T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UÇUCU KÜL VE YÜKSEK FIRIN CURUFUNU KULANARAK ÜRETİLEN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN TAGUCHİ METODUYLA ANALİZİNİN YAPILMASI

Mehmet GÜMÜŞKAŞIK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UÇUCU KÜL VE YÜKSEK FIRIN CURUFUNU KULANARAK ÜRETİLEN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN TAGUCHİ METODUYLA ANALİZİNİN YAPILMASI

Mehmet GÜMÜŞKAŞIK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
1.GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 6
2.1. Kullanılan Katkılar 6
2.1.1. Yüksek fırın cürufu (YFC) 6
2.1.2. Uçucu kül (UK) 7
2.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) 7
2.3. KYB'nin Tasarımı, Üretimi ve Kullanımı 8
2.3.1.Tasarım aşaması 8
2.3.2.Üretim aşaması 9
2.2.3.Kullanım aşaması 12
2.4. KYB'nin Avantajları ve Dezavantajları 13
2.5. Konuyla alakalı yapılan çalışmalar 14
3. MATERYAL ve YÖNTEM 21
3.1. Materyal 21
3.1.1. Çimento 21
3.1.2. Yüksek fırın cürufu 22
3.1.3.Uçucu kül 24
3.1.4.Agregalar 25
3.1.5.Su 26
3.1.6.Kimyasal katkılar 26
3.1.7. Taguchi metodu 28
3.1.7.1. Ortogonal dizinin seçilmesi 30
3.1.8. Beton üretimi ve karışım oranları 31
3.2.Yöntem 34
3.2.1. Yapılan deneyler 34
3.2.1.1. Özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS EN 1097-6) 35
3.2.1.1.1. Kaba agregaların özgül ağırlığı ve su emmesi 35
3.2.1.1.2. İnce agregaların özgül ağırlığı ve su emmesi 37
3.2.1.1.3. Elek analizi deneyi 39
3.2.1.2.Yayılma testi ve T500 süresi deneyi 41
3.2.1.3. V Hunisi testi deneyi 42
3.2.1.4. Basınç dayanım deneyi 42
3.2.1.5. Eğilme dayanım deneyi 44
3.1.1.6. Ultrases geçiş hızı deneyi 45
3.2.1.7. Beton test (Schmidt) çekici ile yüzey sertlik deneyi 46
3.2.1.8. SEM (Mikro Yapı) analizi 47
4.ARAŞTIMA BULGULARI ve TARTIŞMA 48
4.1.Çalışmada Yapılan Deneylerin Sonuçları 48
4.2. KYB Yayılma Çapı Deney sonuçları 49
4.3. T500 Süresi Deney Sonuçları 50
4.4. KYB V – Hunisi Süresi Deney Sonuçları 51
4.5. Basınç Dayanım Deneyi sonuçları 52
4.6.Eğilme Dayanım deneyi Sonuçları 57
4.7. Ultra ses Geçiş Süresi Deneyi Sonuçları 61
4.8. Beton test (Schmidt) çekici ile yüzey sertlik deneyi Sonuçları 66
4.9. SEM Mikro Yapı Analiz Sonuçları 72

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 77
5.1.Sonuçlar 77
5.2 Öneriler 77
KAYNAKLAR 79
ÖZGEÇMİŞ 84

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UÇUCU KÜL VE YÜKSEK FIRIN CURUFUNU KULANARAK ÜRETİLEN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN TAGUCHİ METODUYLA ANALİZİNİN YAPILMASI

Mehmet GÜMÜŞKAŞIK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali SARIIŞIK
Yıl:2023, Sayfa:84

Beton ve harç uzun yıllardan beri dünyada en fazla kullanılan yapı malzemesidir. Kendiliğinden Yerleşen Beton(KYB); İşlene bilirliği iyi ama fazla çimento ihtiyacından dolayı maliyetli bir betondur. Betonun maliyetini azaltmak için çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, atıklardan Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cüruf beton karışımlarında farklı oranlarda çimento ile yer değiştirecek şekilde kullanılıyor. Bu atıkları kullanarak betonun, mekanik ve fiziksel özelliklerinin Taguchi metodu ile optimizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla, su/çimento oranı (0.45) sabit alınmış olup farklı çimento dozajı ile Uçucu Külü miktarı %0, %10, %15, %20, Yüksek Fırın Cüruf ise %0, %10, %15 ve %20 değerlerine sahip olan, KYB numuneleri üretilmiştir. Üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini belirleyebilmek amacıyla; betonun işlenebilirdik, eğilmede dayanımı, basınç dayanımı, ultrases geçiş süresi ve beton test(schmidt) çekiç ile yüzey sertlik deneyi yapılmıştır. Elde dilen deneysel veriler kullanılarak Taguchi metodu yardımıyla optimum parametre seviyeleri belirlenmiştir: Yapılan çalışma neticesinde, betonlarda kullanılacak optimum değerler belirlenmiştir. Bu çalışmada Taguchi metodunun kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), Yüksek Fırın Cürufu, Uçucu Kül, Mekanik Özellikler, Taguchi Metodu

ABSTRACT

Master Thesis

ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE PRODUCED USING FLY ASH and BLAST FURNACE SLAG WITH TAGUCHI METHOD

Mehmet GÜMÜŞKAŞIK

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali SARIIŞIK
Year: 2023, Page: 84

Concrete and mortar have been the most used building material in the world for many years. Self-compacting concrete (SCC); is concrete with good workability but due to excessive cement consumption. Various additives are used to reduce concrete. This residue replaces the Flaying Ash and Blast Furnace Slag powder in concrete mixtures with the dough in different proportions. The optimization of the mechanical and physical components of this concrete was done by the Taguchi method. For this purpose, the water/cement ratio (0.45) was taken as constant, and the Flaying Ash powder amount with different cement dosages was 0%, 10%, 15%, and 20%, and the Blast Furnace Slag had 0%, 10%, 15% and 20% values. SCC materials were produced. To establish the mechanical and technical properties of the made concrete. The workability of the concrete, bending orientation, pressure orientation, ultrasound transit time and concrete test (Schmidt) surface test with a hammer were carried out. Optimum parameter levels were determined for the given evaluations obtained using the Taguchi method: The optimum values used in the concretes were targeted for the structured study. Thus, the Taguchi method has been modified to be appropriate

KEY WORDS: Self compacting concrete (SCC), Blast Furnace Slag, Fly Ash, Mechanical Properties, Taguchi Method

TEŞEKKÜR

Tezin konusunu belirleme ve çalışmayı sürdürdüğüm dönemde, bana daima güler yüzlülüğüyle destek olan, deneyimi ve tecrübesi ile çalışma disiplini sağlayan, gösterdiği büyük sabrı, öneri, eleştiri ve düzenlemeleriyle çalışmanın gerçekleşmesine büyük katkıda bulunan tez danışmanım saygıdeğer hocam, **Sayın Prof. Dr. Ali SARIIŞIK**'a sonsuz teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince her türlü konuda desteklerini esirgemeyen Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesinde, Öğretim elemanlarının her birine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım boyunca laboratuvar olanaklarını kullanmamı sağlayan Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği ve Makina Mühendisliği bölümlerine, çalışmam boyunca her aşamada desteklerini, yardımlarını esirgemeyen, daima yanımda olan laboratuvar çalışmalarında bilgi ve tecrübesiyle destek olan, Doktora Öğrencisi İnşaat Yüksek Mühendisi Songül CAN' a teşekkür ederim.

Tez çalışmam ve akademik yaşantım boyunca gösterdiği büyük sabır, ilgi, hoşgörüsü ve manevi desteğinden dolayı sevgili eşim ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm yaşantım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok kıymetli aileme ve Babam Mahmut GÜMÜŞKAŞIK' a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. KYB' nin yerleştirmesi esnasındaki görüntüler (Enbaya, 2019)..... 8
Şekil 2.2. KYB ile Normal betonun hacimsel olarak karşılaştırılması(Ünlü, 2020) 11
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan çimento (Can ve ark. 2022) 22
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan Yüksek Fırın Cüruf..... 23
Şekil 3.3. Çalışmada kullanın Uçucu kül 25
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılacak agregalar..... 26
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan kimyasal katkı..... 27
Şekil 3.6. Kalıplarda bekletilen numunelere ait görüntüler..... 33
Şekil 3.7. Proje kapsamında yapılacak çalışmalar algoritması..... 34
Şekil 3.8. Çalışmada kullanılacak agregalar su ile temas etmesi 35
Şekil 3.9.Agregaların Arşimet düzeneği 36
Şekil 3.10. İri agrega doygun kuru birim ağırlığın kontrolü 36
Şekil 3.11. İnce agrega doygun kuru birim ağırlığın kontrolü 37
Şekil 3.12. İnce agregalarda kullanılan Piknometre düzeneği..... 38
Şekil 3.13. Elek takımı ve sarsma cihazı..... 39
Şekil 3.14. Karışım Agregasının Gradyasyon Eğrisi..... 40
Şekil 3.15. Yayılma çapı testinin uygulanışı(Enbaya 2019)..... 41
Şekil 3.16. Bölüm laboratuvarında yapılan yayılma çapı testinin uygulanışı 42
Şekil 3.17. Bölüm laboratuvarında yapılan V hunisi testinin uygulaması..... 42
Şekil 3.18. Bölüm laboratuvarında yapılan basınç deneyinden görüntü 43
Şekil 3.19. Eğilmede Çekme dayanım testi (Ramroom 2020) 44
Şekil 3.20. Bölüm laboratuvarında yapılan Eğilme Çekme Dayanım deneyinden görüntü 45
Şekil 3.21. Bölüm laboratuvarında yapılan Ultrases Geçiş Hızı deneyinden görüntü..... 46
Şekil 3.22. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı..... 47
Şekil 4.1. KYB Karışım guruplarının yayılma çapı süresi ERMCO Tarafından sınıflandırılması…49
Şekil 4.2. KYB Karışım guruplarının T500 ERMCO Tarafından sınıflandırılması.....……..50
Şekil 4.3. KYB Karışım guruplarının V - Hunisi süresi ERMCO Tarafından sınıflandırılması 52
Şekil 4.4. Parametre seviyelerine göre basınç dayanımda S/N Oranları 54
Şekil 4.5. Parametre seviyelerine göre basınç dayanım oranlar Değerleri 55
Şekil 4.6. YFC ve UK 'ün etkisinde basınç dayanımdaki değişim 56
Şekil 4.7. UK ve YFC etkisinde basınç dayanımdaki değişim..... 56
Şekil 4.8. Parametre seviyelerine göre eğilme dayanım S/N Oranları 59
Şekil 4.9. Parametre seviyelerine göre eğilme dayanım değerleri..... 59
Şekil 4.10. YFC ve UK 'ün etkisinde eğilme dayanımdaki değişim..... 60
Şekil 4.11. UK ve YFC etkisinde basınç dayanımdaki değişimi..... 60
Şekil 4.12. Parametre seviyelerine göre S/N Oranları..... 63
Şekil 4.13. Parametre seviyelerine göre ultrases geçiş süresi değerleri..... 64
Şekil 4.14. YFC ve UK 'ün etkisinde ultrases geçiş süresi değişimi..... 65
Şekil 4.15. UK ve YFC etkisindeki ultrases geçiş süresi değişimi..... 65
Şekil 4.16. Parametre seviyelerine göre S/N Oranları..... 68
Şekil 4.17. Parametre seviyelerine göre geri tepme Sayısı (Schmidt) değerleri..... 69
Şekil 4.18. YFC ve UK 'ün etkisinde test çekici ile yüzey sertlik değişimi..... 71
Şekil 4.19. UK ve YFC etkisindeki test çekici ile yüzey sertlik değişimi..... 71
Şekil 4.20. KYB Karışım guruplarının basınç dayanım ve Shmidt arasında Korelasyon ……..….72
Şekil 4.21. Kontrol numunesindeki SEM görüntüsü (E: Çimentonun Hidratasyon ürünleri F: Agrega)..... 72
Şekil 4.22. Uçucu Kül 'ün etrafındaki hidratasyon numunedeki SEM görüntüsü (B: Uçucu Kül).. 73
Şekil 4.23. Yüksek fırın cüruf ve çimento Katkılı numunenin SEM görüntüsü (A: C-H, C: C-S-H)..... 73
Şekil 4.24. B: C-S-H Jeli, A: CH (M. Arslan, M.S. Kırgız 2006)..... 75
Şekil 4.25. Yüksek fırın cüruf ve çimento Katkılı numunenin SEM görüntüsü (A: C-H, C: C-S-H

Jelleri) 74
Şekil 4.26. Gözenek içinde oluşan X: C-S-H Jelleri (Pavlik V. Ve Uzakova M. (2016))..... 75
Şekil 4.27. Yüksek fırın cüruf Katkılı numunelerin SEM görüntüsü (A: Yüksek Fırın cüruf,) 75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. KYB'nin taze beton özellikleri ve uygulanacak deney metotları (EFNARC, 2005).....9
Çizelge 2.2. KYB'nin ERMCO (2005) tarafından sınıflandırılması…… ..10
Çizelge 2.3. KYB karışımının referans Aralığı (TS EN 802).....10
Çizelge 2.4. KYB'de kullanılan malzemelerin karışım miktarı (kg/m^3) (Şaharan, M., vd., 2004) 17
Çizelge 2.5. Taze Beton Deney Özellikleri (Şaharan, M., vd., 2004) 17
Çizelge 2.6. KYB‟lerin Basınç dayanımı (Şaharan, M., vd., 2004).....17
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan çimentonun özellikleri (Can ve ark. 2022) 22
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan Yüksek Fırın Cürufu kimyasal özellikleri 23
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan Yüksek Fırın Cüruf fiziksel özellikleri 23
Çizelge 3.4. Uçucu külün Özellikleri Can s, Bap (20038) 24
Çizelge 3.5. Şebeke Suyunun Kimyasal Özellikleri (Sönmez 2008). 26
Çizelge 3.6. Süper akışkanlaştırıcı/ /yüksek oranda su azaltıcı/ Priz geciktirici Kimyasal katkının Özellikleri.....27
Çizelge 3.7. Taguchi L16 Matrisi karışım Dizayn 31
Çizelge 3.8. KYB karışım oranları L16 Ortoganal dizisindeki serilerin 1m^3 için karışım miktarı.....32
Çizelge 3.9. Kullanılan Agreganın fiziksel özellikleri 40
Çizelge 3.10. Karışımda kullanılacak agregaların elek analizi değerleri 40
Çizelge 3.11. Ultra ses hızıyla Betonun kalitesi arasındaki ilişki (Erdoğan 2016).....46
Çizelge 4.1. KYB karışım guruplarının Taze deney sonuçları…… 48
Çizelge 4.2. Basınç Dayanım S/N Etki Değerleri 53
Çizelge 4.3. Basınç dayanım S/N Etki değerleri 53
Çizelge 4.4. Basınç dayanım Performans Tahmin değerleri 53
Çizelge 4.5. Eğilme Dayanım S/N Oranları 57
Çizelge 4.6. Eğilme Dayanım S/N Etki değerleri.....58
Çizelge 4.7. Eğilme Dayanım Performans Tahmin değerleri.....58
Çizelge 4.8. UPV S/N Oranları 62
Çizelge 4.9. S UPV S/N Etki değerleri 62
Çizelge 4.10. Performans Tahmin değerleri.....62
Çizelge 4.11. Schmidt Çekiç S/N Oranları.....67
Çizelge 4.12. S/N Etki değerleri.....67
Çizelge 4.13. Performans Tahmin değerleri.....68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyal Toplumu
cm	Santimetre
Ç	Çimento
dk	Dakika
g	Gram
Kg	Kilogram
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Betonlar
KK	Kızdırma kaybı
MPa	Mega paskal
mm	Milimetre
m	Metre
PE	Polikarboksilat Eterler
PÇ	Portland Çimentosu
SLC	Self Levelling Beton
SD	Silis Dumanı
SN	Saniye
S/N	Sinyal / Gürültü Oranı
S/Ç	Su/Çimento Oranı
T500	Çökme- yayılma deneyinde taze betonun 500 mm çaplı daireye Yayılma süresi
TS	Türk Standartları
UYPB	Ultra Yüksek Performanslı Beton
UV	Ultraviyole Işın
UK	Uçucu Kül
YFC	Yüksek Fırın Cürufu
µm	Mikrometre

1.GİRİŞ

Gelişen sanayileşme, endüstri ve teknoloji ile bu ihtiyaçlara cevap verebilecek yapı malzemeleri geliştirilmiştir. Bu malzemelerden en önemli ve en yaygın olan iki malzeme olarak çimento ve beton öne çıkmaktadır. Çimento, 1824 yılında Joseph Aspdin'in, kalker ve kil karışımını pişirip öğütmesiyle bulunmuştur (Erdoğan ve Erdoğan, 2010). TS EN 197-1 (2012) Türk standardına göre çimento, su ile reaksiyona girdiğinde, başta hidratasyon olmak üzere çeşitli işlemlerle katılaşan ve sertleşen bir macun oluşturan, su altında kürlendikten sonra bile mukavemetini ve ikna ediciliğini koruyan ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcı olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde, yapılarda bağlayıcı olarak dünyada en fazla kullanılan bağlayıcı malzeme çimentodur. 2019 yılında dünya genelinde 4,1 milyar ton çimento üretilmiştir (Özbey, 2022).

Beton su, çimento, mineral dolgular, agrega (çakıl, kum ve mıcır) ile kimyasal katkıların istenilen özelliklere göre belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen kompozit malzemedir. Teknoloji ilerledikçe, beton dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte kimyasal ve mineral katkıları kullanımının sadece dayanıklılığı değil, aynı zamanda uygulamalarını ve çeşitlerini de arttırmıştır (Şenol, 2019). Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), günümüz de beton ihtiyaçlarını karşılayan, titreşim ve oturma gibi dış etkenlere maruz kalmayan, boşluk oluşturmadan, kalıbın şekline yerleşen yenilikçi beton olarak tanımlanmaktadır (EFNARC, 2005).

KYB, günümüz de beton ihtiyaçlarını karşılayan, titreşim ve oturma gibi dış etkenlere maruz kalmayan, boşluk oluşturmadan, kalıbın şekline yerleşen yenilikçi bir beton olarak tanımlanmaktadır (EFNARC 2005). KYB; sıkıştırmak veya yerleştirmek için vibratör ihtiyaç duymadan yenilikçi bir betondur. Çok dar yerlerde dahi boşluk bırakmadan kendi ağırlığı altında kolayca akabilen ve konulduğu kalıba tamamen doldurabilen tam sıkıştırma sağlayan beton türüdür (Agarval ve Gulati, 2006). KYB, daha az iri agrega kullanarak, çimento yerine ince öğütülmüş atık malzemeler ilave, edilerek oluşturulan karışım, normal beton karışımlarına göre farklı bir boyut elde

eder. KYB üretiminde ayrıca yüksek mukavemet, dayanıklılık, akışkanlık ve ayrışmaz' lığı sağlamak için uçucu kül, silis dumanı, mermer tozu, cüruf ve süper akışkanlaştırıcılar gibi katkıların kullanılması önerilmektedir (Reda, 2018).

KYB; 1986 yılında Japonya'nın Tokyo Üniversitesi'nde Profesör Hajime Okaruma tarafından geliştirildi (Okumara, 1999). İlk tanıtılması 1989 yılında Doğu Asya Pasifik İnşaat Konferansı'nda (EASEC) Ozawa tarafından sunuldu, 1980'lerin başında İtalya'da KYB'nin ilk uygulaması, su altı temelleri için reoplastik özelliklere sahip bir özel beton üretilerek uygulamaya konulmuştur. İkinci uygulama yöntemi ise; İtalya'da bir gemi yapısının inşası için yapılan, sıkıştırmaya ihtiyaç duymadan su altında kolayca oluşan ve kohezyonu sayesinde deniz ortamının yıkama etkisine direnen, ultra yüksek viskoz (kohezyonlu) beton uygulanmıştır (Collepardi, 2001).

Avrupa'da özellikle İngiltere Almanya, İtalya, Norveç ve Hollanda'da bu betonların üretimi, tasarımı ve pazarlanması konusunda iyi düzeyde çalışmalar yapılmıştır (Walraven, 2002). Almanya'da KYB 1998 yılından beri dikkat çeken bir özel beton haline gelmiştir. KYB kullanımının önündeki en büyük engel, KYB'nin standart dışı tasarımı DIN 227 ve DIN 1045 standartlarına uygunluğuydu. Alman Betonarme Komitesi (DafStb) ve İnşaat Enstitüsü Mühendislik (DIBt) mevcut standartları güncellemek için çalışmalar yaptırmıştır. KYB'ye eklemeler yapılmış ve KYB ile ilgili ek bölümler standartlara eklenmiştir (Dehn, 2002).

Son yıllara bakıldığında, Avrupa'daki kuruluşlar (CEMBUREAU, BIBM, EFCA, ERMCO ve EFNARC) bu konu ile ilgili birden fazla çalışma yapmaktadır. KYB'deki normal beton yapısından farklı olarak kimyasal katkılar, viskozite(akışkan) arttırıcı katkılar, büyük miktarlarda puzolanik mineral katkılar tamamen ya da kısmen kullanılmalıdır. Bu malzemelerin seçimi ve uygun oranda beton tasarımında kullanılması için yeni test yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmektedir (Özgüler, 2007).

KYB tipi beton, verimliliği büyük ölçüde artırmakta, atık malzeme ve endüstriyel ürün bazlı kullanım açısından avantajlar sunmaktadır. Genel olarak KYB,

çimento, su, süper akışkanlaştırıcılardan kaba agrega, ince malzemeler ve kum ile yapılan özel bir betondur. İnce malzemeler, karışımdaki gerekli çimentonun yerini alarak aynı rolü üstlenir ve geleneksel betona göre ülke ekonomisine büyük avantajlar sunar. Vibrasyonun çok az olması veya hiç olmaması da inşaat yapım süresini kısaltır. İşçiliği düşük seviye indirerek, üretim maliyetlerini düşürmenin yanı sıra, düşük gürültü seviyeleri ve şantiyede daha iyi bir, iş güvenliği ortamının sağlamsı değerlendirilebilmektedir (Matos ve ark. 2018).

Ülkemizin etkin bir deprem kuşağında yer alması, beton tasarlama da yerleştirmeye, sıkıştırmadan iyileştirmeye kadar tüm aşamaların dikkatli bir şekilde yürütülmesini gerektirmektedir. Özellikle kalifiye işgücü miktarının sınırlı olması, üretim aşamasında betonun sağlam bir şekilde üretilmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, binlerce kişinin ölümüne neden olan 17 Ağustos 1999 depreminden sonra geliştirilen ve nihai hale gelen deprem yönetmenliği, özellikle kolon kiriş kesişimi olmak üzere donatı uygulanmasını gerektiren binaların taşıma kapasitesinde ciddi bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durumda yoğun donatılı yapı elemanlarında veya dar kesitli elemanlarda uygun koşullarda hareket eden betonun yerleştirilmesi oldukça güç olmaktadır. Ülkemizde nitelikli iş gücü eksikliğinden dolayı yerine tam olarak yerleştirilemeyen beton kullanılmaktadır. Beton Kalıpların, bakımsız olması kaliteli yapı elemanlarının üretilmesini zorlaştır ve üretilen yapı elemanlarının korozyon anmasını hızlandırır.

Prefabrik sektöründeki en önemli sorunlardan biri, betonun kalıba yerleştirildikten sonra vibratör ile sıkıştırılması sırasında ortaya çıkan ve çevreyi ciddi anlamda rahatsız eden titreşimin(vibrasyonun) neden olduğu gürültü kirliliğidir. Diğer bir problem ise özellikle tünel yapılarında çok dar kesitli kalıplarda betonun sıkışmasıdır. Bazı projelerde vibratör kullanmanın imkânsız olduğu durumlar vardır. Betonu, sıkıştırma gerekli bir koşul olduğundan, bu sorunları ortadan kaldırmak için başka yeniliklerin gerekli olduğu aşikârdır.

Kendiliğinden yerleşen beton, inşaat uygulamalarında sıklıkla ortaya çıkan bu sorunları ortadan kaldırabilmek için en uygun çözümlerden biridir. KYB, kendi

ağırlığı altında kalıba yerleşip sıkışan ve en kuvvetli demir donatı alanlarında ve en sık yerlerde bile havanın boşluğunu kaldırarak ve kendi kendisini sıkıştırarak kontrol edilen, çok akışkan kıvamda özel bir betondur. Ülkemizde KYB kullanımının yaygınlaşması, binaların güvenliğinin tam manada sağlanabileceği düşünülmektedir (Atlı, 2012).

Endüstriyel atıklarında beton karışmalarında kullanılması ve geri dönüşüm yoluyla atıkları doğa da azaltarak, çevre kirliliğinin korunması ile ilgili en uygun sonuçlar alınmıştır. Yakın zamana kadar KYB, kentsel altyapılarda, pompalama kapasitesi gerektiren yüksek gökdelenlerde, çok yönlü uygulamalarda ve karmaşık bina konfigürasyonların da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Enbaya, 2019).

KYB, yapılan araştırmalar neticesinde, üç farklı isim ile anılmaktadır. Özellikle geniş döşeme tipi yüzeylerde kullanıldığında self levelling beton (SLC) adı kullanılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonun her metrede, bir mm'den fazla kot farkı olmaksızın kendi ağırlığı altında aktığı ve yatay bir pozisyon aldığı varsayılan betona, KYB adını kullanır (Rols, 1999). Kullanıma ve yöreye göre farklılık gösteren bu isimler birbirinin yerine de kullanılabilmektedir. Türkiye'de daha çok kendinden yerleşen beton tabiri kullanılmaktadır (Özgüler, 2007).

KYB üretiminde uçucu kül yada yüksek fırın cürufu ile alakalı yapılmış olan deneysel çalışmalar çokça yapılmış olduğu halde, çimento yerine yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ikamesiyle alakalı optimizasyon çalışmaları sınırlıdır. KYB özellikleriyle optimizasyon eksikliğini gidermek amacıyla, bu çalışmasında çimento yerine farklı oranlarda yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ilave edilerek KYB 'nin mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmadaki amaç; kendiliğinden yerleşen beton üretiminde çimentonun yerine ikame edebilecek yüksek fırın cürufu ve uçucu küllerin optimal oranda kullanılmasıdır. Taze beton ve katılaşmış beton halinde KYB karışımlarına etki eden özelliklerinin test edilmesi ve analizi de yer almaktadır.

