



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ALBEDO DEĞERİ YÜKSEK KENTSEL ISI
ADASI ETKİSİNİ AZALTICI SİLİNDİRLE
SIKIŞTIRILMIŞ RENKLİ BETON
GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU**

Gökhan ÇALIŞ

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Gökhan ÇALIŞ tarafından hazırlanan “ Albedo Değeri Yüksek Kentsel Isı Adası Etkisini Azaltıcı Silindirle Sıkıştırılmış Renkli Beton Geliştirilmesi ve Optimizasyonu” adlı tez çalışması 06/03/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Danışman

Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN

Üye

Doç. Dr. Arife AKIN

Üye

Prof. Dr. Erkan DOĞAN

Üye

Doç. Dr. Gökhan KAPLAN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması KTUN BAP tarafından 211104015 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Gökhan ÇALIŞ

Tarih:06.03.2023

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ALBEDO DEĞERİ YÜKSEK KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİ AZALTICI SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ RENKLİ BETON GELİŞTİRİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

Gökhan ÇALIŞ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
İkinci Danışman: Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL**

2023, 127 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Doç. Dr. Üyesi Arife AKIN
Prof. Dr. Erkan DOĞAN
Doç. Dr. Gökhan KAPLAN**

Kentsel ısı adası etkisi kentleşen bölgelerdeki hava sıcaklığının buranın hemen yanında bulunan kırsal bölgedeki hava sıcaklığından fazla olmasıdır. Sanayileşme ve yapılaşmanın artması ile kentsel ısı adası etkisi meydana gelmektedir. Bu doktora tezi çalışması kapsamında asfalt kaplamaların neden olduğu kentsel ısı adası etkisini azaltmak için pigment katkılı silindirle sıkıştırılmış beton numuneler üretilmiştir. Ön deneyler kapsamında farklı renk pigment katkılı beton numuneler üretilmiş ve Albedo belirleme testi yapılmıştır. En yüksek yansıtıcı özellik çimentonun ağırlıkça %0.75'i kadar sarı pigment içeren numunelerde tespit edilmiştir. Bundan sonraki aşamalarda sadece sarı pigment kullanılmıştır. Üretilen numuneler pigment içermeyen R0, pigment içeren P0.25, P0.5, P0.75 ve P1'dir. Üretilen sarı pigment katkılı silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) numunelerine kıvam testi, basınç dayanım testi, yarmada çekme dayanımı testi, yansıtma oranı belirleme testi, sülfata dayanıklılık testi cantabro aşınma testleri yapılmıştır. Öncelikli olarak pigment katkısı ile üretilen beton numunelerin ilgili standartlara ve literatürdeki çalışmalara uygunluk gösteren sonuçlar elde etmesi hedeflenmiş ve bu hedef başarılmıştır. 28 günlük basınç dayanım sonuçları şahit numune, P0.25, P0.5, P0.75 ve P1.0 numuneleri için sırasıyla; 34.78, 34.95, 35.04, 35.06 ve 35.07 MPa olarak tespit edilmiştir. Elde edilen test sonuçlarından sonra yansıtıcı özelliği en yüksek olan numunenin albedo değeri simülasyon programı kütüphanesine eklenip Konya ilinden iki alan seçilip bu alanda kaplama malzemesi olarak asfaltın kullanılması ve pigment katkılı SSB kullanımı durumu analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları pigment katkılı silindirle sıkıştırılmış betonun yol kaplaması olarak kullanılması durumunda asfalt kaplamaya göre; hava sıcaklığını 1.18-1.8 °C daha düşük, bağıl nem oranını %5.88 ve %10.08 artırabileceği, kaplama yüzey sıcaklığını 8.06 °C – 13.11 °C düşürdüğünü ortaya koymuştur. Elde edilen deney sonuçları makine algoritmaları ile tahmin işlemine tabi tutulmuş ve en yüksek korelasyon sayısı rastsal orman algoritmasında 0.97 elde edilmiş olup en düşük performansı gösteren algoritma destek vektör makineleri olmuştur. Ardından uygulanan reçetede pigment miktarı sabit tutulup basınç dayanımını optimize etmek için yüzey yanıt metodu kullanılmıştır. Elde edilen optimize edilmiş reçete laboratuvar ortamında denenmiştir.

Anahtar Kelimeler: kentsel ısı adası etkisi, renkli beton, silindirle sıkıştırılmış beton

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF ROLLER COMPACTED COLOURED CONCRETE WITH HIGH ALBEDO TO REDUCE URBAN HEAT ISLAND IMPACT

Gökhan ÇALIŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Second Advisor: Assoc. Prof. Dr. Sadık Alper YILDIZEL
2023, 127 Pages**

**Jury
Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Assoc. Prof. Dr. Arife AKIN
Prof. Dr. Erkan DOĞAN
Assoc. Prof. Dr. Gökhan KAPLAN**

Urban heat island effect is the difference between air temperature of urban area and the nearest rural area. Industrialization and urbanisation cause urban heat island effect. Within the scope of this doctoral thesis, pigment-added roller compacted concrete samples were produced to reduce the urban heat island effect caused by asphalt pavements. Within the scope of preliminary experiments, concrete samples with different color pigment additives were produced and Albedo determination test was carried out. The highest reflective property was determined in the samples containing yellow pigment up to 0.75% by weight of the cement. In the next stages, only yellow pigment was used. The samples produced are R0 without pigment, P0.25, P0.5, P0.75 and P1 with pigment. The consistency test, compressive strength test, splitting tensile strength test, reflectance determination test, sulphate resistance test, cantabro abrasion tests were performed on the produced yellow pigment added roller compacted concrete (RCC) samples. Primarily, it was aimed that the concrete samples produced with pigment additives would obtain results that comply with the relevant standards and the studies in the literature, and this target was achieved. 28 days of compressive strength of samples were determined to be 34.78, 34.95, 35.04, 35.06 and 35.07 MPa in the samples respectively R0, P0.25, P0.5, P0.75 and P1.0. After the test results obtained, the albedo value of the sample with the highest reflectivity was added to the simulation program library. Two areas were selected from Konya, the use of asphalt as a road pavement material and the use of pigment-added RCC in this area were analyzed. In the scenario where pigment added roller compacted concrete was utilized as road pavement material revealed that utilization of this material can decrease the air temperature 1.18-1.8 °C, increase the relative humidity rate 5.88% and 10.08%, and decrease the coating surface temperature 8.06 °C – 13.11 °C. The experimental results obtained were utilized to do prediction via machine algorithms and the highest correlation number was determined to be 0.97 in the random forest algorithm, and the algorithm with the lowest performance was support vector machines. Then, the amount of pigment was kept constant in the applied design mixture and the surface response method was used to optimize the compressive strength. The optimized design mixture was tested in the laboratory environment.

Keywords: urban heat island effect, coloured concrete, roller compacted concrete

ÖNSÖZ

Tüm doktora çalışmalarım boyunca hep daha fazla öğrenmem, daha iyisini başarabilmem için değerli fikirlerini, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan danışman hocam sayın Prof. Dr. Ülkü Sultan Keskin ve ikinci danışman hocam sayın Doç. Dr. Sadık Alper Yıldızel'e sonsuz teşekkür eder ve kendilerine saygılarımı sunarım.

Doktora sürecim boyunca yaşadığım tüm zorluklarda bana her zaman destek olan ve anlayışıyla her koşulda yanımda olan, değerli eşim Rabia Gizem Çalış'a, ve biricik oğlum Bilge Kağan Çalış'a sonsuz sevgilerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatımda üzerlerine düşenden fazlasını yapan değerli ailem dedem Ahmet Çalış, babaannem Hatice Çalış, babam Talat Çalış, annem Semra Çalış ve kardeşim Ahmet Gökay Çalış'a sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Gökhan ÇALIŞ
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Tasarım Yöntemleri	2
1.1.1. Amerikan Ordusu Deniz Piyadeleri Yöntemi	2
1.1.2. Baraj Yöntemi	4
1.1.3. Yüksek Pasta Yöntemi	4
1.1.4. Yüksek Yoğunluk Yöntemi	4
1.2. Kentsel Isı Adası Etkisi	5
1.3. Tezin Kapsamı	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Silindirle Sıkıştırılmış Betonun Karakteristik Özellikleri	7
2.2. Silindirle Sıkıştırılmış Betonda İşlenebilirlik	8
2.3. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Basınç Mukavemet Değerlerinin Kıyaslanması ..	8
2.4. Eğilme ve Çekme Dayanımı	11
2.5. Elastisite Modülü	12
2.6. Silindirle Sıkıştırılmış Betonun Durabilitesi ve Mikroyapısı	13
2.7. Maliyet Kıyaslaması	16
2.8. Silindirle Sıkıştırılmış Beton ve Asfalt Kaplamanın Çevresel Etmenlere Göre Kıyaslaması	17
2.9. Silindirle Sıkıştırılmış Betonda Kullanılan İkame Malzemeler ve Lifler	20
2.10. Rijit Kaplamalar	36
2.11. Kentsel Isı Adası Etkisi	41
2.11.1. Kentsel Isı Adası Oluşum Sebepleri	43
2.11.2. Kentsel Isı Adası Etkisi Oluşumuna Karşı Alınacak Tedbirler	44
3. MATERYAL VE YÖNTEM	49
3.1. Malzemeler	49
3.1.1. Agrega	49
3.1.2. Çimento	50
3.1.3. Pigment	51
3.2. Numunelerin Hazırlanması	52
3.2.1. Kalıplara Yerleştirme	52
3.2.2. Kür İşlemi	53
3.3. Testler	54
3.3.1. Vebe Testi	54

3.3.2.	Basınç Dayanım Testi	54
3.3.3.	Yarmada Çekme Dayanım Testi	55
3.3.4.	Cantabro Testi	55
3.3.5.	Albedo Belirleme Testi	57
3.3.6.	Sülfata Dayanıklılık Testi	58
3.4.	Simülasyon Çalışmaları	59
3.4.1.	Simülasyon-1	60
3.4.2.	Simülasyon-2	61
3.5.	Optimizasyon (En İyileme) Çalışması	62
3.5.1.	Lineer Çoklu Regresyon	62
3.5.2.	Rastsal Orman	62
3.5.3.	Destek Vektör Makineleri	62
3.5.4.	Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting)	63
3.5.5.	Yapay Sinir Ağları	63
3.5.6.	Torbalama Regresörü (Bagging Regressor)	63
4.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	65
4.1.	Test Sonuçları.....	65
4.1.1.	Vebe Testi	65
4.1.2.	Basınç Dayanımı Testi Sonuçları	66
4.1.3.	Yarmada Çekme Dayanımı Testi Sonuçları	68
4.1.4.	Sülfata Dayanıklılık Testi Sonuçları	71
4.1.5.	Cantabro Testi Sonuçları	73
4.1.6.	Albedo Belirleme Testi Sonuçları.....	75
4.2.	Simülasyon Sonuçları.....	76
4.2.1.	Simülasyon-1 Sonuçları	76
4.2.2.	Simülasyon-2 Sonuçları	81
4.3.	Optimizasyon (En İyileme) Sonuçları.....	84
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
5.1	Sonuçlar	89
5.2	Öneriler	90
KAYNAKLAR	92	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

SSB: Silindirle sıkıştırılmış beton

KIA: Kentsel Isısı Adası

EAO: Elektrik ark ocağı

YCF: Yüksek Fırın cürufu

lt: Litre

DVM: Destek vektör makineleri

YSA: Yapay sinir ağı

BR: Bagging Regresör

R0: Pigment içermeyen Silindirle sıkıştırılmış beton numune şahit numune

P0.25: Çimentonun ağırlıkça %0.25'i kadar pigment içeren numune

P0.5: Çimentonun ağırlıkça %0.5'i kadar pigment içeren numune

P0.75: Çimentonun ağırlıkça %0.75'i kadar pigment içeren numune

P1.0: Çimentonun ağırlıkça %1'i kadar pigment içeren numune

1. GİRİŞ

Silindire sıkıştırılmış beton (SSB), birçok müteahhit tarafından altyapı projelerinde, hidrolik ve yol yapılarında yaygın olarak kullanılmıştır (Wang vd., 2018). Son yıllarda SSB, özellikle kentsel alanlarda önemli şekilde tercih edilen bir uygulama haline gelmiştir (Williams, 2014). SSB ile geleneksel betonun bileşenleri aynı olup miktarlar farklılık göstermektedir. SSB taze hali yani kıvamı sıfır değerinde olup yerleştirilme işlemi esnasına sıkıştırma gereklidir. Numune kalıplarına yerleştirilirken darbeli matkap; yol ve park alanı gibi yerlere yerleştirilmesi esnasında asfaltta olduğu gibi titreşimli silindire gerek duyulur. Geleneksel beton ile SSB'yi birbirinden ayıran en belirgin özelliklerden biri SSB'de bulunan ince agrega miktarıdır. Bu miktar geleneksel betona kıyasla yüksektir (Jones, 2012). İnce agrega miktarının çok olması SSB'nin daha iyi sıkışabilmesini ve kullanılacağı alana yerleştirilmesine olanak verir (ACI 327, 2015a). SSB üretiminde kullanılan bağlayıcı madde miktarı geleneksel betona göre daha az olup geleneksel betonda kullanılan Portland tipi çimentodur. Geleneksel beton ağırlıkça yaklaşık %15 çimento içerirken SSB'de ağırlıkça yaklaşık %12 oranında çimento vardır. Karışımda kullanılan çimento tipi çimentonun hidrasyonunda ve betonun dayanım kazanması süresinde önemli role sahiptir. Bu sebeple Portland Tip 2 çimentosu genellikle tercih edilir. Yapılan çalışma kullanılan suyun ve agreganın kalitesinin SSB dayanımın kazanmasında önemli role sahip olduğunu göstermektedir (Luhr, 2006). Geleneksel beton ile SSB kıyaslaması Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Çizelge 1.1. Geleneksel beton ile SSB'nin kıyaslanması (Hazaree, 2007)

Kriter	Geleneksel Beton	SSB
Kıvam	Slump testi, akma testi vb. Vebe testi uygulanabilir değildir.	Vebe testi ile belirlenir.
Çimento içeriği	Agreganın su ihtiyacına ve s/ç oranına göre belirlenir.	Genelde düşük çimento dozajındadır.
Nem (su) içeriği	Su-çimento oranından hesaplanır.	İdeal su içeriğine göre belirlenir.
Agrega gradasyonu	Makul miktarda daha düşük hassasiyetli gradasyon	İyi derece gradasyon
Taze beton özelliği belirleme yöntemi	Slump testi ve sıcaklığa dayalı testler ile belirlenir.	Vebe testi. İdeal su içeriği, maksimum kuru yoğunluk metodu.
Yayıma ve yerleşme Sıkışma	İnsan gücü, ya da pompa/mikser aracılığıyla. Vibratör ile	Finişer (finisher), beko yükleyici (bachoe loader) Titreşimli silindir, kompaktör.
Dayanım Yüzey durumu	Göreceli düşük Pürüzsüz	Göreceli yüksek Pürüzlü

SSB, uygulama kolaylığı sebebiyle farklı alanlarda kullanılmaktadır. Konteynır sahası, barajlar, havaalanları, lojistik alanları, bazı şehir içi ve şehirler arası yollar örek gösterilebilir. Yol kaplaması olarak sıcak bitümlü karışım asfaltın yerine kullanılabilmesi çeşitli kurum ve kuruluşların SSB tercih etmesine sebep olmaktadır. Şehir içi veya şehirler arası yollarda kaplama olarak kullanıldığında asfalta kıyasla daha kısa sürede araçların kullanımına açılabilir (Adamu vd., 2018). Bu yönüyle ele alındığında SSB zamandan tasarruf sağlayan bir uygulamadır. SSB uygulamalarından kalıp, yüzey düzeltme, inşaat çeliği ile güçlendirme ya da döşemeler arası düğüm çelikleri gerekmemektedir. Sonuç olarak SSB daha ekonomik bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır (Berry vd., 2001).

Çimento içeriği bakımından SSB için değişik uygulama örnekleri mevcuttur. ACI 327'ye göre puzolanik malzeme kullanımı olmadan üretilen SSB çimento içeriği çeşitlilik göstermektedir (ACI 327, 2015b). Fakat, en yaygın kullanılan çimento içeriği 100 kg/m^3 - 200 kg/m^3 tür (Mardani-Aghabaglou & Ramyar, 2013a).

Kentsel ısı adası etkisi sonucu şehirlerdeki sıcaklık artışının dünya genelinde karşılaşılan bir problemdir. Bu sorunun meydana gelme sebeplerinden biri de olan yol kaplama malzemesi asfalttır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında asfaltın meydana getirdiği kentsel ısı adası etkisini pigment katkılı SSB kullanımıyla ne kadar azaltılabilir bu konu diğer bölümlerde açıklanıp sonuçlarla tartışılacaktır.

1.1. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Tasarım Yöntemleri

1.1.1. Amerikan Ordusu Deniz Piyadeleri Yöntemi

Bu metot su/bağlayıcı oranı ve dayanım ilişkisine dayanmaktadır. Su miktarı ve agrega boyutları arzu edilen dayanım değerlerine göre değişmektedir (Aghabaglou vd., 2019a). Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken hususlar;

SSB için çimentolu malzemelerin araştırılması gereklidir. Geleneksel olarak kullanılan betondaki malzemelere benzer ve EM 1110-2-2000 uyarınca olmalıdır. Çimento esaslı malzemelerin seçimi, hidrasyon oranı ve dayanım gelişim, puzolan varlığı tasarımda etkiye sahip adımlardır. Puzolan kullanımı maliyeti azaltmak ve hidrasyon ısını düşürmek için sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Çimento: En yaygın olarak kullanılan çimento türü hidrasyon reaksiyonları sırasında meydana gelen ısı miktarının daha az olması sebebiyle Portland tip II çimentosudur. Tip III SSB'de kullanılmaya çok uygun değildir. Bunun sebebi Tip III çimento

kullanıldığında SSB'nin sıkıştırılması için olan süreyi kısaltması ve daha çok hidrasyon ısısı oluşmasıdır.

Puzolan: Geleneksel betonlar gibi SSB'de de puzolan malzeme kullanılmaya uygundur. Dane özelliklerinden dolayı puzolan malzemelerin kullanılması SSB'de sıkıştırılmayı kolaylaştırdığı söylenebilir. Puzolan harcın bir kısmını işgal ederken diğer kısmı çimento ve su tarafından tutulmaktadır. SSB'de F tipi uçucu kül yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı araştırmacılar da çalışmalarında ise C sınıf uçucu kül kullanıldığını görmektedir. F sınıfı uçucu kül, erken yaşlarda daha düşük ısı üretimine katkıda bulunurken çimentoyu hacimce yaklaşık %50 oranında ikame edebilir. F sınıfı uçucu kül SSB'nin yerleştirilme süresini uzatarak işlenebilirliğe fayda sağlar. Puzolan malzeme çimento ikamesi olarak kullanıldığında maliyeti de düşüreceği açıktır.

İri Agregâ: Kullanılan agregalar standartlarda öngörülen yeterlilikleri karşılamalıdır. Bununla birlikte bakım onarım ve acil müdahale çalışmalarında görece daha düşük kalite agregâ kullanılabilir. Yine de bu tür agregalar için de laboratuvar deneyleri yapılmalıdır. En büyük agregâ boyutu 75'mm olarak belirlenmiş olup bu boyuttan daha büyük agregalar betonda ayrılmaya sebep olacaktır.

İnce Agregâ: Çimento hamurunda daha yüksek oranda ince agreganın kullanılması boşlukların doldurulmasını sağlarken aynı zamanda da işlenebilirliği artıracaktır. Bununla birlikte segregasyonu azaltıp, yüksek miktarda ince malzeme olması yüzey alanını artırdığı için su ihtiyacını artıracaktır bu da dayanımın düşmesine yol açmaktadır. Doğal agregalar puzolanlar ile ikame edildiği zaman, işlenebilirlik artarken su bağlayıcı ihtiyacı düşüp uzun vadedeki dayanım artış gösterebilir.

Su azaltıcı ve Priz Geciktirici Katkılar: CRD-871 (American Society for Testing and Materials (ASTM) C 494'e su azaltıcı ve geciktirici (priz) katkı malzemeleri için Tip B ve Tip D kullanımı değerlendirilmelidir. Su azaltıcı ve priz geciktirici katkıların kullanılması SSB'nin priz süresinde olumlu etki yapıp işlenebilirliği de artırmaktadır. SSB'nin imal edildiği beton üretim tesisinden kullanılacağı yola kadar ulaşması için geçen süre düşünüldüğünde özellikle yaz mevsimlerinde bu katkıların kullanılması kaçınılmazdır.

Su azaltıcı ve geciktirici katkı maddelerinin dozajları, SSB'nin daha kuru kıvamından dolayı, geleneksel beton için önerilenden birkaç kat daha fazla olabilir; bununla birlikte, bazı durumlarda, zayıf SSB karışımları için aşırı su azaltıcı ve geciktirici katkı dozajları, kısa süreli ve uzun vadeli performans üzerinde bazen çok küçük iyileştirici etki gösterirken bazen de olumsuz etkiler göstermektedir. Sonuç olarak bu

katkıların dozajı için ideal oran laboratuvar testleri sonucunda belirlenmelidir (Luhr, 2006b).

1.1.2.Baraj Yöntemi

Genelde tüm çimento tipleri ve daha yaygın olarak ise çimento ile çimento ikame malzemelerinin kullanıldığı yöntemdir. Puzolan kullanımını da görülsede çoğu SSB barajlarda kullanılan en yaygın çimento ikame malzemesi ince uçucu küldür. Düşük sıcaklık çimentoları başarılı şekilde SSB karışımlarında kullanılmış olsa da (ASTM C150 Type-1, EN 197 CEM) normal Portland çimentosu kullanmayı önermektedir. Çimento ikame malzemesi kullanımı hem ekonomikliğini sağlarken hem de bağlayıcılık özelliğinin artmasını sağlamaktadır (Hansen & Reinhardt, 1991). Bu yöntemi özetlemek gerekirse;

- SSB karışımındaki çimento miktarı istenilen mukavemeti göstermek şartı ile mümkün olduğunca düşük olmalı. Karışım hidrasyon ısısını düşürmek için uçucu kül içermelidir.
- Segregasyonu engellemek ve daha etkin bir sıkıştırma sağlamak için kum/agrega oranı geleneksel kütle betonlarından daha büyük olmalıdır (Aghabaglou vd., 2019b).

1.1.3.Yüksek Pasta Yöntemi

Bu yöntem aşağıdaki 3 adımı takip eder;

- Belirli özel sıkıştırma enerjisi, en düşük gradasyon seçimi
- Gerekli işlenebilirliği sağlamak için, elde edilecek beton karışımının hacmi agregalar arasındaki boşluklar göz önünde bulundurularak belirlenir.
- Gerekli dayanımı elde etmek için su/bağlayıcı oranı ve puzolanik içerik belirlenmelidir. Kuru ağırlık ve su içeriği buna göre hesaplanır.

1.1.4.Yüksek Yoğunluk Yöntemi

Bu yöntemde karışımın hacimce 90%'ını agrega (ince ve iri) oluşturur (Aghabaglou vd., 2019b). Geleneksel betona benzer olarak, SSB'nin mukavemeti de birkaç önemli etmene bağlıdır. Bu etmenler; çimento tipi, agrega tipi, sıkıştırma, vibrasyon olarak

özetlenebilir (Chhorn vd., 2017). SSB uygulama alanlarındaki rakibi ya da en yakın muadil ürünü olan asfalta göre, imal edilmesinden kısa süre sonra trafiğe açılması ile ön plana çıkmaktadır. Elbette, kullanıma açılması öncesi SSB'nin istenen dayanıma ulaşması gerekmektedir. ABD'de uygulanan standarda göre bu dayanım 20 N/mm^2 'dir (Piggott, 1999). Sıcak havalarda dökülen SSB yollarda 2 günde, soğuk havadaki dökümlerde ise 4 günde bu dayanıma ulaşıldığı yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir (Toplicic-Curcic vd., 2015).

SSB'nin gelişmesi inşaat projelerinde özellikle baraj projelerinde önemli bir değişmeye yol açmıştır. Geleneksel betonun yerleştirilmesi, sıkıştırılması işlemlerinin uzun sürmesi sebebiyle SSB toprak ve kaya dolgu barajların inşaat süresini önemli miktarda kısaltıp hızlandırmıştır. Genellikle bu süre 1-2 yıl olarak düşünülebilir (Bagheri & Ghaemian, 2004).

Son yıllarda özellikle yol kaplama uygulamalarında SSB kullanımında dikkate değer bir artış görülmektedir. Asfalt kaplamalara göre daha düşük maliyet ve daha kısa inşa süresi olması bunun nedenleri olarak görülebilir. Özellikle düşük hızda büyük ağırlıkta araç trafiğinin olduğu alanlar/yollarda SSB kullanımı yaygındır. Buna ek olarak yerleşim yerlerinde, caddelerde ve otoyollarda da SSB kullanımı yaygınlaşmıştır (Harrington vd., 2010; J. R. LaHucik & Roesler, 2018). Yüksek basınç dayanımı, daha iyi durabilite özellikleri, düşük bakım maliyeti ve daha uzun servis ömrü ile SSB inşaat sektöründe giderek daha çok ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Akademisyenlerin çalışmaları ile tasarım yöntemleri de daha ileri seviyelere taşınmaktadır.

1.2. Kentsel Isı Adası Etkisi

İklim ve şehirleşme arasındaki ilişki, son yıllarda araştırmacıların ilgilendiği ana konulardan biridir ve şehirlerdeki doğal bitki örtüsünün bozulup yapılaşmanın iklime etki ettiği bilinmektedir. Bu bağlantının mimari projelerin tasarımına ve uygulanmasına dahil edilmesi, özellikle kentsel ortamda, mikro iklim değişikliğine daha dirençli şehirler geliştirmek ve böylece kentsel kalkınmanın çevre ve doğal ekosistem üzerindeki etkisini, özellikle de sera gazı emisyonları ve bunların kentsel nüfus üzerindeki etkileri çalışmalara konu olmuştur (Bahi, H., Mastouri, H., Radoine, 2020).

2018'de dünya nüfusunun %55'i kentsel alanlarda yaşamaktayken ve bu oranın 2050 yılına kadar %68'e ulaşması beklenmektedir. Bu hızlı kentleşme, kentsel bölgelerdeki

mikro iklimi etkileyerek hava sıcaklığında artışa neden olmaktadır. Bunun sonucunda, şehirler ve kentsel alanlar çevredeki kırsal alanlardan çok daha sıcak olacaktır; bu olay kentsel ısı adası (KIA) olarak bilinir ve esas olarak çok miktarda güneş ışınlarına maruz kalan her bir malzemenin (yapı cephe kaplamaları, yol kaplamaları çatı vb.) güneş ışınlarını emerek -diğer deyişle yansıtmayarak-, kentsel morfolojide ısının yansımaması sonucu ısı atışına sebep olmaktadır. Şehirlerin bitişik kırsal bölgelerden yani en yakındaki doğal bitki örtüsünün bozulmadığı alandan, daha sıcak olduğu durumu KIA ilk kez 1833 yılında konuşulmuştur. Isı adası yoğunluğu şehirdeki ısı ile kırsal kesimdeki ısı arasındaki fark olarak belirlenebilir ve bu değer önemli oldukça büyük bir fark olabilir. Kentsel ısı adası, çok yüksek sıcaklıklarla karakterize edilen ve yoğunluğu kentin merkezinde, yoğun nüfuslu bölgelerde ve sanayi bölgelerinde daha belirgin hale gelen birkaç kentsel mikro iklim oluşturur (Adinna vd., 2009; Santamouris vd., 2015).

1.3. Tezin Kapsamı

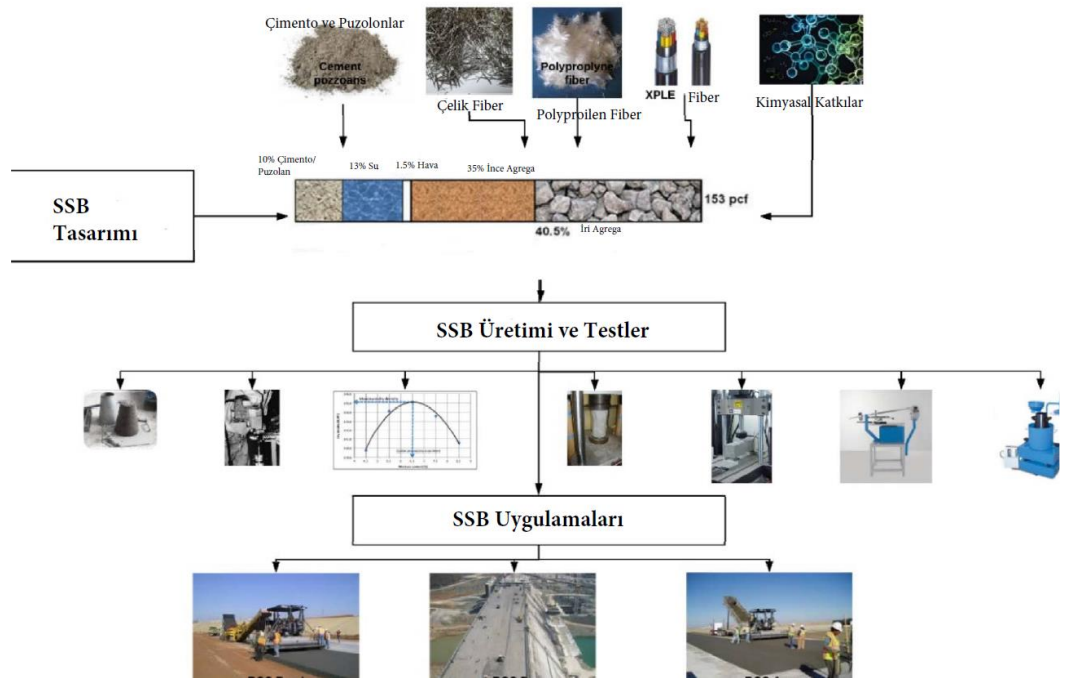
Bu tez kapsamında yol kaplama malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan asfaltın meydana getirdiği KIA etkisini azaltmak amacıyla asfalta alternatif olarak pigment katkılı SSB geliştirilmesi ve üretilen SSB'nin ilgili standartları ve karşılayan özellikte olması da amaçlanmıştır. İkinci bölümde SSB ve kentsel ısı adasına dair kaynak araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde laboratuvarında üretilen pigment katkılı SSB'de kullanılan malzemeler, test yöntemleri ve simülasyon çalışmalarının esasları sunulmuştur. Geliştirilen SSB'de taze beton hali, mekanik özelliklerin belirlenmesi, dayanıklılık ve albedo belirleme testleri uygulanmıştır. En yüksek Albedo değerinin belirlendiği numune ENVI-met isimli bilgisayar yazılımında malzeme kütüphanesine eklenerek üretilen bu pigment katkılı SSB'nin yaşam alanlarında yol kaplama betonu olarak kullanılması durumunda kentsel ısı adası etkisinde ne gibi değişiklikler yapacağı araştırılmıştır. Bu modelleme esnasında betonun ısı iletkenliği ve diğer özellikler yazılımın kütüphanesinden alınmıştır. Testler, simülasyon ve optimizasyon çalışmasının sonuçları dördüncü başlıkta ortaya konulmuştur. Beşinci bölümde sonuçlar ve gelecek çalışmalara dair öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bölüm 1’de kısaca bahsedilen silindire sıkıştırılmış beton ve kentsel ısı adası etkisi bu bölümde daha detaylıca ele alınacaktır.

2.1. Silindire Sıkıştırılmış Betonun Karakteristik Özellikleri

Genel anlamda içerdiği bileşenler, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, aşınma dayanımı gibi özellikleri kendisinden beklenen özellikler bakımından SSB geleneksel beton ile aynıdır. Fakat, SSB’nin mekanik özellikleri (basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, aşınma dayanımı) ve sertliği geleneksel betondan daha yüksek olabilir (Madhkan vd., 2015). Şekil 2.1’de SSB içeriği ve üretim aşamaları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. SSB üretim şeması(Calis & Yıldız, 2019)

SSB göstermesi beklenen süreklilik açısından karışım oranlarında normal betondan farklılık göstermektedir (Khayat & Libre, 2014). Sıkıştırma işlemi SSB’nin taşıma kapasitesini kazanması açısından anahtar rol üstlenmektedir. Bu süreç agregalar ve parçacıklar arasında sürtünme oluşturduğu için dikkatle tamamlanması gerekmektedir (Hashemi & Shafiq, 2018).

2.2. Silindirle Sıkıştırılmış Betonda İşlenebilirlik

Normal betonun sürekliliği ve işlenebilirliği slump testi ile belirlenirken bu test SSB için uygulanabilir değildir. Bu nedenle SSB için vebe testi işlenebilirliği belirlemek için kullanılır (ACI 327, 2015d). Sıkışabilir SSB için önerilen vebe zamanı 20-75 saniyedir (Chhorn vd., 2017). SSB için önerilen vebe zamanı ve optimum su içeriği Çizelge 2.1’de görülebilir.

Çizelge 2.1. Kabul edilen Vebe süreleri ve su miktarı (Chhorn vd., 2017b)

Vebe Süresi	İdeal Su içeriği %
	5-8
20 saniye silindir edilebilir zaman	4.5-6.5
30-40 sn kabul edilebilir	
30-40 sn uygun	-
50-75 saniye uygulanabilir	-

Çapraz bağlı polietilen (XLPE) liflerin SSB işlenebilirliği üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Artan polietilen lif ile Vebe zamanının düştüğü gözlemlenmiştir (Shamsaei vd., 2017a). Doğal puzolan eklemenin SSB karışımında işlenebilirliği düşürücü etki yaptığı gözlemlenmiştir (Ghahari vd., 2017a). Benzer şekilde polipropilen lif katkısı olduğunda da işlenebilirlik düşüş göstermektedir (Benouadah vd., 2017a). Bu durum liflerin yüksek su emme özelliği ile ilintilendirilebilir.

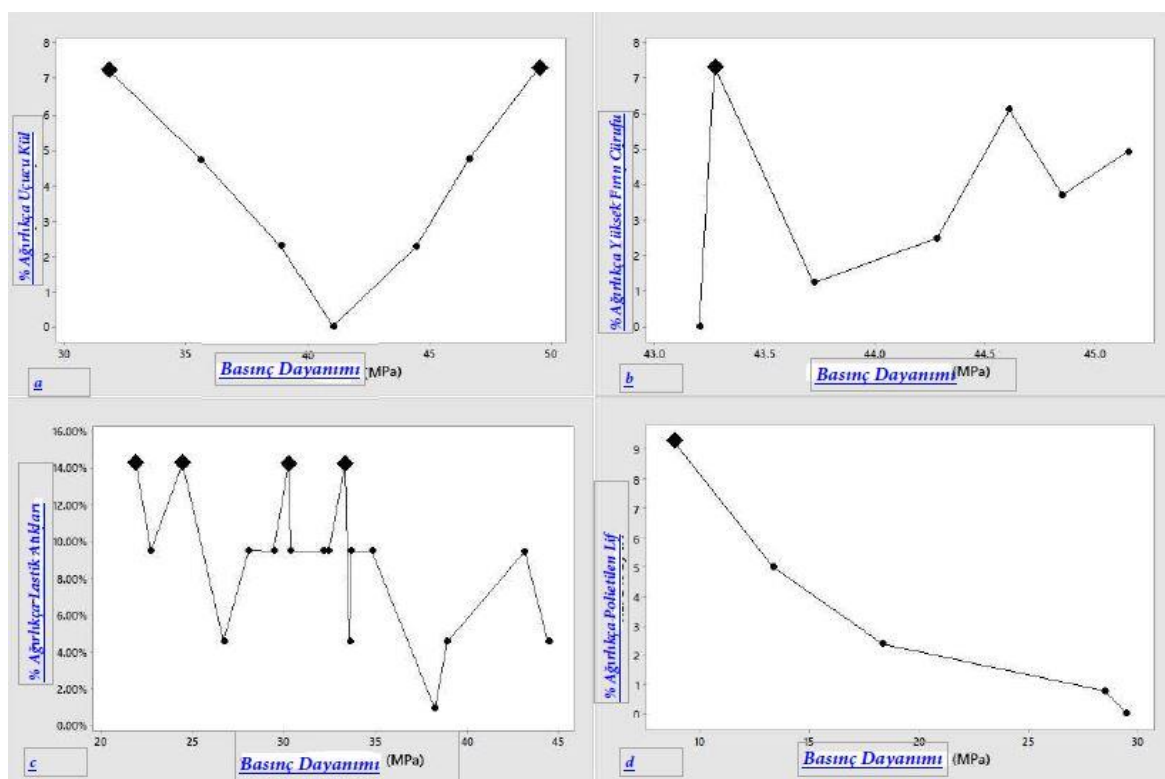
2.3.Silindirle Sıkıştırılmış Beton Basınç Mukavemet Değerlerinin Kıyaslanması

Amerikan Beton Yol Kaplama Birliği yönetmeliğine(ACPA (American Concrete Pavement Association), 2014) göre ASTM C 1435’e göre hazırlanan silindirle sıkıştırılmış beton numunelerinin ASTM C39 uyarınca yapılacak olan 28 günlük basınç dayanım test sonuçları donma çözünmenin meydana gelmeyeceği ortam için 28 MPa iken donma çözünmenin vuku bulacağı ortamlarda kullanılacak beton için 31 MPa olarak belirlenmiştir.

Lif katkılı ya da katkısız betonlar için basınç mukavemeti en önemli özelliklerden biridir (Auta vd., 2015; Kıyanets, 2018). Normal betona benzer şekilde SSB’de de basınç mukavemeti büyük önem arz etmektedir. Basınç dayanımı testi ASTM C1176-92

gereğince titreşimli tabla, ASTM C1557'ye göre proktor ile ve ASTM C42 de belirlenen temel test yöntemleriyle yapılabilmektedir. SSB'nin 28 günlük basınç dayanımı 28 MPa'dan daha az olamaz (ACPA (American Concrete Pavement Association), 2014).

Buz önlemek için yapılan tuzlama çalışmaları asfalta benzer şekilde SSB'ye de zarar vermektedir. Yapılan son çalışma puzolanik çimento ikameli malzeme ve hava sürükleyici katkı içeren betonun basınç dayanımını incelemiş ve puzolanların basınç dayanımında %9'luk bir düşüşe sebep olduğu tespit edilmiştir (Ghahari vd., 2017). Şekil 2.2'de farklı çeşit liflerin silindirle sıkıştırılmış betonun basınç dayanımına etkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.2. SSB basınç dayanım değerleri a) Uçucu kül içeren SSB b) Yüksek fırın cürufu içeren SSB c) Lastik atıkları içeren SSB d) Polietilen lif içeren SSB

Atık malzemelerin çevresel etkilerini düşürmek amacıyla çapraz bağlı polietilen (XLPE) SSB karışımında kullanılmıştır. XLPE elektrik kablo ve borularında izolasyonu sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir başka çalışmada (Shamsaei vd., 2017b), XLPE agrega ikamesi olarak kullanılmış ve agregaya göre daha düşük birim ağırlığa sahip olan XLPE betonda da daha düşük birim ağırlık oluşmasını sağlamıştır. Bununla beraber XLPE'nin basınç dayanımını düşürdüğü ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde lastik atığı kauçuk kırıntılarının da basınç dayanımında düşüşe sebep olduğu tespit

edilmiştir (Adamu vd., 2018). Rakesh (2021) yaptığı çalışmada maden tesislerinde kullanılan kırıcılarda biriken tozu SSB’de kum yerine kullanmıştır (Rakesh vd., 2021).

Yapılan son çalışma yüksek fırın cürufunun çimento ile ikame edildiği SSB’de basınç mukavemetinin arttığı ortaya çıkmıştır. Daha da fazlası bu katkı çimento bazlı bağlayıcı malzeme kadar yüksek dayanım elde edilmesini sağlamıştır (Rao vd., 2016b). Uçucu külün çimentoyla ikame edildiği diğer çalışmalarda da uçucu külün referans numuneler ile neredeyse aynı basınç dayanımı gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmalara dayanarak silindire sıkıştırılmış betonda uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimento ikamesi olarak kullanılacağı sonucuna varılmıştır.

