ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UÇUCU KÜL KULLANILARAK HAZIRLANAN BETON KARIŞIMLARIN BASINÇ DAYANIMININ İNCELENMESİ

Houssem SAID WABERI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2022

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Housseın SAID WABERI tarafından hazırlanan **"Uçucu Kül Kullanılarak Hazırlanan Beton Karışımların Basınç Dayanımının İncelenmesi"** adlı tez çalışması 02/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Dr. Öğr. Üyesi Başak Varli BİNGÖL

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Dr. Öğr. Üyesi Başak Varli BİNGÖL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Vesile Hatun AKANSEL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "**Uçucu Kül Kullanılarak Hazırlanan Beton Karışımların Basınç Dayanımının İncelenmesi**" konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı" ile tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (02/08/2022).

Houssein SAID WABERI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UÇUCU KÜL KULLANILARAK HAZIRLANAN BETON KARIŞIMLARIN BASINÇ DAYANIMININ İNCELENMESİ

Houssein SAID WABERI

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Başak Varli BİNGÖL

Uçucu kül, doğru kullanıldığında ve betonun bileşen malzemesi olarak kullanıldığında değerli ve kullanışlı bir ürüne dönüşebilir. Uçucu kül, puzolanik özelliklerinden dolayı beton yapılarda kullanıldığında betona önemli faydalar sağlar.Bu çalışmanın amacı, uçucu külün kimyasal bileşiminin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemektir. Uçucu kül ile kısmi çimento ikamesi kullanılan 12 beton numunesinin basınç dayanımı testlerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu modeller, uçucu külün görünen bileşiminin bir fonksiyonu olarak betonun basınç dayanımını tahmin etmek için 6 numunesi saf betondan oluşan bir referans modelle karşılaştırıldı. bu çalışmada aynı oranlarda çimento, kum ve su kullanılarak beton numuneleri oluşturulmuştur. Uçucu kül içeren beton numuneleri, 1 m^3 betona farklı oranlarda %10, %20 uçucu kül eklenerek oluşturulmuştur, Uçucu kül içermeyen beton numunesi ile uçucu kül içeren beton numunelerine 3, 7 gün ve 28 gün kürleme işlemi uygulandı. Deney sonuçlarına göre, uçucu kül miktarının artışı ile birlikte beton numunelerinin basınç dayanımı artmış.

2022, 59 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Uçucu kül, Beton, Deney, Basınç dayanımı

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE MIXTURES PREPARED USING FLY ASH

Housseın SAID WABERI

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Başak Varli BİNGÖL

Fly ash can turn into a valuable and useful product when used correctly and used as a component material of concrete. Fly ash provides significant benefits to concrete when used in concrete structures due to its pozzolanic properties. The aim of this study is to examine the effect of the chemical composition of fly ash on the compressive strength of concrete. The results obtained from the compressive strength tests of 12 concrete samples using partial cement replacement with fly ash are given. These models were compared with a reference model consisting of 6 samples of pure concrete to estimate the compressive strength of concrete as a function of the apparent composition of fly ash. In this study, concrete samples were created using the same proportions of cement, sand and water. Concrete samples containing fly ash were created by adding 10% and 20% fly ash to 1 m^3 of concrete at different rates. Curing processes were applied for 3, 7 days and 28 days for the concrete sample without fly ash and concrete samples containing fly ash. According to the test results, the compressive strength of the concrete samples increased with the increase in the amount of fly ash.

2022, 59 pages

Keywords: Fly ash, Concrete, Test, Compressive strength

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Uçucu Kül Kullanılarak Hazırlanan Beton Karışımların Basınç Dayanımının İncelenmesi” adlı bu çalışma, 2021-2022 yılları arasında hazırlanarak, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne “Yüksek Lisans Tezi” olarak sunulmuştur.

Öncelikle, tez danışmanı olarak çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan değerli danışman hocam. Dr. Öğr. Üyesi Başak Varli BİNGÖL’e şükranlarımı surmayı bir borç bilirim.

BULUTSAN Çimento Fabrikası’nın (Çankırı) tüm çalışanlarına bana laboratuvar deneylerini gerçekleştirme konusunda olağanüstü bir fırsat verdikleri için özellikle teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak aileme sabırları, güvenleri ve destekleri için teşekkür ederim.

Houssein SAID WABERI
Çankırı, Ağustos 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **vi**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **ix**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ÖZETİ **4**
3. GENEL BİLGİLER **7**
3.1 Genel **7**
3.2 Betona Genel Bakış **7**
3.3 Çimento **8**
3.3.1 Çimentonun bileşimi **8**
3.3.2 Çimentonun hidratasyona etkisi **9**
3.3.3 Çimento karbon ayak izi **12**
3.4 Agrega Özellikleri **13**
3.5 Uçucu Kül **17**
3.5.1 Uçucu kül genel bilgiler **17**
3.5.2 Uçucu külerin fiziksel özellikleri **19**
3.5.3 Uçucu külerin kimyasal ve minerolojik özellikleri **19**
3.6 Kimyasal Katkı **22**
4. MATERYAL VE YÖNTEM **23**
4.1 Elek Analizi Deneyi **23**
4.2 Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorpsiyonu) Deneyi **26**
4.2.1 Kaba ve orta agregalar için özgül ağırlığı absorbsiyonu deneyı. **27**
4.2.2 İnce agregalar için özgül ağırlığı absorbsiyonu deneyı. **29**
4.3 Metilen Mavisi Deneyi **29**
4.4 Beton Üretimi **32**

4.5 Beton Numuneleri Üzerinde Sıkıştırma Testleri 34
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 36
5.1 Elek Analizi Deneyi Sonuçları 36
5.2 Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorpsiyonu) Deneyi Sonuçları 39
5.3 Metilen Mavisi Deneyi Sonuçları 41
5.4 Beton Numuneleri Üzerinde Sıkıştırma Testleri Sonuçları 42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 55
KAYNAKLAR 56
ÖZGEÇMİŞ 59

SİMGELER DİZİNİ

cm	Santimetre
cm^2	Santimetre kare
°C	Santigrat derece
g	Gram
kg	Kilogram
g/ cm^2	Gram/ Santimetre kare
kg/dm^3	Kilogram/desimetre küp
m^3	Metre küp
mg/m^3	Mega gram/metre küp
mL	Mililitre
mm	Milimetre
mm^2	Milimetre kare
vd	ve diğerleri
WA24	24 Saatteki su emme oranı
µm	Mikrometre
%	Yüzde

KISALTMALAR DİZİNİ

EPS	Expande Polistren
OPC	Sıradan Portland Çimentosu (İngilizce: Ordinary Portland Cement)
SCM	Tamamlayıcı Çimentolu Malzemeler (İngilizce: Supplementary Cementitious Material)
TS	Türk Standarları
UK	Uçucu Kül
UK 1	% 10 Uçucu Kül
UK 2	% 20 Uçucu Kül

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Laboratuvarda yapılan beton karışımı örneği. 8
Şekil 3.2 Betonda kullanılan agrega 15
Şekil 3.3 Laboratuvarda kullanılan kum 16
Şekil 3.4 Laboratuvarda kullanılan kaba agregalar 16
Şekil 3.5 Laboratuvarda kullanılan orta agregalar 17
Şekil 3.6 Sıvı kimyasal katkı. 22
Şekil 4.1 Elek analizi için elekler ve kullanım esasları (Aydın 2020) 24
Şekil 4.2 Kum eleme örneği 0/4 25
Şekil 4.3 Çakıl eleme örneği 4/12 25
Şekil 4.4 Çakıl eleme örneği 12/25 26
Şekil 4.5 Doygun kuru yüzey ağırlık tayini (DKY) 28
Şekil 4.6 Kap ile numunelerin su içinde tartılması. 28
Şekil 4.7 İnce agrgalar doygun kuru yüzey ağırlık tayini 29
Şekil 4.8 Elek ile kum eleme. 31
Şekil 4.9 Metilen mavisi deneyinin uygulanışı 31
Şekil 4.10 Beton mikser ile beton karıştırılması 33
Şekil 4.11 Beton numuneleri örneği 34
Şekil 4.12 Havuzdan çıktıktan sonra beton numuneleri 35
Şekil 4.13 Basınç dayanımı ölçümünde kullanılan cihaz ve basınç testi 35
Şekil 5.1 Kumun parçacık boyutu eğrisi. 37
Şekil 5.2 Orta agrega granülometrik eğrisi 38
Şekil 5.3 Kaba agrega granülometrik eğrisi 39
Şekil 5.4 Kalıcı açık mavi halenin görünümü 41
Şekil 5.5 Beton numunelerin birim ağırlıklarının karşılaştırılması 43
Şekil 5.6 Betonda uçucu kül artışı ile birim ağırlık arasındaki ilişki 44
Şekil 5.7 Beton numunelerin yüklerine karşı direncin açıklayıcı diyagramı 46
Şekil 5.8 Betondaki uçucu kül içeriğindeki artış ile yük direncindeki artış arasındaki ilişkinin açıklayıcı eğrisi. 47
Şekil 5.9 Beton numunelerin basınç dayanımını açıklayan diyagram. 49
Şekil 5.10 Saf beton 3 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi. 50
Şekil 5.11 Saf beton basınç dayanımının evrim eğrisi. 50
Şekil 5.12 Saf beton 28 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi. 51
Şekil 5.13 UK 1 içeren beton 3 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi 51
Şekil 5.14 UK1 içeren beton 7 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi 52
Şekil 5.15 UK1 içeren beton 28 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi 52
Şekil 5.16 UK 2 içeren beton 3 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi 53
Şekil 5.17 UK 2 içeren beton 7 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi 53
Şekil 5.18 UK 2 içeren beton 28 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi 54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 TS639'a göre uçucu külün kimyasal özellikleri (Gürbüz 2009) 21
Çizelge 3.2 Türkiye'deki bazı uçucu küllerin kimyasal bileşimi (Gürbüz 2009)..... 21
Çizelge 4.1 Bir metreküp başına beton miktarı..... 33
Çizelge 4.2 Beton tasarımı sürecinde uygulanan karışım miktarları 33
Çizelge 5.1 Kum partikül boyutu analiz değerleri 36
Çizelge 5.2 Orta agrega Tane Boyutu Analiz Değerleri 37
Çizelge 5.3 Kaba agrega tane boyutu analiz değerleri..... 38
Çizelge 5.4 Kaba agreganın özgül ağırlığı ve su emme değerleri..... 40
Çizelge 5.5 Orta agreganın özgül ağırlığı ve su emme değerleri..... 40
Çizelge 5.6 İnce agreganın özgül ağırlığı ve su emme değerleri 40
Çizelge 5.7 Metilen mavisi testi için referans değerler..... 41
Çizelge 5.8 Metilen mavisi değerler 42
Çizelge 5.9 Bu çalışmada beton numunelerinin basınç dayanımı sonucu 48

1. GİRİŞ

Uçucu kül, on yıllardır beton üretiminde kullanılan tamamlayıcı bir çimentolu malzeme (SCM) olmuştur. Elektrik üretmenin birçok yolu vardır. Günümüzde elektriğin üretildiği yerlerden biri de termik santrallerdir. Termal reaktör; Kömür, petrol, doğal gaz ve dizel gibi yakıtların yakılmasıyla buharın üretildiği buhar türbinlerine ve jeneratörlere güç sağlamak için su buharını kullanır. Elektrik üreticileri, daha yüksek doğal rezervleri ve doğal gaza olan bağımlılığın azalması nedeniyle, kömürle çalışan santraller için yakıt olarak kömürü tercih ediyor (Chelberg 2019, Görhan 2009).

Termik santrallerde yanan kömür, uçucu kül ve taban külü adı verilen atık ürünler üretir. Pulverize kömür fırında yakıldıktan sonra, uçucu kül elektrostatik çöktürme ile toplanır ve egzoz gazları ile toz toplayıcıya aktarılır. Daha büyük partiküller klinker şeklinde kazanın dibine çöker. Yanan kömürden elde edilen ısı, jeneratör türbinlerine güç sağlayan buhar üretmek için kullanılır. Toz haline getirilmiş kömürün yanması sırasında (yaklaşık 1200 °C), genellikle 100 μm'den küçük uçucu kül partikülleri oluşur, bunlar yanma gazları tarafından sürüklenir ve elektrostatik çökeltici tarafından bacada tutulurken hızla soğurken bacada tutulur. Bu malzemeye uçucu kül denir. Son derece ince, çimentoya benzeyen camsı kürelerdir. Gerisi kazan ızgarasına düşer ve klinker olarak adlandırılır. Kum benzeri bir yapıya sahiptir. Uçucu kül, volkanlardan değil, esas olarak kömürle çalışan enerji santrallerinden gelir **(**Balakrishnan 2014, Shashank ve Chakravarthi 2015).

Yapısal betonda kullanım için uçucu kül uygunluğu, kimyasal bileşimi de dahil olmak üzere birçok faktör tarafından belirlenir. Bu toplu kimyasal bileşim ölçümü, uçucu külün etkinliğini belirlemek için yetersizdir ve üretilen uçucu külün çoğunun kullanımını sınırlar. Kullanılabilir uçucu kül miktarını artırmak için bu araştırma, uçucu külün dökme kimyasal bileşimini kullanarak, uçucu külün betonun basınç dayanımı üzerindeki etkilerini ve kalitesini daha iyi belirleyebilecek bir istatistiksel model geliştirmektedir. Bu çalışmanın amacı, uçucu külün kimyasal bileşiminin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemektir. Betonun zayıf özelliklerini

iyileştirmek ve önemli ölçüde iyileştirmek için betona farklı malzemeler eklenerek mühendislik özellikleri geliştirilebilir **(**Chelberg 2019).

Uçucu kül, diğer küllere göre daha büyük bertaraf sorunları yaratır. Bertarafla ilgili iki ana sorun, çevreyi kirletmesi ve bertaraf için gereken geniş alanı etkilemesidir. Bu endişeler nedeniyle insanlar külleri atmak yerine kullanmaya çalışıyorlar. Enerji talebindeki artış ve kömürlü termik santrallerin kullanımı ile yakın gelecekte daha fazla termik santralin kapasitelerini artırması bekleniyor. Yaklaşık on yıl öncesine kadar, uçucu kül "kirletici endüstriyel atık" olarak kabul ediliyordu ve kül havuzlarına atılıyordu. Planlanan uçucu külü depolamak için kül havuzları inşa etmek için en az 4.000 hektarlık bir alana ihtiyaç duyulacaktır. Tipik olarak, bir megavat elektrik üretmek için bir dönüm arazi gereklidir **(**Gürbüz 2009, Balakrishnan 2014**)** .

Uçucu kül, dünyadaki birçok santralde kullanılan kömürün yanması sırasında üretilen mineral atıktır. Şu anda, bu malzemenin yalnızca yaklaşık %25, %30'u geri dönüştürülmekte ve betonda ve toprak stabilizasyonu gibi diğer uygulamalarda mineral katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Geri kalanı, yaklaşık %70, %75'i genellikle çöplüklere gömülür. Betonda en yaygın iki uçucu kül türü C sınıfı ve F sınıfıdır. Her iki uçucu kül türü de puzolanlardır, yani betonda çimentonun hidratasyonundan oluşan fazla kalsiyum hidroksitle (CH) reaksiyona girerek hidratlı kalsiyum silikat (CSH) oluştururlar.

Ancak C tipi ayrıca daha yüksek seviyelerde kalsiyum içerir. Bu kalsiyum içeriği, C Sınıfı uçucu kül su ile temas ettiğinde kendi kendine sertleşme özellikleri sağlar. Çalışmalar, çimentonun kısmi ikamesi olarak (%35'ten az) betona uçucu kül eklenmesinin soğutma ve kürleme koşullarını iyileştireceğini göstermiştir. Taze halde, uçucu külün işlenebilirliği artar. Bunun nedeninin, uçucu kül parçacıklarının düzgün küresel şekli olduğuna inanılmaktadır. Küçük küre bilye gibi davranır ve betonun akışını kolaylaştırır.

Bu geliştirilmiş işlenebilirlik, daha düşük su-çimento oranlarına izin verir. Bu, sonraki işlemlerde daha yüksek basınç dayanımı ile sonuçlanır. Taze karıştırılmış çimentoda,

uçucu kül ilavesi, karıştırma için gereken su miktarını azaltır ve aynı zamanda iyileştirmek için bir "yağlayıcı" görevi görür. Bu sadece karıştırma kamyonunun pompasını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda daha pürüzsüz, daha düz bir yüzey sağlar **(**Wolfe 2011, Bentz ve Ferraris 2009).

