

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS
GEOTEKNİK ANABİLİM DALI
İNŞAAT BİLİM DALI**

**TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLÜNÜN TUĞLA
DAYANIMINA ETKİSİ**

Abdulaziz YILDIRIM

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ**



MANİSA-2018

**Abdulaziz
YILDIRIM**

TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLÜNÜN TUĞLA DAYANIMINA ETKİSİ

2018

TEZ ONAYI

Abdulaziz YILDIRIM tarafından hazırlanan "**Termik Santral Uçucu Külünün Tuğla Dayanımına Etkisi**" adlı tez çalışması **06.03.2018** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Geoteknik Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANSTEZİ** olarak savunulmuş ve **oybirliği** ile başarılı olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

Adıyaman Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Yusuf ERZİN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Ender BAŞARI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Abdulaziz YILDIRIM
Manisa,2018



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kil Malzemeleri.....	4
2.2. Uçucu Kül.....	5
2.2.1.Uçucu Külün Tanımı ve Özellikleri	5
2.2.2. Uçucu Külün Sınıflandırılması	6
2.2.3. Uçucu Külün Değerlendirilmesi Üzerine Çalışmalar	7
2.3. Önceki Çalışmalar	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1.Turgutlu Yöresi Killi Zeminlerin Özellikleri	14
3.1.2. Soma Termik Santrali Uçucu Külün Özellikleri	17
3.2. Yöntem	20
3.2.1.Sınıflandırma Deneyleri.....	20
3.2.1.1. Elek – Hidrometre Analizi.....	20
3.2.1.2. Kıvam Limitleri	21
3.2.1.2.1. Likit Limit.....	21
3.2.1.2.2. Plastik Limit.....	22
3.2.2.Kompaksiyon Deneyleri	23
3.2.3. Sıkıştırma Yönünün Ultrasonik Ses Hızına Etkisi.....	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	30
4.1. Ultrasonik Test Sonuçları.....	30
4.2. Kompaksiyon Deney Sonuçları.....	35
4.3. Pişirme Sıcaklığının Tuğla Ağırlığı Üzerindeki Etkisi	36
4.4. Turgutlu Yöresi Killeri İle Üretilen 6x8,5x18,5 Boyutundaki Tuğlaların Pişirme Sıcaklığına Bağlı Olarak Dayanım Özellikleri	41
4.5. Beton Test Presinde Kırılan Tuğla Numunelerinin Kırılma Şekilleri	47
5. TARTIŞMA	50
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	54
EKLER.....	56
ÖZGEÇMİŞ	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
TS	Türk Standartları
UK	Uçucu Kül
W	Su Muhtevası
W_L	Likit Limit
W_P	Plastik Limit
Y	Birim Hacim Ağırlık



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışma Alanının Sadeleştirilmiş Jeoloji Haritası [28].....	14
Şekil 3.2. Deneylede Kullanılan Killi Zeminin Dane Boyu Dağılımı Grafiği ..	16
Şekil 3.3. Deneylede Kullanılan Killi Zeminin Plastisite Kartındaki Yeri.....	17
Şekil 3.4. Soma Termik Santrali	18
Şekil 3.5. Uçucu kül taneleri 2000 kat büyütölmüş hali [28]	18
Şekil 3.6. Deneylede kullanılan soma termik santrali uçucu kül dane boyu dağılımı grafiği.....	19
Şekil 3.7. Standart ASTM elekleri	20
Şekil 3.8. Likit limit deney aleti.....	22
Şekil 3.9. Kompaksiyonda $W_{opt} - \gamma_{Kmaks.}$ arasındaki ilişki	24
Şekil 3.10. Standart proktor kalıbı ve modifiye proktor kalıbı (kare kesitli) plan ve kesitleri	26
Şekil 3.11. Standart proktor kalıbı ve modifiye proktor kalıbı	26
Şekil 3.12. Kare kesitli ve standart proctor kalıplarından numunelerin hidrolik kriko ile çıkarılması.....	27
Şekil 3.13. Kare kesitli ve standart proctor kalıplarından çıkarılan numunelerin oda sıcaklığında kurutulması	27
Şekil 3.14. Standart proctor numunesinin ultrasonik hız ölçümü	28
Şekil 3.15. Kare kesitli modifiye proctor numunesinin ultrasonik hız ölçümü ..	29
Şekil 4.1. Sade kilin optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinin yönlere bağılı p dalgası geçiş hızları.....	30
Şekil 4.2 %10 uçucu kül +%90 kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağılı p dalgası geçiş hızları	30
Şekil 4.3. %20 uçucu kül +%80 kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağılı p dalgası geçiş hızları	31
Şekil 4.4. %30 uçucu kül +%70 kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağılı p dalgası geçiş hızları	31
Şekil 4.5. %40 uçucu kül +%60kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağılı p dalgası geçiş hızları	32
Şekil 4.6. %50 uçucu kül +%50 kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağılı p dalgası geçiş hızları	32
Şekil 4.7. Optimum su içeriğinde standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları	33
Şekil 4.8. Optimum su içeriğinde % 10 uçucu kül - % 90 kil karışımı zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları.....	33
Şekil 4.9. Optimum su içeriğinde %20 uçucu kül - % 80 kil karışımı zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları.....	34

Şekil 4.10. Optimum su içeriğinde % 30 uçucu kül - % 70 kil karışımli zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları.....	34
Şekil 4.11. Optimum su içeriğinde % 40 uçucu kül - % 60 kil karışımli zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları.....	35
Şekil 4.12. Optimum su içeriğinde % 50 uçucu kül - % 50 kil karışımli zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları.....	35
Şekil 4.13. Katkısız ve uçucu kül katkıli Turgutlu kili kompaksiyon grafikleri.	36
Şekil 4.14. Thermoterm marka pişirme fırını.....	37
Şekil 4.15. Sade turgutlu kili ile imal edilen tuğlaların sıcaklık—ortalama ağırlık kaybı grafiği.....	38
Şekil 4.16. %10 uçucu kil + % 90 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık-ortalama ağırlık kaybı grafiği.....	38
Şekil 4.17. %20 uçucu kil + % 80 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık - ortalama ağırlık kaybı grafiği.....	39
Şekil 4.18. %40 uçucu kil + %60 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık-ortalama ağırlık kaybı grafiği.....	39
Şekil 4.19. %40 uçucu kil + %60 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık—ortalama ağırlık kaybı grafiği.....	40
Şekil 4.20. %50 uçucu kil + %50 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık-ortalama ağırlık kaybı grafiği.....	40
Şekil 4.21. Katkısız ve uçucu kül katkıli sıcaklık-ortalama ağırlık kaybı oranların grafikleri	41
Şekil 4.22. Basınç test cihazı	41
Şekil 4.23. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı	42
Şekil 4.24. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı	43
Şekil 4.25. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı	43
Şekil 4.26. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı	44
Şekil 4.27. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı	44
Şekil 4.28. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı	45
Şekil 4.29. Katkısız ve farklı oranlardaki uçucu külün farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı.....	45
Şekil 4.30. 500 c ⁰ de pişmiş tuğla numuneleri	46
Şekil 4.31. 1200 C ⁰ de pişmiş tuğla numuneleri	46
Şekil 4.32. Beton Test Basıncında Kırılmış Tuğla Numunesi	47
Şekil 4.33. Beton Test Basıncında Kırılmış Tuğla Numunesi	47
Şekil 4.34. Beton Test Basıncında Kırılmış Tuğla Numunesi	48
Şekil 4.35. Beton Test Basıncında Kırılmış Tuğla Numunesi	48

Şekil 4.36. Farklı Sıcaklıklarda Pişen Tuğlaların Basınç Dayanımından Sonraki Görüntüleri (Soldan sağa ve yukarıdan aşağıya pişme sıcaklığı artmaktadır).....	49
Şekil 5.1. Zemin suyu çeşitleri [32]	50



TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo3.1. Turgutlu Ömerli dere yöresi kilinin mineral bileşimi.....	15
Tablo3.2. Killi zemininden alınan 185 gr kuru numunenin elek analizi.....	16
Tablo3.3. Soma uçucu külü kimyasal analiz sonuçları [9]	19
Tablo4.1. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların sıcaklık-gerilme değerleri	42



TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gsteren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ'e, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Doç. Dr. Yusuf ERZİN' e, çalışmalarım sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaşım İnşaat Mühendisi Derya TIęLI'ya, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Abdulaziz YILDIRIM
Manisa, 2018



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Termik Santral Uçucu Külünün Tuğla Dayanımına Etkisi

Abdulaziz YILDIRIM

Manisa Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Geoteknik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

Çeşitli yapı malzemeleri arasında çok eski zamanlardan beri kullanılan tuğla günümüzde de önemini kaybetmemiştir. Tuğla suya dona ve ateşe karşı oldukça dayanıklı olduğundan yapı malzemesi olarak kullanılan temel bir malzemedir. Uçucu kül kömürle çalışan termik santrallerde bacadan uzaklaşan, yanma nedeniyle baca tarafından çekilen gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen (uçan) çok ince kül parçacıklarıdır. Bu çalışmada; Turgutlu (Manisa) yöresinde tuğla ve kiremit yapımında kullanılan bir killi zemin ile Soma Termik Santralinden alınan uçucu külün belirli oranlarda karıştırılmasıyla imal edilen tuğlaların çeşitli özellikleri incelenmiştir. Katkısız killi zeminden oluşturulan tuğlaların pişme sıcaklığına bağlı olarak dayanımlarının 0.73 kPa dan 5.24 kPa değerine kadar arttığı görülmüştür. Kil-uçucu kül karışımı malzemedeki oluşturulan tuğlalarda ise %30 uçucu kül karışımına kadar katkısız zemin ile oluşturulan tuğlalara benzer davranış görülürken, uçucu kül miktarının artmasıyla pişme sıcaklığına bağlı tuğlalardaki dayanım da azalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tuğla, uçucu kül, pişirme sıcaklığı, basınç dayanımı

2018, 58 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. / PhD Thesis

THE EFFECTS OF FLY ASH OF THERMAL POWER PLANT ON STRENGTH OF BRICK

Abdulaziz YILDIRIM

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Geotechnical**

Supervisor: Assoc. Asst. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

Brick has always been a very important building material since ancient times. It offers very good resistance against water, for stand fire there fore it one of the most fundamental and commonly used building material. Flyash refers to the very fine ash particles that are for med and drifted away with other gases from the coal-fired thermal power plant chimneys as a result of coal combustion. In this study various characteristics of a brick, produced by mixing flyash from the Soma Thermal Power Plant with clay in the region of Turgutlu (Manisa) with a certain proportion, are investigated. An increase of upto 0.73 kPa to 5.24 kPa has been observed for the mere clayey soil bricks depending on their burning temperature. As for the clay-fly ash blended bricks, we have observed similar characteristics to those of the mere clayey soil bricks when the amount of fly-ash is less than 30% in the blend. When this amount of fly-ash is increased above 30% in the blend, the strength of resulting bricks is worsened.

Keywords: Brick, flyash, burning temperature, compression strength

2018, 58 pages

1.GİRİŞ

Çeşitli yapı malzemeleri arasında yapılarda çok eski zamanlardan beri kullanılan pişmiş toprak malzemeler günümüzde de önemini kaybetmemiştir. Pişmiş toprak malzemeler gerek ucuz, gerekse temininin ve yapıda kullanımının kolay olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler içerisinde ise en başta tuğla gelmektedir. Son yıllarda hızla gelişen sanayi kollarından olan tuğla imalatı da Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir.

Tuğla, ham maddesi kil olan ve en çok inşaat sektöründe kullanılan malzemeler arasındadır. Tuğla suya dona ve ateşe karşı oldukça dayanıklı olduğundan yapı malzemesi olarak kullanılan temel bir maddedir. Tuğla, dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir [1]. Keşfedildiği günden buyana dizaynı ve boyutları değişmekle birlikte günümüze kadar özellikle inşaat sektöründe vazgeçilemeyen bir malzeme olma özelliğini kaybetmemiş ayrıca tuğlanın hammaddesi olan kil verimsiz topraklardan, tepelerden alınan bir malzeme olup yapımıyla ekonomiye girdi sağladığı gibi çevreye de tahribat vermez. Tarihteki ilk uygarlıklarda pişmemiş kil tabletler günümüzdeki tuğlalara benzer boyutlarda ve elle şekillendirilerek kullanılmıştır. Ancak sonraki dönemlerde kullanıcılar daha sağlam bina ve yüksek kuleler inşa etmek istemişler ve pişmiş tuğlayı M.Ö. 4. yüzyılda keşfetmeye başlamışlardır [2].

Çok geniş kullanım alanına sahip olan killer, üretimi ve talebi sürekli artan endüstriyel hammaddelerin başında yer almaktadır. Dünyada kil üretiminin %75'i özellikle seramik, cam, sıhhi tesisat, porselen, elektrik, inşaat gibi sektörlerde gerçekleşmektedir. Kil söz konusu bu sektörlerde üretilen malzemeler ile insanlığın vazgeçilmez ihtiyaçlarına cevap vermektedir. Ayrıca kullanım alanları açısından değerlendirildiğinde, kil özelliklerinin saptanmasının teknolojik bir gereksinim olduğu kadar ekonomik bir gereksinim olduğu da ortaya çıkarmaktadır [3].

Uçucu küllerin inşaat mühendisliğinde önemli uygulama alanları vardır. Örneğin çimentoya belli oranlarda katıldıkları gibi, çimentonun son üretim aşamasında klinkere katılabilir ya da çimentoya kullanım aşamasında belli oranlarda katkı maddesi olarak eklenebilir. Bunu yanında çimento özelliklerini iyileştirici yönde, örneğin hidrasyon ısısının düşürülmesi, beton işlenebilirliğinin

geliştirilmesi, alkali reaksiyonunun azaltılması gibi etkileri de vardır. Tüm bu kullanım şekillerinde kendisinin bir atık madde olması nedeniyle maliyetin düşmesinde önemli katkı yapar. Bununla birlikte gaz betonu üretimi, kile katılarak ya da aktive edici maddelerle birlikte tuğla üretimi, hafif agrega üretimi, zemin stabilizasyonu, yol inşaatı, baraj inşaatında sıkıştırılmış beton çalışmalarında da kullanılmaktadır [4].

Bu çalışmada kullanılan killi zemin numuneleri Kuvaterner yaşlı genç alüvyondan alınmıştır. Bu alüvyon, hem Menderes Masifi kayaçlarından hem de İzmir-Ankara Zonu'na ait kayaçlardan, günümüze kadar koparılarak taşınmış çakıl, kum ve kil boyutlu, düzensiz az tutturulmuş malzemelerden meydana gelmekte olup, Gediz Nehri boyunca olmak üzere, Irlamaz Dere ve diğer dere yataklarında genişçe yayılım göstermektedir.

Uçucu kül ise Soma Termik Santralinden alınmıştır. Uçucu küller çok ince taneli, dokunulduğunda yumuşak bir malzemedir. Mikroskopta incelendiklerinde süngerimsi boşluklu ve boşluksuz küresel taneciklerden meydana geldiği görülür.

Bu tezde Turgutlu killerinden alınan numuneler üzerinde katkısız ve uçucu kül katkılı tuğla imali yapılarak kül katkısının tuğla dayanımına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada uçucu kül katkısı ağırlık olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 seçilmiştir. Her bir kil-uçucu kül karışımı ile oluşturulan tuğlalar seçilen her pişme sıcaklığında 3 adet numune olmak üzere her bir seri için 33 adet olmak üzere toplam 6x8,5x18,5 cm. boyutlarında 198 adet tuğla pişirilmiş daha sonra basınç dayanımları ve ses geçirimsizlikleri test edilmiştir.

Kil-Uçucu kül karışımı zeminden oluşturulan tuğlalarda ise %30 uçucu kül karışımına kadar sade kil ile oluşturulan tuğlalara benzer davranış görülürken, uçucu kül miktarının artmasıyla pişme sıcaklığına bağlı tuğlalardaki ağırlık kaybı artma eğilimine girmektedir. Turgutlu Kudret tuğla fabrikasına üretilen 6x8.5x18.5 cm boyutlarındaki tuğlalar Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan 200 tonluk YKM beton pres test makinası ile teste tabi tutulmuştur. Her seri numune için pişirme sıcaklığı arttıkça dayanım da artmasına rağmen, uçucu kül içeriğinin artışına bağlı olarak dayanım sade tuğla kiline nazaran azaldığı gözlemlenmiştir. Uçucu kül içeriği arttıkça hem

standart proktor numunelerinde ölçülen P dalga hızında da önemli azalma görülmüştür. Yine bu sonucun kuru birim ağırlığının (γ_{kmax}) düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü uçucu kül içeriği arttıkça kuru birim ağırlıkta (γ_{kmax}) azalmaktadır. P dalga hızı ölçüm sonuçları optimum u içeriğinde sıkıştırılan numunelerin, sıkıştırma yönüne dik P dalga hızları ile sıkıştırma yönündeki P dalga hızları arasında mantıksal bir ilişki bulunamamıştır. Fakat uçucu kül içeriği arttıkça hem sıkıştırma yönüne dik, hem de paralel yönde P dalga hızında önemli azalma görülmüştür.



2. GENEL BİLGİLER

2.1.Kil Malzemeleri

Kil mineralleri, bazı kayaçların fiziksel ve kimyasal ayrışmaları sonucunda oluşan çok küçük kristalsi maddelerdir. Kimyasal anlamda sulu alüminosilikatlar ile diğer metalik iyonlardan oluşmuşlardır. Tüm kil mineralleri çok küçük boyda (çapları $1\mu\text{m}=0.001\text{mm}$ den küçük) olup sadece elektron mikroskopu ile görülebilirler. Münferit kristaller küçük katmanlardan oluşmaktadır, X ışını kırınım (XRD) çalışmaları bu kristallerin atomik yapısının, tekrarlanan çok sayıda kristal levhalarından meydana geldiğini göstermiştir. Aslında tetrahedral veya silika ile oktahedral alümina olmak üzere sadece iki çeşit kristal levhası bulunmaktadır. Bu levhaların değişik bağlarla ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanmasıyla değişik kil mineralleri oluşmaktadır. Kil minerallerinden ve ultra mikroskobik boyutlarda plaka şekilli danelerden oluşan, ancak agregasyona uğradığında boyutları mikron mertebesine varan killer, mühendislik uygulamalarında genel olarak boyutu $2\mu\text{m}$ 'den (0.002mm) daha küçük danelere sahip ince daneli zeminler olarak kabul edilir. Serbest basınç dayanımı 25 kPa 'dan daha küçük kıvamdaki killer "çok yumuşak", serbest basınç dayanımı $25-50\text{ kPa}$ arasında olan killer "yumuşak killer" olarak sınıflandırılabilir [5]. Killer, diğer zeminlerden farklı olarak, su ile karıştırıldığında plastik veya likit kıvama geçerler. Hamur halinde şekil verilebilecek kadar plastisiteye sahipken, pişirildiğinde büyük dayanım artışları gösteren bir katıya dönüşürler. Islatıldığında genellikle hacim artışı gösterir, kurutulduğunda ise hacmi azalır ve çoğunlukla çatlarlar.

