



**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

KURU KARIŞIM PÜSKÜRTME BETONDA GERİ SEKMENİN ARAŞTIRILMASI

Mert ALKAN

BURDUR, 2020

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

KURU KARIŞIM PÜSKÜRTME BETONDA GERİ SEKMENİN ARAŞTIRILMASI

Mert ALKAN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Hakan İNCE

BURDUR, 2020

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Kuru Karışım Püskürtme Betonda Geri Sekmenin Araştırılması”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

17 / 06 / 2020

(İmza)

Mert ALKAN

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın ortaya çıkması için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Hakan İNCE teşekkürlerimi sunarım.

Modelleme konusunda değerli yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Ahmet Ali SÜZEN' e ve Araştırmalarımnda hiçbir yardımı esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Melda ALKAN ÇAKIROĞLU ve Murat Gökhan ÇAKIROĞLU'na teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Haziran, 2020

Mert ALKAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Püskürtme Beton	9
2.1.1. Kuru Karışım Püskürtme Beton.....	11
2.1.2. Yaş Karışım Püskürtme Beton.....	12
2.1.3. Geri Sekme	12
2.2. Topluluk Öğrenme.....	13
2.2.1. Topluluk Öğrenme Yöntemleri.....	14
2.2.1.1. Bayes Optimum Sınıflandırma.....	14
2.2.1.2. Bagging.....	15
2.2.1.3. Boosting.....	16
2.2.1.4. Bayesian Parametre Ortalaması	16
2.2.1.5. Bayes Model Kombinasyonu	16
2.2.1.6. Stacking	17
2.2.1.7. Voting	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal	19
3.1.1. Çimento	19
3.1.2. Agrega	19
3.1.3. Su.....	20
3.1.4. Kimyasal Katkı	20
3.1.5. Uçucu Kül.....	20
3.1.6. Silis Dumanı	20
3.1.7. Fiber (Lif) Katkı.....	20
3.2. Yöntem.....	20
3.2.1. Veri Kümesinin Tanımlanması	29
3.2.2. Topluluk Öğrenme Yaklaşımı	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	32
4.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları.....	32
4.2. Yoğunluk Deney Sonuçları	33
4.3. Geri Sekme Sonuçları	34

4.4. Modelin Doğruluğunun Değerlendirilmesi.....	34
5. SONUÇ	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ.....	45



ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Basitleştirilmiş kuru karışım püskürtme beton sistemi	12
Şekil 2.2. Topluluk öğrenme modeli	14
Şekil 2.3. Bagging yöntemi	15
Şekil 2.4. Voting sınıflandırma tahmin yöntemi	18
Şekil 3.1. Agrega karışımının granülometri eğrisi	19
Şekil 3.2. Panellerin hazırlanması.	21
Şekil 3.3. Serilerde yer alan numuneler	22
Şekil 3.4. Malzemelerin tartılması.....	23
Şekil 3.5. Karışımın hazırlanması.....	23
Şekil 3.6. Püskürtme beton makinesine karışımın ilave edilmesi	24
Şekil 3.7. Püskürtme beton uygulaması	24
Şekil 3.8. Geri seken malzemenin toplanması	25
Şekil 3.9. Geri seken malzemenin tartılması.....	25
Şekil 3.10. Panellerin kürü	26
Şekil 3.11. Panellerden karot alınması.....	26
Şekil 3.12. Karot numuneler	27
Şekil 3.13. Karotların kesilmesi	27
Şekil 3.14. Karotların kür havuzuna yerleştirilmesi	28
Şekil 3.15. Karot numunelerin basınç dayanım testi	28
Şekil 3.16. Önerilen topluluk öğrenmesi modeli.....	29
Şekil 4.1. 7 Günlük basınç dayanımı değerleri	32
Şekil 4.2. 28 Günlük basınç dayanımı değerleri	33
Şekil 4.3. Numunelerin yoğunluk değerleri	33
Şekil 4.4. Serilerin geri sekme değerleri.....	34
Şekil 4.5. Tahmin değerleri ile deney sonuçlarının karşılaştırılması	36
Şekil 4.6. Makine öğrenme algoritmaları ile Adaboosting model sonuçlarının karşılaştırılması.....	36

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Püskürtme betonun uygulama alanlarına göre istenilen özellikleri.....	11
Tablo 3.1. Çimentonun özellikleri	19
Tablo 3.2. Uçucu külün kimyasal özellikleri.....	20
Tablo 3.3. Silis dumanı kimyasal özellikleri	20
Tablo 3.4. 1 m ³ Beton karışımı için gerekli malzeme miktarları.....	21
Tablo 3.5. Karot numunelerin kodları	27
Tablo 3.6. Veri kümesinde parametreler ve tanımlar.....	29
Tablo 3.7. Biçimlendirilmiş AdaBoost algoritması	31
Tablo 3.8. Modelin başlangıç parametreleri	31
Tablo 4.1. Modelin tahmin performansının karşılaştırılması	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ANOVA	: Tek Yönlü Varyans Analizi
BHA	: Birim Hacim Ağırlık
BPA	: Bayes Parametre Ortalaması
BMC	: Bayesci Model Kombinasyonu
C	: Tüm Olası Sınıfların Kümesi
dk	: Dakika
D	: Veri Kümesi
e	: Olası Model Kombinasyonu
E	: Uzay Elemanı
EFNARC	: Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu
FRS	: Lifli Püskürtme Beton
G	: Toplama İşlevi
H	: Hipotez Alanı
HPPF	: Yüksek Performanslı Polipropilen Lif
HPWMS	: Yüksek Performanslı Yaş Karışım Püskürtme Beton
K	: İndükleyici
LSTM	: Uzun-Kısa Vadeli Hafıza Ağları
m	: Özellik
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
MPa	: Mega Pascal
MSE	: Ortalama Karesel Hata
n	: Örnek
P	: Olasılık
R	: Belirlilik Katsayısı
RMSE	: Ortalama Hata Karekökü
SCM	: Çimento Esaslı Malzeme
T	: Eğitim Verisi
W	: Ağırlık Dağılımı
y	: Sınıf
YSA	: Yapay Sinir Ağları
$\mathcal{G}$	: Topluluk Öğrenme Modeli

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kuru Karışım Püskürtme Betonda Geri Sekmenin Araştırılması

Mert ALKAN

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Hakan İNCE

Haziran, 2020

Bu tez çalışmasında püskürtme uygulamasında geri seken malzeme miktarı deneysel uygulamayla topluluk öğrenmesi yöntemlerinden Adaboost algoritmasının veri kümesinde kullanılmak üzere elde edilmiştir. Çalışmada iki adedi yalın olmak üzere silis dumanı ve uçucu kül %10 ve %20 oranlarında çimentoyla hacimce yer değiştirilerek polipropilen lif ise (5 kg/m^3 ve 10 kg/m^3) oranlarında ilave edilerek toplam 14 adet numune üretilmiştir. Panellere püskürtme uygulaması esnasında geri seken malzeme toplanmış, tartılmış ve veri olarak kaydedilmiştir.

Deneysel çalışmadan elde edilen bulgulara göre; numunelerin 28 günlük en düşük basınç dayanımı %20 uçucu kül ikameli numunede, en yüksek basınç dayanımı ise %10 silis dumanı ikameli numunede gözlenmiştir.

Geri sekme sonuçlarına bakıldığında en fazla geri sekme yalın numunede gözlenmiştir. Yalın numuneyi % 20 uçucu kül ikameli numuneler takip etmektedir. En düşük değerler silis dumanı ikameli numunelerde gözlenmiştir. Özellikle silis dumanı miktarı arttıkça geri sekmenin azaldığı tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veri kümesinde bağımlı ve bağımsız parametreler belirlenmiştir. Modelin eğitimi için optimum sonuç veren hiperparametreler model ve Boosting yöntemi için belirlenmiştir. Sonuç olarak modelin tahmin performansında %84.25'lik başarı elde edilmiştir. Önerilen modelin performansının test edilmesi için geleneksel makine öğrenme algoritmaları ile aynı veri kümesi üzerinde karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda önerilen modelin en yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: kuru karışım püskürtme beton, geri sekme, uçucu kül, silis dumanı, polipropilen lif, topluluk öğrenme modeli, AdaBoosting.

SUMMARY

M. Sc. Thesis

The Research of Rebound in Dry Mixing Shotcrete

Mert ALKAN

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Master of Science**

Supervisor: Asst.Prof.Dr. Hüseyin Hakan İNCE

June, 2020

In this thesis, the amount of material rebounding in the shotcrete application was obtained to be used in the dataset of Adaboost algorithm, which is one of the methods of community learning with the experimental application. In the study, as two of 14 samples were produced as plain and the others were produced by adding silica fume and fly ash that were replaced of the ratio of 10% and %20 of cement volume, and by adding polypropylene fiber at the rates of (5 kg / m³ and 10 kg / m³).

During the application of the shotcrete to the panels, the rebound material was gathered and then weighed and registered as the data. According to the findings that were obtained from the experimental study; the lowest compressive strength of the samples for the 28th days was observed in the sample, which is 20% fly ash substitution, and the highest compressive strength was observed in the sample that has 10% silica fume substitution.

When considering the results of the rebound, the most rebound was observed in the plain sample. The plain sample was followed by the samples with %20 fly ash substitution. The lowest values were observed with the silica fume substitution. Especially, a reduction of the rebound was detected with the increment of the amount of the silica fume.

As a result of experimental studies, dependent and independent parameters were determined in the data set that was obtained. The Hyperparameter model and Boosting method that give the optimum results for the training of the model were determined. In conclusion, %84.25 success was achieved in the prediction performance of the model. In order to test the performance of the suggested model, It was compared the traditional machine learning algorithms with on the same data set. As a result, it has been found that the proposed model has the highest accuracy.

Keywords: dry mix shotcrete, rebound, fly ash, silica fume, polypropylene fiber, machine learning model, AdaBoosting.

1. GİRİŞ

Günümüzde doğal kaynakların tükenmeye başlaması ve insan nüfusunun hızla artmasıyla meydana gelen atıkların azaltılması, mevcut atıkların potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, hammadde olarak yeniden kullanılması gibi sürdürülebilir atık yönetimi yaklaşımı giderek önem kazanmaya başlamıştır (Demirel ve Öz, 2017; Gönen vd., 2012). Atıkların hammadde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmesine geri dönüşüm denir. Geri kazanım ise atıkların yeniden kullanılarak, enerji elde etmek (yakma vb.) veya fiziksel ya da kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir ürün elde etme amacıyla toplanmasıdır (Gürer vd., 2004).

İnşaat ve yıkıntı atıkları içerisinde ağırlıkça en büyük payı beton atıkları oluşturmaktadır (Demir, 2009). II. Dünya Savaşı'ndan itibaren beton en temel yapı malzemesi olmuş ve şimdilerde sudan sonra dünya çapında en çok tüketilen ikinci malzeme olmuştur (Saade vd., 2018; Yılmazoğlu vd., 2016). Beton üretiminde büyük oranda doğal kaynaklar kullanılmaktadır (Demirel vd., 2015). Doğal kaynakların sınırlı olması, geri dönüşüm uygulamalarının özellikle inşaat sektöründe potansiyel bir hammadde kaynağı olarak kullanılması alternatifini ortaya çıkarmıştır (Demirel ve Öz, 2017). Dünyada ve ülkemizde çeşitli sektörlerde ortaya çıkan atıkların tekrar üretimde kullanımının çevreye ve ekonomiye katkısı önemlidir (Kadiroğlu vd., 2017). Atık malzemelerin inşaat sektöründe kullanımı ile endüstriden kaynaklı çevresel problemin önüne geçmekle kalmayıp aynı zamanda ekonomik getiri de sağlanmaktadır (Demirel ve Öz, 2017).

Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması, atıkların güvenli bir şekilde yok edilmesinin yanı sıra hammadde elde etmek için çevreye verilen zararların azaltılmasını da sağlamaktadır. Atıklar çevre sorununun yanı sıra birçok durumda depolanma zorunluluğundan dolayı ilave maliyet getirmektedir (Aydın, 2013). Geri dönüştürme işlemleri ayrıca bir yatırım gerektirdiği gibi malzemelerin tamamı da geri dönüştürülememektedir (Özel vd., 2011). Bu nedenle, birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır (Aydın, 2013). İlerleyen teknoloji ile doğaya bırakılan endüstriyel atıkların artmaya başlaması, çevreye ve insan sağlığına ciddi oranda zarar vermektedir. Bu atıklar, zararlı etkilerinin azaltılması, enerji tasarrufunun sağlanması ve geri dönüşüm olarak kullanılması için günümüzde çeşitli sanayi tesislerinde yaygın olarak

kullanılmaktadır (Koçak ve Alpaslan, 2011). Atık malzemelerin de bir değeri olmakla beraber bu atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilirler (Aydın, 2013). Başka bir endüstrinin atığı olan bir malzemenin beton endüstrisinde değerli bir katkıya dönüştüğü çoğu kez karşılaşılan bir durumdur (Gönen vd., 2012).

İnşaat sektöründe olduğu gibi özel üretim teknikli betonlardan olan pşkrtme beton da uygulama esnasında meydana gelen geri sekme atık malzeme sorunu yaşatmaktadır. Pşkrtme beton uygulaması esnasında betonun bir kısmı yüzeye, donatıya veya daha önceden pşkrtlen betona çarparak geri seker. Bu geri seken malzeme kesinlikle karışıma katılmayarak atık olarak nitelendirilmektedir.

Bu çalışmada kuru karışım pşkrtme betonun geri sekmesi üzerine mineral ve polipropilen liflerin etkisini incelemenin yanı sıra geri sekmenin tahmini konusunda, modelleme geliştirerek potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Alhozaimy vd., (1996), çalışmalarında geleneksel beton ve farklı puzolanik malzemeli betonların hacimce %0.05 ila %0.30 arasında değişen fibrilatlı polipropilen liflerinin basınç ve eğilme dayanımı, tokluk ve darbe dayanımı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda polipropilen liflerinin, geleneksel betonun basınç dayanımı ve tokluğu üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, silis dumanı yalın ve lifli betonlarda ortalama basınç dayanımını %17 ve %23 oranında arttırmıştır. Çalışmada incelenen hacim oranlarında polipropilen liflerinin eğilme dayanımı üzerinde hiçbir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Polipropilen lifler betonun ilk çatlak ve kırılma dayanımını arttırmıştır. Genel olarak puzolanlar betonun darbe dayanımını azaltırken, polipropilen lifler ve puzolanlar arasındaki pozitif etkileşimler (lifler puzolanların varlığında daha etkilidir), lifli betonun darbe dayanımının artmasına yol açmıştır.

