



**İRİ AGREGA OLARAK İNŞAAT YIKINTI ATIĞI, İNCE AGREGA
OLARAK DOĞAL VE KIRMA KUM KULLANILAN BETONUN BAZI
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE BASINÇ
DAYANIMLARININ YAPAY SINIR AĞI İLE TAHMİN EDİLMESİ**

Mustafa Kürşad KORKUT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mustafa Kürşad KORKUT

21/12/2021

İRİ AGREGA OLARAK İNŞAAT YIKINTI ATIĞI, İNCE AGREGA OLARAK DOĞAL
VE KIRMA KUM KULLANILAN BETONUN BAZI MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE BASINÇ DAYANIMLARININ YAPAY SINIR
AĞI İLE TAHMİN EDİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa Kürşad KORKUT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Günümüzde çevresel sorunların başında inşaat atıkları gelmektedir. İnşaat yıkıntı atıkları Türkiye’de vahşi depolama sistemi şeklinde yapıldığından dolayı doğal yapı bozulmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Sürdürülebilirlik açısından bu çalışmada, beton üretiminde iri agregası olarak inşaat yıkıntı atığı kullanılmıştır. Betonda ince agregası olarak doğal kum, kırma kum ve doğal-kırma kum kombinesi kullanılarak beton üretilmiştir. Üretilen betonların işlenebilirlik, basınç, yarmada çekme, aşınma direnci ve kılcal su emme özellikleri incelenmiştir. Ayrıca basınç dayanımı betonu oluşturan bileşen miktarlarının yapay sınır ağında parametre olarak kullanılarak tahmin edilebilmesi üzerine kurgulanmıştır. Karışım dizaynı yapılırken hedef beton dayanımı C20 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda hedeflenen sonuçlara büyük çoğunlukla ulaşılmıştır. Ayrıca kırma kum kullanılarak üretilen betonun doğal agregası ile üretilen betona göre durabilitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen yapay sınır ağının tahmini basınç dayanım sonuçları ile deneysel yöntemler kullanılarak alınan sonuçlar ile 0,93779 oranında doğruluk payına ulaşılmıştır.

Bilim Kodu : 91127
Anahtar Kelimeler : İnşaat yıkıntı atığı, geri dönüşüm beton agregası, basınç dayanımı, yapay sınır ağ
Sayfa Adedi : 63
Danışman : Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

INVESTIGATION OF SOME ENGINEERING PROPERTIES OF CONCRETE
PRODUCED BY NATURAL SAND AND CRUSHED SAND AS FINE AGGREGATE,
COARSE AGGREGATE OBTAINED FROM CONSTRUCTION WRECK WASTE AND
ESTIMATING THE COMPRESSIVE STRENGTH BY USING ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK

(M. Sc. Thesis)

Mustafa Kürşad KORKUT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2022

ABSTRACT

Nowadays, construction waste is one of the leading environmental problems. Since construction debris wastes are made in the form of a wild storage system in Turkey, the natural structure deteriorates and causes environmental pollution. In terms of sustainability, in this study, construction debris waste was used as coarse aggregate in concrete production. Concrete was produced by using natural sand, crushed sand and natural-crushed sand combination as fine aggregate in concrete. The workability, compression strength, splitting shrinkage, abrasion resistance and capillary water absorption properties of the produced concrete were investigated. In addition, the compressive strength is built on the ability to predict the amount of components that make up the concrete by using them as parameters in the artificial neural network. While designing the mixture, the target concrete strength was determined as C20. As a result of the experimental studies, the targeted results were mostly achieved. In addition, it has been determined that the durability of the concrete produced using crushed sand is higher than the concrete produced with natural aggregate. The estimated compressive strength results of the developed artificial neural network and the results obtained by using experimental methods have reached an accuracy rate of 0.93779.

Science Code : 91127

Key Words : Construction wreck waste, recycled concrete aggregate, compressive strength, artificial neural network

Page Number : 63

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Osman ŞİMŞEK

TEŞEKKÜR

Çalıőmamızın konu belirlemedesinde, araştırma süresinde ve tamamlanmasında destek olan, tezimizin başlangıcından bitimine kadar bana inanan, yardımcı olan değerli hocam ve tez danıőmanım sayın Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e gönülden teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen, bu günlere gelmemde üzerimde büyük emeğe sahip olan ve haklarını asla ödeyemeyeceğim saygıdeğer anneme ve babama teşekkür ederim

Ayrıca deney aőamalarında benden yardımını esirgemeyen sevgili eőim Kübra KORKUT'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Beton	3
2.1.1. Agrega.....	3
2.1.2. Çimento.....	11
2.1.3. Beton kimyasal katkı maddeleri.....	11
2.2. Taze Beton Özellikleri.....	11
2.3. Sertleşmiş Beton Özellikleri.....	12
2.3.1. Basınç mukavemeti.....	13
2.3.2. Betonda durabilite (dayanıklılık)	14
2.4. Geri Dönüşüm Agregası ile Yapılan Çalışmalar	14
2.4.1. İnşaat yıkıntı atık agregasının teknik özelliklerinin araştırılması	15
2.4.2. İnşaat yıkıntı atık agreganın su emme oranı ve yoğunluğu	15
2.4.3. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonun işlenebilirliği.....	16
2.4.4. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonun basınç dayanımı	17
2.4.5. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonda rötre.....	17

	Sayfa
2.4.6. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonda aşınma	17
2.4.7. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonda su emme	18
2.4.8. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonda ıslanma-kuruma	18
2.5. Yapay Sinir Ağları (YSA)	18
2.5.1. Uzman sistemler	19
2.5.2. Makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları	20
2.5.3. Genetik algoritmalar	20
2.5.4. Bulanık önermeler mantığı	21
2.5.5. Zeki etmenler	22
2.5.6. Makine öğrenmesi ve öğrenme türleri	23
2.5.7. Denetimli öğrenme	24
2.5.8. Denetimsiz öğrenme	24
2.5.9. Takviyeli öğrenme	24
2.5.10. Yoğun öğrenme	24
2.6. Yapay Sinir Ağlarına Giriş	24
2.6.1. Yapay sinir ağlarının avantajları	25
2.6.2. Yapay sinir ağlarının dezavantajları	26
3. MATERYAL VE METOT	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Agregat	29
3.1.2. Bağlayıcı ve karışım suyu	30
3.1.3. Kimyasal katkı maddesi	30
3.2. Metot	31
3.2.1. Agregat deneyleri	32
3.2.2. Beton karışım tasarımı ve betonun üretimi	33
3.2.3. Taze betonda slump deneyi	34

	Sayfa
3.2.4. Beton basınç dayanımı deneyi	35
3.2.5. Yarmada çekme dayanımı deneyi	36
3.2.6. Aşınma direnci deneyi	36
3.2.7. Kılcal su emme deneyi	36
3.2.8. Yapay sinir ağının oluşturulması	37
4. BULGULAR	39
4.1. Taze Betonun İşlenebilirliği	39
4.2. Basınç Dayanımı	40
4.3. Yarmada Çekme Dayanımı	41
4.4. Aşınma Direnci.....	42
4.5. Kılcal Su Emme.....	44
4.6. Yapay Sinir Ağı Basınç Dayanım Tahminleri	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
5.1. Sonuçlar.....	53
5.2. Öneriler.....	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler	30
Çizelge 3.2. Kullanılan kimyasal katkı maddesinin teknik özellikleri	31
Çizelge 3.3. Agreganın elek analizi	32
Çizelge 3.4. Agregaların teknik özellikleri	33
Çizelge 3.5. Beton karışım tasarımı ve karışım oranları.....	34
Çizelge 3.6. Üretilen YSA'yı oluşturan parametreler.....	38
Çizelge 4.1. Beton karışım tiplerinin kapiler su emme katsayısı.....	44
Çizelge 4.2. YSA3 tahmin sonuçları ve deneysel verilerle karşılaştırılması.....	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Uzman sistemlerin çalışma prensibi	19
Şekil 2.2. Genetik algoritmaların çalışma prensibi	21
Şekil 2.3. Bulanık önermeler mantığının çalışma prensibi	22
Şekil 2.4. Zeki etmenlerin çalışma prensibi	23
Şekil 2.5. Bu çalışmada denenen yapay sinir ağı modellenmesi	25
Şekil 3.1. Agregaların granülometri eğrileri	33
Şekil 4.1. Taze beton numunelerine ait çökme değerleri	39
Şekil 4.2. Beton karışım numunelerinin basınç dayanım ilişkisi	40
Şekil 4.3. Beton karışım numunelerinin yarmada çekme dayanım ilişkisi	42
Şekil 4.4. Beton karışım numunelerinin aşınma kaybı ilişkisi	43
Şekil 4.5. Beton karışım numune tiplerinin kılcal su emme ilişkisi	46
Şekil 4.6. YSA1 ve YSA2 için oluşturulan ara yüz	47
Şekil 4.7. YSA3'e ait eğitim, test, doğrulama ve genel korelasyon değerleri	48
Şekil 4.8. YSA2'ye ait eğitim, test, doğrulama ve genel korelasyon değerleri	49
Şekil 4.9. YSA3'e ait eğitim, test, doğrulama ve genel korelasyon değerleri	50

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deneyleerde kullanılan iri geri dönüşüm agregaları	29
Resim 3.2. Deneyleerde kullanılan ince agregalar	30
Resim 3.3. Doğal kumla üretilen taze beton çökme (slump) deneyi	35
Resim 3.4. Kıırma kumla üretilen taze beton çökme (slump) deneyi.....	35
Resim 3.5. Aşınma direnci deneyi	36
Resim 3.6. Kılcal su emme deneyi	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
DK	Doğal kum
DK-0	Doğal kumu agregalı katkısız beton
DK-1	Doğal kumu agregalı %1 katkılı beton
DK-1,5	Doğal kumu agregalı %1,5 katkılı beton
DK-2	Doğal kumu agregalı %2 katkılı beton
DK-KK	Doğal kum + kırma kum
DK-KK-0	Doğal kumu + kırma kumu agregalı katkısız beton
DK-KK-1,0	Doğal kumu + kırma kumu agregalı %1 katkılı
DK-KK-1,5	Doğal kumu + kırma kumu agregalı %1,5 katkılı
DK-KK-2,0	Doğal kumu + kırma kumu agregalı %2 katkılı
S/Ç	Su çimento oranı
GDA	Geri dönüşümlü agrega
GKA	Geri kazanılmış agrega
GKKA	Geri kazanılmış kırmataş agrega
İYA	İnşaat ve yıkıntı atıkları
KK	Kırma kum
KK-0	Kırma kumu agregalı katkısız beton
KK-1	Kırma kumu agregalı %1 katkılı beton
KK-1,5	Kırma kumu agregalı %1,5 katkılı beton
KK-2	Kırma kumu agregalı %2 katkılı beton
NNT	Neural network tool
YSA	Yapay sinir ağı
Simgeler	Açıklamalar
C w,s	Kapiler su emme katsayısı

Simgeler

Açıklamalar

MPa

Megapascal

1. GİRİŞ

Günümüzde çevrenin korunması çok önemli bir konu haline gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınma bağlamında, çevre koruma önlemlerinde enerji tüketimi, doğal hammadde tüketimi ve atıkların azaltılması büyük önem taşımaktadır. Dünya nüfusunun hızla artması, büyük şehirlerde inşaat sektörünün hızla gelişmesine neden olmuş ve beton üretiminde kullanılan malzemelere olan talebi de artırmıştır. Bu malzemelerde çimentonun mineral katkılarla ikame edilmesi ve atık betonun agregalar halinde kırılmasıyla elde edilen geri dönüştürülmüş agregaların kullanılması yöntemi çalışılmıştır [1].

Yapı malzemesi olarak betonun son derece fazla kullanılmasının nedenlerinden bazılarını sayacak olursak mukavemet, durabilite ve uzun ömürlü olması gibi özelliklerinden bahsedebiliriz. Yapı malzemesi olarak betonun başlıca kullanım alanlarından ilki konut, ikincisi ticari alanlar ve kamu binaları, üçüncü olarak ise taşıt yollarını sıralayabiliriz. Ayrıca günümüz dünyasında en önemli enerji üretim yapılarından birisi olarak barajları da unutmamamız gerekmektedir. Yer altı yapılarından bazıları olan kanalizasyon ve metro yapıları gibi yüksek dayanım ve durabilite gerektiren yapılar içinde kullanılması en doğru yapı malzemesi yine betondur. Dolayısıyla geçmişten günümüze kadar kullanılmış ve kullanılmaya devam edecek olan hayatımızın bir parçası haline gelen beton son derece önemli bir yapı malzemesidir.

Beton başlı başına kullanıldığı zaman basınç dayanımının fazla ancak çekme dayanımının ise basınç dayanımı ile ters orantılı olacak şekilde az olmasından dolayı, çelik ilave edilmesi sureti ile hem basınç hem de çekme dayanımı özelliklerinin daha da artırılması sağlanmaktadır. Hem beton hem de çeliğin kullanıldığı yapılara da betonarme yapılar denmektedir.

Mühendislik açısından yüksek dayanım sağlayabilen betonarme yapıların, özel yapım kalıplar sayesinde, istenilen şekillerde ve hacimlerde kullanılabilirliği, mimari açıdan son derece estetik yapıların meydana gelmesini sağladığı gibi, bu yapıların uzun ömürlü oldukları da bilinmektedir. Yine mühendislik açısından yüksek dayanım gerektirmeyen bazı yapılar (kaldırım, grobeton, parke ve bordür taşı, mezar lahiti, bahçe duvarı vb.) için de mimarların en çok kullanmak istediği yapı malzemesi betondur.

Bu kadar fazla beton üretiminin olduğu ve kullanılmaya devam edileceğini bilmek biz insanoğluna güven vermektedir. Ancak, çevresel faktörler göz önüne alındığında beton üretimi için gerekli olan hammaddelerin doğada bulunabilirliği göz önünde bulundurulması gereken son derece önemli bir husustur.

Doğada azalan beton hammaddelerine ulaşım azalmakta ve dolayısıyla üretim maliyetlerini artırmaktadır. Bu durum mühendislik açısından yeni uygulama alanları keşfetmemiz gerektiğini gösteren bir durumdur. Yani daha ucuz maliyetli ve aynı sağlamlıkta betonların üretilmesini sağlamak.

Günümüz dünyasında geri dönüşüm konseptinin önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Hemen hemen üretilen birçok malzeme, aygıt veya yapının geri dönüştürülebilirliği üzerine son derece önemli çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Ayrıca, birçok devletin bu konularda teşvik edici yaptırımları bulunmaktadır. İnsanlar bilinçlendirilmektedir.

İnşaat sektörü olarak geri kazanım konseptini ele aldığımızda ise en çok kullanılan yapı malzemesi olan betonun yeniden kullanılması, geçtiğimiz son 30 yılda trend olan konular arasındadır. Ülkemizde de bu hususta önemli çalışmalar literatürde mevcut ve bu konu ile ilgili proje geliştirilmesi devletimiz tarafından teşvik edilmektedir.

Betonun geri dönüştürülmesi için ya yapının ömrünü tamamlaması, kullanım amacına gerek kalmaması veya daha da kötüsü olan doğal afetler sonucunda bertaraf olması gerekmektedir. Ortaya çıkan yıkıntı halindeki malzemeler bütünü için inşaat yıkıntı atığı, moloz gibi tabirler kullanılmaktadır.

İnşaat yıkıntı atıklarının büyük bir miktarını beton ve demir oluşturmaktadır, geri kalanı tuğla, kiremit, seramik, gazbeton ve alçıpan gibi malzemeler oluşturmaktadır. Bu atıklar vahşi depolama yöntemi ile depolanmaktadır.

İnşaat yıkıntı atıklarının gün yüzüne çıkardığı bazı çevresel sorunların olması onların yeniden kullanılmasını ve doğaya zarar vermelerinin engellenmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca azalan hammadde ihtiyacından dolayı bu yıkıntı atıklarının geri kazanımı üzerinde çalışmak ve bilgi sahibi olmak gerekmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Beton

Beton; çimento, agrega, suyun ve katkı maddelerinin hesaplamalar neticesinde belirlenen oranların beton üretim teknolojisine uygun olarak karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşp, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir [2].

Beton tanımından anlaşılacağı üzere bileşenlerinden olan çimento, agrega, su ve katkı maddelerinin beton performansına etkisi yüksektir. Bu bileşenlerden agrega beton hacminin %65 ile %70 'ini oluşturmaktadır. Agregaya aynı zamanda betonun ana iskeletini oluşturmaktadır. Agregaya tane boyutu, granülometrisi, yoğunluğu vb. özellikleri betondan beklenen durabilite özelliklerini etkilemektedir [2-4].

2.1.1. Agregaya

Agrega; beton üretiminde kullanılan genellikle mineral kökenli, taneli (granül) doğal ve yapay olarak elde edilen malzemeye denir. Agregalar genel olarak, elde edilış şekillerine, birim ağırlıklarına, boyutlarına, tane şekillerine, yüzey dokularına, kaynaklarına, jeolojik ve mineralojik yapılarına göre sınıflandırılabilirler [5].

Agregaların tane boyutu 4 mm'den büyükse, iri (çakıl), 4 mm'den küçükse ince (kum) ve bu ikisinin karışımında ise karışık (tüvanan) agrega denilerek üç gruba ayrılır [2]. TS 802'ye göre, agrega tane boyutuna bağılı olarak iri veya kaba agrega, çoğu zaman taş ocaklarından çıkartılan taşların çeneli kırıcılar ile kırılması suretiyle elde edilebildiği gibi akarsu yatağından alınarak elenmiş malzemeler (doğal şekillenmiş) olarak da elde edilmektedir. İnce agrega (kum) ise, silika veya kalker ihtiva eden doğal şekillenmiş malzemenin elenmesi ile elde edilebildiği gibi, taşların kırma ve öğütme işlemi ile de elde edilebilir. Bu agregalar belirli elekler arası alt gruplara da ayrılmaktadır. Örneğin, iri (4-31,5mm) agregalar 4-11,2 mm, 11,2-22,4 mm veya daha farklı gruplar halinde beton karışımında kullanılabilir, ince (0-4) agrega ise 0-2, 2-4 alt gruplara ayrılırlar [6,7].

Elde edilmiş şekillerine göre agregalar doğal ve yapay olarak iki ayrılırlar;

Doğal agregalar

Akarsu yatağı, deniz, buzul, çöl ve teras agregaları olarak gruplandırılırlar. Bu agrega grupları içinde yaygın olarak kullanılanlar, akarsu yatağından elde edilen agregalardır. Doğal agrega ile beton üretiminde kalite sıkıntısı vardır. Bunun sebebi agrega tanelerinin çok karışık yapıya ve özelliklere sahip olmasıdır.

Akarsu agregaları

Akarsu yataklarındaki agrega ocakları en çok rastlanan ve en fazla arzu edilen kaynaklardır. Deniz ve göllerden elde edilen agregaların içinde tuz bulunduğu gibi su canlılarının kabukları da bulunmaktadır. Tuzun agrega veya harç içerisinde aşırı miktarda bulunması, çatlamaya ve parçalanmaya neden olur. Deniz canlılarının kabukları bazı durumlarda üretilen beton kalitesinde sorunlar çıkarırlar, bu nedenle deniz ve göllerden elde edilen agregalar istenmeyen maddelerden arındırıldıktan sonra beton üretiminde kullanılabilirler. Ancak arındırma işlemi ayrı bir harcama gerektireceği için ekonomik değildir [3,4].

Yapay (suni) agregalar

Genel olarak üretim esnasında işlem görmüş veya bir sanayinin atık maddesi olarak elde edilen agregalardır. Bu agregaların bir diğer adı da sanayi ürünü agregalardır. İkinci bir işlem sonucu beton yapımında kullanılabilir hale getirilebilirler. Bunlar yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu olarak sıralanabilir. Kısacası, sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregalardır.

Geri kazanılmış agrega

Geri kazanılmış kırmataş agrega (GKKA) daha önce inşaat işinde kullanılmış sertleşmiş betonun kırılması yoluyla elde edilen agrega olarak tanımlanabilir. İnşaat yıkıntı atıklarının (İYA) geri kazanımı ekonomik ve doğal çevrenin korunmasına yönelik yararları sebebi ile ilginin arttığı bir araştırma alanı haline gelmiştir [8].

Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de katı atıkların kontrolü ve yönetimi, başlı başına bir sorundur. Genellikle modern toplumların, atıkların yerinde ayrıştırılarak toplanması bu durum için büyük kolaylık sağladı. Özellikle bu katı atık grubu içinde yer alan inşaat İYA başlı başına bir sorun oluşturmaktadır [9-12]

Katı atıkların yeniden kullanılarak inşaat sektörüne kazandırılması çevresel ve ekonomik açıdan büyük öneme sahiptir. Geçmişten günümüze kadar inşaat ve yıkıntı atıklarını değerlendirme araştırmaları devam etmektedir. İlk İYA değerlendirilmelerine yönelik çalışmalar İkinci Dünya Savaşı sonrasında başlamış olmasına rağmen önemli bir gelişme göstermemiştir. Son yıllarda, çevreye olan duyarlılığın artması, doğal kaynakların sınırlı ve ekonomik olmaması, az da olsa inşaat sektöründe geri dönüşüm malzemelerin kullanılabilmesi için yeni bir başlangıç olmuş ve araştırmacıları bu sorunu çözmeye yönelik çalışmaya itmiştir [13,14].

İnşaat yıkıntı atığını oluşturan doğal afetlerin (deprem, yangın) yanında, kullanım ömrünü doldurmuş yapıların bakım ve geliştirilme faaliyetleri, karayolları, demir yolları ve havaalanı pistlerinin yapımı, yıkımı, tadilatı ve tamirata faaliyetleri sonucunda İYA’lar ortaya çıkabilmektedir. İYA’ların büyük bir kısmını beton meydana getirirken duvar yıkıntıları ikinci sırayı oluşturmaktadır [15-17]. Beton atığının geri dönüştürülmüş agrega olarak kullanılması, depolama yerlerinde bu atıkların neden olduğu çevre kirliliğini azaltacaktır. Bunun yanı sıra, nakliye sırasında kullanılan yakıtın neden olduğu hava kirliliğini azaltacaktır [18].

Geri kazanılarak elde edilen agrega, imalatçı veya bir imalatçı grubu tarafından sadece kendi işlerinde (ticari olmayan şekilde) kullanıldığı sürece beton agregası olarak kullanılabilir. Tane sınıflarına ayrılmamış haldeki geri kazanılmış agrega, toplam agreganın %5’inden daha fazla miktarda kullanılmamalıdır. Yıkılarak geri kazanılmış agrega miktarının toplam agreganın %5’inden daha fazla olduğu durumda, bu agreganın, iri ve ince agrega olmak üzere en az iki tane sınıfa ayrılmış olması ve TS 706 EN 12620’ye uygun olması gereklidir. GKKA miktarının, toplam agreganın %5’inden daha fazla olduğu durumda, bu agrega geri dönüşümlü agrega olarak kabul edilir [19].

Geri kazanılmış agregaların (GKA) sınıflandırılması RILEM (*Reunion Internationale Des Laboratoires D’essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Les Constructions*)

komitesi tarafından 3 gruba ayrılmıştır. Bu gruplar elde edildiği atık malzemeye göre geri kazanılmış agrega olarak tanımlanmıştır [17]. İlki, duvar molozlarından elde edilenler, ikincisi beton molozlarından elde edilenler, üçüncüsü ise doğal agrega (%80) ile geri kazanılmış agreganın (%20) karışımı ile elde edilenler olarak sınıflandırılmışlardır. GKA ile üretilen beton karışımları genellikle doğal agrega ile üretilen yöntemlerle gerçekleştirilir.

Beton karışım hesabı yapılırken, birim su içeriği belirlenirken geri kazanılmış agreganın daha fazla olan su emmesinin dikkate alınması gerekir. RILEM komitesinin GKA ile üretilen betonun oranları için göze çarpan tavsiyeleri Rao vd. (2007), tarafından GKA ile üretilen farklı beton sınıfları karışımlarında, betonun karakteristik basınç dayanımı belirlenirken amaçlanan hedef dayanımdan daha yüksek standart sapmalar hesapta dikkate alınmalıdır [20].

Geri dönüşümlü agrega

Geri dönüşümlü agrega (GDA), herhangi bir inşaat işinde kullanılan malzemelerin geri kazanım yoluyla tekrar kullanılabilir hale getirilmesiyle elde edilen agregadır. Farklı süreçlere maruz kalan çeşitli alanlardaki atık malzemelerin yeni malzemelere dönüştürülmesine genel olarak geri dönüşüm denir. Diğer bir deyişle geri dönüşüm, hammadde olarak kullanılmamış atık maddelerin kimyasal ve fiziksel yöntemlerle yeniden üretim sürecine dahil edilmesini ifade eder [21].

Geri dönüşümlü ince agrega için herhangi bir sınırlama yoktur. Beton üretiminde en yaygın olarak kullanılan bileşenlerden biri olmasının en büyük nedeni kullanılan agregaların yapısal özelliklerini betona aynen aktarmasıdır. Bundan dolayı bütün agrega çeşitlerinde bulunan bazı özelliklere sahip olması gerekir. Beton agregası ne kadar kaliteli ise agreganın kullanıldığı betonun da aynı kalite olması beklenmektedir.

Yüksek dayanımlı beton araştırmalarında; kırma taş agregasının akarsu agregalarına göre basınç dayanımının, yaklaşık olarak %10 ile %30 arasında daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Kırma taş agregasının betonda kullanılması ile işlenebilirlik için ihtiyaç duyulan suyun yerine süper akışkanlık kazandırıcı katkı maddesi kullanılması zorunludur [22].

Kırma agregaların tane şekli, kırılma özelliği, tane dağılımı, beton içinde agregaların davranışını, doğal agregaya göre olumsuz etkiler. Bu farklılık nedeniyle agrega taneleri birbiri üzerine kolay bir şekilde oturmadığı için işlenebilme zorlukları ortaya çıkar, ayrıca agrega taneleri arasında istenmeyen boşluklar oluşur, bu boşluklar beton içindeki çimento hamuru ile doldurulur. Beton içindeki boşlukların az veya hiç olmaması için ince (kum) agrega oranının granülometriye bağlı olarak ayarlanması gerekir.

Agrega çimentodan daha ucuz olduğu için, betonda mümkün olduğunca az çimento ve mümkün olduğunca çok agrega kullanılmasının üretim maliyetlerini azaltacağı bir gerçektir. Agregalar, kaynaklarına göre doğal ve yapay olarak bunun yanı sıra geri dönüştürülerek, geri dönüşüm agregaları olarak kategorize edilirler. Doğal agregalar nehir yataklarından, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından toplanan agregalar olup, yıkama ve ayıklama dışında arıtılmamaktadır. GDA ise eski betonarme yapıların yıkılmasından kaynaklanan atıkların kırılması ve elenmesi ile elde edilen bir malzemedir. Yapay agregalar, endüstriyel atıkların veya yan ürünlerin ısı işlemden geçirilmesiyle elde edilen agregalardır [5].

Beton üretiminde kullanılan agrega; tane boyutu, maksimum tane çapı, tane şekli, yüzey dokusu, aşınma direnci, agregadaki zararlı ve inorganik maddelerin türü ve içeriği, donma direnci, agreganın su emme kapasitesi, birim ağırlığı, yoğunluğu vb. gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri, üretilen betonun mukavemetini ve dayanıklılığını etkiler [3,23].

Çimento hamuru, zamanla su kaybeden ve kuruma nedeniyle küçülen bir çimento ve su karışımıdır. Agregası, büzülme nedeniyle beton hacminin değişmesini engelleyerek çatlakları azaltır. Agregalar dayanıklı ve sert malzemeler olduğundan betonun basınç dayanımının artmasına yardımcı olurlar. Ayrıca betonun çevresel etkilere karşı direncini ve aşınma direncini artırır [4,5].

Malzemenin içindeki boşluk ne kadar büyükse, betonun dayanımı o kadar yüksek olur. Düşük bileşime sahip malzemelerden yüksek mukavemet beklenemez. Beton hacminin büyük bir bölümü agregalardan oluştuğu için agregaların granülometrisi betonun kompozitesini büyük ölçüde etkiler. Beton tasarım karışım oranının hesaplanmasında, toplam agreganın hesaplanan maksimum doluluğunun beton kompozitesini arttırmak için kullanılmasına özen gösterilmelidir. Betonda düşük kompozit agrega karışımlarının

kullanılması çimento içeriğini artıracak, böylece beton maliyetini ve hidrasyon ısını artıracak, iç gerilmelere ve beton çatlaklarına neden olacaktır [24].

Genel olarak günümüzde inşaat sektöründe kullanılan ham maddenin %50'sini doğadan sağlar, toplam enerjinin %40'ını tüketir bu enerjinin çoğunluğunu da çimento üretimi tüketirken toplam atıkların %50'sine eş değer enerji tüketimine neden olur [17]. İnşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesinin beton olduğu bilinmektedir. Beton hem üretilirken hem de yıkıldıktan sonra çevreye zarar veren, doğal kaynakları tüketen, topografik yapıyı bozan imalat süreci nedeniyle, çevre dostu değildir. Sürdürülebilir gelişme kavramı dikkate alındığında geri dönüşüm malzemelerinin daha iyi kullanılması gerekmektedir [25]. Beton üretiminde kullanılan agreganın %20 oranında GDA kullanımının, taze ve sertleşmiş beton üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı gibi çevreye de olumlu katkı sağlayacağı belirtilmektedir [26, 27]. Başka bir araştırmada ise geri dönüşüm agregasının %30'a kadar kullanılabilmesi vurgulanmaktadır. GDA kullanılan betonlarda işlenebilirliği sağlamak için uygun kimyasal katkı maddesi kullanılması beton performansını olumlu yönde etkilemektedir [28,29]. Ayrıca çimento hamuru ile iyi aderansa sahip olduğu, daha düşük yoğunluğu ve aşınma yüzdesi değerlerinin daha yüksek ve GDA'nın suya ihtiyacın yaklaşık %10 artırdığı vurgulanmaktadır [30-32]. Başka bir çalışmada atık betonlara yapışık diğer maddelerden temizlenmesi gerektiği ve %50'den fazla GDA kullanımının işlenebilirliği azalttığı belirtilmektedir [33]. Geri dönüşüm agregası betonda kullanılmadan önce granülometrisi ve teknik özellikleri iyi analiz edilerek kullanımına karar verilmelidir. İri GDA belirli oranlarda kırma taş agrega ile ikame edilerek kullanılması durumunda taze betonun işlenebilirliği, sertleşmiş betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir [30,34].

İnşaat yıkıntısından (molozlar) elde edilen agregalar homojen bir özellik göstermezler. Molozu meydana getiren yıkıntı cinsine bağlı olarak değişkenlik gösterirler. Bu agrega bileşimi, doğal agrega tanelerinin (%40 – %50) karışımı ile beton harcı atıklarına yapışan doğal agrega tanelerinin (%40 – %50) bileşimidir. Diğer yıkıntıdan elde edilen malzemelerin miktarı (duvar malzemeler, kilden üretilen malzemeler, cam vb.) %10'dan daha azdır. Bunlar beton ve sıva harçları, doğal taneler, tuğla, kiremit, seramik ve beton kırıklarının oluşturdukları agregalardır. Daha önce kullanıldığı yere göre inşaat yıkıntı atıklarının dağılımları farklılıklar gösterir. Bu dağılım, yıkıntı malzemelerinin geri dönüştürülmesinin, katkısız beton kırıklarının geri dönüştürülmesine benzetilmesine engel

olmaktadır [35,36]. GDA ile üretilen betonların su emmesi fazla olduğundan boşluk oranı da yüksektir büyük olasılıkla basınç dayanımı düşüktür. Bu durumu engellemek için kimyasal katkı maddelerinin doğru oranda kullanımı ile üretilen beton daha kompakt bir yapı haline getirebilmek mümkündür. Bu sayede GDA'ların beton karışım oranındaki su emmesi fazla su kimyasal katkı maddeleri tarafından sağlanacak olup, elde edilecek betonların kompakt bir hale gelmesi ve durabilite kazanımı sağlanacaktır. Ancak yapısı karmaşık olan malzemelerin, su emmesini azaltacak bir çözüm bulunamamıştır. Fakat, işleme teknolojisindeki ilerlemelerin katkılarıyla GDA kalitesinde elde edilecek gelişmeler ile beton teknolojisinde kullanımı mümkün olacaktır [37,38].

Geri dönüşüm agregasının çevresel olarak değerlendirilmesi

Günümüzde nüfus arttıkça tüketim artmaktadır. Bu durum, dünyada üretim için gerekli hammadde sayısının hızlı bir şekilde azalmasına, ekolojik dengenin bozulmasına, çevre kirliliğine ve aşırı atık artışına neden olmuştur. Bu nedenle, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde geri dönüşüm konusunda geniş çaplı araştırmalar başlamış ve bazı ülkelerde geri dönüşüm prosedürleri geliştirilmiştir. Geri dönüşüm yoluyla, bazı atık maddelerin üretimde hammadde olarak kullanılması ülke ekonomisini büyük ölçüde geliştirecek, çevreyi koruyacak ve dünyanın doğal kaynaklarının tüketimini önleyecektir [21,39].

Genelde inşaat ve yıkıntı atıkları birçok ülkede vahşi depolama yöntemiyle kontrol altına alınmaktadır. Bu vahşi depolama denizlerin, vadilerin, çukurların ve dere yataklarının doldurulması şeklinde olmakta ve uygun depolama alanları üzeri uygun şekilde kapatılmaktadır. Bu depolama şekilleri çevre kirliliği, doğal topografik yapının bozulması, doğal hayatın zarar görmesine neden olmaktadır. Ayrıca depolama alanlarına yakın olan tarım ve yerleşim alanları moloz taşıma araçları yanında rüzgâr etkisiyle yaşam konforu ve toprağın verimliliği olumsuz olarak etkilenmektedir. Aynı türdeki atıkları ayırmak ve toplamak, atıkların geri dönüşümünü teşvik etmek ve asbest ve belirli tehlikeli maddeler içerebilecek parçaların çevreye zarar vermesini önlemek için çok önemlidir [40]. ABD'de bir araştırmaya göre 2005 verilerine göre yılda 130 milyon ton inşaat yıkıntı atığı ortaya çıkarken 2004 yılında ise de 2,7 milyar ton doğal agrega kullanılmıştır [41]. Doğal agreganın yoğunluğu yaklaşık 2,7 ton/m³ iken İYA agregasının yoğunluğu ise en fazla 2,4 ton/m³ olduğu dikkate alınır, bu doğal agreganın elde edileceği alan yaklaşık 1 milyar m³ 'lük bir hacim kapladığı hesaplanabilir [42]. Bu da doğal agrega üretimi için çok geniş bir

alandaki doğal çevrenin tahrip edilmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca, bu agregaların üretildikleri tesislerin çevreye yaydığı toz emisyonu, gürültü ve görüntü kirliliği de dikkate alınması gereken etkilerdir.

Geri dönüşüm agregasının ekonomik açıdan değerlendirilmesi

Beton bileşenlerden en pahalı olanı çimentodur. Bir birim beton maliyetinin %40 çimento olduğu basit bir maliyet analiziyle anlaşılmaktadır. Çimentodan sonra ikinci sırada %20 ile iri agrega gelmektedir [16]. İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton atıkları, kırılıp parçalandıktan sonra en çok, iri ve ince agrega olarak kullanılabilir [42,43]. Geri dönüşüm agregaları (GDA) doğal agregalara göre çok daha ucuzdur [41,44].

İnşaat yıkıntı atıkları uygun şekilde geri dönüştürülür ise, yeniden kullanımı ile önemli ölçüde ekonomik kazanç sağlanabilecektir. İYA'ların taşıma ücretleri, depolama alanı ücretleri ve çeşitli vergiler sebebi ile depolama alanlarına atılmaları, geri dönüşüm agrega maliyetine göre çok daha pahalı duruma gelmiştir. Kırma taş agregasının ise diğer agregalara kıyasla birim maliyeti daha yüksektir. Böyle olmasına rağmen inşaat sektöründe kırma taş agrega kullanımı tercih edilmektedir. Bunun nedeni geri dönüşüm tesislerinin yeterince bulunmaması aynı zamanda yeterince çevre bilincinin gelişmemesinden kaynaklanmaktadır. Mesela, Amerika Birleşik Devletleri Boston kentinde yapılmış bir çalışmaya göre, sırasıyla ayrıştırılmış beton atıklarının, karışık inşaat atıklarının ve düzenlenmiş depolama alanlarının ortadan kaldırılma maliyetleri sırasıyla ton başına 21, 84 ve 136 dolar olduğu ortaya çıkmıştır [44]. Bu maliyetlere ek olarak İYA'ların depolama bölgelerine taşınma maliyeti her geçen gün daha da artmaktadır [45,46]. Akıllıoğlu vd. göre (1996), İYA'ların geri kazanım maliyetlerinin azaltılmasına yönelik, İYA'ların atık sahasına transfer edilmesi değil de geri kazandırılmaları için yeni alıcıya satılmak üzere yeniden kazanımı sağlanabilirse, direk atık sahasına transfer etme maliyetine göre %90 gibi ciddi bir oranda azalmanın mümkün olabilmektedir [47]. İYA temelli çalışan, işleme tesisleri ve atık ayrıştırma tesislerinin açılmalarına ve mevcutlarının da daha efektif çalışabilmelerine yönelik devlet destekli yardımların yapılması durumunda bu sektörde büyük ölçüde ekonomik bir faaliyet haline geleceği düşünülebilmektedir [44]. Nunes vd. (2007), yaptığı bir çalışmada, inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşüm tesislerin belli bir büyüklüğün altındaki tesislerin özel sektör için kazançlı olmayacağı, ancak yerel yönetimler için ise uygun olabileceği sonucuna varmışlardır [48].

2.1.2. Çimento

Çimentonun ana bileşeni kil ve kalkerdir. Bu kil ve kalker belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra döner fırınlarda 1350-1500 °C sıcaklıkta pişirilmesiyle elde edilen malzemeye klinker denir. Klinkerler içine %3-6 oranında alçıtaşı ilave edilerek çimento değirmenlerinde öğütülerek toz haline getirilir ve inşaatta kullanılabilir duruma gelir. Çimento su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonlarıyla priz alan, sertleşebilen ve sertleştikten sonra dayanım ve kararlılığını su içerisinde dahi sürdürebilen öğütülmüş inorganik malzemedir [2].

Çimento kullanım alanlarına ve üretim şekline göre yani içinde bulundurduğu minerallere göre ayrılmaktadır. CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V sınıflarına göre sırasıyla Portland çimentosu, Portland kompoze çimento, yüksek fırın cürufu çimento, puzolanik çimentosu ve kompoze çimento olarak sıralayabiliriz.

Farklı çimento tiplerinin farklı yapı inşaları için kullanılması daha doğru olmaktadır. CEM I ve CEM II çimento tipleri daha çok konut ve ticari alanlar için kullanılır. CEM III, CEM IV ve CEM V çimento tipleri su ile temas eden yapı inşalarında kullanılması daha uygun olan çimentolardır.

2.1.3. Beton kimyasal katkı maddeleri

Beton katkı maddeleri taze ve sertleşmiş beton özelliklerini istenilen seviyeye getirebilmek amacıyla bağlayıcı maddenin yüzdesi olarak, belirli oranlarda beton karışımına eklenen maddelerdir. Kimyasal katkı maddeleri sıvı, toz şeklinde, organik veya inorganik kökenli olabilir [2,24].

2.2. Taze Beton Özellikleri

Taze beton özelliklerinin başında işlenebilirlik gelir. İşlenebilme özelliği betonun istenilen şekle kalıp içerisinde homojen olarak dağılarak girdirilebilmesidir. Betonun olabildiğince az boşlukla tane dağılımı homojen bir şekilde prizini almasını sağlamak en önemli faktördür. Taze betonun kıvamı ise betonun akıcılığı (plastikliği) ile veya kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyeti ile ilgili bir özelliktir. Bu özelliğe en önemli etkiyi su veya

kimyasal katkı maddeleri yapmaktadır. Bu katkılardan bazıları, betona plastikleştirici özellik kazandırırken bazıları da akışkanlaştırıcı özellik kazandırmaktadır. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddeleri, çimento hamurunun dolayısıyla beton karışımının kolayca şekle girmesini sağlarken, plastikleştirici kimyasal katkı maddeleri ise yeni karıştırılmış betonun veya harcın deformasyona karşı direncinin ve kalıplanabilme şartlarını iyileştiren maddelerdir [2,24].

