmir. s. 125-132.
- [18] Malayoğlu, U. (1992). Float and Sink Characteristics of Clay in Mineral Processing, *DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- [19] Holtz, R., Kovacs, W. (2010). Geoteknik Mühendisliğine Giriş. Çev. Kayabalı, K. Gazi Kitabevi, 636s. Ankara.
- [20] Cernica, J. N. (1995). Geotechnical Engineering Soil Mechanics, John Wiley & Sons, 453s, USA.
- [21] Luckham, P. F., & Rossi, S. (1999). The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions. *Advances in colloid and interface science*, 82(1), 43-92.
- [22] Lagaly, G. (1986). Colloids, In Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Almanya. A7, 341-367.
- [23] Bergaya, F., Theng, B.G. and Lagaly, G. (2006). Handbook of Clay Science, *Elsevier Science*. 1246s.
- [24] Grim, R.E. (1962). Applied Clay Mineralogy, McGraw-Hill, New York.
- [25] Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R. (1976). Introduction to Ceramics, Second Edition, John Wiley and Sons, s.1032, New York.
- [26] Aydın, S. (2010). Yerleşim Alanı Killerinin Kireç Ve Uçucu Külle Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 198s, Ankara.
- [27] Bailey, S.W. (1980b). Structures of layer silicates, In: Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification (eds. G.W.Brindley and G.Brown), ch.1, *Mineralogical Society*, London.
- [28] Wentworth, S. A. (1969). Illite. *Clay Science*, 3(6), 140-155.
- [29] Eberl, D., & Hower, J. (1976). Kinetics of illite formation. *Geological Society of America Bulletin*, 87(9), 1326-1330.
- [30] Cronstedt, A. F. (1758). Försök til mineralogie, eller mineral-rikets upställning. (English translation : Magellan, John Hyacinth. An essay towards a system of mineralogy.) London, (1788).
- [31] Damour, A., & Salvétat, D. (1847). Analyses sur un hydrosilicate d'alumine trouvé à Montmorillon. *Ann. Chim. Phys. ser*, 21, 376-383.

- [32] **Mauduyt**. (1847). Un mot sur un morceau de quartz d'une variété particulière, ainsi que sur une substance minérale trouvée dans le département de la Vienne. *Bulletin de la Société Géologique de France Série*, 2(4), 168–170.
- [33] **Correns, C. W.** (1950). Objection to the name Montmorillonoid. *Clay Minerals Bulletin*, 1(6), 194-195.
- [34] **MacEwan, D. M. C.** (1961). Montmorillonite minerals. In: Brown, G. (Ed.), X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals. *Mineralogical Society (Clay Minerals Group)*. London. s. 86–107.
- [35] **Grim, R.E.** (1968). Clay Mineralogy, 2nd Edition. *McGraw-Hill*. New York.
- [36] **Van Oss, C. J., & Giese, R. F.** (1995). The hydrophilicity and hydrophobicity of clay minerals. *Clays and Clay minerals*, 43, 474-477.
- [37] **Önal, M., Sarıkaya, Y., Alemdaroğlu, T., & Bozdoğan, İ.** (2002). The effect of acid activation on some physicochemical properties of a bentonite. *Turkish Journal of Chemistry*, 26(3), 409-416.
- [38] **Pinnavaia, T. J.** (1983). Intercalated clay catalysts. *Science*, 220(4595), 365-371.
- [39] **Sherman, G. D., Ikawa, H., Uehara, G., & Okazaki, E.** (1962). Types of occurrence of nontronite and nontronite-like minerals in soils. *Pacific Science*, 16, 58-62.
- [40] **Fukushima, Y.** (1984). X-ray diffraction study of aqueous montmorillonite emulsions. *Clays Clay Miner.*, 32(4), 320.
- [41] **Dobias, B. (Ed.).** (1993). *Coagulation and flocculation: theory and applications* (Vol. 126). CRC Press.
- [42] **Koh, S. M., & Dixon, J. B.** (2001). Preparation and application of organo-minerals as sorbents of phenol, benzene and toluene. *Applied Clay Science*, 18(3), 111-122.
