

**T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÜRETİMİNDE UÇUCU
KÜL VE MERMER TOZU KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Mohamed H T ZARROG

**Danışman
Jüri Üyesi
Juri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Selçuk MEMİŞ
Prof. Dr. Sırrı ŞAHİN
Prof. Dr. Hasbi YAPRAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2020

TEZ ONAYI

Mohamed H.T. ZARROG tarafından hazırlanan "**Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) Üretiminde Uçucu Kül ve Mermer Tozu Kullanımının Araştırılması**" adlı tez çalışması **06/02/2020 tarihinde** aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Selçuk MEMİŞ Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Sırrı ŞAHİN Atatürk Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Hasbi YAPRAK Kastamonu Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Nur BELKAYALI



TAAHHÜTNAME

Tezdeki tüm bilgilerin etik davranış ve akademik düzenlemeler çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Mohamed H T ZARROG



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON ÜRETİMİNDE UÇUCU KÜL VE MERMER TOZU KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Mohamed H T ZARROG

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk MEMİŞ

Dünya genelinde gerek termik santraller gerekse çimento üretim süreci her yıl milyonlarca ton toz atmosfere karışarak çevresel bir problem oluşturmaktadır. Ayrıca atmosfere yayılan tozlar insanların solunum hastalıklarına ve sağlık sorunlarına neden olan büyük bir problemdir. Bu sorunların çözümünde, endüstriyel yan ürün olarak ta ifade edilen bu tozların kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretiminde ya çimentoya ikame olarak ya da mineral katkı maddesi şeklinde kullanmak alternatif bir çözüm olarak görülmektedir. Bu çalışma, endüstriyel yan ürünlerin KYB'nin özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla, KYB'nin hazırlanmasında Portland çimentosu (PÇ), ince agrega, kaba agrega, kum, su, uçucu kül (UK), mermer tozu (MT) ve süperakışkanlaştırıcı (SA) maddeler kullanılmıştır. Karışımlarda çimento yerine %0, %10, %20 ve %30 oranlarında UK ile %0, %5 ve %10 oranlarında MT kullanılarak 12 grup hazırlanmış ve KYB'nin yayılma çapı, yoğunluğu, porozitesi, su emme oranı, basınç ve eğilme dayanımları, ultrasonik ses geçiş hızı (UPV) ile yüksek sıcaklık etkisine karşı dayanım özellikleri belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, MT ve UK artan kullanımı ile porozitede azalmaya neden olduğu, MT kullanımının su emme oranı üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu, %5 MT ve %30 UK kullanımında %1,8 ile en düşük su emme oranına ulaşılabildiği, en yüksek dayanıma ise %20 UK katkısına ilave olarak maksimum %10 MT kullanımında ulaşılabildiği görülmüştür. Ancak kompasitesi daha iyi bir beton üretiminde ise MT'dan ziyade UK kullanımının daha etkili olduğu ve %20 UK kullanımında 4,62 km/s ile en iyi UPV sağlandığı, çekme dayanımının maksimum değeri %10 MT ve %20 UK kullanımı ile 4.49 Mpa olduğu gözlemlenmiştir. Kür süresi arttıkça çekme dayanımının da arttığı, MT'nun artırılmasının nispeten dayanımı azalttığı ve artan sıcaklık ile kütle kaybı oranının artmasına paralel, basınç dayanımında da artan MT ve UK kullanıma bağlı olarak bir olumlu etkiye sahip olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mineral katkılar, özellikleri, kendinden yerleşen betonlar, KYB.

2020, 94 Sayfa

Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF THE USE OF FLY ASH AND MARBLE POWDER IN CONCRETE PRODUCTION IN SELF-COMPACTING CONCRETE

Mohamed H T ZARROG

Kastamonu University
Graduate School of Natural And Applied Sciences
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Selçuk MEMİŞ

Throughout the world, both thermal power plants and cement production processes are mixed with millions of tons of dust every year, creating an environmental problem. Also, dust emitted into the atmosphere is a major problem that causes people's respiratory diseases and health problems. In the solution of these problems, it is seen as an alternative solution to use these powders, which are also referred to as industrial by-products, in the self-compacting concrete (SCC) production either as a substitute for cement or as a mineral additive.

This study aims to investigate the effects of industrial by-products on the properties of SCC. For this purpose, Portland cement (OPC), fine aggregate, coarse aggregate, sand, water, fly ash (UK), marble powder (MT) and superplasticizer (SA) were used in the preparation of SCC. In the mixtures, 12 groups were prepared using 0%, 10%, 20% and 30% MT with 0%, 5% and 10% MT instead of cement, and spreading diameter, density, porosity, water absorption rate, pressure and flexural strength of SCC, ultrasonic pulse velocity (UPV) and high temperature resistance properties were determined.

The obtained results indicated that the porosity decreased with increasing of MT and UK content, also the use of MT has a negative impact on the water absorption rates, the lowest water absorption rate was achieved with 1.8% in 5% MT and 30% UK. In addition to 20% UK contribution, it was observed that high strength can be achieved with a maximum use of 10% MT. However, in a better concrete production, the use of UK is more effective than MT and the best UPV is achieved with 4.62 km / s in 20% UK use, the maximum value of tensile strength is 10% MT and 4.49 MPa with 20% UK use. It was observed. It has been determined that as the curing time increases, the tensile strength increases, increasing the MT decreases the strength relatively and may have a positive effect depending on the use of MT and UK in parallel with the increase in the temperature and mass loss rate.

Key Words: Mineral admixtures, properties, self-compacting concretes, KYB.

2020, 94 Page
Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Bana bu alıŐmayı bitirmek için sağlık, Őans, sabır ve anlayıŐ veren Allaha hamdũ senalar olsun. Onun tũm salat ve selamı Muhammed Mustafanın (SAV) ūzerine olsun.

Tez danıŐmanım Dr. Őėr. Ūyesi Selçuk MEMİŐ'e bana verdiği ilham, teŐvik, dikkat çekici yardım ve sũrekli destek için, derin Őũkran ve takdirle teŐekkũrlerimi sunuyorum. Bu sũrete onunla çalıŐmak benim için mũkemmel bir Őėrenme ve tecrũbe kazanma Őansı oldu. Aynı zamanda Prof. Dr. Sırrı ŐAHİN ve Dr. Őėr. Ūyesi Gũkhan KAPLAN hocalarıma da araŐtırmalarımda yaptığı rehberlik, verdiği teknik destek ve Őnerileri için iten teŐekkũrlerimi iletmek istiyorum.

Lũtfũ GŐKDERE, Uėur SARIKAYA yanı sıra KASTAMONU ŪNİVERSİTESİ asistanlarına ve yakın arkadaŐlarım ve deneysel çalıŐmamda bana yardım eden ve destek veren yapısal mekanik laboratuvarı kadromuza da Őzel teŐekkũrlerimi iletmek istiyorum.

Kariyerim boyunca sũrekli duaları, yŐnlendirmeleri, teŐvikleri ve destekleri için aileme, abilerime ve kız kardeŐime teŐekkũr etmek istiyorum. Onlar bana gũ, ilham ve gũven kaynağı oldular.

Mohamed H T ZARROG
2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
TAAHHÜTNAME.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	13
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	16
2.1. Kendinden Yerleşen Beton (KYB).....	16
2.1.1. KYB Bileşenleri.....	16
2.1.2. KYB Gelişimi.....	18
2.1.3. Normal Portland Çimentosu (NPÇ).....	19
2.1.4. KYB'nin Sınıflandırılması.....	19
2.1.5. Kür koşullarının KYB Üzerindeki Etkileri.....	20
2.2. KYB Bileşenlerinin Etkileri.....	20
2.2.1. Çimento.....	21
2.2.2. Karışım Suyu.....	21
2.2.3. Agregalar.....	21
2.2.4. Mineral Katkılar.....	23
2.2.5. Kimyasal Katkılar.....	25
2.2.6. Mermer Tozu (MT).....	27
2.3. KYB Konusunda Literatüre Ait Bazı Çalışmalar.....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1. Materyal.....	35
3.1.1. Portland Çimentosu.....	35
3.1.2. Uçucu Kül (UK).....	36
3.1.3. Süperakışkanlaştırıcı (SA).....	37
3.1.4. Agregalar.....	38
3.1.5. Mermer Tozu (MT).....	40
3.1.6. Su.....	41
3.2. KYB Karışım Seçeneklerinin Beirlenmesi.....	41
3.2.1. Karışım Oranlarının Belirlenmesi.....	41
3.2.2. Test Numunelerinin Dökümü.....	42
3.2.3. Kür Koşulları.....	44
3.3. Yöntem.....	45
3.3.1. Yayılma Tablası Testi.....	45
3.3.2. Yoğunluk, Su Emme Oranı ve Prozite Testi.....	46
3.3.3. Basınç Dayanımı Testi.....	48
3.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı Testi.....	49
3.3.5. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı (UPV).....	50
3.3.6. Yüksek Sıcaklık Etkisi.....	51
4. TARTIŞMA VE BULGULAR.....	52
4.1. Yayılma Tablası Testi.....	52

4.2. Yoğunluk Testi	55
4.3. Porozite Testi.....	60
4.4. Su Emme Oranı	62
4.5. Basınç Dayanımı Testi	67
4.6. Yarmada Çekme Dayanımı	72
4.7. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı (UPV).....	75
4.8. Yüksek Sıcaklık Etkisi Testi	78
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
5.1. Sonuçlar.....	83
5.2. Öneriler.....	84
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	94



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. KYB üretim süreci	17
Şekil 2.2. KYB üretiminin temelleri	18
Şekil 3.1. Geleneksel portland çimentosu	36
Şekil 3.2. Kullanılan UK	37
Şekil 3.3. KYB üretiminde kullanılan agregalar	39
Şekil 3.4. Kullanılan agregaya ait elek analizi	39
Şekil 3.5. Agregaya karışımlarına ait optimum elek analizi sonucu.....	39
Şekil 3.6. Beton karışımında kullanılan MP	41
Şekil 3.7. Mikser	43
Şekil 3.8. KYB karışımında kullanılan malzemeler	43
Şekil 3.9. Beton döküm süreci	44
Şekil 3.10. Su kürü	44
Şekil 3.11. Yayılma tablası test aparatı	45
Şekil 3.12. Yayılma çapı testi	46
Şekil 3.13. Yoğunluk test süreci	47
Şekil 3.14. Arşimet terazisi	47
Şekil 3.15. Daldırma esnasında beton örnekler.....	48
Şekil 3.16. Basınç test cihazı	49
Şekil 3.17. Yarmada çekme dayanımı deneyi.....	50
Şekil 3.18. UPV'nin ölçülmesi	50
Şekil 3.19. Yüksek sıcaklık sonrası bazı KYB örnekleri.....	51
Şekil 4.1. Yayılma çaplarındaki değişim	53
Şekil 4.2. KYB'deki UK' oranı ve çökme yayılma arasındaki ilişki.....	53
Şekil 4.3. KYB'deki MT oranı ve yayılma çapı arasındaki ilişki.....	54
Şekil 4.4. UK ve MT katkısının yayılma çapına etkisinin belirlenmesi	55
Şekil 4.5. KYB'larda yoğunluklardaki değişimler.....	56
Şekil 4.6. Beton yoğunluk değerleri.....	57
Şekil 4.7. UK ve MT oranları ile kuru kütle yoğunluğu arasındaki ilişki.....	58
Şekil 4.8. KYB'ların MT oranı ve kuru hacim kütle yoğunluğu arasındaki ilişki...	58
Şekil 4.9. UK oranı ve kuru hacim kütle yoğunluğu arasındaki ilişki	59
Şekil 4.10. UK ve MT katkısının yoğunluğa etkisinin belirlenmesi.....	59
Şekil 4.11. KYB örneklerin poroziteleri	61
Şekil 4.12. MT ve UK'ün poroziteye etkisi	61
Şekil 4.13. MT ve UK'ün gözenekliliğe etkisi	62
Şekil 4.14. KYB karışımlarının su emme oranlarındaki değişim	63
Şekil 4.15. MT ve UK'ün su emme oranına etkisi.....	64
Şekil 4.16. MT'nun su emme oranına etkisi	65
Şekil 4.17. UK'ün su emme oranına etkisi	65
Şekil 4.18. Su emme oranı ile Porozite arasındaki ilişki.....	66
Şekil 4.19. UK ve MT'nun su emme oranına etkisi.....	67
Şekil 4.20. KYB'ların basınç dayanımlarındaki değişimi	68
Şekil 4.21. KYB'larda basınç dayanımlarının zamansal değişimi.....	68
Şekil 4.22. MT ve UK kullanımının basınç dayanımına etkisi	69
Şekil 4.23. MT ve UK kullanımının basınç dayanımına etkisi	70
Şekil 4.24. Basınç dayanımı ile porozite arasındaki ilişki	71

Şekil 4.25. Su emme oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	71
Şekil 4.26. Yarmada çekme dayanımı değerlerindeki değişim.....	72
Şekil 4.27. MT ve UK'ün yarmada çekme dayanımı üzerine etkisi	73
Şekil 4.28. MT ve UK'ün Yarmada çekme dayanımı üzerine etkisi	73
Şekil 4.29. UK'ün çekme dayanımına etkisi.....	74
Şekil 4.30. MT'nun Yarmada çekme dayanımına etkisi.....	74
Şekil 4.31. Eğilme dayanımı ile basınç dayanımına arasındaki ilişki.....	75
Şekil 4.32. UK'ün Yarmada çekme dayanımına etkisi	75
Şekil 4.33. KYB'ların UPV değişimleri	76
Şekil 4.34. UK ve MT'nun UPV'ye etkisi.....	77
Şekil 4.35. UK ve MT'na göre UPV'nin belirlenmesi.....	77
Şekil 4.36. Yüksek sıcaklığın basınç dayanımına etkisi	79
Şekil 4.37. Yüksek sıcaklığın kütle kaybına etkisi	79
Şekil 4.38. 300°C'de Basınç Dayanımı	80
Şekil 4.39. 400°C'de Basınç Dayanımı	80
Şekil 4.40. 500°C'de Basınç Dayanımı	81
Şekil 4.41. MT ve UK'ün yüksek sıcaklıktaki etkileri.....	82

TABLolar DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Çimentonun kimyasal bileşenleri	35
Tablo 3.2. Çimentonun mekanik ve fiziksel özellikleri	36
Tablo 3.3. UK'ün kimyasal özellikleri.....	37
Tablo 3.4. SA'ya ait teknik özellikler	38
Tablo 3.5. Kaba ve ince agregaların özellikleri	38
Tablo 3.6. MT'nun fiziksel özellikleri	40
Tablo 3.7. Karışım tasarımında malzemelerin kullanım oranları	42
Tablo 3.8. KYB karışım tasarımı detayları	42
Tablo 3.9. Beton kalitesinin sınıflandırılması	50
Tablo 4.1. Yayılma çapı deney sonuçları.....	52
Tablo 4.2. KYB'larda yoğunluk değişim sonuçları	55
Tablo 4.3. Porozite deney sonuçları.....	60
Tablo 4.4. Su emme oranı test sonuçları	63
Tablo 4.5. KYB karışımlarının basınç dayanım sonuçları.....	67
Tablo 4.6. Farklı kütleme sürelerinde çekme dayanımı.....	72
Tablo 4.7. KYB'ların ultrasonik ses geçiş hızları	76
Tablo 4.8. Yüksek sıcaklıkta basınç dayanımı.....	78
Tablo 4.9. Yüksek sıcaklıkta Kütle Kaybı Oranı	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
UK	Uçucu Kül
NPC	Normal Portland Çimentosu
YFC	Yüksek Fırın Cürufu
UPV	Ultrasonik Ses Geçiş Hızı
W	Su
S/Ç	Su / Çimento Oranı
SA	Süper Akışkanlaştırıcı
VAK	Viskozite Değiştirici Katkı Maddeleri

1. GİRİŞ

İnsan yapımı bir malzeme olarak kabul edilen ve üretimi için gereken hammaddeler hemen hemen dünyanın her bölgesinde bulunabilen beton, dünya çapında en popüler inşaat malzemelerinden biri haline gelmiştir. Ayrıca, imalatının az enerji gerektirmeside sürdürülebilir inşaatta önemli olduğundan bu popülerliğini daha da arttırmıştır. Yapı elemanı olmasının haricinde estetik görünüm açısından da elverişli olan beton bu açıdan; maliyet düşürücü, çevreciliğe katkı sağlayıcı, kalite iyileştirici birçok çalışmanın ve uygulamanın öznesi haline gelmiştir [1].

Günümüzde beton teknolojisi ile ilgili yapılan araştırmalar ve bu alandaki gelişmeler sonucunda, Yüksek Performanslı Beton, Ultra Yüksek Dayanımlı Beton, Hafif Beton, Mimari Beton ve Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) gibi çeşitli beton türlerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu konu sadece mühendisler için değil sıradan insanlar için de ilgi çekici bir hal almıştır. Bu açıdan somut türlerle ilgili farkındalığın ve daha fazla bilginin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Aslında inşaat mühendisleri en son gelişmeler, yeni teknolojik yenilikler ve gelecek beklentileri ile gelişmeleri yakından takip edebilmek için somut gelişmeler hakkında daha fazla farkındalığa ve bilgiye sahip olmalıdırlar.

KYB ile ilgili olarak, en son gelişen çağdaş beton türlerinden biri olduğu söylenebilir. Vibrasyona ihtiyaç duymayan, bu sayede de zor ve dar alanlara dökümü kolay olan KYB yenilikçi bir beton karışımı olarak kabul edilmektedir. Ticari olarak kendinden konsolidasyonlu beton, kendinden sıkıştırılmalı beton, kendinden tesviyeli beton gibi çeşitli adlarla bilinmektedir [2]. KYB 1980'lerin sonunda, ilk kez Japonya'daki inşaat endüstrisine tanıtılmıştır [3].

KYB, vibrasyon gerektirmeyen yerleştirme ve sıkıştırma için yenilikçi bir betondur. Yoğun çelik donatı ile sıkışık ve dar alanlarda bile kendi ağırlığı altındaki akışı ile kalıbı tamamen doldurabilir ve böylece tam sıkıştırma elde edilebilir. İnce malzemeler, karışımda gerekli olan çimentonun yerine geçerek aynı görevi görür bu da geleneksel betona kıyasla ekonomik olarak büyük avantaj sağlar. Vibrasyona az gerek duyulması

veya hiç kullanılmaması inşaat için harcanan zamanda da azalmaya neden olur. İşçiliği en aza indirerek üretim maliyetini düşürmesinin yanı sıra, şantiyedeki düşük gürültü ve artan güvenlik durumu da avantaj olarak görülmektedir. KYB' nin akışkanlık özelliğinin yanı sıra, kendi ağırlığı altında ayrılmaya karşı yeterli bir direnç göstermesi de gerekmektedir [3].

KYB kullanımının sağladığı bu avantajlar ile yüksek binalar, köprüler, tüneller ve açık denizdeki yapılarda yaygın olarak uygulanmaktadır [4]. KYB'ye yüksek akışkanlık sağlamak, taşıma ve yerleştirme sırasında ayrılmayı önlemek için, yüksek oranda NPC (450-600kg/m³) kullanılmalıdır. Bu sebeplede KYB'nin maliyeti geleneksel vibrasyonlu betonla kıyaslandığı zaman çok yüksektir. Ekonomik olmayışı dezavantajının yanı sıra, KYB'de çok miktarda kullanılan NPC'nun çevresel etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Portland çimentosunun üretimi yüksek miktarda CO₂ salınımına yol açmaktadır. Bu miktar 2007 verilerine göre toplam küresel CO₂ emisyonunun yaklaşık %7'sini oluşturmaktadır. NPC'ye olan talebin dünya genelinde artmasıyla birlikte, çimento üretiminin giderek artacağı ve buna paralel olarak da CO₂ emisyonunun toplam küresel emisyonun yaklaşık %10'una tekabül edeceği öngörülmektedir [5]. Dahası, NPC üretim süreci her yıl milyonlarca ton tozun atmosfere yayılmasına sebebiyet vermektedir. Bu tozların insanlarda solunum hastalıklarına ve bir dizi fiziksel sağlık sorunlarına neden olduğu belirtilmektedir [6,7].

Bu problemleri çözenin bir alternatifi olan KYB, üretiminde NPC yerine endüstriyel yan ürünleri, özellikle mineral katkıları kullanmaktır. Endüstriyel yan ürünleri KYB'deki OPC'nin yerine mineral katkıları olarak kullanmaktır [8]. Çimento yerine UK kullanımını tercih etmenin KYB üretimi için yalnızca toplam malzeme maliyetini düşürmekle kalmayarak aynı zamanda çevreye de önemli faydalar sağlayacağı öngörülmektedir.

Doğal taş ve mermer işleme tesislerinde çevre ve insan sağlığı açısından daha uygun olan ve bir endüstriyel yan ürün olan çok miktarda MT üretilmektedir. Bu çalışma, beton üretiminde çimento ikame malzemesi olarak mermer tozunun kullanılmasını önermekte ve süreçler halinde açıklamaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, mineral katkıları (MT, UK) kullanarak KYB üretimi (tasarımı) yapmak ve basınç dayanımı,

eğilme dayanımı, su emme oranı, porozite, yüksek sıcaklık etkisi, ultra ses geçiş hızı, yayılma çapı gibi özellikleri belirlemektir. Çalışmanın kapsamı, bir dizi mineral katkı maddesiyle KYB'nin özelliklerinin geliştirilmesi hakkında bilgi edinmenin yanı sıra KYB'nin bu süreçlerdeki özelliklerini de anlamaktır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Beton yapısı itibariyle bazı temel elementleri içeren yapısal bir malzemedir, ancak suyla karıştırıldığında kaya gibi sert hale gelmektedir. Beton karışımı genellikle iri ve ince agrega, çimento, su ve gerekli olan bazı katkı maddelerinden oluşmaktadır. Beton, taşıyıcı malzeme olarak pek çok elverişli özelliğe sahiptir, bunların arasında yüksek basınç dayanımı ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık dikkat çeken özelliklerdir. Olumsuz özellikleri için ise basınç dayanımı ve öngörülemeyen alanlarda çatlak oluşturma kabiliyetine kıyasla nispeten zayıf bir çekme dayanımı içermesi gösterilebilir. İç takviye olarak kullanılan çelik çubuklarla (demir donatı), çatlaklar bir dereceye kadar kontrol edilebilmektedir. Çelik ve plastik gibi diğer inşaat malzemelerinden farklı olarak, farklı boyutta taneler içerdiğinden üniform bir malzeme değildir. Bu nedenle kusurlar ve kırılmalar genelde tahmin edilemezdir. Betonun doğası gereği, durumsal ihtiyaçlara yönelik olarak tarifin (reçetenin) değiştirilebilmesi mümkündür. Bu nedenle, mesela eğer bir proje yüksek dayanımlı, hafif veya hava koşullarına dayanıklı beton gerektiriyorsa buna uygun tarifi kullanılabilir veya özel bir reçete karışımı tasarlanabilir. Genellikle taze beton karışımı (Şekil 2.1) üç ana bileşene sahiptir: bunlar su, çimento ve agregadır. Hidratasyon oluşumuna başlaması için ilk etapta, potansiyet dayanım değerine ulaşması için ise 4 haftalık kürlenme sonrasına kadar suya ihtiyaç duyulmaktadır [9].

2.1. Kendinden Yerleşen Beton (KYB)

2.1.1. KYB Bileşenleri

Beton teknolojisindeki son gelişmelerden biri olan KYB (Şekil 2.1), işlenebilirlik, işçilik maliyetlerinde azalma ve geleneksel betona göre daha yüksek dayanım açısından çok avantajlıdır [10-12]. KYB üretiminde yüksek oranda su azaltma özelliğine sahip süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddeleri, toz malzeme ve viskozite düzenleyiciler kullanılmaktadır [13,14]. KYB'nin taze beton özellikleri olarak doldurma kabiliyeti, geçiş kabiliyeti ve ayrışma direnci belirtilebilir [15,16]. 1980'lerin ortasında ilk olarak Japonya'da tanıtımı ve kullanımından sonra KYB

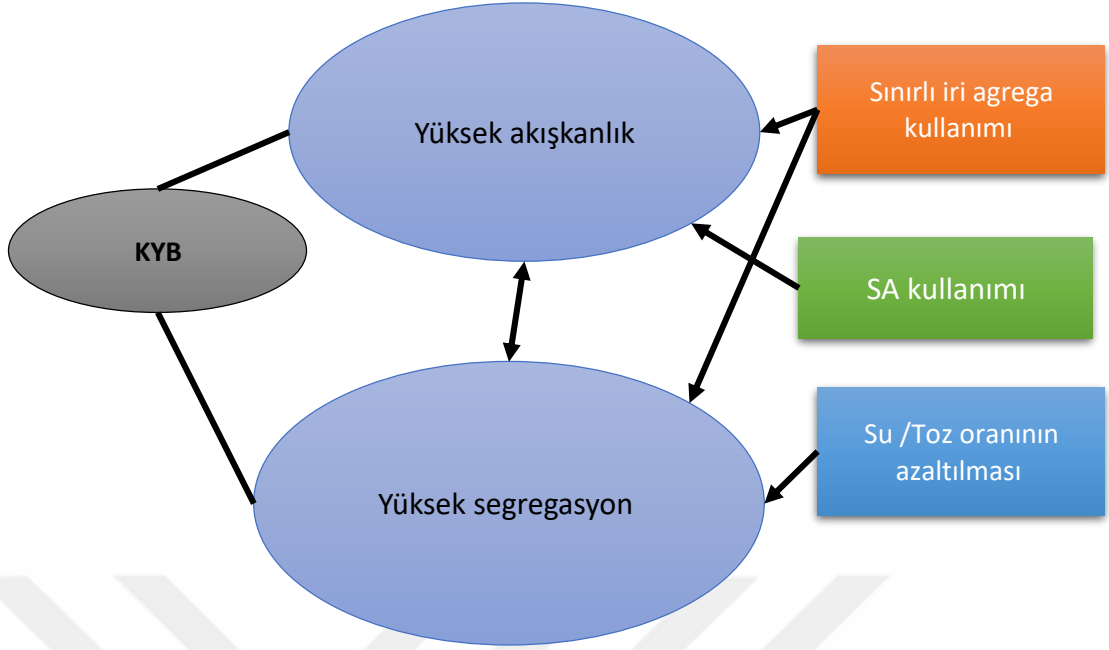
konusunda çeşitli araştırmalar ve geliştirme uygulamaları yapılmış ve malzeme dünya çapında birçok önemli projede kullanılmıştır [17-19].