Taze betonun işlenebilirliğini genel olarak agreganın yüzey şekli, su emmesi, granülometrisi, ince agreganın tekstürü yanında çimentonun miktarı da özellikleri etkileyen başlıca unsurlardır.

Taze betonun kıvam kavramını biraz daha açmak gerekirse, beton karışımının ıslaklık derecesi olarak adlandırabiliriz. Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karıştırılabilmekte, pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak beton kıvamının çok yüksek olması betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Beton kıvamında agregaların fiziksel özellikleri, çimentonun tipi, karakteri ve miktarının rolü büyüktür. Agreganın granülometrisi kıvamı etkilediği gibi verimliliği de etkiler. Kıvamı iyi olan betonun niteliklerinin başında kohezyon gelir. Kohezyonu iyi olan taze betonun gösterdiği en önemli özellik, içindeki iri agrega tanelerinin karıştırma, taşıma ve yerleştirme işlemleri sırasında betonun homojenliğini koruyarak segregasyona izin vermemesidir [2,3].

Betonun karışımı sırasında iri agreganın beton kütesinden ayrılması olayına, betonun çözülmesi (segregasyon) adı verilir. Böyle betonun bünyesi homojen olamaz, iri agregalar bir yanda harç bir yanda birikir. Buda betonun dayanımını olumsuz yönde etkiler.

Yukarıda anlatıldığı gibi taze betonda kıvam çok önemlidir bir betonun kıvamı istenildiği gibi ise o betonun basınç dayanımı %55 iyidir. Beton basınç dayanımı istenildiği gibi ise diğer beklenen özellikleri %95 de olumludur.

2.3. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Sertleşmiş betondan beklenen özellikler, betonun kullanım amacına yönelik yeterli basınç dayanımını sağlaması ve durabilite özelliklerini servis ömrü süresince korumasıdır.

2.3.1. Basınç mukavemeti

Betonun en önemli mekanik özelliğinden birisi basınç mukavemetidir (dayanımı). Betonun mekanik özelliklerinden en yüksek olanı basınç, en düşük olanı çekmedir. Yüksek basınç dayanımlı bir betonun, kompasitesi yüksek, su geçirgenliği çok az, dış etkilere dayanıklı ve aşınması az olur. Genellikle betonun kalitesi, dayanımıyla temsil edilmektedir [2,49].

Betonda aranan özelliklerin başında basınç dayanımı gelmektedir. Bu nedenle beton için dayanımdan söz edildiğinde basınç dayanımı anlaşılır ve beton sektöründe kalite açısından basınç dayanımı kontrol edilir. Basınç dayanımı genellikle beton kalitesi hakkında bilgi verir [50,51]. Basınç dayanımını etkileyen faktörler, çimentonun cinsi, miktarı, inceliği, agrega granülometrisi, en büyük tane çapı, agrega yüzey pürüzlülüğü ve katkı maddeleridir. Bunlara ilave olarak betonun taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve bakımı beton basınç dayanımı üzerinde etkilidir [50-52].

Demirel ve Şimşek (2014) yaptıkları çalışmada, C25 sınıfı olan atık betonlardan iri ve ince olarak iki grubu geri dönüşüm agregası kullanarak ayırmışlardır. Araştırmada çimento yerine %20 oranında uçucu kül (UK) ikame edilmiştir. Karışımda işlenebilirliği sağlamak için çimento kütlelerinin %1,2'si oranında süper akışkanlaştırıcı (SA) ilavesi yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları incelenip analiz edildiğinde ise geri dönüşüm agregalarının beton üretiminde kullanılabilirliği tespit edilmiştir [53].

Durmuş vd. (2009), atık betondan üretilen geri dönüşüm agregası ile beton üreterek 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, ultra ses ve basınç deneyleri yapmışlardır. [54].

Süme (2016), yaptığı çalışmada %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregaları ile üretilen betonun, %100 normal agrega ile üretilene göre %6,28, %80 GDA ve %20 normal agrega ile üretilen betona göre %16,17, %60 GDA ve %40 normal agrega ile üretilen betona göre %42,10, %40 GDA ve %60 normal agrega ile üretilen betona göre %193,47 ve %20 GDA ve %80 ile üretilen betona göre %88,25 oranında daha büyük değere sahip olduğunu deneyleri sonucunda bulmuştur [55].

2.3.2. Betonda durabilite (dayanıklılık)

Dayanıklılık ile durabilite aynı anlama gelen iki teknik terimdir. Dayanıklı beton, dış ortam fiziksel ve kimyasal etkenlerine karşı dirençli anlamındadır. Fiziksel etkenler, atmosfer koşullarında ıslanma-kuruma, donma-çözülme, aşınma kum fırtınaları ve taşıt araçlarının etkisi şeklinde sıralanabilir. Kimyasal etkenler ise iç ve dış etkenler olarak belirlenir. İç etkenler beton içine giren malzemelerin (çimento, agrega, karma suyu ve katkı maddeleri) kimyasal yapısındaki bileşiklerin standartlardaki limit değerlerin dışında olmasından dolayı ortaya çıkar. Dış etkenler ise betonun çevresindeki dış ortamdır. Dış ortam etkisi, deniz, göl, ırmak, zemin suyu gibi sıvı ortam, hava kirliliği sonucu CO₂ ve SO₂ gazlarından, endüstri ve sanayiinin katı atıklarından kaynaklanabilir [2].

Genellikle durabilite betonun boşluk yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Boşluk oranının kontrolü, en düşük değere indirilmesi, beton teknolojisinin kurallarına uymakla olanaklıdır. Boşluk yarıçapı 10^{-7} - 10^{-3} metredir, yani kapiler kılcal boşluklardır. Beton içinde oluşan boşluklar heterojen bir dağılım gösterir. Betonun iç yapısında oluşan boşluklar, çimento hamuru, agrega ve agrega- çimento hamuru temas yüzeyinden oluşan üç fazlı bir kompozit oluşum olarak kabul edilebilir. Bu boşluklar boyutlarına göre sınıflandırılır. Birbirlerine bağlı kılcal boşluklar çimento hamurunun geçirimsizlik özelliklerine ve donma-çözülme dayanımına etki eden temel etkenlerdir. Çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan ürünlerinin birim hacmin tamamını dolduramaması sonucu meydana gelen kılcal boşlukların boyutları 10 mm ile 3-4 mikron arasında değişir [55-57].

Betonun dayanıklılık göstermesi için agreganın sağlamlılığı, tane şekli, gözenekliliği, su geçirgenliği, mineral yapısı, granülometrisi, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü termik genişleme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agreganın temizliği gibi birçok faktörü sağlaması gerekir.

2.4. Geri Dönüşüm Agregası ile Yapılan Çalışmalar

GDA çimento hamurunun doğal agrega yüzeyiyle etkileşime girmesi sonucuyla ortaya çıkan betonun agrega tane boyutuna getirilmesi ile oluşur. Bu çimento hamurunun miktarı, su emilimi, yoğunluk, aşınma direnci ve çimento hamuru ile agreganın yapışması gibi GDA performansını etkilediği görülmüştür. GDA'nın içi boş yapısı ve yüzeyinde bulunan

eski harç tabakası nedeniyle doğal agregaya göre daha düşük yoğunluk ve daha yüksek su emme oranına sahiptir. Çalışmada doğal agreganın su emme oranı %0,5 ile %1 arasında değişirken, GDA'nın su emme oranı %4 ila %12 arasında değişmektedir [58,59].

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda GDA ile üretilen betonların, elde edildiği betonun kalitesine bağlı olduğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra GDA'nın beton karışımında çimento harcı ile beklentilerin üzerinde bir bağ kurduğu ve aynı şekilde su emme oranının ve aşınma kaybının beklentilerin üzerinde olduğu ancak yoğunluk olarak beklenilenden daha az yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte GDA ile üretilen betonların elastisite modül ve basınç dayanım değerlerinin geri dönüştürülmemiş betonun çimento miktarına dolayısıyla su/çimento (S/Ç) oranına, agrega kalitesine dolayısıyla betonda oluşan boşluklarına ve çimento harcı ile oluşan agrega hamur aderanslarına bağlı olduğu vurgulanan önemli hususlar olarak tespit edilmiştir [49].

2.4.1. İnşaat yıkıntı atık agregasının teknik özelliklerinin araştırılması

İnşaat yıkıntı atıklarından oluşan geri dönüştürülmüş agrega (beton, tuğla, kiremit ve seramik), doğal agregalardan tamamen farklı birçok özelliğe sahiptir. Bu olgunun en önemli faktörlerinden birisi elde edilen agregalarda eski betonun bağlayıcı maddesi olan çimento harcının olmasıdır. Yani geri dönüştürülen agregalar, doğal agregaların tersine iki farklı bileşenden oluşmaktadır. Dolayısıyla İYA'dan elde edilen agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri farklıdır. Eski betonun basınç dayanımı, ne amaçla kullanıldığı, yoğunluğu ve çevresel etkenlere ne derece maruz kaldığı İYA kullanılarak üretilen betonun kalitesini oluşturacak parametrelerdir. Eski betonun kalitesi yüksekse, İYA'nın fiziksel ve mekanik özellikleri de iyi olacaktır. Agreganın bekleme süresi uzun ise, iklim faktörleri kaliteyi olumsuz etkiler. Bu nedenle İYA'nın yoğunluğu, su emilimi, erozyonu ve su talebi farklıdır. Bu nedenle eğer, İYA kullanılarak beton üretilen olursa kullanılacak agregaların teknik özelliklerinin iyice araştırılması gerekmektedir.

2.4.2. İnşaat yıkıntı atık agreganın su emme oranı ve yoğunluğu

Demirel ve diğerleri yaptıkları çalışmada GDA'nın beton karışımında çimento harcı ile beklentilerin üzerinde bir bağ kurduğu ve aynı şekilde su emme oranının ve aşınma

kaybının beklentilerin üzerinde olduğu ancak yoğunluk olarak beklenilenden daha az yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir [49].

GKA'nın gözenekli yapısı ve eski harç tabakası yüzeyine yapıştığı için su emme oranı yüksektir. Yapılan araştırmada GDA'nın su emme oranı %4 ile %12 arasında değişirken, doğal agreganın su emme oranı %0,5 ile %1 arasında değişmektedir [60].

Padmini ve diğerleri yaptıkları araştırmada kullandıkları GDA ince agregasının (0-10 mm) yoğunluğunun $2,46 \text{ g/cm}^3$ iri agregasının (10-20 mm) yoğunluğunun ise $2,52 \text{ g/cm}^3$ su emme değerlerinin ise sırasıyla %4,6 ve %4,1 olduğunu tespit etmişlerdir [61]. Buna karşılık, Brito ve diğerleri, Padmini ve diğerleri gibi aynı tane büyüklüğüne sahip GDA'lar ile yaptığı çalışmada ince agregasının (0-10 mm) ve iri agregasının (10-20 mm) ve yoğunluklarını sırasıyla $2,65 \text{ g/cm}^3$ ve $2,66 \text{ g/cm}^3$, su emme oranlarını ise %4,57 ve %4,66 olarak bulmuşlardır [62]. Yapılan bu çalışmalar GDA'ların su emme oranlarının oldukça yüksek olduğunu gösterir niteliktedir.

2.4.3. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonun işlenebilirliği

Agrega deneyleri sonrasında ortaya çıkan su emme oranlarına göre yapılabilecek hesaplamalar doğrultusunda İYA'ların suya doymuş yüzey kuru halde beton karışımında kullanılması üretilecek betonun işlenebilirliğini olumlu yönde etkileyeceği bu konu hakkında yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir.

Durmuş ve diğerleri iri GDA'ları farklı oranlarda karışıma ikame ederek ürettikleri beton numunelerinin slump değerlerinin 18 ile 22 cm arasında değiştiğini ve geri dönüşüm ikame oranı arttıkça slump değerlerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir [63]. Şayet kullanılan agregaların yüzeylerinin kuru tutulması halinde beton akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddelerinin üretici firma önerileri doğrultusunda belirlenecek miktarlarda kullanılması durumunda işlenebilirlik anlamında üretilecek olan betondan istenilen verim alınabilecektir.

2.4.4. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonun basınç dayanımı

İşlenebilirlik ile doğru orantılı olarak agregaların suya doymun yüzey kuru halde beton karışımında kullanılması durumunda üretilen beton yapısında daha az boşluk olacağından yani hidrasyonun gerçekleşmesi için gereken su miktarı GDA'ların yüksek su emme değerlerinden dolayı azalmaması durumunda üretilen betondan normale yakın basınç değerleri elde edilebilecektir [21].

Aynı zamanda GDA ile üretilen betonlarda, agregaların teknik özelliklerinden dolayı beton basınç dayanımlarında azalma, yapılan çalışmalar neticesinde tespit edilmiştir. Yaprak ve diğerleri, s/ç oranı 0,53, çimento miktarı 350 kg ve su miktarı 180 kg olan kontrol betonu, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 ince GDA ikameli betonların basınç dayanımlarını sırasıyla 44 MPa, 42 MPa, 41 MPa, 39 MPa, 37 MPa, 36 MPa ve 28 MPa olarak bulmuşlar ve GDA ikame oranının C30 sınıfı beton üretimi için %10'u geçmemesi, C25 sınıfı için ise %20 ila %50 arasında olması gerektiğini belirtmişler [64].

2.4.5. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonda rötre

Geri dönüştürülen agreganın yüksek su emme oranı nedeniyle, bu agregalardan üretilen betonlarda rötre miktarlarının çok yüksek olduğu bilinen bir olgudur. Bunun nedeni, agregaların yüzeyinde bulunan harcın yüksek deforme olabilirliği ile açıklanabilir. Bununla birlikte, bu tip agregaların sahip olduğu yüksek su emme değerleri nedeniyle betonda iç kürlenme etkisi oluşturmaktadır ve betonun kürlenme sürecinde GDA'daki su çimento matrisine girerek erken yaş büzülmesinin azalmasına neden olur [65].

2.4.6. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonda aşınma

Brito ve diğerleri, doğal agregalı, %25 ve %100 GDA ikameli betonların aşınma kaybı değerlerini sırasıyla 4,1 mm, 3,9 mm ve 3,8 mm olarak bulmuşlardır. GDA'nın mekanik özellikleri yüzeyindeki harç tabakasından dolayı normal agregaya göre daha düşük olmasına rağmen GDA'lı betonların aşınma kaybı yüzdelerinin doğal agregalı betona göre daha az olmaktadır. Bunun sebebi aşınma direncinin daha çok çimento matrisinin dayanıklılığından kaynaklandığı ve GDA'lı betonda agrega-çimento bağının daha iyi olduğu şeklinde açıklanabilir. Yine de agreganın çimento matrisinde normal dağılımından

dolayı aynı GDA ikame oranına sahip numunelerin aşınma testine tabi tutulan yüzeyde GDA/KTA oranı farklı olmakta ve aşınma kaybı deney sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir [62].

2.4.7. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonda su emme

Malesev ve diğerleri, doğal agregalı betonun su emme oranını %5,61, %50 ve %100 GDA ikameli betonun su emme oranını ise sırasıyla %6,87 ve %8,05 olarak elde etmişlerdir [68]. Durmuş ve diğerleri, farklı oranlarda iri GDA'sı kullandıkları çalışmada betonların su emme oranının kontrol betonu için 1,65 ve %100 GDA ikameli beton için 1,97 olduğunu ve GDA ikame oranı arttıkça su emme oranının arttığını gözlemlemişlerdir [67]. Yapılan araştırmalara dayanarak beton karışımlarında GDA miktarları artırıldıkça, üretilen betonların su emme oranlarında artış gözlenmiştir.

2.4.8. İnşaat yıkıntı atık agregalı betonda ıslanma-kuruma

Jiang ve Niu, yaptıkları çalışmayı 7 gün ıslatma ve 8 gün kurutma üzerine dizayn etmişlerdir. Islanma kuruma evreleri boyunca %10 sodyum sülfat, %10 magnezyum sülfat çözeltileri kullanmışlardır. Islanma kuruma döngülerini 24 defa tekrarlamışlar ve 360 gün sonrasında sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilerindeki betonların basınç dayanım kayıplarını sırasıyla %12,7 ve %14,8, hasar tabakası kalınlığını sırasıyla 19 mm ve 21 mm, ağırlık kaybını ise sırasıyla %0,6 ve %0,8 olarak elde etmişler ve betonun bozulma oranının magnezyumlu çözeltide sodyumlu çözeltiden daha fazla olduğunu belirtmişler [68]. Spragg ve diğerleri NaCl, CaCl₂ ve MgCl₂ gibi buz çözücü tuzlar içeren çözeltilerin betonun ıslanmada su emmesini ve kurumada ağırlık kaybını araştırmışlardır. Tuz konsantrasyonu arttıkça ıslanma deneyinde emilen su miktarının azaldığını ve kuruma deneyinde su kaybının azaldığını belirtmişlerdir [69].

2.5. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Hızla gelişen teknoloji analiz edildiğinde geliştirilen elektronik cihazların yalnızca veri transferi yapmak ve komplike hesaplamaları sonuçlandırmaktan zaman içerisinde büyük miktardaki verileri süzebilen ve eldeki verileri kullanarak olgular üzerinde yorumlar yapabilen niteliklere sahip olduğu görülmektedir. Günümüz dünyasında bilgisayar

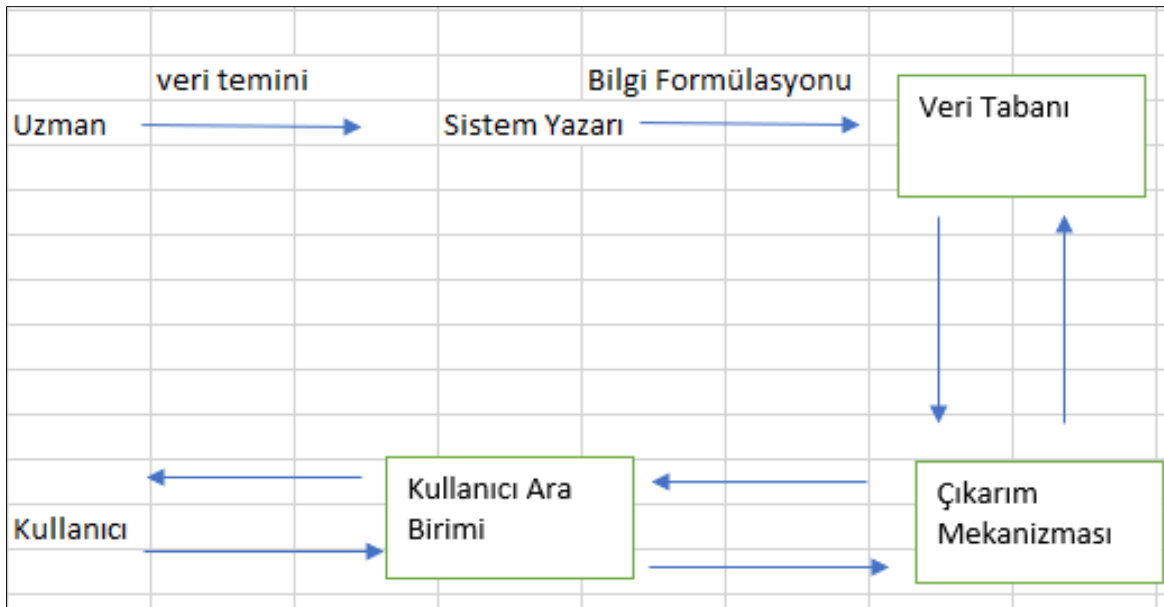
yazılımları olgular arasında yorum yapabilme, olguları ilişkilendirebilme ve karar verme yetilerine sahiptir. Bu gibi sistemlerin en önemli özelliği sisteme öğretilen olgulara dayalı bilgiler ışığında sisteme sunulan olay hakkında karar verebilmesi ve öğrendiği bilgilere dayanarak gelecek olaylar hakkında yorum yapıp karar verebilmesidir.