Bu çalışmada tüm testler Çankırı'da bulunan bir laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. ancak test, çimentoya kısmen uçucu kül eklenmesi ve ardından betonun mukavemeti üzerinde olumlu veya olumsuz bir etkisinin olup olmadığını kontrol etmek için sıkıştırmaya tabi tutmak için betona karıştırılmasından oluşur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

"Uçucu kül kullanılarak hazırlanan beton karışımların basınç dayanımının incelenmesi" adlı bu çalışma ile ilgili ulusal ve uluslararası literatür ve tezler araştırılmıştır. İncelenen öncel çalışmalar, kısa ve öz olarak aşağıda sunulmuştur: Problemleri ve Zemin İyileştirme Yöntemleri" adlı bu çalışma ile ilgili ulusal ve uluslararası literatür ve tezler araştırılmıştır. İncelenen öncel çalışmalar, kısa ve öz olarak aşağıda sunulmuştur:

Görhan vd. (2009) , gün içinde yapılan yükler nedeniyle aynı santralde bile uçucu külün özelliklerinin değişebileceği gösterilmiştir. Uçucu kül, son yıllarda çok sayıda çalışma ile çimento ve beton üretiminde yaygın olarak kullanılan puzolanik özelliklere sahip bir maddedir. Doğru ve doğru oranlarda kullanıldığında betonun birçok özelliğine sahiptir. Olumlu hareket ettiğini ve her şeyden önce kimyasal etkilere karşı direncini arttırdığını biliyoruz. Uçucu kül, camsı ve çoğunlukla küresel partiküller olup, genellikle 0,5 ila 200 µm boyutundadır.

Balakrishnan (2014), 28 gün sonra merkez volente içeren beton, OPC çimentolu betona göre daha üstün bulunmuştur. Dayanıklılık açısından, merkezi volente içeren beton, klorür, asit ve sülfat gibi yıkıcı kimyasalların ve saldırılara karşı daha iyi direnç göstermiştir. Ek olarak, bu beton ısıtma testi sonuçları, özellikle termal çatlamanın önemli bir sorun olduğu kütle betonu için, orta volente ile çimento değişiminin avantajlı olduğunu göstermektedir. Ancak betonun yüksek sıcaklıklardaki performansı, uçucu kül içermeyen betonun yüksek sıcaklıktaki uçucu kül betondan daha iyi dayanıma sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Öztürk (2012), beton karışımında hafif agregalar kullanılarak betonun birim kütlesi azaltılmış, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş ve ısı yalıtı özelliği kazandırmak istenmiştir. Bu nedenle hafif agregalar ve çeşitli oranlarda EPS kullanılarak üretilen hafif beton (15X15X15) numuneleri cm^3 boyutlarındaki küp şeklindeki kalıplara yerleştirilerek teste tabi tutulmuş, sıkıştırmaya tabi tutulmuşlardır.Sonuç olarak enerjide büyük bir gelişme sağlanmıştır. hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonun verimliliği, geleneksel beton anlayışına yeni bir bakış açısı getirmiştir.

Karakulak.(2019), çimento harcı üretiminde kablo atığı ve uçucu kül kullanımı araştırılmıştır.Genel olarak, kablo atığının harç karışımında tek başına %10 oranında ve uçucu kül ile birlikte kullanımının %10 oranında olduğu kaydedilmiştir. %20 oranlarında ve uçucu külün tek başına %10 ve %20 oranlarında kullanılması daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu atıkların harç üretiminde kullanılmasının doğal çevrenin korunması açısından uygun olacağı söylenebilir.

Paşa (2018), yüksek dayanımlı betonların ileri yaşlandırma performansı araştırılmıştır. Betonarme donatıların aşınma, donma-çözülme ve korozyon gibi dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek için kullanılacak uçucu kül ve silis dumanı katkılarının etkileri araştırılmıştır. yüksek dayanımlı betonun kısa süreli dayanımı olumsuz, uzun süreli dayanımı olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.Sonuç olarak çalışmada betona %5, %10, %15 oranında mineral katkılı tüm karışımlar daha iyi aşınma ve donma-referans betona kıyasla çözülme direnci.

Lkhagva (2006), uçucu külden farklı özelliklerde bentonit katkılı granül üretilmesi, bu granüllerin agrega olarak hafif beton üretiminde kullanılması, betonun mekanik özelliklerine etkilerinin değerlendirilmesi ve çalışmalara katkı sağlanması söz konusudur. Türkiye'de uçucu kül kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla, özellikleri belirlenmiş ve bentonit eklenerek pelet numuneleri üretilmiştir. Pişmiş peletlerin yaş basınç, kuru basınç, yaş düşme sayısı, basınç mukavemeti, üretilen peletlerin nem ve ebat analizleri yapılmış, son olarak birim ağırlık, su emme oranı, basınç mukavemeti ve yarma ile çekme mukavemeti belirlenmiştir. Uçucu kül agregalarından elde edilen hafif beton.

Myaraboina (2016), özelliklerden ödün vermeden %80 çimento ikameli yüksek performanslı çok yüksek hacimli uçucu kül betonu üretmeyi amaçlamaktadır. Düşük dayanım gelişimi, yüksek hacimli uçucu kül betonunun dezavantajı olup, %40'ın üzerinde ikameler, bu araştırmadaki zorluk, normal betonla karşılaştırılabilir dayanım gelişimi elde etmektir.Sonuç olarak Ürettiği beton, diğer düşük uçucu kül içeriğine sahip betonlar ve OPC beton ile kıyaslandığında benzer mekanik özellikler ve daha

üstün dayanıklılık özellikleri elde etmiş ve “yüksek beton” olarak adlandırılma şartlarını karşılamıştır.

Mehta (2004), çimento esaslı malzeme kütlesine göre %50'den fazla uçucu kül içeren beton karışımları ile inşaat teorisi ve pratiği hakkında kısa bir inceleme sunulmaktadır.Uçucu kül, gelecekte artan beton taleplerini karşılama sorununa önemli bir çözüm sunmaktadır. sürdürülebilir bir şekilde ve çok az veya hiç ek maliyet olmadan, her iki endüstrinin de çevresel etkisini azaltır.

Kaur (2016), uçucu külün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin harç ve çimento hamurlarının dayanım gelişimi ve hidratasyon kinetiği üzerindeki etkisini anlamaktır. Bu sonuçlara göre deneyler, uçucu küllü harçların başlangıç direncinin çimento harcından daha düşük olduğunu, ancak çoğu harç 28 günde direncini geri kazandığını göstermektedir. Daha ince uçucu kül, 28 gün sonra OPC'ninkine eşit veya ondan daha fazla mukavemet sergiler.

Chelberg (2019), uçucu külün kimyasal bileşiminin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemektir. Uçucu kül için mevcut ASTM sınırlarının, uçucu kül kullanılarak betonun mukavemetini tam olarak açıklamak için yetersiz olduğunu ve bir uçucu külün, yapısal uygulamalar için betonda kullanım için kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek için daha iyi bir ölçüm setinin gerekli olduğunu bulmuştur.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Genel

Bu bölüm, çimentonun üretimi, bileşimi, hidratasyonu ve mikroyapısal gelişimini ve bunun tamamlayıcı çimento esaslı malzemelerin (SCM'ler) hidratasyonu ve mikroyapısal gelişimi üzerindeki etkisini gözden geçirmektedir. Uçucu külün çimentonun kısmi ikamesi olarak kullanıldığında çeşitli özellikler üzerindeki etkisi daha fazla araştırılmıştır. İncelenen özellikler arasında hidrasyon kimyası ve kinetiği, mikroyapısal ve mekanik özelliklerin gelişimi, taşıma özellikleri, gözeneklilik ve dayanıklılık yer alır. Ayrıca, uçucu külün bağlayıcı malzeme olarak kullanımına ilişkin önceki çalışmalarda vurgulanan sorunları da ele almaktadır. bu bölüm, farklı beton numunelerini üretmek için gerçekleştirilen farklı testleri vurgulamaktadır (Chelberg 2019). Bu testleri yapabilmek için birkaç farklı test de yaptık.

3.2 Betona Genel Bakış

Beton, dünyada en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Binlerce yıldır insanlığın en iddialı yapısal projelerinin çoğunu inşa etmek için kullanılmıştır. Betonun popülaritesi kısmen yapılabilme kolaylığına dayanmaktadır. En basitinden somut ince agrega (kum) ve tabii agrega (çakıl), bağlayıcı macun (çimento) ve su karışımıdır. Bu basit maddelerden son derece çok yönlü bir malzeme yapılır. Beton, sertleşmiş haldeyken sahip olduğu özelliklere göre tanımlanır.

Ancak Şekil 3.1 de görebileceğiniz gibi, sıkıştırma sonucunu uçucu kül içeren betonla karşılaştırmak için 6 adet saf beton numunesi yaptık.



Şekil 3.1 Laboratuvarda yapılan beton karışımı örneği.

3.3 Çimento

20. yüzyılın malzemesidir, asırlık bir malzemedir. İskoç Aspdin, 1824'te kireç ve kil karışımından bir bağlayıcının imalatı üzerine bir patent aldı ve bu bağlayıcının sunduğu görünüm nedeniyle "Portland çimentosu" adını verdi ve bu bağlayıcının, Portland Yarımadası'ndan kireçtaşı. Uzun bir neslin babası olan ilk çimentodur.

3.3.1 Çimentonun bileşimi

Çimento hidrolik bir bağlayıcıdır, yani hava ve suya karşı sertleşebilir ve direnç geliştirebilir. Çimento, kalker ve kilden yapılır: sırasıyla %80 + %20.

Sıradan Portland çimentosu (OPC), kalker ve kil gibi kalkerli ve silisli minerallerin bir karışımının yaklaşık 1450°C sıcaklığa ısıtılmasıyla yapılır. Klinker nodülleri, daha sonra %3, %5 kalsiyum sülfat ile karıştırılan ve çimento yapmak için ince öğütülen kısmi bir erime reaksiyonunun sonucudur. Genellikle alçı ($CaSO_4 2H_2O$) formundaki kalsiyum sülfat ($CaSO_4$), sertleşme hızını kontrol etmek ve mukavemet gelişimini etkilemek için eklenir. Klinker esas olarak kalsiyum, silikon, alüminyum ve demirin karmaşık oksitlerinden oluşur.

Çimento fırınındaki kimyasal reaksiyonlar, Portland çimentosunun kristal fazına yol açar. Yani trikalsiyum silikat ($3CaO.SiO_2$), dikalsiyum silikat ($2CaO.SiO_2$), trikalsiyum alüminat ($3CaO.Al_2O_3$) ve tetrakalsiyum alüminyum ferrit ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$). Bahsedilen bu adımlar basitçe C_3S, C_2S, C_3A ve C_4AF olarak ifade edilir. Burada, kalsiyum oksit, kükürt; $Si0_2$, A; Al_2O_3 ve F; Fe_2O_3 ile ifade edilir. Klinkerdeki bu fazlar, genel olarak sırasıyla küçük, belit, alüminat ve ferrit olarak adlandırılan safsızlıklar içerir. Alite tipik olarak ağırlıkça %50 ila %70 çimento, %15 ila %30 belite, %5 ila %10 alüminat ve %5 ila %15 ferritten oluşur. (Kaur 2016).

3.3.2 Çimentonun hidratasyona etkisi

Susuz çimento su ile karışır karışmaz hidratasyon başlar ve bu şekilde elde edilen macunun özellikleri zamanla değişir. Bu hidrasyon çok ileri düzeyde olmadığı sürece hamur az çok dövülebilir kalır. Fakat bir süre sonra hidratların kristalleri giderek daha fazla önem kazanıyor, karışımın viskozitesi değişip katılaşıyor, sertleşiyor diyoruz.
Sertleşme, priz aldıktan sonra çimentonun hidratasyonunun devam ettiği dönemdir. Süresi, mekanik direncin artmaya devam ettiği aylar boyunca uzar.

Çimentonun su ile reaksiyonuna hidratasyon denir. Portland çimentosunda su varlığında, silikatlar ve alüminatlar, reaktanlardan daha fazla yer kaplayan hidratasyon ürünleri oluşturur. Bu, çimentonun sertleşmesine neden olur. Çimento hidratasyonunun beş ana aşaması vardır. Bu aşamalar; çözünme, indüksiyon, hızlanma, hızlı yavaşlama ve yavaş yavaşlama dönemleridir. Bu periyotlar, çimento bulamaçları izotermal kalorimetri ile sabit sıcaklıkta yerleştirildiğinde klasik bir ısı yayma oranları durumunu temsil eder. Genellikle ölçülen ısının hidratasyon hızıyla orantılı olduğu varsayılır.

Aşama 1 ; silikatların, alüminatların, sülfatların ve diğer fazların su ile karıştırıldıktan ve etrenjit fazı oluşturduktan hemen sonra hızla çözünmesinden kaynaklanır.

Aşama 2, indüksiyon aşaması olarak adlandırılır ve yavaş bir hidrasyon gözlenir. Çeşitli teoriler olmasına rağmen, indüksiyon süresinin kesin nedeni bilinmemektedir. Mevcut teoriler, yarı kararlı bir CSH tabakasının hızla C_3S yüzeyini kapladığını ve reaksiyonu

yavaşlattığını öne sürüyor. Hızlandırılmış adım 3 reaksiyonu sırasında CSH'nin koruyucu tabakası daha geçirgen hale gelir.CSH'nin yavaş çekirdeklenmesinin indüksiyon periyoduna, CSH'nin çekirdeklenme ve büyümesi sürecine ve otokatalitik nedeniyle silikat oluşumunun hızlanmasına yol açtığı da öne sürülmüştür.

Aşama 3. adımda maksimize edilir. Bu aşamada kalsiyum iyonları ve silikat iyonlarının konsantrasyonlarında bir azalma gözlenir. Hidratların hızlı oluşumu, macunun katılaşmasına neden olur ve gözenekliliğini azaltır.

Aşama 4, hidrasyon seviyelerinde hızlı bir düşüş gösterir. Bunun nedeninin, çimento partiküllerinin yüzeyinde daha az geçirgen bir hidratasyon ürünü tabakasının oluşması, yüzey alanının ve boşlukların azalması gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğuna inanılmaktadır. Küçük alüminat hidrasyon omuzları, alçı oluşturmak için C_3A'nın etrenjit ile devam eden reaksiyonu nedeniyle 4. adımda gözlemlenebilir.

Etrenjit ve C-S-H kafesinin, susuz C_3S yüzeyinden yaklaşık 1 um uzaklıkta bir "hidrasyon kabuğu" oluşturduğu bilinmektedir.

Bu kabukta az miktarda dahili C-S-H görünür. 1-3 günlük hidrasyondan sonra, reaksiyon yavaşlar ve 5. aşamada meydana gelen bir yavaşlama meydana gelir.

Bu aşamada, C_3A, monosülfat veya AFm fazını oluşturmak için etrenjit ile reaksiyona girer ve diğer fazlar hidratlaşmaya devam eder. Dahili C-S-H, büyüme sürecini C_3S'nin yüzeyine yakın bir yerde sürdürür ve hidrasyon ürünleri ile susuz C_3S arasındaki boşluğu azaltır. Hidratasyon hızının, susuz çimento yüzeyindeki suyun difüzyon hızına bağlı olduğu öne sürülmüştür (Kaur 2016, Bishnoi 2008, Thomas *et al* . 2011)

Trikalsiyum Silikat genellikle Portland çimentosundaki en büyük aşamadır ve mukavemet gelişimi ve dayanıklılık için önemli faydalar sağlar. Alit hamurunun hidratasyon kinetiği Portland çimentosununkine benzer, ancak mikro yapı basit Portland

çimentosuna (OPC'den) kıyasla oldukça basittir. Alite su ile karıştırıldıktan hemen sonra nemlenmeye başlar.

