KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UÇUCU KÜL , YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE ZEOLİT KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN İŞLENEBİLİRLİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İLHAN YILMAZ

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UÇUCU KÜL , YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE ZEOLİT KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN İŞLENEBİLİRLİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İLHAN YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Adnan ÖNER
Danışman, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

Doç. Dr. Burcu AKÇAY ALDANMAZ
Jüri Üyesi, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

Doç. Dr. Hasan YILDIRIM
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 05.07.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Ülkemiz gerek enerji kaynakları atıkları gerekse de doğal kaynaklar açısından zengin puzolan kaynaklarına sahiptir. Aslında çoğu kez atık olan bu malzemelerin geri dönüşümünün sağlanması için en uygun şekilde kullanımlarının araştırılması, hem ülke ekonomisi hem de çevre koruma bilinci açısından önemli bir mühendislik görevidir. Çalışmada , termik santrallerden atık olarak çıkan uçucu kül , demir çelik fabrikaları endüstriyel atığı yüksek fırın cürufu ve doğal ortamlarda çeşitli formlarda bulunan zeolitlerin günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan kendiliğinden yerleşen beton teknolojisinde optimum kullanımlarını belirleme amacı güdülmüştür.

Çalışmalarım sırasında bana desteğini esirgemeyen değerli hocalarım Dr . Öğr. Gör. Adnan ÖNER , Doç. Dr. S. Taner YILDIRIM , kendi çalıştığım laboratuvarımda malzeme desteğini esirgemeyen çalıştığım firmam Kavanlar Beton ‘ a teşekkürü borç bilirim.

Temmuz – 2018 İlhan YILMAZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
SİMGELER VE KISALTMALAR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
GİRİŞ 1
1. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN ÇALIŞMA MEKANİZMASI, ÖZELLİKLERİ VE TASARIM KRİTERLERİ 4
1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri 4
1.2. KYB Dizayn Kriterleri ve Metilen Mavisi Deneyi 5
1.3. Nano-teknoloji ve Katkı Bilimine Uygulaması 8
1.4. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kıvam Deney Yöntemleri 11
1.4.1. Yayılma deneyi : 11
1.4.2. V Hunisi Deneyi 12
1.4.3. U Box Deneyi 14
1.4.4. Fill Box Deneyi 15
1.4.5. L Kutusu Deneyi 16
1.4.6. KYB Deneyleri İçin Kabul Edilebilir Limit Değerler 17
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 18
2.1. Malzemeler ve Metod 18
2.1.1. Çimento 18
2.1.2. Uçucu kül 19
2.1.3. Zeolit 20
2.1.4. Yüksek fırın cürufu 24
2.1.5. Agrega 26
2.1.6. Kimyasal katkı 26
2.1.7. Su 27
2.2. Deney Programı 28
3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ 32
3.1 Taze Beton Deney Sonuçları 32
3.1.1. Yayılma testi ve T50 değeri 32
3.1.2. V funnel test 32
3.1.3. U box test 32
3.2. Sertleşmiş Beton Mukavemet Test Sonuçları 34
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 39
KAYNAKLAR 41
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 43
ÖZGEÇMİŞ 44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al_2O_3	: Alüminyum oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
Cd	: Kadmiyum
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
Cs	: Sezyum
Cu	: Bakır
F	: Demir oksit, (Fe_2O_3)
g	: Gram
kg	: Kilogram
KK	: Kızdırma kaybı
m	: Metre
MgO	: Magnezyum oksit
Mm	: Milimetre
Na2O	: Sodyum oksit
Nm	: Nanometre
Pb	: Kurşun
S	: Silis ,(SiO_2)
sn	: Saniye
SO_3	: Kükürt trioksit (sülfit)

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
C	: Çimento
cm^2/gr	: Blaine Özgül Yüzey Değeri
ERMCO	: Avrupa Hazır Beton Birliği
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Betonlar
MB	: Metilen Mavisi % Değeri
PÇ	: Portland Çimentosu
T50	: Taze Betonun 50cm Çaplık Daireye Yayılma Süresi
UK	: Uçucu Kül
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
ZEO	: Zeolit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Metilen mavisi deney kağıdı....7
Şekil 1.2. Konvansiyonel katkıların çalışma mekanizması....9
Şekil 1.3. Etrenjit oluşumu ve katkının çimento tarafından absorbsiyonu....9
Şekil 1.4. Süperakışkanlaştırıcı molekülünün çalışma mekanizması....10
Şekil 1.5. Polikarboksilat molekülünün davranışı....10
Şekil 1.6. Yayılma tablası ölçüleri....12
Şekil 1.7. Yayılma deneyi slump hunisi kullanımı ve yayılma ölçümü....12
Şekil 1.8. V hunisi ölçüleri....13
Şekil 1.9. Deneylerde kullanılan....13
Şekil 1.10. U kutusu deney aleti ölçüleri....14
Şekil 1.11. U box deneyi sonrası iki kolda eşitlenen beton....14
Şekil 1.12. Fill box deney ekipmanı....15
Şekil 1.13. Fill box testinden başarıyla geçmiş bir KYB....15
Şekil 1.14. Fill box testinden geçemeyen bir KYB....16
Şekil 1.15. L kutusu deney aleti....17
Şekil 2.1. Doğal zeolit....21
Şekil 2.2. Doğal zeolitin moleküler yapısı....21
Şekil 2.3. Deneylerde kullanılan öğütülmüş zeolit....23
Şekil 3.1. Yayılma deneyleri karşılaştırılması....33
Şekil 3.2. T50 süreleri karşılaştırılması....34
Şekil 3.3. V funnel boşalma süreleri karşılaştırılması....34
Şekil 3.4. Basınç mukavemet testleri karşılaştırılması....36
Şekil 3.5. Eğilme mukavemetleri karşılaştırılması....36
Şekil 3.6. Uçucu küllü karışımların su emme basınç muk. korelasyonu....37
Şekil 3.7. Y.F.Cüruflu karışımların su emme basınç muk korelasyonu....37
Şekil 3.8. Zeolitli karışımların su emme basınç muk korelasyonu....38

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. KYB nu test metodları limit değerler....17
Tablo 2.1. Çimentonun fiziksel ve kimyasalanalizleri....18
Tablo 2.2. Uçucu külün fiziksel ve kimyasal analizleri....20
Tablo 2.3. Zeolitin fiziksel ve kimyasal analizleri....24
Tablo 2.4. Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal analizleri....25
Tablo 2.5. Agrega elek analizleri , gradasyon , fiziksel değerler....26
Tablo 2.6. Kimyasal katkı özellikleri....27
Tablo 2.7. Beton karma suyu analizleri....28
Tablo 2.8. Deney gruplarına ait karışım oranları....29
Tablo 2.9. 30 dm3 deney karışım miktarları....29
Tablo 2.10. %30 ikame oran karışımların birim ağ. ve su emme değerleri....30
Tablo 2.11. %40 ikame oran karışımların birim ağ. ve su emme değerleri....30
Tablo 2.12. %50 ikame oran karışımların birim ağ. ve su emme değerleri....31
Tablo 3.1. Taze beton deney sonuçları....33
Tablo 3.2. Basınç ve eğilme mukavemeti sonuçları....35
Tablo 3.3. Basınç Mukavemeti Sonuçları (kgf/cm2)....35

UÇUCU KÜL , YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE ZEOLİT KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN İŞLENEBİLİRLİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde ülkemiz inşaat işçiliklerinden kaynaklanan pek çok yerleştirme ve doldurma hataları görülmeye devam etmektedir. Japonya' da 1980 li yıllarda yaşanılan benzer mühendislik sıkıntıları sonucunda betonun kalıba kendiliğinden hiç bir işçilik gerektirmeden yerleşmesi teknolojisi geliştirilmiştir

Çalışmaya başlarken çimentonun yanında kullanılan uçucu kül , yüksek fırın cürufu ve zeolit ikame oranları değiştirilerek maximum performans için optimum karışım oranları belirlenmiştir.Katkı ve toplam bağlayıcı oranı sabit tutularak farklı incelikteki kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik ve mekanik özellikler incelenmiş ve puzolanik malzemelerin performansı birbiriyle karşılaştırılmıştır

Deneylerde hem taze beton testlerinde hem de sertleşmiş beton testlerinde yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlar en yüksek performansı göstermişlerdir. Uçucu küllü betonlar da testleri başarı ile geçerek reolojik özelliklere olumlu katkılar sağlamıştır. Zeolit , toplam bağlayıcının % 30 , 40 , 50 si gibi yüksek oranlarda kullanıldığında betonun su ihtiyacını çok yüksek oranda arttırmış ve katkının yayılma efektini engellemiştir. Zeolitle üretilen betonlar taze beton testlerinin hiç birisinde başarılı olamamış dolayısıyla KYB sıfatını da alamamış ve basınç mukavemet testlerinde de diğerlerine oranla çok düşük performans sergilemişlerdir. Sonuçlar Balıkesir Ege Zeolit ten temin edilen zeolite ait olup çok farklı formlarda bulunan zeolitin farklı türleri ile ilgili çalışma yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler : İşlenebilirlik , Kendiliğinden Yerleşen Beton , Uçucu Kül , Yüksek Fırın Cürufu , Zeolit.

ANALYZING PROCESSABILITY AND MECHANICAL SPECIFICATIONS OF FLY ASH, BLAST FURNACE SLAG AND ZEOLITE EXTRINSIC SELF COMPACTING CONCRETE

ABSTRACT

Today, many of installation and filling mistakes due to our country's construction workmanship continue to be seen. As a result of similar engineering problems in Japan in the 1980s, a concrete technology has been developed that the concrete can compact the mold itself with no workmanship required.

At the beginning of work, the optimum mixing ratios for maximum performance were determined by changing the substitution rates of fly ash, blast furnace slag and zeolite used besides cement. Workability and mechanical properties were investigated and the performance of pozzolanic materials were compared with each other by keeping the additive and total binder ratio constant and in different fineness self-compacting concretes

Concrete produced by using blast furnace slag has shown the highest performance in both fresh concrete tests and hardened concrete .Fly ash concretes also passed the tests successfully and made positive contributions to rheological properties. When zeolite is used at high ratios such as 30, 40, 50% of the total binder, it increased the water requirement of the concrete very high and prevented the spreading effect of the additive. Concretes produced with Zeolite have not been successful in any of the fresh concrete tests and thus have not taken the title of (SCC) and they also showed a very low performance in strength tests compared to the others. Conclusions belongings to Balıkesir Ege zeolit and studies on different types of zeolite found in very different forms should be made.

Keywords : Processability , Self-Compacting Concrete , Fly Ash , Blast Furnace Slag , Zeolite.

GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen betonlar yüksek viskozite düşük su/çimento oranına sahip, ayrışma ve kusma yapmadan sık donatılar arasından vibrasyona ihtiyaç duymadan kendi ağırlığıyla geçebilen çok akıcı kıvamlı ileri teknoloji ürünü betonlardır.[1]

Tarihinde birçok kez ciddi büyüklükte depremle karşılaşmış ve de karşılaşacak olan ülkemizde özellikle 17 Ağustos 1999 depremi sonrası betonarme projelerin çözümündeki yeni yaklaşımlar sonucu donatı yoğunluğu ve seçilen beton sınıfı kabulleri çok artmıştır. Bu da özellikle kolon kiriş birleşimleri bölgelerinde çok sık donatı problemini beraberinde getirmektedir. Bu problem statik proje açısından değil betonun yerinde yerleştirilmesi ve uygulaması açısından oluşmaktadır. Zira önemli olan proje çözümündeki malzeme mukavemet kabullerinin inşaat sahasında uygulanabilmesidir. Öyle ki bazı projelerde donatı yoğunluğu inşaatlarda yaygın olarak kullanılan dalıcı tip vibratörlerin kullanımına izin vermez. Vibrasyon uygulanmadan dökülen betonlarda yüksek hava içeriği , segregasyonlar gibi nedenlerle yüksek mukavemet kayıpları , donatının tam olarak betonla sarılamamasından dolayı da durabilite sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu durumlarda Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) kullanımı soruna optimum bir çözüm getirmektedir. KYB kullanımı işçilikten ve zamandan yüksek oranda tasarruf sağlar.

Avrupa'da 2002 yılında eldeki mevcut teknolojileri inceleyip özetleyen Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) üretici ve kullanıcılar için gerekli detayları içeren ilk kurumsal KYB şartnamesini yayınlanmıştır. Saha uygulamalarında hiç bir Avrupa standardında , ürün, dizayn ve yapı şartnamesinde KYB ilgili bir yorum yada atıfta bulunulmamıştır. Bu durum özellikle KYB öneren ve almak isteyenlerin geniş kullanımını ve KYB nin yaygınlaşmasını engellemiştir.

Kendiliğinden Yerleşen Betonlar endüstriyel olarak ve piyasa proje uygulamalarında da kullanılabilen viskoz betonlar için teknolojinin şu anda geldiği son noktalardandır. Geleneksel S3 - S4 kıvamlı betonlara göre çok daha üstün özelliklerini sergilerken yüksek akışkanlık , ayrışma ve segregasyona karşı direnç , zor ve dar kesitlerden vibrasyona ihtiyaç duymadan geçme yeteneklerini kullanırlar. Akışkanlık ve ayrışma olmadan viskozite düşürümü de yeni nesil olarak adlandırılan polikarboksilat bazlı

hiperakışkanlaştırıcı ile sağlanırken dayanım , kararlılık durabilite özellikleri yüksek bağlayıcı ve ince malzeme oranı ile sağlanmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betondan tabii ki tek beklenti boş yayılma tablasında kendi ağırlığı ile yayılması değil sık donatılar arasından ayrışmadan vibrasyona ihtiyaç duymadan geçebilmesi ve küçük kayma eşiğine sahip olmasıdır. Bu amaç için w/c oranının yükseltilmesi kararlılık bozunumu , slump kaybı , mukavemet kaybı problemlerini beraberinde getirmektedir. Önemli olan viskoziteyi de belirli bir değerin altına düşürmemektir. En önemlisi de kendiliğinden yerleşen betonların isimlerini aldıkları yeteneklerini sağlarken neredeyse sadece hidratasyona yetecek kadar su/bağlayıcı oranı ile bunu başarmalarıdır. Bu da dayanımla beraber yüksek durabiliteyi de beraberinde getirmektedir.

Yüksek ayrışma direnci , kalıptaki en ince detaya kadar düzgün yüzey elde edilmesine imkan sağlamaları , bazen yüksek yatırım maliyetlerine neden olan vibrasyona ihtiyaç duymamaları özellikleri ile su altından prefabrik endüstrisine kadar kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır.

Yapılan bu çalışmada sürekli ilerleyen beton teknolojisinde aynı zamanda çevresel bir tehdit oluşturan puzolanik malzemelerin kendiliğinden yerleşen betonda kullanım optimizasyonu araştırılmıştır.