Matematiksel olarak formülasyon kurulamayan ve çözülmesi mümkün olmayan problemler sezgisel yöntemler yolu ile bilgisayarlar tarafından çözülebilmektedir.

Günümüzde hayatı kolaylaştıran birçok yapay zekâ teknolojisinden bahsedilmektedir.

2.5.1. Uzman sistemler

Var olan bir problemi, o konunun uzmanlarının çözdüğü gibi sonuca bağlayan sistemlerdir. Uzmanlar hakim oldukları konulara ait problemleri çözerken bilgi ve deneyimlerini kullanırlar. Bu bilgi ve deneyimlerin sistem tarafından okunabilir olması ve veri olarak saklanması gerekmektedir. Sistem, veri tabanında saklanan bu bilgileri kullanarak insan karar verme mekanizmasına benzer bir kurgu ile problemlere çözümler üretir. Uzman sistemlerin temel çalışma prensibi Şekil 2.1’de verilmiştir [70].



Şekil 2.1. Uzman sistemlerin çalışma prensibi

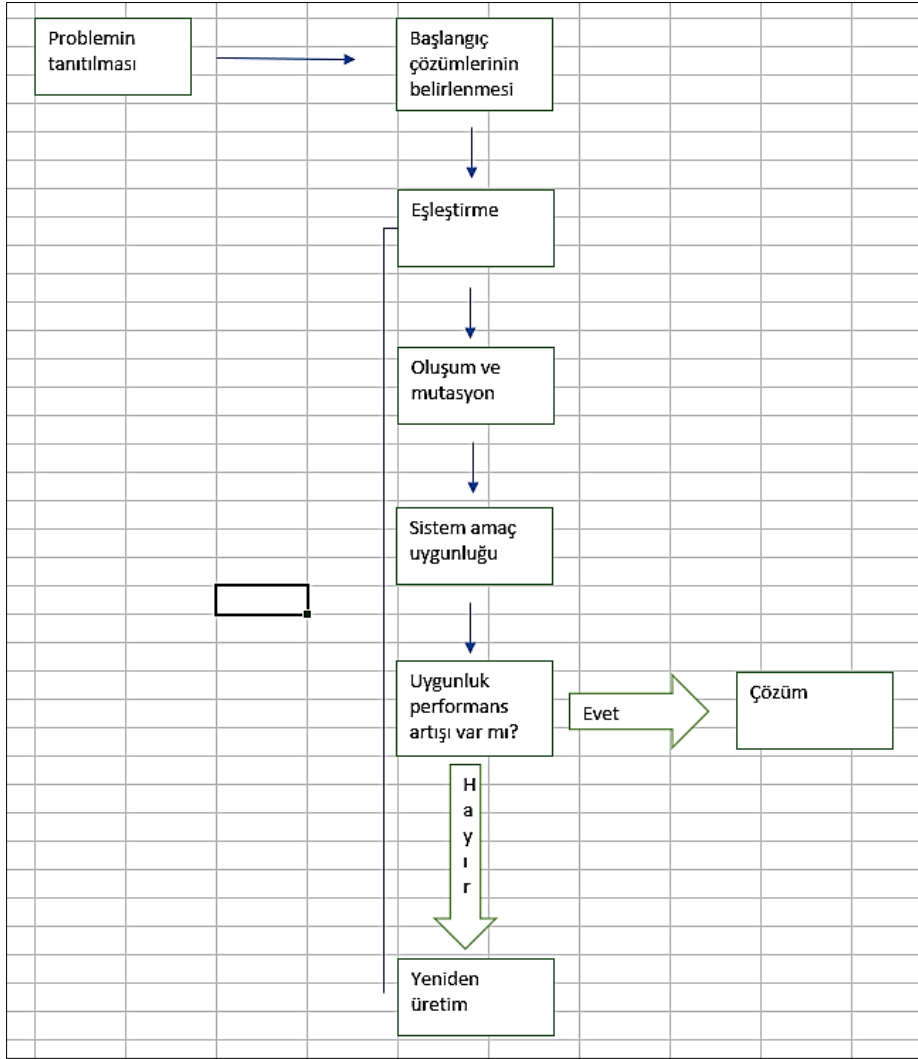
2.5.2. Makine öğrenmesi ve yapay sinir ağıları

Sistemlerin olguları hazmetmesine ve öğretmesine olanak sağlayan teknolojilerdir. Bu sistemde daha öncesinde aynı olgulara sahip veriler toplanarak sisteme girdi olarak tanıtılır ve sistemin öğrenmesi sonucu gelecekte oluşabilecek olguların sonuçları yani çıktılar arasındaki matematiksel farklılıklar gözlemlenebilir. Bu teknoloji sayesinde sistem tarafından öğrenilen bilgiler ile benzer olgular arasında yorumlar yapılır, karar alınır ve problem sonucuna ulaşılır [70].

2.5.3. Genetik algoritmalar

Genellikle oldukça komplike optimizasyon problemlerinin çözülmesinde faydalanılan bir sistemdir. Bu sistemde diğerlerinden farklı olarak bir problemin sonucuna varmak için rastgele başlangıç çözümleri belirlenir. Sonrasında bu çözümler birbirleriyle eşleşerek yüksek doğruluk oranında sahip çözümler üretilmektedir. Bu şekilde sürekli çözümler birleştirilerek yeni çözümler aranmaktadır. Bu arama iyi sonuç üretilene kadar devam eder. Genetik algoritmalar ile problemin çözülmesinde arzu edilen sonucu üretecek özelliklerin kalıtım yoluyla başlangıç çözümlerinden elde edilen yeni çözümlere onlardan da daha sonraki çözümlere geçtiği kabul edilmektedir [70].

Genetik algoritmalara ait temel çalışma prensibi Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Genetik algoritmaların çalışma prensibi

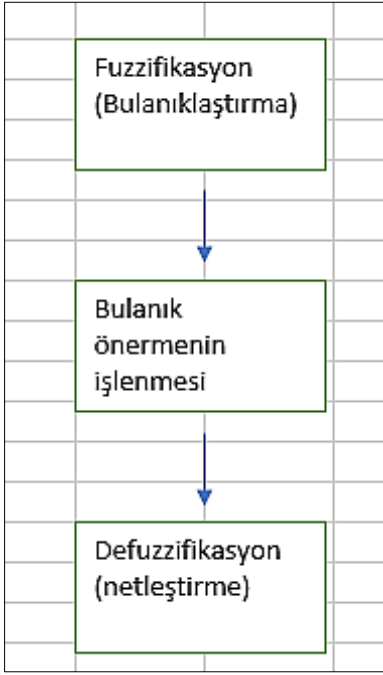
2.5.4. Bulanık önermeler mantığı

Gerçek hayatta birçok olgu değişkenlerin aldığı verilere göre şekillenir. Bulanık önermeler mantığı gerçek hayatta bir insanın farklı değişkenlere göre aldığı karar mekanizmasına benzer bir şekilde çalışır. Birçok basit elektronik cihaz bu sistem doğrultusunda çalışmaktadır. Her değişkene belirli aralıklarda veriler tanıtılır, öğretilir aynı şekilde sisteme öğretilen veriler sonucunda alınan kararlar da öğretilir. Bu şekilde sonucunun istendiği değişkenler sisteme tanıtıldığında öğretilen olgular üzerinden yorum yapması beklenir.

Bu sisteme en çok verilen örnek hava sıcaklığı ile ilgilidir. Bu örnek sayesinde sisteme öğretilen verilerin bilgisayar diline göre özelleştirilmesini kavramak kolaydır. Farz

edelim, hava sıcaklığı -10°C ve sistemin belirlediğimiz bir işi yapmasını istiyoruz. Bizim sisteme tanıtacağımız verinin -10°C değil de var olan sıcaklıkların tanıtılmasını sağlamamız gerekiyor. Mesela hava sıcaklığı için belirleyebileceğimiz soğuk, az soğuk, çok soğuk vb. gibi tanıtlarla bu tanıtların sıcaklık aralıklarını sisteme tanıtmamız gerekecektir.

Bulanık önermeler mantığının çalışma prensibini Şekil 2.3 de incelemek mümkündür.

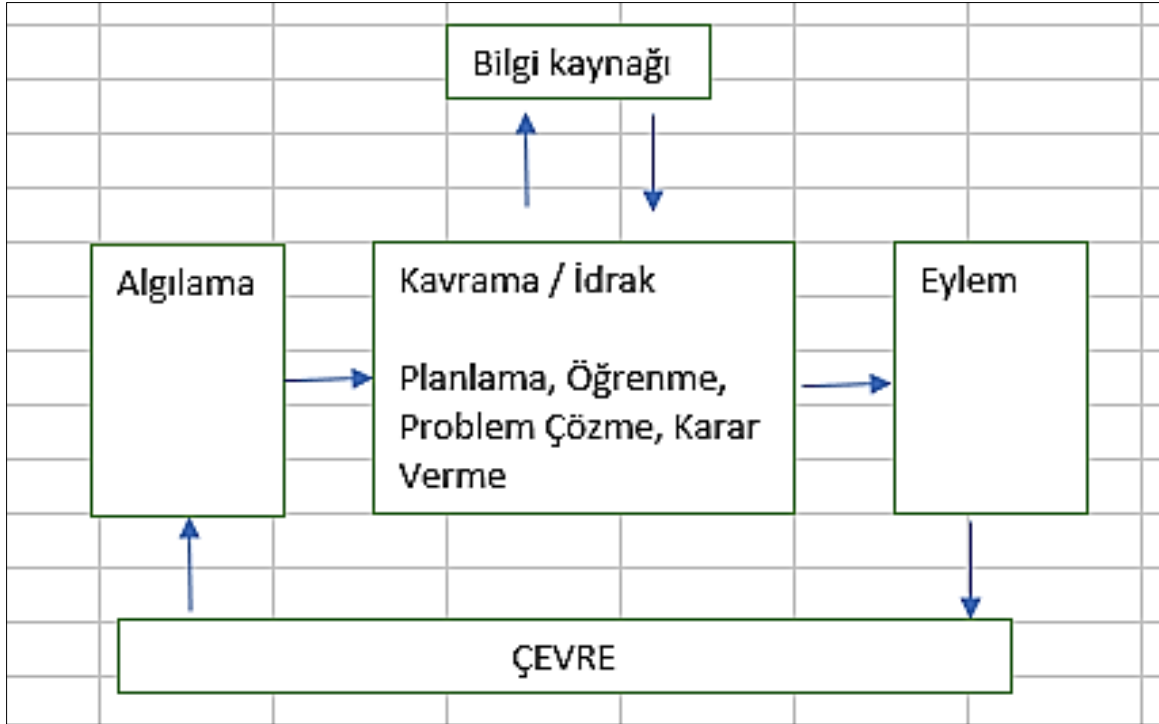


Şekil 2.3. Bulanık önermeler mantığının çalışma prensibi

2.5.5. Zeki etmenler

Zeki etmenler sisteminin diğer sistemlerden farklı olarak birden fazla yapay zekâ tekniğini barındırabilmesidir. Öğrenme ve gerçek zamanlı çalışabilme özelliklerini barındırır [70].

Zeki etmenlerin çalışma prensibi Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Zeki etmenlerin çalışma prensibi

2.5.6. Makine öğrenmesi ve öğrenme türleri

Makine öğrenmesinin temeli 1960 yılının başlarında yapay zekada sayısal öğrenme ve model tanımlama çalışmaları ile atılmıştır. Makine öğrenimi, yapısı gereği algılayıp anlayabilen aynı zamanda girdilere ait sonuçları tahmin edebilen algoritmaların yapısını inceleyen bir sistemdir. Bu tip sistemler, geleneksel bilgisayar sistemlerinin talimatlarını sıkı bir şekilde icra etmek yerine, veri tabanlı tahminler ve örnek girdilere dayalı kararlar almak için bir model oluşturarak çalışır.

Makine öğrenmesi, bilimsel bir oluşum olarak yapay zekaya ulaşabilme amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda doğmuştur. Bu alanda çalışan uzman kişiler tarafından, her bir zekanın yani düşünebilen ve mantıklı kararlar alabilen her bir sistemin öğrenmek zorunda olmasını keşfetmeleri üzerine, yapay zekaya ulaşmanın temelini, makine öğrenmesi olduğunu kavrayıp bu kavram üzerinde yoğunlaşmalarına neden olmuştur. Bu konuda en çarpıcı ve insan hayatına önemli ölçüde katkı sağlayan tıp alanında olasılıklı mantık kullanılarak tıbbi teşhislerin yapılabilmesini örnek olarak gösterebiliriz.

Makine öğrenmesinin 1990'lı yıllarda kişisel bilgisayarların dünyanın gelişen sisteminde daha fazla yer alması, hemen hemen her evde olması ve bilgisayar sistemleriyle daha fazla insanın tanışması nedeniyle büyük bir gelişim yaşamıştır.

Bu çalışmada makine öğrenme türlerine yüzeysel olarak değinilmiştir.

2.5.7. Denetimli öğrenme

Veriler etkileşimli sistemlerden alınarak belirli bir düzende organize edilmesidir.

2.5.8. Denetimsiz öğrenme

Sınıf bilgisi barındırmayan verilerin içerisindeki gruplar irdelenmesidir.

2.5.9. Takviyeli öğrenme

Öğreticinin, sistemin ürettiği sonuç için doğru ya da yanlış olarak bir değerlendirmesidir.

2.5.10. Yoğun öğrenme

Bu yöntem, sırasıyla algoritmaların modele, modellerden de çok sayıya doğrusal olan ve olmayan birden fazla katmandan oluşan bir öğrenme yöntemidir.

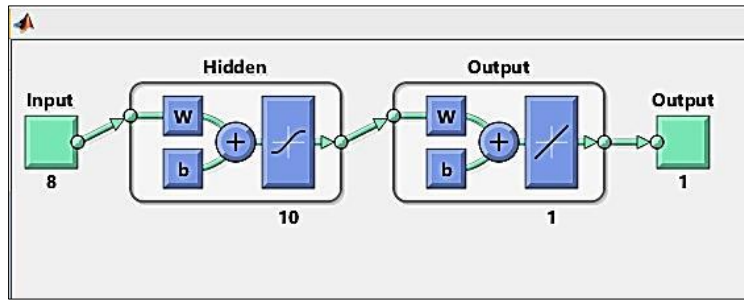
2.6. Yapay Sinir Ağlarına Giriş

Yapay sinir ağı teknolojisi, insan beyni bilgi işleme teknolojisinden esinlenen bir bilgi işlem teknolojisidir. Bu teknoloji vasıtasıyla temel biyolojik sinir sistemlerinin işleyişlerini simule edilebilir. Diğer bir deyişle, biyolojik nöronal hücrelerin ve bu hücrelerin birbirleriyle kurdukları sinaptik bağlantıların dijital bir modelidir. Nöronlar arasında var olan farklı türdeki bağlantılar sayesinde, elde edilen veya tecrübe edilen datalar arasındaki ilişkiler öğrenilir, hatırlanır ve sonuçlar elde edilir yani bir bakıma yorumlanır. Yapay sinir ağlarının en temel özelliğini ve tanımını, makinelere veri girdileri yaparak öğrenmesini ve tecrübe etmesini sağladıktan sonra o konuyla ilgili bir probleme cevap aramasını sağlamaktır.

Biyolojik sistemlerde öğrenme bahsedildiği üzere sinapslar arasında var olan bağlantıların kurduğu ağlar sayesinde gerçekleşir ve bu süreç doğumdan itibaren başlar. Öğrenme, hayatımız süresinde tecrübelerimizin artmasıyla, sinaptik bağlantıların gelişmesi ve yeni bağlantıların kurulmasıyla gerçekleşen bir olgudur ve bu durum yapay sinir ağları için uyarlanmıştır. Öğrenme, örnekler vasıtasıyla eğitim yoluyla gerçekleşir, örnek olarak 2 ile 2'nin toplanması sonucu 4 elde edilir. Bu işlem, nöronlar arasında toplanan değerlerinin girdi ve toplam sonucu değerinin ise çıktı olarak, başka bir deyişle o işleme ait sonuç olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç YSA teknolojisinde de aynı şekilde ilerlemektedir. Girdiler ve çıktılar sayesinde YSA'da öğrenme gerçekleştirilir. YSA'da öğrenme tamamlandıktan sonra var olan soruna ait çözüm YSA'da mevcut olan eğitim algoritmaları sayesinde sonuca kavuşur.

Anlaşılabileceği üzere yapay sinir ağları matematiksel işlemler olup temelde matematiksel işlemlerden oluşmaktadır. Bu matematiksel işlemler veriler arasında yani girdiler ve çıktılar arasında transfer görevi görür. Tüm bu işlem sırasında nöronlardan gelen veriler birleştirilir, dönüştürülür ve numerik veriler elde edilir. Bu yapı biyolojik sistemlerde sinir ağı dijital sistemlerde ise yapay sinir ağı olarak adlandırılır.

Bu çalışmada denenen örnek bir YSA modeli Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Bu çalışmada denenen yapay sinir ağı modellemesi

2.6.1. Yapay sinir ağlarının avantajları

Yapay sinir ağlarının avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yapay sinir ağıları önceki deneyimlerden öğrenebilir ve eğitildikten sonra yeni veri setlerine anında yanıt verebilirler. Bir örnekten diğerleri için çıkarımlar yaparak sonuca gidebilirler.
- Yapay sinir ağlarının en önemli avantajlarından birisi matematiksel modele ihtiyaç duymamalarıdır.
- İlk madde açıklandığı üzere, bilinmeyen olgulara yönelik çıkarım yaparlar. Ağların bu özelliği, uygulama açısından önemlidir.
- Yapay sinir ağları, geleneksel bilgisayar sistemlerine göre daha yaklaşık sonuçlar verir. Bunun sebebi ise YSA'ların tecrübe ederek öğrenmesidir. Geleneksel bilgisayar sistemlerinde kodlamanın doğruluğu önemlidir. En küçük bir hata çok büyük yanlışlara neden olabilir.
- Kendi parametreleri (ağ ağırlık katsayıları ve yapısı) değiştiğinde, belirli sorunlara uyum sağlama yeteneğine sahiptir.
- Yapay sinir ağlarını oluşturan ağlar doğrusal olmadığından dolayı kompleks girdilerin sonuçlarını geleneksel bilgisayar sistemlerinden daha doğru sonuçlandırabilirler. Aynı zamanda YSA'lar doğrusal olmayan davranışı algılayıp anlayabilirler. Bu nedenle geleneksel bilgisayar sistemlerinden farklı olarak kompleks çözümler için daha yaygın olarak kullanılırlar.

2.6.2. Yapay sinir ağlarının dezavantajları

Yapay sinir ağlarının dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yapay sinir ağlarında bulunan sistemlerin bilinmemesi, bazı durumlarda elde edilebilecek sonuçların değerlendirilmesini zor kılabilir.
- Sorunu çözmek için doğru yolu bulamayabilirler veya hatalar yapabilirler. Bunun nedeni, ağı eğitmek için herhangi bir işlevin olmamasıdır. Bazı durumlarda, bir özellik bulunsa bile yeterli veri olmayabilir. Buna örnek olarak, bir olguyla ilgili her bir verinin farklı şartlar altında toplanmış olması ve aynı payda da toplanmasının zor hatta imkânsız olması verilebilir.
- Yukardaki maddeler göz önünde bulundurulduğu zaman YSA'ların eğitilmeleri oldukça uzun bir süredir. Maliyeti ve harcanacak zamanı göz önünde bulundurulursa önemli bir dezavantaj olarak sayılabilir.

- Geleneksel bilgisayar teknolojileri gibi bir altyapıya sahip olmamasından dolayı farklı programlar veya sistemlerle entegre edilmesi oldukça zordur. Genellikle bir olgu için kısmi zamanlı sonuçlar alabilmek adına geliştirilirler [71].