Killer, düşük hidrolik iletkenlikleri ve yüksek adsorbsiyon kapasiteleri ile akla ilk gelen geçirimsiz tabaka malzemesidir. Bununla beraber, yapılan araştırmalar göstermiştir ki; killer sıcaklık ve su içeriği değişimlerinden oldukça fazla etkilenmekte, geçirimsiz malzemede çatlaklar oluşmakta ve dolayısıyla mühendislik parametreleri de istenilen düzeyden uzaklaşmaktadır [6]. Killerin sıcaklık ve su içeriği değişimleri etkisinde arzu edilen sonucu vermemesi üzerine, kumlarla karıştırılması fikri öne sürülmüştür. Sonuç olarak kil çeşitlerinin arasından en düşük hidrolik iletkenliğe sahip olan bentonit ile kum karıştırılarak kullanılmıştır. Bu karışım istenilen sonucu vermiş; ayrıca sıcaklık ve su içeriği etkisinde çatlaklar gözlenmemiştir. Bununla beraber, kumların adsorbsiyon kapasitelerinin

olmamasından dolayı zararlı atık adsorbsiyonu hedeflenen miktarların oldukça altında kalmıştır [7,8].

2.2.Uçucu Kül

Elektrik santrallerinde atılan gaz halindeki yanma atıklarının dışında, baca gazlarıyla beraber yanmamış yakıt toz ve zerrelere, kül, kükürtlü gazlar, ağır metaller v.b, gibi yabancı maddelerde atmosfere bırakılır. Yakıtta bulunan mineral, yabancı maddeler, yakma tesisine göre cüruf ve kül olarak veya baca gazlarıyla birlikte sürüklenerek ortamdan uzaklaşırlar.

Kömürle çalışan termik santrallerde bacadan uzaklaşan ve uçucu kül olarak tanımlanan en önemli atık malzeme, yanma nedeniyle baca tarafından çekilen gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen (uçan) çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları elektro filtrelerde yakalanmakta, baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektedir [9].

Ülkemizde elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve bunun sonucunda da bacalardan 1993 yılı verilerine göre 13,5 milyon ton/yıl, 1998 yılı verilerine göre ise yaklaşık 13 milyon ton/yıl UK elde edilmektedir. Bu miktar, A.B.D.'de 45 milyon ton/yıl ve Hindistan'da 50 milyon ton/yıl dolayındadır [10].

Uçucu küllerin santrallerden dışarı atılmasının ciddi ekonomik ve ekolojik sorunlar ortaya çıkardığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla, uçucu küllerin beton üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılması iki yönlü yarar sağlamaktadır. Bir yandan kül atım masrafları ve sorunları azaltılırken diğer yandan da üretilen betonun maliyeti düşürülebilmektedir [11]. Bu uçucu küllerin baraj, yol, tuğla ve diğer dolgu yapım işlerinde de kullanılması hem çevreye hem de ekonomik ve mühendislik açısından faydalar sağlayabilir.

2.2.1 Uçucu Külün Tanımı Ve Özellikleri

Uçucu kül, kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde ortaya çıkan bir atık üründür. Termik santrallerde çok ince öğütülerek yakılan kömürden aşağıda belirtilen üç farklı külün elde edilmesi mümkündür; göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen "taban külü". Siklon tipi

ocaklarda yakılan kömürün suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen “ham kül” ve çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan “uçucu kül”. Çevreyi olumsuz olarak etkileyecekleri için, uçucu küllerin santral bacasından çıkarak havaya karışmaları önlenir. Bu amaçla, küller mekanik ve elektrostatik yöntemle toplanarak santral çevresinde veya başka uygun yerlerde depolanır. Zamanla biriken küller geniş alanları kapsamaya başlar ve santral idaresi için bir problem olur. Bu gün Dünya’da ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır.

Modern termik santrallerde en önemli atık malzeme; toz kömürün yanmasıyla meydana gelen, baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıkları elektrostatik yöntemlerle elektro filtrelerde ve siklonlarda yakalanmakta ve baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektedir. Uçucu kül tanecikleri genellikle küresel yapıda olup büyüklükleri 1-200 mikrometre arasında değişmektedir. Uçucu küllerin tane boyutları termik santraldeki kül toplama yöntem ve ekipmanlarına bağlıdır. Siklonlarda toplanan küller, elektro filtrelerde toplananlardan daha iri tanelidirler. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişik tonlarda olabilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça uçucu küllerin rengi koyulaşır.

Türkiye’de halen Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere 11 termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallerden yıllık uçucu kül üretimi ortalama 13 milyon ton/yıl kadar olmakta, ancak doğalgaz santrallerinin devreye girmesi ile yıldan yıla değişmektedir. Ülkenin enerji üretiminde dışa bağımlılığını azaltmanın bir yolu da, endüstrinin diğer kesimlerinde yararlanılamayan düşük kalorili linyit kömürlerini termik santrallerde kullanmaktan geçmektedir. Dolayısıyla yıllık uçucu kül miktarlarının gelecekte daha fazla artacağı tahmin edilmektedir [12].

2.2.2 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küller kimyasal kompozisyonlarına göre değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Son yıllarda geniş kabul gören sınıflandırma yöntemi uçucu külün içerdiği analitik CaO miktarına dayanmaktadır. Buna göre, CaO miktarı %10'un altında olan uçucu küller düşük kireçli yada düşük kalsiyumlu, %10'un

üstünde olanlar ise yüksek kireçli yada yüksek kalsiyumlu uçucu küller olarak adlandırılırlar.

ASTM C618'e göre uçucu küller iki geniş kategoriye ayrılmaktadır.

a) F sınıfı uçucu küller bitümlü kömürlerden elde edilip $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{C}_3 > \%70$ şartını sağlayan küllerdir,

b) C sınıfı küller ise genelde linyitler ve yarı bitümlü kömürlerden elde edilip $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ şartını sağlayan küllerdir.

Silikoaluminöz küller ASTM F sınıfına dahildirler. Silikokalsik uçucu küllerin kimi F sınıfı kimi C sınıfına, sülfokalsik uçucu küllerin bir çoğu ise C sınıfına girerler [12].

2.2.3 Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Çalışmalar

Her endüstriyel atık gibi uçucu külden de yararlanma olasılıkları araştırılmıştır. Bunların başında çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılması gelir. Silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton blok ve boruların yapımında kullanım bulur. Çimento hammaddesi olarak kullanılabilir. Özel işlemlerle uçucu külden dayanıklı hafif agrega elde edilebilir. Diğer kullanım alanları arasında: beton ve asfalt yollarda, yol temel tabakalarında filler olarak, zemin stabilizasyonunda, kireç-kumtaşı blokları, endüstriyel seramik ve refrakterlerin, boyaların üretiminde, katı atıkların stabilizasyonunda ve bitki yetiştirilmesinde kullanımları sayılabilir.

Uçucu külün özellikleri kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Genellikle silisi ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı maddesi olarak yararlı olur. İnce ve küresel taneleri dolayısı ile taze betonda işlenebilmeyi artırır; ayrıca hidrasyon ısını azaltır. Çimento hidrasyonu sonucu oluşan kireçle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturur, çimento hamurundaki boşlukları doldurur ve betona dayanıklılık kazandırır. Linyit kömürü yakılması ile elde edilen uçucu külde kireç oranı genellikle yüksek olup bu tür küller aynı zamanda hidrolik, yani bağlayıcılık özelliği gösterirler.

Antrasit kömüründen veya iyi yakılmayan diğer kömürlerden elde edilen uçucu küllerde karbon miktarı yüksek olur. Bu da çimento ve betonda su ihtiyacını

arttırır; puzolanik özelliği ve kaliteyi olumsuz etkiler. Uçucu kül genellikle çimentodan daha ince taneli olarak elde edilir. Dolayısıyla ilave öğütme gerektirmeden kullanılabilir. Gerektiğinde seperatörden geçirilerek inceliği daha da arttırılır ve olumlu özellikleri daha etkin hale getirilir.

Uçucu külün bilinçli olarak çeşitli alanlarda kullanımı hem kullanıcı, hem de külü üreten için ekonomik avantaj sağlar, atık bir madde ortadan kalktığı için çevre korunmuş olur. Ayrıca, kullanıcı ürettiği yeni ürünlerde veya uygulamalarında çeşitli teknik avantajlar elde eder. Bütün bu olumlu hususlara rağmen, kullanılarak değerlendirilen uçucu kül miktarları santrallarda elde edilen miktarların küçük bir yüzdesini geçememekte olup, dünya ortalaması olarak %15 civarında rakamlar verilmektedir.

Çeşitli ülkelerde uçucu küllerin önemli miktarlarda kullanılmaya başlaması baraj inşaatları sırasında ve betonda hidrasyon ısısını düşürmek amacı ile olmuştur. Örneğin; A.B.D.'de ilk kullanım 1940'lı yıllarda önce Hoover daha sonra Hungry Horse barajlarındadır. Ülkemizde ise 1960'lı yıllarda Gökçekaya ve Porsuk baraj inşaatlarında uçucu kül kullanılmasına karar verildi ve Türk Standardları Enstitüsü uçucu kül (TS 639) ve uçucu küllü çimento (TS 640) standardlarını hazırlayarak yayınladı. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün baraj uygulamaları dışında Karayolları Genel Müdürlüğü bazı köprü ve yol inşaatlarında deneme amacı ile uçucu kül kullandı. Uçucu küllü çimento hemen hiç üretilmedi. Katkılı çimentolarda ise kısıtlı miktarlarda kül kullanıldı. Geçen süre içinde ülkede uçucu kül kullanımı bu tür uygulamalarla sınırlı kaldı. Kullanılan uçucu kül miktarları yılda elde edilenin %1'ine bile ulaşamadı. Ancak son yıllarda, özellikle hazır beton endüstrisinin gelişmesi ve Avrupa'dan uyarlanan yeni çimento ve beton standartları çimento ve beton endüstrilerinde uçucu küle olan ilgiyi arttırmış bulunmaktadır.

Türkiye'deki 11 termik santralda 5 gün süre ile elde edilen günlük uçucu kül numuneleri "Ham" olarak (seperatörden geçmeden) kimyasal, mineralojik, morfolojik, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir [12].

Uçucu külden bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO , SO_3 , alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldenki temel oksitlerden

SiO₂ % 25-60, Al₂O₃ %10-30, Fe₂O₃ %1-15 ve CaO, %1-40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir.

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır [TÇMB/AR-GE/Y96.1 Türkiye Çimento-Beton Araştırmacı Envanteri (1996); TÇMB/AR-GE/Y96.2 Türkiye Çimento-Beton Ekipman Envanteri (1996);. TÇMB/AR-GE/Y97.1 Türkiye Çimentoları, pr EN 197 Çimentoları ve Avrupa Ülkelerinde İç Satış İstatistikleri].

C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde CaO > %10 olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar.

C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanısıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler. TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup ; esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO₂) ve alüminyum oksitten (Al₂O₃) oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir. b) W sınıfı küller ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO₂ ve Al₂O₃'den oluşan; geri kalanı demir oksit (Fe₂O₃) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir.

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve CaO olup, diğerleri SO₃, MgO ve alkali oksitlerdir. Ayrıca, yanmamış karbon, titanyum, fosfor, berilyum, mangan ve molibden de eser bileşen olarak bulunabilmektedir. Temel oksitler olan SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ,CaO' in miktarları, uçucu külün silissi veya kireçsi yapıda olmasına göre geniş aralıkta değişmektedir. Buna göre, uçucu külde SiO₂ % 25-60, Al₂O₃ %10-30, Fe₂O₃ %1-15 olarak ve CaO, %1-40 değerleri arasında bulunmaktadır [13].

Diğer oksitlerden MgO en fazla % 5.0, alkali oksitler ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) %5.0'in altında bulunmaktadır. SO_3 , genellikle % 0.2-2.5 arasında değişmekle birlikte, kömürün yapısı ve proses koşullarına göre % 10 'a kadar yükselmektedir. Ancak, standartlardan özellikle TS EN 450 standardı, SO_3 değerini en fazla %3 olarak dar bir aralık ile sınırlamaktadır.

Kızdırma kaybı, esas olarak kömürdeki yanmamış karbona karşılık gelmekle birlikte, kömürdeki hidratlar veya karbonatların bozunması ile ortaya çıkan bağlanmamış su veya CO_2 kaybını da içine almaktadır. Kızdırma kaybı, %1.0-10 arasında değişmektedir [12].

2.3. Önceki Çalışmalar

Uçucu küller, düşük kalorili ve endüstride yakıt olarak kullanılmayan kömürlerin, toz haline getirilerek, yakılması sonucu, bacadan çıkan gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Çok hafif olan bu uçucu küller, bacanın üst kısmında elektrofiltre veya siklon adı verilen toz tutucularda elektrostatik tutucuların alt kısmında bunkerlerde biriktirilir ve periyodik olarak santral dışına alınır. Baca gazları ile sürüklenerek ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolanik özellik kazanan uçucu küllerin boyutları, yaklaşık 1-100 μm arasında olup, aglomera ve küresel tanecikler şeklinde bir yapıya sahiptir. Tuğla üretiminde kullanılan kiler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, CaO, K_2O ve Na_2O den meydana gelmektedir. Uçucu küllerde aynı oksitleri içerdikleri için tuğla üretiminde kullanılabilirler. Uçucu küllerin tuğlalarda kullanılması ile, tuğlaların kuruma ve pişme küçülmeleri azalmaktadır. Aynı zamanda uçucu küllerin içerdikleri karbon, tuğlaların pişirilmesinde enerji tasarrufu sağlamaktadır [14].

Termik santrallerde elektrik enerjisi üretmek amacı ile kullanılan pulverize kömürden yanma sırasında baca gazları ile taşınan küller oluşur. Uçucu küller, bu küllerin mekanik veya elektrostatik filtrelerde tutulması sonucu ortaya çıkan atık ürünlerdir. Bu atık ürünün silis ve alümin içermesi, inşaat sektöründe kullanılabilirliğini mümkün kılmıştır. Uçucu küllerin özellikleri ve bileşimleri üzerinde elde edildikleri kömürün önemli etkisi vardır. Taş kömüründen elde edilen ve SiO_2 ağırlıklı olan ve bir miktar Al_2O_3 bulunduran, ancak CaO oranı çok düşük olan küllere silikoalüminöz adı verilir. Öte yandan özellikle linyit kömürü

yakılmasından oluşan küllere, bileşimlerine bağlı olarak silikokalsik veya sülfokalsik denir. Silikokalsiklerde SiO₂ oranı daha yüksek bulunurken bu her iki tip külden önemli miktarda CaO yer alır. Sülfokalsikler CaO' e ek olarak SiO₃ de içerirler. ASTM C 168 standardı uçucu külleri iki ana sınıfa ayırmaktadır. Bu sınıflamada SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ > % 50 olanlar C sınıfı olarak kabul edilmektedir [15,16].

Uçucu külün tuğla yapımında kullanımı ile bu atık malzemenin doğaya verilerek çevre kirlenmesinin engellenmesinin yanı sıra: külün ekonomik değer kazanması, değirmende öğütme kolaylığı sağlaması, kalıplama ve presleme için daha az güç gereksinimi, kolay kuruma gibi avantajlar elde edilecektir. Uçucu küllü tuğla yapımında kullanılacak külün karıştırılacağı kilin özellikleri önemlidir. Karıştırılacak malzeme ve oranları deneysel olarak saptanmalıdır. Uçucu kül, kil ile karıştırıldığında kilin porozitesini artırıp yoğunluğunu ve karışım suyunu ve pişme sırasında ısı tüketimini azalttığından tuğla üretiminde kullanılabilir [17].

Uçucu küllerin inşaat mühendisliğinde önemli uygulama alanları vardır. Örneğin çimentoya belli oranlarda katıldıkları gibi, çimentonun son üretim aşamasında klinkere katılabilir ya da çimentoya kullanım aşamasında belli oranlarda katkı maddesi olarak eklenebilir. Bunu yanında çimento özelliklerini iyileştirici yönde, örneğin hidrasyon ısısının düşürülmesi, beton işlenebilirliğinin geliştirilmesi, alkali reaksiyonunun azaltılması gibi etkileri de vardır. Tüm bu kullanım şekillerinde kendisinin bir atık madde olması nedeniyle maliyetin düşmesinde önemli katkı yapar. Bununla birlikte gaz betonu üretimi, kile katılarak ya da aktive edici maddelerle birlikte tuğla üretimi, hafif agrega üretimi, zemin stabilizasyonu, yol inşaatı, baraj inşaatında sıkıştırılmış beton çalışmalarında da kullanılmaktadır [18].

Tuğlaların üretim aşamalarındaki farklı hammadde ve karışım oranı, farklı pişirme sıcaklığı ve farklı tip fırınlama teknikleri sebebiyle çok değişik dayanıma sahip olabilmektedir [19].

Şekillendirilmiş tuğlaların pişirme öncesi belirli bir mukavemet kazanmaları ve pişirme sırasında rötne ve çatlamayı engellemek için kurutulması gerekir. Kurutma işlemi normal atmosferik şartlarda doğal olarak yapılabileceği gibi, sıcaklığın ve nemin kontrol altında tutulabildiği özel kurutma odalarında da yapılabilir [20].