- [43] **Özkan, O.T., ve Erkalfa, H.** (1977). Türkiye'deki Ticari Bentonit Killerinin Özellikleri ve Kullanış Alanlarının Tespiti, Proje No:04-7652-1, TÜBİTAK, Malzeme Araştırma Ünitesi, Gebze, Kocaeli.
- [44] **Penner, D., & Lagaly, G.** (2000). Influence of organic and inorganic salts on the coagulation of montmorillonite dispersions. *Clays and Clay Minerals*, 48(2), 246-255.
- [45] **Knight, W.C.** (1897). Mineral soap. *Engineering and Mining Journal* 63, 600–601.
- [46] **Knight, W.C.** (1898). Bentonite. *Engineering and Mining Journal* 66, 491.
- [47] **Hewett, D.F.** (1917). The origin of bentonite. *Journal of the Washington Academy of Sciences* 7, 196–198.
- [48] **Clarke, G.** (1989). Industrial Clays: A Special Review. *Industrial Minerals*, London.
- [49] **Ross, C. S., & Shannon, E. V.** (1926). The minerals of bentonite and related clays and their physical properties. *Journal of the American Ceramic Society*, 9(2), 77-96.

- [50] Genç, S. (2009). “Şişen Zeminler Ve Bentonit – Kaolin Karışımlarının Şişme Özellikleri”. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [51] Grim, R. E., & Guven, N. (2011). Bentonites: geology, mineralogy, properties and uses. *Elsevier Science*, 24, s. 256.
- [52] Kozak, M., Domka, L. ve Skrzypczak, A. (2002). Adsorption of the quaternary ammoniumsalts on bentonite, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 36, 299-306.
- [53] Mingelgrin, U., Kliger, L., Gal, M. and Saltzman, S. (1978). The effect of grinding on the structure and behaviour of bentonites. *Clays and Clay Minerals*, 26, 299-307.
- [54] Law, P.F. and Morgheim, J.F. (1979). The swelling of clay; I. Basic concepts and empirical equations. *Soil Science Society of America Journal*, 43, 473-480.
- [55] Kozak, M., Domka, L. ve Skrzypczak, A. (2002). Adsorption of the quaternary ammoniumsalts on bentonite. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 36, 299-306.
- [56] Bol, G. M. (1986). Bentonite Quality and Evaluation Methods. *SPE Drilling Eng.* 288-296.
- [57] White, .W.A. (1955). Water Sorption Properties of Homoionic Clay Minerals. Ph.D. Thesis, Univ. Of Illinois.
- [58] Grim E. R., Güven, N. (1978). Bentonites Geology, Mineralogy, Properties and Uses. *Developments in Sedimentoloji*, 24. 1-256.
- [59] Karnland, O. (2010) Chemical and mineralogical characterization of the bentonite buffer for the acceptance control procedure in a KBS-3, *Clay Technology*, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- [60] Önal, M. (2006). Physicochemical properties of bentonites: An overview. *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series B*, 52(2), 7-21.
- [61] Yıldız, N., Sarikaya, Y., Çalmlı, A. (1999). The effect of the electrolyte concentration and pH on the rheological properties of the original and Na₂ CO₃-activated Kutahya bentonite. *Applied Clay Science*, 14, pp. 319–327
- [62] Tunç, S., Duman, O. (2008). The effect of different molecular weight of poly(ethylene glycol) on the electrokinetic and rheological properties of Na-bentonite suspensions. *Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 317, s. 93–99.
- [63] Noll, K.E., Gounaris, V., and Hou, W.S. (1991). *Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control*, CRC Press.
- [64] Clark, A.M. (1993). *HEY’S Mineral Index*, Hard cover, Chapman and Hall, London.
- [65] Temelli, T.Y. (2005). Bazı Doğal Kil Minerallerinin Aktivasyonunun Ağır Metal İyonu Tutma Kapasitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [66] **Yüce, E.** (1999). Bentonit Envanteri, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği.
- [67] **Bates, R.L., and Jackson, J.A.** (1987) Glossary of geology (3d ed.): Alexandria, Va., American Geological Institute, 788 s.
- [68] **Parker S.P ed.** (1988) McGraw-Hill encyclopedia of the geological sciences, 2nd ed. New York, McGraw-Hill, s. 32–33, 69–72, 400–401.