Beton atıklarının geri kazanımı ile ilgili konularda dünyada olduğu gibi ülkemizde de son zamanlarda yapılan önemli çalışmalar yapılmış olup bu konuda ülkece önemli bir literatür değerine sahip olduğumuzu söylemek mümkündür.

Bu çalışmada İYA'lerden elde edilen beton, tuğla, kiremit, seramik (4mm üzeri) agregalar kullanılarak üretilen taşıyıcı olarak kullanılmayacak betonların (grobeton, tretuvar, saha betonları, bahçe duvarları vb.) durabilite özellikleri deneysel yöntemler kullanılarak araştırılmıştır. Akabinde, deneysel yöntemler için harcanan zaman, iş gücü, maliyet ve ham madde miktarları düşünüldüğünde bilgisayar teknolojileri kullanılarak beton basınç dayanımlarının tahmin edilebilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Yapılan bu araştırmada üretilen beton numuneleri İYA'dan elde edilen agregalar ile Kızılırmak'tan temin edilen doğal kum ve Elmadag'dan temin edilen kalker kökenli kırma kum agregaları kullanıldı.

3.1.1. Agrega

Kullanılan 4-22 mm agregalar İYA'larından agrega tane büyüklüğüne göre kırılması suretiyle elde edilmiş olup, ince (4-11 mm) ve iri agrega (11-22 mm) olarak ayrıştırılmıştır. İnşaat yıkıntı atıklarının %80'i beton, %18'i tuğla ve %2'si seramik olarak düşünülmüştür. Aynı zamanda temin edilen doğal kum ve kırma kum agregaları ince agrega (0-4 mm) olarak kullanılmıştır.



Resim 3.1. Deneilerde kullanılan iri geri dönüşüm agregaları



Resim 3.2. Deneylerde kullanılan ince agregalar

3.1.2. Bağlayıcı ve karışım suyu

CEM 1 42,5 R çimentosuna ait yoğunluk değeri $3,10 \text{ kg/dm}^3$ dür ve CEM 1 42,5 R çimentosunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiş olup beton karışımında Ankara ilinin şebeke suyu kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler

Oksitler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	K.Kayıbı
(%)	20,7	6,0	2,4	63,6	2,6	2,1	0,1	0,9	1,4

3.1.3. Kimyasal katkı maddesi

Yapılan çalışmalarda kimyasal katkı malzemesi olarak Polikarboksilat bazlı hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Söz konusu akışkanlaştırıcı madde üretici firma tavsiyesine göre beton tasarımında bağlayıcı görevi gören madde miktarlarına bağlı olarak %1 ve %2 oranlarında değişiklik gösterebilmektedir. Çizelge 3.2’de kullanılan katkı malzemesinin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan kimyasal katkı maddesinin teknik özellikleri

Tip	Polikarboksilat
Görünüm	Açık kahve renkli sıvı
Yoğunluk (kg/dm ³)	1.06 ± 0.02
pH	5,00 ±2
Alkali İçeriği (%)	≤ 10 (TS EN 480–12)
Optimum dozaj (%)	1,2

3.2. Metot

Araştırmada kullanılan agregaların tane büyüklüğü dağılımı TS EN 933-1'e göre (0–4 mm), (4-11,2 mm) ve (11,2–22,4 mm) agrega gruplarının elek analizleri yapılmıştır [72]. Agregaların tane yoğunluğu ve su emme özellikleri TS EN 1097-6 [73], yassılık endeksi TS EN 933-3 [74] ve parçalanma direnci TS EN 1097-2 [75] standartları esas alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, ince tanelerin tayini – metilen mavisi deneyi ise TS EN 933-9+A1:2013 [76] standardı baz alınarak yapılmıştır.

Karışım hesabı TS 802 esas alınarak yapılmıştır [7]. Karışımında üç farklı agrega grubu kullanılmıştır. Bu agrega grupları, ideal granülometriye göre ince agrega (0–4 mm) oranı %47, yıkıntı atığı agrega 1. Grubu (4–11,2 mm) oranı %24 ve yıkıntı atığı agrega 2. Grubu (11,2–22,4 mm) oranı ise %29 olarak hesaplanmıştır.

Taze betonların çökme (slump) özelliği için TS EN 12350-2 esas alınmıştır [77]. Sertleşmiş beton özelliklerinden, basınç dayanım testleri 7 ve 28 günlük numunelerden, diğer özelliklerin tayini için ise 28 günlük numuneler kullanılmıştır.

Betonun basınç dayanım deneyi TS EN 12390-3 standardı esas alınarak yapılmıştır [78]. Kapiler su emme değerlerini belirlemek için 100x100x100 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde TS EN 772-11 standardı [79] uygulanmıştır. Aşınma direncinin tayini için ASTM C944/944M-19 standardı kullanılmıştır [80].

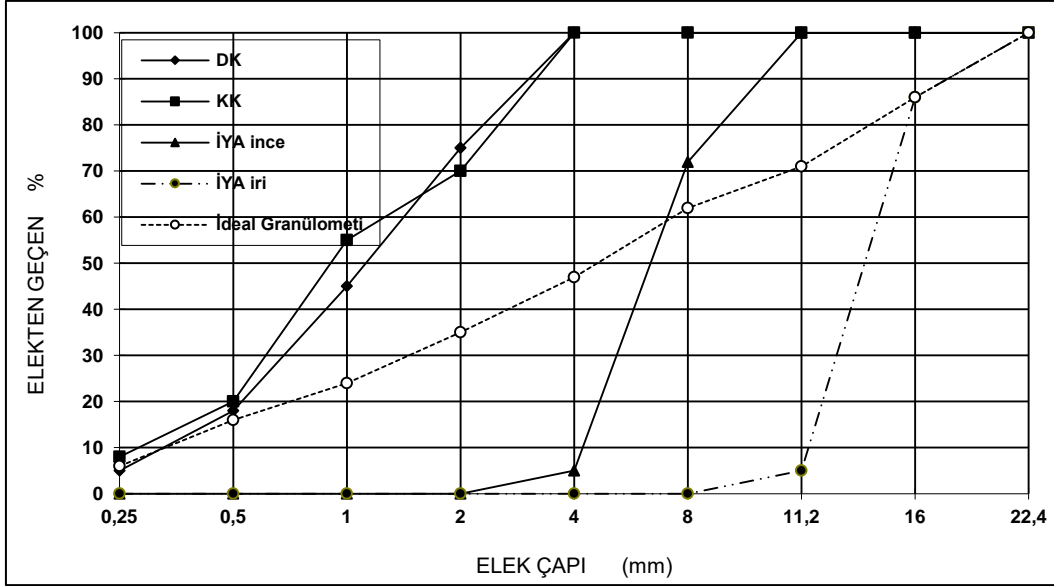
Yarmada çekme dayanım testleri TS EN 12390-6 standardına göre yapılmıştır [81].

3.2.1. Agregada deneyleri

İnşaat yıkıntı agregası (İYA), dere kumu (DK) ve kırma kum (KK) üzerinde yapılan elek analizi sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Agreganın, yoğunluk, su emme oranı, aşınma dayanımı, çok ince tane miktarı (metilen mavisi) ve yassılık endeksi deney sonuçları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi doğal kumun yoğunluğu kırma kumun yoğunluğundan daha düşüktür. Bu agregada grubu, bünyesinde farklı özelliklerde taneleri bulundurması sonucu yoğunluk değerinin düştüğü düşünülmekte, bu literatüre uygunluk göstermektedir [2]. Doğal kumun su emme yüzdesi, kırma kumdan düşüktür, bu olgu aslında genel olarak yoğunlukla paralellik göstermektedir ve bu durum, aynı özelliklerdeki agregalar için de geçerlidir. Genel olarak, kırma kumun yüzey alanının doğal kumunkine göre fazla olmasından ve aynı zamanda kırılma özelliğinden dolayı doğal agregalara göre daha yüksek su emme değerine sahiptir. Aynı cins agregaların yoğunlukları ile su emme yüzdeleri arasında ters ilişki olduğu bilinmektedir. Kırma agreganın kirlilik oranı (ince tane miktarı) doğal kumdan daha fazla olmasına karşın standart limitin altındadır. Yıkıntı atığı agreganın aşınma direnci ve yassılık indeksi ilgili standartlarda verilen sınırlıkların içindedir.

Çizelge 3.3. Agreganın elek analizi

Elek Çapı (mm)	Kum (%47)		İYA (Çakıl)		İdeal Granülometri
	Doğal (0-4)	Kırma (0-4)	4-11,2 (%24)	11,2-22,4 (%29)	
22,4	100	100	100	100	100
16	100	100	100	85	86
11,2	100	100	98	5	71
8	100	100	72	0	62
4	100	100	5	0	47
2	75	70	0	0	35
1	45	55	0	0	24
0,5	18	20	0	0	16
0,25	5	8	0	0	6
0	0	0	0	0	0



Şekil 3.1. Agregaların granülometri eğrileri

Çizelge 3.4. Agregaların teknik özellikleri

Agrega grupları	0-4 mm		4-11,2 mm	11,2-22,4 mm
	DK	KK	İYA ince	İYA iri
Yoğunlukları (kg/dm ³)	2,41	2,68	2,4	2,36
Su emme (%)	1,9	2,8	4,52	4,72
Aşınma direnci kaybı (%)	-	-	9	13
Metilen mavisi (%)	2	3	-	-
Yassılık endeksi (%)	-	-	5,2	7,7

3.2.2. Beton karışım tasarımı ve betonun üretimi

Çalışmada, beton tasarımında İYA kullanımını yaygınlaştırabilmek amacıyla taşıyıcı olmayan (kaldırım, grobeton, parke ve bordür taşı, mezar lahiti, bahçe duvarı vb.) beton hedeflendiği için, beton sınıfı C20 seçilmiştir. Beton karışım hesabı standardı TS 802 [7], kullanılarak S/Ç oranı 0.60, çökme 3-5 cm ve su miktarı 203 lt olarak seçilmiştir. Hesaplamalar doğrultusunda çimento miktarının 338 kg/m³ olduğu tespit edilmiştir. İşlenebilirliği sağlamak amacıyla çimento ağırlığının %0, %1, %1,5 ve %2 oranında kimyasal katkı maddesi eklenmiştir.

Çizelge 3.5'te verilen karışım oranları kullanılarak 9 numune için malzemeler hazırlanmıştır. İlk olarak, düşey eksenli mikserde agrega ve çimento katılmış ve kuru halde 1 dk karıştırılmıştır. Ardından su ve eğer karışımda, varsa kimyasal katkı maddesi mikserde konularak 3 dk süreyle karıştırılmıştır.

Çizelge 3.5. Beton karışım tasarımı ve karışım oranları

Kimyasal Katkı Oranına Göre Beton Karışım Numuneleri	Agrega grupları (%)				Çimento kg/dm ³	Su kg/dm ³	Kimyasal katkı kg/dm ³	0-4	0-4	4-11,2	11,2-22,4
	0-4		4-11,2	11,2-22,4				DK	KK	İYA	İYA
	DK	KK	İYA	İYA				kg/dm ³	kg/dm ³	kg/dm ³	kg/dm ³
DK-0	47	0	24	29	338	203	-	759	-	386	462
DK-1,0	47	0	24	29	338	203	3,38	756	-	384	460
DK-1,5	47	0	24	29	338	203	5,07	753	-	383	459
DK-2,0	47	0	24	29	338	203	6,76	751	-	382	458
KK-0	0	47	24	29	338	203	-	-	844	386	462
KK-1,0	0	47	24	29	338	203	3,38	-	840	384	460
KK-1,5	0	47	24	29	338	203	5,07	-	838	383	459
KK-2,0	0	47	24	29	338	203	6,76	-	835	382	458
DK-KK-0	24	24	24	29	338	203	-	379	422	386	462
DK-KK-1,0	24	24	24	29	338	203	3,38	378	420	384	460
DK-KK-1,5	24	24	24	29	338	203	5,07	377	419	383	459
DK-KK-2,0	24	24	24	29	338	203	6,76	375	418	382	458

DK-0 kodlu numune açılımı ince agregası doğal kum olan ve kimyasal katkı maddesinin kullanılmadığı, KK-1,0 kodlu numune açılımı ince agregası kırma kum olan ve kimyasal katkı maddesinin karışım çimento ağırlığının %1,0'i kadar kullanıldığı ve DK-KK-2,0 kodlu numune ise ince agregası doğal ve kırma kum kombinesi olan ve kimyasal katkı maddesinin karışım çimento ağırlığının %2,0'si kadar kullanıldığı beton numunesidir.

3.2.3. Taze betonda slump deneyi

Taze betonların çökme (slump) özelliği için TS EN 12350-2 esas alınmıştır [77].

Yapılan bu çalışmada, doğal kum, kırma kum ve doğal kumu + kırma kum karışımları ile oluşturulan beton numunelerinin işlenebilirlik deneyi çökme (slump) deneyi olarak yapılmıştır. Bütün karışımlarda sabit su miktarıyla, işlenebilirliği sağlamak için çimento ağırlığının %0, %1, %1,5 ve %2 oranlarında hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.



Resim 3.3. Doğal kumla üretilen taze beton çökme(slump) deneyi



Resim 3.4. Kırma kumla üretilen taze beton çökme(slump) deneyi

3.2.4. Beton basınç dayanımı deneyi

Betonun basınç dayanımı TS EN 12390-3 standardı esas alınarak yapılmıştır [78], üretilen betonların basınç deneyi 7 ve 28 günlük olarak gerçekleştirilmiştir.

Taze beton kalıplara yerleştirilmeden önce 10x10x10cm kalıpların yağlaması yapılmıştır. Akabinde kalıp yüksekliğinin yarısına kadar taze beton konulmuş, 25 defa şişleme yapılmış ve kalıp hacmi tamamen betonla doldurulmuştur tekrardan 25 defa şişleme işlemi bir önceki seviyeyi geçecek şekilde ve aynı yerlerin mükerrer şişlenmemesine özen gösterilmesi suretiyle yapılmıştır.

Her bir numune koduna sahip 3 adet numune için yükleme hızı 2,4 kN/s olarak ayarlanmıştır.

3.2.5. Yarmada çekme dayanımı deneyi

Yarmada çekme dayanım testleri TS EN 12390-6 standardına göre yapılmıştır [81]. Kullanılacak olan betonun aşınma sonrası lineer yükler altında nasıl davrandığını belirlemek ve gerçek koşullara uyarlayabilmek adına aşınma direnci deneyi sonrasında kütle kaybı yaşayan numuneler üzerinde yapılmıştır.

Yarmada çekme dayanımı için 10x10x10 cm boyutunda numuneler kullanılmıştır.

3.2.6. Aşınma direnci deneyi

Aşınma dayanımı 28 günlük kür sürelerini tamamladıktan sonra her bir karışımdan 3 adet numune üzerinde aşınma deneyi ASTM C944/944M-19 standardı esas alınarak yapılmıştır [80].

Aşınma direncinin tayinin için 10x10x10 cm boyutunda numuneler kullanılmıştır.



Resim 3.5. Aşınma direnci deneyi

3.2.7. Kılcal su emme deneyi

Kılcal su emme değerlerini belirlemek için 28 günlük kür sürelerini tamamlayan 100x100x100 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde TS EN 772-11 standardı uygulanmıştır [79].

Kılcal su emme deneyleri sırasında numunelerin kalıp görmeyen yüzeyleri su ile temas etmeyecek şekilde konumlandırılmıştır.

Resim 3.6. te en yüksek ve en düşük su emme değerlerine sahip olan DK-2,0 ve KK-1,5'e ait numuneler gösterilmiştir.



Resim 3.6. Kılcal su emme deneyi

3.2.8. Yapay sinir ağının oluşturulması

Bu çalışma kapsamında 3 farklı YSA geliştirilmiş olup geliştirilme amaçları, özellikleri ve birbirleri arasındaki farklar aşağıda açıklanmıştır.

YSA1 ve YSA2, Cheng Yeh tarafından 1998 yılında yaptığı çalışmasında kullandığı 1030 adet verinin bulunduğu veri seti kullanılarak yapılmıştır [82].

YSA1 ve YSA2 arasındaki en temel fark, kullanılan veri sayıdır. YSA1 geliştirilirken bu tez kapsamında ortaya çıkan karışım dizaynlarına en yakın 30 veri, veri setinden seçilmiş ve programda simüle edilmiştir. YSA2 de ise 1030 adet verinin hepsi kullanılarak veri sayısının programın verdiği sonuçlara göre farkları incelenmiştir.

YSA3 ise bu tez kapsamında üretilen beton numunelerinin karışım dizaynları ve basınç dayanım sonuçları kullanılarak doğal kum ve kırma kum agregalarının ince agrega olduğu ve iri agregalarının ise İYA olduğu beton tasarımlarının hem hammadde hem de iş gücü kaybetmeksizin beton basınç dayanımlarının YSA yoluyla tahmin edilebilmesi üzerine bir geliştirilmiştir.

Yapay sinir ağıları (YSA) Matlab programında yer alan neural network toolbox (NNT) içerisinde bulunan back propagation modeli kullanılarak üretilmiştir. YSA modellemesinde elde olan verilerin %80'i eğitim seti, kalan %20'si ise test seti olarak programa tanıtılmıştır. Kullanılan bu modelleme hatanın geriye yayılım algoritması olarak bilinmektedir.

Geliştirilen YSA'da İYA kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımlarının tahmin edilebilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda betonu oluşturan bütün etmenlerin karışım hesaplarındaki ağırlıkları ve üretilen betonun gün bazında yaşına göre basınç dayanımını tahmin ettirebilmek üzere Çizelge 3.6 da belirtilen parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 3.6. Üretilen YSA'yı oluşturan parametreler

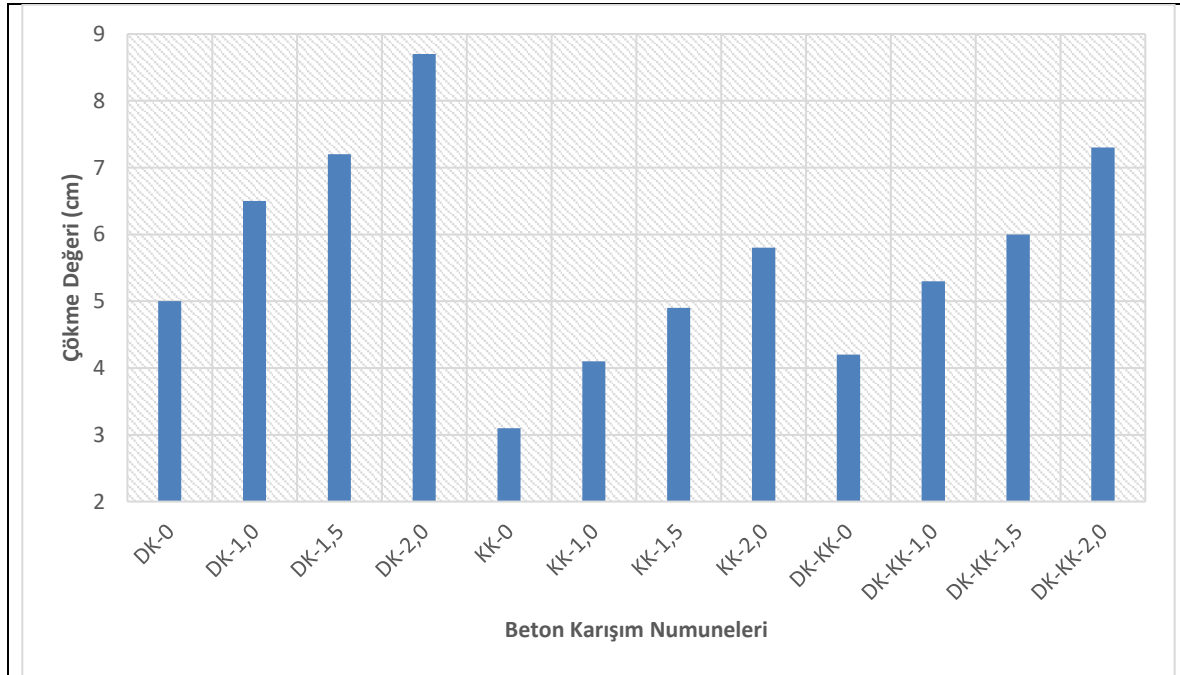
Parametre	Birim
Çimento	kg/m ³
Yüksek fırın cürufu	kg/m ³
Uçucu kül	kg/m ³
Su	kg/m ³
Kimyasal Katkı Maddesi	kg/m ³
İri Agregat	kg/m ³
İnce Agregat	kg/m ³
Yaş	gün
Beton Basınç Dayanımı	MPA

4. BULGULAR

4.1. Taze Betonun İşlenebilirliği

Doğal kum (DK), Kırma kum (KK) ve Doğal kum+ Kırma kum (DK-KK) karışımlarıyla üretilen betonların çökme değerleri birbiriyle karşılaştırıldığında Şekil 4.1’de görüldüğü gibi en yüksek çökme değeri DK’li karışımlarda görülürken en düşük çökme değerleri KK’li karışımlarda görülmüştür. Bunun nedeni, doğal kum tanesinin yüzey alanının, kırma kum tanesinin yüzey alanına göre daha küçük olmasıdır. Kırma kumun yüzey alanı ve filler malzeme miktarından dolayı karışımın su ihtiyacını artırmaktadır. Başka bir faktör ise doğal kum tanesinin yüzey alanının kırma kumun yüzey alanına göre daha pürüzsüz olmasından dolayı daha kolay işlenebilirlik gösterirler.