(3.1) ve (3.2)'da belirtildiği gibi, hem trikalsiyum silikat hem de dikalsiyum silikat hidrat reaksiyona girerek kalsiyum hidroksit (CaOH) ve kalsiyum silikat hidratlar (C-S-H) oluşturur. Çoğu araştırmacı, X-ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu ve termal analiz kullanarak bu reaksiyonları ve hidrasyon ürünlerini inceledi. Kalsiyum silikat hidrat, mukavemet gelişimine ve yapışmaya büyük ölçüde katkıda bulunan ana hidrasyon ürünüdür. Çimento hamurlarında C-S-H yapısı benzer olmasına rağmen CaO/SiO_2 oranlarında değişiklik olduğu bildirilmiştir.

Hidratlı Portland çimentosundaki Ca/Si oranının değeri biraz değişkendir ve çimento bileşimine ve aşağıdaki gibi tamamlayıcı çimento esaslı malzemelerin (SCM'ler) varlığına bağlı olarak kullanılan karakterizasyon tekniği ile 0.8, 2.1 aralığında olduğu bulunmuştur. uçucu kül ve silika dumanı. C-S-H'nin nano ölçekte kısa menzilli kristallik ile amorf olduğu bulundu. Yapısının mineral tobermorite benzer olduğu ve farklı bağlı durumlarda su katmanları tarafından bir arada tutulan kalsiyum silikat katmanlarına sahip olduğu bilinmektedir. Portlandit olarak da bilinen kalsiyum hidroksit, belite kıyasla alite ilave Kalsiyum mevcudiyeti nedeniyle çoğunlukla silikatların alit hidrasyonundan oluşur. Kristal bir malzemedir ve serbestçe büyümesine izin verildiğinde altıgen trombositler oluşturduğu bilinmektedir.

Ancak, gözenek solüsyon konsantrasyonları ve mikroyapısal kısıtlamalar morfolojisini etkiler. C_3A su ile hızla reaksiyona girerek macunun ani sertleşme olarak bilinen hızlı sertleşmesine yol açar. Alçı, parlamayı önlemek ve yeterli işlenebilirlik süresini sağlamak için Portland çimentolarına karıştırılır. C_3A, klinkerde hala en hızlı reaksiyona giren fazdır ve hidratasyonun ilk saatlerinde etrenjit içindeki sülfat ile alçı ve su oluşturarak reaksiyona girer (3.3)'de verilmiştir. Bir alümino-ferro-trisülfat fazı olan ettrinjit, reaksiyonun erken aşamalarında iğne benzeri kristaller olarak büyür. Çözeltideki sülfatın çoğu tüketildiğinde, etrenjit, (3.4)'de gibi monosülfoalüminat (veya monosülfat) oluşturmak üzere kalan kalsiyum alüminat ile hidratlanır.

Hidratasyonun ilk gününde dayanım gelişimine etrenjit önemli katkı sağlarken, uzun vadede etrenjit ve monosülfatın bağıl katkısı azalmaktadır. Çimentoya alçı eklenmesinin temel nedeni alüminatların reaksiyonunu kontrol etmek olsa da, çimentoda bulunan toplam sülfat, alümina ve demirin yaklaşık yarısının alümino-ferro-trisülfat ve alüminoferro monosülfat fazlarından ziyade CSH'de bulunduğu tahmin edilmektedir. Ferrit fazın hidrasyonu, jips varlığında C_3A'nınkine benzerdir. Önce bir alümino-ferro-trisülfat fazı oluşturur, bu faz sıva tüketildikten sonra alüminoferro monosülfate dönüşür. Klinker fazlarının idealize edilmiş hidrasyon reaksiyonları (Kaur 2016, Mathur 2007).

$$C_3S + 5.3H \rightarrow C_{1.7}SH_4 + 1.3CH \quad (3.1)$$

$$C_2S + 4.3H \rightarrow C_{1.7}SH_4 + 0.3CH \quad (3.2)$$

$$C_3A + 2C\$H_2 + 26H \rightarrow C_6A\$_3H_{32} \quad (3.3)$$

$$C_6A\$_3H_{32} + 2C_3A + 4H \rightarrow C_4A\$_3H_{12} \quad (3.4)$$

3.3.3 Çimento karbon ayak izi

Antropojenik karbon dioksit emisyonlarının üç ana kaynağı vardır: fosil yakıtların oksidasyonu, ormansızlaşma ve diğer arazi kullanımı değişiklikleri ve karbonat ayrışması. Çimento, üçüncü kategori olan karbonat ayrışmasının en büyük kaynağıdır. Karbondioksit üretmenin iki ana yolu, hammaddeleri gerekli yüksek sıcaklıklara ısıtmak için gereken fosil yakıtların yanması ve klinker yapımında yer alan kimyasal reaksiyonlardır. $CaCO_3$'ün oksitlere ayrışması ve sonuçta ortaya çıkan CO_2 emisyonunun, küresel antropojenik CO_2 emisyonlarının %5'ine katkıda bulunduğu ve tüm çimento sürecinin küresel CO_2 emisyonlarına %8 katkıda bulunduğu tahmin edilmektedir (Chelberg 2019).

Klinker üretimi, çimento yapım sürecinin en enerji yoğun ve CO_2 yayan aşaması olduğundan, klinker/çimento oranındaki azalmalar (klinker ikamelerinin kullanılması yoluyla) enerji kullanımını ve CO_2 emisyonlarını azaltabilir. ABD'de, ortalama klinker/çimento oranı 20. yüzyılın çoğu için büyük olasılıkla 0.95 civarındaydı, muhtemelen 1970'den sonra yaklaşık 0.90'a ya da biraz daha altına düştü. Bununla birlikte, Uluslararası Enerji Ajansı son zamanlarda küresel ortalama klinker/çimento oranını tahmin etti. çimento oranı 0,65 olacaktır (Chelberg 2019).

Çimentonun yaklaşık %60'ının üretildiği Çin'de şu anda klinker/çimento oranı 0,60'ın altındadır. Bu, klinkerin en yaygın olan klinker olmayan bileşiklerle karıştırılmasıyla elde edilir (Chelberg 2019).

Yüksek fırın veya çelik cürufu ve uçucu kül olan. Bu gibi önemli bir özellik kaybı olmaksızın çimentoya hacim kazandıran malzemelere "puzolan" denir. Bu terim, Pozzol yanardağındaki kül birikintilerinden gelir. Klinker üretiminden farklı olarak puzolan katkıları tipik olarak ek piro-işlemeye ihtiyaç duymaz ve bu nedenle çimentonun toplam karbon ayak izini azaltır (Chelberg 2019).

3.4 Agrega Özellikleri

Doğal Agregalar**:** Yerkabuğunu oluşturan kayaların zamana bağlı, doğal olarak aşınması-parçalanması ile meydana gelen derecelenmiş taneli bileşenlerin akarsu yatağı, teras, deniz, buzul, göl, çöl agregaları ve eski dere yataklarında birikmesi ve bu çakıl-kum ocaklarından elde edilen mineral kökenli agregalara doğal agrega denilmektedir. Doğal agregalar içinde en yaygın kullanılan ise akarsu yatağından elde edilenlerdir (Albayrak 1987).

Tuz ve suda yaşayan organizmaların kabukları, denizlerden ve göllerden toplanan agregalarda bulunmakatadır. Agrega veya harçta aşırı miktarda tuz bulunduğunda çatlama ve parçalanma meydana gelir. Deniz yaratığı kabukları birkaç durumda sorunlu olabilir. İstenmeyen kimyasallardan arındırıldıktan sonra deniz ve göllerden elde edilen

agregalar beton imalatında kullanılabilir. Arıtma yöntemi ek bir yatırım gerektireceğinden maliyet etkin değildir (Şimşek 2020).

Yapay Agregalar**:** Mekanik, fiziksel, kimyasal ve ısıl işlemler sonucunda taneli hale getirilen malzemeye yapay agrega denir. Yapay agregalar genellikle aynı kimyasal özelliklere sahip olmalarına karşın, teknofizik özelliği farklı olabilir (Şimşek 2020). Yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil ve perlit, uçucu kül ve kırma agrega (mıcır) gibi agregalardır. Kırık kiremit veya tuğla, hızar talaşı ve rende talaşı agrega örnekleridir. Yüksek kaliteli tuğla parçalarından yapılan beton yangına dayanıklıdır. Gözenekli yapıları nedeniyle bu agregalar betonda ses-ısı yalıtımı ve hacim ayrımı için kullanılmaktadır (Baradan 1992).

Genleştirilmiş perlit; çıkarıldıktan sonra kırılıp öğütülerek belirli tane büyüklüğü sınıfına getirilen perlitin türüne göre yüksek sıcaklıktaki bir fırında kontrollü olarak genleştirilmesi ile elde edilen beyaz veya kirli beyaz renkli, gözenekli, hafif tanelerden oluşan malzemedir. Agrega olarak, hafif beton yapımında kullanılmak üzere uygun birim ağırlık ve granülometride hazırlanmış genleştirilmiş perlittir.

Örneğin: betonda ısı, ses geçirgenliği gibi özelliklerin istendiğinde farklı yapay agregalar seçilebilir.

Hafif Agregalar**:** Birim ağırlığı 2400 kg/m^3'den küçük olan agregalardır. Betonun birim yapısını düşürmek, betonun yapısına ses ve ısı yalıtım niteliği katabilmek amacıyla veya dönüşüm maddeleri değerlendirebilmek düşüncesiyle kullanılmakta olan agregalardır. Çoğunlukla saydam, geçirgen bir karakteri yapılarında barındırmaktadırlar ve su emmesi ve boşluk seviyeleri fazladır. Basınç, çarpma ve aşıma dayanımı, çok azdır. Doğadan doğrudan çıkartılabileceği gibi dolaylı olarak da çıkartılabilirler. Bu türe örnek olarak; diyatomit, volkan tüfleri, hızar talaşı, yüksek fırın cürufları ve genleştirilmiş kil vb. verilebilir.

Ağır Agregalar**:** Kütle olarak ağırlık gerektiren betonlar üretebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Birim ağırlığı 3000 kg/m^3'den büyüktür. Çoğunlukla nükleer santral, hastanelerin ve Stratejik Askeri nitelik barındıran inşaat yapıların betonlarının imalatında kullanılmaktadır. Bu türe girenlerden bir kismı ise barit, manyetit, hematit, limonit vb. Ağır agregayla oluşturulmuş betonun karıştırılabilmesi, yerleştirilebilmesi ve sıkıştırılabilmesi için ayrı bir itina gerekmektedir (Şimşek 2020).

Normal Agregalar**:** Birim ağırlıkları 2400-2800 kg/m^3 arasında olan agregalardır. En yaygın kullanılan agrega türüdür.

Agregalar genelde dayanıklı ve sert malzemelerdir, bu nedenle betonun dayanımının yüksek olmasına katkıda Şekil 3.2 verildiği gibi bulunurlar.



Şekil 3.2 Betonda kullanılan agrega

Bu çalışmada kullanılan agregalar korgun'da bulunan bir taş kırma tesisinden elde edilmiştir. 0/4 mm tane boyutunda tek tip kum Şekil 3.3'de verildiği gibi kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Laboratuvarda kullanılan kum

Bu çalışmada kullanılan 12/25 mm tane boyutunda tek tip kaba agregalar Şekil 3.4'de verildiği gibi kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Laboratuvarda kullanılan kaba agregalar

Bu çalışmada kullanılan 4/12 mm tane boyutunda tek tip orta agregalar Şekil 3.5'de verildiği gibi kullanılmıştır



Şekil 3.5 Laboratuvarda kullanılan orta agregalar

3.5 Uçucu Kül

Bu çalışmada kullanılan uçucu kül, Zonguldak ilinde bulunan Çatalağzı Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Kullanılan uçucu külün özgül ağırlığı 2.06'dır.

3.5.1 Uçucu kül genel bilgiler

Uçucu külün tanımı TS639'a göredir; toz veya öğütülmüş kömür veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan ve baca gazları tarafından sürüklenen silika ve alümino-silika tozu halindeki yanma kalıntısıdır.

Uçucu kül üretimi; Santralin tipi, işletme tipi, yakılan kömürün tipi ve yakma tipi gibi çeşitli faktörler bunu etkilese de genel olarak elektrik üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10, 15'i ve kömürün %20, 50'si linyit kömürü kül olarak ortaya çıkar. Yanma sonucu oluşan külün %75, 85'i baca gazları ile birlikte kazandan çıkar. Santrallerde yanma sırasında kazan alev sıcaklığı 1600°C 'yu geçebilir. Bu sıcaklık kömürün içindeki birçok inorganik bileşenin erimesi için yeterlidir. Birçok kaynak kömürde yaklaşık 50 mineral bulunduğunu belirtse de bunların çoğu uçucu külde az veya eser miktarda bulunur. Kömürde bulunan birincil mineralleri

sınıflandırmak için beş kategori kullanılabilir. Bunlara silika mineralleri, karbonatlar, sülfürler, klorürler ve alüminyum silikatlar dahildir. Uçucu külün özellikleri çoğunlukla kullanılan kömürün türü, nasıl öğütüldüğü, nasıl yakıldığı ve elektrostatik tuzakta nasıl ayrıldığından etkilenir. Gazlarla birlikte salınan önemli miktarda kül varsa, küllerin termik santralin etrafındaki alanı kaplamadan önce elektrostatik veya elektromekanik yollarla yakalanması gerekir. Kül, toplama için silolara yönlendirilir.

Daha sonra silolardan konveyör bantlar veya diğer yöntemlerle termik santrallerden uzakta bir depolama alanında atık olarak depolanırlar. Uçucu küller, puzolanik özelliklerinden dolayı puzolan olarak kullanılabilen malzemelerdir. Uçucu kül miktarı ile karşılaştırıldığında, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı, metakaolin ve pirinç kabuğu külü gibi bağlayıcı malzemelerin varlığı sınırlıdır. Bu nedenle uçucu kül en yaygın kullanılan puzolan türüdür.

1970'lerin benzin krizi, santrallerde kömür kullanımının artmasına neden oldu. Böylece uçucu kül üretimi artmış ve uçucu kül araştırmaları yoğunlaşmıştır. Bu sayede günümüzde beton sektöründe mevcut olan uçucu külün ekonomik kullanımı sağlanmıştır.

1960'lı yıllarda Türkiye'de Gökçekaya ve Porsuk barajları yapılırken hidratasyon ısısını düşürmek için malzeme olarak uçucu kül seçilmiştir. Uçucu kül standardı (TS639) ve uçucu kül çimentosu Türk Standartları Derneği (TS640) tarafından oluşturulmuş ve yayınlanmıştır. Ulusal Su Koruma Şubesi'nden baraj uygulamasına ek olarak, Karayolları Şubesi de köprü ve yol yapımında uçucu kül test ediyor. Uçucu kül çimentosu neredeyse nadiren yapılır. Kül sadece eser miktarda çimento katkı maddesi olarak kullanılır.

Geçmişte, ülkede uçucu kül için sadece bu kullanımlar bulunabilirdi. Uçucu kül kullanımı, yıllık toplamın %1'inden daha azını oluşturur. Bununla birlikte, son zamanlarda hazır beton sektörünün büyümesi ve Avrupa'da yeni çimento ve beton düzenlemelerinin kabul edilmesi sonucunda, çimento ve beton endüstrisinde uçucu küle olan ilgi yoğunlaşmıştır.

Dünyada yılda üretilen 450 milyon ton uçucu külün sadece %6'sı artık çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaktadır. Uçucu kül Türkiye'de yıllık olarak 15 milyon ton aralığında üretilse de sanayide yaygın olarak kullanılmamaktadır. Burada rol oynayan iki faktör var (Gürbüz 2009) **:**

- Uçucu kül özellikleri hakkında yetersiz bilgi.
- Uçucu kül özellikleri her zaman aynı değildir

3.5.2 Uçucu külerin fiziksel özellikleri

Uçucu kül yuvarlak şekildedir, çapı 1 ila 200 mikron arasındadır ve genellikle gri renktedir. Rengini belirleyen uçucu kül bileşenine giren karbonun yanma durumudur ve uçucu külün elde edildiği kömüre göre değişir. Uçucu kül, bileşimindeki karbon tamamen yanmazsa siyaha döner. Karbon ne kadar iyi yanarsa, renk o kadar parlak olur. Uçucu kül yoğunluğu 2,2 ile 2,7 g/cm^3 arasında değişmektedir. Spesifik yüzey yaklaşık 2800-3800 cm^2/g'dir. Parçacık boyutu çimento kadar incedir. Bu nedenle düzeltme gerekmez (Karakulak 2019).