şekil 2.1. KYB üretim süreci

KYB ve geleneksel beton arasındaki temel farklardan biri, karışıma mineral malzemelerinde dahil edilmesidir. Büyük parçacıkların (agrega malzemelerinin) KYB içinde ayrışmasını önlemek amacıyla, viskozite arttırıcı katkı ve dolgu maddeleri kullanılmaktadır. Viskozite arttırıcı katkıları genellikle su altı yapılarda ve tünellere dökülecek beton karışımlarında kullanılmaktadır. KYB'un viskozitesini arttırmak amacıyla genelde UK, camsı dolgu maddesi, kireçtaşı tozu, silis dumanı veya kuvarsit dolgu maddesi gibi mineral katkıları kullanılabilmektedir [20]. KYB, "son birkaç on yıllık sürede beton yapılarıdaki en devrimci gelişme" olarak tanımlanmaktadır. Başlangıçta, artan vasıflı işgücü sıkıntısını gidermek için geliştirilen KYB, aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi faktörden dolayı ekonomik olarak yararlı addedilmektedir:

1. Daha hızlı inşaat
2. şantiye işgücü sayısında azalma
3. Daha temiz ve pürüzsüz yüzey
4. Kolay yerleştirme - dökme
5. Yüksek dayanıklılık
6. Tasarımda kolaylık ve özgürlük imkanı
7. İnce kesitli beton elemanlar
8. Düşük ses ve gürültü
9. Vibrasyona gerek duyulmaması
10. Daha güvenli çalışma ortamı



Şekil 2.2. KYB üretiminin temelleri

2.1.2. KYB Gelişimi

KYB'nin başarılı bir şekilde geliştirilmesi, akışkanlığı ve stabilite arasında iyi bir denge sağlanmasına bağlıdır [21]. Bu açıdan araştırmacılar;

- (i) Çimento ve agrega malzemesi hacim oranının azaltılmasını [21-22],
- (ii) Harç hacminin ve su/çimento (S/Ç) oranının artırılmasını
- (iii) Maksimum kaba agrega partikül ebadının ve toplam hacminin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesini
- (iv) Çeşitli viskozite arttırıcı katkıların (VAK) kullanılmasını önermektedirler

KYB üretim ve kullanımında yüksek mobilite elde edebilmek için genellikle süper akışkanlaştırıcıların kullanılması gerekmektedir. Çok miktarda toz malzeme veya viskozite değiştirici katkı eklenmesi, ayrışmayı engelleyebilmektedir. Bu açıdan eklenebilecek toz malzemeler UK, silis dumanı, kireçtaşı tozu, camsı dolgu maddesi ve kuvarsit dolgu maddesidir. Akışkanlık malzemelerin özelliklerinden ve karışım oranlarından büyük ölçüde etkilendiğinden, KYB'nin karışım tasarımı için standart bir prosedür geliştirmek gerekmektedir [23].

2.1.3. Normal Portland Çimentosu (NPÇ)

Normal portland çimentosu (NPÇ), inşaat endüstrisi için daha düşük bir maliyet ve uygulama yapısına sahip olduğu için son on yılda çelik veya alüminyum gibi diğer yapı malzemelerinden daha baskın ve fazla kullanılan bir bağlayıcı malzeme haline gelmiştir [24]. Bununla birlikte, NPÇ üretimi temel olarak daha yüksek miktarda enerji tüketimine ve buna paralel büyük oranda da CO₂ emisyonuna neden olmaktadır [24,25]. Ayrıca, NPÇ betonu kimyasal etkenlere karşı, özellikle organik asit veya sülfat etkisinde oldukça savunmasız bir yapıya sahiptir [26-28]. Bu sebeptendir ki NPÇ betonunun deniz ve sualtı ortamlarda kullanımı sınırlıdır. Bu sebeple günümüzde modern çimento endüstrisinin enerji tüketimini en aza indirmek, sera gazı emisyonları tarafından oluşturulan iklim değişikliği üzerindeki çevresel etkileri azaltmak, şiddetli ortamlarda daha geniş uygulamaları genişletmek gibi temel gerekliliklerin yerine getirilmesi açısından eksiklikleri vardır. Bu açıdan NPÇ'nin yerine kullanılacak alternatif bağlayıcılara olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır [24,25].

2.1.4. KYB'nin Sınıflandırılması

Bir beton karışımı, yalnızca aşağıdaki tüm gerçek özellik şartlarını yerine getirmesi durumunda, KYB olarak sınıflandırılabilir. Bunlar betonun akma kabiliyeti olan doldurulma kabiliyeti, kalıbı tamamen doldurmak için gerekli deformasyona uğrama, donatıyı muhafaza etmek ve kendi ağırlığı ile sıkıştırmayı başarmak için homojenliğini koruma gibi özelliklerdir. KYB'nin akışkanlık seviyesi, esas olarak SA'nin dozu ile ayarlanmaktadır, fakat aşırı doz, ayrışma ve bloklanma riskine yol açabilmektedir.

Partikül süspansiyonunun karıştırma, taşıma ve döküm prosesi boyunca uyumlu bir durumu muhafaza etme ayrışma direncini ifade eder. KYB'nin yüksek akışkanlığı nedeniyle, ayrışma ve blokaj riski çok yüksektir. Ayrışmayı önlemek; bu nedenle kontrollü bir üretim önemli bir özelliğidir. Ayrışma eğilimi, yeterli miktarda ince tanecik (<0,125 mm) kullanılarak veya viskozite değiştirici katkı maddeleri (VAK) kullanılarak azaltılabilmektedir. Yakın aralıklı donatı çubuklarından geçme veya kalıpta dar bölümlere girme ve agrega kilidi nedeniyle engellemeden diğer engellerin

etrafından akma yeteneği ise geçiş kabiliyetini ifade eder. Takviye ubukları arasındaki boşluk, kaba agrega hacmi ve matrisin reolojik zellikleri, KYB'nin sıkışık alanlarda geçiş kabiliyetinde önemli bir rol oynamaktadır.

2.1.5. Kr kosullarının KYB zerindeki Etkileri

Sertleştirme/krleme koşulundaki değişiklik KYB'nin basınç dayanımı üzerinde de büyük etkiye sahiptir [51]. imentoun beton içindeki bağlayıcı özelliği, imento ve suyun hidrasyon reaksiyonunun bir sonucudur. Yüksek sıcaklıklar, düşük hava nemi, yüksek rüzgar hızı vb. nedenlerle taze betonun kr içinde su buharlaşması hidrasyon ve dayanım kazanımını önleyebilir [52]. Bu nedenle, betonun uygun şekilde krlenmesi, sertleşmiş betonun hem dayanım hem de dayanıklılık özellikleri için çok önemli bir rol oynar. Betonun dayanım derecesinin tanımlanması için, standart 28 günlük bir su krleme süresi gereklidir. Normal olarak, yeterli nem ve sıcaklık koşulları olduğunda dayanım kazanımı 28 günden fazla sürmektedir [53]. Su/bağlayıcı oranı düşük ve mineral katkısı yüksek beton karışımları için, puzolanların betondaki karışık fizyokimyasal etkileri nedeniyle, uygulamada daha karmaşıktır [54]. Otoklav kr, beton ürünlerin dayanım gelişimini hızlandırmak için uzun yıllardır kullanılan bir ısıl işlem türüdür. Çimentonun hidrasyon oranı sıcaklık artışı ile artmaktadır, bu nedenle betondaki buhar kr ile dayanım kazanımı hızlandırılabilir [55]. Maksimum sertleştirme sıcaklıkları 40-100 C arasında herhangi bir yerde olabilir, fakat optimum sıcaklığın 65-85 C aralığında olduğu çalışmalarda belirtilmektedir [56].

2.2. KYB Bileşenlerinin Etkileri

KYB için kullanılan malzemeler, geleneksel beton endüstrisi tarafından kullanılan malzemelerden seçilmektedir. KYB için kullanılan tipik malzemeler: kaba agrega, ince agrega, imento, mineral katkılar ve kimyasal katkılar (akışkanlaştırıcılar ve viskozite değiştirici ajanlar) olarak sayılabilir. KYB retiminde kullanılan bileşen malzemelerinin uluslararası standartların gerekliliklerine uygun olmaları beklenmektedir. Malzemeler, betonda amaçlanan kullanıma uygun olmalı ve betonun kalitesine veya dayanıklılığına zarar verebilecek veya takviyenin korozyonuna neden

olabilecek miktarlarda zararlı bileşenler içermemelidirler. Literatürdeki birçok çalışmada da, malzemelerin yani somut bileşenlerin özelliklerinin ve miktarlarının, belirli bir KYB'nin reolojik tepkimesi, sertliği, dayanımı vb özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir.

2.2.1. Çimento

Emborg (2000), çimento varyasyonunun KYB üzerindeki etkisinin şimdiye kadar açıkça belgelenmediğini, ancak bu yeni betonun üretimi sırasında bazı gözlemlerin yapıldığını çalışmalarında belirtmiştir [57]. Emborg'un çalışmasında örnek verdiği, İsveç'te 2000 yılı kış/bahar aylarında yapılan çalışmada 90 dakika boyunca malzemenin hedef tutarlılığına ulaşmasında ciddi sorunlar ortaya çıktığı görülmüştür. Temel nedenler olarak çimento imalatında alçı ilavesi varyasyonları ve KYB'nin daha hassas olduğu bilinen yalancı priz ve ani priz problemine yol açan diğer üretim anlarındaki varyasyonlar gösterilmiştir.

2.2.2. Karışım Suyu

EFNARC (2002), karıştırma suyu uygunluğunun geleneksel betondakiyle aynı olduğunu belirtmiştir. Normal betondaki su miktarının, taze aşamadaki özellikleri özellikle işlenebilirliği ve elbette su/çimento oranını etkileyerek sertleşmiş betonun özellikleri için önemli olduğu bilinmektedir. KYB için, su miktarı daha da önemlidir ve bu beton ailesinin karışım tasarım yöntemlerinde, su, su/ toplam agrega (toz + ince agrega) ve su/toz oranı gibi çeşitli ilişkilerde ele alınmaktadır [58].

2.2.3. Agregalar

KYB için seçilen kaba agrega tipik olarak yuvarlak şekilli, iyi derecelendirilmiş ve geleneksel beton için kullanılanlardan daha küçük boyuttadır; tipik geleneksel betonun maksimum agrega boyutu 37.5 mm veya biraz daha büyük olabilir. Genel olarak, yuvarlak bir agrega ve daha küçük agrega parçacıkları betonun akış kabiliyetine ve ayrışmanın önlenmesine yardımcı olur.

Kırıcıdan geçirilmiş taş veya küresel agregalar KYB'de başarıyla kullanılabilir; bununla birlikte, akış kabiliyetinin miktarını arttırmak için karışım oranlarında ayarlamalar yapılması gerekmektedir (yuvarlak çakıl ile oluşturulan bir KYB ile karşılaştırıldığında). Petersson (1999), agregaların bloke edilmesini önlemek için gerekli pasta miktarına dikkat edildiği sürece, hem doğal hem de kırıcıdan çıkma agregaların KYB'de başarılı bir şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir (kırılmış kaba ve ince agregalar daha fazla pasta gerektirirken, kırılmamış agregalar ve daha küçük maksimum boyut daha az pasta gerektirmektedir) [59]. Derecelendirme, özellikle takviyenin oldukça sıkışık olabileceği veya kalıbın küçük boyutlara sahip olabileceği KYB'nin tipik kullanımlarında kaba bir agrega seçiminde önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Boşluk dereceli kaba agrega, sınıflandırmayı iyi dereceli kaba agregadan daha büyük bir dereceye kadar arttırmaktadır. Geleneksel beton konstrüksiyonda olduğu gibi, KYB için kaba agreganın maksimum boyutu konstrüksiyon tipine bağlı olarak değişmektedir. Tipik olarak, KYB'de kullanılan maksimum kaba agrega boyutu yaklaşık 10 mm ile 20 mm arasında değişmektedir.

Petersson (1999) ayrıca en yaygın maksimum agrega boyutunun 16 ile 20 mm arasında değiştiğine çalışmalarında yer vermiştir. Bu daha küçük kaba agrega boyutları göz önüne alındığında, maksimum 10 mm ebadına sahip agregalı karışımlar için, segregasyonu kontrol etmek anlamında uygun bir yöntem bulunmadığına dikkat edilmesi gereken bir konudur [59]. Gibbs (1999), KYB'nin sadece geleneksel betonda olduğu gibi agrega boyutunda kısıtlamalar gerektirdiğini açıklamıştır [60].

Bartos (2000) kohezyon ve segregasyona direnç ihtiyacının geleneksel betondan daha fazla malzeme seçimini etkilediğini; kaba agregaların akmayı teşvik ettiklerinden dolayı KYB için uygun olmayacağını belirtmiştir. Genellikle agrega ne kadar küçük olursa, daha fazla kuruma büzülmesinin meydana geleceği düşünülür fakat agrega ne kadar büyük olursa, karışım için gerekli akış kabiliyetine, deforme olabilirlığe ve segregasyon direncine ulaşmak o kadar zor olacaktır [61]. Ancak Neville (2000) betondaki büzülmeyle en fazla etkileyen faktörün toplam agrega miktarı olduğunu belirtmiştir [62].

Su vd. (2002) kum/toplam agrega (S/A) oranının KYB'nin önemli bir malzeme parametresi olduğunu ve reolojik özelliklerin S/A oranında bir artışla çoğalacağını bildirmişlerdir. Öte yandan, bu oran KYB'nin sertleştirilmiş özelliklerini, özellikle elastik modülü çok etkilemektedir. KYB için uygun S/A oranının % 47.5 olduğu da yine bahsi geçen çalışmalardaki öneriler arasındadır [63].

2.2.4. Mineral Katkılar

Mineral katkıları, çimento ikame malzemeleri uzun zamandır betonun taze ve sertleştirilmiş özelliklerini iyileştirmek ve aynı zamanda beton malzemelerin maliyetini azaltmak için kullanılan yapı malzemeleridir. Mindess ve Young (1981) mineral katkı maddelerini "taze betonun işlenebilirliğini ve sertleşmiş betonun dayanıklılığını arttırmak için kullanılan ince öğütülmüş katı malzemeler" olarak tanımlamışlardır [64].

Ayrıca bahsedilen bu malzemeleri üç alt gruba ayırmışlardır:

1. Düşük reaktivite malzemeleri.
2. Çimentomsu malzemeler.
3. Puzolanik malzemeler.

Mehta (1986) mineral katkı maddelerini "betona nispeten büyük miktarlarda, genellikle Portland çimentosunun ağırlığına % 20 ila 100 aralığında eklenen ince bölünmüş silisli malzemeler olarak tanımlamış ve bunların aşağıdaki şekilde özelliklere sahip olacağını belirtmiştir [65]:

1. Çimento esaslı, öğütülmüş tanecikli yüksek fırın cürufu gibi.
2. Yüksek kalsiyum oranlı çimentolu ve puzolanlar; UK gibi.
3. Son derece aktif puzolaniktirler; yoğunlaştırılmış silis dumanı ve pirinç kabuğu külü gibi
4. Düşük kalsiyum oranlı normal puzolonlar; UK ve doğal puzolanlar gibi.
5. Zayıf puzolonlar; yavaş soğutmalı yüksek fırın cürufu ve yanmış pirinç kabuğu külü gibi.

Neville (2000) tüm toz malzemeler için “çimentolu malzemeler” terimini kullanmış ve puzolanik reaktif formda silis içeren doğal veya yapay malzemeler olarak tanımlamıştır. Ayrıca dolgu maddelerini, çimento, işlenebilirlik, yoğunluk, geçirgenlik, kılcallık, terleme veya çatlama gibi bazı özellikleri üzerinde yararlı bir etkiye sahip olan fiziksel özellikleri nedeniyle, Portland çimentosu ile aynı inceliğe sahip çok ince öğütülmüş malzemeler olarak da ifade etmiştir [62].

EFNARC (2002) ve İngiliz Çimento Birliği (BS EN 206-1 / 8500) katkıları “belirli özellikleri iyileştirmek veya özel yapılar elde etmek için betonda kullanılan bölünmüş inorganik malzemeler” olarak tanımlamış ve aşağıdaki şekilde categorize etmiştir[58]:

1. Tip I (yarı atık) - İnce kırıcıdan geçmiş (kireç taşı, dolomit veya granit) gibi dolgu agregası katkıları,
2. Pigmentler vb.
3. Tip II - Silis dumanı, metakaolin, pirinç kabuğu külü, UK, öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu vs. gibi (puzolanik veya gizli hidrolik) katkıları.

UK, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve kalsine şeyl, kalsine kil veya metakaolin gibi doğal puzolanlar, Portland veya kompoze çimento ile birlikte kullanıldığında, sertleşmiş betonun özelliklerine katkıda bulunan malzemelerdir. Bir puzolan, ince bölünmüş formda ve nem mevcudiyetinde, Portland çimentosunun hidrasyonu ile oluşan kalsiyum hidroksit ile kimyasal olarak reaksiyona giren, kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeli ve diğer çimentolu bileşikler oluşturan silikat veya alüminosilikat bir malzeme olarak tanımlanabilir. Puzolanlar ve cüruflar genellikle ek çimentolu malzemeler veya mineral katkıları olarak sınıflandırılmaktadır [66].

2.2.4.1. Uçucu Kül (UK)

UK, enerji santrallerinde toz kömürün yanmasıyla elde edilen bir yan ürün olarak ortaya çıkan çok ince külün ince kalıntısıdır. 1 ile 150 µm arasında değişen UK’ün inceliği, puzolanik özelliklerini ve betonun su ihtiyacını azaltarak işlenebilirliğini etkilemektedir. Ayrıca, UK betonunun geçirgenliği normal olarak UK içermeyen betondan daha azdır. Geçirgenlikte böyle bir azalmanın nedeni, kalsiyum silikat

bileşiminin (C_2S ve C_3S) hidratasyonu ile serbest kalan kalsiyum hidroksitin, puzolanlarla reaksiyona girmesi ve kılcal gözenek boşluklarını azaltan ek kalsiyum-silikat-hidratların (C-S-H) oluşumuna yol açmasıdır [67].

Betonda en yaygın kullanılan çimento ikame malzemesi olan UK, elektrik üretim tesislerinde toz haline getirilmiş kömürün yanmasından elde edilen bir yan üründür. Fırında tutuştuktan sonra, kömürdeki uçucu madde ve karbonun çoğu yakılmaktadır. Yanma sırasında kömürün mineral saflıkları (kil, feldispat, kuvars ve şeyl gibi) süspansiyonda birleşir ve egzoz gazları tarafından yanma odasından uzaklaştırılır. İşlemden, kaynaşmış malzeme UK adı verilen küresel camsı parçacıklara soğur ve katılır. UK daha sonra egzoz gazlarından elektrostatik çöktürücüler veya torba filtrelerle toplanır. UK aslında silis, alümina, demir ve kalsiyum içeren silikat esaslı camdır. Küçük bileşenleri ise magnezyum, kükürt, sodyum, potasyum ve karbondur. Kristalli bileşikler az miktarda bulunmaktadır. UK'ün nispi yoğunluğu (özgül ağırlık) genellikle 1.9 ile 2.8 arasında değişir ve rengi genellikle gri veya ten rengine benzerdir [68].

2.2.5. Kimyasal Katkılar

Yukarıdaki bölümlerde de açıklandığı gibi, süper akışkanlandırıcılar (SA) gibi kimyasal katkıları KYB üretimi için kullanılan önemli malzemelerdir. Bu nedenle, bu kimyasal katkıların KYB'nin özellikleri üzerindeki etkileri birçok araştırmacılar tarafından çalışmalarına konu edilmiştir [69]. Golasweski ve Swarovski (2002) tarafından yapılan bir araştırmada, verilen SA tipi ve farklı dozajlar, KYB'nin reolojik özelliklerinde belirgin farklılıklar göstermiştir [70].

Araştırmalar, polikarboksilat ester (PE) tipi SA özellikteki naftalin sülfonat esaslı (NSA) süperakışkanlandırıcılarından daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı dozda kullanılan bu süperakışkanlandırıcı, önemli ölçüde azaltılmış işlenebilirlik kaybına sahip harçların elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Süperakışkanlandırıcı harçların özelliği, ayrışma bakımından bir avantaj olan yüksek plastik viskozitededir. Çimentonun tipi, kimyasal ve faz kompozisyonunun da süperakışkanlandırıcıların performansı açısından önemli faktörler olduğu da bu açıdan dikkate alınmalıdır.

KYB'nin üretiminde yaygın olarak iki tip kimyasal katkı kullanılmaktadır: SA'lar ve viskozite arttırıcı katkılar (VAK). Son zamanlarda, büzülme azaltıcı katkı maddeleri (SRA) de yeni tip katkı olarak kullanılmaktadır [71].

SA'lar KYB'nin oluşturulması için çok gereklidir. Son zamanlarda, süperakışkanlaştırıcıların gelişimi hızlı hale gelmiş ve sürekli gelişen sentetik kimyasal katkıların ortaya çıkmasıyla sonuçlanmıştır. Bu yeni ürünler gelişmeye devam edeceği öngörülmekle birlikte; günümüzde, KYB için en uygun süperakışkanlaştırıcı daha yeni polikarboksilat tipinde olanlardır. Karıştırma sırasında sülfonatlı melamin ve naftalin formaldehit kondensatlarına dayananlar gibi geleneksel süperakışkanlaştırıcılar çimento parçacıklarının yüzeyine emilmektedir. Bu emilim, hidrasyon işleminde çok erken bir aşamada gerçekleşir. Polimer zincirlerinin sülfonik grupları çimento parçacığının yüzeyi üzerindeki negatif yükü arttırır ve çimentonun dispersiyonu elektrostatik itme ile gerçekleşir.

Polikarboksilat esaslı SA, uzun lateral zincirlere sahip benzersiz bir karboksilik eter polimerine dayandığı için geleneksel SA'lardan farklıdır. Bu da çimento dağılımını büyük ölçüde iyileştirmektedir. Karıştırma işleminin başlangıcında, daha önce tarif edildiği gibi aynı elektrostatik dispersiyon meydana gelir, ancak polimer iskeletine bağlı yan zincirlerin varlığı, çimento parçacıklarının ayrılması ve dağılması kapasitesini stabilize eden sterik bir engel oluşturur. Bu mekanizma, akışkan betonda büyük oranda azaltılmış su talebi sağlar.

Okamura ve Masahiro (2003) KYB için gerekli olan SA gereksinimlerini aşağıdaki şekilde özetlemişlerdir [72]:

1. Düşük su/toz oranı için yüksek dispersiyon etkisi: hacimce yaklaşık %100.
2. Dispersiyon etkisinin karıştırıldıktan sonra en az iki saat sürdürülmesi.
3. Sıcaklık değişikliklerine karşı daha düşük hassasiyet.

SA'nın görevi, yüksek derecede akış kabiliyeti ve deforme olabilirlik kazandırmaktır; bununla birlikte, genellikle KYB ile ilişkili yüksek dozajlar (geleneksel betonla karşılaştırıldığında) yüksek derecede ayrılmaya yol açabilmektedir. Bir SA

kullanıldığı zaman, beton, farklı özgül ağırlığa sahip malzemelerin karışım içinde kalması gerçeğiyle birleştiğinde betonun akma verimindeki gerilime bağlı olarak ayrılma gerçekleşir. KYB'nin temel özelliklerinden biri, KYB'nin “stabilitesi” olarak da adlandırılan ayrışmadan kaçınmadır. Betonun viskozitesini arttırmak için üç yöntem vardır ve bunlar aşağıdaki yaklaşımlarda belirtilecektir:

1. VAK kullanımı
2. Yüksek miktarda ince malzeme kullanımı
3. VAK ve ince malzeme kullanımı

Tüm yöntemler, karışımın akışkanlığını arttırmak için bir SA kullanmaktadır. Üç yaklaşım arasındaki fark, SA'lar kullanıldığında meydana gelecek olan ayrışmayla mücadele için kullanılan yöntemde yatmaktadır. İstenen karışım, ayrışmayı önlemek için yeterince viskoz olan bir sıvı karışım ile sonuçlanmalıdır. VAK yaklaşımı, karışımın viskozitesini arttırmak için kimyasal bir katkı maddesi kullanır. Başka bir kimyasal katkının eklenmesi (SA yanı sıra) karışım kimyasının karmaşıklığını daha da arttırmaktadır. Petersson'a (1999) göre, %10'a kadar dolgu maddesi bir viskozite değiştirici katkı kullanılarak değiştirilebilir; ancak bu dolgu maddesinin yerini alamaz. Bulgular, VAK kullanıldığında, sadece dolgu maddeleri ile karışımlara kıyasla zaman içindeki işlenebilirliğin azaldığını ve VAK'nın KYB için kullanıldığında bunun bir zorluk olduğunu göstermiştir [73]. Projenin önerileri ayrıca modern SA'lar ve dolgu maddesi ile normalde VAK'a gerek olmadığını göstermiştir ve sadece özel uygulamalar için bir VAK kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca bir VAK kullanıldığında erken yaş gücünün önemli ölçüde azaldığı da belirtilmiştir. Hodgson (2003), artan miktarlarda ince malzeme kullanımının (Yüksek İnce Malzeme Yaklaşımı) en uygun yöntem olduğunu belirtmiştir [74].

2.2.6. Mermer Tozu (MT)

Atık mermer tozu veya mermer tozu pudrası, araştırmacı tarafından mermer tozuna (MT) referans olarak aynı malzemeyi tanımlamak için kullanılan farklı isimlerdir. Taşların çeşitli yöntemler kullanılarak bloklar halinde kesildiği mermer ocakları çok yaygındır. Bu taşları kesme sürecinde mermer blokların yaklaşık %20-30'u atık

mermer tozları haline gelmektedir [75]. Mermer ekonomik olarak değerli kılan dekoratif araçlar için kesme, parlatma ve kullanma yoluyla endüstriyel olarak üretilir olmasıdır. MT'nun beton üretiminde katkı maddesi olarak endüstriyel olarak kullanılabilirliği de yaygın olarak bilinmektedir [76]. Bu atıklar geri dönüştürülebilir ve doğal kaynakların verimli kullanımını artırmak için katkı maddesi olarak kullanılmak üzere yeni ürünlere dönüştürülebilirler. İnşaat endüstrisinde, MT diğer amaçların yanı sıra döşeme ve kaplama gibi farklı amaçlar için de yaygın olarak kullanılmaktadır [75]. Türkiye dünyadaki toplam mermer rezervinin yaklaşık %40'ına sahiptir ve Türkiye'de yılda yedi milyon ton mermer üretilmektedir. Bu, çok sayıda işleme tesisinin, çok büyük miktarlarda MT stoğu üreteceğini açıkça ortaya koymaktadır [77].