Taze betonda yapılan çökme deneyi sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Taze beton numunelerine ait çökme değerleri

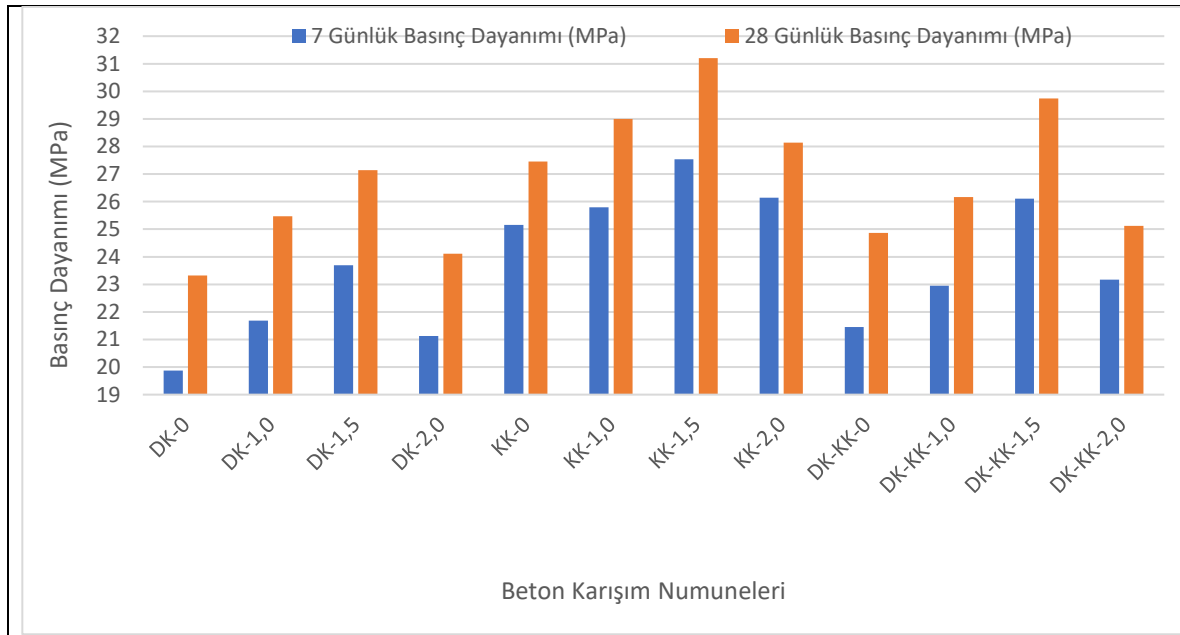
Bütün taze beton karışımlarında en yüksek çökme (slump) değeri DK-2,0 olup 8,7 cm olarak ölçülürken en düşük çökme KK-0 karışımında 3,1 cm ölçülmüştür. Doğal kum ve kırma kumun (DK-KK) birlikte kullanıldığı beton numunelerinin aritmetik ortalaması KK

agregalı beton numunelerine oranla %27 fazla olup DK agregalı beton numunelerinin aritmetik ortalamasına oranla %17 düşük çıkmıştır.

Bu sonuçlara göre doğal kumun işlenebilirliğe olumlu bir katkısı olduğu Şekil 4.1’de açık olarak görülmektedir.

4.2. Basınç Dayanımı

Beton karışım numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmış olup 7 ve 28 günlük basınç dayanımları karışımdaki kimyasal katkı oranlarına göre karşılaştırmalı olarak Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Beton karışım numunelerinin basınç dayanım ilişkisi

DK, KK ve DK-KK karışımlarıyla üretilen betonların basınç dayanım değerleri birbiriyle karşılaştırıldığında Şekil 4.2.’de görüldüğü gibi en yüksek basınç dayanımı değeri KK’lı karışımlarla üretilen beton numunelerinde görülmektedir. En düşük basınç dayanım değerleri ise DK’lı karışımlarla üretilen betonlarda görülmüştür. Basınç dayanım değerlerinin, ince agrega cinsi bağlamında taze beton çökme değeri ile ilişkilendirmek mümkündür. Yani KK karışımıyla üretilen betonun çökme değerleri en düşük idi, burada ise en yüksek basınç dayanımını vermiştir. Bunun sebebi kırma agreganın (tane yüzey şekli) çimento hamuru matrisi ile aderansının çok güçlü olması ve aynı zamanda

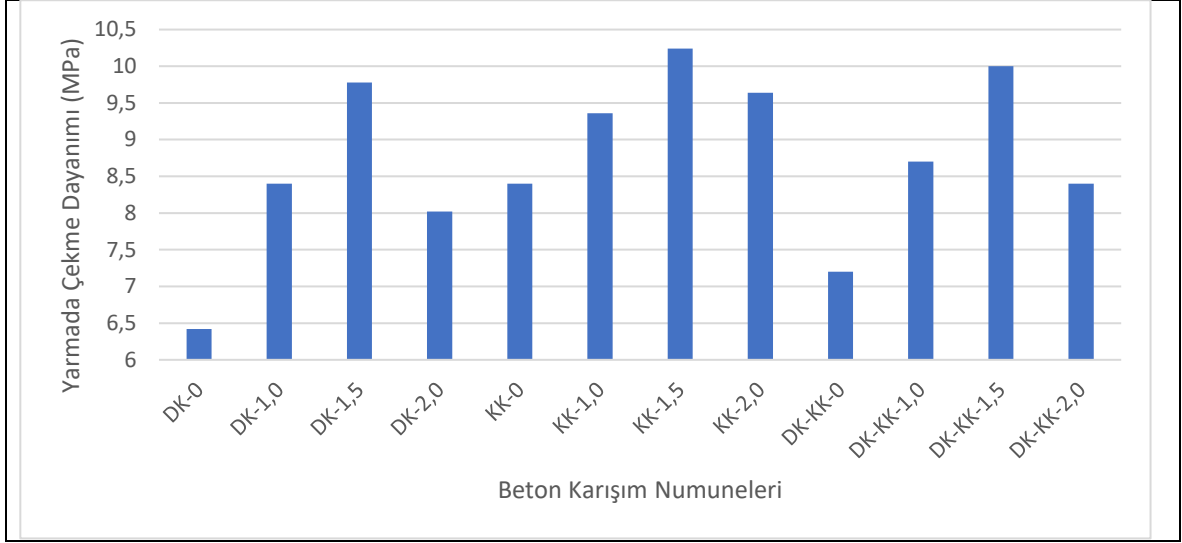
karışımdaki şerbet suyunun diğer karışımlara göre az olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Bütün karışımlarda en yüksek basınç dayanımı %1,5 oranında kimyasal katkıli karışımda elde edilmiştir. En düşük dayanımlar ise genel olarak yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmayan (kontrol) beton numunelerinde görülmektedir.

Karışımlarda yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanım oranı optimum değerinden sonra olumsuz etki göstergesi olarak, bütün karışımlarda basınç dayanımının belirli oranda düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni, taze beton kalıba yerleştikten sonra betonda kuma meydana gelmesidir. Karışım suyunun kalıp yüzeyine çıkması sırasında agreganın yoğunluğundan dolayı oturma sonucunda segregasyon meydana gelmesidir, yani beton homojenliğinin bozulması olarak değerlendirilmiştir. Bazı kimyasal katkı maddesi üretici firmaları, yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcılar, plastik ve akıcı kıvamlı (yani normal hazır betonlarda) betonlarda bağlayıcının %1'ne kadar kullanılmasına karşın %2'ye kadar kullanmasının birtakım sıkıntıları doğurabileceği belirtilmektedir [83].

DK, KK ve DK-KK kodlu numuneler arasındaki aritmetik bağıntılar incelendiğinde, KK kodlu numuneler DK kodlu numunelerden %16 fazla, DK-KK kodlu numunelerden ise %9 az olduğu gözlenmiştir. Bu durumun ise kırma kumun doğal kumuna göre daha yoğun, daha büyük yüzey alana sahip ve boşluksuz olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

4.3. Yarmada Çekme Dayanımı

Üretilen betonun yarmada çekme dayanımı numunelerin basınç dayanımına paralellik göstermiştir. Beton karışım sınıflarına göre beton numuneler üzerinde yapılan yarmada çekme dayanımı deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.

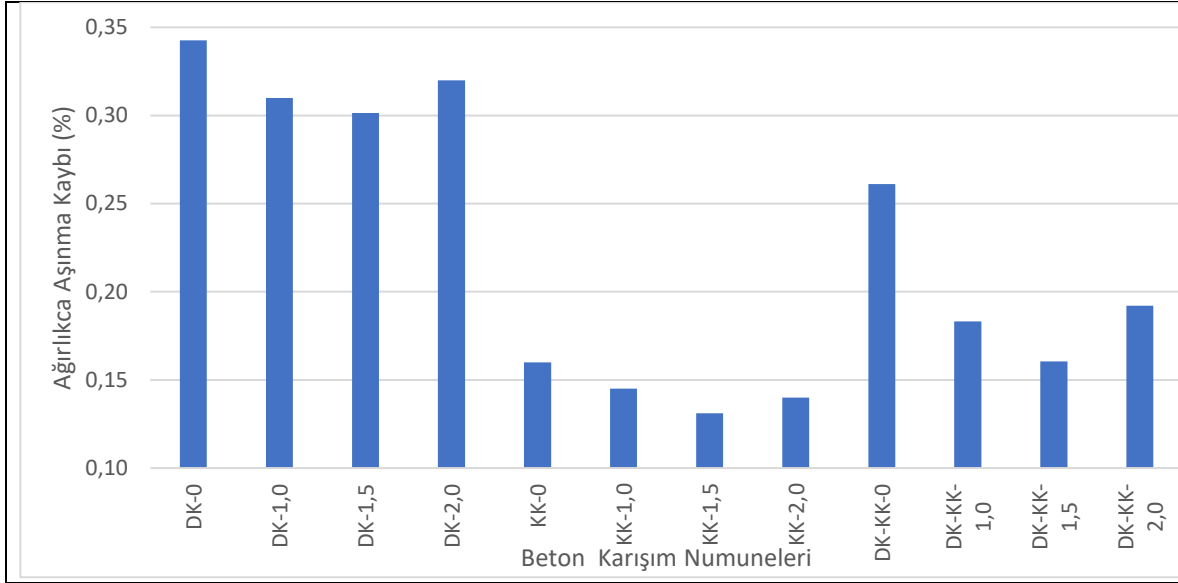


Şekil 4.3. Beton karışım numunelerinin yarmada çekme dayanım ilişkisi

Şekil 4.3 incelenip analiz edildiğinde en yüksek yarmada çekme dayanımlarını KK agrega ile üretilen beton numuneleri vermiştir. Bu agrega karışımıyla ve %1,5 hiper akışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen beton numunenin yarmada çekme dayanımı 10,24 MPa olarak bulunmuştur. En düşük yarmada çekme dayanımlarını DK karışımıyla üretilen beton örnekleri vermiştir. DK–KK agregalı beton karışım numunelerinin yarmada çekme dayanımı DK ile üretilen beton numune değerlerinden büyük olmasına karşın KK karışımlı numunelerden küçük yarmada çekme dayanımı göstermiştir.

4.4. Aşınma Direnci

Aşınma dayanımını belirlemek amacıyla, 28 günlük kür sürelerini tamamladıktan sonra her bir karışımdan 3 adet numune üzerinde aşınma deneyi yapılmış olup, deney sonuçları beton karışımlarına göre karşılaştırmalı olarak Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Beton karışım numunelerinin aşınma kaybı ilişkisi

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi üretilen beton karışımlarında agrega bazında en fazla aşınma kaybı DK karışımıyla üretilen beton numunelerinde görülür iken, en düşük aşınma kaybı KK karışımıyla üretilen beton numunelerinde görülmektedir.

Şekil 4.4 incelenip hiper akışkanlaştırıcı bazında analiz edilirse bütün karışımlarda %1,5 oranıyla üretilen beton numuneleri kendi agrega gruplarıyla üretilen betonlarda en düşük aşınma kaybına sahip olduğu görülmektedir.

Doğal kum karışımıyla üretilen beton numunelerin aşınma kaybı en fazla DK-0 numunelerde %0,34 olurken, en düşük aşınma kaybı DK-1,5 numunelerde %0,31 olmuştur. DK ile üretilen betonların aşınma kayıpları arasında ciddi fark olmadığı görülmüştür.

Kırma kum karışımıyla üretilen beton numunelerin aşınma kaybı DK ile üretilen betona paralellik göstermektedir. Burada da en fazla aşınma kaybı KK-0 numunelerde %0,16 olurken, en düşük aşınma kaybı KK-1,5 numunelerde %0,13 olmuştur. KK ile üretilen betonların aşınma kayıpları arasında oldukça az fark olduğu Şekil 4.4'te görülmektedir.

Doğal ve kırma kum karışımıyla üretilen beton numunelerin aşınma kaybı en fazla DK-KK-0 numunelerde %0,26 olurken, en düşük aşınma kaybı DK-KK-1,5 numunelerde

%0,16 olmuştur. DK-KK ile üretilen betonların aşınma kayıpları arasındaki fark diğer karışımlardan daha farklıdır. Bunun nedeninin, iki farklı kum çeşidinin beraber kullanılmasından kaynaklandığı söylenebilir.

4.5. Kılcal Su Emme

Betonun kılcallığı, su ile temas eden numune yüzeydeki kılcal boşluklar yoluyla yukarı kısımlara doğru kapiler çekim kuvveti ile yükselir. Bu suyun yükselmesi yani numune bünyesinde ilerlemesi birbiriyle bağlantılı boşluklu malzemelerde çok rastlanılır. Homojen malzemeler, kapiler su emmeye tabi tutulur ise, suyun malzeme bünyesinde yukarı doğru ilerlemesi sıvının Poiseuille rejimine uyduğundandır. Poiseuille rejimine göre, malzeme içerisindeki sıvının yukarı doğru çıkma hızı ile sıvının yüksekliği arasında ters ilişki vardır. Beton karışım tiplerinin kapiler su emme katsayıları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Beton karışım tiplerinin kapiler su emme katsayısı

Beton Karışım Numuneleri	DK-0	DK-1	DK-1,5	DK-2	KK-0	KK-1
$C_{w,s}/320$ g/(m ² .s ^{0,5})	22,77	20,14	17,45	20,32	14,58	14,34
Beton Karışım Numuneleri	KK-1,5	KK-2	DK-KK-0	DK-KK-1	DK-KK-1,5	DK-KK-2
$C_{w,s}/320$ g/(m ² .s ^{0,5})	13,77	14,12	21,40	19,15	16,27	19,87

Çizelge 4.1 incelendiğinde, KK ile üretilen akışkanlık kazandırıcı katkı oranı 1,5 olan karışım KK-1,5 en düşük kapiler su emme miktarı elde edilmiş ve kapiler su emme katsayısı ($C_{w,s}$) 0,10 [g/(m².s)] olarak bulunmuştur. En büyük kapiler su emme KK-0 ve kapiler su emmesi katsayısı ($C_{w,s}$) 0,11 [g/(m².s)] dir. İnşaat yıkıntı atığı iri agregası ve DK-KK kombinasyonu ile üretilen beton numuneleri kendi aralarında kapiler su emmeleri açısından karşılaştırdığında DK-KK-1,5’den en düşük kapiler su emme miktarı elde edilmiş ve kapiler su emme katsayısı ($C_{w,s}$) 0,12 [g/(m².s)] olarak bulunmuştur. DK-KK-0 karışımıyla üretilen beton numunesinin kapiler su emmesi bu karımların en büyük kapiler su emme katsayısı ($C_{w,s}$) 0,15 [g/(m².s)] dir. Beton içerisindeki boşluğun azalması ve kompakt bir yapı oluşması numunelerin kapiler su emmesini etkilemektedir.

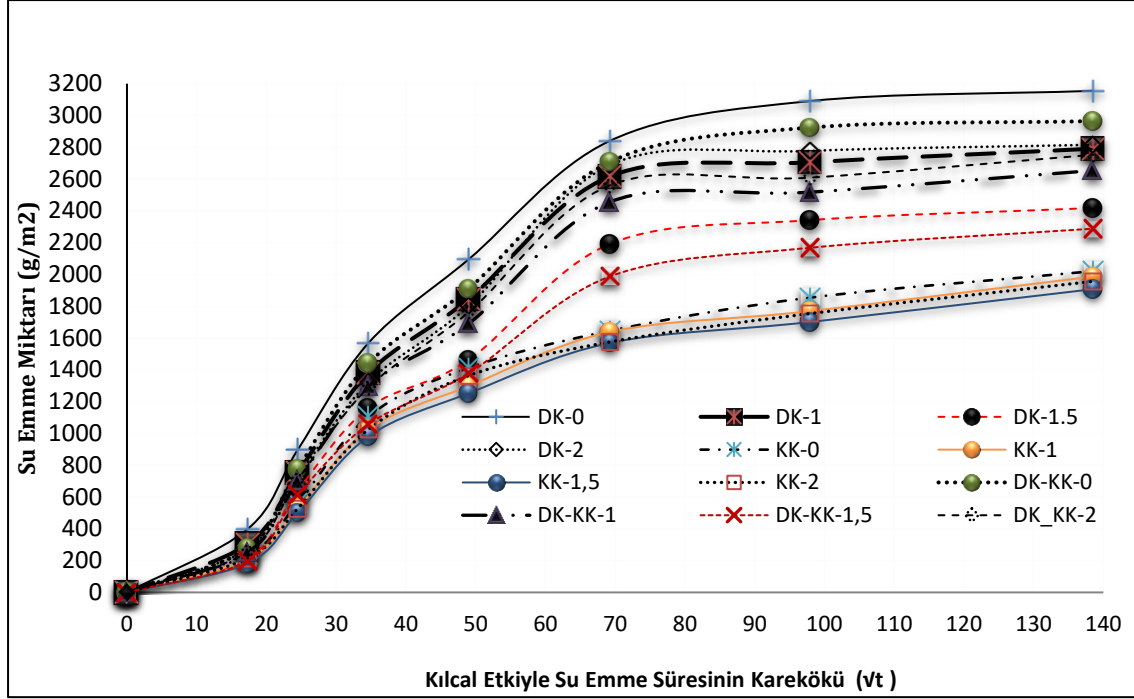
Doğal kumlu karışımli numunelerin kapiler su emme katsayıları Tablo 6'da verilmiştir. Bu katsayılar sırasıyla DK-0 (Cw,s), 0,16 [g/(m².s)], DK-1 (Cw,s) 0,15 [g/(m².s)], DK-1,5 (Cw,s) 0,13 [g/(m².s)], ve DK-2(Cw,s) 0,15 [g/(m².s)], olduğu görülmektedir.

Akışkanlaştırıcı katkı oranı %2 DK-2 olan numunelerin kılcal su emmeleri diğer akışkanlaştırıcılar arasında en yükseğidir. Bunun sebebi az da olsa taze beton yerleştirildikten sonra kuma meydana gelmesi ve kılcal boşlukların meydana gelmesidir. Buda kapiler su emmeyi artırmaktadır.