Celep ve Kumbasar (2000), püskürtme beton üzerine yapmış oldukları çalışmalarında geri sekme sorununa değinmişlerdir. Püskürtme esnasında geri sekmenin en büyük dane büyüklüğüne, donatı miktar ve şekli ile püskürtme tabakası kalınlığına bağlı olduğunu ve bunlarda değişiklik yapılarak geri sekmenin azaltılabileceğini ancak yüzeyin eğiminin de önemli bir unsur olduğunu belirtmişlerdir. Başlangıçta geri seken malzeme miktarı fazla bile olsa zamanla betonun yüzeye yapışmasıyla bu oranın giderek azaldığını ayrıca püskürtme tabancasının yüzeye dik tutulmamasının, sallanmasının ve karışım suyunun az olmasının sıçramayı arttırıcı bir etken olduğunu ifade etmişlerdir.

Pfeuffer ve Kusterle, (2001), tarafından yapılan çalışmada harç karışımlarının akıcılık özellikleri üzerine katkılarının sağladığı kohezyon ve kalınlık, su azaltma ve su/çimento oranının etkisi araştırılmıştır. Harç üzerine reolojik bilgiler bir viskometer kullanılarak elde edilmiştir. Püskürtme ile ilgili laboratuvar testleri sonucunda geri sekme ve reolojik karakteristikler arasında bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

Cengiz ve Turanlı, (2004), çelik hasır, çelik lif ve yüksek performanslı polipropilen lif üzerine deneysel araştırmalar yapmıştır. Avrupa şartnamesine (EFNARC) uygun olarak panel testleri aynı karışım tasarımına sahip 18 prizmatik numune üzerinde yapılmış ve çeşitli liflerle takviye edilmiştir. Ayrıca, bu karışımların geri tepme özellikleri, yerinde lif içeriğini karşılaştırmak için incelenmiştir. Deney sonuçları, düşük modüllü lif olan HPPF'ler dahil tüm takviyelerin, eğilme duktilitesi, tokluk ve yük taşıma kapasitesine olumlu etki yaptığını göstermiştir. Hibrit lif kullanımında çelik ve polipropilen lif arasında

performans açısından olumlu bir sinerji etkisinin olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, kompozitin mekanik özelliklerinden daha iyi verim elde etmek için püskürtme beton uygulamalarında takviye olarak hibrit bir polipropilen-çelik lifin alternatif olarak çelik hasır ve mono çelik lifin kullanılabileceği sonucuna varılabileceği belirtilmiştir. Ek olarak, bu karışımların geri sekme özellikleri lif miktarlarını karşılaştırmak için incelenmiştir. Liflerin geri sekme özellikleri karşılaştırıldığında, püskürtme betonda HPPF kullanılmasının avantajlı olduğu sonucu elde edilmiş çünkü yalnızca püskürtme beton performansında bir artışa neden olmamış aynı zamanda geri sekme nedeniyle lif kaybında azalmaya neden olmuştur. Çalışmada geri sekmeyi azaltmanın önemli finansal etkileri olduğuna da değinilmiş ve lif kaybının azaltılmasını (püskürtme beton karışımının en pahalı bileşeni olarak lifler) artırarak, HPPF ve FRS (lifli püskürtme beton) ekonomikliğinin geliştirilebileceği vurgulanmıştır.

Köken vd., (2008), tarafından yapılan çalışmada beton basınç mukavemeti 20 MPa olan atık betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregalarının fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmış ve bunun için farklı karışımlarda beton üretilmiştir. Çalışmada karışımlar 3 seri halinde hazırlanmıştır. Birinci serinin tamamı geri dönüşüm agregası, ikinci serinin iri agregası geri dönüşüm agregası olup ince agregası kırma taş kumudur. Üçüncü serinin tamamı kırma taş agregadan üretilmiştir. Bütün karışımlar aynı dozajda üretilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonlarda geri dönüşüm agregası oranı arttıkça beton basınç mukavemetinde azalma olduğu benzer şekilde geri dönüşüm agrega miktarı arttıkça betonun yarmada çekme dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Geri dönüşüm agregalarının işlenebilirliği azaltması, betonun hem basınç hem de çekme mukavemetini azaltmasına rağmen hiçbir kimyasal katkı maddesi kullanılmadan, farklı beton dozajları, farklı su/çimento oranları ve farklı gradasyon eğrileri denenmeden tamamen geri dönüşüm agregasından 28 günlük beton basınç dayanımı 13.14 MPa olan beton elde edilebildiği belirtilmiştir.

Ballou, (2009), tarafından yapılan çalışmada püskürtme betonun geri sekmesi ve geri sekmeyi etkileyen faktörler incelenmiştir. Püskürtme betonun uygulama mekaniğinin bilinmesinin önemine yer verilmiştir. Çalışmada püskürtme beton uygulamasından maksimum verim alabilmek için eğitilmiş ve sertifikalı personel kullanma ihtiyacı konusunda eğitime önem verilmesi önerilmiştir. Ayrıca geri sekmeyi kontrol altına almak için püskürtme uygulamasında yapılması gerekenlere de değinilmiştir.

Gönen vd., (2012), çalışmalarında betona; endüstriyel veya endüstriyel olmayan diğer atık malzemelerin katılıp katılamayacağını literatür araştırması ve optimum oranları

hakkında bilgilere yer verilmiştir. Çalışmada; beton teknolojisinde yaygın kullanılan (silis dumanı, mermer tozu, uçucu kül vb.) atıkların dışında; plastikler, arıtma çamuru, poliüretan köpük, boya atıkları, atık döküm kumu ve araba lastiği gibi daha yeni malzemeler üzerine bir inceleme yapılmıştır. Sonuç olarak incelenen malzemelerin, beton içerisinde yerini aldığı malzeme ile kıyaslandığında ya aynı performansı ya da daha üstün performans sergilediği belirtilmiştir.

Hubáček vd., (2013), tarafından yapılan çalışmada tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemleriyle püskürtme betonun özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada püskürtme betonun basınç dayanımının değerlendirilmesinde tahribatsız muayene yöntemlerinin kullanılabilirliği incelenmiştir. Sonuçta püskürtme betonun basınç dayanımının değerlendirilmesi için tahribatsız test yöntemlerinin kullanılabilirliği kanıtlanmıştır.

Kaufmann vd., (2013), çalışmalarında yaş karışım püskürtme betonun mekanik performansı üzerine lif miktarı, dağılımı ve yöneliminin etkileri incelenmiştir. Çalışmada sınırları belli olan yapay taş kabartmaların üzerine püskürtme beton püskürtülmüş ve lifin yanı sıra geri seken malzeme toplanarak analiz edilmiştir. Püskürtme betonda lif yönlenmesi, X-ray bilgisayarlı tomografi ile analiz edilmiştir. Plastik liflerin özellikleri düşük yoğunluklarına rağmen özel morfolojik filtreleme ile analiz edilebilmiştir. Püskürtme yüzeyi boyunca püskürtülen bu liflerin tercih edilen bir yönelim gözlenmiştir.

Yun vd., (2015), çalışmalarında geleneksel yaş karışım püskürtme beton uygulamasında karşılaşılan sorunları çözmek için çeşitli katkı maddelerinin yüksek performanslı yaş karışım püskürtme betonunun (HPWMS) reolojik özellikleri üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Özellikle silis dumanı, hava sürükleyici katkı ve sentetik lif gibi çeşitli katkı maddelerinin yaş karışım püskürtme betonun pompalanabilirliği ile ilişkisi araştırılmıştır. Tanımlanan reolojik özelliklerin, püskürtülebilirlik ve pompalanabilirlik gibi püskürtme beton uygulamasının pratik göstergeleriyle ilişkilendirilmesine vurgu yapılmıştır. Reolojik özellikler bir IBB reometresi kullanılarak ölçülmüştür. Geri sekme oranının, tabaka kalınlığı ile neredeyse ters doğrusal bir ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Hem akış direnci hem de tork viskozitesinin geri sekme oranı ile net bir ilişkisi tespit edilmemiştir.

Çakıroğlu ve Çimen, (2015), çalışmalarında, püskürtme beton uygulaması sırasında geri seken malzeme ile parke taşı üreterek, bu numuneler üzerinde birim hacim ağırlık (BHA), aşınma değerleri ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. Geri seken malzeme ile üretilen parke taşlarının çekme dayanımı değerlerini Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile tahmin edebilmek için bir model geliştirilmiştir. YSA modeli geliştirilirken aşınma

miktarları ve BHA değerleri girdi olarak kullanılmıştır. Çalışmada, püskürtme beton uygulaması esnasında geri seken malzeme kullanılarak üretilen parke taşlarının çekme dayanımlarının belirlenebilmesi için 29 adet parke taşı numune hazırlanmıştır. Çalışmada parke taşlarından elde edilen aşınma kaybı değerleri ve birim hacim ağırlık değişkenlerine bağlı olarak çekme dayanımının tahmin edilebilmesi için bir YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelden elde edilen veriler, geri seken malzeme ile üretilen parke taşlarının deneysel verileriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Çekme dayanımı değerlerini tahmin edebilmek için geliştirilen YSA modelinin performansı, korelasyon katsayısı ve ortalama mutlak hata değerlerine göre değerlendirilmiştir. Geliştirilen model deney verileri ile karşılaştırıldığında, eğitim ve test setleri için yüksek korelasyon katsayı değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak geliştirilen model ile deney sonuçlarının yüksek oranda tahmin edilebildiği ve ayrıca geliştirilen model kullanılarak çekme dayanımının tahmin edilebileceği belirtilmiştir.

Yıldız vd., (2015), çalışmalarında püskürtme beton karışımlarında optimum geri sıçrama değerlerinin elde edebilmek için farklı plastik viskozite değerlere sahip püskürtme betonlar, kalıp normali ile üç farklı açı (90° , 75° ve 45°) ve kalıptan üç farklı yükseklikten (50cm, 40cm ve 30 cm) püskürtülecek şekilde Abaqus CAE sonlu elemanlar programında modellemiştir. Elde edilen sonuçlar, aynı değerlere sahip uygulama verileri ile karşılaştırılmıştır. En az sıçrama püskürtme uygulamasında en uygun açı olan yüzeye dik (90°) durumunda görülmüştür. Püskürtme için en uygun mesafenin $L=30$ cm olduğu ve mesafe arttıkça sıçramanın hızının arttığı belirtilmiştir. Kalıp yüzeyi ile nozul sıçratma doğrusu arasındaki açı azaldıkça, sıçrama hızı artmıştır. Dolayısı ile sıçrayan beton miktarı da bu hıza bağlı olarak artmıştır. Betonun viskozite değeri artan şekilde yapılan analizler sonucunda sıçrayan beton miktarı azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak püskürtme açısı, püskürtme yüksekliği ve betonun viskozitesi arasında kararlı bir korelasyonun olduğu belirtilmiştir.

Yun vd., (2015a), yaptıkları çalışmada yaş karışım püskürtme betonda karşılaşılan sorunları çözmek için çeşitli katkı maddelerinin yüksek performanslı yaş karışım püskürtme betonunun reolojik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan katkılar silis dumanı, hava sürükleyici, süper plastikleştirici, sentetik lif, toz polimer ve viskozite maddesidir. Yüksek performanslı yaş karışım katkı türleri ve içerikleri ile pompalanabilirliğini ve atılabilirliğini değerlendirmek için reolojik özellikleri bir IBB reometresi kullanılarak ölçülmüştür. Silis dumanının yüksek performanslı yaş karışım

püskürtme betonun reolojik özelliklerini, özellikle atılabilirlik ve pompalanabilirlik açısından artırmada oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

Şentürk, (2016), tarafından yapılan çalışmada püskürtme betonun yaklaşık maliyetinin mümkün olduğunca gerçekçi bir yaklaşımla hesaplanması için yazılım C# ile Microsoft Visual Studio ortamında bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program hazırlanırken püskürtme betonun (malzeme, nakliye, işçilik, geri sekme vb.) parametrelerinin maliyete olan etkileri göz önüne alınmıştır. Çalışmada ayrıca programdan elde edilen veriler örnek bir çalışma ile karşılaştırılmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar ile uygulamada yapılan örnek projenin sonuçları değerlendirilmiş programın Bakanlığın birim fiyat analizine yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Armengaud vd., (2017), tarafından yapılan çalışmada, püskürtme betonun taze beton özellikleri ve geri sekme arasındaki ilişki ve bu konuya çimento esaslı malzemelerin (SCM) nasıl etki ettiği incelenmiştir. Bu çalışmada, çimentonun metakaolin, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu veya silis dumanı ile kısmen yer değiştirildiği 5 karışım farklı kıvamlarda püskürtülmüştür. Çalışma kapsamında taze püskürtme beton penetrasyon deneyleri (statik ve dinamik) yapılmıştır. Çimento esaslı malzemelerin geri sekmeyi azaltmada etkili olduğu ve bu etkinliklerinin de kıvama bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yousefieh vd., (2017), yaptıkları çalışmada kısıtlı koşullar altında kuruma büzülmesini ve çatlamayı azaltmada farklı liflerin kullanımının performansını değerlendirmek amaçlanmıştır. Hem polimerik hem de çelik lifin betonda kullanılmasının etkinliğini araştırmak için çalışmada polipropilen lif, poliolefin lif ve çelik lif olmak üzere üç farklı lif türü kullanılmıştır. Çalışmada kuruma büzülmesinin liflerin elastiklik modülüne bağlı olduğu bunun yanı sıra liflerin fiziksel özelliklerinin çatlak genişliğinin azalmasında etkili olduğu da belirtilmiştir.

Baricevic vd., (2018), yaptıkları çalışma da geri dönüştürülmüş lastik polimer liflerin yaş püskürtme beton karışımlarında mikro donatı olarak kullanımı ve polipropilen liflere alternatif olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırmıştır. Çalışmada hava sürükleyici bir karışım içeren ve içermeyen olmak üzere iki grup püskürtme beton karışımı hazırlanmıştır. Karışımlar, kılcal su emme ve gaz geçirgenliği, donma-çözülme direnci ve otojen deformasyonu dahil olmak üzere taşıma özellikleri test edilmiştir. Yaş püskürtme karışımların donma-çözünme çevirimleri sırasında geri dönüştürülmüş lastik polimer liflerin olumlu etkisini olduğu tespit edilmiştir. Hava sürükleyici olan ve olmayan karışımlar arasındaki taşıma özelliklerinde gözlemlenen farklılıklar gözenek yapısındaki değişikliklerle açıklanmıştır.

Khooshechin ve Tanzadeh, (2018), tarafından yapılan çalışmada geleneksel ve püskürtme betonun dayanımını lif ve nanomalzemelerle modifiye edilmesine göre değerlendirmek için mekanik deneyler yapılmıştır. Püskürtme betona lif ve nanomalzemelerin ilave edilmesi püskürtme malzemesinin geri sekmesini ve rötreden dolayı meydana gelen çatlamanın etkisini azalttığı tespit edilmiştir.

Yu vd., (2018), çalışmalarında lif ilavesinin (naylon, cam ve çelik) püskürtme beton karışımı üzerine etkilerini araştırmayı amaçlanmıştır. Bu çalışmada, yoğunluk, su emme, boşluk hacmi, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve lifli karışımların hacim değişikliği gibi parametreler belirlenmiştir. Sonuçlar, lif ilavesinin su emme ve gözenek alanını azaltarak karışım dayanımını artırabildiğini göstermiştir. Püskürtme beton karışımlarına lif ilavesinin genleşmeyi kontrol ederken dayanımı arttırdığı görülmüştür. Püskürtme beton karışımına lif ilavesi, su geçirgenliğini ve geçirgenliği dolaylı olarak yansıtan gözenek boşluğu hacmini azaltmıştır. Azalan geçirgenlik, genleşmeyi azaltmış ve böylece karışımın dayanımını arttırmıştır.