Tuğla yapımında kullanılan ideal kil, içerisinde % 15'den fazla kalker ve bitkisel atıklar bulunmayan, yarı yağlı olarak tanımlanan kildir. Kullanılacak kilin kimyasal yapıdan çok, mekanik özellikleri önemlidir. Kullanılacak tuğla malzemesi suyla yoğrulduğunda kolayca şekil alabilmeli ve içindeki suyu kaybettiği zaman bu halini koruyabilmelidir. Şekillendirilerek kurutulan malzeme pişirilmeden önce şekil yapısını koruyacak düzeyde dayanıklı olmalı, pişirme sonrasında hacim küçülmesi oldukça sınırlı, maksimum % 5 civarında olmalıdır. Üretilen tuğla kullanım alanında öngörülen dayanım değerlerine sahip olmalıdır [21].

Tuğlanın imal aşamasında yoğrulan hammadde dinlendirilerek, çamurun bir miktar direnç kazanması sağlanır. Dinlendirme, malzemenin kalitesini etkileyen önemli bir unsur olduğu için hammadde hazırlama aşamalarının en önemlisidir. Hammadde aşamasının sonunda şekillendirmeye uygun bir nitelik kazanan hamur, değişik yöntemler kullanılarak şekillendirilmekte ve değişik biçim ve boyutlarda yarı mamul tuğla elde edilmektedir. Şekillendirme el ile veya makine kalıplama yöntemleriyle yapılabilmektedir. Mekanik yapılan tuğlalarda presleme ve telle kesme yöntemleri kullanılmaktadır [22].

Tuğla üretimindeki en son aşama pişirmedir. Pişirme sırasında kil kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. 300°C civarında organik maddeler tamamen yanar, 550°C da molekül suyu bileşimi terk ederek, karışım silis ve alümin haline ayrışır ve 550–900°C arasında silis ve alümin tekrar birleşerek metakaolin silikatı ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) oluşur. Bu yeni malzeme artık sert, şeklini değiştirmeyen, belirli bir mukavemeti ve rengi olan tuğladır. Pişirme sıcaklığının artması tuğlanın mekanik dayanımını arttırmakta, su emmesini azaltmakta ve birim ağırlığını arttırmaktadır. Ancak çok yüksek pişirme sıcaklığı tuğlanın camlaşmasına ve harca yapışma özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle pişirme sıcaklığının 900–980°C arasında olması gerekir [23,24].

Kil minerali ihtiva eden, belli ölçüde suyla karıştırıldığında plastik çamur haline gelen, şekillenme özelliğine sahip ve 900–1000 °C'de pişirildiğinde, çatlamadan sertleşebilen bütün topraklar, tuğla-kiremit hammaddesi olup tuğla toprağının genellikle illit, az miktarda montmorillonit, kaolinit, kuvars, demir mineralleri, az miktarda organik maddeler ve suda çözülebilen tuzlar içermektedir.

Kil minerallerinin en önemli özelliği belirli oranda su ile (% 25–35) karıştırıldığında plastik hale gelmesi, şekillenebilmesi ve kurutulup pişirildikten sonra dayanıklı bir malzeme yeteneğinin olmasıdır. Kil içinde bulunan silisli, demirli ve alkali bileşikler plastikliğini ve ateşe dayanma yeteneğini azaltmaktadır [25,26].

Tuğla üretiminde Çatalağzı Termik Santrali uçucu külünün karışımında % 35 oranında kullanılması ve bu oranda uçucu kül içeren karışımın dayanım değerinin külsüz karşılaştırma örneği dayanım değerinin yaklaşık % 90'ına karşılık gelen 64 N/mm olmaktadır [27].

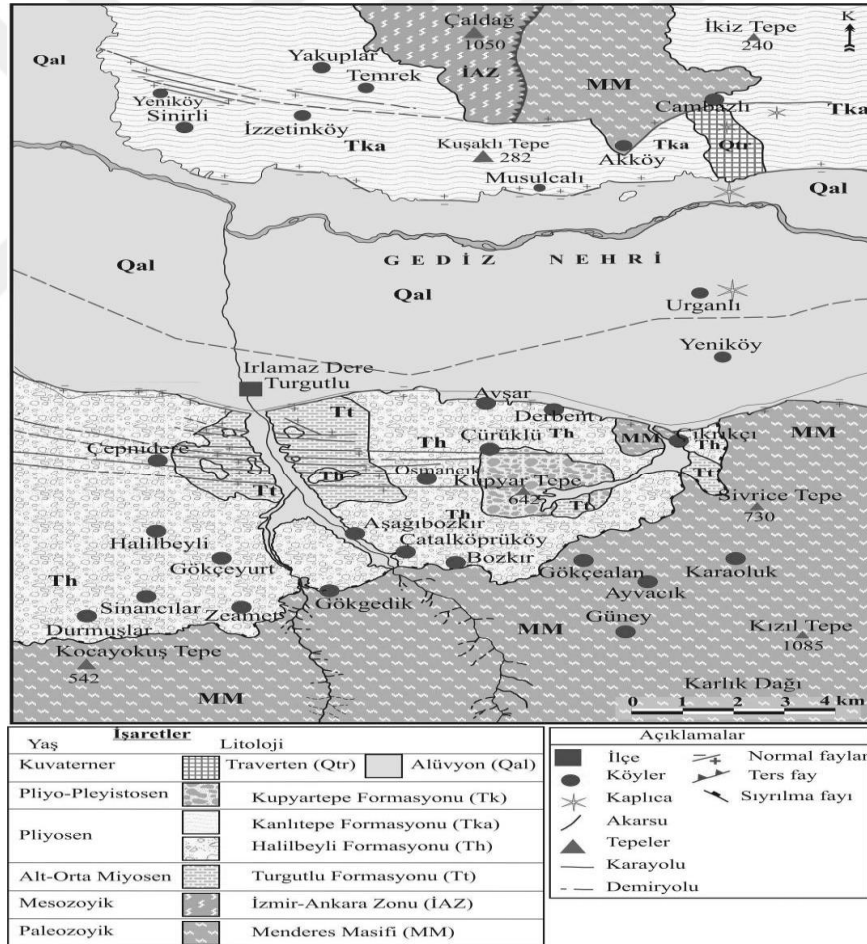


3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

3.1.1 Turgutlu Yöresi Killi Zeminlerin Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan killi zemin numuneleri Kuvaterner yaşlı genç alüvyondan alınmıştır. Bu alüvyon, hem Mendere Masifi kayaçlarından hem de İzmir-Ankara Zonu'na ait kayaçlardan, günümüze kadar koparılarak taşınmış çakıl, kum ve kil boyutlu, düzensiz az tutturulmuş malzemelerden meydana gelmekte olup, Gediz Nehri boyunca olmak üzere, Irlamaz Dere ve diğer dere yataklarında geniş yayılım göstermektedir (Şekil 3.1). Turgutlu Ovasının orta kesimlerinde yaklaşık alüvyonun kalınlığı 250 m'dir [28].



Şekil 3.1. Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeoloji haritası [28].

Yol, havaalanı, baraj, gölet gibi birçok mühendislik yapısının inşası ile tuğla ve kiremit gibi yapı malzemesi imalinde Kuvaterner yaşlı genç alüvyonlar

kullanılabilmektedir. Bu çökeller ince kil boyutundan iri çakıl boyutuna kadar malzeme içerebilmektedir. Kum ve çakıl boyutundaki iri taneye sahip zeminlerin geçirimsizliği, dayanımı, oturma ve deformasyon miktarları, içerisinde bulunan daha ince taneli kil tarafından kontrol edilmektedir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinin 11.07.2005 tarihinde yapmış olduğu Turgutlu Ömerli dere yöresi killi zemininin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.1. de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Turgutlu ömerli dere yöresi kilinin mineral bileşimi

Oksit Bileşiği	% Miktarı
Al ₂ O ₃	23,03
SiO ₂	52,92
Fe ₂ O ₃	9,00
Na ₂ O	1,36
MgO	1,54
CaO	0,62
K ₂ O	3,79
TiO ₂	1,34
Kızdırma Kaybı	6,36

Tablodan inceleme alanındaki killi zeminlerin ağırlıklı olarak Silis ve Alüminyum oksit bileşiklerinden oluştuğu görülmektedir.

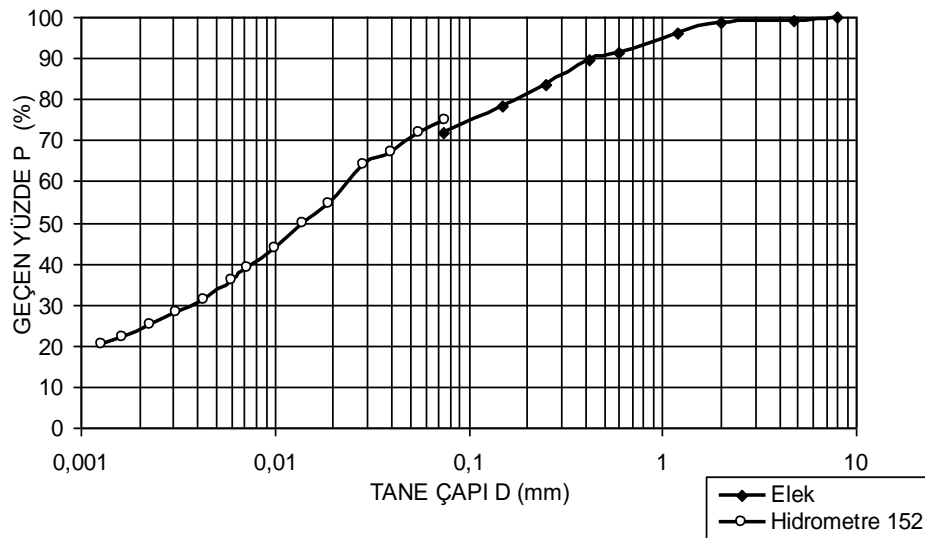
Turgutlu killeri üzerinde ‘Köseoğlu ve ark. ,2008’’de [29] yaptıkları olan kantitatif analizler sonucu smektit (montmorillonit) oranını %51, illiti %35 ve kaoliniti %14 olarak saptamışlardır. Turgutlu çevresinde oldukça yaygın olan killerin toplam kayaç mineral içerikleri başlıca %17- 21 kuvars, %7-11 kalsit, % 12-16 illit-plajjoklas-K feldispat birlikteliği ve %56-60 arasında değişen smektitlerden oluşur [29].

Deneylerde kullanılan kil malzeme üzerinde yapılan elek analiz sonuçları Tablo xx de verilmiştir. Dane çapı dağılım grafiği Şekil XXde verilmiştir. Tuğla ve kiremit yapımında kullanılan Turgutlu killerin dane boyu dağılımı için elek ve hidrometre analizi yapılmış ve sonuçlardan kil ve silt oranının % 71 olduğu görülmüştür (Tablo 3.2., Şekil 3.2.).

Yapılan deney sonuçlarından killi zeminin likit limiti (W_L) % 28,8, plastik limiti % 22.2 olarak bulunmuştur. Deneylerde kullanılan kil malzemesinin birleştirilmiş zemin sınıflandırması Şekil 4.2 de görüldüğü gibi CL-ML özelliğindedir.

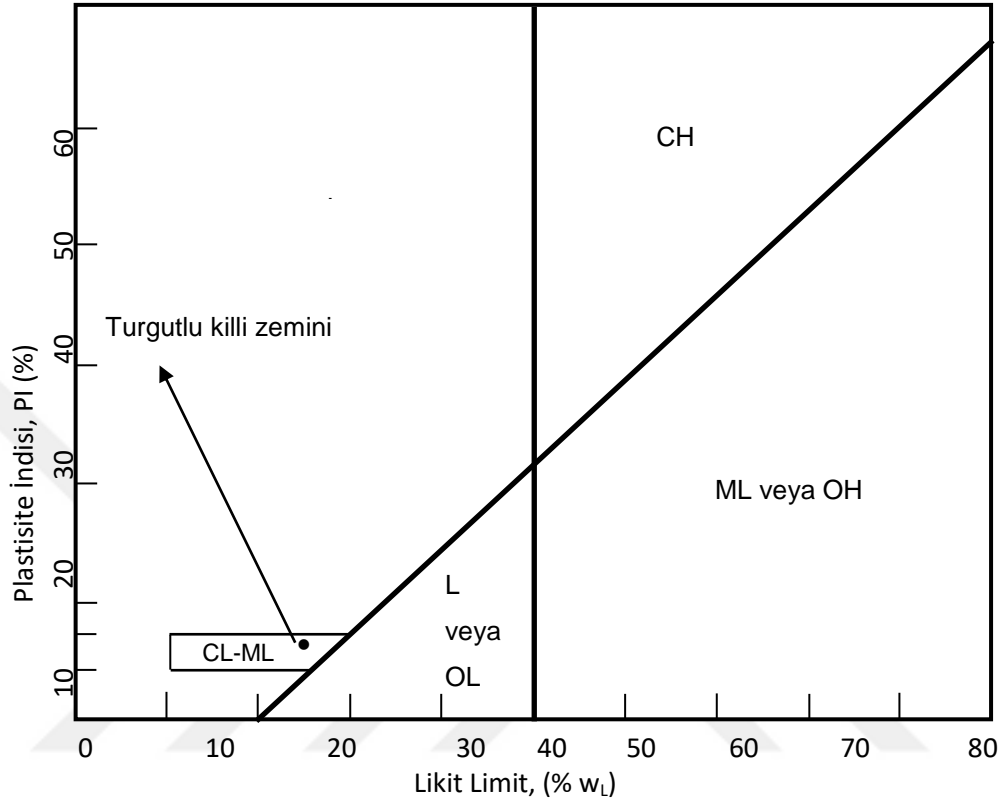
Tablo 3.2. Killi zemininden alınan 185 gr kuru numunenin elek analizi

Elek Açıklığı (mm)	Geçen %	Kalan %	KalanAğırlık (gr)	Geçen Ağırlık (gr)
8	100	0,00	0	185
4,76	99	0,91	1,68	183,32
2	99	0,56	1,04	182,28
1,19	96	2,56	4,73	177,55
0,59	91	4,75	8,78	168,77
0,42	89	1,78	3,29	165,48
0,25	83	6,07	11,23	154,25
0,149	78	5,16	9,54	144,71
0,074	72	6,56	12,13	132,58



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan killi zeminin dane boyu dağılımı grafiği

Bu zeminin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre CL-ML (düşük ve orta plastisiteli, inorganik siltli kil) tipi bir zemin olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.3.).



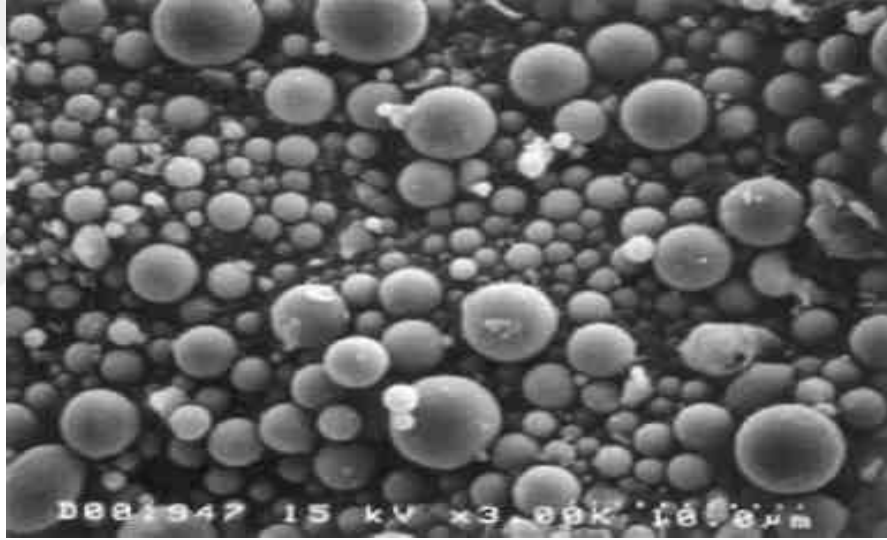
Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan killi zeminin plastisite kartındaki yeri

3.1.2 Soma Termik Santrali Uçucu Külün Özellikleri

Uçucu kül ise Soma Termik Santralinden alınmıştır(Şekil 3.4).Uçucu küller çok ince taneli, dokunulduğunda yumuşak bir malzemedir. Mikroskopta incelendiklerinde süngerimsi boşluklu ve boşluksuz küresel taneciklerden meydana geldiği görülür [30], (Şekil 3.5). Soma Termik Santrali Uçucu Kül non-plastik özellikte olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Soma Termik Santrali uçucu külünün kimyasal analizi Tablo 3.3.' de verilmiştir



Şekil 3.4. Soma termik santrali

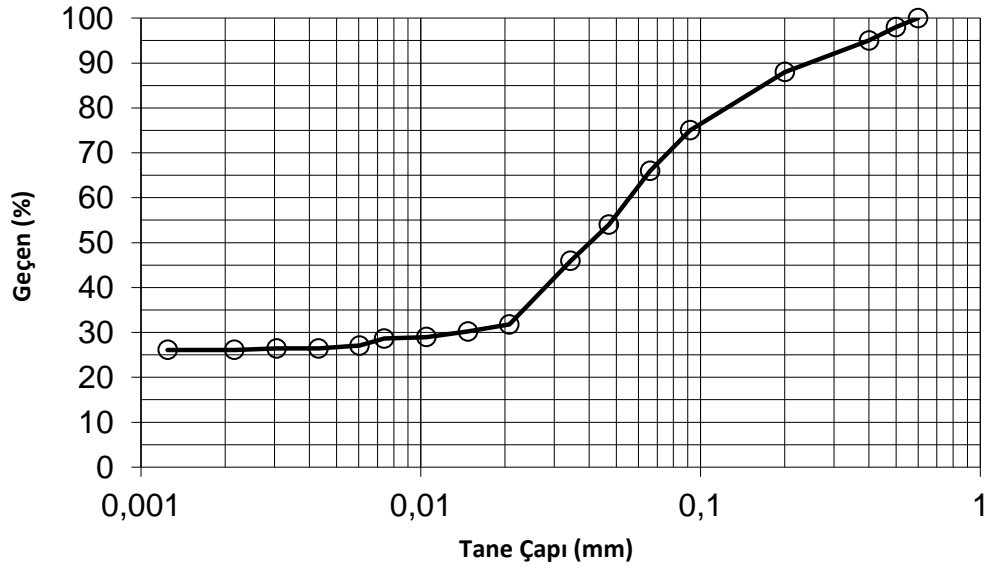


Şekil 3.5.Uçucu kül taneleri 2000 kat büyütülmüş hali [28]

Tablo 3.3. Soma uçucu külü kimyasal analiz sonuçları [9]

Bileşik Adı	%	TS639	Bileşik Adı	%	TS639
SiO ₂	45,71	-	MgO	1,58	En çok % 5
Al ₂ O ₃	23,67	-	Na ₂ O	0,40	-
Fe ₂ O ₃	4,47	-	K ₂ O	1,26	-
S+A+F	73,85	En az % 70	SO ₃	4,11	En çok % 5
CaO	17,16	-	KK	0,87	En çok % 10
Diğer	0,010	-	-	-	-

Turgutlu killlerinden alınan numuneler üzerinde katkısız ve uçucu kül katkılı tuğla imali yapılarak kül katkısının tuğla dayanımına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada uçucu kül katkısı ağırlık olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 seçilmiştir.



Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan soma termik santrali uçucu kül dane boyu dağılımı grafiği

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Sınıflandırma Deneyleri

3.2.1.1 Elek – Hidrometre Analizi

Bu numuneler üzerinde dane boyu dağılımı, kıvam limitleri ve diğer tüm sınıflandırma deneylerine yönelik çalışmalarda ASTM standartları uygulanmıştır.

Sınıflandırma sistemlerin hepsinde zemindeki danelerin büyüklüğü ile bunların kuru ağırlık olarak zemindeki yüzdelerinin bilinmesi gerekir. Elek analizi zeminin iri daneli kısmına yöneliktir. Elek analizi için Şekil 3.1.1.' de görüldüğü gibi farklı açıklığı olan elekler kullanılır.



Şekil 3.7. Standart ASTM elekleri

Elek analizi için bir miktar yaş zemin alınmış ve etüvde kurutulmuştur. Zemin elek dizisinden elenmiştir. Elek dizisinde elek gözü büyükten başlanır.

Eleme elektrikli sarsma makinasıyla yapılmıştır. Eleme sonunda her elek üzerinde kalan zemin miktarı tartılarak belirlenmiştir. Her bir elek için, geçen yüzde (%P) aşağıdaki bağıntıyla belirlenmiştir.

$$\%P=100x \frac{\text{Elekten geçen zemin miktarı}}{\text{Elemeye tabi tutulan tüm zemin miktarı}}$$

Dane büyüklüğü dağılım eğrisi (granülometri eğrisi) ; yatay ekseninde dane çapı (mm) ve dikey ekseninde geçen yüzdeleri olmak üzere çizilen bir eğridir.

Hidrometre deneyi, dane çapları çok küçük olan numuneler için yapılır. 200'nolu elekten altındaki kalan numuneden yaklaşık 50 gr. lık alınarak, pipet yöntemindekine benzer olarak, 1000 ml' lik bir süspansiyon hazırlanmıştır. Deney başlangıcından itibaren belli süreler sonunda süspansiyonun yoğunluğu, hidrometre denilen bir alet yardımıyla ölçülür. Hidrometre bir gövde ve bir ince uzun boyun kısmından oluşan cam bir alet olup, sıvı veya süspansiyonların yoğunluklarını ölçmede kullanılır. Bu ölçümler 15 sn. 30 sn. 1 dk. 2 dk. 5 dk. 10 dk. 20 dk. 40 dk. 1 sa. 2 sa. 4 sa. 8 sa. 16 sa. 24 sa. olmak üzere yapılır.

3.2.1.2. Kıvam Limitleri

Turgutlu yöresinden alınan kil numunelerinin kıvam limitleri deneyi Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği laboratuvarında bulunan deney aletleri ile deneyleri yapılmıştır, deney sonuçlarının detayları Ek 1 ve Ek 2 de verilmiştir.

3.2.1.2.1. Likit Limit

40 nolu elekten geçen zemin numunesinden bir miktar alınıp etüvde kurutulur. Bir miktar su katarak yoğunlaşmış bir malzeme elde edilir ve sonra homojen olması için karıştırılır. Sonra spatula vasıtasıyla bir miktar zemini aletin metal çanak kısmına koyarak üst yüzeyi düzlenir. Oluk açma bıçağı dediğimiz casagrande kaşığı ile tabanı 2 mm olacak biçimde bir çukur açılır (zemin ikiye bölünür). Daha sonra Şekil 3.2.1. de gösterilen deney aleti çalıştırılır. Bu çalışmada kullanılacak CL-ML tipi bu zeminin kıvam deneyleri Casagrande yöntemiyle belirlenmiştir [31].



Şekil 3.8. Likit limit deney aleti

Bu alet metal kabı 1 cm yüksekliğe çıkarıp, serbest düşmeye bırakır. Bu şekilde oluşan sarsıntıdan, açılan boşluk dolmaya başlar. Daha doğru sonuca ulaşabilmek için farklı miktarda suyla karıştırılmış numunelerle deney 4 defa tekrarlanıp sonuçları tabloda gösterilir. Zeminden bir miktar alınarak su muhtevası (w) belirlenir.

Likit limit deney sonuçları yatayda vuruş sayıları (N) logaritmik, düşeyde su muhtevaları (w) olan bir eksen takımında işaretlenerek noktalardan yaklaşık bir doğru seçilir. Bu grafikte 25 vuruşa karşılık gelen su içeriği, o zeminin likit limitini verir.

3.2.1.2.2. Plastik Limit

Plastik limit, plastik veya yarı katı durumları birbirinden ayıran su içeriğidir. Diğer bir değişle, zeminin el altında, cam bir yüzeyde, çubuk haline getirilirken, çubukların çapları yaklaşık olarak 3 mm' ye geldiğinde kopmaların meydana geldiği su içeriğidir.

Likit limit için hazırlanan numuneden bir miktar alınır. Alınan bu malzeme kaba konur ve parmaklar ile yoğrulduğunda yapışmayacak şekilde ancak kolayca yuvarlanabilecek bir kütle elde edilmesini sağlayacak ölçüde saf su ile karıştırılır. Bu kıvamdaki malzemeye el ile elipsoidal bir biçim verilir ve düz bir plaka üzerine konarak el ayası ile yuvarlanır. Bu işlemi yaparken 3 mm çapında çubuklar elde edebilmek için yeterince bastırılır. Çubukların çapı 3 mm olduğu anda yüzeyde çatlama olmazsa, malzeme toplanır ve tekrar topak haline getirilerek yoğrulur.

Yoğurma işlemine 3 mm çapındaki çubuk çatlayıp birkaç parçaya bölününceye kadar devam edilir. Bu ufalanan çubuğun parçalarının su muhtevası belirlenmesi yapılır. Bulunan su muhtevası ortalamaları zeminin plastik limit değerini verir.

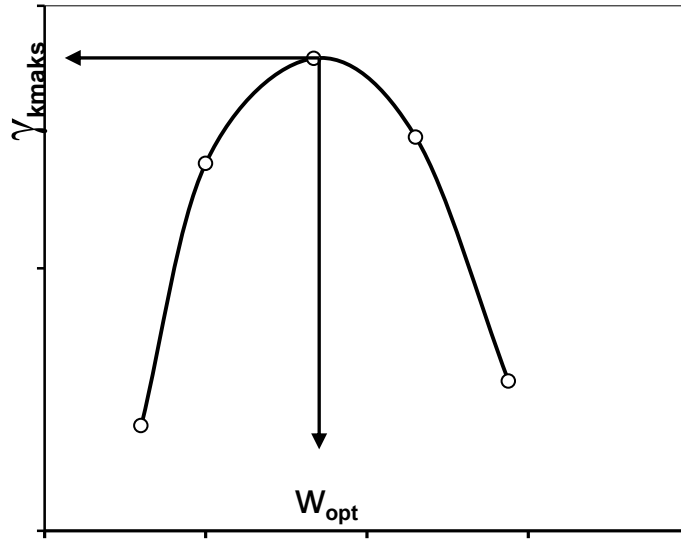
3.2.2. Kompaksiyon Deneyleri

Yalın ifadeyle kompaksiyon (sıkıştırma); mekanik işlemlerle zemin tanelerinin birbirlerine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmaları olarak tanımlanır.

Zemini oluşturan tanelerin birbirlerine göre hareket edebilme yetenekleri uygulanan yüklerin şiddetine (kompaksiyon enerjisi) ve zemin boşluklarında bulunan su miktarına bağlıdır. Kompaksiyon enerjisi sabit olsa bile zemin içerisinde yeterli su olmadığı zaman taneler arasındaki sürtünme ve kapiler gerilmeler artmakta, elektriksel kuvvetlerin net etkisi çekim kuvvetlerine dönüşmektedir. Fazla su bulunduğu zaman ise taneler arasındaki sürtünme ve kapiler gerilmeler de azalmakta ve taneler arası elektriksel itki kuvvetleri ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak zeminin aynı mekanik enerji ile en iyi sıkışması, ne çok ne de az bir su içeriğinde mümkün olabilmektedir. Yani en iyi kompaksiyon yalnız bir su içeriği değerinde olmaktadır ki bu değere optimum su içeriği denilmektedir. Bu su içeriğinde en iyi sıkıştırılmış zeminin kuru birim hacim ağırlığı da maksimum olmaktadır ki bu ölçü aynı zamanda kompaksiyonun derecesi olarak tarif edilir.

Uygulanan belli bir kompaksiyon enerjisi ile elde edilebilecek sıklık derecesinin su muhtevasına bağlı olarak değişimi ilk olarak 1930'larda Proctor tarafından yapılmıştır. Laboratuvarlarda Proctor deneyi olarak bilinen ve standart hele gelmiş bu deneyde, farklı su muhtevalarında zemin numuneleri proctor kalıbı

içinde belirli sayıda tabakalar halinde ve üzerine yine standartlaştırılmış miktarda enerji uygulanarak sıkıştırılmaktadır. Deneyler 5 veya 6 kere tekrarlanarak zeminin su muhtevası ile sıkıştırılmış kuru yoğunluğu $\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1+w}$ arasındaki ilişkiden, (Burada; γ_k : kuru birimhacim ağırlık, γ_n : her deney sonundaki ıslak birim hacim ağırlık, w : her deney sonundaki su içeriği) optimum su içeriği ve buna bağlı zeminin maksimum kuru yoğunluğu hesaplanmaktadır. Düşük ve yüksek su içeriği değerlerinde maksimum kuru birim hacim ağırlık elde edilemezken, bu değer ($\gamma_{kmaks.}$) sadece optimum su içeriğinde elde edilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kompaksiyonda $W_{opt} - \gamma_{Kmaks.}$ arasındaki ilişki

Sıkıştırılmış bir yaş zeminde kompaksiyonun ölçüsü o zemine ait kuru yoğunluktur. Bir yaş zemine ait kuru yoğunluk ne kadar büyükse o yaş zemin o kadar iyi sıkıştırılmış demektir.

Zeminin sıkıştırılması sonucu, zemini oluşturan bileşenler (tane, boşluk, tane grupları) birbirlerine yaklaşarak daha yoğun bir doku oluşturacak şekilde pozisyon almakta, böylece birim hacim ağırlığı artmakta buna bağlı olarak da zeminin mühendislik özellikleri iyileştirilmiş olmaktadır. Bu özellikler zeminin;

a) Kendi ağırlığını ve dış yükleri güvenle taşımaya yeterli mukavemete sahip olması

b) Yük altındaki oturma ve deformasyonları müsaade edilebilir seviyelerin altında olması

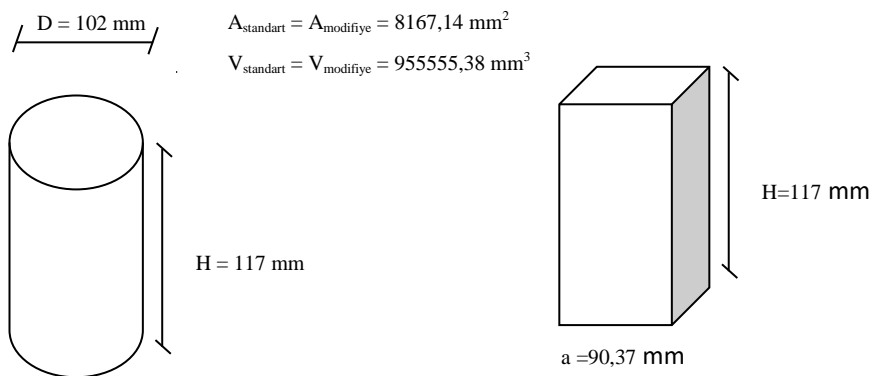
c) Aşırı şişme ve büzülme göstermemesi

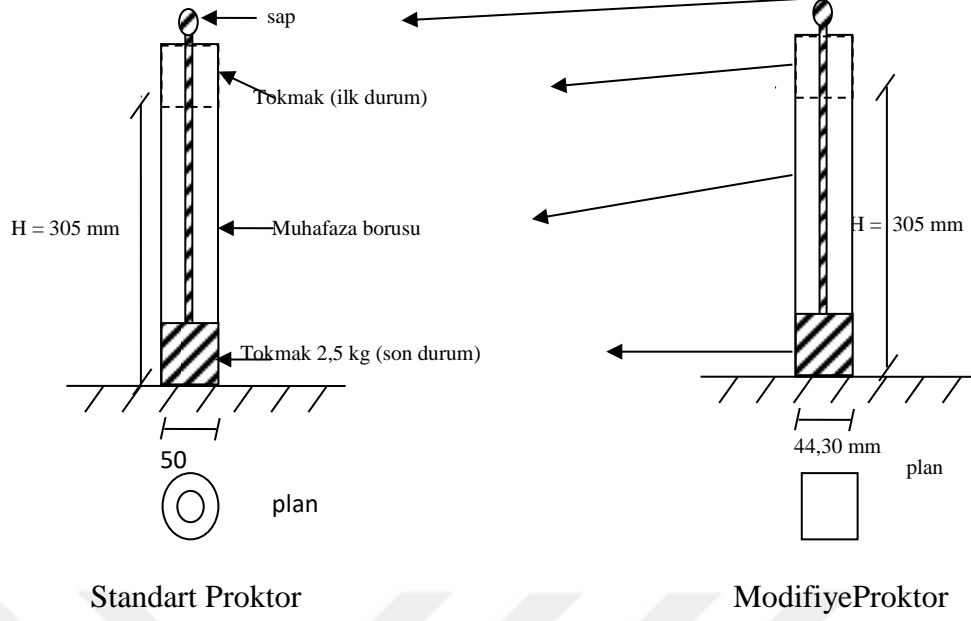
d) Mukavemet ve sıkışabilirlik özelliklerini kullanım ömrü boyunca koruyabilmesi

e) Fonksiyona uygun permeabilite ve drenaj özelliklerine sahip olması vb şekilde sayılabilir.

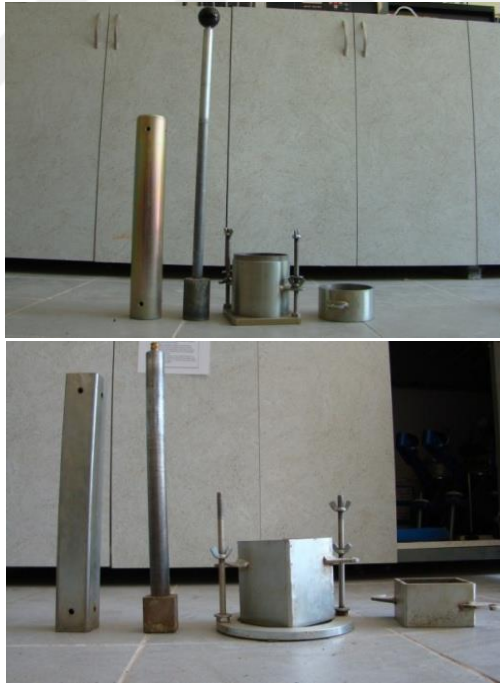
Zemindeki tanelerin düzeni, tane grupları ve taneler arasındaki boşlukların geometrik dizilişleri ile bu taneler arasındaki birbirini etkileme kuvvetleri “zeminlerin dokusu” olarak adlandırılır. Zemin dokusunu meydana getiren zemin taneciklerinin ve boşluklarının dağılımı, belli bir düzen içinde yönlendirmeleri ve bu yönlendirmenin büyüklüğü ve derecesi, başlı başına zemine etki eden gerilmenin özelliğine ve büyüklüğüne bağlıdır.

Bu killi zeminin hedeflenen özellikleri üzerindeki kompaksiyon derecesi etkisinin araştırılması amacıyla $95,38 \text{ mm}^3$ iç hacminde demirden, rijit, modifiye bir kompaksiyon seti imal edilmiştir. Bu deney setinin tasarlanma amacı, sıkıştırılmış zeminin farklı yönlerden anizotropik davranıp davranmadığını incelemek içindir. Bu kompaksiyon setinin iç hacmi ve tokmağının ağırlığı standart kompaksiyon seti ölçülerine denk olmasına özen gösterilmiştir (Şekil 3.10. ve Şekil 3.11. Standart Proktor kalıbı ve Modifiye Proktor kalıbı (kare kesitli) plan ve kesitleri).





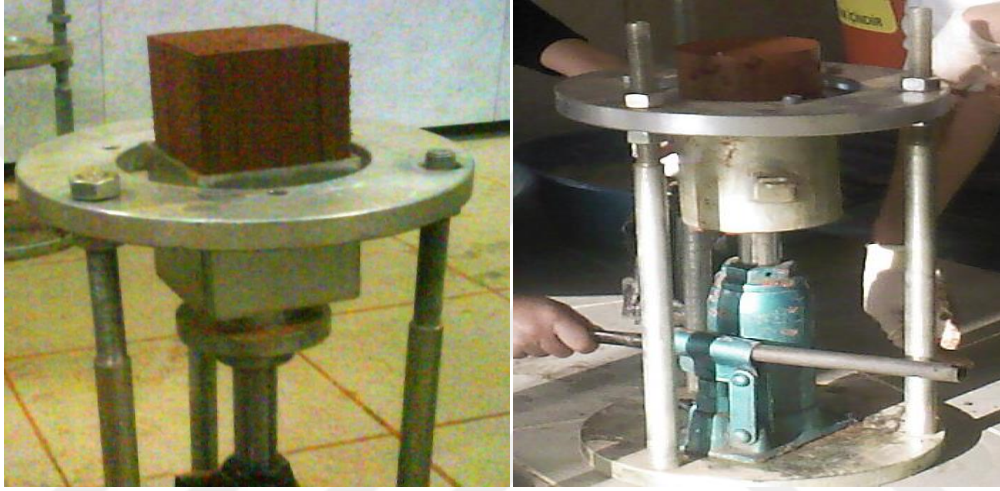
Şekil 3.10. Standart proktor kalıbı ve modifiye proktor kalıbı (kare kesitli) plan ve kesitleri



Şekil 3.11. Standart proktor kalıbı ve modifiye proktor kalıbı

Kare kesitli mouldun kullanılma amacı optimim su içeriğinde sıkıştırılmış killi zemin numunelerin farklı yönlerden dayanım, konsolidasyon ve geçirimlilik gibi diğer mühendislik özelliklerinin belirlenebilmesi içindir.