Tarihsel Gelişim

Kendiliğinden yerleşen betonlar ilk kez 1980 li yılların sonlarında Japonya da geliştirilmeye başlamış , ilk bildiri Ozawa tarafından 1989 da sunulmuştur. [2] Aynı bildiri 1992 de İstanbul ACI kongresinde sunulmuş , 1994 Bangkok ACI kongresi , 1996 New Orleans ACI Kongresi nde sunulan çalışmalarla KYB lar iyice yaygınlaşmıştır. Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) , Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU), Uluslararası Prefabrike Beton Üreticileri Birliği (BIBM), Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) 2005 yılında birleşerek ortak bir şartname hazırlamışlardır.[3]

Felekoğlu ve Baradan ın (2004) ,KYB ların mekanik özellikleri ile ilgili yaptıkları çalışmada çimento dozajı ve kum / iri agrega oranı sabit tutularak artan w/c oranlarında değişken katkı dozajlaması ile viskozite değişimini izlemişlerdir. Düşen w/c oranı ve artan katkı dozajı ile viskozite artmıştır. Artan w/c oranında L kutusu deneylerinde betonun geçiş yeteneğinin arttığı gözlemlenmiştir. Deney

gruplarındaki betonların elastisite modülleri arasında normal betona kıyasla önemli bir değişim gözlenmemiştir. [4]

Gürdal ve Yüceer (2004) , dünyada kendiliğinden yerleşen beton uygulamalarından örnekleri derledikleri çalışmalarında KYB üretiminde her aşamada hassasiyetle yaklaşımın önemli olduğu , yoğun donatılı dar kesitlerde KYB kullanımının uygulamada büyük kolaylık ve avantajlar sağladığı sonuçlarına varmışlardır. [5]

Sağlam , Parlak , Doğan ve Özkul (2004) , kendiliğinden yerleşen betonlarda katkı ve çimento uyumunu irdeledikleri çalışmalarında çimento ve uçucu kül dozajı ile katkı miktarını sabit tutarak değişken tipteki çimento ve katkıların KYB lara etkisini ölçmüşlerdir. Katkı cinsi ve çimento cinsine göre ilk başta yayılma özelliklerini sağlayan KYB ların 1 saat sonunda bazılarının artan viskozite ile yayılma değerlerini sağlamadığı tespit edilmiştir. Ayrıca değişen çimento ve katkı cinsine göre 1 günlük basınç dayanımlarının da çok değişkenlik gösterdiği , bazı çimento ve katkıların beraber kullanılmaları durumunda hava sürükleyerek basınç dayanımında dezavantaj oluşturduğu tespit edilmiştir. [6]

Karaüç (2008), Uçucu kül ve zeolitin kendiliğinden yerleşen betona etkilerini incelediği çalışmasında belirli oranlarda çimento yerine ikame edilen uçucu kül ve zeolitin betonun reolojik özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Maliyet, fayda , basınç dayanımı analizleri sonucunda %20 oranında Uçucu kül içeren karışımların optimal sonuca ulaştığı , %10 zeolit içeren karışımların da ekonomik olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. [7]

Gesoğlu , Güneyisi , Özbay (2007), mineral katkılar kullanılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen betonların özelliklerini inceledikleri çalışmalarında uçucu kül ,yüksek fırın cürufu ve metakaolinin çimento ile belirli oranlarda yerdeğiştirmesi ile oluşturulan farklı betonlar üretmişlerdir. Su/çimento oranı ve bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre UK ve YFC nin taze beton özelliklerini iyileştirip viskoziteyi azalttığı, priz başlangıç ve bitiş sürelerini uzattıkları, metakaolin içeren karışımlarda viskozitenin önemli oranda arttğı tespit edilmiştir. Kullanılan tüm mineral katkıların KYB ların klorür geçirimliğini azalttığı görülmüştür. [8]

Kendiliğinden yerleşen betonların piyasada kullanımının yaygınlaşmasının önündeki tek engel yüksek maliyetidir. Kullanım avantajları tartışılmaz olan KYB ların maliyetini düşürme yönünde çalışmalar devam etmektedir

1. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN ÇALIŞMA MEKANİZMASI , ÖZELLİKLERİ VE TASARIM KRİTERLERİ

1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri

Geleneksel yüksek oranda su azaltıcı süperakışkanlaştıcılara oranla çok daha yüksek su kesici ve özel bir çalışma mekanizmasına sahip katkılara hiper katkılar adı verilir. Hiperakışkanlaştırıcı ile üretilen betonların "kendiliğinden yerleşen " sıfatını alabilmeleri için kendiliğinden yerleşme yeteneği üç parametre ile ifade edilebilir: Betonun kendi enerjisi ve ağırlığı ile doldurma yeteneği, ayrışma ve segragasyona karşı direnci ve donatı engelleri arasından geçiş yeteneği. Kendiliğinden yerleşen betonlardan beklenen birinci özellik, dışardan bir mekanik vibrasyona gerek duymadan kendi ağırlığı ile belirli bir viskozitenin de altına düşmeden şeklini değiştirme ve homogen bir şekilde stabil hale gelme özelliğine sahip olmasıdır. Doldurma yeteneği kavramında , betonun ilk boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa ne kadar bir hızda akabildiği önemlidir. Düz engelsiz bir yayılma tablasında ölçülen yayılma deneyi ile ölçülen betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşırken ortalama bir yayılma değerine ulaşması için geçen süre ile söz konusu özellik değerlendirilebilir. Bu çapa fazla hızlı ulaşılması çok düşük bir viskozite sonucudur ki bu da genelde yüksek su/bağlayıcı kökenli olup sonuçları mekanik özellikler açısından istenen değerlerde değildir. İstenen çapa çok yavaş ulaşım da fazla yüksek viskozite sonucudur ki bu da donatı engellerinden geçişte sıkıntı yaratır. İstenen yüksek performanslı bir yerleşme kabiliyeti için KYB nin deformasyon kapasitesi ve hızı arasında bir denge olmalıdır.

Kendiliğinden yerleşen betonların performansları beton içerisindeki malzemelerin tam bir uyum içinde çalışmasına bağlıdır. Betonun iyi yerleşebilmesi gerek agrega fazına gerekse de çimento hamuru fazına görevler düşmektedir. Agrega fazında dizayn kriterlerinde temel hedef iri agrega, ince agrega ve her türlü bağlayıcı dahil katı tanecikler arasındaki sürtünmenin minimuma indirilmesidir. Bu kısım aslında yardımcı fazdır ve tabii ki bu tek başına yeterli değildir; daha önemli görev çimento taneleri ile suyun absorbsiyonundaki hidratasyonda hiper akışkanlaştırıcı katkıya düşmektedir ki çimento hamuru fazı da iyi yer değiştirebilmelidir . Yüksek akışkanlık ve deformasyon kapasitesi ile aynı anda kontrol altında tutulması

gereken bir özellik de ayrışmaya karşı yüksek direncin sağlanması, KYB'un engellerin arasından segrege olmadan homogen bir şekilde geçerek doldurma kapasitesinin arttırılması açısından önemlidir.

Betonun taze halinde oluşan ayrışma, çimento hamuru fazı ile agrega fazının birbirinden heterogen bir şekilde ayrılması olayıdır ki buna segregasyon denir. Normal akışta segregasyon göstermeyen taze beton, örneğin sık donatıların bulunması durumunda biraz da düşük viskozitenin etkisiyle iri agregaların engellerde takılması ile ayrışmaya uğrayabilir. KYB gerek durağan, gerekse akış halinde terleme , çimento hamuru ile agregaların birbirinden ayrılması , sadece kaba agregaların ayrışması , serbest suyun yüzeye kusulması gibi ayrışmalara direnç göstermelidir. Bu amaçlarla KYB dizaynı bir toplam kalite ve uyum prensibini beraberinde getirir. İri agrega oranı belirli bir oranın üzerinde olmamalı , iri agrega boyutu yüksek olmamalı , katkı ile çimento nano bazda uyum göstermeli , su içeriği hassas bir şekilde ayarlanmalıdır.

1.2. KYB Dizayn Kriterleri ve Metilen Mavisi Deneyi

Kendiliğinden yerleşen beton dizaynında ana prensipler şu şekilde sıralanabilir.

- Yüksek doluluk , viskozite ve mukavemet için min 450-500 kg/m3 bağlayıcı kullanımı
- Agrega seçiminde Dmax boyutunun istenen mukavemeti de sağlayacak şekilde minimum seçilmesi
- Viskozite ve mukavemet değerlerini sağlayabilmek için düşük su/çimento oranı
- Kaba agrega oranının ince agregaya göre düşük seçilmesi
- Çimento ve ince agrega ile uyumlu bir katkı seçimi.

KYB dizaynında , aslında bir agrega deneyi olmasına rağmen bahsedilmesi gereken çok önemli bir deney ince agregadaki metilen mavisi deneyidir. Zira KYB dizaynında tüm ana prensipler yerine getirildikten sonra en önemli kriter metilen mavisi değeri denebilir. Ana dizayn parametrelerini yerine getirdikten sonra KYB lerden istenen performans özelliklerini sağlayan betonun içindeki tek bileşen polikarboksilat bazlı hiper akışkanlaştırıcı katkıdır. Tüm prensipler yerine getirildiği halde bu amaçla üretilen bazı betonlar bazen KYB sıfatını alamayabilirler. Çimento ile suyun hidratasyonu başladığında polikarboksilat bazlı katkılar özel yapısı sayesinde bir kısım polimer çimento tanecik yüzeyine absorbe olurken bir kısım polimer de jel dışında kalarak çimento hamuru içerisinde elektrostatik itmeyle dağıtma görevini sürdürmeye devam eder. İşte asıl kendiliğinden yerleşen

betonlara viskozite efektini veren olay buradan kaynaklanmaktadır. Serbest kalan bu polimer beton içerisinde çimento dışında bulunan çok ince malzeme olarak adlandırılan 0,063 mm altı kil , silt gibi malzemeler tarafından emilirse görevini sürdüremez ve KYB adayı beton taze beton özelliklerini sağlayamayarak yeterlilik alamaz.

Böyle bir sonuçla karşılaşmamak için agrega içerisinde serbest ve taneciklere yapışmış durumda bulunan çok ince malzeme muhtevasındaki kil, silt oranı mutlaka kontrol altında tutulmalıdır. Betonda kullanılan agregaların özellikleri hakkındaki TS 706 EN 12620 standardında ince agreganın içinde bulunan 0,063mm den geçen çok ince malzeme muhtevasının %3'den az olması halinde ince malzeme zararsız kabul edilmektedir. [10] Bu değerin %3'ün üzerinde olması halinde ise çok ince malzeme muhtevasının taşın kendi yapısından kaynaklanan taş unundan mı yoksa kilden mi oluştuğuna karar verebilmek adına TS EN 933-9 Metilen Mavisi deneyi [11]veya TS EN 933-8 Kum Eşdeğerliği deney sonuçlarının belirlenen sınır değerlerini sağlaması istenmektedir[12] Zira ince agrega içerisinde %3 ün üzerinde bulunan çok ince malzeme içerisinde mikro boşlukların maksimum oranda doluluğu için gerekli ve faydalı agreganın kendi yapısı ile aynı taş unu da bulunmaktadır. Önemli olan bu fillerin içinde yüksek emiciliğe sahip kil ve siltin bulunmamasıdır.

Geliştirilen metilen mavisi testi ile bu soruna yüksek oranda doğrulukla bir çözüm getirilmiştir. Metilen mavisi boyasının özelliği kil minerallerinin negatif yüklü yüzeyleri üzerinde absorplanabilen geniş polarizasyona sahip bir molekül olması ve suda yüksek çözünürlüğe sahip olmasıdır. Metilen mavisinin bu özelliğinden faydalanarak kütlesi belirli bir ince malzemenin ne kadar metilen mavisi tutarak fazlasını serbest bırakması esasına dayanarak ince malzeme içerisindeki kil oranı % cinsinden belirlenebilmektedir. Metilen mavisi boyası katyon değişimi ile kil mineralleri yüzeyinde tutunabilir. Her bir kil grubunun katyon değiştirme kapasitesi farklıdır. Kilin katyon değiştirme kapasitesi dolayısıyla absorblayabileceği metilen mavisi boyası değeri aşıldığı zaman, fazla metilen mavisi yüzeyde tutulamaz. Kil yüzeylerinde tutunabilen metilen mavisi boyasını tespite yönelik olan bu deneyde , 200 gr olarak hazırlanan deney numunesi (0-2mm) ve su karışımı olan süspansiyona metilen mavisi boyasının 5 ml'lik çözeltiler halinde karıştırılarak ilave edilir. Her bir ilave edilişten sonra süzgeç kağıdına bir leke deneyi yaparak, serbest boyanın varlığının belirlenmesi metoduna göre yapılır (Şekil 1.1). Metilen mavisi deney sonucu sayısal bir değer olarak aşağıdaki denklemle hesaplanır.

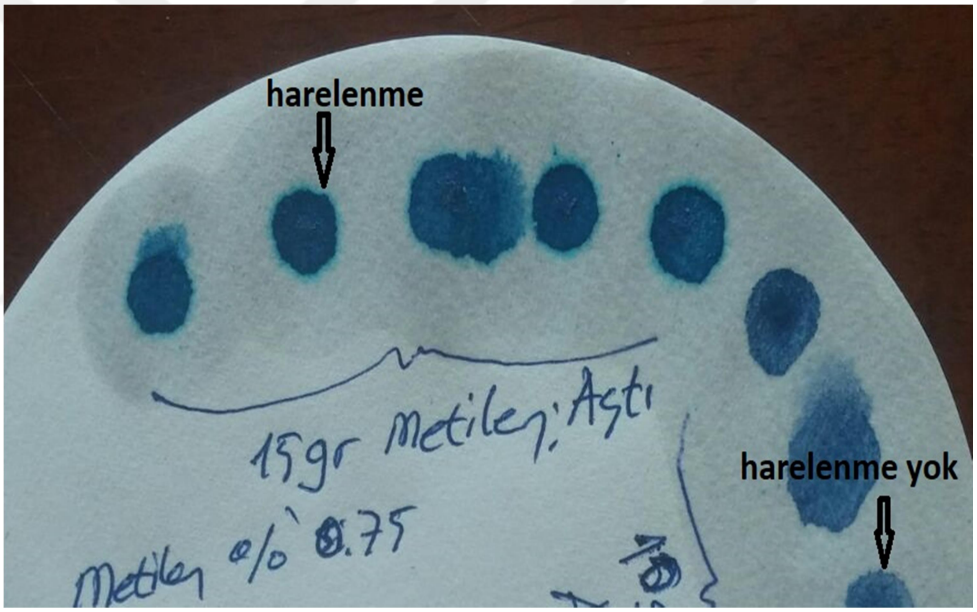
MB=[(V1-V)/M1]x10

V1 : Toplam verilen metilen mavisi boya miktarı (ml)

V : Deneyde kaolinit kullanılması halinde, kaolinitin absorblayacağı boya miktarı (ml)

M1: 0-2 mm aralığında kurutulmuş deney numunesi ağırlığı (gr)

İnce malzeme içerisindeki kil mineralleri artıkça, adsorblanan boya miktarı artmakta ve metilen mavisi (MB) değerini arttırmaktadır. Artan MB değeri beton içerisinde istenmeyen kil ve silt minerallerinin çokluğuna; azalan MB değeri kil ve silt miktarının azlığına işaret eder denilebilir. Bu yönüyle metilen mavisi deneyi zararlı kil minerallerinin miktarı hakkında bilgi vermekle beraber kil minerallerinin cinsini belirleyemediğinden zarar verme oranlarını kesin olarak belirleyemez [13]



Şekil1.1. Metilen mavisi deney kağıdı

İlgili standartta (TS EN 933-9) bu deneylerin limit değerleri belirtilmemiştir. Bu durumda laboratuvarda yapılacak beton performans testleri ile sınır değerler oluşturulmalı ve agrega seçimi ve gradasyonda kriter olarak uygulanmalıdır. Genel olarak KYB dizaynında polimer emilimi efekt performansını aşırı etkilediğinden MB değeri maksimum % 1 istenir.