Yun vd., (2019), çalışmalarında püskürtme işlemi öncesi ve sonrasında yaş karışım püskürtme betonunun hava boşluğu özellikleri mikroskobik araştırmalar yaparak incelenmiştir. Çalışma da hava boşluğu analizi ve bilgisayarlı görüntü analizi teknikleri kullanılarak, pompalama ve atış işlemlerinin yaş karışım püskürtme beton karışımlarının hava boşluğu özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hem hava boşluğu analizi hem de görüntü analizi, hava içeriği, aralık faktörü ve hava boşluğuna spesifik yüzey alanı gibi hem taze hem de sert karışımların hava boşluğu özelliklerini izlemek için kullanılmıştır. Hava boşluğu özellikleri hakkında kapsamlı bir çalışma için farklı agrega granülometrilere sahip ve çimentolu malzemelerin (uçucu kül, silis dumanı, metakaolin ve öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu) toplamda 28 karışım üretilmiştir. Sonuçlar yaş karışım püskürtme betonunun hava boşluğu özelliklerinin, topaklanma, çökme, havanın içeri girmesi ve mineral katkıları ilavesi gibi karışım özelliklerinden ziyade püskürtme ve atış işlemleriyle daha yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

Süzen ve Çakıroğlu, (2019), çalışmada kuru karışım püskürtme beton uygulaması sırasında geri seken malzemenin miktarını tahmin edebilmek için bir derin sinir ağı modeli önerilmiştir. Modelin eğitilmesinde kullanılan geri seken malzemeye ait parametreler veri setleri deneysel çalışmalardan elde edilmiş ve derin sinir ağı modelin Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM) mimarisinde kullanılmıştır. Önerilen dört katmanlı tahmin modelinin geliştirilmesinde veri seti %90 eğitim %10 test şeklinde bölümlenmiştir. Derin sinir ağı 11 bağımlı 1 bağımsız veri ile tahmin için en uygun hiperparametre değerleri belirlenerek

modellenmiştir. LSTM modelinin başarısı performansında doğruluk, hata performansı ortalama karesel hata (MSE) ve ortalama hata karekökü (RMSE) üzerinden değerlendirilmiştir.

Chen vd., (2019), tarafından yapılan çalışmada püskürtme işleminin (pompalama ve püskürtme) taze yaş karışım betonunun reolojik özellikleri ve hava içeriği üzerindeki etkisini araştırmak için tam ölçekli deneysel bir yaş karışım püskürtme beton sistemi geliştirilmiştir. Taze betonun reolojik parametreleri, çökme ve hava içeriği, pompalamadan önce, pompalamadan sonra ve püskürtme sonrasında ölçülmüştür. Pompalama ve püskürtme işlemlerinin müdahalesi altında, beton özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin tahmin modelleri geliştirilmiştir. Son olarak, pompalama ve püskürtme işlemlerinin beton özellikleri üzerindeki etkisinin derecesini analiz etmek için tek yönlü bir varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Genel olarak, hava içeriği pompalamadan sonra azalırken, akış direnci pompalamadan sonra azalmış daha sonra püskürtme işleminden sonra artmıştır.

2.1. Püskürtme Beton

Püskürtme beton, onarım veya yapım amacı ile önceden hazırlanmış olan betonun hava basıncı yardımı ile yüksek hızla uygulama yüzeyi veya uygulama alanına püskürtülerek elde edilmesi ile oluşur (TS 11747 1995; TS EN 14487-1 2006).

Püskürtme beton esas olarak yeraltı madenciliği ve tünel açma, rehabilitasyon çalışmaları ve karmaşık bir eleman şekli gerektiğinde kullanılır (Duarte vd., 2019). Püskürtme beton, yeni inşa edilen yapıların yanında özellikle eski yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Mevcut kargir, tuğla, çelik ve betonarme yapıların yüzlerinin beton tabakasıyla kaplanmasında ve güçlendirilmesinde, çelik yapıların sıcaklık etkisinden korunmasında ve güçlendirilmesinde vb. yerlerde kullanılır (Celep, 2017). Ülkemizde 1985 yılından itibaren alt yapı yatırımlarının artmasıyla birlikte metro tünelleri, sulama tünelleri ve madenlerin ana hazırlık galerilerinde püskürtme betonun uygulandığı gözlenmektedir (Arioğlu ve Yüksel, 1999).

Büyük ölçekli yüzeysel onarım işleri için püskürtme beton, belirli kurallara dikkat edilmek kaydıyla başarı ile kullanılmaktadır. Püskürtme beton eski veya yeni betonla mükemmel aderans gösterir. Genellikle yüzeysel onarımlarda en sık kullanılan ve en ekonomik yöntemdir. Düşey yüzeylere ve tavana uygulandığında kalıp gerektirmez ve kendini tutabilme özelliği nedeniyle herhangi bir sarkma göstermez (Baradan vd., 2002).

Başarılı sonuçlar elde etmek için püskürtme beton uygulaması öncesinde yapılan yüzey hazırlığı çok önemlidir. Hasar görmüş betonun sağlam beton yüzeyine ulaşana kadar sökülmesi ve yüzeyin temizlenmesine dikkat edilmelidir. Püskürtme betonun klasik betondan tek ve en büyük farkı uygulanma metodudur. Hasır çelik ve çelik donatı uygulama yapılacak yüzeye güvenli bir şekilde sabitlenerek nozzle ile uygulama sırasında herhangi bir gevşeklik veya oynamanın olması önlenmelidir.

- ❖ Özellikle uygulama yapılacak yüzeyin doymuş kuru yüzey elde edilene kadar ıslatılmasını sağlamak;

- ❖ Kaliteli işçilik;

- ❖ Nozzle tekniklerini yeterli ve doğru kullanmak;

- ❖ Kaliteli ve uygun püskürtme beton karışımı (dizaynı) kullanımını sağlamak;

- ❖ Püskürtülen beton priz almaya başlamadan önce kesme ve son yüzey şeklinin verilmesini sağlamak;

- ❖ İlaveten yeterli ve uygun beton kürelemesinin yapıldığından emin olmak (Sofis, 2015).

Püskürtme betonu yapacak kişinin tecrübeli olması, uygulamanın başarılı olmasında çok önemlidir. Püskürtme tabancası yüzeye imkanlar nispetinde dik ve 1,0 - 1,5 m uzaklıkta tutulmalıdır. Uzak tutulan tabanca, donatının arkasını yeterince betonla dolduramayacağı için, yüzeyde kesikler meydana getirebilir ve ileride çatlak oluşumuna sebep olabilir. Yakın tutulan tabancada ise yüzeye yapışma tam olarak sağlanamaz. Beton zaiyatı meydana gelir (Ediz, 2006).

Tablo 2.1’de proje istekleri göz önüne alınarak püskürtme beton malzemesinde aranan özellikler verilmiştir.

Tablo 2.1. Püskürtme betonun uygulama alanlarına göre istenilen özellikleri (Pölla vd., 1996).

Uygulama	Fonksiyonel Özellikler
Su Tünelleri	Taşıyıcılık, Yüzey Kalitesi, Sızdırmazlık
Atık Su (Kanal) Tünelleri	Taşıyıcılık, Sızdırmazlık, Kimyasal Dayanıklılık
Karayolu Tünelleri	Taşıyıcılık, Yüzey Kalitesi, Sızdırmazlık, Donma-Çözülme Dayanımı, Yangına Dayanıklılık
Yeraltı Genel Kullanım Yapıları (Sığınak, Otopark)	Taşıyıcılık, Yüzey Kalitesi, Sızdırmazlık, Yangına Dayanıklılık, Darbelere Dayanıklılık
Yerüstü Yapıları	Taşıyıcılık, Yüzey Kalitesi, Sızdırmazlık, Donma-Çözülme Dayanımı (Ayrışma)
Depolar	Depolanılan Malzemenin Özelliklerine Bağlı Tahkimat Sistemi, Kimyasal Dayanıklılık, Yüzey Kalitesi

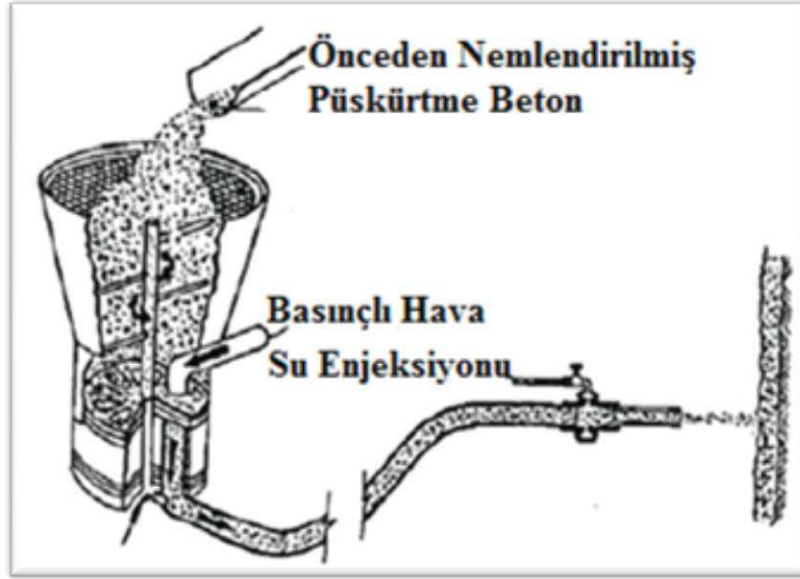
Püskürtme beton uygulamalarında kuru ve yaş karışım olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır.

2.1.1. Kuru Karışım Püskürtme Beton

Çimento, agrega ve toz hızlandırıcı (varsa) kuru karışım püskürtme beton makinesinde uygun ölçülerde karıştırıldıktan sonra karışım iletim borusu ile püskürtme ucuna basınçlı havayla iletilir. Püskürtme ucundaki bu kuru karışım bu sırada diğer bir borudan gelen basınçlı su ve (varsa) sıvı hızlandırıcı ile birleşir ve elde edilen karışım basınçla hava yardımıyla yüzeye püskürtülür (Girgin vd., 1998).

Şekil 2.1’de kuru karışım püskürtme beton sistemi görülmektedir. Yaş karışım işleminin aksine, su/çimento oranını kontrol etmek mümkün değildir. Dolayısıyla, operatör betona gelen su akışını kontrol etmekle sorumludur (Duarte vd., 2019). Bu yöntemde karışımın hazırlanmasından püskürtülünceye kadar geçen sürenin 15 dk.’yı geçmesi istenmez. Çünkü agregadaki nem dolayısıyla karışımında topaklanma ve ön hidrasyon olayı gelişmeye başlar. Bunun sonucunda uygulanan karışımın geri sekmesi artar ve dayanım sorunları ortaya çıkabilir (Arioğlu ve Yüksel, 1999).

Kuru karışım işlemi, geri sekme nedeniyle kayıplara neden olur. Bu nedenle, karışım tasarımları geri sekmeyi azaltmaya yöneliktir. Bu amaçla, kuru karışım püskürtme beton karışımları genellikle yüksek bir bağlayıcı ve kum içeriğine sahiptir (Armengaud vd., 2018).



Şekil 2.1. Basitleştirilmiş kuru karışım püskürtme beton sistemi (Singh vd., 2014)

2.1.2. Yaş Karışım Püskürtme Beton

Yaş karışım püskürtme beton işlemi sırasında, taze beton pompa basıncı altında borular aracılığıyla, betonu püskürtme betonun uygulanacağı yüzeye iletecek olan basınçlı hava ile buluşacağı nozüle taşınır (Chen vd., 2019). Kuru karışıma nazaran yaş karışım püskürtme beton teknolojisi, düşük toz konsantrasyonu, kalite kontrole daha fazla olanak sağlaması, otomasyona yatkın olması, düşük geri sekmesi nedeniyle gittikçe daha popüler hale gelmiştir (Thomas, 2018; Chen vd., 2019).

2.1.3. Geri Sekme

Püskürtme sırasında önemli sorunlardan biri püskürtme makinesinden püskürtülen malzemenin yüzeye çarpıp geri gelmesidir (Süzen ve Çakıroğlu, 2019). Geri sekme, alıcı yüzeyden seken püskürtme beton malzemesinin oranıdır (Armengaud vd., 2017). Sıçrayan beton, ne yapışan betona katılmalı ve ne de püskürtme betonun hazırlanmasında kullanılan malzemeye karıştırılmamalıdır (Celep ve Kumbasar, 2000).

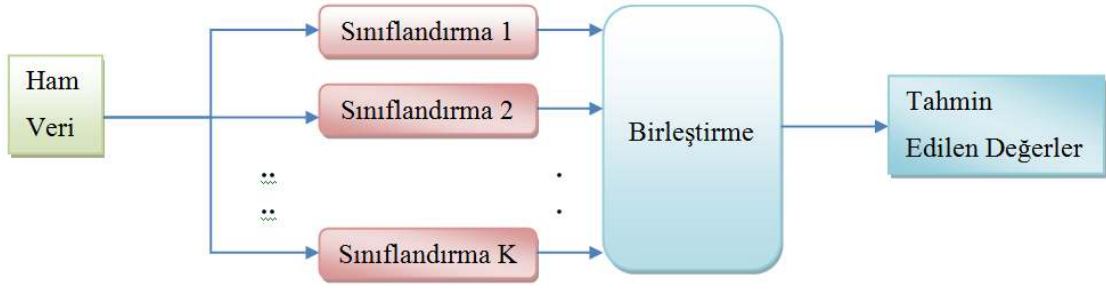
Püskürtme betonda geri sekme miktarı karışım tasarımına (çimento, agregalar, mineral ve kimyasal katkıları, su-çimento oranı ve karışımın yapışma kapasitesi), uygulama tekniğine (iletim ekipmanları, hortum ucundan püskürtme hızı, hortum çapı) ve şantiye şartlarına (uygulayıcı elemanın deneyimi, uygulanan yüzeyin tipi, tabaka kalınlığı, ortam sıcaklığı, vs.) bağlıdır (Özturan, 2013; Çakıroğlu ve Çimen, 2015).