Yıkıntı atığından elde edilen iri agrega doğal kum karışımıyla üretilen DK-1,5'ten en yüksek kapiler su emme miktarı elde edilmiştir. DK-0'da ise en düşük kapiler su emme meydana gelmiştir. KK ile üretilen beton numunelerin DK numunelerinden daha az kapiler su emdiği görülmektedir. Kapiler su emme, aşınma kaybı ve basınç dayanımı özelliklerinin aynı numunelerde birbirine paralel olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada karışımlarla üretilen numunelerin kapiler su emme, aşınma kaybı, yarmada çekme ve basınç dayanımı özellikleri aynı numunelerde birbirine paralellik göstermiştir.

Araştırmada kullanılan numunelerin kapiler su emme test sonuçlarına bağlı olarak kılcal su emme miktarı- kapiler su emme süresi ilişkisi ise Şekil 4.5'te verilmiştir.



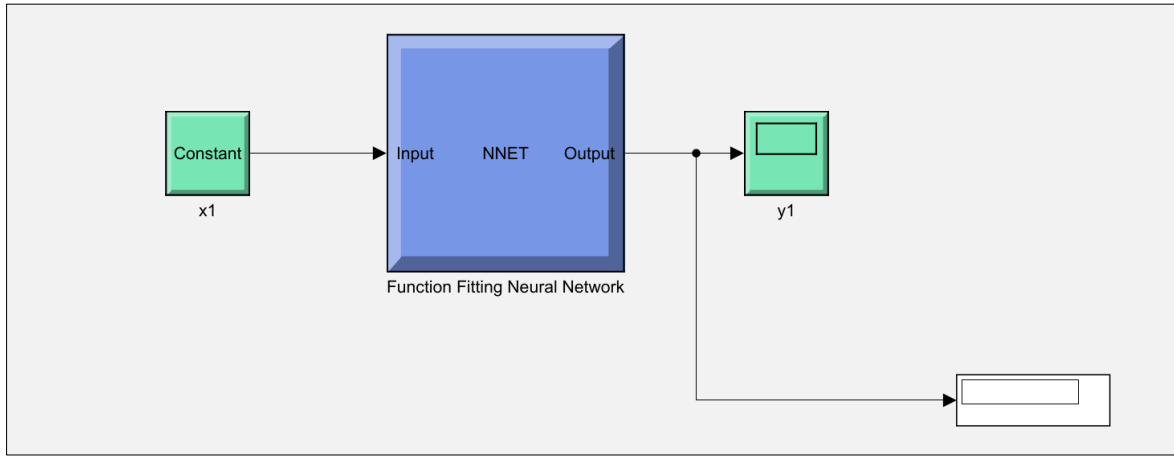
Şekil 4.5. Beton karışım numune tiplerinin kılcal su emme ilişkisi

Şekil 4.5 incelendiğinde, bütün numunelerde ilk 1200 saniyede (20 dakika) kapiler su emme hızı oldukça yüksek ve birbirlerine çok yakın olduğu şekilde görülmektedir. Kapiler su emme süresi 2400 saniye (40 dakikaya) ye ulaştığında kapiler su emme hızı karışımda kullanılan ince agrega ve katkı oranına bağlı olarak değişmektedir. Su emme süresi 4800 saniye (80 dakikaya) ye ulaştığında kapiler su emme hızı zamana bağlı olarak yatay doğrultuya yaklaşmıştır. Karışımda kullanılan ince agrega ve katkı oranına bağlı olarak su emmedeki farklılık büyük ölçüde ortaya çıktığı açıkça şekilde görülmektedir. Kapiler su emme süresi 19200 saniyeye (320 dakikaya) ulaştığında tam olmasa da yataya oldukça yaklaştığı görülmüştür.

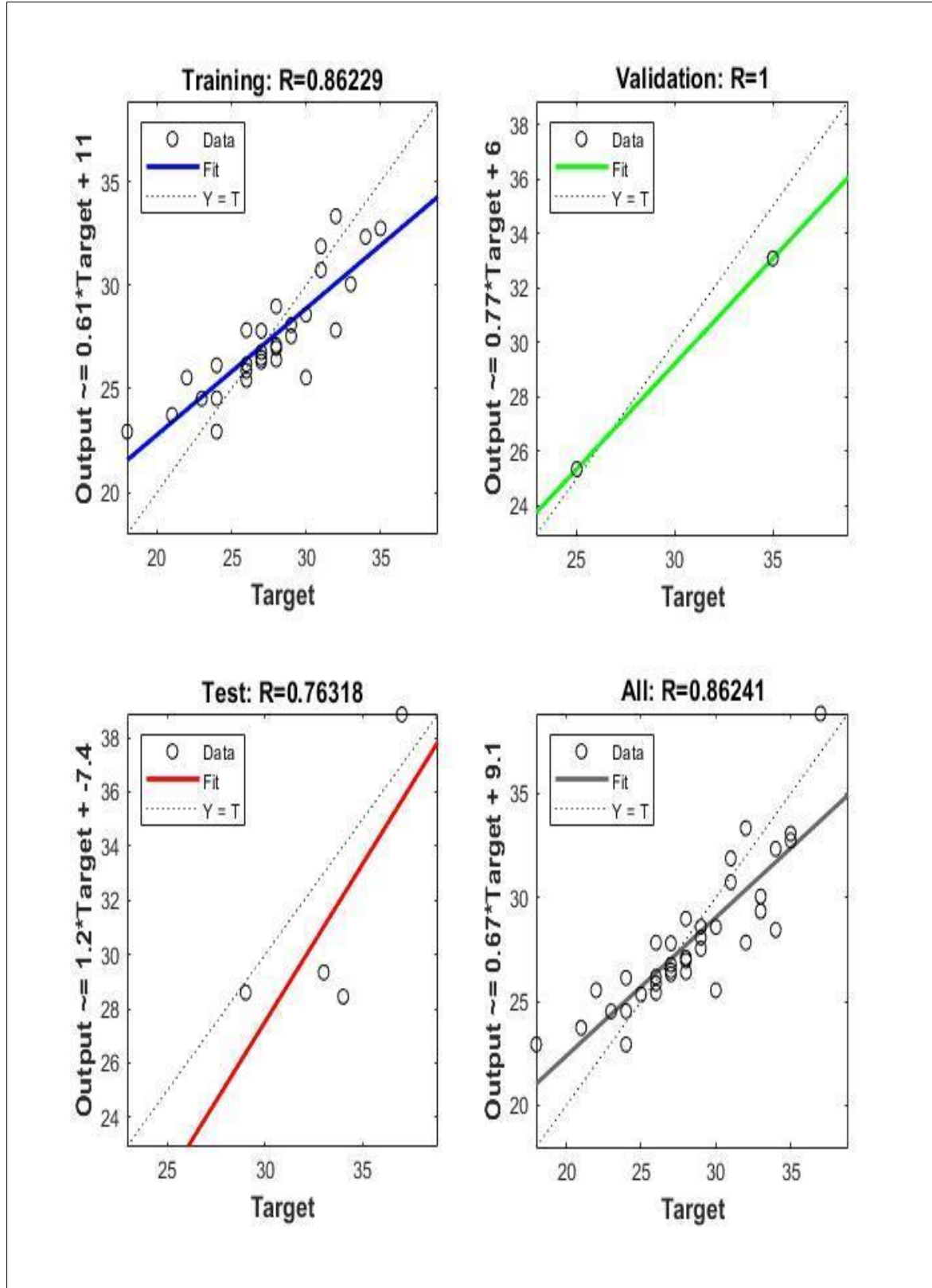
4.6. Yapay Sinir Ağı Basınç Dayanım Tahminleri

Oluşturulan YSA1 ve YSA2’de kullanılan algoritmalar ve parametreler aynı tutulmuştur. Tek fark oluşturulan veri setlerindeki seri sayılarıdır. Doğal olarak ne kadar çok veri o kadar çok öğrenim sonucu fazla veri ile eğitim yaptırılan YSA2’den daha doğru sonuçlar alınmıştır. Ancak Çizelge 3.6’da verilen parametrelerde ne kadar çok “0” değeri mevcut ise programın korelasyon değerinin o denli azaldığı tespit edilmiştir. Mesela kimyasal katkı maddesi miktarı, uçucu kül miktarı ve yüksek fırın cürufu miktarlarının hepsinin birden

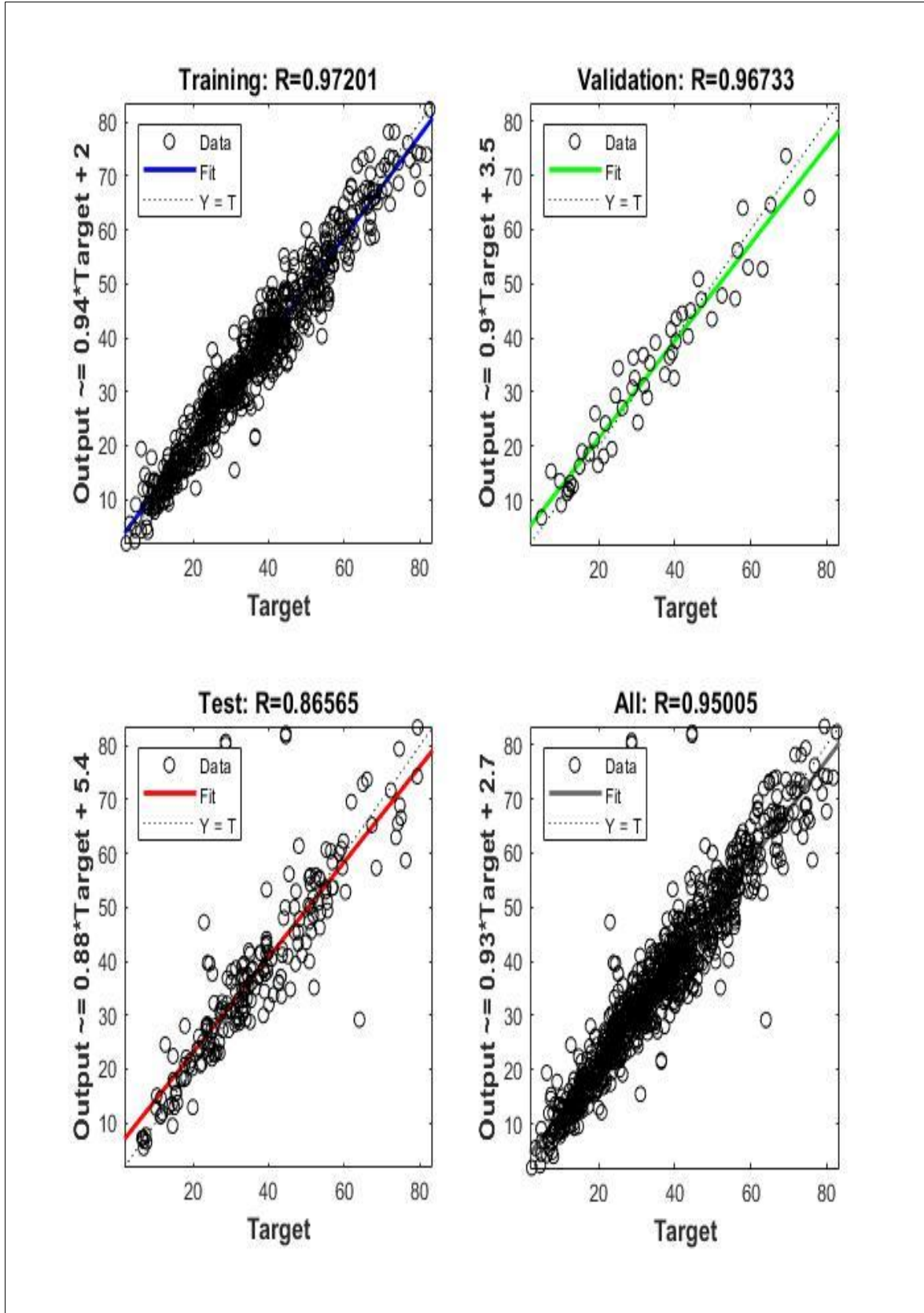
“0” olduğu verilerde en düşük korelasyon değeri karşımıza çıkmaktadır. Bu olgunun birinci sebebi, oluşturulan veri setinde bu üç parametrenin aldığı değere yani “0” değerine eşit ya da en yakın olabilecek verilerin az olmasındandır, bilindiği üzere “0” değeri yok, olmayan anlamına gelmektedir. İkinci sebebi ise serileri oluşturan verilerin farklılıklarıdır, bu farklılıklardan kasıt parametreleri oluşturan değerler, miktarlardır. Şekil 4.8’de YSA1 ve YSA2 için oluşturulan ara yüz paylaşılmıştır. Şekil 4.9’da ise veri seti az olan YSA1’e ait eğitim, test, doğrulama ve genel korelasyon değerleri paylaşılmıştır. Şekil 4.10’da ise veri seti fazla olan yani YSA2’ye ait eğitim, test, doğrulama ve genel korelasyon değerleri paylaşılmıştır. Şekil 4.10’da ise bu tez kapsamında kullanılan karışım değerlerinin, malzeme tiplerinin ve beton basınç dayanımlarının bulunduğu veri seti kullanılarak geliştirilen YSA3’e ait eğitim, test, doğrulama ve genel korelasyon değerleri paylaşılmıştır.



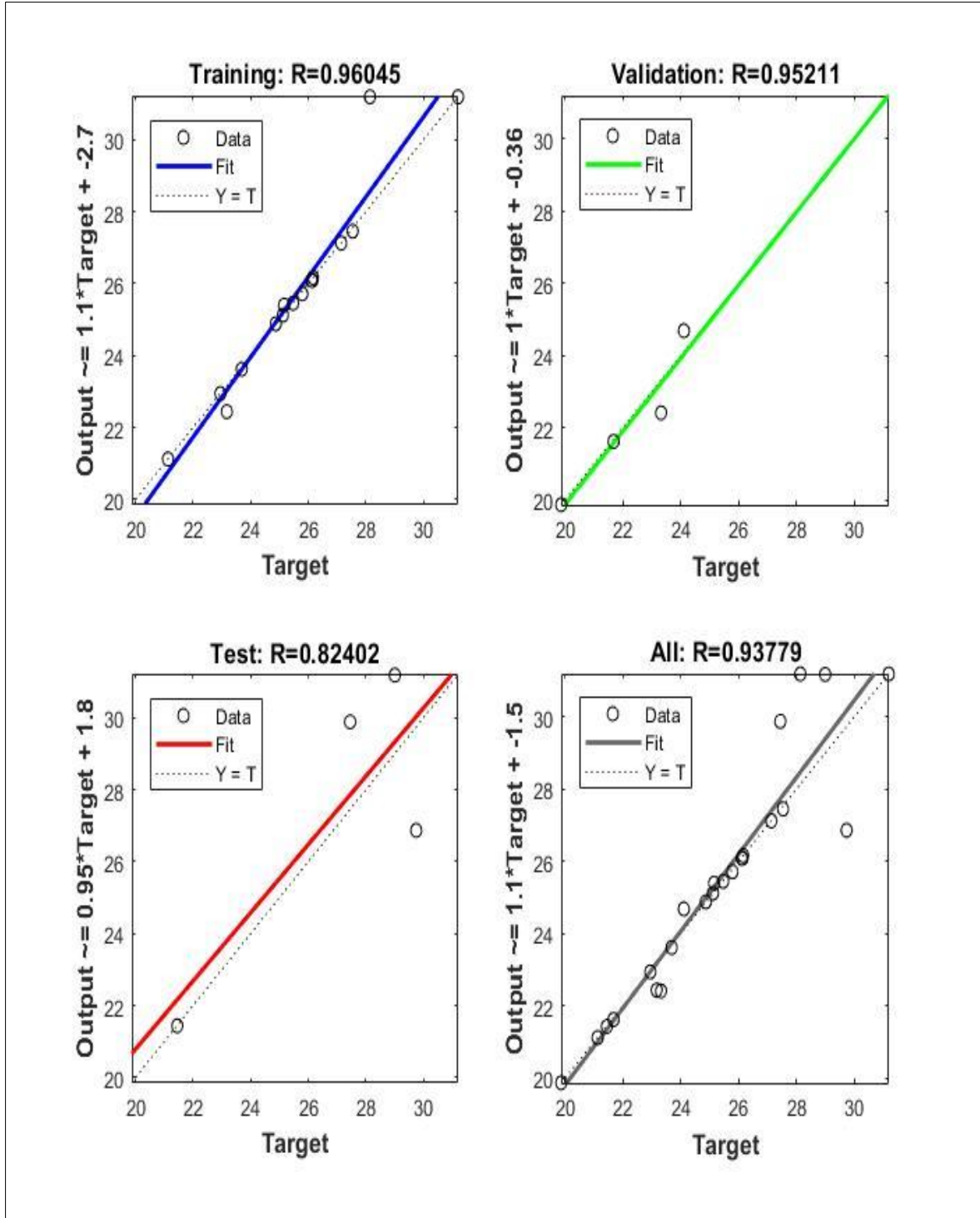
Şekil 4.6. YSA1 ve YSA2 için oluşturulan ara yüz



Şekil 4.7. YSA3'e ait eğitim, test, doğrulama ve genel korelasyon değerleri



Şekil 4.8. YSA2'ye ait eğitim, test, doğrulama ve genel korelasyon değerleri



Şekil 4.9. YSA3'e ait eğitim, test, doğrulama ve genel korelasyon değerleri

Şekil 4.8 incelenip analiz edildiğinde 0,86241 oranında doğrulama oranı elde edilmiştir. Bu değer az olmasının sebebi açıklandığı üzere veri setinin az olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.9 analiz edildiğinde ise 0,95005 oranında doğrulama değeri elde edilmiştir. Bu durum veri setindeki serilerin daha önceden de açıklandığı üzere

miktarlarına ve aldıkları değerlere göre arttıklarını göstermektedir. Şekil 4.11 incelendiğinde ise 0,93779 oranında doğrulama değeri elde edilmiştir. Geliştirilen YSA'ların doğrulama değerlerine göre kullanılabilirlikleri kabul edilebilir düzeydedir.

