

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GERİ DÖNÜŞÜM ARGEGASININ BETON YOL
KAPLAMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Emrah SÜME

**OCAK - 2016
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun / / gün ve sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan :

Üye :

Üye :

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışman hocam Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu tezin oluşumu aşamasında bilgi, birikimi ve tecrübelerinden yararlandığım, gerekli maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili babam Dr. Veli SÜME ve sevgili annem Aynur SÜME'ye,

Tez yazımında hiçbir yardımı esirgmeden her zaman bana destek olan sevgili eşim İnş. Müh. Seçil GÜNGÖR SÜME'ye,

Bu çalışmada, fikirleriyle bana yol gösteren ve yaptığım deneylerde yardımlarını esirgemeyen değerli Öğr. Gör. İnş. Yük. Müh. M. Selçuk GÜNER'e ve İSKA Yapı yönetimine, ayrı ayrı teşekkür ederim.

Emrah SÜME

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Geri Dönüşüm Agregasının Beton Yol Kaplamasında Kullanılabilirliği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, deneyleri/analizleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü ve İSKA Yapı’ya ait laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, yararlandığım kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/01/2016

Emrah SÜME

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Taraması.....	3
1.2.1. İnşaat Yıkıntı Atıkları (İYA) ve Geri Dönüşüm Agregası	3
1.2.2. Tane Boyutu Dağılımı	4
1.2.3. Yoğunluk	5
1.2.4. Su Emme ve Çökme	6
1.2.5. Beton Karışım Oranları ve Basınç Dayanımı	7
1.2.6. Eğilme Dayanımı	11
1.2.7. Elastisite Modülü, Rötne ve Aşınma	12
1.3. Kentsel Dönüşüm Kanunları.....	15
1.4. Geri Dönüşüm Kavramı.....	17
1.5. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Dünya ve Türkiye'deki Durumu.....	18
1.6. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Maliyeti.....	21
1.7. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Yol Altyapısında Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması.....	22
1.8. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Depolanması ve Ücretleri.....	24
1.9. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Ayrıştırılması ve Sınıflandırılması	27
1.10. Ülkemizdeki Toplam Yol Ağı	33
1.11. Beton Yollar.....	34
1.12. Ülkemizde Beton Yolun Durumu	36
1.13. Yurtdışı ve Ülkemizde Yapılan İlk Beton Yol Uygulamaları	37
1.14. Çalışmanın Amacı.....	38

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	41
2.1.	Materyal ve Yöntem	41
2.1.1.	Agrega.....	44
2.1.2.	Agrega Tane Büyüklüğü Dağılımı.....	48
2.1.3.	Agrega Birim Hacim Ağırlığı, Su Emme ve Aşınma Deneyi.....	49
2.1.4.	Çimento.....	50
2.1.5.	Kimyasal Katkı – Süper Akışkanlaştırıcı.....	51
2.1.6.	Mineral Katkı - Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu	52
2.1.7.	Karışım Suyu	53
2.2.	Beton Karışım Hesabının Yapılması	54
2.2.1.	Geri Dönüşüm ve Normal Agregası ile Üretilen Betonun Karışım Tasarımı	54
2.3.	Beton Karışımındaki Bileşenlerin Belirlenmesi	56
2.3.1.	Çökme Miktarının Belirlenmesi	56
2.3.2.	Maksimum Agregası Çapına Kararı Verilmesi	56
2.3.3.	Su Miktarına Kararı Verilmesi.....	57
2.3.4.	Hava Miktarına Kararı Verilmesi	58
2.3.5.	Su/Çimento Oranının Seçilmesi.....	59
2.3.6.	Eşdeğer Çimento Miktarının Belirlenmesi	59
2.3.7.	Kimyasal ve Mineral Katkı Miktarının Belirlenmesi	60
2.3.8.	Geri Dönüşüm ve Normal Agregası Miktarının Belirlenmesi	60
2.4.	Beton Numunelerin Üretilmesi.....	65
2.5.	Beton Numuneler Üzerinde Yapılan Testler	67
2.6.	Geri Dönüşüm Agregalı Beton (GDAB) Numuneler Üzerinde Eğilmede Çekme Dayanımı Testi.....	67
2.7.	Normal Agregalı Beton (NAB) Numuneler Üzerinde Eğilmede Çekme Dayanımı Testi.....	83
2.8.	Geri Dönüşüm Agregalı Beton (GDAB) Numuneler Üzerinde Basınç Dayanımı Testi.....	86
2.9.	Normal Agregalı Beton (NAB) Numuneler Üzerinde Basınç Dayanımı Testi	93
3.	BULGULAR VE İRDELEME	100
3.1.	Giriş	100
3.2.	AASHTO Metodu ile Karayolu Beton Kaplama Tasarımı.....	122
3.3.	Kentsel Dönüşüm Kanunlarının Karşılaştırılması	123

3.4.	İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Maliyet Analizi	124
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	126
5.	KAYNAKLAR	128
6.	EKLER.....	135
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASININ BETON YOL KAPLAMASINDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Emrah SÜME

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
2016, 134 Sayfa, 10 Sayfa Ek

İnşaat yıkıntı atıklarının (İYA) depolama sahalarına döküm ücreti ve nakliye bedeli göz önüne alındığında doğal kaynakların da tüketilmemesi açısından İYA'nın geri dönüşümünün sağlanması gerekmektedir. Depolama sahalarının kapasitesi belli olduğundan bir süre sonra bu sahalar dolmakta ve işlevini yitirmektedir. Bu durum, yeni depolama sahalarının hizmete açılması anlamına gelmektedir. İYA'nın tekrar üretime katılmasıyla, beton üretimi için gerekli olan malzeme tasarrufu sağlanarak yeni depolama alanlarına duyulan ihtiyaç azalacaktır.

Bu çalışmada, kentsel dönüşüm kapsamında oluşacak inşaat yıkıntı atıklarının (İYA) geri dönüşümü sağlanarak beton yol kaplamasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA), %100 normal agregası (NA) ve geri dönüşüm agregasının (GDA) beton karışımına ağırlıkça %20, 40, 60, 80 oranında eklenerek üretilen beton kırıntı ve küp numuneleri, laboratuvar ortamında teste tabi tutularak eğilmede çekme ve basınç dayanımları belirlenmiş ve bulunan değerler karşılaştırılmıştır. GDA kullanım oranı arttıkça beton basınç dayanımının arttığı, eğilmede çekme dayanımının ise inişli çıkışlı bir grafik gösterdiği, %100 TGDA ile üretilen betonun eğilmede çekme ve basınç dayanımı diğer üretilen deney grupları arasında maksimum sonucu verdiği ve beton yol kaplamasında kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kentsel dönüşüm, İnşaat yıkıntı atığı (İYA), Geri dönüşüm agregası (GDA), Beton yol, Eğilmede çekme dayanımı, Basınç dayanımı

Master Thesis

SUMMARY

USABILITY OF RECYCLED AGGREGATE
AS CONCRETE PAVEMENT

Emrah SÜME

Karadeniz Technical University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Consultant: Asst. Prof. Dr. Muhammet Vefa AKPINAR
2016, 134 Pages, 10 Additional Pages

Construction demolition waste should be recycled considering landfill dump fee and the shipping costs. After a certain period of time when the storage area of capacity is full these areas lose their functionality resulting in new landfill services. Participation of recycled waste into the reproduction will provide saving of material required for the production of concrete and will decrease the need for new storage space.

In this study, recycled materials obtained from urban transformation Construction Demolition Waste (CDW) were researched as to be used in concrete pavements. Concrete beam and core samples with %100 cleaned recycled aggregates (CRA), %100 normal aggregates (NA) and by the RA weight of mix %20, 40, 60, 80 substituting instead of NA were subjected to laboratory testing program. Bending tensile strength and compressive strength values were determined and compared. As the RA ratio increases concrete compressive strength increased however the bending tensile strength fluctuated (increases and decreases). Concrete beam and core samples with %100 CRA gave the maximum tensile and compressive strengths. It was also shown that the %100 CRA can be used for concrete road pavements.

Key Words: Urban transformation, Construction demolition waste (CDW), Recycled aggregate (RA), Concrete pavement, Bending tensile strength, Compressive strength

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Yıkımı yapılan betonarme bina	17
Şekil 2. Çömlekçi’de kentsel dönüşüm kapsamında yıkım [42].	20
Şekil 3. Trabzon ilinde kentsel dönüşümle tespit edilen riskli yapı sayısı	21
Şekil 4. 2008-2012 yıllarında faaliyet gösteren İSTAÇ’ın Tuzla-Aydınlı’daki geri kazanım ve depolama tesisi (45.000 m ²) [47].	26
Şekil 5. İnşaat yıkıntı atıklarının geçici biriktirme (ara istasyon) [47].	29
Şekil 6. İnşaat yıkıntı atıklarının geri kazanım tesisinde ayrıştırılması [47].	29
Şekil 7. İnşaat yıkıntı atıklarının eleğe alınması işlemi [47].	31
Şekil 8. İnşaat yıkıntı atıklarının farklı elek gruplarından ayrılan doğal agregalar [47].	32
Şekil 9. Beton ve asfalt kaplamanın gelen trafik yükünü iletmesi [51].	35
Şekil 10. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) için yapılan çalışmaların akış diyagramı	42
Şekil 11. GDA için yapılan çalışmaların akış diyagramı	43
Şekil 12. Basınç dayanım testine tabi tutulan karot numuneleri	45
Şekil 13. Karot numunesinin çekiçle kırılarak temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) temini	45
Şekil 14. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA)	46
Şekil 15. Kentsel dönüşüm kapsamında oluşan inşaat yıkıntı atığı (İYA)	46
Şekil 16. Beton inşaat yıkıntı atığının (İYA) çekiçle kırılarak geri dönüşüm agregası (GDA) temini	47
Şekil 17. Beton inşaat yıkıntı atığından (İYA) geri dönüşüm agregası (GDA) temini	47
Şekil 18. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) granülometri eğrisi.....	48
Şekil 19. Beton geri dönüşüm agregası (GDA) granülometri eğrisi	49
Şekil 20. Doğal şekillenmiş agregalar ile farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı (TS 802), [59].	58
Şekil 21. Agregada en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesaplarında kullanılacak uygun hava içerikleri (TS 802), [59]....	59
Şekil 22. Kiriş numune kalıplarının temizlenmesi ve yağlanması	66
Şekil 23. Kiriş kalıplara %20 GDA ve %80 NA karışım betonunun yerleştirilmesi	66
Şekil 24. Basit kirişteki kayma kuvveti ve eğilme momenti [62].	68
Şekil 25. Basit kirişin bir A elemanı üzerindeki çekme ve eğik çekme kuvvetleri [62].	68

Şekil 26. Betona basınç uygulanmasıyla bir A elemanında oluşan çekme kuvveti [62].	69
Şekil 27. Üç nokta eğilme deneyi yöntemi [62].	70
Şekil 28. Dört nokta eğilme deneyi yöntemi [62].	71
Şekil 29. 1/2 mesafesinden yüklenen kirişteki kesme ve moment diyagramı [62].	72
Şekil 30. 1/3 mesafesinden yüklenen kirişteki kesme ve moment diyagramı [62].	73
Şekil 31. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen 1. beton kiriş numunesi	74
Şekil 32. TGDAB 1. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi	74
Şekil 33. TGDAB 1. numunenin kırılma şekli ve düzlemi	75
Şekil 34. TGDAB 1. numunenin dik kırılma yüzeyi	75
Şekil 35. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen 2. beton kiriş numunesi	76
Şekil 36. TGDAB 2. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi	76
Şekil 37. TGDAB 2. numunenin kırılması	77
Şekil 38. TGDAB 2. numunenin kırılma şekli ve düzlemi	77
Şekil 39. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen 3. beton kiriş numunesi	78
Şekil 40. TGDAB 3. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi	78
Şekil 41. TGDAB 3. numunenin kırılması	79
Şekil 42. TGDAB 3. numunenin kırılma şekli ve düzlemi	79
Şekil 43. %20 GDA ve %80 NA karışım oranında üretilen 1. kiriş numune	80
Şekil 44. %20 GDA ve %80 NA karışım oranında üretilen 1. kiriş numunenin dört nokta eğilmede çekme dayanım testi	80
Şekil 45. %20 GDA ve %80 NA karışım oranında üretilen 2. kiriş numunenin dört nokta eğilmede çekme dayanım testi	81
Şekil 46. %60 GDA ve %40 NA karışım oranında üretilen 3. kiriş numune	81
Şekil 47. %60 GDA ve %40 NA karışım oranında üretilen 3. kiriş numunenin dört nokta eğilmede çekme dayanım testi	82
Şekil 48. Dört nokta eğilmede çekme dayanım testine tabi tutulan GDA ve NA beton karışımlarına ait numuneler	82
Şekil 49. NAB 1. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi	83
Şekil 50. NAB 1. numunenin kırılma şekli ve düzlemi	84
Şekil 51. NAB 2. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi	84
Şekil 52. NAB 2. numunenin kırılma şekli ve düzlemi	85
Şekil 53. NAB 3. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi	85

Şekil 54. NAB 3. numunenin kırılma şekli ve düzlemi.....	86
Şekil 55. Beton kesme makinesi.....	87
Şekil 56. Kiriş numunelerin küp numunelere dönüştürülmesi	87
Şekil 57. TGDAB 1. kiriş numuneden 3 adet küp numune elde edilmesi.....	88
Şekil 58. TGDAB 2. kiriş numuneden 2 adet küp numune elde edilmesi.....	88
Şekil 59. TGDAB 3. kiriş numuneden 2 adet küp numune elde edilmesi.....	89
Şekil 60. TGDAB 1. küp numune basınç dayanımı testi.....	89
Şekil 61. TGDAB 2. küp numune basınç dayanımı testi.....	90
Şekil 62. TGDAB 3. küp numune basınç dayanımı testi.....	90
Şekil 63. TGDAB 4. küp numune basınç dayanımı testi.....	91
Şekil 64. TGDAB 5. küp numune basınç dayanımı testi.....	91
Şekil 65. TGDAB 6. küp numune basınç dayanımı testi.....	92
Şekil 66. TGDAB 7. küp numune basınç dayanımı testi.....	92
Şekil 67. Farklı karışım oranlarında GDA ve NA ile üretilen 12 adet küp numune	93
Şekil 68. NAB 1. kiriş numuneden 2 adet küp numune elde edilmesi	94
Şekil 69. NAB 2. kiriş numuneden 2 adet küp numune elde edilmesi	94
Şekil 70. NAB 3. kiriş numuneden 2 adet küp numune elde edilmesi	95
Şekil 71. NAB kiriş numunelerden 6 adet küp numune elde edilmesi.....	95
Şekil 72. 1. NAB 1. küp numune basınç dayanımı testi.....	96
Şekil 73. 1. NAB 2. küp numune basınç dayanımı testi.....	96
Şekil 74. 2. NAB 3. küp numune basınç dayanımı testi.....	97
Şekil 75. 2. NAB 4. küp numune basınç dayanımı testi.....	97
Şekil 76. 3. NAB 5. küp numune basınç dayanımı testi.....	98
Şekil 77. 3. NAB 5. küp numune basınç dayanımı testi.....	98
Şekil 78. Basınç dayanımı testi sonucu düzgün kırılma yüzeyleri [65].	99
Şekil 79. TGDAB 1. numunenin basınç dayanımı testi sonrası kırılma yüzeyleri.....	99
Şekil 80. Geri dönüşüm agrega birim hacim ağırlığı ile ilgili yapılan çalışmalar.....	107
Şekil 81. Geri dönüşüm agrega su emme kapasitesi ile ilgili yapılan çalışmalar.....	108
Şekil 82. Geri dönüşüm agregası ile ilgili yapılan çalışmalar	109
Şekil 83. Basınç dayanımı ile ilgili yapılan çalışmalar	111
Şekil 84. Eğilmede çekme dayanımı ile ilgili yapılan çalışmalar.....	113
Şekil 85. Elastisite modülü ile ilgili yapılan çalışmalar	114
Şekil 86. Basınç dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi.....	120

Şekil 87. Eğilmede çekme dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi	120
Şekil 88. Eğilmede çekme ve basınç dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi	121
Şekil 89. Geri dönüşüm agrega birim hacim ağırlık değerlerinin grafiksel gösterimi	121

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. İnşaat yıkıntı atıklarının (İYA) maliyetleri [43].....	22
Tablo 2. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) katkılı tasarım oranları [43].....	23
Tablo 3. Dolgu tabakası karışım tasarımı malzeme oranları [43].	23
Tablo 4. İSTAÇ hafriyat sahaları doluluk oranları (Mart, 2015)	25
Tablo 5. Hafriyat toprağı ve inşaat yıkıntı atıklarının ücret tarifesi (2015) [48].....	27
Tablo 6. Yönetmelikte (HTİYAKY, 2004) belirtilen atık türleri [49].	30
Tablo 7. İnşaat yıkıntı atıklarının yaklaşık bileşimi (%) [40].	32
Tablo 8. Satış cinsine göre yol ağı (km) – (KGM, 01.01.2015 tarihi itibariyle) [50].....	34
Tablo 9. Bölünmüş yollar (Km) – KGM (01.01.2015 tarihi itibariyle) [50].....	34
Tablo 10. Deneyde kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal özellikleri.....	50
Tablo 11. Deneyde kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	51
Tablo 12. Deneyde kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkının teknik özellikleri	52
Tablo 13. Deneyde kullanılan öğütölmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri.....	53
Tablo 14. Beton sınıflarına göre karışım hesabında esas alınacak hedef basınç dayanımları (fcm) ile deney numunelerinin sahip olması gereken ortalama basınç dayanımları (TS 802), [59].....	55
Tablo 15. 28 Günlük beton basınç dayanımlarına göre yaklaşık s/ç oranları [59].....	55
Tablo 16. Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme (slamp) değerleri (TS 802) [59].....	56
Tablo 17. Çeşitli yapı elemanları için boyutlara bağlı olarak kullanılacak agrega en büyük tane büyüklükleri (TS 802), [59].....	57
Tablo 18. 1 m ³ 'lük %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen beton için karışım miktarları	62
Tablo 19. 1 m ³ 'lük %100 normal agregası (NA) ile üretilen beton için karışım miktarları ..	63
Tablo 20. 1 m ³ 'lük %20 GDA + %80 NA ile üretilen beton için karışım miktarları.....	63
Tablo 21. 1 m ³ 'lük %40 GDA + %60 NA ile üretilen beton için karışım miktarları.....	64
Tablo 22. 1 m ³ 'lük %60 GDA + %40 NA ile üretilen beton için karışım miktarları.....	64
Tablo 23. 1 m ³ 'lük %80 GDA + %20 NA ile üretilen beton için karışım miktarları.....	65
Tablo 24. Farklı oranlarda üretilen betona ait karışım miktarları.....	65
Tablo 25. Beton sınıfı ve dayanım değerleri [65].....	101

Tablo 26. %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregalı (TGDA) kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri	102
Tablo 27. %100 normal agregalı (NA) kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri	102
Tablo 28. %20 GDA ve %80 NA karışımında kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri	103
Tablo 29. %40 GDA ve %60 NA karışımında kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri	103
Tablo 30. %60 GDA ve %40 NA karışımında kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri	104
Tablo 31. %80 GDA ve %20 NA karışımında kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri	104
Tablo 32. %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregalı (TGDA) küp numuneye ait basınç dayanım değerleri	115
Tablo 33. %100 normal agregalı (NA) küp numuneye ait basınç dayanım değerleri	116
Tablo 34. %20 GDA ve %80 NA karışımında küp numuneye ait basınç dayanım değerleri	116
Tablo 35. %40 GDA ve %60 NA karışımında küp numuneye ait basınç dayanım değerleri	117
Tablo 36. %60 GDA ve %40 NA karışımında küp numuneye ait basınç dayanım değerleri	117
Tablo 37. %80 GDA ve %20 NA karışımında küp numuneye ait basınç dayanım değerleri	118
Tablo 38. GDA ve NA beton karışımlarına ait eğilmede çekme ve basınç dayanım değerleri	119

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	: Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BGDA	: Beton Geri Dönüşüm Agregası
CBR	: Kaliforniya Taşıma Oranı
D_{max}	: Maksimum Agregada Dane Büyüklüğü (mm)
EN	: Avrupa Standardı
f_{ck}	: Karakteristik Beton Basınç Dayanımı
f_{ctk}	: Betonun Eksenel Çekme Dayanımı
f_{cm}	: Hedeflenen Beton Basınç Dayanımı
GDA	: Geri Dönüşüm Agregası
GDAB	: Geri Dönüşüm Agregada Beton
GDBA	: Geri Dönüşüm Beton Agregası
GDSTDHA	: Geri Dönüşüm Seramik Tuğla Duvar Harç Agregası
HTİYAKY	: Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (2004)
İSFALT	: İstanbul Asfalt Fabrikaları San. Tic. A.Ş.
İSTAÇ	: İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.
İYA	: İnşaat Yıkıntı Atığı
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
kN	: Kilonewton
MPa	: Megapaskal (N/mm^2)
NA	: Normal Agregada
NAB	: Normal Agregada Beton
PVC	: Polivinil Klorür
RB	: Referans Beton
TÇMB	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TGDA	: Temizlenmiş Geri Dönüşüm Agregası
TGDAB	: Temizlenmiş Geri Dönüşüm Agregada Beton
THBB	: Türkiye Hazır Beton Birliği
TOKİ	: T.C. Başbakanlık Toplu Konut İdaresi
TS	: Türk Standardı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan binaların getirmiş olduğu inşaat yıkıntı atıklarının çevresel faktörler de göz önüne alınarak bu atıkların uygun verimlilikle kullanılması ihtiyacı doğmuştur. Oluşan inşaat yıkıntı atıklarının ve molozlarının geri kazanımı doğal agrega ocaklarının çevresel etkileri göz önüne alındığında çok yararlı bir işlem olarak ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'nin büyük şehirlerinde insanların konut ihtiyacı büyük oranda artmaktadır. Bu ihtiyacın hızlı bir şekilde karşılanamaması gecekondulaşmayı beraberinde getirmekte, güvenli olmayan, depreme dayanıksız yapılaşmanın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin başlıca sorunlarından bir tanesi olan çarpık kentleşme, deprem gerçeği ile bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, 16.05.2012 tarihli 6306 sayılı "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun" çıkarılmış ve bu konuda ilk ciddi adım atılmıştır.

Kentsel dönüşüm çalışmalarının başlaması ile birlikte özellikle agrega olarak inşaat malzemesi tedariki sorunu ortaya çıkmıştır. Bu sebeple, inşaat yıkıntı atıklarının geri kazanımı, içindeki plastik, ahşap ve tahta gibi bazı malzemelerin ayrılması gerekmektedir. Kuru sistem ve yöntemlerle yabancı maddeleri ayırmak ve yüksek kaliteli inşaat malzemesi elde etmek, en uygun ve ekonomik yol olacaktır.

Yıkım malzemesi olan molozlar önemli bir yapı malzemesidir. Hazır beton üretiminde agrega ve yol altyapısında dolgu malzemesi olarak kullanılması malzeme bulma açısından ve inşaat yıkıntı atıklarının bertarafı da düşünüldüğünde önemli bir kaynaktır. Aynı şekilde yıkımı yapılacak binanın bütünündeki diğer malzemeler de (beton ve yapı çeliği hariç) geri dönüştürülebilir.

Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi'nin 2009 yılı raporuna göre, inşaat ve yıkıntı atıklarının (İYA) agrega olarak, İngiltere, Hollanda, Belçika, İsviçre ve Almanya'da büyük oranda geri kazanıldığı ancak Türkiye'nin Avrupa ülkeleri arasında 17. sırada olması geri kazanım konusunda kayda değer bir gelişme gösteremediği anlamına gelmektedir [1]. Doğal agregalar; dere yataklarından, denizlerden, çöllerden ve taş ocaklarından elde edildikleri için dünya genelinde tüm maden üretimi içinde %58'lik payla

birinci sırayı alan agregaların (agreganın ortalama kişi başı kullanımı Avrupa’da yıllık 7 ton/kişi ve Türkiye’de 4 ton/kişi) büyük miktarda bu kaynaklardan alınmasının önümüzdeki yıllarda dünyayı ekolojik yönden olumsuz etkileyeceği bilinmektedir ve doğal agrega kaynakları tükenme riski ile karşı karşıyadır [2].

Kentsel dönüşümle ekonomik ömrünü tamamlamış yapıların yıkılması ve depremden dolayı oluşan moloz ve inşaat atıklarını özellikle büyük şehirlerde, şehir dışına taşımak önemli bir nakliye masrafı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nakliye esnasında yakıt sarfiyatı, araçlardan çıkan egzoz dumanıyla çevrenin kirlenmesi, yüklü araçların trafiğe ve yollara vereceği zararlar, iş ve zaman kaybı küçümsenmeyecek boyuttadır [2]. Bu kadar fazla miktarda ihtiyaç olan agrega kaynaklarının tüketilmesi ve inşaat yıkıntı atıklarının çevreye verdiği zararlar, geri kazanılmış agreganın kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Örneğin, İstanbul’da kentsel dönüşümle beraber artan inşaat faaliyetleriyle birlikte yıllık agrega tüketimi yaklaşık 140 milyon ton civarındadır. İstanbul’da doğal agrega kaynaklarının beton ve asfalt üretim tesisleri ile yeni inşaat alanlarına olan mesafesi 60-85 km. arasında değişmekte olup, bu kaynakların da azaldığı düşünüldüğünde alternatif ocakların beton ve asfalt üretim tesisleri ile yeni inşaat alanlarına olan mesafesi 110-165 km. arasında değişecektir [2].

Geri kazanılmış beton agregalarının ve içinde kullandıkları betonun özelliklerini belirlemek amacıyla pek çok araştırma yapılmıştır. Bu konuda Türkiye’de de son yıllarda çalışmalar yapılmıştır ve özellikle İstanbul’da kentsel dönüşüm çerçevesinde açığa çıkacak inşaat yıkıntı atıklarının beton üretiminde kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Hem beton üretiminde, hem dolgu malzemesi olarak yol altyapısında kullanılmasında, hem de yapı çeliğinin ağır sanayide geri kazanımı yapılarak ham madde olarak kullanılmasında inşaat yıkıntı atıklarının yeri ve önemi doğal kaynaklar açısından gereklidir. Kentsel dönüşüm açısından inşaat sektörünün büyüklüğü ve yapıların yıkılması sırasında çıkacak betonların değerlendirilmesi için agrega geri kazanım tesislerinin acilen Türkiye’de de kurulması gerekmektedir.

1.2. Literatür Taraması

1.2.1. İnşaat Yıkıntı Atıkları (İYA) ve Geri Dönüşüm Agregası

Hafriyat Toprağı, İnşaat Yıkıntı Atıkları Kontrolü Yönetmeliği (HTİYAKY, 2004) ile hafriyat toprağı ile inşaat ve yıkıntı atıklarının çevreye zarar vermeden öncelikle kaynakta azaltılıp toplanmasını, geçici istasyonlarda biriktirilmesini, taşınmasını ve geri kazanılmasını, değerlendirilmesini ve bertaraf edilmesine ilişkin teknik ve idari hususlar ile uyulması gereken genel kuralları düzene sokmak amacıyla 2004 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından faaliyete geçirilmiştir [3].

Hafriyat Toprağı, İnşaat Yıkıntı Atıkları Kontrolü Yönetmeliği (HTİYAKY, 2004), atıkların kaynağında en aza indirilmesini, çevre ve insan sağlığına olabilecek zararlı etkilerinin azaltılması için gerekli tedbirlerin alınmasını, hafriyat toprağı ile inşaat ve yıkıntı atıklarının (İYA) geri kazanılması ve özellikle alt yapı malzemesi olarak yeniden değerlendirilmesini ve birbiriyle karıştırılmamasını, atıkların kaynağında ayrılması ve yıkımı yapılacak alt ve üst yapıların yıkım öncesi ve esnasında içindeki yabancı ve geri kazanımı olanaksız maddelerden ayıklanarak yıkımın belirli ölçülerde ve kontrollü olarak yapılmasını amaçlamaktadır [3].

İnşaat yıkıntı atıklarından (İYA) elde edilebilecek beton atığı oranı konusunda, Lauritzen ve Jannerup [4], 100-150 metrekare oturma alanına sahip bir evin yıkılması sonucu, evin ağırlığının %40'ının yani 56 tonluk bir beton atığının oluşabileceğini hesaplamışlardır. Oikonomou [5], bir yıkıntıdan elde edilebilecek beton miktarının maksimum %40 olabileceğini, Huang vd. [6] ise Hong Kong'da inşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilebilecek beton atık miktarının yaklaşık %50 olduğunu belirlemişlerdir.

Elias Özkan [7], Türkiye'de eski binaların yıkılıp yerlerine yeni yapıların yapılacağı kaçınılmaz olduğunu, genelde belediyelerden izinsiz ve namüsaıt yerlere bu moloz yığınlarının atıldığını ve bunu önlemek amacıyla moloz dökümü yapılan bölgelerde hareketli tesislerin kurularak yapıda kullanılmayan geri dönüşüm agregasının üretilmesi gerektiği önerilmiştir.

Oikonomou [5], ekonomik ömrü tamamlanan binalar ile doğal afetler sonucu yıkılan binalardan elde edilen geri kazanılmış beton agregasının kullanım alanları ile uygunluk

kriterlerini araştırmış ve geri dönüşüm agregasının kullanımının çevreye olumlu katkı sağlayacağı sonucuna varmıştır.

Rakshvir ve Barai [8], geri dönüşüm agregasının (GDA) doğal agregadan farklı davrandığını ve GDA ile üretilen betonların da kendine özgü davranışlar gösterdiğini, Tu vd. [9], geri dönüşüm agregası ile yüksek dayanımlı beton üretmek için 10 grup deney yapmıştır. Yapılan deneyler sonucu, GDA'nın birim ağırlığı, elek analizi, kuru birim ağırlığı, su emme kapasitesi ve aşınmasının genellikle doğal agregadan daha kötü olduğunu tespit etmiştir. GDA'nın bu kötü durumuna rağmen, GDA ile normal agreganın (NA) birlikte kullanılması sonucu yüksek dayanımlı beton üretmişlerdir [9].

Köken vd. [10], Konya İnşaat Mühendisleri Odası Şubesi tarafından test edilen numunelerin silindir basınç dayanımları 20 MPa olan 28 günlük beton numune atıklarının konkasör yardımıyla kırılarak elde edilen geri dönüşüm agregasının (GDA) beton içerisinde agrega olarak kullanılabilirliğini bazı deneysel çalışmalar yaparak araştırmış ve GDA ile üretilen betonlarda GDA kullanım oranı arttıkça beton basınç dayanımında azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Gomes vd. [11], yaptıkları çalışma boyunca normal agrega (NA) olarak kalker agregası ve beton geri dönüşüm agregası (GDA) olarak da laboratuvar ortamında hazırlanan prizmatik hazır beton karışım numunelerinin konkasör yardımıyla 35 günde ezilip öğütülmesiyle elde edilen agregayı kullanmıştır. Diğer agrega grubu olarak da sahada yaklaşık 6 aylık duvar yıkıntı atığından elde edilen seramik duvar artı harç agregalarının beton içerisinde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve GDA'nın beton içerisinde kullanım oranı arttıkça betonun basınç dayanımının azaldığını belirlemişlerdir.

1.2.2. Tane Boyutu Dağılımı

Köken vd. [10], Kılıç [12], Durmuş vd. [13] ve Köroğlu ve Köken [14], iri geri dönüşüm agrega (GDA) maksimum tane büyüklüğünü 16 mm, Demirel ve Şimşek [15] ise 28 günlük C30 atık betonundan elde edilen GDA maksimum tane büyüklüğünü 22,4 mm olarak almıştır. Gomes vd. [11], Faury metodu yardımıyla yapay bir eğri hesaplamış ve bu metodu elektteki tüm iri agrega için kullanarak bütün iri agrega tiplerinde malzemelerin tane boyutu dağılımını ve maksimum agrega tane boyutunu 25 mm olarak almıştır.

1.2.3. Yoğunluk

Köken vd. [10], ince ve iri geri dönüşüm agregası (GDA) özgül ağırlıklarını sırasıyla 2,69 ve 2,67 gr/cm³ olarak, Köroğlu ve Köken [14], ince ve iri GDA birim hacim ağırlığını sırasıyla 1,82 ve 2,28 gr/cm³ olarak, Demirel ve Şimşek [15] ise araştırmada kullanılan GDA yoğunluklarını 2,52 ile 2,60 gr/cm³ arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Demir [16], GDA ile üretilen betonların yoğunluğunun normal agregası (NA) ve NA ile üretilen betonlara göre daha düşük olduğunu tespit etmiştir.

Durmuş vd. [17], iri geri dönüşüm agregası (GDA) özgül ağırlığı ortalamasını 2,17 gr/cm³ ve normal agregası (NA) özgül ağırlığını ise 2,69 gr/cm³ bularak beton karışımında geri dönüşüm agregası (GDA) kullanım miktarı arttıkça betonun birim hacim ağırlığının azaldığını, Durmuş vd. [13] ise geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) görünür özgül ağırlığı ve su emmesinin literatür sınırlarının dışına çıktığını, özgül ağırlığın daha düşük olmasının GDBA'nın boşluklu yapısından kaynaklandığını belirlemişlerdir.

Gomes vd. [11], I ve II nolu micirin doymuş kuru yüzey birim hacim ağırlığını sırasıyla 2,59 ve 2,57 kg/dm³, iri geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) ve iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) doymuş kuru yüzey birim hacim ağırlığını ise sırasıyla 2,53 ve 2,30 kg/dm³ olarak, I ve II nolu micirin etüv kurusu birim hacim ağırlığını ise sırasıyla 2,57 ve 2,55 kg/dm³, iri geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) ve iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) etüv kurusu birim hacim ağırlığını da sırasıyla 2,45 ve 2,16 kg/dm³ olarak ölçmüş ve iri GDSTDHA'nın en düşük birim hacim ağırlığa sahip olduğunu belirlemiştir [11].

Gomes vd. [11], iri normal agreganın (NA) birim hacim ağırlığının iri geri dönüşüm agregasından (GDA) yüksek olduğunu ölçmüş ve bunun en önemli nedeni olarak da iri geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) içindeki beton hamuru ve iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) içindeki harç miktarına da bağlı olarak çimento hamurundan kaynaklandığını savunmuştur [11].

Araştırmalara göre, inşaat yıkıntı atıklarından (İYA) oluşan saf beton malzemesi ile elde edilen geri dönüşüm agregasının (GDA) özgül ağırlığı ile karışık beton malzemesinden elde edilen GDA'nın özgül ağırlığı birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla, GDA ve GDA ile üretilen betonların yoğunluğu, normal agregası (NA) ve NA ile üretilen betonların yoğunluğuna göre çok daha düşük çıktığı söylenebilir.

1.2.4. Su Emme ve Çökme

Köken vd. [10], ince geri dönüşüm agregası (GDA) (0-4 mm) ortalama su emme değerini %10,64 ve iri GDA (4-16 mm) ortalama su emme değerini ise %4,62 olarak tespit etmiştir. Rakshvir ve Barai [8], GDA'nın su emme kapasitesinin normal agregadan (NA) fazla olduğunu, Demir [16], iri ve ince GDA'nın NA'ya göre daha yüksek su emme kapasitesine sahip olduğunu belirlemiştir.

Durmuş vd. [17], iri geri dönüşüm agregasının (GDA) (4-16 mm) su emme değeri ortalamasının %5,49 olduğunu, normal agreganın (NA) su emme değeri ortalamasının ise %0,41 olarak tespit etmiştir. Nealen ve Rühl [18], geri dönüşüm beton agregası (GDBA) ile üretilen betonların rijitliklerini arttırmak için süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesi kullanılarak GDA'nın sahip olduğu fazla su emme kapasitesini azaltılmanın mümkün olabileceğini savunmuştur.

Topçu ve Şengel, [19], %50'den fazla geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) kullanımının işlenebilirliği azalttığını belirlemiş, Köroğlu ve Köken [14], ince ve iri geri dönüşüm agregasının (GDA) su emme kapasitesini sırasıyla %17,74 ve 6,91 olarak bulmuşlardır. Evangelista ve De Brito [20], ince normal agrega (NA) su emme oranının %1 ve ince GDBA su emme oranını %13 olarak tespit etmiştir.

Gomes vd. [11], I ve II nolu mıcırın su emme kapasitesini sırasıyla %2,21 ve 2,29, iri geri dönüşüm beton agregası (GDBA) ve iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) su emme kapasitesini sırasıyla %8,49 ve 16,34 olarak tespit etmişlerdir. İri normal agregaya (NA) göre iri geri dönüşüm agregasının (GDA) yüksek su emme kapasitesine sahip olduğunu, bunun sebebi olarak GDBA ve GDSTDHA muhtevasında bulunan sertleşmiş çimento hamurunun çok fazla su emmesinden kaynaklandığını ve GDA'nın NA'ya göre daha pürüzlü yüzeye sahip olduğunu belirlemişlerdir [11].

Demirel ve Şimşek [15], ince geri dönüşüm agregasının (GDA) (0-4 mm) ortalama su emme değeri %13,7 ve iri GDA (4-22,4 mm) ortalama su emme değerini de %6,2 olarak bulmuş ve iri GDA ile üretilen bütün beton karışımların çökme değerlerini 8 ila 9 cm arasında, ince GDA ile üretilen bütün beton karışımlarının çökme değerini 8 ila 12 cm arasında, iri ve ince GDA ile üretilen bütün beton karışımlarının çökme miktarını 7 ila 10 cm arasında değişiklik gösterdiğini, %100 kalker agregası ile üretilen taze beton karışımlarının çökme değerinin 14 cm, %100 GDA ile üretilen betonun çökme değerinin

ise 10 cm olduğunu tespit etmiştir [15]. Bütün karışımlarda GDA oranı arttıkça çökmenin azaldığını, işlenebilirliğin olumsuz yönde etkilendiğini ve bunun nedeni olarak da GDA yüzeyinin pürüzlü, keskin köşeli ve gözenekli olmasından kaynaklandığını ifade etmektedir [15].

Demirel ve Şimşek [21], iri geri dönüşüm agregası (GDA) ile üretilen bütün beton karışımların çökme değerlerini 8 ila 9,5 cm arasında, ince GDA ile üretilen bütün beton karışımların çökme değerinin 7 ila 11 cm arasında değiştiğini, %100 kalker agregası ile üretilen taze beton karışımlarının çökme değerini 12 cm, %100 GDA ile üretilen betonun çökme değerinin ise 7 cm olduğunu belirlemiştir [21]. Ayrıca, agrega tanelerine yapışık olan çimento parçalarından ötürü özellikle de ince GDA içerisindeki çimento tanelerinden dolayı su emme kapasitesini normal agregaya (NA) göre yükselttiğini ve bu durumun GDA ile üretilen betonlarda karışım suyu miktarını arttırdığını ancak yapışık olan çimento parçalarından dolayı da çimento hamuruyla aderansını arttırdığını tespit etmiştir [21].

Gomes vd. [11], geri dönüşüm agregası (GDA) ve normal agrega (NA) ile elde edilen betonların karışım bileşimi için C30/37 beton sınıfında ve işlenebilirliği için ise çökmesinin 80 ± 15 mm olmasını arzu etmişlerdir. Sonuç olarak, iri ve ince taneli GDA, NA'ya göre daha yüksek su emme kapasitesine sahip olduğunu belirlemiştir.

1.2.5. Beton Karışım Oranları ve Basınç Dayanımı

Günçan [22], %0, 30, 50, 60, 70 ve 100 karışım oranlarında C16 beton sınıfında eski beton atığı içeren beton numuneler üretmiş ve bu numuneleri bazı deneylere tabi tutması sonucu beton karışımı içindeki eski beton atığı miktarının artmasıyla betonun dayanımının ve birim hacim ağırlığının azaldığını tespit etmiştir.

Rakshvir ve Barai [8], beton karışımında kullanılan geri dönüşüm agregası (GDA) oranı arttıkça betonun basınç dayanımının %10 azaldığını belirlemiştir. Durmuş vd. [17], kırma iri agrega yerine %0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 100 oranlarında iri geri dönüşüm beton agregası (GDBA) kullanarak üretilen beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları, birim ağırlık ve su emme oranlarını belirlemiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre, %30 oranına kadar iri GDBA'nın beton üretiminde kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Zankler [23], %30'a kadar geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) kullanılabileceğini, üretilen yeni betonun işlenebilirliğinin istenilen seviyede olması için akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesinin ilavesi edilmesi gerektiğini savunmuştur. de

Brito vd. [24], iri normal agregası (NA) yerine iri seramik tuğlanın 1/3, 2/3 ve 3/3 oranında beton karışımına ikame edilerek üç adet geri dönüşüm agregası (GDA) ile üretilen beton ile referans beton (RB) karşılaştırmak için basınç dayanımlarını tespit etmişlerdir. GDA ile üretilen beton RB gibi aynı slump değerine ve etkili s/ç oranına ve her iki agregası tipi için de aynı gradasyon eğrisine sahip olduğunu, %100 seramik iri agregası ile üretilen betonun basınç dayanımının %100 iri kalker agregası ile üretilen RB'den %45 daha düşük çıktığını tespit etmiştir [24].

Evangelista ve de Brito [20], aynı slump değerine ve etkili su/çimento oranına sahip referans beton (RB) gibi %10, 20, 30, 50 ve 100 oranlarında ince geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) ikame edilmesiyle üretilen 5 adet geri dönüşüm agregası (GDA) ile üretilen beton ile 1 adet %100 normal agregadan (NA) elde edilen RB üretmişlerdir.

Durmuş vd. [13], C20, C25, C30, C35 sınıflarında betonlar üretmiş ve bunların mühendislik özellikleri incelendikten sonra betonların kırılarak geri dönüşüm beton agregası (GDBA) elde etmişlerdir. Bu GDBA kullanılarak tekrar C20, C25, C30, C35 sınıflarındaki beton numuneler üretmişler ve bu sınıftaki betonlar üzerine birim ağırlık, ultra ses ve basınç deneyleri gerçekleştirerek GDBA'nın kullanılabilirliğini ve beton sınıflarındaki etkilerini araştırmışlardır. GDBA ile üretilen beton sınıflarındaki numunelerin bir alt sınıftaki hedef dayanıma ulaştığını, %100 GDBA beton üretiminde kullanılmak istenildiğinde tasarlanan beton sınıfının bir üst sınıfa göre karışım hesabı yapılması gerektiğini savunmuşlardır [13].

Köroğlu ve Köken [14], 28 günlük beton basınç dayanımı 10 MPa olan atık betonların öğütülerek geri dönüşüm agregası (GDA) haline getirilerek mekanik ve fiziksel özellikleri incelemiş ve kırmataş agregadan üretilen beton karışımına %0, 50 ve 100 oranlarında GDA karışımına ikame edilerek üretilen beton numuneleri üzerine yapılan deneyler sonucunda 10 MPa silindir basınç dayanımına sahip kötü betonlardan elde edilen GDA'nın taşıyıcı olmayan betonlarda kullanılabileceğini savunmuşlardır [14]. Betonda kullanılan GDA miktarı arttıkça üretilen betonun 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımının düştüğünü, betonda GDA miktarı arttıkça betonun yarmada çekme dayanımının da azaldığını tespit edilmiştir. Ayrıca, kimyasal katkı maddesi kullanılmadan tamamen GDA ile üretilen betonun 28 günlük basınç dayanımının 11,2 MPa olarak elde edildiğini, daha yüksek dozajlı, su/çimento oranı daha düşük, farklı gradasyon eğrilerine sahip agregaların denenerek ve kimyasal katkı maddesi kullanarak betonun dayanımının artırılabilceğini savunmuşlardır [14].

Köken vd. [10], birinci grupta, kullanılan agreganın tamamen geri dönüşüm agregası (GDA), ikinci grupta kum (0-4 mm) olarak kırma taş agrega ve iri agrega olarak GDA (4-16 mm), üçüncü grup karışımında ise agreganın tamamı kırma taş agregadan kullanılarak üç farklı deney grubu oluşturmuştur. 28 günlük beton basınç dayanımlarına göre incelediğinde, %100 GDA ile üretilen 1. karışımın beton basınç dayanımı, %100 kırma taş agrega ile üretilen 3. karışımından %33, GDA'nın %61 oranında kullanıldığı 2. karışımın beton basınç dayanımı ise %100 kırma taş agrega kullanılarak hazırlanan 3. karışımından %18 daha az çıktığını ve beton karışım oranında kullanılan GDA miktarı arttıkça 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımının düştüğünü tespit etmiştir.

Demirel ve Şimşek [15], 28 günlük C30 sınıfı beton numunelerin kırılıp elenmesi sonucu 0-4 mm ve 4-22,4 mm boyutunda geri dönüşüm agregası (GDA) elde etmiş ve kırma agrega gruplarının %0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 100 oranlarında ağırlıkça azaltılıp yerine GDA ilave edilerek C25 sınıfında beton üretimi yapmayı amaçlamıştır. Araştırmada çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül ve çimento miktarının ağırlıkça %1.2'si oranında süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanmışlardır. Yapılan deney grupları içinde iri GDA ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, en yüksek dayanımın 31 MPa ile iri GDA'nın karışıma %10 oranında ikame edilmesiyle elde edilen betonun verdiği, en düşük dayanımın ise 27 MPa'lık değerle iri GDA'nın karışıma %50 oranında ikame edilmesiyle elde edilen betonun verdiği belirlenmiştir [15]. İnce GDA ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, en yüksek dayanımın 29 MPa ile ince GDA'nın karışıma %10 oranında ikame edilmesiyle elde edilen betonun verdiği, en düşük dayanımın ise 25 MPa'lık değerle ince GDA'nın karışıma %40 oranında ikame edilmesiyle elde edilen betonun verdiği belirlenmiştir. İri ve ince GDA ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında ise, en yüksek dayanımın 30 MPa ile iri ve ince GDA'nın karışıma %30 oranında ikame edilmesiyle üretilen betonun verdiği, en düşük dayanımı ise 25 MPa'lık değerle iri ve ince GDA'nın karışıma %50 oranında ikame edilerek üretilen betonun verdiği belirlenmiştir [15].

Demir [16], geri dönüşüm agregasının (GDA) betonun elastisite modülü ve dayanım değerlerini normal agregaya (NA) göre azalttığını belirlemiştir. Kılıç [12], imar nedeniyle yıkılan bir binadan alınan malzemelerin temizlendikten sonra kırılarak elde edilen GDA ile üretilen betonların karışımındaki su miktarını azaltması bakımından yüksek oranda su azaltıcı özelliği olan süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkının betonda kullanılmasıyla, betonun çökme değerlerinde %22, basınç dayanımında %22 ila 49 arası ve ultrases geçiş

hızında %2,7 ila 6 arası oranlarında artış olduğunu, özellikle de basınç dayanımını ciddi bir şekilde arttırdığını, GDA'nın belirli oranlarda NA ile karıştırılarak ve kimyasal katkı kullanılarak taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılabileceğini savunmuşlardır [12].

Santos vd. [25], ürettikleri referans betonun (RB) su/çimento oranı 0,55 ve çökme değeri 62 mm olan kirişler ve iki adet normal agregası (NA) kullanılmadan bir stadyum yıkıntısındaki betonun öğütülmesiyle elde edilen geri dönüşüm beton agregası (GDAB) ile üretilen betonun basınç dayanımlarını karşılaştırmıştır. Farklı su/çimento oranlarında (0,55 ve 0,63) ve çökme değerleri (18 mm ve 62 mm) ve basınç dayanımları tespitleri RB için 38,4 MPa ve GDAB ile üretilen betonun basınç dayanımını sırasıyla 38,4 ve 32,7 MPa olarak tespit etmişlerdir.

Matias vd. [26], bir referans beton (RB) ile iki geri dönüşüm agregası (GDA) ile elde edilen betonu karşılaştırmıştır. Agregası tipleri, aynı slump değerine ve aynı gradasyon eğrisine sahip olup, iri GDA'nın tamamen karışıma ikame edilmesiyle oluşturmuştur. İri GDA'nın sakıncalarından (özellikle su emme oranı yüksek) kurtulmak için iki farklı süperplastikleştirici kullanmıştır. Sonuç olarak; önceki araştırmaların sonuçlarını doğrulayan fakat ince agregası yerine iri agregası kullanılmasına rağmen buradaki başlıca nedenin muhtemelen süperplastikleştirici kullanılmasından kaynaklandığını, basınç dayanımının çeşitli beton karışımlarında aynı değere sahip olduğunu ve karışıma ikame edilen agregası oranlarının veya süperplastikleştirici tipinin etkisi olmadığını belirlemiştir [26].

Gomes vd. [11], iri geri dönüşüm beton agregası (GDBA) ile ya da iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar + harç agregasının (GDSTDHA) ve her ikisinin normal agregası (NA) ile ağırlıkça değiştirildiği zaman betondaki değişimini gözlemlemiştir. İri NA yerine iri geri dönüşüm agregasının (GDA) farklı karışım oranlarına göre ikame edilerek beton karışım bileşimlerini hazırlamışlar ve deneye tabi tutmuşlardır. Ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %12,5, 25, 50 ve 100, iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %6,25, 12,5, 25 ve 50, iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %6,25'i ve ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %12,5'i, iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %12,5'i ve ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %25'i ve iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %25'i ve ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %50'si karışım oranlarında ikame edilmesiyle değişik karışım oranlarında ve agregası tiplerinde beton üretmişlerdir [11].

Gomes vd. [11], araştırmasında yukarıda verilen karışım türü başına 6 adet numune üreterek 28 günlük kür havuzunda beklettikten sonra basınç dayanımı testine tabi

tutmuştur. İri geri dönüşüm agregası (GDA) ile iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) eş zamanlı dahil edildiği karışımlar ile üretilen betonların basınç dayanımının ilginç sonuçlar verdiğini ifade etmiştir. Her iki agrega tipinden yani iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %25'i ve ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %50'sinin toplamda da ağırlıkça %75 oranında beton karışımına dahil edilmesiyle elde edilen beton numunesinin basınç dayanımının 45,81 MPa'lık sonuç ile iri GDA'nın ağırlıkça %25 oranında ikame edilmesiyle elde edilen betonun 45,86 MPa'lık basınç dayanımı değeri ile hemen hemen aynı sonucu verdiğini tespit etmiştir [11].

Gomes vd. [11], iri geri dönüşüm agregasının (GDA), iri GDA ile birlikte iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) beton karışımına aynı anda eklenmesi ile basınç dayanımı üzerinde hiçbir etkisi olmadığını belirlemiştir. Ancak, sadece iri GDSTDHA dahil edildiğinde basınç dayanımında ciddi bir azalma olduğunu, iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %50'sinin beton karışımında agrega olarak kullanıldığı zaman basınç dayanımında %23,6 azalma olduğunu belirlemiştir [11].

1.2.6. Eğilme Dayanımı

de Brito vd. [24], eğilmede çekme dayanımı belirlemek amacıyla yapılan üç küçük plaka (5x40x60 cm) içerisine beton karışımları yerleştirilmiş ve çekme dayanımının seramik agregaların kalker agregaların yerine yüksek oranda ikame edilmesiyle azaldığını, bu sonuçlarla basınç dayanımı ile çekme dayanımı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu, çekme dayanımının normal agrega (NA) ile üretilen kırıtlara göre %26 daha düşük çıktığını belirlemişlerdir.

Evangelista ve de Brito [20], %30 ve 100 oranlarında ince geri dönüşüm agregasının (GDA) karışıma ikame edilmesiyle 2 adet GDA ile elde edilen beton üretmişlerdir. %30 oranında ince GDA'nın ikame edilmesiyle elde edilen betonun referans betona (RB) göre %5 daha kötü performansa sahip olduğunu, %100 oranında ince GDA'nın karışıma ikame edilmesiyle elde edilen betonun RB'ye göre %30 daha kötü dayanıma sahip olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, bu tutarsızlıklar ince normal agrega (NA) ile ince GDA'nın birlikte kullanılmasıyla üretilen betonlarda özellikle çimento eklenmesinden dolayı daha yararlı olmadığı, çok boşluklu yapısından dolayı karışıma katılan ince GDA miktarının artmasıyla çekme dayanımının azaldığını [20], Matias vd. [26] ise 3 adet numuneye ait çeşitli karışımların ve yarmada çekme dayanımı ortalamasının 4,41 MPa olduğunu, farklı

süperplastikleştiricilerle üretilen geri dönüşüm betonlarında ise %5 ve 16 arasında bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir [26].

Olorunsogo [27], %30, 50, 70 ve 100 oranlarında ikame edilerek %90'dan fazla beton ve harç içeren iri geri dönüşüm agregası (GDA) ile üretilen betonun 28 günlük eğilmede çekme dayanımı sırasıyla %30'luk karışım için 7,8 MPa, %50'lik karışım için 7,3 MPa, %70'lik karışım için 6,3 MPa ve %100'lük karışım için ise 7,8 MPa değerine ulaştığını belirlemişlerdir [27]. Referans betonun (RB) eğilmede çekme dayanımı ise 7,8 MPa olarak tespit etmişlerdir. Bu sonuçlara göre, çeşitli karışım oranlarında üretilen GDA ile elde edilen beton ile RB arasında eğilmede çekme dayanımı açısından bir farklılık olmadığını ve aynı değere sahip olduğunu belirlemişlerdir. İri GDA kullanılarak üretilen betonların çekme dayanımı RB'nin çekme dayanımı ile benzerlik gösterdiği, seramik agrega ile üretilen beton sonuçları ise bu özelliği azaltmaktadır [27].

Gomes vd. [11], bütün karışım oranları başına 3 adet numune hazırlamış ve bunların yarmada çekme dayanım ortalamalarını, ezilmiş betondan elde edilen iri geri dönüşüm agregasının (GDA) ağırlıkça %50 ve 100 karışım oranında ikame edilmesiyle ürettikleri betonlar için sırasıyla 3,23 MPa ve 3,08 MPa, iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar + harç agregasının (GDSTDHA) ağırlıkça %25 ve 50 karışım oranında ikame edilmesiyle ürettikleri betonlar için sırasıyla 3,01 MPa ve 2,58 MPa, iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %12,5'i ve ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %25'i karışım oranında ikame edilmesiyle ürettikleri beton için 2,65 MPa ve referans beton için ise 3,23 MPa değerini ölçmüşlerdir. Sonuçlar olarak, betonun yarmada çekme dayanımı, nihai çekme dayanımı ve çimento hamurunun agregaya yapışmasıyla ilişkili olarak normal agrega yüzeyinden etkilendiğini savunmuşlardır [11].

Gomes vd. [11], iri geri dönüşüm beton agregası (GDBA) eklenmesi ile yarmada çekme dayanımında bir farklılık olmadığını, ancak iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar + harç agregasının (GDSTDHA) eklenmesi ile bu dayanımın değiştiğini ve iri GDSTDHA'nın %50'si beton karışımında kullanılmasıyla çekme dayanımında %20,1 azalma olduğunu tespit etmiştir. [11].

1.2.7. Elastisite Modülü, Rötire ve Aşınma

Santos vd. [28], 1 adet referans beton (RB) ile iri geri dönüşüm agregası (GDA) ile üretilen 2 adet betonun 32 günlük elastisite modülü değerlerini karşılaştırmışlardır. %100

iri GDA ile üretilen betonların elastisitesinde %22 ve 33 oranında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Kou vd. [29], inşaat yıkıntı atıklarından (İYA) elde edilen iri geri dönüşüm agregasının (GDA) %0, 20, 50 ve 100 oranlarında beton karışımında kullanılması ile üretilen betonların elastisite modülü üzerinde çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, %100 iri GDA kullanılarak üretilen betonun 28 ve 90 günlük elastisite modülü değerlerinde sırasıyla %40 ve 28 oranında azalma olduğunu belirlemişlerdir [29].

Oliveira vd. [30], beton atığı yapılmış inşaat yıkıntı atığından (İYA) elde edilen iri geri dönüşüm agregasının (GDA) %10, 20, 30, 40, ve 100 oranlarında beton karışıma ikame edilmesiyle üretilen betonların elastisite modülü üzerindeki etkilerini ölçmüşlerdir. Araştırmacılar, %100 iri GDA kullanılarak üretilen betonun elastisite modülünde %18'lik bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir [30].

Evangelista ve de Brito [20], öğütülmüş betondan elde edilen ince geri dönüşüm agregasının (GDA) %100 kullanılmasıyla üretilen betonun elastisite modülünde maksimum %20'lik bir azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca; iri GDA katılım oranı ve elastisite modülü arasında doğrusal bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir [20].

Gomes vd. [11], beton karışım oranları başına 15x30 cm boyutlarında 3 adet silindirik numune üretmiş ve bu betonların elastisite modülünü deneysel olarak hesaplamıştır. Bu betonların elastisite modülü ortalamalarını, ezilmiş betondan elde edilen iri geri dönüşüm agregasının (GDA) ağırlıkça %50 ve 100 karışım oranında ikame edilmesiyle ürettikleri betonlar için sırasıyla 36700 MPa ve 28600 MPa, iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar + harç agregasının (GDSTDHA) ağırlıkça %25 ve 50 karışım oranında ikame edilmesiyle ürettikleri betonlar için sırasıyla 34500 MPa ve 31700 MPa, iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %12,5'i ve ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %25'i karışım oranında ikame edilmesiyle ürettikleri beton için 34300 MPa ve referans beton (RB) için ise 40900 MPa değerini ölçmüşlerdir. İri GDA'nın ağırlıkça %100 karışım oranında ikame edilmesiyle üretilen betonun elastisite modülünün RB'ye göre %30 daha düşük olduğunu, karışımlarda %50 iri GDSTDHA'nın kullanılmasıyla üretilen betonun elastisite modülünün ise RB'ye göre %22,2'lik bir düşüş yaşandığını belirlemişlerdir. GDA kullanım oranı arttıkça betonun elastisite modülünde doğrusal bir düşüş olduğunu belirlemişlerdir [11].

Evangelista ve de Brito [20], ince seramik geri dönüşüm agregasının (GDA) %50 ve 100 karışım oranlarında geri dönüşüm betonu üretiminde kullanılmasıyla betonun rötresinde önemli bir artış tespit etmişlerdir. Ancak, beton karışımına GDA ikame oranının

%30'un altına düşmesiyle betonun rötresinde göze çarpan değişiklik hiçbir meydana gelmediğini belirlemiştir.

Matias vd. [26], farklı plastikleştiriciler ve iri geri dönüşüm agregası (GDA) ile iri normal agregası (NA) yerine beton karışımına ikame edilmesiyle elde edilen geri dönüşüm betonunu teste tabi tutmuşlardır. Plastikleştirici tipinin betonun rötresinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Düşük performanslı plastikleştiriciler ve GDA ile üretilen betonlar, referans betona (RB) göre betondaki rötresinin %45 artış gösterdiğini, ancak yüksek performanslı plastikleştiriciler ile GDA ile üretilen betonunun rötresinde sadece %22,5'lik artış tespit edilmiştir.

Gomes vd. [11], beton karışım oranları başına iki adet numune deneysel programın her iki aşamasında (ilk ve ikinci aşama) da sıcaklık ve nem kontrolü altında kuru bir oda içinde yerleştirilerek 180 gün boyunca test etmiştir. İki aşamada farklı bağıl nem seviyelerine yol açan (ilki %55, ikincisi %70) bazı teknik problemler olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca, 120. günde referans beton (RB) ile iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar + harç agregasının (GDSTDHA) ağırlıkça %6,25 ve iri geri dönüşüm agregasının (GDA) ağırlıkça %12,5 karışım oranında toplamda ağırlıkça %18,75 karışım oranında ikame edilerek üretilen betonun aynı rötreye sahip olduğu, 50. günde ise RB ile iri GDA'nın %100 karışım oranında ikame edilerek üretilen betonun aynı birim şekil değiştirmeye sahip olduğunu tespit etmiştir. 180 günün sonunda ise RB ile iri GDA'nın %12,5 ve 25 karışım oranında ikame edilerek üretilen betonlar ile iri GDSTDHA'nın %6,25 ve iri GDA'nın %12,5 toplamda ağırlıkça %18,75 karışım oranında ikame edilmesiyle üretilen betonun rötrelere hem hemen hem aynı sonucu verdiğini de belirlemişlerdir [11].

Demir [16], geri dönüşüm agregası (GDA) ile üretilen betonun rötreye değerini arttığını, betonun aderansını azalttığını, donma-çözünme direncinin düştüğünü ancak hava sürükleyici katkı ile iyileşebileceğini ifade etmektedir.

Agreganın aşınma direnci tayininde 500 devir sonrası agregada en çok aşınma kaybı miktarı yapı uygulamalarında %50 olması istenmektedir [31;32]. Demirel ve Şimşek [15], her agregası grubundan üçer numune olarak gerçekleştirdiği deneylerde kırma taş agregaların ve geri dönüşüm agregasının (GDA) aşınma kaybı değerini sırasıyla %24 ve 38 olarak tespit etmiştir. Durmuş vd. [17], kırma taş agregaların aşınma kaybının %23,95, iri geri dönüşüm beton agregası (İGDBA) aşınma kaybı ortalamasının ise %35,63 olduğunu,

Köken vd. [10] ise Los Angeles aşınma deneyi ile GDA'nın 100 dönüşte %7,86 ve 500 dönüşte ise %31,72 aşınma kaybı değerlerine sahip olduğunu bulmuştur.

Gomes vd. [11], I ve II nolu mıcırın aşınma kaybının %28,52, iri geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) %37,96 ve iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) ise %65,47 aşınma kaybı değeri olduğunu ölçmüşler ve iri normal agregaya (NA) (%28,52'lik aşınma kaybı) göre; iri GDBA'nın %33'lük ve iri GDSTDHA'nın ise %130'luk aşınma artışı olduğunu belirlemişlerdir.

1.3. Kentsel Dönüşüm Kanunları

Kentsel dönüşüm denilince akla ilk olarak 16.05.2012 tarihinde kabul edilen, 31.05.2012 tarihli ve 28309 sayılı resmi gazetede yayımlanan 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun gelmektedir. Bu Kanunun amacı; afet riski altındaki alanlar ile bu alanlar dışındaki riskli yapıların bulunduğu arsa ve arazilerde, fen ve sanat norm ve standartlarına uygun, sağlıklı ve güvenli yaşama çevrelerini teşkil etmek üzere iyileştirme, tasfiye ve yenilemelere dair usul ve esasları belirlemektir [33]. 6306 sayılı Kanunda belirtildiği üzere bu Kanunun uygulanmasında Bakanlık olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, TOKİ, Belediye ve İl Özel İdareleri yetkilendirmiştir. Büyükşehirlerde ise büyükşehir belediyelerini ve Bakanlık tarafından yetkilendirilmesi hâlinde büyükşehir belediyesi sınırları içindeki ilçe belediyelerini yetkilendirilmiştir.

6306 sayılı Kanuna göre çalışmalar; riskli yapı (parsel bazlı), riskli alan ve rezerv yapı alanı (alan bazlı) olarak yapılmaktadır. Riskli yapı ve rezerv yapı alanı için gerekli olan alan büyüklüğü bulunmamaktadır. Riskli alanlarda minimum alan sınırı 15.000 m²'dir. Fakat Bakanlığın gerek görmesi halinde bu şart aranmaksızın riskli alan ilan edilebilir. Alan ilan edilmesi riskli alan ve rezerv alanında geçerlidir. Rezerv yapı alanı; TOKİ veya İdarenin talebiyle veya Bakanlıkça tespit edilen alanların Maliye Bakanlığınca uygun görüş alınarak Bakanlıkça ilan edilir. Riskli alanlarda ise, Bakanlık veya İdarenin talebiyle, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı'ndan alınan görüş, Bakanlığın teklifi ve Bakanlar Kurulu Kararı alınarak ilan edilir. Proje uygulayıcısı Bakanlık, TOKİ, İl Özel İdaresi ve Belediyelerdir. Uygulama konumu için herhangi bir sınırlama belirtilmemiştir. Anlaşma sağlama durumunda ise arsa paylarının üçte iki çoğunluğu ile karar üretilmektedir. Riskli alan ve rezerv yapı alanlarında plan yapma, yaptırma ve onaylama yetkisi Bakanlığa aittir.

Bakanlıkça uygun görülen planlar onaylanır veya değiştirilerek onaylanabilir. Tasarrufların kısıtlanması noktasında da uygulama sırasında TOKİ, İdare ve Bakanlık tarafından talep edilmesi halinde, malikin de görüşü alınarak elektrik, su ve doğalgaz hizmeti verilmez. Taşınmaz devri durumu, uygulama alanında hazineye ait taşınmazlar bedelsiz olarak TOKİ'ye veya İdareye devredilebilir. Kanun kapsamındaki muafiyetler ise; işlem, sözleşme, devir ve tesciller ile uygulamalar, noter harcı, tapu harcı, belediyelerce alınan harçlar, damga vergisi, veraset ve intikal vergisi, döner sermaye ücreti ve diğer ücretlerden; kullandırılan krediler sebebiyle lehe alınacak paralar ise banka ve sigorta muameleleri vergisinden müstesnadır. Riskli alanlarda; kullanım maksat değişikliği veya yapı alanındaki artışlar hesaplanarak aradaki harç ve ücretler ödenir [34].

5393 sayılı Belediye Kanununun 73. Maddesinde değişiklik yapılmasına dair 24.06.2010 tarihli ve 27621 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 17.06.2010 tarihinde kabul edilen 5998 sayılı Kanunun 1 inci maddesinde kentsel dönüşüm ve gelişim alanı ile ilgili ayrı bir parantez açılmıştır. 5998 sayılı Kanunda; Belediye, belediye meclisi kararıyla; konut alanları, sanayi alanları, ticaret alanları, teknoloji parkları, kamu hizmeti alanları, rekreasyon alanları ve her türlü sosyal donatı alanları oluşturmak, eskiyen kent kısımlarını yeniden inşa ve restore etmek, kentin tarihi ve kültürel dokusunu korumak veya deprem riskine karşı tedbirler almak amacıyla kentsel dönüşüm ve gelişim projeleri uygulayabilmektedir [35].

5998 sayılı Kanuna göre kentsel dönüşüm ile ilgili çalışmalar alan bazlı uygulamaları içermektedir. Kentsel dönüşüm için alan zorunluluğu olarak en az 5 hektar ve en çok 500 hektar alanda çalışma yapılmaktadır. Uygulama alanı; belediye meclis kararıyla ilan edilebilmektedir. Alanda kamuya ait taşınmazın bulunması halinde belediyenin talebi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının teklifi ile Bakanlar Kurulu Kararınca alan ilan edilmektedir. Uygulama yetkisi, Büyükşehir belediyelerinde meclis tarafından yetki verilmesi halinde ilçe belediyeleri ve büyükşehir belediyeleri, büyükşehir olmayan yerlerde il ve ilçe belediyeleri yetkilendirilmiştir. Proje uygulayıcısı ise TOKİ, Belediyeler, Büyükşehir Belediyeleri ve Büyükşehirlerde meclis tarafından yetki verilmesi halinde ilçe belediyeleridir. Belediye ve mücavir alan sınırları içerisinde uygulama yapılabilmektedir. Anlaşma sağlama durumu her ne kadar uygulamada farklılık gösterse de kanunda anlaşma sağlama durumu hakkında belirlenmiş bir oran bulunmamaktadır. Büyükşehir belediyelerince yapılan uygulamalarda; imar planı, parselasyon, inşaat ruhsatı, yapı kullanma izni ve tüm imar işlemleri yetkileri büyükşehir belediyelerine aittir. İl

belediyelerinde bu yetki belediyelerdedir. Tasarrufların kısıtlanması noktasında da proje ortak giderlerine ilişkin katılım payı ödenmeden elektrik, su, telefon ve doğalgaz hizmeti sunulmaz ve inşaat ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesi düzenlenmez. Taşınmaz devri durumu, eğitim ve sağlık alanları hariç kamuya ait taşınmazlar harca esas değer üzerinden belediyeye devredilir. Kanun kapsamındaki muafiyetler ise yıkılarak yeniden yapılan münferit binalarda ilgili vergi, resim, harçların dörtte biri alınır [34].

1.4. Geri Dönüşüm Kavramı

Daha önceden kullanılmış, tekrar değerlendirilebilme imkânı olan inşaat malzemelerinin çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek ikincil hammaddeye dönüştürülmesi sonucu yeniden kullanılabilir hale getirilmesine geri dönüşüm denir.

İnşaat ve yıkıntı atıklarının bileşenleri binada kullanılan malzemelerin cinsine bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde çelik yapılar yaygınlaşsa da hala en çok tercih edilen yapı türü betonarme yapıdır (Şekil 1). Kentsel dönüşümle yıkılan binaların çoğunluğunu ise yığma, ahşap ve karma yapılar oluşturmaktadır. Bu eski yapıların yıkıntılarında en çok ahşap, harman tuğlası, briket ve elle karılmış düşük basınç dayanımına sahip betonarme yapı elemanlarına sıklıkla rastlanmaktadır.



Şekil 1. Yıkımı yapılan betonarme bina

İnşaat ve yıkıntı atıklarının önemli bir kısmı geri dönüştürülebilir niteliktedir [36]. İnşaat yıkıntı atıkları iki gruba ayrılabilir. Birinci grubu seramik malzemeler (tuğla, kiremit vd.), beton, kum, çakıl ve diğer agregalar, ikinci grubu ise tahta, cam, plastik, metal, kauçuk ve kâğıt gibi malzemeler oluşturmaktadır. Birçok ülke, her türlü geri dönüştürülebilir atık maddenin tekrar kazanılması ve kullanılması için yatırımlar yapmakta ve geri dönüşümle ilgili yapılan araştırma ve çalışmaları desteklemektedir. Hızla tükenen doğal kaynaklar, geri dönüşümü vazgeçilmez hale getirmektedir. Araştırmalar, geri dönüştürülebilir atık maddenin her ne kadar yeniden ikincil hammadde olarak üretime katılmasının maliyetli olduğunu söylese de doğal kaynakların tükeniyor olması, enerji tasarrufu sağlanması, atık miktarların azaltılması, geleceğe ve ekonomiye yatırım yapmak gibi nedenler geri dönüşümü zorunlu kılmaktadır [37].

Son yıllarda ülkemizde devam eden kentsel dönüşüm süreci 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun'un yürürlüğe girmesi ile birlikte ivme kazanmış olup, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı öncülüğünde gerçekleştirilecek kentsel dönüşüm projeleri kapsamında önümüzdeki 20 yılda 6.500.000 adet bağımsız konutun yıkılarak güvenli binalara dönüştürülmesi planlanmakta olup bu girişimler sonucunda birinci ve ikinci guruba giren tüm malzemeleri içeren yaklaşık 500.000.000 ton inşaat ve yıkıntı atığının ortaya çıkması beklenmektedir. Böylelikle, miktarı her gün katlanarak artan inşaat ve yıkıntı atıklarından kaynaklanan çevre sorunlarının giderilmesi, kısıtlı depolama sorununa katkı sağlayarak bu atıkların ekonomiye kazandırılması amaçlanmaktadır [38].

1.5. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Dünya ve Türkiye'deki Durumu

Bina ve altyapı inşaatı ve yıkım atığı, ulaşım ile ilgili inşaat, yıkıntı ve tamirat atığı, yol temizleme atığı ve fırtına, sel, deprem gibi doğal afet atığı ve diğer insan yapımı işler sonucu Avrupa ülkelerinde yılda 180 milyon ton, ABD'de 136 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığı oluşmaktadır. ABD'de inşaat ve yıkıntı atıklarının %43'ü konutlardan (58 milyon ton) ve %57'si (78 milyon ton) diğer kaynaklardan oluşmaktadır [39].

Bu atıkların %8'i yeni inşaat yapımından, %44'ü yenileme ve %48'i yıkıntı atıklarıdır. Avustralya Sydney şehrinde oluşan inşaat ve yıkıntı atığı miktarı toplam katı atığın %60'nı oluşturmaktadır. Hong Kong'da 1998 yılı verilerine göre günde üretilen inşaat ve yıkıntı atığı miktarı 32710 tondur. İngiltere'de yılda 53,5 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığı oluşmaktadır. Bu atıkların 27,4 milyon tonu (%51,2) depolanmakta, 21,2

milyon tonu (% 39,6) inşaat esnasında arazi kazanımında kullanılmakta ve 5 milyon tonu (%9,2) yeni ürün kazanmak üzere değerlendirilmektedir [39].

Hollanda ve Belçika’da, inşaat yıkıntı atıklarının (İYA) depolanması yasak olup, %90 oranında geri kazanım yapılmaktadır. İngiltere’de İYA’nın bedel karşılığında bertaraf edilmesi işlemi uygulandığından dolayı İYA tesisleri kurulmuştur. İngiltere’deki BS 6543 standardı, İYA’nın yol ve kaldırım yapımında nasıl kullanılacağını ifade etmektedir. Danimarka’da İYA ayrı toplanmaktadır. Bu ülkede İYA’nın %82’si geri dönüştürülmektedir. Almanya ise depolama sahasına gidecek İYA miktarını %50 oranında azaltmayı planlamıştır. Avustralya’da İYA’nın %30’u geri kazanılmakta veya tekrar kullanılmaktadır. ABD’de 1800 adet İYA depolama tesisi, 3500 adet İYA geri kazanım tesisi bulunmaktadır. ABD, %30 oranında İYA’yı geri kazanmakta ve tekrar kullanmaktadır. İspanya, İtalya, Portekiz, Yunanistan gibi ülkelerde ise İYA daha az oranda geri kazanılmaktadır. Çünkü bu ülkelerde yeteri kadar doğal agrega bulunmakta ve orta maliyetle temin edilmektedir [40].

Ülkemizde ise inşaat yıkıntı atıkları (İYA) karışık olarak bulunmakta ve az miktarlarda yol dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [40]. İYA’nın farklı alanlarda daha fazla kullanılması için araştırmalar yapılmaktadır. İYA hakkında en kapsamlı çalışma, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü ile Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü tarafından yürütülen “İnşaat ve Yıkıntı Atıklarından Geri Kazanılan Ürünlerin Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi Projesi” ile gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde halen inşaat ve yıkıntı atıklarının büyük bir kısmı atık yönetim ilkelerine uygun şekilde bertaraf edilmemektedir. Dolayısıyla; İYA projesi kapsamında geri kazanım odaklı bir yönetim ve yıkım esnasında asbestli ürünlerin, diğer zehirli malzemelerin ayıklanması, çalışmaların yaygınlaştırılması (bilgilendirme toplantıları, eğitim, çalıştay vs.) gerekmektedir [40].

İstanbul’da, kentsel dönüşüm kapsamında yıkılacak konut sayısı, 1.700.000 adettir. Yığma yapılarının hepsinin yıkılacağı varsayılarak, yıkılacak yığma konut adedi 1.215.200, yıkılacak betonarme konut adedi 484.800’dür. İstanbul’da kentsel dönüşüm sürecinin 20 yıl süreceği tahmin edilmektedir ve oluşacak inşaat yıkıntı atığı (İYA) miktarı (avrupa yakasında 4.500.000 ton/yıl, anadolu yakasında 3.000.000 ton/yıl) toplamda 7.500.000 ton/yıl’dır. İnşaat yıkıntı atıklarının yaklaşık olarak %21’ini beton molozu oluşturmakta olup, bunun da beton bileşiminde agrega olarak kullanılacak miktarı

yaklaşık %80'dir. Bu miktarın 1.260.000 ton/yıl'lık kısmı, geri dönüşüm agrega miktarını oluşturacaktır. [41].

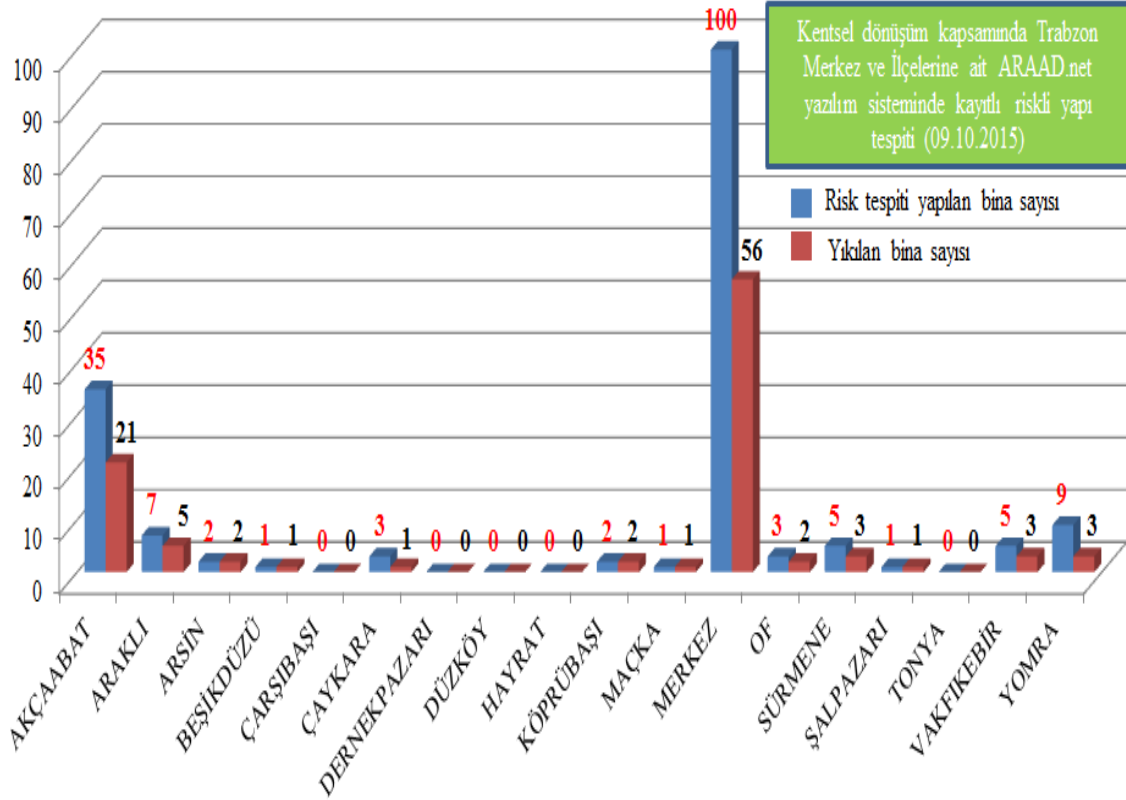
Trabzon'da, 2015 yılı Eylül ayı [46] verilerine göre, Trabzon Büyükşehir Belediyesi ile TOKİ, Zağnos, Tabakhane, Ayasofya, Ortahisar, Narlıbahçe ve Çömlekçi'de kentsel dönüşüm çalışmalarını birlikte yürütmektedir. Bu bağlamda, Çömlekçi'de 134 binanın kamulaştırılarak yıkılacağı 22.405 m²'lik Çömlekçi birinci etap kentsel dönüşüm alanında şu ana kadar 84 binanın yıkıldığı, kamulaştırmanın tamamlanmasıyla kalan 50 binanın da yıkımı gerçekleştirilerek hazırlanan projenin uygulanması ile modern ve güvenli yapıların yapılması planlanmaktadır (Şekil 2), [42].



Şekil 2. Çömlekçi'de kentsel dönüşüm kapsamında yıkım [42].

120 m²'lik bir konutta, taşıyıcı eleman olan kolon ve kirişlerin oluşturacağı inşaat yıkıntı atığı miktarı takribi olarak 31 m³ yani 74 ton olarak hesaplanabilir. Bu durum, 134 binanın 120 m²'li 5 kattan oluştuğu düşünülürse sadece Çömlekçi birinci etap kentsel dönüşüm alanında yaklaşık olarak 20.658 m³ yani 49.580 ton kolon ve kiriş atığı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, kolon ve kiriş inşaat yıkıntı atığının tamamının geri kazanımı sağlanarak, kaplama kalınlığı 0,30 metre, yol genişliği 10 metre ve yol uzunluğu 7 km olan, %75'inin geri kazanımı sonucu ise kaplama kalınlığı 0,30 metre, yol genişliği 10 metre ve yol uzunluğu 5,2 km olan beton yol uygulaması yapılabilmektedir. Aynı

zamanda, bir kamyonun 25 m³ taşıma kapasitesi olduğu düşünülürse, yaklaşık 830 kamyonluk nakliye bedeli ödenmemiş olacak hem de depolama sahalarının dolmasından (20.658 m³) ötürü yeni depolama sahalarına olan talep de azalacaktır.



Şekil 3. Trabzon ilinde kentsel dönüşümle tespit edilen riskli yapı sayısı

1.6. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Maliyeti

İstanbul'da İSFALT A.Ş.'nin yapmış olduğu çalışmada, maliyet hesaplarında inşaat yıkıntı atıkları (İYA) için ikişer adet analiz öngörülmüştür. Birinci analizde, İYA'nın bedelsiz olarak üretim tesisine nakledildiği varsayılmış, ikinci analizde ise İYA'nın yalnızca nakliyesinden gelen bedel göz önünde bulundurulmuştur. Nakliye bedeli olarak 20 Km mesafe için 10 TL/ton alınmıştır. Maliyetlerin karşılaştırılmasında referans alınan grovak ve kalker agrega fiyatları agrega bedeli ve nakliye bedelini de içermektedir (Tablo 1) [43].

Tablo 1. İnşaat yıkıntı atıklarının (İYA) maliyetleri [43].

Tabakalar	Grovak agregalı (TL/ton)	Kalker agregalı (TL/ton)	Beton blok kırığı İYA katkılı		Karışık İYA katkılı	
			İYA Bedelsiz (TL/ton)	İYA Nakliye bedelli (TL/ton)	İYA Bedelsiz (TL/ton)	İYA Nakliye bedelli (TL/ton)
Dolgu tabakası	20	-	3	13	3	13
Alt temel	-	22	13	19	15	20
Plent miks temel	-	22	14	20	17	20
Bitümlü temel	-	61	65	66	65	66

Not: İYA haricindeki maliyet değerleri; uygulama ve üretime ait bedellerdir.

Hem beton blok kırığı hem de karışık haldeki inşaat yıkıntı atığı (İYA) ile hazırlanan alt temel tasarımlarının maliyeti kalker agrega ile hazırlanan alt temel maliyetinden daha düşük bulunmuştur [43]. Hem beton blok kırığı hem de karışık haldeki İYA ile hazırlanan plent miks temel tasarımlarının maliyeti kalker agrega ile hazırlanan plent miks temel maliyetinden daha düşük bulunmuştur [43]. Alt temel ve plent miks temel tabakalarında, İYA'nın her iki çeşidi için de nakliye bedeli ödenmesi durumundaki maliyet analizi kalker agrega ile yapılan üretimden çok az düşük çıkmıştır [43].

1.7. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Yol Altyapısında Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Tübitak Marmara Araştırma Merkezi tarafından yürütülen “İnşaat ve Yıkıntı Atıklarından Geri Kazanılan Ürünlerin Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi Projesi” kapsamında İSFALT A.Ş. tarafından inşaat yıkıntı atıkları (İYA) nın, laboratuvar ölçekte asfalt üretiminde agrega ve bağlayıcısı su olan plent miks temel, alt temel ve dolgu malzemesi olarak kullanım kriterlerinin belirlenmesi araştırılmıştır. Dolgu malzemesi tasarımlarında hem beton blok kırığı hem de %100 oranında karışık haldeki İYA kullanılmıştır. Dolgu malzemesi tasarımında standart proktor metodu, alt temel ve plent miks temel tasarımında ise modifiye proktor metodu kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan İYA'nın öncelikli olarak Karayolu Teknik Şartnamesi 2013 yılı değerlerine göre

yol katmanlarına uygunluğu araştırılmış ve bu aşamadan sonra gerekli görülen tabakalarda kalker agrega ilaveleri yapılarak tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Dolgu malzemesi karışım tasarımlarında tamamen %100 İYA malzemeleri kullanılmıştır (Tablo 2 ve Tablo 3) [43].

Tablo 2. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) katkılı tasarım oranları [43].

Agrega	Beton Blok Kırığı İYA Katkılı				Karışık İYA Katkılı			
	Dolgu (%)	Alt temel (%)	Plent miks temel (%)	Bitümlü temel (%)	Dolgu (%)	Alt temel (%)	Plent miks temel (%)	Bitümlü temel (%)
Taş tozu (Kalker)				40		35	30	35
1 No (Kalker)								25
2 No (Kalker)		10	20	20			10	
4 No (Kalker)		25	20	25		15	20	30
0-5 mm Beton kırığı	55	55	45					
5-12 mm Beton kırığı	10	10	15	15				
12-22 mm Beton kırığı	10							
22-37,5 mm Beton kırığı	25							
0-22 mm Karışık inş. molozu						50	40	10
0-75 mm Karışık inş. molozu					100			

Tablo 3. Dolgu tabakası karışım tasarımı malzeme oranları [43].

Agrega cinsi ve boyutu	Beton Blok Kırığı İYA Oranı (%)	Karışık İYA Oranı (%)
0-5 mm beton kırığı	55	-
5-12 mm beton kırığı	10	-
12-22 mm beton kırığı	10	-
22-37,5 mm beton kırığı	25	-
0-75 mm karışık inşaat molozu	-	100

1.8. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Depolanması ve Ücretleri

Ülkemizde, inşaat yıkıntı atıkları depolama alanlarına gönderilmekte ve kentsel dönüşüm faaliyetlerinin hızlanmasıyla yeni depolama alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni depolama alanlarının oluşturulma ve işletme maliyetleri oldukça yüksektir. Yeni depolama alanlarının işleme sokulması, doğal alanların da azalması anlamına gelmektedir. İnşaat yıkıntı atıklarının geri dönüşümü sayesinde öncelikle doğal alanların ve kaynakların kullanım ihtiyacı azalacak, doğal kaynakların yerinde çıkarılmasında, nakliye edilmesinde ve işlenmesinde gerek duyulan enerjinin kullanımını da azaltacaktır.

Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (HTİYAKY, 2004) ile söz konusu atıkları depolamak isteyenlere depolama izni alma zorunluluğu getirilmiştir. İstanbul ili bütününde depolama izin verme yetkisi İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığına aittir [44].

Doğal kaynakların kıtlığı, çevrenin korunmasına olan ilginin artması, depolama alanlarının yetersizliği vb. sebepler belediyeler ve hükümetleri inşaat ve yıkıntı atıklarının yeniden kullanımı ve dönüşümleri ile ilgili tedbirler almaya zorlamaktadır. Bunun için birçok ülke ve şehirde atıkların azaltılmasına yönelik planlar hazırlanmakta, atıkların depolama alanlarına kabul ücretleri ve vergileri düşürülmektedir[45].

İstanbul, kentsel dönüşümün merkezi olup, uygulanacak projelerin de merkez üssü olmuştur. Sadece İstanbul için hafriyat ve inşaat yıkıntı atıkları, 2013 yılında 67 milyon tona ulaştığı, önümüzdeki 20 yıllık süreçte ise 150 milyon tona ulaşması beklenmektedir [46]. İSTAÇ hafriyat sahalarının doluluk oranlarına bakıldığında, İSTAÇ'ın 2015 yılı Mart ayı verilerine göre, tüm depolama sahalarının toplam kapasitesi 85.403.968 m³ olup, toplam kapasitenin 51.656.690 m³'lük kısmı dolmuş durumdadır. Yani, İSTAÇ'ın depolama sahalarının tamamı %60,49 dolulukta olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 4).

Tablo 4. İSTAÇ hafriyat sahaları doluluk oranları (Mart, 2015)

Sahalar	Toplam hacmi (m ³)	Doluluk oranı (%)
Silivri-Seymen köyü	4.250.000	80
Silivri-Çeltik	5.167.209	1
Çatalca-Muratbey	585.590	99
Arnavutköy-Bolluca	36.219.018	82
Arnavutköy-İmrahor	18.180.688	13
Çekmeköy-Ömerli	11.034.106	98
Çekmeköy-Ömerli 70-71-72	5.189.333	27
Şile-Sahilköy 2	2.583.467	76
Şile-Alacalı	1.258.532	49
Şile-Doğancılı 2	936.025	82

İstanbul'da İSTAÇ (İstanbul Çevre Yönetimi San. ve Tic. A.Ş.)'a ait hem depolama hem geri kazanım tesisi olarak 2014 yılında toplamda 11 tane tesis bulunmaktadır. İSTAÇ verilerine göre, 2010 yılında 23 milyon ton hafriyat toprağı ve inşaat yıkıntı atığı, 2011'de 28 milyon ton, 2012'de 45 milyon ton, 2013'te ise 67 milyon ton atık oluştuğı, 2014 Mart sonu itibariyle ise 16 milyon 800 bin tona ulaşmış bulunmaktadır (Şekil 3) [46].



Şekil 4. 2008-2012 yıllarında faaliyet gösteren İSTAÇ'ın Tuzla-Aydınlı'daki geri kazanım ve depolama tesisi (45.000 m²) [47].

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin 2015 yılına ait hafriyat toprağı ve inşaat yıkıntı atıklarının sahalara döküm ücreti Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5. Hafriyat toprağı ve inşaat yıkıntı atıklarının ücret tarifesi (2015) [48].

2015 Yılı Ücret Tarifesi		
❖ Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları depolama sahası izin belgesi, geri kazanım tesisi izin belgesi ve hafriyat toprağının tekrar kullanılması ve geri kazanılması ücret tarifesi	Birim	2015 yılı ücreti (tl)
Projesinde belirtilen m ³ başına	m ³	0,80
Geri kazanım tesisi izin belgesi	adet	7.200
❖ Hafriyat toprağının geçici depolanması ücret tarifesi	Birim	2015 yılı ücreti (tl)
m ³ başına	m ³	0.35
❖ Hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıkları taşıma izin belgesi ücret tarifesi	Birim	2015 yılı ücreti (tl)
1 adet kamyon başına	araç	165
Kayıp çalıntı ve yıpranma sebebiyle yenileme (1 adet kamyon başına)	araç	55
❖ Hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıkları taşıma fişi ücret tarifesi	Birim	2015 yılı ücreti (tl)
Adet başına	adet	3.5
❖ Hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıklarının depolanması ücret tarifesi	Birim	2015 yılı ücreti (tl)
Kantarlı bulunan depolama sahalarında ton başına depolama ücreti aralığı	ton	7
Depolama sahasına gelen araç cinsi 5 m ³ 'e kadar araçtan (5 m ³ dahil)	araç	30
Depolama sahasına gelen araç cinsi 5m ³ -10m ³ arası araçtan (10m ³ dahil)	araç	45
Depolama sahasına gelen araç cinsi 10m ³ -18m ³ arası araçtan (18m ³ dahil)	araç	80
Depolama sahasına gelen araç cinsi 18 m ³ 'üstü araçtan	araç	105
❖ Hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıklarının taşınması ücret tarifesi	Birim	2015 yılı ücreti (tl)
1 ton hafriyatın 1 kilometre taşınması (amortisman+yakıt)	tl/ton-km	0.55
❖ Hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıklarının toplanması ücret tarifesi	Birim	2015 yılı ücreti (tl)
Toplama aracı 5 m ³ lük araçlarla 50-60 kg'lık torbalarla 20 adet torbaya kadar kamyon başına	araç	70
Toplama aracı 5 m ³ lük araçlarla 50-60 kg'lık torbalarla 20 adet torbadan sonra her bir adet torba için yukarıdaki fiyata ilave olarak torba başına	adet	10

1.9. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Ayrıştırılması ve Sınıflandırılması

İnşaat yıkıntı atıklarının ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerinin minimize edilmesi için ya geri kazanıma uygun hale getirilmesi ya da doğada ayrışabilecek niteliğe getirilmesi gerekmektedir. Yetersiz altyapıya sahip olan eski binalar, yıkımı gerçekleştirildikten sonra çevre ve insan sağlığı açısından ciddi sıkıntılar oluşturmaktadır. Bu atıkların gelişigüzel tabiata bırakılması sonucu bileşenindeki ağır metaller ve kimyasallar yüzünden insan

sağlığı açısından tehlikeli asbest, civa, kurşun gibi bileşenleri de içerdiğinden çevreye zarar vermektedir [38].

Binadan sökülmesi gereken malzemeler tamamen söküldükten sonra bina uygun yöntemle yıkılır. Yıkılan bina atığı yerinde mobil kırıcılarla ya da geri kazanım tesisine gönderilerek sabit ya da mobil makinelerle kırılıp ayrıştırılır. Ayrıştırılan malzemeler çeşitli alanlarda kullanılmak üzere tesiste depolanmaktadır. Kırma tesisine gelen inşaat ve yıkıntı atıkları, kamera ve kantar operatörlerinin kontrolünde otomasyon programına girışı yapılmaktadır. Eğer, atıkların tesise dökümü esnasında uygun olmayan malzeme bulunursa (örneğin radyoaktif madde içeriyorsa), bu kısım tesise alınmayıp geri gönderilmektedir. Daha sonra uygun atıklar belirli işlemlerden geçirilerek geri kazanım işlemi gerçekleştirilmektedir. Tesise gelen inşaat ve yıkıntı atığı içinde toprak, ev eşyası, vb. gibi istenmeyen malzemelerin bulunması olasılığına karşı öncelikle ön elekten geçirilir ve istenmeyen malzemelerin ayrıştırılması sağlanır. Daha sonra birincil kırıcıya gelen atıklar iri boyutlu kırıldıktan sonra içinde bulunan demirli malzemeler manyetik bant sayesinde ayrılır. Geri kalan atıklar ise sekonder ve tersiyer kırıcılara giderek daha küçük boyutlara kırılır ve depolanır. Bu aşamada atığın kullanılacağı yere göre farklı elekler kullanılarak ayrılması mümkündür. Sekonder ve tersiyer kırıcıdan çıkan atık içerisinde renkli kısım var ise (özellikle tuğla ve kiremit atığı) optik ayırıcı kullanılarak bu kısımların ayrılması sağlanır (Şekil 5 ve Şekil 6) [38].



Şekil 5. İnşaat yıkıntı atıklarının geçici biriktirme (ara istasyon) [47].



Şekil 6. İnşaat yıkıntı atıklarının geri kazanım tesisinde ayrıştırılması [47].

Tablo 6. Yönetmelikte (HTİYAKY, 2004) belirtilen atık türleri [49].

Hafriyat toprağı ve inşaat yıkıntı atıkları			
Hafriyat toprağı	Yol yıkıntı atıkları	Yıkıntı atıkları	Karışık yıkıntı atıkları
Kaynakları			
Hafriyat Faaliyetleri	Karayolu, demiryolu ve havaalanı pistlerinin tamirata, tadilatı, yapımı ve yıkımı faaliyetleri	Konut, okul, hastane ve endüstriyel tesisler gibi yapıların yıkım faaliyetleri	Binaların seçici olmayan yıkımları, tamirata, güçlendirilmesi, bakımı, geliştirilmesi faaliyetlerindeki yıkımlar
Bileşenleri			
*Bitkisel Toprak *Toprak *Kum *Çakıl *Taş *Kil	*Beton *Kırılmış Asfalt *Yol Kaplama Malzemeleri *Kaldırım Taşı *Kum *Çakıl *Demiryolu Traversleri ve Balastı	*Demir İçeren ve İçermeyen Beton *Çatı Konstrüksiyonu ve Örtü Malzemesi (ahşap, kiremit, yalıtım malzemesi) *Duvar Örgü Malzemeleri (tuğla, briket, taş) *Sıva *Alçı *Diğer Malzemeler	*Beton *Duvar Malzemeleri (tuğla, briket, taş) *Sıva *Kum *Çakıl *Ahşap *Plastikler *Seraimikler *Metaller *Kağıt ve Karton

Geri kazanım tesisinde sırası ile aşağıdaki adımlar takip edilmektedir:

- Kırıcıda kırılmayacak büyüklükteki malzemeler, darbeli kırıcılardan daha sonra boyutları küçültmek üzere ayrı bir yerde depolanır.
- Uygun malzemeler paletli yükleyici ile kırıcıya aktarılır.
- Kırılan malzemeler konveyör bant ile eleğe gönderilir.
- Kırılma sonucu agregadan ayrılan demir donatısı manyetik bant yardımıyla geri kazanılır.
- Eleğe geçen malzemeler farklı boyutlarda elenerek tasnif edilir.

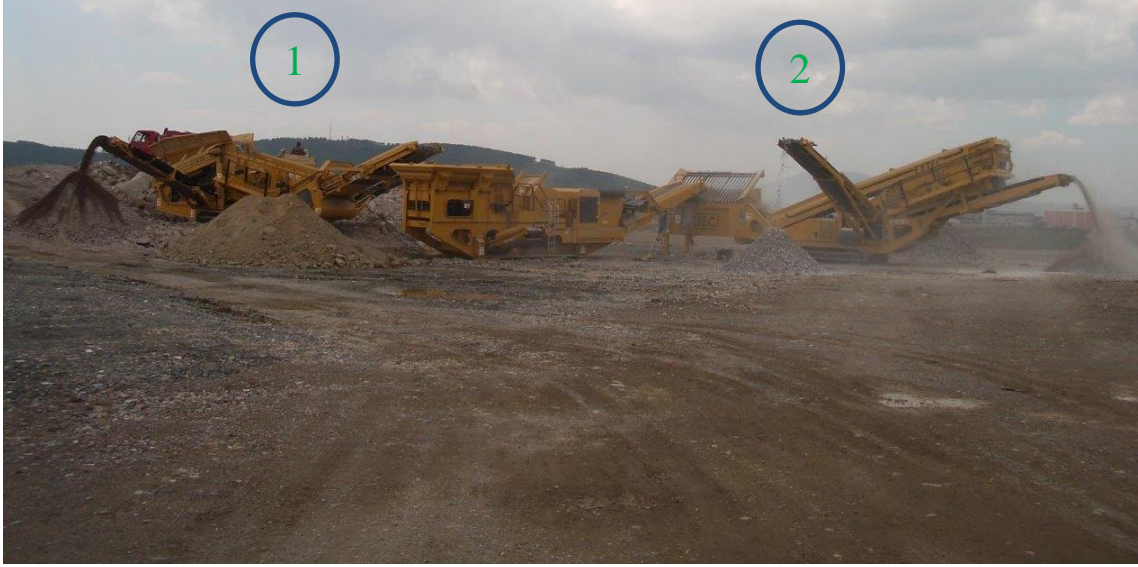
- Elde edilen malzemeler lastikli yükleyici tarafından kamyonlara yüklenerek tekrar kullanılmak üzere depolanır.

- Geri kazanım tesisine gelen inşaat ve yıkıntı atıkları farklı boyutlardaki elek yardımıyla 0-12 mm, 12-22 mm, 22-38 mm olarak üç kategoride sınıflandırılarak geçici olarak depolanmaktadır. Bu malzemelerden 12-22 mm ve 22-38 mm boyutunda olanlar, depolama sahalarında dolgu, drenaj ve yol yapımında, 0-12 mm kategorisindeki ince malzemeler de peyzaj, parke, trotuar yapımında alt temel ve basit dolgu ve rehabilitasyon malzemesi olarak kullanılabilirler (Şekil 7, Şekil 8), [38].



Şekil 7. İnşaat yıkıntı atıklarının eleğe alınması işlemi [47].

İnşaat yıkıntı atıkları ilk eleğe alındıktan sonra Şekil 7’de gösterilen şekilde 1 numaralı elek aralığından geçenler ince agrega olarak ayrı bir yerde toplanırken, 1 numaralı elekten geçemeyenler ise 2 numaralı elekten geçerek iri agrega olarak farklı bir yerde sınıflara ayrılmaktadır.



Şekil 8. İnşaat yıkıntı atıklarının farklı elek gruplarından ayrılan doğal agregalar [47].

Başlıca geri dönüştürülebilir inşaat yıkıntı atıkları arasında, beton, demir, tuğla, kiremit, doğal taş, seramik, ahşap, cam, pvc esaslı malzemeler, alüminyum ve yalıtım malzemeleri yer almaktadır [49]. İnşaat yıkıntı atıklarının %75 lik kısmı tuğla, kiremit, seramik, beton, taş ve diğer agregalar gibi taşlı kısım malzemelerden, %25 lik kısmı ise tahta, cam, plastik, metal, asfalt, plaster, kauçuk ve kâğıt gibi diğer malzemelerden oluşur (Tablo 7).

Tablo 7. İnşaat yıkıntı atıklarının yaklaşık bileşimi (%) [40].

Malzemeler	Taşlı Kısım (%75)	
	Tuğla, kiremit, diğer seramik malzemeler	%54
	Beton	%12
	Taş	%5
	Kum, çakıl ve diğer agregalar	%4
	Geri kalan (%25)	
	Tahta	%4
	Cam	%0,5
	Plastik	%1,5
	Metal	%2,5
	Asfalt	%5
	Plaster	%0,2
	Kauçuk	%7
	Kağıt	%0,3
Diğer	%4	

Beton; atık betonlar, kırma makinalarında parçalandıktan sonra içinde bulunan donatı parçalarından ve diğer yabancı maddelerde ayrıştırılarak beton agregası, yol yapımında altyapı malzemesi, dolgu malzemesi, kırmataş, grobeton, parke taşı vb. elemanlarının yapımında kullanılabilir. İnşaatta en fazla kullanılan madde betondur. Avrupa’da 12.000’den fazla işletme yılda 300 milyon metreküp beton üretmektedir [49].

1.10. Ülkemizdeki Toplam Yol Ağı

Türkiye coğrafik konumunun bilincinde olarak, Avrupa, Asya ve Afrika kıtaları arasında ulaştırma bağlantıları oluşturmak amacıyla büyük çaba gösteren ülkelerden birisidir. Ülkemizin karayolları ağı sistemi, kendi ulusal gelişmesi, aynı zamanda bulunduğu bölgede bütünlüğün ve genel anlamda gelişmenin sağlanabilmesi için bir gereklilik teşkil etmektedir [50].

Karayolları Genel Müdürlüğü’nün (KGM) sorumluluğu altında bulunan karayolu uzunluğu 01.01.2015 tarihi itibarıyla toplam 65.909 km. olup, üç sınıf yoldan oluşmaktadır. Bu yollar; otoyol, devlet yolu ve il yoludur (Tablo 8 ve Tablo 9) [50].

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Ulaştırma Bakanlığı’na bağlı tüzel kişiliğe sahip bir organizasyon olup, 5539 sayılı kanunla otoyolların, devlet ve il yollarının plan, proje, yapım, bakım ve işletilmesi Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü’ne verilmiştir. Karayolları Genel Müdürlüğü’nün (KGM) yol ağı içinde olmayıp, diğer kuruluşların sorumluluğundaki yollar ise; köy yolları, turistik yollar, orman yolları ve şehir içi yollarıdır [50].

Turistik yolların yapım ve bakımı, Turizm Bakanlığınca sağlanan finansmanla Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yapılmaktadır. Köy yolları İl Özel İdare Müdürlüklerinin, orman yolları Orman Bakanlığı’nın, şehir içi yolları ise Belediyelerin sorumluluğundadır [50].

Tablo 8. Sath cinsine göre yol ağı (km) – (KGM, 01.01.2015 tarihi itibariyle) [50].

	Asfalt betonu	Sathi kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer yollar	Toplam
Otoyol (*)	2155	-	-	-	-	-	2155
Devlet yolları	13446	17415	72	67	29	251	31280
İl yolları	2476	26862	201	824	570	1541	32474
Toplam	18077	44277	273	891	599	1792	65909

(*) Otoyol uzunluğuna ana gövde ve bağlantı yolu dahil olup, yan yol ve kavşak kolları dahil değildir.

Tablo 9. Bölünmüş yollar (Km) – KGM (01.01.2015 tarihi itibariyle) [50].

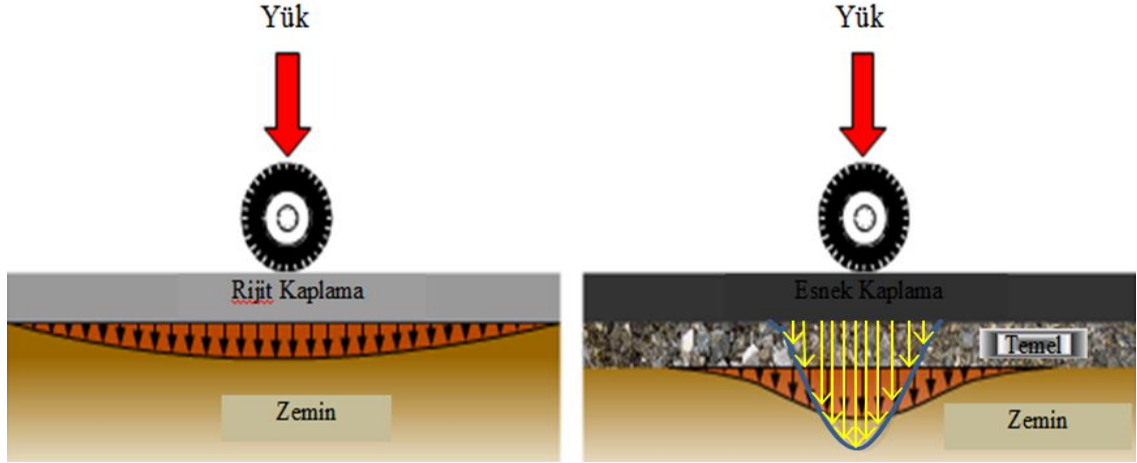
Otoyollar	2155
Devlet yolu	18944
İl yolu	1361
Toplam	22460

1.11. Beton Yollar

Çimento betonu ile yapılan rijit üst yapı kaplamasına sahip yollar beton yol olarak adlandırılmaktadır. Beton yolların en büyük avantajı, uzun yıllar bakım onarım gerektirmeden kullanılabilmesi ve her mevsimde, her iklim şartlarında ve hava koşulunda yapılabilmesidir. Beton yollar, betonun rijitliğinden dolayı yapısal ömrünün esnek üstyapıya oranla daha uzun ömürlüdür.

Bilindiği üzere beton çekmeye karşı dayanıksızdır. Betondaki gerilmelerle oluşan deformasyonlar farklılık göstermektedir. Gerilmelere bağlı olarak lineer olmayan deformasyonlar betonda görülmektedir. Beton yolun üzerinden taşıtın geçmesiyle herhangi bir noktada geçici bir süreliğine kalıcı deformasyon görülür. Daha sonra beton yavaş yavaş ilk durumuna döner (Şekil 8) [51]. Beton yol üzerinden geçen taşıta ait bir tekerlek basınç yaptığı beton plak üzerinde çekme, basınç ve eğilme gerilmeleri oluşturur. Tekerlek geçtikten sonra gerilmeler yön değiştirerek kaybolur. Yoğun ağır taşıt trafiğine sahip bir

beton yolda bu durum kısa periyotlarla tekrarlanır. Zamanla bu gerilmeler rijit üst yapının yorulmasına neden olur. Tasarımı yapılan bir rijit üst yapıda bu tip gerilmeler, betonun sürekli direncinin çok altında bulunmalıdır.



Şekil 9. Beton ve asfalt kaplamanın gelen trafik yükünü iletmesi [51].

Beton dayanımı arttıkça aşınma dayanımı artmaktadır. Ülkemizde, yollarda ağır taşıt trafiğinin attığı düşünülürse, beton yolun hem artan taşıt yükünü kaldırabilmesi hem de asfalt yollara alternatif olarak ekonomik olması gelecekte uygulamalarının daha da artması kaçınılmazdır. Yapılan bazı araştırmalar gösteriyor ki, derzli beton kaplamalı yollarda, asfalt kaplamalı yollara göre yapım ve bakım göz önüne alınarak %13 ila 28 arasında bir maliyet azalması ve sürekli betonarme yollarda ise bu durumun maliyet açısından asfalta göre hiçbir dezavantajının bulunmadığı tespit edilmiştir. Bahar aylarındaki sıcaklık farklarından dolayı cereyan eden donma ve çözülme olayından beton yollar etkilenmemektedir. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, Kanada'da asfalt yolların %61'i bahar aylarındaki mevsimsel koşullardan dolayı bozulmaktadır. Beton yollarda ise bu oranın %5,5 ile sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, beton yol kaplamaları kaymaya karşı direnç gösterdiklerinden kayma sürtünme katsayıları asfalt yol kaplamalarına göre daha yüksektir [52].

1.12. Ülkemizde Beton Yolun Durumu

Büyüyen ve sürekli yükselen bir ekonomiye sahip olan ülkemizde ihtiyaçlar da bir o kadar artmakta ve bu süreçte biz inşaat mühendislerine büyük görevler düşmektedir. Kentsel dönüşümle yeni kurulan apartman, fabrika ve sanayi sitelerinden dolayı o bölgelere olan nüfus göçü nedeniyle yeni yaşam alanlarının oluşturulması ve en önemlisi de yeni ulaşım yollarının mevcut bölgeye uygulanması konusunda büyük görevler üstlenmekteyiz.

Herkesin de bildiği gibi ulaşım her zaman bir bölgenin gelişimi için ön plandadır. Doğru seçilmiş ulaştırma altyapı yatırımları ekonomik gelişmeyi hızlandırır. Kaynakların kullanımında yapım, bakım ve onarım maliyeti düşük, enerji tasarrufuna yönelik yatırımlara öncelik verilmelidir. Artık ülkemizde ekonomi yükseliyor, ithalat ve ihracat artıyor ve bu nedenle karayollarında da ağır taşıt yükü günden güne artmaktadır.

O kadar emek harcanan ve milli servet dökülen yollarımızın beton yol olması kaçınılmaz olmuştur. Günümüzde, motorlu taşıt trafiğindeki sürekli artışlar ve kaynak sağlanmasındaki güçlükler karşısında, yeni karayolu yapmaktan çok, mevcut karayolu üstyapılarının gelecekteki yoğun ve ağır trafiğe cevap verebilecek şekilde yenilenmesi önem kazanmaktadır. Gerek yeni karayolu yapımında, gerekse üstyapı yenileme çalışmalarında üstyapı seçimi büyük önem taşımaktadır. Zira karayollarında üstyapı tipi seçimi, değişik ve çok sayıdaki ölçütlere dayandırılması gereken kapsamlı bir konu özelliği taşımaktadır. Seçim yapılırken, üstyapı tipleri teknik ve ekonomik bakımdan karşılaştırılmalı ve ülke koşulları da dikkate alınarak, karara varılmalıdır.

Bugün karayollarına ayrılan sınırlı bütçenin büyük bir bölümünün yalnızca bakım-onarım giderlerinde kullanılabilmesi, Türkiye’de, bundan böyle daha dayanıklı, uzun yıllar bakım onarım gerektirmeden kullanılacak yollar yapılması gereğini ortaya koymaktadır. Bu durumda akla gelen ilk seçenek beton yol olmaktadır.

Karayolları Genel Müdürlüğü’nden aldığımız verilere göre, köy yolları hariç, şimdiye kadar yapılan beton yollar;

- 2004 yılında Afyon-Emirdağ yolunda 2 km,
- 2006 yılında Hasdal- Kemberburgaz yolunda 3,5 km,
- 2007 yılında Ordu-Ulubey Yolunda 1 km,
- 2009 yılında İzmit-Yalova D-130 devlet yolunun Karamürsel şehir geçişinde 1,6 km.,

olarak karşımıza çıkmaktadır [53].

Ayrıca, Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) de, 2004 yılında İstanbul İkitelli ve Yeşilköy'de deneme beton yol uygulaması yapmıştır. Bu verilerle, Türkiye'nin 65 bin km'yi geçen karayolu uzunluğu içinde beton yolların miktarı 20 kilometre civarındadır [53].

1.13. Yurtdışı ve Ülkemizde Yapılan İlk Beton Yol Uygulamaları

Modern çağlarda ilk beton yol 1880 yılında Avustralya'nın Sydney şehrinde yapılmış olup, bu yolun en az 50 yıl hizmet verdiği anlaşılmaktadır. ABD'de ilk beton yol, Ohio Eyaleti'nin Bellefontaine şehrinde 1891 yılında yapılmıştır. Bu gün hala kullanımda olan cadde tarihi bir yapıt olarak da ziyaretçilerin ilgisini çekmektedir. Beton yolların yaygınlaşması 20.yüzyılın ortalarına doğru hız kazanmıştır. Bu yüzyılın ilk yarısında ABD'ye ilaveten Fransa ve Belçika'da, daha sonra Almanya'da beton yollar yapılmıştır. 1930'lu yıllarda II. Dünya Savaşı'na hazırlanan Almanya'da beton otoyolların uzunluğu 4000 km'yi bulmuştur. ABD'de 1957 yılında başlayan "Eyaletlerarası Otoyol Sistemi" tamamlandığında önemli bölümü beton kaplama olarak 60000 km'den fazla beton yol yapılmıştır. Bu gün ABD'de bazı büyük şehirlerin çevre yolları da beton kaplamadır. Son 50 yıl içerisinde Belçika, Fransa, Almanya'ya ve Avustralya'ya ilaveten Avusturya, İspanya, İngiltere, Kanada ve Güney Afrika gibi ülkelerde beton yollar yapılmıştır. Son yıllarda Azerbaycan, Hindistan ve Çin de beton yol projeleri başlamıştır [54].