Genel olarak geri sekme oranı döşeme gibi yatay yüzeyler için % 5-15, duvar gibi düşey yüzeyler için % 15-30 iken, tavanlarda yapılan uygulamalarda bu oran % 25-50 arasında değişir. Geri sekme başlangıçta fazlayken ilk betonun yüzeye yapışmaya başlamasıyla azalır. Daha çok iri veya çimento hamuru ile sarılmamış malzeme geri sıçradığı için, yüzeye kalan betonun çimento miktarı yüksektir. Böylece beton rötre çatlaklarına karşı hassas hale gelmektedir. Ayrıca, tanelerin sıçraması sonucu betonda daha ince taneli agrega çoğalır, az da olsa elek eğrisi değişir. Geri sıçrayan çimento miktarı az olup 50kg/m³ civarında değişir. Tabancanın püskürtme yüzeyine dik tutulmaması veya sallanması, karışım suyunun az olması sıçramayı arttırıcı yönde etkiler (Aka ve Celep, 1978; Celep ve Kumbasar, 2000; Celep, 2017). Genel kural olarak, en büyük agrega çapı 16mm'yi aşmamalıdır. Bu sınır aşıldığında, geri sekme büyük oranda artar. 8 mm'yi aşan agregaların yaklaşık % 60-70'i geri dökülür (Topçu, 2006).

Her ne kadar hava sürükleyici, aderans arttırıcı, priz hızlandırıcı vb. katkı malzemeleri ile geri sekme oranı azaltılmaya çalışılsa da püskürtme beton uygulamasının en büyük sıkıntılarından biri olan ve atık olarak geri dönüşümde kullanılabilirliği yeterince araştırılmamış geri sekme sorunu tam olarak çözülememiştir. Uygulamada geri sekme miktarının en az düzeye indirilmesi temel ilke olarak alınmalıdır (Arıoğlu vd., 2008).

2.2. Topluluk Öğrenme

Makine Öğrenmesi; büyük hacimli bilgilerden insan müdahalesi olmadan, otomatik olarak kurallar çıkaran, danışmanlı veya danışmansız olarak eğitilebilen, tahmin, kestirim ve sınıflandırma işlemlerini yapan bir yapay zekâ uygulamasıdır (Şekil .1). Literatürde pek çok Makine Öğrenmesi algoritması bulunmaktadır, bunlar bazen tek başına kullanılabilirken, bazen de hibrit olarak kullanılabilir (Wolpert, 1992). Tek başına kullanılan öğrenme algoritmalarında, kullanılan algoritmanın yeterliliklerinden kaynaklanan olumsuz sonuçlar olabilmektedir. Giriş verilerindeki küçük değişimler, sonuçları büyük oranda etkiyebilmekte ve hatalı tahmin ve sınıflandırmalara sebep olabilmektedir. Diğer bir açıdan en iyi tahmin veya sınıflandırmayı elde edebilmek için kullanılan farklı algoritmalar bazen zaman kaybına neden olabilmektedir. Son yıllarda literatüre kazandırılan Topluluk Öğrenmesi ile burada bahsedilen çoğu olumsuzluklar giderilmeye çalışılmaktadır (Breiman, 1996).



Şekil 2.2. Topluluk öğrenme modeli

Topluluk Öğrenmesi; tahmin, kestirim ve sınıflandırma problemlerinde, bireysel olarak eğitilmiş algoritmaların bir araya getirilmesi ve bunlardan elde edilen sonuçların bir oylama mekanizmasından geçirilerek tek bir sonucun elde edilmesi, tek bir öğrenme algoritmasının genelleme yeteneğinin üstünde karar verebilmesini sağlayan hibrit bir makine öğrenmesidir. Topluluk öğrenmesi, arazi örtüsü haritalandırılmasında, insan aktivitelerinin tanımlanması, siber güvenlikte, biyoenformatik uygulamalarında, banka sahtekârlıklarında, metin madenciliği gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır (Ozay ve Yarman Vural, 2013).

2.2.1. Topluluk Öğrenme Yöntemleri

2.2.1.1. Bayes Optimum Sınıflandırma

Bayes optimal sınıflandırıcı, eğitim veri seti göz önüne alındığında, yeni bir örnek için en olası tahmini yapan olasılıklı bir modeldir. Bayes optimal sınıflandırıcı ile, eğitim verisi verildiğinde denetimli öğrenme ile verilerden kurallar çıkarılır ve yeni örneğin en olası sınıflandırması yapılmaya çalışılır (Smyth ve Wolpert, 1999). Genel olarak, yeni örneğin en olası sınıflandırması, hesaplanan olasılıkları ile ağırlıklandırılan tüm hipotezlerin tahminlerinin birleştirilmesiyle elde edilir. Bayes optimal sınıflandırıcı Denklem 4.1 ile ifade edilebilir:

$$y = \underset{h_i \in H}{\operatorname{argmax}} P(c_j | h_i) P(T | h_i) P(h_i) \quad (2.1)$$

Burada y , öngörülen sınıftır. C , tüm olası sınıfların kümesidir, H , hipotez alanıdır. P bir olasılığı ifade eder ve T eğitim verisidir. Bir topluluk olarak, Bayes optimal sınıflandırıcısı mutlaka H 'de olmayan bir hipotezi temsil eder. Bayes optimal

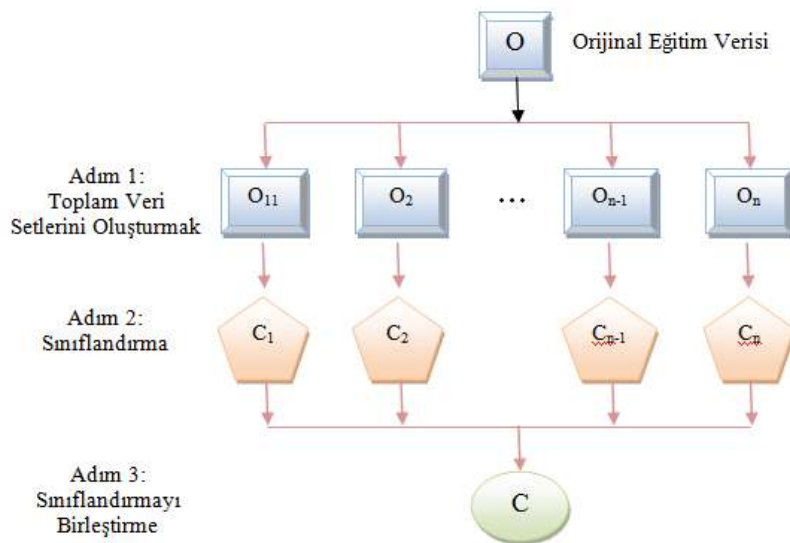
sınıflandırıcısı tarafından temsil edilen hipotez, topluluk uzayındaki optimal hipotezdir (Wolpert ve Macready, 1999).

2.2.1.2. Bagging

Bir topluluk yöntemi olan Bagging (torbalama), herhangi bir modele göre daha doğru tahminler yapmak için birden fazla makine öğrenme algoritmasından gelen tahminleri bir araya getiren basit ve çok güçlü bir tekniktir. Sınıflandırma işlemlerinde sıkça kullanılan karar ağaçları, eğitildikleri belirli verilere duyarlıdır (Clarke, 2003). Eğitim verileri değiştirilirse, sonuçta ortaya çıkan karar ağacı oldukça farklı olabilir ve bu durumda tahminler oldukça farklı olabilir. Torbalama, Bootstrap prosedürünün tipik olarak karar ağaçları olan yüksek varyanslı bir makine öğrenme algoritmasına uygulanmasıdır (Şekil 2.3).

Mesela 1000 örnek (x) veri kümemiz var ve bir sınıflandırma algoritmasını kullanıyoruz. Sınıflandırma algoritmasının torbalanması aşağıdaki gibi çalışır (Sill vd., 2009);

- Veri setimizin yerine çok sayıda (örn. 100) rastgele alt örnek oluşturulur,
- Her alt örnek için bir sınıflandırma modeli eğitilir,
- Yeni bir veri kümesi verildiğinde, her modelden ortalama tahmini hesaplanır,
- Örneklem yöntemi ile elde edilen eğitim setleri ile eğitilen sınıflandırma yöntemlerinin çıktıları, çoğunluk oylaması aracılığıyla birleştirilmektedir.



Şekil 2.3. Bagging yöntemi

2.2.1.3. Boosting

Topluluk öğrenme tekniği olan Boosting, bir dizi zayıf sınıflandırıcıdan güçlü bir sınıflandırıcı oluşturmaya çalışır. Popüler olarak destekleme olarak bilinen sıralı topluluk, burada zayıf öğrenciler eğitim aşamasında sıralı olarak üretilir. Modelin performansı, önceki yanlış sınıflandırılmış örneklerle daha yüksek bir ağırlık atanarak geliştirilir (Monteith vd., 2011). Güçlendirme algoritmasının çalışma mantığı, birden fazla zayıf öğrenen oluşturmak ve tahminlerini birleştirerek güçlü bir kural oluşturmaktır. Bu zayıf kurallar, veri kümesinin farklı dağılımlarına temel Makine Öğrenimi algoritmaları uygulanarak oluşturulur. Bu algoritmalar her yineleme için zayıf kurallar oluşturur. Birden fazla yinelemeden sonra, zayıf öğrenciler daha doğru bir sonucu tahmin edecek güçlü bir öğrenci oluşturmak için birleştirilir (Friedman, 2002).

Boosting Algoritmasının adımları:

- 1. Adım:** Temel algoritma verilerini okur ve her örnek gözlemine eşit ağırlık atar.
- 2. Adım:** Temel öğrenci tarafından yapılan yanlış tahminler belirlenir. Bir sonraki yinelemede, bu yanlış tahminler, bir sonraki temel öğrenciye, bu yanlış tahminler üzerinde daha yüksek bir ağırlıkla atanır.
- 3. Adım:** Algoritma çıkışı doğru şekilde sınıflandıran kadar 2. adımı tekrarlanır. Bu nedenle, Artırmanın temel amacı, yanlış sınıflandırılmış tahminlere daha fazla odaklanmaktır.

2.2.1.4. Bayesian Parametre Ortalaması

Bayes parametre ortalaması (BPA), hipotez uzayından hipotezleri örnekleyerek ve bir olayın olasılığını açıklayan koşulların önceden tanımlanmasına dayanan Bayes yasasını bir araya getirerek Bayes Optimal Sınıflandırıcısına yaklaşmayı amaçlayan bir topluluk tekniğidir. Bu tekniğin teorik doğruluğuna rağmen, yapılan çalışmalar, yöntemin aşırı uydurmayı desteklediğini ve torbalama gibi daha basit topluluk tekniklerine kıyasla daha kötü performans gösterdiğini gösteren deneysel sonuçlar göstermiştir (Chen ve Guestrin, 2016).

2.2.1.5. Bayes Model Kombinasyonu

Bayesci model kombinasyonu (BMC), Bayesli model ortalaması tekniğinin eksikliklerinin giderilmesi için geliştirilen algoritmik bir düzeltmedir.

Bayesli model ortalaması, model seçimi yerine model kombinasyonu için optimum bir teknik üretmek üzere kolayca değiştirilebilir. Bu işleme Bayes model kombinasyonu denir ve aşağıdaki Denklem 4.2 ile ifade edilir (Bowerman vd., 2019).

$$p(y_i | x_i, D, H, E) = \sum_{e \in E} p(y_i | x_i, H, e) p(e | D) \quad (2.2)$$

Burada e , olası model kombinasyonlarının E uzayda bir elementidir. Bu durumda, bireysel hipotezlerden elde edilen çıktılar, bir dizi farklı topluluk oluşturmak için çeşitli şekillerde birleştirilir. Daha sonra her gruptan elde edilen çıktı, eğitim verileri göz önüne alındığında topluluğun doğru olma olasılığı ile ağırlıklandırılır. Şimdi, hangi topluluk üyesinin doğru olduğu konusundaki belirsizliği entegre etmek yerine, hangi model kombinasyonunun doğru olduğu konusundaki belirsizliği entegre edilir (Chen vd., 2017).

Potansiyel model kombinasyonlarının alanı çok geniş olmasına rağmen, test edilecek makul bir sonlu potansiyel model kombinasyon seti üretmek için kolayca örneklenebilir. BMC'den elde edilen sonuçlar, olası ağırlıkların rastgele bir örneklemesinden en iyi topluluk kombinasyonunu seçmek için çapraz doğrulama kullanılarak tahmin edilebilir (Duan vd., 2016).

2.2.1.6. Stacking

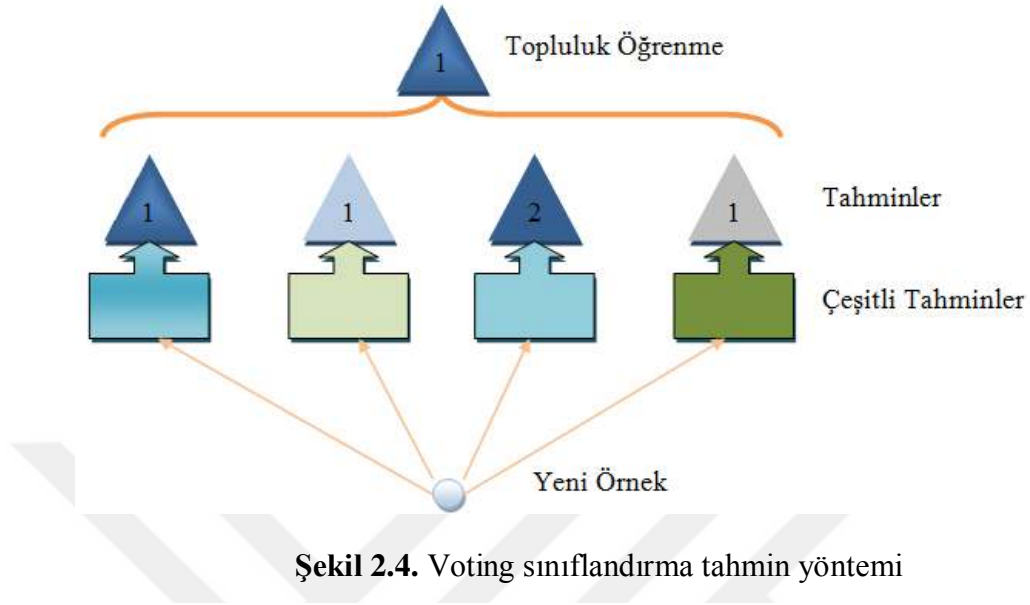
Yığınlama, diğer birçok öğrenme algoritmasının tahminlerini birleştirmek için bir öğrenme algoritması eğitimini içerir. İlk olarak, diğer tüm algoritmalar mevcut veriler kullanılarak eğitilir, daha sonra bir birleştirici algoritma, ek girişler olarak diğer algoritmaların tüm tahminlerini kullanarak nihai bir tahmin yapmak üzere eğitilir. Birleştirici algoritma olarak genellikle bir lojistik regresyon modeli kullanılır (Divina vd., 2018).

Yığınlama tipik olarak eğitilmiş modellerden herhangi birinden daha iyi performans verir. Hem denetimli öğrenme görevleri (regresyon, sınıflandırma ve uzaktan öğrenme) hem de denetimsiz öğrenme (yoğunluk tahmini) üzerinde başarıyla kullanılmıştır. Ayrıca torbalamanın hata oranını tahmin etmek için de kullanılır (Rahman vd., 2019).