2.3. KYB Konusunda Literatüre Ait Bazı Çalışmalar

Kumar ve diğerleri (2015) yaptıkları çalışma kapsamında, çimento-yu S/Ç oranı sabit tutulmak kaydıyla 0.35 oranında UK ve MT ile değiştirilmişlerdir. Gözlemlere göre, S/Ç oranında bir artışın beton dayanımında bir azalmaya neden olduğu sonucuna varılmıştır. İnce agrega oranının MT vasıtasıyla artmasını müteakip basınç dayanımının 7 günlük süre zarfında % 35'e ulaştığı görülmüştür [78].

Pala vd. (2015) kendiliğinden yerleşen betonda MT ve UK kullanımını üzerine bir çalışma yürütmüş ve çalışma kapsamında çimento yerine MT ve UK kullanımının KYB'nin işlenebilirliğini hiçbir şekilde olumsuz etkilemediğini bulmuşlardır. Doldurma ve geçiş kabiliyeti gibi taze özellikleri artırmak için bağlayıcı maddede olarak %10 MT ve %25 UK kullanımının çimento ile ikame etme bağlamında uygun olduğunu çalışma kapsamında belirtmişlerdir. Ayrıca MT miktarının artmasının KYB'nin çökme yayılma değerlerini de artırdığı çalışmada belirtilmiştir. MT'nun KYB'deki miktarının artması hem T50 test süresini hem de V-hunisi süresini azaltmaktadır. Belirtildiği gibi KYB'de MT artışı geçiş kabiliyetini de arttırmaktadır. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı gibi sertleştirilmiş özelliklerde iyi sonuç için, MT'nun %10'a UK'ün ise %25'e kadar kullanılabilceği öneriler arasındadır. Kendiliğinden yerleşen betondaki bağlayıcı malzemede yer alan

çimento yerine %10 MT' ve %10 UK kullanılmasının olumlu etki yaratacağı yine çalışma önerileri arasındadır [79].

Praveenkumar vd. (2017) KYB'nun taze ve sertleşmiş özelliklerinde MT ve UK'ün etkisini inceleyen çalışmalar yapmışlardır. Çalışma kapsamında kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının tümünde taze durumdayken tatmin edici bir performans gözlemlenmiştir. Genel olarak mineral katkı kullanımı KYB'nin taze halde performansını arttırmış ve ayrıca SA içeriğinin azaltılmasına olanak sağlamıştır. MT ve UK kullanımının kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliği üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı da çalışma bulguları arasındadır. Ayrıca çimento miktarının azalması nedeniyle bunun çevre dostu bir uygulama olduğu da söylenebilir. Sertleşmiş özellik test değerlerinde basınç dayanımı % 5.78 ve yarmada çekme dayanımı % 4.43 azalmıştır. Ancak her iki değer de, çimentonun MT ile %10 miktarında ikame edilmesi ile sınırlıdır. Bu nedenle, çimentonun %10 oranında MT ile ikame edilmesi tatmin edici sonuçlar vermektedir [80].

Singh vd. (2017) tarafından MT ve UK kullanılarak KYB'nin dayanım özelliklerini geliştirmek için yapılan bir başka çalışmada, M30 sınıfı KYB karışımı için çimento oranı %10, %15, %20, %25'e kadar yükseltilmiş UK oranı %30 olmak üzere sabit tutulmuştur. Basınç dayanımı testlerinden elde edilen sonuçlar, %10'a kadar MT ve %30 UK'ün, çimentoya kontrol karışımına göre nispeten daha yüksek dayanım sağladığını ortaya çıkarmıştır. Çekme dayanımı için elde edilmiş sonuçlar da yukarıdaki miktarlar sözkonusu iken aynı şekildedir. KYB'nin kontrol karışımı 28 ve 56 günlük sürelerin sonunda da aynı özellikleri göstermektedir. MT'nun aşırı miktarda kullanımının ise çekme dayanımında biz azalmaya neden olacağı çalışmada vurgulanmıştır [81].

Sajeev vd. (2018) atık MT'nun ince agrega yerine kısmen kullanımın doğuracağı sonuçları görmek için bir çalışma yapmıştır. Atık MT'nun toz içeriğinin KYB'nin doldurma kabiliyetini ve işlenebilirliğini arttırdığı çalışma bulguları arasındadır. MT'n oranının artan değiştirilmesinde basınç dayanımının arttığı görülmüştür. MT ile ince agrega değişiminin verimlilik açısından optimum miktarı ise %20 olarak kaydedilmiştir. 28 günde su küremesi ile optimum basınç dayanımı 38 N/mm² ve

kimyasal (polietilen) küreleme ie 29 N/mm² olarak kaydedilmiştir. Suyun kısıtlı olduğu durumlarda polietilen küreleme gerekli basınç dayanımını elde etmek için etkili bir yöntemdir ve kullanılabilir. MT'nun, ince agreganın MT ile değiştirilmesiyle KYB'nin hazırlanmasında etkin bir şekilde kullanılabileceği bu çalışmanın önerileri arasındadır [82].

Alyamaç vd. (2009) çalışmalarında, MT gibi atık malzemelerin KYB teknolojisinde ek atıl dolgu malzemesi olarak başarılı ve ekonomik bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir [83].

Alyamaç vd. (2017), azami miktarda MT ile çevre dostu ve işlenebilir kendiliğinden yerleşen bir beton geliştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Sonuç olarak, 0.55'ten düşük S/Ç oranları ve 0.6'ya kadar MT-çimento oranları ile ekolojik ve verimli bir KYB elde etmek mümkün olmuştur [84].

Tennich vd. (2015) mermer ve fayans fabrikalarındaki atıkların kendiliğinden yerleşen betona mineral katkı maddesi olarak dahil edilmesini değerlendiren çalışmalar yapmışlardır. Sonuçlar, betondan UPV hızının ve basınç ve çekme dayanımlarının mermer ve fayans fabrikalarından alınan atıkları içeren kendiliğinden yerleşen betonlar için açıkça yeterli olduğunu göstermektedir [85].

Anuj vd. (2015) tarafından kendiliğinden yerleşen betonda MT'nun UK bazlı ve agrega bazlı KYB karışımlarına kıyasla kullanım olasılığını göstermek için deneysel bir dizi çalışma yürütülmüştür. Sonuçlar MT'nun KYB'de etkin ve verimli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir [86].

Topçu vd.[10] ve Alyamaç ve Ince [8], Türkiye'de üretilen dört farklı MT'nun (390-510 m²/kg aralığında Blaine inceliği ile karakterize edilen) KYB'de dolgu maddesi olarak başarılı ve ekonomik bir şekilde kullanılabileceğini gösteren çalışmalar yapmışlardır [87].

Hameed vd. (2016) dolgu malzemesi olarak atık MT' kullanımının KYB özelliklerine etkisini inceleyen çalışmalar yapmışlardır. Bu kapsamda biri atık MT kullanılmadan

ve diğ erleri de ğ iç en miktarlarda atık MT içeren beş farklı KYB karışımı hazırlanmıştır. Taze halde bu karışımlar akışkanlıkları, geçme kabiliyetleri ve ayrışma dirençleri açısından test edildi. Sertleşmiş beton harçları ise ayrıca basınç ve e ğ ilme dayanımları açısından test edilmiştir. Çalışma neticesinde yerel olarak mevcut olan atık MT'nun KYB geliştirilmesinde etkili bir Şekilde dolgu maddesi olarak kullanılabilce ğ i sonucuna varılmıştır. Ayrıca imento a ğ ırlı ğ ının %15'ine kadar atık MT ilavesinin arzu edilen KYB özellikleri elde etmede çok faydalı olaca ğ ı da yine çalışma bulguları arasındadır [88].

Boukhelkhal vd. (2018), Portland imentosunun yerine atık MT ikamesinin KYB'un dayanımı ve dayanıklılı ğ ı üzerindeki etkisini çalışmalarında incelemişlerdir. Sonuçlar artan MT ikamesinin içeri ğ i ile basınç dayanımında bir azalma oldu ğ unu gözlemlenmiştir. MT ikamesinin kullanımının, hem kılcal su emme hem de normal su emme arttırdı ğ ı çalışma sonucunda bulunmuştur. Magnezyum sülfat etkisine maruz kalan MT ikamesinin içeren KYB, sülfat agresyonlarına daha dūřuk bir genişleme ve daha yüksek direnç göstermiştir [89].

Gesoglu vd. (2007), imento yerine kullanılabilcek ek çimentolu malzemeler; UK, silis dumanı, metakaolin, demir cūrufu, pirinç kabu ğ u kūlü, ö ğ ütölmüř yüksek fırın cūrufu (YFC) üzerine bir çalıřma yapmıřlardır. Çalıřma bu toz malzemelerin sadece maliyeti dūřürmekle kalmayaca ğ ı aynı zamanda KYB'nin performansını da arttıraca ğ ı yönünde bulgular ortaya koymuřtur [90].

Ponikiewski ve Gołaszewski (2014), C sınıfı UK'ün KYB'nin reolojik özellikleri ve işlenebilirli ğ i üzerinde olumsuz bir etki oluşturdu ğ unu, aktive olmuş UK'ün ise KYB üzerinde olumlu etkiler gösterdi ğ ini çalışmalarında belirtmişlerdir [91].

Gesoglu vd. (2012) kendili ğ inden yerleşen betonda atık MT kullanımını çalışmalarında incelemişlerdir [92].

Sahmaran vd. (2008) alışmalarında UK'ün KYB'nin kendi kendini iyileştirme özelli ğ i için olumlu etki yaptığını belirtmişlerdir [93].

Darzi Musaib ve Shivkumar (2016), yeşil (ekolojik) beton üretimi için çimento ve kumu kısmen UK ve MT ile değiştirmenin etkilerine odaklanan bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada çimento %5, %10 ve %15 oranında MT ile kum ise %20, %40 ve %60 UK ile değiştirilmiştir. Amaç, normal M20 betonun en yüksek dayanımını elde etmek ve optimum değişim oranını belirleme bağlamında basınç dayanımı ve bölünmüş çekme dayanımını incelemek ve analiz etmektir. Çalışmada elde edilen en yüksek dayanım değerinin MT'nun %10 ve UK'ün %40-50 oranında kullanılmasıyla elde edilebileceği sonucuna varılmıştır [94].

Siddique vd. (2012), yaptıkları araştırmada su/toz oranı bağlamında çimentoyu uçucu kömür külü ve ince agregaların dip külü ile değiştirilmesinin KYB'nin dayanım özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Su/toz oranının azaltılması ve UK dozunun %20-30 ve dip külün %20'ye kadar artırılması optimum doz olarak nitelendirilmiş ve dayanımda artış sağladığı sonucuna varılmıştır [95].

Pala vd. (2015) KYB karışımında bir M30 sınıfı KYB karışımı yerine MT ve UK kullanımını ile ilgili bir başka deneysel çalışmasının detayları şu şekildedir; Sonuçlar, %10 MT ve %25 UK kullanımının işlenebilirlik ve akma üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığını ve hem basınç hem de çekme dayanımı dayanımlerinin çekme dayanımı değerlerinin test edildiği 28 gün boyunca en yüksek değerlerde olduğunu göstermiştir [96].

Türkmenoğlu vd. (2016) MT'nun kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanımını üzerine bir araştırma yapmışlardır. Betonun, modifiye edilmiş atık mermer agregaları kullanılarak üretilmiş ve farklı oranlarda (%5, %7.5 ve %10) toz ince agrega ile değiştirilmiştir. Taze betonun incelenmesinden sonra sedimentasyon akışı 560 mm (% 5'te) ve 570 mm (% 10'da) arasında gözlemlenmiş ve T50 zaman değerleri 4 saniye ile 9 saniye arasında kaydedilmiştir. Bu nedenle, % 7.5 MT kullanımının KYB'yi olumlu yönde etkilediği söylenebilir. Ayrıca kısmi nehir kumu ilavesi ile işlenebilirlik ve basınç dayanımı %7.11 arttırılmıştır [97].

Ulubeyli vd. (2015) çimento veya ince agrega yerine MT kullanımının hem sertleştirilmiş betonun hem de taze betonun özelliklerinde iyileşmelere yol açtığını

çalışmalarında belirtmişlerdir. Çalışma, %10 MT ve %25 UK kullanıldığında MT kullanımının doldurma kabiliyeti, penetrasyon kabiliyeti ve basınç ve kırılma dayanımını arttırdığı sonucunu doğurmuştur [98].

Kapoor vd. (2003), 60 MPa civarında bir basınç dayanımına sahip KYB'nin kolaylıkla elde edilebildiğini ve dayanımın dolgu maddesi olarak UK kullanılarak daha da geliştirilebileceğini çalışmalarında belirtmişlerdir [99].

Nikbin vd. (2014) belirli bir basınç dayanımındaki gerilme dayanımı bağlamında, KYB'nun gerilme dayanımının NVC'den biraz daha yüksek olduğunu çalışmaları sonucunda bulmuşlardır [100].

Zhao vd. (2015) yaptıkları çalışma kapsamında %20, %30 ve %40 oranında UK içerikli KYB hazırlamış ve KYB'nun taze, mekanik ve dayanıklılık özellikleri ve gözenekliliğini değerlendirmişlerdir. UK'ün varlığı ilk çökme yayılma akışını arttırmış ve çökme akış kaybı oranı ile KYB'nin doymun kuru yüzey yoğunluğunu azaltmıştır. Ayrıca çimento hamurunun sertleşme süreleri de uzatmıştır. KYB'de UK kullanımının, akışkanlık ve stabilite üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Ayrıca, KYB'de çimentonun UK'le değiştirilmesi, mekanik özellikleri düşürmüş ve erken aşamada su emme oranını arttırmıştır. KYB'de UK ve YFC kullanılması, klorür iyonu difüzyonu ve kuruma büzülmesinin direnci üzerinde de etkili olmuştur [101].

Ifrah Mushtaq (2018) tarafından KYB işlenebilirliği ve dayanım özellikleri üzerine yapılan bir çalışmada, çimento (NPC), farklı ikame seviyelerinde (%10, %15, %20, %25 ve %30) UK'le kısmen değiştirilerek incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları, UK'ün KYB'ye dahil edilmesinin geleneksel betondan daha iyi performans özelliklerine (dayanım ve işlenebilirlik) neden olduğunu göstermektedir [102].

De Matos vd. (2019), düşük bağlayıcı içerikli yüksek performanslı KYB üretmek için çalışma yapmışlardır. Malzeme oranlarını optimize etmek için bir karışım tasarım yöntemi çalışma kapsamında önerilmiştir. Portland çimentosu yerine %0 ila %30 oranında ince UK kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, UK içeren betonların 28 günde

59 MPa'ya (%10 UK) ve 91 günde 71 MPa'ya (%20 ve % 30 UK) kadar basınç dayanımları gösterdiğini ortaya koymaktadır [103].

Rai vd. (2011) MT veya taneciklerinin KYB'nin işlenebilirliği ve basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kullanılan mermer granüllerinin yüzdesi % 0, %5, % 10, % 15 ve %20 iken elde edilen optimum basınç dayanımı değeri, mermer yüzdesi %15'tir. Çalışma, mermer yüzdesinin %20 olduğunda değerlerin azalmaya başladığını da ortaya koymuştur [104].

Hameed vd. (2012) çalışmalarında, kendiliğinden yerleşen beton üretimi sırasında ezilmiş kaya tozlarının yanı sıra mermer çamur tozu kullanımının maliyet-etkin ve avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır. MT'nun kullanılması betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşmelere neden olmuştur. Bulgulara dayanarak, doğal kumun %85 ezilmiş kaya tozu ile değiştirilmesinin ve KYB'de yaklaşık %15 mermer çamur tozu kullanılmasının dayanım kabiliyetini artıracağı ileri sürülmüştür [105].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmanın amacı, mineral katkıların taze ve sertleşmiş KYB'nin özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu açıdan, KYB'nin hazırlanmasında portland çimentosu, ince agrega, kaba agrega, kum, su, UK, MT ve SA maddeler kullanılmıştır. Bu bölüm, tüm bileşenlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini ayrıntılarıyla sunmaktadır. Bu araştırmada kullanılan malzemelerin özelliklerini belirlemek için ilgili ASTM ve TS standartlarında belirtilen prosedürler izlenmiştir.

3.1.1. Portland Çimentosu

Bu çalışmada KYB üretmek için CEM I 42.5R (NPC) kullanılmıştır (Şekil 3.1). Kullanılan çimento ISO 9001 kalite yönetimi ve OHSAS 18001 sağlık ve güvenlik standartları kapsamında sertifikaya sahip ve TS EN 197-7: (2011) gerekliliklerini karşılamaktadır. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir [106].

Tablo 3.1. Çimentonun kimyasal bileşenleri

İsim ve Kompozisyon	Kütle Oranı (%)
CaO (%)	61,3
SiO ₂ (%)	20,1
Al ₂ O ₃ (%)	4,51
Fe ₂ O ₃ (%)	0,51
MgO (%)	1,0
SO ₃ (%)	3,0
Alkalın Oksidler (alkali)	1,1
C ₂ S, C ₃ S, C ₃ A, C ₄ AF	24-26, 48-52, 7-8, 11-20

Tablo 3.2. Çimentonun mekanik ve fiziksel özellikleri

Mekanik ve Fiziksel Özellikler	
Mekanik	
Basınç dayanımı (3 günde) - (MPa)	≥ 20
Basınç dayanımı (7 günde) - (MPa)	≥ 42.5
Basınç dayanımı (28 günde) - (MPa)	≥ 62.5
Fiziksel [Standart Limit (TS:8112-1989)]	
Özgül ağırlık	3,10 – 3,15
Başlangıç piriz süresi	60 (dk) minimum
Son piriz süresi	600 (dk) maksimum



Şekil 3.1. Geleneksel portland çimentosu

3.1.2. Uçucu Kül (UK)

Bu çalışmada kullanılan UK Çatalağzı (Zonguldak/Türkiye) termik santrallerinden elde edilmiştir. Özgül ağırlığı 2.39 olan F Sınıfı UK'ün inceliği $6500 \text{ cm}^2/\text{g}$ ve UK'ün kimyasal özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Kullanılan UK


Tablo 3.3. UK'ün kimyasal özellikleri

Oksit	%
SiO ₂	61.81
Al ₂ O ₃	9.54
Fe ₂ O ₃	7.01
CaO	1.77
MgO	2.56
SO ₃	0.31
K ₂ O	0.99
Na ₂ O	2.43
S +A+F	78.36
Kızdırma Kaybı	2.2

3.1.3. Süperakışkanlaştırıcı (SA)

KYB üretiminde çok düşük su bağlayıcı oranı ile işlenebilirliği elde etmek ancak SA kullanımını ile mümkündür. Bu çalışmada SA olarak CHRYSO Lab Bet 8109 kullanılmıştır. Bu malzeme TS EN 934-2 gereksinimini karşılayan yüksek oranda su azaltıcı beton katkıdır. Tutarlılığı artırarak düşük S/Ç oranı için kullanılan yeni nesil polikarboksilat esaslı bir SA'dir ve özellikle kendiliğinden yerleşen beton (URL-1, 2019), teknik detayları için önerilmektedir. Kullanılan SA'ye ait özellikler Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 3.4. SA'ya ait teknik özellikler

SA tipi	:	CHRYSO Lab Bet 8109
Baz	:	Polikarboksilat
Görünüm	:	
Renk	:	Kahverengi
Sıklık-yoğunluk	:	1.075±0.02 gr/cm ³
pH	:	4±1
Klorür içeriği Cl ⁻	:	% <0,1

3.1.4. Agregalar

Bu çalışma kapsamında Kastamonu ili sınırları içerisinde bulunan ve piyasada kullanılan kalker agregası kullanılmış olup, agrega türleri üç şekilde aşağıda verildiği gibidir:

1. Kaba agrega, 5 mm elek üzerinde kalan 5-15 mm arası,
2. İnce agrega, 5 mm elek altına geçen ve 0.075mm elek üzerinde kalan,
3. 2 mm altı silis kumu,

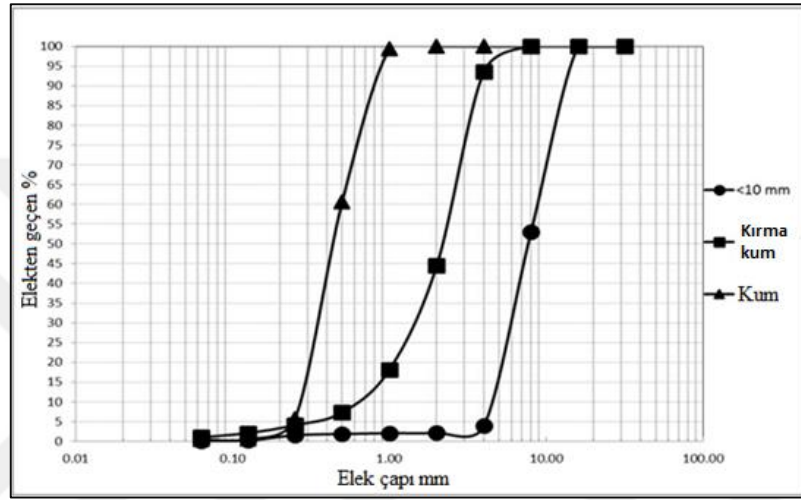
Elek analizi ve agregaların fiziksel özellikleri ile elde edilen partikül boyutu, kullanılan agregalar Tablo 3.5, Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Kaba ve ince agregaların özellikleri

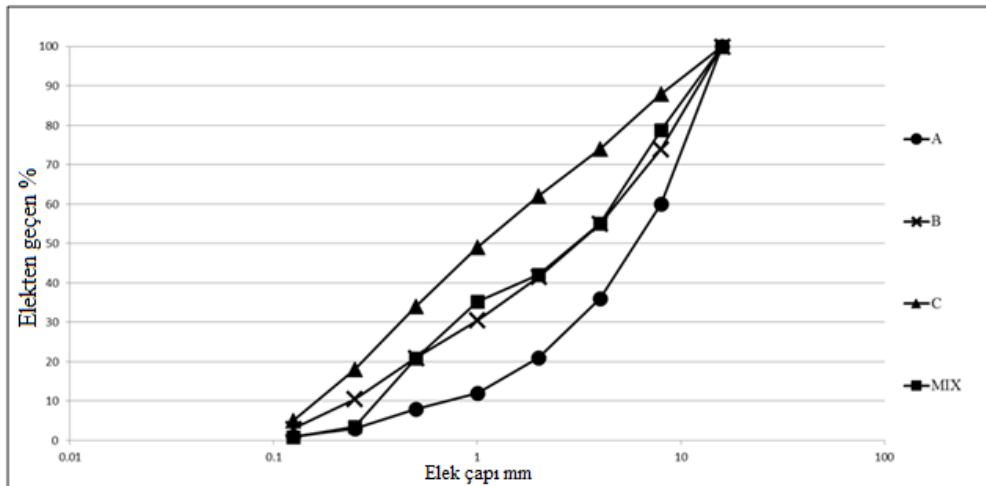
Özellikler	İnce agrega	Kaba agrega
Özgül Ağırlık	2.7-2.8	2.6-2.7
Su emme oranı (%)	% 0.3–2.5.	% 2'den az
İncelik Modülü	2 - 4	6 - 8



Şekil 3.3. KYB üretiminde kullanılan agregalar



Şekil 3.4 Kullanılan agregaya ait elek analizi



Şekil 3.5 Agregaya karışımlarına ait optimum elek analizi sonucu

3.1.5. Mermer Tozu (MT)

Mermer blokları ve plakalarının kesimi ile endüstriyel kullanımından kaynaklı büyük miktarda atık toz üretilmektedir. Mermer kesilirken, ince agreganın yerini alan bulamaç-pasta oluşmakta ve bu malzeme ile kaplama, kesme ve parlatma işlemleri sırasında elde edilmektedir. Mekanize işlemlerle taş ocakçılığı sırasında mermer atığı, toplam üretimin %30 ila %40'ı olarak tahmin edilmektedir. Taşocağı işletmesi sırasında oluşan atık esas olarak kaya parçaları şeklindedir. İşleme sırasında oluşan bulamaç, miktarının toplam taşın yaklaşık %10'una ve cilalama işlemleri sırasında %5 ila %7 arasına tekabül ettiği tahmin edilmektedir. Atık mermer tozu (MT) beton üretiminde farklı şekillerde kullanılabilir.

Tablo 3.6. MT'nun fiziksel özellikleri

Özellikler	Test Sonucu
Özgül ağırlık	2.63
Renk	Beyaz
Şekil	Pudra
Koku	Kokusuz
Nem oranı (%)	0.6
Tane boyutu (max)	<0.90 mm
Sertlik	3 Mohr ölçeğiyle
Su emme oranı	% 0.97

Atık mermer tozu (MT) betonda dolgu maddesi olarak kullanılabilir ve betondaki toplam boşluk içeriğinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Atık mermer tozu (MT), betonda kullanılmasıyla dayanımı değiştirebileceğinden KYB üretiminde herhangi bir ek işlem yapılmadan doğrudan katkı malzemesi olarak kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılan MT, 25 kiloluk paketler halinde bulunan hali ile Kastamonu ilinden temin edilmiş ve başka bir işlem yapılmadan doğrudan KYB'de kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Beton karışımında kullanılan MP

3.1.6. Su

TS-EN 1008, (2003) standardına göre beton üretiminde; beton - karma suyu- numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kurallarına uygun olan su kullanılmalıdır. Bu çalışma kapsamında karışımlar için Kastmonu Üniversitesi kampüsünde kullanılan içme suyu karışımlarda kullanılmıştır.

3.2. KYB Karışım Seçeneklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde, kendiliğinden yerleşen betonların (KYB) özelliklerinin belirlenmesinde kullanılacak mineral katkıların etkilerini araştırmak için izlenen yol açıklanmıştır.