YSA3 kullanılarak bu tez kapsamında yapılan çalışmaların sonuçları ve deneysel verilerin sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. YSA3 tahmin sonuçları ve deneysel verilerle karşılaştırılması

Numune Kodu	Çimento Miktarı (kg/m ³)	Yüksek Fırın Cürufu Miktarı (kg/m ³)	Uçucu Kül Miktarı (kg/m ³)	Su Miktarı (kg/m ³)	Kimyasal Katkı Madde Miktarı (kg/m ³)	İri Agrega Miktarı (kg/m ³)	İnce Agrega Miktarı (kg/m ³)	Yaş (Gün)	Deneysel Basınç Dayanımı (Mpa)	Tahmini YSA3 Basınç Dayanımı (MPA)	Tahmini MPA/ Deneysel MPA
DK-0	338	0	0	203	0	848	759	7	19,87	19,8745	1,0002265
DK-1	338	0	0	203	3,38	844	756	7	21,68	21,6249	0,9974585
DK-1,5	338	0	0	203	5,07	842	753	7	23,69	23,6212	0,9970958
DK-2	338	0	0	203	6,76	840	751	7	21,13	21,1235	0,9996924
KK-0	338	0	0	203	0	848	844	7	25,16	25,4013	1,0095906
KK-1	338	0	0	203	3,38	844	840	7	25,79	25,7171	0,9971733
KK-1,5	338	0	0	203	5,07	842	838	7	27,54	27,4563	0,9969608
KK-2	338	0	0	203	6,76	840	835	7	26,14	26,0894	0,9980643
DK-KK-0	338	0	0	203	0	379	808	7	21,45	21,4364	0,999366
DK-KK-1	338	0	0	203	3,38	378	804	7	22,95	22,9427	0,9996819
DK-KK-1,5	338	0	0	203	5,07	377	802	7	26,11	26,0910	0,9992723
DK-KK-2	338	0	0	203	6,76	375	800	7	23,17	22,4394	0,9684678
DK-0	338	0	0	203	0	848	759	28	23,32	22,4154	0,9612093
DK-1	338	0	0	203	3,38	844	756	28	25,47	25,4536	0,9993561
DK-1,5	338	0	0	203	5,07	842	753	28	27,14	27,1255	0,9994657
DK-2	338	0	0	203	6,76	840	751	28	24,11	24,6884	1,02399
KK-0	338	0	0	203	0	848	844	28	27,45	29,8823	1,0886084
KK-1	338	0	0	203	3,38	844	840	28	29	31,1812	1,0752138
KK-1,5	338	0	0	203	5,07	842	838	28	31,2	31,1918	0,9997372
KK-2	338	0	0	203	6,76	840	835	28	28,14	31,1935	1,108511
DK-KK-0	338	0	0	203	0	379	808	28	24,87	24,8830	1,0005227
DK-KK-1	338	0	0	203	3,38	378	804	28	26,16	26,1658	1,0002217
DK-KK-1,5	338	0	0	203	5,07	377	802	28	29,74	26,8670	0,9033961
DK-KK-2	338	0	0	203	6,76	375	800	28	25,12	25,1267	1,0002667

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Doğal kum, betonun işlenebilirliğine olumlu etki ederken kırma kum ise olumsuz etkide bulunmaktadır. Doğal ile kırma kum kombinasyonu ile üretilen betonun işlenebilirliği kırma kumla üretilen betondan yüksek, doğal kum karışımıyla üretilen beton işlenebilirliğinden ise düşüktür. Ayrıca doğal ve kırma kum kombinasyonu ile üretilen beton numunelerinin slump değerleri kırma kum ile üretilenlerden düşük, doğal kum ile üretilenlerden yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Karışımında kullanılan süperakışkanlaştırıcı oranı arttıkça bütün karışımların işlenebilirliği artmıştır. İşlenebilirlik anlamında optimum süperakışkanlaştırıcı oranı çimento miktarının ağırlıkça %1,5 oranında gözlemlenmiştir.

Doğal kum karışımıyla üretilen betonların basınç dayanım değerleri diğer karışımlara göre en düşük performansa sahiptir. DK-1,5 karışımı ile üretilen betonların DK kodlu betonlar arasında daha yüksek değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Bu durum optimum oranda kimyasal katkı maddesinin kullanımı sayesinde elde edilmiştir.

Kırma kum karışımıyla üretilen betonların basınç dayanım değerleri diğer karışımlara göre en yüksek performansa sahiptir. KK-1,5 karışımı ile üretilen betonların ise üretilen bütün beton numuneleri arasında en yüksek değerlere sahip olduğu saptanmıştır.

Doğal ve kırma kum kombinasyonu ile üretilen betonların basınç dayanım değerleri diğer karışımlara göre orta düzeyde performans göstermiştir. DK-KK-1,5 karışımı ile üretilen betonların ise üretilen diğer DK-KK kombineli beton numuneleri arasında en yüksek değerlere sahip olduğu saptanmıştır.

Yarmada çekme dayanım değerlerinde en düşük performansı DK-1,5 karışımı ile üretilen betonlar verirken, kırma kum karışımıyla üretilen betonlarda en yüksek performans KK-1,5 karışımı ile üretilen betonlardan ve DK-KK kombineli beton numuneleri arasında en yüksek performansı DK-KK-1,5 karışımıyla elde edilen numunelerden elde edilmiştir.

Bu üç farklı agregalarla hazırlanan beton karışımlarında ise en yüksek KK-1,5 değerlere sahip olduğu saptanmıştır

Aşınma kaybı değerlerinde en düşük performansı DK-1,5 karışımı ile üretilen betonlar verirken, kırma kum karışımıyla üretilen betonlarda en düşük aşınma kaybını KK-1,5 karışımı ile üretilen betonlar vermiştir ve DK-KK kombineli beton numuneleri arasında en düşük aşınma kaybı DK-KK-1.5 karışımıyla elde edilen numunelerden elde edilmiştir.

Bu üç farklı agregalarla hazırlanan beton karışımları aşınma kaybı açısından birbiriyle karşılaştırıldığında ise KK-1,5 kodlu numunenin en düşük aşınma kaybına sahip olduğu saptanmıştır.

Üretilen numunelerin kılcal su emme oranları incelenip analiz edildiğinde ise boşluksuz ve daha kompakt yapıda elde edilen KK kodlu numunelerde en düşük kılcal su emme oranı gözlemlenmiştir. DK kodlu numunelerin ise boşluklu yapıları nedeniyle en yüksek kılcal su emme oranlarına sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca, DK ve KK kombinasyonu ile üretilen betonların kılcal su emme değerleri ise DK kodlu numunelerden yüksek, KK kodlu numunelerden ise düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçları özetleyecek olursak, basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımları doğru orantılı, aşınma direnci değerleri ise ters orantılı olarak karşımıza çıkmıştır. Ayrıca kılcal su emme ve taze betonun işlenebilirliği göz önüne alındığında aralarında doğru orantı olduğu saptanmış olup, işlenebilirliği az olan betonun boşluksuz bir yapıya sahip olduğundan kılcal su emmesinin de az olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak; iri agregaya yıkıntı atığı, ince agregaya kırma kum ve % 1,5 yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı oranıyla üretilen betonların mekanik ve fiziksel özellikleri istenilen performansı sağlamıştır.

İnşaat yıkıntı atığı olan molozların içinde, kil (toprak) bulunması durumunda geri dönüşüm agregası kullanılmadan önce kilden arındırılmalıdır. İYA'nın iri agregaya olarak kullanılması durumunda kireç, alçı ve boya gibi atıklara karşı yıkanmalı veya beton içinde bulunması durumunda atıklara karşı gerekli önlemler alınmalıdır.

Üretilen YSA'lar sonucunda daha fazla veri tanıtılan YSA2'nin YSA1'e göre daha doğru sonuç verdiği gözlenmiştir.

YSA bakımından elde edilecek veri çeşitliliği ve fazlalığı sayesinde elde edilecek tahminsel dayanım sonuçlarının doğruluk payları artacaktır. Bu durum YSA1 ve YSA2'de net olarak gözlenmiştir.

YSA3 ise geliştirilme amacı olan, iri agrega olarak İYA, ince agrega olarak DK, KK ve DK-KK kullanılarak üretilen betonların basınç dayanım tahminlerini tatmin edici ölçüde doğru sonuçlandırmıştır.

Bu deney kapsamında üretilen karışım dizaynları ve elde edilen basınç dayanım değerleri, artık yapay sinir ağları için bir veriseti olarak kullanılabilir.

5.2. Öneriler

Bu sonuçlar doğrultusunda beton üretiminde İYA kullanılması durumunda ekonomik ve çevresel kazanımlar oluşacaktır.

Oluşacak ekonomik ve çevresel kazanımlar sonucunda ise inşaat sektöründe sürdürülebilirlik doğrultusunda önemli ilerlemeler gerçekleşecektir.

İYA ile üretilen betonlarda kimyasal katkı maddelerinin kullanılması üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirecek olup, kullanılması halinde beton içerisinde daha az kılcal boşluk elde edileceğinden durabilitesi artacaktır.

İYA ile üretilen betonlarda kimyasal katkı maddelerinin kullanılması üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirecek olup, kullanılması halinde beton içerisinde daha az kılcal boşluk elde edileceğinden durabilitesi artacaktır.

Bu tez kapsamında üretilen yapay sinir ağlarından elde edilen verilere göre geri kazanılmış agregalar ile yapılan çalışmalardan elde edilecek yüksek sayıdaki ve çeşitlilikteki veriseti sayesinde sadece basınç dayanımı değil, betonun diğer durabilite özellikleri de tahmin edilebilir duruma gelecektir.

YSA ile beton teknolojilerinin birleŖebilmesi için yüksek miktarda ve eŖitlilikte beton üreten beton santralleri vb. gibi ŖŖletmeler ile Ŗ birliği yapılabilir. Bu Ŗ birliği sayesinde deneyler için hem hammaddeden hem insan gücünden hem de zamandan tasarruf edilmesi günümüz dünyasında elde edilecek son derece önemli olgulardır.

KAYNAKLAR

1. Chandra, S. (2004). *Implications of using recycled construction and demolition waste as aggregate in concrete*. Paper presented at International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling, Kingston University, London, 105-114.
2. Şimşek, O. (2020). *Beton ve beton teknolojisi* (6. Baskı). Ankara: Şeçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, 22.
3. Albayrak, H. F. (1987). *Beton cep kitabı*, Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Daire Başkanlığı, 19-34.
4. Ahmed E. and Ahmed A. E. K. (1989). *Properties of concrete incorporating natural and crushed stone very fine sand*, *Materials Journal*, 86(4), 417-424.
5. Postacıoğlu, B. (1987). *Beton bağlayıcı maddeler, Agregalar, Beton* (Cilt 2). İstanbul: Teknik Kitaplar Yayınevi, 177-180.
6. Erdoğan, T. (1995). *Betonu Oluşturan Malzemeler Agregalar*. İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği, 1-8.
7. TS 802 (2016). *Beton karışım tasarımı hesap esasları*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
8. Demir, İ. (2009). İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Özelliklerine Etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9, 105-114.
9. Öztürk, M. (2003). *İnşaat/Yıkıntı Atıklarının Yönetimi*, Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı, 3-9.
10. Kartam, N., Al-Mutairi, N., Al-Ghusain, I. and Al-Humoud, J. (2004). Environmental Management of Construction and Demolition Waste in Kuwait, *Waste Management*, 24, 1049-1059.
11. Samton, G. (2003). *Construction and Demolition Waste Manual*, City of New York.
12. Huang, W. L., Lin, D.H., Chang, N. B. and Lin, K. S. (2002). Recycling of Construction and Demolition Waste Via A Mechanical Sorting Process, *Resources, Conservation and Recycling*, 37, 23-37.
13. Poon, C. S. (2007). Management of Construction and Demolition Waste, *Waste Management*, 27, 159-160.
14. Rao, A. (2005). *Experimental Investigation on Use of Recycled Aggregates in Mortar and Concrete*, Thesis Submitted to the Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Kanpur.
15. Von Stein, E. L. and Savage, G. M. (1994). Current Practices and Applications in Construction and Demolition Debris Recycling, *Resource Recycling*, 13, 85-85.

16. Arıoğlu, E., Köylüoğlu, Ö. S. ve Akıllıoğlu, E. (1996). *Dünyadaki Geri Kazanılmış Agregası Üretim Politikalarının Gözden Geçirilmesi ve Ülkemiz Açısından İrdelenmesi*, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul.
17. Oikonomou, N. D. (2005). Recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites*, 27, 315–318.
18. Köken, A., Köroğlu, M. A ve Yonar, F. (2008). Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. *Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi*, 7, 36-48.
19. TS 706 EN 12620+A1. (2009). *Beton agregaları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
20. Rao, A., Jha, K.N., and Misra, S. (2007). Use of Aggregates From Recycled Construction and Demolition Waste in Concrete, Resources, *Conservation and Recycling*, 50, 71-81.
21. Tüfekçi, M. M. (2011). *Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
22. Cilason, N. (1980). *Beton*, Ankara: Sezai Türkeş Fevzi Akkaya İnşaat Ař Yayınları, 21.
23. Neville, A. M. (2000). *Properties of Concrete* (Third Edition). New York: Longman Scientific and Technical, 137.
24. Erdoğan, T. (2003). *Beton* (1. Baskı). Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.ř., 45-47.
25. Tu, T., Chen, Y. and Hwang, C. (2006). Properties of HPC with recycled aggregates. *Cement and Concrete Research*, 36, 943-950.
26. Acker, A. V. (1998, November). *Recycling of concrete at a precast concrete plant*. Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate: proceedings of the International Symposium organized by the Concrete Technology Unit", University of Dundee and held at the Department of Trade and Industry Conference Centre,: Thomas Telford, London, 321-332.
27. Limbachiya, M. C., Leelawat, T, and Dhir, R. K. (2000). Use of Recycled Concrete Aggregate in High – Strength Concrete, *Materials and Structures*, 33, 574 – 580.
28. Zankler, G. (1999). Recycled Materials in Concrete Construction, Fields of Applications, Development tendencies and Quality Assurance. *Betonwerk + Fertigteil – Tech*, 4, 38 – 43.
29. Demirel, C. ve şimşek, O. (2015). Erken Yaşdaki Atık Betonların Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılabilirliği ve Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, 226-235.
30. Pourghadri Sefidehkan, H. ve şimşek, O. (2018). Farklı Oranlarda Geri Dönüşüm Agregası Kullanılarak Üretilen Betonun Bazı Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21, 83-91.

31. Hansen, T. C. and Narud, H. (1983). *Strength of Recycled Concrete Made From Crushed Concrete Coarse Aggregate*, Germany: ACI, Concrete International, Design and Construction, 79 – 83.
32. Buck, A. D. (1973). *Recycled Concrete*, Highway Research Record, No:930, UK: Highway Research Board, 8.
33. Topçu, B., and Sengel, S. (2004). Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate, *Cement and Concrete Research*, 34, 1307-1312.
34. Özturan, T. (1988). *Eski Beton Kırığı Agregalı Betonlar*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Seminerleri, İstanbul.
35. Korkut, M. K. ve Şimşek, O. (2021). İnşaat Yıkıntı Atığı, İnce Agrega Olarak Doğal ve Kırma Kum Kullanılan Betonun Bazı Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(2), 508-520.
36. Kohler, G. and Kurkowski, H. (1998). *Optimizing The Use Of RCA*, University of Dundee, Concrete Technology Unit, London.
37. Assbrock, O. (1999). *Bundesverband der Deutschen*, Germany: Transportbeton Industrie.
38. Nealen, A. and Rühl, M. (1997). *Consistency aspects in the production of concrete using aggregates from Recycled demolition material*, Darmstadt, Germany: Darmstadt Concrete.
39. Mehta, K. P. (2002). Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development. *Concrete International*, 24, 23-28.
40. Öztürk, M. (2003). *İnşaat/Yıkıntı Atıklarının Yönetimi*, Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı.
41. Rao A., Jha K. N., and Misra S. (2007). Use of Aggregates From Recycled Construction and Demolition Waste in Concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, 50, 71-81
42. Poon, C.S., Qiao, X. C. and Chan, D. (2006). The Cause and Influence of Self-Cementing Properties of Waste Recycled Concrete Aggregates in the Properties of Unbound SubBase, *Waste Management*, 26, 1166-1172.
43. Rakshvir, M. ve Barai, S. V. (2006). Studies on Recycled Aggregates-Based Concrete, *Waste Manage Res*, 24, 225-233.
44. Lennon, M. (2005). *Recycling Construction and Demolition Wastes A Guide for Architects and Contractors*. The Institution Recycling Network.
45. Samton G. (2003). *Construction and Demolition Waste Manual*, City of New York.
46. İnternet: HQ AFCEE, *Construction and Demolition Waste Management Guide*, 2004. Pocket Guide, Web: www.Afcee.brooks.af.mil/green/resources/resources.asp, Erişim Tarihi: 18.03.2021.

47. Arnoğlu E., K ylioğlu  . S. ve Akıllıoğlu E. (1996). *D nyadaki Geri Kazanılmış Agregas  retim Politikalarının G zden Geirilmesi ve  lkemiz Açısından İrdelenmesi*, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul.
48. Nunes K. R. A., Mahler C. F., Valle R. and Neves C. (2007). Evaluation of Investments in Recycling Centres for Construction and Demolition Wastes in Brazilian Municipalities, *Waste Management*, 27, 1531-1540.
49. Demirel C., Toklu K. ve şimşek O. (2015). *Geri Dönüşüm Agregasının Beton  retiminde Kullanılabilirliği ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi*, 2nd International Sustainable Buildings Symposium.
50. Akman, S. (1987). *Beton Teknolojisine Giriş*, İstanbul: İTÜ, İnaşat Fakültesi.
51. THBB, (2004). *Beton kullanıcıları için teknik bilgiler kılavuzu*, İstanbul: THBB yayını, 7-10.
52. TS 13515. (2019). *TS EN 206'nın uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart*. Türk Standartları Enstitüsü.
53. Demirel C. ve şimşek O. (2014). C30 Sınıfı Atık Betonun Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton  retiminde Kullanılabilirliği, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2), 46-54.
54. Durmuş G., şimşek O. ve Can  . (2009). *Geri Dönüşüm Agregalardan  retilen Farklı Sınıflardaki Betonun Mühendislik  zelliklerinin Belirlenmesi*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09).
55. S me, E. (2016). *Geri Dönüşüm Agregasının Beton Yol Kaplamasında Kullanılabilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
56. Kroop J. and Hilsdorf H. K. (editors) (1995). *Performance Criteria for Concrete Durability*, RILEM Report 12, E&FN Spon, London, 327.
57. Neville, A. M. (1997). *Properties of Concrete*, London: John Wiley & Sons Inc, 844.
58. elik, B. (2001). *Recycled Aggregate Concrete at Elevated Temperatures*. Doktora Tezi, Boğazii Üniversitesi, İstanbul.
59. Kou, S. C., Poon, C. S. and Chan, D. C. (2007). Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete. *ASCE Journal of Material In Civil Engineering*, 19(9), 709-715.
60. Katz, A. (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(2), 703-711.
61. Padmini, A. K., Ramamurthy, K. and Mathews, M. S. (2008). Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23, 829-836.

62. Brito, J., Ferreira, J., Pacheco, J., Soares, D. and Guerreiro, M. (2016). Structural, material, mechanical and durability properties and behaviour of recycled aggregates concrete. *Journal of Building Engineering*, 6, 1-16.
63. Durmuş, G., Şimşek, O. ve Dayı, M. (2008). Geri dönüşümlü iri agregaların beton özelliklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1), 183-189.
64. Yaprak, H., Aruntas, H. S., Demir, I., Simsek, O. and Durmus, G. (2011). Effects of the fine recycled concrete aggregates on the concrete properties. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(10), 2455-2461.
65. Sefidehkhan, H. P. (2017). *Geri Dönüşüm Agregası ile Üretilmiş Betonun Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 8-10.
66. Malesev, M., Radonjanin, V. and Marinkovic, S. (2010). Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. *Sustainability*, 2, 1204-1225.
67. Durmuş, G., Şimşek, O., ve Dayı, M. (2013). Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(1), 183-189.
68. Jiang, L. and Niu, D. (2016). Study of deterioration of concrete exposed to different types of sulfate solutions under drying-wetting cycles. *Construction and Building Materials*, 117, 88–98.
69. Spragg, R. P., Castro, J., Li, W., Pour-Ghaz, M., Huang, P. and Weiss, J. (2011). Wetting and drying of concrete using aqueous solutions containing deicing salts. *Cement & Concrete Composites*, 33, 535–542.
70. Öztemel, E., (2006). *Yapay Sinir Ağları*, İstanbul: Papatya Yayıncılık, 15-23.
71. Tolon, M., ve Tosunoğlu, G. N. (2008). Tüketici Tatmini Verilerinin Analizi: Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Analizi Karşılaştırması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2), 247-259.
72. TS EN 933-1. (2015). *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
73. TS EN 1097-6. (2013). *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
74. TS EN 933-3. (2015). *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Tane şekli tayini - Yassılık endeksi*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
75. TS EN 1097-2. (2015). *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için yöntemler*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
76. TS EN 933-9+A1:2013. (2014). *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 9: İnce malzeme tayini - Metilen mavisi deneyi*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.

77. TS EN 12350-2. (2019). *Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
78. TS EN 12390-3. (2019). *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
79. TS EN 772-11. (2011). *Kâgir birimler - Deney metotları - Bölüm 11: Betondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
80. ASTM C944/C944M-19, (2019). *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
81. TS EN 12390-6. (2010). *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
82. Yeh, I. C. (1998). Modeling of strength of high-performance concrete using artificial neural networks. *Cement and Concrete research*, 28(12), 1797-1808.
83. İnternet: Sika® ViscoCrete®-SF 18, Web: <https://heris.com.tr/Resimler/2d9557f65cSika%20Viscocrete%20SF%2018%2020072201%20TR.pdf> Erişim Tarihi: 21.05.2021.



GAZİ GELECEKTİR..