Beton karışımdaki malzemeler iyi seçilmeli, önceden test edilmeli ve iyi bir teknik bilgi ve standart ile üretilmelidir. Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi ince

malzemelerin farklı hızlı çimentolarla değiştirilmesiyle ilgili toplanan bilgiler ve kümülatif veriler, KYB teknolojisine büyük katkı sağlamaktadır. Bu nedenle hazırlanmakta olan küp ve kiriş numune testleri sırasında elde edilen mekanik ve fiziksel sonuçlar gözden geçirilmiştir. Çalışmada Portland çimentosu CEM I 52,5 R kullanılmış, karışımda çimento miktarını azaltılarak, yerine yüksek fırın cürufu ve uçucu kül eklenmiştir. Karışımlarda %1.25 - %1,75 oranlarında yüksek oranda su azaltıcı priz geciktirici, süper akışkanlaştırıcı katkı (2163-CPR-0471-10) kullanılmıştır. Bu çalışmada, hazırlanan beton karışımlarına %0,%10 ,%15 ve %20 oranlarında yüksek fırın cürufu, %0, %10 ,%15 ve %20 oranların da uçucu kül ikame edilerek beton karışım grupları oluşturmuştur. Bu karışımların taze beton özellikleri ve sertleşmiş beton özellikleri araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Katkılar

KYB özel gereksinimlerden ötürü, hidratasyondan dolayı çimento miktarını ayarlamak, düzenlemek ve viskoziteyi sağlamak için KYB'de kullanılan katkıların özellikleri, üretilecek taze betonun kalitesine, fiziksel ve mekanik özelliklerine çok etki edeceğini düşünerek, bu katkıları tanımaya çalışalım.

2.1.1. Yüksek fırın cürufu (YFC)

Sürekli olarak hammadde ile beslenen yüksek fırınlarda sıcaklık 1600 ^{O}C'ye ulaşır. Yüksek sıcaklık sonucunda ergitilen malzemeler fırının alt kısmında toplanır ve burada üst kısım cüruf ve dökme demir içerir. Fırının alt kısımda, Erimiş demir ve cüruf ayrı ayrı uzaklaştırılır. Yüksek fırın cürufunun 1500 ^{O}C civarında boşaltılmasından sonra uygulanan soğutma yöntemiyle, ortaya çıkan ürünün özelliklerini ve kullanım alanlarını belirlemektedir (Engin, 2015).

Kimyasal bileşimleri ve özellikleri, elde edildikleri endüstriyel tesislerde kullanılan ana ürün çeşidi ve üretim yöntemine göre büyük farklılıklar gösterir. Örneğin, nikel ve bakır cürufları sadece puzolanik özelliklere sahipken, yüksek fırın cüruflarının kendileri de bağlayıcı özelliklere sahiptir. Modern teknoloji ile donatılmış çelik üretim tesislerinde ise camsı yapıya ve bazı hidrolik özelliklere sahip cüruf elde edilmektedir. Langens'in 1862'de YFC'lerin bağlayıcı özelliklere sahip olduğunu keşfetmesinden bu yana çimento sistemlerinde kullanılabilirler, YFC kireç karışımlarından türetilen bağlayıcılar ticari olarak 1865'te üretildi. YFC ilk olarak 1865'te çimento hammaddesi olarak kullanılmıştır. Portland çimentosu klinkerinin YFC ile öğütülmesiyle Portland yüksek fırın cüruflu çimento üretimi 1892 yılında Almanya'da başlamıştır (Sönmez, 2008).

2.1.2. Uçucu kül (UK)

Ülkemizde kullanılan enerji kaynaklarından biri de termik santrallerimizdir. Termik santrallerde fosil yakıtların farklı aşamalarda yakılmasıyla elde edilen ısıl enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Ülkemizde termik santrallerde en çok kullanılan yakıt kömürdür. Ülkemizdeki 40 termik santralde her yıl yaklaşık 18.000 Mw elektrik üretilmekte olup bu da yaklaşık tüketilen elektriğe karşılık gelmektedir. Elektrik üretmek için yaklaşık 5 milyon ton kömür yakılıyor ve üretim, kömür türüne göre değişmekle birlikte yaklaşık 15 milyon ton kül atığıyla sonuçlanıyor. Yanma sırasında oluşan külü %75-%85'i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atık "uçucu kül" olarak tanımlanır (Keskin ve ark. 2014).

Uçucu kül, Kendiliğinden Yerleşen Betonların kohezyonunu artıran ve su içeriğine duyarlılığını azaltan bir malzemedir. Bununla birlikte, yüksek miktarda uçucu kül kullanmak daha düzgün bir hamur verebilir ve akmaya karşı daha dirençli olabilir (EFNARC 2005). Uçucu külün uygun standart ve oranlarda kullanılmasının betonun normal dayanımını arttırdığı, çimento miktarını azalttığı ve beton maliyetine ekonomik faydalar getirdiği aşikârdır. Aynı zamanda uçucu kül atıklarını değerlendirerek çevre sağlığını da destekler (Yamada ve kazuo, 2000).

2.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB)

İnşaat sektörlerinde KYB, beton yapı elemanları için en belirgin bir üretim yöntemi haline gelmiştir. Sürekli gelişen beton teknolojisindeki uzmanlık yapılacak araştırmalarla incelenen malzemelerin yeni özelliklerinin fark edilmesi mümkün olacaktır. Doğal olarak bu malzemelerin avantajlarıyla birlikte dezavantajlarının da olduğu bilinen bir gerçektir (Enbaya, 2019). KYB; yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi malzemelerin çimento yerine kullanılması ile birlikte, bazalttan üretilen iri ve ince agregalar, kimyasal katkı ve sudan oluşan beton karışımıdır. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu bu karışımda kullanılan çimento miktarının yerini ikame edilmektedir. Bununla birlikte ile KYB, Şekil 2,1. görüldüğü üzere, vibrasyon ihtiyacı olmadan, kendi ağırlığı

altında yerleşen, segregasyona uğramadan, işlenebilme ve kullanımı özel bir beton karışımı meydana getirmektedir.



Şekil 2.1. KYB' nin yerleşmesi esnasındaki görüntüler (Enbaya, 2019)

2.3. KYB'nin Tasarımı, Üretimi ve Kullanımı

KYB tasarım yöntemi, geleneksel betonlara göre farklılık gösterir. KYB'in kullanılmaya başlandığında özen göstermek gereklidir. Üretim sırasında detaylar ve uyum kuralları göz önünde bulundurulmalıdır. KYB üretiminde detaylara dikkat edilmediğinde, KYB'nin elde edilmesi zorlaşır. Böyle bir durumda KYB'de beklenen avantajdan daha çok dezavantaja sebebiyet verir.

2.3.1.Tasarım aşaması

Karışıma dair tasarım metotları, Yayılma(slamp) niteliğini 65–80 cm arasında tutabilmek, betonun işlenebilmesi için minimum 1 saat taze kalması, beton katkısını kusma ve terleme durumlarına set çekmek için KYB tasarım çalışması nihai hedeflerin arasında olmalıdır. Tasarım çalışmasında, bilinen betona kıyasen, agrega granül metrisinde, ince –kaba agrega oranları azaltılmaya çalışılmalıdır. Bağlayıcı niceliğinin artırılması da bir gerekliliktir. Bunun amacı, her agrega parçasının, bir beton ile karışımı elde edilmesi ve betonunda kendi ağırlığıyla esnek davranmasının sağlanmasıdır. KYB üretiminde, taze beton karışımın bileşenleri, dikkatle ve

kullanılacak malzemenin karakteristik özellikleri göz önüne alınarak ayarlanması gerekmektedir (Mutyılmaz, 2014).

2.3.2.Üretim aşaması

KYB'nin tasarım metodunda dikkat edilmesi gereken husus, her malzeme için farklı yapılarda beton elde edilmesidir. Bu nedenle üretilip kullanılarak yaygın hale getirilecek KYB'nin laboratuvar ortamında gereken sayıda deneme yöntemiyle test üretimi yapılması gerekmektedir. Koşullar için ideal tip seçilmelidir. KYB betonlarının, doldurma yeteneğinin, ayrışmaya karşı direnç noktasının ve geçiş becerisinin yüksek olması, kendiliğinden yerleşme özelliğine sahip olması gibi nitelikler, basınç dayanımlarının da daha yüksek olacağı anlamını taşır. KYB'ler içinde bulunan kimyasal ve mineral katkıların oranlarına göre, yüksek ve düşük seviyeli basınç dayanımına ulaşması mümkün olacaktır. KYB tasarım çalışmalarında çoğunlukla yüksek miktarda ince tanecikli malzemeler kullanılmış olup su/bağlayıcı oranı düşürüldüğünden, homojenlik ve akışkan olarak elde edildiğinden, basınç dayanım seviyesi yüksek olacaktır (Şenol, 2019).

EFNARC (2005) Kendiliğinden yerleşen betonun ölçütlerine istinaden; KYB'nin taze halde doldurma, geçme yeteneği ve kararlılık durumu dört temel niteliğiyle tanımlanabilmektedir. Her nitelik bir veya daha fazla deney metoduyla ile değerlendirile bilinir.

Çizelge 2.1. KYB'nin taze beton özellikleri ve uygulanacak deney metotları (EFNARC, 2005)

Taze beton Özelliği	**Yapılacak deney Metodu**
Akışkanlık	Slump-Çökme Yayılma Deneyi
Viskozite ve Akıcılık	T_{500} Slump yayılma yâda V-hunisi deneyi
Geçiş yeteneği (dar kesitlerden)	L kutusu deneyi
Ayrışma (segregasyon) direnci	Ayrışmaya karşı direnç (elek) deneyi

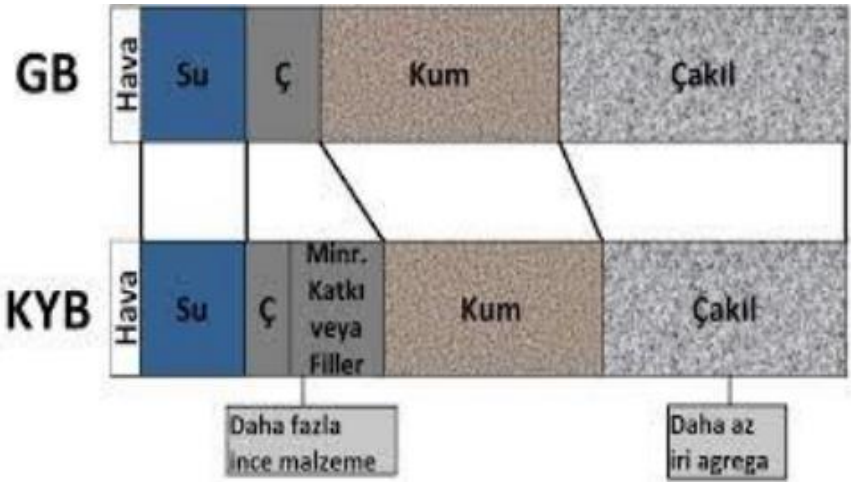
Çizelge 2.2. KYB'nin ERMCO (2005) tarafından sınıflandırılması

Deney Adı	Sınıflandırma	Değer aralığı
Çökmede Yayıma	SF1	55cm - 65cm
	SF2	66cm – 75cm
	SF3	76cm - 85cm
Çökmede yayılam,T500süresi	VS1	≤ 2 sn.
	VS2	> 2 sn.
V –Kutusu akış süresi	VF1	≤ 8 sn.
	VF2	9 – 25 sn.

Türkiye'de üretilen Kendiliğinden yerleşen betonlar için yapılan testlerde, büyük çoğunlukla EFNARC tarafından yayımlanmış standartlar baz alınmaktadır. EFNARC (2005) ve ERMCO (2005) tarafından, KYB'lerin oluşumunda belirlenen malzemeler için kütle olarak ve hacim olarak tipik referanslar Çizelge 2,1., ,2,2. ve 2,3.'de belirlenmiştir. Bu nicelikler sınırlayıcı olmayıp, yapılacak testlerle geliştirilmektedir.

Çizelge 2.3. KYB karışımının referans aralığı (TS EN 802)

KYB Bileşen içerikleri	Kütlece Sınırlayıcı referans aralığı (kg/m^3)	Hacimce Sınırlayıcı referans aralığı (lt/m^3)
Toz	380-600	-
Hamur	-	300-380
Su	150-210	150-210
İri Agrega	750-1000	270-360
İnce Agrega	Bu miktar diğer bileşenlerin hacmini dengeler, tipik olarak toplam agrega ağırlığının %48-55'idir	-
Hacimce su/toz oranı	-	0.85-1,0



Şekil 2.2. KYB ile Normal betonun hacimsel olarak karşılaştırılması (Ünlü, 2020)

KYB'lerin üretildiği zamandan itibaren, bugüne kadar yapılmış araştırma ve çalışmalar sonucunda, Şekil 2.2.'de belirtilen KYB karışım oranları bilinen normal betonlarla karşılaştırdığımızda;

1. Kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında iri taneli agrega niceliğinin daha az,
2. Toz hamur içeriğinin daha çok olduğu,
3. Su/toz oranlarının ise daha düşük olduğu,
4. Katkı miktarının daha yoğun olduğu,
5. Gerekmesi halinde akıcılığının(viskozite) ayarı ile katkı inceliğinin var olduğu görülmüştür.

Karışım içerisindeki iri/ince agrega oranı, müstakil iri taneli agrega taneciklerinin bütününün bir harç tabakasıyla kaplanması için azaltılmalıdır. Bu durum, beton uygulamaların dar kesitler veya donatı arasındaki boşluklardan geçtiğinde, Kendiliğinden yerleşen betonun geçiş özelliğini artıracaktır (EFNARC, 2005).

KYB santrallerinde standart bunkerler, beton mikseri ve bantlar kullanılarak elde edilir. Önemli bir husus olarak da kullanılan malzemelerin farklılıklar göstermemesi önlenmelidir. Misal olarak agreganın ıslaklık derecesi, tozluluk seviyesi, malzeme ve ortam sıcaklık değişiklikleri göz önünde bulundurulması gereken önemli hususlardır.

Farklılıklar olsa bile, durum tespitleri yapılarak beton reçetesine gerekli müdahale yapılmalıdır. KYB Üretiminde normal betonlara göre en önemli özellik katkıların özelliği, beton reçetelerin de farklı olmasıdır (Mutyılmaz, 2014).

2.2.3.Kullanım aşaması

Kendiliğinden yerleşen betonun, İnşaat projelerinde kullanımı çok iyi düzeyde gelişmiştir. Önemli özeliği ise; kesiti dar yapılarda, işçilik kusurlarının olduğu yerlerde, güçlendirme projelerinde, işlene bilirlik kolaylığı sağlamayan yapılarda kullanımı çok gelişmiştir. Yol betonlarında, KYB'nin kullanılmasının nedeni ise; KYB daha rahat işlenmesi, işçilikten kaynaklı hatalarını tolere edilmesi ve normal betonlara göre rötre çatlaklarının çok az olmasıdır.

Kendiliğinden Yerleşen Betonun (KYB) kullanım sebepleri;

- Dar kesitli kalıbda ve sık donatıların arasına boşluksuz doldurma kabiliyeti
- Segregasyona karşın dayanıklı ve mukavemetli olması
- Sıkıştırmaya gerek duymadan rahatça ve kolayca yerleşmesi
- İşçilik kaynaklı hatalarını tolere edilmesi
- Zamandan artırım sağlanabilmesi
- Rötre çatlaklarının daha az olması

KYB ile beton elemanı üretimi yapılırken, kalıplar kesinlikle bakımlı(yağlı) olmalıdır. Beton dökülürken betonun mikserden çıkışı ile kalıba yerleşeceği mesafe arasında en fazla 1,5 m olmalıdır. Eyer mesafe fazla ise huni yardımı ile ek yapılıp mesafe daraltılmalıdır. Mesafe uzun olur ise kaba agregalar da ayrışma görülecektir.

Beton döküldüğünde sıkıştırmaya gerek duyulmamaktadır. Kendiliğinden Yerleşen betonları, şantiyede ortamında taşıma esnasında değişikliğe uğramışsa ya da istenen kıvam ve performans elde edilmemiş ise beton geri gönderilir. Reçete veya katkılara müdahale edilir. Taşıma esnasında mesafesi uzun ise ve taze beton zamanını

dolduracak durumdaysa, müdahale şarttır. Su ve katkı ilaveleri yapılır. Bu müdahaleler belli sınır ve standartlara göre yapılmalıdır (Mutyılmaz, 2014).

2.4. KYB'nin Avantajları ve Dezavantajları

Yeni beton teknolojilerinin geliştirilmesinde KYB üretiminin bazı avantaj ve dezavantajları olduğu söylenilmektedir. Avantajlarını ve dezavantajlarını anlamak, teknolojinin uygun kullanımını geliştirecektir. Artıları ve eksileri, kendiliğinden yerleşen betonun doğru kullanımı için en iyi durumu, belirlemede yardımcı olur. Bu nedenle, her malzemede olduğu gibi, KYB'nin avantajları ve dezavantajları kullanılmadan önce iyi bir şekilde araştırılması yapılmalıdır (Enbaya, 2019).

Bu görüş itibarıyla KYB'nin avantajları aşağıdaki gibidir.

a) Küresel olarak KYB karışım malzemelerinin her yerde kolayca bulunması
b) KYB'de hızlı yerleşen ve istenen güçte beton üretilebilir.
c) KYB normal betonlara göre dayanıklı ve mukavemetlidir.
d) KYB, özellik belirtilmeyen biçimde dökülebilir.
e) KYB, şantiyelerde döküldüğünde oldukça ekonomik bir betondur.
f) KYB üretiminde maliyeti oldukça düşüktür.
g) KYB normal betonlar gibi yangına, soğuğa dayanıklı bir özel beton türüdür.
h) KYB yüksek derece sıcaklıklara, rüzgâra, fırtınaya ve suya dayanıklıdır.
i) KYB'nin ince duvarlı, sınırlı erişim yapı elemanlara uygulanması kolaydır.
j) KYB'nin yerleştirme kolaylığı işçilik ve ekipman maliyetinde tasarruf sağlar.
k) KYB, Endüstriyel yan ürün ve atık malzemelerin kullanılmasıyla çevreyi korur.
l) KYB vibratör gürültüsünün çıkardığı ses kirliliğinin ortadan kaldırılması.
m) KYB'lerin kalıplarını daha verimli şekilde kullanılması
n) KYB'de pürüzsüz ve boşluksuz yüzeylerin elde edilmesi
o) Mimari ve estetik açıdan daha kaliteli bir dış görünme elde edilmesi vasıtasıyla uygulamalarda sıva gerektirmemesi.

KYB'nin yukarıda belirtilen avantajlarının olmasıyla beraber aşağıda sayılan dezavantajlarda sahiptir. Bu dezavantajlar;

a) KYB klasik betonlara göre daha fazla yumuşaktır.
b) KYBi'de toz oranının yüksek olması, büzülme ve çatlaklara karşı duyarlılığı arttırır.
c) KYB'de hammadde ve katkı(akışkan) maliyeti yüksektir.
d) KYB akıcılığı nedeniyle klasik merdiven ve eğimli yüzeylere sahip yapı elemanlarının üretiminde mevcut kalıplarla kullanılamamaktadır.
e) KYB'nin performansı, malzemenin tip ve oran değişkenlerine göre daha hassastır. (özellikle agrega gradasyonu ve nemi)
f) KYB'ler kalıpta hidrostatik basınç etkisi yapar.
g) KYB'de kalite kontrol artırıldığında bazen dezavantaj sağlar.

2.5. Konuyla Alakalı Yapılan Çalışmalar

Kendiliğinden yerleşen beton ile alakalı olarak, son zamanlarda birçok araştırmalar yapılmıştır. Araştırmalar arttıkça konunun anlamı daha güzel ve iyi anlaşılmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışma ve araştırmalarının bir kısmı aşağıda görülmektedir.

Jacobs ve Hunkeler (1999), göre çimento, mineral ve kimyasal katkılar ve kum arasındaki baskı ve etkileri incelemek üzere harç üzerindeki bir kısım özellikleri incelenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak en ideal beton bileşenlerini belirlemiş ve laboratuvarda yüksek dayanıklı betonlar üretmiştir. KYB"nin dayanıklılıkta ve yüksek kalitede üretilebileceği, beton için; yeterli sayıda küçük çaplı saha denemeleri ve laboratuvar deneyleri yapılarak çalışma bazında fikir ve deneyimin kazanılmıştır.

Şenol (2019), kalker amaçlı kırma taş agregasının yerine belli oranlarda mermer kırığı ve bazalt agregası ikame edilerek dayanımı yüksek KYB numune serisi üretilmiş ve betonun mekanik, fiziksel ve dayanıklılık özellikleri, agrega şeklinin etkisine bakılmıştır. Ayrıca bu çalışmada yine dayanımları yüksek ve kendinden yerleşebilme ve akabilme özelliklerini sağlayabilmesi için, mineral katkı olarak, silis dumanını kullanılmıştır. Bu katkının dayanımı yüksek KYB özelliklerinin etkileri incelenmiştir. Bazalt ve mermer kırığı agregaların yerine kalker esaslı agregaların ikame edilerek;

hacimce %100, %75, %50 ve %25 oranında kullanılarak, 10x20 cm ebatlarında silindir ve 15x15x15 cm ebatlarında küp seri numuneler üretilmiş olup. Üretilen seri numunelere 28 ve 180 gün boyunca 20±2 ^{O}C sıcaklıkta standart kireçli su havuzunda, kür uygulanmasına bırakılmıştır. Kür sonunda seri numuneler üzerinde; KYB'nin sert beton deneyleri yapılmış olup mekanik, fiziksel ve dayanım özellikleri belirlenmiştir. Sonuç itibarı ile atık bir malzeme olan mermer kırığı agregası ve bazalt agregası ile dayanımı yüksek betonlar üretilmiştir.

Çelik (2013), çalışmasında ise, agregaların, farklı su emme kapasitesine sahip Kendinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş özelliklerinin etkisine bakılmıştır. Oluşturulan karışım numunelerinde; Çakıl olarak bazalt, doğal nehir kumu, nehir, çakılı ve kalker(kireçtaşı) kullanılmıştır. Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların EFNARC standardı sağladığı belirlenmiştir.

Üstelik nehir çakıllı kendiliğinden yerleşen betonların dışında nem durumu olan agregalarla hazırlanmış numunelerin 56 ve 28 günlük kür süreleri, basınç dayanımları ve nem durumu olmak özere 6 farklı karışım hazırlanmıştır. Sonuçta üretilen beton numuneleri basınç dayanımları daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. KYB karışımlarına ait işlenebilirlik değerlerinde EFNARC standart değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Çimentonun yerine ikame edilen zeolit, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ikame oranları değiştirerek en yüksek performans için optimum karışım oranları belirtilmiştir. Toplam bağlayıcı ve katkı oranı sabit tutularak farklı nitelikte kendiliğinden yerleşen betonlarda mekanik, işlene bilirlik ve puzolanik malzemelerin özellikleri ile birbiriyle performansı karşılaştırılmıştır.

Yılmaz (2018), KYB' nin taze ve sertleşmiş beton deneylerinde yüksek fırın cürufu kullanılarak oluşturulan kendiliğinden yerleşen betonlar çok iyi bir başarı elde etmişlerdir. Uçucu küllü betonlar da tüm deneylerde iyi bir performans sergileyerek betonun reolojik özelliğine iyi katkılar sağlamıştır. Toplam bağlayıcıların yerine %50, %40, %30 gibi oranlarda zeolit yer değiştirilerek beton harcının gerekli su ihtiyacını yüksek miktarda artırarak ve kullanılan katkının yayılmasını engellemiştir. Zeolitile üretilen betonlar taze beton deneylerinde başarı elde edememiş ancak Kendiliğinden

Yerleşen Betonların sınıfına girememiştir ve basınç deneyinde ‘de çokta iyi başarı elde etmemiştir.

Gesoğlu ve ark. (2007), çimento yerine farklı oranlarda yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve metakaolin atıklar kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonun özelliklerini inceleyen betonlar üretilmiştir. Sırasıyla Su/çimento (0.32) oranı, bağlayıcı miktarı (550 kg/m^3) bu çalışmada sabit tutularak numuneler elde edilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında YFC ve UK ’lün taze beton deney özelliklerini iyileştirdiği viskoziteyi ise azaltmıştır. Priz bitiş ve başlangıç sürelerinin de uzadığı belirlenmiştir. Metakaolin içeren beton harçlarında viskoziteyi olumlu yönde iyileştirdiği belirlenmiştir. Betonun taze özelliklerine bakıldığında ise; kendiliğinden yerleşen betonların yayılma çapları 70±3 cm’de sabit tutulmuştur.

Şahmaran ve ark. (2004), çalışmasında kendiliğinden yerleşen beton elde edilmiştir. Kontrol numune ve Uçucu küllü kendiliğinden yerleşen betonların mekanik ve fiziksel özeliklerine bakılmıştır. Deneysel çalışmalarda tane boyutu en büyük 18mm olan kırma taş agregası kullanılmıştır. Kimyasal katkı olarak polikarboksilik (yoğunluğu 1.09g/cm^3) eter bazlı, Smortflow, yüksek oranda akışkanlaştırıcı kullanılmış. Belirlenen dozajı ise toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %2,5 - %0,5 oranları arasında kullanılmalıdır. Yaptığı çalışmada ise %1,5 oranda kullanılmıştır.