3.2.1. Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında KYB üretiminde kullanılacak NPC, ince agrega, kaba agrega, kum, su, UK, MT ve SA'dan oluşan karışımlara ait değişkenler Tablo 3.7 'de verilmiştir. Karışımların tasarımı ile ilgili detaylar Tablo 3.7'de ve 3.8'de verilmiştir. Portland Çimentosu oranları ise UK ve MT ile ikame edilmiştir.

Tablo 3.7. Karışım tasarımında malzemelerin kullanım oranları

Karışım no	Karışım kodu	Oran		
		Çimento (%)	UK (%)	MT (%)
Z1	UK0MT0	100	0	0
Z2	UK0MT5	95	0	5
Z3	UK0MT10	90	0	10
Z4	UK10MT0	90	10	0
Z5	UK10MT5	85	10	5
Z6	UK10MT10	80	10	10
Z7	UK20MT0	80	20	0
Z8	UK20MT5	75	20	5
Z9	UK20MT10	70	20	10
Z10	UK30MT0	70	30	0
Z11	UK30MT5	65	30	5
Z12	UK30MT10	60	30	10

Tablo 3.8. KYB karışım tasarımı detayları

Karışım	Su (kg)/m ³	Çimento (kg)/m ³	UK (kg)/m ³	MT (kg)/m ³	Kum (kg)/m ³	İnce agrega (0-5) (kg)/m ³	İri Agrega (5-15) (kg)/m ³	SA (kg)/m ³
Z1	195	629.00	0	0	682.10	329.30	620.30	11.30
Z2		597.55	0	31.45				
Z3		566.10	0	62.90				
Z4		566.10	62.9	0				
Z5		534.65	62.9	31.45				
Z6		503.20	62.9	62.90				
Z7		503.20	125.8	0				
Z8		471.75	125.8	31.45				
Z9		440.30	125.8	62.90				
Z10		440.30	188.7	0				
Z11		408.85	188.7	31.45				
Z12		377.40	188.7	62.90				

3.2.2. Test Numunelerinin Dökümü

Çalışma kapsamında portland çimentosu, ince agrega, kaba agrega, kum, su, UK, MT ve SA kullanılarak toplam 12 beton karışımı tasarlanmıştır. Tüm testleri yapmak için 100 x 100 x 100 mm küp örnekler ve 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde silindir örnekler kullanılmıştır.

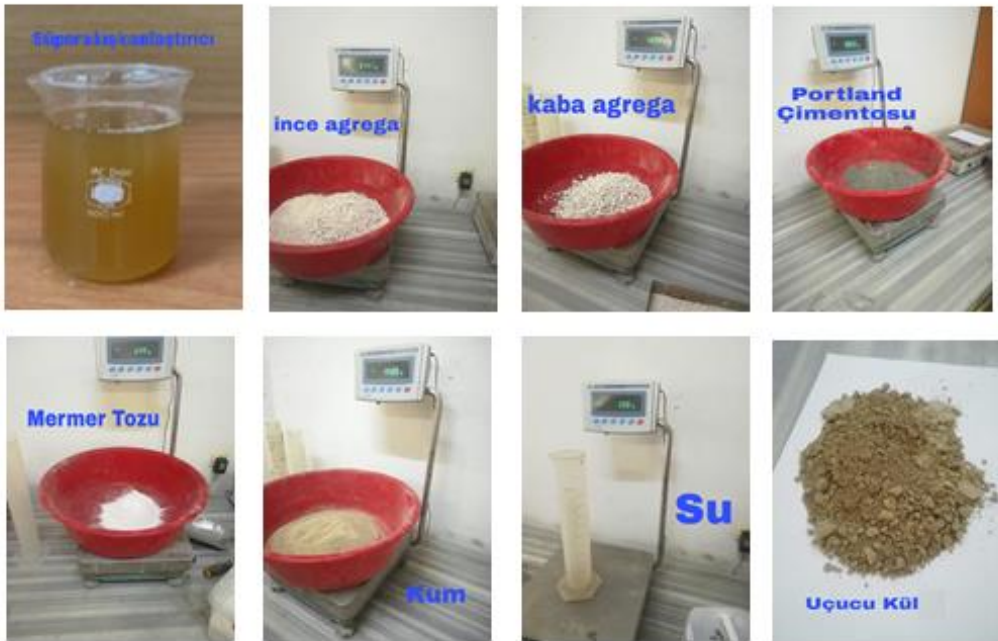
3.2.2.1. Örneklerin dökümü

Karışımların oranları Tablo 3.8.'de verilen detaylara göre Şekil 3.7, görülen mikser ile karıştırma (beton karma) işlemine geçilmiştir.



Şekil 3.7. Mikser

KYB üretiminde, karıştırma dizisi ve süresi, tüm karışımlarda aynı homojenliği sağlama bakımından büyük önem taşımaktadır. Yığınlama dizisi, bir döner planet mikserde 30 saniye boyunca ince ve kaba agregaların homojenleştirilmesinden, daha sonra karıştırma suyunun yaklaşık yarısının miksere ilave edilmesinden ve bir dakika daha karıştırılmasından oluşmaktadır. Daha sonra agregatlar, karıştırıcıdaki suyu bir dakika boyunca emmek üzere bırakılmıştır.



Şekil 3.8. KYB karışımında kullanılan malzemeler

Çimento ve mineral katkı maddeleri (Şekil 3.8), ilave edildikten sonra karıştırma bir dakika daha sürdürülmüştür. Son olarak, kalan suyla SA eklenmiş ve beton 3 dakika karıştırılmıştır ve akabinde 2 dakika dinlendirilmiştir. En sonda, beton karışımı tamamlamak için iki dakika daha karıştırma işlemi yapılmıştır. Mikser durdurulduktan sonra ise harç standart kalıplara (Şekil 3.9) yerleştirilmiştir. Kalıplar ilk önce içeriden temizlenmiş ve harç doldurma kolaylığı için doldurulmadan önce uygun şekilde yağlanmıştır. Beton harcı doldurduktan sonra kalıptan çıkarma kolaylığı için kalıplar son olarak, cam plaka ile kaplanmıştır.



Şekil 3.9. Beton döküm süreci

3.2.3. Kür Koşulları

KYB'nin dökümünden sonra malzemeler Şekil 3.10'da gösterildiği gibi kalıplardan çıkartılmış ve su kürüne alınmıştır. Bu amaçla örnek malzemeler su tankında suyun ısısı $20 \pm 2^\circ\text{C}$ olarak sabit tutulmuştur.



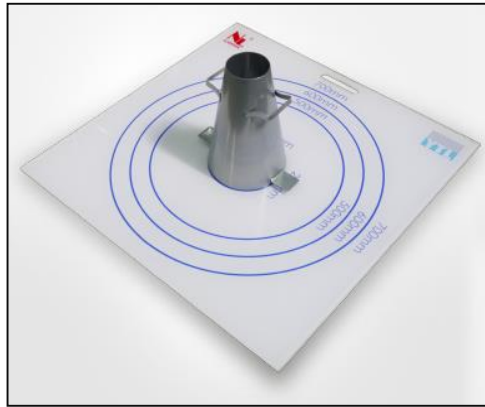
Şekil 3.10. Su kürü

3.3. Yöntem

3.3.1. Yayılma Tablası Testi

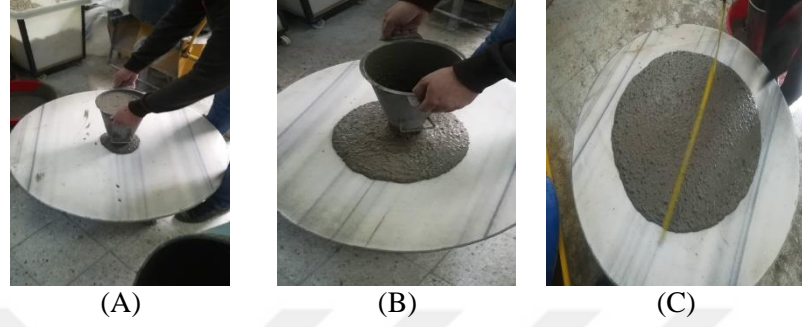
Bir engel olmadığında betonun yatay serbest akışını değerlendirmek için çökme yayılma testi kullanılır (Şekil 3.11, Şekil 3.12). Test yöntemi, çöküşü belirlemeye yönelik test yöntemine dayanır. Çökme testi (Akış Çökme ya da Slump Testi) kendiliğinden yerleşen betonun engeller olmadan kolayca akabilme kapasitesinin değerlendirilmesi için hızlı bir testtir. Tipik Abrams konisini tabanı temizledikten ve nemlendirdikten sonra, dikey olarak yerleştirip cihazı sıkıca tutuyoruz, beton çemberin çapı betonun doldurma kabiliyeti için bir ölçüdür. Aparat aşağıdaki şekilde de gösterilmiştir:

1. Taban ölçüleri tabanda 200 mm çapında, üstten 100 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde kesik koni şeklinde kalıp.
2. Çökme konisinin merkezi konumunu işaretleyen bir daire ve 500mm çapında başka bir eşmerkezli daire ile işaretlenmiş, en az 700mm kare şeklinde, sert emici olmayan bir malzemenin taban plakası.
3. Mala
4. Cetvel
5. Kronometre (isteğe bağlı)



Şekil 3.11. Yayılma tablası test aparatı

Harcın müteakip çapı iki dikey boyutta ölçülür ve ortalama nihai çap olarak rapor edilir. Son olarak, nispi çöküş hesaplanır;



Şekil 3.12. Yayılma çapı testi

3.3.2. Yoğunluk, Su Emme Oranı ve Porozite Testi

ASTM C642-97 yönetmeliği esasına (Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15) göre yapılmıştır [63]. Beton numunelerin yoğunluk testi, porozite ve su emme oranları ASTM C642-97'ye göre belirlenmiştir [63]. Betonun gözenekliliği, su, hava, asit ve bazın geçebileceği küçük deliklerle dolu bir yapı anlamına gelmektedir. Gözeneklilik, bir malzemedeki tüm gözeneklerin hacminin, dökme malzemenin hacmine oranı olarak tanımlanabilir. Betonda bulunan gözenekler, karışımların kalıba yerleştirilmesi sırasında yetersiz sıkıştırmanın bir sonucudur. En önemli özellik olan betonun dayanımı da bu gözeneklerden etkilenmektedir. Yoğunluk direkt olarak 105°C sıcaklıkta 24 saatlik sürede aşağıdaki formülasyonlara göre (eşitlik 3.1 – 3.7) hesaplanmıştır:

$$\text{Su emme oranı} = [(B - A) / A] \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{Kaynama ve kür sonrası su emme oranı} = [(C - A) / A] \times 100 \quad (3.2)$$

$$\text{Hacimsel kuru yoğunluk} = [A / (C - D)]. \rho \quad (3.3)$$

$$\text{Kür sonrası hacimsel yoğunluk} = [B / (C - D)]. \rho \quad (3.4)$$

$$\text{Kaynama ve kür sonrası hacimsel yoğunluk} = [C / (C - D)]. \rho \quad (3.5)$$

$$\text{Görünür yoğunluk} = [A / (A - D)]. \rho \quad (3.6)$$

$$\text{Porozite} = (C - A) / (C - D) \times 100 \quad (3.7)$$

Eşitliklerde;

A = fırında kurutulmuş numunenin açık havadaki kütlesi, (g)

B = daldırma işleminden sonra yüzeyi kuru numunenin açık havadaki kütlesi, (g)

C = daldırma ve kaynatma işleminden sonra yüzeyi kuru numunenin açık havadaki kütlesi, (g)

D = daldırma ve kaynatma işleminden sonra suda görünen numune kütlesi, (g)

g_1 = kütle yoğunluğu, kuru (Mg / m^3)

g_2 = görünür yoğunluk (Mg / m^3)

ρ = su yoğunluğu = $1 Mg / m^3 = 1 g / cm^3$



Şekil 3.13. Yoğunluk test süreci



Şekil 3.14. Arşimet terazisi



Şekil 3.15. Daldırma esnasında beton örnekler

3.3.3. Basınç Dayanımı Testi

Beton küp örneklerinden elde edilen basınç dayanımı sonuçları, betonun tüm özellikleri hakkında fikir vermektedir. Bu test, betonlama işleminin düzgün yapıp yapılmadığı anlaşılmaktadır. Genel inşaat için beton basınç dayanımı, ticari ve endüstriyel yapılarda 15 MPa (2200 psi) ila 30 MPa (4400 psi) ve üstü arasında değişmektedir. Amerikan Malzeme Test Etme Derneği ASTM C39/C39M, “*Beton Örneklerinin Basınç Dayanımı için Standart Test Yöntemi*” sağlamaktadır.

Bu açıdan örnekler 3, 7, 28 ve 90 günlük kürlenme işleminden sonra Şekil 3.16'da gösterildiği gibi basınç test cihazı ile test edilmiştir. Yükler, numuneler kırılışına kadar dakikada 140 kg/cm² oranında kademeli olarak uygulanmalıdır. Kırılma-parçalanma anındaki yükün numune alanına bölünmesi betonun basınç dayanımını vermektedir. Örnekler taşıma gücünü kaybedene kadar yavaş yavaş yükleme yapılmalıdır. Kırılma anındaki yük belirlenerek TS EN 1015-11 nolu standarta uygun olarak KYB basınç dayanımı eşitlik (3.8) kullanılarak belirlenmiştir

$$\sigma = P/A \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

P: Uygulanan kuvvet (N)

A: Kesit alanı (mm²)

σ : Basınç dayanımı (N/mm²)



Şekil 3.16. Basınç test cihazı

3.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı Testi

Yarmada çekme dayanımı, yapısal hafif beton elemanlarının tasarımında, betonun sağladığı kayma direncini değerlendirmek için kullanılmaktadır. İki metal kenar arasında kesildiğinde betonların vereceği yükü belirlemek için yarmada çekme dayanımı testi (Şekil 3.17) yapılmaktadır. Yarmada çekme dayanımı sonuçları, kesme yüklerine maruz kalma eğilimi gösteren film ve levha ürünleri tasarımcıları veya uygulanan kırma yüklerinin riskli olduğu uygulamalar için önemlidir.

Çalışmamıza Bölünmüş Çekme Dayanımı Testi için standart olan ASTM C 496/C 496M – 04 silindirik beton numuneler kullanılmıştır. Bölünmüş çekme dayanımı hesaplanması ise aşağıdaki formül (eşitlik 3.10) kullanılarak yapılmıştır:

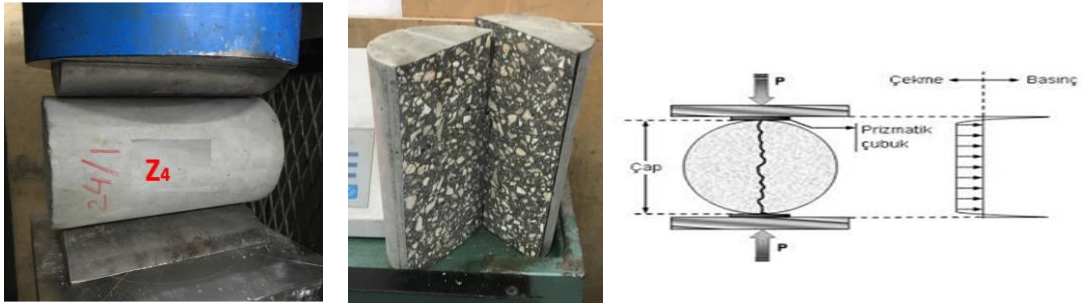
$$\text{Yarmada Çekme Dayanımı} = 2P/\pi DL \quad (3.9)$$

Eşitlikte;

P: maksimum uygulanan yük (N)

D: örnek çapı (mm),

L : örnek silindirin uzunluğu (mm)' nu ifade etmektedir.



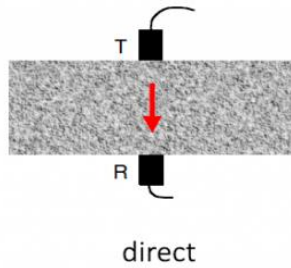
Şekil 3.17. Yarmada çekme dayanımı deneyi

3.3.5. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı (UPV)

Ultrasonik Ses Geçiş Hızları (UPV) darbe hareket süreleri ölçülerek elde edilmiş ve 28 günde pik frekansları analiz etmek için frekans alanına dönüştürülmüştür. Göreli gerilmeler, hızlar ve pik frekanslar, KYB karışımlarında dayanım seviyeleri için karşılaştırılmış (Tablo 3.9) ve Ultrasonik Ses Geçiş Hızı deney süreci Şekil 3.16 'da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Beton kalitesinin sınıflandırılması

Dalga Hızı [km/s]	Beton Kalitesi
4.5 üstü	Mükemmel
3.5 - 4.5 arası	İyi
3 - 3.5 arası	Orta
3 altı	Belirsiz



Şekil 3.18. UPV'nin ölçülmesi

3.3.6. Yüksek Sıcaklık Etkisi

Yüksek sıcaklık etkisi betonun performansı, betonun yapısal bütünlüğünün korunmasını, yangına karşı direncin bozulmamasını ve ısı saldırısında mükemmel koruma sağlamasını ifade etmektedir. Bu özellik betonu yangına karşı güvenilir bir malzeme yapmaktadır. Yapısal malzemelerin ve montajların yangın derecesi genellikle testlerle ve birincil ölçü birimleri olarak geleneksel birimlerin ölçüm değerleriyle belirlenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, bu tür testler genellikle ASTM'ye göre yapılır, "Yangına dayanıklılık testleri için Standart Test Yöntemleri, yapı elemanlarının yük taşıma veya yangın ayırma özellikleri (genellikle yangın direnci olarak adlandırılır) için performanslarını değerlendirmek için tasarlanmıştır. Bu çalışma kapsamında üç farklı sıcaklık dikkate alınarak 300 °C, 400 °C ve 500°C sıcaklık etkisine bırakılmış (Şekil 3.19), sonrasında ağırlık kayıpları ile basınç dayanımları belirlenmiştir.



Şekil 3.19. Yüksek sıcaklık sonrası bazı KYB örnekleri

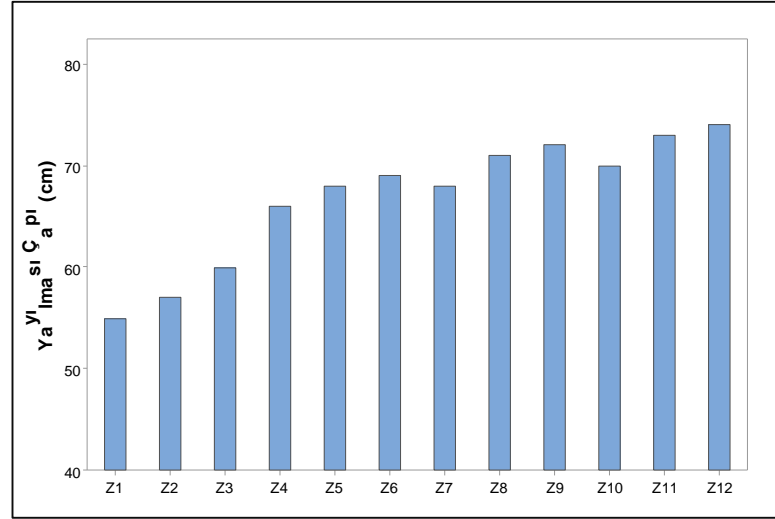
4. TARTIŞMA VE BULGULAR

4.1. Yayılma Tablası Testi

KYB'nin taze hal özelliklerini belirlemede birkaç farklı yöntem uygulanmasına rağmen geleneksel olarak daha çok kullanılan çökme - yayılma deneyi yayılma akış çapının belirlenmesinde yaygın testlerden biridir. Bu amaçla kesik koni kalıp KYB ile tamamen doldurulur, koni çıkarılır ve yayılan beton çapı ölçülür. Bu deney sonucu elde edilen KYB 'ların yayılma çap değişimleri Tablo 4.1 ve Şekil 4.1 verilmiştir. Tablo 4.1 ve Şekil 4.1 incelendiğinde yayılma çapının artışında sadece MT kullanılmasında meydana gelen artış miktarının karışımlara UK ilave edilmesinden sonra daha da artış gösterdiği, etkili olan malzemenin marmar tozundan ziyade UK'ün daha etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Bu KYB'ların yayılma çaplarındaki değişim sonucu olarak, numunelerdeki yayılma çapının 55-74 cm arasında değiştiği gözlenmiştir.

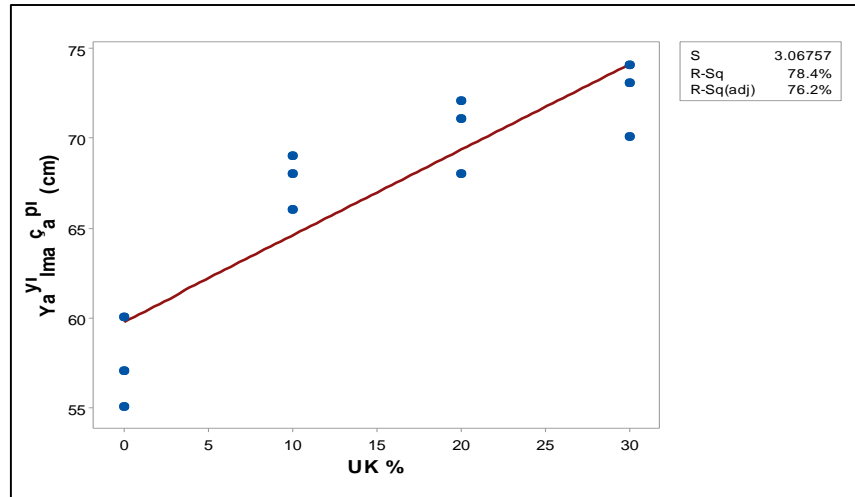
Tablo 4.1. Yayılma çapı deney sonuçları

Karışım kodu	Karışım no	Yayılma çapı (cm)
UK0MT0	Z1	55
UK0MT5	Z2	57
UK0MT10	Z3	60
UK10MT0	Z4	66
UK10MT5	Z5	68
UK10MT10	Z6	69
UK20MT0	Z7	68
UK20MT5	Z8	71
UK20MT10	Z9	72
UK30MT0	Z10	70
UK30MT5	Z11	73
UK30MT10	Z12	74



Şekil 4.1. Yayıma çaplarındaki değişim

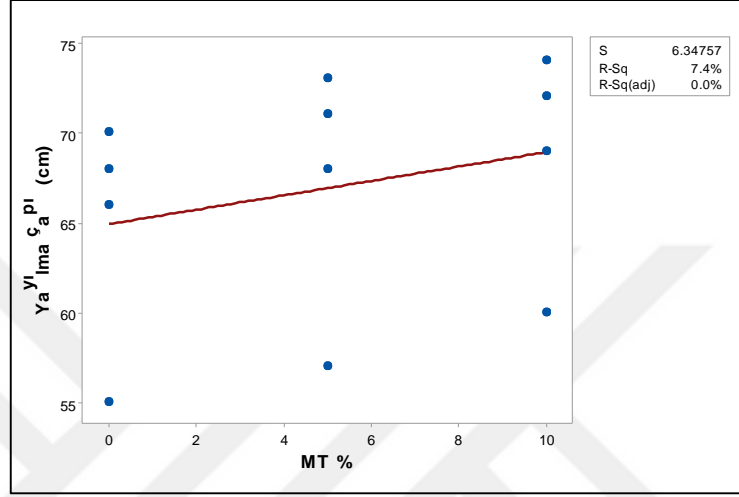
KYB’larda kullanılan malzemelerin beton yayılma çapları ile ilişkileri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde UK ile yayılma çapı arasındaki regresyonel ilişkinin istatistiksel olarak, UK arttığında çapının arttığı bulunmuştur. UK eklenirken, yüksek yayılma çapı oluşunun, $R^2 = 78.4$ ve “Yayıma çapı (cm) = $59.77 + 0.4767.UK$ ” eşitlikleri ile anlam seviyesi yüksek bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Diğer çalışmalarla kıyaslandığında, UK’ün %30 oranında yer değiştirildiğinde elde edilen yayılma çapı ile artışını ifade eden çalışmalra ile de benzer sonuçlanmıştır [78].



Şekil 4.2. KYB’deki UK’ oranı ve çökme yayılma arasındaki ilişki

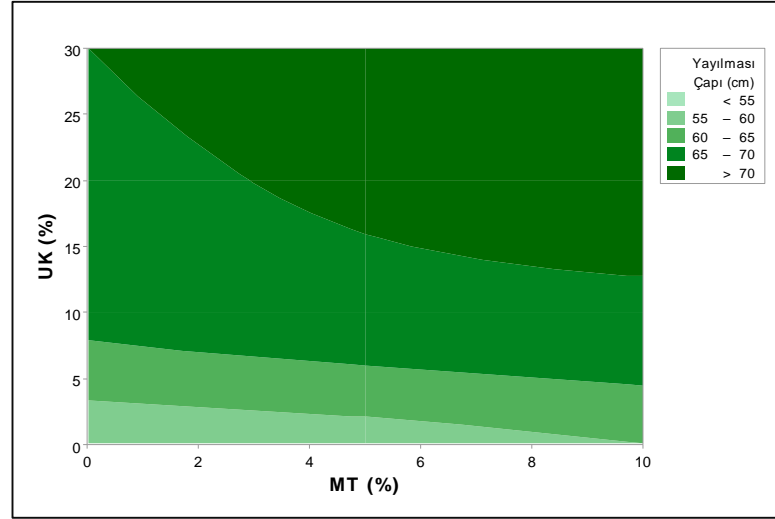
Ancak KYB’larda MT ile yayılma çapı arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 4.3), MT arttığında yayılma çapının arttığı ancak bu artış seviyesinin UK ile

karşılaştırıldığında $R^2 = \%7.4$ ve “yayılma çapı (cm) = 64.92+ 0.4 MT” eşitliği ilede istatistiksel olarak ta anlam seviyesi çok düşük bir ilişki tespit edilmiştir. Bu durum UK tanelerinin MT’na göre daha küçük, daha yuvarlak ve KYB harcında taneler arasında yuvarlak şekli ile yayılmayı daha çok artırıcı bir özelliğe sahip olması ile mümkün görülmektedir [107].