2.2.1.7. Voting

Oylama en basit topluluk algoritmasıdır ve genellikle çok etkilidir. Sınıflandırma veya regresyon problemleri için kullanılabilir. Oylama iki veya daha fazla alt model oluşturarak çalışır. Her alt model, tahminlerin ortalamasını veya biçimini almak, her alt

modelin sonucunun ne olması gerektiğine oy vermesine izin verecek bir şekilde birleştirilen tahminler yapar (Şekil 2.4) (Onan vd., 2016).



Şekil 2.4. Voting sınıflandırma tahmin yöntemi

İyi bir sınıflandırıcı oluşturmanın çok kolay bir yöntemi de, her sınıflandırıcının tahminlerini toplamak ve en çok oyu alan sınıfı tahmin etmektir. Bu işleme oylama sınıflandırıcısı denir. Bu toplu sınıflandırma işlemi çoğu zaman topluluktaki en iyi sınıflandırıcıdan daha yüksek bir doğruluk elde ediyor. Aslında, her bir sınıflandırıcı zayıf bir öğrenci olsa bile (yani, rastgele tahminden sadece biraz daha iyi olduğunu varsayalım), yeterli sayıda zayıf öğrencinin olması ve yeterli düzeyde olması koşuluyla bunların toplamında yüksek doğruluk elde edebiliriz. Yukarıdaki şekilde 4 tahmin algoritmasının 3 tanesi 1 çıktısını, 1 tanesi 2 çıktısını vermiştir. Burada elde edilen 1 değeri oylama tekniği ile elde edilmiş en iyi değer oluyor (Yaman vd., 2018).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda kullanılan çimento, agrega, su, uçucu kül, silis dumanı, kimyasal katkı, fiber katkı ile ilgili bilgiler bu bölümde verilmiştir.

3.1.1. Çimento

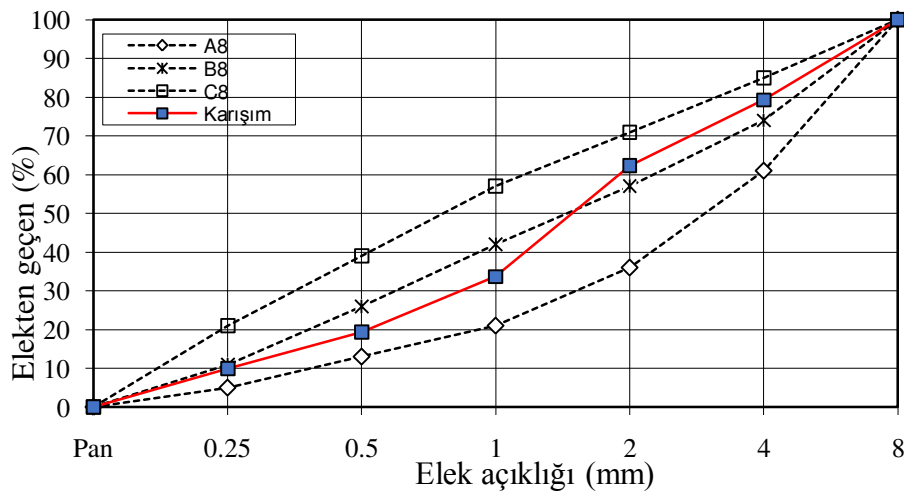
Deneyslerde CEM II 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentolar 50 kg'lık kraft torbalarda temin edilmiştir. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentonun özellikleri (URL-1, 2020)

Kimyasal Özellikler (%)		Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	
SO ₃	2,77	Basınç Dayanımı 2 Günlük (N/mm ²)	23,9
CI	0,012	Basınç Dayanımı 28 Günlük (N/mm ²)	48,1
Çözünmeyen Kalıntı	0,50	Priz Başlama Süresi (min)	139
ızdırma Kaybı	3,13	Genleşme (mm)	0,36

3.1.2. Agrega

Agrega olarak 0-5 mm ve 5-8 mm boyutlarında kırmataş agregalar kullanılmıştır. Agrega karışımının %80'i 0-5 mm, % 20'si ise 5-8 mm arasında olacak şekilde düzenlenmiştir. Üretilen betonlarda kullanılan agrega karışımının granülometri eğrisi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Agrega karışımının granülometri eğrisi

3.1.3. Su

Deneylerde karışım suyu olarak içilebilir nitelikte şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Kimyasal Katkı

Kimyasal katkı olarak, 25 kg'lık torbalarda temin edilen, kuru sistem püskürtme beton üretimi için tasarlanmış, priz hızlandırıcı toz beton katkısı kullanılmıştır. Priz hızlandırıcı katkı toplam bağlayıcı dozajının %7'i oranında karışımlara ilave edilmiştir.

3.1.5. Uçucu Kül

Çalışmada Seyitömer Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Uçucu külün kimyasal özellikleri (%) (Erzengin ve Öcal, 2019)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Kızdırma Kaybı
Uçucu Kül	54,30	20,71	9,34	4,62	4,45	0,49	1,97	0,63	7,06

3.1.6. Silis Dumanı

Antalya Eti Elektrometalurji AŞ Ferrokrom tesisinden sağlanan silis dumanı (SD) kullanılmıştır. Silis dumanının özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Silis dumanı kimyasal özellikleri (%) (Atış, vd., 2003)

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	KK
Silis Dumanı	81,40	4,47	1,40	0,82	1,48	1,35	NA	NA	7,06

3.1.7. Fiber (Lif) Katkı

Çalışmalarda fiber (lif) katkı olarak boyu 19 mm ve çapı 18-20 µm polipropilen fiber (lif) katkı kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Tez çalışmasında, atık malzeme olarak ortaya uçucu külün, silis dumanının ve fiber katkının kuru karışım püskürtme betonda geri sekmeye etkilerinin incelenmesi

hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, her bir beton karışımı için TS EN 14487-1 (2006) standardına uygun olarak 45cm × 45cm boyutlarında iki gözlü olacak şekilde 14 adet ahşap panel hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Panellerin, her bir numune için iki göz yapılmasının sebebi, kuru karışım püskürtme betonun ilk püskürtüldüğü anda tam homojen olmama ihtimalinden dolayıdır. Bu deney panellerine püskürtülecek olan betonun kalınlığı 15 cm olarak belirlenmiştir.



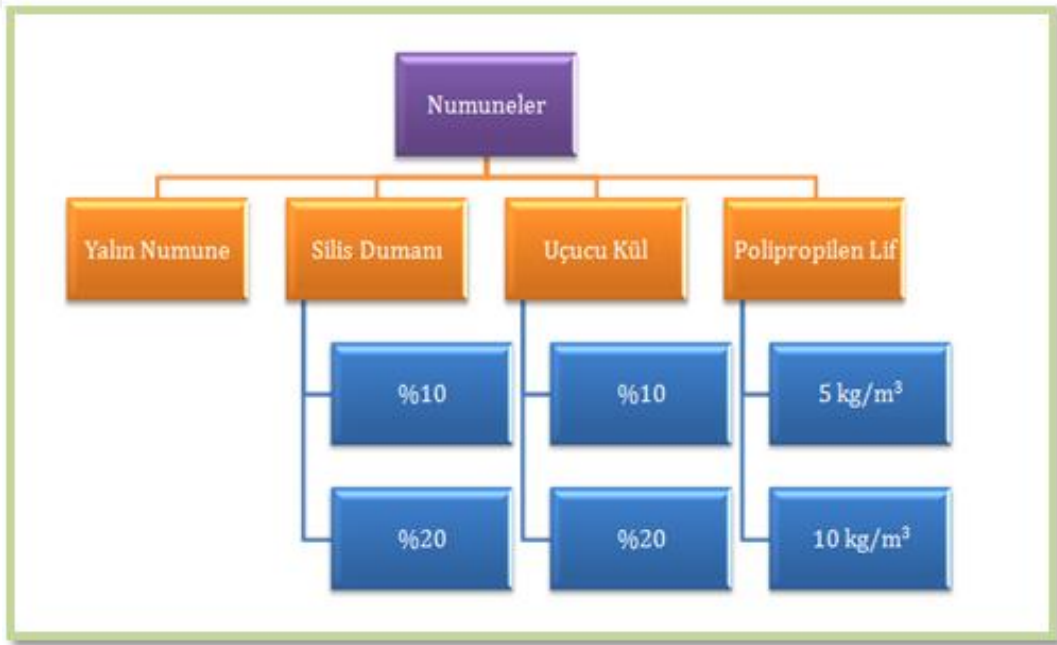
Şekil 3.2. Panellerin hazırlanması

Püskürtme beton karışım hesabı TS 802 (2016) standardı esas alınarak yapılmıştır. 1 m³ beton içinde bulunan malzeme miktarları Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4. 1m³ Beton karışımı için gerekli malzeme miktarları

Karışım tipi	Çimento	Uçucu kül	Silis dumanı	Lif	Priz hız.	Agregalar	
						0 – 5 mm	5 – 8 mm
	(kg/m ³)						
Yalın	500.00	-	-	-	35.00	1423.64	355.91
%10 Uçucu kül	450.00	34.52	-	-	33.92	1424.79	356.20
%20 Uçucu kül	400.00	69.03	-	-	32.83	1425.94	356.49
%10 Silis dumanı	450.00	-	37.26	-	34.11	1424.59	356.15
%20 Silis dumanı	400.00	-	74.52	-	33.22	1425.53	356.38
5 kg lifli	500.00	-	-	5	35.00	1423.64	355.91
10 kg lifli	500.00	-	-	10	35.00	1423.64	355.91

Üretilen tüm beton serilerinde priz hızlandırıcı püskürtme beton katkısı kullanılmıştır. Yalın numune betonda mineral ve fiber katkı kullanılmamıştır. Panellerin iki adedine yalın olarak kuru karışım püskürtme beton uygulanmıştır. Geri kalan 12 adedine ise silis dumanlı, uçucu küllü ve polipropilen lif ilaveli püskürtme beton uygulanmıştır. Numuneler silis dumanı ikameli, uçucu kül ikameli, polipropilen lif ilaveli ve yalın püskürtme beton uygulanmış numuneler olmak üzere 4 seri halinde üretilmiştir. Yalın numuneler hariç diğer tüm seriler kendi aralarında da 2 seriye ayrılmıştır. Birinci seride silis dumanı, ikinci seride uçucu kül ve üçüncü seride polipropilen lifli numuneler üretilmiştir. Böylece farklı püskürtme beton serileri oluşturulmuştur. Serilerde yer alan numuneler Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Serilerde yer alan numuneler

Silis dumanı ilaveli kuru karışım püskürtme beton uygulanmış numunelerde kendi aralarında 2 seriye ayrılarak silis dumanı %10 ve %20 oranlarında karışımdaki çimento ile hacimce yer değiştirmiştir. İkinci seride yer alan uçucu aynı şekilde belirli oranlarda (%10 ve %20) karışımdaki çimento miktarı ile hacimce yer değiştirilmesi suretiyle püskürtme betona ilave edilerek numuneler üretilmiştir. Üçüncü seride ise polipropilen lif ise 5 kg/m³ ve 10 kg/m³ oranlarında beton karışıma ilave edilerek polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton numuneler üretilmiştir.

Püskürtme beton uygulamasında en büyük agrega dane boyutu 8 mm olarak seçilmiştir. Karışım, hortumda tıkanıklılık yaşanmaması ve toz oluşumunu engellemek amacıyla agrega nemlendirilmiştir. Püskürtme beton karışımlarında çimento dozajı 500 kg/m³ olarak seçilmiştir. Agreganın %70'i 0-5 mm, %30'u ise 5-8 mm arasında olacak şekilde düzenlenmiştir. Su miktarı hortum ucundaki vana vasıtasıyla operatör tarafından ayarlanmıştır. Kuru karışımın hazırlanmasında ağırlık esas alınmıştır. Kullanılan agrega, çimento, katkı malzemesi, silis dumanı, uçucu kül, polipropilen lifin karışım oranlarının belirlenmesi amacıyla tartımları yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Malzemelerin tartılması

Çimento, agrega ve varsa uçucu kül, silis dumanı ve fiber katkıları kuru olarak karıştırılmış ve olabildiğince homojen bir karışım elde edilmiştir. (Şekil 3.5). Kuru karışım, homojen olacak şekilde karıştırıldıktan sonra karışıma priz hızlandırıcı toz beton katkısı ilave edilmiştir. Püskürtme uygulaması esnasında geri seken malzemeyi toplamak için panellerin altına polietilen naylon örtü serilmiştir.



Şekil 3.5. Karışımın hazırlanması

Karışım püskürtme beton makinesinin karıştırıcısına dökülmüştür (Şekil 3.6). Karışım basınçlı hava vasıtasıyla dağıtım elemanına gönderilmiş ve iç çapı 58 mm olan bir hortum içinde püskürtme ucuna iletilmiştir. Püskürtme tabancasının ucuna gelen kuru karışıma su püskürtme beton operatörü tarafından beton püskürtülürken hortum ucundan ayarlanarak verilmiştir. Tüm bu işlemler öncesinde karışımın iletiminde sabit bir basınç olması ve yeterli bir püskürtme hızı ile çalışabilmesi için kompresörden alınacak basınçlı hava ve su akışı kontrol edilmiştir. Uygulama aşamasında da kontroller devam etmiştir. Püskürtme beton karışımlarının tamamı, aynı operatör tarafından, aynı mesafeden ve aynı açı ile panellere püskürtülmüştür. Her karışım, 45x45x15 cm gözlü panellerin 2 gözüne püskürtülmüştür (Şekil 3.7). Daha sonra TS EN 12350-6 (2019) standardına göre taze beton yoğunlukları belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Püskürtme beton makinesine karışımın ilave edilmesi



Şekil 3.7. Püskürtme beton uygulaması

Her bir seride püskürtme uygulaması esnasında geri seken malzeme polietilen naylon örtü üzerinden toplanmış ve tartılmıştır (Şekil 3.8-3.9).



Şekil 3.8. Geri seken malzemenin toplanması



Şekil 3.9. Geri seken malzemenin tartılması

Püskürtme uygulamasından sonra panellerdeki betonlar karot alınana kadar telis bezi ile sarılarak ve ıslak kalacak şekilde sulanarak kür edilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Panellerin kürü

Panellerden çıkartılan betonlardan TS EN 13791 (2010)'a göre 100 mm çapında karot numuneler alınmıştır. Her bir beton serisi için üretilen ikili 45cm × 45 cm panellerin her birinden en az 6 adet karot, toplamda 12 karot alınmıştır (Şekil 5.11). Karot numuneler (Şekil 3.12) alındıkları panellere göre Tablo 3.5’de verildiği gibi kodlanmıştır.