3.5.3 Uçucu külerin kimyasal ve minerolojik özellikleri

Mineralojik ve kimyasal özellikler açısından uçucu kül, içi boş ve boşluksuz camsı sferoidler, süngerimsi mineral parçacıklar ve yanmamış parçacıklardan oluşur. Kimyasal yapılarında temel bir element olarak; (Si, Al, Ca ve S). Bu elementler SiO_2, Al_2O_3, demir oksitler (Fe_2O_3, FeO, Fe_3O_4), kireç (CaO) ve SO_3 oluştururlar. Uçucu külde bulunan bazik oksitlerden SiO_3, %25, %60, Al_2O_3, %10, %30, Fe_2O_3, %1-15 ve CaO %1, %40 oranında bulunur. Bu farklı aralıklardaki değerler, uçucu kül türünü karakterize eder.

Uçucu kül matrisi esas olarak Fe, Mg, Na, K, Ca, Ti ve nadir toprak elementleri ile birlikte alümina silikatlardan ve ayrıca As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se ve Zn gibi elementlerden

oluşur. uçucu olan veya uçucu oksitler oluşturan. Matrise girme eğilimi göstermezler ve tane boyutuyla ters orantılı olarak uçucu külün yüzeylerinde toplanırlar.

Uçucu külün karbon içeriği, kömürün tipine ve yakma işlemine bağlı olarak değişir. Aşırı ısı kaybı öncelikle kömürdeki yanmamış karbonu ifade eder, ancak aynı zamanda kömürdeki hidratların veya karbonatların ayrışmasından dolayı bağlanmamış su veya CO_2 kaybını da içerir. Radyasyon kaybı %1 ile %10 arasında değişir. Uçucu külün puzolanik özellikleri, kimyasal bileşimi ile değil mineral yapısı ile ilgilidir.

Uçucu külün puzolanik özellikleri kimyasal yapısından çok mineralojik yapısından etkilenir. Uçucu külü yapmak için kullanılan kömürün türüne bağlı olarak, bazıları oldukça yüksek CaO içeriğine sahip olabilir. Yüksek kalsiyum içeriğine sahip uçucu kül, diğer şeylerin yanı sıra serbest kireç, trikalsiyum alüminat, amorf silika ve alümina içermesinin yanı sıra puzolanik nitelikler sergiler. Bu nedenle, kendi başlarına belirli bağlayıcı niteliklere sahip olabilirler. Silika ve alüminadan oluşan amorf veya camsı faz, düşük kalkerli uçucu külün birincil aktif bileşenidir. Bu uçucu külün nemli bir atmosferde sönmüş kireç $Ca(OH)_2$ ile nasıl birleştiğinden dolayı puzolanik niteliklere sahiptir. Bu küller sadece puzolanik özellikler gösterebilir. Düşük CaO içeriğine sahip külün, betonun sülfata karşı direncini güçlendirmek için bir katkı maddesi olarak iyi çalıştığı iyi bilinmektedir..

Çimento fabrikasında klinkere, şantiyede çimentoya eklenecek olan uçucu külün puzolanik özelliğinin mutlaka belirlenmesi gerekmektedir. İstenilen puzolanik aktiviteye sahip olmayan uçucu kül bu iki amaç için kullanılamaz.

Uçucu kül, kimyasal (SiO_3 + Al_2O_3 + Fe_2O_3, SO_3 ısı kaybı, nem, alkaliler) ve fiziksel niteliklere (incelik, basınç dayanımı, büzülme, su emme kapasitesi, çimento alkalinitesi ve şişme) ek olarak gerekli puzolanik aktiviteye sahip olmalıdır. Uçucu kül, bir saat depolandıktan ve EN 196-2'ye göre ölçüldükten sonra kütlesinin yüzde 5.0'ından fazlasını radyasyona kaybetmemelidir. Kütlece yüzde %5,0 ila %7,0 parlaklık kaybı olan uçucu kül de, özellikle donma direnci gibi belirli kriterleri karşılıyorsa ve beton ve

harç için yerel normlara ve yönetmeliklere uyuyorsa kabul edilebilir. TS639'a göre uçucu kül kısıtlamaları kimyasal özelliklere dayanmaktadır (Gürbüz 2009). Uçucu küllerin TS639' a göre olan kimyasal özelliklere göre sınırlandırması Çizelge 3.1'de verilmiştir. Türkiye'deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları ve ASTM C 618 standardına göre karsılastırılmaları ise Çizelge 3.2'de verilmiştir

Çizelge 3.1 TS639'a göre uçucu külün kimyasal özellikleri (Gürbüz 2009)

$SiO_2 + Al_2O3 + Fe_2O_3$ % en az	70.0
MgO, % en az	5.0
SO_2, % en çok	5.0
Rutubet, % en çok	3.0
Kızdırma kaybı, % en çok	10.0

Çizelge 3.2 Türkiye'deki bazı uçucu küllerin kimyasal bileşimi (Gürbüz 2009)

BİLEŞİM (%)	**AFŞİN-ELBİSTAN**	**ÇATALAĞZI**	**TUNÇBİLEK**	**ÇAYIRHAN**	**ASTM C 618 SINIRLARI**	
					F	C
SiO_2	27.4	56.8	58.59	49.13	-	-
Al_2O_3	12.8	24.1	21.89	15.04	-	-
Fe_2O_3	5.5	6.8	9.31	8.25	-	-
S+A+F	45.7	87.7	89.79	72.42	>70	>50
CaO	47.0	1.4	4.43	13.2	-	-
MgO	2.5	2.4	1.41	4.76	-	-
Na_2O	(N+K)	(N+K) 3.0	0.24	2.2	-	-
K_2O	-	-	1.81	1.76	-	-
SO_3	6.2	2.9	0.41	3.84	<5	<5
K.K.	2.4	0.6	1.39	0.72	<6	<6

3.6 Kimyasal Katkı

Kimyasal katkılar, betonun belirli özelliklerini iyileştirmek veya çimentolu sistemi farklı uygulama alanlarına uyarlamak için betondaki çimento miktarına bağlı olarak belirli oranlarda eklenen organik veya inorganik kökenli katkılardır.

Bu çalışmada betonun karıştırılma kolaylığının kimyasal bileşeni kullanılmıştır Şekil 3.6'te verilmiştir.



Şekil 3.6 Sıvı kimyasal katkı.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Elek Analizi Deneyi

Beton yapıların kalitesi, büyük ölçüde granülometrik bileşime bağlıdır, beton için amaçlanan çakıl ve kum, boşlukları mümkün olduğunca azaltmak için çeşitli boyutlarda taneler içermelidir. Parçacık boyutu analizi, agregaları oluşturan tanelerin boyutunu ve her bir boyutun tane yüzdesini belirleyerek agregaları karakterize eden ilk araştırma türüdür.

İnşaat mühendisliği alanında kullanılan agregalar, boyutları 0 ile 80 mm arasında olan, doğal veya suni menşeli haddelenmiş veya ezilmiş malzemelerdir. Genellikle eşit büyüklükteki elemanlardan değil, farklı boyutları mm cinsinden en küçük (d) ve en büyük (D) boyut olmak üzere iki sınır arasında dağılmış bir dizi taneden oluşurlar.

Farklı boyutlardaki parçacıklardan oluşan kırılmış malzemenin "parçacık boyutu dağılımını" belirlemek için bir elek analizi yapılır. Parçacık boyutu dağılımı, bir numunedeki boyut ile parçacık sayısı arasındaki ilişkidir. Bir numunenin boyut dağılımı, o numunede hangi boyutta ne kadar malzeme olduğunu gösterir. Bir malzemenin parçacık boyutu dağılımını bilmenin birçok avantajı vardır.

Bu yöntemde elek analizi için yeterince küçük bir numune, farklı göz açıklıklarına sahip bir dizi elekten geçirilir. Eleme işlemi en büyük açıklığa sahip elek ile başlar ve giderek daha küçük açıklıklara sahip elek ile devam eder. Eleme işleminde kullanılan elekler boyutlarına göre sınıflandırılarak "göz sayısı" kavramı benimsenmiştir. Eleme işlemi manuel veya otomatik olarak yapılabilir. Manuel elemede elekler tek tek kullanılır, Otomatik elemede ise bir elek sarsma makinesinden yararlanılır Şekil 4.1'te gösterildiği gibi yapmaktadır ve bizim durumumuzda manuel eleme kullanıldı ve TS EN 933 – 1 standar deneyi kullandık.

Test, bir malzemeyi bir kaç elek kullanarak birkaç tane küçülen boyut sınıfına ayırmayı içerir. Ağ boyutları ve elek sayısı, numunenin doğasına ve beklenen doğruluğa göre

seçilir. Farklı kalan malzemeler veya farklı eleklerin kütleleri, malzemenin ilk kütlesi ile ilgilidir, bu şekilde elde edilen yüzdeler, ya sayısalbiçiminde ya da grafik biçiminde kullanılır. Ancak Alınan toprak örneğinin kütlesi önce ölçülür, ardından 0,063 mm lik elekte yıkanarak kirişler uzaklaştırılır (Aydın 2020).



Şekil 4.1 Elek analizi için elekler ve kullanım esasları (Aydın 2020).

Laboratuarda kurutulan agregalar üzerinde farklı eleme analiz deneyleri yapılmıştır bu deneyler üç tip agregadan oluşur, bu nedenle kum 0/4, çakıl 4/12 ve son olarak kaba çakıl 12/25. Denemede 1160g kum, 1500g 4/12 orta agregalar ve 2000g 12/25 iri agregalar malzeme çakıl kullanılmıştır. Eleme işlemi sonunda her bir elek üzerinde kalan agrega terazi ile tartılarak ölçülmelidir. Çalışmada kullanılan manuel eleme Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4'de verilmiştir. Her bir elek boyutuna ait yığılımlı ağırlık (%) hesaplanır. Aşağıdaki denklem (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Mk = \frac{Mk}{\sum Wk} * 100 \qquad (4.1)$$

Mk: Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın yığılımlı ağırlık yüzdesi (%)

Wk: Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın etüv kurusu yığılımlı ağırlığı (g)

ΣWk: Etüv kurusu deney numunesinin ağırlığı (toplama kabının yığılımlı ağırlığı) (g)



Şekil 4.2 Kum eleme örneği 0/4



Şekil 4.3 Çakıl eleme örneği 4/12



Şekil 4.4 Çakıl eleme örneği 12/25

4.2 Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorpsiyonu) Deneyi

Beton bileşimi geliştirirken yoğunluğu bilmek gerekir. Bu parametre, özellikle, özellikleri empoze edilen bir beton elde etmek için karıştırılan çeşitli granüler sınıfların kütlesini veya hacmini belirlemeyi mümkün kılar. Bazı tanecikli malzemeler, su emilimine izin veren iç gözenekliliğe sahip olabilir. Sıvının kayaya girdiği ve sonuçta ağırlıkta meydana gelen artışa absorpsiyon denir. Daha sonra betonu üretmek için gereken su miktarını belirlerken agregalar tarafından su emilimi dikkate alınmalıdır.

Agregaların özgül ağırlığı, aralarındaki boşluklar çıkarılarak hesaplanan birim ağırlığa karşılık gelir. Ancak bu hesaplamalardan sonra bile agreganın nem içeriğine bağlı olarak 3 yoğunluktan bahsedilebilir.

Bu test, dökme numunelerin özgül ağırlığını ve su absorpsiyonunu belirlemek için (TS EN 1097-6) Standartta belirtildiği şekilde, kaba ve ince agregalar için deneyler ayrı ayrı uygulanmıştır.

Özgül ağırlık**:** Bir maddenin belirli bir hacim ve sıcaklıktaki havadaki ağırlığının, aynı hacim ve sıcaklıktaki havadaki damıtılmış suyun ağırlığına oranıdır.
Doymuş kuru yüzey**:** Agrega yapısındaki boşlukların suyla dolması ve yüzeyin kuru olması durumudur.

Özgül ağırlık değerleri ve su emme denklemleri aşağıdaki (4.2), (4.3), (4.4) ve (4.5) verildiği gibi hesaplanır:

Görünür Tane Yoğunluğu (mg/m^3): $$\mathrm{Pa} = \frac{\mathrm{M4}}{\mathrm{M4}-(\mathrm{M2}-\mathrm{M3})} \quad (4.2)$$

Kuru Tane Yoğunluğu (mg/m^3): $$\mathrm{Prd} = \frac{\mathrm{M4}}{\mathrm{M1}-(\mathrm{M2}-\mathrm{M3})} \quad (4.3)$$

Doygun Kuru yüzey Tane Yoğunluğu (mg/m^3): $$\mathrm{Pssd} = \frac{\mathrm{M1}}{\mathrm{M1}-(\mathrm{M2}-\mathrm{M3})} \quad (4.4)$$

Su emme Oranı (%) : $$\mathrm{WA24} = \frac{100*(\mathrm{M1}-\mathrm{M4})}{\mathrm{M4}} \quad (4.5)$$

M1 : DKY (Doygun kuru yüzey ağırlık) (g)

M2 : Kap + su + DKY ağırlığı (g)

M3 : Kap + su ağırlığı (g)

M4 : Kuru ağırlık (g)

4.2.1 Kaba ve orta agregalar için özgül ağırlığı absorbsiyonu deneyı.

4 mm elekte yıkanan hazırlanan numuneler yıkandıktan sonra metal sepete yerleştirilmiştir. Agrega içinde sıkışan havanın tamamen uzaklaştırılması için sepet daldırılmış ve agregalar 24 saat suda bekletilmiştir. Sepet ve agregalar sudan çıkarıldıktan sonra agregalar kuru bir havlu üzerine dökülerek yüzeyleri iyice kurutuldu

Şekil 4.5, Kuru yüzeydeki doymuş agregalar tartıldı (M1). daha sonra Şekil 4.6'de gösterildiği gibi havlula kurutulduğu agreganın su içinde tartıldı (M2). Ayrıca boş kap tekrar su içinde tartılmıştır (M3). Agrega taneleri 110 ± 5 ºC'de 1 veya 2 saat etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları ölçülmüştür (M4) (Gezer 2009).



Şekil 4.5 Doygun kuru yüzey ağırlık tayini (DKY)



Şekil 4.6 Kap ile numunelerin su içinde tartılması.

4.2.2 İnce agregalar için özgül ağırlığı absorbsiyonu deneyı.

0,063 mm elekte yıkanan hazırlanan numuneler yıkandıktan sonra metal sepete yerleştirilmiştir. Agrega içinde sıkışan havanın tamamen uzaklaştırılması için sepet daldırılmış ve agregalar 24 saat suda bekletilmiştir. Sepet ve agregalar sudan çıkarıldıktan sonra ince agregalar doygun hala getirmek için fırın üstünde metal sepeteyi döküp yüzeyleri Şekil 4.7 'de görüldüğü gibi iyice kurutuldu, Kuru yüzeydeki doymuş agregalar tartıldı (M1). daha sonra fırın üstünde kurutulduğu agreganın su içinde tartıldı (M2). Ayrıca boş kap tekrar su içinde tartılmıştır(M3). Agrega taneleri 110 ± 5 ºC'de 2 saat etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları ölçülmüştür (M4)) (Seren 2015).



Şekil 4.7 İnce agrgalar doygun kuru yüzey ağırlık tayini

4.3 Metilen Mavisi Deneyi

"Mavi deney" olarak da adlandırılan metilen mavisi deneyi, jeoteknikte kum, agrega ve daha genel olarak toprağın ve içerdiği farklı killerin temizliğini belirlemek için kullanılan bir deneydir.

Birçok araştırmacı metilen testinin agrega incelerinde kil minerallerini tespit etmede en doğru ve en hızlı yöntemlerden biri olduğu konusunda hemfikirdir. Metilen mavisi testi Fransa'da geliştirildi ve başlangıçta beton üretiminde uygun olup olmadığını belirlemek için granüler malzemedeki kil içeriğini belirlemek için kullanıldı. Test, kil minerallerinin geniş bir yüzey alanına ve metilen mavisi katyonları ile kil iyonları arasındaki bir iyon değişimi fenomeni tarafından tespit edilebilen negatif yüke sahip olduğu kavramı üzerinde çalışır. Sulu halde metilen mavisi, karşılık gelen moleküler ağırlığı (MW) 319.85 g / mol olan katyonik bir boyadır ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) ve negatif yüklü kil yüzeylere adsorbe edebilmektedir. Metilen mavisi boyası orijinal olarak toprakların ve diğer malzemelerin spesifik yüzey alanını (SSA) belirlemek için kullanılmıştır (Pitre 2012).