Şekil 4.3. KYB’deki MT oranı ve yayılma çapı arasındaki ilişki

KYB’larda yayılma çapının kullanılan malzeme oranlarına göre belirlenmesinde kullanılabilir kontuar grafiği Şekil 4.4’te verilmiştir. KYB’deki UK ve MT’nun yayılma çapı üzerindeki etkisinin detaylı gösterildiği bu grafiğe göre, MT’nun hiç kullanılmaması durumunda dahi yayılma çapının artan UK kullanımı ile arttığı görülmektedir. Ancak MT’nun KYB karışımlarında kullanılmasında ise değişimin önemsizmeyecek kadar az etkisi olduğu ve aynı anda UK kullanımında da artan MT sayesinde yayılma çaplarında küçük bir azalma eğiliminin olduğu belirlenmiştir. Tüm bu açıklamalara rağmen KYB’lerden beklenen yüksek yayılma çapı (>70cm) için sadece UK’ün yeterli olmadığı ayrıca MT gibi bir katkıında karışımda olması gerektiği belirlenmiştir.



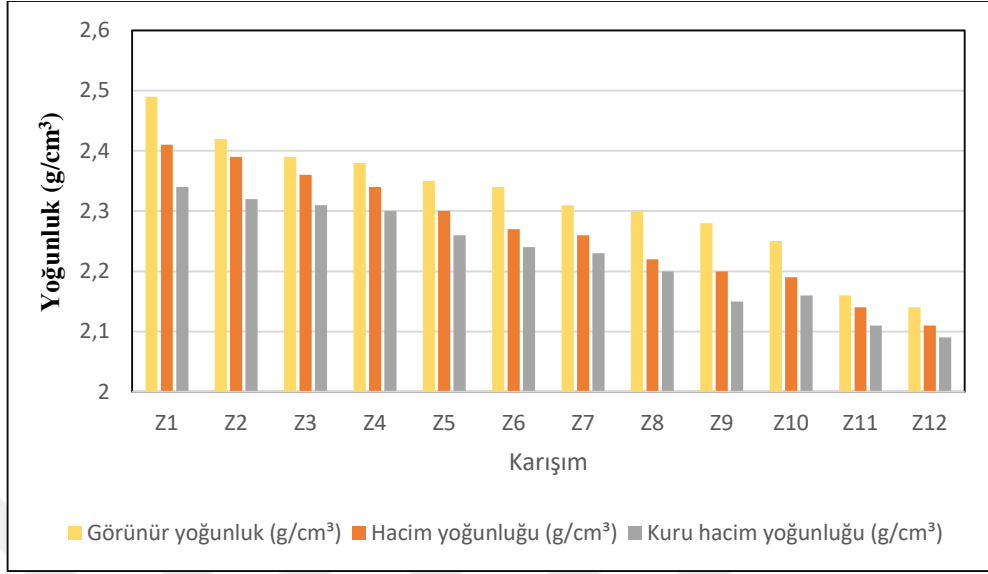
Şekil 4.4. UK ve MT katkısının yayılma çapına etkisinin belirlenmesi

4.2. Yoğunluk Testi

Beton numunelerin yoğunluğu ASTM C642-97'ye göre belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, görünür yoğunluk, hacim yoğunluğu ve kuru hacim yoğunluğunun aynı anda farklı UK, çimento ve MT içerikleri eklenmesi sonucunda değişimi Tablo 4.2 ve Şekil 4.5'de verilmiştir.

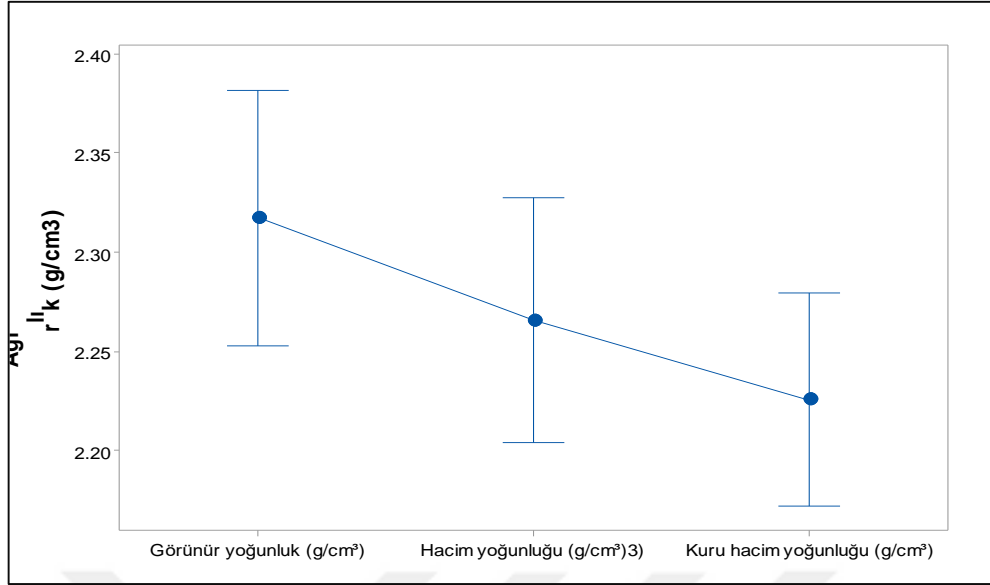
Tablo 4.2. KYB'larda yoğunluk değişim sonuçları

Karışım kodu	Karışım	Görünür yoğunluk (g/cm ³)	Hacim yoğunluğu (g/cm ³)	Kuru hacim yoğunluğu (g/cm ³)
UK0MT0	Z1	2.49	2.41	2.34
UK0MT5	Z2	2.42	2.39	2.32
UK0MT10	Z3	2.39	2.36	2.31
UK10MT0	Z4	2.38	2.34	2.3
UK10MT5	Z5	2.35	2.3	2.26
UK10MT10	Z6	2.34	2.27	2.24
UK20MT0	Z7	2.31	2.26	2.23
UK20MT5	Z8	2.3	2.22	2.2
UK20MT10	Z9	2.28	2.2	2.15
UK30MT0	Z10	2.25	2.19	2.16
UK30MT5	Z11	2.16	2.14	2.11
UK30MT10	Z12	2.14	2.11	2.09



Şekil 4.5. KYB’larda yoğunluklardaki değişimler

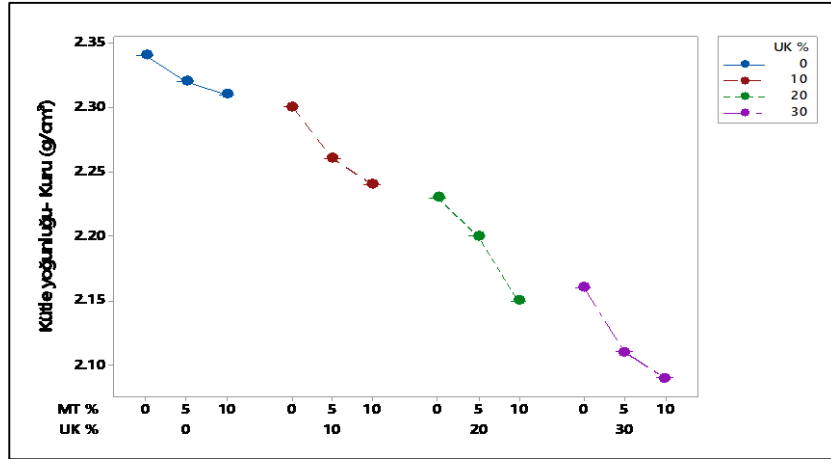
Tablo 4.2 ve Şekil 4.5 incelendiğinde görünür yoğunlukların $2,14 \text{ g/cm}^3$ ile $2,49 \text{ g/cm}^3$ değerleri arasında değiştiği, bu değişimlerin sadece MT kullanımında elde edilen yoğunluklardaki azalışın miktarıyla karşılaştırıldığında karışımlara UK ilavesi sonrası olan yoğunluklara göre daha fazla azalışa neden olduğu belirlenmiştir. KYB karışımlarında azalan çimento miktarına karşılık artan MT ve UK’ün daha düşük yoğunluklara sahip olması sonucu KYB’larında buna paralel yoğunluklarında azalma olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Beton yoğunluk değerleri

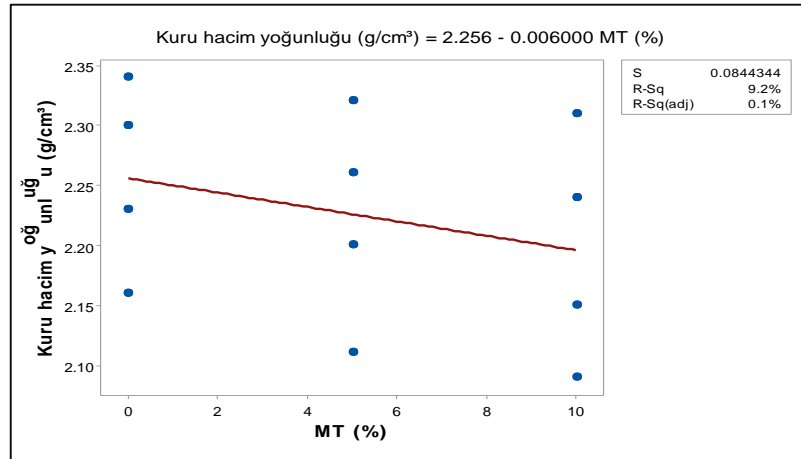
Şekil 4.6 incelendiğinde, istatistiksel ortalamalara bağlı ortalama eğime göre kütle yoğunluğu 2.26 g/m^3 ve 2.33 g/cm^3 olduğu ve görünür yoğunluğun ise 2.23 g/cm^3 değeri ile yaklaşık %5 daha fazla görünür yoğunluğu sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.7 incelendiğinde, maksimum kuru hacim kütle yoğunluğu değerlerinin, 2.34 'e eşit olduğu ve hiç MT ve UK kullanılmadan elde edildiği görülmektedir. Ancak artan oranlara bağlı olarak bu değeri $2,10 \text{ g/cm}^3$ değerine kadar düştüğü görülmektedir. Gruplardaki fark değerlerinin, MT ve UK'ün miktarım arttıkça kuru kütle yoğunluğunun azalmasının sağladığı da gözlenmiştir. Kuru kütle yoğunluğu minimum değerleri MT'nun %30 ve UK'ün %10 oranında kullanıldığı durumda elde edilmiştir. UK ve MT ile kuru kütle yoğunluğu arasında bir ilişki olduğu sonuçlardan açıkça görülmektedir.



Şekil 4.7. UK ve MT oranları ile kuru kütle yoğunluğu arasındaki ilişki

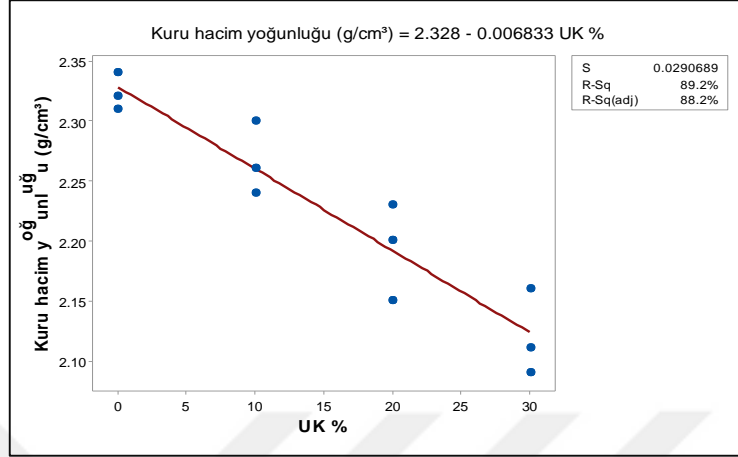
Şekil 4.8 incelendiğinde bağımlı değişken (kuru kütle yoğunluğu) ve bağımsız değişken (MT) arasında ilişki olduğu, bu ilişkinin MT arttıkça kuru kütle yoğunluğu azalması şeklindedir. İstatistiksel olarak, MT artırılırken, kuru kütle yoğunluğunun, $R^2 = 9.2\%$ ve “Kuru kütle yoğunluğu = $2.256 - 0.006000 \text{ MT}$ ” ve standart sapma 0.08443 'e göre istatistiksel olarak anlam seviyesi çok düşük bir ilişkiyle sonuçlanabileceği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.8. KYB'lerin MT oranı ve kuru hacim kütle yoğunluğu arasındaki ilişki

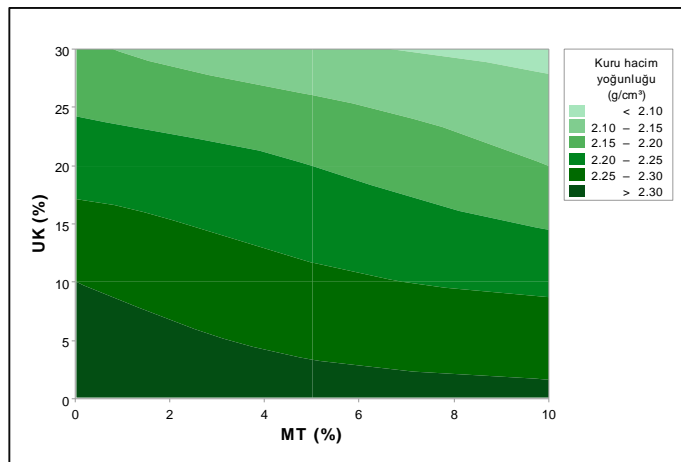
Şekil 4.9 incelendiğinde bağımlı değişken (kuru kütle yoğunluğu) ve bağımsız değişken (UK) arasında da, UK arttıkça kuru kütle yoğunluğunun azalmasına yol açtığı ve istatistiksel olarak, UK artırılması kuru kütle yoğunluğunun, $R^2 = 89.2\%$

“kuru hacim kütle yoğunluğu = 2.328-0.006833 UK” ile 0.02906 standart sapma değeri ile anlam seviyesi yüksek bir sonuç görülmüştür.



Şekil 4.9. UK oranı ve kuru hacim kütle yoğunluğu arasındaki ilişki

KYB karışımlarında UK ve MT katkısı ile sonuçların belirlenmesinde kullanılabilecek kontuar grafik incelendiğinde (Şekil 4.10), MT kullanılmasının, yerine kullanılan çimento yoğunluğuna yakın yoğunlukta olması sebebiyle, kuru hacim kütle yoğunluğu üzerinde önemli bir değişime sebep olmayacaktır. Ancak UK kullanılması durumunda artan miktarına bağlı olarak kuru hacim kütle yoğunluğunun 2.10 g/cm³'tan başlayan ve 2.30 g/cm³ üzeri yoğunluklara kadar geniş bir değerde değişimi neden olabilecektir. Düşük yoğunluk değeri aranan durumlarda ise %0 UK ve %10 MT kullanılması durumunda ulaşılabileceği görülmüştür.



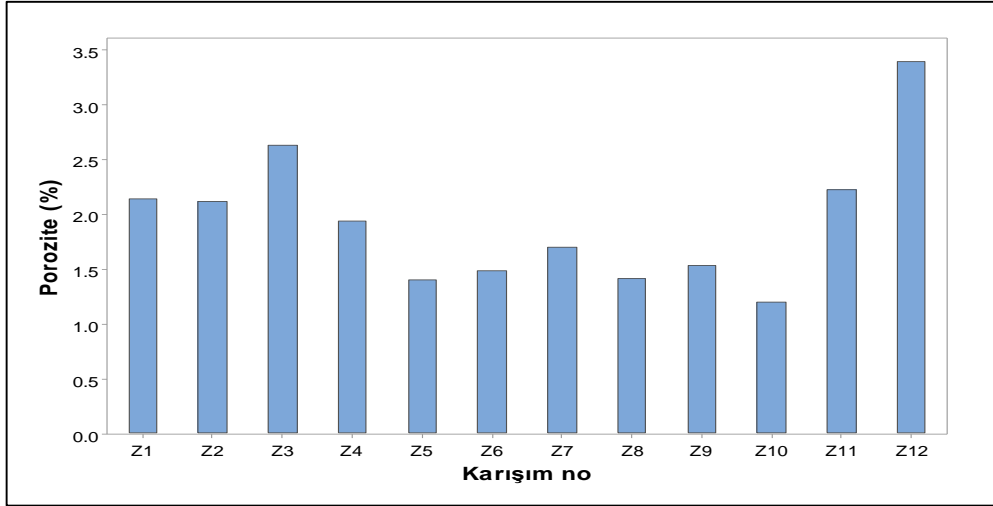
Şekil 4.10. UK ve MT katkısının yoğunluğa etkisinin belirlenmesi

4.3. Porozite Testi

Porozite, gözeneklerle dolu ve genellikle yüzde olarak ifade edilen ve betonun toplam hacminin oranını tanımlamak için kullanılan bir değerdir. Geçirgen olduğunu bildiğimiz bir malzemede porozite önemli bir faktördür. Ancak bu gözenekler yalnızca birbirleri ile bağlı olduklarında akışa izin vermektedirler. 12 farklı karışım için KYB'nin porozite değerleri Tablo 4.3 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Maksimum porozite değerinin % 3.4 ile %30 UK ve %10 MT kullanılan Z12 karışımında gözlemlenmiştir. Bu karışım çok fazla yayılma akışı gösteren bir grup olma özelliği ile öne çıkmaktadır. Düşük değer ise %30 UK ve %0 MT kullanılan Z10 karışımında % 1.2 olarak elde edilmiştir. Bu karışımında çok az yayılma akışı gözlemlenmiştir.

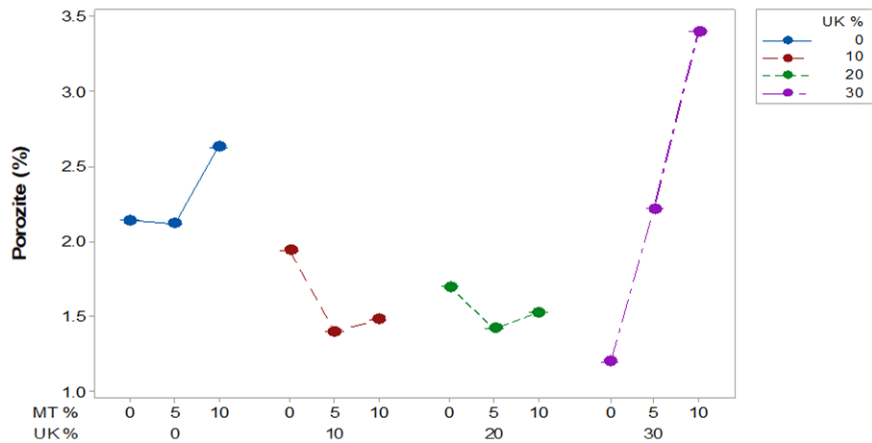
Tablo 4.3. Porozite deney sonuçları

Karışım kodu	Karışım	Porozite (%)
UK0MT0	Z1	2.14
UK0MT5	Z2	2.12
UK0MT10	Z3	2.63
UK10MT0	Z4	1.94
UK10MT5	Z5	1.40
UK10MT10	Z6	1.48
UK20MT0	Z7	1.70
UK20MT5	Z8	1.42
UK20MT10	Z9	1.53
UK30MT0	Z10	1.20
UK30MT5	Z11	2.22
UK30MT10	Z12	3.40



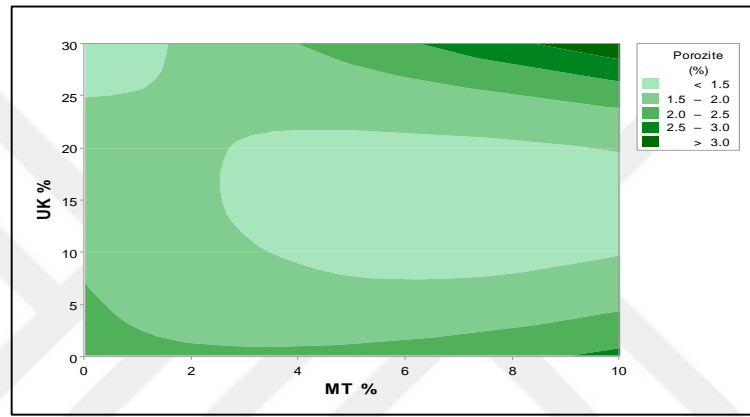
Şekil 4.11. KYB örneklerin poroziteleri

Şekil 4.12 incelendiğinde, MT ve UK kullanılmadan maksimum porozite değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Ancak sadece MT kullanılırsa %5 kullanıma kadar porozite değerlerinde düşme neden olduğu ancak %5'in üzeri kullanımında poroziteyi artırıcı bir etkisi olduğu görülmektedir. UK kullanılırsa ise artan kullanım oranına paralel olarak porozite değerlerinde azalışa neden olmuştur. Ancak her iki malzemenin birlikte kullanılmasında kritik oran geçildiğinde ince malzeme miktarındaki artışla bu malzemeler arasında toplam boşluğun artmasıyla açıklanabilir.



Şekil 4.12. MT ve UK'ün poroziteye etkisi

KYB'ların porozite değerlerinin belirlenmesinde yararlanılabilen kontuar grafiği (Şekil 4.13) incelendiğinde; MT'ndan ise UK'ün porozite üzerinde daha etkili rol oynadığı, sadece UK kullanımında %1,5 porozitenin altında değerlere ulaşılabileceği görülmüştür. Ancak sadece MT'nun kullanılmasında ise KYB karışımlarında porozitenin maksimum %2 poroziteye sahip olabileceği belirlenmiştir. Ancak yüksek poroz bir malzeme istenilmediği sürece, her iki malzemenin birlikte KYB karışımlarında kullanılmasında dikkatli davranılması gerektiği, porozite değerlerinin %3 ve üzeri değerlere çıkabileceği tespit edilmiştir.



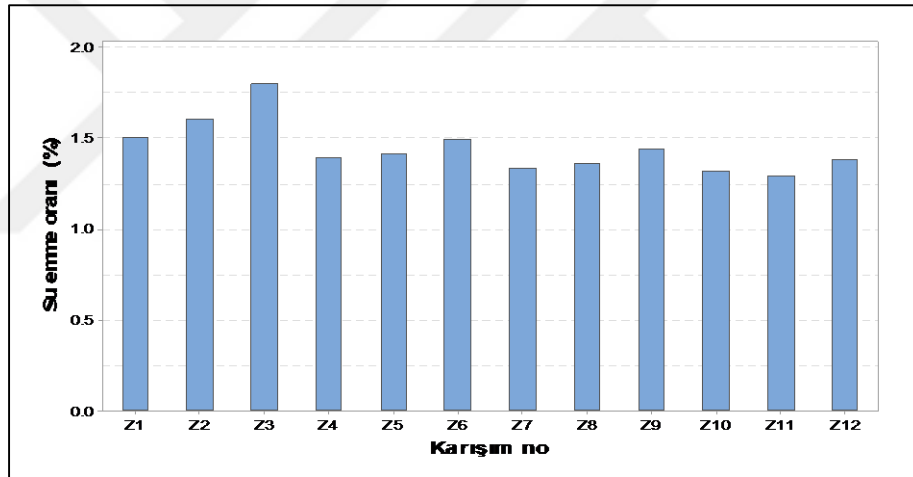
Şekil 4.13. MT ve UK'ün gözenekliliğe etkisi

4.4. Su Emme Oranı

Bu test, KYB'ların su emme özelliklerini değerlendirmek için gerçekleştirilmiş olup, su emme oranı test sonuçları Tablo 4.4 ve Şekil 4.14 'te verilmiştir. KYB'nun su emme oranı sonuçları UK, çimento ve MT'nun bir fonksiyonu olarak su emme oranı değerlerinde değişiklikler olduğunu göstermiştir. Maksimum su emme oranı değeri %1.49 olarak %10 UK ve %10 MT kullanılan Z6 karışımında gerçekleşmiştir. En düşük değer ise %30 UK ve %5 MT kullanılan Z11 karışımında 1.29 olarak gözlemlenmiştir. UK, çimento ve MT'nun, eklenen üç bileşimin özellikleri nedeniyle betonun su emme oranı üzerinde etkisi olduğu söylenebilir.

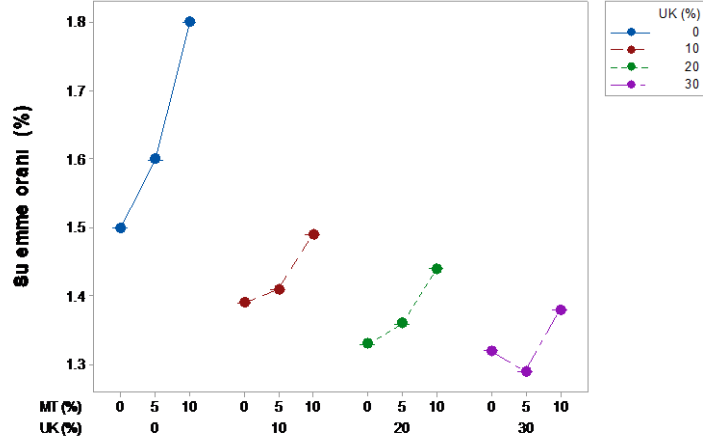
Tablo 4.4. Su emme oranı test sonuçları

Karışım kodu	Karışım no	Su emme oranı (%)
UK0MT0	Z1	1.5
UK0MT5	Z2	1.6
UK0MT10	Z3	1.8
UK10MT0	Z4	1.39
UK10MT5	Z5	1.41
UK10MT10	Z6	1.49
UK20MT0	Z7	1.33
UK20MT5	Z8	1.36
UK20MT10	Z9	1.44
UK30MT0	Z10	1.32
UK30MT5	Z11	1.29
UK30MT10	Z12	1.38



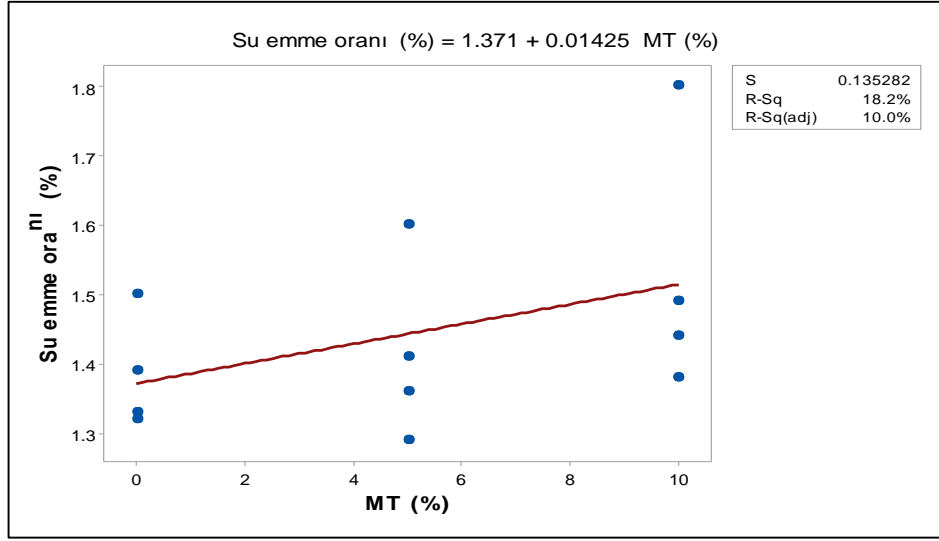
Şekil 4.14. KYB karışımlarının su emme oranlarındaki değişim

KYB karışımlarında kullanılan katkıların su emme oranına etkisi incelendiğinde (Şekil 4.15), MT'nun %10 ve UK'ün %0 oranında kullanımında %1.8 ile maksimum su emme oranı değerinin elde edildiği görülmektedir. Ayrıca artan MT kullanımına bağlı olarak su emme oranlarında artış olduğu, kullanılan UK katkısında ise artan oranla ters orantılı olarak su emme oranlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Bu durum UK sahip olduğu incelik ve boşluklarda daha az bağlantılı boşluk oluşturmasından kaynaklanmıştır. Diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, KYB'nun su emme oranı değerinin UK ilavesinden etkilendiğini gösteren çalışmalarla uyumlu olduğu belirlenmiştir [108].

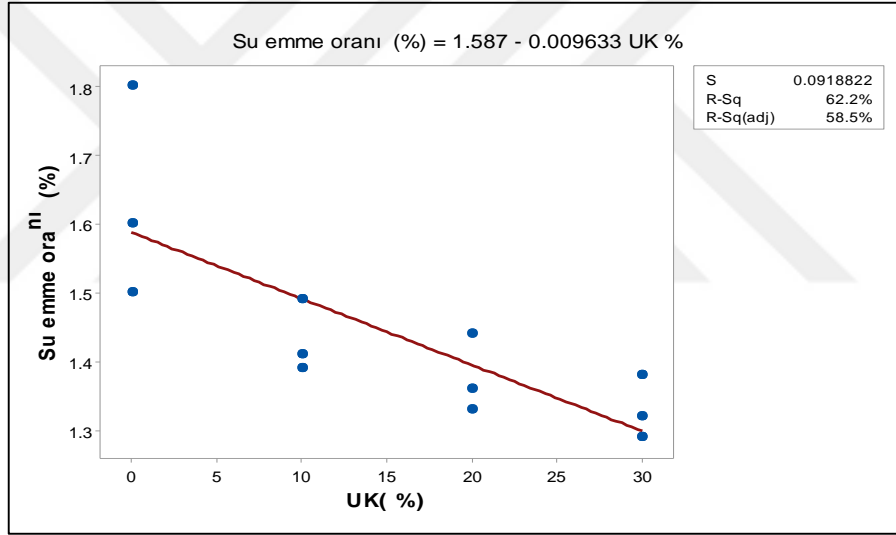


Şekil 4.15. MT ve UK'ün su emme oranına etkisi

Şekil 4.16. ve Şekil 4.17'de MT ve UK'ün su emme oranı ile olan regresyonel ilişkisi verilmiştir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 incelendiğinde MT kullanılışının UK kullanılışına göre istatistiksel açıdan daha az etkili olduğu dabelirlenmiştir. İstatistiksel olarak, MT arttığında su emme oranı da arttığı su emme oranının, $R^2=18.2\%$ ve “Su emme oranı = $1.371 + 0.01425 \cdot MT$ ” ve 0.135282 standart sapma ile anlam seviyesi düşük bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.17. incelendiğinde ise istatistiksel olarak, UK arttığında su emme oranının azaldığı görülmektedir. Ayrıca UK eklenirken, su emme oranının, $R^2=62.2\%$ ve “Su emme oranı = $1.587 - 0.009633 \cdot UK$ ” oranının 0.918822 standart sapma ile daha yüksek anlam seviyesinde bir ilişki belirlenmiştir.



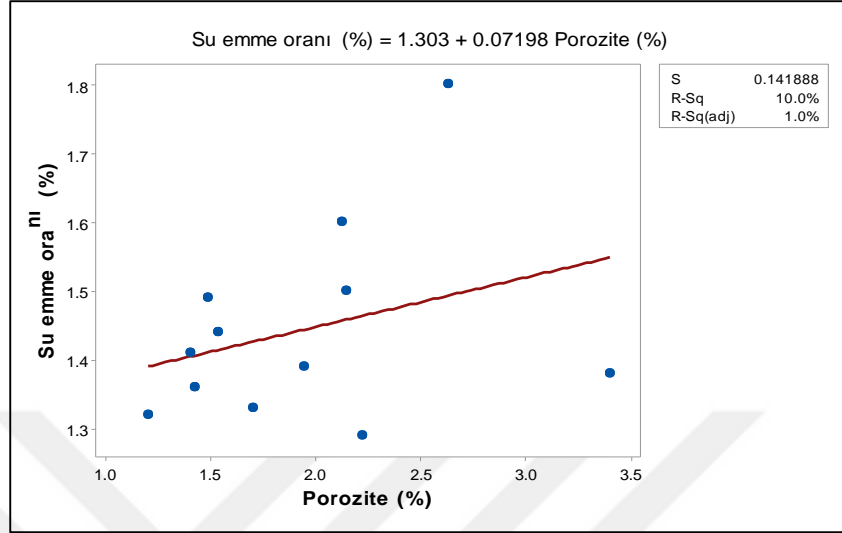
Şekil 4.16. MT'nun su emme oranına etkisi



Şekil 4.17. UK'ün su emme oranına etkisi

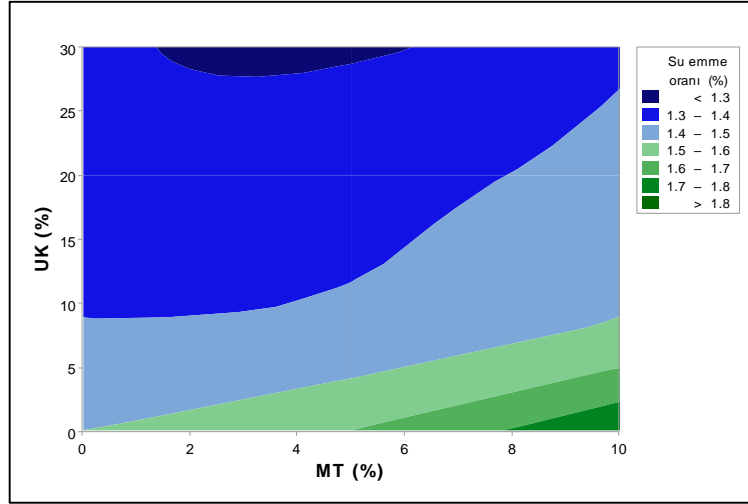
Porozite ile su emme oranı arasındaki regresyon ilişkisi Şekil 4.18'de verilmiştir. Bu ilişki incelendiğinde artan poroziteye bağlı olarak, su emme oranında da artış olduğu görülmüştür. Ancak bu artışın istatistiksel olarak $R^2 = \%10$ ile düşük bir ilişkisi olduğu, “su emme oranı = $1.303 + 0.07198 \cdot \text{porozite}$ ” eşitliği ile ifade edilebileceği görülmüştür. Bu durum ise kullanılan oranların grupların porozitesinde fazla bir değişime neden olmadığı, aksine su emme oranının tüm gruplarda birbirine yakın sonuçların iki grup dışında bener olmasından kaynaklanmıştır. Bu iki grupta ise

değişimin beklenen fazla olması üretimden kaynaklı bir durum olabileceği görülmüştür.



Şekil 4.18. . Su emme oranı ile Porozite arasındaki ilişki

Su emme oranına bağlı KYB karışımların değişimlerinin incelendiği kontuar grafik Şekil 4.19’de verilmiştir. Şekil 4.19 incelendiğinde sadece MT kullanılması durumunda yüksek oranlarda su emme oranı değerlerinin elde edilebileceği, daha düşük su emme oranı değerleri için KYB karışımlarında UK kullanılmasının bir zorunluluk olacağını göstermiştir. MT kullanılmasında KYB karışımlarına UK ilave edilmesiyle %1.3’ten daha düşük su emme değerlerinin elde edilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak MT’nun artan bir su emme oranına sebep olurken, UK ise KYB karışımlarında daha az bir oran elde edilmesini sağlamıştır.



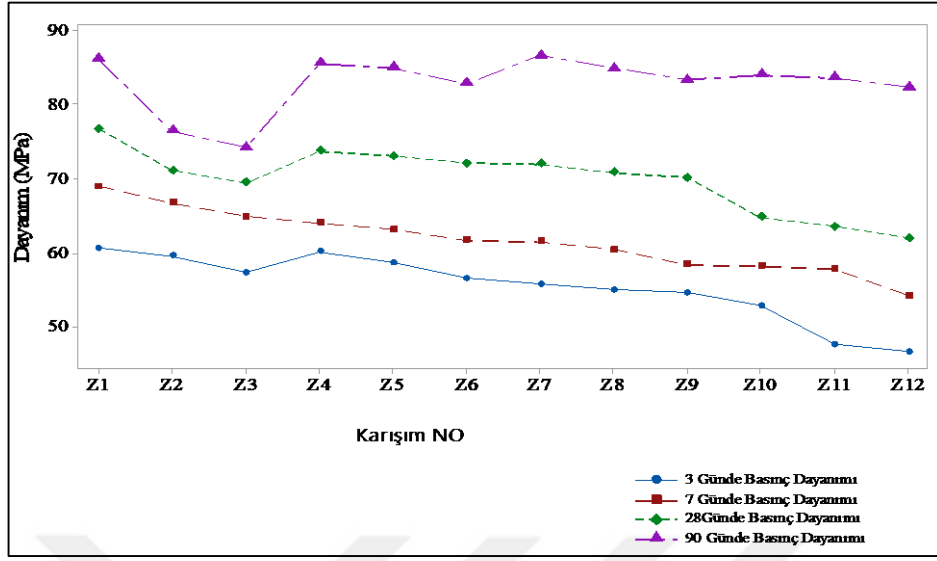
Şekil 4.19. UK ve MT'nun su emme oranına etkisi

4.5. Basınç Dayanımı Testi

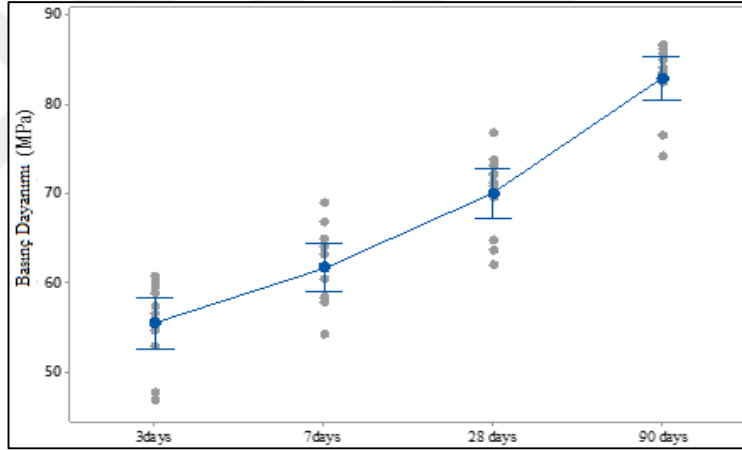
KYB'larda MT ve UK etkisinin incelendiği bu tez çalışması kapsamında hazırlanan karışımlara ait basınç dayanımı değerlerindeki değişim Tablo 4.5, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir.

Tablo 4.5. KYB karışımlarının basınç dayanım sonuçları

Karışım kodu	Karışım No	Basınç dayanımı (MPa)			
		3. Gün	7. Gün	28. Gün	90. Gün
UK0MT0	Z1	60.64	68.99	76.74	86.10
UK0MT5	Z2	59.56	66.70	71.14	76.46
UK0MT10	Z3	57.32	64.88	69.48	74.20
UK10MT0	Z4	60.15	64.03	73.72	85.56
UK10MT5	Z5	58.74	63.12	73.08	84.91
UK10MT10	Z6	56.55	61.68	72.11	82.84
UK20MT0	Z7	55.83	61.50	71.97	86.62
UK20MT5	Z8	55.05	60.42	70.79	84.82
UK20MT10	Z9	54.62	58.38	70.17	83.31
UK30MT0	Z10	52.92	58.18	64.78	84.02
UK30MT5	Z11	47.68	57.80	63.55	83.55
UK30MT10	Z12	46.72	54.23	62.01	82.35



Şekil 4.20. KYB'ların basınç dayanımlarındaki değişimi

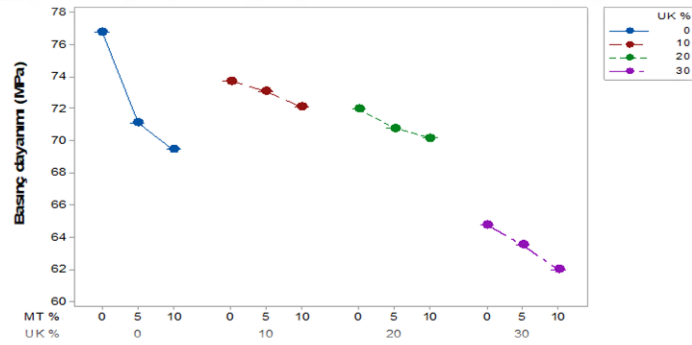


Şekil 4.21. KYB'larda basınç dayanımlarının zamansal değişimi

KYB'larda memmer tozu ve UK katkısının etkisi incelendiğinde (Tablo 4.5, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21); özellikle MT'nun UK'e göre daha az etkili olduğu, %10 MT kullanımında 7, 28 ve 90 günlük dayanımlarda sırasıyla %5.5, %10 ve %14 e varan oranlarda nihai dayanımda zamana bağlı azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Ancak UK'ün %10 oranında kullanılmasında 7 günlük dayanımında %7 oranında MT'ndan daha fazla bir düşme olmasına rağmen 28 günde yaklaşık %7.2 ve 90 günlük nihai dayanımda ise %1'lik bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Bu durum UK'ün MT'na göre daha puzolanik bir reaksiyona sahip olduğunu ve nihai dayanıma kadar mukavemet artışı göstermesi ile açıklanabilir [109]. Şekil 4.19 incelendiğinde MT

kullanımında nihai dayanımında düşüşe neden olduğu, UK kullanılan her grupta ise nihai dayanımların birbirine yakın (yaklaşık 85 MPa) olduğu görülmüştür. İstatiksel ortalamalara bağlı zamansal değişim incelendiğinde (Şekil 4.21), dayanımlardaki artışın nihai dayanımlara yaklaştıkça 3 günlük dayanımlara göre yaklaşık 2 kat olacak şekilde dayanım artış hızının arttığı belirlenmiştir. Sonuçlar, yüksek basınç dayanımı elde etmek için kür süresinin gerekli olduğunu göstermiştir. Kendiliğinden yerleşen betonun 7 ve 28 günde sırasıyla 15 ila 31 MPa ve 26 ila 48 MPa arasında değişen basınç dayanımları geliştirdiğini gösteren diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmektedir.

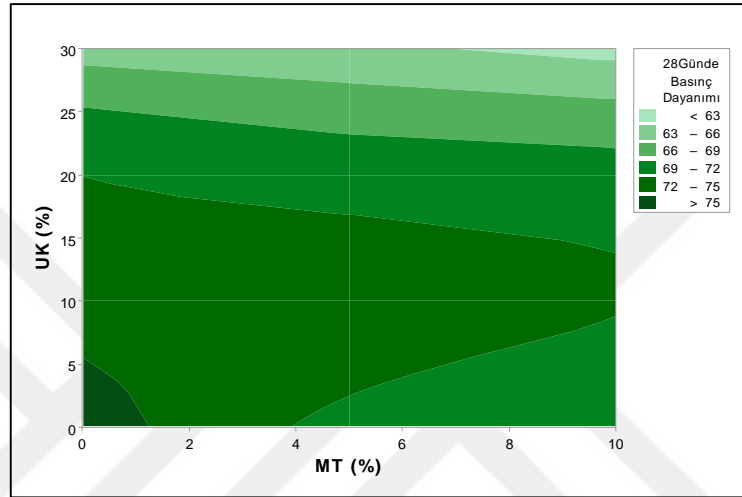
MT ve UK kullanımının basınç dayanımına etkisi (Şekil 4.22) incelendiğinde, MT ve UK olmadan maksimum basınç dayanımı değerinin 76.74 MPa olduğu belirlenmiştir. MT ve UK'ün artmasıyla basınç dayanımı değerlerinin azalması ve gruplardaki fark değerlerinin elde edildiği ayrıca gözlenmiştir. Basınç dayanımı ile UK ve MT kullanımı yüzdesi arasında bir ilişki olup, MT yüzdesi ile UK yüzdesi arasındaki pozitif bir ilişki olduğu ve basınç dayanımının etkilendiğini görülmüştür.



Şekil 4.22. MT ve UK kullanımının basınç dayanımına etkisi

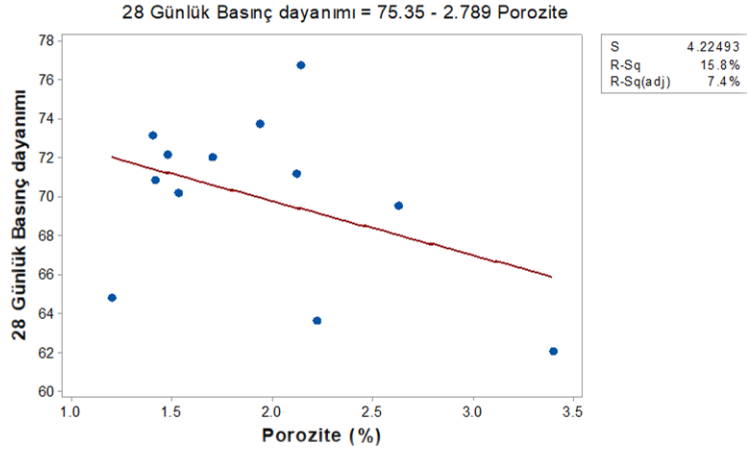
KYB karışımlarında istenilen basınç dayanımlarının belirlenmesinde kullanılan kontuar grafik (şekil 4.23) incelendiğinde; sadece UK kullanılmasında 75 MPa ve üzeri dayanım için maksimum %5 oranında, 72 - 75 MPa arası dayanımlar için % 20'ye kadar UK kullanılması gerekmektedir. Sadece MT kullanılması durumunda 72 MPa dayanımlar için maksimum %4'ü geçmeyecek bir oranın gerektiği belirlenmiştir. Ancak endüstriyel atıkların betonda kullanılması amacı düşünüldüğünde, hem MT

hemde UK kullanılmasında 72 MPa ve üzeri dayanıma %5 UK ve %4 maksimum MT kullanılması ile mümkün olabileceğini göstermiştir. Ayrıca, basınç dayanımı değerlerinin 72-75 Mpa arasında olması durumunun MT'nun maksimum %1 ve UK'ün %5-20 arasında mümkündür. Diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, KYB'daki bağlayıcı malzemede yer alan çimento ile UK'ün (%10) pozitif etkisi örtüşmektedir [109].



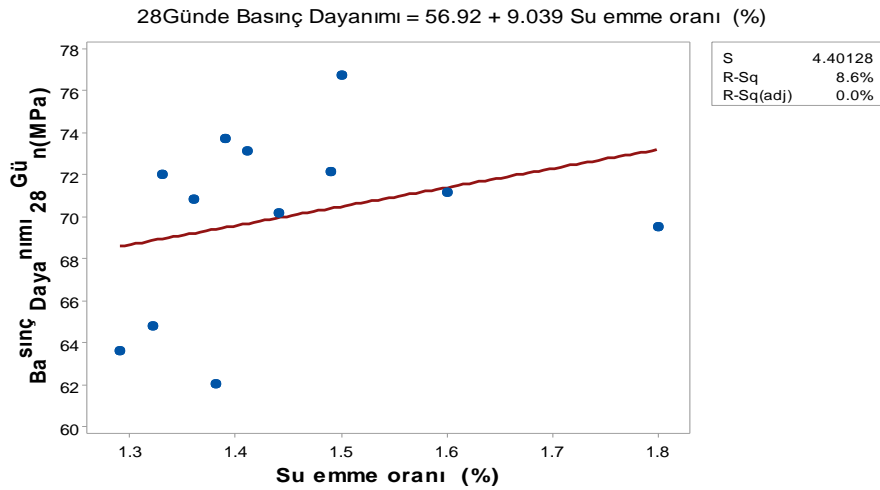
Şekil 4.23. MT ve UK kullanımının basınç dayanımına etkisi

Şekil 4.24 incelendiğinde basınç dayanımı ve porozite arasında artan boşluk oranına bağlı basınç dayanımındaki azalışa neden olan regreasyonel bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Ancak $R^2 = \% 15.8$ ile “Basınç dayanımı = $75.35 - 2.789 \cdot \text{Porozite}$ ” eşitliği ile istatistiksel açıdan anlam seviyesi düşük olan bir ilişki görülmüştür.



Şekil 4.24. Basınç dayanımı ile porozite arasındaki ilişki

Basınç dayanımı ile su emme oranı arasındaki regreasyonel ilişki (Şekil 4.25) ise beklenilenin aksine artan su emme oranına bağlı olarak basınç dayanımında da artış olduğu görülmüştür. Bu artış ise $R^2 = 8.6\%$ ile “Basınç dayanımı = $56.93 + 0.039 \cdot \text{su emme oranı}$ ” ilişkisinin de istatistiksel açıdan poroziteden de düşük bir anlamlı ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum KYB karşımında kullanılan ince malzeme miktarının fazla olması ve MT'nun uöucu kül kadar su emme potansiyelinin bulunmaması nedeniyle olabileceği düşünülmektedir.



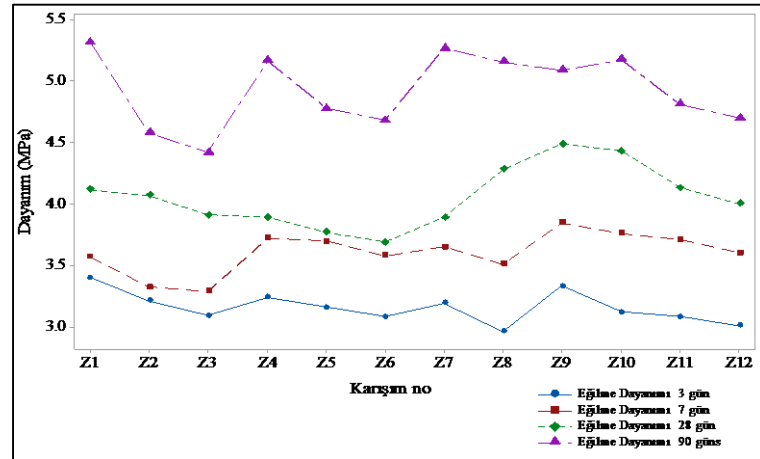
Şekil 4.25. Su emme oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

4.6. Yarmada Çekme Dayanımı

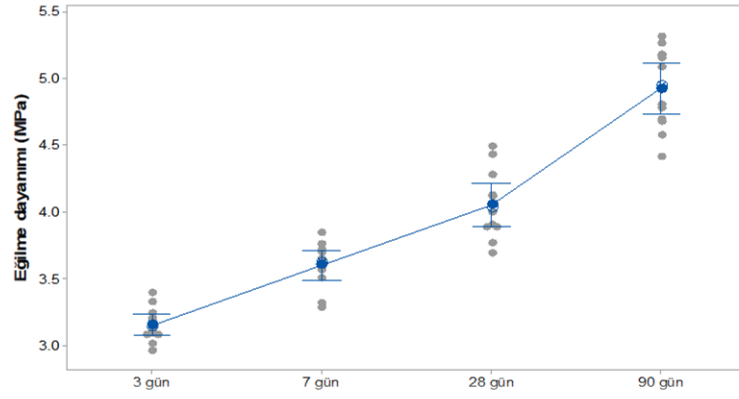
KYB karışımlarının yarmada çekme dayanımı, testi sonuçları Tablo 4.6, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’ da verilmiştir. Tablo 4.6, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 incelendiğinde yarmada çekme dayanımlarının beton yaşı boyunca kademeli olarak arttığı, UK ve MT’nun da dayanımda artışa neden olduğu görülmüştür.

Tablo 4.6. Farklı kürleme sürelerinde çekme dayanımı

Karışım kodu	Karışım No	Yarmada çekme dayanımı (MPa)			
		3. gün	7. gün	28. gün	90. gün
UK0MT0	Z1	3.40	3.57	4.12	5.32
UK0MT5	Z2	3.21	3.32	4.07	4.58
UK0MT10	Z3	3.09	3.29	3.91	4.42
UK10MT0	Z4	3.24	3.72	3.89	5.17
UK10MT5	Z5	3.16	3.7	3.77	4.78
UK10MT10	Z6	3.08	3.58	3.69	4.68
UK20MT0	Z7	3.19	3.65	3.89	5.27
UK20MT5	Z8	2.96	3.51	4.28	5.16
UK20MT10	Z9	3.33	3.85	4.49	5.09
UK30MT0	Z10	3.12	3.76	4.43	5.18
UK30MT5	Z11	3.08	3.71	4.13	4.81
UK30MT10	Z12	3.01	3.60	4,00	4.70

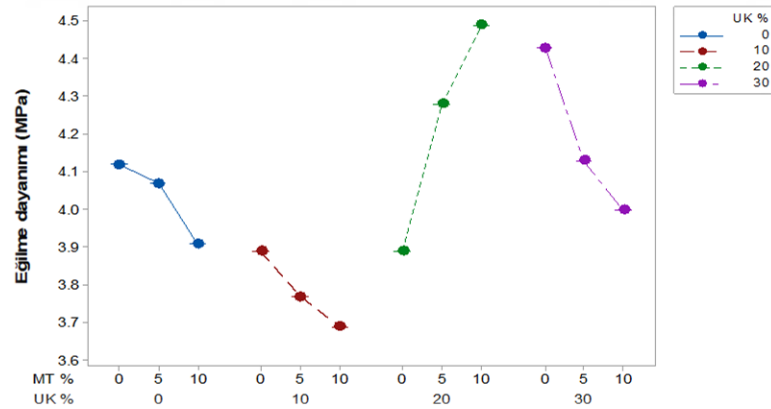


Şekil 4.26. Yarmada çekme dayanımı değerlerindeki değişim



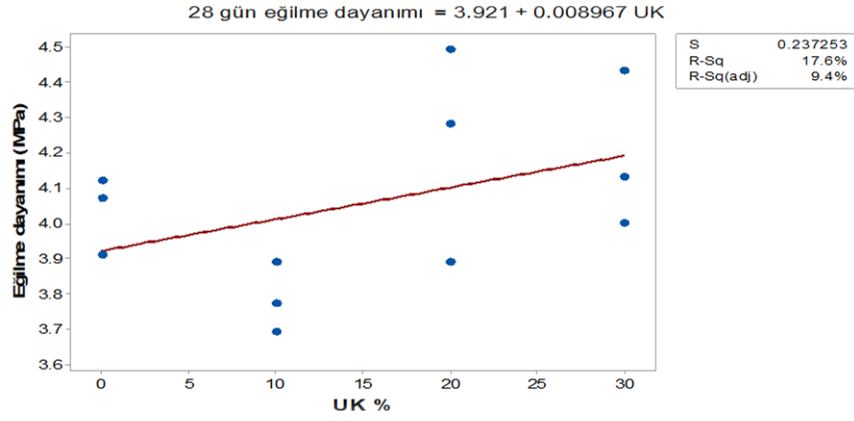
Şekil 4.27. MT ve UK'ün yarmada çekme dayanımı üzerine etkisi

Şekil 4.28 incelendiğinde, yarmada çekme dayanımının maksimum değeri UK'ün %20 ve MT'nun %10 olduğu durumda 4.49 MPa olarak bulunmuştur. Diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, yarmada çekme dayanımının, MT'nun %10'a kadar ve UK'ün %25'e kadar kullanılabileceğini belirten başka bir çalışma ile benzer sonuçlar elde edilmiştir [110].

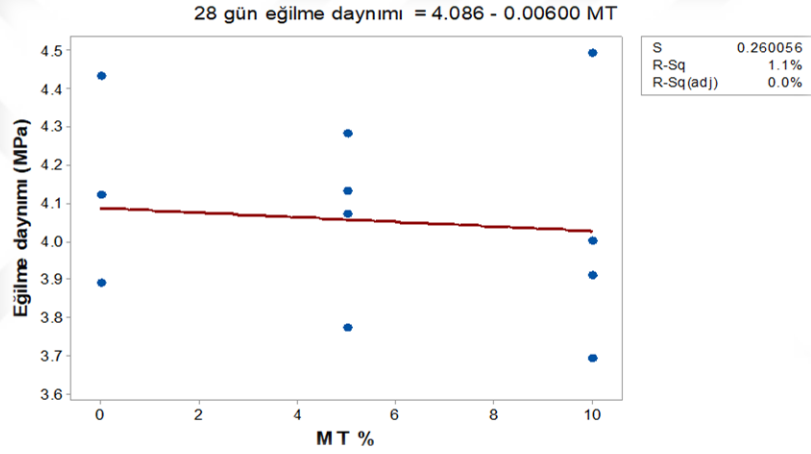


Şekil 4.28. MT ve UK'ün Yarmada çekme dayanımı üzerine etkisi

Şekil 4.29 ve Şekil.30 'da yarmada çekme dayanımı ile MT ve UK'ün regreasyonel ilişkisi incelendiğinde; MT'nun yarmada çekme dayanımını $R^2 = \%1.1$ ve ile azalan bir ilişkisi olduğu görülmüştür. Ancak UK'ün etkisi MT'na göre daha yüksek bir ilişki içinde olduğu ve $R^2 = \%17.6$ ile “Yarmada çekme dayanımı = $3.921 + 0.00896.UK$ ” olan anlam seviyesi MT kullanımına göre yüksek ancak istatistiksel açıdan düşük bir ilişki tespit edilmiştir.

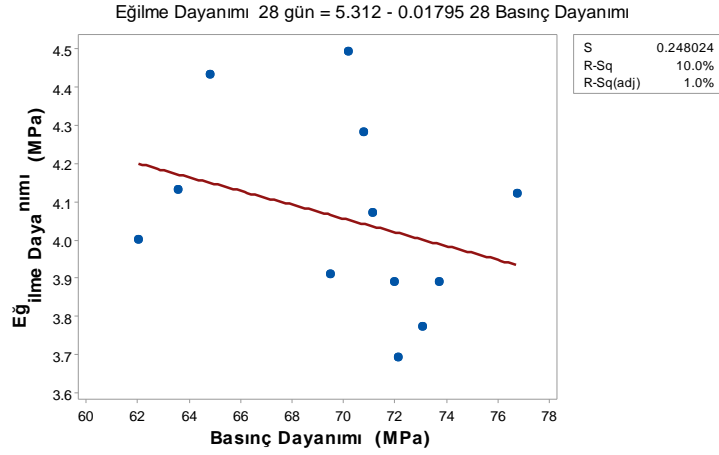


Şekil 4.29.UK'ün çekme dayanımına etkisi



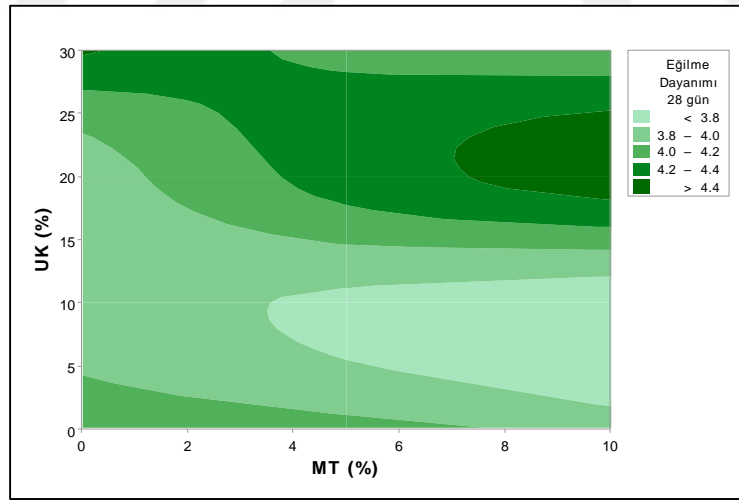
Şekil 4.30. MT'nun Yarmada çekme dayanımına etkisi

Şekil 4.31 , incelendiğinde, 28 günlük, eğilme dayanımı ve basınç dayanımına arasında ilişkinin basınç dayanımın artışına karşılık, eğilme dayanımı azalması şeklinde olduğu görülmüştür. İstatistiksel olarak, $R^2=0\%$ ile “eğilme dayanımı = 5.312 - 0.01795 basınç dayanımına” ve standart sapma 0.248024'e göre istatistiksel olarak anlam seviyesi çok düşük bir ilişki tespit edilmiştir.



Şekil 4.31. Eğilme dayanımı ile basınç dayanımına arasındaki ilişki

KYB'ların yarmada çekme dayanımlarının belirlenmesinde kontuar grafik Şekil 4.32 incelendiğinde, 4.4 MPa ve üzeri dayanımlar için sadece UK kullanılması durumunda %20-25 oranının gerektiği ancak sadece MT kullanılması durumunda böyle bir dayanımlara ulaşamayacağı belirlenmiştir. Ancak daha düşük UK kullanılması gereken durumlar için % 8 -10 arası MT kullanımının gerekliliği belirlenmiştir.



Şekil 4.32. UK'ün Yarmada çekme dayanımına etkisi

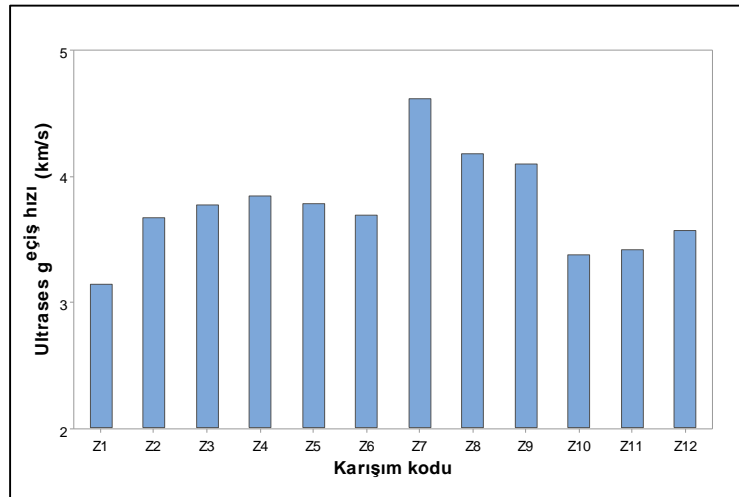
4.7. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı (UPV)

KYB karışımları için ultrasonik ses geçiş hızı testinin sonuçları Tablo 4.7, Şekil 4.33ve Şekil 4.34 de verilmiştir. Tablo 4.7, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 incelendiğinde Z7

numaralı sadece %20 UK kullanılan karışım için maksimum hız 4.62 km/s ve minimum hızda 3.14 km/s olarak kontrol karışımı olan Z1 grubunda gözlemlenmiştir.

Tablo 4.7. KYB'ların ultrasonik ses geçiş hızları

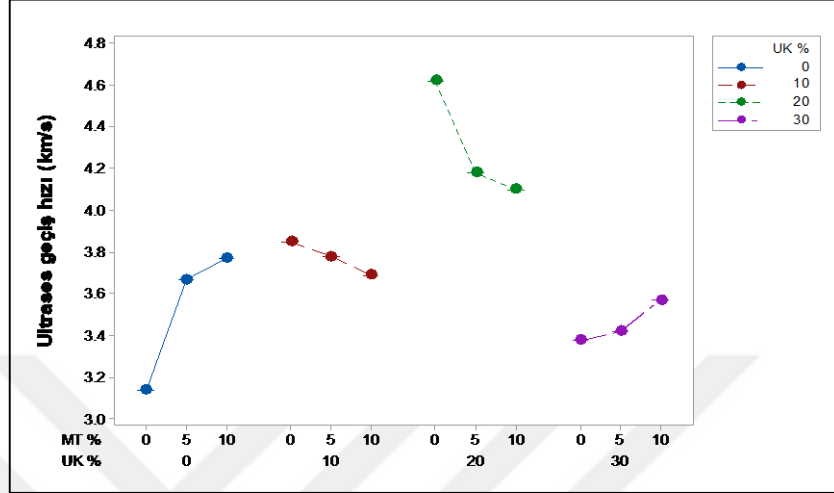
Karışım kodu	Karışım	UPV [km/s]	Beton kalitesi
UK0MT0	Z1	3.14	Orta
UK0MT5	Z2	3.67	İyi
UK0MT10	Z3	3.77	İyi
UK10MT0	Z4	3.85	İyi
UK10MT5	Z5	3.78	İyi
UK10MT10	Z6	3.69	İyi
UK20MT0	Z7	4.62	Çok İyi
UK20MT5	Z8	4.18	İyi
UK20MT10	Z9	4.1	İyi
UK30MT0	Z10	3.38	İyi
UK30MT5	Z11	3.42	Orta
UK30MT10	Z12	3.57	İyi



Şekil 4.33. KYB'ların UPV değişimleri

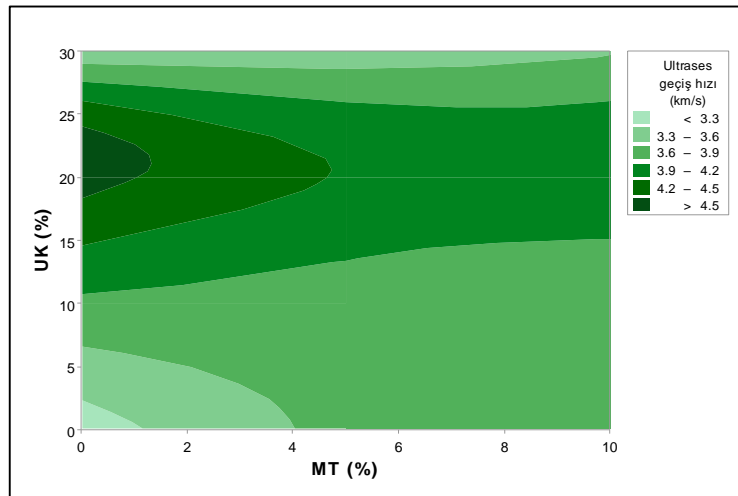
Şekil 4.34 incelendiğinde, UPV değerlerinin %20 UK ve %0, %5 ve %10 MT kullanımında sırasıyla 4.62 km/s, 4.18 km/s ve 4.1 km/s olarak gerçekleştiği

görülmüştür. KYB karışımlarında UPV üzerine UK'ün olumlu etkisi söz konusu iken %10 ve %20 UK kullanımında MT kullanım oranı artıkça UPV değerlerin azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.34. UK ve MT'nun UPV'ye etkisi

Kontuar grafiği (Şekil 4.35) KYB'nin UPV üzerinde MT ve UK kullanımını sonuçlarını göstermektedir. UPV değerinin 4.5 km/s'den fazla olduğu durumun, MT'n yüzdesinin maksimum %1 ve UK'ün %19-23 arasında kullanılması durumunda beton kalitesi olarak iyi sınıfta bir KYB elde edilebileceği belirlenmiştir. KYB'larda en kötü kalitede olan durumun hiçbir kar-tkı kullanılmayan grupta gerçekleştiği, iyi bir kalite KYB için UK ve/veya MT kullanılması gerektiğini ortaya koymuştur.



Şekil 4.35. UK ve MT'na göre UPV'nin belirlenmesi

4.8. Yüksek Sıcaklık Etkisi Testi

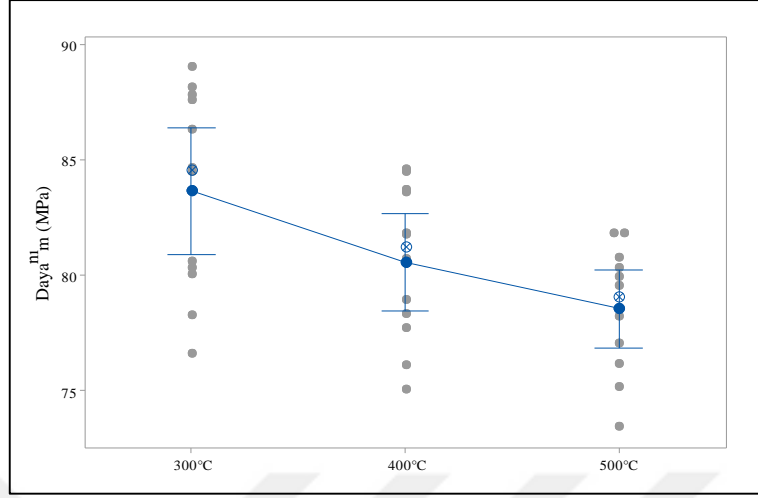
KYB küp numuneler, bir saat süreyle 300°C, 400°C ve 500°C'lik yüksel sıcaklığa tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklık etkisinin incelenmesinde kullanılan basınç dayanımı ve kütle kaybı oranları Tablo 4.8, ve Tablo 4.9, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Yüksek sıcaklıkta basınç dayanımı

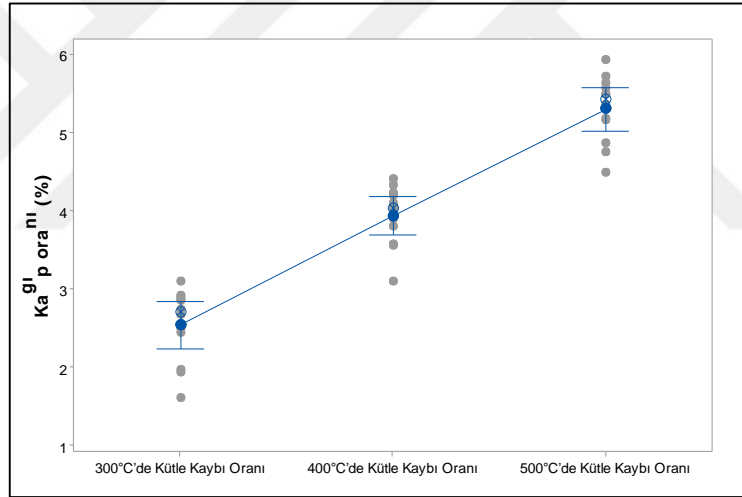
Karışımlar	Karışım kodu	300°C'de Basınç Dayanımı	400°C'de Basınç Dayanımı	500°C'de Basınç Dayanımı
Z1	UK0MT0	80.58	78.30	77.04
Z2	UK0MT5	87.59	84.50	81.79
Z3	UK0MT10	89.05	83.70	79.52
Z4	UK10MT0	84.65	81.77	80.29
Z5	UK10MT5	86.34	80.69	78.19
Z6	UK10MT10	88.16	83.60	80.74
Z7	UK20MT0	76.57	75.02	73.42
Z8	UK20MT5	87.80	84.60	81.79
Z9	UK20MT10	84.46	81.80	79.90
Z10	UK30MT0	80.04	78.95	78.53
Z11	UK30MT5	78.27	76.12	75.15
Z12	UK30MT10	80.31	77.70	76.15

Tablo 4.9. Yüksek sıcaklıkta Kütle Kaybı Oranı

Karışımlar	Karışım kodu	300°C'de Kütle Kaybı Oranı	400°C'de Kütle Kaybı Oranı	500°C'de Kütle Kaybı Oranı
Z1	UK0MT0	1.60	3.10	4.49
Z2	UK0MT5	1.93	3.55	5.49
Z3	UK0MT10	2.84	4.01	5.17
Z4	UK10MT0	2.91	3.57	4.74
Z5	UK10MT5	2.87	3.80	5.15
Z6	UK10MT10	2.73	4.05	5.35
Z7	UK20MT0	2.90	4.10	4.86
Z8	UK20MT5	3.10	4.41	5.64
Z9	UK20MT10	2.49	4.23	5.48
Z10	UK30MT0	1.96	4.19	5.71
Z11	UK30MT5	2.67	4.32	5.93
Z12	UK30MT10	2.43	3.89	5.56

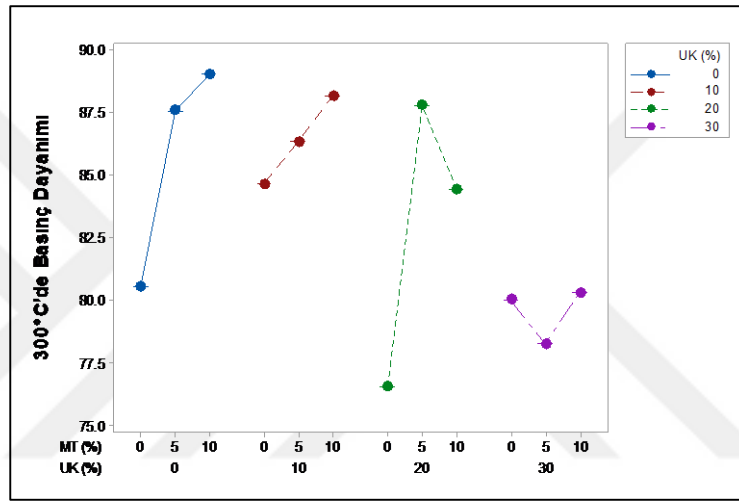


Şekil 4.36. Yüksek sıcaklığın basınç dayanımına etkisi

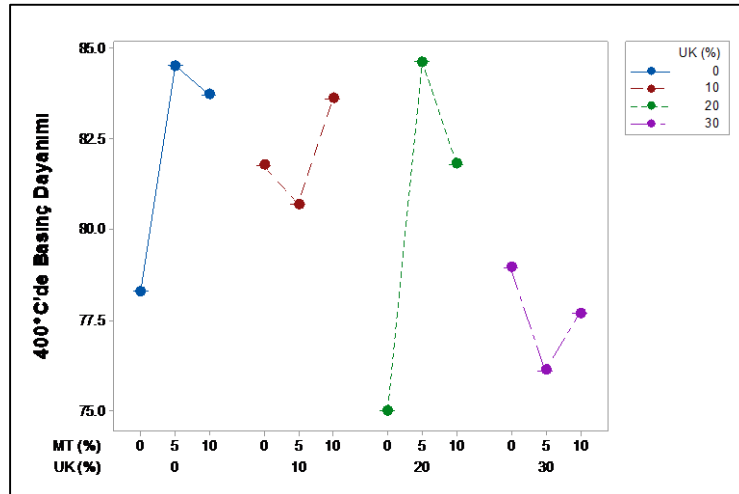


Şekil 4.37. Yüksek sıcaklığın kütle kaybına etkisi

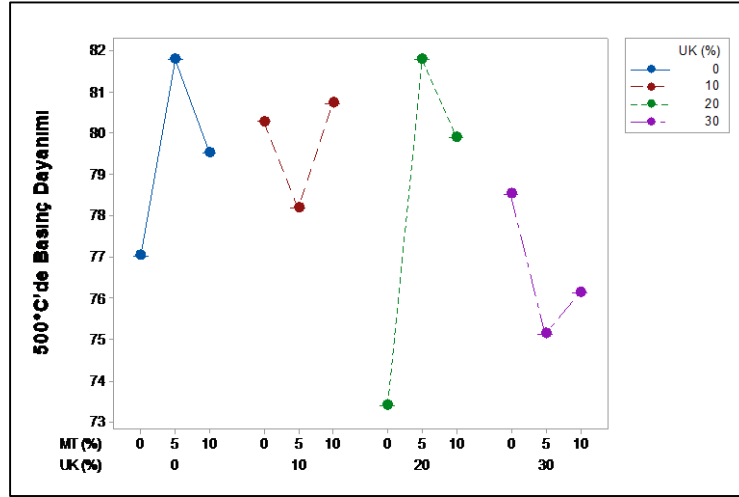
Yüksek sıcaklıklar sonrası belirlenen basınç dayanımları Şekil 4.36 incelendiğinde sıcaklık değerleri 500°C'ye arttığında dayanımların 90günlük dayanımlara göre azalmasına karşılık her artan sıcaklık kademesinde beklenilenin aksine dayanımların arttığı görülmüştür. Ancak istatistiksel ortalamalara göre artan sıcaklıkların 400°C'ye çıkmasında dayanım beklenildiği gibi düşmesine rağmen, daha sonraki sıcaklık seviyesinde yapısındaki değişimden kaynaklı KYB dayanımının arttığı, kütle kaybının ise ilk sıcaklık değerlerinde yüksek ve artan sıcaklıkta kayıp oranı düşen bir eğilim sergilemiştir.



Şekil 4.38. 300°C'de Basınç Dayanımı



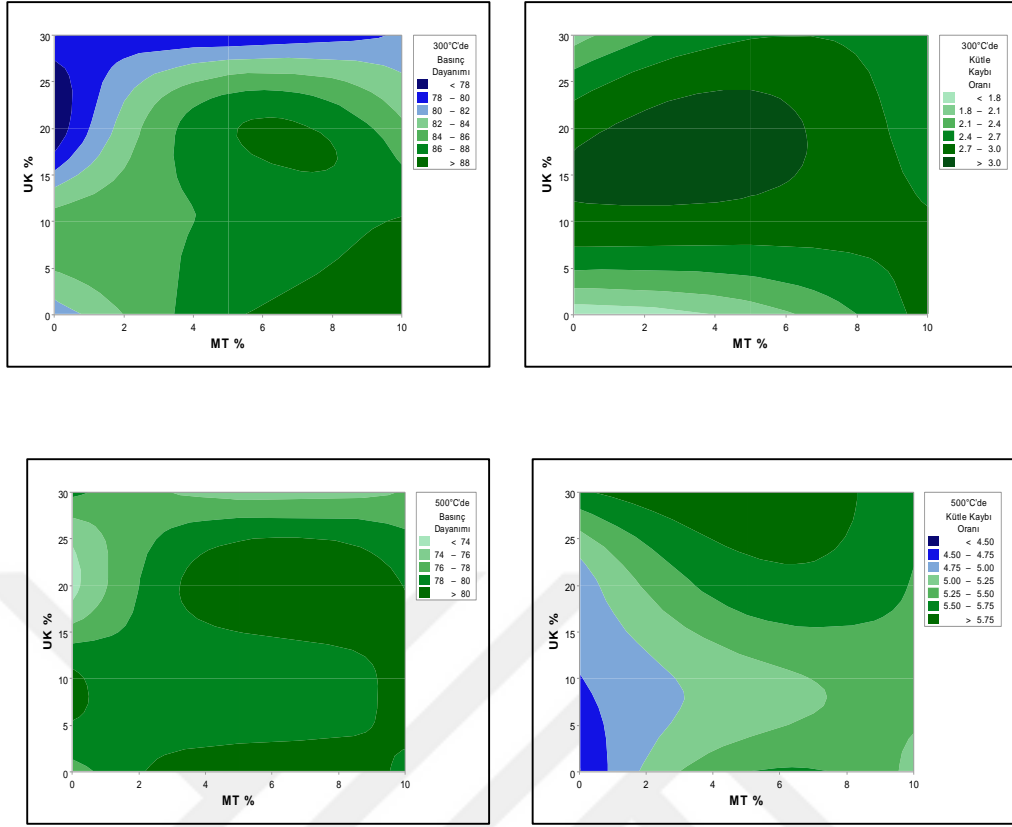
Şekil 4.39. 400°C'de Basınç Dayanımı



Şekil 4.40. 500°C'de Basınç Dayanımı

KYB karışımlarında kullanılan MT ve UK'ün değişen oranları ile oluşturulan karışımların yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakıldığında basınç dayanımına etkisi Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 40'da gösterilmiştir. Şekil 4.38 incelendiğinde, 300 °C sıcaklıkta; UK'ün %0 ve MT %10 kullanımında, yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımında iyileşmeye yol açmaktadır, ancak UK'nin %20'sinde MT'nin %0'dan %5'e yükselmesi basınç dayanımını diğer gruplara göre azaltmıştır, ancak MT'nun %10'a kadar artışında MT'nin artan kullanımı basınç dayanımını azaltmıştır. UK'nin %30 oranında ve MT'ni ise %0'dan %5'e çıkan oranında basınç dayanımının azalmasına yol açmıştır. MT'nun artan kullanımında, basınç dayanımının değişken olmasına karşın dayanımda 300°C'de ki sıcaklıkta dayanımda artışa neden olmuştur. Genel olarak, 300 °C'de en yüksek basınç dayanımı değeri, UK'nin %0 ve MT'nunda %10 oranında kullanılmasında elde edilmiştir.

Şekil 4.39 ve Şekil 4.40 incelendiğinde, 400 °C ve 500 °C sıcaklıklarda da benzer sonuçlar elde edilmiş olup, UK'ün %10 ve %20 oranında ve MT içeriğinin %0'dan %5'e yükseldiği durumda, basınç dayanımının arttığı, ancak MT içeriğinde %10'a kadar olabilecek bir artışta, basınç dayanımını azaltmıştır. Genel olarak, 400 °C ve 500 °C'de, %20 UK ve %5 MT ile karışım en yüksek basınç dayanımına ulaşılmışken, %20 UK ve %0 MT ile oluşturulan karışımın da en düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.41. MT ve UK'ün yüksek sıcaklıktaki etkileri

Şekil 4.41, KYB'deki UK ve MT yüzdesine bağlı olarak yüksek sıcaklığın basınç dayanımı ve kütle kaybı oranı üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekil 4.38 incelendiğinde yüksek sıcaklıklarda optimum karışımın %20 üzeri UK ve %3-6 oranında MT kullanımları ile mümkün olduğu, diğer koşullarda dayanım yüksek olsada kütle kaybı nedeniyle ideal bir KYB karışımı olamayacağı belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı mineral katkı maddelerinin KYB'nin taze özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu bakımdan, NPC, ince agrega, kaba agrega, kum, su, UK, MT ve SA maddeler kullanılarak hazırlanan KYB karışımlarında yayılma çapı, yoğunluk, porozite, su emme oranı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrasonik ses geçiş hızı (UPV) ve yüksek sıcaklık etkisi incelenmiş olup, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- UK'ün eklenmesi, KYB karışımlarında yüksek yayılma çapına neden olduğu, artan MT kullanımında ise yayılma çapı artışının daha az olduğu,
- Kuru hacim kütle yoğunluğunun UK ve MT yüzdesi ile alakalı olduğu, MT ve UK kullanımının kuru kütle yoğunluğunu azalttığı,
- Gruplardaki fark değerlerinin, UK'ün %30 ve MT'nun %30 miktarında kullanıldığı durum hariç, MT ve UK'ün kullanımının artmasıyla porozitenin azaldığı,
- MT'nun %10 UK'ün %0 oranında kullanılmasıyla maksimum su emme oranına sahip (%1.8) KYB üretiminin sağlandığı, en düşük değerlerin ise MT'nun %5 ve UK'ün %30 kullanılmasında (%1,32) elde edildiği ve artan MT oranına bağlı su emme oranında artış olduğu,
- Yüksek basınç dayanımı elde etme açısından MT ve UK yüzdesi arasında pozitif ilişki olduğu, %20'ye kadar UK ile diğer etkileri dikkate alınmadığında %10 MT kullanılmasında sağlanabildiği,
- Yarmada çekme dayanımı sonuçlarına göre maksimum değer %20 oranında UK ve %10 oranında MT kullanıldığı zaman 4.49 Mpa olduğu,
- İyi kalitede bir KYB için maksimum UPV değerlerinin %20 oranında UK ve %0 oranında MT ile 4.62 km/s olduğu,
- Yüksek sıcaklık etkisinin KYB'lerde kullanılan MT ve UK'e bağlı olarak değişkenlik gösteren dayanımlar elde edilmesini sağladığı.

- Sürdürülebilir gelişme için çevre dostu yapı malzemesi olan mermer atıkları ve UK, doğru oranlarda uygulanan bir çimento ikame malzemesi olarak kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Öneriler

Bu çalışma kapsamında yapılması öngörülen bazı durumlar aşağıda verilmiştir.

- Ayrışma ve işlenebilirliği araştırmak ve sağlamak için taze karışım üzerinde ileri derece fiziksel testler yapılması önerilmektedir.
- Çimentonun yerine karışıma UK ve MT dışındaki malzemelerin de eklenip eklenememesi konusunun araştırılması önerilmektedir.
- Uygun karışım dizaynının belirlenmesi ile sertleşmiş beton özelliklerinin yüksek sıcaklık etkisi daha yüksek sıcaklıklarda dahil olmak üzere daha detaylı incelenmelidir.
- Kullanılan malzeme oranları arası farkın azaltılarak optimum oranın daha hassas araştırılması,
- Çalışmada kullanılan malzemelere ayrıca yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü, metakaolin gibi malzeme karışımları ilave edilerek etkilerinin araştırılması,
- KYB'nin özelliklerinin belirlenmesinde yapılan deneyler dışındaki deneyler (permeabilite, SEM gibi) ile malzeme özellikleri daha detaylı araştırılmalıdır

KAYNAKLAR

- [1]. Abeyesundara, U. Y., Babel, S., & Gheewala, S. (2009). A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. *Building and environment*, 44(5), 997-1004.
- [2]. Celik, K., Meral, C., Gursel, A. P., Mehta, P. K., Horvath, A., & Monteiro, P. J. (2015). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of self-consolidating concrete mixtures made with blended portland cements containing fly ash and limestone powder. *Cement and Concrete Composites*, 56, 59-72.
- [3]. Zhao, H., Sun, W., Wu, X., & Gao, B. (2015). The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures. *Journal of Cleaner Production*, 95, 66-74.
- [4]. Ouchi, M. (2001). Self-compacting concrete. Development, applications and key technologies. In ICMR 2001 AKITA: *Fourth International Conference on Materials Engineering Resources* (pp. 53-58).
- [5]. Habert, G., De Lacaillerie, J. D. E., & Roussel, N. (2011). An environmental evaluation of geopolymers based concrete production: reviewing current research trends. *Journal of cleaner production*, 19(11), 1229-1238.
- [6]. Huntzinger, D. N., & Eatmon, T. D. (2009). A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. *Journal of Cleaner Production*, 17(7), 668-675.
- [7]. Su, H., Yang, J., Ling, T. C., Ghataora, G. S., & Dirar, S. (2015). Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes. *Journal of Cleaner Production*, 91, 288-296.
- [8]. Ondova, M., Stevulova, N., & Zelenakova, E. (2011). Energy savings and environmental benefits of fly ash utilization as partial cement replacement in the process of pavement building. *Chemical Engineering Transactions*, 25, 297-302.
- [9]. Shi, C., & Zheng, K. (2007). A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(2), 234-247.
- [10]. Dehwah H.A.F. (2012). Mechanical properties of self-compacting concrete incorporating quarry powder, silica fume or fly ash. *Constr Build Mater*;26:547-51.
- [11]. Uysal, M., & Yilmaz, K. (2011). Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Composites*, 33(7), 771-776.

- [12]. Şahmaran, M., Christianto, H. A., & Yaman, İ. Ö. (2006). The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement and concrete composites*, 28(5), 432-440.
- [13]. Sonebi, M. (2004). Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans. *Cement and Concrete research*, 34(7), 1199-1208.
- [14]. Mohamed, H. A. (2011). Effect of fly ash and silica fume on compressive strength of self-compacting concrete under different curing conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 2(2), 79-86.
- [15]. Liu, M. (2010). Self-compacting concrete with different levels of pulverized fuel ash. *Construction and Building Materials*, 24(7), 1245-1252.
- [16]. El-Dieb, A. S., & Taha, M. R. (2012). Flow characteristics and acceptance criteria of fiber-reinforced self-compacted concrete (FR-KYB). *Construction and Building Materials*, 27(1), 585-596.
- [17]. Sağlam, A.R & Özkul M.H. (2006). Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Özelliklerine Bileşim Parametrelerinin Etkisi. *Nature*;5(1b):239–50 [in Turkish].
- [18]. Skarendahl, Å., & Petersson, Ö. (Eds.). (2000). Report 23: Self-Compacting Concrete—State-of-the-Art Report of Rilem Technical Committee 174-KYB (Vol. 23). *RILEM publications*.
- [19]. Amura, H. O. & Ouchi, M. (1999). Self-compacting concrete. Development, present use and future. In PRO 7: 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (Vol. 7, p. 3). *RILEM Publications*.
- [20]. Persson, B. (2001). A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. *Cement and concrete Research*, 31(2), 193-198.
- [21]. Nagamoto N.& Ozawa K., (1997) Mixture properties of Self-Compacting, High-Performance Concrete, Proceedings, Third CANMET/ACI International Conferences on Design and Materials and Recent Advances in Concrete Technology , SP-172, V. M. Malhotra, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, Mich. p. 623-637.
- [22]. Khayat, K. H., Ghezal, A., & Hadriche, M. S. (1999). Utility of statistical models in proportioning self-compacting concrete. In Proceedings, *RILEM International symposium on Self-Compacting Concrete*, Stockholm (pp. 345-359).
- [23]. Okamura H.,& Ozawa K., (1995). Mix Design for Self-Compacting Concrete, Concrete Library of Japanese Society of Civil Engineers, p. 107-120.

- [24]. Juenger, M. C. G., Winnefeld, F., Provis, J. L., & Ideker, J. H. (2011). Advances in alternative cementitious binders. *Cement and concrete research*, 41(12), 1232-1243.
- [25]. Damtoft, J. S., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D., & Gartner, E. M. (2008). Sustainable development and climate change initiatives. *Cement and concrete research*, 38(2), 115-127.
- [26]. Al-Amoudi, O. S. B. (2002). Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments. *Cement and Concrete Composites*, 24(3-4), 305-316.
- [27]. Bertron, A., Duchesne, J., & Escadeillas, G. (2005). Attack of cement pastes exposed to organic acids in manure. *Cement and Concrete Composites*, 27(9-10), 898-909.
- [28]. Gruyaert, E., Van den Heede, P., Maes, M., & De Belie, N. (2012). Investigation of the influence of blast-furnace slag on the resistance of concrete against organic acid or sulphate attack by means of accelerated degradation tests. *Cement and Concrete Research*, 42(1), 173-185.
- [29]. Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), 5-15.
- [30]. Loser, R., & Leemann, A. (2009). Shrinkage and restrained shrinkage cracking of self-compacting concrete compared to conventionally vibrated concrete. *Materials and structures*, 42(1), 71-82.
- [31]. Leemann, A., Lura, P., & Loser, R. (2011). Shrinkage and creep of KYB—The influence of paste volume and binder composition. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2283-2289.
- [32]. Khayat, K. H., & Guizani, Z. (1997). Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete. *Materials Journal*, 94(4), 332-340.
- [33]. Bouzoubaa, N., & Lachemi, M. (2001). Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash: Preliminary results. *Cement and concrete research*, 31(3), 413-420.
- [34]. Khatib, J. M. (2008). Performance of self-compacting concrete containing fly ash. *Construction and Building Materials*, 22(9), 1963-1971.
- [35]. Gesoğlu, M., Güneyisi, E., & Özbay, E. (2009). Properties of self-compacting concretes made with binary, ternary, and quaternary cementitious blends of fly ash, blast furnace slag, and silica fume. *Construction and building materials*, 23(5), 1847-1854.
- [36]. Şahmaran, M., Christianto, H. A., & Yaman, İ. Ö. (2006). The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement and concrete composites*, 28(5), 432-440.

- [37]. Wang, H. Y. (2008). The effects of elevated temperature on cement paste containing GGBFS. *Cement and Concrete Composites*, 30(10), 992-999.
- [38]. Metha, P. K. (1983). Pozzolanic and cementitious by-products as mineral admixtures for concrete-A critical review. *ACI Publication SP-79*, 1, 1-46.
- [39]. Mindess, S. Young, J.F& Darwin D. (2002). *Concrete. 2nd ed. Prentice Hall*.
- [40]. Cross, D., Stephens, J., & Berry, M. (2010). Sustainable construction contributions from the treasure state. *Concrete international*, 32(5), 41-46.
- [41]. Hannesson, G., Kuder, K., Shogren, R., & Lehman, D. (2012). The influence of high volume of fly ash and slag on the compressive strength of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 161-168.
- [42]. Wallevik, O. H., Mueller, F. V., Hjartarson, B., & Kubens, S. (2010, August). The green alternative of self-compacting concrete, Eco-KYB. In 35th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore.
- [43]. Şahmaran, M., Lachemi, M., Erdem, T. K., & Yücel, H. E. (2011). Use of spent foundry sand and fly ash for the development of green self-consolidating concrete. *Materials and structures*, 44(7), 1193-1204.
- [44]. Rashad, A. M. (2016). A synopsis about perlite as building material–A best practice guide for Civil Engineer. *Construction and Building Materials*, 121, 338-353.
- [45]. Jewell, S., Kimball, S. M., & Gambogi, J. (2016). US Geological Survey 2016: Mineral Commodity Summaries. Reston, US Govt. Printing Office.
- [46]. Farkas, G., Mucsi, G., Szabó, R., & Kristály, F. (2015). The characteristics of fine fractions of perlite. *Journal of Mining and Metallurgy Sheets*, 6, 22-26.
- [47]. Erdem, T. K., Meral, C., Tokyay, M., & Erdoğan, T. Y. (2007). Use of perlite as a pozzolanic addition in producing blended cements. *Cement and Concrete Composites*, 29(1), 13-21.
- [48]. Ramezaniapour, A. A., Karein, S. M. M., Vosoughi, P., Pilvar, A., Isapour, S., & Moodi, F. (2014). Effects of calcined perlite powder as a SCM on the strength and permeability of concrete. *Construction and Building Materials*, 66, 222-228.
- [49]. Bektas, F., Turanlı, L., & Monteiro, P. J. M. (2005). Use of perlite powder to suppress the alkali–silica reaction. *Cement and Concrete Research*, 35(10), 2014-2017.
- [50]. Okuyucu, D., Turanlı, L., Uzal, B., & Tankut, T. (2011). Some characteristics of fibre-reinforced semi-lightweight concrete with unexpanded perlite. *Magazine of Concrete Research*, 63(11), 837-846.

- [51]. Zhao, H., Sun, W., Wu, X., & Gao, B. (2012). Effect of initial water-curing period and curing condition on the properties of self-compacting concrete. *Materials & Design*, 35, 194-200.
- [52]. Erdem TK. Effect of delay period and maximum temperature period on compressive strength of steam cured concrete. MS thesis, METU Department of Civil Engineering Ankara; 2000.
- [53]. Ozer, B., & Ozkul, M. H. (2004). The influence of initial water curing on the strength development of ordinary Portland and pozzolanic cement concretes. *Cement and Concrete Research*, 34(1), 13-18.
- [54]. Ba, M. F., Qian, C. X., Guo, X. J., & Han, X. Y. (2011). Effects of steam curing on strength and porous structure of concrete with low water/binder ratio. *Construction and Building Materials*, 25(1), 123-128.
- [55]. Türkel, S., & Alabas, V. (2005). The effect of excessive steam curing on Portland composite cement concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(2), 405-411.
- [56]. Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (1981). *Concrete* Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, 481.
- [57]. Emborg, M. (2000). *Mixing and Transport*, Brite EuRam, Task 8.1.
- [58]. EFNARC. (2002). *The European Guidelines for Self Compacting Concrete Specification, production, and use*, www.efnarc.org, 68pp. EFNARC Association, UK.
- [59]. Petersson, Ö., Billberg, P., & Van, B.K. (1996). A model for self-compacting Concrete, *Proceedings of International RILEM Conference on Production Methods and Workability of Concrete*, edited by P.J.M. Bartos, et al. (Chapman & Hall/E & FN Spon) (Paisley, 1996) pp.483-490.
- [60]. Gibbs, J. C. (1999). The prospects for self-compacting concrete. *In Proc Concr Comm Conf*, Cardiff University (pp. 391-402).
- [61]. Bartos, P. J. (2000, June). Measurement of key properties of fresh self-compacting concrete. In *CEN/PNR Workshop*, Paris.
- [62]. Neville, A.M., (2000). *Properties of Concrete*, Pitman publishing, fourth and final edition, London.
- [63]. Su, J. K., Cho, S. W., Yang, C. C., & Huang, R. (2002). Effect of sand ratio on the elastic modulus of self-compacting concrete. *Journal of Marine Science and Technology*, 10(1), 8-13.
- [64]. Mindess S. & Young F. (1981). *Concrete*, *Civil Engineering Mechanics Series*, New Jersey.

- [65]. Mehta K. (1986). Concrete Structure, Properties, and Materials, Ntice-Hall International Series in Civil Engineering Mechanics.
- [66]. PCA. (2000). Survey of Mineral Admixtures and Blended Cements in Ready Mixed Concrete, *Portland Cement Association*, pp.16.
- [67]. Erdoğan, T.Y., (1997). Admixture for Concrete, METU Press, Ankara, Turkey.
- [68]. PCA (Portland Cement Association). (2003). Design and Control of Concrete Mixtures, CD Publication- CD 100.1 Based on EB001.14, pp.57-70.
- [69]. Sakata, N., Yanai, S., Yokozeki, K., & Maruyama, K. (2003). Study on new viscosity agent for combination use type of self-compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), 37-41.
- [70]. Golasweski, J., & Swabowski, J., (22 August 2002.) Influences of Superplasticizers on Rheological Behavior of Fresh Cement Mortars, *Cement of Concrete Research* no.2469 (2003), Silesian University of Technology, Poland.
- [71]. Colleparadi M., (2003). Advances in Chemical Admixtures for Concrete, *Advances in Cement and Concrete*, Editors: M.W. Grutzeck and S.L. Sarkar, Durham USA, pp. 257-291.
- [72]. Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), 5-15.
- [73]. Petersson O., (1999). Workability, Brite EuRam, Task 2.
- [74]. Hodgson, T., (2003). Laboratory and Field Investigations of Self-Consolidating Concrete (KYB), University of South Florida.
- [75]. Patankar, S. V., Ghugal, Y. M., & Jamkar, S. S. (2015). Mix design of fly ash based geopolymer concrete. In *Advances in Structural Engineering* (pp. 1619-1634). Springer, New Delhi.
- [76]. Tayeb, B., Abdelbaki, B., Madani, B., & Mohamed, L. (2011). Effect of marble powder on the properties of self-compacting sand concrete. *The Open construction and building technology journal*, 5(1).
- [77]. Alyamaç, K. E., & Ince, R. (2009). A preliminary concrete mix design for KYB with marble powders. *Construction and building materials*, 23(3), 1201-1210.
- [78]. Kumar, M. L., & Bhadoriya, G (2015). Effect of partial replacement of cement by fly ash and fine aggregate by marble powder, stone powder on concrete properties.
- [79]. Pala, K. P., Dhandha, K. J., & Nimodiya, P. N. (2015). Use of marble powder and fly ash in self compacting concrete. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1, 475-479.

- [80]. Praveenkumar, S., Murugesan, K., & Nikhil, N. S. (2017). Influence of Marble Powder and Fly Ash in Fresh and Hardened Properties of Self Compacting Concrete. *International Journal of ChemTech Research*, 10(8), 314-319.
- [81]. Singh, V., Gajjar, P., & Nimodiya, P. (2017, November). Experimental study to enhance the strength properties of self compacting concrete using waste marble powder and fly ash. Retrieved from November 2017, Volume 4, Issue 11 JETIR (ISSN 2349 5162. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)* www.jetir.org.
- [82]. Sajeev, V., Thariq, I., Hussain, M., Nibin, N., Muhammed Razi, K., & Basheer, A, (2018). Effect of Partial Replacement of Fine Aggregate by Marble Powder on the Fresh and Hardened Properties of SCC.
- [83]. Alyamaç, K. E., & Ince, R. (2009). A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1201-1210.
- [84]. Alyamac, K. E., Ghafari, E., & Ince, R. (2017). Development of eco-efficient self-compacting concrete with waste marble powder using the response surface method. *Journal of cleaner production*, 144, 192-202.
- [85]. Tennich, M., Kallel, A., & Ouezdou, M. B. (2015). Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes. *Construction and building materials*, 91, 65-70.
- [86]. Anuj, Miss Meera1 & Supratic Gupta (2015) . Rheology of Self Compacting concrete with Marble Powder mixes in comparison to Fly ash and Sand Based Mixes. Department of Civil Engineering, IIT Delhi, India(Corresponding Author: Supratic@civil.iitd.ac.in)
- [87]. Topcu, I.B, Bilir, T., Uygunoglu T.,(2009) Effect of waste marble powder content as filler on properties of self-compacting concrete. *Constr Build Mater*;23:1947–53.
- [88]. Hameed, Asif, Asad-ullah Qazi, Safeer Abbas, & Abdul Rehman. "Self compacting concrete: use of waste marble powder as filler material." *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences* (2016).
- [89]. Boukhelkhal, A., Azzouz, L., Benchaa, B., & Belaidi, A. S. E. (2018). Strength and durability of low-impact environmental self-compacting concrete incorporating waste marble powder. *Journal of Building Materials and Structures*, 4(2), 31-41.
- [90]. M. Gesoglu & E. Ozbay, (2007),“Effects of mineral admixtures on fresh and hardened properties of self-compacting concretes: binary, ternary and quaternary systems,”*Mater Struct.* 40, pp. 913–926,
- [91]. T. Ponikiewski & J. Gołaszewski,(2014). “The effect of high-calcium fly ash on selected properties of self-compacting concrete, *Arch of civil and mecheng.*14, pp. 455-465.

- [92]. M. Gesoglu, E. Guneyisi, M. E. Kocabag, V. Byram, K. Mermerdas, “Fresh and hardened characteristics of self compacting concretes made with combined use of marble powder, limestone filler and fly ash,” *Constr Build Mater.* 37, pp. 160-170, 2012.
- [93]. M. Sahmaran, S. B. Keskin, G. Ozerkan, I. O. Yaman, “Self-healing of mechanically-loaded self consolidating concretes with high volumes of fly ash,” *cem and conc comp.* 30, pp. 872-879, 2008.
- [94]. Darzi Musaib, A., & Shivkumar, B. (2016). Review paper on “Effective partial replacement of cement and sand with fly-ash and marble powder to make green concrete” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, e-ISSN: 2395-0056, p-ISSN: 2395-0072. Volume, 3, 1408-1410.
- [95]. Siddique , ParatibhaAggarwal, YogeshAggarwal, “Influence of water/powder ratio on strength properties of self-compactingconcrete containing coal fly ash and bottom ash, ”*constr and build mater.* 29, pp. 73-81, 2012
- [96]. Pala, P. K, Dhandha, K. J.& Nimodiya, P. N., (2015). “Use of marble powder and fly ash in self compacting concrete”, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology (IJIRST)* vol.1, issue 12, pp 475 -479.
- [97]. Türkmenoğlu, Z. F., Türkmenoglu, M., & Yavuz, D. (2016). Using waste marbles in self compacting lightweight concrete. *Tunnel construction*, 5, 6.
- [98]. Ulubeyli, G. C., & Artir, R. (2015). Properties of hardened concrete produced by waste marble powder. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2181-2190.
- [99]. Kapoor, Y.P., Munn, C., and Charif, K., (2003). “Self-Compacting Concrete- An Economic Approach”, 7th International Conference on Concrete in Hot & Aggressive Environments, Manama, Kingdom of Bahrain, 13-15 October, pp. 509 520.
- [100]. Nikbin, I. M., Beygi, M. H. A., Kazemi, M. T., Amiri, J. V., Rahmani, E., Rabbanifar, S., & Eslami, M. (2014). A comprehensive investigation into the effect of aging and coarse aggregate size and volume on mechanical properties of self-compacting concrete. *Materials & Design*, 59, 199-210.orporating coarse recycled concrete aggregate. *Materials & Design*, 53, 983-991.
- [101]. Zhao, H., Sun, W., Wu, X., & Gao, B. (2015). The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures. *Journal of Cleaner Production*, 95, 66-74.
- [102]. Ifrah Mushtaq .(2018) Self Compacting Concrete Design And Performance Using Fly Ash. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. Volume 9, Issue 4, April 2018, pp. 436–445.

- [103]. De Matos, P. R., Sakata, R. D., & Prudêncio Jr, L. R. (2019). Eco-efficient low binder high-performance self-compacting concretes. *Construction and Building Materials*, 225, 941-955.
- [104]. Rai, B & Naushad, K & Kr, Abhishek & Rushad, T & Assistant, -. (2011). Influence of marble powder/granules in concrete mix. *International journal of civil and structural engineering*.
- [105]. Hameed, M. Shahul, et al (2012). “Self-compacting concrete using marble sludge powder and crushed rock powder”. *KSCE Journal of Civil Engineering* (2012) 16(6):980-988 DOI 10.1007/s12205-012-1171-y.
- [106]. Ifrah mushtaq, self compacting concrete design and performance using fly ash *international journal of civil engineering and technology (IJCIET)* volume 9, issue 4, april 2018, pp. 436–445, article id: ijci_et_09_04_048
- [107]. Pala, K. P., Dhandha, K. J., & Nimodiya, P. N. (2015). Use of marble powder and fly ash in self compacting concrete. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1, 475-479.
- [108]. Odiase Stephen. Water Absorption and Compressive Strength of Self-Compacting Concrete Incorporating Fly Ash and Quarry Powder. *International Journal of Scientific and Research Publications, IJSRP*, Volume 8, Issue 9, September 2018 Edition [ISSN 2250-3153]
- [109]. Bouzoubaa, N., & Lachemi, M. (2001). Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash: Preliminary results. *Cement and concrete research*, 31(3), 413-420.
- [110]. Ifrah mushtaq, self compacting concrete design and performance using fly ash *international journal of civil engineering and technology (IJCIET)* volume 9, issue 4, april 2018, pp. 436–445, article id: ijci_et_09_04_048

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Mohamed H T ZARROG
Doğum Tarihi ve Yeri : 22.06.1981 Tripoli-Libya
Medeni Durumu : Evli
Elektronik posta : zarog80@yahoo.com
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu

Lise: : Şubat şehitler okulu-Libya, 1998
Lisans: : AL-Zawiyah yüksek bilim ve Teknoloji enistitüsü
İnşaat mühendisliği, Libya, 2002