1.3 Nano-teknoloji ve Katkı Bilimine Uygulaması

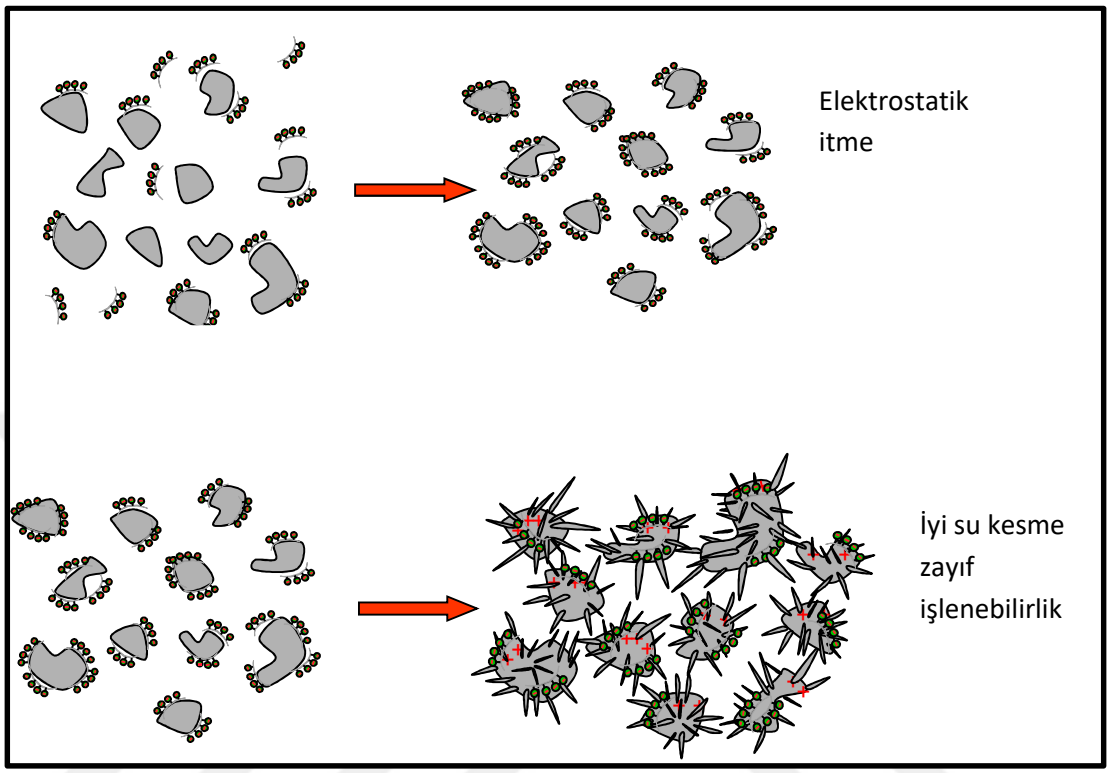
İnşaat sektörü, malzeme teknolojisinden teknolojik uygulamalarda yüksek performans ve mükemmel sorun çözümleri beklemektedir. Artan teknolojik istekler ve inşaat yatırımları günümüz kimyasal katkılarından durabiliteyi arttırmak için düşük su/çimento oranı, güvenilir bir yerleştirme için uzun işlenebilirlik süresi, betonun boşluksuz olması için kontrollü bir reoloji, hızlı inşaat yapımı için erken yüksek mukavemet ve doğal taş kadar kalıcı betonlar istemektedir. İstenilen özellikler ayrı ayrı istendiğinde sorun olmamakla birlikte bir kaç özelliğin, örneğin erken yüksek mukavemet, iyi işlenebilirlik ve durabilite aynı projede sağlanması teknolojik olarak güçlüklerle doludur ve malzeme biliminin en temel sorunlarından biridir. Düşük su oranları çimento tanecikleri arasındaki mesafeleri azaltmakta ve taşıma ve yerleştirme için gerekli işlenebilirlik süreleri sağlanamamaktadır. İstenilen özelliklerin sağlanması için karışıma fazladan su ya da kimyasal katkı eklenerek çözüm üretilmeye çalışılmış ancak istenilen diğer özelliklerden feragat edilmiştir.

Nano kelimesi “cüce” anlamına gelen Yunanca kökenli bir kelimedir ve nanometre milimetrenin milyonda biri uzunluktadır. Nano teknoloji de moleküllerin atomsal bazda birbiri ile ilişkilerini “nano” boyutunda inceleyebilmek için birçok araştırma dalında kullanılan bir terimdir. Betondaki işlenebilirlik – performans – durabilite üçlüsünü içeren toplam performans kontrollü bir nano-teknoloji ürünüdür. Nano teknoloji sayesinde çimento ile suyun hidratasyonu moleküler bazda incelenebilmiş ve hidratasyon sonrası betonun işlenebilirliğine etki eden moleküllerin etkisi yeni polimerler zincirleri ile azaltılarak kendiliğinden yerleşen beton teknolojisine geçme imkanı sağlanmıştır.

Polikarboksilat eter bazlı katkı çalışma mekanizması

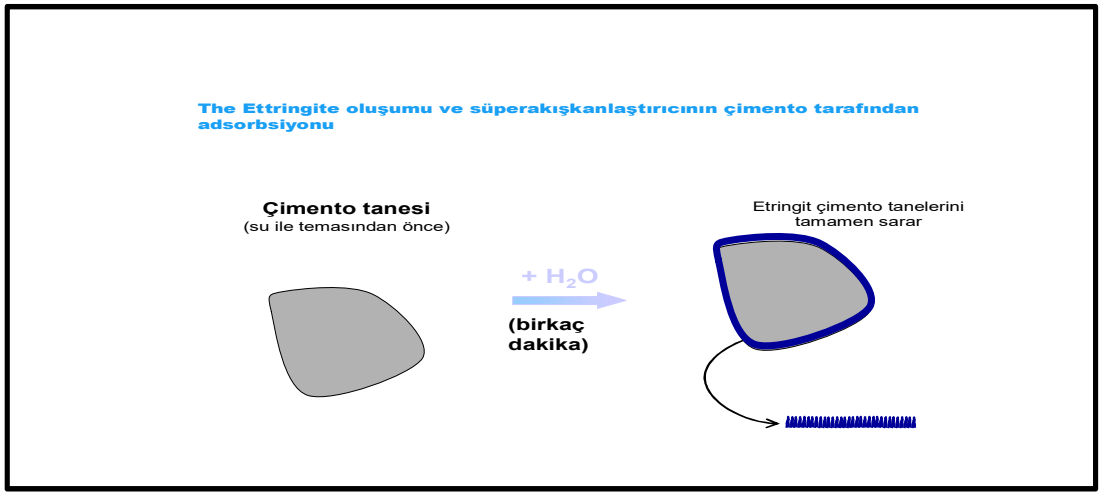
Kimyasal katkıların genel çalışma mekanizması çimento taneciklerinin üzerine yapışarak aynı yüklü taneciklerin birbirlerini itmesi prensibine dayanır. Bu şekilde daha düşük enerji ile betonda akışkanlık ve dağılma etkisi görülür. Bu mekanizma özellikle düşük su/çimento oranlarında çimentonun su ile hidratasyonu ile birlikte oluşan etrenjit ürününün çimento tanecikleri üzerinde formasyonlar oluşturarak kıvam kaybına neden olması ile dezavantaj yaşamaya başlar. Nano teknolojik araştırmalar sonucu elde edilen polikarboksilat molekülleri çimentonun üzerine daha yavaş adsorbe olurlar. Bu yavaş adsorpsiyon taze betonun ilk 1-2 saati sırasında aslında tam da istenen özelliklerin oluşmasına imkan verir. Bir yandan çimentonun hidratasyonuna izin verilerek sertleşmiş beton için erken mukavemet

süreci başlamış olurken bir yandan da çimentonun üzerine tam yapışmadığı için dağılma etkisini göstermeye devam ederler. Bu etki sayesinde modifiye katkıların kullanımıyla bir miktar etrenjit oluşumu katkı tarafından boşa harcanmış olur.

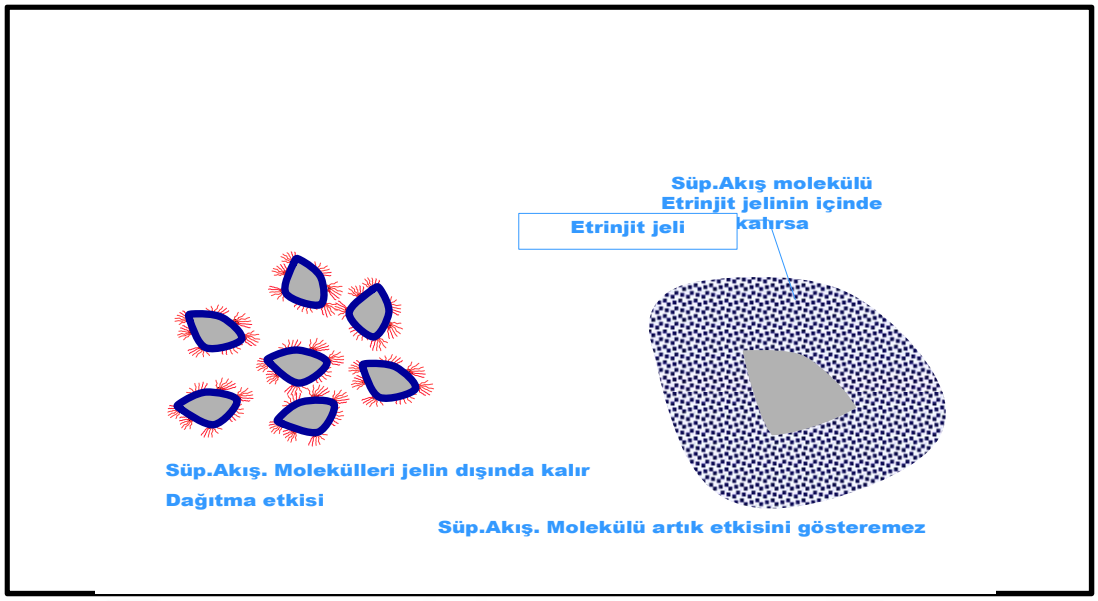


Şekil1. 2. Konvansiyonel katkıların çalışma mekanizması

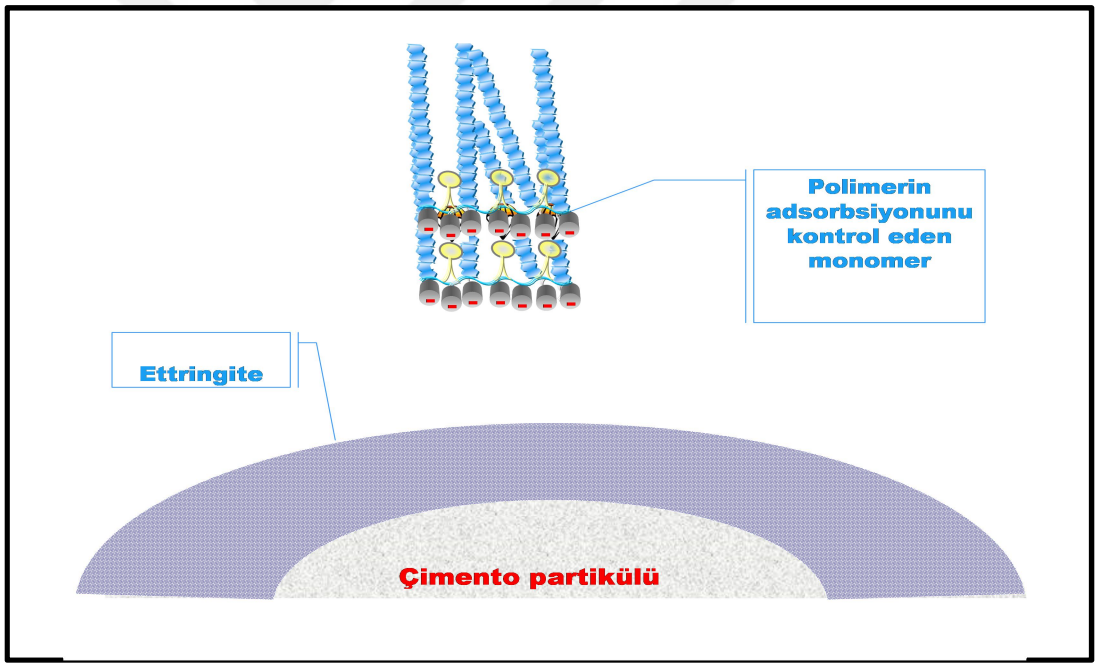
Yeni nesil nano teknoloji ürünü polikarboksilat bazlı katkılar boşa harcanan bu etrenjit oluşumunu da aynı anda değerlendirerek erken mukavemet gelişimine de imkan sağlamaktadır [9]



Şekil1.3. Etrenjit oluşumu ve süperakışkanlaştırıcının çimento tarafından absorbsiyonu



Şekil1.4. Süperakışkanlaştırıcı molekülünün çalışma mekanizması



Şekil1.5. Polikarboksilat molekülünün davranışı

Polikarboksilat bazlı çift monomer zincirli bu katkıların bu üstün özellikleri yanında dezavantajları da vardır. Nano teknoloji ürünü olan bu katkılar çimentonun, puzolanların ve agrega içerisindeki çok ince malzemelerin mikro ve kristal yapılarından aşırı etkilenmektedir. Hidratasyon ilk başladığında polimerin çift zincirinin bir parçası çimento taneciği üzerine absorbe olur. Etrenjit jeli dışında

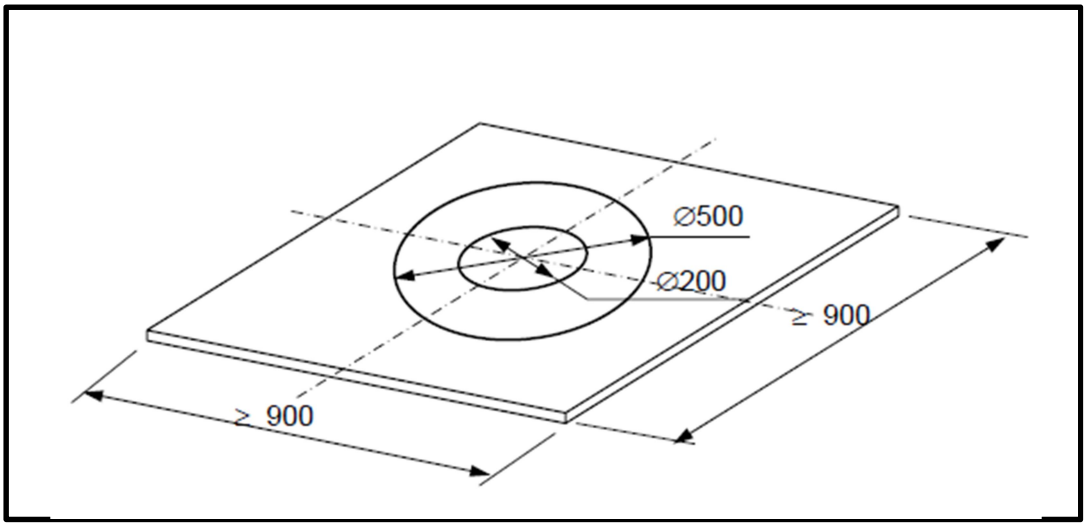
bağımsız kalan polimer parçacığı elektrostatik itme kuvvetinin oluşması ile uygun işlenebilirliğin sağlanması açısından önemlidir. Burada kritik ve çok değişkenli denklemden oluşan çimento taneciğinin polimeri absorbe ediş süresi, agrega içerisindeki kırma kumun su emme ve kristal yapılarından bahsedilen polimer fonksiyonundan sapmalara neden olmaktadır. Bu da hedeflenen yayılma, erken mukavemet ve uzun işlenebilirlik koruma etkilerinden sapmalara neden olabilmektedir. Bu hassasiyet nedeniyle beton dizaynında kullanılan çimento ve agrega tipine uygun kimyasal formülde polikarboksilat seçimi ve formülize edilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bölgesel malzemelerin petrografik yapılarına ve mekanik karakteristik özelliklerine göre katkı kullanım oranları değişebilmektedir.

1.4. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kıvam Deney Yöntemleri

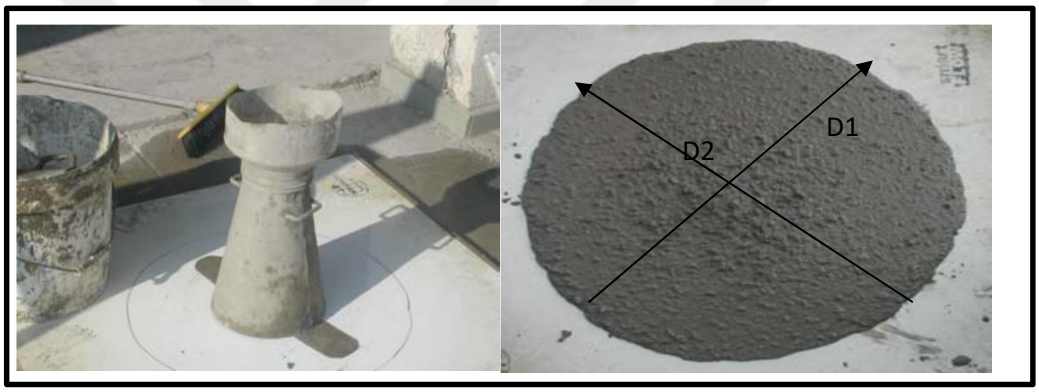
Kendiliğinden yerleşen betonların doldurma yeteneklerinin , ayrışma dirençlerinin ve geçiş yeteneklerinin belirlenebilmesi için bir dizi test yöntemi geliştirilmiştir.