İnce agregalarda veya gruplanmamış agregalarda milimetre (0/2) aralığında kilogram başına adsorbe edilen boyanın gram sayısıdır. Metilen mavisi çözeltisinin çözelti kısmı, test edilecek numunenin su içinde süspansiyonuna sırayla ilave edildi. Boya çözeltisinin test numunesi kısmı tarafından adsorpsiyonu, her çözelti ilavesinden sonra filtre kağıdı üzerinde bir boya testi yapılarak serbest boyanın varlığını belirlemek için yapılan bir deneydir.

Test edilecek numune ve metilen mavisi tozu ile bir boya çözeltisi hazırlayın. Test numunesi tartılır ve M1 olarak kaydedilir ve Bu testte 2 mm elek ile elenmiş 200g ince kum vardır Şekil 4.8 . Behere 500g distile su dökün, kuru test numunesini bir spatula ile iyice karıştırın ve behere ekleyin. Boya çözeltisini çalkalayın ve iyice karıştırın.

Büret boya solüsyonu ile doldurulur. Karıştırıcı 600 rpm'ye ayarlandı ve çark, beherin tabanından yaklaşık 10 mm yukarıya Şekil 4.9'de verildiği gibi yerleştirildi. Karıştırıcıyı çalıştırın, önce beherdeki malzemeyi 5 dakika (600 ± 60) rpm karıştırmak için kronometreye basın. ancak her 5 dakikada bir 5 mL boya solüsyonu eklemeniz gerekir.

Hesaplamalarda, metilen mavisi (MB) aşağıdaki denklem (4.6) kullanılarak hesaplanır.

$$MB = \frac{V1}{M1} \times 10 \quad (4.6)$$

MB: Metilen mavisi (MB) (%)

M1: Deney numunesi kütlesi (g)

V1: Eklenen boya çözeltisinin toplam hacmi (mL)



Şekil 4.8 Elek ile kum eleme.



Şekil 4.9 Metilen mavisi deneyinin uygulanışı

4.4 Beton Üretimi

Çimento, kum ve su karışımına uçucu kül ekleme işlemi; çimento miktarını azaltmadan karışıma uçucu kül ilavesini kabul edin.

Bu çalışmada beton dökümünde kullanılan çimento, kum ve su karışımına uçucu kül ilave edilmiştir. Referans için bir; ve çeşitli oranlarda uçucu kül içeren diğerleri; Beton toplamda 3 farklı seride üretilmiştir. Referans betonda ve uçucu kül içeren diğer tüm betonlarda çimento dozu 300 kg/ m^3 olarak alınmıştır.

Çimentoya kum ve su eklenmiş ve referans numune olarak adlandırılmıştır (saf beton). Çimento, kum ve sudan oluşan karışım, hacimce eşit oranlarda 18 özdeş ve homojen plastik kap içine konulmuş ve 6 kap saf beton ve çeşitli oranlarda uçucu kül içeren 12 kaptan oluşan ağırlığı ölçülmüştür. 12 adet plastik kapta bulunan çimento, kum, çakıl ve su karışımlarına ağırlıkça %10, ağırlıkça %20 oranında uçucu kül ilave edilerek mikser ile ayrı ayrı karıştırılmıştır, her biri 20'şer dakika. yani saf beton içeren 6 kap, %10 uçucu kül içeren 6 kap ve son olarak %20 uçucu kül içeren 6 kap (Şekil 4.11) . Saf beton içeren numune (referance) , ağırlıkça %10 uçucu kül içeren numune UK 1, ağırlıkça %20 uçucu kül içeren numune UK2 olarak adlandırılmıştır.

Beton bileşenleri mikser ile karıştırıldıktan sonra Şekil 4.10, hiperakışkanlaştırıcının ve su/çimento oranının taze beton üzerindeki etkisini belirlemek için taze beton deneyleri yapılmıştır. Kalıplar, ilk sertleşme için 24 saat nemli bir kür ortamında tutulmuştur.Daha sonra, kalıplardan çıkarıldıktan sonra, harç küpleri tekrar test edilmeden önce %100 bağıl nem yani 22+/- 2°C'de tutulan nemli kür havuzuna konulmuş, deney gününe kadar bekletilmiştir. Deney gününe kadar bekleyen numune kür havuzundan çıkarılarak beton basma deneyleri yapılmıştır. Numuneler kurutma havuzunda 3 gün, 7 gün ve 28 gün süreyle tutulmuştur.

Çizelge 4.1 Bir metreküp başına beton miktarı

NUMUNE TİPİ	ÇİMENTO (kg)	KUM (kg)	ORTA AGREGA 4-12 mm	KABA AGREGA 12-25 mm	SU (kg)	UÇUCU KÜL (%)	KİMYASAL KATKI (kg)
Referans	300	1133	271	526	137	0	3,6
UK1	300	1111	266	516	137	10	3.96
UK2	300	1090	260	506	137	20	4,32

Çizelge 4.2 Beton tasarımı sürecinde uygulanan karışım miktarları

NUMUNE TİPİ	ÇİMENTO (kg)	KUM (kg)	ORTA AGREGA 4-12 mm	KABA AGREGA 12-25 mm	SU (kg)	UÇUCU KÜL (kg)	KİMYASAL KATKI (kg)
Referans	6.9	26.06	6.23	12.1	3.15	0	0.083
UK1	6.9	25.55	6.12	11.87	3.15	0.69	0.091
UK2	6.9	25.07	5.98	11.64	3.15	1.38	0.099

En başta beton miktarı için 1 m^3 beton için beton miktarını belirledik Çizelge 4.1, ardından sıkıştırma testini kolaylaştırmak için 0.023 m^3 betona dönüştürdük Çizelge 4.2'te sonuçları göstermektedir.



Şekil 4.10 Beton mikser ile beton karıştırılması



Şekil 4.11 Beton numuneleri örneği

4.5 Beton Numuneleri Üzerinde Sıkıştırma Testleri

15x15x15 cm ölçülerindeki numuneler sertleştirme banyosunda tutulmuş ve 3, 7, 28 gün sonra basınç testlerine tabi tutulmuştur Şekil 4.12. Kullanılan deneysel cihaz Şekil 4.13'te gösterilmektedir. basınç dayanımı; numuneye uygulanan kuvvetin numunenin kesitine bölünmesiyle hesaplanır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, numunelerin basınç dayanımı testinde 15x15x15 cm küp numunelere karşılık gelmesidir. Bu deneyin amacı, belirli bir yaştaki beton örneğinin birim alan başına taşıyabileceği yük miktarını belirlemektir.

Bu örneğin sonuçları, aynı hesaplamalar kullanılarak üretilen betonun pratik uygulamalarda kaldırabileceği yükler hakkında bilgi vermektedir. Numuneyi TS EN 12390-3'e göre basma test makinesine kırılıncaya kadar yüklenir. Betonun basınç dayanımı, numunenin destekleyebileceği maksimum yük belirlenerek hesaplanır.



Şekil 4.12 Havuzdan çıktıktan sonra beton numuneleri



Şekil 4.13 Basınç dayanımı ölçümünde kullanılan cihaz ve basınç testi

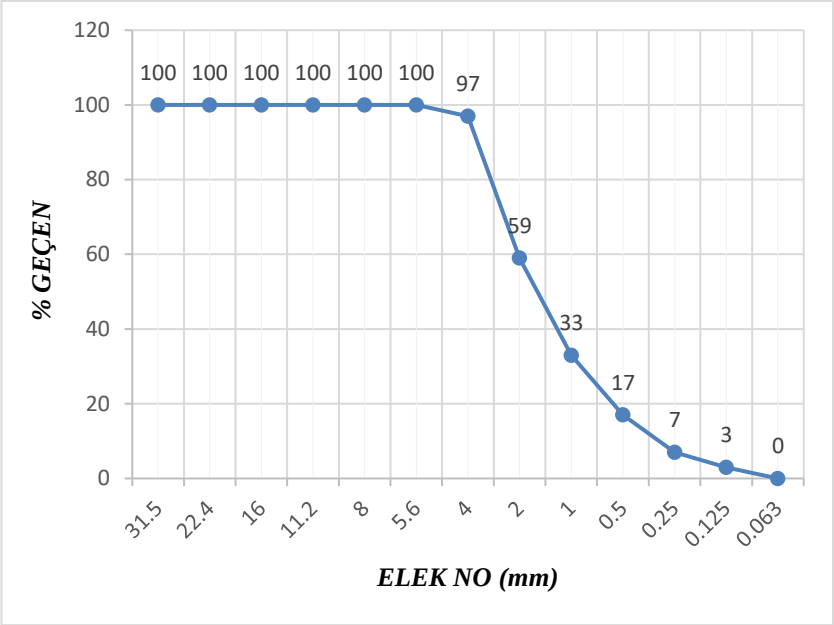
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Elek Analizi Deneyi Sonuçları

TS EN 933-1 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan tane büyüklüğü dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi deneyleri yapılmıştır. Elek analizi deneyinde kullanılan elek serileri ve test sonuçları Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te, test sonuçlarına ait tane dağılım (parçacık boyutu) eğrileri ise Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.1 Kum partikül boyutu analiz değerleri

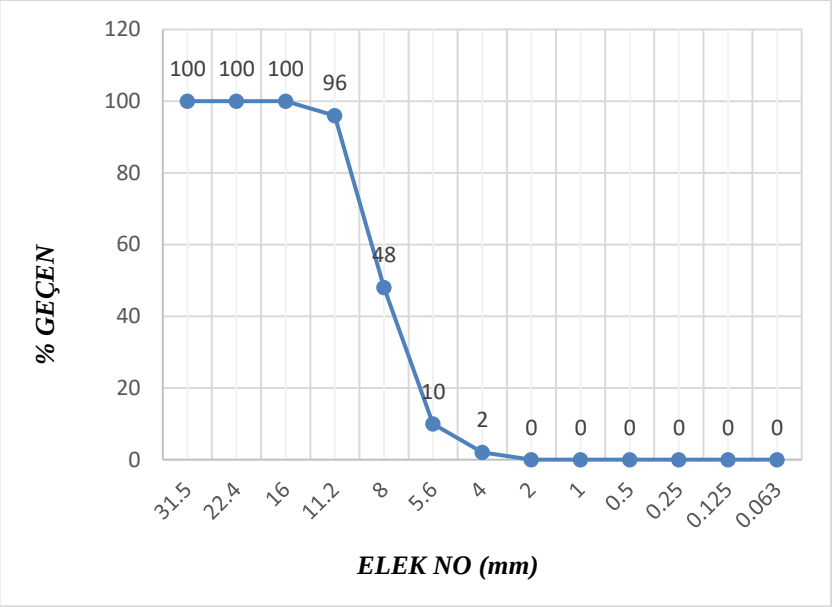
ELEK NO (mm)	ELEKTE KAL (g)	KÜM KAL (g)	KÜM KAL (%)	GEÇEN (%)
31,5	0	0	0	100
22,4	0	0	0	100
16	0	0	0	100
11,2	0	0	0	100
8	0	0	0	100
5,6	1,2	1,2	0	100
4	35,1	36,3	3,2	97
2	434	470,3	41	59
1	309,1	779,4	67	33
0,5	183,2	962,6	83	17
0,25	111,9	1074,5	93	7
0,125	50	1124,5	97	3
0,063	32	1156,5	99.7	0
PAN	3	1159,5	100	0



Şekil 5.1 Kumun parçacık boyutu eğrisi.

Çizelge 5.2 Orta agrega Tane Boyutu Analiz Değerleri

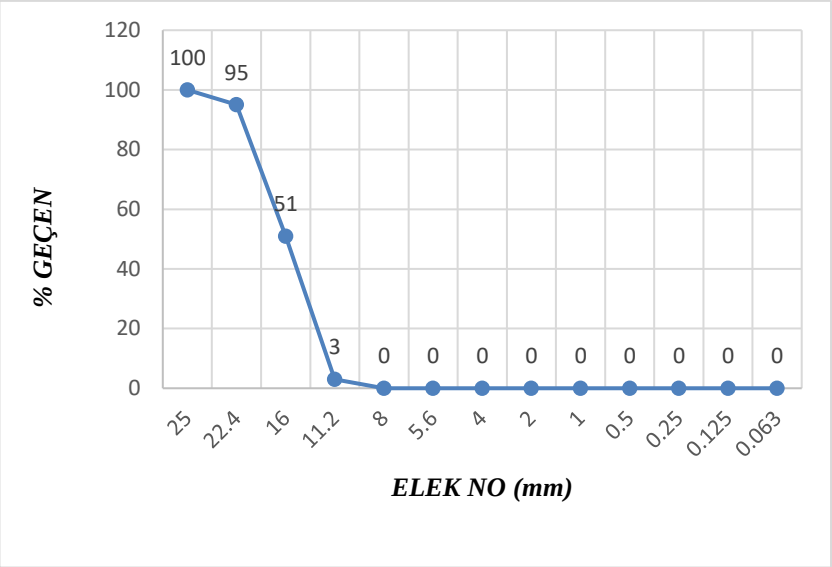
ELEK NO (mm)	ELEKTE KAL (g)	KÜM KAL (g)	KÜM KAL (%)	GEÇEN (%)
11,2	62	62	4,13	95,87
8	713.8	775,8	51,72	48,28
5,6	573.5	1349,3	89,95	10,05
4	117,8	1467,1	97,80	2,19
2	30,9	1498	99,87	0,13
PAN	0	1498	99,87	0,13



Şekil 5.2 Orta agrega granülometrik eğrisi

Çizelge 5.3 Kaba agrega tane boyutu analiz değerleri

ELEK NO (mm)	ELEKTE KAL (g)	KÜM KAL (g)	KÜM KAL (%)	GEÇEN (%)
25	0	0	0	100
22,4	90,9	90,9	4,55	95,46
16	880,3	971,2	48,56	51,44
11,2	958,2	1929,4	96,47	3,53
8	68,7	1998,1	99,91	0,09
PAN	0	1998,1	99,91	0,09



Şekil 5.3 Kaba agrega granülometrik eğrisi

Granülometrik eğri, malzemenin tipinin yanı sıra granüler sınıfını ve doğasını tanımlamamızı sağlar.Elek analizi, 1 m^3 beton (kum, kaba ve orta çakıl) için malzeme miktarını belirlememizi sağlar.

Çalışmada kullanılan agregaya ait elek analiz eğrisi sonucu TS EN 12620 standartlarında verilen elek analiz eğrisi limitleri arasında kalmıştır.

5.2 Özgül Ağırlık ve Su Emme (Absorpsiyonu) Deneyi Sonuçları

TS EN 1097-6 standartlarına göre kütle/hacim oranı kullanılarak tane yoğunluğu belirlenir.Tane yoğunluğu ve su emme oranı TS EN 1097-6 standardında açıklanan yönteme göre yapılmıştır. kaba agrega için Çizelge 5.4, orta agrega için Çizelge 5.5 ve ince agrega için Çizelge 5.6'te sonuçları verilmiştir. Su emme oranı değeri kaba agrega için %0,88, orta agrega için %0,91 ve ince agrega için %0,96'dır, Çalışmada üretilen tüm agregaların yoğunlukları ve su emme oranları sınır değerler içinde kalmıştır.