Şekil 3.11. Panellerden karot alınması



Şekil 3.12. Karot numuneler

Tablo 3.5. Karot numunelerin kodları

Seri	Kod	Açıklama
Yalın	H1	Yalın Numune
1. Seri	H2	5 kg/m ³ Polipropilen Lif İlaveli
	H3	10 kg/m ³ Polipropilen Lif İlaveli
	H4	%10 Uçucu Kül İkameli
2. Seri	H5	%20 Uçucu Kül İkameli
	H6	%10 Silis Dumanı İkameli
3. Seri	H7	%10 Silis Dumanı İkameli

Karot numunelerin her iki yüzeyi düzeltmek için kesilmiştir (Şekil 3.13). Alınan karotlar deney gününe kadar 20 ± 2 °C sıcaklıkta beton kür havuzunda bekletilmişlerdir (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Karotların kesilmesi



Şekil 3.14. Karotların kür havuzuna yerleştirilmesi

Bu karotlardan 2×3 adedi 7 günlük basınç dayanımı 2×3 adedi 28 günlük basınç dayanımı için kullanılmıştır. Elde edilen karot numuneler üzerinde TS EN 12390-3 (2019)'a göre basınç dayanımı tayini deneyi yapılmıştır (Şekil 3.15). Karot numunelere basınç dayanımı deneyi için başlık yapılmamış, onun yerine ASTM C1231 (2006)'ya uygun, yüzey düzensizliklerin olduğu yerlerde dahi deney yükünü uniform olarak dağıtarak güvenilir deney sonuçları alınmasını sağlayan neopran basınç yastıkları (pedler) ve yastık tutucu plakalar kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Karot numunelerin basınç dayanım testi

Her bir beton serisi için basınç dayanımı hesaplamalarında 6 adet karot numunenin ortalaması alınmıştır. Basınç dayanımı deneyi sonuçları değerlendirilirken numuneler için

karotların boy/çap oranına göre ASTM C42/C42M standardına uygun düzeltme faktörleri kullanılmıştır.

3.2.1. Veri Kümesinin Tanımlanması

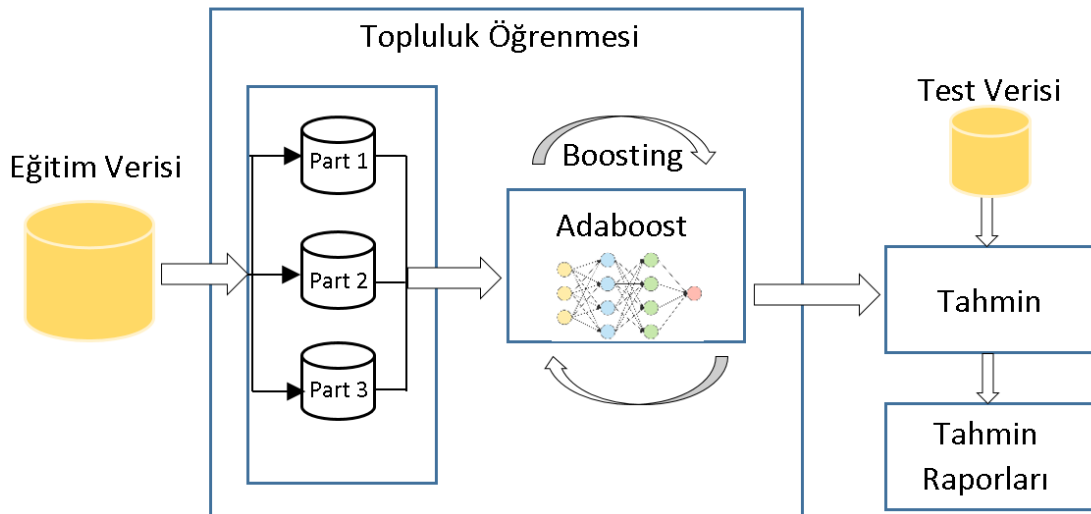
Deneyisel çalışmada kullanılan silis dumanı, uçucu kül ve polipropilen lif miktarları, katkı ve agrega miktarı, deneyisel aşamadan elde edilen birim hacim ağırlık ve geri sekme miktarı veri kümesinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Tablo 3.6’da veri kümesinde kullanılan parametreler görülmektedir. Elde edilen veri kümesinin yaklaşık %75’i eğitim %25’i test verisi olarak kullanılmıştır.

Tablo 3.6. Veri kümesindeki parametreler ve tanımlamaları

Tanımlama	Açıklaması
v_weight	Yoğunluk
s_fume	Silis Dumanı Miktarı
v_ask	Uçucu Kül Miktarı
a_concrete	Püskürtme Beton Katkı Miktarı
aggregate	Agrega Miktarı
fiber	Lif Miktarı
p_fiber	Polipropilen Lif
rebound	Geri Sekme

3.2.2. Topluluk Öğrenme Yaklaşımı

Önerilen sinir ağı modelinde topluluk öğrenmesinin etkili yöntemlerinden biri olan AdaBoosting kullanılmıştır. Modele ait tasarım Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.16. Önerilen topluluk öğrenmesi modeli

Modelin geliştirilme sürecinde, n örneklerinin ve m özelliklerinin $D = \{(x_i, y_i)\} (|D| = n, x_i \in R^m, y_i \in R)$ olarak veri kümesi verilir. Burada bir topluluk öğrenme modeli $\mathcal{G}$, K indükleyicilerini toplayan bir toplama işlevi G , $\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_k\}$ 'e doğru tek bir çıktıyı tahmin etmek kullanılır (Denklem 3.1).

$$\hat{y}_i = \mathcal{G}(x_i) = G(f_1, f_2, f_3, \dots, f_k) \quad (3.1)$$

Burada $\hat{y}_i \in R$ regresyon problemi için ve $\hat{y}_i \in Z$ tahmin problemi içindir. Veri kümesi üzerinde, tth arttırıcının (tth boosting) iterasyonda ağırlık dağılımı, başlangıçta hatasız bir şekilde ayarlanan $W_t = \{w_t^1, w_t^2, w_t^3, \dots, w_t^n\} (t = 1, 2, 3, \dots, T)$ olarak ifade edilir. Bu, Y ağırlığına, $t = 1$ olduğunda ilk yinelemede $1 / n$ değeri verildiği ve daha sonraki yinelemelerde uyarlamalı olarak güncelleneceği anlamına gelir. Yeni bir girdi örneği için, her zayıf geri sekme miktarının tahmin edilen değeri $+1.0$ veya -1.0 olarak hesaplar. Öngörülen değerler, zayıf öğrencilerin her birinin aşama değeri tarafından ağırlıklandırılır. Topluluk modeli için tahmin, ağırlıklı tahminlerin bir toplamı olarak alınır. Toplam pozitifse, birinci sınıf tahmin edilir, negatifse ikinci sınıf tahmin edilir (Denklem 3.2).

$$l_t^i = \begin{cases} 1 & \text{if } f_t(x_i) = y_i \\ -1 & \text{if } f_t(x_i) \neq y_i \end{cases} \quad (3.2)$$

Her örneğin öğrenme veri kümesinde bir ağırlığı vardır. Her öğrenme işleminden sonra, sınıflandırıcının sınıflandırma hatası dikkate alınarak örneklerin ağırlıkları tekrar güncellenir. Her bir sınıflandırıcının doğruluğuna dayalı ağırlıklı ortalama, yeni bir örneği sınıflandırmak için seçilir ve tahmin işlemi gerçekleştirilir. Son aşamada AdaBoost sınıflandırma sonucu, α cinsinden sınıflandırma sonuçlarının kombinasyonu ile yapılır. Önerilen modelde kullanılan biçimlendirilmiş AdaBoost algoritması Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Biçimlendirilmiş AdaBoost algoritması

Input: training set $D = \{(x_i, y_i)\} (|D| = n, x_i \in R^m, y_i \in R)$
T: 100 // total number of iterations
Initialize: $W_1^i = 1; \text{and}; W_t = \left\{ \frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n} \right\}$ $F = \phi$
For $t = 1, 2, 3, \dots, T$
 »Take a sample $R_t \ll S_n$ using W_t
 »Make a classifier f_t using R_t
 »Compute: E_t and $\alpha = 0.5 \gg \left(\frac{1 - E_t}{E_t} \right)$
 »Update weight: $w_{t+1}^i = \text{normalize}(w_t^i * \exp(-\alpha_t * I_t^i))$
Output: Esemble $F_t = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_t\}$ and $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_t\}$

AdaBoost eğitim aşaması boyunca, optimum performans için ayarlanması gereken bir dizi parametre vardır. AdaBoost modelinin parametrelerini ayarlamak ve en iyi tahmin sonuçlarını elde etmek için kaba kuvvet stratejisi kullanıldı. Bu genel ve booster parametreler değerleri ile birlikte Tablo 3.8'de listelenmiştir.

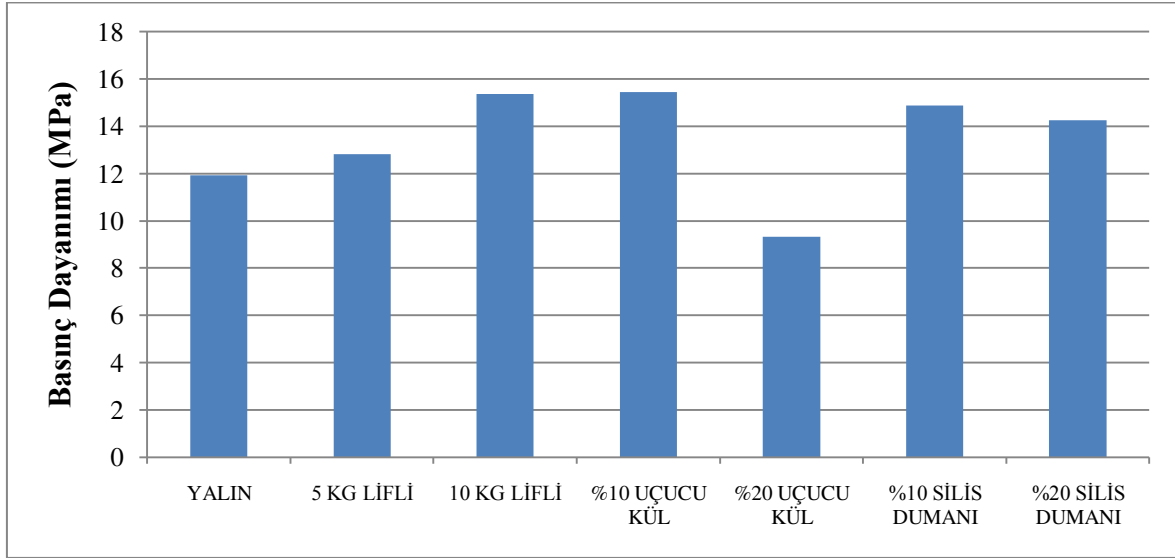
Tablo 3.8. Modelin başlangıç parametreleri

Parametre	Değer
learning_rate	0.1
gamma	0
n_estimators	1000
silent	1
reg_alpha	0.01
reg_lambda	0.6

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

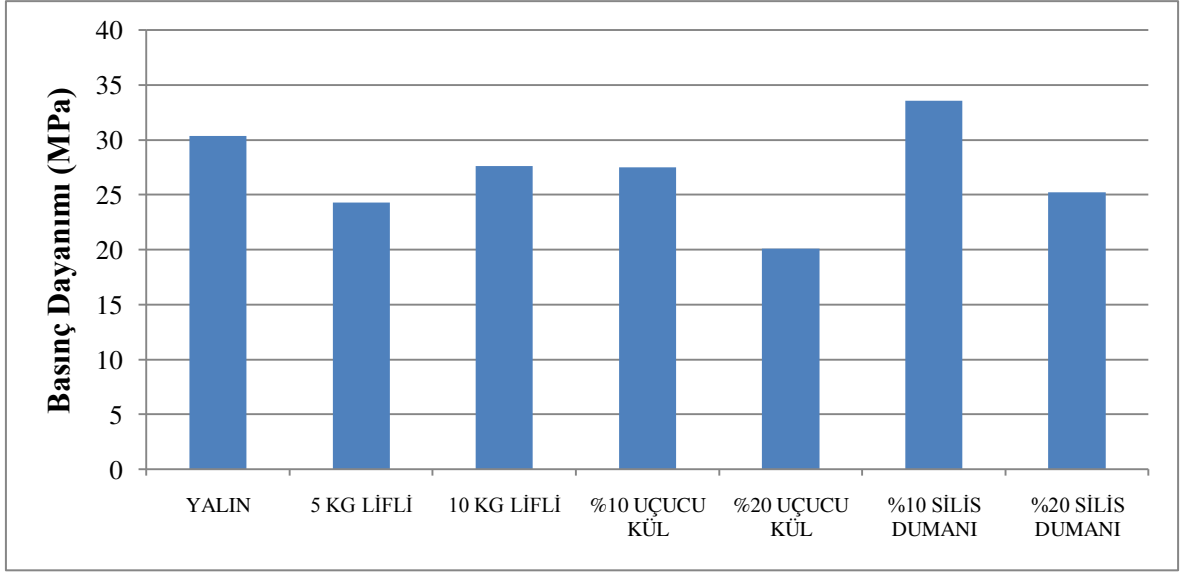
Yalın numuneler ile silis dumanı ve uçucu kül içeren numunelerin 7 günlük basınç dayanımları Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. 7 Günlük basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.1’den numunelerin 7 günlük basınç dayanımlarının 9.33 – 15.44 MPa arasında değiştiği görülmektedir. 7 günlük en düşük basınç dayanımı % 20 uçucu kül ikameli numunede, en yüksek basınç dayanımı ise %10 uçucu kül ikameli numunede gözlenmiştir.

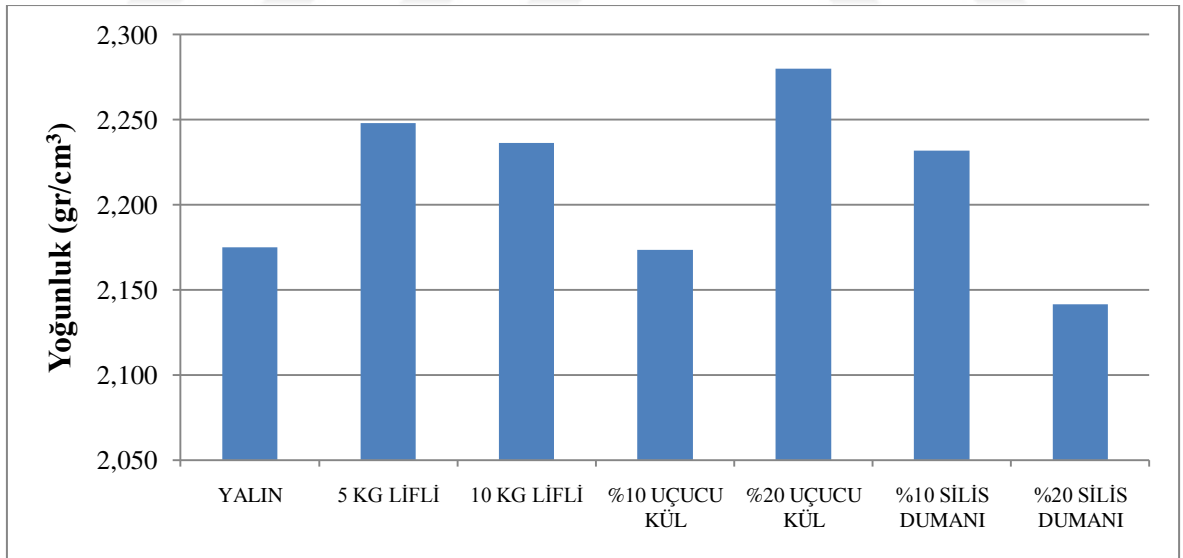
Çalışma kapsamındaki tüm numunelerin 28 günlük basınç dayanımları da Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının 20.12 – 33.56 MPa arasında değiştiği görülmektedir. 28 günlük en düşük basınç dayanımı %20 uçucu kül ikameli numunede, en yüksek basınç dayanımı ise %10 silis dumanı ikameli numunede gözlenmiştir. Silis dumanı yüksek oranda aktif silis içerdiğinden harç içerisinde serbest kireçle reaksiyona girmekte bu sayede beton daha yoğun bir yapıya sahip olmaktadır. Bu da silis dumanının dayanım açısından olumlu etkisidir. Ancak silis dumanı oranı %20 olduğunda yalın betona göre dayanım bir miktar düşmüştür.