1.4.1. Yayılma deneyi :

Normal akışkanlığa sahip betonlarda akışkanlığı ölçmek için kullanılan slump değeri kendiliğinden yerleşen betonlarda yüksek kıvam ve viskoziteden dolayı yerini yayılma değerine bırakır. Bu deney ile betonun belirli bir çap içerisinde kendi ağırlığı ile yayılma hızı ve yayılma çapı ölçülür. Deneyde standart üst çapı 10cm alt çapı 20 cm genişliğinde 30 cm yüksekliğinde standart slump hunisi ve 90*90 cm ebatlarında yayılma tablası kullanılır. (Şekil 2.6) Çökme hunisi TS EN 12350-2 “Taze Beton Deneyleri – Slump Deneyi “[14] baz alınarak KYB ile tek tabakada herhangi bir şişleme veya tokmaklama yapmadan doldurularak en fazla 30 sn kendi ağırlığı ile seviyelenmesi beklenir. Slump hunisinin tabanından şerbet kaçmamasına dikkat edilir. Slump hunisi çekildiğinde dairesel olarak yayılan KYB’nun ortalama çapı ölçülür. (Şekil 2.7) Ayrıca bir kronometre ile 50 cm yayılma değeri için geçen zaman T50 tutulur.



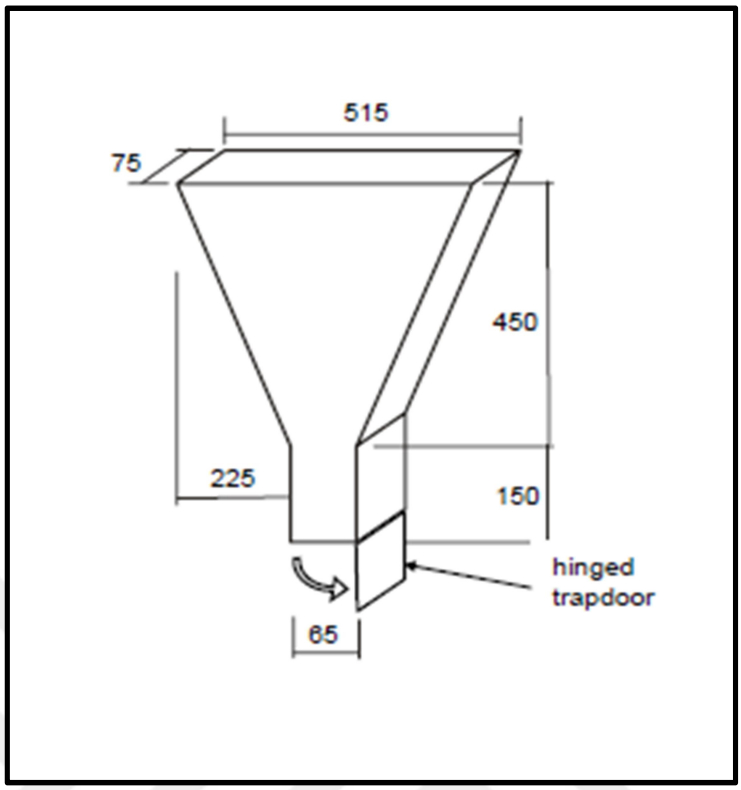
Şekil1.6. Yayılma tablası ölçüleri



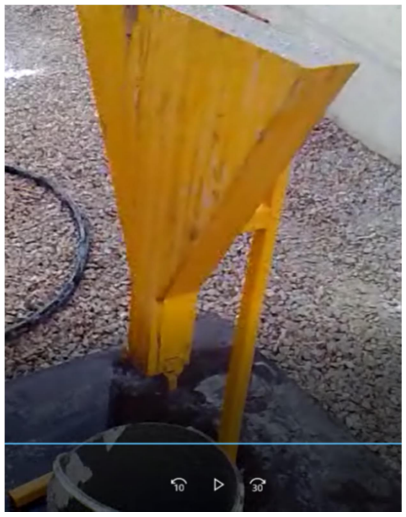
Şekil1.7. Yayılma deneyi için slump hunisi kullanımı ve yayılma çapı ölçümü

1.4.2. V Hunisi deneyi

V-hunisi testi, kendiliğinden yerleşen betonun viskozitesini ve doldurma yeteneğini değerlendirmek için kullanılır. Deney, KYB'un viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir. Deney aleti olarak özel bir huni kullanılır (Şekil 2.8). V şekilli bir huni temizlenip nemlendirildikten sonra herhangi bir çalkalama veya şişleme olmadan taze betonla doldurulur ve üst yüzeyinin kenarla seviyelenmesi 10 sn kadar beklenir. Alttaki kapak açılarak ve betonun huniden dışarı akması için geçen süre 0,1 sn hassasiyetle ölçülür ve V-huni akış süresi olarak kaydedilir.



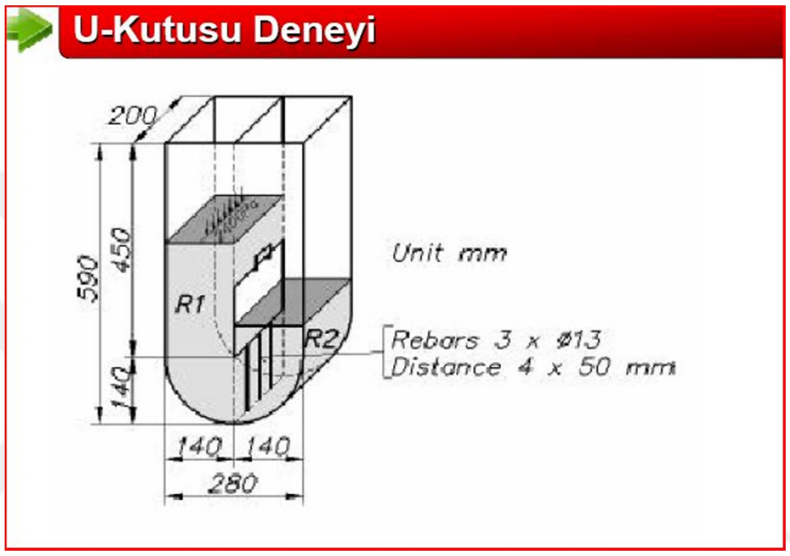
Şekil1.8. V hunisi ölçüleri



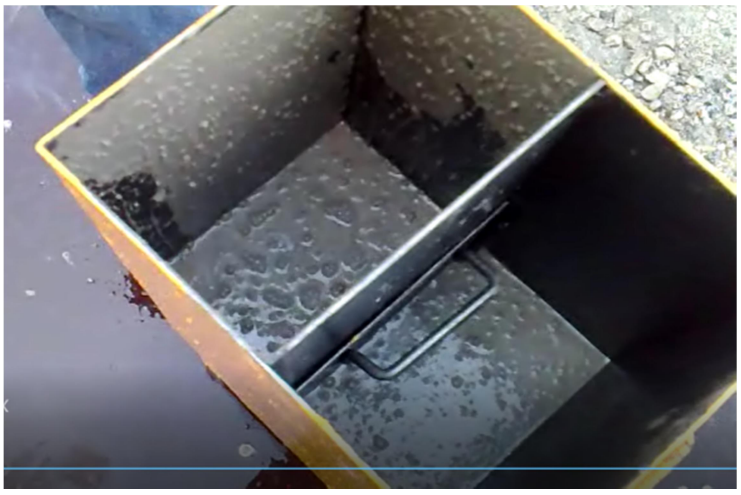
Şekil1.9. Deneylerde kullanılan V hunisi

1.4.3. U box deneyi

KYB'nun doldurma ve geçiş yeteneklerinin test edildiği bir deney de U Box deneyidir. Deney aleti olarak olarak Şekil 2.10'daki U şeklinde, alt ortasında sürgülü bir kapak olan ve aynı zamanda engel teşkil edecek araları 35 mm 3*Ø13 demir çubuklar bulunan bir kutu kullanılır. KYB doldurulduktan sonra sürgülü kapak çekilerek betonun diğer kısma doğru dolarak yükselmesinin hızı ve iki kol arasındaki yükseklik farkı ölçülür.



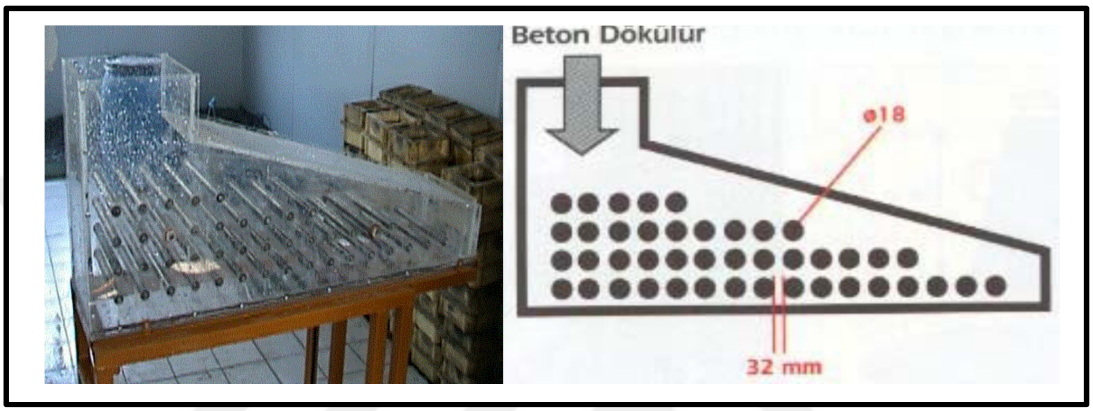
Şekil1.10. U kutusu deney aleti ölçüleri



Şekil1.11. U box deneyi sonrası iki kolda eşitlenen beton

1.4.4. Fill box deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonun kendi ağırlığı ve viskozitesi ile betonarme projelerin artık çoğunda bulunan sık donatılar arasından akışı ve doldurma yeteneğini ölçmek için kullanılan bir deneydir. Şeffaf kalıplar sayesinde betonun segregasyon ve su kusması yapmadan sık donatılar arasından geçişi gözlemleyerek ölçülebilir. Şekil 1.13 ve Şekil 1.14 te donatılar arasından başarıyla geçmiş ve geçememiş iki betonun görüntüsü görülmektedir.



Şekil1.12. Fill box deney ekipmanı



Şekil1.13. Fill box testinden başarıyla geçmiş bir KYB

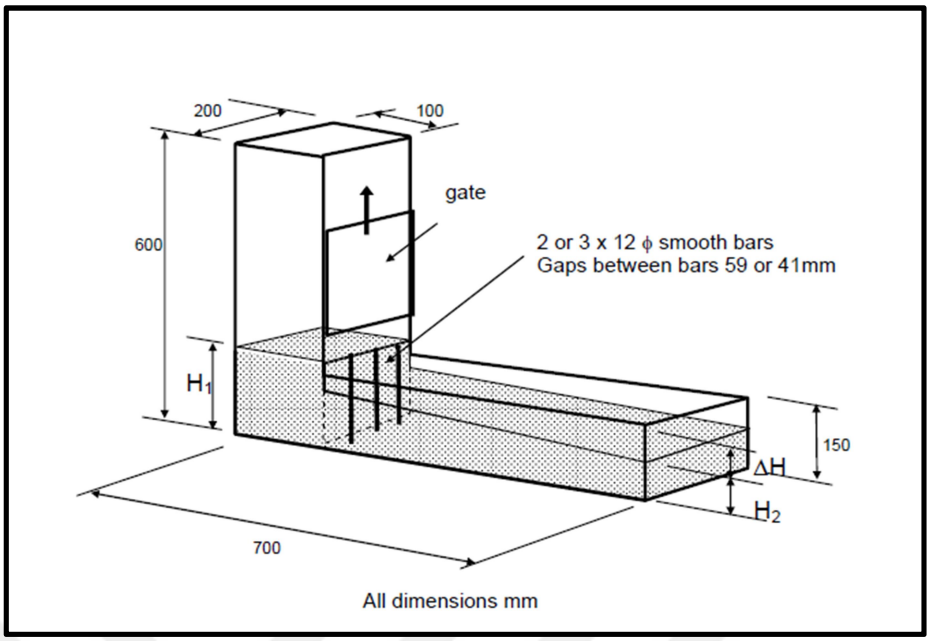


Şekil1.14. Fill box testinden geçemeyen bir KYB

1.4.5. L kutusu deneyi

Yine fill box deneyine benzer olarak betonun kendi ağırlığı ile geçme ve homogen yerleşmesini ölçmeye yönelik bir deney metodudur. Şekil 2.15 de görülen kare kesitli L-kutusu düz bir yatay tabana konulur ve dikey ve yatay bölümler arasındaki kapı kapatılır. Beton L-kutusunun doldurma haznesine dökülür ve (60 ± 10) s beklemeye bırakılır. Bu sırada oluşabilecek herhangi bir segregasyon kaydedilir ve daha sonra ara kapak betonun kutunun yatay bölümüne akması için kaldırılır. Hareket sona erdiğinde, L kutusunun yatay kısmının sonu ile eşit aralıklı üç donatı bulunan üst pozisyonda kutunun yatay kesitinin üst kısmı arasındaki düşey mesafe ölçülür .

Kutunun yatay kesitinin yüksekliğiyle arasındaki fark, bu ölçüm betonun ortalama derinliğini H2 mm olarak hesaplamak için kullanılır. Aynı prosedür, kapının hemen arkasındaki betonun derinliğini H1 mm olarak hesaplamak için kullanılır. H2/H1 oranının min. 0,8 olması beklenir



Şekil1.15. L kutusu deney aleti

1.4.6. KYB deneyleri için kabul edilebilir limit değerler

Kendiliğinden Yerleşen Betonların performans özellikleri için yapılan bu deneylerle ilgili limit değerler EFNARC tarafından 2005 yılında yayınlanan kılavuzda verilmiştir. (Tablo 2.1) de görüleceği üzere Kendiliğinden Yerleşen Betonlar akışkanlıklarına göre 3 ayrı kıvam sınıfına , viskozitelerine göre 2 ayrı sınıfa , geçiş yeteneklerine göre de 2 ayrı sınıfa ayrılmışlardır.