Çizelge 5.4 Kaba agreganın özgül ağırlığı ve su emme değerleri

	12-25 mm KABA AGREGA
M1= Doygun ve havada kurutulmuş malzeme kütlesi (g)	1054,4
M2= Piknometrenin + Deney numunesi + Su kütlesi (g).	2188,7
M3= Piknometrenin + Su kütlesi (g).	1526,1
M4= Etüvde Kurutulmuş Deney numunesinin (g).	1045,2
Pa= Görünür Tane Yoğunluğu	2,73
Prd= Kuru Tane Yoğunluğu	2,64
Pssd= Doygun kuru yüzey tane yoğunluğu	2,69
WA24= Su emme oranı	0,88

Çizelge 5.5 Orta agreganın özgül ağırlığı ve su emme değerleri

	4-12 mm ORTA AGREGA
M1= Doygun ve havada kurutulmuş malzeme kütlesi (g)	756,8
M2= Piknometrenin + Deney numunesi + Su kütlesi (g).	1999
M3= Piknometrenin + Su kütlesi (g).	1526,1
M4= Etüvde Kurutulmuş Deney numunesinin (g).	750
Pa= Görünür Tane Yoğunluğu	2,71
Prd= Kuru Tane Yoğunluğu	2,64
Pssd= Doygun kuru yüzey tane yoğunluğu	2,67
WA24= Su emme oranı	0,91

Çizelge 5.6 İnce agreganın özgül ağırlığı ve su emme değerleri

	0-4 mm İNCE AGREGA
M1= Doygun ve havada kurutulmuş malzeme kütlesi (g)	367,4
M2= Piknometrenin + Deney numunesi + Su kütlesi (g).	1757,1
M3= Piknometrenin + Su kütlesi (g).	1526,1
M4= Etüvde Kurutulmuş Deney numunesinin (g).	363,9
Pa= Görünür Tane Yoğunluğu	2,74
Prd= Kuru Tane Yoğunluğu	2,67
Pssd= Doygun kuru yüzey tane yoğunluğu	2,69
WA24= Su emme oranı	0,96

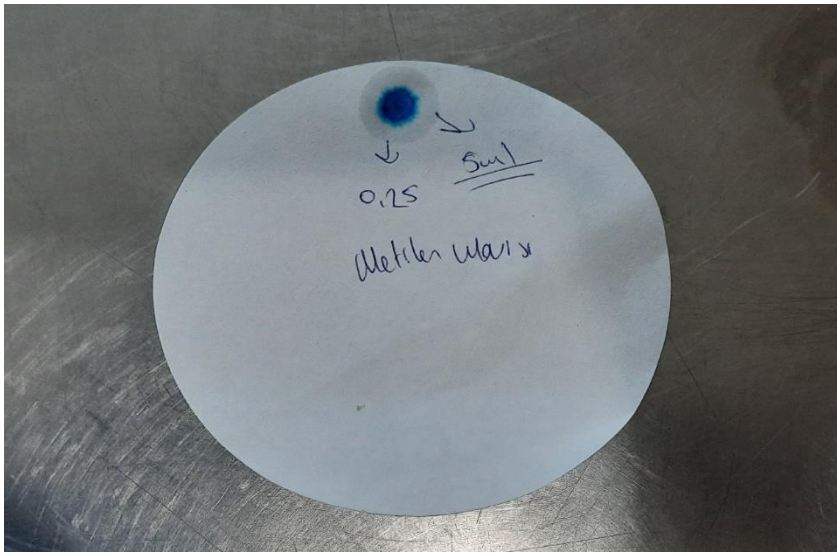
Özgül ağırlığı, 1 m^3 beton için su miktarını belirlememizi sağlar.

5.3 Metilen Mavisi Deneyi Sonuçları

Metilen mavisi testi için referansi uygun olarak yapılmış Çizelge 5.7. Metilen mavisi testi sonunda bulunan değer Çizelge 5.8'de verilmiştir. Kalıcı bir açık mavi hale elde etmek için 1 ilave metilen mavisi aldı Şekil 5.4'te gösterilmiştir . Bu, V=5 mL'lik bir hacim anlamına gelir.

Çizelge 5.7 Metilen mavisi testi için referans değerler

METİLEN MAVİSİ DEĞERİ (MB)	TOPRAK KATAGORİSİ
MB < 0,1	Suya duyarsız zemin
0,2 ≤ MB < 1,5	Tınlı kumlu toprak, suya duyarlı
1,5 ≤ MB < 2,5	Kumlu killi toprak, çok plastik değil
2,5 ≤ MB < 6	Orta plastisiteli tınlı toprak.
6 ≤ MB < 8	Killi toprak.
MB > 8	Çok killi toprak.



Şekil 5.4 Kalıcı açık mavi halenin görünümü

Çizelge 5.8 Metilen mavisi değerler

E.1 (0-2) mm'lik deney numunesi kısmının kuru kütlesi (en yakın gram olarak). M1	M1= 200 g
E.2 Kaolinit tarafından (eğer kullanılmışsa) adsorplanan çözeltinin hacmi. V′	V′= 0 mL
E.3 İlâve edilen boya çözeltisinin toplam miktarı. V1	V1= 5 mL
E.4 (0-2) mm aralığının beher kilogramı başına gram cinsinden boya miktarı olarak ifade edilen MB değeri;	MB= 0,25

$0{,}2 \leq$ MB $< 1{,}5$**,** Dolayısıyla numunenin suya duyarlı kumlu tınlı toprak olduğu söylenebilir.

5.4 Beton Numuneleri Üzerinde Sıkıştırma Testleri Sonuçları

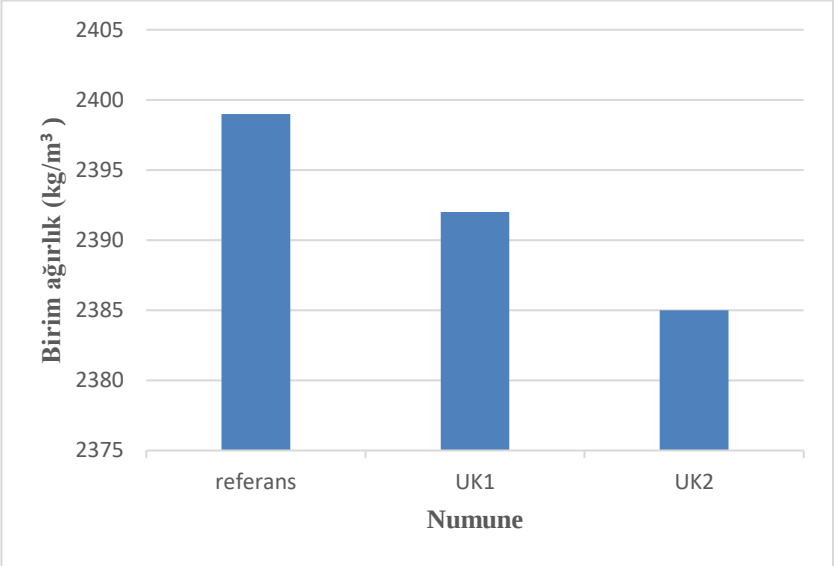
Tezimizde, yağmur ve rüzgara karşı kapalı ortamda bıraktığımız % 10 ve % 20 uçucu kül kullanarak ürettiğimiz uçucu kül esaslı betonlarımızın dayanıklılık ve mekanik dayanım performansı incelenmiştir. Numunelerimiz 3 gün, 7 gün ve 28 gün normal + 1 gün ısı kürü olmak üzere normal şartlar altında tutulmuş ve performansları incelenmiştir. Burada amacımız, saf beton (uçucu külsüz) arasındaki farka bakarak uçucu kül miktarının direncinin etkilerini incelemektir. Numunelerimizin zamanla ağırlıklarında meydana gelen değişmelerin, basınç dayanımının azalması veya artması gibi görsel olarak incelenmesi detaylı olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Bu testin amacı, sertleşmiş betonun kalitesini kontrol etmektir. Bunlar en yaygın testler. Standart bir protokolü izleyerek mekanik bir test makinesinde bir malzemenin basınç dayanımını ölçer.

Taze betonun birim ağırlığını belirlemek için elde edilen beton, TS EN 12350-6'ya göre üç kat halinde bir ölçü kabına yerleştirilir, tabakalara 25'er defa püskürtülür, betonla doldurulan kap tartılır ve betonun yüzeyi tartılır. beton mala ile alınır ve ölçü kabı silinerek temizlenir. Brüt ağırlıktan kabın boş ağırlığı çıkarılarak kaptaki betonun net ağırlığı (Wn) bulunur ve küpün kabın hacmine bölünmesiyle betonun birim ağırlığı elde edilir (Akbaş 2017).

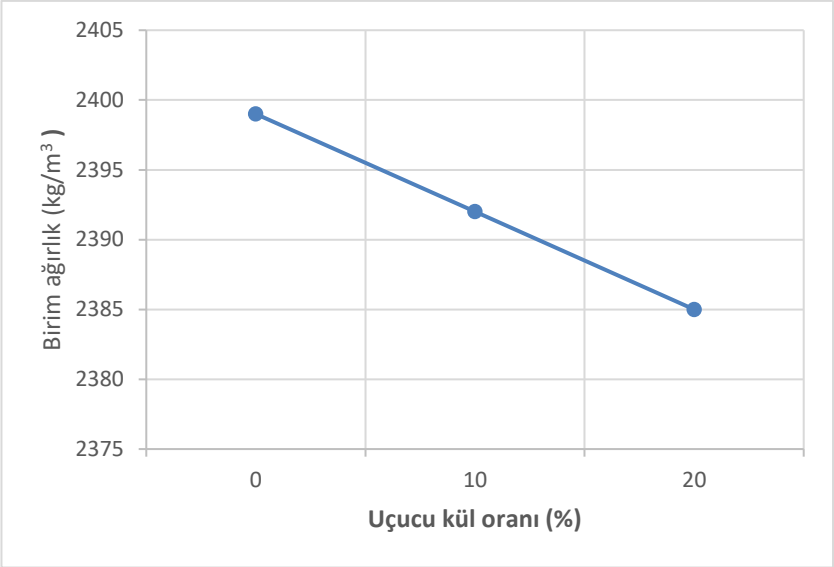
Bu çalışmadaki betonların birim ağırlıkları (kg/ m^3) referans beton numunesi için 2399 kg/ m^3, UK 1 numunesi için 2392 kg/ m^3, UK 2 numunesi için 2385 kg/ m^3 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.5'te grafik olarak yeniden tasarlandı

Yoğunluğu 800 kg/ m^3'ten büyük ve 2000 kg/ m^3'ten az olan ve agregası tamamen veya kısmen hafif agregalardan oluşan betona hafif beton denir. Birim ağırlığı 2000kg/ m^3 ile 2600kg/ m^3 arasında olan betona normal beton denir (Bilgiç 2009).. Birim ağırlığı 2600 kg/ m^3'ten büyük olan betona ağır beton da denir (Özsu 2019).



Şekil 5.5 Beton numunelerin birim ağırlıklarının karşılaştırılması

Bu çalışmada üretilen referans beton ve uçucu kül içeren beton numuneleri (UK 1, UK2) normal beton sınıfına aittir.Betondaki uçucu külün artması ile betonun birim ağırlığındaki azalma arasındaki ilişki aşağıdaki Şekil 5.6'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Betonda uçucu kül artışı ile birim ağırlık arasındaki ilişki

Birim ağırlığı yüksek olan beton, yüksek dayanım ve taşıma kapasitesine sahiptir. Bu çalışmada, uçucu kül oranının artması ile betonun birim ağırlığının azalması, eklenen uçucu kül miktarının yetersiz olduğunu ancak diğer yandan normal dayanımlı beton sınıfında olduğunu bize göstermektedir , o zaman maliyeti düşürmeyi, mukavemeti artırmayı, kolay işlenebilirliği mümkün kılmakta ve bu özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir (Caymaz 2009).

Paşa (2018) tarafından yapılan çalışmada kırmataş agrega ve CEM 42.5 sınıfı çimento ile hazırlanan karışımlara %5, %10, %15 oranında silis dumanı (SD) ve uçucu kül (UK) eklenmiştir. Çimento ve kırmataş agregadan oluşan referans betonun taze birim ağırlığı 2446 kg/ m^3 olarak belirlenmiştir. Silis dumanı içeren SD5, SD10, SD15 numunelerinin taze birim ağırlıkları sırasıyla 2438 kg/m^3, 2431 kg/m^3 ve 2423 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. UK5, UK10, UK15 uçucu kül içeren numunelerin taze birim ağırlıkları sırasıyla 2442 kg/ m^3, 2439 kg/ m^3 ve 2435 kg/ m^3 olarak belirlenmiştir. Numunelerin taze birim hacim ağırlıkları dikkate alındığında; Karışıma çimento yerine silis dumanı ve uçucu kül ilave edildiğinden birim ağırlık azalmıştır. Bunun nedeninin silis dumanı ve uçucu kül yoğunluğunun çimentodan daha düşük olması olduğu düşünülüyordu. Karışımlarda çimento yerine kullanılan mineral katkıların oranı arttıkça taze birim hacim ağırlığının orantılı olarak azaldığı görülmüştür.

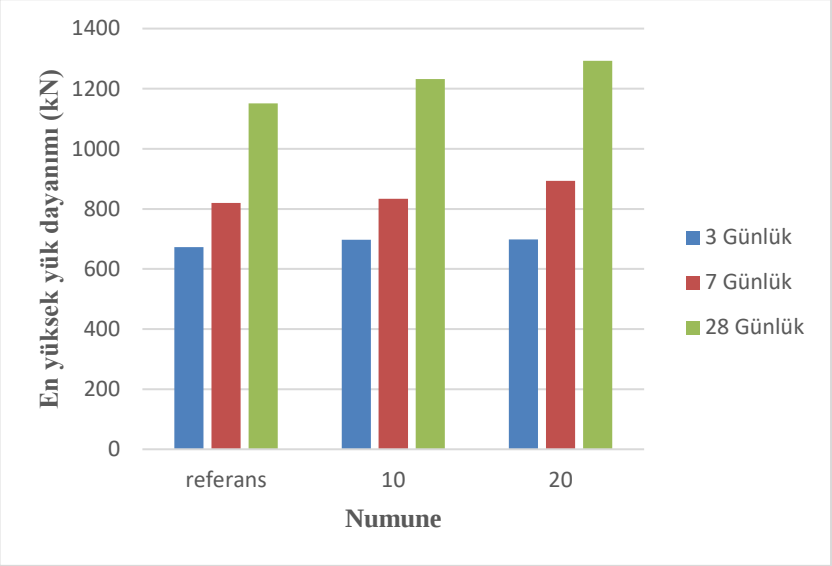
Dikici (2010) tarafından yapılan çalışmada ASTM C 311'e göre 5 cm'lik küplerle yapılan uçucu kül-çimento karışımı harçlarla oluşturulan betonun taze birim ağırlığı 1918 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Betonun birim ağırlığının düşük olmasından kaynaklanan hafif betonların yük altında çoğunlukla gevrek olduğu belirtilmiştir. Çok düşük birim ağırlığın agrega içerisinde çok miktarda boşluk olduğunun göstergesi olduğu vurgulanmıştır. Kuru yüzey doyurulduktan ve etüvde kurutulduktan sonra uçucu kül ikameli beton numunelerinin birim ağırlıkları, silis dumanı + uçucu kül içeren beton numunelerine ve silis dumanı + yüksek fırın cürufu içeren beton numunelerine göre daha düşük olmuştur. Aynı işlenebilirlik ve karışım oranı koşulları altında, silis dumanı + uçucu kül içeren beton numunesi, uçucu külün daha düşük özgül ağırlığı nedeniyle daha düşük birim hacim ağırlık değeri göstermiştir.

Özer (2012) uçucu kül malzemenin betonda katkı maddesi olarak kullanımını araştırmış ve bu malzemenin beton; basınç dayanımı, eğilme dayanımı, aşınma direnci ve kılcallık gibi özelliklerde ne gibi değişiklikler yarattığını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Bu çalışmada, kontrol karışımı ve uçucu kül ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında çimento ile değiştirilerek karışımlar üretilmiştir. Ağırlıkça %10, %20 ve %30 ikame edilerek üretilen betonların birim hacim ağırlıkları sırasıyla 2288 kg/m^3, 2260 kg/m^3 ve 2259 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre %10 uçucu kül içeren UK 10 karışımı ile kontrol karışımının basınç dayanımının yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. Ayrıca uçucu külün betonun işlenebilirliğini arttırdığı anlaşılmıştır. Ayrıca UK 10 karışımlarının betonun geç dayanım kazanımında etkili olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada 15x15x15 cm boyutlarındaki beton numuneler basınç testi için basınç test cihazına yerleştirilmiş ve cihaza sabit yükleme hızında bir yüke tabi tutulmuştur. Kür havuzunda 3 gün kalan betonlar arasında referans betonun dayanabileceği yük 672,3 kN'dir. UK 1 numunesinin dayanabileceği yük 696,85 kN'dir. UK 2 numunesinin dayandığı yük 698.14 kN'dir.

Kür havuzunda 7 gün kalan betonlar arasında referans betonun dayanabileceği yük 819.92 kN'dir. UK 1 numunesinin dayanabileceği yük 833,51 kN'dir. UK 2 numunesinin dayandığı yük 893,61 kN'dir.