- [69] **Yaylalı, G., Degirmenci, S., Sirin, B. ve Akarlar, N.** (2001) . Türkiye’de döküm bentonitlerinin 2000’lerde iyileştirilmesi. T.M.M.O.B. Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 126, 12-19.
- [70] **Url**<http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden_yataklari>, alındığı tarih : 22.11.2016
- [71] **Onuncu Kalkınma Planı**, Madencilik Politikaları, Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara, 2015.
- [72] **Dokuzuncu Kalkınma Planı**, Madencilik Politikaları, Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara, 2015.
- [73] **Sekizinci Kalkınma Planı**, Madencilik Politikaları, Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara, 2015.
- [74] **Bloodworth A.J., Highley D.E., Inglethorpe, S.D., Morgen D. J.** (1993). Industrial Minerals Laboratory Manual Bentonite, *British Geological Survey*.
- [75] **Frank, U. and Gebhardt, H.** (1991) Weathering of silicates and destruction of clay minerals as a consequence of severe soil acidification in selected forest locations of Northern Germany. Proceedings of the 14th International Congress of Soil Science, Kyoto, VII, 61-65.
- [76] **Jackson, M.L. and Sherman, G.D.** (1952) Chemical weathering of clay minerals in soils. *Advances in Agronomy*, 5, 219-318.
- [77] **Yatsu, E.** (1988) The Nature of Weathering. An Introduction. Sozosha, Tokyo.
- [78] **Chermak, J.A. and Rimstidt, J.D.** (1987) The hydrothermal transformation of kaolinite to muscovite/illite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 2979-2990.
- [79] **Drief, A., Nieto, F. and Sanchez-Navas, A.** (2001) Experimental clay-mineral formation from a subvolcanic rock by interaction with 1 mole dm⁻³ NaOH solution at room temperature. *Clays and Clay Minerals*, 49, 92-106.
- [80] **Eberl, D.D., Velde, B. and McCormick, T.** (1993) Synthesis of illite-smectite from smectite at earth surface temperatures and high pH. *Clay Minerals*, 28, 49-60.
- [81] **Bandosz, T.J., Jagiello, J., Andersen, B. and Schwartz, J.A.** (1992) Inverse gas chromatography study of modified smectite surfaces. *Clays and Clay Minerals*, 40, 306-310.
- [82] **Bergaya F. and Lagaly G.,** (2001) Surface modification of clay minerals. *Applied Clay Science*, 19, 1-3.

- [83] **Breen, C., Madejova', J. and Komadel, P.** (1995) Correlation of catalytic activity with infra-red, 29Si MAS NMR and acidity data for HCl-treated fine fractions of montmorillonites. *Applied Clay Science*, 10, 219-230.
- [84] **Rupert, J.P., Granquist, W.T. and Pinnavaia, T.J.** (1987) Catalytic properties of clay minerals. Pp. 237-274 in: *Chemistry of Clays and Clay Minerals* (A.C.D. Newman, editor). Mineralogical Society Monograph 6, Longman Scientific and Technical, Harlow, Essex.
- [85] **Tanji, K.N.** (1995) *Agricultural Salinity Assessment and Management*. Scientific Publishers, Jodhpur, India.
- [86] **Jozefaciuk, G., Sokolowska, Z., Sokolowski, S., Alekseev, A. and Alekseeva, T.** (1993) Changes of mineralogical and surface properties of water dispersible clay after acid treatment of soils. *Clay Minerals*, 28, 145-148.
- [87] **Thomas, G.W. and Hargrove, W.L.** (1984) The chemistry of soil acidity. Pp. 3-56 in: *Soil Acidity and Liming*, 2nd edition (F. Adams, editor). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- [88] **Petersen, L.W., Moldrup, P., Jacobsen, O.H. and Rolston, D.E.** (1996) Relations between specific surface area and soil physical and chemical properties. *Soil Science*, 161, 9-22.
- [89] **Jozefaciuk, G., Hoffmann, C., Renger, M. and Marschner, B.** (2000) Effect of extreme acid and alkali treatment on surface properties of soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163, 595-601.
- [90] **Christidis, G.E., Scott, P.W. and Dunham, A.C.** (1997) Acid activation and bleaching capacity of bentonites from the islands of Milos and Chios, Aegean, Greece. *Applied Clay Science*, 12, 329-347.