Şekil 4.2. 28 Günlük basınç dayanımı değerleri

4.2. Yoğunluk Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında yer alan serilere ait numunelerin taze beton yoğunlukları Şekil 4.3’de verilmiştir.

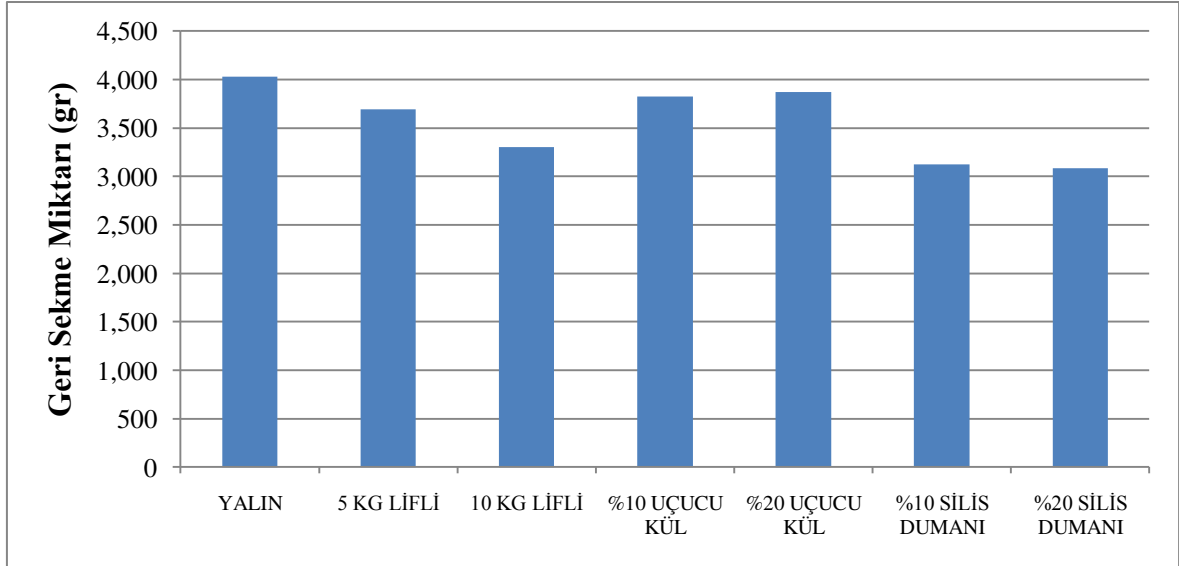


Şekil 4.3. Numunelerin yoğunluk değerleri

Şekil 4.3’den numunelerin yoğunluklarının 2141 – 2280 gr/cm³ arasında değiştiği görülmektedir. En düşük yoğunluk değeri %20 silis dumanı ikameli numunelerde, en yüksek yoğunluk değeri %20 uçucu kül ikameli numunede gözlenmiştir.

4.3. Geri Sekme Sonuçları

Beton serilerine ait geri sekme değerlerini gösteren grafikte Şekil 4.4'de sunulmuştur.



Şekil 4.4. Serilerin geri sekme değerleri

Geri sekme en fazla yalın numunede gözlenmiştir. En düşük değerler silis dumanı ikameli numunelerde gözlenmiştir. Bu durum da literatürle (Sümer, 1994; Hoek, ve ark., 2000; Department of the Army, 2005) uyumludur. Silis dumanı ikameli numunelerin basınç dayanımı değerlerinin yüksek çıkmasının sebebinin geri sekme oranının düşük olması ve buna bağlı olarak malzeme kaybının az olması olarak söylenebilir. Benzer şekilde geri sekme oranının en fazla görüldüğü uçucu küllü numunelerin basınç dayanımlarındaki düşüşünde malzeme kaybı ile ilgili olduğu söylenebilir.

4.4. Modelin Doğruluğunun Değerlendirilmesi

Önerilen modelin doğruluk performansını belirlemek için Belirlilik Katsayısı (R) (Denklem 4.1), Ortalama Mutlak Hata (MAE) (Denklem 4.2), ve Ortalama Hata Karekökü (RMSE) (Denklem 4.3) metrikleri kullanılmıştır. Burada belirlilik katsayısı eğitim verileri ile eğitilmiş modelin test verileri için ürettikleri tahminlerin doğruluğunun bir göstergesidir. Elde edilen sonuç 1'e ne kadar yakın ise model o kadar başarılıdır. MAE ve RMSE metriklerinden elde edilen değer 0'a yakın olması modelin hatasının düşük olduğunu ifade etmektedir.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |e_n| \quad (4.2)$$

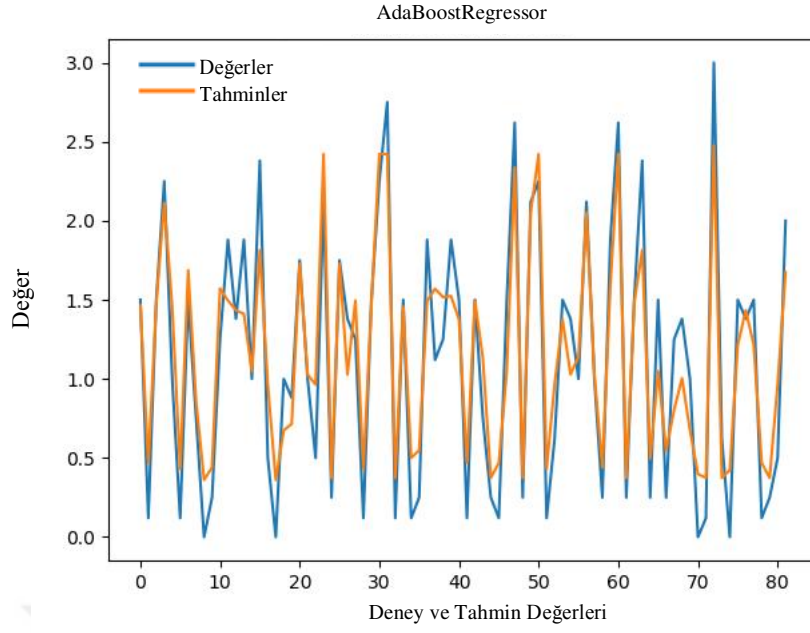
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e_n^2} \quad (4.3)$$

Önerilen tahmin modeli spider ortamında “scikit learn” ve “mlxtend” kütüphaneleri kullanılarak uygulanmıştır. Veri temizleme ve normalleştirme tekniği ile verilerin önceden işlenmesinden sonra, veri setini sınıflandırma modeli beslemektedir. Model için k-çapraz validasyon tekniği kullanılmıştır. Çapraz doğrulama, bağımsız bir veri kümesine karşı yerleşik bir modelin kullanılmasını içeren bir süreçtir. Uygulamanın başlıca nedeni, bir modelin henüz görmediği verilerde nasıl performans göstereceğini incelemektir.

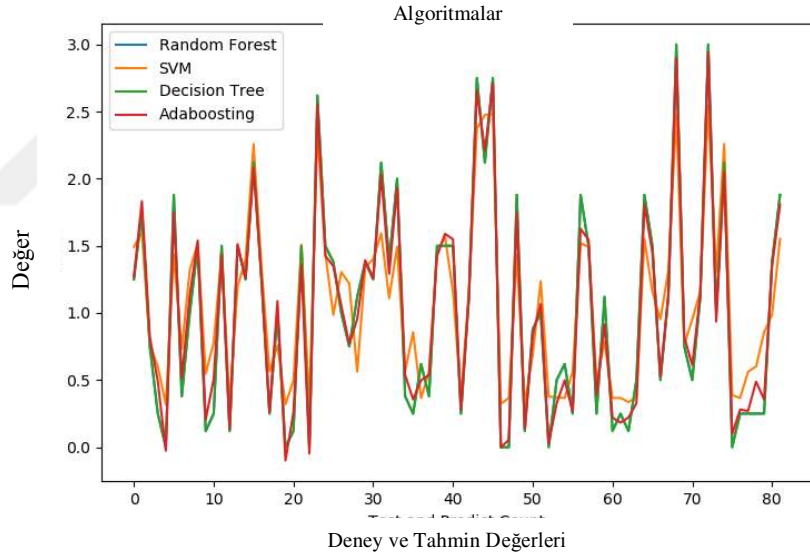
Kullanılan veri kümesindeki verinin az olmasından dolayı 4- çapraz validasyonda veri seti, eğitim aşamasında 3 kısmın ve test aşamasında 1 kısmın kullanıldığı 4 bölüme ayrılmıştır. Modelden elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de verilmektedir. R değerini 1’e yakın olması modelin doğruluk performansının o kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda MAE ve RMSE hata değerlerine bakılarak modelin hata oranı gözlenmektedir. Bu değerlerin sıfıra yakın olması, modelin hata oranının o kadar düşük olduğunu göstermektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda önerilen model, makine öğrenmesi için kullanılan 3 farklı algorithmadan % 84.25 doğruluk (başarı oranı) ile en performanslı sonucu çıkarmıştır. R, MAE ve RMSE değerleri incelendiğinde doğruluk ile doğru orantılı bir şekilde diğer algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).

Tablo 4.1. Modelin tahmin performansının karşılaştırılması

Sınıflandırıcılar	Doğruluk (%)	R	MAE	RMSE
Random Forest	65.35	0.60	0.365	0.452
SVM	75.35	0.75	0.290	0.372
Decision Tree	80.75	0.81	0.201	0.313
Önerilen Model	84.25	0.84	0.1254	0.2135



Şekil 4.5. Tahmin değerleri ile deney sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.6. Makine öğrenme algoritmaları ile Adaboosting model sonuçlarının karşılaştırılması

5. SONUÇ

Günümüzde uygulama alanı gittikçe artan püskürtme beton geleneksel betona kıyasla birçok avantaja sahiptir. Özellikle metro, tünel, şev vb. uygulamalarda püskürtme beton büyük öneme sahiptir. Püskürtme beton uygulamalarının bu denli yaygınlaşması ve daha fazla alanda püskürtme beton kullanılması sonucunda gelişen ihtiyaçlara cevap verebilecek püskürtme betonun donanım ve teçhizatının da gelişimi de hızlanmıştır. Püskürtme betonda uygulamasında karşılaşılan en önemli sorunlardan biri püskürtülen betonun uygulanan yüzeye / önceden püskürtülen tabakaya yapışmayarak düşmesi yani geri sekmesidir. Bu bağlamda püskürtme betonun püskürtülmesi esnasında meydana gelen geri sekmeyi azaltacak yöntem ve uygulamaların araştırılması hem çevre hem de ekonomi bakımından önemlidir.

Bu çalışmada kuru karışım püskürtme betonun geri sekmesi üzerine mineral ve polipropilen liflerin etkisini incelemenin yanı sıra geri sekmenin tahmini konusunda, modelleme geliştirerek potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, tahmin uygulamalarında başarılı sonuçlar veren makine öğrenme modelleriyle mineral katkı (uçucu kül, silis dumanı) ve polipropilen lif kullanılarak üretilen püskürtme betonun karışım hesapları da dikkate alınarak geri sekme miktarının tahmin edebilmek için yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

Deneysel çalışmadan elde edilen bulgulara göre; numunelerin 7 günlük basınç dayanımlarının 9.33 – 15.44 MPa arasında değiştiği görülmektedir. 7 günlük en düşük basınç dayanımı %20 silis dumanı ikameli numunede, en yüksek basınç dayanımı %10 silis dumanı ikameli numunede gözlenmiştir. Uçucu kül ikameli numunelerde uçucu kül oranı arttıkça basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir.

Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları 20.12 – 33.56 MPa arasında değişmiştir. 28 günlük en düşük basınç dayanımı %20 uçucu kül ikameli numunede, en yüksek basınç dayanımı ise %10 silis dumanı ikameli numunede gözlenmiştir. Silis dumanı yüksek oranda aktif silis içerdiğinden harç içerisinde serbest kireçle reaksiyona girmekte bu sayede beton daha yoğun bir yapıya sahip olmaktadır. Bu da silis dumanının dayanım açısından olumlu etkisidir. Ancak silis dumanı oranı %20 olduğunda yalın betona göre dayanım bir miktar düşmüştür. Uçucu kül ikameli numunelerde uçucu kül oranı %10 dan %20'ye yükseldiğinde dayanımda düşüş gözlenmiştir.

Geri sekme sonuçlarına bakıldığında; en fazla geri sekme yalın numunede gözlenmiştir. Yalın numuneyi % 20 uçucu kül ikameli numuneler takip etmektedir. En

düşük değerler silis dumanı ikameli numunelerde gözlenmiştir. Özellikle silis dumanı miktarı arttıkça geri sekmenin azaldığı görülmektedir. Silis dumanlı püskürtme betonun geri sekmesi silis dumanının yüksek kohezif yapısından dolayı diğer karışımlardan daha az çıkmıştır.