Çalışmalarda kullanılan killi zemin ile uçucu kül karışımı zeminin, hem standart proctor, hem de modifiye edilmiş kare kesitli mouldla optimum su içeriklerinde, hem sade kil hem de her bir uçucu kül karışımı zeminden 9'ar adet olmak üzere kare kesitli mouldla 54 adet, standart mouldla 18 olmak üzere toplamda 72 adet kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Her deney sonunda kompaksiyonla sıkıştırılmış numuneler hidrolik kriko ile örselenmeden mouldlardan çıkartılmıştır (Şekil 3.12.). Bu numuneler daha sonra planlanan ultrasonik ses hızı ve dayanım gibi deneylerde kullanılmak üzere, oda sıcaklığında kurutulmuştur (Şekil 3.13.).



Şekil 3.12. Kare kesitli ve standart proctor kalıplarından numunelerin hidrolik kriko ile çıkarılması



Şekil 3.13. Kare kesitli ve standart proctor kalıplarından çıkarılan numunelerin oda sıcaklığında kurutulması

3.2.3 Sıkıştırma Yönünün Ultrasonik Ses Hızına Etkisi

Sismik teknikler, arazide madencilik ve geoteknik mühendisliği uygulamalarında yıllardır kullanılmaktadır. Bu teknikler yardımıyla arazide zemin ve kayaçların jeofiziksel incelemeleri, laboratuvar da dinamik özelliklerin tanımlamaları yapılmaktadır. Geoteknik mühendisliği laboratuvar uygulamalarında inceleme numunelerine zarar vermemeleri, uygulamalarının kolay olmaları bu teknikleri tercih etmeyi arttırmaktadır. Kaya kalitesi, kaya ve zeminlerin gerilme deformasyon sonucu muhtemel çatlak zonu gelişimleri, zemini oluşturan dane, boşluk ve diğer bileşenlerin yönlenme dereceleri ile ses hızı arasında önemli ilişki olduğu bilinmektedir.

Optimum su içeriğinde sıkıştırılmış silindirik ve küp numunelerin P dalga hızı ölçümleri ile sıkıştırma yönüne bağlı olarak numunelerdeki dane, boşluk ve diğer bileşenlerin yönlenmeleri incelenmiştir. Standart Proktor kalıbından örselenmeden çıkarılan silindirik numuneler uzun eksenleri boyunca, modifiye edilmiş kare kesitli proktor deney kalıbından örselenmeden çıkarılan numuneler de birbirine dik yönlerden P dalga hızı ölçülmüştür (Şekil 3.14. ve Şekil 3.15.).



Şekil 3.14. Standart proktor numunesinin ultrasonik hız ölçümü

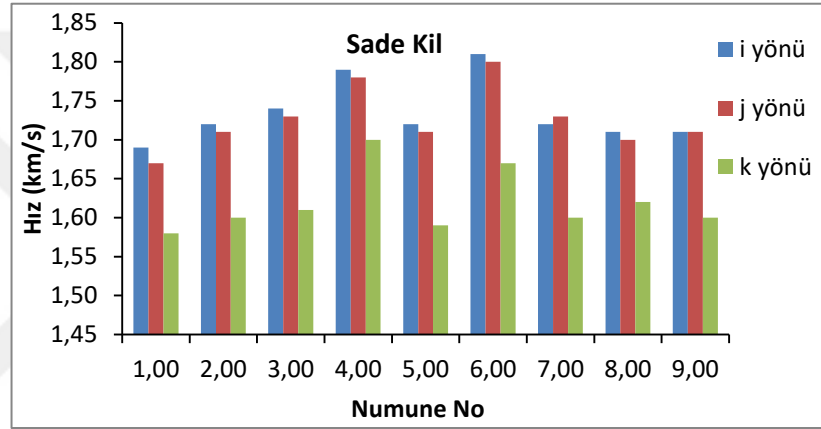


Şekil 3.15. Kare kesitli modifiye proctor numunesinin ultrasonik hız ölçümü

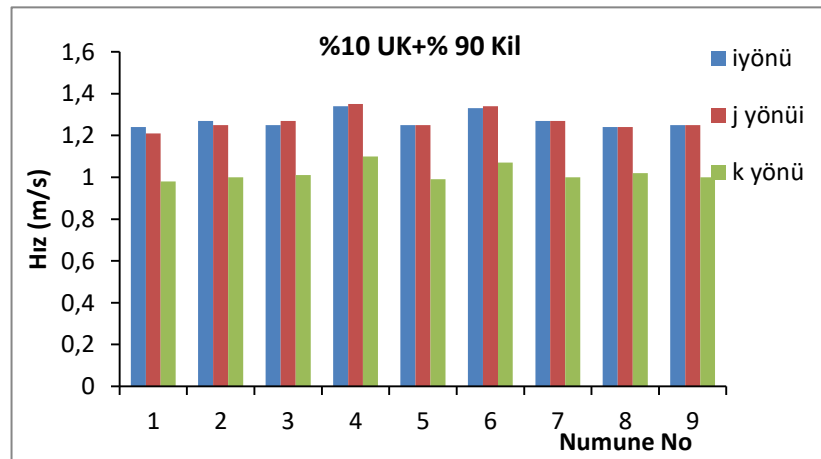
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Ultrasonik Test Sonuçları

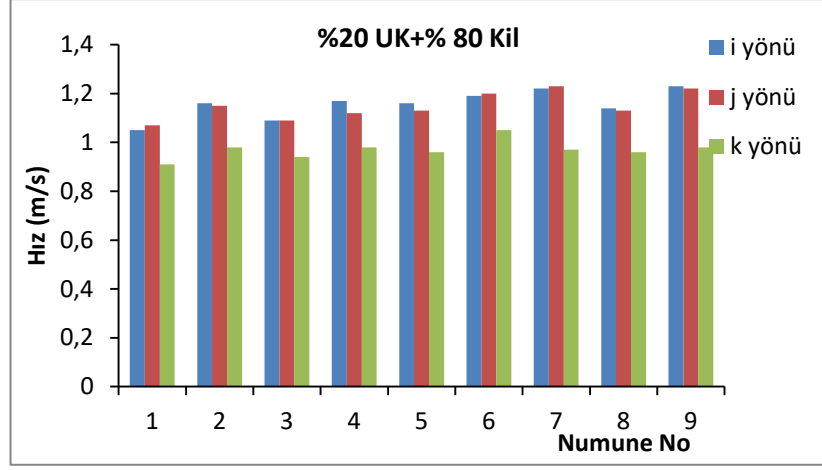
P dalga hızı ölçüm sonuçları optimum su içeriğinde sıkıştırılan numunelerin, sıkıştırma yönüne dik P dalga hızları ile sıkıştırma yönündeki P dalga hızları arasında mantıksal bir ilişki bulunamamıştır. Fakat aşağıdaki şekillerde görüldüğü üzere uçucu kül içeriği arttıkça hem sıkıştırma yönüne dik, hem de paralel yönde P dalga hızında önemli azalma görülmüştür. Bu sebebin kuru birim ağırlığın (γ_{kmax}) düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü uçucu kül içeriği arttıkça kuru birim ağırlıkta (γ_{kmax}) azalmaktadır [24].



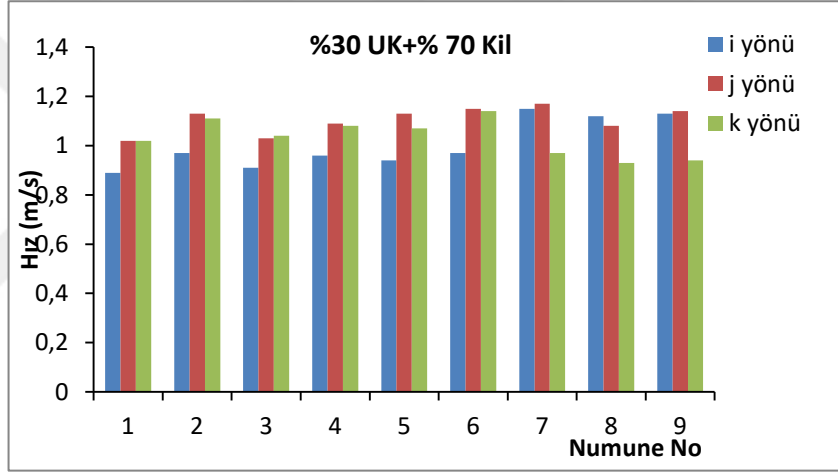
Şekil 4.1. Sade kilin optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinin yönlere bağlı p dalgası geçiş hızları



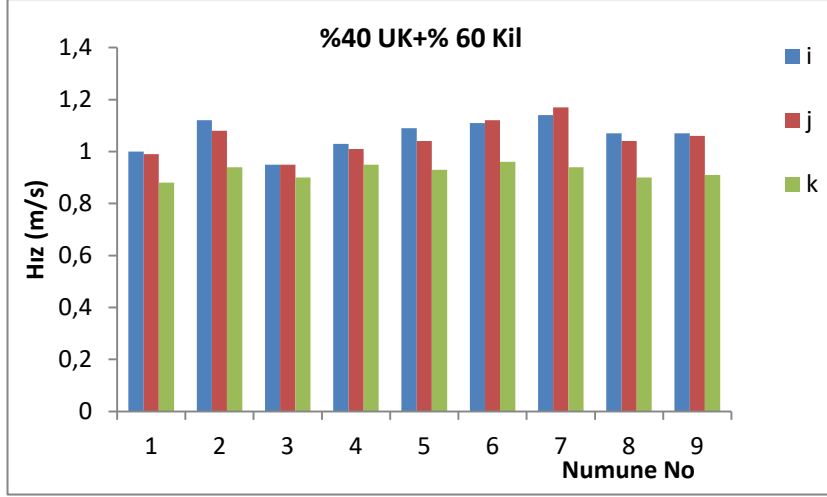
Şekil 4.2. %10 uçucu kül +%90 kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağlı p dalgası geçiş hızları



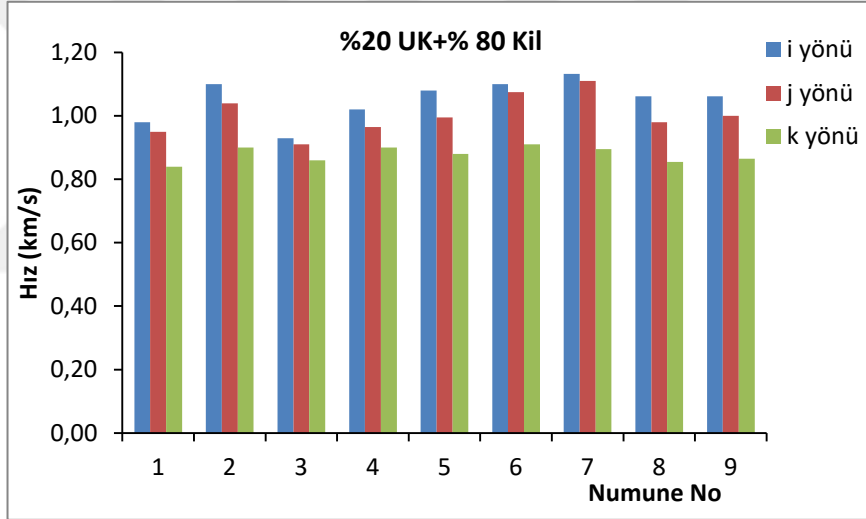
Şekil 4.3. %20 uçucu kül +%80 kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağlı p dalgası geçiş hızları



Şekil 4.4. %30 uçucu kül +%70 kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağlı p dalgası geçiş hızları

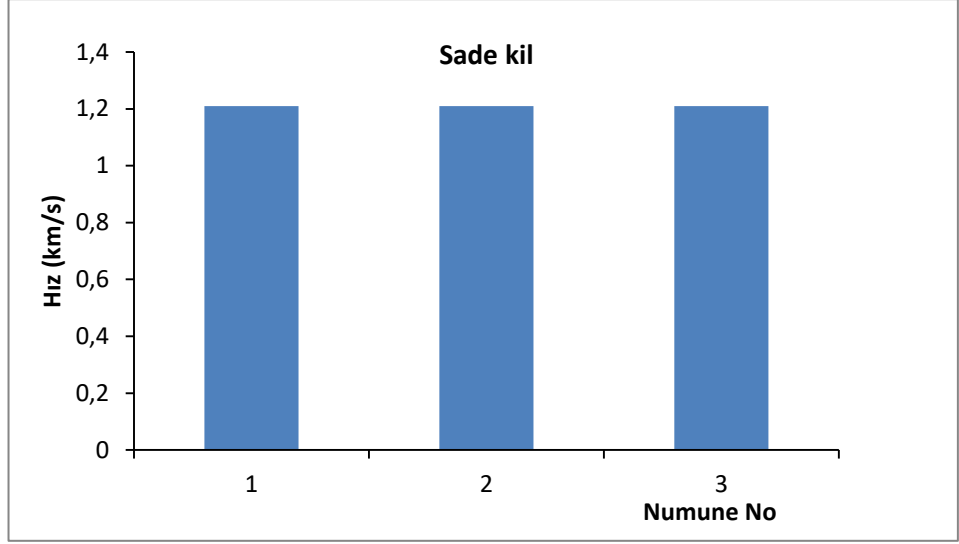


Şekil 4.5. %40 uçucu kül +%60kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağlı p dalgası geçiş hızları

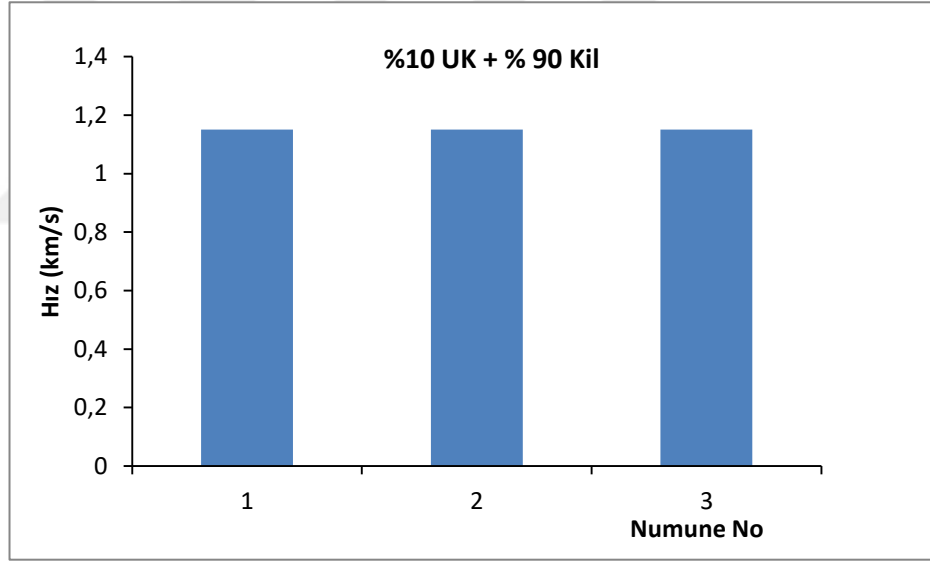


Şekil 4.6. %50 uçucu kül +%50 kil karışımıyla optimum su içeriğinde kare kesitli mould ile yapılan kompaksiyon numunesinde yönlere bağlı p dalgası geçiş hızları

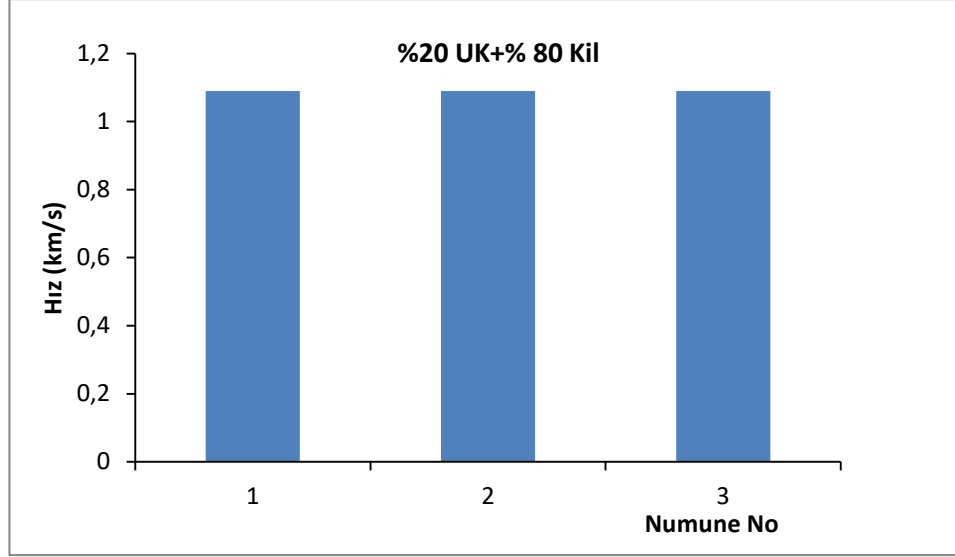
Benzer olarak aşağıdaki şekillerde uçucu kül içeriği arttıkça standart proktor numunelerinde de kare kesitli mould ile alınan numunelerdeki gibi ölçülen P dalga hızında önemli azalma görülmüştür.



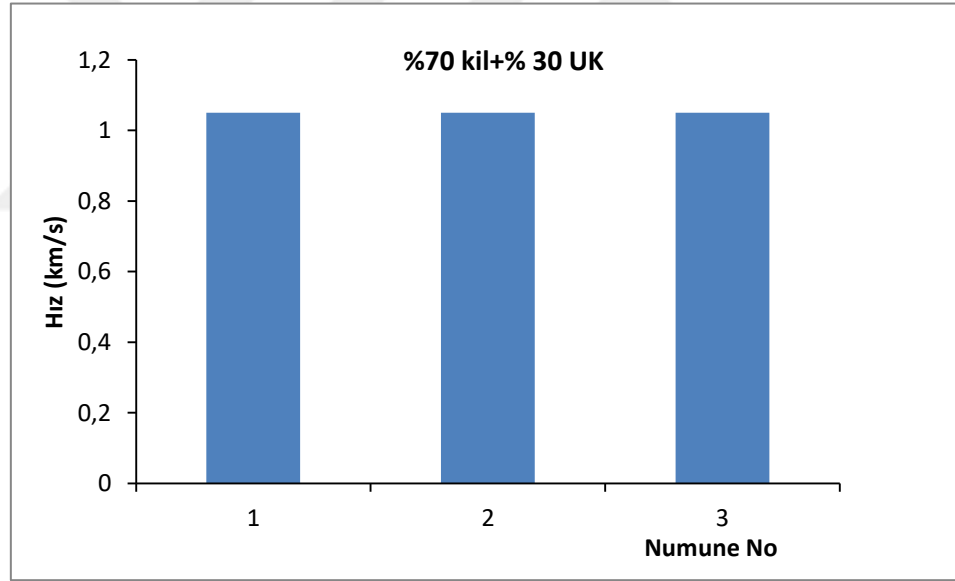
Şekil 4.7. Optimum su içeriğinde standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları



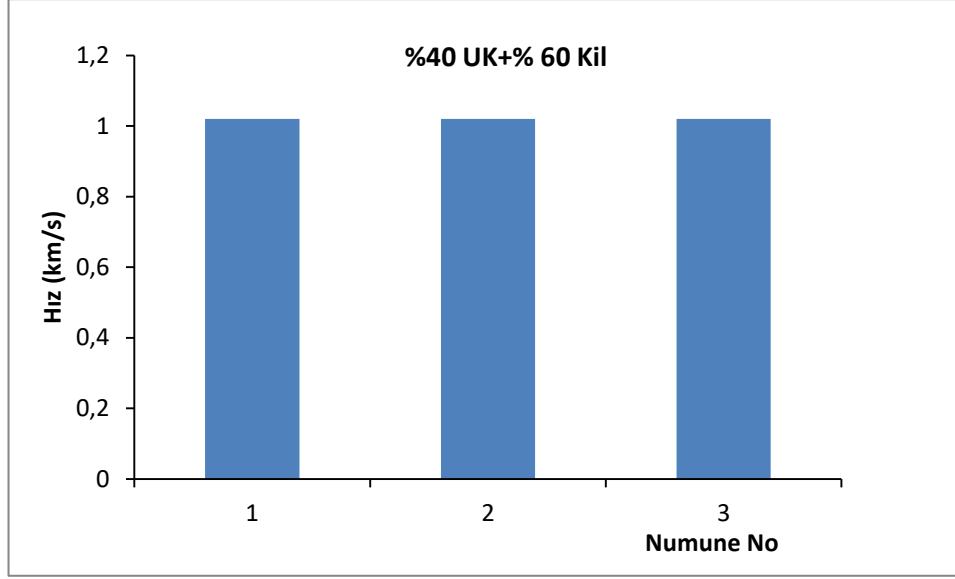
Şekil 4.8. Optimum su içeriğinde % 10 uçucu kül - % 90 kil karışımlı zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları



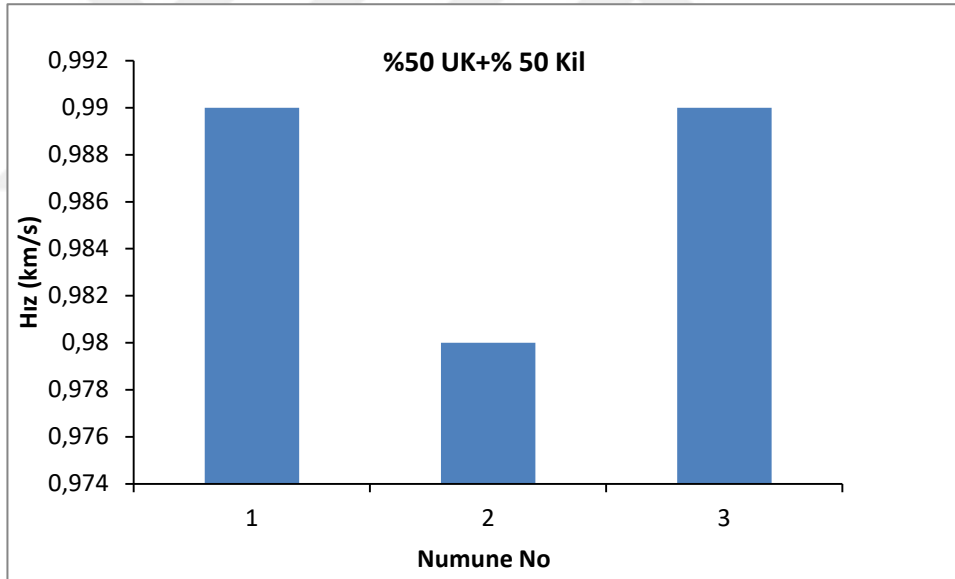
Şekil 4.9. Optimum su içeriğinde %20 uçucu kül - % 80 kil karışımlı zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları



Şekil 4.10. Optimum su içeriğinde % 30 uçucu kül - % 70 kil karışımlı zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları



Şekil 4.11. Optimum su içeriğinde % 40 uçucu kül - % 60 kil karışımlı zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları

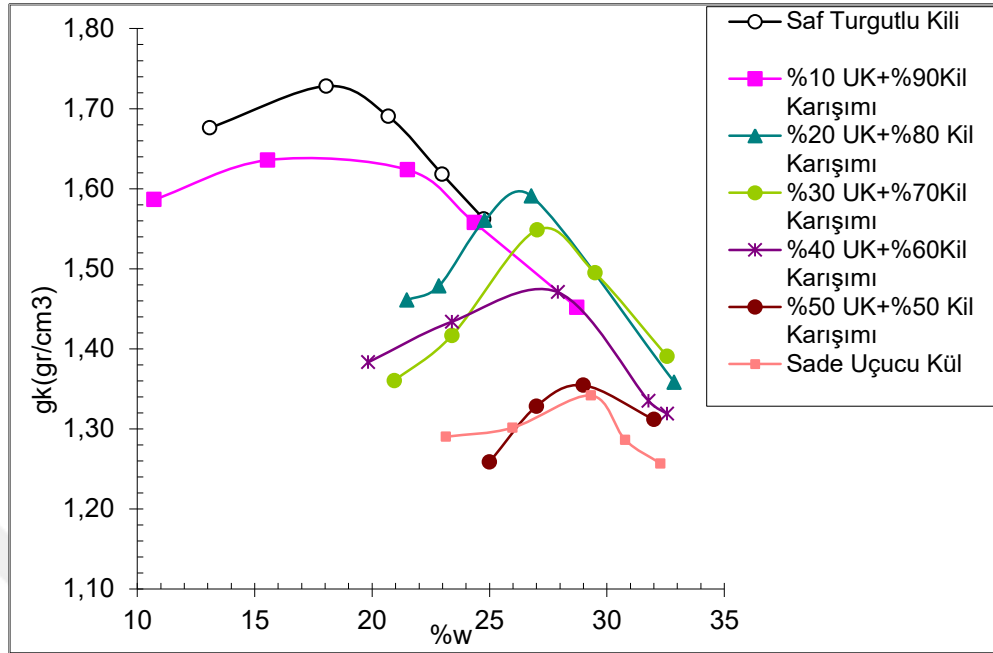


Şekil 4.12. Optimum su içeriğinde % 50 uçucu kül - % 50 kil karışımlı zemin ile standart proktor deneyinden çıkarılan numunelerin sıkıştırma yönünde p dalga hızları

4.2. Kompaksiyon Deney Sonuçları

Uçucu kil ilavesi artışıyla oluşturulan tuğlaların pişme sıcaklığına bağlı ağırlık kaybı artışlarının nedeni; uçucu külün plastik özellik göstermemesi ve hazırlanan uçucu kül-kil karışımından ham tuğla oluşturmak için gerekli optimum su içeriğinin artması olarak düşünülmektedir. Kompaksiyonda uçucu kül miktarı

artarken maksimum kuru birim ağırlık azalmakta, buna mukabil optimum su içeriği artmaktadır (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. Katkısız ve uçucu kül katkılu Turgutlu kili kompaksiyon grafikleri

4.3. Pişirme Sıcaklığının Tuğla Ağırlığı Üzerindeki Etkisi

Turgutlu Yöresi Killeri İle üretilen 6x8.5x18.5 boyutundaki tuğlalar Manisa Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Thermoterm marka fırında pişirilmiştir. Her bir seri numune pişirilmeden önce ham halde iken ve pişirildikten sonra oda sıcaklığında soğutulduktan sonra tartılarak her bir serinin ortalama ağırlık kaybı ölçülmüştür.

Özel olarak Turgutlu Kudret tuğla fabrikasına üretilen 6x8.5x18.5 c.m. boyutlarındaki tuğlalar Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü laboratuvarında bulunan Thermoterm marka fırında 5 saat sabit sıcaklıkta pişirilmiştir.



Şekil 4.14. Thermoterm marka pişirme fırını

Daha doğru sonuca ulaşabilmek için her sıcaklık derecesinde 3 adet numune pişirilmiştir. Her bir numunenin 0,001 gr hassasiyetindeki terazide pişirilmeden önceki ve sonraki ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra aşağıdaki formüle göre ortalama ağırlık kaybı hesaplanmıştır.

M_{ort} : Ortalama Ağırlık Kaybı

M_1 : 1 Numaralı tuğlanın ağırlık kaybı

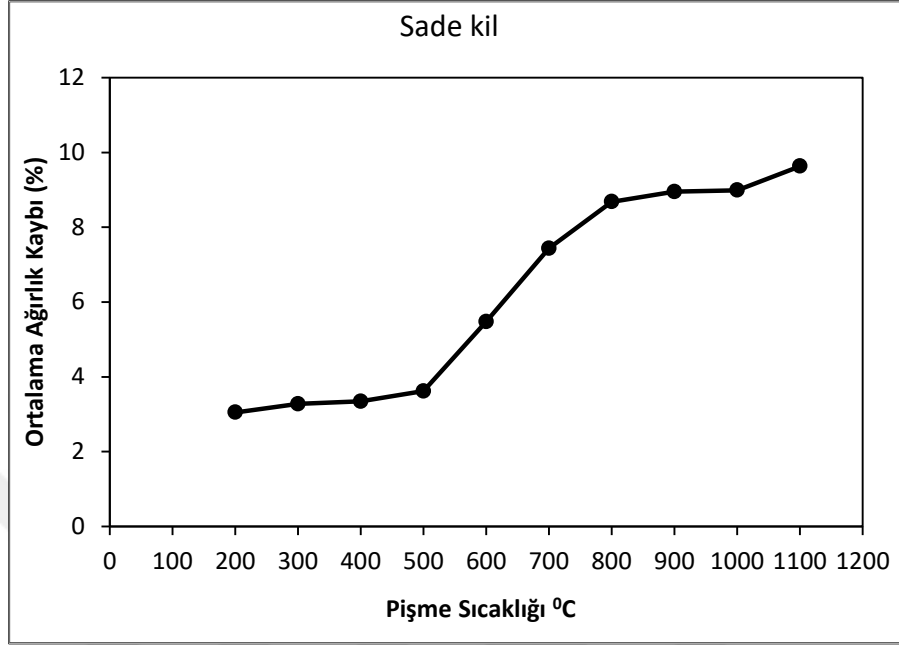
M_2 : 2 Numaralı tuğlanın ağırlık kaybı

M_3 : 3 Numaralı tuğlanın ağırlık kaybı

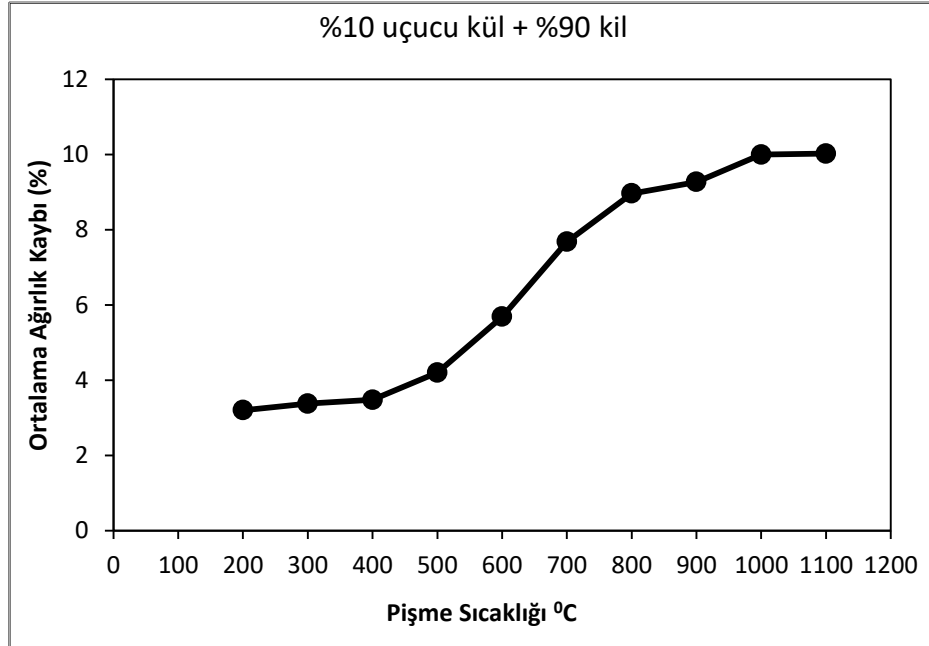
$$M_{ort} = (M_1 + M_2 + M_3) / 3$$

Her bir kil-uçucu kül karışımı ile oluşturulan tuğlalar seçilen her pişme sıcaklığında 3 adet numune olmak üzere her bir seri için 33 adet olmak üzere toplam 6x8,5x18,5 cm boyutlarında 198 adet tuğla pişirilmiştir. 500 °C sıcaklığa kadar pişirilen tuğlaların bünyesinde bulunan higroskopik ve absorbe su gibi tüm suları kaybettiği, organik maddelerin tamamen yandığı, buna bağlı olarak az da olsa ağırlık kaybına uğradığı gözlenmektedir. Kil-Uçucu kül karışımı zeminden oluşturulan tuğlalarda ise %30 uçucu kül karışımına kadar sade kil ile oluşturulan tuğlalara

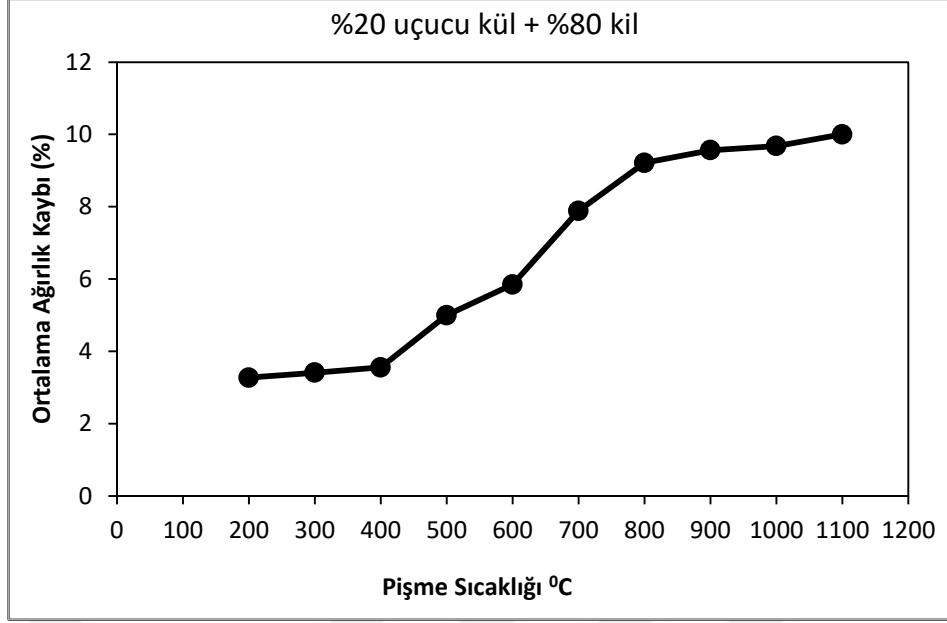
benzer davranış görülürken, uçucu kül miktarının artmasıyla pişme sıcaklığına bağlı tuğlalardaki ağırlık kaybı artma eğilimine girmektedir. Farklı uçucu kül oranları için pişirme sıcaklığı ağırlık kayıpları Şekil 4.15 – Şekil 4.21 verilmiştir.