Şekil 5.7'de gösterildiği gibi, 28 gün kür havuzunda bırakılan betonlar arasında referans betonun dayanabileceği en yüksek yük 1151.13 kN'dir. UK 1 numunesinin dayanabileceği yük 1232.17 kN'dir. UK 2 numunesinin dayandığı yük 1292.84 kN'dir.

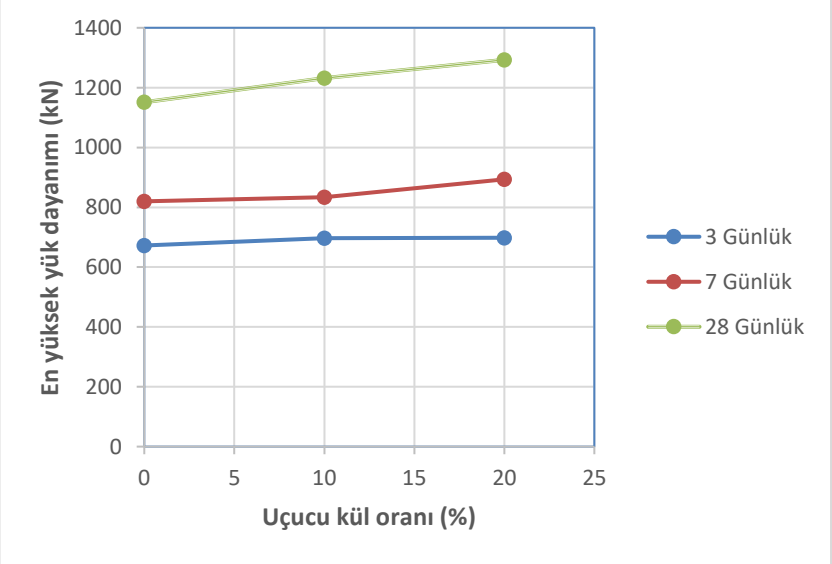


Şekil 5.7 Beton numunelerin yüklerine karşı direncin açıklayıcı diyagramı

Bu çalışmada, beton numunelerinde uçucu kül içeriğinin artmasıyla yük dayanımı artmıştır. Betonun birim ağırlığı azaldıkça yük dayanımı da azalır. Örneğin; Lkhagva (2006) tarafından yapılan çalışmada uçucu külden farklı özelliklerde bentonit katkılı pelet üretilmesi, bu peletlerin hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılması, betonun mekanik özelliklerine etkilerinin değerlendirilmesi ve Türkiye'de uçucu kül kullanımını yaygınlaştırma çabalarına katkıda bulunmak. İlgili çalışmada, uçucu kül agrega içeren betonun ağırlığının artmasıyla mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Agreganın mukavemeti ne kadar yüksekse betonun o kadar dayanıklı olabileceği belirlenmiştir. Bu tespit doğrultusunda en verimli şekilde uçucu külden pelet üretimi yapılmıştır. Peletleme işleminde bağlayıcı oranı, peletleme koşulları ve sinterleme sıcaklığı gibi parametreler optimum şekilde ayarlanmıştır. Sonuç olarak, peletleme ve

sinterleme işlemi ile atık olarak çevreye salınan uçucu külden agrega üretilmiştir. Böylece hafif beton üretiminde uçucu kül agregaları kullanılmıştır. Beton birim ağırlığı 1.64 kg/dm^3 ile 1.80 kg/dm^3 arasında olup, 7x7x7 cm küp numunenin 390 kg/m^3 dozajlı basınç dayanımı 38.38 N/mm^2'ye ulaşmıştır. Böylece uçucu kül agregalarının hafif beton üretimi için uygun olduğu görülmüştür.

Sunacağımız bu grafikte, betondaki uçucu kül içeriğindeki artış ile betonun yük direnci (kırılma yükü) arasındaki ilişki Şekil 5.8'te gösterilmektedir.



Şekil 5.8 Betondaki uçucu kül içeriğindeki artış ile yük direncindeki artış arasındaki ilişkinin açıklayıcı eğrisi.

Burada ϭ basınç dayanımı (N/mm^2), P betonun kırılma yükü (N) ve A yükün uygulandığı numunedir (mm^2). Bu çalışmadaki beton numunelerin yüzey alanı 225 cm^2'dir. Dolayısıyla yükün uygulandığı numune alanı 225 cm^2 yani 22500 mm^2 dir.

Bu çalışmada yer alan beton numunelerinin basınç dayanımları Çizelge 5.9'de verilmiştir. Basınç dayanım değeri en yüksek olan beton, uçucu kül miktarı en yüksek olan UK 2 numunesidir. Basınç dayanımı en düşük olan beton, uçucu kül içermeyen referans numunedir.

Sonuç olarak, beton yapıya eklenen uçucu kül içeriğinin artması ile kırılma yükü eğerinde bir artış ve basınç dayanımı değerinde bir artış meydana gelmektedir.

N/mm^2 = Mpa Bu nedenle bu çalışmada elde edilen basınç değerleri de MPa cinsinden ifade edilmiştir.

Çizelge 5.9 Bu çalışmada beton numunelerinin basınç dayanımı sonucu

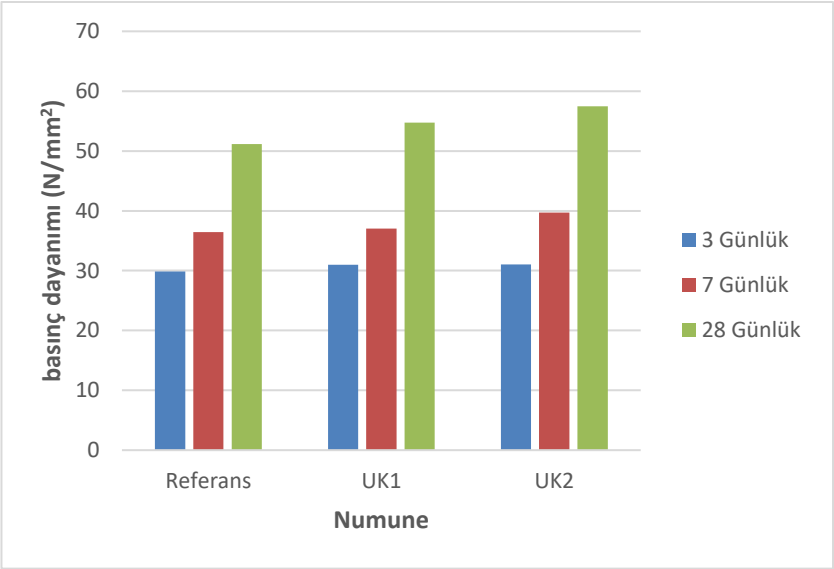
NUMUNE	REFERANS	UK1	UK2
3 Günlük basınç dayanımı (N/mm^2)	29.88	30.97	31.03
7 Günlük basınç dayanımı (N/mm^2)	36.44	37.04	39.72
28 Günlük basınç dayanımı (N/mm^2)	51.16	54.76	57.46

Bu çalışmada, uçucu kül içeren beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları 54 MPa ile 57 MPa arasında değişmiştir. Myadaraboina (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, uçucu kül içeren betonun 28 günlük dayanımının 20-25 MPa değerlerine ulaşabileceği gösterilmiştir . Lkhagva (2006) tarafından yapılan çalışmada, uçucu külün granülasyonu ve sinterlenmesi ile uçucu kül agregası üretilmiş ve hafif beton üretiminde kullanılmıştır. Uçucu kül ilavesi ile 7x7x7 cm kübik betonun basınç dayanımı 38.38 N/mm^2'ye ulaşır.

Karakulak (2019) tarafından yapılan çalışmada beton yapılarda %10, %20 ve %30 oranında çimento yerine uçucu kül kullanılmıştır. 28 gündeki basınç dayanımı 30.9 ile 45.5 MPa arasındaydı . Paşa (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, çimento yerine sadece ağırlıkça %5, %10, %15 uçucu kül içeren betonun 28 günlük basınç dayanımı 19 MPa ile 38 MPa arasında bulunmuştur.

Özer (2012) tarafından yapılan çalışmada, uçucu kül yerine ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında çimento kullanılarak beton karışımları üretilmiştir. Üretilen bu beton karışımlarının 28 günlük basınç dayanımları 33.22 MPa ile 49.28 MPa arasında değişmektedir. Araştıran başkaları tarafından yapılan çalışmalara bakıldığında, uçucu

kül içeren betonların 28 günlük basınç dayanımı 19 MPa ile 49.28 MPa arasında değişmektedir. Bu çalışmada uçucu kül (UK 1, UK 2) içeren beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları 54.76 MPa ile 57.46 MPa arasında değişmiştir. Bu çalışmadan 28 gün sonra elde edilen basınç dayanımı değerleri önceki çalışmalardan üstündür, ancak uçucu kül içeren beton numunelerimiz dayanıklıdır.

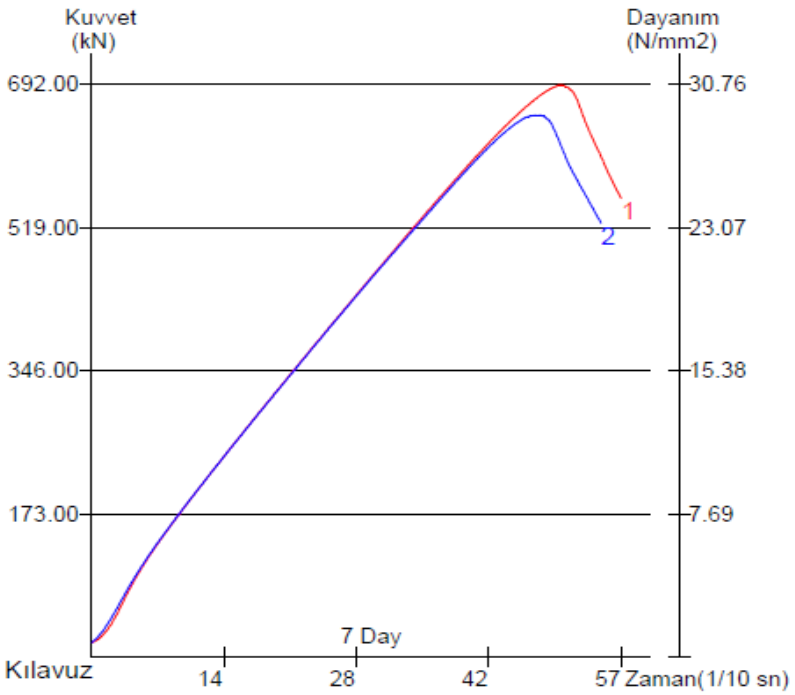


Şekil 5.9 Beton numunelerin basınç dayanımını açıklayan diyagram.

Bu çalışmadaki beton numunelerinin 14 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil 5.9'de gösterildiği gibi, beton yapıya uçucu kül ilavesi ile artmıştır. Partiküllerin doğası ve uçucu külün reaktivitesi, betonun mukavemetini arttırmak için ana faktörlerdir. Bir araştırmaya göre, uçucu kül parçacıklarının boyutu 0,5 mikrondan 300 mikrona kadar değişse de, yalnızca 10 mikrondan küçük parçacıklar reaktif olarak kabul edilir ve geri kalanının agrega ile çimento arasındaki boşlukları doldurduğu kabul edilir.

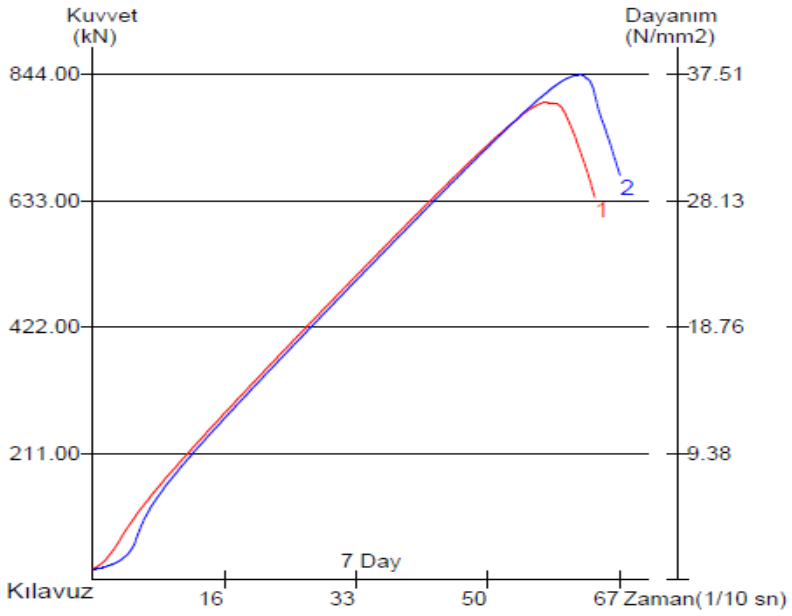
Bu çalışmada, testimizin normal bir değerini bulmak için basınç dayanımı sonucunun ortalamasını elde etmek için her bir sıkıştırma testinde 15x15x15'lik iki kübik numune için uçucu küllü ve külsüz betonun basınç dayanımını test ettik..

Şekil 5.10'da 3 günlük referans numunenin sıkıştırmada dirençteki artışı gösterildik.



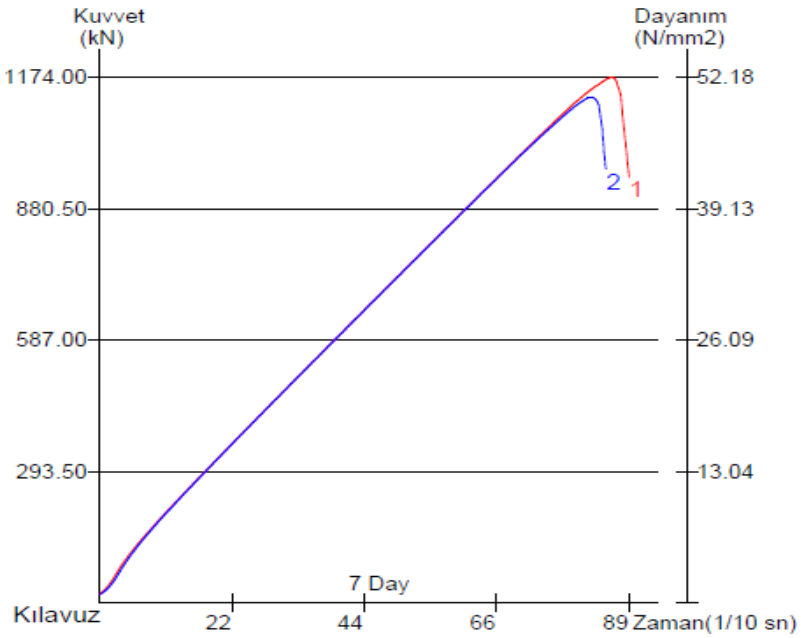
Şekil 5.10 Saf beton 3 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi.

Şekil 5.11'da 7 günlük referans numunenin sıkıştırmada dirençteki artışı gösterildik.



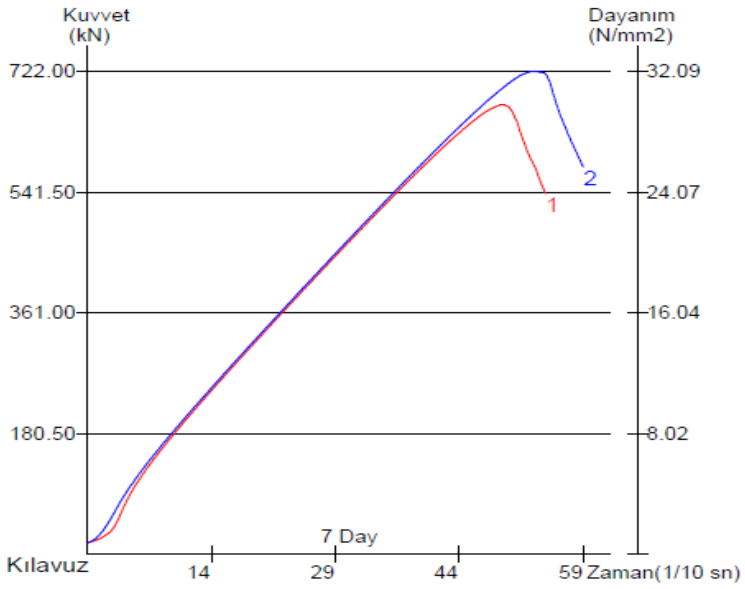
Şekil 5.11 Saf beton basınç dayanımının evrim eğrisi.