Farklı katkı maddelerine sahip püskürtme betonda geri seken beton miktarının tahmin edilmesi için topluluk öğrenmesi yöntemlerinden Adaboost algoritması kullanılmıştır. Öncelikle deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veri kümesinde bağımlı ve bağımsız parametreler belirlenmiştir. Veri kümesi 4 parçaya bölünmüş, 3 parça eğitim için 1 parça ise test için kullanılmıştır. Modelin eğitimi için optimum sonuç veren hiperparametreler model ve Boosting yöntemi için belirlenmiştir. Sonuç olarak modelin tahmin performansında % 84.25'lik başarı elde edilmiştir. Önerilen modelin performansının test edilmesi için geleneksel makine öğrenme algoritmaları ile aynı veri kümesi üzerinde karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda önerilen modelin en yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak özellikle silis dumanı, uçucu kül, fiberler vb. katkıların uygun bir şekilde kullanımıyla püskürtme betonun özellikleri kesin olarak geliştirilebilir. Katkıların püskürtme betonun istenilen özelliklere sahip olmasını sağlama konusunda başarılı olabilmeleri için öncelikle ön deneyler yapılarak denenmesine dikkat edilmelidir. Elde edilen sonuçlar kapsamında, ileriki çalışmalarda özellikle silis dumanının farklı oranları için çalışmalar yapılarak geri sekme etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Aka, İ., Celep, Z., 1978. *Püskürtme Beton ve Uygulaması*. İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Betonarme, Ahşap ve Çelik Yapılar Kürsüsü, İstanbul, 19.
- Alhozaimy, A.M., Soroushiad, P., Mirza, F., 1996. Mechanical Properties of Reinforced Concrete and Materials Polypropylene Fiber the Effects of Pozzolan Materials. *Cement & Concrete Composites*, 18, 85-92.
- Arioğlu, E., Yüksel, A., Yılmaz, A.O., 2008. *Püskürtme Beton Bilgi Föyleri-Çözümlü Problemler*, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 296.
- Arioğlu, E., Yüksel, A., 1999. *Tünel ve Yeraltı Mühendislik Yapılarında Çözümlü Püskürtme Beton Problemleri*, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 178.
- Armengaud, J., Casaux-Ginestet, G., Cyr, M., Husson, B., Jolin, M., 2017. Characterization of Fresh Dry-Mix Shotcrete and Correlation to Rebound. *Construction and Building Materials*, 135, 225-232.
- Armengaud, J., Cyr, M., Casaux-Ginestet, G., Husson, B., 2018. Durability of Dry-Mix Shotcrete Using Supplementary Cementitious Materials, *Construction and Building Materials*, 190, 1-12.
- ASTM C 1231/C 1231M-00, 2006. Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02.
- ASTM C42/C42M, 2015. Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete, American Society for Testing and Materials, Book of ASTM Standards, 5, USA.
- Atış, C.D., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U.K., Demir, A., 2003. Silis Dumanı Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı:426, 2003/4, 121-124s.
- Aydın, A.B., 2013. İnce Agregasında Farklı Oranlarda Mermer Tozu Kullanılmış Betonların Dayanım ve Dayanıklılık Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Ballou, M., 2009. Shotcrete Rebound-How Much is Enough?, *Shotcrete*, Spring 2009, 44-45.
- Baradan B., Yazıcı H., Ün H., 2002. *Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No 298, ISBN: 975-441-189-1, İzmir.

- Baricevic, A., Pezer, M., Rukavina, M.J., Serdar, M., Stirmer, N., 2018. Effect of Polymer Fibers Recycled from Waste Tires on Properties of Wet-Sprayed Concrete. *Construction and Building Materials*, 176, 135-144.
- Bowerman, S., Curtis, J.E., Clayton, J., Brookes, E.H., Wereszczynski, J., 2019. BEES: Bayesian Ensemble Estimation from SAS. *Biophysical Journal*, 117(3), 399-407.
- Breiman, L., 1996. Stacked Regression, *Machine Learning*, 24.
- Celep, Z., 2017. *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. Beşinci Baskı, İstanbul, 739s.
- Celep, Z., Kumbasar, N., 2000. *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, İstanbul, 596s.
- Cengiz, O., Turanlı, L., 2004. Comparative Evaluation of Steel Mesh, Steel Fibre and High-Performance Polypropylene Fibre Reinforced Shotcrete in Panel Test. *Cement and Concrete Research*, 34, 1357-1364.
- Chen, L., Ma, G., Liu, G., Liu, Z., 2019. Effect of Pumping and Spraying Processes on the Rheological Properties and Air Content of Wet-Mix Shotcrete with Various Admixtures. *Construction and Building Materials*, 225, 311-323.
- Chen, H., Jiang, M., Wang, X., 2017. Bayesian Ensemble Assessment for Credit Scoring. In *2017 4th International Conference on Industrial Economics System and Industrial Security Engineering (IEIS)*, IEEE, Beijing, China, 1-5.
- Chen, T., Guestrin, C., 2016. Xgboost: A Scalable Tree Boosting System. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, San Francisco, California, USA, 785-794.
- Clarke, B., 2003. Bayes Model Averaging and Stacking When Model Approximation Error Cannot be Ignored. *Journal of Machine Learning Research*, 683-712.
- Çakıroğlu, M. A., Çimen, O., 2015. Geri Seken Malzeme İle Üretilmiş Parke Taşlarının Çekme Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Tahmin Edilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 60-65.
- Demir, İ., 2009. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özellikleri Üzerine Etkisi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 105-114.
- Demirel, S., Öz, H.Ö., 2017. Atık Malzemelerin Kendiliğinden Yerleşen Beton Performansına Etkisi: Bir Derleme. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 20(3), 40-48.
- Demirel, C., Toklu, K., Şimşek, O., 2015. Geri Dönüşüm Agregasının Beton Üretiminde Kullanılabilirliği ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, 28-30 May 2015, Ankara, Türkiye, 42-47.

- Department of the Army US Army Corps of Engineers, 2005. Introduction to Shotcrete Applications, Standard Practice for Shotcrete, Course No: C04-002, P.E., EM 1110-2, 49.
- Divina, F., Gilson, A., Gómez-Vela, F., García Torres, M., ve Torres, J.F., 2018. Stacking Ensemble Learning for Short-Term Electricity Consumption Forecasting. *Energies*, 11(4), 949.
- Duan, L.L., Clancy, J.P., Szczesniak, R.D., 2016. Bayesian Ensemble Trees (bet) for Clustering and Prediction in Heterogeneous Data. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 25(3), 748-761.
- Duarte, G., Bravo, M., de Brito, J., Nobre, J., 2019. Mechanical Performance of Shotcrete Produced with Recycled Coarse Aggregates from Concrete. *Construction and Building Materials*, 210, 696-708.
- Ediz, İ., 2006. Kagir Yapılarda Kullanılan Taşıyıcı Duvarların Hasır Çelik Donatı ve Kendiliğinden Yerleşen Beton İle Güçlendirilmesinin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Erzengin, S.G., Öcal, C., 2019. Influences of Design Parameters on the Properties of Selfcompacting Concrete Produced with Structurally Different Polycarboxylates, *International Federation for Structural Concrete*, 1710-1721.
- Friedman, J.H., 2002. Stochastic Gradient Boosting. *Computational Statistics & Data Analysis*, 38(4), 367-378.
- Girgin, C., Yüksel, A., Arıoğlu, E., 1998. Tünellerde Püskürtme Betonun Mekanik Büyüklükleri ve Kalite Kontrol İlkeleri, *4.Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 22-23 Ekim 1998, Zonguldak, 135-146.
- Gürer, C., Akbulut, H., Kürklü, G., 2004. İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, *5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, 28-36.
- Gönen, T., Onat, O., Cemalgil, S., Yilmazer, B., Altuncu, T.Y., 2012. Beton Teknolojisi İçin Yeni Atık Malzemeler Üzerine Bir İnceleme, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 36-43s.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 2000. Support of Underground Excavations in Hard Rock, 300.
- Hubáček, A., Brožovský, Hela, R., 2013. Comparison of Properties of Shotcrete Tested Using Destructive and Non-destructive Methods, *Procedia Engineering*, 65, 63 – 68.
- Kadiroğlu, İ., Öz, E., Tezcan, O., Kuru, E.B., 2017. Geri Dönüşümlü Agreganın Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, *Hazır Beton*, 86-94.

- Kaufmann, J., Frech, K., Schuetz, P., Münch, B., 2013. Rebound and Orientation of Fibers in Wet Sprayed Concrete Applications, *Construction and Building Materials*, 49,15–22.
- Khooshechin, M., Tanzadeh, J., 2018. Experimental and Mechanical Performance of Shotcrete Made with Nanomaterials and Fiber Reinforcement, *Construction and Building Materials*, 165, 199-205.
- Koçak, Y., Alpaslan, L., 2011. Atık Lastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
- Köken, A., Köroğlu, M. A., Yonar, F., 2008. Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, *Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik-Online Dergi*, (7)1, ISSN 1302/6178, Konya.
- Monteith, K., Carrol L.J., Seppi, K., Martinez, T., 2011. Turning Bayesian Model Averaging into Bayesian Model Combination. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks IJCNN'11*. San Jose, California, USA, 2657–2663.
- Onan, A., Korukoğlu, S., ve Bulut, H., 2016. A Multiobjective Weighted Voting Ensemble Classifier Based on Differential Evolution Algorithm for Text Sentiment Classification. *Expert Systems with Applications*, 62, 1-16.
- Ozay, M., Yarman Vural, F.T., 2013. A New Fuzzy Stacked Generalization Technique and Analysis of its Performance. arXiv:1204.0171, <https://arxiv.org/abs/1204.0171>, (Erişim Tarihi: 01.07.2020)
- Özel, C., Filiz, M., Sevinç, A., Kıran, C., 2011. Betonda Fiber Katkı Olarak Polietilen Tereftalatın Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *SDU International Technologic Science*, (3) 2, 17-28.
- Özturan, T., 2013. Özel Betonlar. *Hazır Beton Dergisi*, Temmuz-Ağustos 2013, 70-83s.
- Pfeuffer, M., Kusterle, W., 2001. Rheology and Rebound Behaviour of Dry-Mix Shotcrete. *Cement and Concrete Research*, 31,1619–1625.
- Rahman, M.M., Bhuiyan, M.I.H., Das, A.B., 2019. Classification of Focal and Non-Focal EEG Signals in VMD-DWT Domain Using Ensemble Stacking. *Biomedical Signal Processing and Control*, 50, 72-82.
- Saade, M.R.M., Passer, A., Mittermayr, F., 2018. A Preliminary Systematic Investigation onto Sprayed Concrete's Environmental Performance. *Procedia CIRP*, 69, 212 – 217.
- Singh, C.P., Rana, N., Rana, S., 2014. Shotcrete - Advanced Technology in Civil Engineering. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, (1)2, 6-9.

- Sill, J., Takacs, G., Mackey, L., Lin, D., 2009. Feature-Weighted Linear Stacking. arXiv:0911.0460, <https://arxiv.org/abs/0911.0460>, (Erişim Tarihi : 01.07.2020).
- Smyth, P., Wolpert, D.H., 1999. Linearly Combining Density Estimators via Stacking. *Machine Learning Journal*, 36, 59-83.
- Sofis, T., 2015. The Durability of Shotcrete- Looking Back at Projects from 30 to 40 Years Ago. *Shotcrete-Spring*, 18-20.
- Sümer, T., 1994. Püskürtme Beton Malzeme, Ekipman, Katkı Seçim Kriterleri ve Maliyet Optimizasyonu, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni*, İzmir, 56, 18-21s.
- Süzen, A.A., ve Çakıroğlu, A.M., 2019. Prediction of rebound in shotcrete using deep bi-directional LSTM. *Computers and Concrete. An International Journal*, 24 (6), 555-560.
- Şentürk, İ., 2016. Püskürtme Betonun Yaklaşık Maliyet Analizini Yapan Bir Bilgisayar Programı, Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Thomas, A., 2018. *Püskürtme Beton Kaplamalı Tüneller Giriş*, Çeviren: Gürkan Ilıca, 1. Basımdan çeviri, Yayın no: 2012, ISBN:978-605-320-920-1, 241.
- Topçu, İ.B., 2006. *Beton*, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, İnşaat Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi, Yayın No: 2, 260.
- TSE, 1995. *Püskürtme Beton (Shotcrete) Yapım, Uygulama ve Bakım Kuralları*. TS 11747, Türk Standartları Enstitüsü, Birinci Baskı, ICS 91.100.30, Ankara, Türkiye.
- TS EN, 2019. *Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk*. TS EN 12350-6, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN, 2019. *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini*, TS EN 12390-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN, 2010. *Beton Basınç Dayanımının, Yapılar ve Öndökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini*. TS EN 13791, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2006. *Püskürtme Beton – Bölüm 1: Tarifler, Özellikler ve Uygunluk*. TS 14487-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS, 2016. *Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları*. TS 802, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- URL-1, 2020. Çimento, <https://www.goltas.com.tr/files/urunlerimiz/dgjrapsb6jsoc0c0kg.pdf>, (Erişim Tarihi: 15.06.2020).

- Yaman, M.A., Subasi, A., Rattay, F., 2018. Comparison of Random Subspace and Voting Ensemble Machine Learning Methods for Face Recognition. *Symmetry*, 10(11), 651.
- Yılmazoğlu, M.U., Memiş, S., Mütevellî, İ.G., 2016. Kastamonu İlinde Kullanılan Betonların Nicel Analizi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 756-764.
- Yıldız, S.A., Yiğit, M.E., Öztürk, A.U., Kaplan, G., 2015. Farklı Viskozite Değerlerine Sahip Püskürtme Beton Karışımlarının Geri Sıçrama Optimizasyonunun ABAQUS CAE Programıyla İncelenmesi, 9. *Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, April, Antalya.
- Yousefieh, N., Joshaghani, A., Hajibandeh, E., Shekarchi, M., 2017. Influence of Fibers on Drying Shrinkage in Restrained Concrete. *Construction and Building Materials*, 148, 833-845.
- Yu, H., Wu, L., Liu, W.V., Pourrahimian, Y., 2018. Effects of Fibers on Expansive Shotcrete Mixtures Consisting of Calcium Sulfoaluminate Cement, Ordinary Portland Cement, and Calcium Sulfate. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10, 212-221.
- Yun, K-K., Choi, S-Y., Yeon, J.H., 2015. Effects of Admixtures on the Rheological Properties of High-Performance Wet-Mix Shotcrete Mixtures. *Construction and Building Materials*, 78, 194-202.
- Yun, K-K., Choi, P., Yeon, J.H., 2015a. Correlating Rheological Properties to the Pumpability and Shootability of Wet-Mix Shotcrete Mixtures. *Construction and Building Materials*, 98, 884-891.
- Yun, K-K., Choi, P., Yeon, J.H., 2019. Microscopic Investigations on the Air-Void Characteristics of Wet-Mix Shotcrete. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 1674-1683.
- Wolpert, D., 1992. Stacked Generalization. *Neural Networks*, 5(2), 241-259.
- Wolpert, D.H., Macready, W.G., 1999. An Efficient Method to Estimate Bagging's Generalization Error. *Machine Learning Journal*, 35, 41-55.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Mert ALKAN
Doğum Yeri ve Yılı :İzmir 10.03.1970



<u>Eğitim Durumu</u>	<u>Yıl</u>
Lise : Çınarlı Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	1989
Lisans : Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	1998
Yüksek Lisans :Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Devam

<u>Çalıştığı Kurum / Kurumlar</u>	<u>Yıl</u>
1. PORR Qatar Construction	2015 - 2019
2. PORR – SBG – HBK JV	2014 - 2015
3. Yapı Merkezi Suudi Arabistan	2013 - 2014
4. Bechtel – Enka Umman	2012 - 2013
5. Cengiz Libya	2010 - 2011
6. Özmim İnşaat Tokat	2009 - 2009
7. Enka İnşaat Rusya	2008 - 2009
8. GFC İnşaat Romanya	2007 - 2008
9. Yapı Merkezi İnşaat Türkiye	2003 - 2007
10. İşcan İnşaat Türkiye	2002 - 2002
11. MG Mimarlık Türkiye	2001 - 2002
12. Dekim İnşaat Türkiye	1999 - 2000
13. Sezer İnşaat Türkiye	1998 - 1999

Yayınları (SCI ve diğer makaleler)