- [91] **Madejova', J., Bujdak, J., Janek, M. and Komadel, P.** (1998) Comparative FTIR study of structural modifications during acid treatment of dioctahedral smectites and hectorite. *Spectrochimica Acta A. Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 54, 1397-1406.
- [92] **Komadel, P., Schmidt, D., Madejova', J. and Čiřel B.** (1990) Alteration of smectites by treatments with hydrochloric acid and sodium carbonate solutions. *Applied Clay Science*, 5, 113-122.
- [93] **Panpanit, S., Visvanathan, C.** (2001). The role of bentonite addition in UF flux enhancement mechanisms for oil/water emulsion. *Journal of Membrane Science* 184, 59-68.
- [94] **Filippakopoulos, T., Simonetis, S., Economides, D.** (2003). The use of bentonites in newspaper recycling. Part 2: Influence on wash deinked and post-bleached pulp optical properties. *Appita Journal* 56, 284-289.
- [95] **Özdemir, A. ve Özcan, E.** (2007). Bentonitin sondaj mühendisliği özellikleri. *Jeofizik Bülteni*, Sayı: 54, s. 352-357.
- [96] **İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y. ve Barut, A.** (1997). Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış. 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 51-56, İzmir.

- [97] **Zanetti, M. C., & Fiore, S.** (2003). Foundry processes: the recovery of green moulding sands for core operations. *Resources, Conservation and Recycling*, 38(3), 243-254.
- [98] **Vingas, G. J., & Zrimsekj, A. H.** (2009). Thermal stability of bentonites in foundry molding sand. In *National Conference on Clays and clay Minerals. Magnet Cove Barium Corporation, Arlington Heights, Illinois.*
- [99] **ASM (American Society of Metals) Handbook**, 1988. Vol: 15; Casting, s.536.
- [100] **Murdock, J.** (1997). Coal Dust in Green Sand Moulding, Durrans Technical Department.
- [101] **Durrans, J.** (1991). Additives for Green Sand. Durrans Technical Department.
- [102] **Walton, C.F. and Opar, T.J.** (1981). Iron Casting Handbook, *Iron Castings Society.*
- [103] **Çavuşoğlu, E. N.** (1981). Döküm Teknolojisi, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- [104] **Mukherjee, P. C.** (1988). Fundamentals of Metal Casting Technology, Oxford and IBH, New Delhi.
- [105] **Ridsdale-Dietert**, Foundry Sand Testing Equipment Catalogue No.666.
- [106] **Doğmuş, H., Duran A.D., Çelik, S., Fidaner, S., Süzen, C.** (1986). Genel Dökümcülük Bilgisi Cilt 1, MEB Yayınları, Ankara.
- [107] **Fisher G.** AFS Foundry Sand Testing Catalogs and Standards.
- [108] İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü “Döküm Kumlarının Nem ve Mukavemet Tayini” Deney Föyü
- [109] **Foseco.** (1986) The Foseco Foundryman’s Handbook, 1986, 9. Edition, s.70
- [110] **Aweda, J.O., Jimoh, Y.A.** (2009). Assessment of properties of natural moulding sands in Illorin and Ilesha, Nigeria, *USEP:Journal of Research Information in Civil Engineering*, Vol. 6,2, s.68-77.
- [111] **Outhwaite, J.,** 1967, Recent Trends in Greensand Practice, British Foundryman, Vol. 60 s. 143-159.
- [112] **Gao, S., Shi, D., Wang, L.** (2012). Orthogonal Experiments for Effect Of Components On Performance Parameters of Green Sand for High Density Moulding, s. 535-538.
- [113] **Graham, A.L., Dietert, H. W., Hanna, T. H., Dakswicz, R. T.** (1963). Moldability Testing and Control, AFS Transactions, Vol 71, s. 394-403.
- [114] **Odabaşı, A., Ünlü, N., Göğtaş, C., Sezer, L., Eruslu, N.** (2006). Döküm kalıp kumlarında gürcistan bentonitinin kalıp özelliklerine etkisi. 13.Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 1729-1736.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Esra TÜYSÜZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 26/04/1991 Fatih
E-posta : esratuysuz3@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İTÜ, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği