



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇELİK LİFLİ BETONLARDA AGREGA TİPİNİN KIRILMA
ENERJİSİNE ETKİSİ

MERVE DEMİRALP
YÜKSEK LİSANS



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKEŞ BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇELİK LİFLİ BETONLARDA AGREGA TİPİNİN KIRILMA
ENERJİSİNE ETKİSİ

MERVE DEMİRALP
YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET BEYÇİOĞLU

ADANA 2020



Bu tezde yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm bilgiler için atıf verdiğimi ve kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

[İmza]

Merve DEMİRALP

ÖZET

ÇELİK LİFLİ BETONLARDA AGREGA TİPİNİN KIRILMA ENERJİSİNE ETKİSİ

Merve DEMİRALP

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

05 2020, 51 sayfa

Kentsel dönüşüm çalışmaları sonunda ortaya çıkan inşaat atıkları ciddi bir atık kaynağı oluşturmaktadır ve bu atıkların bertarafı günden güne araştırmacıların dikkatini çekmeye başlamıştır. İnşaat mühendisliği araştırmacıları ortaya çıkan yıkıntı atıklarından geri dönüştürülmüş agrega elde ederek bunların yeniden beton üretiminde kullanımı konusunda çalışmalar yapmaktadır. Bu konu faydalı dönüşüm mekanizmaları oluşturmak adına çok önemli bir konu olup sürdürülebilirlik açısından üzerinde kapsamlı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Geri dönüştürülmüş agrega kullanımı ile beton üretilmesi konusunda yapılan çalışmalar genellikle belirli dayanımlarda beton üretimi ve üretilen bu betonların temel mühendislik özelliklerinin belirlenmesi üzerinedir. Üretilen betonların yapısal sistemlerdeki özel beklentilere (süneklik vb.) ne derece cevap verdiği halen tam olarak ortaya konulamamıştır.

Bu tez çalışmasında, agrega tipinin çelik lifli betonlarda taze ve sertleşmiş beton özelliklerine ve kırılma enerjisine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, geri dönüştürülmüş agrega (GDA), kırma taş agrega (KTA), doğal agrega (DOA) kullanılarak C35 dayanım sınıfında çelik lifli betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlarda öncelikle taze ve sertleşmiş beton özellikleri belirlenmiş ve daha sonra tüm agrega türleri ile üretilen betonlar kullanılarak agrega tipinin çelik lifli betonlarda kırılma enerjisine etkisini ortaya koymak amacıyla çentikli kiriş numuneleri üzerinde kırılma enerjisi deneyleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüştürülmüş agrega, Lifli beton, Kırılma enerjisi, Çentikli kiriş, Sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

THE EFFECT OF AGGREGATE TYPE ON FRACTURE ENERGY IN STEEL FIBER CONCRETES

Merve DEMİRALP

M.Sc., Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet BEYÇİÖĞLU

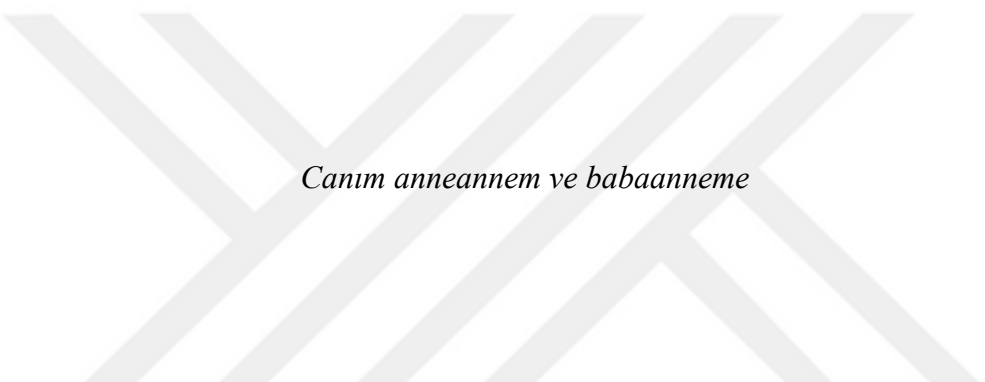
05 2020, 51 pages

Demolition wastes generated in the context of urban regeneration constitute a serious waste source and the disposal of these wastes has started to attract the attention of the researchers. Civil engineering researchers work on the use of demolition wastes in concrete production. This is a very important issue in order to create beneficial transformation mechanisms and it is necessary to carry out comprehensive studies about it for sustainability. The studies on the production of concrete with the use of recycled aggregates are mainly about the production of concrete with certain strengths and the determination of the basic engineering properties of these concretes. Response to specific expectations from these recycled aggregate concrete (ductility, etc.) in structural systems has not been fully established yet. The aim of this thesis is to investigate the effect of aggregate type on fresh and hardened concrete properties and fracture energy in steel fiber concretes. For this purpose, C35 strength class steel fiber reinforced concretes were produced by using recycled aggregate, crushed stone aggregate and natural aggregate. Firstly, fresh and hardened properties of concrete were determined. Then, using concrete produced with all aggregate types, notched beam samples were produced in order to reveal the fracture energies of steel fiber reinforced concrete. The produced notched beams were subjected to a three-point bending test after 28 days of curing and the fracture energy data of the beams were determined by using parameters such as bending load, the geometry of beam, notch opening amount in the beam, amount of collapse in the beam. As a result, the fracture energy data obtained from steel fiber reinforced concrete containing

recycled aggregate, crushed stone aggregate and natural aggregate were evaluated comparatively.

Keywords: Recycled concrete aggregate, Fiber reinforced concrete, Fracture energy, Notched Beam, Sustainability.





Canım anneannem ve babaanneme

TEŞEKKÜR

Tez konumu belirleyerek, tez çalışmam süresince engin bilgilerini cömertçe paylaşan, çalışmamın her aşamasında tecrübesi ile bana rehberlik eden danışman hocam Doç. Dr. Ahmet BEYÇİÖĞLU'na teşekkür ederim.

Emek ve çaba ile bir şeyler üretilebileceğini bana öğütleyen ve bu doğrultuda kişisel gelişimime büyük katkısı bulunan Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM hocama şükranlarımı sunarım.

Bu tez çalışması Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 18103037 numaralı BAP projesi kapsamında yürütülmüştür. Bu projenin yazım aşamasında katkıda bulunan Dr. Öğr. Üyesi İlyas SARIBAŞ'a teşekkür ederim.

Çalışmanın belirli bir aşamasını temsil eden çentikli giriş deneyleri Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Küresel çapta yaşanan koronavirüs pandemisi ve bununla birlikte ortaya çıkan olumsuzluklar ile risklere rağmen deneyler için imkân sağlayan, kıymetli yorumları ile tezimin şekillenmesinde katkı sunan Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Fuat KÖKSAL hocama ve deneyler esnasında destekleri için Arş. Gör. Hüseyin Okan ANADUT hocama teşekkür ederim.

Hayat boyu verdikleri emekler ve hiç esirgemedikleri destekleri için sevgili aileme gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİFLİ BETON	3
2.1. Lifli Betonun Tanımı ve Özellikleri	3
2.2. Lifli Beton Üretiminde Kullanılan Lif Türleri	4
2.2.1. Bazalt Lifler	5
2.2.2. Cam Lif.....	6
2.2.3. Polipropilen Lif.....	7
2.2.4. Çelik Lif.....	8
3. BETON AGREGALARI	10
3.1. Agregaların Sınıflandırılması.....	11
3.2. Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi	12
4. GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGA	14
5. LİTERATÜR ÖZETİ.....	19
6. MATERYAL VE METOT	24
6.1. Materyal	24
6.1.1. Çimento	24
6.1.2. Karışım Suyu	24
6.1.3. Agregalar.....	25
6.1.4. Akışkanlaştırıcı Katkı	25
6.1.5. Çelik Lif.....	26
6.2. Metot.....	27
6.2.1. Malzeme Miktarları	27
6.2.2. Karışımların Hazırlanması.....	28
6.2.3. Taze Beton Deneyleri	28
6.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri	28
6.2.4.1. Kırılma Enerjisi Deneyi	29
6.2.4.2. Basınç Dayanımı Deneyi	32

6.2.4.3. Eğilme Dayanımı Deneyi.....	33
6.2.4.4. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi	33
6.2.4.5. Su Emme Deneyi.....	34
6.2.4.6. Aşınma Dayanımı Deneyi	34
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
7.1. Taze Beton Deney Sonuçları.....	36
7.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	36
7.2.1. Basınç Dayanımı	36
7.2.2. Eğilme Dayanımı	37
7.2.3. Yarmada Çekme Dayanımı	37
7.2.4. Su Emme Deneyi.....	38
7.2.5. Aşınma Deneyi	39
7.2.6. Kırılma Enerjisi.....	39
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Düşük, normal, yüksek ve çok yüksek dayanımlı betonlarda tipik gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	1
Şekil 2.1. Lifli betonun tipik gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	4
Şekil 2.2. Bazalt Lifi	5
Şekil 2.3. Cam Lif	6
Şekil 2.4. Polipropilen Lif.....	7
Şekil 3.1. Beton içerisinde kullanılan agregaların dane büyüklüğü dağılımları.....	10
Şekil 3.2. Agregaların tane büyüklüklerine göre sınıflandırılması	12
Şekil 4.1. Mobil geri dönüşüm sistemi (İSTAÇ)	14
Şekil 4.2. Sabit geri dönüşüm sistemi	15
Şekil 4.3. GDA ile üretilen 3 katlı ulaştırma laboratuvarı	17
Şekil 4.4. GDA ile inşa edilen yapılar.....	17
Şekil 4.5. GDA ile yapılan Şangay Ekoloji Evi	18
Şekil 6.1. Çalışma kapsamında kullanılan çelik lif	26
Şekil 6.2. Çentikli kiriş numunesi	29
Şekil 6.3. Çentikli kiriş numunesi deney düzeneği	30
Şekil 6.4. Kırılma enerjisi deneyine tabi tutulan numunelerden görseller	31
Şekil 6.5. Kırılma bölgesinde köprü görevi gören çelik lifler.....	32
Şekil 6.6. Basınç dayanımı deneyinin uygulanaşı	33
Şekil 6.7. Böhme deney cihazı ile aşınma deneyinin uygulanması.....	35
Şekil 7.1. Basınç dayanımı sonuçları	36
Şekil 7.2. Yarmada çekme dayanımı sonuçları	38
Şekil 7.3. Su emme deney sonuçları	39
Şekil 7.4. DOA'lı numunelerde CMOD-Eğilme Dayanımı grafikleri	40
Şekil 7.5. KTA'lı numunelerde CMOD-Eğilme Dayanımı grafikleri.....	41
Şekil 7.6. GDA'lı numunelerde CMOD-Eğilme Dayanımı grafikleri	41
Şekil 7.7. Doğal agregalı numunelerde yük-sehim grafiği.....	43
Şekil 7.8. Kırmaş agregalı numunelerde yük-sehim grafiği.....	43
Şekil 7.9. Geri dönüştürülmüş agregalı numunelerde yük-sehim grafiği.....	44
Şekil 7.10. Doğal agregalı numunelerde W_0 -sehim grafiği.....	44
Şekil 7.11. Kırmaş agregalı numunelerde W_0 -sehim grafiği.....	45
Şekil 7.12. Geri dönüştürülmüş agregalı numunelerde W_0 -sehim grafiği	45
Şekil 7.13. Kırılma enerjisi deney sonuçları	46

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Lif türleri	4
Tablo 2.2. Farklı tür liflere ait fiziksel özellikler	5
Tablo 2.3. Farklı tür cam liflerine ait fiziksel özellikler.....	7
Tablo 2.4. Çelik liflerin sınıflandırılması	8
Tablo 2.5. Çelik lif türleri.....	8
Tablo 3.1. Agregaların sınıflandırılması.....	11
Tablo 6.1. Kullanılan çimentonun özellikleri.....	24
Tablo 6.2. Kullanılan agregaların özellikleri.....	25
Tablo 6.3. Kullanılan akışkanlaştırıcı katkının özellikleri.....	26
Tablo 6.4. 1 m ³ KTA'lı beton karışımında kullanılan malzeme miktarları.....	27
Tablo 6.5. 1 m ³ DOA'lı beton karışımında kullanılan malzeme miktarları	27
Tablo 6.6. 1 m ³ GDA'lı beton karışımında kullanılan malzeme miktarları	27
Tablo 6.7. Sertleşmiş beton deneyleri	29
Tablo 7.1. İlk çatlak oluştuğu andaki eğilme dayanımları	37
Tablo 7.2. Aşınma deneyi sonrası hacim kayıpları	37
Tablo 7.3. Belirli CMOD değerlerinde rezidüel yük ve rezidüel dayanım değerleri	40

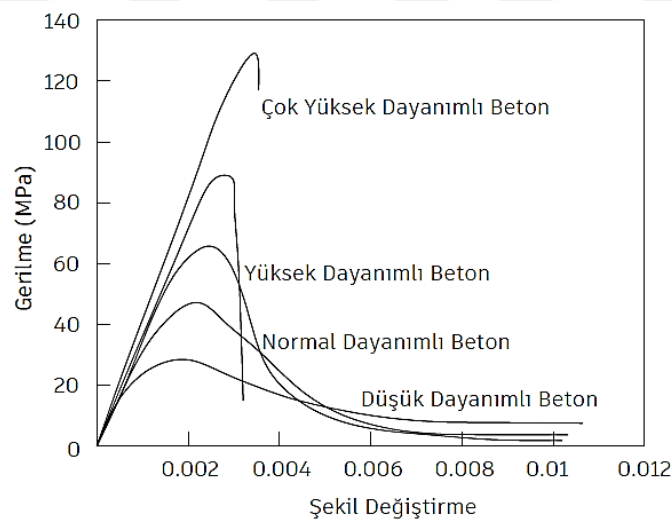
KISALTMALAR

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
Al_2O_3	: Alüminyum oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
CMOD	: Çatlak ağzı açıklık değeri
DOA	: Doğal Agreg
Fe_2O_3	: Demir oksit
GDA	: Geri Dönüştürülmüş Agreg
K_2O	: Potasyum Oksit
KTA	: Kırmataş Agreg
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
MgO	: Magnezyum oksit
MPa	: Megapascal
Na_2O	: Sodyum oksit
SiO_2	: Silisyum oksit
SO_3	: Sülfür trioksit

1. GİRİŞ

Yüzyılları aşkın süredir yapı malzemesi olarak kullanılan beton, geleneksel anlamda agrega, su ve bağlayıcı malzeme olarak da çimentonun belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Bileşiminde yer alan malzemelerin kolay bulunabilirliği ve düşük maliyetli oluşu, gün geçtikçe mekanik performansının geliştirilmesi konusundaki ilerlemeler nedeniyle betonun yapı malzemesi olarak tercih edilirliliği günden güne artmaktadır. Öte yandan çeşitli çalışmalar göstermiştir ki beton, basınç dayanımı yüksek olduğu kadar çekme dayanımı da bir o kadar düşük ve gevrek yapıda bir malzemedir.

Betonda dayanım arttıkça eksenel yük taşıma kapasiteleri artmakta, tepe noktası geçildikten sonra gerilme düşüşü ani olmakta ve gevrek bir kırılma meydana gelmektedir [1]. Düşük, normal, yüksek ve çok yüksek dayanımlı betonlarda tipik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Şekil 1.1’de görülmektedir.



Şekil 1.1. Düşük, normal, yüksek ve çok yüksek dayanımlı betonlarda tipik gerilme-şekil değiştirme eğrisi [2]

Betonun gerilme-birim deformasyon eğrisini doğru yorumlayabilmek için süneklik (μ) ve enerji tüketme kapasitesi kavramlarının bilinmesi son derece önemlidir. Literatürde süneklik; gerilme, moment veya yük/yatay yükte belirgin bir azalma olmadan birim deformasyon, dönme veya yer değiştirme yapabilme özelliği olarak tanımlanmakta ve malzeme sünekliği, kesit sünekliği, eleman sünekliği ve sistem sünekliği olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Burada malzeme sünekliği hariç diğer süneklik türleri tasarımla ilgilidir. Malzeme sünekliği

ise betonun gerilme-birim deformasyon eğrisiyle ilgilidir. Enerji tüketme kapasitesi ise betonun, kesitin, elemanın veya yapının yük altında sönümlediği enerji miktarı olarak tanımlanır ve gerilme-birim deformasyon, moment-eğrilik, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Betondan üretilen elemanların veya yapıların maruz kaldığı yükler altında sünek davranış sergilemesi ve yüksek oranda enerji tüketmesi istenilen bir durumdur. Çünkü doğal afet olan deprem durumunda betondan üretilen yapıların, ortaya çıkacak olan deprem yüklerini sönümlemesi ve can kaybı olmadan depremin atlatılması hayati öneme sahiptir. Salt beton belirli oranlarda süneklik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olsa dahi bu kapasite değerleri yeterli değildir. Çünkü beton gevrek bir malzemedir. Betonun doğal hali olan bu gevrek davranış, içerisine konulan çelik donatı ile sünek hale gelebilmektedir. Ancak yine çalışmalar göstermektedir ki betonun süneklik özelliklerini iyileştiren çelik donatılar ancak makro düzeydeki çatlaklarda etkili olabilmektedir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte betonu sünek ve yüksek derecede enerji tüketecek hale getirmek üzere klasik çelik donatı haricinde özellikle mikro çatlaklar üzerinde etki gösterecek olan lif adı verilen malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Eski zamanlarda kerpiç ve alçı gibi yapı malzemeleri ile birlikte at kuyruğu, keçi kılı gibi doğal lifler kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde ise insan eliyle üretilen yüksek performanslı cam, çelik, naylon gibi sentetik lifler betonun zayıf özelliklerini iyileştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı lif türlerinin betonun farklı mekanik özelliklerine değişen oranlarda etki yaptığı yapılan çalışmalarda görülmektedir. Özellikle betonun zayıf olan eğilme dayanımı, çekme mukavemeti, enerji yutma kapasitesi ve süneklik gibi özelliklerine olumlu etkilerde bulunması da bu konuda yapılan çalışmaları artırmıştır. [3]

Lif donatılı betonlar günümüzde depreme dayanıklı yapıların inşasında, yol döşemelerinde, havaalanı ve liman kaplamalarında, patlamaya karşı dayanıklı yapılarda ve daha birçok alanda kullanılmaktadır [4].

2. LİFLİ BETON

2.1. Lifi Betonun Tanımı ve Özellikleri

Eski zamanlardan beri, kırılğan malzemeleri güçlendirmek için lifler kullanılmıştır. Saman, at kılı gibi malzemeler tuğlalarda ve sıvalarda takviye olarak tercih edilmiştir. 1960 ve 70’lerde modern anlamda lif kullanımının ilk adımları atılmıştır [5].

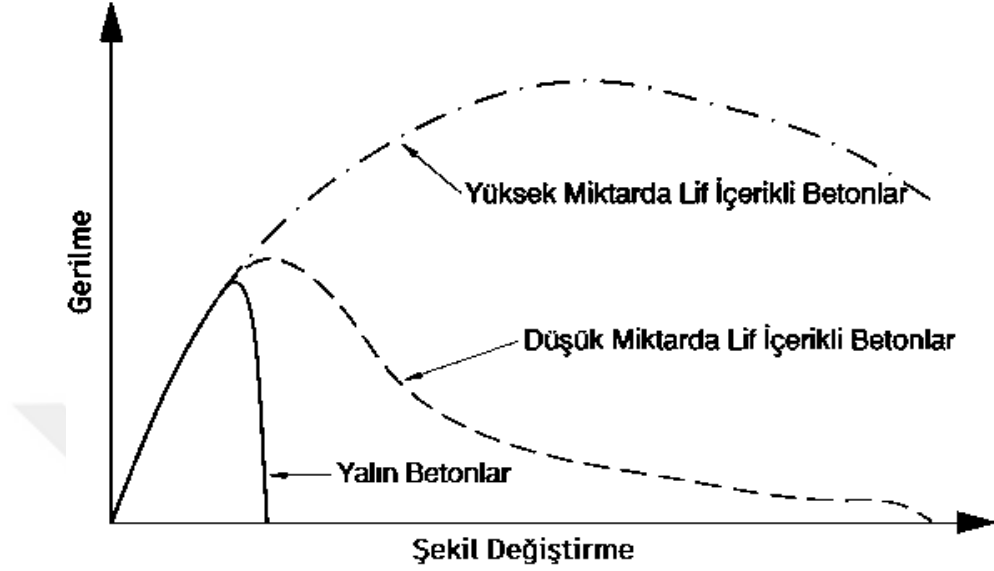
Beton karışımına belirli oranlarda katılan ve beton özelliklerini olumlu yönde iyileştirmeyi amaçlayan hayvansal, bitkisel vb. olmak üzere doğal kaynaklardan elde edilen ve seramik, metalik vb. olmak üzere insan eliyle üretilen türleri bulunan dayanım ve elastisite modülleri aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre çok yüksek olan malzemeler “lif” olarak tanımlanabilir. Bu özellikleri lifleri malzemenin en geliştirilmiş hali olarak anmaya da izin verir. [6].

Bir lifin özelliklerinden söz ederken en etkin parametre o lifin narinlik oranıdır. ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) komitesine göre “narinlik oranı” lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen “boy/çap” (aspect ratio) oranıdır. Eşdeğer lif çapı ise; alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Lifi tanımlayan diğer parametreler ise lifin geometrik yapısı ve çekme gerilmesidir [7].

Lif takviyeli beton, yapısında rastgele dağılmış şekilde lif içeren kompozit bir malzeme olarak tanımlanmaktadır [8].

Lif olarak kullanılan malzemenin beton içerisindeki dağılımının homojenliği, her noktada çatlak oluşumunun önüne geçebilmek ve tam performanslı bir beton elde edebilmek için en önemli koşullardandır. Aynı şekilde beton karıştırıldıktan sonra ve yerleştirilirken de bu homojenliğin korunması gerekmektedir. Çok düşük çekme dayanımına sahip ve gevrek bir malzeme olan beton içerisinde homojen olarak yayılan lifler çatlaklar üzerinde bir çeşit köprü vazifesi görerek; çatlak oluşumunu geciktirir, oluşmuş çatlakların yayılma ve ilerlemelerinin önüne geçer ve betonun enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırarak betona sünek bir davranış kazandırır, bu sayede ani göçmelerin önüne geçilir. Öte yandan bazı lif türleri uzun

dönemde betonun atmosfer etkilerine ve dış aşındırıcı kuvvetlere karşı da direncini artırmaktadır [9].



Şekil 2.1. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı

2.2. Lifli Beton Üretiminde Kullanılan Lif Türleri

Çeşitli alanlarda kullanılan farklı mekanik özelliklerde birçok lif türü bulunmaktadır. Bunlar genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir; [10]

Tablo 2.1. Lif türleri

DOĞAL LİFLER	SENTETİK LİFLER
Hayvansal Lifler	Polimer Lifler
Bitkisel Lifler	Metalik Lifler
Mineral Lifler	Seramik Lifler

Tablo 2.2. çeşitli lif cinslerinin özelliklerini göstermektedir. Bu tabloya göre çelik ve cam lifler, çekme dayanımı yönünden en iyi performansı gösteren lif cinsleridir. Çelik lifler özgül ağırlığı en fazla olan lif cinsi olarak ayrıca bir özellik taşırlar [11]. Tablo 2.2’de farklı lif türleri verilmiş olsa da günümüzde genellikle bazalt lif, cam lif, polipropilen lif ve çelik lif üzerine çalışılmaktadır.

Tablo 2.2. Farklı tür liflere ait fiziksel özellikler

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10^3 , MPa)	Maksimum Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)
Akrilik	207-414	2.1	25-45	1.1
Asbestler	552-966	83-138	0.6	3.2
Pamuk	414-690	4.8	3-10	1.5
Cam	1035-3795	69	1.5-3.5	2.5
Naylon	759-828	4.1	16-20	1.1
Polyester	724-863	8.3	11-13	1.4
Polipropilen	552-759	3.5	25	0.90
Mineral Yünü	483-759	69-117	0.6	2.7
Çelik	276-2760	200	0.5-35	7.8

2.2.1. Bazalt Lifler

İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan doğal liflerden bir tanesi bazalt liftir. Bazalt, lavın hızlı bir şekilde soğuması ile oluşan volkanik bir kayaç olup yeryüzünün yüzlerce metre altında bulunmakta ve yeryüzüne eriyik magma olarak ulaşmaktadır. Magma yeryüzüne ulaştığı zaman soğuyarak hammadde şeklini alır [12].

Bazalt lifler (Şekil 2.2.), bazaltın yüksek sıcaklıklarda erime işlemine tabi tutulmak suretiyle herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan çok ince parçalara ayrılarak elde edilir. Elde edilme sürecinde herhangi bir katkı malzemesine ihtiyaç duyulmuyor oluşu maliyeti de düşük tutan bir etkidir [13].



Şekil 2.2. Bazalt Lifi

Cam lifler ile bazı benzerlikler göstermesine karşın bazalt lif dayanım özellikleri olarak ön plana çıkmaktadır. Asidik ve alkalik etkiler karşısında yüksek dayanıklılık gösteren bazalt liflerin, çekme dayanımı söz konusu olduğunda cam liflerin iki katı dayanım gösterdiği bilinmektedir. Korozyon riski olan yapılarda ise bazalt lif, çelik donatıya iyi bir alternatif olabilmektedir. Bu noktada bazalt lifin çelik liflere oranla üç kat daha hafif oluşu da bazalt lifin cazibesini artırmaktadır [14].

2.2.2. Cam Lif

Lifli kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılan bir diğer lif cam lifidir. (Şekil 2.3.) Çeşitli türlerde cam liflerinin mekanik ve fiziksel özelliklerine göre kullanım alanları değişmektedir. Bu türler arasında elastisite modülleri arasında büyük farklar görülmezken dayanım değerleri ve kimyasal etkilere karşı dirençleri birbirinden farklıdır.



Şekil 2.3. Cam Lif

Betonun alkali etkisi sonucu çözülmeye meyilli olan cam liflerin kullanımı başlangıçta çok da yaygın değildi. Zamanla alkali dayanımlı cam lifi üretimi sağlanarak, betonda kullanıma uygun hale getirilmiştir. Cem-fil olarak adlandırılmış ve İngiltere’de üretilmiş alkali dayanımlı cam lifler bu alanda bir dönüm noktası olarak kabul edilebilir. Bu noktadan sonra bu özel cam liflerin beton ve harç karışımlarında kullanılmasının önü açılmıştır [15].

Bazı cam liflerinin tipik özellikleri Tablo 2.3.'de yer almaktadır;

Tablo 2.3. Farklı tür cam liflerine ait fiziksel özellikler [16]

Cam Lif Tipi	Özgül Ağırlık (g/cm³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10³, MPa)
C	2.48	1700-2800	70
E	2.54	1700-3500	69-72
S	2.48	2000-4500	85

2.2.3. Polipropilen Lif

Beton içerisinde en az çelik lifler ve alkali dirençli cam lifler kadar çok kullanılan diğer bir lif türü polipropilen lifdir. Şekil itibariyle yuvarlak en kesitlerde ve silindirik şekillerde, pürüzsüz yüzeyli imal edilen ve lif hamuru olarak veya tekil halde bulunabilen polipropilen lifler, beton içerisinde homojen bir mikro donatı ağı oluşturarak betonun zayıf bir takım özelliklerinde iyileştirmeler sağlamaktadır.



Şekil 2.4. Polipropilen Lif

Betonun enerji yutma kapasitesine olan katkısı oldukça azken basınç dayanımına ve elastisite modülüne etkisi pek yoktur. Çelik hasır, çelik lif gibi donatı sistemlerine kıyasla oldukça hafif olan polipropilen lifler çoğunlukla yüksek performanslı betonlarda taze beton özellikleri üzerindeki iyileştirici etkileri sebebiyle tercih edilir. Yüksek performanslı betonlarda boşluk oranı ve su oranı ince malzeme ve akışkanlaştırıcı kimyasal kullanımları sebebiyle minimum düzeylerde dir. Bu yapı betonda su buharının çıkışını önler ve terlemeye engel olur. Plastik rötre oluşumunun önüne geçmek için betona katılan polipropilen lifler, sıcaklık etkisinde eriyerek gerekli boşlukları oluşturur ve su buharının çıkmasına izin verir [17].

2.2.4. Çelik Lif

İnşaat endüstrisinde geniş bir alana yayılmış olan lif malzemelerin en popüler olanı çelik liflerdir. Çelik lif eklenmiş beton yüksek enerji yutma kapasitesi ve yalın betona kıyasla daha sünek bir davranış sergiler.

Çelik liflerin beton karışımlara etkisi bazı parametrelerden etkilenir. Bunlar; çelik lifin en boy oranı, çelik lifin geometrisi ve yüzey deformasyonu olarak sıralanabilir. Beton matriksi ile çelik lif arasında daha yüksek tutunma sağlamak için yüzey deformasyonu yüksek çelik lifler kullanılabilir [18].

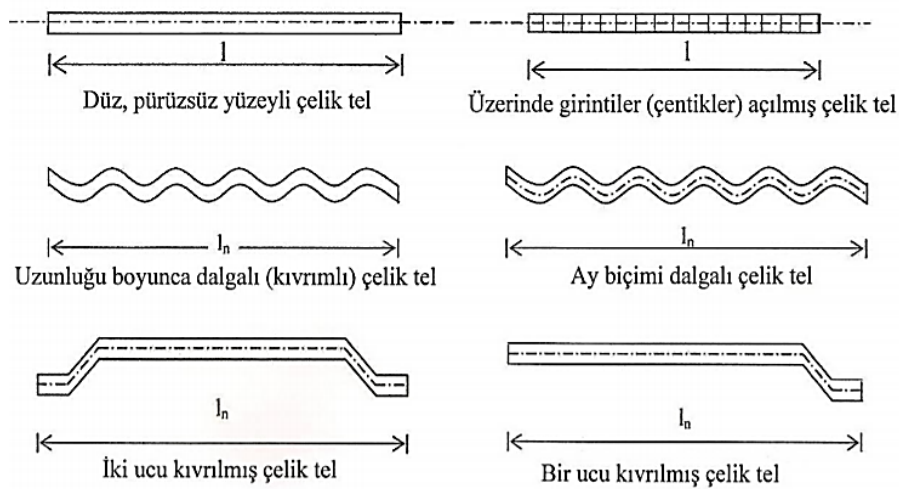
Türk Standardı TS10513/92’de çelik lifleri aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır;

Tablo 2.4. Çelik liflerin sınıflandırılması

A Düz, Pürüzsüz yüzeyli lifler	Herhangi bir yüzey veya uç özelliği olmayan
B Bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler	Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler Ay biçimi dalgalı lifler
C Sonu kancalı lifler	İki ucu kıvrılmış lifler Bir ucu kıvrılmış lifler

Bu lif türlerine ait bazı görseller Tablo 2.5’de yer almaktadır;

Tablo 2.5. Çelik lif türleri [19]



Yapılan araştırmalar beton üzerindeki; eğilme dayanımında, basınç gerilmeleri altında ve enerji yutma kapasitelerinde en büyük iyileştirmeyi düz ve ucu hafif kıvrımlı liflerin sağladığını göstermiştir [20].



3. BETON AGREGALARI

Beton agregası, beton veya harç karışımlarında bağlayıcı malzeme (çimento+su) ile bir araya gelen organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genelde 100 mm'yi aşmayan (yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm'yi aşmayan) büyüklüklerdeki kırılmış veya kırılmamış tanelerin oluşturduğu yığın olarak tanımlanmaktadır. [21]

Beton karışımın %60-75 civarında hacmini genellikle agregalar oluşturmaktadır. Dolayısıyla taze ve sertleşmiş beton özellikleri, karışım dizaynı ve maliyeti üzerinde önemli etkileri vardır. [22]

Uygun tane dağılımına sahip agrega karışımları beton karışımında ihtiyaç duyulacak olan çimento hamuru miktarını minimuma indirmeyi sağlar.



Şekil 3.1. Beton içerisinde kullanılan agregaların dane büyüklüğü dağılımları [22]

Sertlik, sağlamlık, su ile yumuşamama ve dağılmama, aşınma etkisine ve donmaya karşı dirençli olma, çimento ile tepkimeye girerek zararlı bileşikler oluşturmama, donatıda korozyona sebep olmama, iyi yüzey dokusu ve iyi şekle sahip olma, temin edilebilirliğinin kolay olması genel olarak beton karışımlarında kullanılacak agregalardan beklenen özelliklerdendir. Agregalar betona iskelet yapısı kazandırarak dışarıdan gelecek mekanik etkilere karşı koyacak bir özellik kazandırır. [23].

Karışımda kullanılan agreganın mekanik özellikleri zayıf ise bu durum betonda her türlü durabilite sorununa davetiye çıkartır. Agregalar doğada doğal olarak bulunabildiği gibi özel makineler yardımıyla iri taş parçalarının kırılması sonucunda da elde edilebilir.

3.1. Agregaların Sınıflandırılması

Beton teknolojisinde kullanılan agregalarla ilgili çeşitli sınıflandırmalar kullanılabilmektedir. Bu sınıflandırmalar elde edildiği kaynağa göre, özgül ağırlıklarına göre veya tane büyüklüklerine göre olabilir. Tablo 3.1.'de agrega sınıflandırmaları verilmiştir.

Tablo 3.1. Agregaların sınıflandırılması

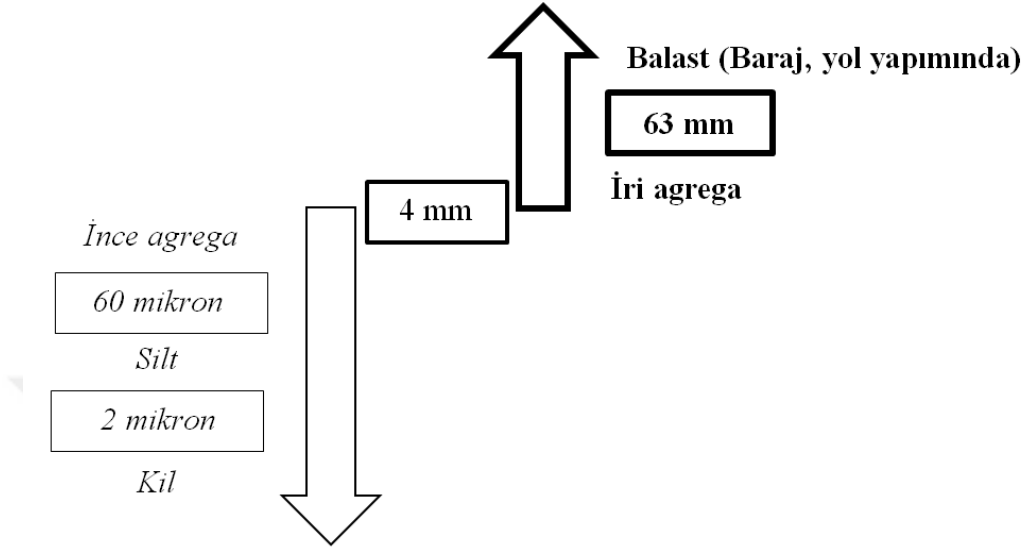
Kaynaklarına göre agregalar	Doğal agregalar
	Yapay agregalar
Özgül ağırlıklarına göre agregalar	Normal ağırlıklı agregalar
	Hafif agregalar
	Ağır agregalar
Tane büyüklüklerine göre agregalar	İnce agregalar
	İri agregalar

Doğal agregalar; nehir, deniz, göl ve dere kenarları, taş ocakları gibi doğal kaynaklardan elde edilen, doğada bulundukları halleri üzerinde eleme, sınıflandırma, yıkama ve gerekli görüldü ise kırım işlemlerine tabi tutulması dışında değişiklik yaratacak uygulamalara maruz kalmamış yoğun yapılı agregalardır. Bu türün en bilinen örnekleri; kum, çakıl, ponza taşı ve kırmataştır. [24]

Yapay agregalar; cüruf ve uçucu kül gibi istenmeyen endüstriyel yan ürünler veya atık malzemelerden üretilen agregalar ısıtılarak beton karışımlarında kullanıma uygun hale getirilirler. [25]

Özgül ağırlığı 2,4 gr/cm³ ile 2,8 gr/cm³ arasında değişen agregalar normal ağırlıklı, 2,4 gr/cm³'ten düşük olanlar hafif agrega ve 2,8 gr/cm³'ten fazla olan agregalar ağır agregalar olarak nitelendirilir [26].

İnce agregalar 4 mm çaplı elekten geçen malzemelerken, 4 mm çaplı elek üstünde kalan malzemeler iri agrega olarak sınıflandırılmıştır [27].



Şekil 3.2. Agregaların tane büyüklüklerine göre sınıflandırılması

Bunlar dışında agregaların tane şekline, yüzey dokusuna, reaktif özelliklerine göre çok farklı sınıflandırılmalarına da literatürde rastlanılabilir.

3.2. Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi

Beton hacminin büyük bir bölümünü oluşturan agregaların, betonun teknik özellikleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır [28].

Beton agregalarının,

- Tane büyüklüğü dağılımlarının (granülometri) birbirlerinin boşluklarını dolduracak şekilde olması,
- Yassı ve uzun taneler yerine kübik ve küresel olması,
- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olması, kavkı gibi zayıf maddeler içermemesi,
- İçerisindeki ince malzemenin kalitesi (kil, silt, mil vb. içermemesi),
- İçerisinde organik maddeler bulundurmaması,
- Tanelerin yoğunluklarının yüksek ve su emme oranının düşük olması,
- Parçalanmaya ve aşınmaya karşı direncinin yüksek olması,
- Donma ve çözölmeye karşı direncinin yüksek olması,

- Çimento ile zararlı kimyasal reaksiyonlara girmemesi (Alkali-Silika Reaksiyonu) istenilen özelliklerdir. [29].

Agregalar TS 706 EN 12620'e uygun olmalıdır.

Agrega özellikleri, aşağıda verilenler dikkate alınarak seçilmelidir:

- Yapım (İnşaat) yöntemi,
- Betonun yapıda kullanım amacı,
- Betonun maruz kalacağı çevre şartları,
- Görünür agrega yüzeyi veya yüzey bitirme işlemlerinin gerektirdiği diğer özellikler.

Agrega en büyük anma tane büyüklüğü ($D_{en\ çok}$), donatının beton örtü tabakası (paspayı) ve beton eleman kesitinin en küçük boyutu dikkate alınarak belirlenmelidir. [29].

Yukarıda bahsedildiği gibi agregalar beton özellikleri üzerinde önemli etkileri sahiptir. Bu tez çalışmasında da agregaların bu etkin rolü göz önünde bulundurularak, agrega tipinin betonun geleneksel mekanik özelliklerine etkisi yerine enerji kapasitesine etkisine odaklanılmıştır.

4. GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGA

Toplumsal, ekonomik ve çevresel olgular göz önüne alındığında dünya genelinde inşaat ve yıkıntı atıklarının dönüştürülerek yeni yapılarda kullanılması konusu son derece önem arz etmektedir. Ülkemiz için bu konudaki çalışmalar çok da eskiye dayanmamakla beraber günümüzde gelişen teknolojiyle hız kazanmıştır.

İnşaat ve yıkıntı atığı betonların geri dönüşümü yani agregaya haline getirilmesi kapsamında yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi, geri dönüşümün hareket kabiliyeti sayesinde dönüşümün yapılacağı alana kolayca gidebilen mobil kırıcı sistemi ile yapılmasıdır. Bu sistem sayesinde beton ve betonarme atıklar içerisindeki demir ve yabancı maddeler ayıklanmak suretiyle parçalanarak, makinede bulunan elekler aracılığıyla da istenilen elek çaplarına getirilmektedir (Şekil 4.1.). Kapasiteleri 200 ton/saat civarında olan bu makineler sayesinde binlerce ton atık malzemenin geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilir hale getirilmesi mümkündür.



Şekil 4.1. Mobil geri dönüşüm sistemi (İSTAÇ).

İnşaat ve yıkıntı atığı betonların geri dönüştürülmesinde kullanılan ikinci yöntem, KTA'nın üretilmesinde kullanılan yöntemle aynıdır. Kırma taş agregayla aynı üretim tesisinde geri dönüşümü yapılan atık betonlar istenilen elek çaplarına getirilerek yeni yapılan yapılarda kullanıma hazır hale getirilmektedir (Şekil 4.2.). Sistemin sabit olması sebebiyle geri dönüşüm ancak sistemin bulunduğu yerde yapılabilir. Ayrıca hem birinci hem de ikinci yöntemdeki sistemlerde farklı türde kırıcılar bulunmaktadır. İnşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüştürülmesi ile GDA üretimi yapılırken, ilgili ülkede agreganın kullanım yönetmeliğine uygun olacak şekilde en uygun kırıcı sistem hangisi ise o sistemin kullanılması daha uygundur.



Şekil 4.2. Sabit geri dönüşüm sistemi

İnşaat ve yıkıntı atığı betonların her 1 m³'ünden %60 oranında tekrar kullanılabilir malzeme geri dönüştürülmektedir. Ayrıca geri dönüşümü yapılan atık betondan yaklaşık olarak %68 oranında kırma taş agregası ve belirli oranlarda diğer malzemelerden elde edilmektedir. Geri dönüşümle yüksek oranda kırma taş elde edilmesi durumu ise bu malzemenin yeni beton üretiminde kullanılabileceğinin başka bir göstergesi konumundadır. Beton üretiminde en büyük pay %40 gibi bir yüzde ile çimentoya aiten, %20 ile iri agregası ikinci sırada yer almaktadır. İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton atıkları, geri dönüştürülerek ince ve iri agregası yerine kullanılabilir hale gelmektedir. Geri dönüştürülmüş agregaların kırma taş agregalarına oranla daha ucuz olması sebebiyle geri dönüştürülmüş agregaların yeni yapılarda kullanımı ciddi bir ekonomik kazanç sağlarken diğer yandan çevresel olarak da büyük faydalar sağlayacaktır.

Geri dönüştürülmüş agregalarla yapılmış ve yapılacak olan deneysel ve teorik çalışmalara başlamadan önce bu çalışmalarda kullanılacak olan GDA'nın mekanik, kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Geri dönüşümlü agreganın temel özellikleri bilinmeden üretilecek olan betondan imal edilecek olan yapısal veya yapısal olmayan eleman çok farklı davranış gösterebilme kapasitesine sahip olacaktır. Çünkü GDA'nın kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri bazen KTA'dan çok farklı olabilmektedir. Bu iki malzemenin (KTA ve GDA) özellikleri arasındaki farkı ortaya çıkaran asıl sebep ise GDA üzerinde yapışık durumdaki harç parçacıklarıdır. Agregası üzerindeki yapışık vaziyette bulunan bu harç parçaları GDA'nın direkt olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine etki etmektedir. Geri dönüşümlü agregası ile DOA arasındaki farklılıklara genel olarak bakacak olursak (yapışık harç kaynaklı farklılıklar), bu özellikler çoğunlukla yönetmeliklerde yer alan sınırlarda kalmasına rağmen GDA'nın temel özellikleri genellikle DOA'nın temel özelliklerinden daha aşağı seviyededir. Bunlar:

- Yüksek su emme kapasitesi,
- Düşük birim hacim yoğunluğu,
- Yüksek aşınma kaybı,
- Düşük özgül ağırlık,
- Yüksek parçalanabilirlik,
- Yüksek toz parçacığı kapasitesi,
- Yüksek organik malzeme içeriği,
- Yüksek kimyasal malzeme içeriği

Geri dönüşümlü agregalarla DOA'ların mekanik özellikleri arasındaki farklılıklara genel olarak bakacak olursak;

- Yüksek kuruma büzülmesi,
- Yüksek sünme,
- Düşük basınç dayanımı,
- Düşük yarma ve eğilme dayanımı,
- Düşük elastisite modülü,
- Aynı veya düşük don direnci

Yukarıda belirtilen fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik farklılıklar GDA'yı, KTA'dan ayıran temel özelliklerdir. Bu iki malzeme arasındaki farklılıklara rağmen GDA üzerinde yapılan çalışmalar bu malzemenin yeni beton üretiminde kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur. Ancak GDA ile hazırlanacak olan beton karışımlarında bu zayıf özelliklere karşı farklı önlemler almak gerekmektedir. Örneğin, yüksek su emme kapasitesini ortadan kaldırmak için suya doymuş GDA kullanmak, agrega üzerinde kalan fazla miktarda harç parçacıklarını azaltmak için uygun kırıcı kullanımı, agregaya yapışık durumdaki tozları temizlemek için GDA'nın yıkanması vb. işlemler yapılabilir. Bu konu üzerinde yapılan bilimsel çalışmaların vardığı ortak sonuç şudur ki, GDA ile beton üretimi henüz yeni sayılabilecek bir araştırma konusudur. Dolayısıyla daha doğru ve kesin yargılara varmak için daha fazla bilimsel ve teknik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Doğal afetler (depremler) ve kentsel dönüşüm programları sonucunda ortaya çıkan atık betonların tekrar kullanılması olayının en anlamlı örneği, dünya beton üretiminin %55 ine

sahip aynı zamanda 2008 Wenchuan, 2010 Yushu ve 2011 Yunnan ve yakın zamanda birden fazla depremin meydana geldiği Çin’de görülmüştür. Bu yerde meydana gelen depremler ortaya çok büyük oranda atık beton çıkarmış bu atık betonların bertarafı ise dönüşüm ve tekrar kullanım yoluyla olmuştur. Bu betonların yeniden kullanılmasıyla birden fazla betonarme yapı birinci derece deprem bölgelerinde inşa edilmiştir. Örneğin, Beijing Mühendislik ve Mimarlık fakültesinin, inşaat mühendisliği ulaştırma laboratuvarı 2007 yılında kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan binalardan ve yenilen kaldırım çalışmalarından elde edilen GDA kullanılarak inşa edilmiştir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. GDA ile üretilen 3 katlı ulaştırma laboratuvarı

2008 yılında Çin’de meydana gelen Sichuan depremi sonrasında bu bölgede tonlarca atık beton ortaya çıkmıştır. Bu betonların ortadan kaldırılma işlemi ise Almanların 2.Dünya savaşında yaptıkları yöntemle aynıdır. İnşaat ve yıkıntı atığı betonlar dönüştürülerek tekrar kullanılmıştır. Bu tekrar kullanma işlemi neticesinde GDA kullanılarak birçok yapı inşa edilmiştir. Dujiangyan şehrinde inşa edilen GDA’lı yapılar aşağıdaki resimde görülmektedir (Şekil 4.4.).



(a) %100 GDA

(b) Duvarlar - GDA

Şekil 4.4. GDA ile inşa edilen yapılar

Şangay’da dünya fuar merkezinde 2010 yılında GDA kullanılarak inşa edilen betonarme yapı, yapımında kullanılan inşaat ve yıkıntı atığı sebebiyle hem çevreye hem de ekonomiye büyük katkılar sunmuştur. Bu yapının dünya fuar merkezine yapılması hem bu durumun tanıtımı yani GDA’nın tekrar kullanılabilir olduğunun gösterilmesi hem de ülke genelinde yaygınlaşması için kilit bir rol oynamıştır (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. GDA ile yapılan Şangay Ekoloji Evi

Geri dönüştürülmüş agrega kullanımı ile beton üretimi yukarıda bahsedilen gerekçelerle önemsenmesi gereken bir konudur. Fakat geri dönüştürülmüş agregalarla üretilecek betonlardan geleneksel betonlarda olduğu gibi çeşitli statik ve dinamik etkiler altında belirli performanslar beklenmektedir. Bilindiği gibi betonun performansının en önemli göstergelerinden birisi de bu malzeme üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen gerilme (σ)-birim deformasyon (ϵ) ilişkisidir. Betonun σ - ϵ ilişkisini belirlemek için bu malzemenin keşfinden beri sayısız çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalar kapsamı genişlemek suretiyle devam etmektedir. Çünkü betonun σ - ϵ ilişkisinin bilinmesi demek betonun kullanıldığı yapısal olan veya olmayan elemanların doğal veya yapay etkiler altındaki davranışı ve performansının bilinmesi anlamına gelmektedir.

5. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür incelendiğinde GDA ile üretilen lifli betonlar konusunda çeşitli çalışmaların bulunduğu ve bu betonların kırılma enerjilerinin ortaya konulduğu çalışmaların ise çok yeni olduğu görülmektedir.

Kazmi ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada, farklı oranda geri dönüşümlü agregalar (%0, %50, %100) içeren betonlar içerisinde hacimce %0, %0.5, %1 oranlarında makro sentetik lif katılarak, bu liflerin betonların çatlama enerjisi, eğilme ve çekme dayanımı, eksenel basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmadan, beton içerisindeki GDA miktarı arttıkça betonun enerji tüketme kapasitesi ve mekanik özelliklerinde azalma olduğu ifade edilmiştir. Ancak, lifli betonlarda artan lif miktarıyla betonların enerji tüketme kapasitesi ve mekanik özelliklerinde artışların olduğu ifade edilmiştir.

Etman ve diğ. (2018)'nin yaptığı çalışmada, farklı oranlarda geri dönüştürülmüş agregalar (%15, %30, %45) içeren betonlara %1, %1.5 ve %2 olmak üzere polipropilen lif katılarak kirişlerin kesme kapasitelerinin artırılması amaçlandığı ifade edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda yeni beton içerisine katılan lif miktarı arttıkça kirişlerin kapasitelerinde artışların gözlemlendiği ve hasar görme seviyelerinde önemli derecede azalma olduğu ifade edilmiştir.

Guo ve diğ. (2017)'nin yaptığı çalışmada, farklı oranlarda geri dönüştürülmüş agregalar (%0, %30, %100) içeren betonlardan üretilen kirişlerin çatlama enerjisi ve çatlama mekanizması değerleri KTA ile üretilen kirişlerle karşılaştırıldığı ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda, geri dönüştürülmüş agregalar kullanılmış betondan üretilen kirişlerin çatlama enerjisinin KTA'lı kirişlerin çatlama enerjisinden daha düşük olduğu ve çatlak gelişme mekanizmasının KTA'lı kirişlerden daha önce olduğu ifade edilmiştir.

Ahmadi ve diğ. (2017)'nin yaptığı çalışmada, farklı oranlarda geri dönüştürülmüş agregalar (%0, %50, %100) içeren betonların içerisine katılan %0.5 ve %1 oranında geri dönüşümlü atık lastik teker çeliğinin bu betonların mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, atık lastik teker çeliğinin ikame edildiği betonların mekanik göstergelerinde önemli oranda iyileşmenin olduğu ifade edilmiştir.

Das ve diğ. (2018)'nin yaptığı çalışmada, %0 ve %100 oranında GDA içeren betonların içerisini %0.5, %0.75 ve %1.0 oranında polipropilen lif katılarak bu lifin betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, beton içerisine katılan lifin betonun eksenel basınç dayanımına etkisinin göz ardı edilebilir seviyede olmasına rağmen, yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanımlarına önemli derecede etki ettiği ifade edilmiştir. Ayrıca, mekanik özellikler açısından en uygun lif oranının hacimce % 0.5 olduğu belirtilmiştir.

Chaboki ve diğ. (2018)'nin yaptığı çalışmada, farklı oranlarda GDA (%0, %50, %100) içeren betonların içerisine hacimce %1 ve %2 oranında çelik lif katılarak kirişler üretilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, çelik liflerin kirişlerin eğilme kapasitelerinde ciddi bir artış sağladığı belirtilmiştir.

Chen ve diğ. (2016)'nin yaptığı çalışmada, %0.5, %1.0 ve %1.5 oranında çelik lif takviyeli KTA'lı ve GDA'lı betonlar, farklı derecede sıcaklık (200°C, 400°C, 600°C) değerlerine maruz bırakılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda çelik lif takviyesinin kirişlerin enerji tüketme kapasitesinde önemli oranda artış sağladığı ve kirişlerde meydana gelen ilk çatlağın meydana gelme süresini uzattığı ifade edilmiştir.

Xie ve diğ. (2018)'nin yaptığı çalışmada, %100 GDA, KTA'lı ve farklı oranda silis dumanı içerecek şekilde çelik ve polipropilen lifli olarak üretilen betonlarda hem GDA hem de liflerin betonun eksenel basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve çatlama enerjisine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, çelik lif ve çimento pastasının betonun aderansına etkisinin polipropilen lif ile çimento pastasından daha az olduğu ifade edilmiştir. Ancak, çelik lif ile silis dumanının betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve enerji tüketme kapasitesine etkisinin, polipropilen lif ile silis dumanı karışımından daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Bui ve diğ. (2018)'nin yaptığı çalışmada, GDA katkılı betonda silis dumanı, pet şişesi atığı lif ve plastik çuval atığı liflerin üretilen betonların mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, pet ve plastik çuval atığı liflerin silis dumanı ile birlikte GDA katkılı betonların hem mekanik hem de durabilite özelliklerinde önemli derecede

iyileşme sağladığı ifade edilmiştir.

Pehlivan, A.O., (2018) çalışmasında dört farklı ikame değeri ((0, 50, 75, 100%) ve iki farklı su çimento oranı kullanmıştır. Ayrıca, cüruf ile bulamaç haline getirilerek geri dönüşümlü agreganın beton karışımında kullanılarak iyileştirme sağlanması amaçlanmıştır. Aynı zamanda, biodepozisyon adı verilen bir yöntemle geri kazanılmış agregaların iyileştirilmesi amaçlanmıştır. SEM analizleri ve mekanik testlerle inceleme yapılmıştır. Sonuçta geri dönüşümlü agregaların beton karışımında kullanımı sonucu hem maliyet hem de durabilite özelliklerinde düşüş gözlenmiştir. Bulamaç uygulaması sonucunun ise verimli olduğu gözlenmiştir. Bidepozisyon uygulaması sonrası agregaların su emme kapasitelerinde iyileşme ve 28 günlük basınç değerlerinde de iyileşme gözlenmiştir. Normal betonlar daha yüksek rijitlik kayıplarına kadar kırılma yaşamadan dayanabilirken, geri dönüşümlü agregalarda daha düşük rijitlik kayıplarında kırılma gözlenmiştir.

Şahin, M., (2018), çalışmasında geri dönüştürülmüş agraganın harç üretiminde kullanılabilirliği araştırılmış. Doğal agrega yerine 4 farklı oranda (%0, %25, %50, %100) GDA ve çimento yerine %20 ve %40 oranlarında uçucu kül kullanılarak elde edilen harç karışımları incelenmiştir. Elde edilen harçlar üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, kuruma büzülmesi, aşınma dayanıklılığı, su emme ve kılcal su emme özellikleri incelenmiştir. Harç karışımında yer alan GDA oranı arttıkça harçların basınç ve eğilme dayanımlarında azalma gözlenirken aşınma dayanımları, kılcallık katsayıları, su emmeleri ve kuruma büzölmeleri artmıştır.

Yasemin, M.T., (2015), Çalışma kapsamında geri kazanılmış ince ve kaba agreganın, kendiliğinden yerleşen betonda sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton karışımında yer alan doğal ince ve kaba agrega ile geri kazanılmış ince ve kaba agrega %0 ve %100 oranlarında değiştirilmiştir. Toplam 16 adet KYB'nin sertleşmiş özellikleri 56. günde yapılan basınç, su emme, su geçirimsizlik gibi deneyler ile saptanmıştır. Sonuçta geri kazanılmış agrega ile üretilen numunelerde performansın yüksek geçirimsizlik ve boşluklu yapıdan dolayı düştüğü gözlenmiştir. Ek olarak geri kazanılmış ince ve kaba agrega ile üretilmiş KYB'lerin dayanıklılığının, agrega boyut ve su/bağlayıcı oranından bağımsız olarak silis dumanı katılması ile arttığı görölmüş.

Kareem, Q., (2014), Bu çalışmada, geri kazanılmış beton agregaları ile üretilen geçirimli betonların özellikleri değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, geri kazanılmış agregaların geçirimli beton özellikleri üzerinde ciddi etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Doğal agregalar ile %25, %50, %75 ve %100 oranlarında değiştirilmiş geri kazanılmış agregalar ile üretilen betonlarda geçirimsizlik katsayısında önemli oranda artış görülmüştür. Ancak bu betonların mekanik özelliklerinin ise olumsuz yönde etkilendiği sonuçları ortaya konmuştur.

Durmuş, G.ve diğ., (2008), çalışma kapsamında beton atıklarından elde edilen iri agreganın geri dönüşüm agregası olarak betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kırma iri agregalar yerine %0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 100 oranlarında iri geri dönüşüm beton agregası kullanılarak üretilen beton numunelerde 28 günlük basınç dayanımları, birim ağırlık ve su emme kapasiteleri belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, taşıyıcı beton üretiminde %30 oranına kadar, taşıyıcı olmayan beton üretiminde ise %50 oranına kadar iri geri dönüşüm beton agregasının kullanılabileceği söylenmiştir.

Garcia-Gonzalez, J. ve diğ., (2017) tarafından yapılan çalışmada geri dönüşümlü agregalar ile su azaltıcı katkı maddeleri ve kaba doğal agregaların farklı oranlarda (%0, 25, 50 ve 100) yer değiştirilmesinin betonun kırılma enerjisi üzerinde etkisi araştırılmıştır. 28 gün sonunda çentikli kiriş numunelerinde kama-yarma deney yöntemi ile kırılma enerjileri tespit edilmiştir. Sonuçlar, su azaltıcı katkı kullanılmış ve kaba geri kazanılmış agregaların %20 oranında kullanıldığı betonlarda enerji emme kapasitesinde iyileşme sağlandığını ortaya koymaktadır.

Qasrawi ve diğ., (2012) beton karışımlarında geri dönüştürülmüş agregalar kullanılmasının normal betonun temel özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Araştırma kapsamında ilk olarak geri dönüştürülmüş agreganın özellikleri incelenmiş ve doğal agregalar ile karşılaştırılmıştır. Su emme kapasiteleri dışında ikisi arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Daha sonra geri dönüştürülmüş agregalar tamamen veya kısmi olarak doğal agregalar ile değiştirilerek beton karışımları hazırlanmıştır. Sonuçlar, geri dönüştürülmüş agregalar kullanımı betonun işlenebilirliği üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığını göstermiştir. Bu tür etkilerin karışıma akışkanlaştırıcılar dahil edilerek azaltılabileceği belirtilmiştir. Değiştirilen normal agregalar yüzdesi ve su-çimento oranına bağlı olarak beton dayanımının %5 ila %25 oranında azaldığı da görülmüştür.

Literatür bilgileri değerlendirildiğinde özellikle kırılma enerjisi üzerine çok güncel çalışmaların bulunduğunu ve bu konunun günden güne araştırmacıların dikkatini çektiğini söylemek mümkündür. GDA, KTA ve DOA içeren çelik lifli betonların kırılma enerjisinin karşılaştırılacağı bu tez çalışmasından elde edilecek bulgular bu konuda yapılacak çalışmalar için çok faydalı sonuçlar içerecektir.

Bilindiği gibi agrega türü, agrega ile çimento hamuru arasındaki aderans üzerinde etken bir rol oynamaktadır. Kırmataş agrega gibi yüzey pürüzlülüğü fazla olan ve çimento hamuru ile hem aderans kabiliyeti hem de temas yüzeyi açısından doğal agregaya oranla farklı bir davranış gösteren agregaların kullanımı, betonun mekanik özellikleri üzerinde etken bir parametre olarak bilinmektedir. Bu tezde geri dönüştürülmüş agregaların sabit bir basınç dayanımına sahip lifli betonlarda eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi gibi mühendislik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

Literatür incelendiğinde GDA ile üretilen betonlarda kırılma enerjisinin belirlenmesi üzerine güncel çalışmaların bulunduğu ve konuya olan ilginin giderek arttığı görülmektedir. Literatürde GDA ile üretilen betonlarda kırılma enerjisinin belirlenmesi üzerine çeşitli güncel çalışmalar bulunmasına rağmen bu agregalar ile üretilen betonların kırılma enerjisinin doğal ve kırmataş ile üretilen betonlardaki kırılma enerjisi ile karşılaştırmalı olarak incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Agrega türünün betonların mühendislik özelliklerine etkisinin önemli bir konu olması nedeniyle GDA içeren lifli betonlar ile doğal ve kırmataş agrega içeren lifli betonların karşılaştırmalı olarak incelenmesi literatüre önemli düzeyde katkı sağlayacaktır. GDA içeren betonların kırılma enerjisi performansı ile elde edilecek bulgular bu betonların enerji tüketme davranışı hakkında fikir verecek ve yapısal elemanlarda kullanımı üzerinde yapılacak çalışmalara bir ışık tutacaktır.

6. MATERİYAL VE METOT

6.1. Materyal

Deneyisel çalışmalarda üretilen betonlarda KTA, DOA ve GDA olmak üzere 3 farklı agrega, bağlayıcı olarak çimento, karışım suyu olarak şehir şebeke suyu, kimyasal katkı olarak polikarboksilat bazlı süperakışkanlaştırıcı katkı ve çelik lif kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler bu bölümde detaylandırılmıştır.

6.1.1. Çimento

Çalışma kapsamında CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Kullanılan çimentonun özellikleri

Kimyasal Bileşim	Ağırlıkça %	Mekanik Özellikler	
SiO ₂	19,25	Basınç dayanımı (7 gün)	45,6 MPa
Al ₂ O ₃	5,12	Basınç dayanımı (28 gün)	54,2 MPa
Fe ₂ O ₃	4,32	Basınç dayanımı (90 gün)	62,2 MPa
CaO	65,70		
MgO	1,25	Fiziksel Özellikler	
SO ₃	2,80	Priz başlangıcı	2 saat 25 dakika
Na ₂ O	0,12	Priz bitişi	3 saat 15 dakika
K ₂ O	0,45	Hacim genleşmesi	1 mm
Kızdırma kaybı	3,55	Yoğunluk	3,15 g/cm ³
Çözünmeyen kalıntı	0,75	Özgül yüzey alanı	4663 Blaine cm ² /g
Serbest CaO	0,49		

6.1.2. Karışım Suyu

Beton üretiminde karışım suyu olarak TS EN 1008'e uygun olarak Düzce ili şehir şebekesi suyu kullanılmıştır.

6.1.3. Agregalar

Çalışmada kullanılan DOA, Düzce Asar deresinden temin edilmiştir. KTA ise Düzce Aksu köyündeki taşocağından Mercanlar Madencilik tarafından çıkarılan agregadır. GDA ise C25 ve C30 sınıfı betonların geri dönüşümü ile Düzce İli Yiğitler Hazır Beton tesisinde kırılıp elenerek hazırlanmıştır.

Doğal agregalı, kırmataş agregalı ve geri dönüştürülmüş agregalı beton karışımları hazırlanırken kullanılan ince ve iri agregaların özgül ağırlık ve su emme değerleri Tablo 6.2.'de sunulmuştur.

Tablo 6.2. Kullanılan agregaların özellikleri

Agrega tipi	İnce agrega (0-5 mm)		İri agrega (5-15)	
	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Su emme (%)	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Su emme (%)
DOA	2,63	0,80	2,68	0,70
KTA	2,63	1,30	2,70	0,70
GDA	2,63	1,30	2,68	0,70

6.1.4. Akışkanlaştırıcı Katkı

Çalışma kapsamında AYDOS Yapı Kimyasalları firmasından temin edilen SR 770 tipi polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltıcı özellikte akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Katkı malzemesine ait teknik özellikler üretici firmanın güncel teknik föylerinden edinilmiş ve Tablo 6.3.'de sunulmuştur.

Tablo 6.3. Kullanılan akışkanlaştırıcı katkının özellikleri

Teknik Özellikler	
Yoğunluk	1.06±0.02 kg/l.
pH Değeri	5.5±1
Klor İçeriği	<%0.1
Alkali İçeriği	<%4
Donma Noktası	-4°C
Kullanım Dozajı	100 kg çimento için 0.5-2.0 kg

6.1.5. Çelik lif

Çalışmada, Bekaert firmasından temin edilen, C1008 sınıfı düşük karbonlu çelikten üretilmiş, çekme dayanımı ortalama 1160 N/mm² olan ve tutkalla birleştirilmiş, 30 mm uzunluğunda iki ucu kancalı, elastisite modülü 200000 MPa olan beton donatı telleri kullanılmıştır. Kullanılan çelik lif örnekleri Şekil 6.1.'de görülmektedir. Tutkal ile demet haline getirilmiş olan bu lifler, betonun karışım suyu ile temas ettiğinde ayrılarak kolayca dağılmakta ve doğru karışım yapıldığında homojen bir şekilde karışabilmektedir.



Şekil 6.1. Çalışma kapsamında kullanılan çelik lif

6.2. Metot

6.2.1. Malzeme Miktarları

Çalışmada 3 farklı agrega türü için C35 dayanım sınıfında çelik lifli beton karışımları tasarlanmıştır. Üretilen betonlarda 1 m³ beton karışımına giren malzeme miktarları Tablo 6.4., Tablo 6.5. ve Tablo 6.6.'de verilmiştir.

Tablo 6.4. 1 m³ KTA'lı beton karışımında kullanılan malzeme miktarları

Malzemeler	1 m ³ ' deki malzeme miktarları (kg/m ³)
Çimento	340
Su	180
0-5 Kum	1168
5-15 agrega	656
Çelik lif	31
Kimyasal katkı	4,42

Tablo 6.5. 1 m³ DOA'lı beton karışımında kullanılan malzeme miktarları

Malzemeler	1 m ³ ' deki malzeme miktarları (kg/m ³)
Çimento	345
Su	183
0-5 Kum	1091
5-15 agrega	722
Çelik lif	31
Kimyasal katkı	4,49

Tablo 6.6. 1 m³ GDA'lı beton karışımında kullanılan malzeme miktarları

Malzemeler	1 m ³ ' deki malzeme miktarları (kg/m ³)
Çimento	345
Su	183
0-5 Kum	1161
5-15 agrega	647
Çelik lif	31
Kimyasal katkı	4,49

6.2.2. Karışımların Hazırlanması

DOA, KTA ve GDA ile hazırlanan karışımlar Düzce Yiğitler Beton Kalite Kontrol laboratuvarında, kapalı ortamda; 140 litre kapasiteli, dönme açısı ayarlanabilen laboratuvar tipi mikserde hazırlanmıştır. Mikser 45 derece açı ile çalıştırılmıştır. Çimento, ince ve iri agrega ile çelik lifler mikserde kuru olarak 1 dk. karıştırılmış, sonrasında karışım suyunun dörtte üçü 45 saniye boyunca karışıma eklenmiş ve mikser bu şekilde 4. dakikaya kadar çalıştırılmıştır. Suyun geriye kalan kısmı akışkanlaştırıcı katkı ile karıştırılarak miksere 45 saniye boyunca eklenmiş ve mikser karışım homojen bir kıvama gelinceye kadar karıştırılmıştır.

Sonrasında karışımlar 3 tabaka halinde ve her bir tabakada laboratuvardaki masa tipi vibrasyon uygulaması yapılarak kalıplara yerleştirilmiştir. Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme deneyleri için 150x150x150 mm'lik küp kalıplar, kırılma enerjisi deneyi için ise 150x150x550 mm ebatlarındaki çentikli numune kalıpları kullanılmıştır. Çentikli numune kalıplarında çentik yüksekliği 25 mm ve çentik genişliği 3 mm'dir.

6.2.3. Taze Beton Deneyleri

Çalışma kapsamında doğal agrega, kırma taş agrega ve geri dönüştürülmüş agregalar ile tasarlanan beton karışımlarına ait işlenebilirlik özelliklerinin saptanabilmesi amacı ile TS EN 12350-2'ye [30] uygun olarak slump (çökme) deneyi gerçekleştirilmiştir.

Deneyler, düzgün bir yüzeye yerleştirilmiş metal taban plakası üzerine konulan huninin öncelikle 1/3'ünün doldurulması ve 25 defa şişlenmesi ardından bu işlemin 2 kez daha tekrar edilmesi suretiyle yapılmıştır. Huninin ağız kısmındaki betonun da düzeltilmesi sonrasında huni düz ve yavaş bir şekilde yukarı doğru çekilmiş ve betondaki çökme miktarı ölçülmüştür.

6.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Çalışma kapsamında sertleşmiş beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, çentikli kirişler ile enerji yutma kapasitesi, su emme ve böhme aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler ve numune sayıları Tablo 6.7.'de gösterilmiştir.

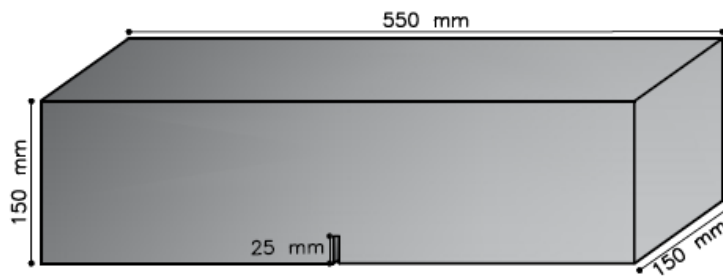
Tablo 6.7. Sertleşmiş beton deneyleri

Deney	Agrega Türü		
	Doğal Agregalı Beton Numuneleri	Kırmataş Agregalı Beton Numuneleri	Geri Dönüştürülmüş Agregalı Beton Numuneleri
Basınç dayanımı	3 adet	3 adet	3 adet
Yarmada Çekme	3 adet	3 adet	3 adet
Eğilme dayanımı	3 adet	3 adet	3 adet
Çentikli Kiriş	3 adet	3 adet	3 adet
Su Emme	3 adet	3 adet	3 adet
Böhme Aşınma	3 adet	3 adet	3 adet

6.2.4.1. Kırılma Enerjisi Deneyi

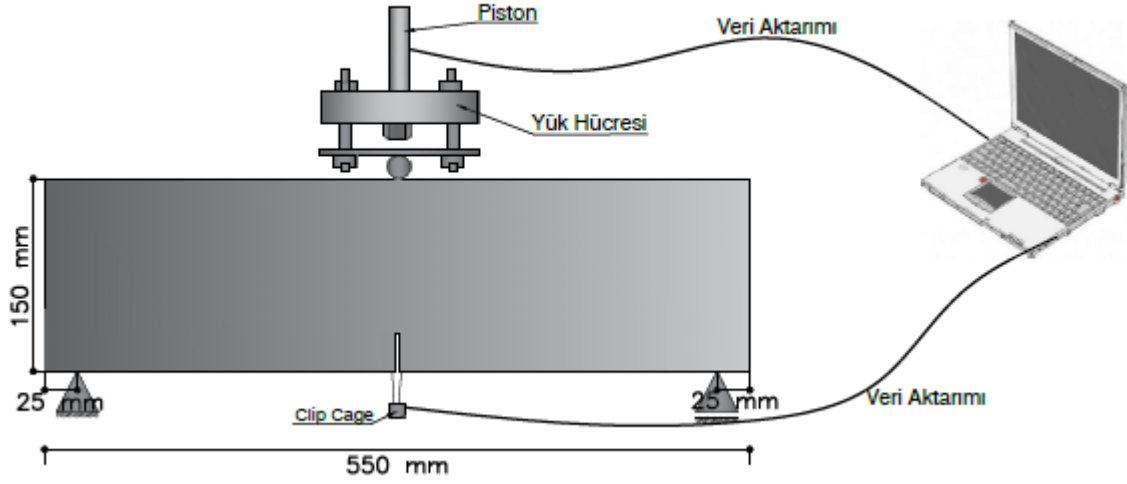
GDA, DOA ve KTA ile çelik lifli olarak üretilen kiriş numuneleri enerji yutma kapasiteleri yönünden karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için çentikli kiriş deneyinden yararlanılmış ve deneyde çentik açıklığı ile sehim miktarlarındaki değişimler CMOD ve LVDT ile belirlenerek kirişlerin kırılma enerjileri hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında, C35 sınıfında üretilen ve farklı agregalar içeren lifli betonlar kullanılarak 150x150x550 mm ölçülerinde, açıklık ortasında 25 mm yükseklik ve 3 mm genişliğe sahip çentik içeren çentikli kiriş numuneleri üretilmiştir. (Şekil 6.2.)

**Şekil 6.2.** Çentikli kiriş numunesi

Üretilen çentikli kiriş numuneleri kirece doymun kür havuzlarında 28 gün süreyle bekletilmiştir. 28 günlük kür uygulaması sonucunda çentikli kirişler üzerinde Şekil 6.3.'te görülen deneysel düzenek ile 0.1 mm/dk sabit yükleme hızı ile orta noktadan yük

uygulanmıştır. Yük altında farklı agregalar içeren çelik lifli betonlarla üretilen kiriş numunelerinin enerji yutma kapasiteleri belirlenmiştir.



Şekil 6.3. Çentikli kiriş numunesi deney düzeneği

Deneyin uygulanmasında numuneler öncelikle test cihazında EN14651'e uygun olarak 3 noktalı eğilme deneyi düzeneğine yerleştirilmiş ve numunelere 0.1 mm/dk yükleme hızında düşey yük uygulanarak eğilme yükü altında değişen çatlak açıklığı belirlenmiştir. Eğilme yükü altında değişen çatlak açıklığı CMOD aparatı ile ölçülmüştür. Kırılma enerjisi deneyine tabi tutulan numunelere ait görseller Şekil 6.4'te görülmektedir.



Şekil 6.4. Kırılma enerjisi deneyine tabi tutulan numunelere ait görseller

Deneylerde çentikli kirişlere uygulanan yükler ve sehim değerleri kullanılarak yük-sehim eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan yük-sehim eğrisinin altında kalan alanlar hesaplanarak RILEM TC 50-FMC tarafından önerilen yöntemle göre Denklem 6.1. ile kırılma enerjileri hesaplanmıştır. [31]

$$G_f = \frac{W_0 + m(1 - k^2)g\delta}{B(D - a)} \quad (6.1)$$

Denklemdede;

W_0 = Yük-sehim veya yük-çatlak açıklığı grafiğinin altında kalan alanı (N.m), (bu çalışmada 4 mm sehime kadar yük-sehim eğrisi altında kalan alan olarak alınmıştır.)

m	=	Numunenin kütlesi (kg),
g	=	Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s ²)
δ	=	Açıklık ortasındaki sehim (m) (bu çalışmada δ yük-sehim eğrisi için 4 mm olarak alınmıştır.)
B	=	Numune genişliği (m)
D	=	Numune derinliği (m)
a	=	Çentik derinliği (m)
k	=	(U/S)-1
U	=	Numunenin boyu (m)
S	=	Mesnetler arası uzaklık (m)
G _f	=	Kırılma enerjisini (N/m) ifade etmektedir

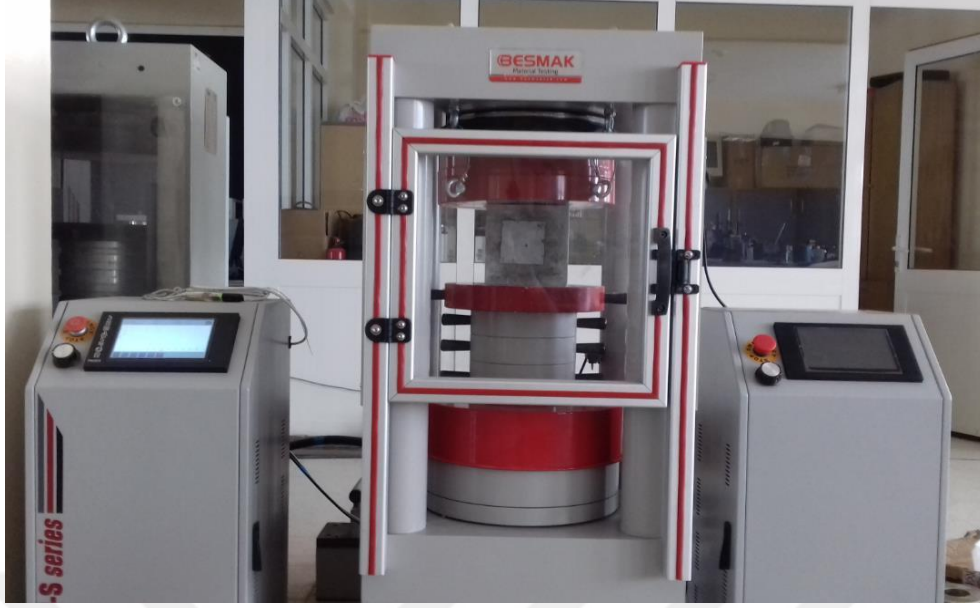
Deneyisel çalışmada kırılan kirişler incelendiğinde çelik liflerin kırılma bölgesinde köprü görevi gördüğü ve beton ile sağladığı aderans sayesinde gerilme aktaran köprücükler oluşturduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.5. Kırılma bölgesinde köprü görevi gören çelik lifler

6.2.4.2. Basınç Dayanımı Deneyi

150x150x150 mm ölçülerinde üretilmiş küp numuneler 28 gün kür havuzunda bekletilmiş ve daha sonra kür havuzundan çıkartılarak TS EN 12390-3'e [32] uygun şekilde basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. 200 ton kapasiteli beton presinde yapılan deneylerde yükleme hızı 0,5 MPa/s olarak seçilmiştir. Basınç deneyinin uygulandığı Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6. Basınç dayanımı deneyinin uygulandığı

6.2.4.3. Eğilme Dayanımı Deneyi

DOA, KTA ve GDA ile üretilen betonların eğilmede çekme dayanımları, kırılma enerjisi deneyi sırasında elde edilen verilerden yararlanılarak TS EN 12390-5'e [33] göre Denklem 6.2. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{3 * P * L}{2 * b * d^2} \quad (6.2)$$

Denklemden,

- P = İlk çatlak açılı kırılma yükünü (N),
- L = Mesnetler arası uzaklığı (mm)
- b = Numune genişliğini (mm)
- d = Numune yüksekliğini (mm) ifade etmektedir.

6.2.4.4. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

150x150x150 mm ölçülerinde üretilmiş küp numuneler 28 gün kür havuzunda bekletilmiş ve daha sonra kür havuzundan çıkartılarak TS EN 12390-6'ya [34] uygun şekilde yarmada çekme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

Deneyde test cihazının aparatı arasına yerleştirilen numune üzerine basınç presi kullanılarak düşey çap doğrultusunda yarılmayla parçalanma oluşuncaya kadar yük artırılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir ve daha sonra yarmada çekme dayanımı denklem 6.3. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{2 * F}{\pi * L * d} \quad (6.3)$$

Denklemden,

- F = Kırılma yükünü (N)
L = Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğunu (mm)
D = Numunenin en kesit uzunluğunu (mm) ifade etmektedir.

6.2.4.5. Su Emme Deneyi

Çalışma kapsamında DOA, GDA ve KTA ile üretilen tüm betonlardan basınç dayanımı deneyi için üretilen numuneler ağırlıkça su emme deneyinde de kullanılmıştır. Su emme deneyi gerçekleştirilirken öncelikle numuneler kür tankından çıkarılarak suya doymun yüzey kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra etüvde 24 saat kurutulan numunelerin ağırlıkları da belirlenerek ağırlıkça su emme miktarları Denklem 6.3 yardımıyla bulunmuştur.

$$Su \text{ emme} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) * 100 \quad (6.3)$$

Denklemden,

- m₁ = Numunenin suya doymun yüzey kuru ağırlığını (kg)
m₂ = Numunenin etüv kurusu ağırlığını (kg) ifade etmektedir.

6.2.4.6. Aşınma Dayanımı Deneyi

Numune, Şekil 6.7.'de görülen Böhme deney aletine yerleştirilip aşındırıcı malzeme dökülerek 30 devir/dk hızla döndürülmek suretiyle deneye tabi tutulmuştur. Deney aleti disk üzerinde belirli bir kuvvet uygulayan yüzey aşındırıcı donanımı ile her 22 devir sonunda otomatik olarak durmaktadır. 22 devir sonrasında otomatik olarak duran alette, numune alt yüzeyi ve disk temizlenerek yeniden aşındırıcı malzeme dökülmüştür. Bu şekilde devam eden

16 tur sonrasında deney tamamlanmış ve numunedeki aşınma kaybı hacim cinsinden elde edilmiştir. [35]



Şekil 6.7. Böhme deney cihazı ile aşınma dayanımı deneyinin uygulanması

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

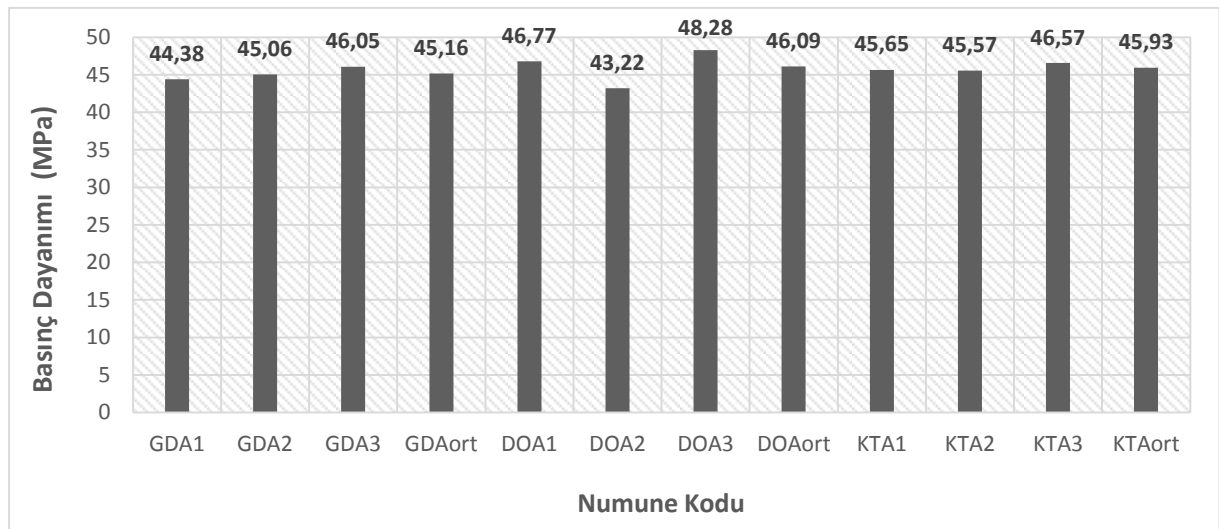
7.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Çökme (Slump) deneyi, hazırlanan beton karışımlarının taşıma ve yerleştirme özellikleri konusunda bilgi vermektedir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda DOA'lı beton karışımında slump değeri; 18,5 cm, KTA'lı beton karışımında slump değeri; 19 cm ve GDA'lı beton karışımında ise slump değeri 19 cm olarak ölçülmüştür.

7.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

7.2.1. Basınç Dayanımı

Hazırlanan numunelere ait 28 günlük basınç dayanımı sonuçları Şekil 7.1.'de gösterilmiştir. Elde edilen basınç dayanımı değerleri incelendiğinde GDA ile üretilen betonlarda en düşük basınç dayanımı 44,38 MPa ve en yüksek basınç dayanımı ise 46,05 MPa olarak elde edilmiştir. Numunelerin ortalama değeri ise 45,16 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değerler KTA ve DOA ile üretilen numunelerde sırasıyla en düşük 45,57 MPa ile 43,22 MPa ve en yüksek 46,57 MPa ile 48,28 MPa olarak elde edilmiştir. KTA ve DOA ile üretilen betonlarda ortalama basınç dayanımı ise sırasıyla 45,93 MPa ve 46,09 MPa olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde karışımlardan alınan numunelerde çok yüksek standart sapma olmadığı görülmektedir. Çalışmada hedef dayanım C35 olduğu için küp numunelerden elde edilen bulgular karışım tasarımlarındaki ön deneylerin iyi yapıldığını ve hedefe uygun basınç dayanımının elde edildiğini göstermektedir.



Şekil 7.1. Basınç Dayanımı Sonuçları

7.2.2. Eğilme Dayanımı

Numunelere ait 28 günlük eğilme dayanımı değerleri Tablo 7.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. İlk çatlak oluştuğu andaki eğilme dayanımları

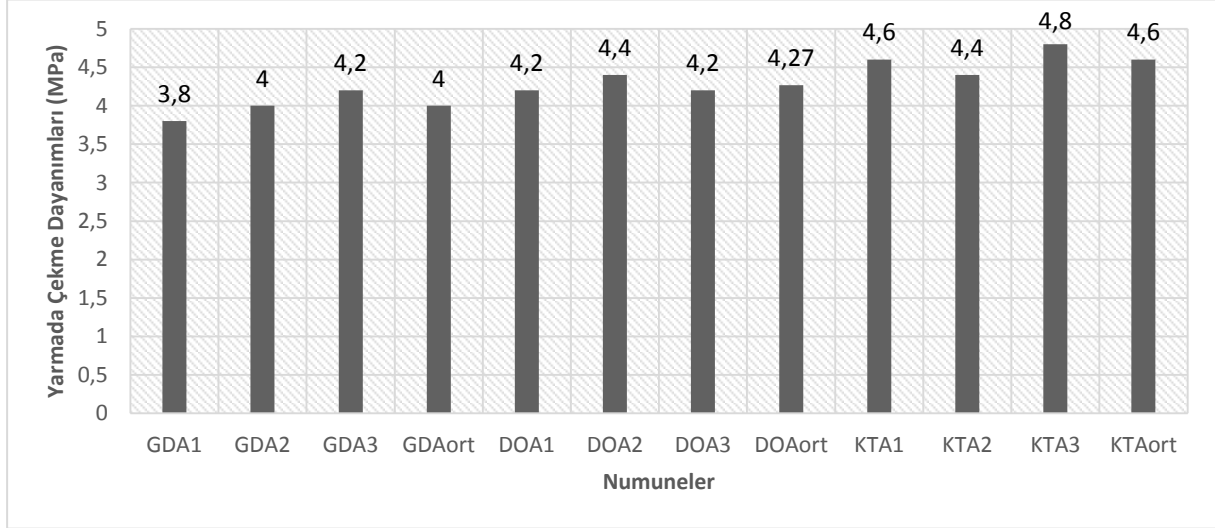
	P (N)	L (mm)	b (mm)	h (mm)	$\bar{\sigma}$ (MPa)	$\bar{\sigma}_{ort}$ (MPa)
GDA1	15665	500	150	125	5,01	5,22
GDA2	17890	500	150	125	5,72	
GDA3	15360	500	150	125	4,92	
KTA1	21214	500	150	125	6,79	5,58
KTA2	18602	500	150	125	5,95	
KTA3	12492	500	150	125	4,00	
DOA1	16027	500	150	125	5,13	5,20
DOA2	17937	500	150	125	5,74	
DOA3	14799	500	150	125	4,74	

Tablo 7.1. incelendiğinde, en yüksek eğilme dayanımı değerlerinin KTA ile üretilen numunelerden elde edildiği, GDA ve DOA ile üretilen betonlarda eğilme dayanımı performanslarının benzer olduğu görülmektedir. KTA kodlu betonların kırmataş agregası ile üretilmesi nedeniyle DOA yani doğal agregası ile üretilen betonlardan yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Burada dikkat çekici bir sonuç ise GDA içeren betonların da DOA gibi iyi bir eğilme dayanımına sahip olmasıdır. Bu durumun, GDA'ların C25 ve C30 sınıfı kırmataş agregalı kaliteli betonlardan elde edilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

7.2.3. Yarmada Çekme Dayanımı

Numunelere ait 28 günlük yarmada çekme dayanımı değerleri Şekil 7.2.'de gösterilmiştir. Ulaşılan sonuçlar incelendiğinde, GDA ile üretilmiş beton numunelerinin yarmada çekme dayanımlarının, benzer basınç dayanımlarına sahip KTA ve DOA ile üretilen numunelere oranla ortalama olarak daha düşük bir değerde olduğu görülmektedir. En yüksek yarmada çekme dayanımı 4,8 MPa ile KTA'lı bir numunede görülürken, en düşük yarmada çekme dayanımı 3,8 MPa ile GDA'lı bir numunede elde edilmiştir. Sonuçlar, eğilmede çekme dayanımında olduğu gibi KTA içeren betonların en iyi dolaylı çekme performansına sahip

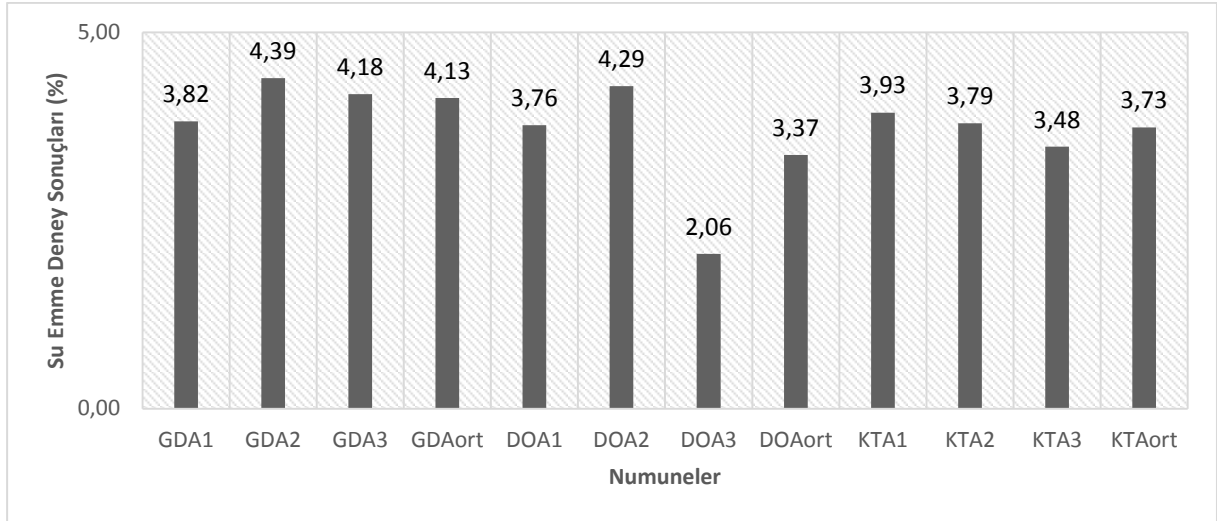
olduğunu ve DOA ile GDA içeren betonların birbirine benzer davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 7.2. Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları

7.2.4. Su Emme Deneyi

Numunelere ait 28 günlük su emme değerleri Şekil 7.3.'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde geri dönüştürülmüş agregal ile üretilen numunelerin ağırlıkça su emme değerlerinin kırmataş agregal ve doğal agregal ile üretilen numunelere kıyasla çok daha yüksek olduğu görülmektedir. En düşük su emme değeri %2,06 ile DOA'lı bir numunede ve en yüksek su emme değeri %4,39 ile GDA'lı bir numunede elde edilmiştir. Sonuçlar, GDA içeren betonlarda su emme değerlerinin diğer betonlardan daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 7.3. Su Emme Deney Sonuçları

7.2.5. Aşınma Deneyi

Numuneler üzerinde uygulanan böhme aşınma deneyleri ile elde edilen hacim kaybı sonuçları Tablo 7.2.'de gösterilmiştir. Sonuçlar en düşük aşınma dayanımının DOA içeren betonlarda elde edildiğini, GDA ile KTA içeren betonların ise benzer aşınma dayanımı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durumun, GDA'ların C25 ve C30 sınıfı kırmataş agregalı kaliteli betonlardan elde edilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 7.2. Aşınma deneyi sonrası hacim kayıpları

Numune Türü	Numune No.	Deney öncesi ölçüm ve hesaplamalar			Deney sonrası ölçüm ve hesaplamalar			
		Hacim (V_1) (mm^3)	Ağırlık (m_1) (gr)	Yoğunluk $\rho_R = V_1/m_1$ (gr/mm^3)	Ağırlık (m_2) (gr)	Ağırlık Farkı $\Delta m = m_1 - m_2$ (gr)	Hacim Kaybı $\Delta V = \Delta m / \rho_R$ (mm^3)	Ortalama Hacim Kaybı ΔV (mm^3)
DOA	1	323610	752,28	0,002325	749,84	2,44	1049,62	958,66
	2	323400	741,7	0,002293	739,71	1,99	867,69	
GDA	1	314160	674,44	0,002147	671,61	2,83	1318,24	1150,97
	2	295680	640,23	0,002165	638,1	2,13	983,71	
KTA	1	347208	763,15	0,002198	760,72	2,43	1105,57	1175,71
	2	333200	746,18	0,002239	743,39	2,79	1245,85	

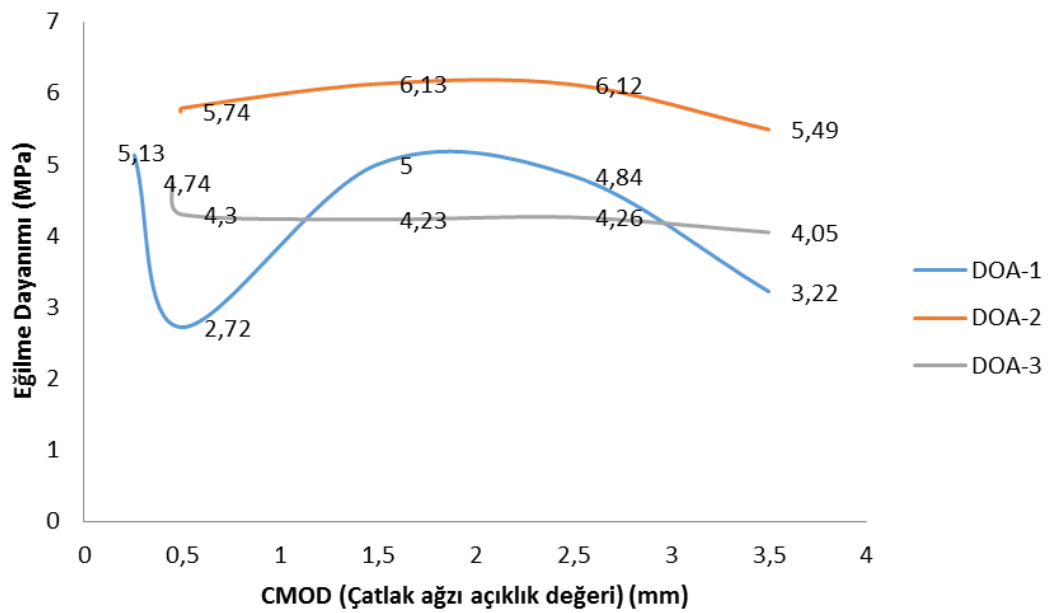
7.2.6. Kırılma Enerjisi

Çentikli kiriş numuneleri üzerinde yapılan eğilme deneyleri sonucunda elde edilen ve belirli CMOD değerlerine karşılık gelen rezidüel yük ve rezidüel dayanım değerleri Tablo 7.3.'te görülmektedir. Ayrıca eğilme deneyinin farklı düzeylerinde CMOD açıklığına bağlı olarak

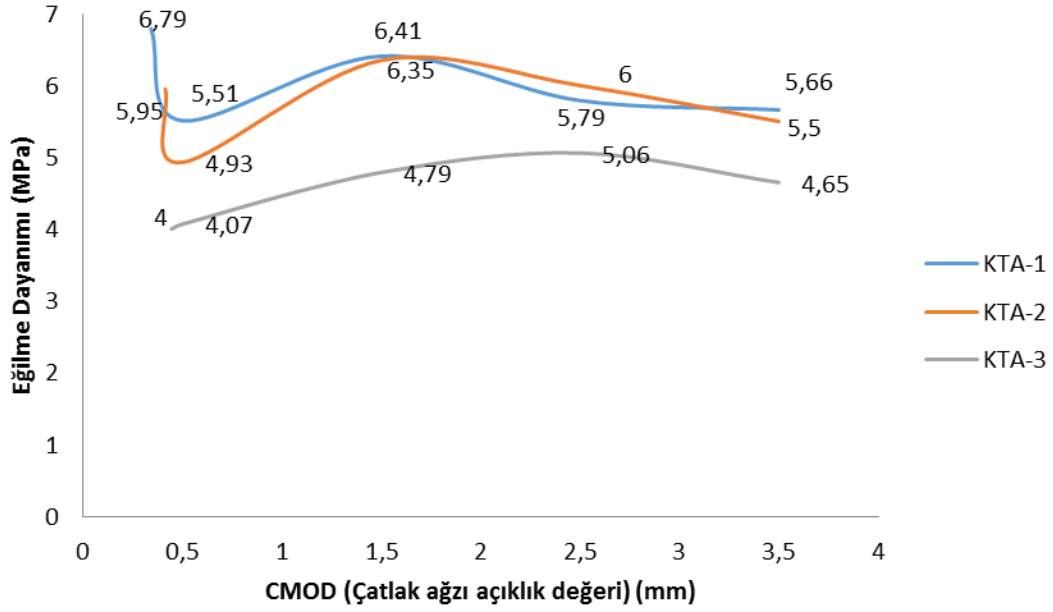
elde edilen anlık eğilme dayanımı değerlerindeki değişimler de Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Belirli CMOD değerlerinde rezidüel yük ve rezidüel dayanım değerleri

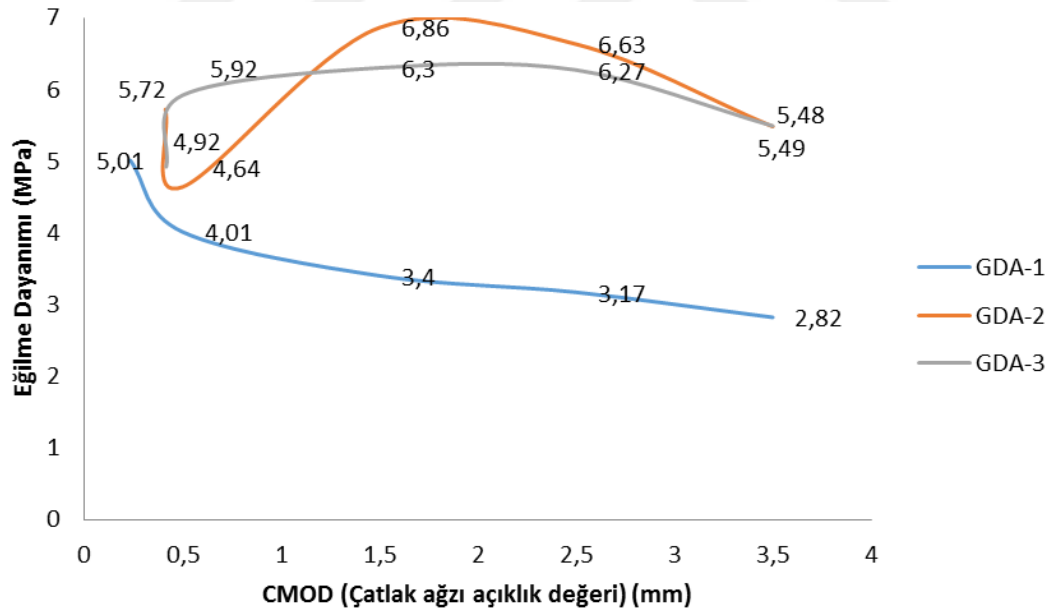
Numune Türü		DOA			GDA			KTA		
Numune No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3
İlk Çatlak Yükü (kN)		16,03	17,94	14,80	15,67	17,89	15,36	21,21	18,60	12,49
Rezidüel Yük, F_j (kN)	CMOD ₁ = 0,5 mm	8,50	18,09	13,44	12,53	14,50	18,51	17,23	15,40	12,72
	CMOD ₂ = 1,5 mm	15,63	19,16	13,21	10,62	21,44	19,68	20,04	19,86	14,96
	CMOD ₃ = 2,5 mm	15,14	19,14	13,31	9,91	20,71	19,59	18,09	18,76	15,80
	CMOD ₄ = 3,5 mm	10,07	17,16	12,67	8,81	17,11	17,15	17,68	17,18	14,52
Net Eğilme Dayanımı (MPa)		5,13	5,74	4,74	5,01	5,72	4,92	6,79	5,95	4,00
Rezidüel Dayanım, $f_{r,j}$ (MPa)	CMOD ₁ = 0,5 mm	2,72	5,79	4,30	4,01	4,64	5,92	5,51	4,93	4,07
	CMOD ₂ = 1,5 mm	5,00	6,13	4,23	3,40	6,86	6,30	6,41	6,35	4,79
	CMOD ₃ = 2,5 mm	4,84	6,12	4,26	3,17	6,63	6,27	5,79	6,00	5,06
	CMOD ₄ = 3,5 mm	3,22	5,49	4,05	2,82	5,48	5,49	5,66	5,50	4,65



Şekil 7.4. DOA 'lı numunelerde belirli CMOD açılmalarında eğilme dayanımı değişimi



Şekil 7.5. KTA'lı numunelerde belirli CMOD açılmalarında eğilme dayanımı değişimi



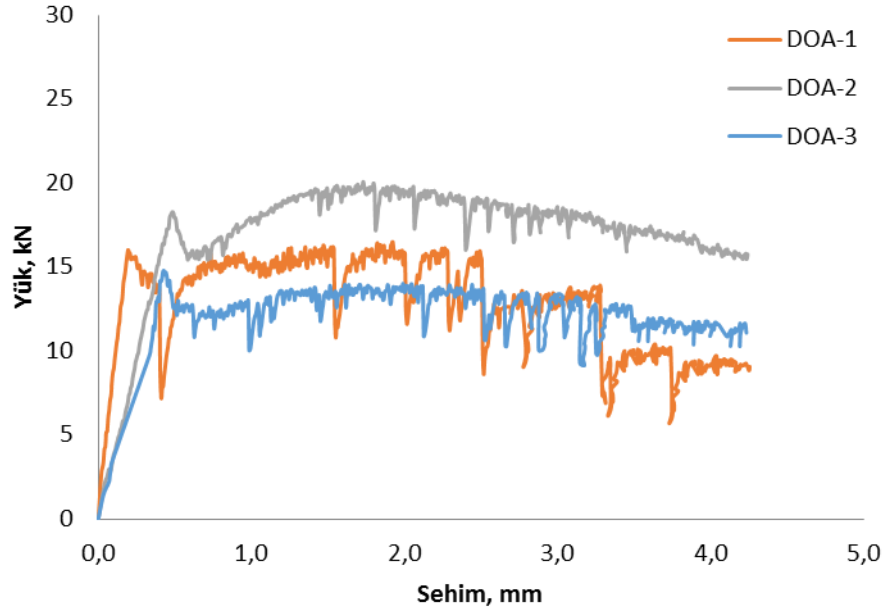
Şekil 7.6. GDA'lı numunelerde belirli CMOD açılmalarında eğilme dayanımı değişimi

Rezidüel dayanım değerleri incelendiğinde, DOA içeren betonlarda 3 numune sırasıyla 5.13 MPa, 5.74 MPa ve 4.74 MPa eğilme gerilmesine ulaştığında betonda ilk çatlak görülmüş ve CMOD açıklığı 0.5 mm'ye ulaştığında bu değerler 1. ve 3. numunede aniden sırasıyla 2.72 MPa ve 4.30 MPa'ya düşmüştür. 2. numunede ise 5.79 MPa olarak değişmiştir. Daha sonra

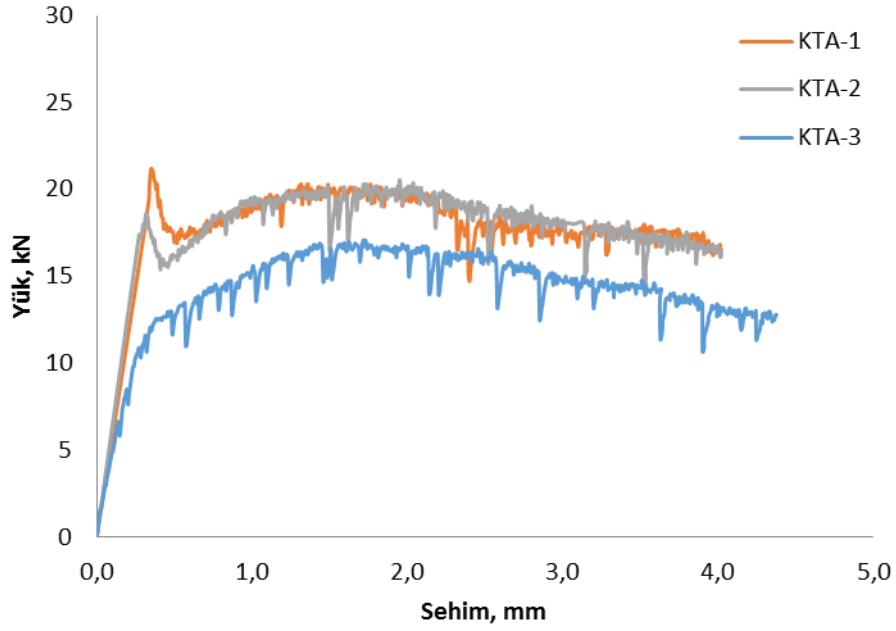
CMOD açıklığı 1.5 mm, 2.5 mm ve 3.5 mm değerlerine ulaştığında anlık eğilme dayanımlarında değişken değerler elde edilse de liflerin köprüleme yapması nedeniyle numune yük taşımaya devam etmiş ve normal lifsiz betonda olduğu gibi ani göçme yapmamıştır. Liflerin köprüleme yapması sonrası numunelerin gerilme şekil değiştirme davranışı önemli düzeyde iyileşerek kirişler sünek davranışa geçmiş ve enerji yutmaya devam etmiştir. GDA ve KTA içeren lifli betonlarda da benzer davranışlar görülmüş hatta bazı numunelerde liflerin köprülemesi sonrası CMOD açıklığının belirli değerlerinde ilk çatlaktaki eğilme dayanımından daha yüksek eğilme performansları gözlenmiştir. Deneylerdeki farklı CMOD açıklıklarında elde edilen eğilme dayanımlarındaki farklılıkların liflerin yönlendirilmesi ve dağılımı ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Fakat genel olarak tüm beton türlerinde lifler ile matris arasında iyi bir aderans olduğu ve tüm agrega tipleri için sünekliğin önemli düzeyde arttığı söylenebilir.

Farklı CMOD değerlerinde liflerin, ani göçmeyi önleyerek eğilme dayanımının korunmasında, dolayısıyla sünekliğin artmasında ne derece önemli bir rol aldığını ortaya koymak için Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6 verilmiştir. Şekiller incelendiğinde bazı numunelerde ilk çatlak oluşuktan sonra daha yüksek eğilme dayanımı değerlerine ulaşıldığı net bir şekilde görülmektedir.

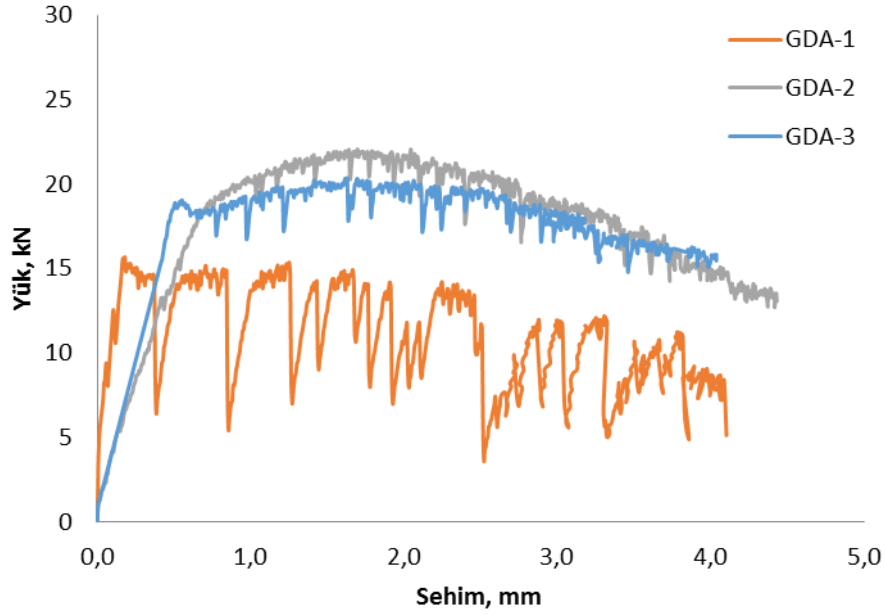
Üretilen çentikli kiriş numuneleri üzerinde gerçekleştirilen eğilme deneylerinde elde edilen Yük-Sehim grafikleri Şekil 7.7, Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'da sunulmuştur.



Şekil 7.7. Doğal agregalı numunelerde yük-sehim grafiği

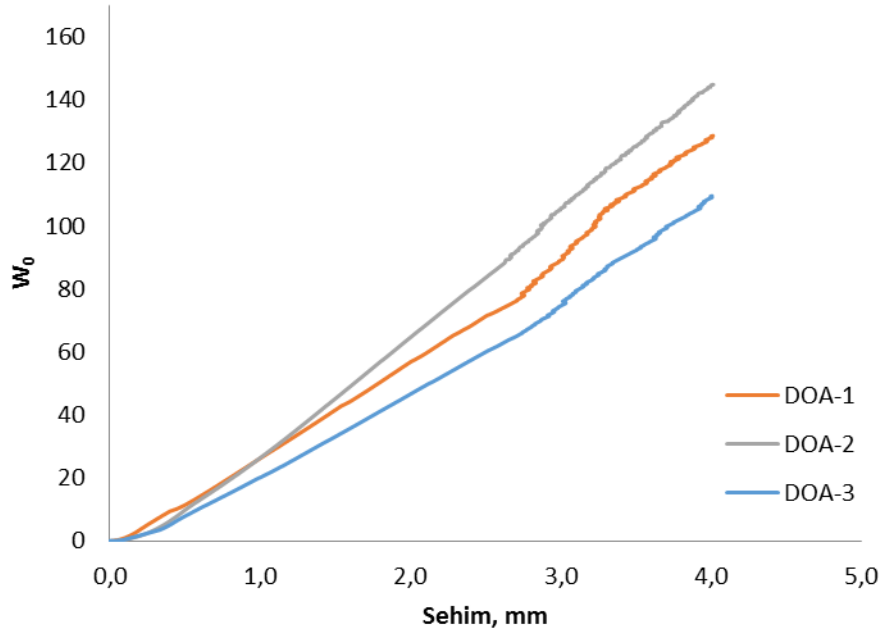


Şekil 7.8. Kırmataş agregalı numunelerde yük-sehim grafiği

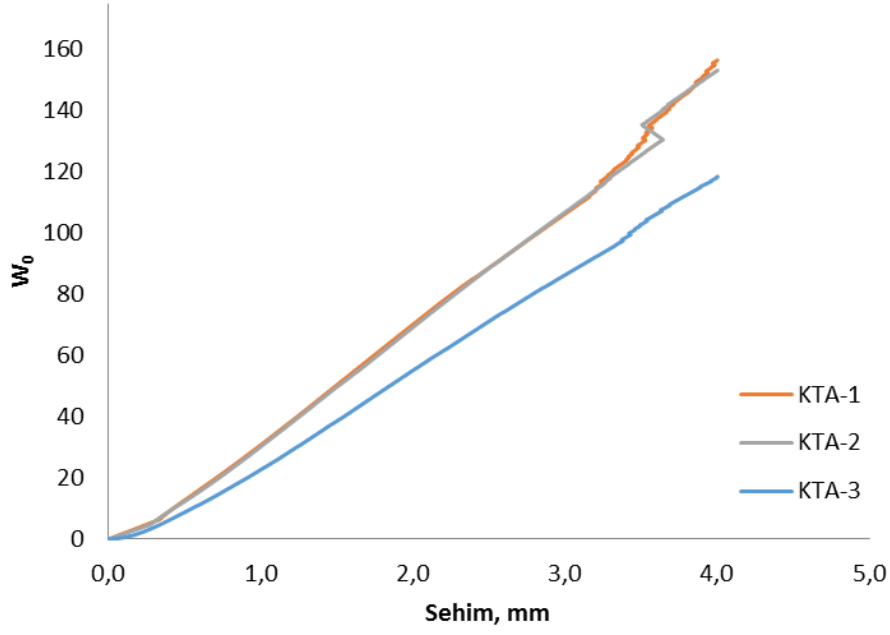


Şekil 7.9. Geri dönüştürülmüş agregalı numunelerde yük-sehim grafiği

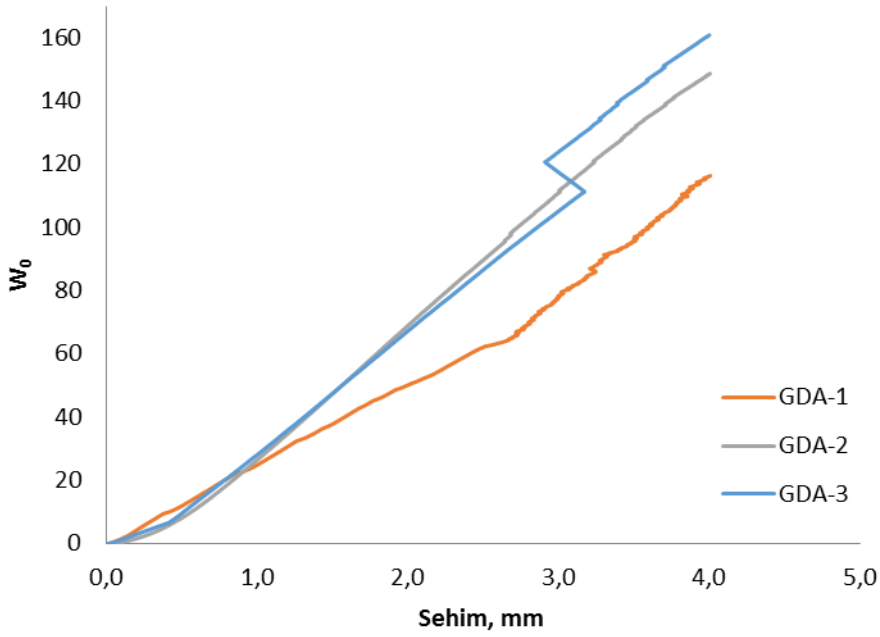
Şekil 7.7, Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'da görülen yük-sehim grafikleri kullanılarak kirişlerin Yük-sehim ilişkisi grafiklerinin altında kalan alanlar (W_0) hesaplanmış ve W_0 - sehim grafikleri oluşturularak Şekil 7.10, Şekil 7.11 ve Şekil 7.12'de verilmiştir. Bu grafikler Yük-sehim ilişkisi grafiklerinin altında kalan alanların kümülatif değişimini göstermektedir.



Şekil 7.10. Doğal agregalı numunelerde W_0 -sehim grafiği

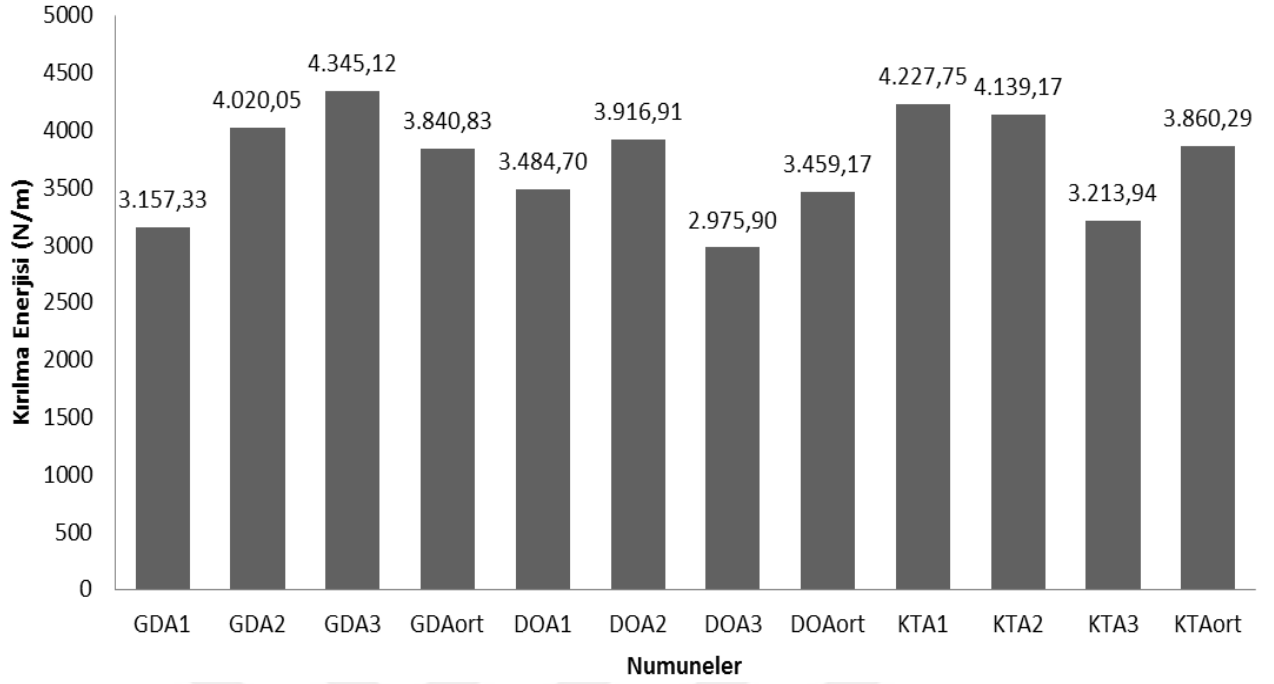


Şekil 7.11. Kırmataş agregalı numunelerde W_0 -sehim grafiği



Şekil 7.12. Geri dönüştürülmüş agregalı numunelerde W_0 -sehim grafiği

Son olarak kırılma enerjisi değerleri Şekil 7.7, Şekil 7.8 ve Şekil 7.9 kullanılarak denklem 6.1 yardımıyla hesaplanmış ve hesaplanan kırılma enerjisi değerleri Şekil 7.13.'te verilmiştir. Kırılma enerjileri göreceli olarak karşılaştırıldığı için yük-sehim eğrisinin altında kalan alan her bir numunede sehimin 4 mm'ye ulaştığı noktaya kadar hesaplanmıştır.



Şekil 7.13. Kırılma enerjisi deney sonuçları

Kırılma enerjisine ait bulgular incelendiğinde ortalama en yüksek kırılma enerjisi değerinin kırmataş agregası ile üretilen numunelerde elde edildiği görülmektedir. Geri dönüştürülmüş agregası ile üretilen numunelerin kırılma enerjileri ise, doğal agregalı numunelere kıyasla daha yüksek çıkarken, kırmataş agregalı numunelerden daha düşük çıktığı görülmektedir. Bilindiği gibi GDA içeren betonların mühendislik performansı, geri dönüşüm agregasının hangi tip betondan elde edildiği, geri dönüşüm yapılan betonlarda kullanılan agregası tipi ve kullanılan çimento tipi/miktarı gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Bu çalışmada GDA temininde hazır beton tesisindeki kalite kontrol testlerinde ortaya çıkan C25 ile C30 sınıfı ve kırmataş agregası kullanılarak üretilmiş betonlar kullanılmıştır. GDA temini için kullanılan betonlarda, beton sınıfının iyi bir dayanıma sahip olması, kullanılan agregasının kırmataş olması ve kullanılan çimento tipinin ise CEM I 42.5 çimento olması nedeniyle elde edilen GDA'lar kaliteli bir yüzey formuna sahiptir. Bu parametrelerin, çalışmadaki GDA içeren betonların DOA içeren betonlardan daha iyi bir kırılma enerjisine sahip olmasına yol açmış olabileceği düşünülmektedir. Elde edilen bulgular bu konuda detaylı iç yapı analizlerinin yapılmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında farklı türde agregalar kullanılarak üretilen benzer basınç dayanımlarına sahip çelik lifli numuneler üzerinde taze halde slump değerleri, sertleşmiş halde kırılma enerjisi, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme ve aşınma dayanımı parametreleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir,

Sertleşmiş beton deneylerinden elde edilen bulgulara göre,

- Basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, GDA kullanılarak ile hem KTA hem de DOA içeren betonlarda olduğu gibi yeterli düzeyde basınç dayanımına sahip betonların üretilmesi mümkündür.
- Numunelere ait eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde, GDA ile üretilen numunelerin eğilme dayanımlarının benzer basınç dayanımlarına sahip KTA ve DOA ile üretilen numunelere oranla daha düşük bir değerde olduğu görülmektedir. Ancak bu ortalama değer de numunenin basınç dayanımına karşılık kabul edilebilir sınırlarda olduğu söylenebilir.
- Yarmada çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, GDA ile üretilen numunelerin yarmada çekme dayanımlarının, diğer numunelere oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Deney sonucu, KTA ile üretilmiş numunelerin tıpkı eğilmede çekme dayanımında olduğu gibi yarmada çekme dayanımında da en iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir. DOA ve GDA ile üretilmiş numunelerin ise benzer davranışlar sergilediklerini söylemek mümkündür.
- Su emme deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek ağırlıkça su emme değerleri geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen numunelerde görülmektedir.
- Aşınma deneyi sonucunda elde edilen hacim kaybı verileri incelendiğinde, doğal agrega ile üretilen numunelerde aşınmaya karşı direncin, kırmataş agregalı ve geri dönüştürülmüş agregalı numunelere kıyasla daha düşük düzeyde olduğu görülmektedir.
- Çalışmanın en önemli verilerinden biri olduğu düşünülen ve farklı tür agregalar ile üretilen çelik lifli çentikli kiriş numunelerinin süneklikleri hakkında bilgi veren kırılma enerjileri incelendiğinde, kırmataş agrega ile üretilen numunelerin ortalama kırılma enerjilerinin, geri dönüştürülmüş agrega ve doğal agrega numunelerinin

ortalama kırılma enerjilerinden daha yüksek olduğu yani daha sünek bir davranış sergilediği görülmektedir. Geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen numunelerin ortalama kırılma enerjilerine bakıldığında ise, doğal agregalı numunelere kıyasla daha iyi bir performans sergilediğini söylemek mümkündür. Farklı tür agregalar ile üretilen numunelerin yük-sehim eğrileri altında kalan alan yardımıyla hesaplanan kırılma enerjileri arasındaki bu ilişki, geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen numunelerin performansları üzerinde etkili bazı parametrelere dikkat çekmiştir. Bu tez kapsamında geri dönüştürülmüş agrega, C25 ile C30 sınıfı ve kırmataş agrega kullanılarak üretilmiş betonlar kırılarak üretilmiştir. Kırılan betonların basınç dayanımlarının iyi bir düzeyde olması, bu betonların üretiminde kullanılan çimento türünün CEM I 42.5 olması ve agrega olarak kırmataş kullanılmış olmasının bu betonlardan dönüştürülen GDA'larında kaliteli bir agrega olmasına neden olduğu görülmektedir. Dolayısıyla GDA'lı numunelerin DOA'lı numunelere kıyasla daha iyi ve KTA'lı numunelere ise daha yakın bir davranış sergilemesinde bu durumun etken bir rol oynadığı düşünülmektedir.

- Tüm bulgular birlikte değerlendirilecek olursa, C25 ve üzeri dayanıma sahip, üretim süreci ile ilgili bilgi sahibi olunan kaliteli betonlardan dönüştürülecek agregalarla, kırmataş veya doğal agregalarla üretilen betonlara benzer performans gösteren yeni betonların üretilebileceği görülmektedir. Bu çalışmada, çalışmanın gerçekleştirildiği döneme denk gelen küresel pandemi süreci nedeniyle hazır beton tesisindeki kalite kontrol numunelerinin çeneli kırıcılarda kırılması yoluyla geri dönüşüm agregası temini gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kentsel dönüşüm betonlarından elde edilen GDA'ların kullanılması ile üretilen betonların KTA ve DOA içeren betonlarla karşılaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A.N., Yerlikaya, M., (2004). Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, Beton 2004 Kongresi Bildiriler, İstanbul.
- [2] Mahmoud, A ve diğ. (2015), High strength Steel Fiber Reinforced Concrete Deep Beams
- [3] Sarı, M. (2013), Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [4] Kozak, M. (2013). Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, SDU Teknik Bilimler Dergisi
- [5] Reported by ACI Committee 544, Report on Fiber Reinforced Concrete (2002)
- [6] Ersoy, H.Y., (2001), Kompozit malzeme, Literatür yayınları:66, İstanbul, Türkiye.
- [7] Durmaz, B. Bölgesel Basınca Maruz Lifli Betonlarda Yatak Mukavemeti Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [8] Noushini, A., Samali, B., Vessalas, K. (2015). Ductility and Damping Characteristics of PVA-FRC Beam Elements, Advances in Structural Engineering, United Kingdom.
- [9] Yaprak, H., Şimşek, O., Öneş, A. (2004). Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi.
- [10] Bunnsell, A.R., (1988). Fiber Reinforcement for Composite Materials, Vol:2 Composite Material Series, Elsevier Science, The Netherlands.
- [11] Biber, Ş. A., 2001. Karmaşık Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [12] Elshafie, S. and Whittleston, G., 2014. “A review of the effect of basalt fibre lengths and proportions on the mechanical properties of concrete”, International Journal of Research in Engineering and Technology, vol. 4, no. 1, pp. 458-465.
- [13] Kabay, N., 2014. “Abrasion Resistance and Fracture Energy of Concretes With Basalt Fiber”, 11 october, 95-101
- [14] Ludovico, M., Prota, A., Manfredi, G., 2010. Structural upgrade using basalt fibers for concrete confinement. Journal of Composites for Construction ASCE, September/October.
- [15] Ersoy, H.Y., 2001. Kompozit malzeme, Literatür yayınları:66, İstanbul, Türkiye.
- [16] Chawla, K.K., 1998. Fibrous Materials, Cambridge University Press, United Kingdom.
- [17] Walraven J., 1999. The Evolution of Concrete, Structural Concrete, P1. No. 1, March, pp.3-11.
- [18] Nis, A., 2017. Mechanical and Rheological Properties of Steel Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete, Boğaziçi University

- [19] TS 10513, 1992. Çelik teller-beton takviyesinde kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [20] Topçu, İ. B., 2006, “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- [21] Agrega Üreticileri Birliği Derneği, 2004, Beton Bileşenleri, Agrega
- [22] Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B., Panarese, W.C., Design and Control of Concrete Mixtures 14th edition
- [23] Emiroğlu, M., 2012, “Lastik agregalı kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Doktora tezi, Yapı Eğitimi Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
- [24] Oktay, H., 2013, Experimental and Theoretical Investigations on Thermophysical Properties of Concrete Produced From Different Aggregates.
- [25] Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D., 2003, Concrete, 2nd Edition, New Jersey, Prentice hall.
- [26] Alexander, M., 2005, Aggregates in Concrete, Taylor & Francis Ltd., London.
- [27] GÜNER, M.S., Malzeme Bilimi Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, 1999, İstanbul.
- [28] Erdoğan, T., 2003, Beton. METU Press, Ankara.
- [29] Ünsal, A. ve diğ., 2008, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Beton Ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri
- [30] Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, TS EN 12350-2
- [31] RILEM TC 50-FMC, Committee of Fracture Mechanics of Concrete Determination of Fracture Energy of Mortar and concrete by Means of Three-Point Bend Tests on Notched Beams, Materials and Structures, 18, 1985
- [32] Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TS EN 12390-3
- [33] Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, TS EN 12390-5
- [34] Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, TS EN 12390-6
- [35] Karayolları Genel Müdürlüğü, A. Ünsal, H. Şen, Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri, Ankara, Türkiye: 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Merve DEMİRALP

Doğum Tarihi ve Yeri: 28.11.1994/ ADANA

Yabancı Dili: İngilizce

E-posta: mdemiralp05@gmail.com

Öğrenim Durumu

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Çukurova Üniversitesi	2016
Lise	Fen Bilimleri	Piri Reis Anadolu Lisesi	2012