Diğer taraftan çelik liflerin eklendiği SSB numuneler basınç mukavemeti açısından incelendiğinde benzeri sonuçlar görülmüştür. Çelik lif eklenmiş numunelerde basınç dayanımında %20-%30’luk artış olduğu gözlemlenmiştir. Polipropilen liflerin eklendiği SSB numuneleri de benzer sonuçlar göstermiştir (Madhkhan vd., 2012). Çelik liflerin SSB ve normal betonların basınç dayanımlarında sağladığı artış verimliliği incelendiğinde SSB numunelerinde daha yüksek verimlilik sağladığı da diğer dikkat çeken bir sonuçtur (Karadelis & Lin, 2015). Bu durum polipropilen lifler için de aynıdır (Benouadah vd., 2017b). Yapılan literatüre taraması verileri Çizelge 2.2’de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. SSB literatür tarama çalışması(Calis & Yıldız, 2019)

Basınç Mukavameti (MPa)	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Kullanılan Malzeme	Tespit
24,3 28.49	- 5.51	Uçucu Kül Çapraz bağlanmış polietilen lif (XLPE)	Basınç dayanımında düşüş. Ağırlıkça %5 oranında lif kullanımı 5% basınç dayanımını 3.4% düşürmüştür.
56.6	1.45	Değişik geometrilere sahip makro lifler.	Uygun yerleşim sağlandığında lif katkısı çimentonun sağladığı dayanıma eş değer yahut daha iyi kırılma dayanımı edilmesini sağlamaktadır.
34.3	-	Doğal puzolan	Ağırlıkça %20 oranında çimentonun doğal puzolanla ikame edilmesi durumunda erken basınç dayanımı %35 daha düşük sonuç vermektedir. 90 günlük dayanım ise referans numuneye göre %14 daha az sonuç vermektedir.
45.15	7.9	Yüksek fırın cürufu	Çimento yüksek fırın cürufuyla ikame edildiğinde 4.51%'lik bir artış gözlemlenmiştir.
49.5	5.16	Yüksek hacimde uçucu kül	Uçucu kül basınç dayanımında olumlu sonuçlar göstermiştir.
44.46		Uçucu kül ve kauçuk lastik atıkları	Test sonuçlarına göre en iyi performansın ince agregayı %10 kauçuk atıklarıyla ikame ettirmenin ve çimentoyu ise 53.72% oranında uçucu küle ikame ederek elde edildiği gözlemlenmiştir.

Değişik çeşit liflerin SSB numunelerinde kullanımının betonun basınç dayanımında hem artırıcı hem de azaltıcı etki yapabileceği sonucuna varmak mümkündür.

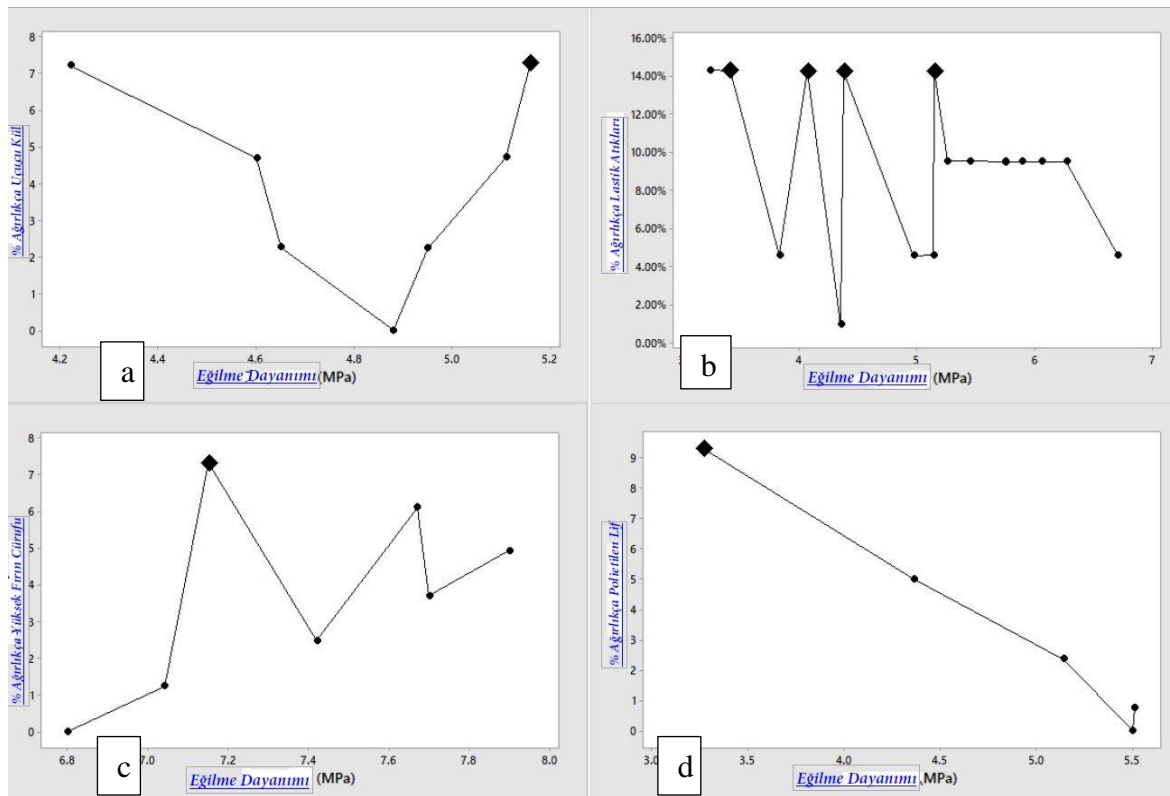
2.4. Eğilme ve Çekme Dayanımı

Eğilme dayanımı normal betonda incelendiği gibi SSB'de da önemli bir kriterdir. Bu kriter SSB'nin servis ömrü boyunca olan kalitesini etkilemektedir. Agreganın %5, %15 ve %30 oranında XLPE ile ikame edilip eğilme dayanım testine tabii tutulmuştur. %5'lik XLP içeren örneğin referans numunesinden daha düşük eğilme dayanımı gösterdiği ve bu miktarın arttıkça eğilme dayanımının da azaldığı tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı SSB'nin servis ömrü için normal betonda olduğu gibi önemli bir kriterdir.

Yapılan çalışmada polietilen çapraz bağlı XLPE lifin etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada XLPE iri agreganın ikamesi olarak 5%, 15%, 30% oranlarında beton numunelere eklenmiş ve etkileri gözlemlenmiştir şekil 3d'de bu durum görülebilir. Farklı

numunelerde gözlemlenen lif katkısı sonrası eğilme dayanımındaki değişiklikler şekil 3'te gösterilmiştir. Bununla birlikte bu düşüşlerden sonra bile SSB numuneleri minimum eğilme dayanım mukavemeti şartını sağlamaktadır (Shamsaei vd., 2017b).

Çimentonun yüksek fırın cürufu ile ikame edildiği (10%, 20%, 30%, 40%, 50% hacimce) çalışmalarda eğilme dayanımına iyileştirici etki sahibi olduğunu göstermiştir. Çimento yüksek fırın cürufu ile ikame edildiği zaman eğilme dayanımının da doğru orantılı şekilde arttığı görülmüştür. Bu numunelerde eğilme dayanımının da artma sonucu tespiti edilmiştir (Rao vd., 2016c). Uçucu külün de benzer etkileri gösterdiği belirlenmiştir (Mardani-Aghabaglou & Ramyar, 2013b). Bu sonuçlar Şekil 2.3'te sunulmuştur.

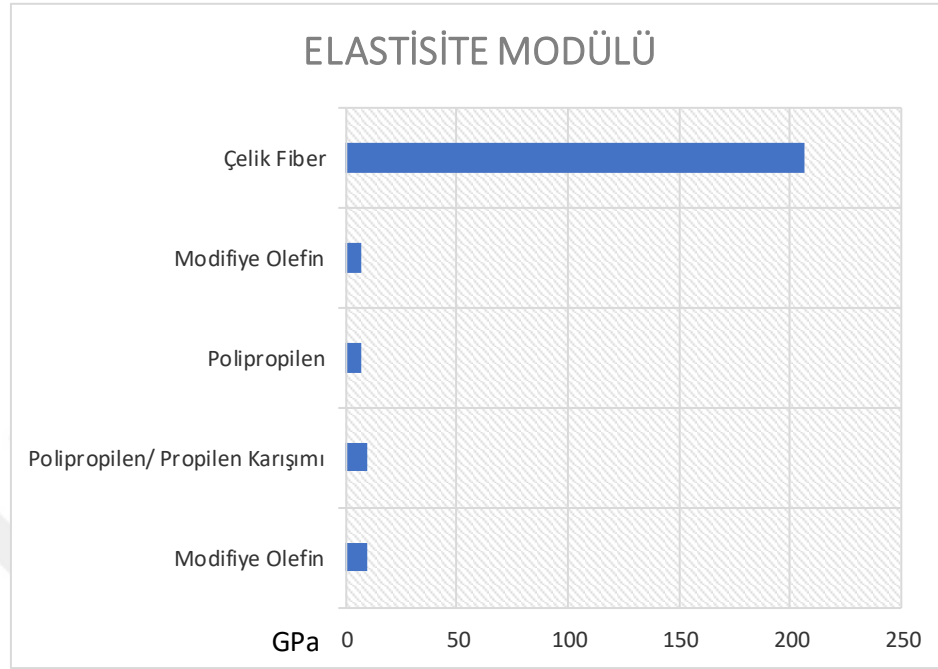


Şekil 2.3. Farklı içerikli SSB'nin eğilme dayanımı a) Uçucu kül içeren SSB b) Yüksek fırın cürufu içeren SSB c) Lastik atıkları içeren SSB d) Polietilen lif içeren SSB

2.5. Elastisite Modülü

Elastisite modülü genel olarak sahada alınan örneklerden ölçülmez. Elastisite modülünü belirleyen faktörler genel olarak; agrega tipi, çimento karışım oranı, numunenin yaşı, dayanımıdır (Omran vd., 2017a). SSB'nin elastisite modülü aynı çimento karışımına sahip normal beton ile aynı ya da biraz daha yüksektir (Berry vd., 2001b). Lif takviyeleri elastisite modülünü yükseltebilir (Nanni & Johari, 1989a), ya da

düşürebilir (Muscalu vd., 2013). Lif takviyeli SSB numunelerinin elastisite modülü değerlerini gösteren grafik (J. LaHucik et al., 2017) Şekil 2.4'te sunulmuştur.



Şekil 2.4. Farklı Liflerin Elastik Modülü (J. LaHucik et al., 2017)

Çelik içeren SSB'nin en büyük artışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Diğer taraftan LaHucik ve arkadaşları yaptığı çalışmada çelik lif takviyesinin SSB'nin elastisite modülüne etki etmediği sonucunu görmüşlerdir (Lahucik & Roesler, 2017).

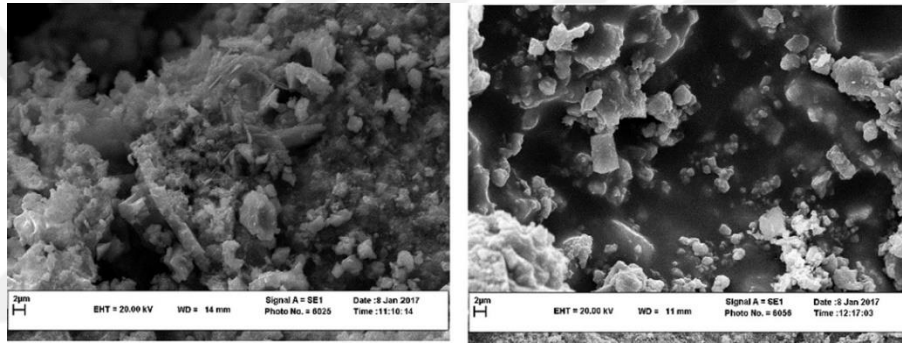
2.6. Silindirle Sıkıştırılmış Betonun Durabilitesi ve Mikroyapısı

Yol kaplamalarında araç hareketleri aşınmaya sebep olmaktadır (Rao vd., 2016c). Bu sebeple aşınma dayanımı özellikle silindirle sıkıştırılmış beton yollarda büyük önem kazanmaktadır. Yüzey aşınma dayanıklılığını belirlemek için aşınma testleri ASTM C944'e göre yapılır. SSB uygulama yapılacağı alana finisher ya da silindir ile yerleştirilir. Yerleştirilme metoduna bağlı olarak SSB önemli bir durabilite gelişimi göstermektedir (Benouadah vd., 2017b).

Betonun aşınma dayanımını ölçen birkaç yöntem vardır. Bu metodlar; agrega miktarı (hem ince hem iri), mukavemet, karışım oranı, lif içeriği, kür metodları ve beton yüzeyini yerleştirme metodu (Rao vd., 2016a). Yapılan testlerde SSB numunelerinin erken zamanlarında düşük yüzey aşınma dayanımı göstermesine rağmen uzun vadede bu

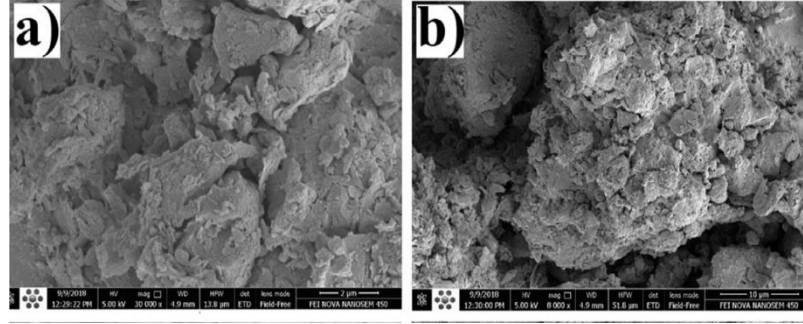
yüzey aşınma dayanımının ciddi oranda arttığı gözlemlenmiştir. Uçucu kül eklenen SSB karışımlarında aşınma dayanımının %30 oranında arttığı görülmüştür (Won vd., 2009). Bir diğer çalışmada ise çimento yine uçucu kül ile ikame edildiğinde yüzey dayanımının düştüğü görülmüştür. Bu uçucu kül tipine bağlanabilir. Benzer şekilde lastik atıkların agrega ikamesi olarak eklendiği SSB numunelerinin de yüzey aşınma dayanımlarının daha düşük değerlere ulaştığı görülmüştür (Adamu vd., 2018b).

Yakın zamanda yapılan çalışmada (Dareyni vd., 2018), katyonik asfalt emülsiyonunun SBB'ye katkı olarak etkisi araştırılmıştır. Tasarım ASTM D1557 yoğunluk yöntemine göre tamamlanmıştır. SBB'nin taşıma özellikleri asfalt eklenerek geliştirilebilir. Ayrıca asfalt ilavesi, Şekil 2.5'de gösterildiği gibi, kılcak gözeneklerin miktarını azaltır. Bunun sebebi asfaltın aynı zamanda kapiler boşlukları da doldurmasıdır.



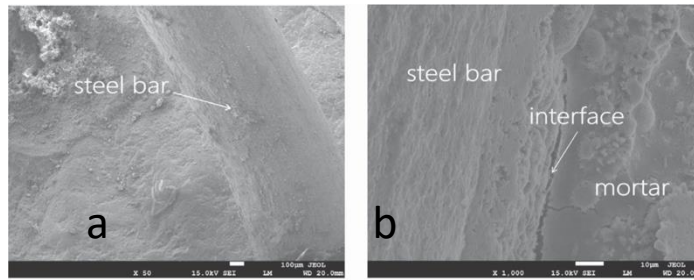
Şekil 2.5. Asfalt eklenmiş SSB mikro yapısı (Dareyni vd., 2018)

Elektrik ark ocağı (EAO) çelik cürufunun SSB'nin mekanik ve kırılma özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Yarmada çekme ve basınç dayanımı kontrol karışımından (Rooholamini vd., 2019) daha yüksek bulunmuştur. EAO çelik cürufunun ve nehirden çıkan malzemenin kullanıldığı SSB'nin mikro yapısı, Şekil 2.6 (a-b) 'de görülebilir. Nehir dolgu maddesi daha yoğun bir yapıya sahipken, EAO cürufu karşılaştırmada nadir bir yapı gösterir. EAO cürufu nehir dolgusundan daha ince ve pürüzsüzdür. EAO cürufu dolgu maddesinin daha spesifik bir alana sahip olduğu sonucuna varılabilir. Şekil 2.6'da çelik cüruf eklenmiş SSB'nin mikro yapısı sunulmuştur.



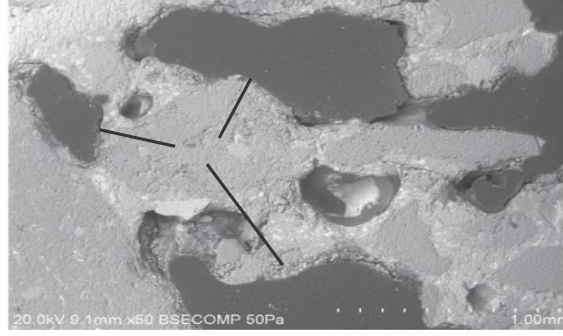
Şekil 2.6. Çelik cürufun eklendiği SSB mikro yapısı (Rooholamini vd., 2018) a)30000x yakınlaşma
b)8000x yakınlaşma

Özellikle beton yollarda ve barajlarda kullanılan SSB göz önünde bulundurulduğunda donma-çözünme dayanımı SSB'nin kullanım öncesi değerlendirilmesi gereken özelliklerinden biridir. Çelik ve kauçuk atıklarının takviye edildiği SSB numunelerinin donma çözünmeye etkisi irdelendiğinde iki lif tipinin de beton numunelerde donma-çözünme dayanıklılığını geliştirmediği (Zhang vd., 2018a). Donma çözünme etkisi olmadığı (Zhang vd., 2018a) durumda çimento hamurunun bağlanma yüzeyinin temiz olduğu belirlenmiştir. Çelik lif ile çimento hamuru arasındaki arakesit de SEM fotoğraflarında görülebilir. Şekil 2.7'de çelik lif eklenmiş SSB mikro yapısı verilmiştir.



Şekil 2.7. Lif eklenmiş SBB mikroyapısı (Zhang vd., 2018b). a) çelik lif görünüm b) çelik lif ve arayüz görünümü

SSB'de çimentoyu değiştirmek için cam tozu (CT) kullanılmış ve etkileri gözden geçirilmiştir. CT eklemek, SSB'nin mekanik özelliklerine (basınç ve eğilme dayanımı) olumlu katkıda bulunur. Özellikle 91.gün ve üstü yaşlarda artış gözlenmiştir. Bu, hava koşullarına karşı yararlı bir gelişme olabilir. Cam tozu (CT) SSB'nin daha az geçirgenliğe sahip olmasını sağlayan sızdırmaz özelliğe sahiptir. Kuru şartlarda CT zayıf hidratlanır (Omran vd., 2017b). Cam tozu eklenmiş SSB mikro yapısı Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Cam tozu eklenmiş SSB (Omran vd., 2017b)

2.7. Maliyet Kıyaslaması

SSB üretim aşamaları, kullanılan malzemeler yönüyle düşük maliyetli olarak kabul edilmektedir (Won vd., 2009). SSB'nin mekanik özellikleri ile toplam SSB inşaat maliyeti, işletme ve bakım aşamaları arasındaki oran oldukça iyidir (Bílý vd., 2015). Amerika Birleşik Devletleri'nde yayınlanan rapor, asfalt veya geleneksel betona kıyasla SSB kullanılarak %30 maliyet tasarrufunun mümkün olduğunu göstermektedir (Pavement, 1990). Diğer bir rapor, Avrupa'daki uygulamaları gözden geçirmekte ve SSB uygulamalarında %12'ye varan maliyet tasarrufu olduğunu belirtmektedir (Neocleous, vd. 2011). ABD'de fiyatlandırılan gerçek bir vaka çalışması, metrekare başına SSB maliyetinin 12.35 \$, asfalt fiyatının 19.62 \$ olduğunu göstermektedir (Damrongwiriyanupap vd. 2012).

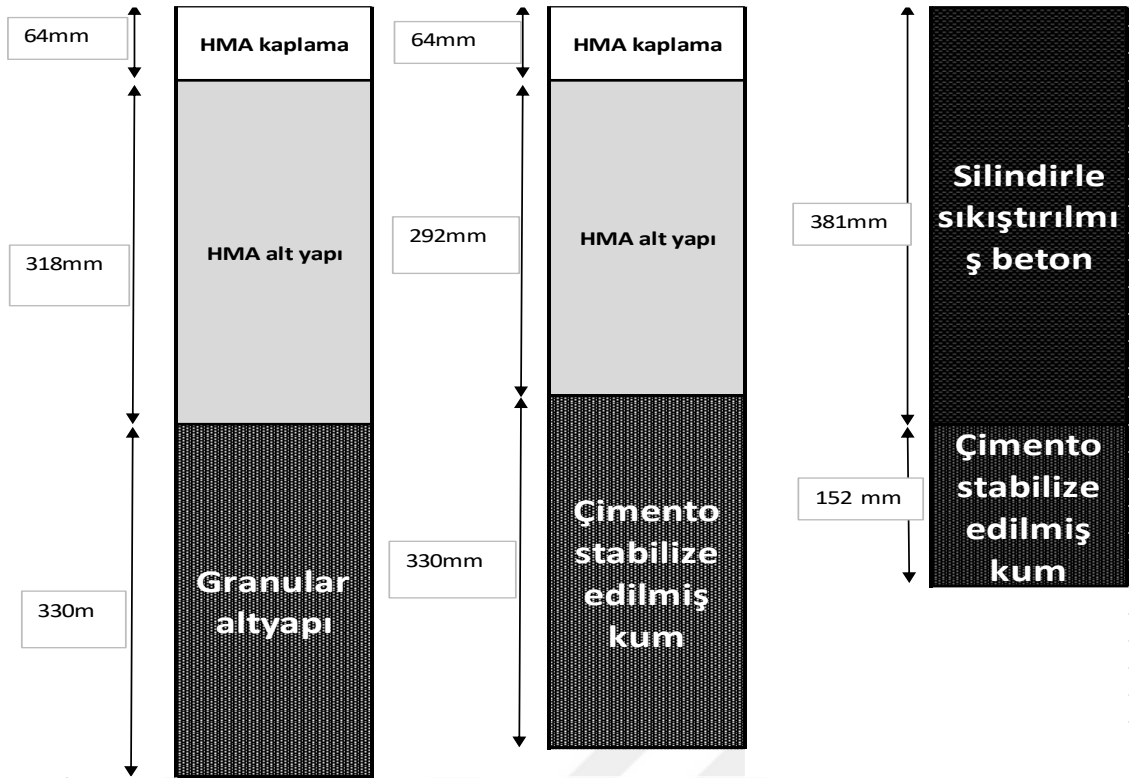
Şüphesiz SSB'nin her koşulda ve her zaman asfalt yahut diğer kaplama malzemelerine göre daha ucuz ve avantajlı olduğunu söylemek mümkün değildir. SSB ya da asfalt gibi bir malzemenin maliyeti aynı zamanda ülkeden ülkeye göre de değişebilir. Asfalt ürünlerini üreten bir ülkede asfalt fiyatları düşük iken asfaltı ithal eden ülkelerde bu maliyetler daha yüksek olacaktır. Sonuç olarak birim fiyat karşılaştırılması yaparken; proje ihtiyaçları, ülkenin doğal kaynakları, imal ettiği ürünler ve döviz kurları gibi hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. SSB ile asfalt kaplama fiyatlarına dair karşılaştırma Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Asfalt ve SSB gerçek bir ihaledeki birim fiyatları (Damrongwiriyap vd. 2012).

Maliyet	SSB	Asfalt (Devlet Tarafından Yapılan)	Asfalt Teklifi	Müteahhit
Toplam	\$29,111	\$34,486	\$46,961	
1 yard kare için birim fiyat	\$12.35	\$14.63	\$19.62	

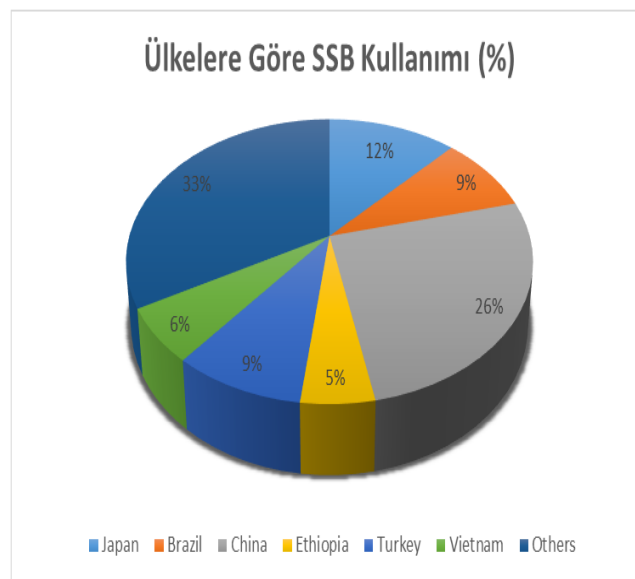
2.8. Silindirle Sıkıştırılmış Beton ve Asfalt Kaplamanın Çevresel Etmenlere Göre Kıyaslaması

Sürdürülebilirlik 80’li yıllarda ilk dile getirildiğinden bu yana dünyanın gündeminde giderek önem kazanan bir konu olup bu konuya dair endişeler artmaktadır. Sürdürülebilirlik gelecek nesiller düşünülerek doğal kaynakların kullanılması ve bu gelecek kuşakların yeterli kaynağa sahip olacağını teminat altına almaktadır. Bu sebeple doğal kaynakların tüketimi makul seviyelerde gerçekleşmelidir (Yılmaz & Bakış, 2015). Miktarı azalan doğal kaynaklar, çevresel kaygılar ve sivil toplum örgütlerinin bu konudaki artan hassasiyetleri sonucunda mühendislik çalışmaları da sürdürülebilirlik kaygısı ile sürdürülmektedir. Bu çalışmaların sonucu olarak çimento üretimi sonucu meydana gelen CO₂ önemli oranda azaltılmıştır (Sabnis, 2016a). Diğer taraftan SSB içeriğinde kullanılan malzemeler ve daha az kazıya ihtiyaç duyması sebebiyle asfalt kesitler göre daha avantajlı olabilirken daha az kazı daha az makine saat daha az malzemeye ihtiyaç duyması noktasında çevreye karşı daha duyarlı bir ürün olarak görülebilir (Harrington vd., 2010). Aynı proje için önerilen asfalt kesit tekrar üzerinde çalışılarak değer mühendisliği ile daha da optimize edilmiştir. Buna rağmen hala SSB kesitine göre çok daha büyük bir kesit olarak imal edilmesi gereklidir. Bu durum SSB kesitinin daha az kazı, daha az malzeme gereksinimi, daha az makine-ekipman saat ve daha az işçi maliyeti olarak avantaj sahibi olduğu savının bir diğer kanıtıdır. SSB ile yapılacak kesitin daha az kazı dolayısıyla iş gücü ve enerji tüketimi ve daha az malzeme gerektirdiği örnek Şekil 2.9’da sunulmuştur.



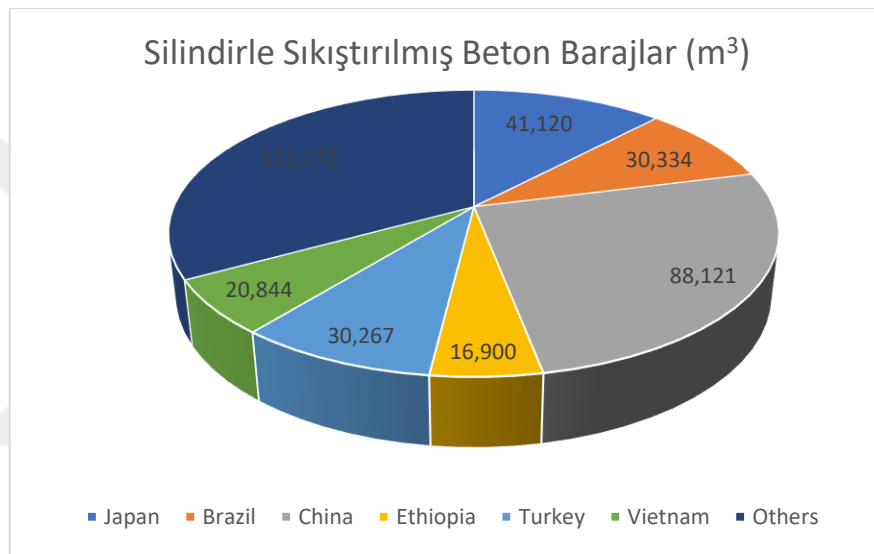
Şekil 2.9. SSB'nin sürdürülebilirliğe katkısı (Harrington vd., 2010)

SSB aslında en çok barajlarda kullanılır. ABD SSB askeri projelerde, kamu projelerinde ve endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır. Ülke bazlı SSB kullanılan barajlar Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Bu durum aslında ülkelerin SSB kullanımına aşina olduğunun bir kanıtıdır.



Şekil 2.10. SSB Barajlarının ülkelere göre dağılımı (Calis & Yıldız, 2019)

Daha az malzeme (kaynak) kullanımına imkân vermesi sebebiyle SSB sürdürülebilirlik kapsamında önemli fayda sağlar. Uygulama aşamasında tüketilen enerji açısından bakıldığında %40'lık bir enerji tasarrufu sağlayacağı ortaya çıkmıştır (Neocleous vd. 2011). Çimento üretim teknolojisindeki gelişmeler ile SSB'nin temel bileşenlerinden olan çimento imalatı esnasında ortaya çıkan CO₂ de azaltılabilmektedir. Yine benzer şekilde lif takviyesi, yüksek fırın cürufu gibi malzemelerin kullanımıyla çimento miktarı da azaltılabilmektedir. Şekil 2.11'de farklı ülkelerde bulunan SSB kullanılmış baraj betonları miktarı sunulmuştur.



Şekil 2.11. Ülkelere Göre SSB İçeren Barajlar m³ (Calis & Yıldız, 2019)

SSB'nin barajlardaki kullanımının yanında yol projelerindeki kullanım miktarı da son yıllar da artış göstermektedir (Sabnis, 2016b). Buna en iyi örnek ABD'deki yapılmış olan 45.771 km²'lik SSB yollar gösterilebilir. En uzun SSB yol ağına sahip ABD'de bile SSB yol/ toplam yol uzunluğu oranı sadece 9.5%'tir. Bu da SSB yolların hala hak ettiği değeri görmediğinin bir kanıtıdır (Reza & Boriboonsomsin, 2015).

İşlenebilirlik SSB için önemli bir gereksinimdir. SSB işlenebilirliği de normal betonda olduğu gibi agrega gradasyonu, su içeriği (Chhorn vd., 2017), lif katkısı (Adamu vd., 2018; Ghahari vd., 2017), ve puzolan içeriğine bağlıdır (Shamsaei vd., 2017b). Bu nedenle içeriğine göre SSB'ye üretim esnasında yüksek hassasiyet gösterilmelidir.

Basınç dayanım değerleri göz önünde bulundurulduğunda lif takviyeli ya da takviyesiz arzu edilen dayanımı sağlayabilmektedir. Benzer şekilde puzolanik özellik

gösteren çimento alternatif malzemeleri beton karışımlarına eklendiğinde SSB arzu edilen basın dayanımını gösterebilmektedir.

SSB uygulamalarının avantajları Amerika, Japonya gibi ileri gelen birçok ülke tarafından tanınmaktadır. Buna ek olarak baraj projelerinde SSB'nin tercih sebebi olan mekanik özellikler, puzolanik malzeme kullanılması ile daha az çimento kullanımı daha az maliyet özelliği ile tercih edilmektedir (L. Berga, J.M. Buil, 2003). Bu özelliklerine ek olarak SSB'nin yol kaplamalarında kullanıldığı durumda daha yüksek basınç dayanımı elde edilirken daha uzun bir servis ömrü sunmaktadır. Yolun işletim süresi açısından bakıldığında ise hem bakım yapılan yollarda hem de yolun inşa süresinde yolun kullanımına açılması asfalta kıyasla daha hızlıdır.

SSB uygulamalarının çevre dostu olduğu ve sürdürülebilirlik kapsamında önemli yararları olduğu görülmüştür. Bununla beraber literatüre bakıldığında daha fazla sayısal değer elde edilmesi, ısı adası etkisi, ülkede kaynaklara göre birim maliyet analizi yapılması gerekmektedir. Dünya Bankası Eylül 2019'da yayınlanan raporunda silindirle sıkıştırılmış beton yolların şehirlerde kullanılmasının çevresel sorunlara karşı makul bir önlem olduğunu belirtmiştir (Johnson vd., 2019).

2.9.Silindirle Sıkıştırılmış Betonda Kullanılan İkame Malzemeler ve Lifler

Çimento betonu oluşturan temel bileşenlerden biriyken aynı zamanda beton maliyetini de etkileyen en önemli bileşendir. Beton bileşenlerinden çimentonun üretimi dünyadaki sera gazı etkisine en çok katkıda bulunan sanayi alanlarından biridir. Betonda kullanılan çimentonun başka bir malzeme ile ikame edilmesi sonucu sera gazı etkisinde ciddi bir düşüş, atık malzemelerin depolandığı yerlerde yükte azalma, ve maliyette düşüş elde edilebilir(Pranav vd., 2020). Çimento ikame malzemeleri yanında doğal agregayı ikame eden malzemeler ve silindirle sıkıştırılmış betonda performans artırıcı lifler de kullanılmaktadır.

Uçucu Kül: Kendi başına bağlayıcı özelliği ya hiç yoktur ya da çok azdır. Buna rağmen suyun varlığı ile Ca(OH)_2 ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte olan kalsiyum silikatların oluşmasını sağlarlar(Baradan vd. 2012). ASTM C618' e göre uçucu küller kimyasal bileşenlerine göre C ve F olmak üzere iki sınıf altında tanımlanmıştır (ASTM C 618, 2014). Uçucu küllerin sınıflandırılması Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Uçucu Küllerin ASTM C 618'e göre sınıflandırılması

Uçucu Kül Sınıfı	Yönetmelikteki Tanımı
F	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%70$ bitümlü veya antrasit (parlak kömürden elde edilen uçucu küller). Sadece puzolanik özelliğe sahiptirler.
C	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%50$ linyit kömürünün yakılması sonucu elde edilirler içerik olarak; CzO $\%10$ 'dan fazla olabilir. Bu sebeple yüksek kireçli uçucu kül olarak da bilinir. Puzolanik ve bir miktar bağlayıcılığa sahiptir. F sınıftan farklı olarak kireç içeriği yüksek olduğu için bağlayıcılık özelliğine sahiptirler.

Farklı yerlerden elde edilen uçucu küller incelendiğinde kimyasal bileşenlerinde farklılık olduğu gözlemlenmektedir. Bu farklılık kullanılan kömürün yapısı, jeolojik kökeni ve maruz kaldığı işlemlere bağlı olarak değişmektedir. Uçucu küllerin kimyasal yapısında esas olarak 3 bileşen vardır. Bunlar; Alumina (Al_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3), ve silika (SiO_2)'dir. Bunlara ek olarak tiplerine göre az miktarlarda MgO , SO_3 , CaO , alkaliler ve yanmamış kömür parçacıkları (C, karbon) da bulunur. SSB'de F sınıfı uçucu kül, erken yaşlarda daha düşük ısı üretimine katkıda bulunur. Çimento hacimce yaklaşık $\%50$ oranında ikame edebilir ve daha fazla yerleştirme süresi sağlarken işlenebilirliği de artırır (ACPA (American Concrete Pavement Association), 2014).

Uçucu külün SSB'ye eklenmesi sonucunda betonun dayanımında ve aşınma direncinde olumlu sonuçlar doğurduğu ayrıca neme karşı da pozitif etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Bu etkinin sebebi, betonun mikro yapısına etki eden uçucu kül ve çimento hidratları arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanır. Uçucu külün betonda kullanımı çimento üretiminde tasarruf sağladığı için daha az enerji kullanımını sağlar.

Buna karşı uçucu kül içeren betonun normal betona karşı sakıncalı yanı da sahip olduğu düşük alkalinite olarak bilinmektedir. Düşük alkalinite betonarme yapılarıdaki betonarme çeliğinin üzerindeki pasif korumanın kaybolmasına sebep olabilir. Fakat, rijit kaplamalarda nadiren çelik donatı kullanıldığından çimentonun uçucu kül ile ikame edilmesi hala avantajlıdır. Uçucu küllerin rijit kaplama betonlarında yani ve silindirle sıkıştırılmış betonda kullanılmasına dair endişe içeren nokta uçucu kül içeren betonun erken yaşlardaki mukavemet gelişimidir. Uçucu kül içeren betonlarda mukavemet gelişimi yavaş olduğundan uçucu kül içermeyen beton kaplamaya göre trafiğe açılması süresi biraz daha uzun olabilmektedir (Yoshitake vd., 2016). Yapılan literatür çalışmasında uçucu külün elektrik ark ocağı cürufu ile birlikte kullanıldığında yararlı olduğu, ancak tek başına kullanıldığında aynı oranda yararlı olmadığı gözlemlenmiştir.

Uçucu kül, tüm dünyada beton karışımlarında çok yaygın olarak kullanılsa dahi, asfaltlama söz konusu olduğunda, maliyet faydaları ve çevresel etki bir kenara bırakılırsa, o kadar kolay kullanılamaz. Farklı malzemelerle birlikte kullanıldığında bazen kuvvet artışı, bazen güç kaybı gözlenmesi söz konusu olur. Bununla birlikte, bu durum uçucu külün kalitesindeki tutarsızlıklardan ötürü de meydana gelebilir. Bu sebeple, inşaat ilerinde yalnızca yüksek kalitede uçucu kül kullanılması gereklidir. Lam vd. yaptığı çalışmada (Lam, Le, vd., 2018) değişen uçucu kül içeriğiyle birlikte doğal agregaların da ikame edildiği beton karışımları üzerine testler gerçekleştirmiştir. Uçucu külün ikame edilmesinin, 90 günlük beton numunelerde basınç dayanımını yaklaşık %4'e kadar artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, rijit kaplama betonların dayanım ve dayanıklılık gereksinimlerini karşılamak için çimentonun %20 oranında ikame edilmesi önerilmiştir. Bu çalışmaya ek olarak Nassar vd. (Nassar vd., 2013) %50 ikame ile uçucu külün 28 günlük yaşa kadar %25 oranda uçucu külden daha düşük basınç dayanımı ile sonuçlandığını (~% 3 daha düşük), 90 günlük süreden sonra % 50 uçucu kül içeren örneklerin % 25 olanlardan (~% 15 daha yüksek) daha yüksek basınç dayanımı gösterdiğini gözlemlemiştir.

Uçucu kül ile %35 çimento ikamesi, (P. Suraneni vd. 2017) ayrıca buz çözücü tuz ve kalsiyum hidroksit arasındaki reaksiyonun neden olduğu eklemlere neden olan hasarı azaltmaya yardımcı olur. Uçucu kül ile çimento değişiminin eğilme mukavemeti üzerindeki etkisi de bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Başka bir çalışmada (Yener & Hınıslioğlu, 2011), çimentonun uçucu kül ile değiştirilmesinin 28 günlük eğilme mukavemetini yaklaşık %12 - %13 oranında azalttığı belirtilmiştir. Nassar vd.(Nassar vd., 2013), 270 günlük yüksek hacimli uçucu kül içeren rijit kaplamanın aşınma direnci test sonuçlarının önemli iyileşme gösterdiğini, yani aşınma sonucu meydana gelen ağırlık kayıplarında yaklaşık %13'lük bir azalma gözlemlendiğini ispat etmiştir. Bununla birlikte, Yoshitake ve ark (Yoshitake vd., 2016) uçucu kül hacmi arttıkça ve aynı zamanda kalker veya silisli agrega kullanıldığında kaplamanın aşınmasının maksimum ~% 48 arttığını bildirmişlerdir.

Nassar ve diğerlerine göre çimento yerine uçucu kül içeriğindeki artışla birlikte su emme oranı maksimum ~% 41 oranında azalır (Nassar vd., 2013). Bunlara göre olası neden, uçucu kül nedeniyle oluşan puzolanik reaksiyonun daha yüksek miktarda kalsiyum silikat hidrat üretmesi ve daha sonra daha fazla gözenek incilmesi sağlamasıdır. Adamu ve ark. (Adamu vd., 2018) uçucu külün ikame seviyesinin artmasıyla su

emiliminin arttığını, belirli bir miktarda uçucu kül için nano-silikanın dahil edilmesinin su emilimini azalttığını gözlemlemiştir.

Kömür Külü: Fosil yakıtlardan olan kömür en önemli ve yaygın kullanışa sahip enerji kaynaklarından biridir. Ancak aynı zamanda bazı istenmeyen durumlara da sebep olmaktadır. Bu yakıtların yanması sonucu cıva ve selenyum gibi istenmeyen zehirli atıklar oluşur. Bu atıklar atmosfer ile temas ettiğinde pH değerini düşürür ve toprağa ve yeraltı suyuna zarar veren asit maden drenajını (AMD) oluşturur (Akcil & Koldas, 2006).

Araştırmacılar bu zehirli atıkların inşaat imalatlarında kullanılmasının bu soruna bir çözüm olabileceğini önermektedir. Bunun önerinin temel sebebi de kömür külünde hem uçucu kül hem de dip külü (bottom ash) bulunmaktadır. Kömür külü, kömür atık tozunun (coal waste powder) yakılmasıyla elde edilir ve kömür külü hem uçucu külü hem de dip külü (dibe çöken kül) içerir. Araştırmacılar kömür tozunun puzolanik özellik açısından F sınıfı uçucu küllere benzer özelliklere sahip olduğu sonucuna varmıştır puzolanik özelliklere sahip olduğu sonucuna varmışlardır (Modarres & Rahmazadeh, 2014). Kömür külünün betonda kullanılması, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini hemen hemen aynı tutarken yani bazen çok az artıran bazen çok az düşüren etkiye sahiptir, elastisite modülünde bazen iyileştirici etki gösterirken basınç dayanımında da küçük miktarda düşüşe sebep olabilir. Bu durum beton üretiminde kömür külünün neden yaygın şekilde kullanılmadığının sebebidir. Fakat eğer kömür külü beton imalatının yapılacağı yerde önemli miktarda bulunuyorsa betonda çimentoyu ikame edecek şekilde alternatif bir malzeme olarak kullanılabilir. Bu durumda mekanik özelliklerinde çok az miktarda düşüş gözlemlenecek olsa bile maliyet ve sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlayacaktır (Pranav vd., 2020).

Kısmen uçucu kül kömür taban külü eklenen beton karışımları incelendiğinde eğilme, basınç dayanımı açısından şahit numune ile aynı sonuçlar gösterdiği gözlemlenmiştir (Rafieizonooz, M., Mirza, J., Salim, M. R., Hussin, M. W., Khankhaje, 2016). Bu nedenle kömür dip külü içeren betonun yol kaplamalarında kullanılabileceği önerilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada (Modarres vd., 2018), çimento ikamesi olarak% 5-10 kömür külü ve % 5 kömür atığı kullanılan betonlarda, şahit numunelerin mekanik özelliklerine çok yakın değerlerde deney sonuçları elde edilmiştir. Frías vd.(Frías vd., 2012),%10 kömür külü içeren beton karışımlarının 7 günde daha yüksek basınç dayanımı gösterdiğini (~% 4'e kadar daha yüksek), ancak 28 ve 90 günlerde daha düşük mukavemet değerleri (~% 15 daha düşük) gösterdiğini gözlemlemiştir. Rad ve Modarres (Alireza vd.,

2017), kömür külü içeren SSB numunelerinin klora karşı daha az geçirgen olduğunu, donma çözünmeye karşı daha yüksek direnç gösterdiğini ve geçirgenliğin daha az olduğunu gözlemlemişlerdir.

Silis Dumanı: Silis dumanı imalattan elde edilen yan ürün olup silikon metal veya silikon içeren alaşımlardır. Sahip olduğu yüksek puzolanik yapı sebebiyle betonda çimento ikame malzemesi olarak yaygın bir kullanıma sahiptir. Rijit kaplama beton karışımlarına silis dumanı eğilme mukavemetinin azaldığı SSB kaplamalardaki birkaç durum dışında, genellikle gelişmiş mekanik özelliklerle sonuçlanır. Eğilme mukavemetindeki azalma, bu karışımlarda katkı maddesi olarak parça kauçuğunun kullanılması ve kırıntı kauçuğunun yüksek oranda kullanıldığında betonun mukavemetini düşürdüğü bilinmesi nedeniyle olabilir (Sofi, 2018).

Silis dumanı, mekanik özelliklerdeki ve ince partikül içeriğindeki önemli gelişmeler nedeniyle, nispeten yüksek maliyetine rağmen, beton kaplamalarda on yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Ek olarak, çimentonun yerini alarak betonun karbon ayak izini önemli ölçüde azaltmaya yardımcı olabilir. Geçirgen betondaki zayıf mekanik özellikler, yani düşük mukavemet ve düşük donma-çözülme direnci, silika dumanı kullanılarak %3'ten %12'ye kadar kısmi çimento ikamesi kullanılarak aşılmıştır. Kullanılan silika dumanı yani çimento ikame oranının artırılması ile donma-çözülme dayanıklılığında belirgin bir iyileşme gözlenebilmektedir. Yani %12'lik silika dumanı kullanılması yaklaşık %62 kadar artış meydana getirmektedir. Bununla birlikte eğilme mukavemeti 4,8 MPa'dan 5,2 MPa'ya, basınç dayanımı 22 MPa'dan 25,5 MPa'ya yükseldi. Donma-çözülme dayanıklılığının yanı sıra bu iki özellik için de benzer artış eğilimleri gözlemlenmiştir (Liu vd., 2018). Hassani ve Arjmandi (Hassani & Arjmandi, 2010) yaptıkları çalışmada, betona %10 silis dumanı ekledikten sonra basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülünün sırasıyla %29, %22 ve %14 arttığını gözlemlemişlerdir. Yener ve Hınıslıoğlu (Yener & Hınıslıoğlu, 2011) uçucu kül ve silis dumanı ilavesinin geleneksel kaplama betonları üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmalarında uçucu kül kullanımının 28 günlük eğilme dayanımını tipik olarak yaklaşık %12,5 azalttığını, silika dumanının ise eğilme dayanımını yaklaşık %1 arttırdığını gözlemlemiştir.

Nano-Silis: Nano-silika, mikro silikon dioksitten oluşan ince bir tozdur ve 100 nm civarında çok küçük çapa sahip küreciklerdir. Nano silika kullanımı silis dumanına kıyasla çok daha azdır ve çimento ağırlığının yaklaşık olarak %5'i kadardır. Beton kaplamalarda çimento ikamesi olarak %1-%3 gibi düşük oranda nano silisin kullanılması

durumunda bile betonun mekanik özelliklerinde genellikle önemli bir artış gözlenir. Bununla birlikte, nano-silika betonun aynı çökme sınıfını korumak için büyük miktarda süper plastikleştirici gerektiğinden, yüksek miktarlarda nano-silika kullanımından kaçınılması önerilir. Diğer bir deyişle nano-silikanın kullanılması beton karışımında su ihtiyacını artırır. Bu bölümde ele alınan maddelere dayanarak, geleneksel kaplama betonu için optimum nano silika ikame seviyesinin %2-5 olduğu, SSB kaplamalar için ise % 1-2 olduğu görülmektedir. Nano-silika, sadece puzolanik yapısı nedeniyle değil, aynı zamanda betondaki gözenekleri silis dumanından çok daha fazla işgal edebilmesi nedeniyle genellikle basınç dayanımını, eğilme dayanımını ve gerilme dayanımını iyileştirmede yardımcı olur. Yani silis dumanına göre bir de boşlukları doldurucu özellik göstermektedir. Ancak betondaki etkisi henüz tam olarak anlaşılmadığı için silis dumanı kadar yaygın olarak kullanılmamaktadır (Khatib, 2016).

Uçucu kül kullanılan kaplama betonunda %2 miktarında eklenen nano silikanın eğilme dayanımını %22 basınç dayanımını ise %10 artırdığı ortaya konmuştur. Benzer pozitif sonuçlar kuruma büzülmesi ve aşınma dayanımında da gözlemlenmiştir. Bu durum nano-silikanın iyi bir puzolanik malzeme olmasını yanında boşluk miktarını azaltmasıyla açıklanabilir (Gao vd., 2017).

Adamu (Adamu vd., 2018), %50 uçucu kül ikamesi olan ve olmayan SSB kaplamalarda sürtünme etkisi ve kuruma büzülme incelemesi gerçekleştirmiştir. Ayrıca, %10 doğal ince agrega, parça kauçuğu ve %1 çimento ile nano-silika ile ikame edilmiştir. Nano silikanın beton karışımında kullanılması mukavemet gelişme hızını artırmış ve hem SSB hem de yüksek miktarda uçucu kül içeren SSB kaplamalarda sünme ve kuruma büzülmesini azaltıcı etki yaptığı gözlemlenmiştir. 90 gün küre tabi tutulan %1 nano silika içeren beton numunelerinde kontrol numunesine göre %8 daha az kuruma büzülmesi görülürken, sünme büzülmesi %68 daha düşük olarak tespit edilmiştir. Nano silika içeren numunelerin kayma direnci açısından da otoyollarda kullanılabileceğini de ortaya koymuştur. Çimento ikame malzemelerin rijit kaplamalara sağladığı avantaj ve dezavantajlar Çizelge 2.5'te sunulmuştur.

Çizelge 2.5. Çimento ikame malzemelerin rijit kaplamalara sağladığı avantaj ve dezavantajlar (Prnav vd., 2020)

Çimento İkame Malzemesi	Rijit Kaplama Çeşidi	İlave Malzeme	Sağladığı Faydalar	Dezavantajları
	SSB	Elektrik ark cürufu	Basınç dayanımında ve dayanıklılıkta artış	-
Uçucu Kül	Beton kaplama	-	Enerji tüketiminde azalma, derz çatlaklarında ve maliyette azalma, direncinde ve aşınma dayanıklılığında artış	Basınç ve eğilme dayanımında azalma
	Beton kaplama	Kireç taşı	Basınç ve eğilme dayanımında artış	İşlenebilirlik kaybı
	Beton kaplama	-	-	İşlenebilirlik kaybı
Kömür Külü	Beton kaplama	Isıl işlem görmüş kömür atıkları	-	Basınç dayanımında azalma
	SSB	Buzlanmaya karşı kullanılan tuzlar	Elastisite modülü ve durabilitede artış	-
	Beton kaplama	-	Basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımında artış	-
Silis Dumanı	Beton kaplama	Uçucu kül	Eğilme dayanımında artış	-
	SSB	Kauçuk atıkları	Basınç ve eğilme dayanımında artış	-
	Beton kaplama	Nano silikan karbür, uçucu kül	Basınç, eğilme dayanımı ve aşınma direncinde artış	-
Nano-silika	Beton kaplama	Lif	Basınç dayanımı ve donma çözünme dayanıklılığında artış	İşlenebilirlik kaybı
	SSB	Uçucu kül, kauçuk atıkları	Kuruma büzülmesi ve sünme azalması, yorulma dayanımı, elastik modülü ve kayma direnci artar	-
Öğütülmüş granüle yüksek cüruf	SSB	2 farklı büyüklükte çakıl	Maliyet düşer	Donma çözünme direncinde ve permeabilite (geçirgenlikte) düşüş
		Kireçtaşı ve çakıl	Maliyet düşer, basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımlarında artış olabilir	Kuruma büzülmesinde artış

Yüksek Fırın Cürufu: Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (YCF), çelik üretiminin bir parçasıdır. Silikon dioksit ve kalsiyum oksit gibi bileşiklerden oluşur (Holland vd., 2016). Betona YCF eklemek kuruma büzülmesini artırır ve donma-çözülme direncini azaltır. Bununla birlikte, belirli seviyelerde YCF ikamesi için, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımını artırdığı çalışmalar gözlemlenmiştir. Örneğin çimentonun %40'lık miktarının YCF ile ikamesi durumunda, özellikle 365 günlük kür uygulaması sonrası sürekli iyileştirmeler gözlemlenir. Diğer taraftan düşük maliyet sağlaması açısından YCF büyük bir avantaj sağlamaktadır. Uçucu kül gibi, YCF da beton üretiminde yaygın olarak tercih edilen çimento ikame malzemesidir. Bununla birlikte, beton kaplamalarda da sınırlı ölçüde uygulaması mevcuttur. Bunun nedeni, beton kaplamalarla mekanik özelliklerinin bazen YCF eklenmesiyle olumsuz etkilenmesi olabilir. Bu nedenle, somut mekanik özelliklerde bir iyileşme elde etmek için optimum YCF değişim seviyelerini tespit etmek önem taşımaktadır. Aghaeipour ve Madhkhan yaptıkları çalışmada (Aghaeipour & Madhkhan, 2017) çimentonun ağırlıkça %20,%40 ve %60 miktarda YCF ile ikame edildiği beton numunelerde dayanıklılık özelliklerinin nasıl etkilendiğini incelemişlerdir. Çimentonun ağırlıkça %20 oranında YCF ile ikame edildiği beton numunelerin durabilite özelliklerinde kayda değer değişikliklerin olmadığı gözlemlenmiştir.

Bununla birlikte, %40'lık değiştirme, geçirgenliği yaklaşık %42 ve donma-çözülme direncini 300 döngü için yaklaşık %36 azaltmıştır. Ağırlıkça %60 YCF içeren karışımda donma-çözülme direncinde neredeyse hiçbir değişiklik gözlemlenmiştir çünkü bu örnekler doygunluğa ulaşmamıştır. Saluja vd. (Saluja vd., 2019) SSB kaplamalarda (Aghaeipour & Madhkhan, 2017) gibi benzer bir karışım için kuruma büzülme özelliğini incelenmiştir. Bununla birlikte, YCF içeren ve içermeyen farklı karışımların hazırlanmasında kırma çakıl ve kireçtaşı olmak üzere iki tür agrega kullanılmıştır. Sonuç, her iki tür agrega içeren beton numunelerde YCF içeriği arttıkça (%20'den %40'a %60'a) kuruma büzülmesinin arttığı olarak belirlenmiştir. %60 YCF içeren kırılmış çakıl karışımı için, 270 günlük kuruma süresinde kuruma büzülmesinin kontrol karışımına göre yaklaşık %27 daha yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde kireçtaşı karışımı için yine yaklaşık olarak %20 daha yüksek olduğu görülmüştür. En az kuruma küçülmesinin kireçtaşı agregaları ve ağırlıkça %20 YCF içeren karışım için elde edildiği görülmüştür.

Geri Dönüştürülmüş Beton Agregaları: Doğal agrega, petrol bazlı olmayan en önemli doğal kaynaklı malzemelerden biridir. Yine de agregalar dünyanın birçok yerinden elde edilebilmesine rağmen her yerinde yeterli miktarda mevcut değildir.

Agreganın erişilebilir bir doğal kaynak olmasına rağmen, sürdürülebilirlik açısından agreganın betonda ikame edilmesi de gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan ülkeler ve birlikler de geri dönüşümden malzeme kazanılmasını ve bunu günlük üretim kalemlerinde kullanılmasını desteklemek ve zorunlu kılmaktadır. Avrupa Birliği geri dönüşüm politikası gereği üye ülkeler (EU, 2008a) inşaat atıklarının ağırlıkça en az %70'nin yeniden kullanılmasını zorunlu kılar. En çok açığa çıkan inşaat atığı da betondur.

Bu agregalar eski beton kaldırımların, bordür ve olukların, otoparkların, kaldırımların ve yaşlı beton binaların yıkılmasıyla ortaya çıkan betondan elde edilir [68,69]. Madencilik kaynaklarından, endüstrilerden ve evsel kullanımlardan kaynaklanan atık hacmi arttıkça, atıkların bertarafı için düzenli depolama alanlarının mevcudiyeti de azalmaktadır. Dahası, işlenmemiş agregaların mevcudiyetindeki kıtlık, taş ocakçılığı operasyonlarının kısıtlamaları beton kaplamalarda betondan geri kazanılmış agregaların kullanımının tercih edilmesini zorunlu kılmaktadır (EU, 2008b). Doğal agregaların ikamesi olarak betondan geri dönüşüm ile kazanılan agregaların kullanılması durumunda ise bu agregaların hepsinde aynı özelliklerin homojen şekilde olmaması, düşük basınç dayanımı, düşük elastisite modülü, yüksek sünme ve üretim sonunda ortaya çıkan betonlarda yüksek kuruma büzülmesi gibi sorunlara rastlanılmaktadır (Behera vd., 2014; Dilbas vd., 2014; Omary vd., 2016a). Bu olumsuzlukların kaynağı geri kazanılmış agregaların yüzeyinde önceki betondan kalan çimento artıkları olarak düşünülebilir. Diğer bir sebebi ise beton elemanların yıkılma sürecinde tam bir kalite standardı oturtulmuş değildir. Bu nedenle geri dönüşümden kazanılmış agregalardan üretilen betonlara dair bu noktalar her zaman akılda tutulup göz önünde bulundurulmalıdır.

Kırılan asfalt kaplamalardan elde edilen agregaların kullanıldığı SSB ile doğal agregaların kullanıldığı (Ferrebee vd., 2014) numunelerin mekanik dayanımları karşılaştırıldığında doğal agregaların kullanıldığı SSB'nin daha yüksek mekanik dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir. Sayısal olarak bakıldığında bu fazlalık basınç dayanımında %27 iken eğilme dayanımında %16'dır. Diğer bir çalışmada SSB de kullanılan ince ve iri agrega hem ayrı ayrı hem de aynı anda asfalttan geri kazanılmış agregalar ile ikame edilerek mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada da geri dönüşümden kazanılmış agrega miktarı arttıkça şahit numuneye göre mekanik özelliklerin düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir (Modarres & Hosseini, 2014a). Bu tip betonlarda eğilme dayanımının basınç dayanımının %10'u olduğu gözlemlenmiştir (Lopez-Uceda vd., 2020). Asfalt ya da beton atıklarından elde edilmiş agregalar doğal agregalardan üretilen betonların mekanik özelliklerine göre daha düşük olsa da yine de SSB'de kullanılabilirler (Fardin &

dos Santos, 2020; Lopez-Uceda, vd, 2020; Modarres & Hosseini, 2014b; Omary vd., 2016b). Rijit kaplamalarda agrega ikame malzemelerinin sağladığı fayda ve zararlar Çizelge 2.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. Agrega ikame malzemelerin rijit kaplamalara sağladığı avantaj ve dezavantajlar (Pranav vd., 2020)

Agrega ikame malzemesi	Kaplama Çeşidi	İlave Malzeme	Sağladığı Faydalar	Dezavantajlar
	Beton kaplama	-	Maliyet düşüşü	Basınç dayanımı ve elastisite modülünde düşüş, kuruma büzülmesinde artış
	Beton kaplama	Kireç taşı	-	Basınç, eğilme, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülünde düşüş
	Beton kaplama	Uçucu kül	%50'ye kadar ikame edilmesi durumunda eğilme ve basınç dayanımında artış	%50'den fazla agrega eklenmesi halinde basınç ve eğilme dayanımında düşüş
Betondan geri kazanılmış agrega	Beton kaplama	Polivinil alkol lif	Eğilme dayanımında artış	Basınç dayanımında düşüş
	Beton kaplama	Su azaltıcı	-	Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve aşınma dayanımında düşüş
	Beton kaplama	Sülfirik asit	-	Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve aşınma dayanımında artış
	Geçirimli beton kaplama	-	Geçirimsizlikte, durabilite ve donma çözünme direncinde artış	Basınç dayanımında düşüş
	Betonarme beton kaplama	-	Maliyet düşüşü	Basınç dayanımında düşüş
	Betonarme beton kaplama	Uçucu kül	-	-
Yüksek fırın cürufu	Beton kaplama	-	Basınç dayanımında artış	Eğilme dayanımında düşüş
Ferrokrom cürufu	Beton kaplama	-	Donma çözünme dayanıklılığı, basınç eğilme ve yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü, ve aşınma direncinde artış	-
Bakır cürufu	Beton kaplama	-	Eğilme dayanımında artış, kuruma büzülmesinde azalma	Aşınma dayanımında düşüş
	SSB	-	Yarmada çekme dayanımında artış	-
Elektrik ark ocağı cürufu	SSB	Uçucu kül	-	Basınç, yarmada çekme ve elastisite modülünde düşüş
	Beton kaplama	-	Basınç, eğilme yarmada çekme dayanımlarında ve elastisite modülünde artış	-

Cüruftan Elde Edilen Agregalar: Cüruf, bir metalin cevherinin eritilmesinden sonra kalan camsı atık üründür. Yüksek fırın cürufu (YFC), ferrokrom cürufu, bakır cürufu, elektrik ark ocağı cürufu gibi çeşitli türlerdedir. YCF agregalarının doğal agregalara alternatif olarak kullanıldığı beton numunelerde basınç dayanımının arttığı fakat eğilme dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun aksine bakır cevherinden elde edilen bakır cürufu basınç dayanımı şahit numuneler ile hemen hemen aynı seviyede tutarken, eğilme dayanımında iyileştirmelere sebep olur. Ferrokrom cürufu ise betonun neredeyse tüm mekanik özelliklerini iyileştirir. Diğer yandan elektrik ark ocağı cürufu ise hem geleneksel beton hem de SSB kaplamalarda iyi çalışır, ancak kütle birlikte kullanıldığında bu işlevselliğini kaybeder. Bakır cürufu, özellikle köprü gibi zemin desteğinin bulunmadığı rijit kaplamalarda yüksek eğilme dayanımının olduğu yerlerde kullanılabilir. Ancak aşınma direncini olumsuz etkilediği için yüksek hız ve hacimli trafiğin söz konusu olduğu yerlerde kullanılamaz. Verian vd. (Verian vd., 2015), doğal dolomit agregalarına %100 ikame olarak hava soğutmalı yüksek fırın cürufunu dahil etti. Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu beton kaplamalar için geleneksel beton kaplamalara göre basınç dayanımının biraz daha yüksek (yaklaşık %3) ve eğilme dayanımının yaklaşık %12 daha düşük olduğu bulunmuştur.

Zelic' (Zelić, 2005), Hırvatistan'da kullanılan geleneksel kireçtaşına kıyasla agrega olarak ferrokrom cürufunun kullanımının sonuçlarını incelemiştir. Ferrokrom cüruf kaplamada basınç dayanımı, yarıma gerilme dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve donma dayanımı sırasıyla %25,8, % 12,9,% 32,4,% 14,7 ve% 23,1 oranında yüksek bulunmuştur. Cüruf kaplamada aşınma değeri% 23.04 ve su absorpsiyonu % 22.5 daha düşük bulunmuştur. Maliyet ve çevresel etki henüz araştırılmamış önemli faktörler olmasına rağmen bu sonuçlar, beton kaplamalarda ferrokrom cürufunun kullanımını olumlu olduğu görüşünü desteklemektedir. Kumar (B. Kumar, 2013) , kaplama betonu kalitesinde % 100'lük bir ikame seviyesine kadar, agrega yerine bakır cürufu kullanmanın artılarını ve eksilerini araştırmıştır. Bu çalışmaya göre 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları çok fazla değişmemiştir fakat bununla birlikte, doğal agreganın eğilme dayanımında yaklaşık %23'lük bir artış gözlemlenmiştir. Karışıma daha fazla bakır cürufu eklendikçe, kuruma büzülmesinin %44'e kadar azaldığı, fakat aşınma değerlerinde olumsuz yönde bir etki olduğu ve 30 dk'lık aşınma değerinin %50 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Nihai tavsiye ise kaplama betonlarında bakır cürufu kullanımının %40 oranına kadar sınırlandırılmasıdır.

Diğer bir çalışmada (Lam vd., 2018), SSB kaplamalarda doğal agreganın tamamının elektrik ark ocağı cürufu agregası ile ikamesi incelenmiştir. Bu çalışmada karıştırma ve sıkıştırma arasında bir gecikme meydana geldiğinden yeni bir karıştırma yöntemi kullanılmıştır. Elektrik ark ocağı cürufu anında sıkıştırmanın ardından SSB kaplamanın hem basınç hem de yarıma çekme dayanımını düşürmüştür. Bununla birlikte, yeni yöntemle karıştırıldığında, EAFS agregalarının pürüzlü dokusu, yarmada çekme ve basınç dayanımını neredeyse geleneksel beton karışımı ile aynı hale getirdi. Lam vd. (Lam vd., 2017), SSB kaplamalarda doğal iri agregaları %100'e kadar elektrik ark ocağı agregaları ile değiştirdiler ve çimentoyu %40'a kadar kısmen uçucu kül ile ikame ettiler. Bu çalışmaya göre 28 günlük dayanımlardan basınç ve eğilme dayanımlarının sırasıyla %24.4 ve % 9.75'e kadar, elastisite modülünün ise %5 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumdan çıkarılacak sonuç elektrik ark ocağı cürufundan elde edilen agrega ile birlikte uçucu külün çimento ikamesi olarak kullanılması durumunda iyileştirme etkisinin görülmediği fakat atık malzemelerin değerlendirilebileceğidir. Roy vd.(Roy vd., 2018) açısız ve küresel şekilli EAFS agregaları için beton kaplama kalitesinin nasıl etkileneceğini gözlemlendiğinde daha yüksek basınç, eğilme mukavemeti ve elastik modülü elde edildiğini gözlemlemişlerdir (yaklaşık 9%, 35%, 25% %14).

Diğer Alternatif Atıklardan Üretilen Agregalar: SSB'de kullanılan doğal kaynaklardan elde edilen agregaya alternatif olarak çapraz bağlı polietilen atıklar da yapılan çalışmalarda denenmiştir. SSB karışımındaki doğal agreganın %5 ikame edildiği durumda 28 günlük yarmada çekme dayanımında %10 artış gözlemlenmiş, basınç dayanımı ve eğilme dayanımında ise bir miktar azalma meydana gelmiştir. Buna rağmen bu ikame işlemi sonucu elde edilen değerler ACI 325.10R'ye göre kabul edilebilir aralıktadır (Shamsaei vd., 2017a).

Diğer bir çalışmada imalat sonrası kalite kontrol şartlarına uygun olmadığı için atık durumuna düşen fazla yanmış tuğlalardan elde edilen agregaların doğal agrega ikamesi olarak kullanılması durumu incelenmiştir. Bu agregaların Los Angeles aşınma deneyinde doğal agregalara göre %23 daha az aşınma meydana gelmiştir. Buna benzer olarak yine fazla yanmış atık tuğlaların su emme kapasitesi 1. Sınıf tuğlalara göre daha azdır ki bu da elde edilecek betonda daha düşük su emilimi (%51), daha yüksek yoğunluk ve mukavemet elde edileceği anlamına gelmektedir. Bu verilere dayanarak atık tuğlaların agrega ikamesi olarak proje gereksinimlerine göre kullanılabileceği durumlar olduğu söylenebilir. Hem doğada serbest halde olacak atık değerlendirilmiş hem de parasal tasarruf sağlanmış olacaktır (Mazumder vd., 2006).

Parçalanmış kauçuk parçalarından elde edilen agregaların SSB’de kullanılması durumunda miktar arttıkça basınç mukavemetinin %50’ye, eğilme mukavemetinin ise %31’e kadar azaldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte elde edilen betonların yüksek süneklik ve düşük gözeneklilik gösterdiği gözlemlenmesi sonucunda bu tip SSB’lerin düşük trafik yükünün bulunduğu yerlerde kullanılabilceği önerilmiştir (Benouadah vd., 2017a).

Singh vd. (Singh vd., 2017) rijit kaplamalarda doğal agregaları geri kazanılmış asfalt kaplama (agregalar ile ikame etti. Bu çalışmada asfaltın çok kir tuttuğundan düşük performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu sorunu aşındırma ve yıpratma uygulamaları ile aşıp elde edilen agregalar beton karışımlarına eklenmiştir. Bu agregaların kullanıldığı beton kaplamalarda işlenebilirliğin arttığı gözlemlenmiştir. Basınç dayanımında %14, eğilme dayanımında %20 ve yarmada çekme dayanımında %16’lık azalma meydana gelmiştir.

Cam ve Çelik Lifler: Çelik ve cam lif kullanmak rijit kaplamalarda katman kalınlığının düşürülmesi, mekanik özelliklerin geliştirilmesi ve özellikle yorulma performansında hafif bir gelişmeye neden olur. Yüksek sünekliğin ihtiyaç duyulduğu yerlerde çelik lifler cam liflere göre daha ön plana çıkmaktadır. Bakır cürufu ile kıyaslandığında çelik lif daha avantajlıdır. Bunun sebebi yüksek eğilme mukavemetine ek olarak daha yüksek yorulma dayanımı sunmasıdır. Polipropilen lif ile çelik liflerin birlikte kullanıldığı durumda aşınma direncinin de arttığı gözlemlenir (Pranav vd., 2020).

Çelik lifle güçlendirilmiş beton cam lifle güçlendirilmiş betona göre %25 daha fazla deformasyon olduğu fakat cam lif takviyeli betonun daha yüksek eğilme dayanımı gösterdiği gözlemlenmiştir (Sallam vd., 2014). Bu sonuçlar, çelik lifin daha yüksek gerilme mukavemet kapasitesine sahip olduğunu, ancak yük uygulandığında kırılma noktasına daha hızlı ulaştığını göstermektedir.

Achilleos vd.(Achilleos vd., 2011) çelik lifle güçlendirilmiş silindirle sıkıştırılmış betonun, yaşam döngüsü maliyet analizi ve yaşam döngüsü değerlendirmesine dayalı çelik telle güçlendirilmiş betondan daha ekonomik ve çevresel olarak sürdürülebilir olduğunu öne sürmüştür. SSB kaplamanın hem birincil enerji tüketimi hem de havadan gelen toplam emisyonunun %63,5 daha düşük olduğu bulunmuştur. Diğer taraftan başka bir çalışmada (Nanni & Johari, 1989b) çelik lifle güçlendirilmiş betonda basınç dayanımında fazla değişim olmadığı buna rağmen eğilme dayanımında ciddi %14 bir gelişme olduğu ve %13 oranında işlenebilirlik kaybı tespit edilmiştir.

Geri dönüştürülmüş liflerin ve endüstriyel olarak üretilmiş çelik liflerin geleneksel beton ve silindirle sıkıştırılmış betona eklendiğinde yorulma performansı sonuçları

karşılaştırılmıştır. Her iki lifin bir kombinasyonu, yorulma performansını arttırmak için ideal görünmüş çünkü geri dönüştürülmüş lifler mikro çatlakları kontrol etmekte etkiliyken, endüstriyel lifler makro çatlakları sınırlamada etkili olmuştur. SSB'ye eklenen geri dönüştürülmüş lifler, daha hızlı inşaat ve %5 daha düşük çimento kullanımı avantajlarına rağmen, geleneksel lif takviyeli çimento beton ile benzer performans göstermiştir. Yorulma performansında özel iyileştirme kriteri dikkate alınırca, kaplama kalınlığı çelik lifler kullanılarak %26'ya kadar azaltılabilmektedir. Bu da sonuç olarak inşaat maliyetinde düşüş sağlayacaktır (Graeff vd., 2012).

Poliefin Lifler: Poliolefinler, alken monomerlerinden oluşan polimerlerdir. Beton kaplamalarda uygulama bulan tipik poliolefinler arasında polipropilen, poliakrilonitril ve polietilen bulunur. Polipropilen lifler, silika dumanı ile kullanılmaları haricinde, mekanik mukavemetleri geliştirmek için çok az faydaları olduğu gibi, basınç ve eğilme mukavemetlerinde bir gelişme gözlemlenir. Fakat, bu karışıma uçucu kül eklendiğinde, eğilme mukavemetinde bir gelişme olmasına rağmen, basınç mukavemeti fazla miktarda artmaz. Polipropilen lifler yerine polietilen lifler kullanıldığında da benzer bir durum oluşmaktadır. Poliolefin lifler, çatlakların yayılmasını önleyen bir ağ oluşturdukları için betondaki mikro çatlakların sınırlandırılmasına yardımcı olur. Ayrıca özellikle polipropilen liflerin yüksek aşınma direnci sağlaması, bunları yüksek hızlı veya yüksek hacimli yol kesimlerinin yapımında kullanışlı kılmaktadır. Poliolefin liflerinin kullanılmasıyla mukavemetteki genel gelişmeler, yüksek kristal yapılarına atfedilebilir (Pranav vd., 2020). Kumar vd. (R. Kumar vd., 2013) yaptığı çalışmada polipropilen çok filamanlı lifler eklendiğinde ve fibrilatlı lifler beton kaplamalara yayıldı ve her iki durumda da çökme azaldı. Ancak bu, beton kaplama yapımı için pek bir endişe kaynağı değildir; daha ziyade, yüksek bir çökme, kaplamanın kenarlarının kolayca deforme olmasına neden olabilir. Basınç veya eğilme dayanımlarında önemli bir değişiklik olmamasına rağmen, %5 değiştirme seviyesi için aşınma direncinde ~%39'a varan bir gelişme olmuştur, bu da kaplamaların dinamik yüklemeye ve olumsuz çevresel koşullara dayanması gerektiğinden kilit bir gerekliliktir. Ek olarak, çok katmanlı lif, betonun kuruma büzülmesini kontrol etmede daha başarılı olmuştur. Maksimum değiştirme seviyesinde, fibrilatlı lif bazlı kaplamanın kuruma büzülmesi ~%25 daha düşüktü. Hesami vd. (Hesami vd., 2016) polipropilen lifler ve lastik kırıntısı (TRC) içeren kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel özelliklerini inceledi. Buradaki temel amaç, dünya çapında artan hurda lastikleri sorununu ele almak ve sağlık ve yangın tehlikelerini önlemektir. Lastik kırıntısı ve polipropilen liflerin eklenmesi kendiliğinden yerleşen

betonda su emilimi, aşınma direnci ve basınç dayanımı gibi özelliklerini sürekli olarak bozdu, ancak PP liflerinin eklenmesi, bozulmayı bir dereceye kadar telafi etti. Zabihia ve Nejad (Zabihia & Nejad, 2017), polipropilen lifler ve puzolanik malzemeler içine farklı oranlarda eklendiğinde silindirle sıkıştırılmış betonun performansındaki gelişmeleri araştırmışlardır.

Yapılan bir çalışmada polipropilen liflerin eklendiği deney numuneleri incelenmiştir (R. Kumar vd., 2013). Mikro silika ve polipropilen lifleri içeren karışımların 28 günlük basınç dayanımındaki artışın maksimum olduğu gözlemlenmiştir (kontrol SSB karışımına kıyasla %16 artış) ve benzer bir durum eğilme dayanımı için de tespit edilmiştir. Sharma vd. (Sharma vd., 1996) kaplama betonda hem polipropilen liflerin hem de puzolanik malzemelerin (yani silis dumanı ve uçucu kül) eklenmesinin etkilerini gözlemlemişlerdir. 28 günlük basınç dayanımının pek değişmediği; ancak, sabit uçucu kül içeriği için lif hacmi %0,2'den %0,4'e ikiye katlandığında eğilme mukavemetinde maksimum % 16 artış gözlemlenmiştir. Hacimce %0,6 lif eklenmesi için, puzolan oranına bakılmaksızın, lif içeriği arttıkça büzülme sürekli olarak azalmıştır. Rooholamini vd. (Rooholamini vd., 2018), silindirle sıkıştırılmış beton kaplamalara makro-sentetik polietilen lifleri eklemenin etkilerini değerlendirmiştir. Karışımı sıkıştırmak için gereken enerjinin, lif içeriği arttığında arttığı, vebe zamanının azaldığı, sıkıştırma kuvvetinin büyük ölçüde etkilenmeden kaldığı ve eğilme mukavemetinin iyileştirilmesi açısından umut verici bir potansiyel olduğu gözlemlenmiştir.

Diğer Lifler: Yang vd.(Yang vd., 2017) kaplama betonuna amorf metal eklemenin etkilerini incelemiştir. Sıkıştırma mukavemeti, eğilme mukavemeti ve tokluk gibi önemli beton özelliklerinin artan lif içeriği ile arttığı tespit edilmiştir. İnşaatın sermaye maliyeti, geleneksel beton kaplamadan daha yüksek iken; bir yaşam döngüsü analizi yapıldığında özellikle yoğun trafik koşullarında, önemli ölçüde daha düşük bakım maliyetleri göstermiştir. López ve diğerleri (Lopez vd., 2018), agrega olarak elektrik ark ocağı çürufuna sahip çelik ve polipropilen liflerle güçlendirilmiş betonun özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada örnekler sülfat ortamında, ıslak-kuru döngülerde, büzülme testlerinde ve donma-çözülme testlerinde iyi performans göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, genel olarak, çelik lif takviyeli elektrik ark ocağı atığı ile güçlendirilmiş betonlar için daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Lopez vd.(Lopez vd., 2017) çelik ve poliolefin liflerle güçlendirilmiş elektrik ark ocağı agregası betonunun performansını değerlendirdi. Bu durumda karışımın düşük işlenebilirliğe sahip olduğunu, ancak darbe direnci, aşınma direnci, eğilme mukavemeti ve yarıma gerilme mukavemeti gibi mekanik özellikler için

makul sonuçlar doğduğu gözlemlenmiştir. En iyi performans, metal liflerle %0,6 hacim değişimi ve sentetik liflerle %0,4 hacim değişimi için gözlemlenmiştir. Örneğin, referans elektrik ark ocağı agregası betonu ile karşılaştırıldığında, en iyi metalik lif karışımı %12 daha yüksek basınç mukavemeti %30 daha yüksek yarıлма gerilme mukavemeti ve ~%3 daha yüksek eğilme mukavemeti göstermiştir. Huang vd. (Huang vd., 2013), magnezyum oksit genişleme ajanı ile birlikte çelik ve poliakrilonitril lif karışımı ekleyerek beton kaplamaların erken yaşlanma stabilitesini incelemiştir. Liflerin eklenmesi toplam büzülme azaltırken ve beton numuneler içindeki mikro çatlakların sınırlandırılmasına yardımcı olmuştur. Farklı tip liferin etkileri Çizelge 2.7’de sunulmuştur.

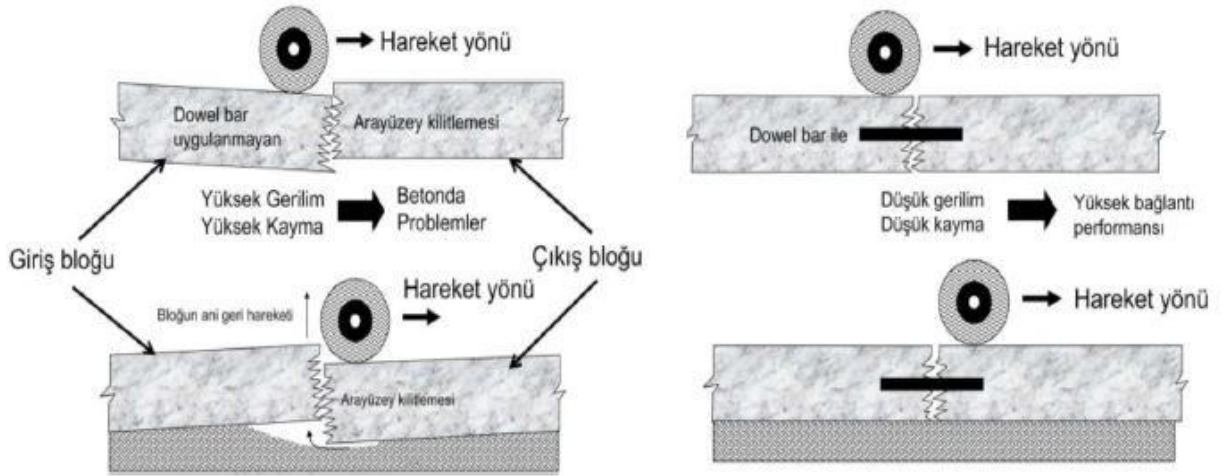
Çizelge 2.7. Lif katkının rijit kaplamalara sağladığı avantaj ve dezavantajlar (Pranav et al., 2020)

Lif	Kaplama Tipi	İlave Malzeme	Sağladığı Faydalar	Dezavantajlar
Çelik	SSB	Geri dönüştürülmeden kazanılmış agrega	Maliyet ve enerji tüketiminde düşüş, eğilme mukavemetinde artış	Basınç dayanımında düşüş
	SSB	İki çeşit lif; çelik lif ve geri dönüşümden elde edilmiş çelik lif	Yorgunluk dayanıklılığında artış, maliyet düşüşü	-
	SSB	-	Eğilme dayanımında artış	-
	Kendiliğinden Yerleşen Beton	Polimerler	Çekme dayanımında artış	İşlenebilirlikte düşüş
	Geleneksel beton	İki çeşit lif; çelik lif ve geri dönüşümden elde edilmiş çelik lif	Yorgunluk dayanıklılığında artış	-
	Geleneksel beton	Elektrik ark ocağı cürufu	Donma çözünme dayanıklılığında artış, kuruma büzülmesinde düşüş	-
Polipropilen	Geleneksel beton	-	Aşınma dayanıklılığında artış	İşlenebilirlikte düşüş
	Kendiliğinden Yerleşen Beton	silika dumanı, uçucu kül (ayrı karışımlarda)	Eğilme dayanımında artış, kuruma büzülmesinde düşüş	İşlenebilirlikte düşüş
	SSB	Atık lastik parçaları	-	Aşınma dayanıklılığında ve basınç dayanımında düşüş
	SSB	Mikro-silika	Basınç ve eğilme dayanımında artış	-
Poliyeten Steel ve polipropilen Çelik, cam ve polifenilen sülfid	SSB	-	Çekme dayanımında artış	-
	SSB	-	Eğilme dayanımında artış	İşlenebilirlikte düşüş
	SSB	Puzolanlar	Eğilme dayanımında artış	-
	Geçirgen beton	Pirinç kabuğu külü	Basınç, eğilme ve çekme dayanımında artış	-

2.10. Rijit Kaplamalar

Derzli Donatısız Rijit Kaplama: Derzli donatısız rijit kaplama içinde donatı bulunmayan 3.0-6.0 metre uzunluğunda olan büzülme derzi içeren plakalardan oluşur. Betonda oluşacak doğal çatlakların kontrol altında tutulması için kare ölçülere yakın olan plaklar birbirlerine kayma ve bağ demirleri ile bağlanırlar. Agregâ kenetleme derzleri, inşaat sırasında bir zayıflık düzlemi oluşturmak için kaplamanın içinden 1/4 1/3 oranında kesilerek oluşturulur. Bir çatlak daha sonra beton daraldıkça kaplamanın kalan kalınlığı boyunca yayılır. Bu çatlak pürüzlü bir yüzeye sahiptir, çünkü çimento macunu boyunca agregâlar etrafında yayılır ve dar kaldığı sürece, çatlak boyunca agregâ parçacıklarının birbirlerine karşı yüklenme gerilimi yoluyla bir levhadan diğerine yük aktarabilir. Bağlantı çok fazla açılırsa veya agregâlar aşırırsa yük aktarımı tehlikeye girer. Derzdeki döşemeyi destekleyen malzemenin kalitesi ve erozyon direnci de yük transferini etkiler. Kaplama, özellikle yüksek hızlarda ağır araç trafiğini taşıdığında, agregâ kilitlemesi zamanla bozulacak ve kaplamanın ömrü boyunca arızalanmayı engellemeyecektir. Bu durumda, yük aktarımı için bağlantı boyunca dübeller sağlanır. Dübeller, genellikle bir tarafı greslenmiş veya yağlanmış, genellikle düz veya epoksi kaplı çelik olan düz çubuklar veya çubuklardır.

Derzli donatısız rijit kaplamalarda enine derzler için kayma demiri, boyuna derzler içinse bağ demiri kullanılır. Bu iki demir dışında herhangi bir demir donatı kullanılmamaktadır. Derz bölgelerinde plaklar arası yük aktarımının sağlanması kayma demirleri ile sağlanır. Genellikle yapılan uygulamalarda kayma demir boyu yaklaşık olarak 50cm ve çapı da 3.2-3.8 cm çapındadır. Boyunun azaltılıp çapın artırıldığı durumlarda daha iyi sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir. Kayma demirlerinin çapları döşeme kalınlığıyla alakalı iken iki kayma demiri arasındaki yatay boşluğun 30 cm olması tavsiye edilir. Kullanılacak kayma demirlerin korozyona karşı önlem olarak boyalı olması gerekmektedir. Kayma demirleri beton dökümünden önce ve beton dökümü esnasında olmak üzere iki yöntemle betona yerleştirilirler. Çelik, levhanın nötr eksenine veya orta noktasına yerleştirildiği için betonun eğilme performansı üzerinde hiçbir etkisi yoktur ve sadece çatlakları bir arada tutmaya yarar. Şekil 2.12'de rijit kaplamada kayma demiri kullanılması durumu gösterilmektedir.

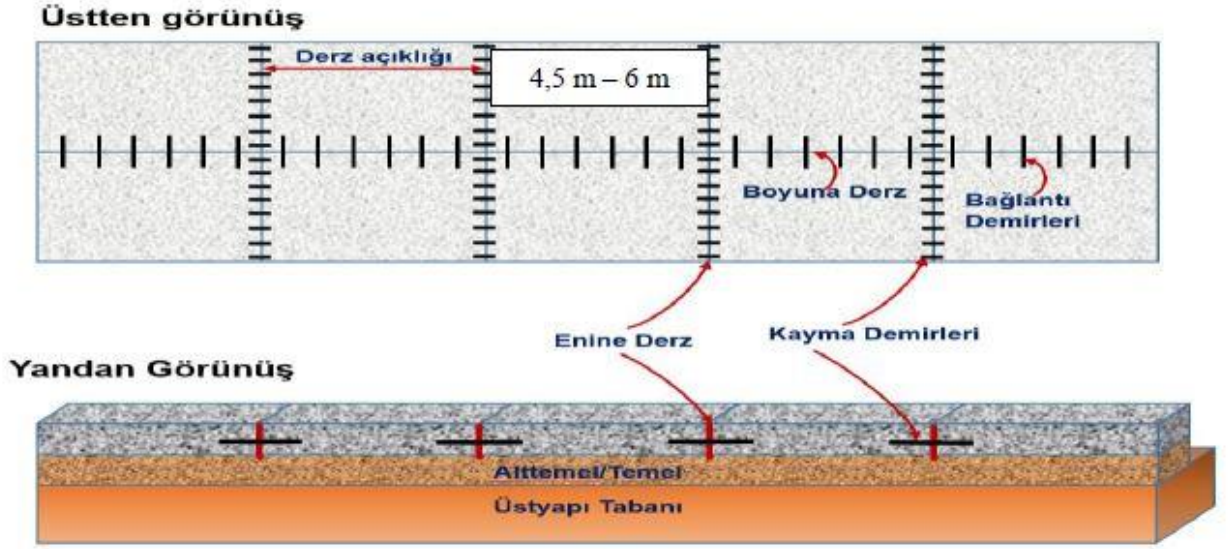


Şekil 2.12. Kayma demiri kullanılması ve kullanılmaması durumu (Kıcı, 2017)

Derzli donatısız rijit kaplamalarda, Amerika’da en yaygın olarak kullanılan beton kaplama türüdür çünkü genellikle yapımı en ucuz olanıdır. Amerikan Beton Kaplama derneğinin 1999 yılında yaptığı bir anket, 38 ABD eyaletinin derzli donatısız rijit kaplamayı inşa ettiğini tespit etti (ACPA, 1999c). Ekonomiktir, çünkü levhalarda herhangi bir takviye çeliği veya çeliği yerleştirmek için işçilik için ödeme yapmaya gerek yoktur. Çeliğin korozyonunun bir sorun olduğu bölgelerde, çelik dübeller hala korozyona uğrayabilse de çelik takviyenin olmaması, çelik korozyon sorunları için daha az endişe anlamına gelir.

Diğer geleneksel beton kaplamalar gibi derzli donatısız kaplamalar da bitişik trafik şeritlerini bağlamak için genellikle bağlantı çubuklarını kullanır. Bağlantı çubukları deforme olmuş takviye çeliğidir ve dübellerin aksine bağlantıların açılıp kapanmasına izin vermez. Yol kaplamaları için şeritleri ayırmak için bağlantı çubukları kullanılırken, trafik yönünde dübel çubukları kullanılır (Delatte, 2014; Ecevit, 2007; Kaşak, S., Komut, 2019).

Yani ana olan plaklardan biri derz bölgesine yakın bir bölgeden yüklendiğinde dübeller yükün bir kısmını henüz yüklenmemiş durumda olan bitişik döşemeye aktarırlar. Bu durumda her iki plak da deformasyona uğrar. Dübel çubukları yük uygulanan döşemedeki gerilme ve deformasyonu dübel olmayan döşemelere kıyasla ciddi oranda azaltır. Gerilme ve deformasyondaki azalma miktarı yük iletimine bağlıdır (Tavakoli vd., 2020). Şekil 2.13’te derzli donatısız kaplama görünüşü sunulmuştur.

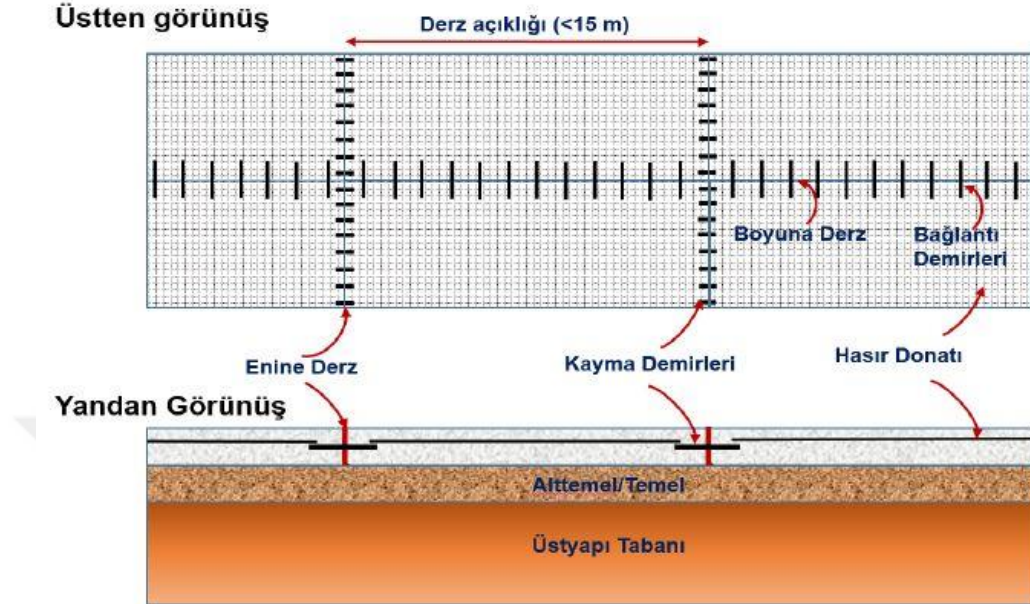


Şekil 2.13. Derzli Donatısız Kaplama Görünüşleri (Kııcı, 2017)

Malzeme özelliklerini içeren bir dizi faktör, iklim faktörleri, beklenen trafik koşulları, tasarım ömrü, beklenen performans parametreleri ve yol yatağı zemin koşulları beton kaplamanın tasarımını ve performansını etkiler (Sabih & Tarefder, 2016).

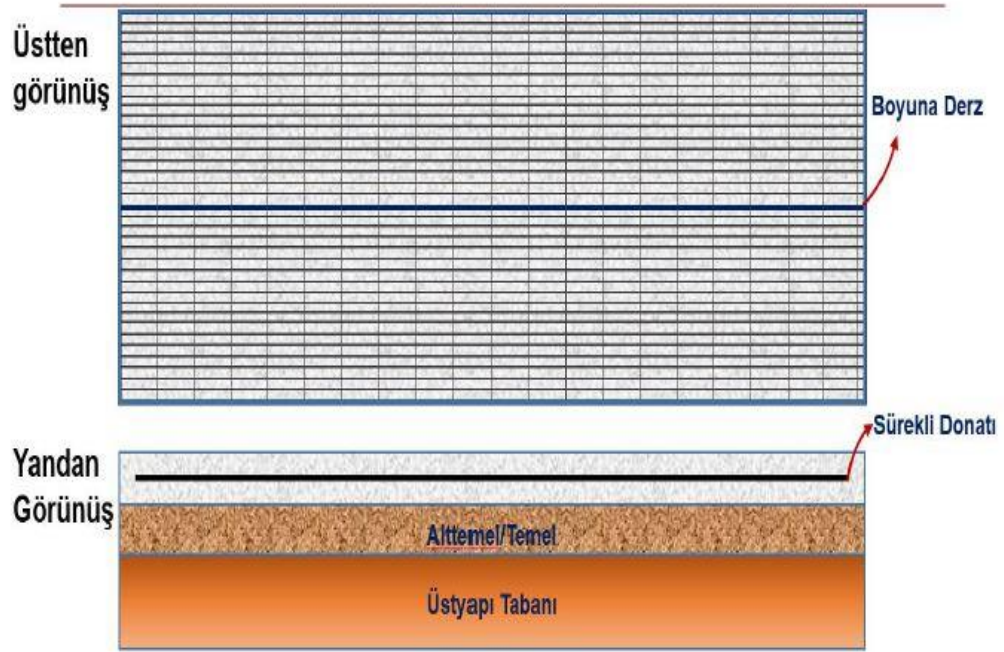
Derzli Donatılı Rijit Kaplama: Derzli donatılı rijit kaplamaların donatısız kaplamalardan farklı yanı beton plaklarda donatı olması ve plakların daha uzun olması olarak açıklanabilir. Bu tip kaplamalarda döşeme plak uzunluğu genel olarak 7.5 m ile 9 m'dir fakat 30 m'ye kadar çıktığı görülebilir. Döşemedeki yapı çeliği oranı kesit alanının 0.10-0.25%'i kadardır. Fakat, döşemede uzun kenara paralel olan donatı miktarı daha fazla olmalıdır. Bireysel takviye çubukları veya tel kumaş ve ağlar kullanılabilir. Çelik, levhanın nötr eksenine veya orta noktasına yerleştirildiğinden, betonun eğilme performansı üzerinde hiçbir etkisi yoktur ve sadece çatlakları bir arada tutmaya yarar. Derzli donatılı kaplama Şekil 2.14'te gösterilmektedir. Bu tip beton kaplama geçmişte yaygın olarak kullanılmasına rağmen günümüzde daha az yaygındır. Derzli donatılı beton kaplamanın donatısız derzli betona göre sahip olduğu tek avantaj, daha az eklemdir ve bu, çeliğin maliyeti ve eklemlerin ve çatlakların düşük performansından daha ağır basmaktadır. Eklemler (derzler) derzli donatılı betondan daha uzakta olduğu için, daha fazla açılır ve kapanır ve eklemler daha geniş açıldığında yük aktarımı zarar görür. Bu bağlantılarda her zaman dübel kullanır. Ayrıca, levhalar daha uzun olsa bile, çatlaklar hala donatısız derzli kaplamadaki gibi yaklaşık olarak aynı aralıkta oluşur ve bu nedenle donatılı derzli beton kaplama levhalarında genellikle bir veya iki iç çatlak bulunur. Bu

çatlaklar boyunca hafif çelik takviye genellikle yük transferini sürdürmek için yeterli değildir ve çatlaklar oluşabilir.



Şekil 2.14. Derzli donatılı Kaplama Üst Yapı (Kaşak & Komut, 2019)

Sürekli Donatılı Rijit Kaplama: Sürekli güçlendirilmiş beton kaplama veya CRCP, ağır çelik takviye ve inşaat ve izolasyon derzleri dışında ek yerlerinin olmaması ile karakterize edilir. Hem enine hem boyuna kullanılan donatılar yük aktarımında önemli rol oynar. Bu kaplamada diğer iki kaplamada kullanılanlardan çok daha fazla miktarda donatı kullanılır, tipik olarak boylamasına yönde hacimce %0,4- %0,8 seviyesinde. Enine yönde çelik, sıcaklık çeliği olarak daha düşük bir yüzde olarak sağlanır. Plak kalınlığı genellikle 20-30 cm kadardır (Kaşak Komut, 2019). Sürekli donatılı rijit kaplama örneği Şekil 2.15'te görülebilir.



Şekil 2.15. Sürekli donatılı beton (Kaşak & Komut, 2019)

Geçirgen/ Boşluklu Beton: Geçirgen beton; Portland çimentosu, su, iri agrega ve bazı durumlarda kimyasal katkıları ve/veya puzolanik malzemelerden oluşan beton türüdür. Bu beton türünün işlenebilirlik derecesi ince agrega içermediğinden düşüktür. Bu sebeple istenilen basınç dayanımı, permeabilite (geçirgenlik) ve diğer özelliklerin elde edilmesi için sıkıştırma ve yerleştirme işlemi esnasında daha fazla çaba gereklidir. Karışımda ince agrega olmaması boşluklu bir yapı oluştururken, beton yüzeyinden birbirine bağlı boşluklardan suyun akmasını sağlar. Gözeneklilik ve bu boşluklu yapı geçirgen betonun en önemli özelliğidir. Boşluk oranı suyun geçirgenliğini ve betonun basınç dayanımını da önemli ölçüde etkiler. Bu yüzden boşluk oranının, geçirgen betonun kullanılacağı yer ve beklenen çıktılar doğrultusunda optimize etmek (en iyilemek) gerekmektedir (İbrahim vd., 2014). Geçirgen betondaki boşluk oranı 15%-35% olarak önerilmektedir (ACI Comitee 522, 2010; Divya Bhavana vd., 2017). Geçirgen beton örneği Şekil 2.16'da sunulmuştur.



Şekil 2.16. Geçirimli beton (THBB, 2018)

Geçirimli beton yağmur suyunu ve kar suyunu doğal zemine ileterek erozyon ve sel oluşmasını engellemekte faydalıdır. Rengi açık olması sebebiyle koyu renkteki asfalt (esnek) kaplamalara göre ısı adası etkisini azaltabilir (THBB, 2018).

2.11. Kentsel Isı Adası Etkisi

Kuru yaz ikliminin görüldüğü Akdeniz şehirlerinde kentsel ısı adası etkisi (KIAE) birçok sayısal ve deneysel çalışmanın konusu olup incelenmiştir. Bu çalışmalardan bir tanesi Yunanistan'daki KIA'nın şehirler üzerindeki etkisini incelemiştir. 1961-1982 yıllarındaki, 21 yıllık dönemi için kırsal meteoroloji istasyonlarında toplanana verilere göre aylık ortalama hava sıcaklığının 3 °C arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında şehirde kullanılan kaplama malzemelerinin albedo değerlerinin değiştirilmesi sonucunda yani güneş ışını yansıtma özelliğine sahip kaplama malzemesi kullanıldığı zaman aylık ortalama hava sıcaklığının 2 °C düşürebileceği gözlemlenmiştir (Synnefa vd., 2008). Bazı malzemelerin albedo değerleri. Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Farklı malzemelerin albedo değerleri (Qin vd., 2018)

Malzeme	Albedo
Yüksek yansıtıcı özellikteki çatı	0.60-0.70
Beyaz boya	0.50-0.90
Çimen	0.25-0.30
Taş/Kaya	0.20-0.40
Ağaçlar	0.15-0.18
Kırmızı veya kahverengi kiremit/fayans	0.10-0.13
Beton	0.10-0.35
Kıvrımlı çatı (ondüleli)	0.10-0.16
Katran ve çakıl	0.08-0.20
Asfalt	0.05-0.20

Yunanistan'ın küçük bir kasabasında yapılan incelemede ağustos ayındaki ortalama kentsel ısı adası (KIA) yoğunluğunun gece boyunca 3.8 °C'ye ulaştığı, en yüksek anlık ısı yoğunluğunun ise 5.6 °C olduğu tespit edilmiştir (Vardoulakis vd., 2013). İtalya'da yürütülen çalışmalarda benzer sonuçlar göstermiştir. Roma'daki KIA yoğunluğu kış mevsiminde 2°C ve yaz aylarında ise 5.2 °C'ye ulaştığı gözlemlenmiştir (Bertocchi vd., 2011). KIA etkisinin sebep olduğu ısı farkı yoğunluğu Portekiz, Lizbon'da da ölçülmüştür (Alcoforado & Andrade, 2006). Lizbon'daki KIA etkisi sonucu sıcaklık farkının 0.5 °C ile 4 °C arasında değiştiğini tespit edilmiştir. Portekiz sahilindeki küçük bir şehir olan Aveiro'da, ısı adası yoğunluğunun maksimum değeri 7,5 °C'ye ulaşmaktadır (Fahed vd., 2020).

Kentsel ısı adası etkisinin dünyanın hemen her yerinde kritik sonuçlara sebep olduğu açıktır. Hızlı kentleşme ve şehir bölge planları yapılırken kentsel ısı adası etkisi dikkate alınmadığından bu sorun daha ilk başta göz ardı edilmektedir. Sonuç olarak dünyanın her yerindeki şehirler kentleşme arttıkça kentsel ısı adası etkisi sonucu ısı artışı, kentsel iklimin değişmesi sorunları ile karşılaşacaktır. Bu sebeple akademisyenler ve uzmanlar bu konuya odaklanarak son yıllarda KIA etkilerini azaltmak için yöntemler ve stratejiler önermek amacıyla birçok çalışma yapmıştır. Kentsel serin ısı ada projesi bir Fransız ulusal araştırma projesi, Toulouse'un Montaudran bölgesinde KIA etkilerini hafifletmek için bir dizi makul önlemi derinlemesine inceleyerek özellikle gündüz olmak üzere su özelliklerinin ve yeşil alanların ısı adalarının azaltılması üzerindeki önemli etkisine dikkat çekmiştir (Martins vd., 2016).

Yapılan çalışmaya göre bu sıcaklık farkı 1000 nüfuslu bir şehir için 2 °C iken birkaç milyon nüfuslu bir mega kent için 12 °C'ye kadar çıkabilir. KIA etkisi sebebiyle meydana gelen sıcaklıktaki artış, özellikle enerji tüketimi, yaya konforu, çevre ve insan sağlığı

üzerinde birçok etkiye neden olmaktadır (Giridharan & Kolokotroni, 2009; Mohajerani vd., 2017). Birçok çalışma, hava sıcaklığındaki artışın ölüm oranlarında artışa sebep olacağını göstermiştir. Hollanda'da yapılan bir araştırma, 1979-1997 yılları arasında ortam sıcaklığının ölüm sayılarını nasıl etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma sonuçlarına göre hava sıcaklığındaki her bir derece artışı için optimumun üzerinde toplam ölüm oranının %2.72 arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Kanada Sağlık Bakanlığı'nın yürüttüğü bir araştırmada, Kanada sınırlarındaki yedi farklı şehirde ortalama sıcaklık 20 °C'yi aştığında, hava sıcaklığındaki her derece artışı için göreceli ölüm oranının %2.3 oranında arttığı belirlenmiştir (Fahed vd., 2020).

2.11.1. Kentsel Isı Adası Oluşum Sebepleri

Kentsel ısı adası oluşumu sebepleri ve çözümleri birçok mühendislik alanının çalışmalarını kapsamaktadır. KIA oluşma sebeplerine bakıldığında en büyük ve tetikleyici etmenin kentleşme olduğu söylenebilir. Kentleşme nüfusun tarım alanları dışı yerlerde toplanması, burada yapılaşmanın artması, yolların yapılması, doğal bitki örtüsünün azalması olarak görülebilir. Kentleşmenin beraberinde getirdiği yapı stoğundaki artış ve yol kaplamaları doğal bitki örtüsünün azalması ve bunun sıcaklığı emen ve doğal bitki örtüsüne göre daha az yansımaya sebep olan malzemelerin yerleştirilmesi anlamına gelmektedir (Akbari vd., 2001; Cotana vd., 2014; Doulos vd., 2004; Kardinal Jusuf vd., 2007; O'Malley vd., 2015; Santamouris & Yun, 2020; Smith & Levermore, 2008). Isı adası etkisi oluşum sebepleri Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Isı Adası Etkisi Oluşum Sebepleri

Isı Adası Etkisi Oluşum Sebebi	Kaynak
Katı ve sıcaklık emen yüzeylerin, şehirlerdeki yapı yoğunluğunun artması ve doğal bitki örtüsü ile kaplı alanın azalması	(Akbari vd., 2001; Cotana vd., 2014; Doulos vd., 2004; Kardinal Jusuf vd., 2007; O'Malley vd., 2015; Santamouris & Yun, 2020; Smith & Levermore, 2008)
Yol kaplama malzemeleri	(Golden, J.S., Kaloush, 2006; Phelan vd., 2015; Takebayashi, H., Moriyama, 2012)
Çarpık kentleşme Nüfus artışı	(Cai & Qiao, 2016; Form, 2010; R. Singh, 2019) (Debbage & Shepherd, 2015; Grimmond, 2007; Karl & Carolina, 1990; Siu & Hart, 2013)
Isıtma ve soğutma için kullanılan enerjide artış. Ortamın sıcaklığını 1 C ⁰ ısıtmak ya da soğutmak için enerji ihtiyatı %2- %4 arasında artış göstermektedir (Akbari vd., 2001).	(Grimmond, 2007; Tayanç & Toros, 1997)

2.11.2. Kentsel Isı Adası Etkisi Oluşumuna Karşı Alınacak Tedbirler

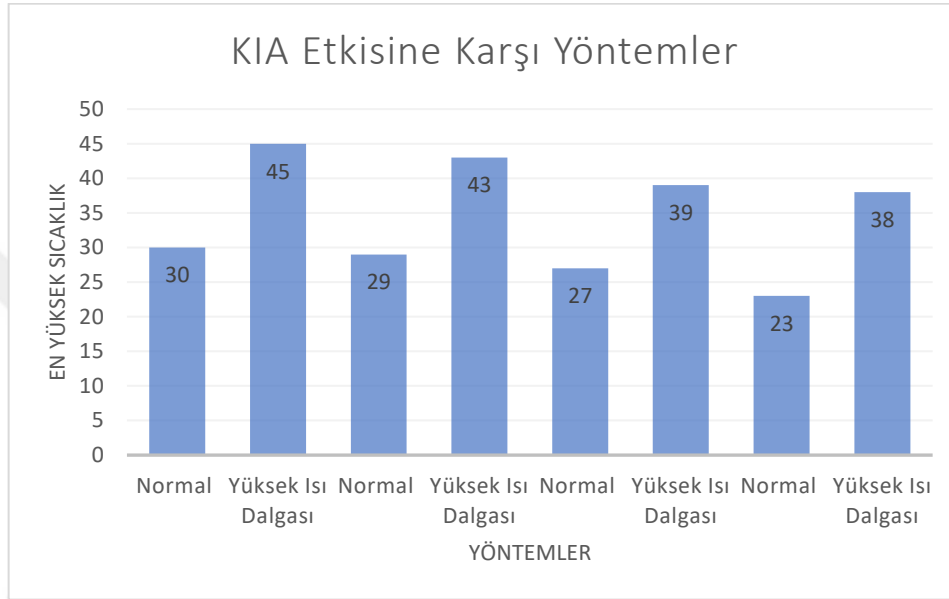
Kentsel ısı adası etkisi yerel yönetimler ve merkezi yönetimlerin dikkatini çeken sorunlardan biri haline gelmiştir. Her ne kadar binalarda enerji verimliliği vb. yöntemler alınmış olsa da bu sorunu çözmekte yeterli olmamaktadır. Isı adası etkisinin (IAE) kentlerde yaygın şekilde ortaya çıkmasının doğal sonucu olarak akademisyenler bu etkileri azaltmak ve/veya ortaya çıkmasını engellemek için ne gibi tedbirler alınması gerektiğine yoğunlaşan çalışmalar yapmaya başlamıştır. Bu tedbirler yüksek albedo değerine sahip yüzeylerin oluşturulması (Akbari vd., 2001), pürüzlü yüzeylerden su buharlaşması (Asaeda vd., 1996; He & Hoyano, 2010), zemin seviyesindeki suyun buharlaştırılması (Krüger & Pearlmutter, 2008), çatı oluklarından suyun buharlaştırılması (Runsheng vd., 2003), yüzeylerde bitkilendirme, çatı/teraslarda bitkilendirme (Alexandri & Jones, 2008) ve ağaçlandırma çalışmalarıdır (Akbari, 2002; Saneinejad vd., 2014a) . Diğer taraftan KIA etkisine karşı alınabilecek tedbirler arasında malzeme özelliklerini değiştirmek gelir. Bu duruma uygun özellikteki malzemelere “cool materials” serin malzemeler denir. Serin malzemeler; yansıtıcı, geçirgen, hafif çim ile kaplı olabilir (Karlessi vd., 2011; Levinson vd., 2007; Phelan vd., 2015; Takebayashi & Moriyama, 2009).

Buharlaşma Yöntemi: Yapılan çalışmada (Saneinejad vd., 2014b) buharlaşma sonucu meydana gelen soğuma normal bir meteorolojik yıl ve sıcak ısı dalgası esnasında değerlendirilir. Bu senaryoda şehirlerde ideal bir yağmur olayından sonra yüzeylerde meydana gelen soğuma gözlemlenmiştir. Yağmur öncesinde tüm yüzeylerin kuru olduğu varsayılmıştır. Simülasyon adımları aşağıdaki gibidir: Başlangıçta tüm yüzeylerin sokak kanyonunun tam olarak kuru olduğu varsayılır. Tüm malzemelerin sıcaklık, bağıl nem ve güneş radyasyonundaki günlük değişimlerle dinamik dengeye ulaşmasını sağlamak için dört gün boyunca bir ön simülasyon gerçekleştirilir. Bu ilk yanma süresinden sonra, tüm yüzeyler aniden doymuş hale gelir ve evaporatif (buharlaşma) soğutması başlar. Simülasyon kanyondaki iklim koşullarının izlendiği üç gün daha devam eder. Evaporatif soğutma etkisini ölçmek için, yağmur olayı olan vakaların simülasyon sonuçları yağmurun meydana gelmediği durum ile karşılaştırılır. Normal meteorolojik yıl senaryosunda buharlaşmaya dayalı soğuma 2,3 °C olarak belirlenirken, sıcak ısı dalgası senaryosunda bu fark 2,2 °C olarak belirlenmiştir.

Gölgelendirme Yöntemi: Tüm yüzeylerin kuru kabul edildiği ve yapılan simülasyonda deney alanı üzerine düşen güneş ışını yoğunluğunun düşürülmesi sonucu ortamda

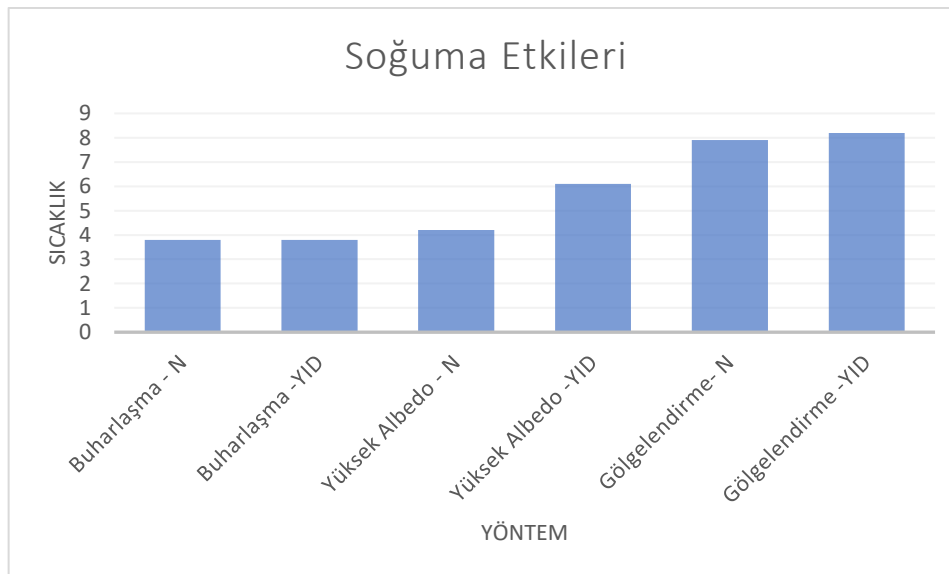
meydana gelen soğumanın 7.5 °C'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durumda rüzgâr hızının da önemli olduğu belirlenmiştir (Saneinejad vd., 2014b).

Yüzey Albedosunun Değiştirilmesi ve Serin Kaplamalar: Bir yüzeyin albedo değeri üzerine düşen güneş ışığını yansıtma oranı olarak tanımlanabilir. Opak malzemeler ışınları yansıtmadığı için üzerlerine düşen ışın enerjisini emerler. KIA karşı alınan önlemler ile görülen sıcaklıklar Şekil 2.16'da gösterilmiştir (Saneinejad vd., 2014b).



Şekil 2.16. KIA Etkisine Karşı Yöntemler kaynak (Saneinejad vd., 2014b)

Farklı tedbirlerin KIA etkisine karşı kullanıldığında ortaya çıkan soğuma miktarları Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Farklı Albedo Değerleri İçin Soğuma Etkileri kaynak (Hendel et al., 2016)

Kentleşmenin iklim değişikliği üzerinde hiçbir etkisi olmadığı iddia edilse de bazı araştırmacılar artan kentleşme, yapı stoğu ve yollar ile bu durumun aksi olduğunu savunmaktadırlar. Kentsel Isı Adaları, sıcaklığın komşu bölgelerden veya banliyöde bulunanlardan daha yüksek olduğu şehirlerde yoğun kentsel alanları temsil eder. KIA etkilerinin hafifletilmesi, iklim değişikliği zararlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Mevcut literatür, Birleşik Krallık'ın büyüyen KIA etkileri sorunu ile karşı karşıya olduğunu ve bu etkileri azaltmak için orantılı önlemler alındığında kentsel ölçekte sürdürülebilir kalkınmanın iyileştirilebileceğini göstermektedir. Tasarımcılar ve planlamacılar için KIA etkilerini hafifletme konusunda rehberlik eksikliği, dış bina yüzeylerinde ve kentsel iç su kütlelerinde ve açık alanlarda yüksek albedo malzemelerin kullanımının KIA etkisini azaltacağı belirtilmektedir.

Bu tez kapsamında üretilecek olan pigment katkı silindirle sıkıştırılmış beton da albedo değeri değiştirilmiş yüzey kaplama malzemesi olduğundan serin malzeme sınıfına girmektedir. Bu sebeple serin yol kaplama malzemelerine dair yapılan çalışmalar arasında yerini alacaktır

Yol kaplamaları, kentsel alanların yaklaşık %29 - %45'ini oluşturan, şehir yüzeyinin önemli miktarını kapsamaktadır. Birçok çalışma, KIAE oluşumunda yol kaplamalarının ısıtma mekanizmasının etkisinin önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Geleneksel veya tipik bir kaplama genellikle düşük albedo (0.04-0.45) sunan koyu renkli asfalttan yapılır. Gündüzleri güneş radyasyonundan yayılan büyük miktarda ısıyı emer ve gece süresince ısıyı yeniden yayar. Gün içinde gelen güneş radyasyonu asfalt yüzeyini ısıttığında, asfalt kaplama 48 °C ile 67 °C arasında değişen yüksek bir yüzey sıcaklığına maruz kalabilir (Anting vd., 2017; Gaitani vd., 2007; Menon, Akbari, & Mahanama, 2010) .

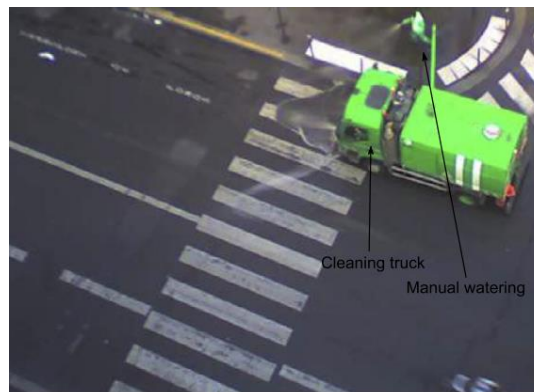
Isı kapasitesi ve ısı iletkenlik, yüzey yansımaları ve geçirgenlik gibi ısı özellikleri, asfalt kaplamanın yapı ortamının ısı performansını önemli ölçüde etkileyen önemli parametreleridir (Li, Harvey, & Jones, 2013; Li, Harvey, Holland, vd., 2013).

Serin kaplama, potansiyel olarak asfalt kaplamanın yüzey sıcaklığını düşürebilen ve kaplama tarafından atmosfere salınan ısı miktarını azaltmaya yardımcı olan alternatif bir azaltma teknolojisi olarak kabul edilir (US EPA, 2008).

Serin kaplama, üzerine gelen güneş enerjisini daha fazla yansıtma, su buharlaşmasını artırma veya daha serin kalmak için modifiye edilmesi nedeniyle düşük yüzey sıcaklığına sahip bir kaplama malzemesidir. Son zamanlarda araştırmacılar, serme kaplama olarak performansını artırmak için kaplama tasarımına ilave malzeme olarak

kullanılabilecek birçok malzeme olduğunu keşfetmişlerdir. Soğuk kaplama kriterini elde etmenin bir başka yöntemi de kaldırım kaplamaları, çim döşeme, vb. uygulanmasıdır. Soğuk kaplama malzemelerini belirlemek için resmi bir standart veya etiketleme programı yoktur. Kentsel ısı adasının etkilerini azaltmanın yollarını bulmak için soğuk kaplama teknolojisi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Kaplamalı yüzey konseptine sahip birkaç mevcut serin kaplama tipi mevcuttur (Anting vd., 2017). Son zamanlarda yapılan birkaç çalışma yol kaplama yüzeylerinin genel kentsel termal denge üzerinde çok belirleyici bir rol oynadığını ve bu kaplamaların yüzey sıcaklığını düşürerek, yüksek kentsel sıcaklıklardan muzdarip şehirlerdeki termal koşulların iyileştirilmesine büyük katkı sağlayabileceğini göstermiştir (Menon, Akbari, Mahanama, vd., 2010; Тузиков vd., 2017). Geliştirilen soğuk kaplamalar gelişmiş malzemeler içerir ve kentsel ortamlar için uygundur. Soğuk kaplamalar esas olarak, yüksek bir termal yayma gücüyle (yansıtıcı kaplamalar) birleştirilmiş yüksek albedodan güneşe radyasyon sunan yüzeylerin kullanımına dayanmaktadır. Kuvars gibi kristalin mineral partikülleri yüksek güneş ısısı yansımaya sahip olabilir. Başka bir çalışma, saf SiO₂'nin %89.4 güneş yansımaya sahip olduğunu göstermektedir (Thongkanluang vd., 2012).

Kaplamaların Sulanması: Araştırmacılar kentsel ısı adası etkisine karşı farklı yöntemler aramaktadırlar. Bunlardan bir tanesi de 90'lı yıllarda Japon araştırmacıların başlattığı mevcut olan yol kaplamalarının sulanması yöntemidir (Takahashi vd., 2010; Yamagata vd., 2008). Eski bir yöntem gibi görülse de 2010'lu yıllarda benzer bir araştırma Paris ve Lion'da da yapılmıştır (Hendel vd., 2014; Hendel & Royon, 2015). Bu araştırmaya dair fotoğraf Şekil 2.18'de sunulmuştur.



Şekil 2.18. Yol kaplamalarının sulanması (Hendel et al., 2016)

Fransa’da yürütülen çalışma kapsamında asfalt kaplamaların sulanarak meydana gelen ısı değişimi tespit edilmiştir. Kaplamaların ıslanması sulanan bölgelerin referans noktaya göre 0.79 °C-0.57 °C ve 1.0 °C – 2.3 °C sıcaklık düşüşü meydana geldiği tespit edilmiştir (Hendel vd., 2016) Sıcaklığın düşürülmesi odaklı incelendiğinde bu yöntem kentsel ısı adası etkisine karşı başarılıdır. Fakat yöntem daha detaylı incelendiğinde bazı kusurların olduğu görülebilir. Bunlar:

1. Bu yöntemin uygulanması için suyun varlığı büyük önem taşımaktadır. Normal çeşme suyu kullanılması durumunda içme suyu kaynaklarının böyle bir sorun için sürekli kullanılmasının doğruluğu tartışılabilir ve çıkan sonuç olumsuz olacaktır. Bu noktada artma suyu kullanımı alternatif olarak düşünülebilir.
2. Böyle bir çalışmanın ısı adası etkisine karşı sürdürülebilir bir çözüm olmadığı aşıkardır. Bunun sebebi şehirlerin yaklaşık %25’inin yol ile kaplı olduğu düşünüldüğünde her gün önemli miktarda su, makine ekipman ve insan gücü kaynağının bu işe ayrılması gerekmektedir. Bu refah seviyesi yüksek şehirler için bile uygulanabilir bir yöntem olmayabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler (Bölüm 3.1), beton numunelerin hazırlanması (Bölüm 3.2), numuneler üzerinde yürütülen testler (Bölüm 3.3), benzetim (simülasyon) çalışması (Bölüm 3.4) ve en iyileme (optimizasyon) çalışması (Bölüm 3.5) olmak üzere beş ayrı bölümden oluşmaktadır.

3.1. Malzemeler

Yapılan deneysel çalışmada SSB numuneleri üretmek için agrega, çimento, pigment ve su kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemelerin özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

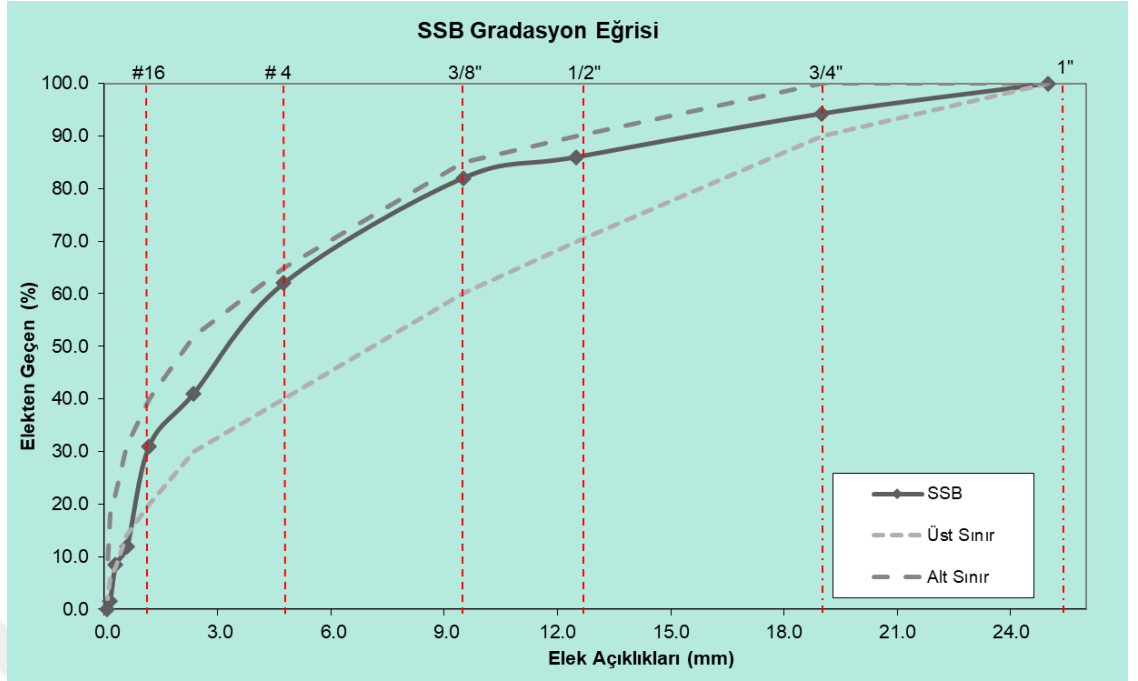
3.1.1. Agrega

Bu tez kapsamında kullanılan agregaların yerel kaynaklardan temin edilip laboratuvarında depolanmıştır. Kullanılan agrega fotoğrafı Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Numunelerde kullanılan agrega fotoğrafı

Kullanılan agreganın gradasyon eğrisi Şekil 3.2'de verilmiştir. Grafikte belirlenen alt ve üst sınırlar Amerikan Beton Enstitüsü tarafından belirlenen sınırlardır. SSB'de kullanılan agrega gradasyonu bu sınırlar arasında kalmaktadır.



Şekil 3.2. Agrega gradasyon eğrisi

3.1.2. Çimento

Üretilen tüm beton numunelerde özgül ağırlığı 3.05 gr/cm^3 ve Blaine inceliği $4600 \text{ cm}^2/\text{gr}$ olan CEM-I 52.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonu özellikleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimento özellikleri (EN 197-1:2004, 2004)

Etmen	Ölçüt	Değer	EN 197-1 Limitleri	
			Min.	Maks.
Çözünmeyen kalıntı	%	0.18	-	5
SiO ₂	%	21.6	-	-
Al ₂ O ₃	%	4.05	-	-
Fe ₂ O ₃	%	0.26	-	-
CaO	%	65.7	-	-
MgO	%	1.3	-	-
SO ₃	%	3.3	-	4
Kızdırma Kaybı	%	3.2	-	5
Na ₂ O	%	0.3	-	-
K ₂ O	%	0.35	-	-
Klorür(Cl ⁻)	%	0.01	-	0.1
Serbest CaO	%	1.6	-	-
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	3.06	-	-
Özgül Yüzey (Blaine)	cm ² /gr	4600	-	-
Beyazlık (CIE sistemine göre, Y değeri)	%	85.5	85	-
Priz Başlangıcı	dakika	100	45	-
Priz Sonu	dakika	130	-	-
Su	%	30	-	-
Hacim Sabitliği (Le Chateller)	mm	1	-	10
0.045 mm Elekte Kalıntı	%	1	-	-
0.090 mm Elekte Kalıntı	%	0.1	-	-

3.1.3. Pigment

Tezde kullanılan sarı renk pigmentine dair tedarikçi firma tarafından sağlanan teknik detaylar ve ilgili yönetmelikler Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Pigment Özellikleri

Kriter	Analiz Değeri	Referanslar
Görünüş	Sarı toz	
Tane büyüklüğü (325 mesh)	0.54	ASTM D 185
Fe ₂ O ₃	84	ASTM D-50-81
Nem 105C%	0.4	ASTM D-280-33
Yağ absorpsiyonu	54	ASTM D-281
Suda çözünen tuzlar%	0.6	ASTM D-1208
PH (%5 sulu çözeltide)	7	
Kızdırma kaybı 1000C %	13	ASTM D-50
Kimyasal Özellik		FeO(OH) _n H ₂ O

Bu çalışmada yol kaplaması olarak öngörülen pigment katkı silindire sıkıştırılmış betonda sadece pigment özelliği incelenmiş ısı iletkenliği, ısı kapasitesi ve ısı yayma oranları standart değerler alınarak simülasyon çalışması yapılmıştır.

3.2. Numunelerin Hazırlanması

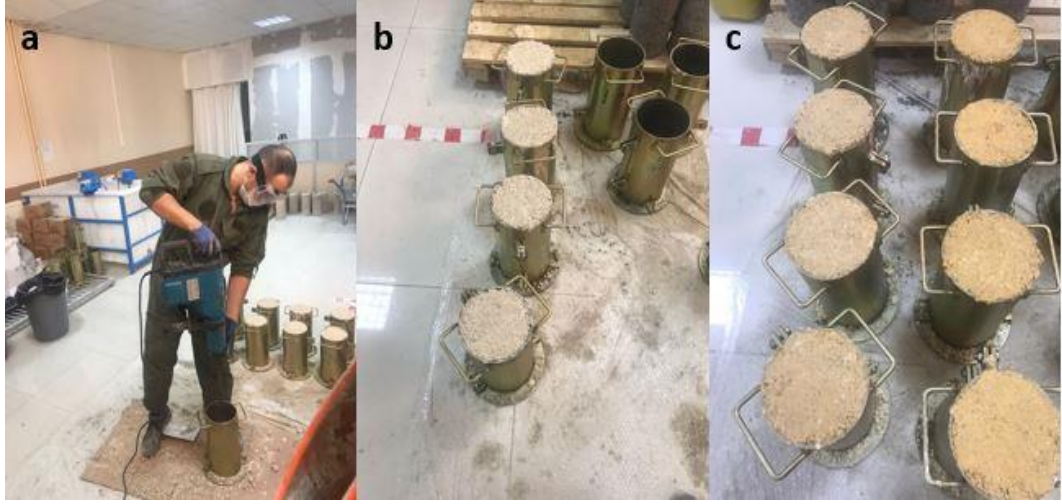
Numunelerin hazırlanmasında 60 lt hacimli beton karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırıcı ile tek seferde karıştırılan beton 4 adet 15cm x 30cm boyutunda silindir numune kalıp doldurulabilmektedir. Kullanılan karıştırıcı Şekil 3.3'te gösterilmiştir. 1 m³ beton için kullanılan miktarlar: 260 kg ince 1128 kg iri agrega, 5.2 kg akışkanlaştırıcı, 263 kg çimento ve us çimento oranı 0.4'tür. Bu oran tüm numunelerde aynı olup sadece pigmentler çimentonun ağırlıkça yüzde değerlerini temsil etmektedir. Yani P0.25 aynı reçeteye çimentonun ağırlıkça %0.25'i kadar pigment eklenerek üretilmiştir. Karışım reçetesi önceki bölümlerde bahsedilen metodların birleştirilmesi deneme-yanılma dökümleri ile elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Karışımın hazırlanmasında kullanılan betonier

3.2.1. Kalıplara Yerleştirme

Beton numuneler ASTM C1435/C 1435M-05 (ASTM, 2020) standardında belirtilen kırıcı ve aparat ile silindir kalıplara 4 katman halinde yerleştirilmiştir. Her bir katman 20 sn sıkıştırılmıştır. Numunelerin kalıba yerleştirilmesi Şekil 3.4'te görülebilir.



Şekil 3.4. Numunelerin yerleştirilmesi a) Katmanların sıkıştırılması b)Pigmentsiz numuneler c)%1 pigmentli numuneler

3.2.2. Kür İşlemi

Silindirle sıkıştırılmış beton normal beton gibi su ile küre tabi tutulabilir. Fakat saha uygulamalarında su ile kür uygulanmadığı ve bu çalışma kapsamında üretilen renkli silindirle sıkıştırılmış betonun da günlük hayatta belediye vb. kamu kuruluşları tarafından yollarda kullanılması amaçlandığından saha uygulamalarında olduğu gibi su bazlı kür malzemesi kullanılmıştır. Günlük hayattaki kür uygulaması Şekil 3.5a ve tez kapsamında üretilen beton numunelerde uygulanan kür malzemesi Şekil 3.5.b'de verilmiştir.

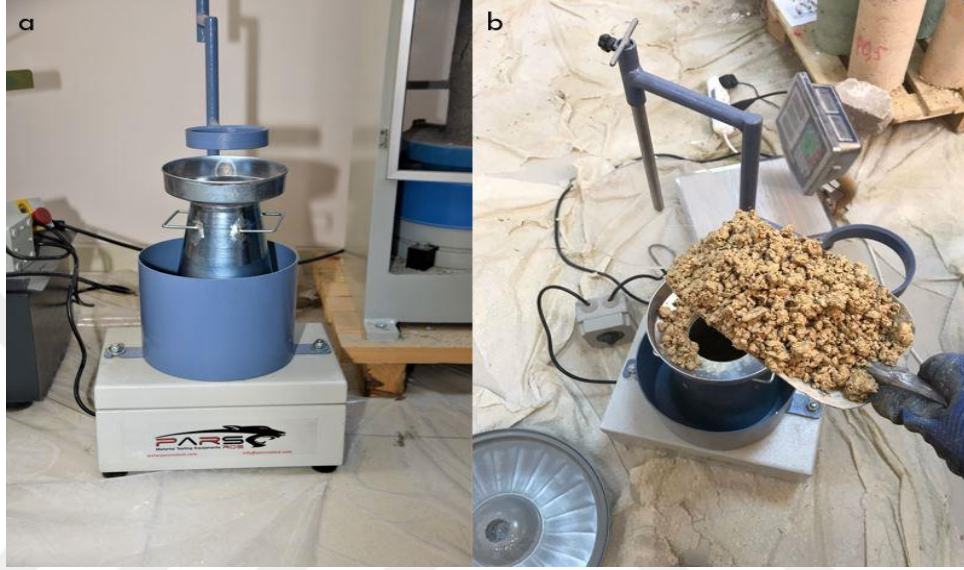


Şekil 3.5. SSB kür işlemi a)Saha uygulaması kaynak b)Kullanılan kür malzemesi

3.3. Testler

3.3.1. Vebe Testi

Kuru kıvam olarak da bilinen SSB beton numunelerin taze hal kıvam testi için (ASTM C1170/C1170M - 14, 2014) ASTM C1170 standardı kullanılmıştır. Vebe testi cihazı ve betonun vebe testi cihazına yerleştirilmesi Şekil 3.6'da sunulmuştur.



Şekil 3.6. Kıvam (Vebe) Testi Sonuçları a) Vebe cihazı b) Numune kalıbının doldurulması

3.3.2. Basınç Dayanım Testi

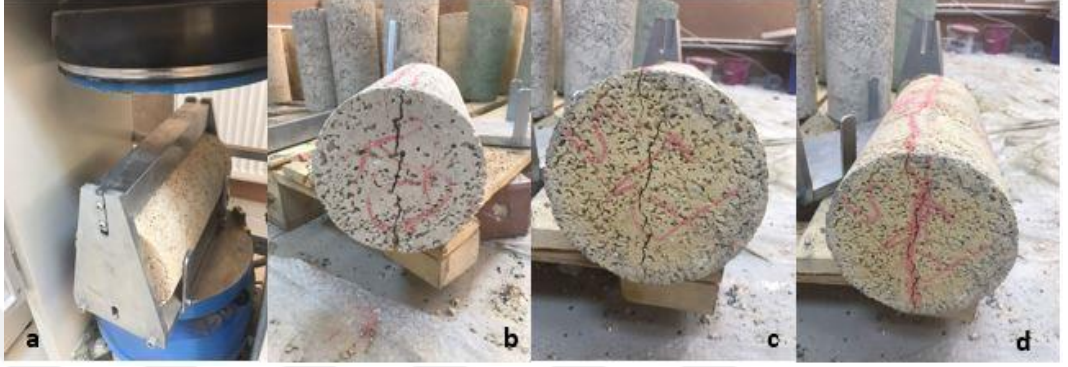
Basınç dayanım testleri 15 cm x 30 cm silindir numunelerde TS EN-12390 (TS EN 12390-3, 2010) uyarınca uygulanmıştır. 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanım testleri yapılmıştır. Basınç dayanımı testi uygulanan numuneler Şekil 3.7'de görülebilir.



Şekil 3.7. Basınç Dayanım Testi a)R0 numunesi b)P1 numunesi c)R0 numunesi kırılmış hali d)P1 numunesi kırılmış hali

3.3.3. Yarmada Çekme Dayanım Testi

Üretilen 15cm x 20 cm silindir numuneler üzerinde yarmada çekme testi (ASTM C496/C496M – 17, 2011) 7, 14 ve 28 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yarmada çekme testine maruz kalan numuneler Şekil 3.8’de görülebilir.



Şekil 3.8. Yarmada Çekme Dayanım Testi Fotoğrafları a) R0 numunesi test öncesi b)R0 test sonrası c)P1 numunesi test sonrası d) P1 numunesi test sonrası-2

3.3.4. Cantabro Testi

Cantabro testi ASTM C1747’de belirtildiği gibi sadece çelik bilyalar test düzeneğinden kaldırılarak gerçekleştirilmiştir. 15 cm x 30 cm, 28 günlük silindir numuneler 3’e bölünüp Los Angeles test cihazında 100,200,300,400 ve 500 devir döndürülerek ağırlık kayıpları gözlemlenmiştir. Şekil 3.9’da Los Angeles test cihazı görülebilir.



Şekil 3.9. Los Angeles Test Cihazı

Şekil 3.10'da numunelerin mermer/taş kesme tezgahında sulu kesimi görülmektedir. Her bir pigment katkılı beton numuneler alınmış 3 eşit parçaya bölünmüştür. Her parça birbiriyle bağlantıları tespit edilecek şekilde isimlendirilmiştir.



Şekil 3.10. Numunelerin kesilmesi

Kesme işlemi sonrası isimlendirilen numuneler Şekil 3.11'de görülebilir. Eşit 3 parçaya ayrılan numunelerin her bir 100 devir öncesi ağırlıkları tespit edilmiştir.



Şekil 3.11. Cantabro aşınma testi için hazırlanan numuneler

3.3.5. Albedo Belirleme Testi

Albedo yani yansıtıcı özelliğın belirlenmesi testi için kullanılan numuneler Şekil 3.12’de sunulmuştur. Numune için üretilen beton Şekil 3.13’te sunulan spektrofotometre cihazında ölçüm yapılabilecek boyutlarda olması için küçük kalıplara dökülmüştür.



Şekil 3.12. Albedo Numuneleri

ASTM E903 (Performance vd., 1996) uyarınca numunelere albedo (yansıtıcı özellik) belirleme testi yapılmıştır.



Şekil 3.13. Yansıtma özelliği belirleyen test cihazı spektrofotometre

3.3.6. Sülfata Dayanıklılık Testi

Sülfata dayanıklılık testi ASTM C-1012 (Standard Test Method For Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution Sulfate Solution, 2004) uyarınca gerçekleştirilmiştir. Bu standarda göre 1000 litre su için 352 mol $MgSO_4$ eklenmesi uygun görülmüştür. Karışıma her 28 günde bir aynı miktarda $MgSO_4$ eklenmiştir. Sülfat çözeltisinde bekletilen numuneler Şekil 3.14'te görülebilir.



Şekil 3.14. Sülfat Çözeltisi İçindeki Numuneler

3.4. Simülasyon Çalışmaları

Üretilen silindirle sıkıştırılmış renkli beton numunelerin albedo değerleri belirlenip en yüksek albedo değeri olan numune simülasyon çalışmalarında göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada yol kaplaması öngörülen pigment katkılı silindirle sıkıştırılmış betonda sadece pigment özelliği incelenmiş ısı iletkenliği, ısı kapasitesi ve ısı yayma oranları standart değerler alınarak simülasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyon çalışmaları kapsamında Konya Teknik Üniversitesi yerleşkesi karşısında bulunan konutların olduğu bir alan ve yine Konya Teknik Üniversitesi yerleşkesi önünden geçen devlet yolunun olduğu alan belirlenmiştir. Seçilen alanların enlem boylam ve simülasyon çalışmasında kullanılan diğer sınır değerler Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. ENVI-met simülasyon için alan bilgileri

	Simülasyon-1		Simülasyon-2	
	Durum-A	Durum-B	Durum-A	Durum-B
Enlem- Boylam	37°.87'-32°.49'		37°.87'-32°.49'	
İklim	Karasal		Karasal	
Model alanı boyutları	103x86x36		68x100x30	
1 hücre boyutu (m)	dx=3 dy=3 dz=4		dx=3.5 dy=3.5 dz=2	
Simülasyon Tarihi	27.07.21		27.07.21	
Simülasyon Başlangıç Saati	10:00 AM		08:00 AM	
Simülasyon Bitiş Saati	14:00 AM		10:00 AM	
Kullanılan Kaplama Malzemesi	Asfalt	SSB	Asfalt	SSB
Kaplama Malzemesi Albedo Değeri	0.2	0.69	0.2	0.69

3.4.1. Simülasyon-1

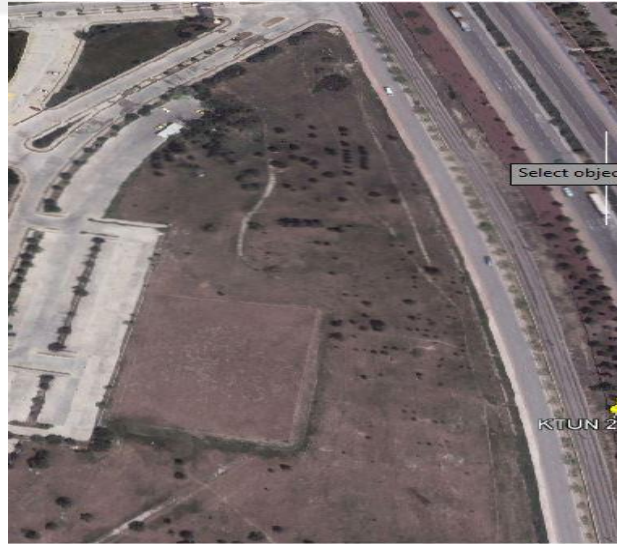
Simülasyon -1 çalışması için seçilen alanın Google harita üzerinden belirlenip alanın seçilen iki köşesinin enlem ve boylam koordinatları belirlenmiştir. Bunun ardından seçili alanın ekran görüntüsü alınmıştır. Autocad'de aktarılan fotoğraf önceden belirlenen enlem ve boylam değerleri tanımlanarak fotoğrafın metre cinsinden ölçeklendirmesi yapılmıştır. Bu alanın google haritadan alınan görüntüsü Şekil 3.15'te görülebilir. Seçili alan 309m x 258m ölçülerindedir. Seçili alana yeşil alanlar doğal zemin ve binalar tanımlandıktan sonra Durum-A kapsamında yollar albedo değeri 0.2 olan asfalt malzemesi ile kaplanmış ve simülasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyon çalışmasının bilgisayarda tamamlanması 30 saat 40 dk. olarak tespit edilmiştir. Durum-B kapsamında ise Durum-A' da tanımlanan model alanında sadece yol kaplama malzemesi önceden ENVI-met kütüphanesine tanımlanan renkli SSB betonu ile değiştirilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon süresi de 30 saat 40 dk'dır. Simülasyon görüntülerinde görülen siyah içi dolu dikdörtgen şekiller binaları temsil etmektedir.



Şekil 3.15. Simülasyon-1 için seçilen alan

3.4.2. Simülasyon-2

Simülasyon-2 çalışması kapsamında yine Konya'dan bir alan seçilmiştir. Bu Alan asfalt yolun olduğu Konya Teknik Üniversitesi girişi önündeki aşağıda Şekil 3.16'da gösterilen alandır.



Şekil 3.16. Simülasyon-2 için seçilen alan

3.5. Optimizasyon (En İyileme) Çalışması

3.5.1. Lineer Çoklu Regresyon

20. yüzyılın başlarında regresyon terimi ve iki değişken arasındaki ilişkileri inceleme yöntemleri İngiliz biyolog Francis Galton Regression tarafından literatüre kazandırılmıştır. Regresyon, bağımlı değişken ile bazen çıktı olarak adlandırılan bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi keşfetmeyi amaçlar (Yan vd., 2009). Birden fazla değişken olduğunda, doğrusal regresyona doğrusal çoklu doğrusal regresyon denir. Çoklu doğrusal regresyonun temel amacı, girdiler (bağımlı olanlar) ve sonuç (bağımsız) arasında en küçük kareler hatası ilkesiyle doğrusal bir model oluşturmaktır (Hahn vd., 2006; Hardle, W., Simar, 2007; Wei vd., 2015).

3.5.2. Rastsal Orman

Rastsal orman, denetimli öğrenme modelleri arasında yer alan hiyerarşik modellerden biridir. Karar ağacı modeli, rastgele orman algoritmasında önemli bir role sahiptir(Zhou, 2012). Rastgele ormanlar, sınıflandırma ve regresyon yapmak için kullanılabilir. Ek özellikler sağlama yeteneğine sahiptirler; eksik değer ataması, aykırı değer tespiti, diferansiyel sınıf ağırlıklandırması. Rastgele orman algoritması, birbirinden bağımsız çalışan birçok karar ağacı arasından en yüksek puanı seçme işlemidir. Ağaç sayısı arttıkça kesin sonuç alma oranını da artış göstermektedir. Rastgele orman modelinde n ağaç grubu oluşturulur ve bu ağaçların her biri, veri kümesinden toplanan farklı, girdi ve aynı boyuttaki rastgele önyükleme örneğiyle eğitilir (Polkar vd., 2012).

3.5.3. Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makinesi (DVM) modelinde, bir regresyon problemi, doğrusal denklemler seti olarak ele alınarak çözülür. DVM modeli, daha hızlı eğitim aşaması, daha güçlü stabilite sağlama yeteneğine sahiptir(Abaimov & Martellini, 2022). Bu modelde hata fonksiyonu minimize edilerek global bir çözüm elde edilmektedir, bu yapay sinir ağlarına göre bir avantaj olabilir (Lordo, 2001). Kararlı çözümler elde etmek amacıyla, A çekirdek fonksiyonu (K) ve parametreleri, en küçük kareler regresyonları kullanılarak

kararlı çözümler elde etmek için Vapnik-Chervonenkis boyutunun bir sınırı en aza indirilecek şekilde optimize edilmiştir (Müller vd., 1997).

3.5.4. Gradyan Yükseltme (Gradient Boosting)

Gradient Boosting, topluluktaki ağaçların her birini farklı etiketlerde eğiterek ve ardından ağaçları birleştirerek ağaç tabanlı modellerden oluşan bir topluluk geliştirir. Hedefin MSE'yi en aza indirmek olduğu bir regresyon probleminde, sonraki her ağaç, önceki ağaçların koleksiyonundan kalan hatalarla eğitilir (Bowles, 2015).

3.5.5. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), bilim adamları tarafından betonun basınç dayanımını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Altun vd., 2008; Deshpande vd., 2014; El-Sayed vd., 2022; Tam vd., 2022; Yuan vd., 2014). Bir girdi katmanı, tekli veya çoklu gizli katmanlar ve bir çıktı katmanından oluşan esnek hesaplama tekniği olarak kabul edilir. Bu açıdan yapay sinir ağı, bilgi toplamak, eğitmek ve anlamak için üç katmandan oluşan insan beynine benzer (Tam vd., 2022). YSA'nın ilk katmanında bir girdi verisi yer alır. Veriler ilk katmana girildiğinde, veriler ağırlıkların, sapmaların ve transfer fonksiyonlarının bulunduğu gizli katmana aktarılır. Ağda bir hata işlevi, ağ çıkışı ile hedef arasındaki fark tarafından belirlenir. Ağırlıklar ve önyargılar, geri yayılan hata fonksiyonunu en aza indirmek için optimizasyon teknikleri kullanılarak ayarlanır (Deshpande vd., 2014).

3.5.6. Torbalama Regresörü (Bagging Regressor)

Bagging Regresör (BR) algoritması, topluluk algoritmaları ailesinin bir üyesidir (Zhou, 2012). Bu algoritmada, orijinal verilerin alt kümesi rastgele seçilir ve nihai tahmin, oylama veya ortalama alma yöntemlerine dayalı olarak her bir regresörün tahminini toplayarak gerçekleştirilir. Rastgeleleştirme prosedürü, algoritmanın kara kutu tahmin prosedüründen kaynaklanan varyansı önemli ölçüde azaltmasını sağlar. Karmaşık veri yapılarında BR daha iyi performans gösterme yeteneğine sahiptir. Yapıştırma, torbalama, rastgele alt uzay ve yamalar, BR'de en sık kullanılan algoritmalar (Satoh, 2008).

Optimizasyon alışmaları kapsamında, yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar yani veri setleri farklı makine öğrenmesi algoritmalarınca analiz edilmiş ve tahmin işlemin uygulanmıştır. Bu veri setlerindeki girdiler; ince ve iri agrega, pigment, akışkanlaştırıcı miktarı, yoğunluk, test numune yaşı, ve su/imento oranıdır. ıktı ise basınç daynımıdır. Tahmin işleminin ardından veri seti yüzey yanıt yöntemi ile optimize edilmiş ve optimize edilen reçete laboratuvarında dökülmüştür.



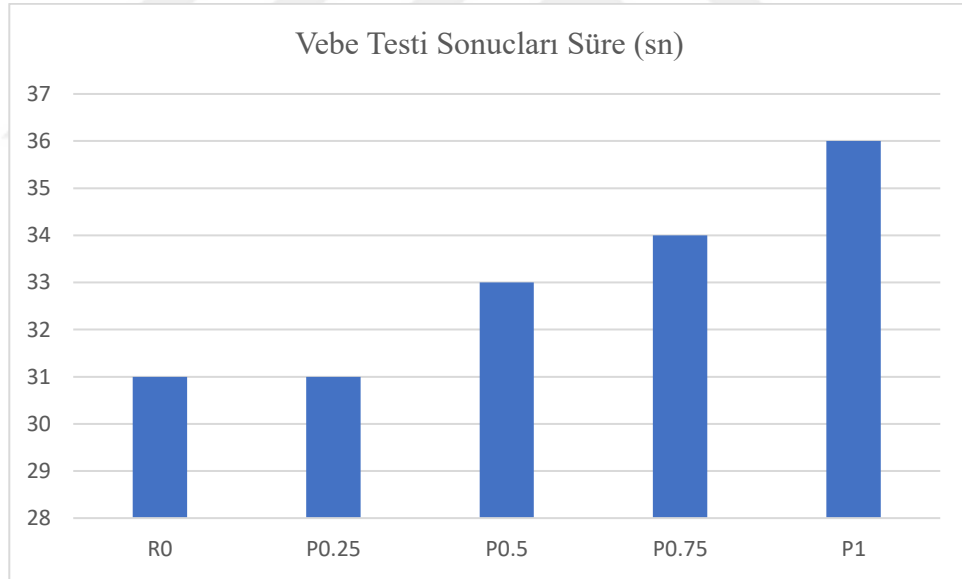
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde araştırma kapsamında elde edilen test sonuçları, simülasyon sonuçları ve optimizasyon sonuçları sunulmuştur.

4.1. Test Sonuçları

4.1.1. Vebe Testi

Üretilen SSB numunelerde vebe testleri yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir. Vebe süresi en kısa olan numune pigment içermeyen (R0) ve %0.25 pigment içeren numunelerde gözlemlenmiştir. P0.5 numunesinin süresi 33 saniye iken P0.75 ve P1 numunelerinin Vebe süreleri sırasıyla 34 ve 36 saniye olarak tespit edilmiştir.

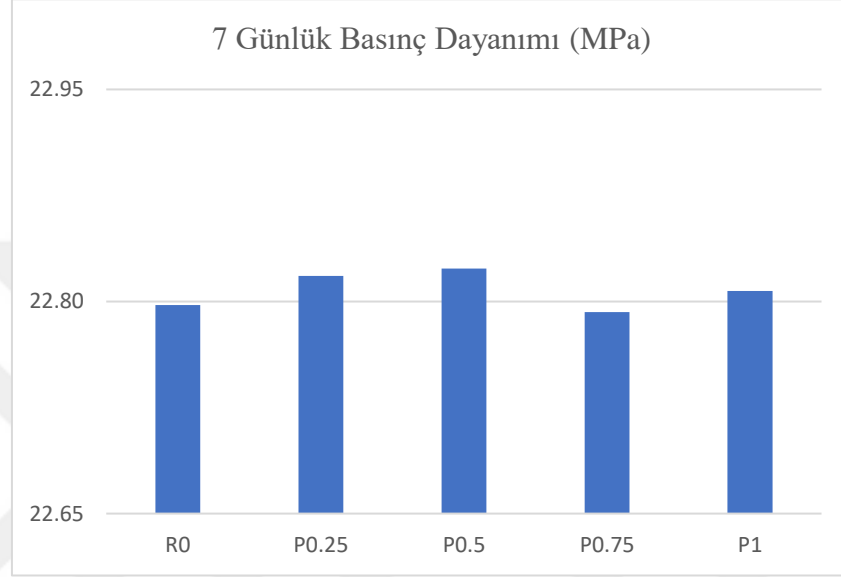


Şekil 4.1. Kıvam (Vebe) Testi Sonuçları

Pigment içeriği arttıkça SSB numunelerin Vebe süresinin arttığı diğer deyişle işlenebilirliğin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum pigment miktarının artmasıyla su ihtiyacının artması olarak açıklanabilirken literatürde bulunan pigment katkılı beton çalışmaları (Kaplan vd., 2016, Karagüler., vd, 2015) ile de benzerlik göstermektedir benzerlik göstermektedir

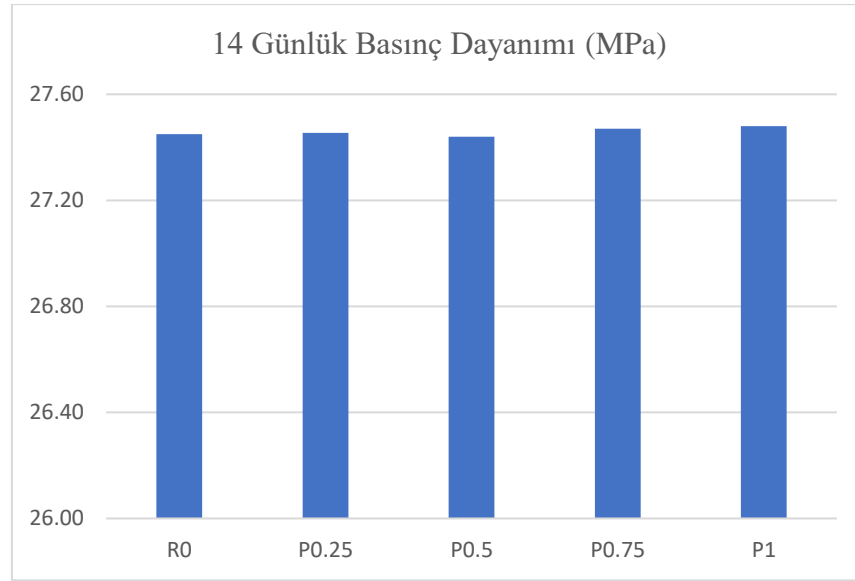
4.1.2. Basınç Dayanımı Testi Sonuçları

7 günlük beton numunelere uygulanan basınç testi sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir. Buna göre şahit numunenin basınç dayanımı 22.80 MPa iken pigment içeren numunelerin basınç dayanımları 23.79 ile 23.82 MPa olarak tespit edilmiştir.



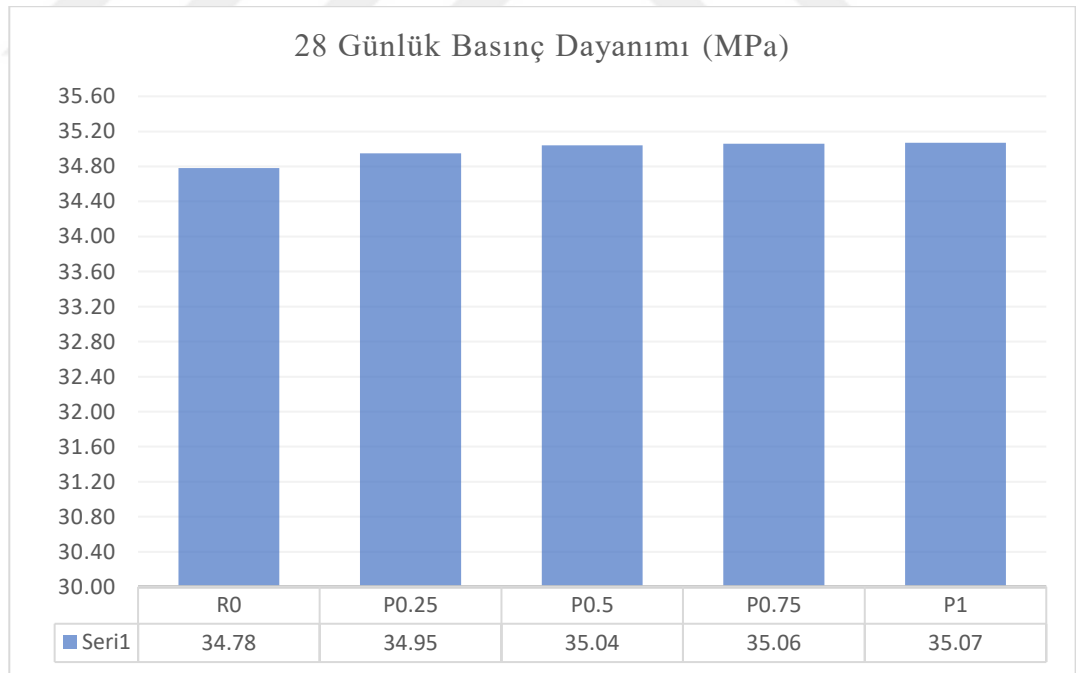
Şekil 4.2. 7 Günlük Basınç Dayanım Testi

14 günlük basınç dayanım testi sonuçları Şekil 4.3'te sunulmuştur. Bu grup numunelerde şahit numunenin basınç dayanımı 27.45 MPa ve ağırlıkça çimentonun %1'i kadar pigment içeren numunenin basınç dayanımı 27.48 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3. 14 Günlük Basınç Dayanım Testi

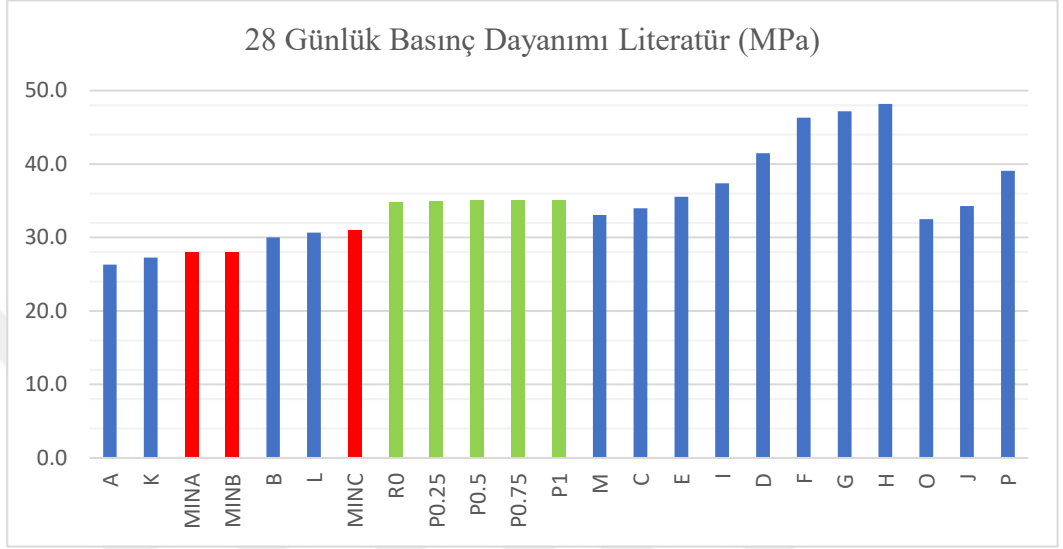
28 günlük basınç dayanım testi sonuçları Şekil 4.4'te sunulmuştur. Bu grup numunelerde şahit numunenin basınç dayanımı 34.78 MPa ve ağırlıkça çimentonun %1'i kadar pigment içeren numunenin basınç dayanımı 35.07 MPa olarak belirlenmiştir



Şekil 4.4. 28 Günlük Basınç Dayanım Testi

Tez kapsamında üretilen numunelerin 28 günlük basınç dayanım test sonuçlarının literatür (A-P) ve ilgili yönetmeliklerde verilen minimum basınç dayanım kıyaslaması

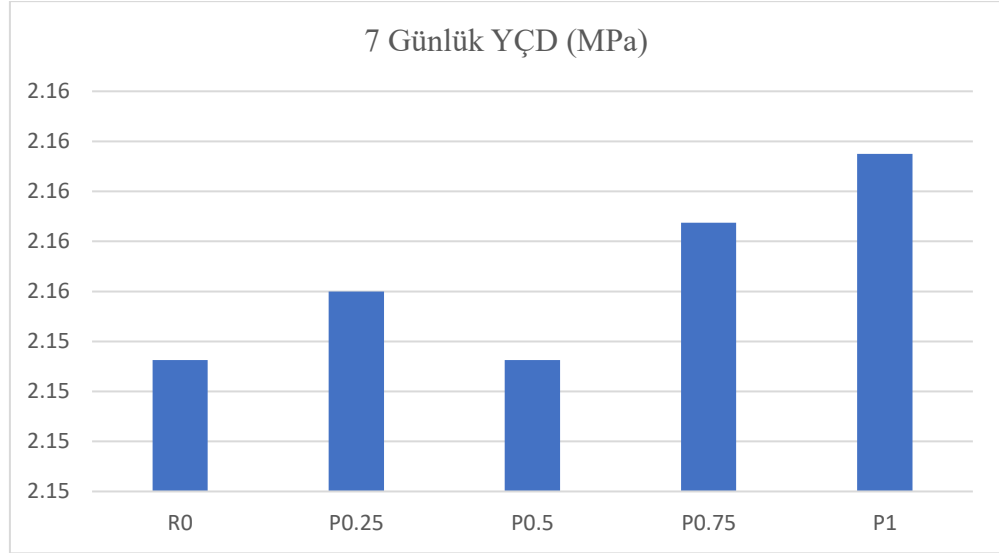
Şekil 4.5’de verilmiştir. Bu verilere göre üretilen şahit numune ve pigment katkıli SSB numuneleri literatür çalışmalarına uygunluk göstermektedir. Pigment miktarının basın dayanımı üzerinde az da olsa olumlu etkisi olduğu söylenebilir. Benzer tespit pigment katkıli beton numuneler üzerinde yapılan diğer çalışmalarda (Kaplan vd., 2016, Karagüler., vd, 2015) da yapılmıştır.



Şekil 4.5. 28 Günlük Basınç Dayanım literatür kıyaslaması

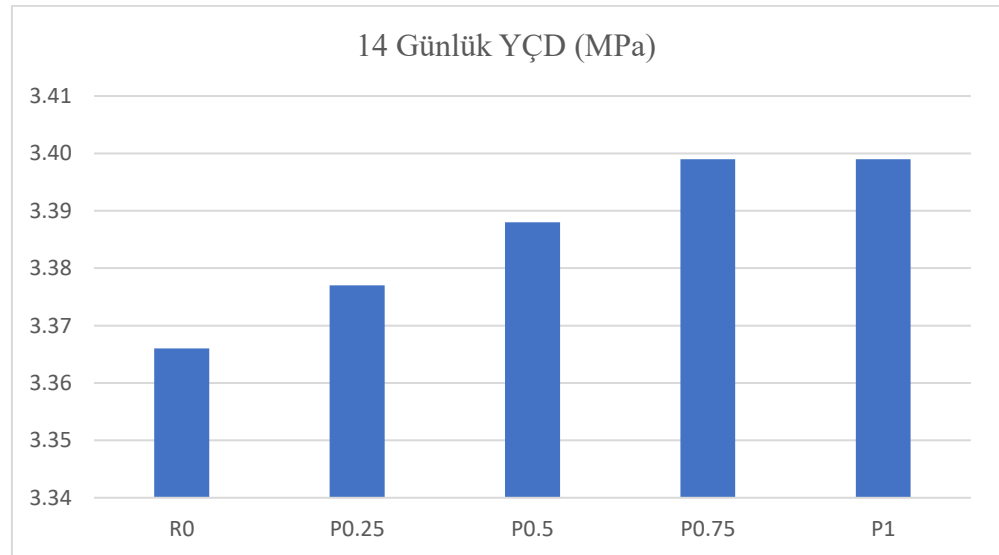
4.1.3. Yarmada Çekme Dayanımı Testi Sonuçları

7 günlük yarmada çekme dayanımı (YÇD) testi sonuçları Şekil 4.6’da sunulmuştur. En düşük dayanım R0 ve P0.5 numunelerinde gözlemlenirken en yüksek dayanım P1 numunesinde gözlemlenmiştir. Numunelerin dayanımları arasındaki fark çok küçüktür.



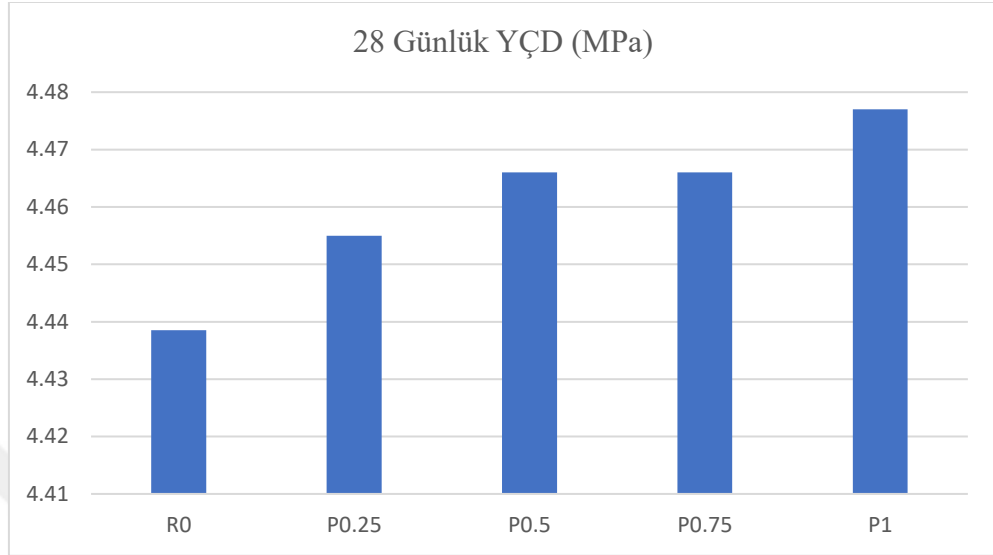
Şekil 4.6. 7 Günlük Yarmada Çekme Dayanım Testi

14 günlük YÇD testi sonuçları Şekil 4.7’de sunulmuştur. En düşük dayanım R0 numunesinde gözlemlenirken en yüksek dayanım P0.75 numunesinde gözlemlenmiştir. Numunelerin dayanımları arasındaki fark çok küçüktür.



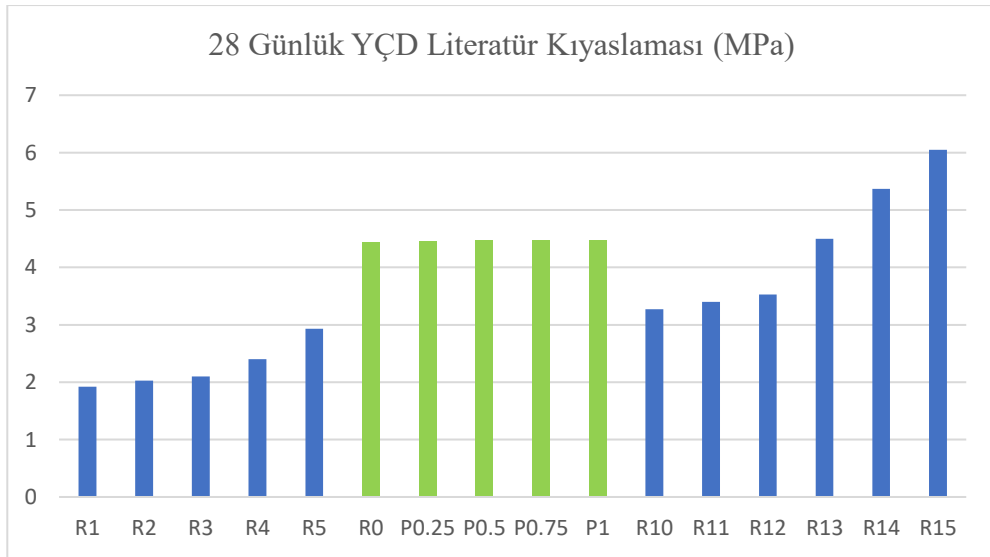
Şekil 4.7. 14 Günlük Yarmada Çekme Dayanım Testi

28 günlük YÇD testi sonuçları Şekil 4.8’de sunulmuştur. En düşük dayanım R0 numunesinde gözlemlenirken en yüksek dayanım P1 numunesinde gözlemlenmiştir. Numunelerin dayanımları arasındaki fark çok küçüktür.



Şekil 4.8. 28 Günlük Yarmada Çekme Dayanım Testi

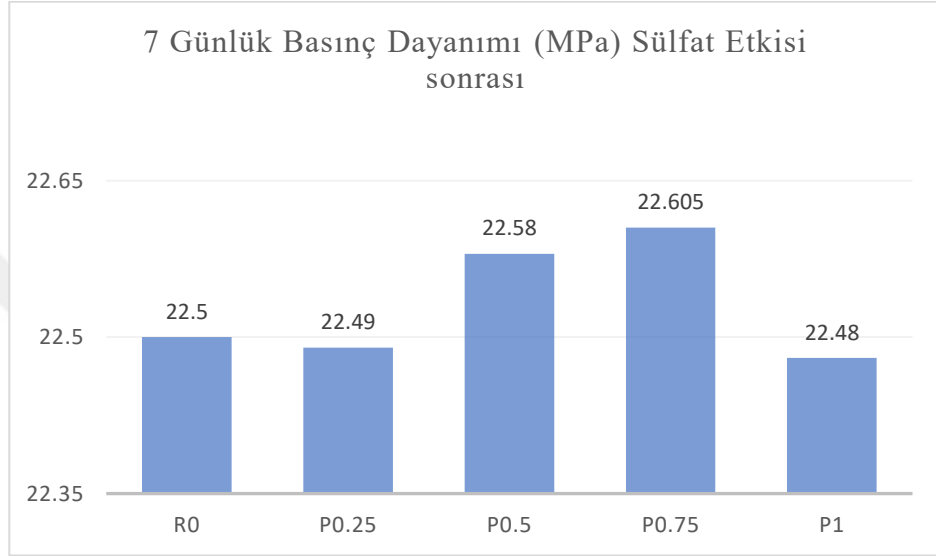
Üretilen numunelerin 28 günlük YÇD testi sonuçları literatürde bulunan diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında literatüre uygunluk gösterdiği tespit edilmiştir. Karşılaştırma tablosu Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. 28 Günlük Yarmada Çekme Dayanım Testi

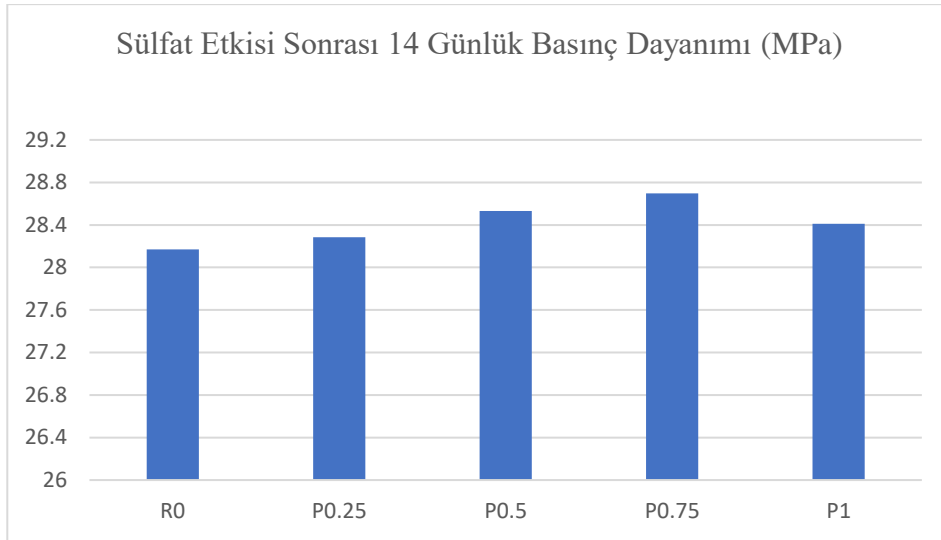
4.1.4. Sülfata Dayanıklılık Testi Sonuçları

7 günlük sülfat etkisi sonrası beton numunelere uygulanan basınç testi sonuçları Şekil 4.10'da verilmiştir. Buna göre şahit numenin basınç dayanımı 22.50 MPa iken pigment içeren numunelerin basınç dayanımları 22.49, 22.58 , 22.6 ve 22.48 olarak tespit edilmiştir.



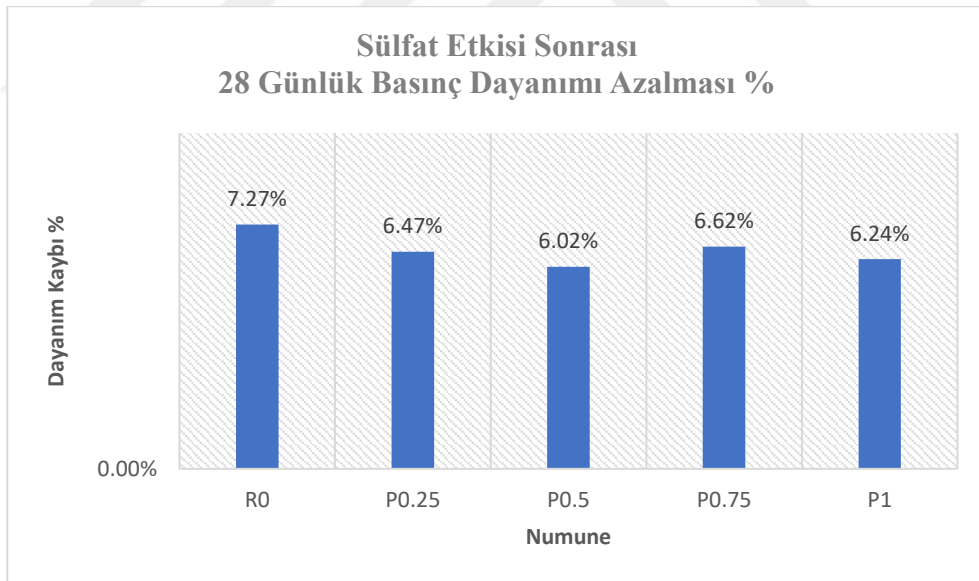
Şekil 4.10. 7 Günlük sülfat etkisi sonrası basınç dayanımı

14 günlük sülfat etkisi sonrası beton numunelere uygulanan basınç testi sonuçları Şekil 4.11'de verilmiştir. Buna göre şahit numenin basınç dayanımı 28.17 MPa iken pigment içeren numunelerin basınç dayanımları 22.28, 28.53 , 28.7 ve 28.4 MPa olarak tespit edilmiştir.



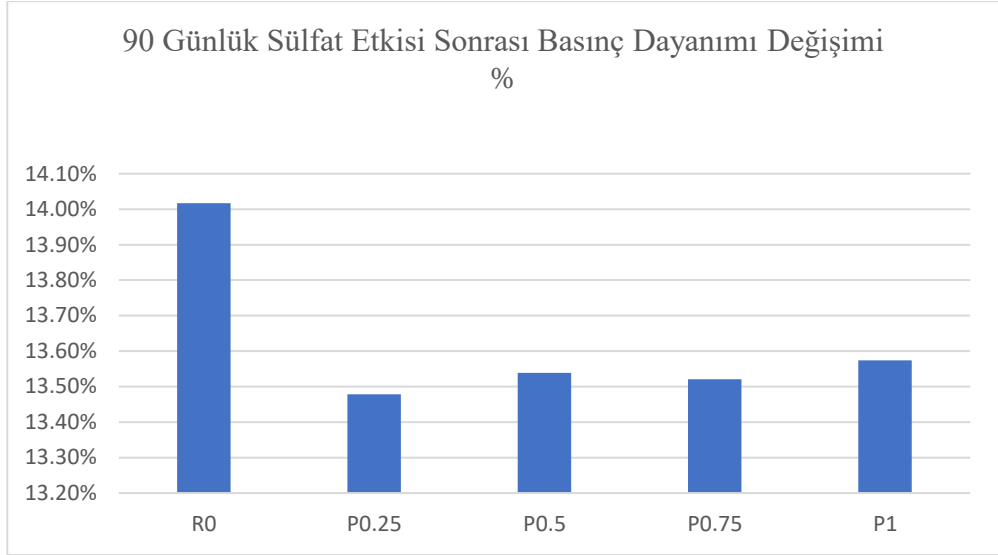
Şekil 4.11. 14 Günlük sülfat etkisi sonrası basınç dayanımı

28 günlük sülfata maruz kalan numunelerin basınç dayanım kayıpları Şekil 4.12’de görülmektedir. En yüksek kayıp R0 numunesinde %7.27 olarak tespit edilmişken, en düşük kayıp P0.5 numunesinde gözlemlenmiştir.



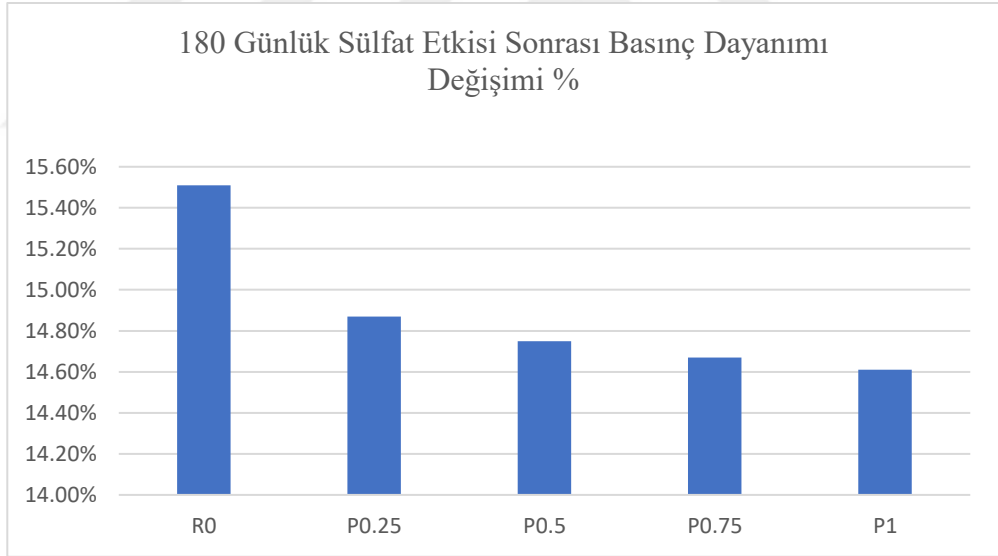
Şekil 4.12. 28 Günlük sülfat etkisi sonrası basınç değişimi

90 günlük sülfat etkisine maruz kalmış numunelerin basınç dayanım kayıpları Şekil 4.13’te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 90 Günlük sülfat etkisi sonrası basınç değişimi

180 günlük sülfat etkisine maruz kalmış numunelerin basınç dayanım kayıpları Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. 180 Günlük sülfat etkisi sonrası basınç değişimi

4.1.5. Cantabro Testi Sonuçları

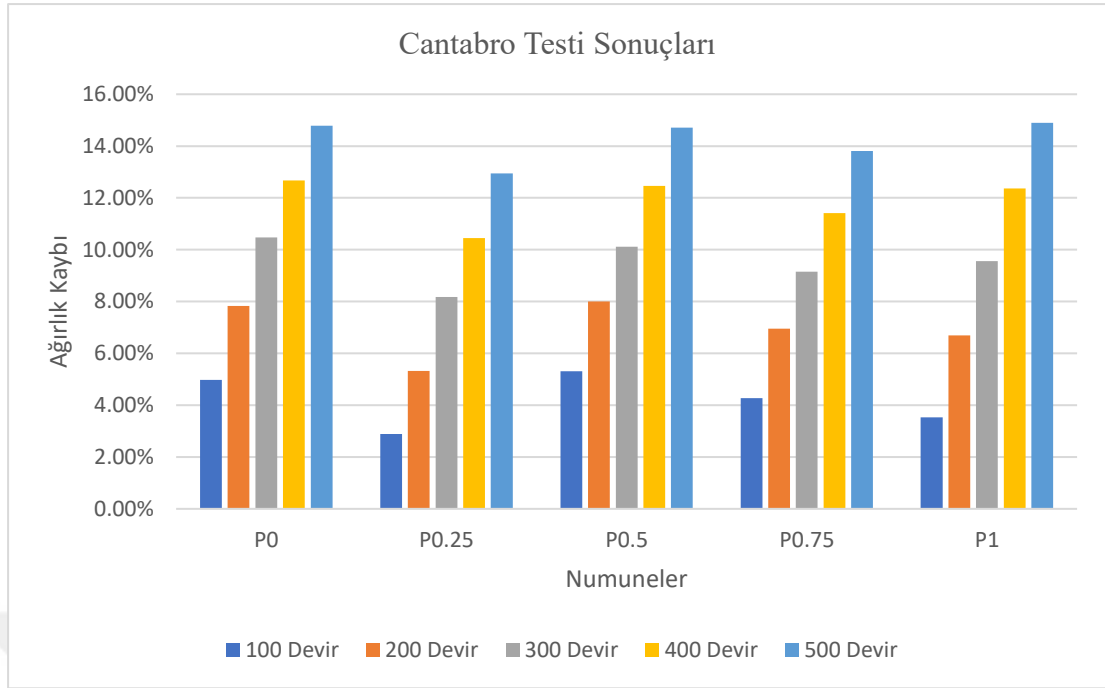
Cantabro aşınma testi için Los Angeles Test cihazındaki çelik bilyalar çıkartılmıştır. Tambur için sadece 3 adet beton numune parçası koyulmuştur. Bu numunelerin ağırlıkları tambura girmeden önce ve sonraki her bir 100 devir sonrası tek

tek tartılmış not edilmiştir. Şekil 4.15’de 500 devirden sonra bazı numunelerin durumunu gösteren görsel sunulmuştur.



Şekil 4.15. 500 Devir Sonrası Numuneler

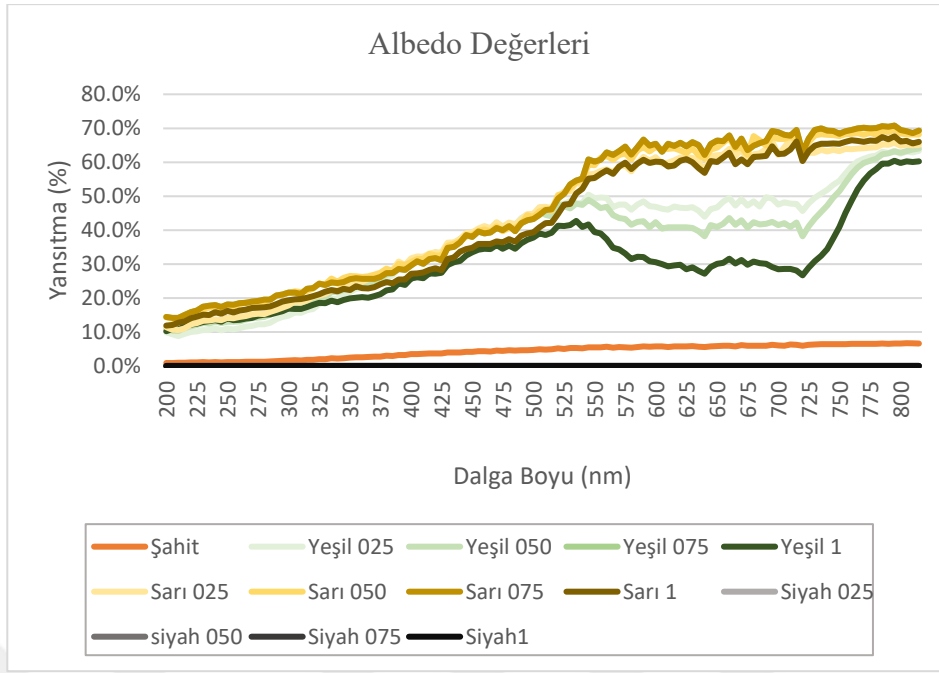
Her bir 100 devirde belirlenen ağırlık kayıpları her bir numune tipi için Şekil 4.16’da gösterilmiştir. 100 ve 200 devir dönüş sonrası en büyük ağırlık kaybı P 0.5 numunelerinde, 300 ve 400 devir sonrası en büyük ağırlık kaybı P0 numunelerinde ve 500 devir sonrası en büyük ağırlık kaybı ise P1 numunesinde tespit edilmiştir. Bunun sebebi her ne kadar pigmentler çimento ikame malzemesi olarak kullanılmamış olsa da bu numunede diğer numunelere göre daha az çimento yerleşmiş olması olabilir.



Şekil 4.16. Cantabro Testi Sonuçları

4.1.6. Albedo Belirleme Testi Sonuçları

Laboratuvarda üretilen numuneler albedo belirleme testine tabii tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.17’de sunulmuştur. Çimentonun ağırlıkça %0.75’i kadar pigment içeren (P0.75) numunesinin yansıtıcı özelliği (albedo) diğer tüm numunelere göre en yüksek olarak belirlenmiş olup bu değer 0.69’dur. Simülasyon çalışmaları da bu değer esas alınarak yürütülmüştür.

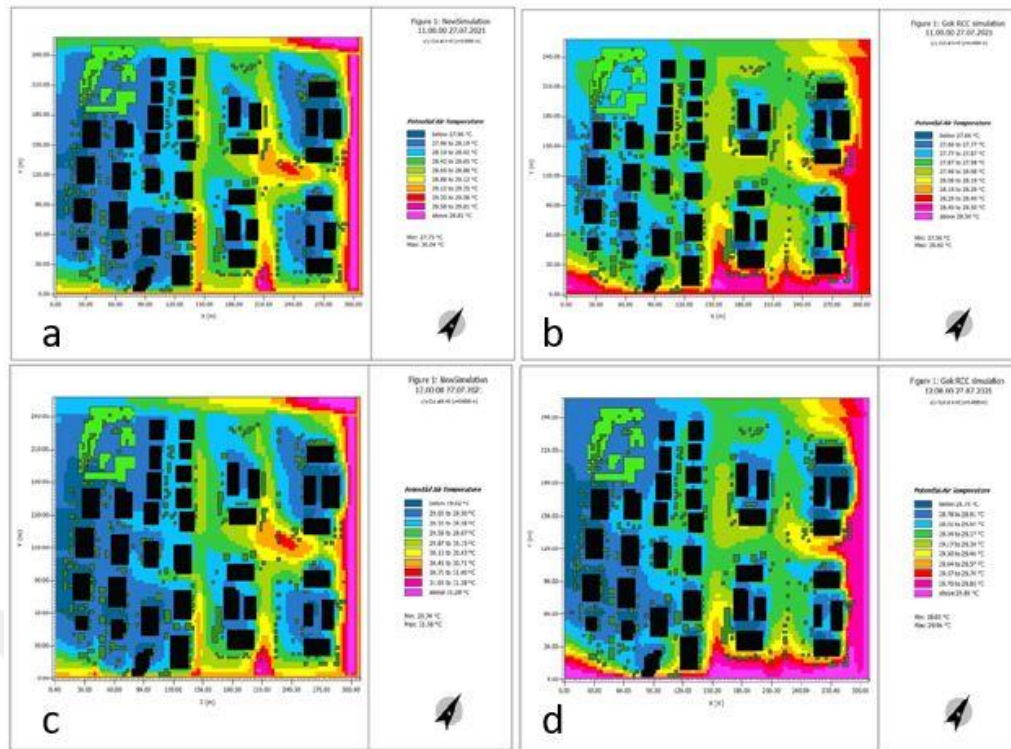


Şekil 4.17. Albedo belirleme Testi Sonuçları

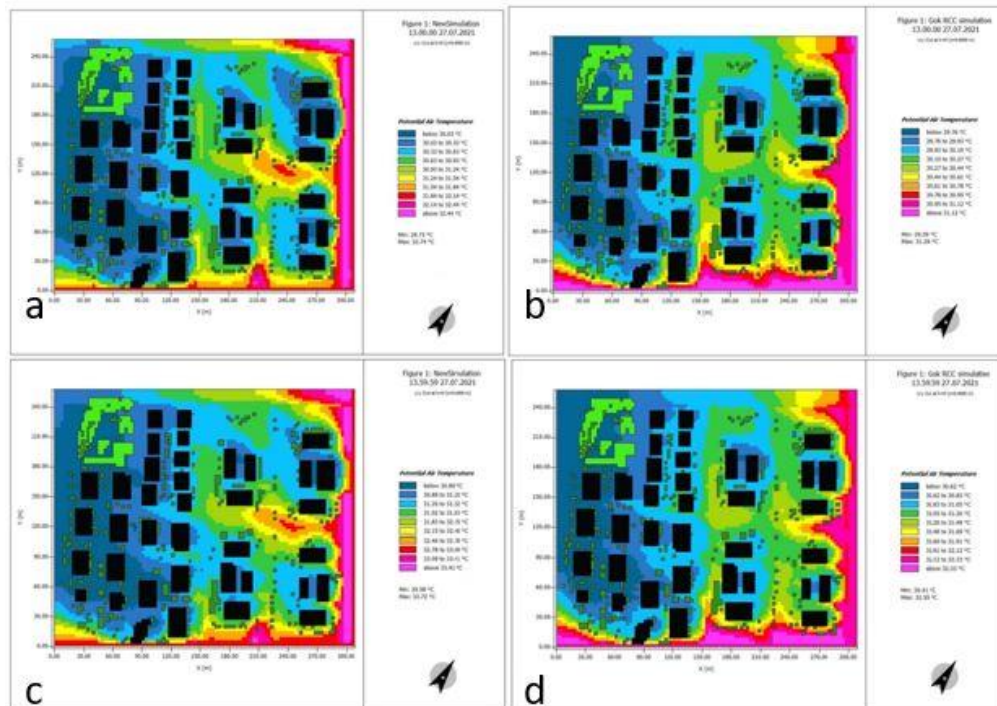
4.2. Simülasyon Sonuçları

4.2.1. Simülasyon-1 Sonuçları

Simülasyon-1 kapsamında yapılan analizde belirlenen alanda belirtilen zaman aralıkları için potansiyel hava sıcaklıkları belirlenmiştir. Bu sonuçların alan içinde nasıl dağıldığı Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da görülebilir. Durum-1 asfalt kaplama simülasyon sonuçlarına göre hava en düşük hava sıcaklıkları sabah 11:00’de 27.73 °C, öğlen 12:00’de 28.74 °C, saat 13:00’de 29.73 °C ve saat 14:00’de 30.58 °C ve en yüksek hava sıcaklıkları 30.04 °C, 31.56 °C, 32.74 °C ve 33.72 °C olarak belirlenmiştir. Aynı zaman sırası için Durum-2 pigment katkılı SSB için potansiyel en düşük hava sıcaklığı sonuçları: 27.56 °C, 28.65 °C, 29.59 °C, 30.41 °C iken en yüksek hava sıcaklıkları 28.6 °C, 29.96 °C, 31.29 °C ve 32.55 °C’dir. Yol kaplama malzemesini farklı yansıtıcı değerde bir malzeme ile değiştirerek kentsel ısı adası etkisinin azaltılabileceğini gösteren diğer çalışmalar (Battistella & Noro, 2015; Huynh & Eckert, 2012; Kyriakodis & Santamouris, 2018; Salata vd., 2015; Taleghani & Berardi, 2018) ile bu tez kapsamında yapılan simülasyon çalışması da benzer sonuçlar göstermektedir.

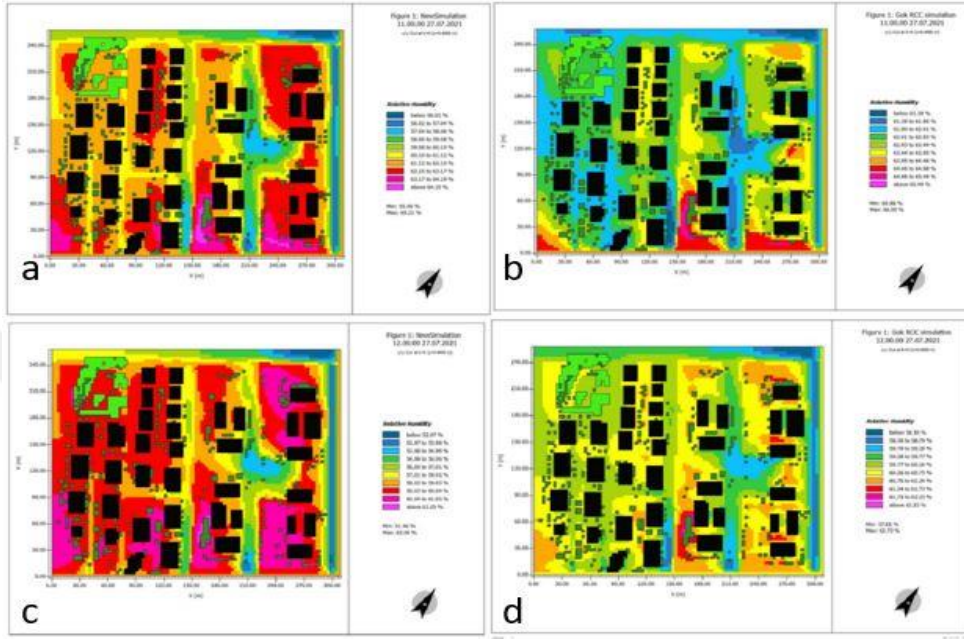


Şekil 4.18. Potansiyel Hava Sıcaklığı a)11:00 asphalt kaplama b)11:00 SSB kaplama c) 12:00 asphalt kaplama d) 12:00 SSB kaplama

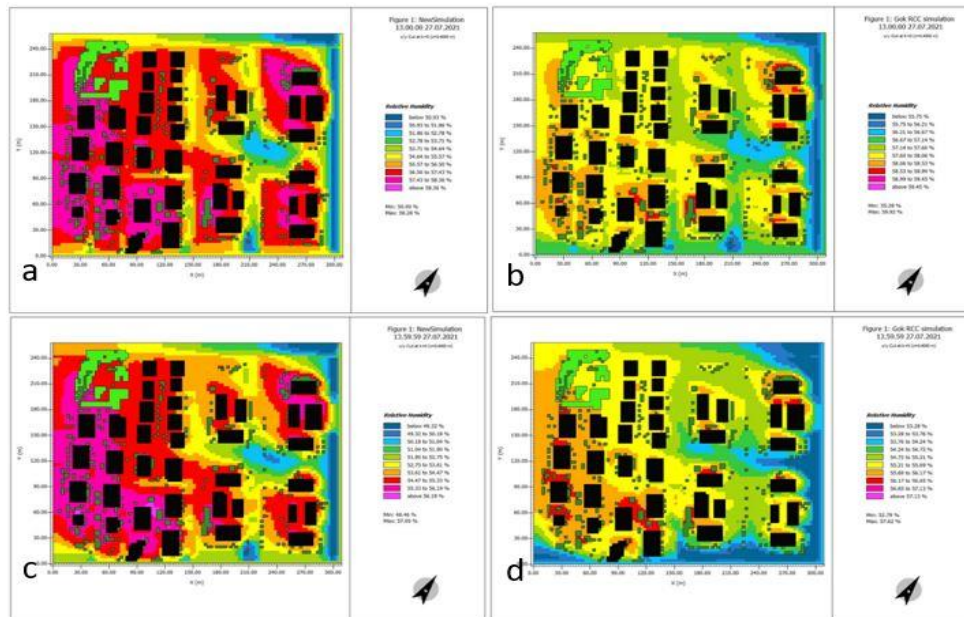


Şekil 4.19 Potansiyel Hava Sıcaklığı a)13:00 asphalt kaplama b)13:00 SSB kaplama c) 13:59 asphalt kaplama d) 13:59 SSB kaplama

Durum-1 için asfalt kaplama ve SSB kaplamanın kullanıldığı bağıl nem oranı simülasyon sonuçları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir. İki kaplama çeşidi için de en yüksek bağıl nem oranları birbirine çok yakındır. Fakat tüm simülasyon zamanları için SSB kaplamanın minimum bağıl nem oranı asfalt kaplamanın en düşük bağıl nem oranına göre daha yüksektir. Sonuç olarak minimum bağıl nem oranında SSB kaplamanın fark oluşturduğunu ve bu yönüyle daha avantajlı olduğu söylenebilir.

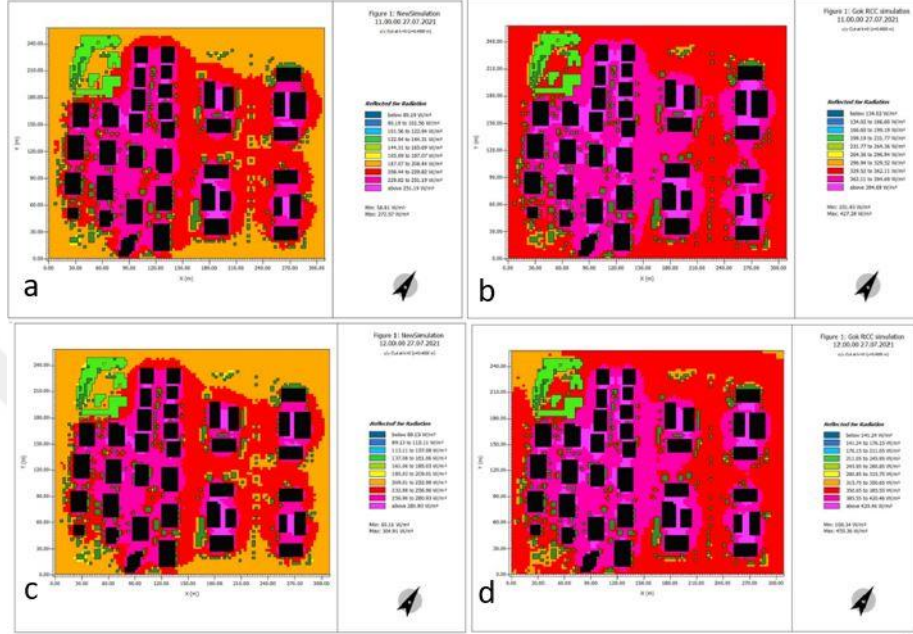


Şekil 4.20. Bağıl Nem a)11:00 asfalt kaplama b)11:00 SSB kaplama c) 12:00 asfalt kaplama d) 12:00 SSB kaplama

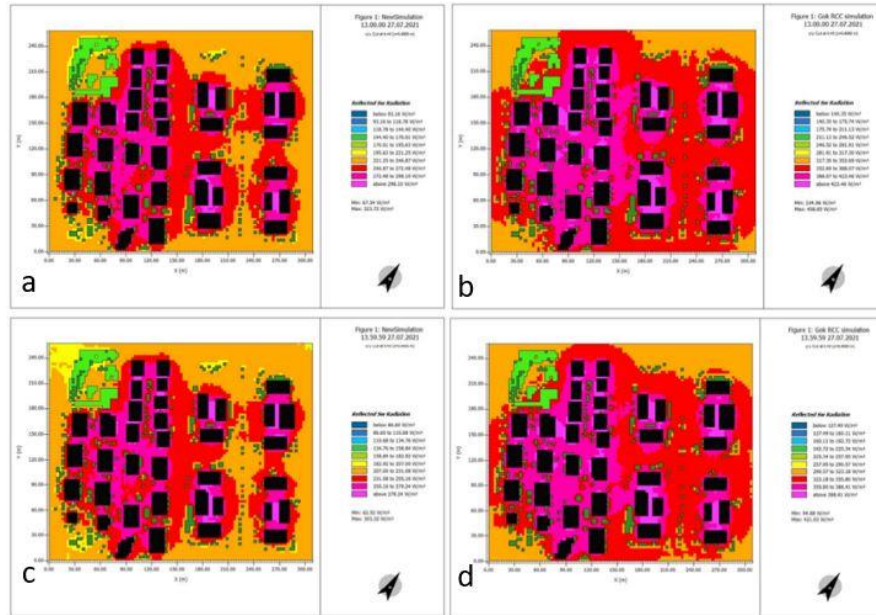


Şekil 4.21. Bağıl Nem a)13:00 asfalt kaplama b)13:00 SSB kaplama c) 13:59 asfalt kaplama d) 13:59 SSB kaplama

Simülasyonda kullanılan modeldeki yüzey alanından atmosfere geri yansıyan güneş ışını miktarı Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir. SSB'nin kullanıldığı durumda elde edilen yansımaya değeri asfaltın kullanıldığı durumdaki modelin 1.5 katı kadardır. Sayısal olarak ifade etmek gerekirse SSB kullanılan alanın öğlen 12:00'deki yansıtıcılığı 455.36 W/m^2 iken asfalt kaplamanın olduğu durumdaki aynı saat için yansıtıcılık 304.91 W/m^2 olarak belirlenmiştir.

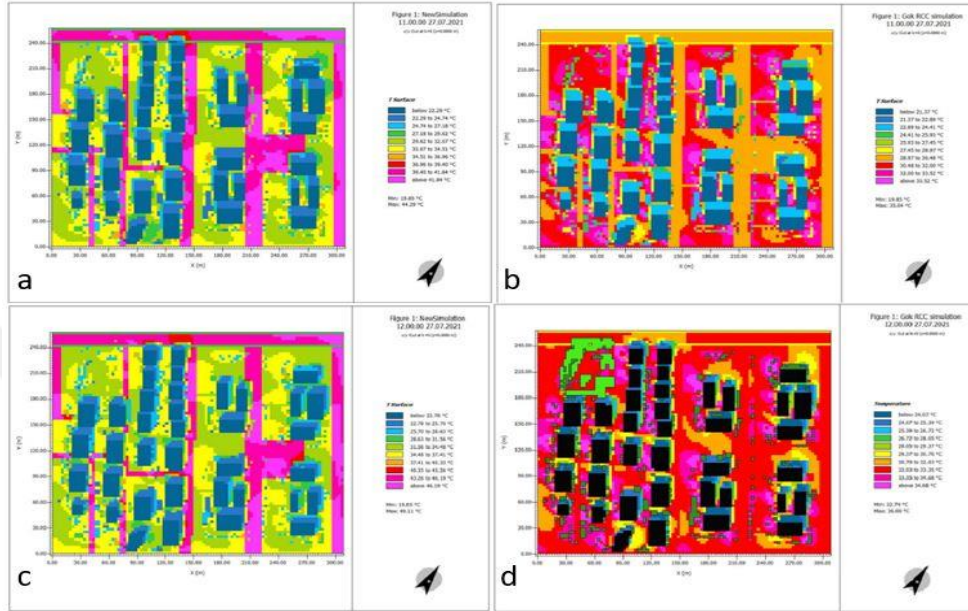


Şekil 4.22. Yansıyan güneş ışığı a)11:00 asfalt kaplama b)11:00 SSB kaplama c) 12:00 asfalt kaplama d) 12:00 SSB kaplama

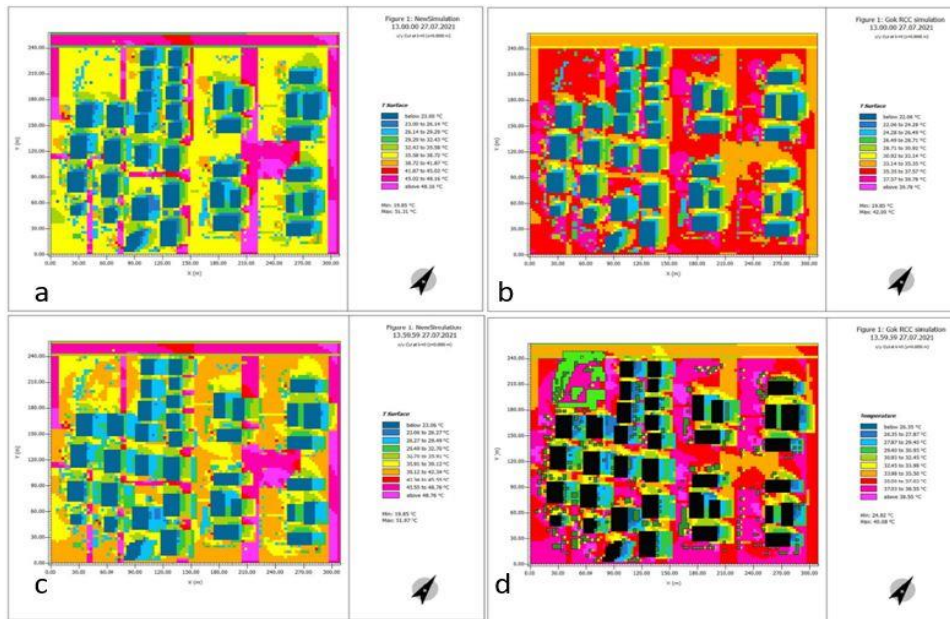


Şekil 4.23. Yansıyan güneş ışığı a)13:00 asfalt kaplama b)13:00 SSB kaplama c) 13:59 asfalt kaplama d) 13:59 SSB kaplama

Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te yüzeylerdeki sıcaklıklar gösterilmektedir. En yüksek yüzey sıcaklıkları arasındaki en büyük fark öğlen saat 12:00'de 13.11 °C olarak tespit edilmiştir. Bu kıyastaki en küçük fark ise sabah saat 11:00'de 9.25 °C'dir. Yüzey sıcaklıkları arasındaki bu fark kullanılan malzemelerin dayanıklılığı etkileyeceği gibi doğal sonuç olarak atmosferik sıcaklığı da etkilemektedir. Atmosferik sıcaklığa etkisi potansiyel hava sıcaklığı başlığında anlatılmıştır.



Şekil 4.24. Yüzey sıcaklığı a)11:00 asfalt kaplama b)11:00 SSB kaplama c) 12:00 asfalt kaplama d) 12:00 SSB kaplama



Şekil 4.25. Yüzey sıcaklığı a)13:00 asfalt kaplama b)13:00 SSB kaplama c) 13:59 asfalt kaplama d) 13:59 SSB kaplama

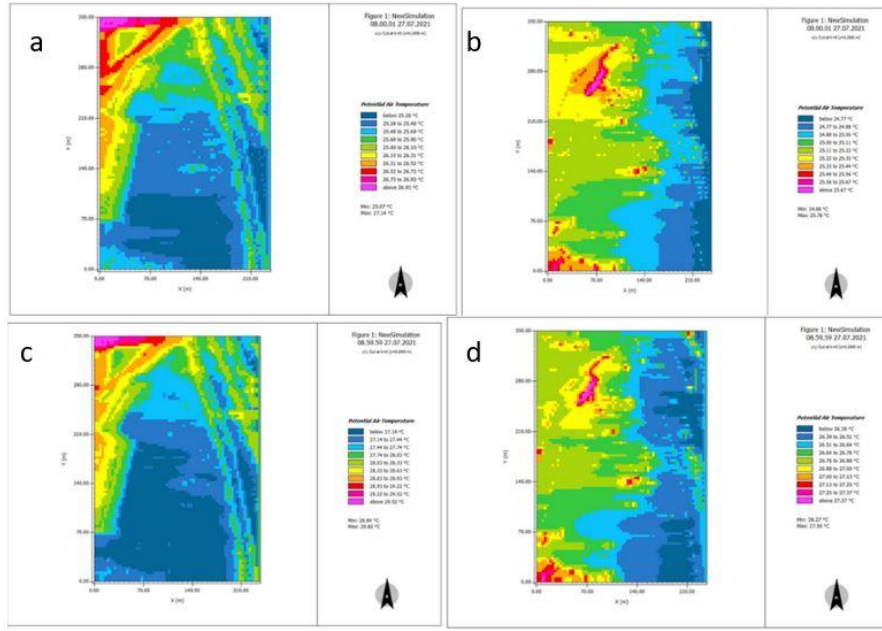
Simülasyon 1 çalışması sonucunda elde edilen tüm veriler Çizelge 4.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Simülasyon -1 Sonuçları

Sonuç	Saat	Durum-1 Asfalt Kaplama		Durum-2 SSB Kaplama	
		En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek
Potansiyel Hava Sıcaklığı	11:00	27.73 °C	30.04 °C	27.56 °C	28.6 °C
	12:00(öğle)	28.74 °C	31.56 °C	28.65 °C	29.96 °C
	13:00	29.73 °C	32.74 °C	29.59 °C	31.29 °C
	13:59	30.58 °C	33.72 °C	30.41 °C	32.55 °C
Bağıl Nem	11:00	55.00%	65.21%	60.88%	66.00%
	12:00(öğle)	51.96%	62.06%	57.81%	62.72%
	13:00	50.00%	59.28%	55.28%	59.92%
	13:59	48.46%	57.05%	52.79%	57.62%
Yansıyan Kısa Dalga Güneş Işığı	11:00	58.81 W/m ²	272.57 W/m ²	101.43 W/m ²	427.28 W/m ²
	12:00(öğle)	65.16 W/m ²	304.91 W/m ²	106.34 W/m ²	455.36 W/m ²
	13:00	67.54 W/m ²	323.72 W/m ²	104.96 W/m ²	458.85 W/m ²
	13:59	62.52 W/m ²	303.32 W/m ²	94.88 W/m ²	421.03 W/m ²
Yüzey Sıcaklığı	11:00	19.85 °C	44.29 °C	19.85 °C	35.04 °C
	12:00(öğle)	19.85 °C	49.11 °C	22.74 °C	36.00 °C
	13:00	19.85 °C	51.37 °C	19.85 °C	42.00 °C
	13:59	19.85 °C	51.97 °C	24.82 °C	40.08 °C

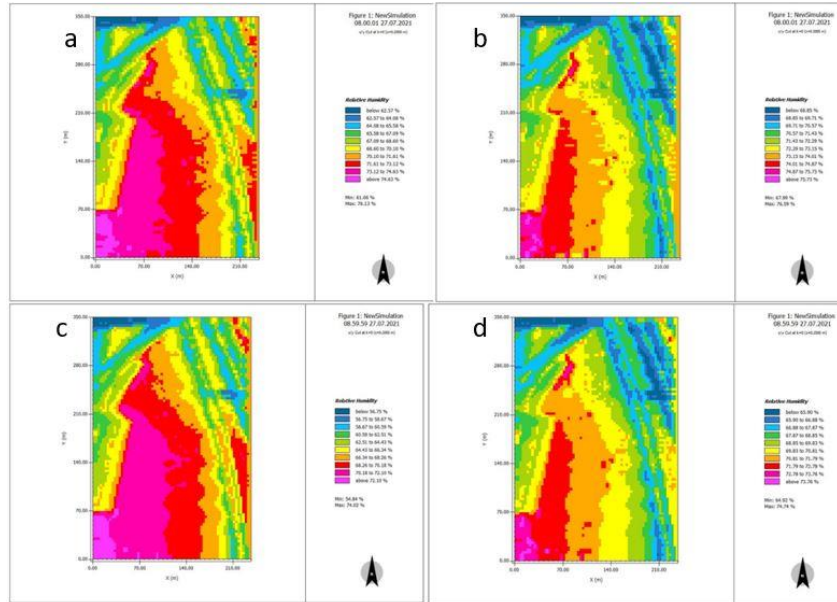
4.2.2. Simülasyon-2 Sonuçları

Simülasyon 2 için ENVI-met simülasyon programından elde edilen potansiyel hava sıcaklığı sonuçları Şekil 4.26'da verilmiştir. Asfalt kaplamanın kullanıldığı simülasyonda sabah saat 08:59 için en yüksek hava sıcaklığı 29.82 °C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklık SSB kaplamaya göre 2.32 °C daha yüksektir. En düşük sıcaklıklar incelendiğinde SSB ve asfalt kaplama uygulamalarında birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26. Potansiyel Hava Sıcaklığı a)08:00 asfalt kaplama b)08:00 SSB kaplama c) 08:59 asfalt kaplama d) 08:59 SSB kaplama

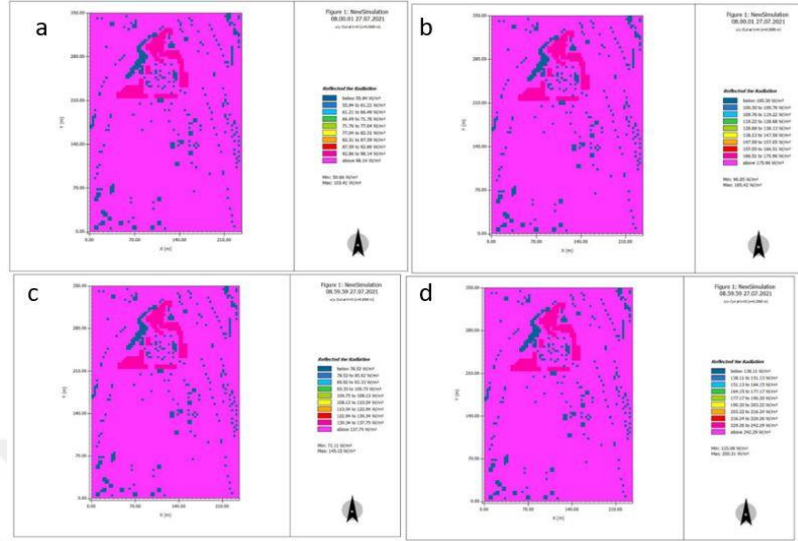
Bağıl nem oranı sonuçları Şekil 4.27’de sunulmaktadır. Simülasyon 1 çalışmasında olduğu gibi en yüksek bağıl nem oranları iki durum için birbirine çok yakındır. Asfalt kaplama simülasyonunda minimum bağıl nem oranı sabah saat 08:00’de 61.06% ve sabah saat 08:59’da 54.84% olarak belirlenmiş olup, SSB kaplamanın olduğu simülasyonda zaman dilimi olarak aynı sırada 67.99% ve 64.92% olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Bağıl Nem a)08:00 asfalt kaplama b)08:00 SSB kaplama c) 08:59 asfalt kaplama d) 08:59 SSB kaplama

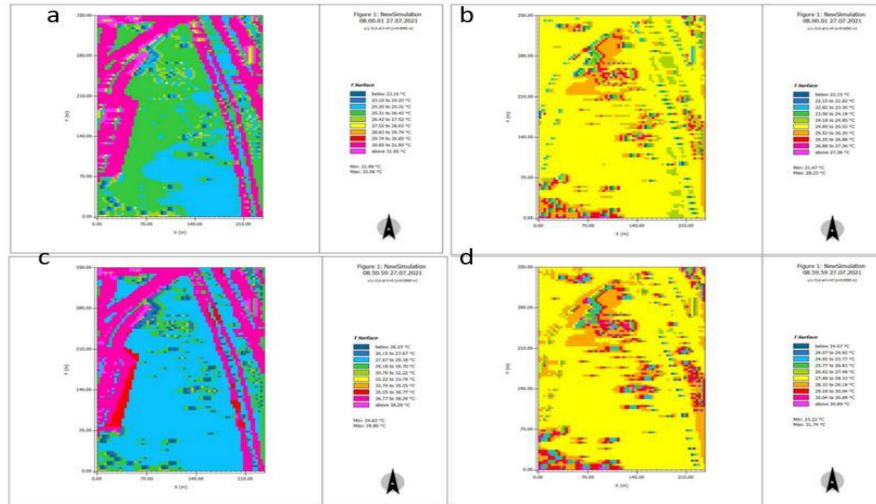
Kaplamalardan yansıtılan güneş ışığı değerleri Şekil 4.28’de gösterilmiştir. En düşük yansıtma değerleri için SSB asfalt kaplamanın 1.76 ve 1.8 katı, en yüksek yansıtma

değeri içinse SSB kaplamanın asfalt kaplamanın 1.79 ve 1.76 katı kadar olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.28. Yansıyan güneş ışığı a)08:00 asfalt kaplama b)08:00 SSB kaplama c) 08:59 asfalt kaplama d) 08:59 SSB kaplama

Yüzey sıcaklıkları incelendiğinde hem en düşük hem de en yüksek yüzey sıcaklıkları için SSB kaplama ve asfalt kaplama arasında ciddi fark olduğu Şekil 4.28’ de görülmektedir. Saat 08:00 ve 08:59 için asfalt kaplamadaki en düşük yüzey sıcaklığı 21.99 °C ve 24.63 °C iken, SSB kaplama yüzey sıcaklığı 19.05 °C ve 23.22 °C olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte yine aynı zaman dilimleri için en yüksek sıcaklıklar asfalt kaplamada 33.06 °C ve 39.80 °C, SSB kaplama yüzeyinde ise 28.23 °C ve 31.74 °C’dir.



Şekil 4.29. Yüzey sıcaklığı a)08:00 asfalt kaplama b)08:00 SSB kaplama c) 08:59 asfalt kaplama d) 08:59 SSB kaplama

Simülasyon-2 sonuçları Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Simülasyon -2 Sonuçları

Sonuç	Saat	Durum-1 Asfalt Kaplama		Durum-2 SSB Kaplama	
		En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek
Potansiyel Hava Sıcaklığı	08:00	25.07 °C	27.14 °C	24.66 °C	25.78 °C
	08:59	26.84 °C	29.82 °C	26.27 °C	27.50 °C
Bağıl Nem	08:00	61.06%	76.13%	67.99%	76.59%
	08:59	54.84%	74.02%	64.92%	74.74%
Yansıyan Kısa Dalga Güneş Işığı	08:00	50.66W/m ²	103.41 W/m ²	90.85 W/m ²	185.42 W/m ²
	08:59	71.11 W/m ²	145.15 W/m ²	125.08 W/m ²	255.31 W/m ²
Yüzey Sıcaklığı	08:00	21.99 °C	33.06 °C	21.47 °C	28.23 °C
	08:59	24.63 °C	39.80 °C	23.22 °C	31.74 °C

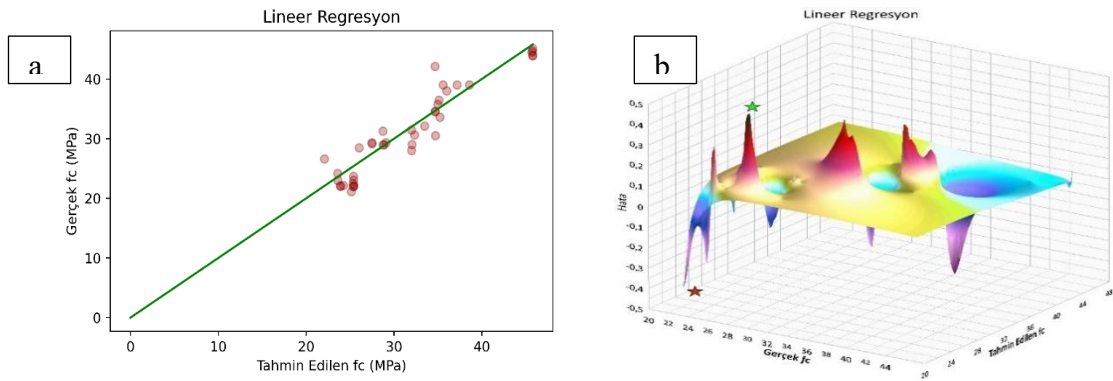
4.3. Optimizasyon (En İyileme) Sonuçları

Uygulanan farklı makine öğrenmesi algoritmalarının tahmin etme performansları hata kareler ortalaması karekökü, korelasyon katsayısı, ortalama mutlak hata ve ortalama mutlak yüzde hata sonuçları Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Kullanılan 6 algoritma içerisinde en yüksek korelasyon katsayısı rastsal orman algoritmasında elde edilmiş en düşük korelasyon sayısı ise destek vektör makinesi algoritmasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. Makine öğrenmesi tahmin performansları

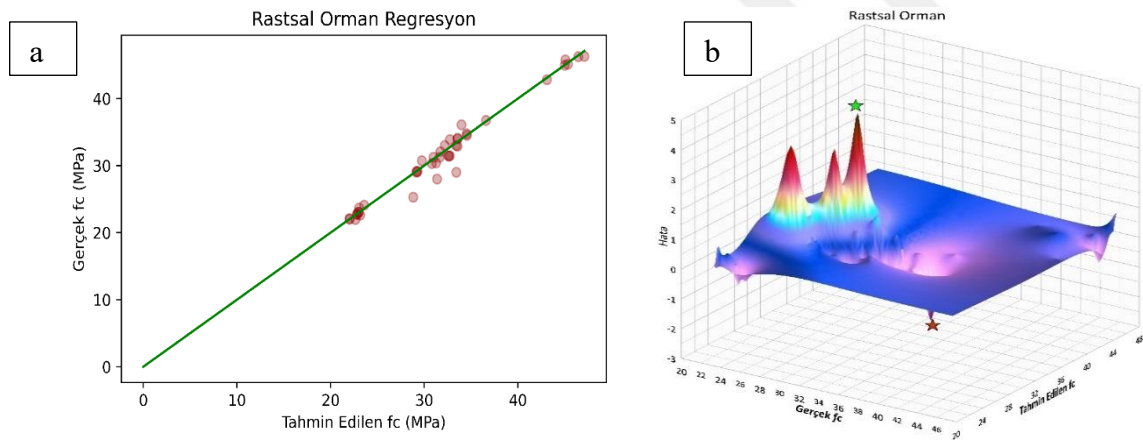
Makine Öğrenmesi Algoritması	Hata Kareler Ortalaması Karekökü (RMSE)	Korelasyon Katsayısı R ²	Ortalama Mutlak Hata (MAE)	Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)
Lineer Regresyon	2.497	0.888	2.004	0.07
Rastsal Orman	1.477	0.970	0.738	0.024
Destek Vektör Makinesi	36.89	0.268	4.812	0.150
Gradient Boosting	2.0825	0.958	1.062	0.035
Yapay Sinir Ağları	2.594	0.938	1.151	0.038
Bagging	1.999	0.9283	1.311	0.04

Şekil 4.30'da lineer regresyon makine öğrenmesi algoritması grafikleri sunulmuştur. Bu algoritmanın korelasyon katsayısı 0.89 olarak belirlenmiştir.



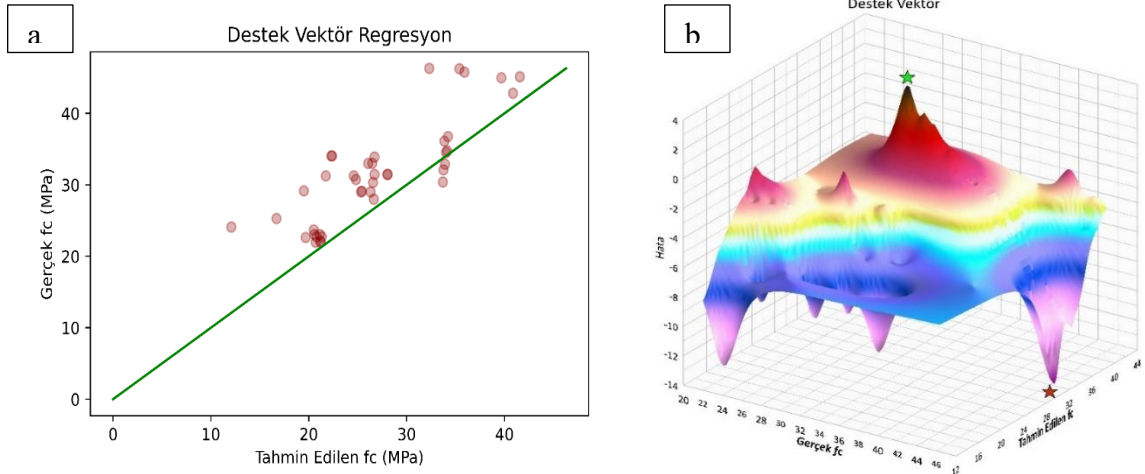
Şekil 4.30.Lineer regresyonu a)Lineer regresyon grafiği b)Lineer regresyon tahmin edilen gerçek dayanım kıyaslaması ve hata 3 boyutlu grafik

Şekil 4.31’de rastsal orman regresyon makine öğrenmesi algoritması grafikleri sunulmuştur. Rastsal orman algoritmasının korelasyon katsayısı 0.97 olarak belirlenmiştir.



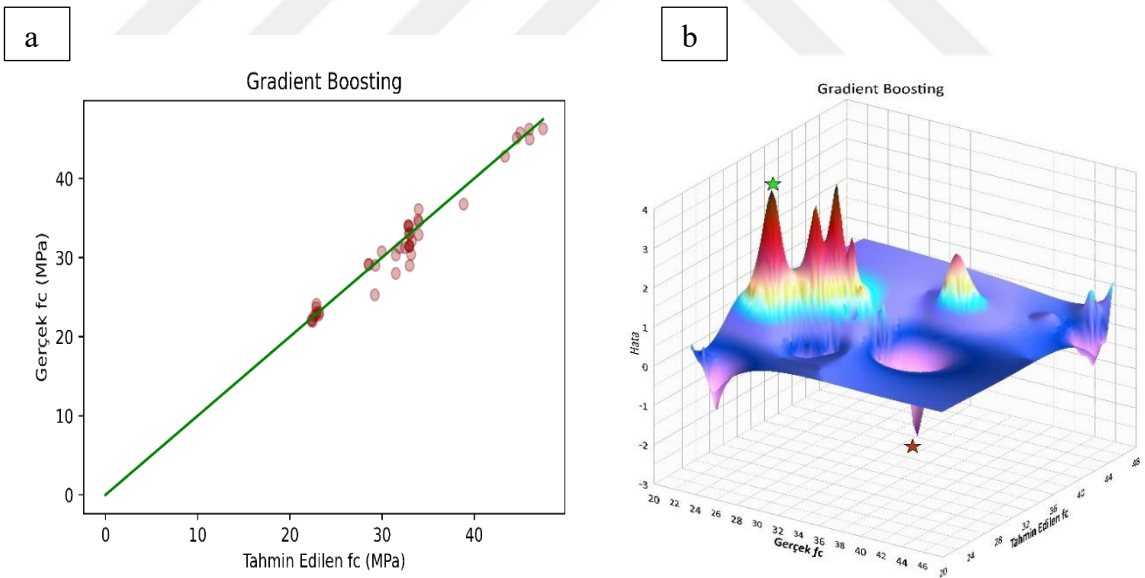
Şekil 4.31. Rastsal orman regresyonu a) Regresyon grafiği b) Rastsal orman regresyon tahmin edilen gerçek dayanım kıyaslaması 3 boyutlu grafik

Şekil 4.32’de destek vektör makineleri makine öğrenmesi algoritması grafikleri sunulmuştur. Diğer algoritmalar arasında destek vektör makineleri en düşük performansı göstermiştir.



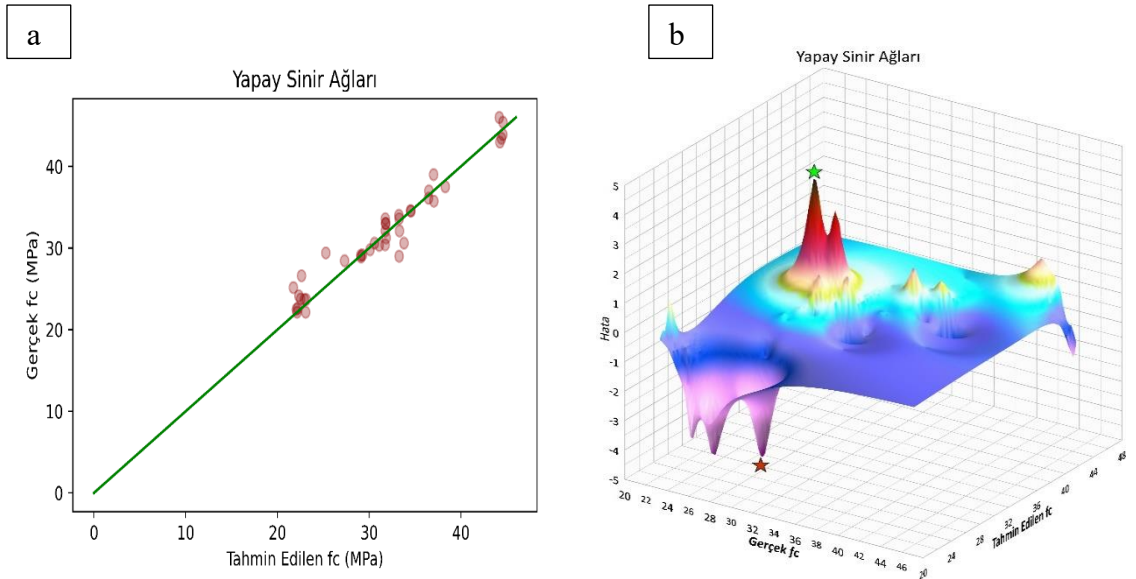
Şekil 4.32. Destek vektör regresyonu a) Regresyon grafiği b) Destek vektör regresyon tahmin edilen gerçek dayanım kıyaslaması 3 boyutlu grafik

Şekil 4.33’de gradyan hızlandırıcı makine öğrenmesi algoritması grafikleri sunulmuştur. Gradyan hızlandırıcı algoritması korelasyon katsayısı 0.96 olarak tespit edilmiş olup bu en iyi ikinci tahmin doğruluğuna sahip algoritma olarak karşımıza çıkmaktadır.



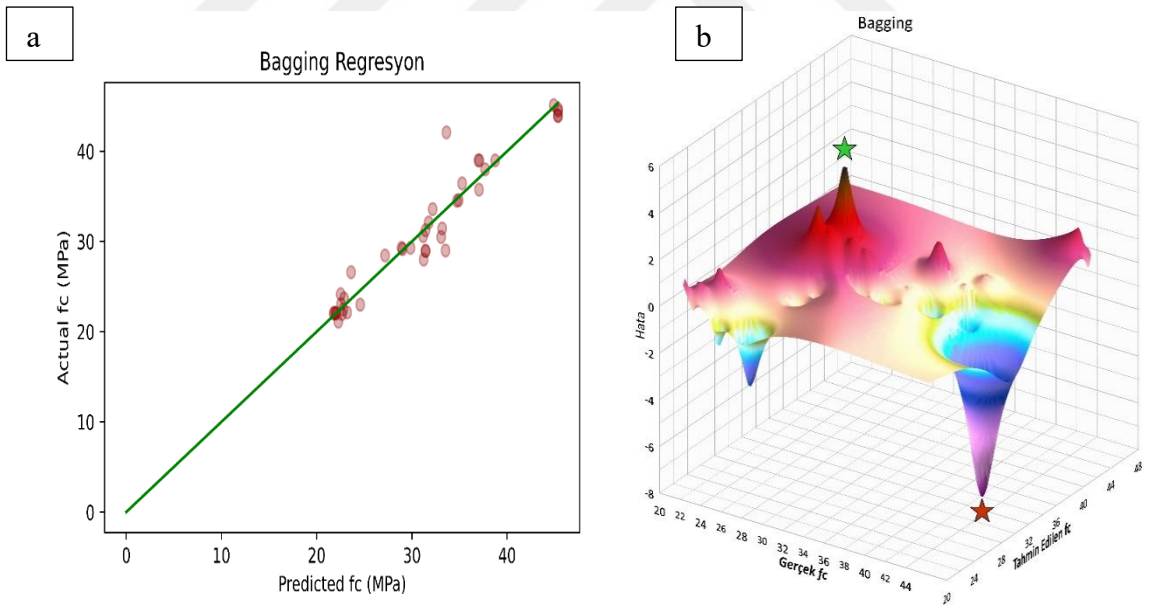
Şekil 4.33. Gradyan hızlandırıcı regresyonu a) Regresyon grafiği b) Gradyan hızlandırıcı regresyon tahmin edilen gerçek dayanım kıyaslaması 3 boyutlu grafik

Şekil 4.34’de yapay sinir ağları makine öğrenmesi algoritması grafikleri sunulmuştur. Yapay sinir ağlarının tahmin doğruluğu 0.94 olarak saptanmıştır.



Şekil 4.34. Yapay sinir ağları regresyonu a) Regresyon grafiği b) Gradyan hızlandırıcı regresyon tahmin edilen gerçek dayanım kıyaslaması 3 boyutlu grafik

Son algoritma olan çantalama regresyonunun korelasyon katsayısı 0.93 olup ilgili grafikler Şekil 4.35'te sunulmuştur.



Şekil 4.35. Çantalama regresyonu a) Regresyon grafiği b) Çantalama regresyon tahmin edilen gerçek dayanım kıyaslaması 3 boyutlu grafik

Response Surface Method ile elde edilen regresyon denklemi yani maksimize edilecek fonksiyon aşağıdaki gibidir

$$\begin{aligned}
 \text{Basınç} &= 3702 - 0,214 \text{ İri Agreg} - 1,795 \text{ İnce Agreg} - 181 \text{ Su/Çimento} \\
 \text{Dayanımı} &- 4,8 \text{ Pigment} + 0,4 \text{ akışkanlaştırıcı} \\
 &- 2,45 \text{ Birim Ağırlık} + 4,77 \text{ Yaş} + 0,000119 \text{ İri Agreg} * \text{İri Agreg} \\
 &+ 0,000620 \text{ İnce Agreg} * \text{İnce Agreg} \\
 &- 255,5 \left(\frac{\text{Su} * \text{Su}}{\text{Çimento} * \text{Çimento}} \right) \\
 &- 0,010 \text{ Pigment}^2 - 0,054 \text{ Akışkanlaştırıcı}^2 \\
 &+ 0,000478 \text{ Birim Ağırlık}^2 - 0,03359 \text{ Yaş}^2 + 0,000004 \text{ İri Agreg} * \\
 &\text{İnce Agreg} + 0,0647 \left[\frac{\text{İri Agreg} * \text{Su}}{\text{Çimento}} \right] + 0,00000 \text{ İri} \\
 &\text{Agreg} * \text{Pigment} + 0,0000000015 \text{ İri Agreg} * \text{Akışkanlaştırıcı} \\
 &- 0,000029 \text{ İri Agreg} * \text{Birim Ağırlık} - 0,000031 \text{ İri Ağırlık} * \text{Yaş} \\
 &+ 0,2381 \left(\text{İnce Agreg} * \frac{\text{Su}}{\text{C}} + 0,00576 \text{ İnce Agreg} * \text{Pigment} \right. \\
 &\left. + 0,00000 \text{ İnce Agreg} * \text{Akışkanlaştırıcı} \right. \\
 &\left. + 0,000315 \text{ İnce Agreg} * \text{Birim Ağırlık} + 0,000367 \text{ İnce Agreg} * \text{Yaş} \right. \\
 &\left. + 0,22 \left[\frac{\text{Su}}{\text{Çimento}} \right] * \text{Pigment} \right] \\
 &+ 0,0000 \left[\frac{\text{Su}}{\text{Çimento}} \right] * \text{Akışkanlaştırıcı} \\
 &+ 0,057 \left[\frac{\text{Su}}{\text{Çimento}} \right] * \text{Birim Ağırlık} - 0,924 \left[\frac{\text{Su}}{\text{Çimento}} \right] * \text{Yaş} \\
 &- 0,000 \text{ Pigment} * \text{Akışkanlaştırıcı} \\
 &- 0,0002 \text{ Pigment} * \text{Birim Ağırlık} + 0,0215 \text{ Pigment} * \text{Yaş} \\
 &+ 0,00000 \text{ Akışkanlaştırıcı} * \text{Birim Ağırlık} \\
 &+ 0,0000 \text{ Akışkanlaştırıcı} * \text{Yaş} - 0,001192 \text{ Birim Ağırlık} * \text{Yaş}
 \end{aligned}$$

En iyileme çalışması sonucunda önerilen optimum karışım: 1165kg iri agreg 850 kg ince agreg %2 pigment 3.66kg akışkanlaştırıcı ve 0.41 su çimento oranı. Bu değerler normalde kullanılan iri agreg ve ince agreg oranından daha büyüktür. Çimento miktarı da artmıştır. 2 Adet validasyon testi yapılmıştır ve sonuçlar öngörülen reçeteye uygunluk göstermektedir. Beklenen sonuç 45.89 MPA gerçekleşen 43 MPA uygunluk değeri %94.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında pigment katkılı silindirle sıkıştırılmış beton numuneler üretilmiş üzerinde yürütülen testler ve elde edilen SSB'lerin simülasyonu sonucu elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Vebe testine maruz kalan tüm numunelerin Vebe zamanı literatürde uygun görülen 20 saniye-75 saniye aralığında yer almaktadır. En düşük vebe zamanı R0 numunelerinde gözlemlenmiş iken en yüksek vebe zamanı 36 sn olarak belirlenmiştir. Numunelerdeki pigment oranı arttıkça vebe süresinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum pigment miktarın arttıkça karışımda kıvam kaybının meydana gelmesi ile açıklanabilir. Diğer deyişle şahit numunelerdeki kıvamı P1.0 numunesinde de elde etmek için daha yüksek miktarda akışkanlaştırıcı veya su kullanılmalıdır.

- Pigment eklemesinin basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı üzerinde çok az miktarda etkisi olduğu söylenebilir. Bu durum pigment katkısının puzolanik özelliğine ya da lif özelliğine sahip olmaması ile açıklanabilir. Bununla birlikte eklenen miktarlar çimentonun hidrasyonuna engel de teşkil etmemektedir. Çalışma kapsamında kullanılan pigment oranları (%0.25, %0.5, %0.75, %1) üretilen SSB'nin basınç ve yarmada çekme dayanımları sonuçları hem literatürdeki benzer çalışmalara uygunluk gösterirken de hem de ilgili standartlardaki asgari dayanımlardan daha yüksektir.

- Üretilen numuneler sülfat çözeltilisine maruz bırakılmıştır. Sülfata maruz kalan numunelerin basınç dayanımları gözlemlendiğinde aynı yaş için sülfata maruz kalmayan numuneler karşılaştırmasında; pigment içeren numunelerdeki dayanım kaybının pigment içermeyen numuneye göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu durum puzolanik malzemeler kadar olmasa da yine de pigmentin boşlukları doldurucu etki yapması ile açıklanabilir.

- En yüksek albedo değeri P0.75 numunesinde belirlenmiş olup P1 numunesinin yansıtıcılığı P0.75'e göre daha düşüktür. Bu durum sarı renk pigmentinin beton içinde arttıkça bir noktadan sonra daha koyu bir renk teşkil etmeye başlamasıyla açıklanabilir.

- Yapılan iki adet simülasyon çalışmasında da hem sabah saatlerinde hem de güneşin en yoğun olduğu öğle saatlerinde pigment katkılı SSB'nin yaygın kullanılan asfalta karşı hem hava sıcaklığı hem nem oranı hem de kaplama yüzeyi sıcaklığı açısından avantajlı olduğu görülmüştür.

- Optimizasyon çalışması kapsamında kullanılan altı makine öğrenmesi algoritmasının en yüksek doğruluk ile tahmin edeni rastsal orman olarak tespit edilmiş olup korelasyon katsayısı 0.97 olarak tespit edilmiştir. Gradyan hızlandırıcı algoritması korelasyon katsayısı 0.96 olarak tespit edilmiş olup bu en iyi ikinci tahmin doğruluğuna sahip algoritma olarak karşımıza çıkmaktadır.

5.2 Öneriler

- Renk pigmentleri betonda genellikle mimari amaçlar için kullanılmaktadır. Kullanılan pigment demir oksit bazlı bir malzemedir. Gelecekte yürütülecek çalışmalarda betonun yansıtıcı özelliğini artırıcı etki yapacak atık malzemeler ya da doğal kaynaklı pigmentler kullanılabilir.

- Tez kapsamında üretilen pigment katkılı SSB numunelerde en yüksek pigment oranı %1'dir. Literatüre uygun ve süresini sağlayacak en yüksek pigment miktarı yani çimentonun yüzdesel olarak oranı ilerleyen çalışmalarda araştırılmalıdır.

- Yapılan bu çalışmada pigment katkılı SSB geliştirilmiş öncelik olarak yol kaplamalarında kullanılabilecek taze hal ve sertleşmiş beton gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığı değerlendirilmiş ardından da simülasyon çalışması yürütülmüştür. Yol kaplama malzemesinin yansıtıcı özellikte olması kentsel ısı adası etkisini kayda değer miktarda azaltmıştır. Bu çalışmada küçük bir mahalle ve ana yol bölgesini kapsamaktadır ve 1 günlük simülasyon zaman dilimi seçilmiştir. Daha detaylı analizler için süper bilgisayar ile çok geniş bir alan örneğin bir ilçe veya bir il seçilip tüm yol kaplama malzemelerinin pigmentli SSB ile yenilenmesi durumunda kentsel ısı adası etkisinin ne kadar azalacağı gelecekte yapılacak çalışmanın konusu olabilir. Benzer şekilde aynı ölçekteki çalışmaya binaların cephe kaplaması, çatı yüzeyleri ve uygun alanların yeşillendirilmesi gibi yeni durumlar eklenmeli farklı kombinasyonlar ve hepsinin aynı anda uygulanması durumunda nasıl bir etki olacağı gözlemlenmelidir. Bu uygulamalar ile günümüz küresel sorunlarından biri olan kentsel ısı adası etkisine karşı etkili bir önlem geliştirilmiş olacaktır. Bu çaplı bir çalışma yapılması durumunda seçilen bölgelerdeki enerji tüketimleri ve yaz mevsiminde soğutma için kullanılan enerji tüketiminin ne kadar azalacağı, enerji tüketiminin azalmasıyla karbon salınımındaki azalma da modellenmelidir. Sonuç olarak yerel yönetimler yeni yerleşim yerlerinde ve mevcut olan yerleşim bölgelerinde bu çalışmalarını göze alarak yönetmelikler geliştirebilir.

- Üretim aşamasında sadece 1 beton karıştırıcı kullanılmış ve tüm karışıma pigment koyulmuştur. İlerleyen çalışmalarda üretim yapılacak laboratuvarında iki adet beton karıştırıcı olması durumunda bir tanesinde ilk 3 katman pigmentsiz, ikinci karıştırıcıda en son katman pigment eklenerek hazırlanabilir. Bu durum pigment kullanımını azaltacaktır.



KAYNAKLAR

- Abaimov, S., & Martellini, M. (2022). Understanding Machine Learning. İçinde *Advanced Sciences and Technologies for Security Applications*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91585-8_2
- Achilleos, C., Hadjimitsis, D., Neocleous, K., Pilakoutas, K., Neophytou, P. O., & Kallis, S. (2011). Proportioning of steel fibre reinforced concrete mixes for pavement construction and their impact on environment and cost. *Sustainability*, 3(7), 965-983. <https://doi.org/10.3390/su3070965>
- ACI 327. (2015a). Guide to Roller-Compacted Concrete Pavements. *American Concrete Institute*, 327R.
- ACI 327. (2015b). Guide to Roller-Compacted Concrete Pavements. İçinde *American Concrete Institute*.
- ACI 327. (2015c). Guide to Roller-Compacted Concrete Pavements. *American Concrete Institute*, 327R.
- ACI 327. (2015d). Guide to Roller-Compacted Concrete Pavements. İçinde *American Concrete Institute*.
- ACI Comitee 522. (2010). Report on Pervious Concrete, ACI 522R-10. İçinde *American Concrete Institute* (s. 42).
- ACPA (American Concrete Pavement Association). (2014). *Roller-Compacted Concrete Guide Specificaiton*. 1-29.
- Adamu, M., Mohammed, B. S., & Shahir, M. (2018). Mechanical properties and performance of high volume fly ash roller compacted concrete containing crumb rubber and nano silica. *Construction and Building Materials*, 171, 521-538. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.138>
- Adamu, M., Mohammed, B.S., Liew, M. S. (2018). Effect of Crumb Rubber and Nano Silica On The Creep and Drying Shrinkage of Roller Compacted Concrete. *International Journal of GEOMATE*, 15(47), 58-65.
- Adinna, E. N., Christian, E. I., & Okolie, A. T. (2009). Assessment of urban heat island and possible adaptations in Enugu urban using landsat-ETM. *Journal of Geography and Regional Planning*.
- Aghabaglou, A. M.-, Bayqra, S. H., Özen, S., Altun, M. G., & Faqiri, Z. A. (2019a). *Silindirle sıkıştırılmış beton karışımlarının tasarım yöntemleri ve yapılan çalışmalar Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Pamukkale University Journal of Engineering Sciences Silindirle sıkıştırılmış beton karışımlarının tasarım yöntemi*. 112. <https://doi.org/10.5505/pajes.2019.93530>
- Aghabaglou, A. M.-, Bayqra, S. H., Özen, S., Altun, M. G., & Faqiri, Z. A. (2019b). *Silindirle sıkıştırılmış beton karışımlarının tasarım yöntemleri ve yapılan çalışmalar Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Pamukkale University Journal of Engineering Sciences Silindirle sıkıştırılmış beton karışımlarının tasarım yöntemi*. 112. <https://doi.org/10.5505/pajes.2019.93530>
- Aghaeipour, A., & Madhkhan, M. (2017). Effect of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) on RCCP durability. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.019>
- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. *Environmental Pollution*, 116(SUPPL. 1), 119-126. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00264-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00264-0)
- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295-310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)

- Akcil, A., & Koldas, S. (2006). Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. İçinde *Journal of Cleaner Production* (C. 14, Sayı 12-13 SPEC. ISS., ss. 1139-1145). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.006>
- Alcoforado, M. J., & Andrade, H. (2006). Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): Main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3), 151-159. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0152-1>
- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480-493. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>
- Alireza, S., Rad, M., & Modarres, A. (2017). Cold Regions Science and Technology Durability properties of non-air entrained roller compacted concrete pavement containing coal waste ash in presence of de-icing salts. *Cold Regions Science and Technology*, 137, 48-59. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.02.006>
- Altun, F., Kişi, Ö., & Aydın, K. (2008). Predicting the compressive strength of steel fiber added lightweight concrete using neural network. *Computational Materials Science*, 42(2), 259-265. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2007.07.011>
- Anting, N., Fadhil, M., Iwao, K., Ponraj, M., Jungan, K., Yee, L., John, A., & Meng, L. (2017). *Experimental evaluation of thermal performance of cool pavement material using waste tiles in tropical climate*. 142, 211-219.
- Asaeda, T., Ca, V. T., & Wake, A. (1996). Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment*, 30(3), 413-427. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00140-5](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00140-5)
- ASTM. (2020). ASTM C1435/C1435M – 20: Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer. İçinde *ASTM*.
- ASTM C 618. (2014). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org. 1-5. <https://doi.org/10.1520/C0618>
- ASTM C496/C496M – 17. (2011). Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens ASTM C-496. *ASTM International, March 1996*, 1-5. [ftp://ftp.astmtmc.cmu.edu/docs/diesel/cummins/procedure_and_ils/ism/Archive/ISM Procedure \(Draft 10\).doc](ftp://ftp.astmtmc.cmu.edu/docs/diesel/cummins/procedure_and_ils/ism/Archive/ISM Procedure (Draft 10).doc)
- ASTM C1170/C1170M - 14. (2014). ASTM C1170, Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table 1. *ASTM International*, 91(Reapproved 1998).
- Auta, S. M., Shiwua, A. J., & Tsado, T. Y. (2015). Compressive strength of concrete with millet husk ash (MHA) as a partial replacement for cement. *Magazine of Civil Engineering*, 59(7), 74-79. <https://doi.org/10.5862/MCE.59.8>
- Bagheri, S. Y., & Ghaemian, M. (2004). *Nonlinear Dynamic Analysis of Lean RCC Dams*.
- Bahi, H., Mastouri, H., Radoine, H. (2020). Review of methods for retrieving urban heat islands. *Materials Today: Proceedings*, 27(2020), 3004-3009.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Felekoğlu K., Aydın, S., Yardımcı, Y.M., Topal, A., Öztürk, A., U. (2012). *Beton*.
- Battistella, L., & Noro, M. (2015). Urban heat island in Padua, Italy: Simulation analysis and mitigation strategies. İçinde *Building Simulation Applications* (C. 2015-Febru, ss. 99-107).
- Behera, M., Bhattacharyya, S. K., Minocha, A. K., Deoliya, R., & Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards

- sustainability in construction sector: A review. *Construction and Building Materials*, 68, 501-516. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003>
- Benouadah, A., Beddar, M., & Meddah, A. (2017a). Physical and mechanical behaviour of a roller compacted concrete reinforced with polypropylene fiber. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2), 623. <https://doi.org/10.4314/jfas.v9i2.1>
- Benouadah, A., Beddar, M., & Meddah, A. (2017b). Physical and mechanical behaviour of a roller compacted concrete reinforced with polypropylene fiber. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2), 623. <https://doi.org/10.4314/jfas.v9i2.1>
- Berry, J. R., Duncan, R. L., Fluhr, R. J., Harvey, R. L., McComb, R. A., McCullough, B. F., Nanni, A., Neff, T. L., Oliverson, J. E., Sherman, T. W., Rice, J. L., & Risser, R. J. (2001a). *Report on Roller-Compacted Concrete Pavements*. 95(Reapproved), 1-32.
- Berry, J. R., Duncan, R. L., Fluhr, R. J., Harvey, R. L., McComb, R. A., McCullough, B. F., Nanni, A., Neff, T. L., Oliverson, J. E., Sherman, T. W., Rice, J. L., & Risser, R. J. (2001b). *Report on Roller-Compacted Concrete Pavements*. 95(Reapproved), 1-32.
- Bertocchi, I., Fini, G., Rubolino, M. C., & Tondelli, S. (2011). Sustainability achievements in building regulations. the example of Bologna. *Procedia Engineering*, 21, 957-967. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2100>
- Bílý, P., Fládr, J., & Haase, M. (2015). Experimental Verification of Properties of Roller-Compacted Concrete for Pavements. *Advanced Materials Research*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1124.307>
- Bowles, M. (2015). Machine Learning In Python. İçinde *Syria Studies* (C. 7, Sayı 1). WILE. https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civil_wars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- Cai, H., & Qiao, Z. (2016). *Impacts of Park Landscape Structure on Thermal Environment Using QuickBird and Landsat Images*. September 2018. <https://doi.org/10.1007/s11769-017-0910-x>
- Calis, G., & Yıldız, S. A. (2019). Investigation of roller compacted concrete: Literature review. *Challenge Journal of Concrete Research Letters*, 10(3), 63. <https://doi.org/10.20528/cjcr.2019.03.003>
- Chhorn, C., Hong, S. J., & Lee, S. W. (2017). ScienceDirect Relationship between compressive and tensile strengths of roller-compacted concrete. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 5(3), 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.09.002>
- Cotana, F., Rossi, F., Filippini, M., Coccia, V., Pisello, A. L., Bonamente, E., Petrozzi, A., & Cavalaglio, G. (2014). Albedo control as an effective strategy to tackle Global Warming: A case study. *Applied Energy*, 130, 641-647. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.02.065>
- Damrongwiriyanupap, Nattapong, Liang, Yu--Chang, Xi, Y. (2012a). *Application of Roller Compacted Concrete in Colorado's Roadways* (Sayı Cd).
- Dareyni, M., Mohammadzadeh Moghaddam, A., & Delarami, A. (2018). Effect of cationic asphalt emulsion as an admixture on transport properties of roller-compacted concrete. *Construction and Building Materials*, 163, 724-733. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.156>

- Debbage, N., & Shepherd, J. M. (2015). Computers , Environment and Urban Systems The urban heat island effect and city contiguity. *CEUS*, 54, 181-194. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.08.002>
- Delatte, N. J. (2014). Concrete pavement design, construction, and performance, second edition. İçinde *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance, Second Edition*. <https://doi.org/10.1201/b17043>
- Deshpande, N., Londhe, S., & Kulkarni, S. (2014). Modeling compressive strength of recycled aggregate concrete by Artificial Neural Network, Model Tree and Non-linear Regression. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(2), 187-198. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.12.002>
- Dilbas, H., Şimşek, M., & Çakir, Ö. (2014). An investigation on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete (RAC) with and without silica fume. *Construction and Building Materials*, 61(March 2006), 50-59. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.057>
- Divya Bhavana, T., Koushik, S., Uday Mani Kumar, K., & Srinath, R. (2017). Pervious concrete pavement. İçinde *International Journal of Civil Engineering and Technology* (C. 8, Sayı 4, ss. 413-421). <https://doi.org/10.3141/2113-02>
- Doulos, L., Santamouris, M., & Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77(2), 231-249. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.005>
- Ecevit, O. (2007). *Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları ve Tasarımı*. Istanbul Technical University.
- El-Sayed, A. A., Fathy, I. N., Tayeh, B. A., & Almeshal, I. (2022). Using artificial neural networks for predicting mechanical and radiation shielding properties of different nano-concretes exposed to elevated temperature. *Construction and Building Materials*, 324(January), 126663. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126663>
- EN 197-1:2004. (2004). EN 197-1: Composition, specifications, and conformity criteria for common cements. *European Standard*. <https://doi.org/10.3403/30205527U>
- EU. (2008a). Directive 2008/122/EC of the European Parliament and of the Council. İçinde *Fundamental Texts On European Private Law* (ss. 3-30). <https://doi.org/10.5040/9781782258674.0028>
- EU. (2008b). Directive 2008/122/EC of the European Parliament and of the Council. İçinde *Fundamental Texts On European Private Law* (ss. 3-30). <https://doi.org/10.5040/9781782258674.0028>
- Fahed, J. Kinab, E. Ginestet, S. and Adolphe, L. (2020). Impact of urban heat island mitigation measures on microclimate and pedestrian comfort in a dense urban district of Lebanon. *Sustainable Cities and Society*, 61.
- Fardin, H. E., & dos Santos, A. G. (2020). Roller compacted concrete with recycled concrete aggregate for paving bases. *Sustainability (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/SU12083154>
- Ferrebee, E. C., Brand, A. S., Kachwalla, A. S., Roesler, J. R., Gancarz, D. J., & Pforr, J. E. (2014). Fracture properties of roller-compacted concrete with virgin and recycled aggregates. *Transportation Research Record*, 2441, 128-134. <https://doi.org/10.3141/2441-17>
- Form, U. (2010). *Urban Form and Extreme Heat Events : Are Sprawling Cities More Vulnerable to Climate Change Than Compact Cities ?* 118(10), 1425-1428. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901879>
- Frias, M., Sanchez De Rojas, M. I., Garcia, R., Juan Valdés, A., & Medina, C. (2012). Effect of activated coal mining wastes on the properties of blended cement. İçinde

- Cement and Concrete Composites* (C. 34, Sayı 5, ss. 678-683).
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.02.006>
- Gaitani, N., Mihalakakou, G., & Santamouris, M. (2007). *On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces*. 42, 317-324. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.08.018>
- Gao, Y., He, B., Li, Y., Tang, J., & Qu, L. (2017). Effects of nano-particles on improvement in wear resistance and drying shrinkage of road fly ash concrete. *Çinde Construction and Building Materials* (C. 151, ss. 228-235).
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.080>
- Ghahari, S. A., Mohammadi, A., & Ramezani-pour, A. A. (2017). Performance assessment of natural pozzolan roller compacted concrete pavements. *Case Studies in Construction Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.03.004>
- Giridharan, R., & Kolokotroni, M. (2009). Urban heat island characteristics in London during winter. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.06.007>
- Golden, J.S., Kaloush, K. E. (2006). Mesoscale and microscale evaluation of surface pavement impacts on the urban heat island effects.pdf. *The International Journal of Pavement Engineering*. <https://doi.org/10.1080/10298430500505325>
- Graeff, A. G., Pilakoutas, K., Neocleous, K., & Peres, M. V. N. N. (2012). Fatigue resistance and cracking mechanism of concrete pavements reinforced with recycled steel fibres recovered from post-consumer tyres. *Engineering Structures*, 45, 385-395. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.06.030>
- Grimmond, S. (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *The Geographical Journal*, 173(1). https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x
- Hahn, G. J., Chatterjee, S., & Price, B. (2006). Regression Analysis by Example. *Çinde Technometrics* (4. bs, C. 21, Sayı 2). Wiley. <https://doi.org/10.2307/1268529>
- Hansen, K. D.; Reinhardt, W. G. (1991). *Roller-Compacted Concrete Dams*. McGraw-Hill.
- Hardle, W., Simar, L. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (2nd bs, C. 15, Sayı 2). Springer.
- Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., & Hazaree, C. (2010). *Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements*. August, 104.
- Hashemi, M., & Shafiq, P. (2018). *Sustainable roller compacted concrete pavement using fly ash*. August.
- Hassani, A., Arjmandi, M. (2010). Enhancement of concrete properties for pavement slabs using waste metal drillings and silica fume. *Waste Management & Research*, 210(28), 56-63. <https://doi.org/10.1177/0734242X09104143>
- Hazaree, C. V. (2007). *Transport properties and freeze-thaw resistance of roller compacted concrete (RCC) for pavement applications*.
- He, J., & Hoyano, A. (2010). Experimental study of cooling effects of a passive evaporative cooling wall constructed of porous ceramics with high water soaking-up ability. *Building and Environment*, 45(2), 461-472. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.07.002>
- Hendel, M., Colombert, M., Diab, Y., & Royon, L. (2014). Improving a pavement-watering method on the basis of pavement surface temperature measurements. *Urban Climate*, 10(P1), 189-200. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.11.002>
- Hendel, M., Gutierrez, P., Colombert, M., Diab, Y., & Royon, L. (2016). Measuring the effects of urban heat island mitigation techniques in the field: Application to the case of pavement-watering in Paris. *Urban Climate*, 16, 43-58. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.02.003>

- Hendel, M., & Royon, L. (2015). The effect of pavement-watering on subsurface pavement temperatures. *Urban Climate*, 14, 650-654. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.006>
- Hesami, S., Salehi Hikouei, I., & Emadi, S. A. A. (2016). Mechanical behavior of self-compacting concrete pavements incorporating recycled tire rubber crumb and reinforced with polypropylene fiber. *Journal of Cleaner Production*, 133, 228-234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.079>
- Holland, R. B., Kurtis, K. E., & Kahn, L. F. (2016). Effect of different concrete materials on the corrosion of the embedded reinforcing steel. *Çinde Corrosion of Steel in Concrete Structures*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-381-2.00007-9>
- Huang, K., Deng, M., Mo, L., Wang, Y. (2013). Early age stability of concrete pavement by using hybrid fiber together with MgO expansion agent in high altitude locality. *Construction and Building Materials*, 48(2013), 685-690. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.089>
- Huynh, C., & Eckert, R. (2012). Reducing Heat and Improving Thermal Comfort through Urban Design – A Case Study in Ho Chi Minh City. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(5), 480-485. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2012.v3.271>
- Ibrahim, A., Mahmoud, E., Yamin, M., & Patibandla, V. C. (2014). Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. *Çinde Construction and Building Materials* (C. 50, ss. 524-529). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.022>
- Johnson, S., Faiz, A., & Visser, A. (2019). Concrete Pavements for Climate Resilient Low-Volume Roads in Pacific Island Countries. *Concrete Pavements for Climate Resilient Low-Volume Roads in Pacific Island Countries*, September. <https://doi.org/10.1596/32394>
- Jones, D. (2012). Advances in Pavement Design through Full-scale Accelerated Pavement Testing. *Çinde Advances in Pavement Design through Full-scale Accelerated Pavement Testing*. <https://doi.org/10.1201/b13000>
- Karadelis, J. N., & Lin, Y. (2015). Flexural strengths and fibre efficiency of steel-fibre-reinforced, roller-compacted, polymer modified concrete. *Construction and Building Materials*, 93, 498-505. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.059>
- Kardinal Jusuf, S., Wong, N. H., Hagen, E., Anggoro, R., & Hong, Y. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat International*, 31(2), 232-242. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2007.02.006>
- Karl, R., & Carolina, N. (1990). *Wei-Chyung Sciences State University ' During those*. 17(12), 2377-2380.
- Karlessi, T., Santamouris, M., Synnefa, A., Assimakopoulos, D., Didaskalopoulos, P., & Apostolakis, K. (2011). Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings. *Building and Environment*, 46(3), 570-576. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.003>
- Kaşak, S., Komut, M. (2019). *KGM Beton Yol Üstyapular Projelendirme Rehberi*.
- Khatib, J. M. (2016). Sustainability of Construction Materials. *Çinde Sustainability of Construction Materials* (2nd bs). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845695842>
- Khayat, K. H., & Libre, N. A. (2014). Roller Compacted Concrete - Field Evaluation and Mixture Optimization. *A National University Transportation Center at Missouri University of Science and Technology*.

- Kııcı, A. (2017). *Beton Yol Kaplama Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması İçin Bir Yazılım Geliştirilmesi*. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Kiyanev, A. V. (2018). Concrete with recycled polyethylene terephthalate fiber Бетон с добавлением фибры из переработанного полиэтилентерефталата. *Magazine of Civil Engineering*, 8(84), 109-118. <https://doi.org/10.18720/MCE.84.11>
- Krüger, E. L., & Pearlmutter, D. (2008). The effect of urban evaporation on building energy demand in an arid environment. *Energy and Buildings*, 40(11), 2090-2098. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.002>
- Kumar, B. (2013). Properties of pavement quality concrete and dry lean concrete with copper slag as fine aggregate. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(8), 746-751. <https://doi.org/10.1080/10298436.2012.729059>
- Kumar, R., Goel, P., & Mathur, R. (2013a). Suitability of concrete reinforced with synthetic fiber for the construction of pavements. *Sustainable Construction Materials and Technologies*, 2013-Augus(July), 448-452.
- Kyriakodis, G. E., & Santamouris, M. (2018). Using reflective pavements to mitigate urban heat island in warm climates - Results from a large scale urban mitigation project. *Urban Climate*, 24, 326-339. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.002>
- L. Berga, J.M. Buil, C. J. and S. C. (2003). *Roller Compacted Concrete Dams* (2nd bs). Taylor & Francis Group.
- LaHucik, J., Dahal, S., Roesler, J., & Amirkhanian, A. N. (2017). Mechanical properties of roller-compacted concrete with macro-fibers. *Construction and Building Materials*, 135, 440-446. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.212>
- LaHucik, J. R., & Roesler, J. R. (2018). *Material Constituents and Proportioning for Roller-Compacted Concrete Mechanical Properties*. 18.
- Lahucik, J., & Roesler, J. (2017). Field and Laboratory Properties of Roller-Compacted Concrete Pavements. *Journal of the Transportation Research Board*, Table 1. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3141/2630-05>
- Lam, M. N. T., Jaritngam, S., & Le, D. H. (2017). Roller-compacted concrete pavement made of Electric Arc Furnace slag aggregate: Mix design and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 154, 482-495. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.240>
- Lam, M. N. T., Jaritngam, S., & Le, D. H. (2018). EAF slag aggregate in roller-compacted concrete pavement: Effects of delay in compaction. *Sustainability (Switzerland)*, 10(4), 1-14. <https://doi.org/10.3390/su10041122>
- Lam, M. N. T., Le, D. H., & Jaritngam, S. (2018). Compressive strength and durability properties of roller-compacted concrete pavement containing electric arc furnace slag aggregate and fly ash. İçinde *Construction and Building Materials* (C. 191, ss. 912-922). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.080>
- Levinson, R., Akbari, H., & Reilly, J. C. (2007). Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. *Building and Environment*, 42(7), 2591-2605. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.005>
- Li, H., Harvey, J., & Jones, D. (2013). Multi-dimensional transient temperature simulation and back-calculation for thermal properties of building materials. *Building and Environment*, 59, 501-516. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.019>
- Li, H., Harvey, J. T., Holland, T. J., & Kayhanian, M. (2013). Erratum: The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management (Environ. Res. Lett. (2013) 8 (015023)). *Environmental Research Letters*, 8(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/049501>

- Liu, H., Luo, G., Wang, L., Wang, W., Li, W., & Gong, Y. (2018). Laboratory evaluation of eco-friendly pervious concrete pavement material containing silica fume. *İçinde Applied Sciences (Switzerland)* (C. 9, Sayı 1). <https://doi.org/10.3390/app9010073>
- Lopez, V. O., Alonso, J. F., Santamaria, A., Aragon, A. Jose, J. t. S. (2017). Performance of fiber-reinforced EAF slag concrete for use in pavements. *Construction and Building Materials*, 149(2017), 629-638. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.174>
- Lopez, V. O., Alonso, J. F., Santamaria, A., Jose, J. t. S. (2018). Durability studies on fiber-reinforced EAF slag concrete for pavements. *Construction and Building Materials journal*, 163(2018), 471-481. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.121>
- Lopez-Uceda, A., Ayuso, J., Jiménez, J. R., Galvín, A. P., & del Rey, I. (2020). Feasibility study of roller compacted concrete with recycled aggregates as base layer for light-traffic roads. *Road Materials and Pavement Design*, 21(1), 276-288. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1483257>
- Lopez-Uceda, A., Ayuso, J., Jiménez, J. R., Galvín, A. P., & Del Rey, I. (2020). Feasibility study of roller compacted concrete with recycled aggregates as base layer for light-traffic roads. *Road Materials and Pavement Design*, 21(1), 276-288. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1483257>
- Lordo, R. A. (2001). Learning from Data: Concepts, Theory, and Methods. *İçinde Technometrics* (C. 43, Sayı 1). <https://doi.org/10.1198/tech.2001.s558>
- Luhr, D. (Department of T. A. U. S. A. C. of E. (2006a). *Engineering and Design ROLLER-COMPACTED CONCRETE* (Sayı EM 1110-2-2006).
- Kaplan, G., Yildizel, S.A, Öztürk, A. U., Doğan, E. (2016). *Demir Oksit Katkılı Pigmentler Kullanılarak Üretilen Mimari Betonların Donma-Çözülme Dayanıklılığının İncelenmesi*.i Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences, 2(2),1-9.
- Karagüler, M., Terzi, M., Kuloğlu, Ş. (2012). *Renklendirici Katkuların Mimari Beton Özelliklerine Etkisi*. Türkiye Hazır Beton Birliği.
- Madhkhani, M., Azizkhani, R., & Torki Harchegani, M. E. (2012). Effects of pozzolans together with steel and polypropylene fibers on mechanical properties of RCC pavements. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.05.009>
- Madhkhani, M., Nowroozi, S., & Torki, M. E. (2015). Flexural strength of roller compacted concrete pavements reinforced with glass-roved textiles. *Structural Engineering and Mechanics*, 55(1), 137-160. <https://doi.org/10.12989/sem.2015.55.1.137>
- Mardani-Aghabaglou, A., & Ramyar, K. (2013a). Mechanical properties of high-volume fly ash roller compacted concrete designed by maximum density method. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.109>
- Mardani-Aghabaglou, A., & Ramyar, K. (2013b). Mechanical properties of high-volume fly ash roller compacted concrete designed by maximum density method. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.109>
- Martins, T. A. L., Adolphe, L., Bonhomme, M., Bonneaud, F., Faraut, S., Ginestet, S., Michel, C., & Guyard, W. (2016). Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: Simulations for a new district of Toulouse, France. *Sustainable Cities and Society*, 26, 9-26. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.003>

- Mazumder, A. R., Kabir, A., & Yazdani, N. (2006). Performance of Overburnt Distorted Bricks as Aggregates in Pavement Works. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18(6), 777-785. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2006\)18:6\(777\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2006)18:6(777))
- Menon, S., Akbari, H., & Mahanama, S. (2010). Radiative forcing and temperature response to changes in urban albedos and associated CO₂ offsets. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014005>
- Menon, S., Akbari, H., Mahanama, S., Sednev, I., & Levinson, R. (2010). Radiative forcing and temperature response to changes in urban albedos and associated CO₂ offsets. *Environmental Research Letters*, 5(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014005>
- Modarres, A., Hesami, S., Soltaninejad, M., & Madani, H. (2018). Application of coal waste in sustainable roller compacted concrete pavement-environmental and technical assessment. *International Journal of Pavement Engineering*, 19(8), 748-761. <https://doi.org/10.1080/10298436.2016.1205747>
- Modarres, A., & Hosseini, Z. (2014a). Mechanical properties of roller compacted concrete containing rice husk ash with original and recycled asphalt pavement material. *Materials and Design*, 64, 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.072>
- Modarres, A., & Rahmanzadeh, M. (2014). Application of coal waste powder as filler in hot mix asphalt. *Çinde Construction and Building Materials* (C. 66, ss. 476-483). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.002>
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Muscalu, M. T., Radu, A., Budescu, M., Țăranu, N., & Florescu, E. (2013). Use of Recycled Materials in the Construction of Roller Compacted Concrete (RCC) Pavements. *Advanced Materials Research*, 649, 262-265. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.649.262>
- Müller, K. R., Smoła, A. J., Rättsch, G., Schölkopf, B., Kohlmorgen, J., & Vapnik, V. (1997). Predicting time series with support vector machines. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 1327(x), 999-1004. <https://doi.org/10.1007/bfb0020283>
- Nanni, A., & Johari, A. (1989a). RCC pavement reinforced with steel fibers. *Concrete International*.
- Nassar, R. U. D., Soroushian, P., & Ghebrab, T. (2013). Field investigation of high-volume fly ash pavement concrete. *Çinde Resources, Conservation and Recycling* (C. 73, ss. 78-85). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.006>
- Neocleous, K., Angelakopoulos, H., Pilakoutas, K., & Guadagnin, M. (2011). Fibre-reinforced roller compacted concrete transport pavements. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 164(2), 97-109. <https://doi.org/10.1680/tran.9.00043>
- Neocleous, K., Angelakopoulos, H., Pilakoutas, K., & Guadagnini, M. (2011). Fibre-reinforced roller-compacted concrete transport pavements. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*. <https://doi.org/10.1680/tran.9.00043>
- O'Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R. P., & Pomponi, F. (2015). Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. *Sustainable Cities and Society*, 19, 222-235. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.009>

- Omary, S., Ghorbel, E., & Wardeh, G. (2016a). Relationships between recycled concrete aggregates characteristics and recycled aggregates concretes properties. *Construction and Building Materials*, *108*, 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.042>
- Omran, A., Harbec, D., Tagnit-Hamou, A., & Gagne, R. (2017a). Production of roller-compacted concrete using glass powder: Field study. *Construction and Building Materials*, *133*, 450-458. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.099>
- P. Suraneni, V.J. Azad, O.B. Isgor, W. J. W. (2017). Use of Fly Ash to Minimize Deicing Salt Damage in Concrete Pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2629*(1). <https://doi.org/10.3141/2629-05>
- Pavement, C. (1990). *Roller compacted*.
- Performance, M., Spectrophotom-, N. I., Mass, A., Solar, Z., Tables, I., Materials, S., & Sunlight, U. (1996). *Standard Test Method for Solar Absorptance , Reflectance , and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres 1. 03*, 1-9.
- Phelan, P. E., Kaloush, K., Miner, M., Golden, J., Phelan, B., Silva, H., & Taylor, R. A. (2015). Urban Heat Island: Mechanisms, Implications, and Possible Remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, *40*, 285-307. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021155>
- Piggott, R. W. (1999). *Roller Compacted Concrete Pavements - A Study of Long Term Performance*. 1-65.
- Polkar, R. , Zang, C., Yunqian, M. (2012). Ensemble Machine Learning Methods and Applications. İçinde Y. Zhang, C., Ma (Ed.), *Ensemble Machine Learning*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9326-7>
- Pranav, S., Aggarwal, S., Yang, E. H., Kumar Sarkar, A., Pratap Singh, A., & Lahoti, M. (2020). Alternative materials for wearing course of concrete pavements: A critical review. İçinde *Construction and Building Materials* (C. 236). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117609>
- Qin, Y., Luo, J., Chen, Z., Mei, G., & Yan, L. E. (2018). Measuring the albedo of limited-extent targets without the aid of known-albedo masks. *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.043>
- Rafieizonooz, M., Mirza, J., Salim, M. R., Hussin, M. W., Khankhaje, E. (2016). Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement. *Construction and Building Materials*, *116*(2016), 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.080>
- Rakesh, P., Maddala, P., Priyanka, M. L., & Barhmaiah, B. (2021). Proceedings Strength and behaviour of roller compacted concrete using crushed dust. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.875>
- Rao, S. K., Sravana, P., & Rao, T. C. (2016a). Abrasion resistance and mechanical properties of Roller Compacted Concrete with GGBS. *Construction and Building Materials*, *114*, 925-933. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.004>
- Rao, S. K., Sravana, P., & Rao, T. C. (2016b). Investigating the effect of M-sand on abrasion resistance of Roller Compacted Concrete containing GGBS. *Construction and Building Materials*, *122*, 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.054>
- Rao, S. K., Sravana, P., & Rao, T. C. (2016c). Investigating the effect of M-sand on abrasion resistance of Roller Compacted Concrete containing GGBS. *Construction and Building Materials*, *122*, 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.054>

- Reza, F., & Boriboonsomsin, K. (2015). 3 - Pavements made of concrete with high solar reflectance. İçinde *Eco-efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs* (C. 2). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-380-5.00003-0>
- Rooholamini, H., Hassani, A., & Aliha, M. R. M. (2018). Evaluating the effect of macro-synthetic fibre on the mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using response surface methodology. *Construction and Building Materials*, 159, 517-529. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.002>
- Rooholamini, H., Sedghi, R., Ghobadipour, B., & Adresi, M. (2019). Effect of electric arc furnace steel slag on the mechanical and fracture properties of roller-compacted concrete. *Construction and Building Materials*, 211, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.223>
- Roy, S., Miura, T., Nakamura, H., & Yamamoto, Y. (2018). Investigation on applicability of spherical shaped EAF slag fine aggregate in pavement concrete – Fundamental and durability properties. *Construction and Building Materials*, 192, 555-568. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.157>
- Runsheng, T., Etzion, Y., & Erell, E. (2003). Experimental studies on a novel roof pond configuration for the cooling of buildings. *Renewable Energy*, 28(10), 1513-1522. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00002-8)
- Sabih, G., & Tarefder, R. A. (2016). Impact of variability of mechanical and thermal properties of concrete on predicted performance of jointed plain concrete pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(6), 436-444. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.09.005>
- Sabnis, G. M. (2016a). *Green Building with Concrete Sustainable Design and Construction* (2nd bs). Taylor & Francis Group.
- Sabnis, G. M. (2016b). *Green Building with Concrete Sustainable Design and Construction* (2nd bs). Taylor & Francis Group.
- Salata, F., Golasi, I., Vollaro, A. D. L., & Vollaro, R. D. L. (2015). How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study. *Energy and Buildings*, 99, 32-49. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.010>
- Sallam, H. E. D. M., Mubarak, M., & Yusoff, N. I. M. (2014). Application of the Maximum Undamaged Defect Size (d max) Concept in Fiber-Reinforced Concrete Pavements. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(12), 8499-8506. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1400-4>
- Saluja, S., Kaur, K., Goyal, S., & Bhattacharjee, B. (2019). Assessing the effect of GGBS content and aggregate characteristics on drying shrinkage of roller compacted concrete. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.179>
- Saneinejad, S., Moonen, P., & Carmeliet, J. (2014a). Comparative assessment of various heat island mitigation measures. *Building and Environment*, 73, 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.013>
- Saneinejad, S., Moonen, P., & Carmeliet, J. (2014b). Comparative assessment of various heat island mitigation measures. *Building and Environment*, 73, 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.013>
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings - A review. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052>

- Santamouris, M., & Yun, G. Y. (2020). Recent development and research priorities on cool and super cool materials to mitigate urban heat island. *Renewable Energy*, *161*, 792-807. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.109>
- Satoh, K. (2008). Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference, ECML PKDD 2008, Antwerp, Belgium, September 15-19, 2008, Proceedings, Part II. İçinde *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*: C. 4914 LNAI.
- Shamsaei, M., Aghayan, I., & Kazemi, K. A. (2017a). Experimental investigation of using cross-linked polyethylene waste as aggregate in roller compacted concrete pavement. *Journal of Cleaner Production*, *165*, 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.109>
- Shamsaei, M., Aghayan, I., & Kazemi, K. A. (2017b). Experimental investigation of using cross-linked polyethylene waste as aggregate in roller compacted concrete pavement. *Journal of Cleaner Production*, *165*, 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.109>
- Sharma, S. K., Chopadekar, A. D., Bhatia, S. Y. (1996). Improvement in Pavement Quality Concrete by Using Pozzolanic Materials With Polypropylene Fiber. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*, 116-126.
- Singh, H. (2017). Steel Fiber Reinforced Concrete Behavior, Modelling and Design. İçinde *Steel Fiber Reinforced Concrete Behavior, Modelling and Design*.
- Singh, R. (2019). Urban Sprawl and Its Impact on Generation of Urban Heat Island : A Case Study of Ludhiana City. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *47*(9), 1567-1576. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-00994-8>
- Siu, L. W., & Hart, M. A. (2013). Quantifying urban heat island intensity in Hong Kong SAR, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, *185*(5), 4383-4398. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2876-6>
- Smith, C., & Levermore, G. (2008). Designing urban spaces and buildings to improve sustainability and quality of life in a warmer world. *Energy Policy*, *36*(12), 4558-4562. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.011>
- Sofi, A. (2018). Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review. *Ain Shams Engineering Journal*, *9*(4), 2691-2700. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.08.007>
- Standard Test Method for Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution*. (2004). www.astm.org,
- Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M., & Soulakellis, N. (2008). On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *47*(11), 2846-2856. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC1830.1>
- Takahashi, R., Asakura, A., Koike, K., Himeno, S., & Fujita, S. (2010). Using Snow Melting Pipes to Verify the Water Sprinkling's Effect over a Wide Area. *Novatech 2010*, 10.
- Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2009). Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking. *Solar Energy*, *83*(8), 1211-1223. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.01.019>
- Takebayashi, H., Moriyama, M. (2012). Study on Surface Heat Budget of Varioud Pavements for Urban Heat Island Mitigation. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/523051>

- Taleghani, M., & Berardi, U. (2018). The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto. *Urban Climate*, 24, 449-459. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.05.007>
- Tam, V. W. Y., Butera, A., Le, K. N., Silva, L. C. F. D., & Evangelista, A. C. J. (2022). A prediction model for compressive strength of CO₂ concrete using regression analysis and artificial neural networks. *Construction and Building Materials*, 324(January), 126689. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126689>
- Tavakoli, D., Sakenian Dehkordi, R., Divandari, H., & de Brito, J. (2020). Properties of roller-compacted concrete pavement containing waste aggregates and nano SiO₂. *Construction and Building Materials*, 249, 118747. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118747>
- Tayanç, M., & Toros, H. (1997). Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey. *Climatic Change*, 35(4), 501-524. <https://doi.org/10.1023/A:1005357915441>
- THBB. (2018). *Geçirimli Beton Uygulama Kılavuzu*.
- Thongkanluang, T., Chirakanphaisarn, N., & Limsuwan, P. (2012). Preparation of NIR reflective brown pigment. *Procedia Engineering*, 32, 895-901. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.02.029>
- Toplicic-Curcic, G., Grdic, D., Ristic, N., & Grdic, Z. (2015). Properties, materials and durability of rolled compacted concrete for pavements. *Zastita materijala*, 56(3), 345-353. <https://doi.org/10.5937/zasmat1503345t>
- TS EN 12390-3. (2010). TS EN 12390-3 Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri–Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. İçinde *Ankara: Türk Standardları Enstitüsü*.
- US EPA. (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Cool Pavements. *Epa*, 1-23.
- Vardoulakis, E., Karamanis, D., Fotiadi, A., & Mihalakakou, G. (2013). The urban heat island effect in a small Mediterranean city of high summer temperatures and cooling energy demands. *Solar Energy*, 94, 128-144. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.04.016>
- Verian, K. P., Panchmatia, P., Olek, J., & Nantung, T. (2015). Pavement concrete with air-cooled blast furnace slag and dolomite as coarse aggregates: Effects of deicers and freeze-thaw cycles. *Transportation Research Record*, 2508(8), 55-64. <https://doi.org/10.3141/2508-07>
- Wang, C., Chen, W., Hao, H., Zhang, S., Song, R., & Wang, X. (2018). Experimental investigations of dynamic compressive properties of roller compacted concrete (RCC). *Construction and Building Materials*, 168, 671-682. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.112>
- Wei, P., Lu, Z., & Song, J. (2015). Variable importance analysis: A comprehensive review. *Reliability Engineering and System Safety*, 142, 399-432. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.05.018>
- Williams, S. G. (2014). Construction of Roller-Compacted Concrete Pavement in the Fayetteville Shale Play Area, Arkansas. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. <https://doi.org/10.3141/2408-06>
- Won, J. P., Jang, C. Il, Lee, S. W., & Kim, W. Y. (2009). Durability performance of roller compacted concrete using fly ash. İçinde *Brittle Matrix Composites 9*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845697754>
- Yamagata, H., Nasu, M., Yoshizawa, M., Miyamoto, A., & Minamiyama, M. (2008). Heat island mitigation using water retentive pavement sprinkled with reclaimed

- wastewater. *Water Science and Technology*, 57(5), 763-771.
<https://doi.org/10.2166/wst.2008.187>
- Yan, X., Su, X. G. (209M.S.). Linear Regression Analysis. İçinde *World Scientific* (C. 22, Sayı 1). <https://doi.org/10.2307/1268395>
- Yang, J. M., Shin, H. O., & Yoo, D. Y. (2017). Benefits of using amorphous metallic fibers in concrete pavement for long-term performance. İçinde *Archives of Civil and Mechanical Engineering* (C. 17, Sayı 4, ss. 750-760).
<https://doi.org/10.1016/j.acme.2017.02.010>
- Yener, E., & Hınıslioğlu, S. (2011). The effects of silica fume and fly ash on the scaling resistance and flexural strength of pavement concretes. İçinde *Road Materials and Pavement Design* (C. 12, Sayı 1, ss. 177-194).
<https://doi.org/10.1080/14680629.2011.9690358>
- Yılmaz, M., & Bakış, A. (2015). Sustainability in Construction Sector. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2253-2262.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.312>
- Yoshitake, I., Ueno, S., Ushio, Y., Arano, H., & Fukumoto, S. (2016). Abrasion and skid resistance of recyclable fly ash concrete pavement made with limestone aggregate. İçinde *Construction and Building Materials* (C. 112, ss. 440-446).
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.185>
- Yuan, Z., Wang, L. N., & Ji, X. (2014). Prediction of concrete compressive strength: Research on hybrid models genetic based algorithms and ANFIS. *Advances in Engineering Software*, 67, 156-163.
<https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.09.004>
- Zabihia, R., & Nejad, J. (2017). Investigating the strength indices of roller compacted concrete containing propylene fibers for the pavement of roads. *Revista QUID*, 1(1), 475-483.
- Zelić, J. (2005). Properties of concrete pavements prepared with ferrochromium slag as concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*, 35(12), 2340-2349.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.11.019>
- Zhang, W., Gong, S., & Zhang, J. (2018a). Effect of rubber particles and steel fibers on frost resistance of roller compacted concrete in potassium acetate solution. *Construction and Building Materials*, 187, 752-759.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.244>
- Zhang, W., Gong, S., & Zhang, J. (2018b). Effect of rubber particles and steel fibers on frost resistance of roller compacted concrete in potassium acetate solution. *Construction and Building Materials*, 187, 752-759.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.244>
- Zhou, Z. H. (2012). Ensemble Methods Foundations and Algorithms. İçinde *SEAISI Quarterly (South East Asia Iron and Steel Institute)* (C. 13, Sayı 2). Taylor & Francis Group LLC.
- Тузи́ков, Ф. В., Раги́но, Ю. И., Тузи́кова, Н. Л., Иванова, М. В., Тали́мов, Р. В., & Никитин, Ю. П. (2017). Ф.В. Тузи́ков2, Ю.И. Раги́но1, Н.Л. Тузи́кова2, М.В. Иванова1, Р.В. Тали́мов2, Ю.П. Никитин1. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) 2017*, 41(2), 84-93.

TEZ ÇALIŞMASIYLA İLGİLİ YAYINLAR

1. ÇALIŞ GÖKHAN, YILDIZEL SADIK ALPER, KESKİN ÜLKÜ SULTAN (2022). Investigation of Colour Pigment Incorporated Roller Compacted High Performance Concrete as a Mitigation Tool Against Urban Heat Island. Case Studies in Construction Materials, 17, 1-18., Doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01479 (Yayın No: 7791713)
2. ÇALIŞ GÖKHAN, YILDIZEL SADIK ALPER, KESKİN ÜLKÜ SULTAN Predicting Compressive Strength of Colour Pigment Incorporated Roller Compacted Concrete via Machine Learning Algorithms– A Comparative Study (Hakem İncelemede)
3. KESKİN ÜLKÜ SULTAN, YILDIZEL SADIK ALPER, ÇALIŞ GÖKHAN (2021). URBAN HEAT ISLAND EFFECTS OF PAVEMENTS. NRSEM 2021 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:7720517)
4. KESKİN ÜLKÜ SULTAN, YILDIZEL SADIK ALPER, ÇALIŞ GÖKHAN (2021). URBAN HEAT ISLAND EFFECTS OF PAVEMENTS. NRSEM 2021 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:7720517)
5. ÇALIŞ GÖKHAN, YILDIZEL SADIK ALPER, KESKİN ÜLKÜ SULTAN (2022). Evaluation of Fresh State of Color Pigment Incorporated Roller Compacted Concrete . 4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:7923907)