Şekil 5.12'da 28 günlük referans numunenin sıkıştırmada dirençteki artışı gösterildik.



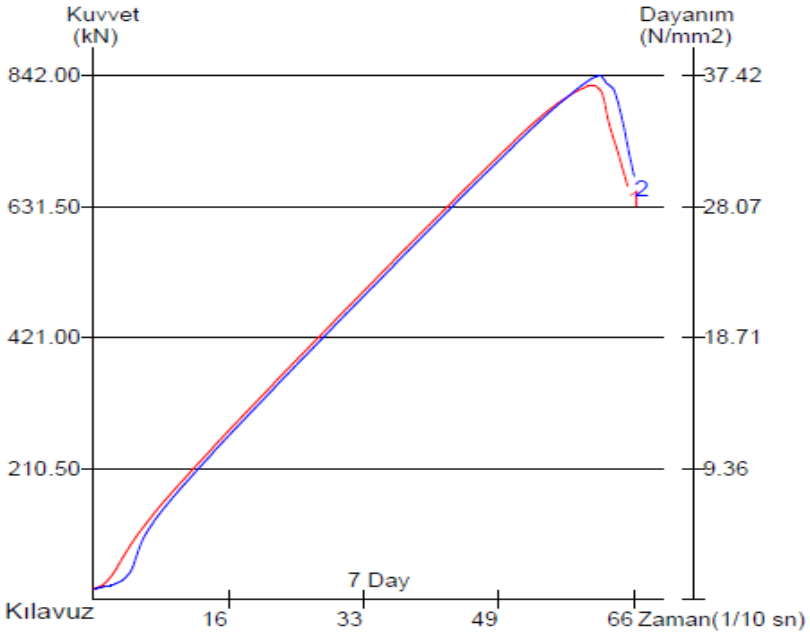
Şekil 5.12 Saf beton 28 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi.

Şekil 5.13'da 3 günlük %10 uçucu külü sıkıştırmada dirençteki artışı gösterildik



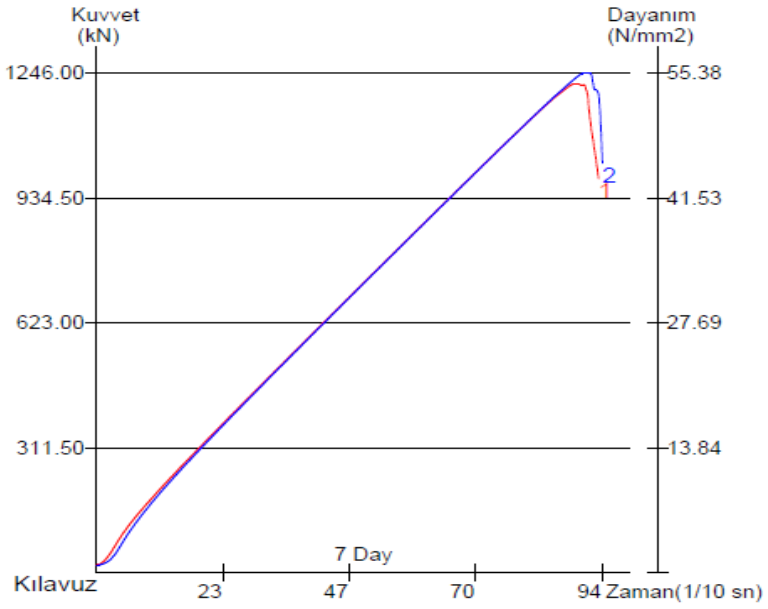
Şekil 5.13 UK 1 içeren beton 3 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi

Şekil 5.14'da 7 günlük %10 uçucu külü sıkıştırmada dirençteki artışı gösterildik



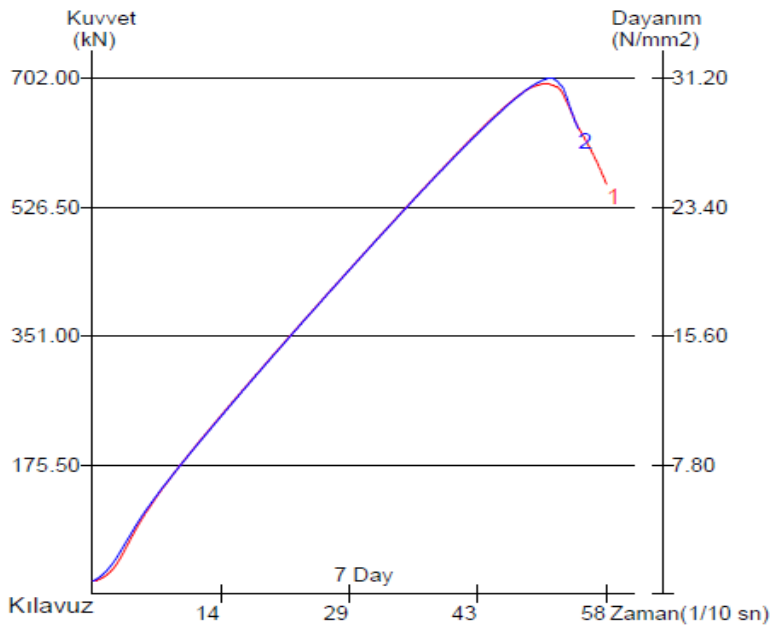
Şekil 5.14 UK1 içeren beton 7 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi

Şekil 5.15'da 28 günlük %10 uçucu külü sıkıştırmada dirençteki artışı gösterildik



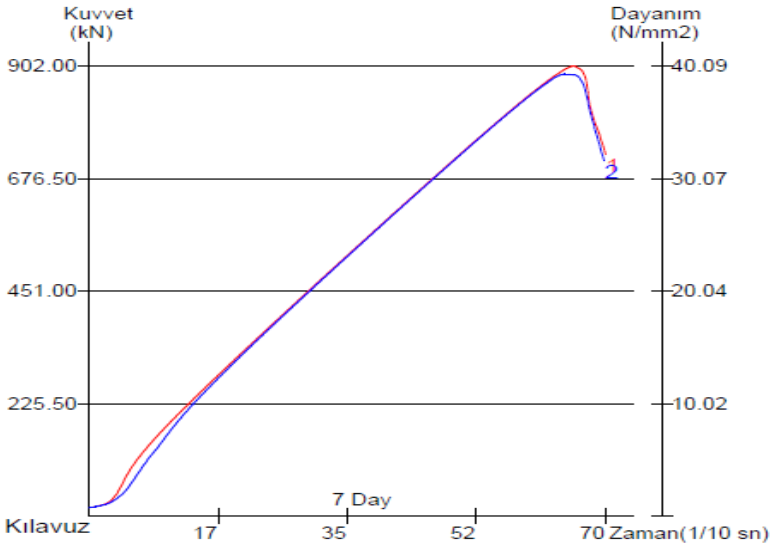
Şekil 5.15 UK1 içeren beton 28 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi

Şekil 5.16'da 3 günlük %20 uçucu külü sıkıştırmada dirençteki artışı gösterildik



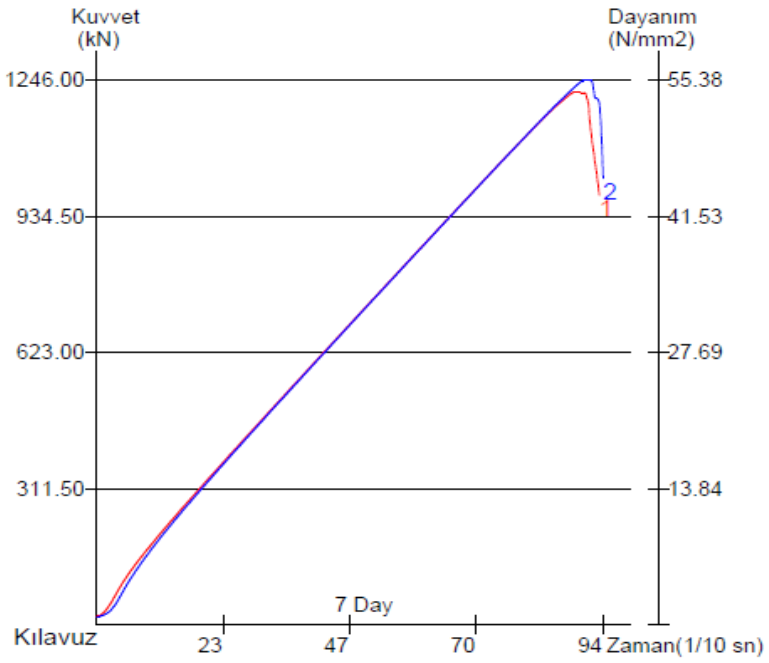
Şekil 5.16 UK 2 içeren beton 3 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi

Şekil 5.17'da 7 günlük %20 uçucu külü sıkıştırmada dirençteki artışı gösterildik



Şekil 5.17 UK 2 içeren beton 7 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi

Şekil 5.18'da 28 günlük %20 uçucu külü sıkıştırmada dirençteki artışı gösterildik



Şekil 5.18 UK 2 içeren beton 28 günlük basınç dayanımının evrim eğrisi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, bu çalışmadaki uçucu kül, dört farklı standartta kimyasal bileşen bazında gerekliliklere tam olarak uygundur.

TS EN 12620 standartlarında verilen elek analiz eğrisi limitleri arasında kalmıştır.

Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Su Emme Oranı değerleri %0.88, %0.91 ve %0.96 bulunmuştur. TS EN 1097-6 standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.

Uçucu külün nispeten düşük reaktivitesine rağmen, uçucu kül içeren beton numuneleri, uçucu kül içermeyen beton numunelere göre daha yüksek dayanım göstermiştir.

7 günlük bir kür süresinden sonra basınç altında test edilen beton numunelerinde dayanım artışı ile uçucu kül miktarındaki artış arasında iyi bir ilişki bulunmuştur. Benzer şekilde, uçucu kül miktarındaki artış, 28 günlük kür sonrası basınç testine tabi tutulan beton numunelerinin dayanımlarının artması ile yakından ilişkilidir.

Birim ağırlıktaki azalmanın betonda hafif bir uçucu kül olmamasından kaynaklandığı sonuçlardan anlaşılmaktadır, ancak betonumuzun birim ağırlığı normal beton olduğu için 2000kg/m^3 ile 2600kg/m^3 arasındadır, dolayısıyla bizim betonumuz beton dayanıklıdır. Agrega numunelerinin boyutu küçüldükçe agregaların su emme oranı artmıştır.

Beton yapıya eklenen uçucu kül miktarı arttıkça nihai yük ve beton numunelerin basınç dayanımı artmıştır. bu araştırma ayrıca bireysel oksitlerin beton basınç dayanımı kazanımını etkilediğini göstermişti.

KAYNAKLAR

Akbaş, E. 2017. Beton nemliliğinin dayanımı, ultrases hızı ve yüzey sertlik değerleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman üniversitesi, 88 sayfa, Adıyaman.

Albayrak, H. F. 1987. Beton Cep Kitabı. DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Daire Başkanlığı, Ankara.

Aydın,A. 2020. Arazi ve laboratuvar deneyleri ile geoteknik tasarım. Tezisiz Yüksek Lisans dönem projesi , pamukkale üniversitesi, 142 sayfa, Denizli.

Balakrishnan, B. 2014. Propertier of concrete containing high volume fly ash. Master Thesis, University of Malaysia, 35 page, Malaysia.

Baradan, B. 1992. Yapı Malzemesi II bağlayıcı maddeler agrega beton. İkinci Baskı Dokuz Eylül Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fak. Yayınları, İzmir.

Bentz, D. P., and Ferraris,C. F. 2009. Rheology and setting of high-volume fly ash mixtures. Cement & Concrete Composites, 32(4): 265-270.

Bilgiç, M. 2009. Yüksek performanslı prefabrike hafif betonaların özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman demirel üniversitesi, 81 sayfa, Isparta.

Bishnoi, S. 2008. Vector Modelling of Hydrating Cement Microstructure and Kinetics. Degree of doctor of science, University of Tokyo, 190 page, Japan

Caymaz, M. 2009. Baritin beton agregası olarak kullanılabilirliği ve kalker ile dere malzemesi agregalarıyla karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, selçuk üniversitesi, 96 sayfa, Konya.

Chelberg, M. 2019. The effect of fly ash chemical composition on compressive strength of fly Ash Portland cement concrete. Master Thesis, The Ohio State University, 76 page, United States.

Dikici, T. 2010. Taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz eylül üniversitesi, 125 sayfa, Izmir

Gezer, B. B. 2009. Mersin ili çelebili köyü içmeler mevkiinde yüzeyleyen kireçtaşlarının beton ve asphalt agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova üniversitesi, 129 sayfa, Çukurova.

Görhan, G. Kahraman, E. Başpınar, M.S. ve Demir, İ. 2009. Uçucu Kül Bölüm II: Kimyasal, Mineralojik ve Morfolojik Özellikler. Electronic Journal of ConstructionTechnologies, 5(2), pp. 33-42.

Gürbüz, E. 2009. C tipi uçucu küllerin etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul teknik üniversitesi , sayfa 117, İstanbul.

Karakulak, E. 2019. Uçcu kül ve kablo atıklarının çimento harcı üretminde kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir üniversitesi, 98 sayfa, Balıkesir.

Kaur, A. 2016. The effect of properties of fly ash on strength and development of motors. The degree of Doctor of Philosophy, İndian institute of technology delhi University, 210 page, New delhi.

Lkhagva,T. 2006. Uçucu küllerin agrega olarak beton üretiminde kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız teknik üniversitesi, 157 sayfa, İstanbul.

Mathur, P. C. 2007. Study of cementitious materials using transmission electron microscopy. İndian institute of technology delhi University, 237 page, New delhi.

Mehta, P. 2004. High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development. Paper presented to International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, pp. 50010-8634, Beijing.

Myaraboina, H. 2016. Development of high performance very high-volume fly ash concrete with 80% replacement of cement by fly ash. Rmit University,Master thesis, 300 page, Australia.

Özer,Y.F. 2012. Bazı endüstriyel atıkların betonun mekanik özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz teknik üniversitesi, 123 sayfa, Trabzon.

Özsu, Ö. 2019. Kırkağaç (manita), kızılören (soma-manita) ve bakacak (karesi-balıkesir) civarında yüzeyleyen kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Balıkkesir üniversitesi, 121 sayfa, Balıkkesir.

Öztürk, M. 2012. Pomza ve perlit içerikli hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık kemal üniversitesi, 58 sayfa, Tekirdağ .

Paşa, O. 2018. Uçucu kül ve silis dumanı katkılı yüksek dayanımlı betonların kalıcılık özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu ve Bilecik şeyh edebali üniversitesi, 110 sayfa, Eskişehir.

Pitre, B. T. 2012. Application of the modified methylene blue test to detect clay minerals in coarse aggregate fines. Master of science, University of Texas, 101 page, Texas.

Seren, I. S. 2015. Elektrik ark fırını cürufunun yapay agrega olarak esnek üstyapılarda çimento bağlayıcılı granüler temel tabakasında kullanılabilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul teknik üniversitesi, 99 sayfa, İstanbul.

Shashank, N. ve Chakravarthi, V. K. 2015. Characterization of fly ash for their effective management. Master Thesis, The Rourkela University, 51 page, Inde.

Şimşek, O. 2020. Beton ve Beton Teknolojisi. Altıncı Baskı. Seçkin yayıncılık. 400 sayfa, Ankara.

Thomas, J. J., Biernacki, J. J., Bullard, J. W., Bishnoi, S., Dolado, J. S., Scherer, G. W., Luttg,.A. 2011. Modeling and simulation of cement hydration kinetics and microstructure development. Cement and Concrete Research, 41(12): 1257-1278

Wolfe, M.H. 2011. Bond strength of high-volume fly ash concrete. Master of science in civil engineering, Missouri university of science and technology, 134 page, United States.

TS EN 12620. 2003. Beton agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Housseın SAID WABERI

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2020-Halen
Lisans	Djibouti Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2016-2019