Tablo 1.1. KYB nu test metodları limit değerler

	SINIF	YAYILMA (cm)	T500,s	V HUNİSİ, s	L box
AKIŞKANLIK	SF1	550-650			
	SF2	660-750			
	SF3	760-850			
VİSKOZİTE	VS1/VF1		≤ 2	≤ 8	
	VS2/VF2		> 2	9-25	
GEÇİŞ YETENEĞİ	PA1				≥ 0,8 çift donatı
	PA2				≥0,8 üç donatı

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzemeler ve Metod

2.1.1 Çimento

Deneylerde Nuh Çimento Hereke / KOCAELİ fabrikasında TS EN 197-1 e uygun olarak üretilen CEM I 42,5 tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çimentonun fiziksel ve kimyasal analizleri

Kimyasal Bileşim %		
		Çimento
Bileşen		**Nuh CEM I 42,5R**
CaO, toplam		63,41
CaO, serbest		1,2
SiO2, toplam		20,22
Al2O3		5,67
Fe2O3		2,91
MgO		0,96
SO3		2,92
Na2O		
K2O		
Mn2O3		
TiO2		
Kızdırma kaybı		3,32
Çözünmeyen kalıntı		0,93
Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Özgül Ağırlık		3,19
İncelik Blaine (cm2 / gr)		3654
Basınç Dayanımı (Mpa)	2- Gün	29,8
	7- Gün	49,6
	28- Gün	61,1

2.1.2. Uçucu kül

Ülkemizde kullanılan enerji kaynaklarından birisi de termik santrallerdir. Termik santrallerde çeşitli fazlardaki fosil yakıtlar yakılarak elde edilen ısıl enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Termik santrallerin kullandığı yakıtlardan ülkemizde de en çok kullanılanı kömürdür. Ülkemizde 40 adet termik santralde yaklaşık yıllık yaklaşık 18.000Mwe elektrik üretilmektedir. Bu rakam tüketilen elektriğin yaklaşık %40 ına tekabül etmektedir. [15] Elektrik üretimi için 45milyon tona yakın kömür yakılmakta ve üretim sonucunda da kömürün cinsine göre değişkenlik göstermekle beraber 15 milyon ton civarında atık kül çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan külün %75-85i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atıklar "uçucu kül" olarak tanımlanırlar.[15] Santrallerde, baca gazlarından uçucu küllerin tutulması amacıyla genel olarak yüksek verimli elektroflitreler kullanılmaktadır. Bu kadar yüksek oranda çıkan atık malzemenin bertarafı da büyük sorunken neyse ki baca küllerinin betonda kullanımı keşfedilmiştir. Betonda kullanılan hammaddelere ek olarak uçucu kül kullanımının geçmişi 20.yy ilk çeyreği ile başlamıştır. Amerika'da uçucu kül kullanımı 1930'lu yıllara denk gelmektedir. Uçucu kül ile ilgili ilk kapsamlı çalışma R.E.Davis tarafından 1937 yılında yayınlanmıştır. Amerika'da uçucu külün kullanıldığı ilk proje yapımına 1931 yılında başlanan Hoover Barajı'dır[1]. Türkiye'de ise ilk çalışmalara 1964 yılında DSİ tarafından başlanmıştır. Yapımı 1967-1971 yılları arasında süren Gökçekaya Barajı'nda ilk kez uçucu kül kullanılmıştır.[16]

Çalışmalar sonucunda portland çimentosu ile birlikte kullanıldığında iyi bir puzolan olduğu görülen uçucu kül, çoğu kez koyu gri renktedir. Kullanılan kömürün yapısına yanma derecesine , içerisindeki yanmamış karbon oranına göre de renk tonu değişimleri gösteren elektrofiltrelerle tutulduğunda da çimento inceliğinde taneli bir malzemedir. Yanmamış karbon oranı arttıkça renk koyulaşmaktadır. Yanmamış karbon da puzolanik özellik göstermeyerek betonda boşluk etkisi yarattığı için istenmeyen bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. İyi yanmış bir kömür sonucu elde edilen külün rengi genel olarak daha açık renkli olmaktadır. [17]

Uçucu kül kendi başına bağlayıcı değildir. Fakat en önemli özelliği çimento ile suyun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan ürünlerden $Ca(OH)_2$ ile tepkimeye girerek C-S-H jeli oluşturmasıdır. C-S-H jelleri de dayanım oluşturmaktadır. Burda dayanım oluşturan C-S-H oluşumu ile betonun mekanik özelliklerine bir fayda sağlanırken aynı anda zayıf halka konumundaki dürabilite açısından sorun olan $Ca(OH)_2$ miktarının azalması ile de çift yönlü bir fayda sağlanmış olur ki bu olay

temel olarak betonda uçucu kül gibi puzolanik mineral katkıların kullanılmasının önünü açan en önemli etkenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır..

Deneylerde TS EN 450 ye uygun Çayırhan Termik Santrali 3. üniteye ait sepere edilmiş uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün kimyasal özellikleri Tablo 2.2 ' de verilmiştir

Tablo 2.2.Uçucu külün fiziksel ve kimyasal analizleri

Kimyasal Bileşim %		
		Uçucu Kül
Bileşen		**Çayırhan Term. Snt**
CaO, toplam		3,8
CaO, serbest		
SiO2, toplam		55,18
Al2O3		19,55
Fe2O3		10,58
MgO		5,86
SO3		0,7
Na2O		0,48
K2O		1,5
Mn2O3		
TiO2		0,89
Kızdırma kaybı		1,04
Çözünmeyen kalıntı		
Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Özgül Ağırlık		2,09
İncelik Blaine (cm2 / gr)		2550
Basınç Dayanımı (Mpa)	2- Gün	
	7- Gün	
	28- Gün	

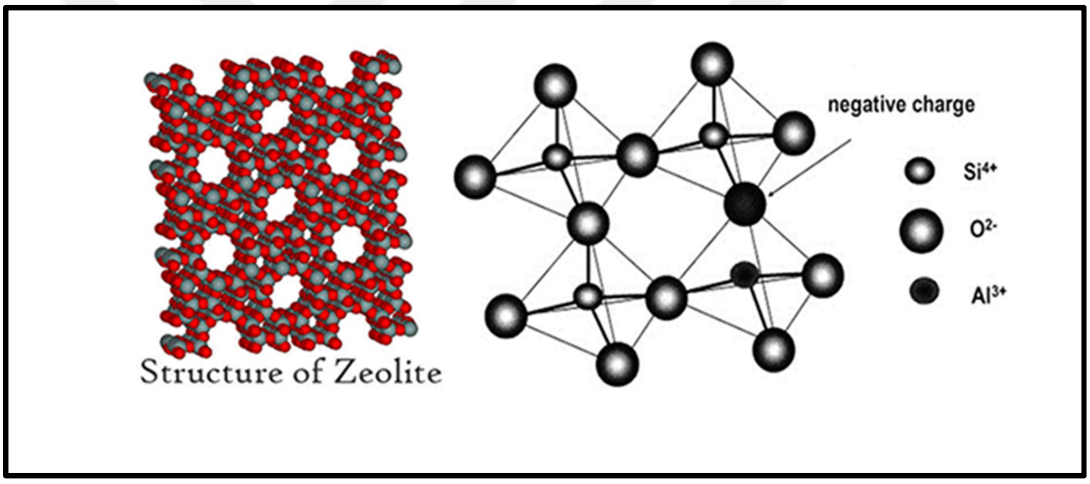
2.1.3. Zeolit

Zeolit, geniş anlamındaki tanımıyla alkali ve toprak alkali katyonları ihtiva eden volkanik kökenli sulu alümina silikat olarak tanımlanır.[18] Atomik düzeyde gözenekli yapıya sahiptirler ve ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyun serbest kalmasından dolayı Yunanca kaynayan taş anlamına gelen Zeolit adını almışlardır.Zeoliti 1756'da İsveç'li mineralog Cronstedt kesfetti ve doğal zeoliti sınıflandırdı.Damour 1857'de zeolitin hidrasyon-dehidrasyon özelliğini kayıt etti [19]. Eichorn(1858) zeolitin iyon değisimi özelliğini buldu. Weighel ve Steinhoff

(1925)zeolit tanaciklerinin gaz moleküllerini iç bünyelerine aldığını ispatladılar [20]. Mc.Bain (1932) popüler olan ve bugün de kullanılan “molecular sieving” (molekülerelek) özelliğini gösterdi [21]



Şekil 2.1. Doğal zeolit



Şekil 2.2. Doğal zeolitin moleküler yapısı

Zeolitlerin 50 adet doğal 150 ye yakın yapay çeşidi vardır. En çok tercih edieln tipi doğal klinoptilolittir. Klinoptilolitler yüksek absorbsiyon kapasitesi, katyon değişimi yeteneğine sahiptirler. Zeolitin minerolojik yapısına baktığımız zaman kanallar oluşturan geniş boşluklar görürüz. Bu kanalların en büyük özelliği katyonların ve moleküllerin zeolit yapısından geçişinde bir yol görevi görmeleridir. Bu özelliği ile zeolitler “moleküler elek” olarak bilinmektedirler. İstenmeyen molekülleri herhangi bir ortamdan uzaklaştırmak istenen molekülleri de ortamda tutmak istediğimizde zeolitler çok faydalı elekler olarak karşımıza çıkmaktadır. Zeolitlerin bu doğal yeteneği doğada negatif yük taşıyan birkaç mineralden biri olmalarından kaynaklanır. Negatif yük taşıdıkları için Na^{+}, Mg^{2+} ve Ca^{2+} gibi pozitif yüklü atomlar zeolit kanallarında tutularak sistemden uzaklaştırılabilirler. Zeolitler yapısal olarak

killerle aynı alümino silikat ailesinden olmakla beraber kristal yapıları farklıdır. Killerin en karakteristik özelliği tabakalı yapıya sahip olarak emilen suyun tabakalar arasındaki hareketi sonucu şişme – büzüşme deformasyonları göstermek iken zeolitlerin birbirine kanallar ile bağlı olan, sert ve bal peteği gibi üç boyutlu bir kristal yapıları vardır. Bu kristal yapılar sudan etkilenmemektedir. Su kanallar arasında serbestçe hareket eder. Kristal yapıdaki düzgün kanallar ve gözenek yapısı zeolite moleküler elek özelliğini kazandırır [22].

Zeolitlerin Kullanım Alanları

Zeolitler bu özellikli moleküler yapıları nedeniyle enerji , tarım ve hayvancılık, maden – metalürji , inşaat gibi çeşitli endüstriyel kollarda kullanılan bir madde haline gelmişlerdir. Genel olarak kullanımlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

Kirlilik kontrolü : Zeolit minerallerinin yüksek moleküler elek özellikleri en çok radyoaktif atıkların temizlenmesinde fayda sağlamaktadır. Çevresel ortamlardaki radyoaktif atıkların temizlenmesinde çevre sağlığı açısından tehlikeli Sr , Cs , Co gibi izotoplar zeolitlerle tutulabilmektedir. Böylece atık sudan alınan radyoaktif atıklar zeolitle gömülerek zararsız hale getirilmektedir. Yine aynı şekilde şehir ve endüstri tesislerin atık sularında bulunan azot bileşikleri metal iyonları (Pb, Cd, Fe, Cu, vb.) zeolitler tarafından kolaylıkla tutulmaktadır. Kirlilik kontrolü uygulamalarında yeni gelişen bu alanda aktifleştirilmiş zeolit, genleştirilmiş perlit, sodyum karbonat, tartarik asit ve %20 metilsiloksan içeren bir bağlayıcıyla peletlenmiş halde kullanmaktadır. Özgül ağırlığı 0.5 gr/cm3 ve yağ adsorplama kapasitesi 0.97 gr olan bu malzeme, 200 saat suda yüzebilmekte ve yüzeydeki petrolü adsorplamaktadır [23]

Çöp depolama alanlarında zemin stabilizasyonu yapılırken tabanda çöplerdeki zararlı minerallerin toprağa geçemesin engelleyici geçirgen olmayan zemini sağlamlaştırıcı bir malzeme kullanılması istenir. Bunun için de çoğu kez geçirgenliği az olan killer kullanılır. Killerin de en büyük dezavantajı suyla karşılaştıklarında zamanla şişerek jelleşmeleri ve stabilitelerini kaybetmeleri ve asit ortamlardan etkilenmeleridir. Bu problemin çözümünde killerle zeolitler başarılı bir şekilde ortak olarak çalışırlar. Zeolitler killere filtrasyon ve sızıntı suları eleme yönünde yardımcı olurlar.[24]

Metalürji : Madencilik ve metalurjik faaliyetlerinden ortaya çıkan çevre sağlığına zararlı atık sular, doğal zeolitlerin katyon değiştirme özelliklerinden faydalanılarak

arıtılabilmektedir. Ayrıca pirometalurji sanayinde $CaC0_3$ ve doğal zeolit karışımı Cu-Pb alaşımlarının eritilmesinde ortaya çıkan zararlı dumanları %90 oranında yok edebilmektedir

Kağıt endüstrisi : Zeolitin şu ana kadar saydığmız yararları moleküler elek özelliğinden kaynaklanmakta iken belki de hiç beklenmeyen bir yönüyle kağıt endüstrisine de faydaları dokunmaktadır. Parlak yapıya sahip zeolit cevherleri, kağıt endüstrisinde dolgu maddesi olarak gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. Klinoptilolit katkılı kağıt, normal kil katkılı kağıtlara göre daha tok olup, kolay kesilebilmekte ve mürekkebi daha az dağıtmaktadır. Zeolit katkılı kağıt hamurları ile aynı zamanda daha hafif kağıtlar da elde edilebilmektedir.

İnşaat sektörü : Zeolitler puzolanik madde olarak özellikler sulu alt yapılarda kullanılacak çimentolarda kullanılırlar. Bu sayede çimentoya yüksek silis içeren zeolitlerle katılaşma sırasında açığa çıkan kirecin nötrleşmesi yeteneği sağlanır.

Perlit ve diğer volkanik camlara benzer olarak genleşmeye uygun doğal zeolitlerin yüksek aşınma dayanımları sayesinde de genleştirilmiş hafif agrega üretiminde kullanımı yaygındır. Zeolitik tüfler yüksek gözenekli , homogen , düşük ağırlıklı yapılarıyla kolayca kesilebilerek boyutlandırılmış yapı taşı olarak da kullanılır.



Şekil 2.3. Deneylerde kullanılan öğütülmüş zeolit

Tablo 2.3. Zeolitin fiziksel ve kimyasal analizleri

Kimyasal Bileşim %		
		Zeolit
Bileşen		**Ege Zeolit Balıkesir**
CaO, toplam		1,43
CaO, serbest		
SiO2, toplam		62,17
Al2O3		9,76
Fe2O3		2,02
MgO		0,75
SO3		0,07
Na2O		0,46
K2O		3,72
Mn2O3		
TiO2		
Kızdırma kaybı		14,06
Çözünmeyen kalıntı		
Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Özgül Ağırlık		2,19
İncelik Blaine (cm2 / gr)		8150
Basınç Dayanımı (Mpa)	2- Gün	
	7- Gün	
	28- Gün	

2.1.4. Yüksek fırın cürufu

Yüksek fırın cürufu (YFC) , demir-çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Demir üretiminde hammadde olarak demir cevheri, kireçtaşı ve kok kömürü kullanılmaktadır. Demir cevheri demir oksit ile birlikte silis, kükürt ve alümin gibi demir dışı maddeleri de içermektedir. Yüksek fırındaki işlem sonucu bu maddeler ayrışır. Kireçtaşı bu süreçte yardımcı bir hammadde olarak görev yapar. Kok kömürü ise gerekli olan yakıtı sağlar

Hammaddelerle sürekli olarak beslenen yüksek fırınlarda sıcaklık 1600 C'lere ulaşmaktadır. Yüksek sıcaklık sonucu ergiyen malzemeler üstte cüruf ve altta pik demir olacak şekilde fırının alt kısmında toplanır. Ergimiş cüruf ve demir ayrı ayrı tahliye edilir. Yaklaşık 1500 C'de olan yüksek fırın cürufunun tahliye edilmesinden sonra uygulanacak soğutma yöntemi, oluşacak ürünün özelliklerini ve kullanım yerini belirler [25].

Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun bağlayıcı olma özelliği ilk kez 1862 de Almanya da Emil Langen tarafından bulunmuştur.

Yüksek fırın cürufu katkılı betonlar yüksek çevresel etki direncine sahiptir. Özellikle yüksek oranda sülfat , deniz suyu etkisine maruz betonlarda kullanımı faydalıdır. Çimento hamuru yoğunluğunu da arttırarak daha işlenebilir , pompalanabilir , daha geçirimsiz betonlar yapılmasına olanak verir.

Yüksek fırın cürufu uçucu küle oranla çok daha yüksek oranlarda beton içerisinde kullanılabilir. Genel olarak uçucu kül çimento ağırlığının %30 -%40 oranlarında kullanılmakta iken yüksek fırın cürufu betonun su ihtiyacını arttırmaksızın çimento ağırlığının %50 - %100 hatta bazen %200 oranlarında dahi kullanılabilir. Bu durum özellikle kalınlığı 1mt yi geçen kütle beton dökümlerinde büyük sorun oluşturan aşırı yükselen hidratasyon ısısına bağlı içsel ve yüzeysel çatlaklar problemine karşı hidratasyon ısısının kontrol edilerek düşürülmesi yönünde çözümler sunar. Bu tür dizaynlarda tek dezavantaj düşük erken dayanımlar olmakla beraber nihai dayanım normal portland çimentosuna göre daha yüksektir.

Tablo 2 .4. Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal analizleri

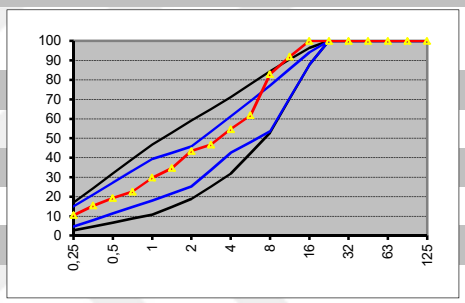
Kimyasal Bileşim %		
		Y. Fırın Cürufu
Bileşen		**Ereğli Demir çelik**
CaO, toplam		37,8
CaO, serbest		
SiO2, toplam		35,1
Al_2O_3		17,54
Fe_2O_3		0,7
MgO		5,5
SO_3		0,7
Na_2O		0,41
K_2O		1,72
Mn_2O_3		
TiO_2		
Kızdırma kaybı		1,08
Çözünmeyen kalıntı		
Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Özgül Ağırlık		2,90
İncelik Blaine (cm² / gr)		4550
Basınç Dayanımı (MPa)	2- Gün	
	7- Gün	
	28- Gün	

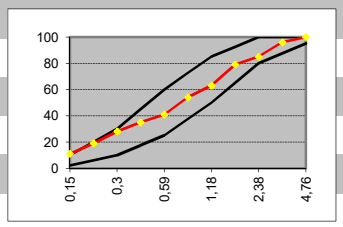
2.1.5 Agrega

Deneylerde Hereke Maden İşletmeleri A.Ş ye ait kırmataş agrega kullanılmıştır. Maden dolomitik kalker kökenlidir. İnce agrega olarak 19-38 mm balast malzemenin dik milli kırıcıda öğütülmesi ile elde edilen 0-4 mm kırmataş kumu kullanılmıştır. Kırmataş kumunun metilen mavisi değeri 0,5 tir. Kaba agrega olarak da 5-12 mm I no agrega kullanılmıştır.

Tablo 2.5. Agrega elek analizleri , gradasyon , fiziksel değerler

Açıklık	AGREGA GRANÜLOMETRİSİ (% Geçen)						
(mm)	Filler	0-3	0-4	4-12	12-20	25-60	60-125
0,074			1,0	1,4			
0,150			11				
0,25			19				
0,30			28				
0,5			35				
0,60			41				
1			54				
1,18			63				
2			79				
2,38			85	0			
4			96	4		D-Max=	12
4,76	İncelik		100	15			
8	Modülleri (İ.M.)		100	62			
9,5	5,00	6,00	2,72	82			
16				100			
19				100			
32				100			
38				100			
63				100			
100				100			
125				100			
Özgül ağırlık			2,63	2,7			
Su emme			*1,2*	*0,4*			
Metilen mavisi			0,5				





2.1.6. Kimyasal katkı

Deneylerde BASF firmasına ait TS EN 934-2 standardına uygun Glenium C 303, polikarboksilik eter esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.. Geleneksel polikarboksilik eter esaslı süperakışkanlaştırıcılar, çimento taneciğinin etrafını tamamen sararak bir bariyer oluşturur. Çimento taneciği suyla

birleşemediğinden dolayı hidratasyon işlemi yavaşlar. Bu mekanizmadan farklı olarak, Glenium C 303 molekülleri çimento tanecikleri üzerinde ani hidratasyona izin veren boşluklar bırakır. Bu boşluklar erken yüksek dayanım gelişimini sağlar [26]

Tablo 2 .6. Kimyasal katkı özellikleri

Teknik Özellikleri	
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Yeşil - sıvı
Özgül ağırlık (20 C de)	1.00 - 1.10 kg / lt
pH değeri	5-8
Alkali içeriği (%)	≤3.00 (Kütlece)
Klor iyon içeriği (%)	≤0.10 (Kütlece)
Korozyon davranışı	Sadece EN 934-1:2008 EK A.1 standardına uygun
Tehlikeli maddeler	Tamamen EK AZ'ye uygundur.

2.1.7. Su

Deneylerde TS EN 1008 e uygun Vezirçiftliği / Kullar havzasından -60 mt den sondajla çıkarılan derin kuyu suyu kullanılmıştır. Kullanılan suya ait analiz değerleri Tablo 2.7. de verilmiştir.

Tablo 2 .7. Beton karma suyu analizleri

Deney Adı	Standard	Sonuç	Sınır Değer
Sülfat Muhtevası (SO_4^{2-})	EPA 9038 : 1986	91 ppm (mg/L)	2000 ppm (mg/L)
Klorür Muhtevası (Cl^-) (*)	TS EN 196-2:2013 Bölüm: 4.5.16	8 ppm (mg/L)	Öngerilmeli beton veya şerbet : 500 ppm Donatı veya metal içeren beton : 1000 ppm Donatı veya metal bulunmayan beton : 4500 ppm
Sodyum Oksit (Na_2O) Miktarı (*)	TS EN 196-2:2013 Bölüm: 4.5.19	3 ppm (mg/L)	-
Potasyum Oksit (K_2O) Miktarı(*)	TS EN 196-2:2013 Bölüm: 4.5.19	2 ppm (mg/L)	-
Toplam Alkali Muhtevası (*)	TS EN 196-2:2013 Bölüm: 4.5.19	4 ppm (mg/L)	1500 ppm (mg/L)
pH değeri	TS EN 1008 : 2003 Bölüm 6.1.1	8,1	4'den küçük olmamalıdır.
Koku ([1])	TS EN 1008 : 2003 Bölüm 6.1.1	İçilebilir sudan daha keskin koku içermemektedir	İçilebilir suyun sahip olduğu koku haricinde herhangi koku bulunmamalıdır. Hidroklorik asit ilave edildikten sonar hidrojen sulfur kokusu bulunmamaldır.
Renk ([1])	TS EN 1008 : 2003 Bölüm 6.1.1	Açık sarıdan daha açık	Açık sarı veya daha açık olmaldır.
Askıda Katı Madde İçeriği	TS EN 1008 : 2003 Bölüm 6.1.1	< 0,5 ml	Çökelti miktarı 4 ml'den az olmalıdır.
Deterjanlar ([1])	TS EN 1008 : 2003 Bölüm 6.1.1	Yok	Herhangi bir köpük 2 dakikada kaybolmalıdır.
Sıvı ve Katı Yağlar ([1])	TS EN 1008 : 2003 Bölüm 6.1.2	Yok	Görünür izlerden daha fazla olmamaldır.
Organik Madde ([1])	TS EN 1008:2003	Oluşan renk standart renkten açıktır.	NaOH ilavesi sonrası renk açık sarı veya daha açık olmalıdır.
Kurşun (Pb^{2+})	TS EN 1008:2003	<10 ppm (mg/L)	100 ppm (mg/L)
Fosfat (P_2O_5)	TS EN 1008:2003	<10 ppm (mg/L)	100 ppm (mg/L)
Çinko (Zn^{2+})	TS EN 1008:2003	<10 ppm (mg/L)	100 ppm (mg/L)
Nitrat (NO_3^-)	EPA 9038 : 1986	<10 ppm (mg/L)	500 ppm (mg/L)
Elektriksel İletkenlik(25°c)	TS 9748 EN 27888:1996	267 µS/cm	-

2.2 . Deney Programı

Deneylerde %58 ince agrega %42 kaba agrega gradasyonu sabit tutulmuştur. Toplam bağlayıcıya oranla kullanım yüzdesi sabit hiperakışkanlaştırıcı kullanılarak toplam bağlayıcı miktarı 500 kg / m^3 seçilmiş ve toplam bağlayıcının %30 , % 40 ve % 50 ikame oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Su/ bağlayıcı oranı 0,34 , katkı dozajı bağlayıcının %1,3 ü oranında sabittir. Her bir karışım grubunda yüksek fırın cürufu , zeolit ve uçucu kül ayrı ayrı kullanılmış böylece 9 farklı karışım dizayn edilmiştir. Deneyler sabit sıcaklıkta ve aynı laboratuvar ortamında yapılmıştır. Deney karışımı sırasında önce kaba ve ince agregalar sonra çimento ve puzolanlar karıştırılmış , karma suyunun ¾ ü de karıştırıldıktan sonra katkı eklenmiştir. Her bir deney için T_{50} süresi , yayılma testi , V funnel testi , U Box testi yapılarak kayıt

altına alınmış , taze beton testleri sonrasında da 15*15*15 cm lik küp numune kalıpları ile 8 er adet numune alınarak 3 gün , 7 gün , 28 gün ve 90 gün sonu basınç mukavemeti testi yapılmıştır. 1 m^3 hacim için karışım miktarları (kg) olarak (Tablo 2.8) de verilmiştir.

Tablo 2.8. Deney gruplarına ait karışım oranları

kg / m3	ÇİMENTO	MİNERAL			5-12 MICIR	0-5	SU	yks.C303
		U.KÜL	Y.F.CÜRUF	ZEOLİT				
C350.K150	350	150			711	953	168	6,50
C350.CF150	350		150		731	979	168	6,50
C350.Z150	350			150	714	956	168	6,50
C300.K200	300	200			703	941	168	6,50
C300.CF200	300		200		728	976	168	6,50
C300.Z200	300			200	706	946	168	6,50
C250.K250	250	250			694	930	168	6,50
C250.CF250	250		250		726	973	168	6,50
C250.Z250	250			250	698	935	168	6,50

Tablo 2.9. 30 dm3 deney karışım miktarları

	ÇİMENTO	MİNERAL			I NO MICIR	0-5	SU	yks. C303
		KÜL	CÜRUF	ZEOLİT				
C350.K150	10.500	4.500			21.211	28.135	5.640	195
C350.CF150	10.500		4.500		21.790	28.902	5.656	195
C350.Z150	10.500			4.500	21.287	28.236	5.642	195
C300.K200	9.000	6.000			20.950	27.789	5.633	195
C300.CF200	9.000		6.000		21.722	28.812	5.654	195
C300.Z200	9.000			6.000	21.052	27.923	5.636	195
C250.K250	7.500	7.500			20.688	27.440	5.626	195
C250.CF250	7.500		7.500		21.652	28.720	5.653	195
C250.Z250	7.500			7.500	20.815	27.608	5.630	195
Toplam malzeme	81.000	18.000	18.000	18.000	191.167	253.565	50.770	1.755

Herbir deney grubundan alınan numunelerin 28 gün kür havuzunda bekledikten sonra yüzey kurusu birim ağırlıkları ve 24 saat 105ºC etüv kurusu ağırlıkları kayıt altına alınarak birim ağırlık ve su emmeleri bulunmuştur. (Tablo 2.10 , Tablo 2.11 , Tablo 2.12)

Tablo 2.10. %30 ikame oranlı karışımların birim ağırlık ve su emme değerleri

DENEY GRUBU I %30 İKAME	NUMUNE NO	AĞIRLIK(gr) (DYK)	Kuru Ağırlık (gr)	Birim Ağırlık (gr/cm3) (DYK)	Birim Ağırlık Ort	Su emme %	Su emme % Ort
C350.K150	1	7.867	7.824	2,331	2,338	0,547%	0,673%
	2	7.905	7.844	2,342		0,772%	
	3	7.905	7.849	2,342		0,708%	
	4	7.900	7.842	2,341		0,734%	
	5	7.870	7.822	2,332		0,610%	
	6	7.855	7.807	2,327		0,611%	
	7	7.905	7.852	2,342		0,670%	
	8	7.915	7.857	2,345		0,733%	
C350.CF150	1	8.025	7.969	2,378	2,377	0,698%	0,631%
	2	8.042	7.994	2,383		0,597%	
	3	7.998	7.953	2,370		0,563%	
	4	8.031	7.980	2,380		0,635%	
	5	7.995	7.937	2,369		0,725%	
	6	8.005	7.959	2,372		0,575%	
	7	8.045	7.995	2,384		0,622%	
	8	8.035	7.984	2,381		0,635%	
C350.Z.150	1	7.884	7.827	2,336	2,340	0,723%	0,820%
	2	7.895	7.829	2,339		0,836%	
	3	7.905	7.841	2,342		0,810%	
	4	7.915	7.855	2,345		0,758%	
	5	7.901	7.831	2,341		0,886%	
	6	7.888	7.818	2,337		0,887%	
	7	7.899	7.833	2,340		0,836%	
	8	7.900	7.835	2,341		0,823%	

Tablo 2.11. %40 ikame oranlı karışımların birim ağırlık ve su emme değerleri

DENEY GRUBU II %40 İKAME	NUMUNE NO	AĞIRLIK(gr) (DYK)	Kuru Ağırlık (gr)	Birim Ağırlık (gr/cm3) (DYK)	Birim Ağırlık Ort	Su emme %	Su emme % Ort
C300.K.200	1	7.830	7.772	2,320	2,321	0,741%	0,750%
	2	7.841	7.782	2,323		0,752%	
	3	7.827	7.765	2,319		0,792%	
	4	7.844	7.792	2,324		0,663%	
	5	7.842	7.784	2,324		0,740%	
	6	7.827	7.768	2,319		0,754%	
	7	7.820	7.768	2,317		0,665%	
	8	7.835	7.765	2,321		0,893%	
C300.CF.200	1	7995	7942	2,369	2,360	0,663%	0,689%
	2	7990	7937	2,367		0,663%	
	3	7977	7922	2,364		0,689%	
	4	7970	7910	2,361		0,753%	
	5	7966	7912	2,360		0,678%	
	6	7925	7875	2,348		0,631%	
	7	7939	7888	2,352		0,642%	
	8	7955	7892	2,357		0,792%	
C300.Z.200	1	7820	7749	2,317	2,316	0,908%	0,856%
	2	7795	7727	2,310		0,872%	
	3	7805	7738	2,313		0,858%	
	4	7790	7727	2,308		0,809%	
	5	7810	7745	2,314		0,832%	
	6	7835	7762	2,321		0,932%	
	7	7841	7778	2,323		0,803%	
	8	7824	7759	2,318		0,831%	

Tablo 2 .12. %50 ikame oranlı karışımların birim ağırlık ve su emme değerleri

DENEY GRUBU III %50 İKAME	NUMUNE NO	AĞIRLIK(gr) (DYK)	Kuru Ağırlık (gr)	Birim Ağırlık (gr/cm3) (DYK)	Birim Ağırlık Ort	Su emme %	Su emme % Ort
C250.K.250	1	7.780	7.719	2,305	2,307	0,784%	0,780%
	2	7.765	7.711	2,301		0,695%	
	3	7.799	7.729	2,311		0,898%	
	4	7.805	7.739	2,313		0,846%	
	5	7.794	7.729	2,309		0,834%	
	6	7.782	7.722	2,306		0,771%	
	7	7.768	7.718	2,302		0,644%	
	8	7.798	7.738	2,311		0,769%	
C250..CF.250	1	7.960	7.895	2,359	2,357	0,817%	0,707%
	2	7.955	7.905	2,357		0,629%	
	3	7.948	7.896	2,355		0,654%	
	4	7.965	7.907	2,360		0,728%	
	5	7.955	7.899	2,357		0,704%	
	6	7.942	7.892	2,353		0,630%	
	7	7.950	7.888	2,356		0,780%	
	8	7.955	7.898	2,357		0,717%	
C250.Z.250	1	7.805	7.732	2,313	2,311	0,935%	0,908%
	2	7.825	7.752	2,319		0,933%	
	3	7.765	7.703	2,301		0,798%	
	4	7.802	7.732	2,312		0,897%	
	5	7.790	7.715	2,308		0,963%	
	6	7.832	7.758	2,321		0,945%	
	7	7.800	7.732	2,311		0,872%	
	8	7.790	7.718	2,308		0,924%	

3 . DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Karışımların taze beton performans ölçümleri için yayılma , T50 süresi , V funnel akış , Ubox doldurma testleri yapılmıştır. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren karışımlar testlerden başarıyla geçmiş , zeolit içeren karışımlar yayılma , U box , V funnel testlerinde kendi enerjisiyle geçme , doldurma yayılma özelliklerini sağlayamayarak KYB sıfatını alamamışlardır. (Tablo 3.1)

3.1.1. Yayılma testi ve T50 değeri

Bağlayıcının %30 ikamesinde uçucu küllü karışım 68 cm yayılma ve 5sn T50 süresi verirken yüksek fırın cüruflu karışım 80 cm yayılma ve 5 sn T50 süresi vererek testleri geçmiştir. Zeolitli karışım ise 45 cm yayılmada kalmış ve T50 değeri verememiştir. (Tablo 3.1) %40 ikame oranlı karışımlarda küllü karışım 72 cm yayılma ve 4sn T50 değeri , cüruflu karışım 78 cm yayılma ve 4 sn T50 değeri , zeolitli karışım 40 cm yayılma değerleri vermiştir. %50 ikame oranlı karışımlarda küllü karışım 70 cm yayılma ve 3sn T50 değeri , cüruflu karışım 75 cm yayılma ve 4 sn T50 değeri , zeolitli karışım 35 cm yayılma değeri vermiştir.

3.1.2. V funnel test

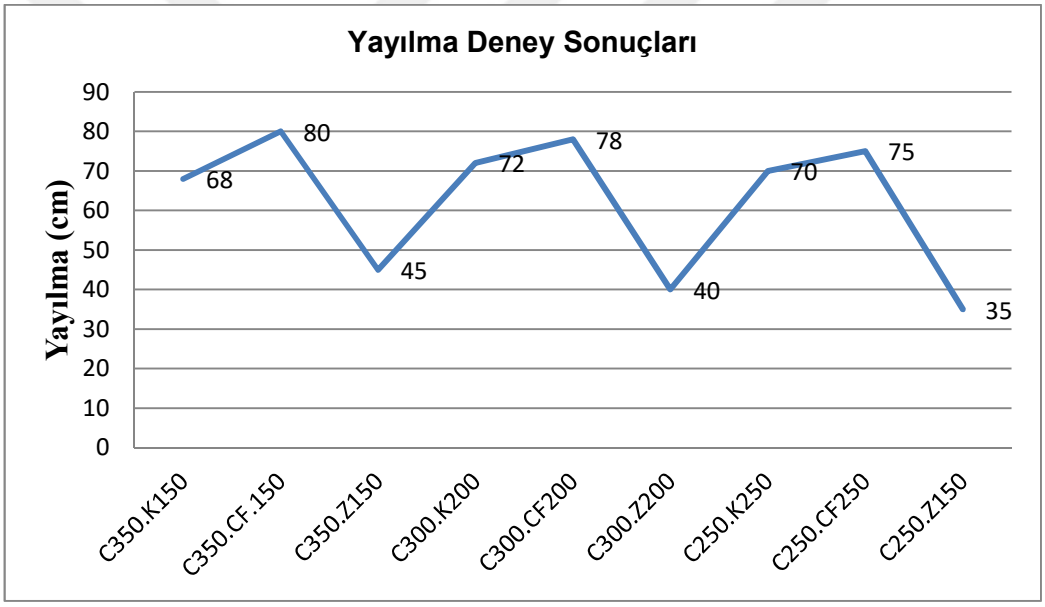
Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu karışımlı deneylerde betonlar V funnel deney ekipmanından 10-12 sn lik akış süreleriyle testleri başarıyla geçmiştir. Zeolit katkılı karışımlar ise huninin alt akış dar kısmında yığışarak EFNARC kılavuzunda verilen maksimum 25 sn sürede de huniyi boşaltamamışlardır.

3.1.3. U box test

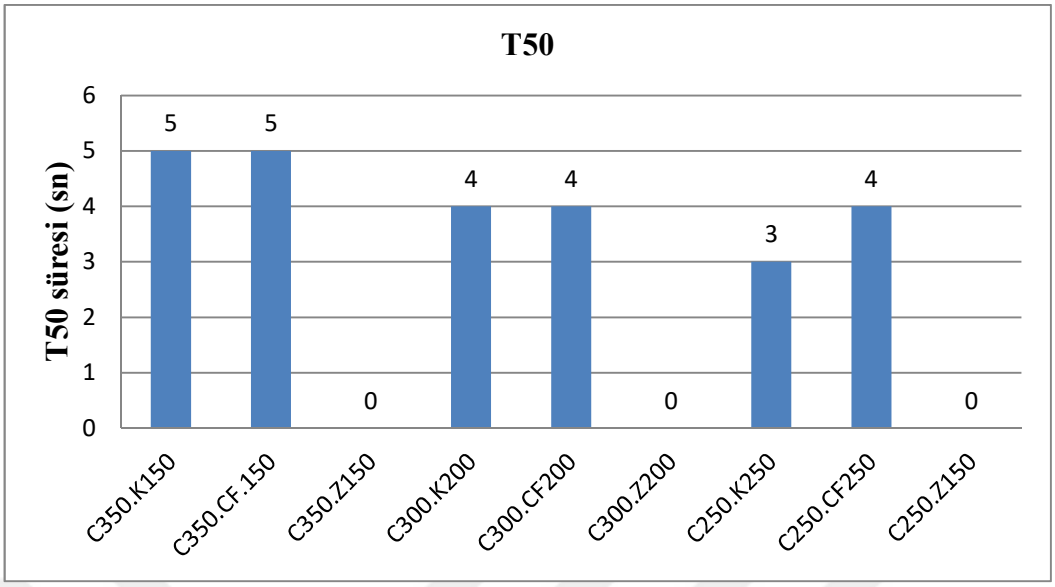
Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu karışımlı deneylerde betonlar U box deney aletinde aradaki giyotin kapak açıldığında yandaki kolda başarılı bir şekilde yükselerek 2-5 cm aralığında H1-H2 farkıyla deneyi başarıyla tamamlamışlardır. Zeolit katkılı karışımlar ise düşük kıvamları nedeniyle diğer kola geçemeyerek doldurma ve kendi ağırlıkları ile yerleşme kabiliyeti gösterememişlerdir.

Tablo 3.1. Taze beton deney sonuçları

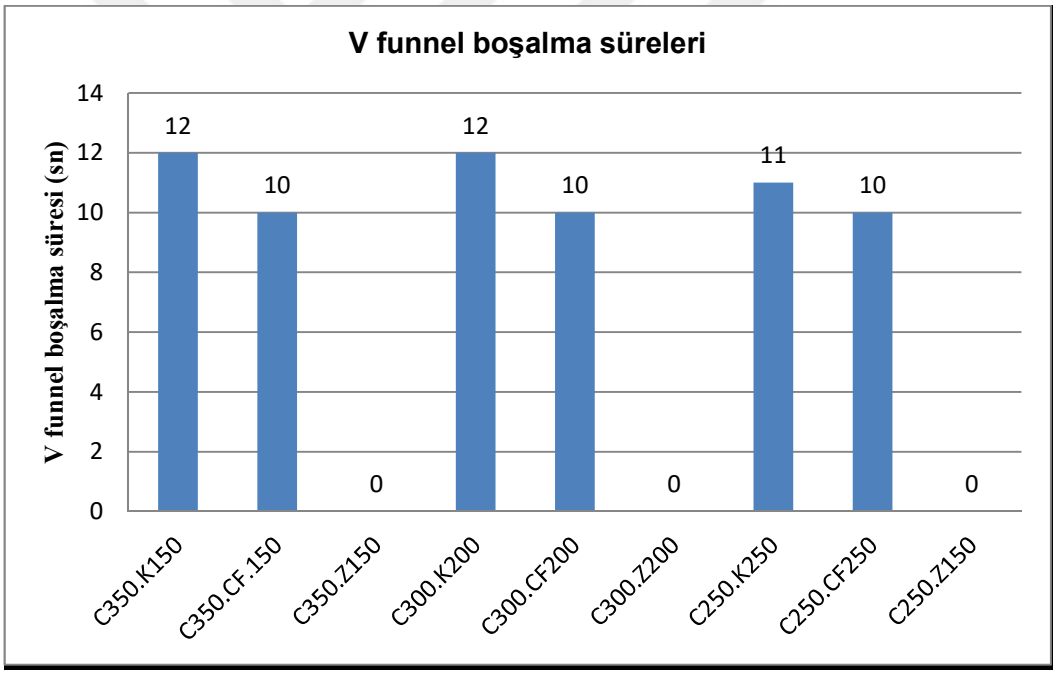
Deney No	Yayılma(cm)	T50(s)	V funnel(s)	U box(cm)
C350.K150	68	5	12	2
C350.CF.150	80	5	10	4
C350.Z150	45	0	0	29
C300.K200	72	4	12	2
C300.CF200	78	4	10	4
C300.Z200	40	0	0	30
C250.K250	70	3	11	3
C250.CF250	75	4	10	5
C250.Z150	35	0	0	30



Şekil 3.1. Yayılma deneyleri karşılaştırılması



Şekil 3. 2. T50 süreleri karşılaştırılması



Şekil 3. 3. V funnel boşalma süreleri karşılaştırılması

3.2. Sertleşmiş Beton Mukavemet Test Sonuçları

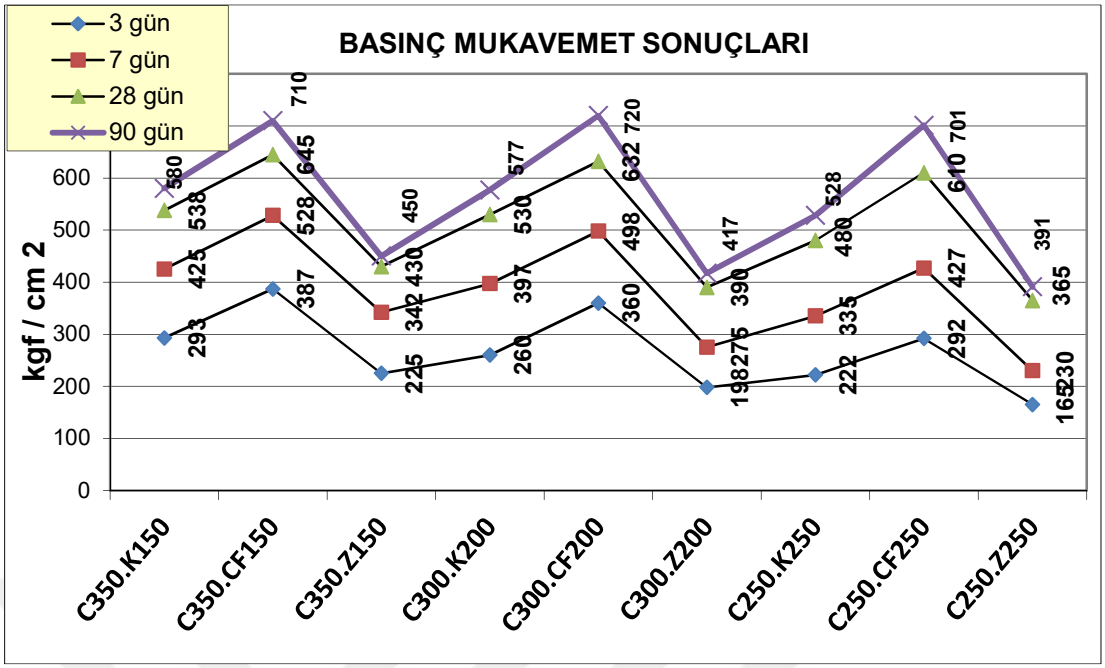
Uçucu kül , yüksek fırın cürufu ve zeolit katkılı betonların %30- %40 - %50 ikame oranlarında basınç mukavemetleri ve eğilme mukavemetlerindeki değişim Tablo 3.2 de gösterilmiştir

Tablo 3.2. Basınç ve eğilme mukavemeti sonuçları

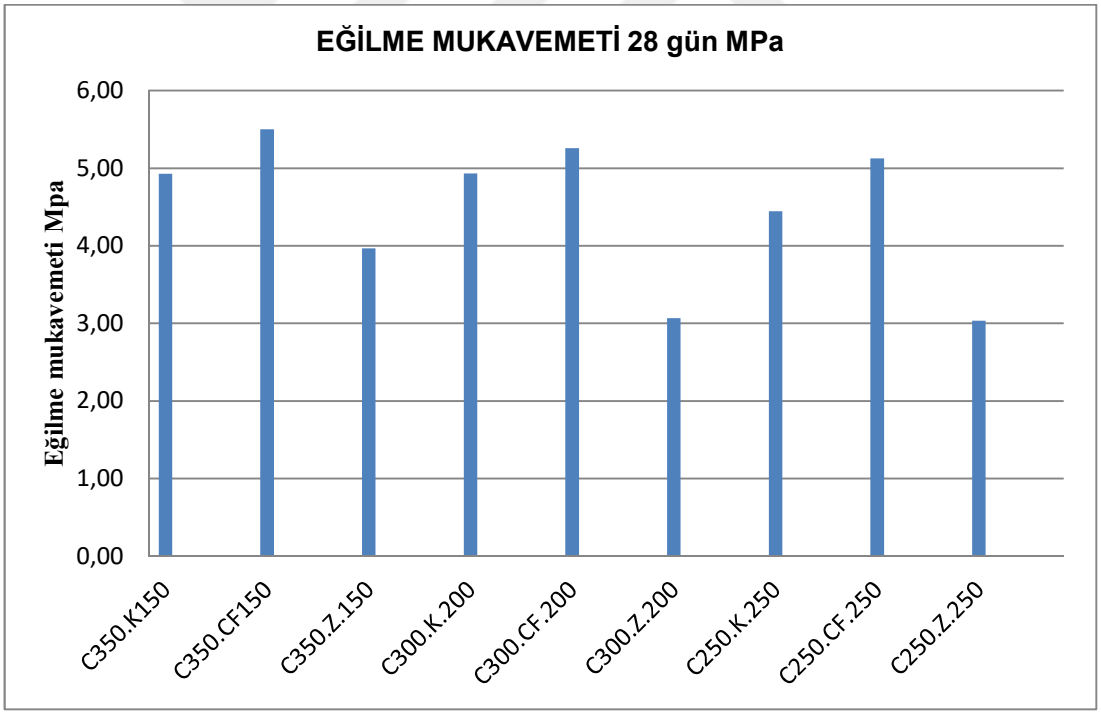
	Eğilme Deneyi (10*10*40)			Basınç Deneyi (15*15cm)				
Deney No	Yük (kN)	Eğilme muk. (Mpa)	Ortalama eğ.muk	Yük (N)	Basınç muk (Mpa)	Ortalama basınç.muk (28 gün)	Ortalama basınç.muk (90 gün)	(28-90) gün % Artış
C350.K150	15,75	4,72	4,93	1.187,5	52,78	52,78	56,89	7,79%
	15,53	4,66		1.190,0	52,89			
	18,02	5,41		1.185,0	52,67			
C350.CF150	17,86	5,36	5,50	1.470,0	65,33	63,27	69,65	10,08%
	18,55	5,56		1.426,0	63,38			
	18,65	5,59		1.375,0	61,11			
C350.Z.150	13,62	4,10	3,97	955,0	42,44	42,18	44,14	4,65%
	12,82	3,80		945,0	42,00			
	13,29	4,00		947,0	42,09			
C300.K.200	14,10	4,70	4,93	1.155,0	51,33	52,00	56,60	8,84%
	15,83	4,75		1.176,3	52,28			
	17,83	5,35		1.179,0	52,40			
C300.CF.200	17,90	5,37	5,26	1.398,0	62,13	62,00	70,63	13,92%
	17,80	5,34		1.382,0	61,42			
	16,90	5,07		1.405,0	62,44			
C300.Z.200	11,05	3,32	3,07	843,0	37,47	38,25	40,91	6,95%
	9,89	2,97		867,0	38,53			
	9,75	2,93		872,0	38,76			
C250.K.250	14,25	4,28	4,45	1.069,0	47,51	47,08	51,79	10,00%
	14,75	4,43		1.039,0	46,18			
	15,45	4,64		1.070,0	47,56			
C250.CF.250	17,15	5,15	5,13	1.339,0	59,51	59,84	68,76	14,91%
	17,18	5,15		1.340,0	59,56			
	16,95	5,09		1.360,0	60,44			
C250.Z.250	10,32	3,10	3,03	790,0	35,11	35,81	38,35	7,10%
	9,88	2,96		804,0	35,73			
	10,14	3,04		823,0	36,58			