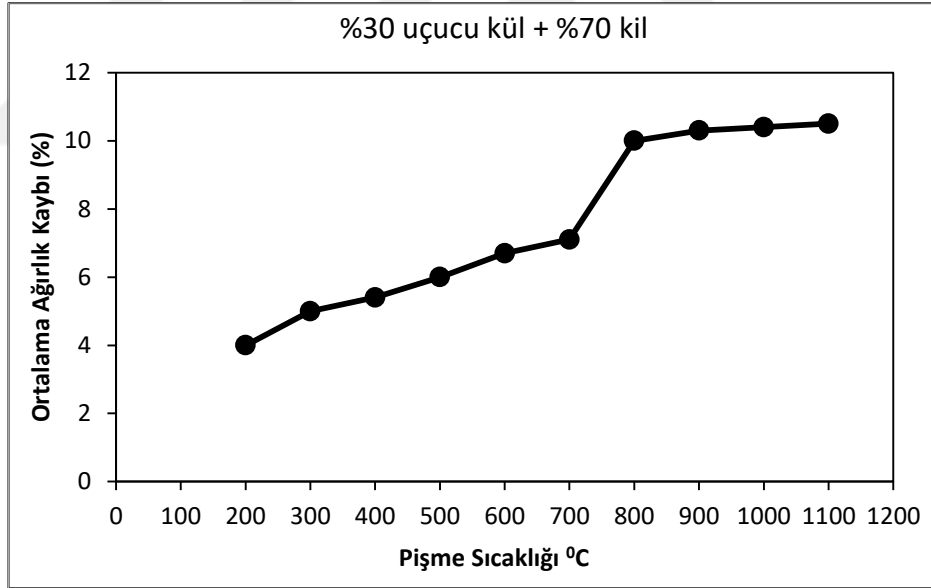
Şekil 4.15. Sade turgutlu kili ile imal edilen tuğlaların sıcaklık—ortalama ağırlık kaybı grafiği



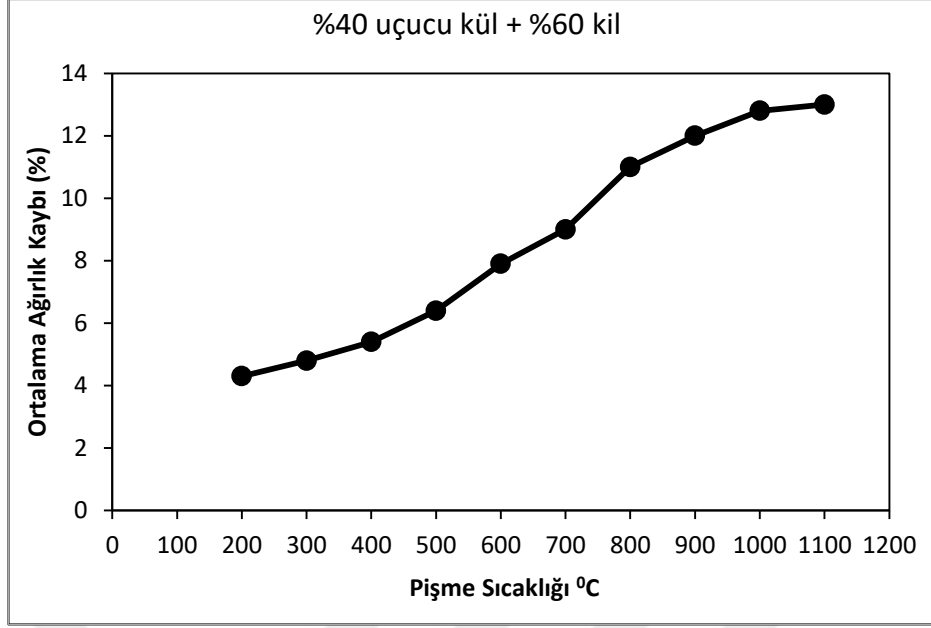
Şekil 4.16. %10 uçucu kül + % 90 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık-ortalama ağırlık kaybı grafiği



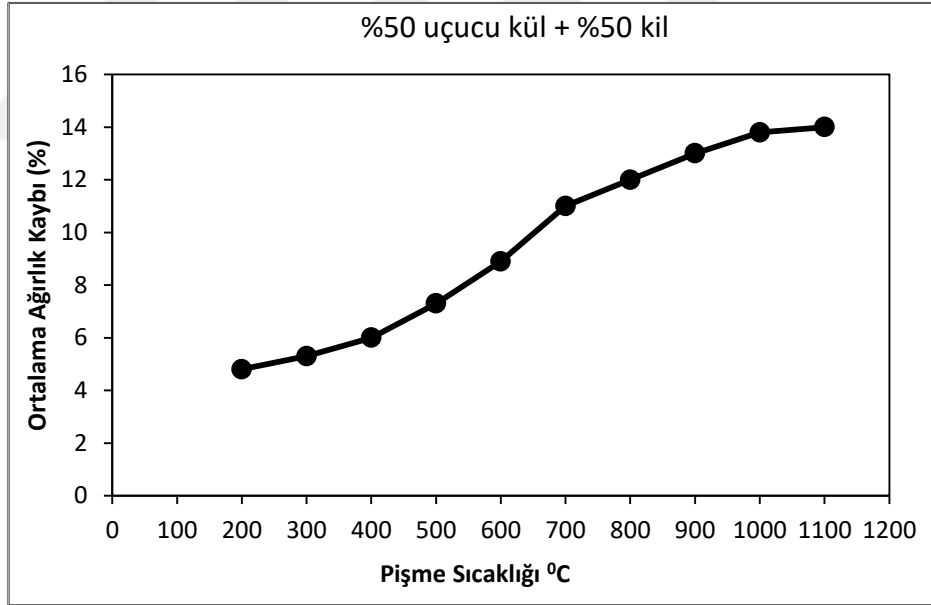
Şekil 4.17. %20 uçucu kül + % 80 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık - ortalama ağırlık kaybı grafiği



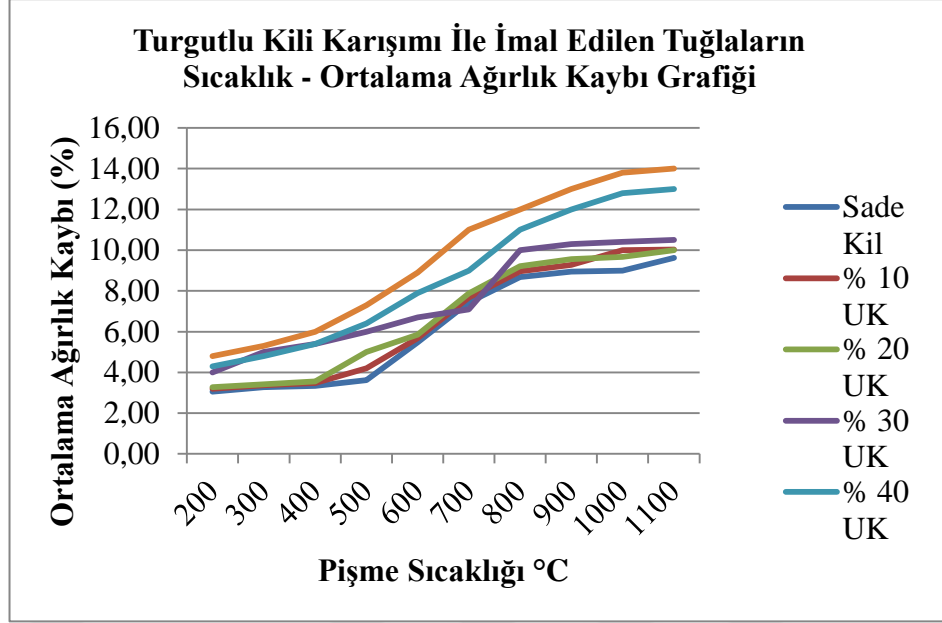
Şekil 4.18. %40 uçucu kül + %60 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık-ortalama ağırlık kaybı grafiği



Şekil 4.19. %40 uçucu kül + %60 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık—ortalama ağırlık kaybı grafiği



Şekil 4.20. %50 uçucu kül + %50 turgutlu kili karışımı ile imal edilen tuğlaların sıcaklık-ortalama ağırlık kaybı grafiği



Şekil 4.21. Katkısız ve uçucu kül katkılı sıcaklık-ortalama ağırlık kaybı oranlarının grafikleri

4.4.Turgutlu Yöresi Killeri İle Üretilen 6x8,5x18,5 Boyutundaki Tuğlaların Pişme Sıcaklığına Bağlı Olarak Dayanım Özellikleri

Turgutlu Kudret tuğla fabrikasına üretilen 6x8.5x18.5 cm boyutlarındaki tuğlalar Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan 200 tonluk YKM marka beton basınç test makinası ile teste tabi tutulmuştur (Şekil 4.22.). Test sonucunda hesaplanan dayanım deneyleri MPa cinsinden bulunmuştur (Tablo 4.1.).

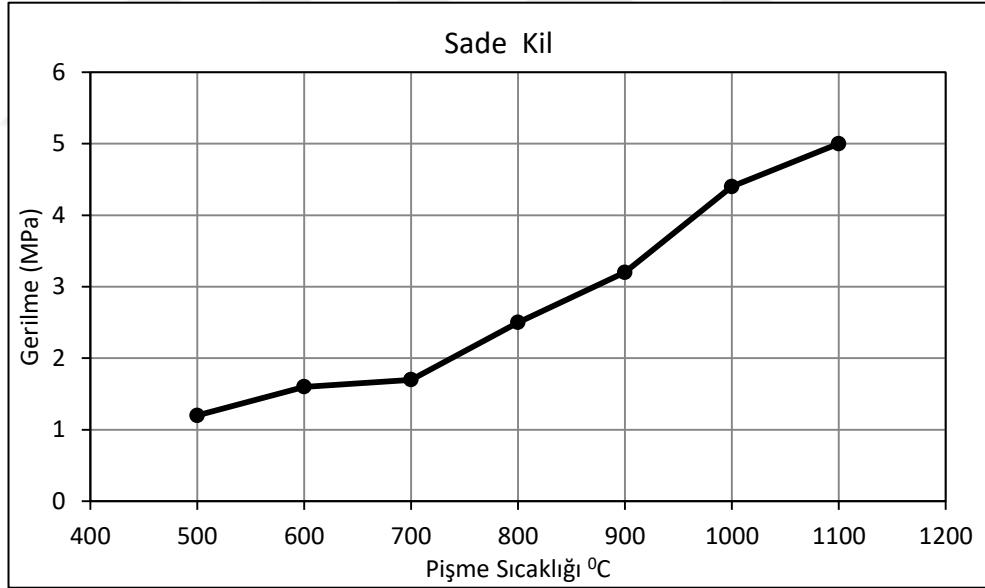


Şekil 4.22. Basınç test cihazı

Tablo 4.1. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların sıcaklık-gerilme değerleri

Dayanım (mPa)	Sıcaklık (°C)	Sade Kil	%10UK +%90 Kil	%20UK +%80 Kil	%30UK +%70 Kil	%40 UK +%60 Kil	%50 UK +%50 Kil
	500	1,21	1,22	0,99	0,87	0,81	0,73
600	1,63	1,58	1,53	1,24	1,07	0,89	
700	1,72	2,06	1,94	2,08	1,51	1,22	
800	2,5	2,52	2,42	2,33	2,11	1,99	
900	3,2	3,19	3,04	2,74	2,43	2,34	
1000	4,4	4,4	4,16	3,57	3,24	2,98	
1100	5,24	5,05	4,77	4,50	3,84	3,27	

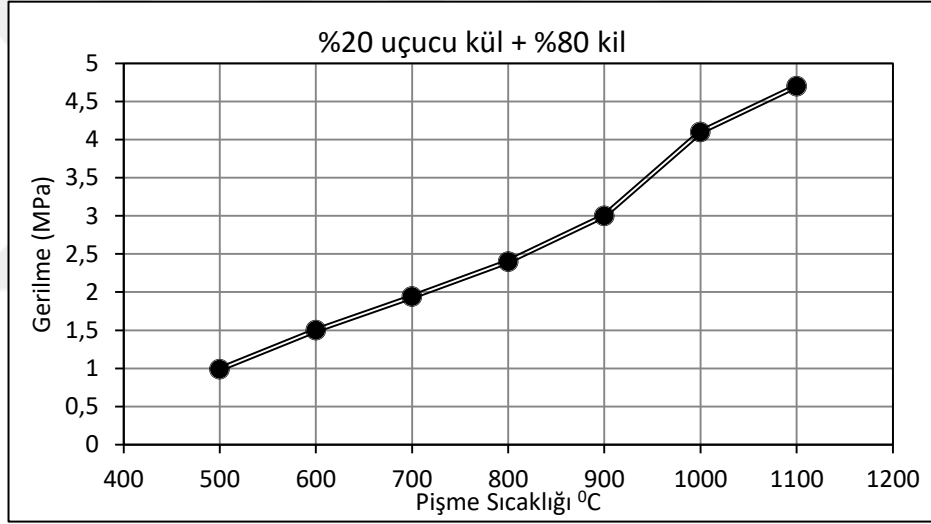
Her seri numune için pişirme sıcaklığı arttıkça dayanımda artmasına rağmen, uçucu kül içeriğinin artışına bağlı olarak dayanım sade tuğla kiline nazaran azalmaktadır. Bunun sebebinin Uçucu kül oranındaki artıştan dolayı ham tuğlada bağlayıcılık görevi yapan kil oranının yetersizliği ve bunun neticesi olarak dayanımın düşmesidir (Şekil 4.23 - Şekil 4.29).



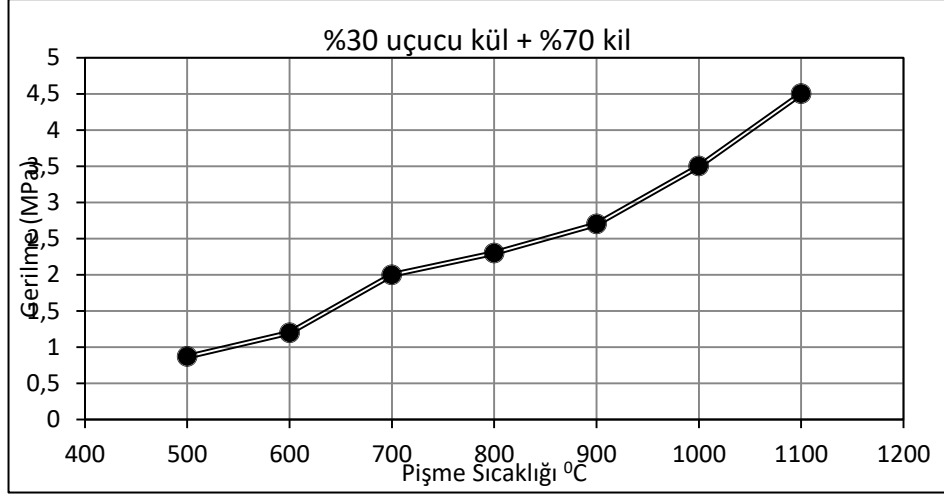
Şekil 4.23. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı



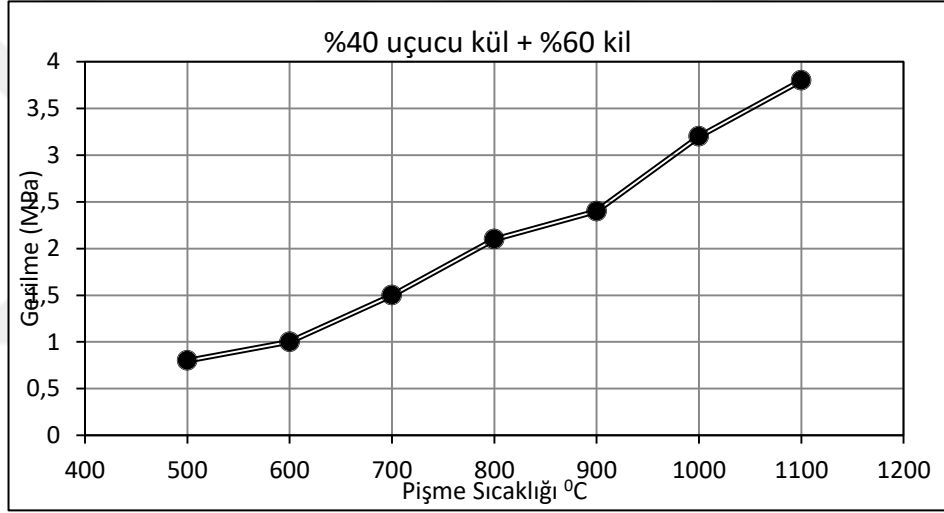
Şekil 4.24. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı



Şekil 4.25. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı



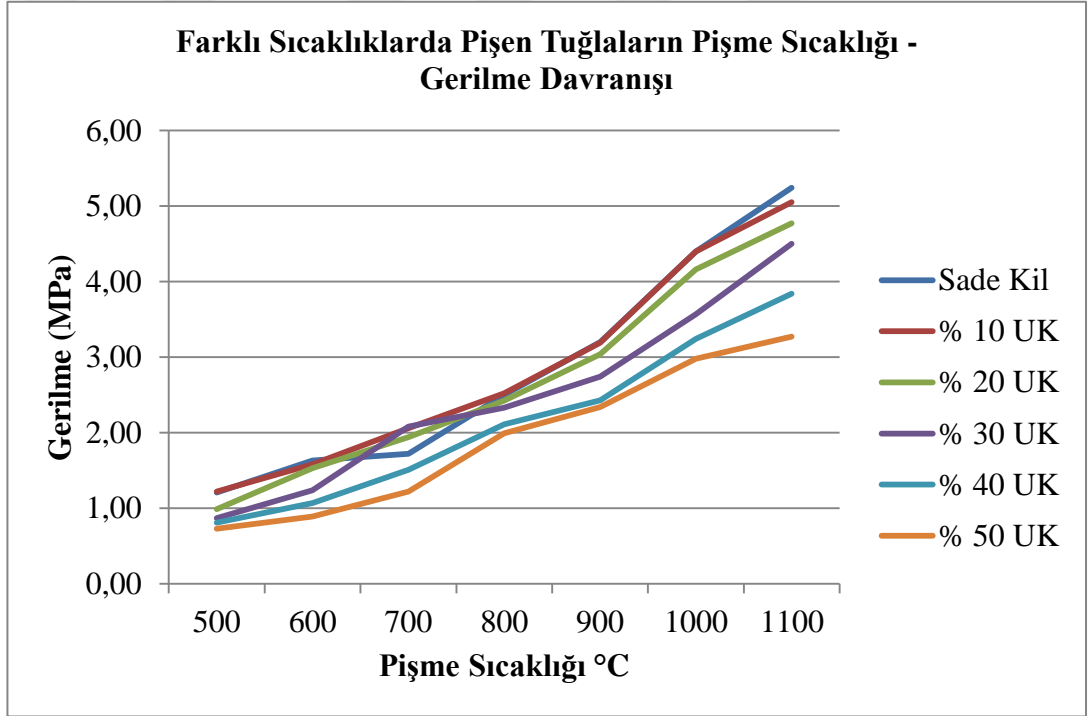
Şekil 4.26. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı



Şekil 4.27. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı



Şekil 4.28. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı



Şekil 4.29. Katkısız ve farklı oranlardaki uçucu külün farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların pişme sıcaklığı-gerilme davranışı

Fakat 500⁰C' ye kadar pişirilen uçucu kül katkılı ve sade kilden üretilen tuğlalar su ile ıslatıldıklarında tamamen çözüldüğünden dayanım deneylerine tabi tutulmamışlardır (Şekil 4.30.).