Çizelge 2.4. KYB de kullanılan malzemelerin karışım miktarı (kg/m^3) (Şahmaran ve ark. 2004)

Karışım Malzemeleri	1	2	3	4	5
Su/(UK+Ç)	0,37	0,35	0,34	0,32	0,30
Su	206,7	2038	199,4	198,1	213,8
Çimento (Ç)	550	345	295	250	210
Uçucu Kül (UK)	-	230	295	375	490
İnce Agrega(0-3)	700,1	625,1	624,6	580,1	480,6
İnce Agrega(3-4)	175	146,7	138,5	145	151,8
İnce Agrega(5-15)	752,8	760	751,5	743,2	702,1
Yüksek Akışkanlaştırıcı(YA)	8,53	9,03	9,15	9,19	10,29
YA/Bağlayıcı(%)	1,55	1,57	1,55	1,47	1,47
UK/(UK+Ç)(%)	0	40	50	60	70

Çizelge 2.5. Taze Beton Deney Özellikleri (Şahmaran ve ark. 2004)

No	Su/(UK+Ç)	UK/(Ç+UK) %	Yayılma(mm)	T50cm (sn)	V Hunisi	Birim Ağırlık(kg/m^3)
1	0,37	0	740	4,06	14,1	2419
2	0,35	40	740	2,22	17,1	2330
3	0,34	50	735	3,35	16	2305
4	0,32	60	800	2,82	8,4	2266
5	0,31	70	790	2,10	6,2	2167

Çizelge 2.6. KYB'lerin Basınç dayanımı (Şahmaran ve ark. 2004)

Karışım No	Su/(UK+Ç)	UK/(Ç+UK)	Basınç Dayanımı		Çekme Dayanımı
	(%)		(MPa)		(MPa)
			7G	28G	28G
1	0,37	0	38,3	46,6	4,4
2	0,35	40	32,7	44,9	4,1
3	0,34	50	28,3	40,6	3,4
4	0,32	60	24,8	36,8	2,8
5	0,31	70	20,7	30,5	2,3

Yukarıdaki belirtilen numunelerin Çizelge 2,4., 2,5. ve 2,6. anlaşılan bir kontrol numunesi ve dört adet bağlayıcı miktarının ağırlıkça uçucu kül numuneleri üretilmiştir. Yayılma deneyi sonuçlarına göre KYB' nin özelliklerinin gösterdiği belirtilmiştir. Basınç dayanımlarına 7 ve 28 günlük baktığımızda uçucu kül oranı artıkça basınç dayanımları düşmüştür.

Felekoğlu ve Baradan (2004), ürettikleri beton dayanıklılık ve dayanım açısından başarılı bir beton üretmişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında, KYB için ideal malzeme tipi ve malzeme miktarı seçimi yapılmış olup, optimum beton karışım oranları belirtilmiştir. Kendiliğinden yerleşen betonun mekanik özellikleri bakımından

ise çalışmada çimento ve kaba agrega/kum oranı sabit tutulmuş olup w/c oranında ise değişik oranlarda katkı ilave edilerek viskozitedeki değişimine bakılmıştır. Kendiliğinden yerleşen Betonun viskozitesi, w/c oranı düşürülerek, katkı oranı ise belirli oranlarda yükseltilmiştir.

Arıcı ve Keleştemur (2018), tufal katkılı harçların basınç dayanımı Taguchi metodu ile analizi yapılmıştır. Bu numunelerde kullanılacak olan atıl durumdaki çelik tutalı ile agrega belirli oranlarda ikame edilerek edilen harç numunelerinin basınç dayanımı belirlenmiş olup olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu metodu, hem deneylerin tasarımda hem de elde edilen verilerin istatistiksel analiz kullanımı yapılmıştır. Böylece hem zamandan hem de malzemeden tasarruf sağlanmıştır. Deneylerin tasarımında ise; dört parametre L16 (42x22) ortogonal dizi seçilmiş olup serileri bu diziye göre tasarlamıştır. Bu parametreler; iri tufal (0.25 - 1 mm), ince tufal (0 – 0.25 mm), çimento dozajı ve Su/Çimento (S/Ç) oranı olarak alınmış, Taguchi metod ile deney sonuçları analizinin yapılmış olup, optimum değerler belirlenmiştir. Harç numunelerinin Analiz sonuçlarına bakılıp, basınç dayanımının üzerindeki etkinin taguchi yöntemiyle önemli katkı sağlamıştır. Bu yöntem bu güne kadar fazla kullanılmamış olup, kullanıldığında ise literatöre katkıda bulunmuştur.

Ramroom (2020), diğer betonlardan faklı olan, dayanımı yüksek beton için, yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD), gibi atıkların, ekonomik ve yerel malzemeler kullanılıp yeni bir beton olan Ultra yüksek Performanslı Betonun (UYPB) özelliklerine ve üretimde kullanılan çeşitli malzemelerin kullanım oranları ve tasarım yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca; Taguchi yöntemiyle farklı UYPB karışımları geliştirilmiş olup ve test edilmiştir. Bu testler UYPB'nin özellikleri yönünde yapılan deneysel programların, parçası haline gelmiştir. Bu malzemelerin karışım oranlarına baktığımızda; PE / bağlayıcı oranı= %3,5 bağlayıcı/su (S/B) oranı= 0.19, bağlayıcı/kum oranı= 1, çelik lif hacimce %1 ve pozzolanik malzeme (SD, UK ve YFC) / bağlayıcı oranı = (% 0, 10, 15, 20) olarak alınmıştır. Bu tasarım testleri için 16 örnek (4x4x16cm) bir karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlarda betonun taze ve sertleştirilmiş özelliklerine bakılmıştır. Böylece betonun hem fiziksel hem de mekaniksel özelliklerinde herhangi bir sıkıntıya rastlanılmamıştır.

Ahmad ve Alghamdi (2014), su-çimentolu malzeme oranı, çimentolu malzeme içeriği ve toplam ince agrega oranı göz önünde bulundurularak bir deney tasarımı yoluyla elde edilen veriler kullanılarak beton karışımlarının optimum oranlarını elde etmek için önerilen istatistiksel bir yaklaşımın uygulanması gösterilmeye çalışılmıştır. Tasarım faktörleri olarak toplam oran, deneysel veriler istatistiksel olarak analiz edilmiş ve karışım değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak beton dayanımı için matematiksel polinom segregasyonu geliştirildi. Geliştirilen basınç dayanımı modelinin karışım tasarımlarını optimize etmedeki faydası, farklı olası seçenekler dikkate alınarak gösterilmiştir. Beton karışımlarının optimum oranlarını elde etmek için adım adım istatistiksel bir yaklaşım önerilmiştir. Beton karışımının tasarımını, optimize etmek için önerilen yaklaşımın faydası, deneme karışımlarının üç faktör ve bunların üç seviyesini içeren tam faktöriyel deney tasarımına göre değerlendirildiği tipik bir durum dikkate alınarak gösterilmektedir. Üç tekrarlı (81 numune) toplam 27 beton karışımı, betonun basınç dayanımını etkileyen temel faktörlerin seviyeleri, yani su/çimentolu malzeme oranı (0,38, 0,43 ve 0,48), çimentolu malzeme miktarı (350, 375 ve 400 kg/ m^3) ve ince/toplam agrega oranları (0,35, 0,40 ve 0,45) verilmiştir. Deneysel veriler, varyans analizini (ANOVA) gerçekleştirmek ve bu çalışmada dikkate alınan üç tasarım faktörü açısından basınç dayanımı için bir polinom segregasyon modeli geliştirmek için kullanılmıştır.

Sönmez (2008), çalışmasında, çimento yerine (%20, %35 ve %50) değerler ikame edilerek Yüksek Fırın Cürufu (YFC) miktarlarını değiştirerek kendinden yerleşen betonların (KYB) özelliğine bakılmıştır. KYB beton karışımları elde edilmiş olup kontrol numunesiyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bu karışımlar için çökme-yayılma, T500, V-hunisi, L-kutusu ve işlene bilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, kullanılan agregalardan çakıl oranları ve doğal kum ile katkı miktarı sabit alınıp çimento yerine ise yüksek fırın cürufu oranları değiştirilerek, Optimum Karışımlar üretilmiştir. Çalışmada (Çimento+YFC)/ Su oranı değiştirilerek izlenebilirlik, sağlanmıştır. Üretilen beton numuneler 7, 28, 90 ve 365 gün Süreyle 20 °C kür havuzuna bırakılmıştır. Bu süreler sonunda basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Çimento yerine ikame edilen yüksek fırın cürufu, dayanımda etkisinin olduğu kanısına varılmıştır. Sonuçta, kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında çimento yerine

ikame edilen yüksek fırın cürufu %35 ve %20 oranlarında YFC kullanılmasının, basınç dayanımını %10 oranında yükseltildiği gözlenmiştir.

Uygunoğlu (2008), KYB'nin özel reolojik gereksinimlerinden dolayı hem viskoziteyi düzenleyerek ve akışkanlığı sağlayarak işlene bilirliği düzenlemek için hem hidratasyon ısısından dolayı çimento miktarını düzenlemek dolgu malzeme olan filler kullanılmaktadır. Bu malzemeler genel itibarı ile uçucu kül, kırma taş tozu, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve öğütülmüş cam tozu gibi dolgu malzemelerdir (Efnarc, 2002). Ancak ilerleyen zamanda KYB üzerine yapılan çalışmalarla bu dolgu malzemelerden başka, özellikle atık durumdaki malzemelerin dolgu malzeme olarak KYB içerisinde kullanımı araştırılmaktadır. Bu malzemelerden bazıları da mermer tozu ve öğütülmüş tuğla tozudur. KYB'de kullanılacak olan dolgu malzemelerde istenilen en önemli özelik ise en büyük tane çapı olup genellikle 0.125 mm'nin altında olması istenir. Örneğin, uçucu kül toplamdaki toz miktarının 600 ile 500 kg/m^3 aralığında olan bir KYB'de 100 ile 150 kg/m^3 aralığında kullanılırken, silis dumanı toplamdaki toz miktarının (silis dumanı + çimento) 400 ile 450 kg/m^3 aralığında olduğu bir KYB'de 50 kg/m^3 içeriğinde kullanılmaktadır.

Can ve ark. (2022), malzemeler güneş ışığını simüle etmek için özel floresan lambalar ultraviyole (UV) ile yüksek sıcaklık ve nem döngüsüne maruz bırakılmıştır. Beton üzerindeki, SO4 atağı ile ultraviyole (UV) radyasyonun ortak etkisi araştırılmıştır. Üretilen seride Su/bağlayıcı oranı 0,40 olarak, MgO içeriği yüksek atıklar (doğal magnezya atığı, sinterlenmiş magnezya atığı, kromit atığı (dunit) ve bor üretiminden kaynaklanan tinkal atığı) çimento ile ağırlıkça %2, uçucu küllü kendiliğinden yerleşen betonda, yer değiştirmiştir. Sülfat hasarına maruz kalan numunelerde UV radyasyonlarının iyileştirme etkisinin olduğu, yani UV radyasyonunun numunelerin sadece yüzeyini etkilediği ve önemli oranda kütle kaybına neden olduğu gözlenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında KYB ‘nin özelliklerini belirlemek için deneysel çalışmalarda, kullanılacak malzemeler hakkında bilgi verilmiştir.

3.1.1. Çimento

Çimento tipi açısından dayanım, dayanıklılık ve akışkanlık kriterleri dikkat edilerek çimento seçimi yapılmalıdır. Çimentonun C_3A oranı % 10’un üstündeyse, kullanılmaması EFNARC Komitesi (2002), tarafından uygun görülmemektedir. TS EN 197-1'e uygun, normal betonda kullanılan çimentoların hepsi KYB üretmek için de kullanılabilir. Doğru çimento cinsinin seçimi normalde, her bir uygulama tipinin özel durumunu ya da KYB’nin özel gerekliliklerini yerine getirmek için belirlenir. KYB üretimi için kullanılan çimento doz miktarı; 350-450 kg/m^3 olarak kabul edilebilir. Karışım içinde 500 kg/m^3’den daha fazla çimento kullanılmamalıdır. Kullanıldığı takdirde, betonda büzülme seviyesi ve maliyet, artırılabilir. Karışımda 350 kg/m^3’den az çimento kullanılması yönünde, çimentoya ikame olarak uygun miktarda uçucu kül, öğütülmüş cüruf vb. ince mineral katkıların ilave edilmesi uygun olabilir (EFNAR, 2005).

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan çimentonun kimyasal bileşenleri (Can ve ark. 2022)

Fiziksel Analiz	Kullanılan çimento
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	3.15
Ateşleme kaybı(%)	0.56
SiO_2 (%)	21.60
$Al_2 O_2$ (%)	4.16
Fe_2O_3(%)	0.26
CaO(%)	65.7
MgO(%)	2.06
SO_3(%)	2.54
Na_2O(%)	0.30
K_2O(%)	0.35

Bu çalışmada kullanılan Şekil 3.1.'de görülen ve çimento özellikleri Çizelge 3,1. bakıldığında kullanılacak portland çimentosu olması gereken aralık uygun değerlerde tespit edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan çimento (Can ve ark. 2022)

Deneysel çalışmaların tamamında özgül ağırlığı 3.15g/cm^3 CEM-1 52,5 N tipi portland çimento kullanılmıştır. Çimento, Limak Çimento San. ve Tic. Aş. Şanlıurfa şubesinden temin edilmiştir.

3.1.2. Yüksek fırın cürufu

Yüksek fırın cürufu, kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının viskozitesini arttırır. Bu amaçla kullanılan granolometresi yüksek fırın cürufu, genel itibarı ile demir çelik fabrikaların etrafında üretilen beton üretimine ekonomik faydalar sağlamaktadır (Çelik 2013).



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan yüksek fırın cüruf

Yüksek fırın cürufu, taze ve sertleşmiş betonun KYB özelliklerini olumlu yönde etkiler. Yapılan çalışmalarda Şekil 3,2. görülen, betonun işlene bilirliği, dayanımı ve geçirimsizliği artar, hidratasyon derecesi düşük olduğundan üretilen betonun sertleşmesi uzun yol açar.

Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3,2. ve Çizelge 3,3. te verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan Yüksek Fırın Cüruf kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	TS EN 197-1 Sınır Değerleri	Elde Edilen değerler
MgO(%)	Max.18	7.94
SO_3(%)	Max. 2.5	0.73
Kızdırma Kaybı(%)	Max. 3.0	0.21
Klorür (Cl) (%)	Max. 0.1000	0.0110
(CaO+MgO)/SiO_2(%)	Min. 1.0	1.08

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan Yüksek Fırın Cüruf fiziksel özellikleri

Fizikse Özellikler	TS EN 197-1 Sınır Değerleri	Elde Edilen değerler
Rutubet(%)	Max. 1.0	0.10
Özgül Ağırlık g/cm^3	-	2.90
Özgül Yüzey cm^2/g	Minimum 2750	5210
Priz Başlangıcı (dk)	Max.(2*Ref.)	239
7 Günlük Aktivite İndeksi	Minimum 45	48.8
28 Günlük Aktivite İndeksi	Minimum 70	70.3

Deneysel çalışmaların tamamında özgül ağırlığı 2.90 g/cm^3 Yüksek Fırın Cürufu kullanılmıştır. Adana OYAK, Çimento Fabrikasından temin edilmiştir.

3.1.3.Uçucu kül

Uçucu kül, KYB'lere kendiliğinden yerleşen özellikler kazandırmak için ince taneli bir malzeme olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. KYB uygulamalarında kullanılan uçucu kül TS EN 450-1 (2013) standartlarını karşılamalıdır. Uçucu kül, KYB'lere kendiliğinden yerleşen özellikler kazandırmak için ince taneli bir malzeme olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

ASTM C 618'e göre UK, %40 oranlara kadar çimento ikamesi olarak kullanılabilir ve hemen hemen aynı veya daha uzun süreli basınç dayanımı sağlar. Uçucu kül ASTM C 618, (2003) uyarınca kullanılmıştır (Çizelge 3,4.). Uçucu külün özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Uçucu külün Özellikleri (Can ve Bap, 2008)

Kimyasal Özellikler	
İçerik(%)	**Değer**
SiO_2	48,3820
Al_2O_3	17,2799
Fe_2O_3	10,8998
CaO	6,3735
MgO	5,4582
Cl	0,0172
K_2O	2,0974
SO_3	3.2057
MnO	0,1261
Na_2O	0,8080
NiO	0,2408
CuO	0,0202
ZnO	0,0255
Rb_2O	0,0105
ZrO_2	0,0229
Ga_2O_3	0,0066
Ga_2O_3	0,0066
Özgül Ağırlık g/cm^2	2,080
A.Z. (Ateş Zayiatı)	0,0816



Şekil 3.3. Çalışmada kullanın uçucu kül

Çalışmada kullanılan Şekil 3,3. görülen, Türkiye Kütahya Tunç bilek santrallerden elde edilmiş Deneysel çalışmaların tamamında özgül ağırlığı 2.08 g/cm^3 Uçucu kül kullanılmıştır.

3.1.4.Agregalar

Normal beton hacmi %70 - %80 agregalardan oluşur ve bu agregalar betonun özelliklerini güçlü bir şekilde etkiler. KYB iri agrega olarak sadece %50'lik kısmını içerir. Agregalar kaynağına göre doğal ve yapay olarak, şekline göre yuvarlak, kırma, uzun yassı olarak, bunların dışında mineralojik ve jeolojik özelliklerine, reaktif olup olmamalarına, üretimlerine, yüzey dokusuna, özgül ağırlıklarına ve tane büyüklüğüne göre sınıflandırılabilmektedir (Erdoğan, 2016). Karışımın yapısının büyük ölçüde agreganın bileşimine bağlı olduğu ve betonun dayanımını belirlediği de bilinmektedir (Lee ve ark., 2016).

Agrega tipi, gradasyonu ve özellikleri belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Maksimum agrega çapı ve agrega karışımlarının alt ve üst sınır gradasyon eğrileri belirlenmiştir. Bu çalışmada 18 mm maksimum dane çapına sahip bazalt agregaları kireç taşı ve dere kumu kullanılmıştır. Kullanılan her bir agreganın dane dağılım oranları Çizelge 3,1'de, Agrega karışım gradyasyon eğrisi de Şekil 3.11 de görülmektedir. Ayrıca agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 3,9.'da verilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılacak agregalar

Bu çalışmada kırma 0-4 mm kireçtaşı (kalker), 0-4 mm, bazalt 4-8 mm, bazalt 8-16 mm ve dere kumu olacak şekilde dört farklı aralıklı, boyutlarla agregalar kullanılmıştır. Agregalar Gürbağ Prefabrik Birliği AŞ. Şantiyesinden temin edilmiştir.

3.1.5.Su

Su, çimento ile kimyasal olarak reaksiyona girmesine izin verdiği için betonun önemli bir bileşenidir. KYB karışımı için pH'ı 6-8 olan su iyi kabul edilir (Pepe ve diğerleri, 2016). Karışımı oluşturan tüm maddelerin miktarı, tanımlanan karışımın kalitesi açısından önemlidir. Harran Üniversitesi inşaat Mühendisliği laboratuvarında 20 ^{O}C' de betonu karıştırmak için içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır (Çizelge 3,5.). Kullanılan su, TS EN 1008 (2000), Şartnamesine göre uygunluğu dikkat edilmiştir.

Çizelge 3.5. Şebeke Suyunun Kimyasal Özellikleri (Sönmez, 2008)

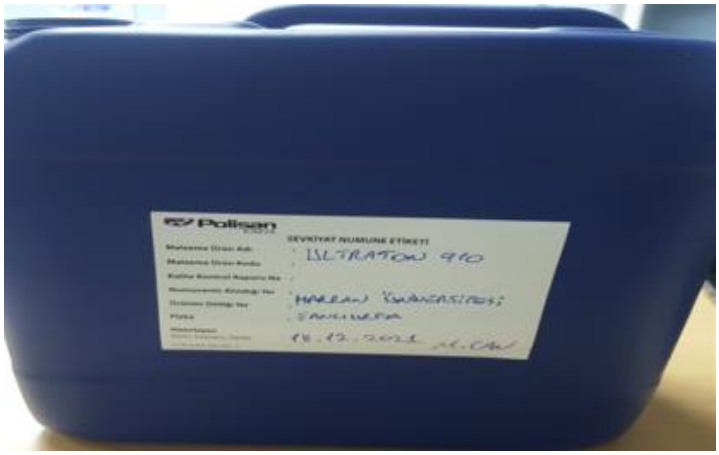
Özellik	**Değeri**
PH	6.0
İletkenlik	370
Tuzluluk (%)	0.18
Klorür (mg/lt)	124
T. Sertlik ($CaCO_3$/lt)	158
Kalsiyum(mg/lt)	49
Magnezyum (mg/lt)	18
Sülfat (mg/lt)	26

3.1.6.Kimyasal katkılar

Yapılan bu Çalışmada katkı maddesi olarak, Süper akışkanlaştırıcı, yüksek oranda su azaltıcı, Priz geciktirici kimyasal katkılar kullanılmıştır. Kendiliğinden Yerleşen Betonların tasarım için (TS EN 934-2) standardına uygun ve Şekil 3.5.'de gösterilen bir katkı seçilmiştir. Bu çalışmamızda kullanılan kimyasal katkının özellikleri Çizelge 3,6. Süper akışkanlaştırıcı, yüksek oranda su azaltıcı, Priz geciktirici kimyasal katkı Adana Polisan Kimya Boya San. ve Tic. A.Ş. tarafından temin edilmiştir.

Çizelge 3.6. Süper akışkanlaştırıcı, yüksek oranda su azaltıcı, Priz geciktirici Kimyasal katkının Özellikleri

Özellikleri	Analiz Sonuçları	Deney Metodu
Görünüm	Ayrışma yok	PSTM 2201
Renk	Kahverengi	PSTM 2201
Bağıl yoğunluk(gr/cm^3)	1.069	ISO 758
Katı madde miktarı(%)	29.30	PSTM 2201
Ph değeri	5.41	ISO 4316
Klorür içeriği	<0.1	TS EN 480-10
Alkali miktarı(Na_2O) (%)	<10	TS EN 480-12



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan kimyasal katkı

3.1.7. Taguchi metodu

1950'lerde Genichi Taguchi tarafından geliştirilen ve önerilen istatistiksel bir süreçtir. Taguchi yöntemi, test etkilerini en aza indirirken ortogonal diziler kullanarak test sayısını büyük ölçüde azaltan deneysel bir tasarım tekniğidir (Box ve ark., 1987). Kontrol edilemeyen faktörler bir optimizasyon yöntemi olarak, Taguchi yöntemi aslında tasarım parametreleri belirlemek, bunları maliyet, verimlilik için optime etmek, düzenli ve etkili bir başlangıç olarak kabul edilir (Nuruddin ve Bayuaji, 2009). Deney planlama faktörleri ve düzeyleri arttıkça deney sayısı da artmaktadır. Dolayısıyla pratikte böyle bir tasarım yapmak pek mümkün değil. Aynı zamanda, geleneksel deneysel tasarım tarafından bulunan optimal koşullar, faktörler arasında bir iç etkileşim varsa, gerçek optimal koşullar olmayabilir. Bir deneysel tasarım tekniği olan Taguchi yöntemi, sistem tasarımlarını optimize etmek için başarıyla kullanılmıştır (Bayrak, 2007).

Taguchin parametrelerinin tasarlanması aşağıdaki adımları içerir (Gül ve Çelik, 2008).

- Sorun tanımlama ve açıklama
- Nitelik parametrelerinin seçimi
- Dizayn ve proses parametrelerinin seçimi
- Dizayn parametrelerinin sınıflaması
- Lüzumlu seviyeleri belirlenmesi
- Etkileşimleri belirleme
- Uygun bir dikey sıra seçimi
- Bir deneyin yapımı
- İstatistiksel analiz yapımı
- Uygun testi yapmak ve sonuçları uygulamak

Buradaki amaç, S/N performans seviyelerini ve gürültü faktörlerinin çıktısını, değerlendirmek ve performans etkilerini değerlendirmektir. Bu bakımdan, aşağıdaki faktörler geçerlidir:

En küçük, en iyidir. Bakış açısı ile amaç geri dönüşümü minimum seviyeye indirmektir, yani S/N (3.1.1) belirtilen denklem ile hesaplanacaktır.

$$S/N = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i^2\right) \quad (3.1.1)$$

Diğer yaklaşım ise en büyük, en iyidir amacı ile maksimum seviye amaçlanacaktır. Bunun için de S/N (3.1.3) belirtilen denklem ile hesaplanacaktır:

$$S/N = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{Y_i^2}\right) \quad (3.1.2)$$

Son yaklaşım ise Nominal olan en iyidir amacı ile S/N'yi standart sapmalarla değerlendirilmesi anlamına gelmektedir ve (3.1.4) belirtilen denklem ile hesaplanacaktır:

$$S/N = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (Y_i - Y_0)^2\right) \quad (3.1.3)$$

Yukarıdaki denklemlerde, Y her bulduğu değeri ölçer. Kararsızlığı destekleyen çevre ve tasarım değişkenlikleri meydana getirir. (Nuruddin ve Bayuji, 2009). S/N'yi maksimize eden parametre seviyeleri optimaldir. Ancak, Taguchi yöntemi için en uygun parametre seviyelerini sağlayan deney yapılmamış olabilir. Bu nedenle, optimal koşullarına karşılık gelen performans değeri aşağıdaki model kullanılarak tahmin edilebilir. (3.1.5) belirtilen denklem ile hesaplanacaktır:

$$Y_t = \mu + X_j + e_i \quad (3.1.4)$$

μ: Perormans değerinin ortalaması

X_j: Deneydeki parametre – seviye değerinin sabit etkisi

S/N: Taguchi performans itatisliği

e_i: i. Deneydeki rastsal hata

Test sonuçlarından hesaplanan bu Y_t değeri bir nokta tahminidir. Bu nedenle, doğrulama deneylerinin sonuçlarının anlamlı olup olmadığını belirlemek için, belirli bir hata düzeyi için bir güven aralığı belirlenmelidir. Seçilen hata seviyesindeki güven aralığı ise aşağıdaki denklem (3.1.6) vasıtasıyla hesaplanacaktır (Ross 1996):

$$\mu \pm \sqrt{F_{a;1,DF_{MSe}} MSe\left(\frac{1+m}{N}+\frac{1}{n_i}\right)} \qquad (3.1.5)$$

Burada;

F: Çizelge değeri,

α : Hata seviyesini,

DF_{MSe}: Hata kareler ortalamasının serbestlik derecesi toplamını,

m: Ortalama tahmininde kullanılan parametrelerin serbestlik dereceleri

ni: Yapılan doğrulama deneylerinin tekrar sayısını göstermektedir.

3.1.7.1. Ortogonal dizinin seçilmesi

Taguchi, birden fazla deneysel durumları ifade etmek için; ortogonal diziler serisi kullanmıştır. Ortogonal diziler serisi en fazla kullanılmasının belirgin nedeni birden fazla etkenin asgari ölçede test edilmesi ve aynı anda faktör seviyelerinin değiştirilmesine izin vermesidir. Ortogonal diziler serisi problemin yapısına göre 3 aşamalı, 2 aşamalı, 2 ve 3 aşamalı olarak Çizelge 3.7.'de belirtildiği şekildedir. Ortogonal diziler serisi tasarım matrisi denilir. Denklem (3.1.7)'de belirtilen yöntem il hesaplanacaktır.

$L_y(a)^x$ ya da L_y (3.1.6)

y: Toplam deney sayısı,

a: Faktörlerin düzey sayısı

x: Faktör sayısı

L: Ortogonal diziyi

Çizelge 3.7. Taguchi L16 Matrisi karışım Dizaynı

Karışım sayısı	Faktörler ve Seviyeler (%)			
	UK	YFC	UK	YFC
1	1	1	0	0
2	1	2	0	10
3	1	3	0	15
4	1	4	0	20
5	2	1	10	0
6	2	2	10	10
7	2	3	10	15
8	2	4	10	20
9	3	1	15	0
10	3	2	15	10
11	3	3	15	15
12	3	4	15	20
13	4	1	20	0
14	4	2	20	10
15	4	3	20	15
16	4	4	20	20

3.1.8. Beton üretimi ve karışım oranları

Yapılan tez çalışmasındaki amaç atık malzemelerin, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, kireçtaşı ve bazalt agregalarından kendiliğinden yerleşen beton üretimi, Karışımlarında bu amaçla kullanılan çimento yerine hacimce %0, %10, %15 ve %20 oranlarında, Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu atıkları kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonlar üretmektir. Kendinden yerleşen beton üretiminde, taze özelliklerin sağlanması için çok miktarda toz malzeme (400-600 kg/m^3) kullanılmalıdır. Yapılan bu çalışmada, Çizelge 3.8.'de belirtildiği gibi, toplam 400 kg/m^3 toz malzeme kullanılmıştır.

Çizelge 3.8. KYB karışım oranları L16 Ortogonal dizisindeki serilerin 1m^3 İçin karışım miktarı

Karışım sayısı	KYB Taze beton özellikleri	Çimento (kg)	UK (kg)	YFK (kg)	Su (kg)	Katkı(gr)	Dere kumu (kg)	Kireç taşı (kg)	Bazalt (4-8)(kg)	Bazalt (16-8)(kg)
1	C0U0	400	0	0	180	5000	536.000	417.83	442.78	365.20
2	C0U10	320	40	40	180	5000	528.390	413.28	437.948	361.213
3	C0U15	280	60	60	180	6000	541.335	423.404	448.876	370.060
4	C0U20	240	80	80	180	5000	527.806	412.823	437.462	360.813
5	C10U0	360	0	40	180	5000	533.516	417.366	442.277	364.783
6	C10U10	360	40	0	180	5000	529.266	413.965	438.673	361.547
7	C10U15	260	60	80	180	5800	540.896	423.061	448.313	369.761
8	C10U20	260	80	60	180	6400	522.728	408.851	433.255	357.342
9	C15U0	340	0	60	180	5000	548.941	429.331	454.958	375.241
10	C15U10	280	40	80	180	5000	527.515	412.595	437.222	360.614
11	C15U15	340	60	0	180	5000	526.654	411.922	436.508	360.024
12	C15U20	280	80	40	180	6600	523.166	409.193	433.195	357.640
13	C20U0	320	0	80	180	5000	532.740	416.682	441.551	364.185
14	C20U10	300	40	60	180	5000	527.953	412.937	437.584	360.303
15	C20U15	300	60	40	180	6000	525.778	411.236	435.781	359.425
16	C20U20	320	80	0	180	5000	524.042	409.878	358.239	434.343

(U= Uçucu Kül, C= Yüksek Fırın Cürufu)

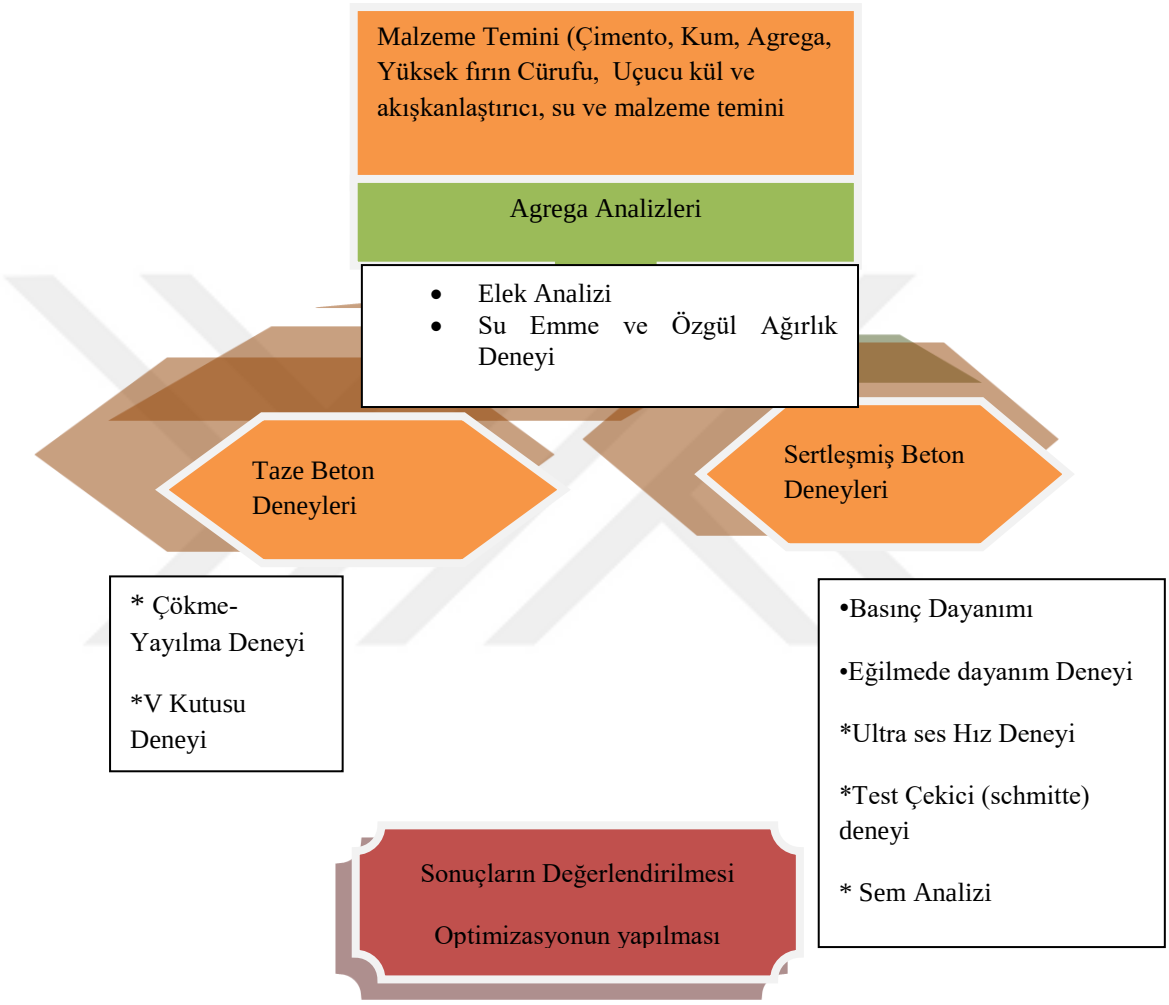
Karışım oranları belirlendikten sonra beton döküm işlemlerine geçildi. Hazırlanan numuneler 150x150x150 mm küp numuneler ve 100x 400x100 mm kiriş numunelerden yapılmıştır. Hazırlanan beton numuneler 24 saat laboratuvar ortamında kalıplarında bekletildikten sonra kalıplardan çıkartılmıştır. Numuneler standart olarak 7 ve 28 gün boyunca 20 ± 2 ºC'de kirece doymuş su tanklarında muamele edilmiş, ardından beton kürü yapılmıştır. Kalıplarda bekletilen numunelerin görüntüleri Şekil 3,6.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kalıplarda bekletilen numunelere ait görüntüler

3.2.Yöntem

Bu tez kapsamında yapılan araştırma ile ilgili takip edilen çalışma aşamalarını özetleyen akış diyagramı Şekil 3,7. 'da verilmiştir.



Şekil 3.7. Proje kapsamında yapılacak çalışmalar algoritması

3.2.1. Yapılan deneyler

Tez çalışmanın bu bölümünde, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek için bazı deneyler yapılmıştır.

3.2.1.1. Özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS EN 1097-6)

Bu bölümde yöremizde yoğun olarak bulunan bazalt ve kireç taşı agregaları ile dere kumu agregasının fiziksel özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler anlatılmaktadır.

3.2.1.1.1. Kaba agregaların özgül ağırlığı ve su emmesi

Bu deney kapsamında her agrega 2 farklı büyüklükte alınıp her bir agrega 2 kg ağırlığında Şekil 3.8.'de görülen agregalar, farklı bir kaba koyulur. Daha sonra üzerini en az 3 cm geçecek şekilde su içinde 24 saate kadar bekletilir. Gerekli süre geçtikten sonra agregalar bir havlu yardımıyla kurutulup doygun kuru yüzey hale getirilir ve tartılır (m_3).



Şekil 3.8. Çalışmada kullanılacak agregaların su temas etmesi

Tartım yapıldıktan sonra agrega numuneleri telli sepete alınarak Arşimet düzeneğine yerleştirilir. Tüm agrega numunesinin yüzeyi minimum 5 cm su altında olacak şekilde suyun içine daldırılır. Tüm agrega tanelerinin su ile temas ettiğinden emin olarak, su yüzeyine ulaşmadan 10 kez kovaya serbestçe yükseltilip indirilir ve parti küller arasındaki hava kabarcıkları çalkalanarak giderilir. Numune sepeti ile kova arasında temasın olmamasına dikkat edilmelidir. Tel sepetin kovaya temas etmediğine emin olduktan sonra tartım yapılır (m_1).



Şekil 3.9. Agregaların Arşimet düzeneği

Agrega numunesi Arşimet düzeneğinden çıkarılıp, tartıldıktan sonra etüve konur ve kurutulur. Etüvden çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığına gelmesi beklenip tartılır (m_1). Sonrasında kaba agrega kuru yüzey ağırlık değeri, doygun kuru yüzey birim özgül ağırlık değeri, görünen özgül ağırlık değerleri ve su emme oranı belirlenir TS-EN-1097 – 6 (2002). Kaba agregalarda doygun kuru yüzey birim özgül ağırlık deneyine ait bir görüntü Şekil 3,9.'da, kaba agregalarda su emme tayinin deneyine bağlı bir görüntüde Şekil 3,10.'da verilmiştir.



Şekil 3.10. İri agrega doygun kuru birim ağırlığın kontrolü

- Agreganın özgül ağırlığı (g/m^3), $m_k = m_1/(m_2 – m_{3,})$
- Agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı (g/m^3), $m_d = m_2/(m_2 – m_3)$
- Agreganın görülen özgül ağırlığı (g/m^3), $m_g = m_1 / (m_1 – m_3)$
- Agreganın su emme oranı (%), $m_s = ((m_2 – m_1)/m_1)x100$

3.2.1.1.2. İnce agregaların özgül ağırlığı ve su emmesi

Agrega numunesi 24 saat boyunca, üzerini en az 2 cm örtecek şekilde su içerisinde bekletilir. Gerekli süre dolduktan sonra dikkatli bir şekilde su süzülür. Ardından doygun kuru yüzey haline getirilir. Koni ile Şekil 3.11. 'da görüldüğü üzere kontrol edilmelidir. Malzeme koniye doldurulup tokmak ile sıkıştırılır, koni çekilip ince bir çubukla ortadan ikiye ayrıldığında malzeme dağılıyor ise doygun kuru yüzey olduğu anlaşılır. Dağılmıyorsa halen doygun hale gelmemiştir.



Şekil 3.11. İnce agrega doygun kuru birim ağırlığın kontrolü

Agrega ince agrega malzemesi olduğundan Arşimet düzeneğinin kullanılması mümkün değildir. Bu noktada Şekil 3.12.de görülen piknometre ile ölçümler yapılır. Sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenir;

- Piknometrenin kapağı ile birlikte ağırlığı ölçülür (A)
- Piknometre tam dolacak şekilde su eklenir ve ölçüm yapılır (B)
- Su boşatılır ve piknometre iyice kurutulduktan sonra doygun kuru yüzey haldeki agrega numunesinden belli bir miktar konulup ölçüm yapılır (C)
- Daha sonra içinde agrega bulunan piknometre su ile tam doldurulup boşluk kalmaması için piknometreyi hareket ettirilip 25 °C suya koyulup, Piknometre içerisindeki malzeme 25 °C'a ulaştığında sudan çıkarılıp iyice kurutulur ve tartılır (D).

- Piknometre içindeki malzeme bir tepsiye boşaltılıp 24 saat etüvde kurutulur ve ölçüm yapılır (E).



Şekil 3.12. İnce agregalarda kullanılan Piknometre düzeneği

- Veriler elde edildikten sonra aşağıda verilen denklemler yardımıyla özgül ağırlık ve su emme değeri bulunur.
- İnce Agreganın özgül ağırlığı (g/m^3), mik = $m_1/(m_2 + m_4 – m_3)$
- İnce Agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı (g/m^3), mid = $m_2/(m_2 + m_4 - m_3)$
- İnce Agreganın görülen özgül ağırlığı (g/m^3), mig = $m_1/(m_1 + m_4 – m_3)$
- İnce agreganın su emme değeri (%), mis = $((m_2 + m_1)/m_1)$x100
- m_1 = etüvden çıkarıldıktan sonraki numune ağırlığı (gr)

- m_2 = doygun yüzeyi kuru haldeki numune ağırlığı (gr)
- m_3 = Su + kap + numunenin ağırlığı (gr)
- m_4 = 500 ml çizgideki suyla dolu piknometre ağırlığı (gr)

Deney üç farklı numune üzerinden tekrar edilir. Sonuçların birbirine yakını %2 veya daha düşük ise deney sonuçlarının ortalaması alınır agregaların birim ağırlık değeri hesaplanır TS-EN-1097 –6 (2013).

3.2.1.1.3. Elek analizi deneyi

Agregaları eleme, numunelerin belirlenen ölçüdeki elek deliklerinden geçmesi veya geçmemesine göre boyutlarını belirtilen sınıflandırma işlemidir. Kullanılan agregaların elek analizleri, Temel Elek Serisi; 32 - 16 – 8 – 4 – 2 – 1 – 0.5 – 0.25 – 0.125 mm delik açıklığındaki eleklere konularak yapılmıştır. Elekler en büyük delik açıklığından sırasıyla küçüğe doğru ve en altta da tas olmak üzere yukarıdan aşağı doğru Şekil 3.13.'de belirtilen şekilde dizilir. Numuneler, en üstteki eleğe boşaltılarak elenmeye başlanır her numune 10 dakika sarsılır ve her bir eleğin üstünde kalan malzeme miktarları tartılır. Elde edilen değerler kümülatif % geçen miktarı hesaplanır ve agrega karışımlarına ait granülometri eğrisi çizilir. Çizilen eğri TS EN 933-1 (1999) Standartta belirtilen aralıklar arasında kalmalıdır.



Şekil 3.13. Elek takımı ve sarsma cihazı

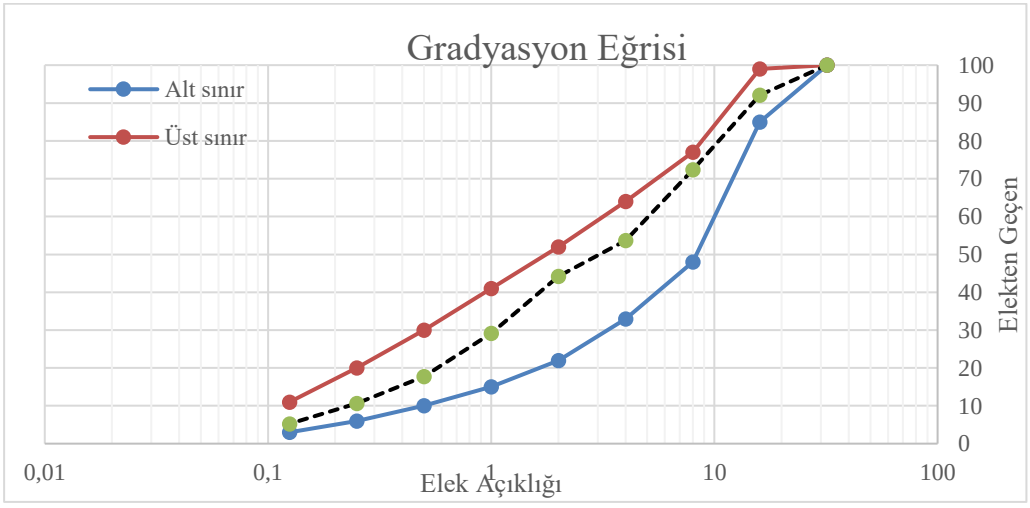
Çizelge 3.9. Kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Agregalar	Kuru özgül Ağırlık(g/cm³)	Doygun özgül Ağırlık(g/cm³)	Su Emme Oranı(%)	Stok Nem Oranı(%)
Bazalt Agrega (8-16) mm	2.71	2.75	1.52	0.85
Bazalt Agrega (4-8) mm	2.65	2.67	1.65	0.95
Dere Kumu	2.65	2.70	2.40	1.14
Kireç Taşı (Kalker)	2.40	2.57	2.60	0.23

Çizelge 3.10. Karışımda kullanılacak agregaların elek analizi değerleri

Elek (mm)	**Dere kumu(g)**	**Kireç taşı(g)**	**Bazalt (4-8) (g)**	**Bazalt (8-16)(g)**	**Geçen Kümülatif** (%)	**TS-EN 933-1** (%)
32	100	100	100	100	100	100
16	100	100	100	60.30	92.06	99-85
8	100	99.70	69.85	0.07	72.40	77-48
4	99.28	92.03	3.40	0	53.64	64-33
2	93.14	64.95	0.18	0	44.23	52-22
1	60.50	43.93	0.050	0	29.14	41-15
0.5	31.18	33.60	0	0	17.76	30-10
0.25	17.40	24.62	0	0	10.62	20-6
0.125	4.34	15.80	0	0	5.25	11-3
Tava	**0**	**0**	**0**	**0**	**0.00**	

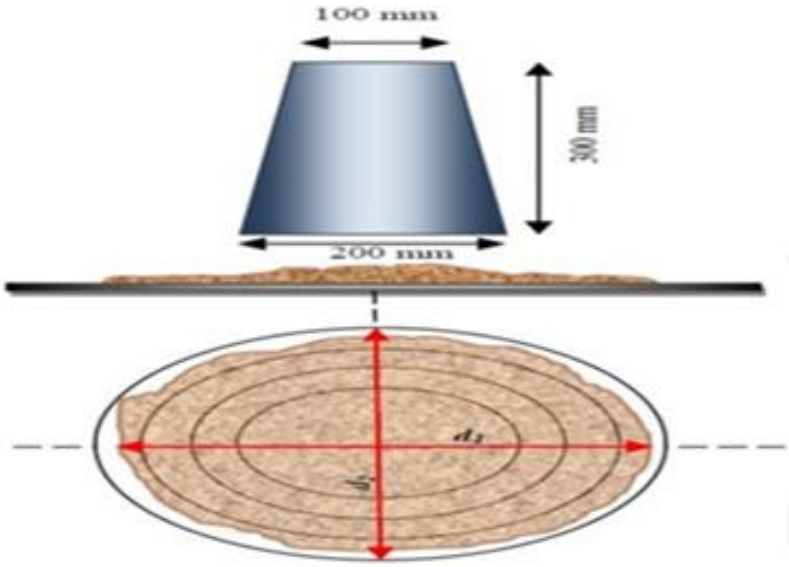
Kendiliğinden yerleşen betonun üretiminde; agregaların hacimsel olarak dere kumu % 30, kireç taşı (kalker) %25, bazalt (4-8) %25 ve bazalt (8-16) %20, kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton serileri oluşturulmuştur.



Şekil 3.14. Karışım agregasının gradyasyon eğrisi

3.2.1.2.Yayılma testi ve T500 süresi deneyi

Çökme – akma değeri ve T500 süresi kendiliğinden yerleşen betonların akışına ve akış hızına hiçbir engelin olmadığı durumdaki test etme metodudur. T500 Süresi yapılan deneylerde TS EN 12350 – 2 (2010) standardına göre yapılmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonların yayılma özelliğini belirlemek için y ve x doğrularındaki yayılma çapı ve 50 cm çaptaki yayılma süresi ölçülmüştür. Yayılma deneyinde standart olan Şekil 3.15'te görülen, Ambrans hunisi kullanılmıştır. Ambrans huninin doldurulma aşamasında hiçbir şişleme ve sıkıştırma işlemi yapılmamıştır. Üretilecek beton ambrans hunisinin içine kendi ağırlığında yerleşmiş ve yayılma çapı ölçümü aşağıdaki Şekil 3.16'de gösterilmiştir. KYB için normal akış 65 -80 cm arasındadır (EFNARC, 2005).



Şekil 3.15. Yayılma çapı testinin uygulanışı (Enbaya, 2019)



Şekil 3.16. Bölüm laboratuvarında yapılan yayılma çapı testinin uygulanışı

3.2.1.3. V Hunisi testi deneyi

V Hunisi deneyinin kendiliğinden yerleşen betonların viskozitesi ve doldurma kabiliyetini belirlemede kullanılır. Huni tabanındaki kapak temizlenir, kapak dâhil iç yüzeyi nemlendirip betonla doldurulduktan sonra alt kapak açıldıktan sonra huninin, üsten aşağıya bakıldığında aşağıdaki kabın ilk görülmesiyle geçen süre kayıt edilir, V-hunisi Şekil 3.17. belirtilen akış süresi tespiti yapılır. V-hunisi TS EN 12350 - 9 (2011) Standardına göre yapılmıştır.



Şekil 3.17. Bölüm laboratuvarında yapılan V hunisi testinin uygulaması

3.2.1.4. Basınç dayanım deneyi

Kendiliğinden yerleşen Betonlardaki dayanım 7 ve 28 günlük kürün sonrasında numunelerin üzerindeki gerçekleşen basınç dayanım deneyi yapılmış, Basınç

dayanımı deneyi 150×150×150 mm boyutlu küp numunelerde TS EN 12390-3 (2003) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup deney sırasında yükleme hız değeri 0,6 MPa/s olarak alınmıştır. Bu deney her karışım oranı için hazırlanan 3 adet numunelerin üzerinde tekrarlanmış olup 3 adet numunelerin ortalaması alınmıştır. Küp numunelerin basınç dayanımı deneyi ELE markalı 300 ton kapasiteli otomatik yükleme hızına sahip olan cihazda gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı gerçekleştirilen deneyine ait fotoğraf Şekil 3.18'de verilmiştir. Numunelerin basınç dayanımı değerleri denklem (3.2.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Fc=F/A \qquad (3.2.1)$$

Fc: Basınç dayanım değeri, (MPa)

F: Numunenin kırılma anında ulaşılan max yük (kuvvet) , (N)

A: Numune, üzerindeki basınç yükünün uyguladığı en kesit alanı, (mm^2)



Şekil 3.18. Bölüm laboratuvarında yapılan basınç deneyinden görüntü

3.2.1.5. Eğilme dayanım deneyi

Eğilme deneyi malzemenin dayanımı hakkında tasarım ve fiziksel özelliklerini belirlemede bize yardımcı olur. Üretilen beton numuneler 7 ve 28 gün standart kürde bırakıldıktan sonra numuneler üzerinde beton eğilme deneyi uygulanmıştır. Eğilme çekme dayanımı belirtilmek için üç nokta yükleme koşulu yapıldığında, Şekil 3.19 bir adet kirişi eğmek için gereken fr kuvveti değeri ölçülmüştür. Numune birbirinden 100 mm uzaklıkta iki destek üzerine yatay olarak yerleştirilmiştir. Dikey yükleme, prizmanın üst yüzeyindeki bir yük silindiri tarafından başlatılmış olup ve numunede arıza oluşana kadar yükleme yapılmıştır.

Belirlenen kuvvete göre eğilme dayanım Denklemi (3.2.2.) yardımıyla hesaplanacaktır. Beton eğilme deneyi 100×400x100 mm boyutlu silindir numunelerde TS EN12390-5 (2002) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup deney sırasında yükleme hızı 0,05 MPa/s olarak alınmıştır. Şekil 3.20.'de gerçekleştirilen dayanımı deneyine ait fotoğraf verilmiştir.

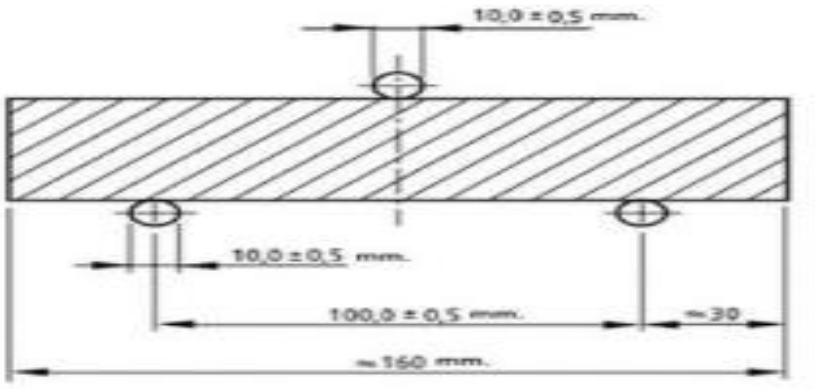
$$Rf = (1{,}5fr.\ l) / b^3 \qquad (3.2.2)$$

Rf = Eğilme dayanım değeri (MPa).

b = Kare yan kesit ve prizmanın mm cinsinden boyutu.

fr =Kırılacak bölgede prizmanın merkezine uygulanan yük (N).

l = mm cinsinden destekler arası mesafe



Şekil 3.19. Eğilme dayanım testi (Ramroom, 2020)



Şekil 3.20. Bölüm laboratuvarında yapılan Eğilme dayanım deneyinden görüntü

3.1.1.6. Ultrases geçiş hızı deneyi

Ultrases deneyi, 150×150×150 mm boyutlu küp numunelerde TS EN 12504-4 (2014) standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Açıklanan ultrases geçiş süresi testi, numunelere uygulandı ve sonuçlar kaydedildi. Ultrasonik iletim hızı için test cihazı; Beton harcında üretilen ultrasonik dalgaların alıcı ile verici arasındaki seyahat süresini belirleyerek basınç dayanımı hakkında bize bilgi verir. Ultrasonik iletim hızı test yöntemi, beton harçlarının kalitesinin yanında, varsa harçların homojenliği, çatlaklar hakkında bilgi ve elastisite modülü nün hesaplanması gibi bilgiler verebilmektedir.

Deneylerde her seri için 3 tane kiriş numune kullanılıp cihaz ile karşılıklı yüzeylerden okumalar yapılmış olup 3 adet numunenin ortalaması alınmıştır. Şekil 3.21.'de gösterilen cihaz da okunan değerler, gönderen başlıktan alıcı başlığına kadar geçen süre mikro saniye cinsinden gösterilmektedir. Bu değer, kilometre/saat cinsinden hız değeri olan denklem (3,2.3.) kullanılarak hesaplandı. Hesaplanan bu değerlerle Çizelge 3,12.'de verilen aralıklara bakılarak üretilen harçların kalitesi hakkında yorumlar yapıldı. Şekil 3.21.'te gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı deneyine ait fotoğraf verilmiştir.

$$V=(S/t)10 \quad (3.2.3)$$

Denklem 3.2.3.'de verilen;

V: Ses üstü dalga hızı (km / s)

S: Alıcı ve verici başlığın aradaki mesafe (m)

t: Ultra ses aletinin üstündeki okunan değer (µs)

Çizelge 3.11. Ultra ses hızıyla Betonun kalitesi arasındaki ilişki (Erdoğan 2016)

Ses Hızı (V) km/s	Beton Kalitesi
2,0 – 3,0	Zayıf
3,0 – 3,5	Şüpheli
3,5 – 4	İyi
>4,52	Mükemmel



Şekil 3.21. Bölüm laboratuvarında yapılan Ultrases Geçiş Hızı deneyinden görüntü

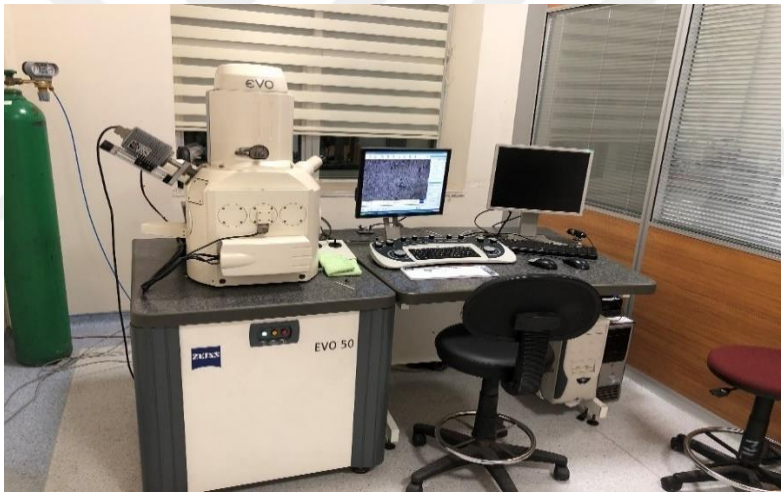
3.2.1.7. Beton test (Schmidt) çekici ile yüzey sertlik deneyi

Beton test (Schmidt) çekici ile yüzey sertlik deneyi, 150×150×150 mm boyutlu küp numunelerde TS EN 12504 - 4 (2004)'e standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında N tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. Deneylerde her seri için 3 tane kiriş ve küp numune kullanılıp, cihaz ile prizmaların yüzeylerine, her numuneye 5 adet Schmidt çekici ile vurulmuş olup değerler kayda altına alınmıştır.

Elde edilen değerlerden en büyük olanı alınmıştır. Alınan her 3 adet numunenin ortalaması alınmıştır.

3.2.1.8. SEM (Mikro Yapı) analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM); incelemelerinin amacı, sertleşmiş beton harçların yapısındaki malzemelerin birbiriyle olan etkileşimlerini, bağlantılarını resmederek, araştırmacıların analiz edebilmesine olanak sağlamaktır. Çalışmamızda, Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan yüksek fırın cürufu ve uçucu kül 'ün beton içerisindeki dağılımı ve beton basınç dayanımı altındaki göstermiş olduğu davranışların yorumlanabilmesi amacıyla üretilen numuneler üzerinde, Şekil 3.23'te görülen Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelemeleri yapılmıştır.



Şekil 3.22. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı

4.ARAŞTIMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu tez kapsamında bölgemizde imkânlar içerisinde agregalar ve diğer malzemeler temin edilip laboratuvar ortamında deneyler yapılmış olup, çıkan sonuçları bu bölümde tartışılmıştır.

4.1.Çalışmada Yapılan Deneylerin Sonuçları

Bu çalışma yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkı maddelerinin farklı ikame oranları ile üretilen KYB'lerin taze beton özelliklerini belirlemek amacıyla, yöntem bölümünde açıklandığı şekilde yapılan bu özel beton türüne özgü yayılma, T500 Süresi ve V-Hunisi, deneylerinde belirlenen sonuçlar Çizelge 4,1.'de topluca verilmiştir.

Çizelge 4.1. KYB karışım guruplarının taze beton deney sonuçları

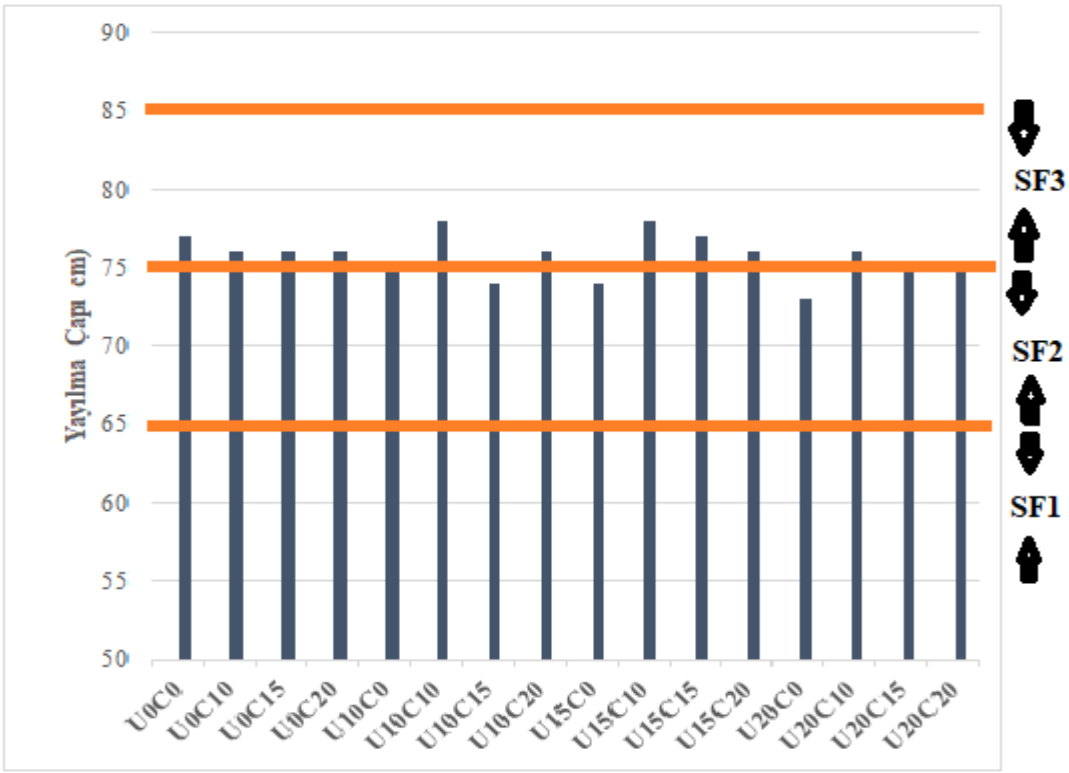
KYB Karışım Gurupları	KYB Taze beton özellikleri	Yayılma Çapı (cm)	T_{500} Süresi(Sn)	V Hunisi Süresi(Sn)
		KYB Karışım Gurupları		
1	U0C0	77	4	20
2	U0C10	76	4	22
3	U0C15	76	4	24
4	U0C20	76	4	25
5	U10C0	75	4,4	24
6	U10C10	78	4	25
7	U10C15	74	5	27
8	U10C20	76	3,5	18
9	U15C0	74	4,6	22
10	U15C10	78	4	26
11	U15C15	77	4,5	27
12	U15C20	76	4,5	30
13	U20C0	73	5	23
14	U20C10	76	4,2	35
15	U20C15	75	5	40
16	U20C20	75	4,8	33

(U= Uçucu Kül, C= Yüksek Fırın Cürufu)

4.2. KYB Yayılma Çapı Deney sonuçları

KYB karışım gruplarında yapılan taze beton deneyleri ile yayılma çapı için elde edilen sonuçlar Şekil 4,1.'de verilmiştir. EFNARC'a göre; kendiliğinden yerleşen betonlarda yayılım çapı 65 – 80 cm arasındaki değerler olmalıdır. Ancak, KYB kullanım alanının geniş olabilmesi için, Avrupada KYB şartnamesindeki sınır değer yükseltilmiştir (Özbey, 2022). Çalışma kapsamında hazırlanan tüm KYB gruplarında elde edilen yayılma çapı değerlerinin, EFNARC'ta belirtilen 65cm eşik değerin üstünde olduğu ve KYB için akıcılık koşulunu sağladığı görülmektedir.

KYB karışım gruplarında, Şekil 4,1.'de verilen sonuçlar incelendiğinde; en yüksek yayılma çapları yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ikameli karışımlarda 78 cm değeri ile U10C10-U15C10 karışım gruplarında, elde edildiği gözlemlenmiştir. Numunelerde en düşük yayılma çapı ise, uçucu külün %20, yüksek fırın cürufu %0 ikameli karışımlarda 73 cm değeri ile U20C0 karışım grubunda belirlenmiştir.

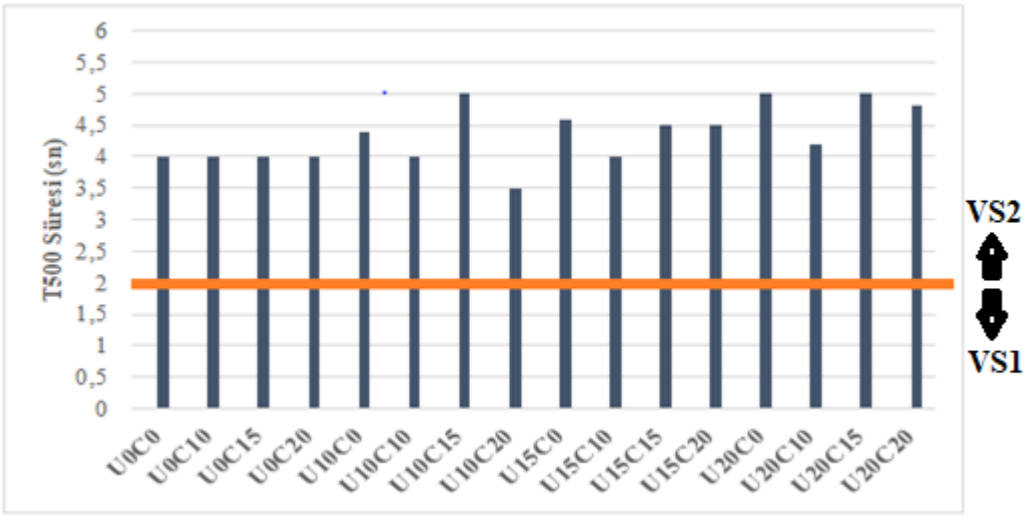


Şekil 4.1. KYB Karışım guruplarının Yayılma çapı ERMCO Tarafından sınıflandırılması

Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) (2005) KYB' lerin yayılma çapları şekil 4,1.'te göre SF1, SF2 ve SF3 olarak üç gurupta sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sistemine göre SF2 Sınıflandırma sisteminde; U10C15-U15C10-U20C0 karışım guruplarının olduğu, diğer karışım guruplarının da SF3 sınıflandırma sisteminde olduğu Şekil 4,1.'de gösterilmiştir. Kendiliğinden yerleşen betonların yapılarda kullanılabilecekleri yerler belirlenmiş olup her bir sınıflandırma ayrı tanımlanmıştır.

4.3. T500 Süresi Deney Sonuçları

KYB karışım gruplarında yapılan taze beton deneyleri ile T500 süresi için elde edilen sonuçlar Şekil 4,2.'de gösterilmiştir. Kontrol ve katkılı KYB karışım gruplarının geneli için T500 süresi 3,5 ile 5 sn aralığında değişim göstermiş olup, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkılarının değişik ikame oranlarında kullanımı ile T500 süresinde kontrol betonuna göre yaklaşık eşit veya daha küçük değerler elde edilmiştir. Şekil 4,2.'de KYB karışım gruplarının T500 süresi değerleri gösterilmiştir. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) (2005) KYB' lerin T500 süreleri Şekil 4,2.'te belirtilen sınıflandırma VS1 ve VS2 olarak belirlenmiştir. Şekil 4,2.'te belirlenen beton gurupları hepsi VS2 sınıflandırma sistemindedir.



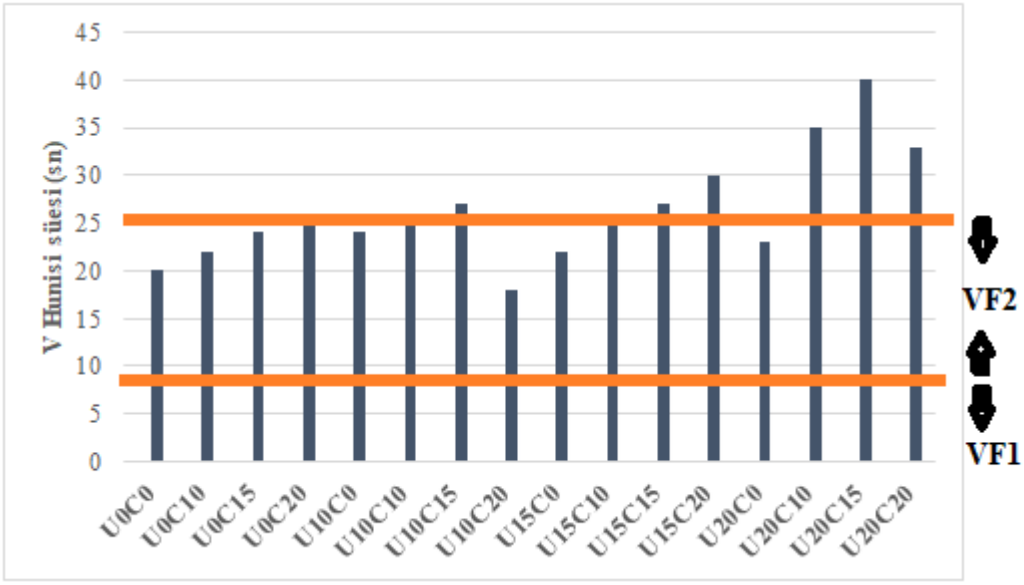
Şekil 4.2. KYB Karışım guruplarının T500 süresi ERMCO Tarafından sınıflandırılması

KYB karışım gruplarında, Şekil 4,2.'de verilen sonuçlar incelendiğinde; en küçük T500 süresi 3,5 sn ile U10C20 karışım grubunda, KYB karışım gruplarında en büyük T500 süresi ile 5 sn ile U10C15 ve U20C0 karışım gruplarında belirlenmiştir. Ayrıca iki mineral katkının optimum ikame oranları kullanılarak oluşturulmuş U10C20 beton grubunda ise 3,5 sn olan T500 süresi değeri, bulunan en küçük değer olan ve U0C0,U0C10,U0C15,U0C20,U10C10 veU15C10 beton gruplarında elde edilen 4 sn T500 süresine çok yakın olduğundan diğer beton gruplarına kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği görülmektedir.

4.4. KYB V – Hunisi Süresi Deney Sonuçları

KYB karışım gruplarının taze beton karakteristik özelliklerinden viskozite yeteneğini belirlemeye yönelik V-Hunisi deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 4,5'te gösterilmiştir. Sonuçlara göre, karışım gruplarının V-hunisi süreleri; 18 ile 40 sn arasında değişim göstermektedir.

KYB karışım gurupları, Şekil 4,3.'da verilen sonuçlar incelendiğinde; U20C15 karışımında 40 sn ve U20C10 karışımında 35 sn olarak ölçülen V-hunisi süreleri, kontrol betonunda 20 sn olarak ölçülen V-hunisi süresine göre yaklaşık 2 kat oranında artış göstermiştir. KYB karışımlarının viskozitesini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Kontrol betonu dışında beton gruplarının Hunisi sürelerinin, kontrol beton V-Hunisi süresi değeri olan 20 sn'den büyük çıktığı sadece U10C20 kontrol beton V-Hunisi süresi değeri olan 18 sn'den küçük çıktığı gözlemlenmiştir. İki mineral katkının optimum ikame oranları kullanılarak oluşturulmuş U10C20 beton grubunda ise 18 sn olan V-Hunisi süresi değeri, en küçük değer ve U0C0 Kontrol betonla elde edilen 20 sn V-Hunisi süresine çok yakın olduğundan diğer beton gruplarına kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.3. KYB Karışım guruplarının V - Hunisi süresi ERMCO Tarafından sınıflandırılması

KYB viskozite açısından; VF1, VF2 olarak çökmede yayılma; Sınıflandırma sistemine göre, kontrol numunesi, U0C10,U0C10, U10C0,U10C20, U15C20, U15C0 VE U20C0 VF2 sınıflandırma sisteminde olduğu görülmüştür donatıların çok sıkı ve yoğun olduğu yapılarda kullanımı yüzey düzeltme işlemi için en uygun sınıflandırma sistemidir.

4.5. Basınç Dayanım Deneyi sonuçları

Farklı oranlardaki Yüksek Fırın Cürufu ve Uçucu Kül içeren Kendiliğinden Yerleşen Beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları ve Taguchi analiz sonucu hesaplanan S/N oranları Çizelge 4,3.' de verilmiştir. Taguchi analiz sonuçları Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de sırasıyla beton numunelerine ait basınç dayanımında S/N oranları ve optimum parametre seviyeleri verilmiştir. Basınç dayanımının yüksek olması istenildiğinden, S/N oranları hesaplanırken En büyük- En iyi durumu dikkate alınmış ve Denklem 3.1.2. kullanılmıştır.

$$S/N = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{Y_i^2}\right)$$

Çizelge 4.2. Basınç Dayanım S/N Oranları

Karışım Sayısı	UK (kg)	YFC (kg)	Basınç Dayanımı (MPa)	S/N Oranı
1	0	0	52,34	34,376
2	0	10	52,20	34,353
3	0	15	53,40	34,550
4	0	20	53,76	34,609
5	10	0	51,50	34,236
6	10	10	47,50	33,764
7	10	15	56,10	35,210
8	10	20	54,20	34,679
9	15	0	51,67	34,264
10	15	10	68,47	36,710
11	15	15	49,57	33,904
12	15	20	49,15	33,830
13	20	0	50,77	34,112
14	20	10	47,56	33,544
15	20	15	49,37	33,869
16	20	20	72,06	37,153
			Ortalama	34,527

Çizelge 4,2.'deki performans istatistikleri kullanılarak elde edilen ortalama S/N etkileyen değerleri çizelge 4,3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Basınç Dayanımı S/N Etki değerleri

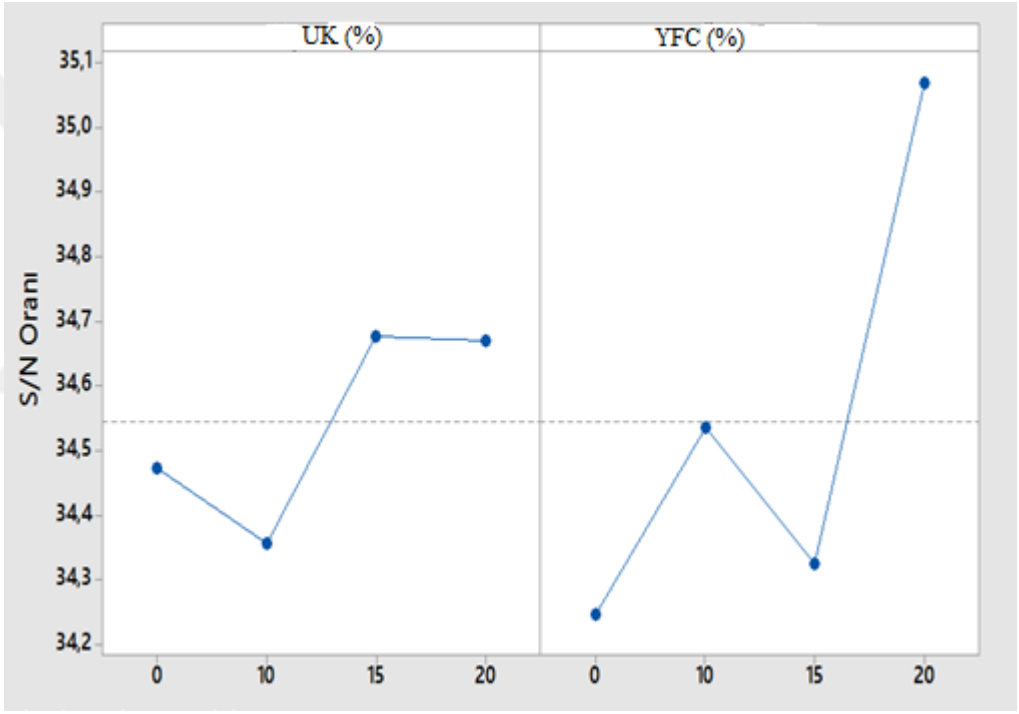
Basınç Dayanımı Ortalama S/N Etkileri		
	UK (%)	**YFC (%)**
1. **Seviye**	34,472	34,247
2. **Seviye**	34,356	34,551
3. **Seviye**	34,670	34,325
4. **Seviye**	34,612	35,067

Ortalama S/N etkileri kullanılarak basınç mukavemetini maksimum yapan koşullar ve performans tahminleri çizelge 4,4.'te verilmiştir.

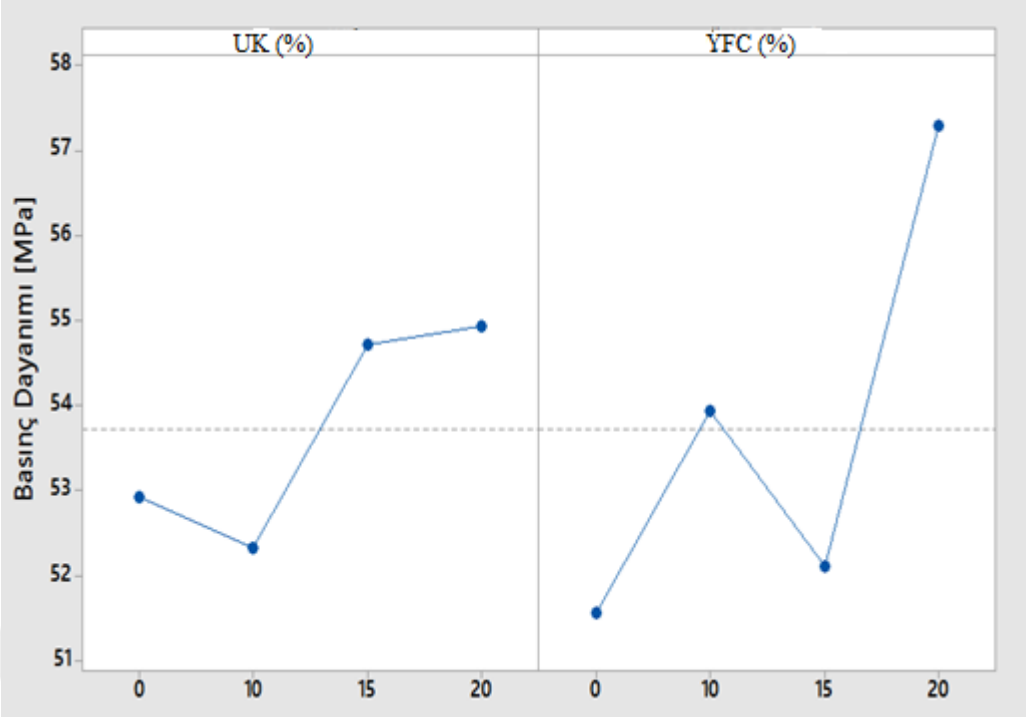
Çizelge 4.4. Basınç Dayanımı Performans Tahmin değerleri

Faktörler	Optimum Seviyeler	Parametrelerin S/N'ye olan Etkisi
Uçucu Kül	3	0,143
Yüksek Fırın Cürufu	4	0,540
Tüm Faktörlerin Katsayısı(S/N)		0,683
Ortalama Performans İstatistiği (S/N)		34,527
Optimum Şartlarda Beklenen Değer(S/N)		35,210
Doğrulama Deney Sonucu (S/N) (MPa)		56,100
Güven Aralığı (a= %95) (S/N)		34,294 – 38,426

Basınç Dayanımları için Çizelge 4,5.'te Optimum seviyelerin 3 ve 4 olduğu görülmektedir. Bununla birlikte basınç dayanımın üzerine en çok etkisi olan parametrenin yüksek fırın cürufunun olduğu, diğerinin uçucu kül oranlarının olduğu görülmektedir. Deney planında Çizelge 4.3'e bakıldığında optimum seviyedeki kombinasyonun karışım 7. Deney sonucu olduğu görülmektedir. Yapılan doğrulama deneyi sonucu optimum seviyenin %95 güven seviyesinde doğru olduğu söylenebilir (çizelge 4.5). Her parametre seviyesine göre S/N oranı ve basınç dayanım değerleri hesaplandı. Optimum değerler bu sonuçlara göre belirlendi. Parametre seviyelerine göre S/N oranları Şekil 4,4. de basınç dayanımları Şekil 4,5. de verilmiştir.

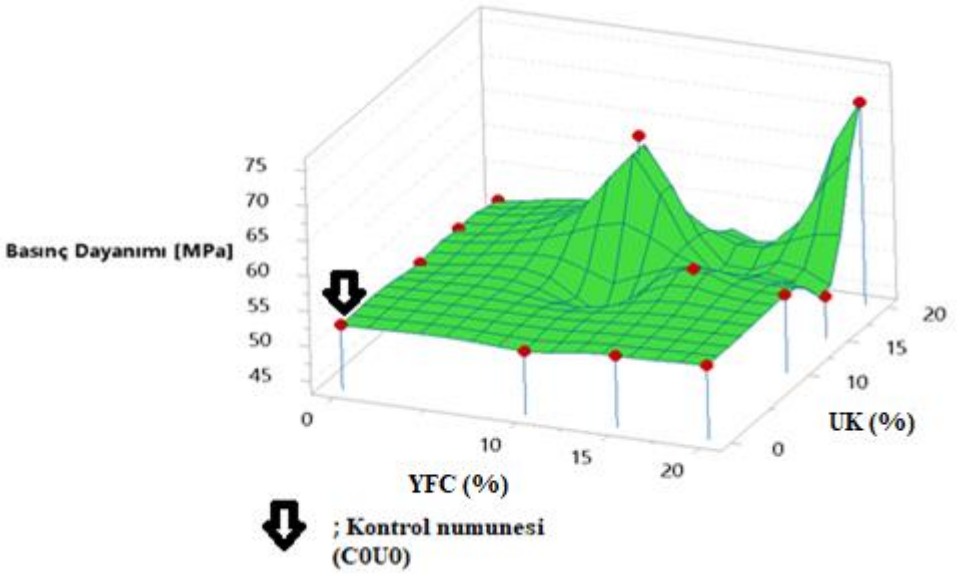


Şekil 4.4. Parametre seviyelerine göre basınç dayanımda S/N Oranları

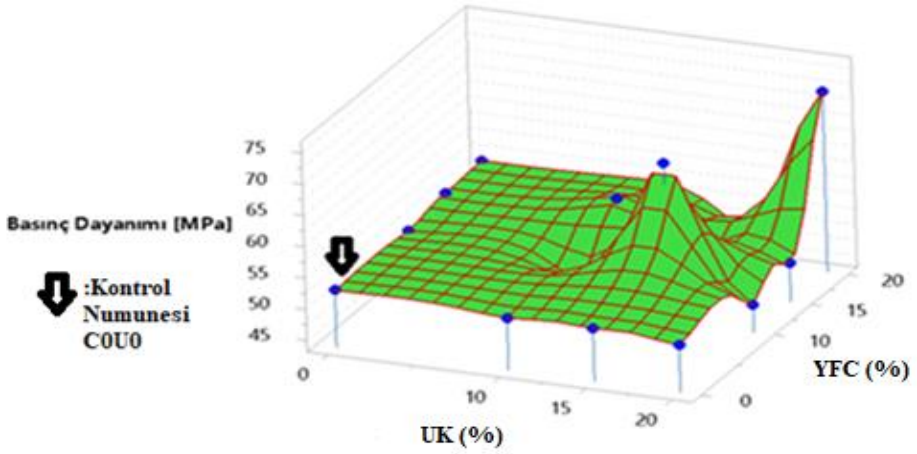


Şekil 4.5. Parametre seviyelerine göre basınç dayanım Oranlar Değerleri

Sonuçlar, incelendiğinde. Basınç dayanımda 28 günlük numunelerde, Şekil 4,4 ve 4,5'de uçucu kül S/N oranının, maksimum %15 iken, Basınç dayanımının en büyük olduğu değer %20 dir. Yüksek fırın cüruf incelendiğinde; S/N oranının maksimum %20 iken ve basınç dayanımının en büyük olduğu değerinde %20 parametre seviyelerinde elde edildiği görülmektedir. Farklı karışım oranlarındaki her bir numune grubu üzerinde yapılan basınç deneylerinde, parametrelerin dayanım üzerine etkileri Şekil 4,6. ve 4,7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. YFC ve UK 'ün etkisinde basınç dayanımdaki değişim



Şekil 4.7. UK ve YFC etkisinde basınç dayanımdaki değişim

Çimento miktarı, bir m³ betonda kullanılan çimento dozajı başta beton dayanımı, olmak üzere beton özelliğine etki eden en önemli etkendir. Çimento miktarı hem dayanım artırıcı hem de boşluk oranlarını azaltıcı etkisi vardır. Ancak başka yönü ile ekonomik sebeplerden ötürü çimento miktarı çok fazla artırılamaz, bunun için atık malzemeleri çimento ikamelerini değiştirerek daha ekonomik bir kendiliğinden yerleşen beton üretilmiştir. Basınç dayanımının deney parametrelerine göre değişiminin verildiği Şekil 4,6.– 4,7. deki grafikler incelendiğinde; çimento

dozajındaki azalışa bağlı olarak basınç dayanımı belli noktalarda artmakta ya da azalmaktadır. Uçucu kül numunelerin basınç dayanımı üzerine olan etkilerini Şekil 4,4-4,5'den inceleyecek olursak, Uçucu kül kullanım oranının %15 den az olan numunelerin basınç dayanımının olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Yüksek Fırın Cüruf numunelerin basınç dayanımı üzerine olan etkilerini Şekil 4,6.- 4,7.'den inceleyecek olursak, yüksek fırın cüruf kullanım oranının %20'den az numunelerin basınç dayanımın olumsuz yönde etkilediği görülmektedir.

4.6.Eğilme Dayanım deneyi Sonuçları

Farklı oranlarda uçucu kül ve yüksek fırın cürufu Kendiliğinde Yerleşen Beton numunelerin üzerinde yapılacak eğilme dayanım deneyi sonuçları ve analiz sonucu hesaplanan S/N oranları Çizelge 4,6.' da verilmiştir. Eğilme dayanımı deneyine ait S/N oranları Şekil 4.8. ve 4.9.' de sırasıyla ve optimum parametre seviyeleri verilmiştir. Eğilme dayanımının yüksek olması istenildiğinden, S/N oranları hesaplanırken En büyük/En iyi durumu dikkate alınmış ve Denklem 3.1.2. kullanılmıştır.

$$S/N = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{Y_i^2}\right)$$

Çizelge 4.5. Eğilme Dayanım S/N Oranları

Karışım Sayısı	UK (Kg)	YFC(Kg)	Eğilme Dayanımı (Mpa)	S/N Oranı
1	0	0	6,334	16,028
2	0	10	6,430	16,082
3	0	15	4,561	17.206
4	0	20	6,586	17,804
5	10	0	6,369	16,713
6	10	10	6,846	16,164
7	10	15	6,624	17,266
8	10	20	6,405	15,086
9	15	0	6,855	16,271
10	15	10	5,679	15,446
11	15	15	6,518	13,178
12	15	20	5,918	16,416
13	20	0	8,222	16,157
14	20	10	7,305	15,431
15	20	15	5,916	16,123
16	20	20	6,507	16,362
			Ortalama	16,115

Çizelge 4,6.'deki performans istatistikleri kullanılarak elde edilen ortalama S/N etkileyen değerleri çizelge 4,7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Eğilme Dayanım S/N oranı Etki değerleri

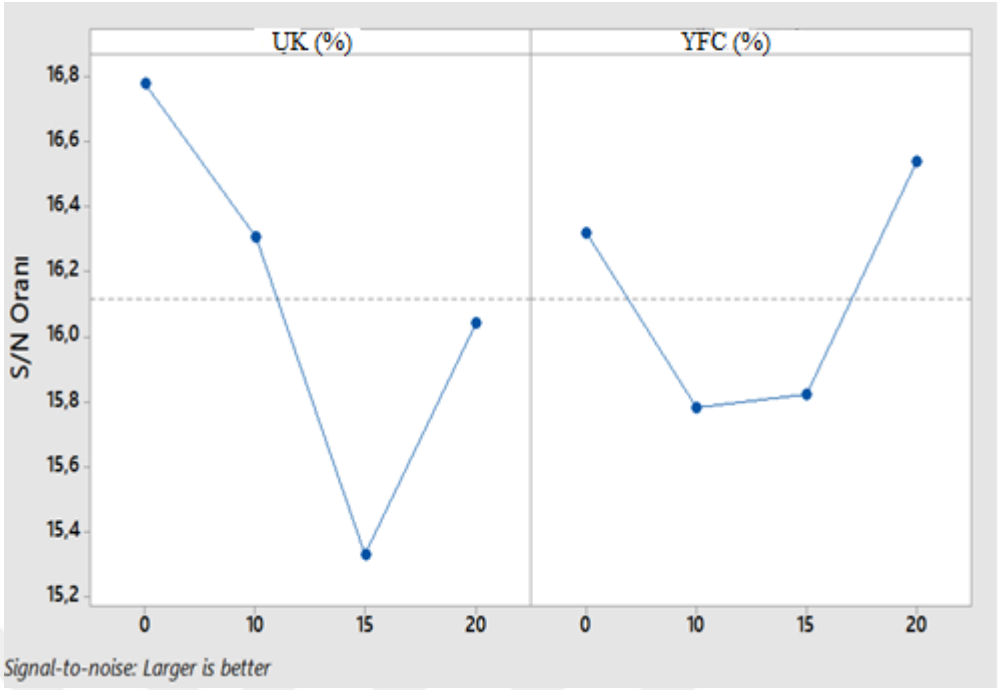
Eğilme Dayanım Ortalama S/N Etkileri		
	UK (%)	YFC (%)
1. Seviye	16,780	16,331
2. Seviye	16,307	15,780
3. Seviye	15,329	15,820
4. Seviye	16,044	16,541

Ortalama S/N etkileri kullanılarak eğilme dayanımını maksimum yapan koşullar ve performans tahminleri çizelge 4,8.'da verilmiştir.

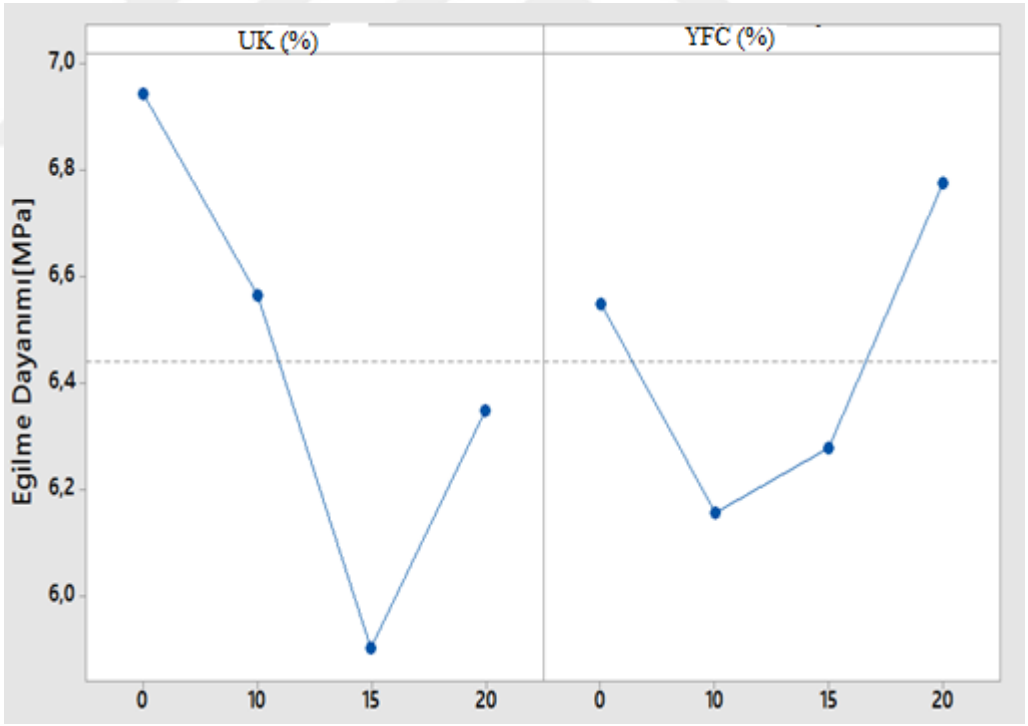
Çizelge 4.7. Eğilme Dayanım Performans Tahmin değerleri

Faktörler	Optimum Seviyeler	Parametrelerin S/N'ye olan Etkisi
Uçucu Kül	1	0,665
Yüksek Fırın Cürufu	4	0,426
Tüm Faktörlerin Katsayısı(S/N)		1,091
Ortalama Performans İstatistiği (S/N)		16,115
Optimum Şartlarda Beklenen Değer(S/N)		17,206
Doğrulama Deney Sonucu (S/N) (MPa)		17,206 / 4,561
Güven Aralığı (a= %95) (S/N)		16,321 – 4,334

Eğilme dayanımın için optimum seviyelerin 1 ve 4 olduğu Çizelge 4.8.'te görülmektedir. Bununla birlikte eğilme dayanımın üzerine en çok etkisi olan parametrenin uçucu kül olduğu, diğerinin yüksek fırın cürufu oranlarının olduğu görülmektedir. Deney planında Çizelge 4.6.'e bakıldığında optimum seviyedeki kombinasyonun karışım 3'te olduğu görülmektedir. Yapılan doğrulama deneyi sonucu optimum seviyenin %95 güven seviyesinde doğru olduğu söylenebilir (çizelge 4.7).

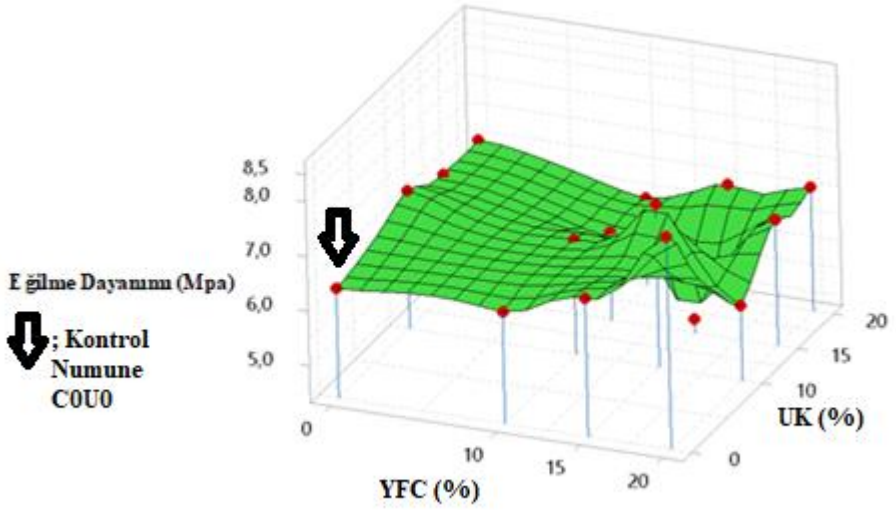


Şekil 4.8. Parametre seviyelerine göre eğilme dayanım S/N Oranları

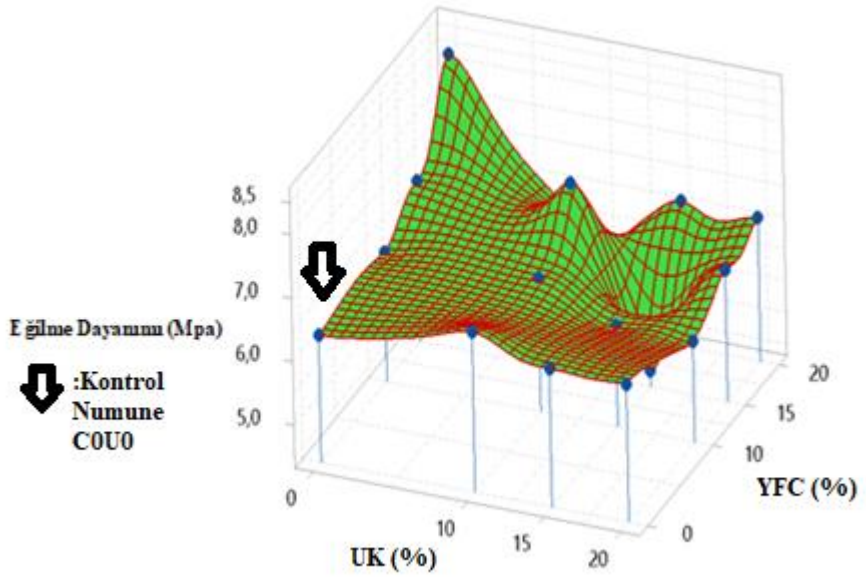


Şekil 4.9. Parametre seviyelerine göre eğilme dayanım Değerleri

Sonuçlar incelendiğinde; Şekil 4,8. ve 4,9.'da S/N oranının maksimum ve eğilmede dayanımının en büyük olduğu değerlerin uçucu kül oranının %0, yüksek fırın cürufu miktarının %20, çimento dozajının 320 kg/m^3 ve S/Ç oranının 0.45 olduğu parametre seviyelerinde elde edildiği görülmektedir. Bu değerler eğilmede dayanımının optimum olacağı parametre seviyelerini verir.



Şekil 4.10. YFC ve UK'ün etkisinde eğilme dayanımdaki değişim



Şekil 4.11. UK ve YFC etkisinde eğilme dayanımdaki değişimi

Kendiliğinden yerleşen beton numuneler içerisine uçucu kül ve yüksek fırın cürufu beton numuneleri görünüşte klasik betonların karışım benzetilse de, çeşitli yüklerin etkisi maruz kalarak bazı performans ve davranış bakımından klasik beton numunelerde farklılık gösterirler. Kendiliğinden yerleşen betonun içerisinde meydana gelecek farklı gerilmeler ve malzemenin içerisindeki çatlaklar sebebiyle düzensizdirler. Şekil 4.10.-4.11.'de yer alan grafiklerdeki değişim eğrileri incelendiğinde, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül oranındaki değişimlerin taze beton eğilme dayanımlarında artmaya veya düşmeye sebep olmamasına rağmen, beton içerisinde yüksek fırın cürufu ve uçucu kül oranındaki değişimlerin dahi eğilmede dayanımında ani değişimlere sebep olduğu görülmektedir. Şekil 4.10 -4.11 de yer alan grafiklerden görüleceği üzere, çimento yerine ilave edilen yüksek fırın cürufu %20 seviyesine beton numunelerinin eğilmede dayanımlarına olumlu yönde katkı sağlamıştır.

4.7. Ultra ses Geçiş Süresi Deneyi Sonuçları

Farklı oranlarda uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kendiliğinde yerleşmiş beton numuneleri üzerinde ultra ses geçiş deney sonuçları ve analiz sonucu hesaplanan S/N oranları Çizelge 4,9.' de verilmiştir. Numunelerinin ultra ses geçiş süresi üzerine etki eden parametrelerin S/N oranları ve optimum değerleri sırasıyla Şekil 4.12. ve 4.13.'de verilmiştir. Betonun ultra ses geçiş süresi değerinin yüksek olması daha iyi olacağı için S/N oranları hesaplanırken En büyük- En iyi durumu dikkate alınmış ve Denklem 3.1.2. kullanılmıştır.

$$S/N = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{Y_i^2}\right)$$

Çizelge 4.8. UPV S/N Oranları

Karışım Sayısı	UK (Kg)	YFC Kg)	UPV(Km/sn)	S/N Oranı
1	0	0	4,34	12,744
2	0	10	4,32	12,709
3	0	15	4,31	12,689
4	0	20	4,30	12,669
5	10	0	4,33	12,729
6	10	10	4,27	12,608
7	10	15	4,29	12,649
8	10	20	4,30	12,669
9	15	0	4,32	12,709
10	15	10	4,32	12,709
11	15	15	4,28	12,628
12	15	20	4,20	12,469
13	20	0	4,32	12,709
14	20	10	4,21	12,485
15	20	15	4,23	12,526
16	20	20	3,99	12,019
			Ortalama	12,607

Çizelge 4,9.'deki performans istatistikleri kullanılarak elde edilen ortalama S/N etkileyen değerleri Çizelge 4.10.'de verilmiştir.

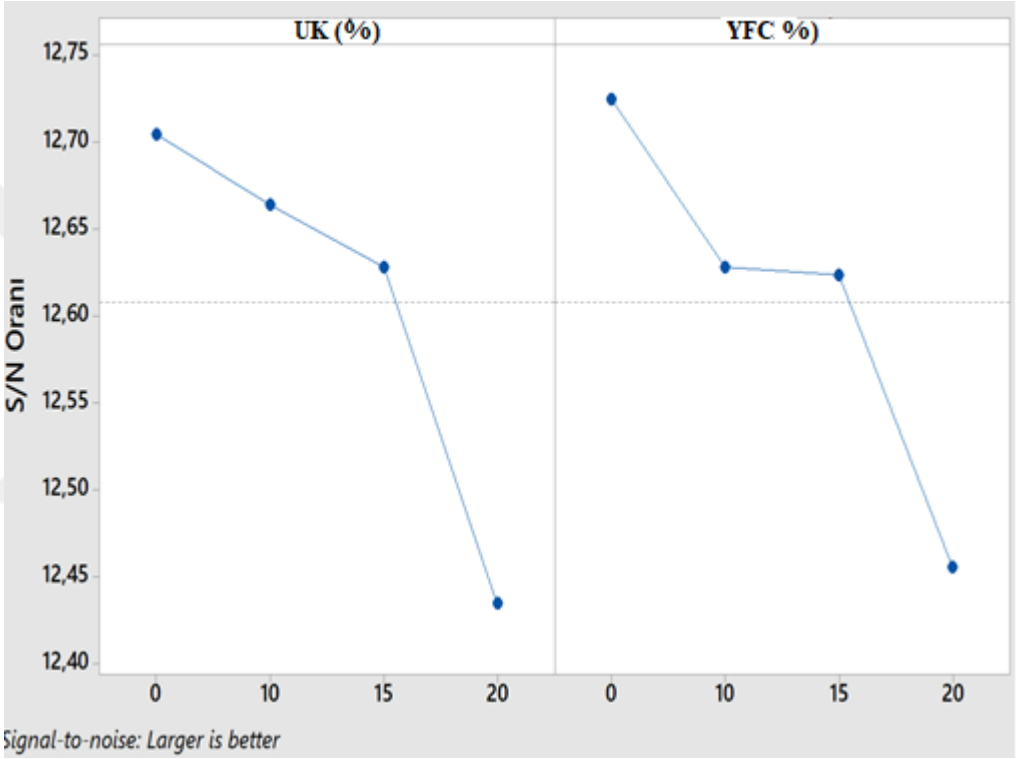
Çizelge 4.9. UPV S/N Etki değerleri

UPV Ortalama S/N Etkileri		
	UK (%)	**YFC (%)**
1. Seviye	12,704	12,724
2. Seviye	12,663	12,627
3. Seviye	12,627	12,623
4. Seviye	12,434	12,455

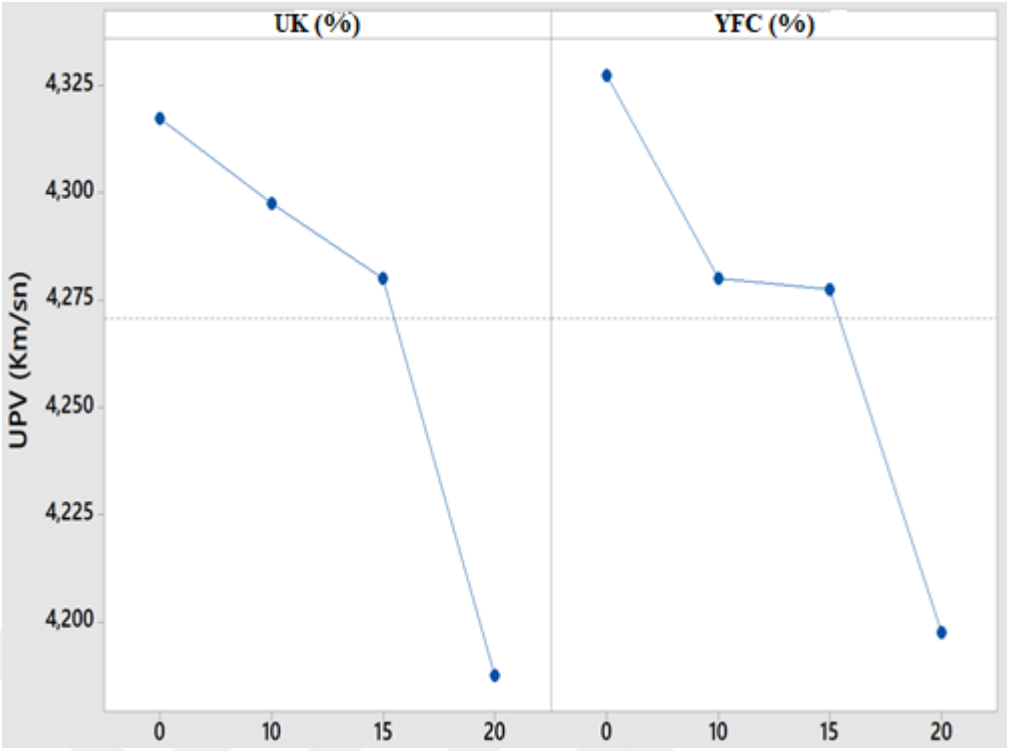
Çizelge 4.10**.** UPV Performans tahmin değerleri

Faktörler	Optimum Seviyeler	Parametrelerin S/N'ye olan Etkisi
Uçucu Kül	2	0,02
Yüksek Fırın Cürufu	1	0,117
Tüm Faktörlerin Katsayısı(S/N)		0,137
Ortalama Performans İstatistiği (S/N)		12,607
Optimum Şartlarda Beklenen Değer(S/N)		12,744
Doğrulama Deney Sonucu (S/N) (MPa)		12,744 / 4,34
Güven Aralığı (a= %95) (S/N)		12,107 – 4,57

Ultra ses geçiş sürelerinin optimum seviyelerin 2 ve 1 olduğu Çizelge 4.11.'de görülmektedir. Bununla birlikte Ultra ses geçiş sürelerinin üzerine en çok etkisi olan parametrenin yüksek fırın cürufu ve uçucu kül'ün kullanılmadığı kontrol numunesinde olduğu görülmektedir. Çizelge 4.9'e bakıldığında optimum seviyedeki kombinasyonun Karışım 1'de (kontrol numunesi) olduğu görülmektedir. Yapılan doğrulama deneyi sonucu optimum seviyenin %95 güven seviyesinde olduğu, çizelge 4.11.'de görülmektedir.



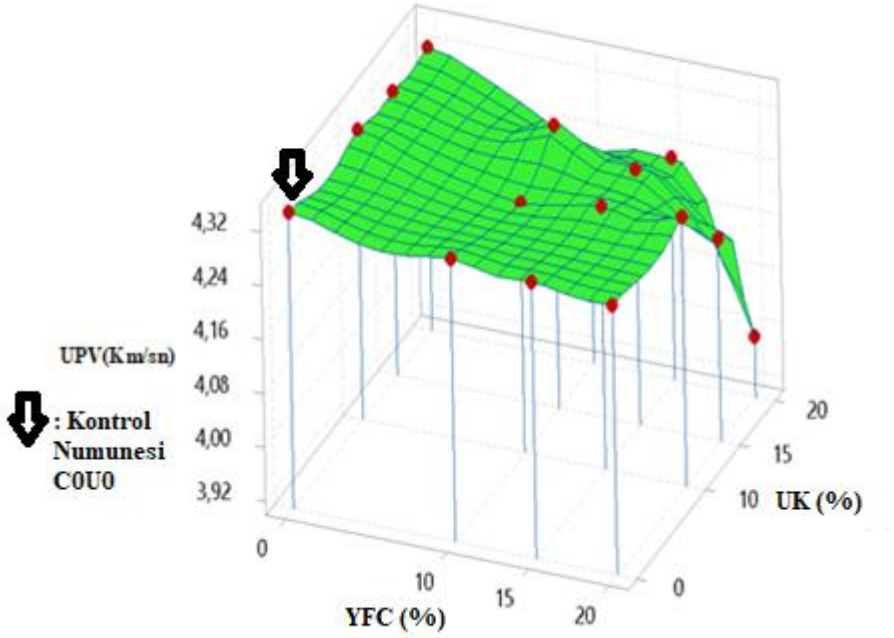
Şekil 4.12. Parametre seviyelerine göre S/N Oranları



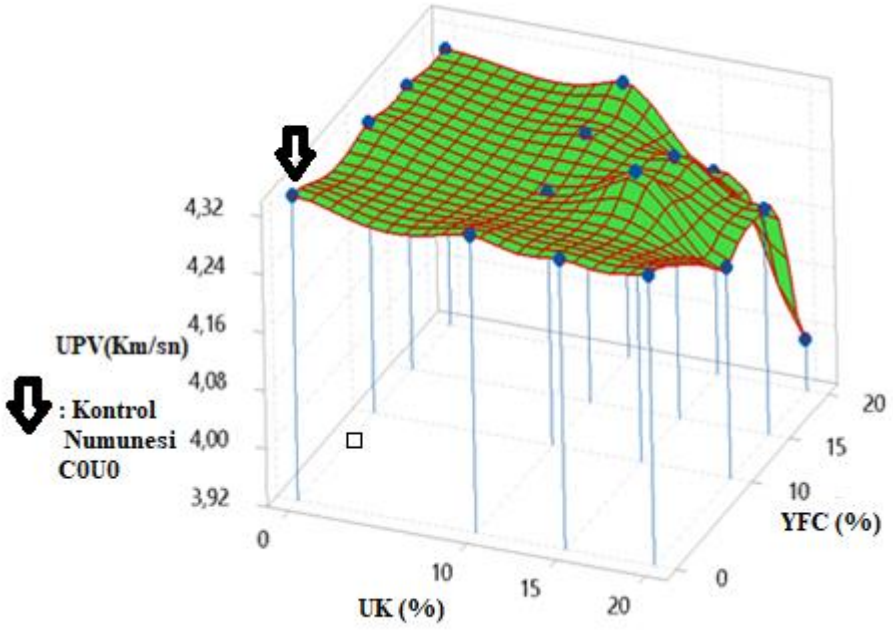
Şekil 4.13. Parametre seviyelerine göre ultra ses geçiş süresi değerleri

Sonuçlar incelendiğinde; Şekil 4.12. ve 4.13.'te S/N oranının maksimum olduğu ve ultra ses geçiş sürelerinin en büyük olduğu değerlerin uçucu kül oranının % 0, yüksek fırın cürufu miktarının %0, çimento dozajının 400 kg/m^3 ve S/Ç oranının 0.45 olduğu parametre seviyelerinde elde edildiği görülmektedir.

Bu değerler ultrases geçiş sürelerinin optimum olacağı parametre seviyelerini ifade etmektedir. Ultrases geçiş süresi test sonuçlarına bakılarak parametre seviyelerine göre değişiminin daha iyi bir şekilde yorumlanabilmesi için Şekil 4.14. – 4.15.'da verilen üç boyutlu grafikler hazırlandı.



Şekil 4.14. YFC ve UK 'ün etkisinde ultra ses geçiş süresi değişimi



Şekil 4.15. UK ve YFC etkisindeki ultrases geçiş süresi değişimi

Kendiliğinden yerleşen beton numuneler içerisine Şekil 4.14.-4.15. da yer alan grafiklerdeki değişim eğrileri incelendiğinde, uçucu kül oranının % 0, yüksek fırın cürufu miktarının %0 durumda beton numunelerinin ultrases geçiş süresi değeri

maksimum düzeye ulaşmıştır. Ultrases hızındaki artış malzeme gözenek'lik fazla ise numunede ultrases düşer. Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül miktarının ilavesine bağlı olacak beton numunelerinde meydana gelen ultrases geçiş sürelerinde yer yer düşüşün meydana geldiği belirlenmiştir. Boşluğu az olan betonun basınç mukavemetinin yüksek, çimento miktarındaki değişime bağlı olarak harç numunelerinin ultra ses geçiş hızı değerlerindeki değişim incelendiğinde ise, 400 kg/m^3 dozlu kontrol numunesinde iyi sonucun elde edildiği görülmüştür. Çizelge 3.11'e göre beton numunelerimizin 3,5 – 4 arasında olduğu bu da beton kalitesinin iyi düzeyde olduğunun göstergesidir

4.8. Beton test (Schmidt) çekici ile yüzey sertlik deneyi Sonuçları

Tahribatsız bir deney yöntemi olan beton test çekiç ile yüzey sertlik deneyinde farklı oranlarda uçucu kül ve yüksek fırın cürufu, Kendiliğinde Yerleşmiş Beton numuneleri üzerinde beton test çekici ile yüzey sertlik deney sonuçları ve analiz sonucu hesaplanan S/N oranları Çizelge 4.12.' de verilmiştir. Beton numunelerinin beton test çekici ile yüzey sertlik numune üzerine etki eden parametrelerin S/N oranları ve optimum değerleri sırasıyla Şekil 4.16.-4.17.'de verilmiştir. Beton test çekici ile yüzey sertlik değerinin yüksek olması daha iyi olacağı için S/N oranları hesaplanırken En büyük- En iyi durumu dikkate alınmış ve Denklem 3.1.2. kullanılmıştır.

$$S/N = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{Y_i^2}\right)$$

Çizelge 4.11. Schmidt çekiç S/N oranları

Karışım Sayısı	UK (Kg)	YFC (Kg)	Schmidt çekici (Geri tepme)	Basınç Dayanımı (Mpa)	S/N Oranı
1	0	0	30	29.1	29,542
2	0	10	36	39.9	31,126
3	0	15	39	46.1	31,821
4	0	20	42	50.4	32,464
5	10	0	32	32.5	30,103
6	10	10	40	48.1	32,041
7	10	15	42	52.5	32,464
8	10	20	38	43.9	31,595
9	15	0	33	34.4	30,370
10	15	10	34	36.1	30,629
11	15	15	32	32.5	30,103
12	15	20	40	48.1	32,041
13	20	0	34	36.1	30,629
14	20	10	34	36.1	30,629
15	20	15	34	36.1	30,881
16	20	20	32	32.5	30,103
			Ortalama		31,033

Çizelge 4.11.'deki performans istatistikleri kullanılarak elde edilen ortalama S/N'i etkileyen değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

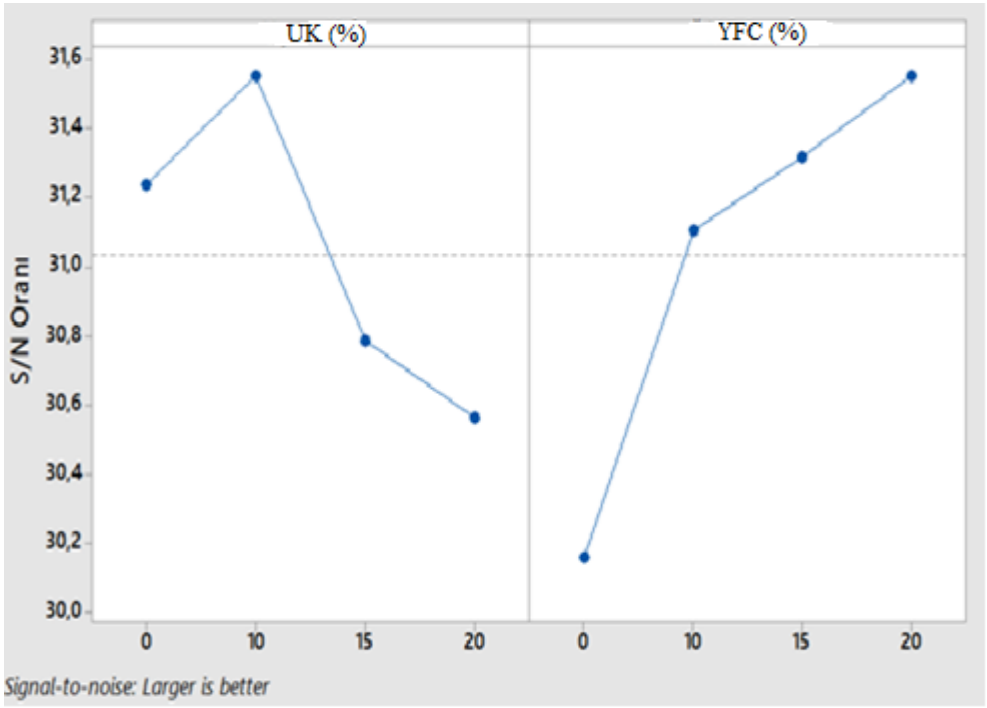
Çizelge 4.12. Schmidt Çekiç S/N Etki değerleri

Schmidt çekiç ortalama S/N Etkileri			
		UK (%)	**YFC (%)**
1.	**Seviye**	31,238	30,161
2.	**Seviye**	31,550	31,106
3.	**Seviye**	30,785	31,317
4.	**Seviye**	30,560	31,066

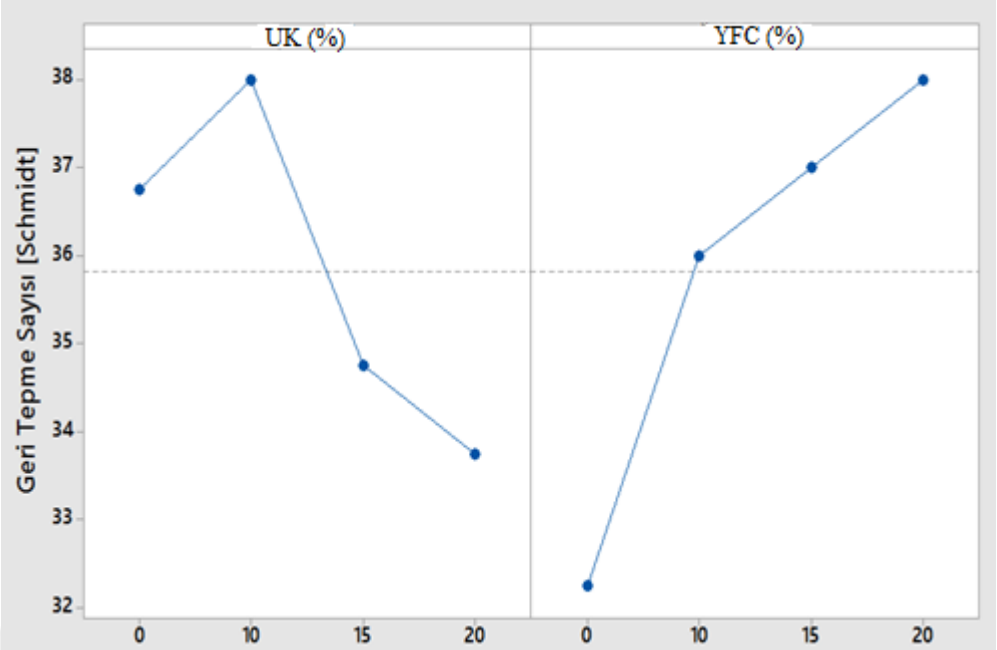
Çizelge 4.13. Schmidt çekiç performans tahmin değerleri

Faktörler	Optimum Seviyeler	Parametrelerin S/N'ye olan Etkisi
Uçucu Kül	2	0,517
Yüksek Fırın Cürufu	3	0,284
Tüm Faktörlerin Katsayısı(S/N)		0,801
Ortalama Performans İstatistiği (S/N)		31,033
Optimum Şartlarda Beklenen Değer(S/N)		31,834
Doğrulama Deney Sonucu (S/N) (MPa)		
Güven Aralığı (a: %95) (S/N)		

Beton test çekici deney sonuçları optimum seviyelerin 2 ve 3 Çizelge 4.13.'te olduğu görülmektedir. Schmidt çekiç en çok etkisi olan parametrenin % 10 uçucu külün olduğu, diğerinin ise %20 ile yüksek fırın cürufu olduğu görülmektedir. Deney planına Çizelge 4.12.'e bakıldığında optimum seviyedeki kombinasyonun olmadığı görülmektedir. Yapılan doğrulama deneyi sonucu optimum seviyenin %95 güvenlik seviyesinde test edilmiştir. Bu nedenle optimum şartlarda beklenen değer aralığı karışımdaki 3. ve 6. numunelerin geri tepme sayısı sırasıyla 39 ve 40 değerlerini almıştır. Bu aralık değerindeki 3. ve 6. numunelerin katkı miktarlarına bakılıp yeni bir karışım yapılmalı ya da geri tepme sayısı fazla olan değer alınmalıdır.

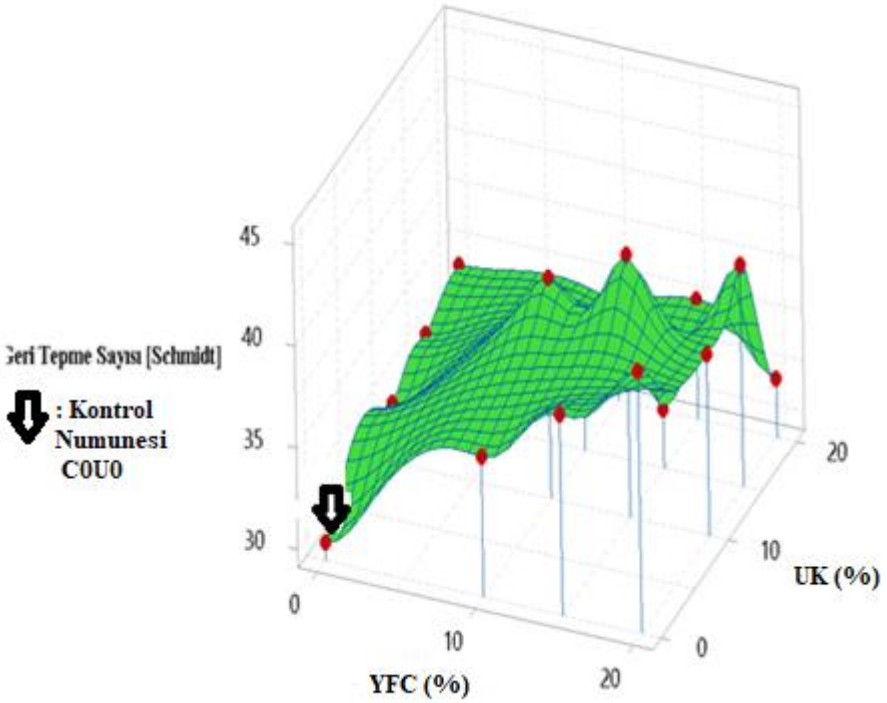


Şekil 4.16. Parametre seviyelerine göre S/N Oranları

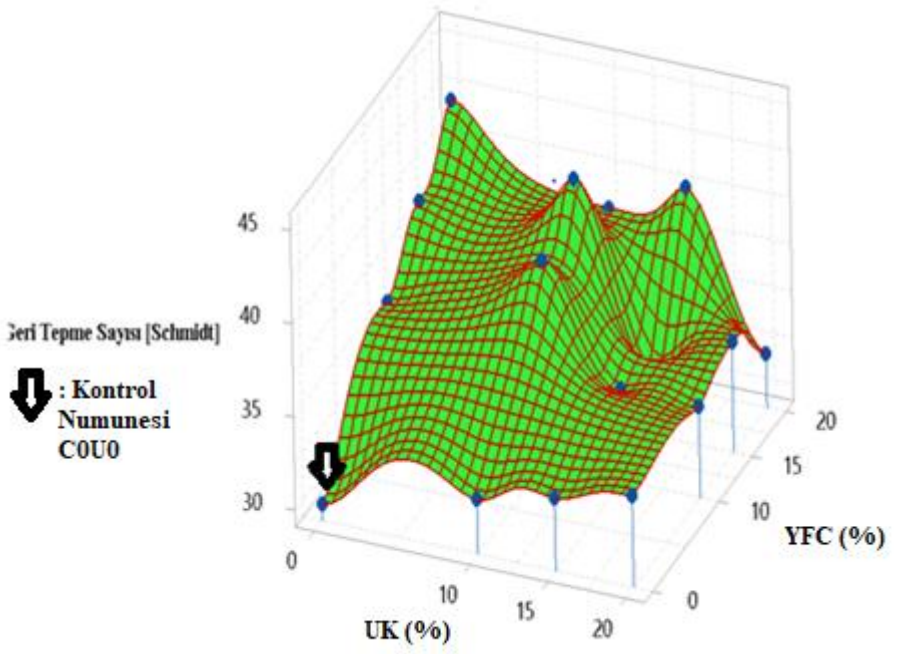


Şekil 4.17. Parametre seviyelerine göre Geri Tepme Sayısı (Schmidt) değerleri

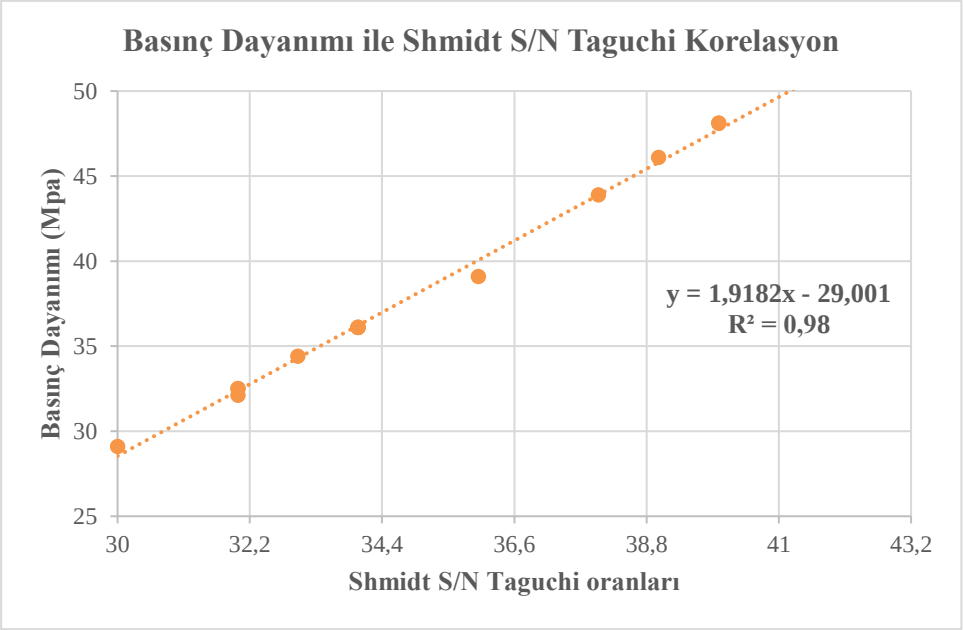
Bu değerler beton test çekici ile yüzey sertlik değerinin optimum olacağı parametre seviyelerini ifade etmektedir. Şekil 4.16. ve 4.17. incelendiğinde; S/N Oranının, maksimum olduğu ve beton test çekici ile yüzey sertlik değerinin en büyük olduğu, yaklaşık olarak uçucu kül oranının % 10, yüksek fırın cürufu miktarının %20, çimento dozajının 280 kg/m^3 ve S/Ç oranının 0.45 olduğu parametre seviyelerinde elde edildiği görülmektedir. Bu değerler beton test çekici ile yüzey sertlik değerinin optimum olacağı parametre seviyelerini ifade etmektedir.



Şekil 4.18. YFC ve UK 'ün etkisinde test çekici ile yüzey sertlik değişimi



Şekil 4.19. UK ve YFC etkisindeki test çekici ile yüzey sertlik değişimi



Şekil 4.20. KYB Karışım guruplarının Basınç dayanım ve shmidt arasında Korelasyon

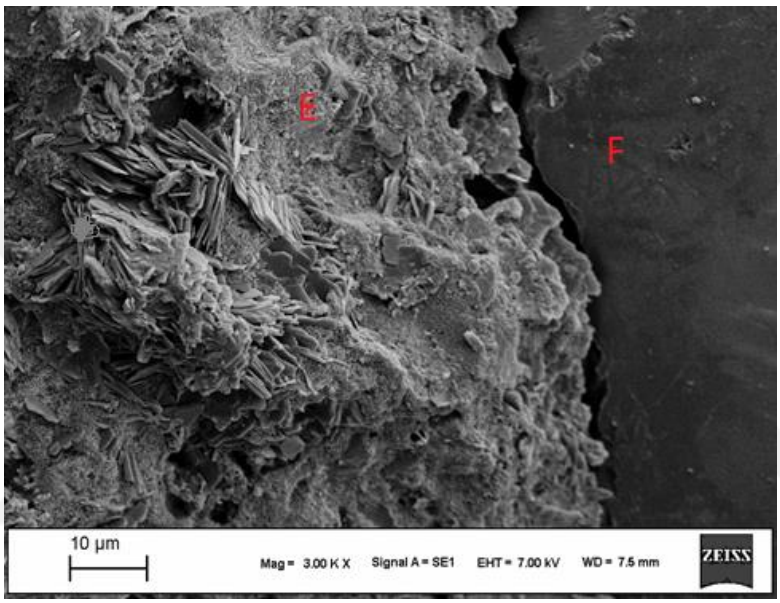
Şekil 4.18.-4.19 da yer alan grafiklerdeki değişim eğrileri incelendiğinde; Yüksek fırın cürufu %20 ve uçucu kül %10 parametresinde en iyi performans göstermiştir. Diğer parametrelerde ise beton numunelerinde meydana gelen çekiç ile yüzey sertlik değeri, diğer parametrelerde düşüşün meydana geldiği belirlenmiştir. Yüzey sertliği fazla olan betonun basınç dayınım yüksek, diğer fiziksel özelliklerinin ise istenilen düzeylerde olduğu bilinmektedir.

Çimento dozajındaki değişime bağlı olarak beton numunelerinin Yüzey sertliği değerlerindeki değişim incelendiğinde ise, 3. ve 6. numunelerin karışımları değerlendirilip numunenin yeniden hazırlanması gerekmektedir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufun diğer ikamelerinde ani değişmelerin olduğu meydana gelmiştir.

Korelasyon iki deyişken arasındaki ilişkilerden oluşur; Korelasyon değerleri pozitif, negatif ve sıfırdan oluşur. Artarken diğerinin de artması, azalırken diğerinin azalması demektir. Korelasyon 0-30 arasında ise düşük yüzey, 30-70 arasında ise orta düzey, 70-100 arasında ise yüksek düzey olarak tanımlanır. Yaptığımız çalışmada Şekil 4.23. gösterilen, korelasyon oranı 0,98 çıkmıştır. Buda bizim beton numunelerinin laboratuvar ve taguchi(S/N) değerlerinin iyi bir şekilde uyumlu olduğunun göstergesidir.

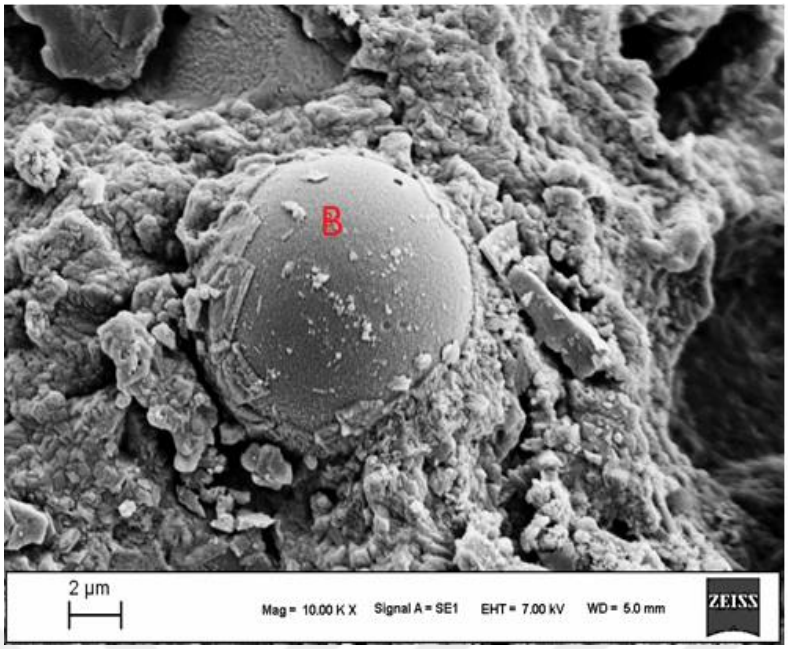
4.9. SEM Mikro Yapı Analiz Sonuçları

SEM incelemelerinde genel itibarıyla karışım reçetelerinde agrega çimento, öğütülmüş yüksek fırın cüruf ve uçucu kül hamuru ara yüzeyleri incenmiş olup, betonda çimento agregası kütle ara yüzleri, betonun mekanik özelliklerini ve bileşenlerinin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Kontrol numunesinin serisinin SEM incelenmesi Şekil 4.21'de görülmektedir.

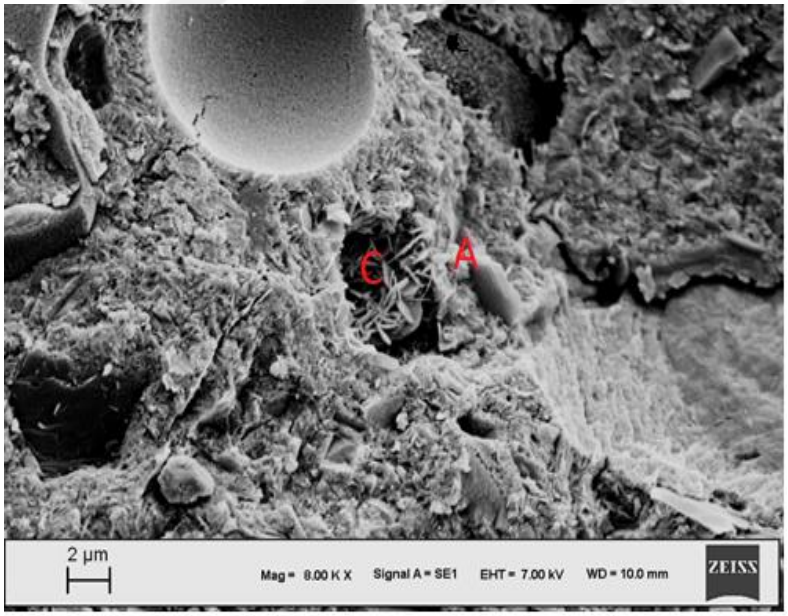


Şekil 4.21. Kontrol numunesindeki SEM görüntüsü (E:Çimentonun Hidratasyon ürünleri, F:Agrega)

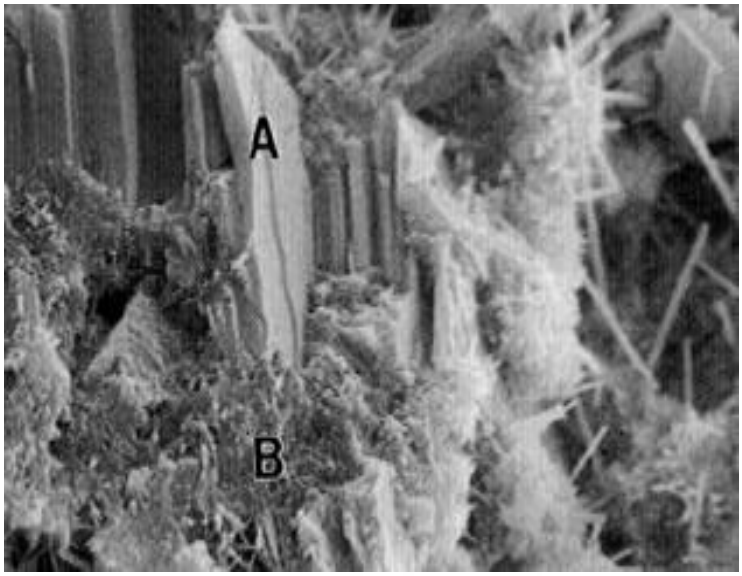
SEM çalışmasında, sertleşmiş beton numunesinde kimyasal katkı, çimento taneciklerinin homojen bir şekilde dağılmasına neden olmuştur. Bu durum hem çimento hamurunda hem de agrega ile çimento hamuru arasındaki ara yüzde hidratasyon ürünlerinin oluşmasına neden olmuştur. SEM görüntüsünde de görüleceği gibi farklı desenlerin görüldüğü, beton katkıların arasında yeterli aderansın olduğu, Agregaların çimentoyla iyi derecede bağlandığı çimento içerisindeki hidratasyonun iyi derecede gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.22. Uçucu Kül ’ün etrafındaki hidratasyon numunedeki SEM görüntüsü (B: Uçucu Kül)

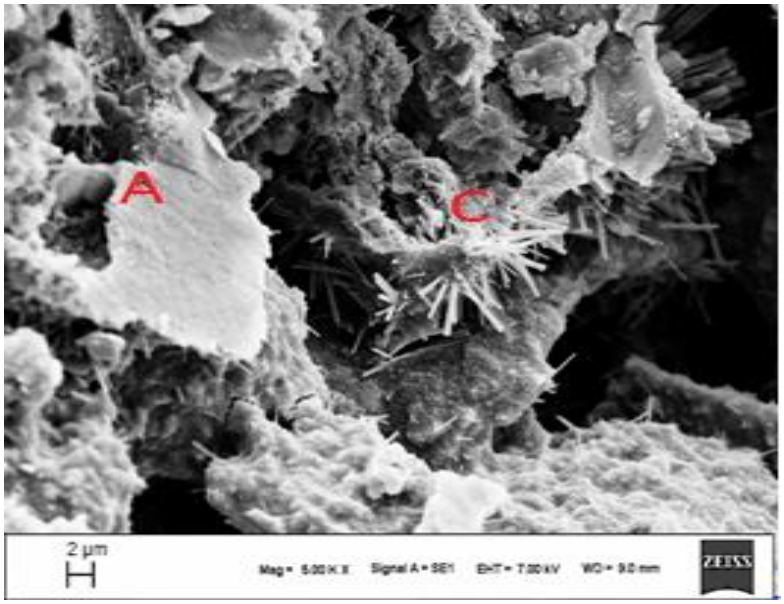


Şekil 4.23. Yüksek fırın cüruf ve çimento Katkılı numunenin SEM görüntüsü(A: C-H, C: C-S-H)

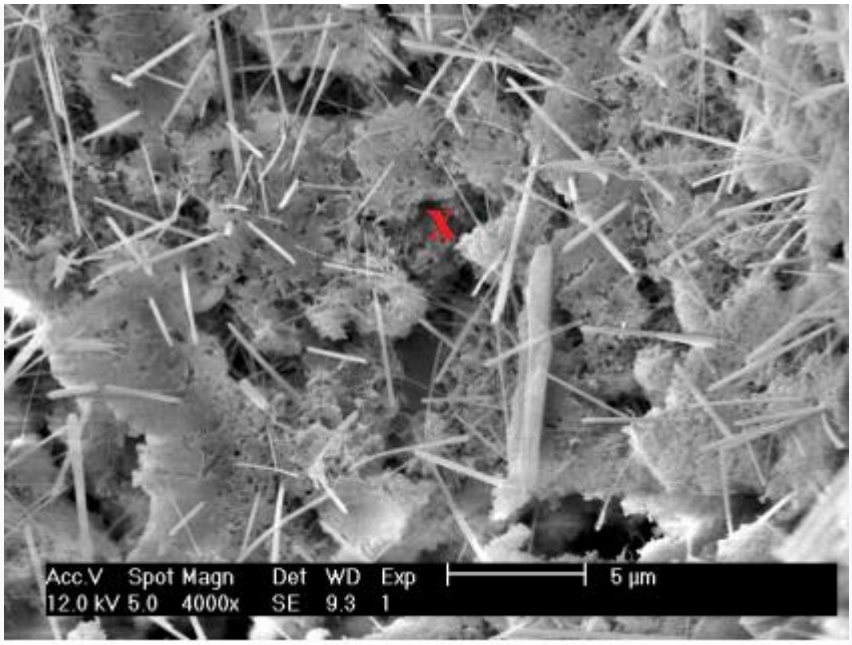


Şekil 4.24. B: C-S-H Jeli, A: CH (M. Arslan, M.S. Kırgız 2006)

Şekil 4.22.- 4.23.'de görüleceği üzere uçucu kül ve yüksek fırın cürufu Kendiliğinde Yerleşen Betona elektron mikroskop görüntüsünde görüleceği gibi beton katkıların arasında yerli aderansın sağladığı numunenin homojen bir yapıda olduğu, Uçucu Külün etrafında hidratasyonun iyi düzeyde sağladığı ve beton dayanımın yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.24.'de belirlenen yapının bizim numunelerde de aynı karakter gösterdiği gözlemlenmiştir.

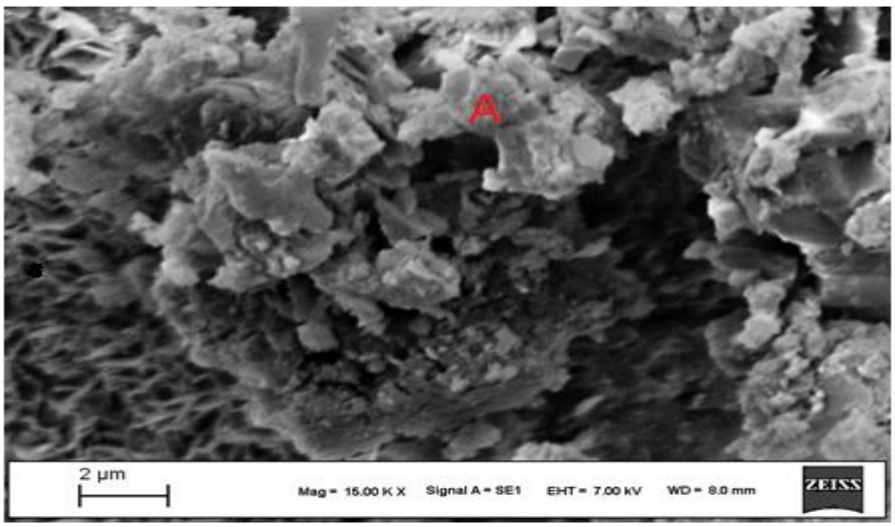


Şekil 4.25. Yüksek fırın cüruf ve çimento Katkılı numunenin SEM görüntüsü (A: C-H, C: C-S-H Jelleri)



Şekil 4.26. Gözenek içinde oluşan. X: C-S-H Jelleri (Pavlik ve Uzakova, 2016).

Şekil 4.25. – 4.26. Belirtilen yapının homojen bir karakter gösterdiği yer yer parçacıklı bir desen de görülmektedir. Görüntünün yerel ölçekte bazı lokasyonlarda, sıkılaşmış bir karakter gösterdiği uçucu kül ve yüksek fırın cürufun yeterli adaransın sağladığı, numuneler üzerinde homojen karakter gösterdiği. Tane boyut açısından bakıldığında ise C-S-H jellerinin gözenekli, iri taneli bir desen oluşturduğu ve çimentonun iyi derecede hidratasyonun sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Yüksek fırın cüruf Katkılı numunelerin SEM görüntüsü (A: Yüksek Fırın cüruf)

Şekil 4.27.de yer alan SEM resimlerinde görüleceği üzere, yüksek fırın cürufun, Çimentoyla iyi derecede hidratasyon sağladığı, Tane boyut açısından bakıldığında ise agregaların taneli, olduğu çimento yüksek fırın cürufu ile uyumun ve aderansın sağlandığı gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tez çalışmasında, Laboratuvarlarda yapılan testler ve analizler incelendiğinde bulduğumuz sonuçların değerlendirmeleri ışığında bazı önerilerimiz verilmiştir.

5.1.Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, bilimsel literatürdeki mevcut çalışmalar ışığında, Uçucu kül ve Yüksek Fırın cüruf tozu malzemelerinin KYB üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği ve betonun işlenebilirlik, çekme dayanımı, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve beton test çekici özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle, uçucu kül, yüksek fırın cüruf tozu malzemelerinin, çimento yerine sırasıyla %0-10-15-20 ve %0-10-15-20 oranlarında ikame edildiği beton numuneleri üzerinde 7 ve 28 günlük çekme dayanımı, basınç dayanımı, ultra ses geçiş hızı ve beton test çekici bakımından optimum ikame oranları belirlenmiştir.

Sonrasında ise, tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen referans KYB kontrol betonu ile birlikte, uçucu kül, yüksek fırın cüruf tozu malzemelerinin belirlenen optimum ve üzerindeki çimento yerine ikame edildiği diğer KYB beton grupları üretilmiştir. Üretilen bu beton numune grupları üzerinde, çalışmanın amacına yönelik sertleşmiş ve taze beton deneyleri yapılmış, belirtilen sonuçlar Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde verilerek incelenmiştir. Bu bölümde ise, çalışmada elde edilen bulgular ışığında ulaşılan genel sonuçlar ve ayrıca öneriler maddeler halinde verilmiştir.

5.2 Öneriler

1. Çalışma kapsamında, uçucu kül ve yüksek fırın cüruf tozu malzemelerinin KYB üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanımının, betonda genel olarak işlenebilirlik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.
2. Taguchi metoduyla yapılan analizler sonucunda tüm deneyler için optimum parametre seviyeleri; Basınç dayanımında uçucu kül ve yüksek fırın cürufu %20 parametresinde, Eğilme dayanımında uçucu kül %0, yüksek fırın cürufu

%20 parametresinde, Ultrasonik ses deneyinde (UPV) uçucu kül ve yüksek Fırın fürufu %0 parametresinde, Beton test çekiç (Schmidt) uçucu kül %10, yüksek fırın cürufu %20 parametresinde belirlenmiştir.

3. Taguchi metodu kullanılmış olup optimum değerlere kısa sürede ulaşılmasına rağmen elde edilen optimum değerler parametre seviyeleri ile sınırlıdır. Taguchi metodu farklı sayısal ve istatistik yöntemlerle birlikte kullanılması halinde ara değerlerdeki optimum sonuca da ulaşılabilir. Bundan dolayı Taguchi metodu ile beraber farklı yöntemlerle kullanılmasının daha uygun olacağı kanaatindeyiz.
4. Eğer deneylerde kullanılan parametreler için optimum değer belirlenmesi isteniyorsa Taguchi tabanlı gri ilişkisel analiz metodu kullanılabilir. Ayrıca, bu çalışmasında uçucu kül ve yüksek fırın cürufu deney sonuçları üzerine belli bir orandan sonra olumsuz yönde etki etmiştir.
5. Ayrıca bu çalışmada iki adet parametre kullanılmış olup parametre seviyesinin yükseltilip yani yapılan harçlarda üç yâda daha fazla atık kullanılarak taguchi yöntemiyle, atıkların çimento yerine kullanılarak yapılan analizler doğrultusunda olumlu sonuçlar elde edildiği takdirde ülke ekonomisine katkı sağlatılabilir.
6. 6 Şubat 2023 Tarihinde, depremden zarar gören, yapılara incelendiğinde; Kolon kiriş birleşim yerlerinde donatıların yoğun oldu kısımlarda, kırılmalar ve çatlamalar oluşmuştur. Bu nedenle normal betonun yerine kendiliğinden yerleşen betonunun kullanılması, yapılarımızın depremden daha az hasar alacağı kanaatindeyim.

KAYNAKLAR

AGARWAL, S. K., and GULATİ, D., 2006. Utilization of industrial wastes and unprocessed micro-fillers for making cost effective mortars. Construction and Building Materials, 20(10), 999-1004.

AHMAD, S AND ALGHAMDİ, A.S., 2014. A Statistical Approach to Optimizing Concrete Mixture Design. Research Article, Civil and Environmental Engineering Department, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia.

AKÜ DAL, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Doğaltaş Analiz Laboratuvarı. 'XRF Cihazı'. Erişim 10 Kasım 2022.

AKÜ TUAM, (2022). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi. 'Porozimetre Ölçümü Analizi'. Erişim 12 Ekim 2022.

ARICI, E., ve KELEŞTEMUR, O., 2018 Tufal Katkılı Harçların Basınç Dayanımının Taguchi Metodu ile Analizi. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 30(3), 145-151.

ASTM C 618. 2003. Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Cacined Natural Pozzolan fr Use in Concrete. ASTM International. West Conshohoochen. Retrieved from www.astm.org

ATLI, İ.,2012. Farklı İri Agrega İçeriğinin Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yüzey Aşınma Direncine Etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 65s.

BARADAN, B., YAZICI, H. ve AYDIN, S., 2015. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Beton

BAYRAK, O.Ü., 2007. Rijit Üstyapı Tasarımına Yeni Bir Yaklaşım Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 192s.

BİLİM, C. ve ATİÇ, C.D., 2011. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren harçların aşınma ve mukavemet özellikleri, Politeknik Dergisi, 2: 101-107.

BOX, George EP; BISGAARD, Søoren. The scientific context of quality improvement. Center for Quality and Productivity Improvement, University of Wisconsin--Madison, 1987.

CAN, S., Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (Proje No: 20038)

CAN, S., SARIIŞIK. A., and UYGUNOĞLU, T. "Effect of adding Na2SO4–MgSO4 solution on compressive strength of self-compacting concrete subjected to extreme conditions." Innovative Infrastructure Solutions 7,4 (2022): 277.

COLLEPARDİ, M., 2001. "A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC)", unpublished data, 10p.

ÇELİK, B., 2013. Farklı Su Emme Kapasitesine Sahip Agregaların Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze ve Sertleşmiş Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa

DEHN, F., 2002, High performance self compacting concretes for bridge construction, first north American conference on the design and use of self consolidating concrete, 438p.

EFNARC, 2002. The European Guidelines for Self Compacting Concrete, Specification, Production and Use. www.Efnarce.org. EFNARCE Association, UK.

EFNARC, 2005. The European Guidelines for Self Compacting Concrete, Specification, Production and Use. www.Efnarce.org. EFNARCE Association, UK.

ENBAYA, M.M., 2019. Atık mermer tozu kullanılarak üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların (KYB) Bazı özelliklerinin Araştırılması. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu, 67s.

ENGİN, Y., 2015. Yüksek Fırın Cürufu ve Yüksek Fırın Cüruflu Çimento Üretimi Özellikleri Etkileri, betonvecimento.com, 2015 (Ziyaret 12 Kasım. 2022).-

ERDOĞAN, S.T. ve ERDOĞAN, T.Y., 2010. Portland Çimentosunun Joseph Aspdin Tarafından İcadı ve Çimento Üretiminde Aspdin Ailesinin Rolü. Web Sitesi: http://www.as-beton.com/pdf/portland_cimentosunun_icadi.pdf, Erişim Tarihi: 05.08.2021.

ERDOĞAN, T.Y., 2016. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.ġ. Yayını, Ankara, 757s

ERKUŞ, T., 2021. Polipropilen lifli betonların Taguchi metodu ile Optimizasyonu. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 55s.

ERMCO, 2005. “The european guidelines for self-compacting concrete specification”, Production and Use, The European Ready-mix Concrete Organisation, pp. 10-68.

FELEKOĞLU, B. ve BARADAN, B,. 2004. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri, Beton 2004 Kongre Bildiri, 10-12 Haziran, İstanbul.

GENCEL, O., OZEL, C., KOKSAL, F., ERDOGMUS, E., MARTÍNEZ-BARRERA, G. and BROSTOW, W., 2012. Properties of concrete paving blocks made with waste marble. Journal of Cleaner Production, 21(1), 62-70.

GESOĞLU, M., GÜNEYİSİ, E. ve ÖZBAY, E., 2007. Mineral Katkılar Kullanılarak Elde Edilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri ,7. Ulusal Beton Kongresi Kasım, İstanbul , s.28-30

GÜL, R. and ÇELİK, C., 2008. A Taguchi approach for investigation of some physical properties of concrete produced from mineral admixtures. Building and Environment, 1127–1137.

HÜBTAM, Harran Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi. ‘SEM’. Erişim 10 Aralık 2022

JACOBS, F. and HUNKELER F., 1999, Design of self compacting concrete for durable concrete structures, proceedings of the first international RILEM symposium, 397

KESKİN, T., TÜRKYILMAZ, O., KAYADELEN, M. ve BATUR, E., 2014. Enerji Ekipmanları Yerli Üretimi Durum Değerlendirmesi ve Öneriler –TMMOB Makine Mühendisleri Odası , Yayın MMO 621 ,49-52, Ekim 2014.

KIRGIZ. M., S., 2011, İkameli ve Katkılı Çimento Pastalarının Hidratasyon Bileşiklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanılarak belirlenmesine ilişkin literatür Araştırmaları Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXIV, Sayı:, 2011

LAMOND, J. F.,and PİELERT, J.H., 2006. Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials. West Conshohocken: ASTM International.

LEE, KW, BRAYTON, TE, MUELLER, M. VE SİNGH, A. (2016). Soğuk Yerinde Geri Dönüşüm Asfalt Karışımları ve Performans Tahmini için Rasyonel Karışım

Tasarımı Prosedürü. İnşaat Mühendisliğinde Malzeme Dergisi, 28 (6), 04016008.

MATOS, A. M., MAİA, L., NUNES, S. and MİLHEİRO-OLİVEİRA, P., 2018. Design of self- compacting high-performance concrete: Study of mortar phase. Construction and Building Materials, 167, 617-630.

MUTYILMAZ, S., 2014 Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yol Betonu Olarak Kullanılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 168s.

NURUDDİN, M. ve BAYUAJİ, R. 2009. Application of Taguchi's approach in the optimization of mix proportion for Microwave Incinerated Rice Husk Ash foamed concrete. International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE, 121–129.

OKAMURA, H. and OUCHİ, M., 1999. Self Compacting Concrete Development, Present and Future, Proceeding of 1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Sweden.

ÖZBEY, Ö.F., (2022). Kendiliğinde Yerleşen Betonda Oksidiyen ve Çinko Cüruf Tozu katkıları Kullanımının Araştırılması, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 89s.

ÖZGÜLER, A. T. , 2007 Kendiliğinden Yerleşen Betonların mekaniksel özelliklerine agrega tipinin etkisi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 72s.

PAVLİK, V., & UZAKOVA, M. (2016). Effect of Curing Conditions on the Properties of lime, lime–Metakaolin and lime–Zeolite Mortars. Construction and Building Materials, 102, 14-25.

PEPE, M., TOLEDO FİLHO, R.D., KOENDERS, E. A., and MARTİNELLİ, E., 2016. A novel mix design methodology for Recycled Aggregate Concrete. Construction and Building Materials, 122, 362-372.

RAMROOM, A., A.,M., 2020 Taguchi Metodu İle Üretilen Ultra Yüksek Performanslı Betonda (UYPB)Mineral Katkıların etkisi ve Optimizasyonu. Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu, 112s.

RAO, H. S., GHORPADE, V.G., RAMANA, N.V. and GNANESWAR, K., 2010. Response of SIFCON two – way slabs under impact loading. International Journal of Impact Engineering, (37), 452–458

REDA, T. M. M., 2018. International Congress on Polymers in Concrete (ICPIC 2018): Polymers for resilient and sustainable concrete infrastructure. Cham, Switzerland: Springer.

ROLS, S.V.D., 1999. Effects of different viscosity agents on the properties of self leveling concrete, Cement Concrete Res., Vol. 29, 261-26

ROSS, P. J., 1996, Taguchi Techniques for Quality Engineering, Second Edition, New York: McGraw-Hill.

SÖNMEZ, H.T., 2008. Yüksek Fırın Cürufunun kendiliğinden yerleşen betonlara etkileri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,

ŞAHMARAN, M.; YAMAN, İ. Ö.; TOKYAY, M. Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton. THBB Hazır Beton Dergisi, 2004, 79: 70-74.

ŞENOL, A.F., 2019. Yüksek dayanımlı Kendiliğin Yerleşen Betonların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerine Agrega tipinin etkisi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 87s.

TS EN 1008, 2000. Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerde geri kazanılan su dâhil, suyun, beton, karma suyu olarak uygunluğunun tayini Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-6, 2002. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme nihai tayini Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-6, 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler – Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranlarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12350 -2, 2002. Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slamp) deneyi Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12350 -2, 2010. Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12350 -9, 2011.Taze beton deneyleri bölüm 9: Kendiliğinden yerleşen beton-Çökme-V hunisi deneyi Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3, 2003. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-5, 2002. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımın Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12504-4, 2004. Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız deneyler - Geri gidiş tahmini Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12504-4, 2004.Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrases geçiş hızının tayini Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 197-1, 2002, Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 206-1 ,Beton Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk,,

TS EN 450-1, 2013. Uçucu kül - Betonda kullanılan - Bölüm 1: Tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 802, 2016. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-1, 1999. Agregaların Geometrik özellikleri için Deneyler – Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 934-2 2002 Kimyasal katkılar- Beton, harç ve şerbet için- Bölüm 2: Beton katkıları- Tarifler ve özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS. EN., 197-1 2012. Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TÜRK K., 2010. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar Sunumu

UYGUNOĞLU, T.,(2008), Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özelikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Doktora Tezi. Isparta, 155s.

ÜNLÜ, R.,(2020), Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda ince Agreganın Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu ile Yer değişmesinin Beton Özelliklerine Etkisi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 71s.

WALRAVEN, J., (2002). "Self-Compacting Concrete in the Netherlands", Firs North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp.399-404.

YAMADA, KAZUO, ET AL. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer. Cement and concrete research, 2000, 30.2: 197-207.

YAZICI, H., 2016. Özel Betonlar Dersi Kendiliğinden Yerleşen Betonlar Sunumu

YILMAZ, İ., 2018. Uçucu kül, Yüksek fırın cürufu ve Zeolit Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların İşlenebilirlik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 53s.