Tablo 3.3. Basınç Mukavemeti Sonuçları (kgf/cm2)

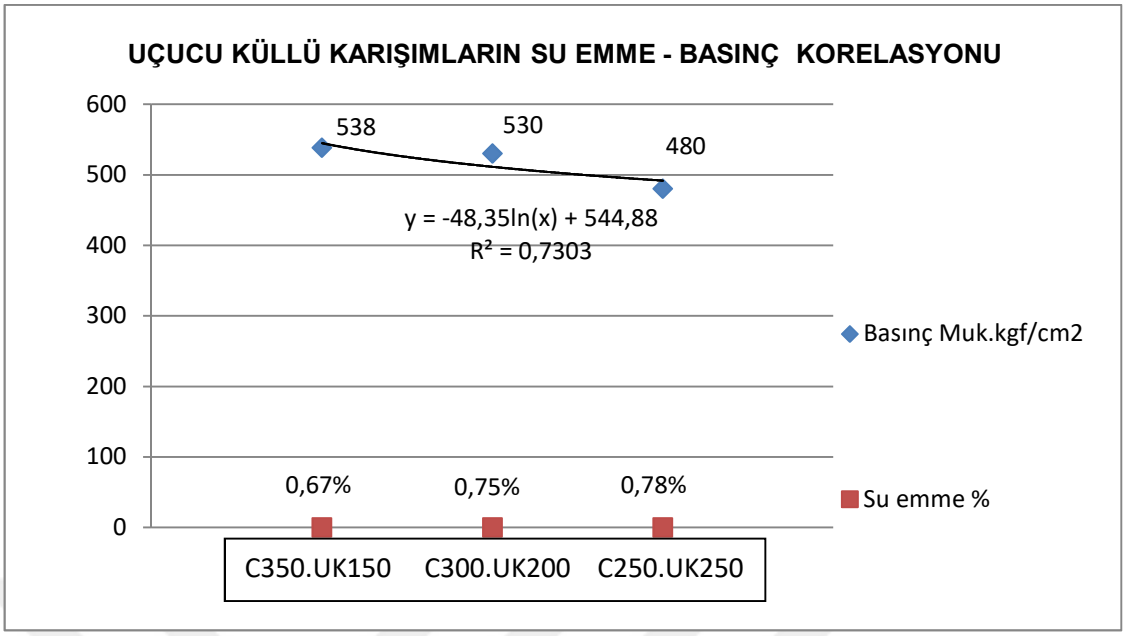
	3 gün	7 gün	28 gün	90 gün
C350.K150	293	425	538	580
C350.CF150	387	528	645	710
C350.Z150	225	342	430	450
C300.K200	260	397	530	577
C300.CF200	360	498	632	720
C300.Z200	198	275	390	417
C250.K250	222	335	480	528
C250.CF250	292	427	610	701
C250.Z250	165	230	365	391



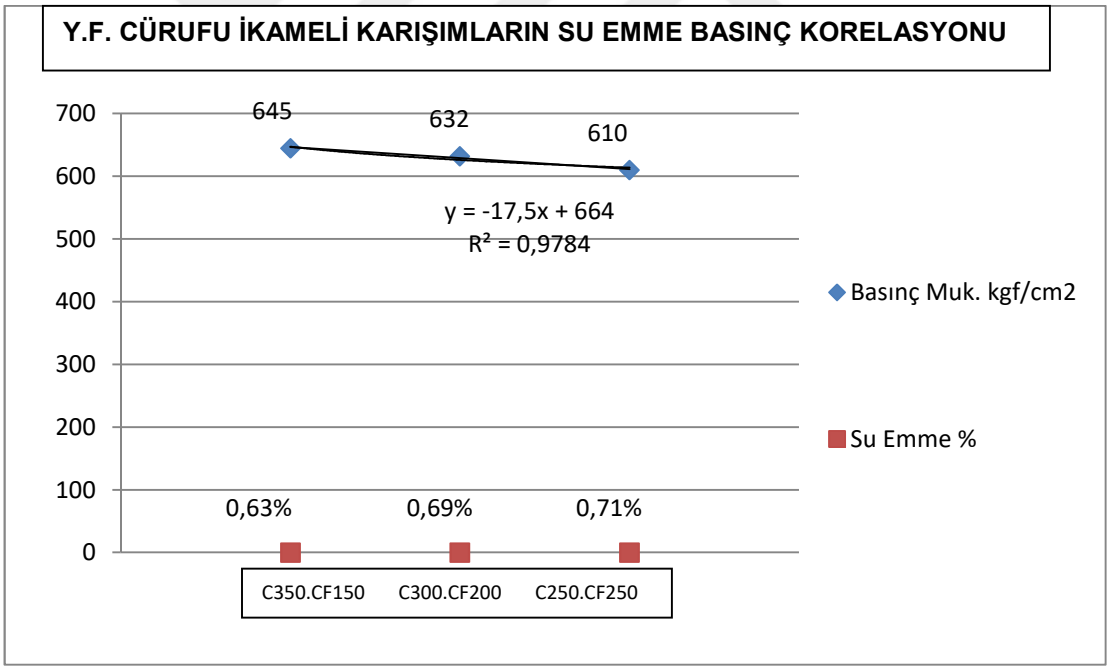
Şekil 3.4. Basınç mukavemet testleri karşılaştırılması



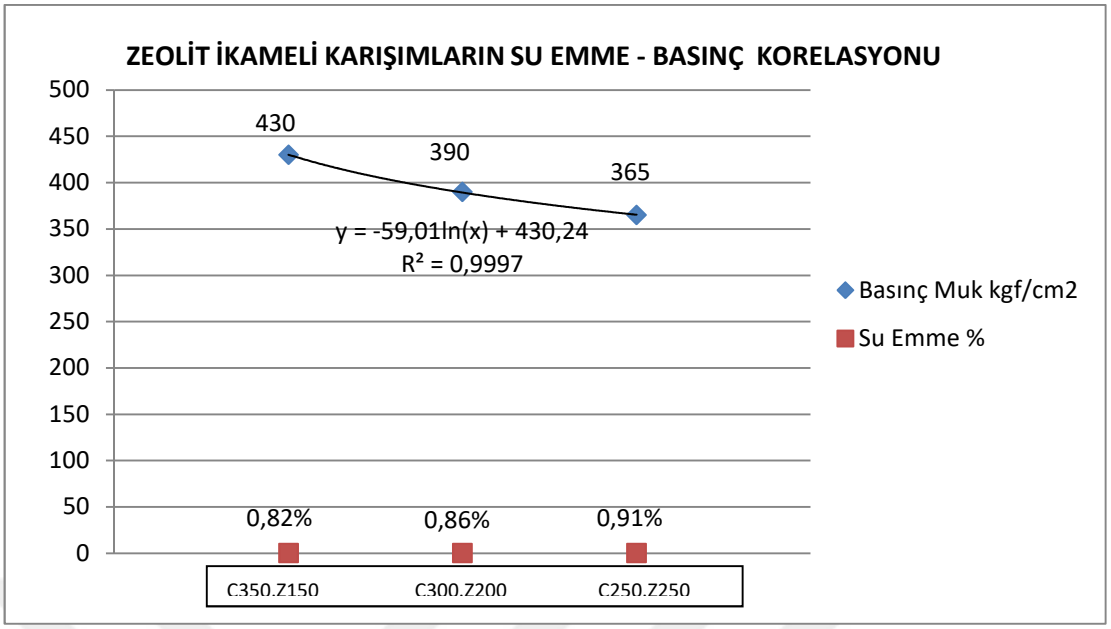
Şekil 3.5. Eğilme mukavemetleri karşılaştırılması



Şekil 3.6. Uçucu küllü karışımların su emme basınç muk. korelasyonu



Şekil 3.7. Y.F.Cüruflu karışımların su emme basınç muk korelasyonu



Şekil 3.8. Zeolitli karışımların su emme basınç korelasyonu

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KYB tasarımında bağlayıcı miktarı 500 kg / m^3 olarak seçildiğinde tüm testlerden başarılı şekilde geçen KYB lar üretmek mümkün olmaktadır.

Nano teknoloji ile üretilen Kendiliğinden Yerleşen Beton teknolojisinde kullanılan yeni nesil polikarboksilat eter bazlı hiper – katkılarla 1-2 saate kadar kıvam koruma sağlanabilmektedir.

Su emme testlerinde zeolit içeren karışımların diğer puzolanlara göre daha yüksek su emme değerine sahip olduğu , ikame oranı arttıkça da bu oranın paralel bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Su emme basınç mukavemeti korelasyonlarına bakıldığında tüm puzolanlarda su emme oranının ikame oranı arttıkça arttığı ve buna ters orantı olarak basınç mukavemetlerinin 28 günde düştüğü gözlemlenmiştir.

Çimento dozu sabit seçilerek mineral katkının değiştirilmesi yöntemiyle yapılan deneylerde hem taze beton testlerinde hem de sertleşmiş beton testlerinde Yüksek Fırın Cürufu kullanılarak üretilen betonlar en yüksek performansı göstermişlerdir.

Tüm karışımlarda 28gün – 90 gün mukavemet gelişimi %5 - %15 aralığında gerçekleşmiştir. En yüksek artış %14,91 ile %50 ikameli yüksek fırın cüruflu karışımında görülmüştür. Zeolitin de 28 -90 gün mukavemet artışında %7 değerlere ulaştığı ve puzolanik etkisi olduğu gözlemlenmiştir. %50 ikame oranlı cüruflu betonunun 90 günlük basınç mukavemet değeri %30 ikame oranlı cüruflu betonunun 90 günlük basınç mukavemet değerine eşdeğerdir. Bu da özellikle kütle dökümlerde hidratasyon ısısının düşürülmesi için yüksek fırın cürufunun yüksek oranda kullanımında avantaj sağlamaktadır.

Zeolit , toplam bağlayıcının % 30 , 40 , 50 si gibi yüksek oranlarda kullanıldığında betonun su ihtiyacını çok yüksek oranda arttırmış ve katkının yayılma efektini engellemiştir. Zeolitle üretilen betonlar taze beton testlerinin hiç birisinde başarılı olamamış dolayısıyla KYB sıfatını da alamamıştır. Çok yükselen su/çimento oranının beklenen bir sonucu olarak da mukavemet testlerinde de diğerlerine oranla çok düşük performans sergilemişlerdir.

Deneylerde kullanılan zeolit Balıkesir bölgesine ait kızdırma kaybı yüksek bir zeolit olup 30 a yakın türü bulunan zeolitin diğer türleri üzerinde fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili araştırma yapılabilir.

Zeolitin daha düşük kullanım dozajlarında düzenli boşluklu yapılarına paralel olarak normal betonlarda su geçirimsizlik , dona dayanıklılık , yangına dayanıklılık gibi fiziksel özelliklere etkisi ve iyon değiştirme yeteneklerine bağlı olarak sülfatlı ve asidik ya da bazik ortamlardaki dayanıklılığı gibi kimyasal özelliklere etkisi ile ilgili araştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Duyar O., Aykan G., Tezel O., Akışkanlaştırıcı Katkı Teknolojisinin Yeni Sınırları ve Uygulama Örnekleri , *Hazır Beton Kongresi* , İstanbul ,16-18 Nisan 2015.

[2] Ozawa, K., Maekawa, Kunishima, H., Okamura,H., Performance of Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures, *Proceedings of the Second East-Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction,* Thailand , Jan 11-13 1989.

[3] Specification and Guidelines of SCC , *EFNARC* , The European Guidelines for Self- Compacting Concrete ,UK, 2002.

[4] Felekoğlu B., Baradan B., Kendiliğinden Yerlesen Betonların Mekanik Özellikleri, *Beton 2004 Kongre Bildiri*, İstanbul, 10-12 Haziran 2004.

[5] Gürdal H., Yüceer Z., Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerlesen Beton Uygulamaları, *Beton 2004 Kongre Bildiri*, İstanbul, 10-12 Haziran 2004.

[6] Sağlam A. R., Parlak N., Doğan Ü. A., Özkul M.H., Kendiliğinden Yerlesen Beton ve Katkı Çimento Uyumu, *Beton 2004 Kongre Bildiri*, İstanbul, 10-12 Haziran 2004.

[7] Karaüç E. , Uçucu Kül ve Zeolitin Kendiliğinden Yerleşen Betona Etkileri Yüksek Lisans Tezi , Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

[8] Gesoğlu M., Güneyisi E., Özbay E.,Mineral Katkılar Kullanılarak Elde Edilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri ,*7. Ulusal Beton Kongresi* , İstanbul ,28-30 Kasım 2007.

[9] Duyar O., Aykan G., Tezel O., *Akışkanlaştırıcı katkı teknolojisinin Yeni Sınırları ve Uygulama Örnekleri* , Degussa Yapı Kimyasalları A.Ş, Aylık Dergi Mayıs 2005.

[10] Özbebek H., Açık H., İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi, *Beton 2011 Kongresi* , İstanbul , 20-22 Ekim 2011.

[11] TS EN 933-9:2010 , Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 9 – Agregaların İnce Tanelerinin Tayini Metilen Mavisi Deneyi , *Türk Standartları Enstitüsü* , Ankara , 2010.

[12] TS EN 933-8:2012, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 8 – Kum Eşdeğeri Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü* , Ankara , 2012.

[13] Özbebek H., Açık H., İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi *Beton 2011 Kongresi* , İstanbul , 20-22 Ekim 2011.

[14] TS EN 12350-2 , Beton- Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slamp) Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü* , Ankara , 2010.

[15] Keskin T, Türkyılmaz O., Kayadelen M., Batur E., Enerji Ekipmanları Yerli Üretimi Durum Değerlendirmesi ve Öneriler –*TMMOB Makine Mühendisleri Odası* , Yayın MMO 621 ,49-52, Ekim 2014.

[16] http://www.betonvecimento.com / beton-2 / betonda-ucucu-kul -kullanimi, (Ziyaret 15 Nisan 2018).

[17] Davraz M., Gündüz L., Amorf Silika ve Endüstriye Katkısı , *Endüstriyel Hammaddeler ve Yapı Malzemeleri Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Fuarı, IMCET2005,* İzmir, 09-12 Haziran 2005.

[18] Sarıkaya H., Zeolit Katkılı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta ,2006,0090.

[19] Bekkum Van H., Flanigen E.M., Jacobs P.A., Jansen J.C, *Introduction to Zeolite Science and Practice ,* 2nd Completiley Revised and Expanded Edition, Elsevier Science BV , Amsterdam , Netherlands , 2001.

[20] Weigel O., Steinhoff E. and Kristallogr Z., *Introduction to Zeolite Science and Practice* , Netherlands, 2001.

[21] Bain M., *The Sorption of Gases and Vapors by Solid*, Rutledge and Sons, London, 1932.

[22] http://www.gordeszeolite.com /zeolite--clinoptilolite-(Ziyaret 10 Nisan 2018)

[23] Yontar U., Zeolitlerin Sentezi ve Uygulama Alanları , Proje Çalışması ,Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul ,2011.

[24] Arslan Hakkı İ., Yiğit E., Özel P. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu , Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri Cilt II , Çalışma Grubu, 55-60, ISBN 975-19-2854-0 Ankara 2001.

[25] Engin, Y. Yüksek Fırın Cürufu ve Yüksek Fırın Cüruflu Çimento Üretimi Özellikleri Etkileri , betonvecimento.com ,2015 (Ziyaret 12 Nis. 2018).

[26] https://www.master-builders-solutions.basf.com.tr/tr-tr (Ziyaret 15 Nis. 2018)

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Öner A., **Yılmaz İ**., Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Zeolit Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların İşlenebilirlik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi , *3.Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi* , Güven Plus Grup A.Ş, Kocaeli ,04-05 Mayıs 2018.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında İzmit'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini İzmit'te, lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. 1993 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2000-2002 yılları arasında Soylular Beton firmasında Kalite Müdürlüğü , 2002-2010 yılları arasında Özyapı Beton firmasında Tesis Müdürlüğü görevlerini yaptı. 2010 yılından beri Kavanlar Beton firmasında Tesisler Müdürü olarak görevini devam ettirmektedir.