Şekil 4.30. 500 c⁰de pişmiş tuğla numuneleri

1200 ⁰C' de pişen tuğla numuneleri ise tamamen ergiyip şekil bozuklukları oluştuğundan dayanımı ölçülememiş ve dayanım değerleri tabloda verilememiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. 1200 C⁰ de pişmiş tuğla numuneleri

4.5. Beton Test Presinde Kırılan Tuğla Numunelerinin Kırılma Şekilleri

Pişme sıcaklığına bağlı olarak basınç altındaki tuğlaların kırılma şekillerinde de farklılıklar görülmüştür. Kırılma şekilleri da 600 °C' ye kadar olan tuğlalarda yenilme basınç yönünde çatlama ve ezilme şeklinde olurken, da 600 °C den sonra camsı kırılmaya benzer şekiller görülmüştür (Şekil 4.32 – Şekil 4.35.).



Şekil 4.32. Beton test basıncında kırılmış tuğla numunesi



Şekil 4.33. Beton test basıncında kırılmış tuğla numunesi



Şekil 4.34. Beton test basıncında kırılmış tuğla numunesi



Şekil 4.35. Beton test basıncında kırılmış tuğla numunesi

Pişme sıcaklığı 600°C ve daha yüksek sıcaklıklarda üretilmiş bazı tuğlaların dayanım testinden sonraki kırılma şekilleri ile pişme sıcaklığı arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Düşük sıcaklıklarda pişen numuneler gövdelerinde oluşan bir çatlakla mukavemetlerini kaybederken, yüksek sıcaklıklarda pişen

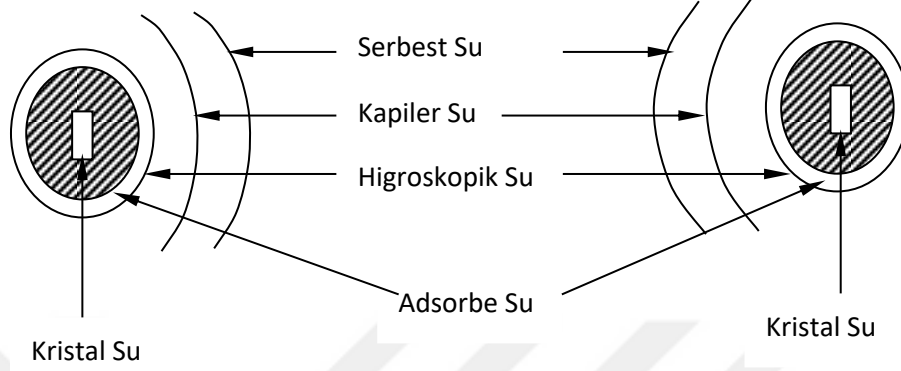
numuneler parçalara ayrılmışlardır. Bu olayın sebebi yüksek sıcaklıkta pişen tuğla numunesinin içindeki minerallerin eriyip tuğla numunesine yüksek mukavemet kazandırmasıdır. Aynı zamanda yüksek sıcaklık tuğlaya camsı bir kıvam vermekte, bunun sonucunda da numuneler basınç altında cam gibi parçalara ayrılmaktadır (Şekil 4.36.).



Şekil 4.36. Farklı sıcaklıklarda pişen tuğlaların basınç dayanımından sonraki görüntüleri (soldan sağa ve yukarıdan aşağıya pişme sıcaklığı artmaktadır)

5. TARTIŞMA

İnce taneli zeminlerde özellikle kil taneleri etrafında serbest, kapiler (kılcal), higroskopik, adsorbe (katı) ve kristal su olmak üzere zeminlerin mühendislik özelliklerini etkileyen, beş çeşit su bulunabilir (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Zemin suyu çeşitleri [32]

Bu sulardan serbest su yer çekimi etkisi ile taneler arasında serbestçe akabilen ve drenaj ile zeminden uzaklaştırılabilen sudur. Havada kurutma ile kaybedilebilen, taneler arasındaki boşluklarda yüzey gerilimi kuvvetlerinin etkisi ile yükselen su ise, kapiler su olarak isimlendirilmektedir. Tanelerin etrafında adsorbe sudan daha az bir kuvvetle tutulan ve havada kuruma sonucunda zeminden uzaklaştırılmayıp ancak fırında $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de kurutma ile kaybedilebilen su da higroskopik su olarak adlandırılmaktadır. Adsorbe su ise, zemin tanelerin etrafını kalınlığı yaklaşık 0,005 mikron ince bir film gibi saran ve $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de kurutma ile kaybedilemeyen sudur. Tanelerin kristal ağında bulunan ve o taneleri oluşturan minerallerin kimyasal formüllerinin bir parçası olan su da kristal su olarak tanımlanmaktadır.

500 $^\circ\text{C}$ sıcaklığa kadar pişirilen tuğlaların bünyesinde bulunan higroskopik ve adsorbe su gibi tüm suları kaybettiği, organik maddelerin tamamen yandığı, buna bağlı olarak az da olsa ağırlık kaybına uğradığı gözlenmektedir. 500-800 $^\circ\text{C}$ aralığında killi zeminin mineral yapısında büyük değişiklikler meydana geldiği, organik maddelerin tamamen yandığı, molekül suyunun bileşimi terk ederek karışımın silis ve alümin haline dönüştüğü, silis ve alümin de artan sıcaklıklarda tekrar birleşerek metakaolin silikatına ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) dönüştüğü ve bunun sonucu

olarak büyük ağırlık kayıplarının yaşandığı ve açık kırmızıdan kahverengiye renk değişimi yaşandığı görülmektedir. 800-1000 °C aralığında belirgin bir ağırlık kaybı oluşmamaktadır. Özellikle 1000⁰C ve daha yüksek sıcaklıklarda pişen tuğlaların içerisinde bulunan Si, Al, Mg, Ca vb. oksitlerin ergiyerek form değiştirdiği ve camsı bir özellik kazandığı düşünülmektedir.

1000 °C den daha yüksek sıcaklıklardaki ağırlık kaybının ise ya numunenin tamamen eriyerek bünyesinde bulunan bazı minerallerin buharlaşmasından ya da erime sonucu numune camsı bir doku kazandığından, boşluk oranı daha da azalarak fırından çıkarıldıktan tartılınca kadarki sürede havadaki nemi bünyesine alamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Her seri numune için pişirme sıcaklığı arttıkça dayanımda artmasına rağmen, uçucu kül içeriğinin artışına bağlı olarak dayanım sade tuğla kiline nazaran azalmaktadır. Bunun sebebinin uçucu kül oranındaki artıştan dolayı ham tuğlada bağlayıcılık görevi yapan kil oranının yetersizliği ve bunun neticesi olarak dayanımın düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sıcaklık—ortalama ağırlık kaybı grafiklerinde 200–500 ⁰C’de daha yüksek bir ağırlık kaybı olurken 500–800 ⁰C’de eğim azalmış fakat 800–1100 ⁰C’de eğim tekrar artmıştır. 800-1000 °C aralığında pişirilen malzeme artık sert, şeklini değiştirmeyen, belirli bir mukavemeti ve rengi olan tuğladır. Bu durumun numunenin içerdiği minerallerin erime noktalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Uçucu kül içeriği arttıkça standart proktor numunelerinde ölçülen P dalga hızında da önemli azalma görülmüştür. Yine bu sonucun kuru birim ağırlığının (γ_{kmax}) düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Tuğla ve kiremit yapımında kullanılan Turgutlu killерinin dane boyu dağılımı için elek ve hidrometre analizi yapılmış ve sonuçlardan kil ve silt oranının % 71 olduğu görülmüştür. Turgutlu killерinden alınan numuneler üzerinde katkısız ve uçucu kül katkılı tuğla imali yapılarak kül katkısının tuğla dayanımına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada uçucu kül katkısı ağırlık olarak %10, %20, %30, %40 ve %50 seçilmiştir.

Turgutlu Kudret tuğla fabrikasına üretilen 6x8.5x18.5 cm boyutlarındaki tuğlalar Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan 200 tonluk YKM marka beton pres test makinası ile teste tabi tutulmuştur. Test sonucunda hesaplanan dayanım deneyleri MPa cinsinden bulunmuştur.

Uçucu kül içeriği arttıkça kuru birim ağırlıkta (γ_{kmaks}) azalmaktadır. P dalga hızı ölçüm sonuçları optimum su içeriğinde sıkıştırılan numunelerin, sıkıştırma yönüne dik P dalga hızları ile sıkıştırma yönündeki P dalga hızları arasında mantıksal bir ilişki bulunamamıştır. Fakat uçucu kül içeriği arttıkça hem sıkıştırma yönüne dik, hem de paralel yönde P dalga hızında önemli azalma görülmüştür. Her bir kil-uçucu kül karışımı ile oluşturulan tuğlalar seçilen her pişme sıcaklığında 3 adet numune olmak üzere her bir seri için 33 adet olmak üzere toplam 6x8,5x18,5 cm boyutlarında 198 adet tuğla pişirilmiştir. Kil-Uçucu kül karışımı zeminden oluşturulan tuğlalarda ise %30 uçucu kül karışımına kadar sade kil ile oluşturulan tuğlalara benzer davranış görülürken, uçucu kül miktarının artmasıyla pişme sıcaklığına bağlı tuğlalardaki ağırlık kaybı artma eğilimine girmektedir. Turgutlu Kudret tuğla fabrikasına üretilen 6x8.5x18.5 cm boyutlarındaki tuğlalar Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan 200 tonluk YKM marka beton basınç test makinası ile teste tabi tutulmuştur. Her seri numune için pişirme sıcaklığı arttıkça dayanım da artmasına rağmen, uçucu kül içeriğinin artışına bağlı olarak dayanım sade tuğla kiline nazaran azalmaktadır. Bunun sebebinin uçucu kül oranındaki artıştan dolayı ham tuğlada bağlayıcılık görevi yapan kil oranının yetersizliği ve bunun neticesi olarak dayanımın düşmesidir.

Pişme sıcaklığına bağlı olarak basınç altındaki tuğlaların kırılma şekillerinde de farklılıklar görülmüştür. Kırılma şekilleri da 600 °C' ye kadar olan tuğlalarda yenilme basınç yönünde çatlama ve ezilme şeklinde olurken, da 600 °C den sonra camsı kırılmaya benzer şekiller görülmüştür. Pişme sıcaklığı 600 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda üretilmiş bazı tuğlaların dayanım testinden sonraki kırılma şekilleri ile pişme sıcaklığı arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Düşük sıcaklıklarda pişen numuneler gövdelerinde oluşan bir çatlakla mukavemetlerini kaybederken, yüksek sıcaklıklarda pişen numuneler parçalara ayrılmışlardır. Bu olayın sebebi yüksek sıcaklıkta pişen tuğla numunesinin içindeki minerallerin eriyip tuğla numunesine yüksek mukavemet kazandırmasıdır. Aynı zamanda yüksek sıcaklık tuğlaya camsı bir kıvam vermekte, bunun sonucunda da numuneler basınç altında cam gibi parçalara ayrılmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan Tuğla ve kiremit yapımında kullanılan Kuvaterner yaşlı genç alüvyondan alınan killi zemin numuneleri ile Soma termik santralinden alınan uçucu külün belirli yüzdelerle oluşturulan karışım sonrası yapılan limit deneyleri kompaksiyon deneyi ve ultrasonik cihazla ses ölçümü sonrasında elde edilen veriler ve beton test presinde kırılan tuğla numunelerinin kırılma şekilleri bizlere Kil-Uçucu Kül karışımı zeminden oluşturulan tuğlalarda %30 a kadar uçucu kül karışımına kadar sade kil ile oluşturulan tuğlalara benzer davranış gösterirken, uçucu kül miktarının artmasıyla pişme sıcaklığına bağlı tuğlalardaki ağırlık kaybı artma ve mukavemetin azalması eğilimine girmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Görçiz, G., Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi. Tuğla ve Kiremit Endüstrisi. 2000, 9, 11-14.
- [2] Görçiz, G., 2000'li Yıllarda Sağlıklı ve Güvenli Konutlar İçin Tuğla-Kiremit Paneli. Tuğla ve Kiremit Endüstrisi.2000, 9, 1-2.
- [3] Kılınç, E., Aksa, Y., Akar, A., Kaya, E., Yaşar, E. 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir-Menderes Yöresi Asidik Pomzanın Tuğla Olarak Değerlendirilmesi, 2004, İzmir.
- [4] Türker, P., Erdoğan, B., Katnaç, F. ve Yeğınobalı, A. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri; TÇMB/ ARGE/ YO3.O3, Ağustos 2004, Ankara.
- [5] Terzaghi, K., Peck, R. B., 1967.Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York 407 pp.
- [6] Benson, C.H., Othman, A.M., Hydraulic conductivity of compacted clay frozen in situ. J. Geotech. Engng., ASCE, 119(2), 276-294, 1993.
- [7] Stewart, D.I, Cousens, T.W.,Studds, P.G., veTay, Y.Y., Design parameter for bentonite enhanced sand as a landfill liner. Proc. Instn. Civil Engng., October, 137, 189-195, 1999.
- [8] Villar, M.V., Rivas, P., Hydraulic properties of montmorillonite-quartz and saponite-quartz mixtures. Applied Clay Science, 9, 1-9, 1994.
- [9] Ünal, O.,Uygunoğlu, T., Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı Ed: M. Erdiñ BİLİR, Kebire KEL, Erdoğan KAYMAKÇI, ÖNKA Matbaacılık Kağıt Ürünleri İmalat San. Ltd. Şti, Zonguldak, Türkiye, 2004, 104.
- [10] Aruntaş, H., Y.,Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyelleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 2006, Cilt: 21, No: 1, s: 193-203.
- [11] Tokyay, M., Betonda Uçucu Kül Kullanımı. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, 18-19 Kasım 1993, Ankara.
- [12] Türker, P.,Erdoğan,B., Katnaş, F. AndYeğınobalı, A.Türkiyedeki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri. 2009 TÇMB/AR-GE/Y03/03,Ankara.
- [13] Hewlett, P.C. Lea'sChemistry of CementandConcrete, Fourth Edition, Arnold,1998. 5. ACI Committee226 : Use of FlyAsh in Concrete, ACI MaterialsJournal, C.84, No.5, 1987, 381-409 s.
- [14] Öztürk, A. Ç., Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2001, 38-43 s..(Doktora Tezi)
- [15] Erdoğan, T.Y., Beton, METU Press Publishing Company, 2003, Ankara.
- [16] Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A., "Türkiyede Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri", TÇMB, 2003, Ankara.
- [17] Güzel, G.A.,Pomza Katkılı Tuğla Üretimi Ve Bu Tuğlaların Mekanik Ve Boşluk Oranlarının İncelenmesi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003, 237s. (Doktora Tezi)
- [18] Türker, P., Erdoğan, B., Katnaç, F. ve Yeğınobalı, A. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri; TÇMB/ ARGE/ YO3.O3, Ağustos 2004, Ankara.
- [18] Özçelik, N., İnşaat Bilgisi. İstanbul Üniv. Orman Fak., İstanbul, Türkiye, 1975, 211.
- [20] Öneş, A., İnşaat Malzeme Bilgisi. Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları:1094, Ankara, Türkiye, 1988, 315 s.
- [21] Tokyay, M., Çetin, B. "Preslenmiş Buhar Kürü Uygulanmış Uçucu Kül-Kireç Tuğlaların Dayanım ve Su Emme Özellikleri", Teknik Dergi, TMMOB İnş. Müh. Odası Yayım, 1991, 2, 385-394.

- [22] Dönmez, S., 1993. Yapı Bilgisi 3. (Çeviri) Yüksek Öğretim Kurulu Yayını, Ankara, 1993, 149-173 s.
- [23] Ekmekyapar, T.,Örüng, I.,İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Ders Yayınları, 1993, 145, 22-36.
- [24] Söylemez, M.,Demir, A.,Onar, A.F.,Pişme Sıcaklığının Tuğlanın Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkileri, CBÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2011,7, 71-80.
- [25] Köktürk, U.,Endüstriyel Hammaddeler, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2002, 250-255.
- [26] Yüksel, A.N., Şişman, C.B., Tarımsal İnşaat. Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fak. Genel Yayın No:278, Tekirdağ, 2003, 36 s.
- [27] Kızılgut,S., Çuhadaroğlu, D., Çolak, K., Çatalağzı Termik Santral Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS, 2001, ISBN 975-395-416-6.
- [28] Yanık, G., Uz, B., ve Esenli, F., Turgutlu (Manisa) yöresi Neojen çökellerinin jeolojisiİtü dergisi/d, 2006, 5, 49-58.
- [29] Köseoğlu,K.,Bayça, U.S., Çiçek,T. 2008 Tuğla Atığının Tuğla Üretiminde Değerlendirilmesi, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu, Teknik Bilimler Dergisi, c1, v9.
- [30] Erşan, H., Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996, 75 s.(Yüksek Lisans Tezi).
- [31] ASTM. 1993 d., Standard test methodforliquid limit, plastic limit, andplasticityindex of soils (D4318-84). In 1993 AnnualBook of ASTM Standards, Vol. 04.08. AmericanSocietyforTestingandMaterials (ASTM), Philadelphia, Pa. pp. 682–692.
- [32] Head,K.H., “Manual of SoilLaboratoryTesting: SoilClassificationandCompactionTests” John Wiley& Son Ltd, (1992).

Ek 1. Likit Limit Deneyi Sonuç Tablosu

	LİKİT LİMİT DENEYİ			
	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4
Kap No	2	51	53	7
Kap Ağırlığı	32,22	35,83	34,23	29,90
Kap + Yaş Numune	47,18	57,21	60,80	56,43
Kap + Kuru Numune	44,07	52,57	54,83	50,36
Kuru Numune Ağırlığı	11,85	16,74	20,60	20,46
Su Ağırlığı	3,11	4,64	5,97	6,07
Su Muhtevası	26,0	27,70	29,00	29,60
Vuruş Adeti	46	32	24	21

Ek 2 Plastik Limit Deney Sonuçları

	PLASTİK LİMİT	
	Deney 1	Deney 2
Kap No	8	9
Kap Ağırlığı	16,04	14,71
Kap + Yaş Numune	21,62	18,36
Kap + Kuru Numune	20,60	17,70
Kuru Numune Ağırlığı	4,56	2,99
Su Ağırlığı	1,02	0,66
Su Muhtevası	22,40	22,00

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdulaziz YILDIRIM

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1989

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : a.azizyildirim@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Konak 50. Yıl Lisesi, 2003

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2007

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü 2011

Mesleki Deneyim

Firma Bilgisi :Tüzemenler Yapı Grubu Met. Tur. San. Tic. Ltd. Şti. 2011-Halen