Türkiye'de ilk beton yol yapımına 28 Mayıs 2004 tarihinde başlanmıştır. Yapılan bu yol, KGM ile Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) arasında imzalanan bir protokol uyarınca ve TÇMB finansmanı ile gerçekleştirilmiştir. Güzergah olarak Afyon-Emirdağ karayolu üzerinde Afyon'a 5,7 km mesafedeki bölünmüş yolun Afyon'a gidiş yönü seçilmiştir. Deneme amacıyla yapılan 2 km uzunluğunda, 12 metre genişliğindeki yol, beton kaplama derzli ve donatısız olarak projelendirilmiştir. Plak kalınlığı 27 cm olup enine derzler her 5 metrede yapılmıştır. Kayar kalıp finişer ile yerleştirilip sıkıştırılan beton önce 7,5 m genişliğinde bir şerit boyunca, daha sonra bitişiğine 4,5 m genişliğindeki ikinci şerit dökülmüştür. Kalıplanan beton plak yüzeyi fırça ile pürüzlendirilmiş ve yüzeye kür kimyasalı püskürtülmüştür [55].

Beton yol, genellikle kumdan hazırlanan temel üzerine plaklar halinde dökülen ve betondan yapılan yol olarak tanımlanmaktadır [50]. Yut dışı ve yurt içinde yapılacak beton

yolların mukavemet değerleri projeden projeye değişmekle birlikte, yolun yapılması planlanan bölgenin karakteristik iklim şartlarına, gece-gündüz sıcaklık farklarından dolayı oluşacak donma-çözünme etkisine, çevresel faktörlerden dolayı maruz kalacağı zararlı kimyasallara ve en önemlisi de ağır taşıt trafiği ve yıllık ortalama günlük trafiğe bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.

1.14. Çalışmanın Amacı

İnşaat yıkıntı atıklarının (İYA) depolama sahalarına döküm ücreti ve nakliye bedeli göz önüne alındığında doğal kaynakların da tüketilmemesi açısından İYA'nın geri dönüşümünün sağlanması gerekmektedir. Depolama sahalarının kapasitesi belli olduğundan bir süre sonra bu sahalar dolmakta ve işlevini yitirmektedir. Bu durum, yeni depolama sahalarının hizmete açılması anlamına gelmektedir. İYA'nın tekrar üretime katılmasıyla, beton üretimi için gerekli olan malzeme tasarrufu sağlanarak yeni depolama alanlarına duyulan ihtiyaç azalacaktır.

Türkiye'de kentsel dönüşümle birlikte ortaya çıkan inşaat yıkıntı atıklarının (İYA) değerlendirilmesi ve bu malzemelerin ekonomiye kazandırılması önem kazanmıştır. Böylelikle asfalt üretiminde kullanılan hammadde nedeniyle dışarıya bağımlı olan ülkemizde asfalt yol uygulamalarının yerine beton yolların yapılması ile milli kaynakların kullanılması sağlanmış olacaktır. Aynı zamanda İYA molozlarından elde edilen geri dönüşüm agregalarının yol yapımı için değerlendirilmesi sağlanarak hem israf edilmemiş olacak, hem yeni depolama alanları ve yeni agrega ocaklarının açılması nedeniyle çevre tahrip edilmeyecek, hem de doğal kaynakların tüketiminin de önüne geçilmiş olacaktır.

Literatürde; Rakshvir ve Barai [8], geri dönüşüm agregasının (GDA) doğal agregadan farklı davrandığını ve GDA ile üretilen betonların da kendine özgü davranışlar gösterdiğini, Tu vd. [9], GDA ile yüksek dayanımlı beton üretmek için 10 grup deney yapmış ve yapılan deneyler sonucu, GDA'nın birim ağırlığı, elek analizi, kuru birim ağırlığı, su emme kapasitesi ve aşınmasının genellikle doğal agregadan daha kötü olduğunu tespit etmiştir. GDA'nın bu kötü durumuna rağmen, GDA ile normal agreganın (NA) birlikte kullanılması sonucu yüksek dayanımlı beton üretmişlerdir [9].

Günçan [22], %0, 30, 50, 60, 70 ve 100 karışım oranlarında C16 beton sınıfında eski beton atığı içeren beton numuneler üretmiş ve bu numuneleri bazı deneylere tabi tutması sonucu beton karışımı içindeki eski beton atığı miktarının artmasıyla betonun dayanımının

ve birim hacim ağırlığının azaldığını, Köken vd. [10], silindir basınç dayanımları 20 MPa olan 28 günlük beton numune atıklarının konkasör yardımıyla kırılarak elde edilen geri dönüşüm agregasının (GDA) beton içerisinde agrega olarak kullanılabilirliğini bazı deneysel çalışmalar yaparak araştırmış ve GDA ile üretilen betonlarda GDA kullanım oranı arttıkça beton basınç dayanımında azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Rakshvir ve Barai [8], beton karışımında kullanılan geri dönüşüm agregası (GDA) oranı arttıkça betonun basınç dayanımının %10 azaldığını tespit etmiştir. Durmuş vd. [17], kırma iri agrega yerine %0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 100 oranlarında iri geri dönüşüm beton agregası (GDBA) kullanarak üretilen beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları, birim ağırlık ve su emme oranlarını belirlemiş ve elde edilen deney sonuçlarına göre, %30 oranına kadar iri GDBA'nın beton üretiminde kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Durmuş vd. [13], C20, C25, C30, C35 sınıflarında betonlar üretmiş ve bunların mühendislik özellikleri incelendikten sonra betonların kırılarak GDBA elde etmişler ve bu GDBA kullanılarak tekrar C20, C25, C30, C35 sınıflarındaki beton numuneler üretmişlerdir. Bu sınıftaki betonlar üzerine birim ağırlık, ultra ses ve basınç deneyleri gerçekleştirilerek GDBA'nın kullanılabilirliğini ve beton sınıflarındaki etkilerini araştırmışlardır. GDBA ile üretilen beton sınıflarındaki numunelerin bir alt sınıftaki hedef dayanıma ulaştığını, %100 GDBA beton üretiminde kullanılmak istenildiğinde tasarlanan beton sınıfının bir üst sınıfa göre karışım hesabı yapılması gerektiğini savunmuşlardır [13].

Köroğlu ve Köken [14], 28 günlük beton basınç dayanımı 10 MPa olan atık betonların öğütülerek geri dönüşüm agregası (GDA) haline getirilerek mekanik ve fiziksel özellikleri incelemiş ve kırmataş agregadan üretilen beton karışımına %0, 50 ve 100 oranlarında GDA karışıma ikame edilerek üretilen beton numuneleri üzerine yapılan deneyler sonucunda 10 MPa silindir basınç dayanımına sahip kötü betonlardan elde edilen GDA'nın taşıyıcı olmayan betonlarda kullanılabileceğini savunmuşlardır [14].

Gomes vd. [11], yaptıkları çalışma boyunca normal agrega (NA) olarak kalker agregası ve beton geri dönüşüm agregası (GDA) olarak da laboratuvar ortamında hazırlanan prizmatik hazır beton karışım numunelerinin konkasör yardımıyla 35 günde ezilip öğütülmesiyle elde edilen agregayı kullanmıştır. Diğer agrega grubu olarak da sahada yaklaşık 6 aylık duvar yıkıntı atığından elde edilen geri dönüşüm seramik tuğla duvar + harç agregalarının (GDSTDHA) beton içerisinde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve GDA'nın beton içerisinde kullanım oranı arttıkça betonun basınç dayanımının azaldığını, iri geri dönüşüm beton agregası (GDBA) eklenmesi ile yarmada

çekme dayanımında bir farklılık olmadığını, ancak iri GDSTDHA eklenmesi ile bu dayanımın değiştiğini ve iri GDSTDHA'nın %50'sinin beton karışımında kullanılmasıyla çekme dayanımında %20,1 azalma olduğunu tespit etmiştir [11].

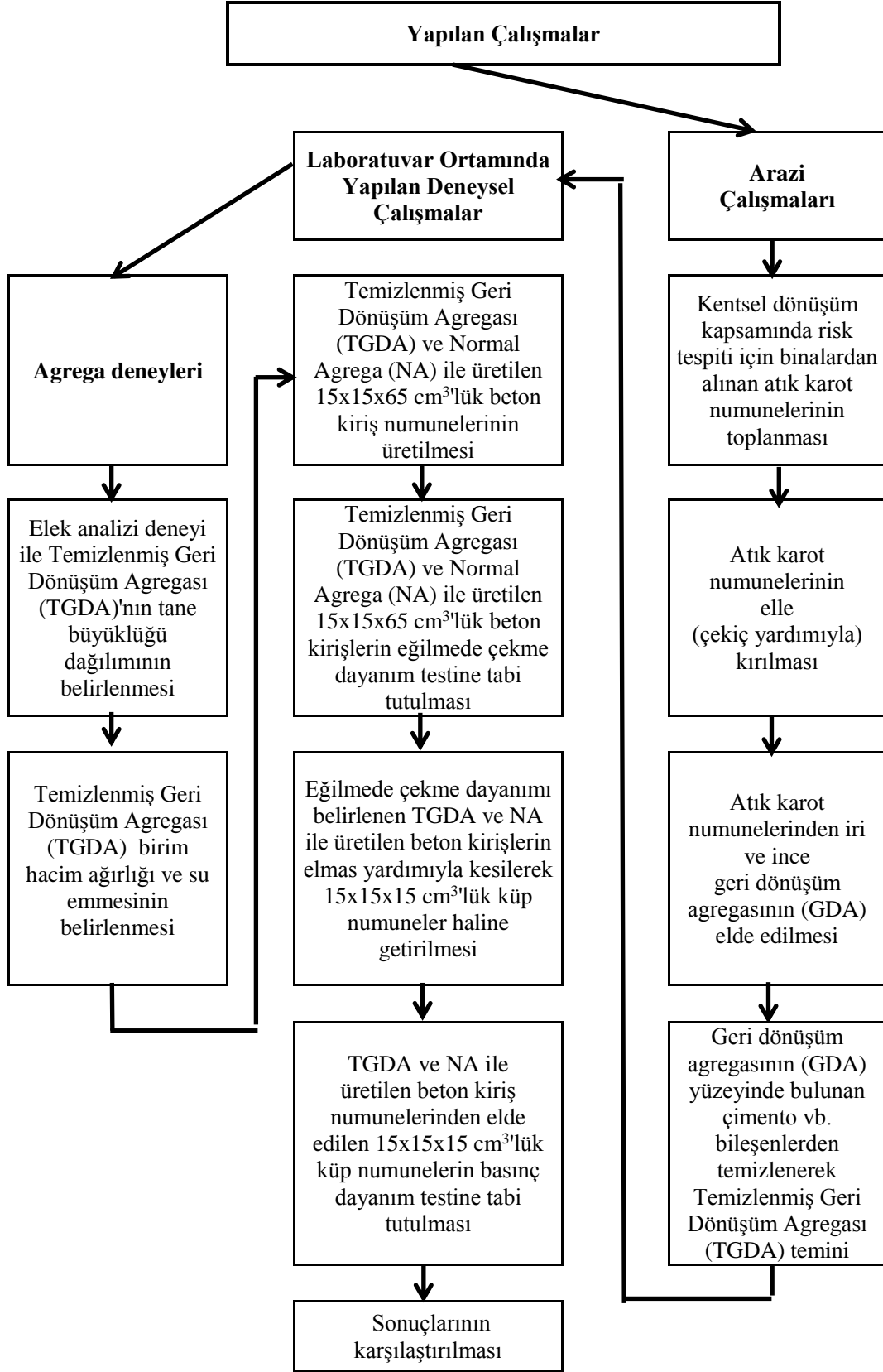
Biz de buradan hareketle, geri dönüşüm agregasının (GDA) %20, 40, 60, 80 gibi farklı karışım oranlarında üretilen beton numunelerin laboratuvar ortamında teste tabi tutularak eğilmede çekme ve basınç dayanımları açısından sonuçların ne olacağını, nasıl değişeceğini belirlemek üzere bu çalışmaya girişilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

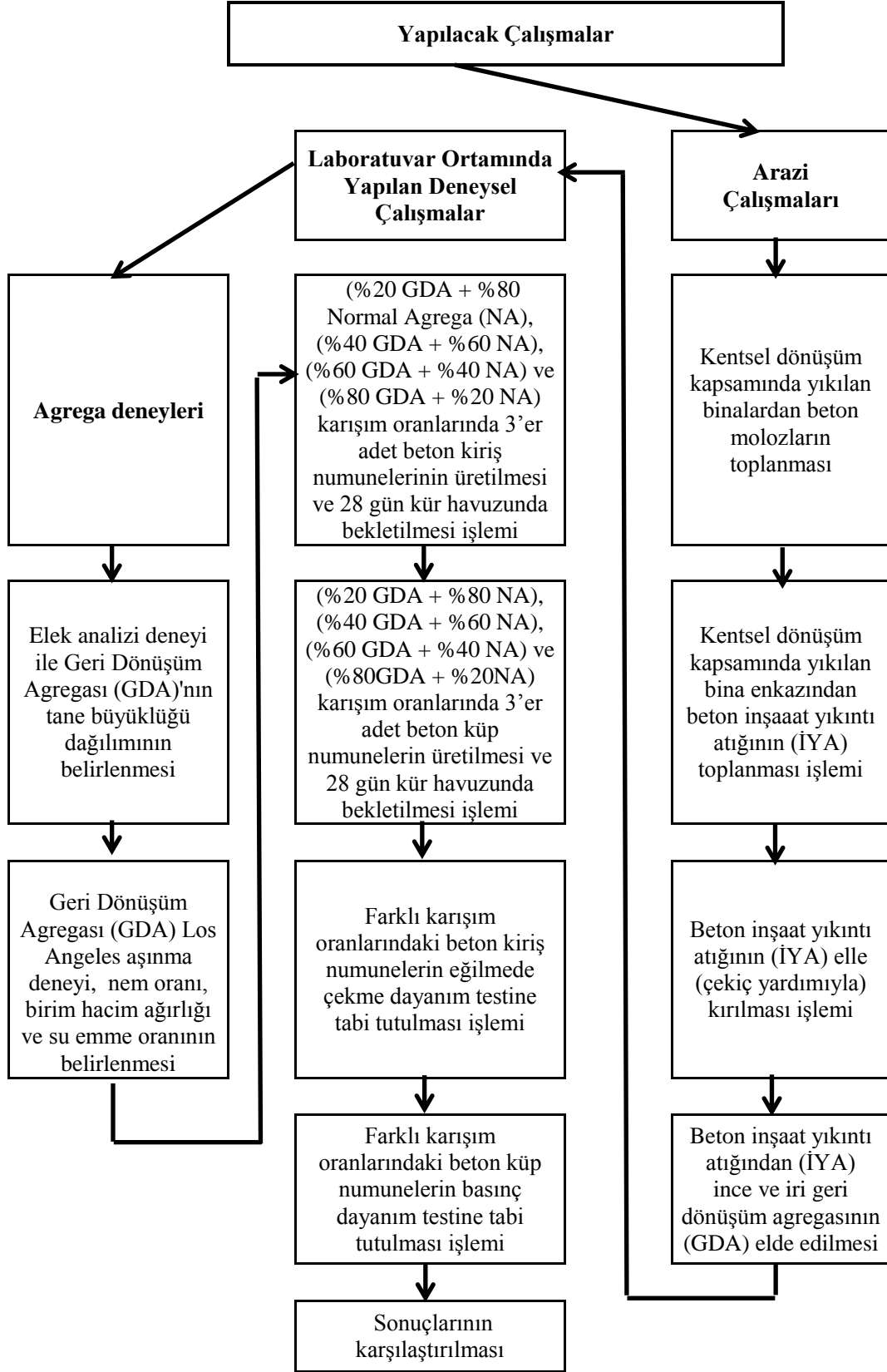
2.1. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, geri dönüşüm agregası (GDA), temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve normal agregası (NA) olmak üzere üç çeşit agregası ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı ve mineral katkı olarak öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Bu deneylerde, inşaat yıkıntı atığı (İYA) olan beton molozlarının elle (çekiç yardımıyla) kırılıp elenerek 0-4 ve 4-25,4 mm boyutunda ince ve iri GDA ile tahribatlı yöntemle beton basınç dayanımını belirlemek amacıyla binalardan alınan ve basınç dayanımı ortalaması yaklaşık 10 MPa olan atık karot numunelerinin elle (çekiç yardımıyla) kırılarak 0-4 ve 4-16 mm boyutunda agregası yüzeyinin temizlenmesiyle elde edilen ince ve iri TGDA üretilmiştir. NA ise İstanbul Ayazağa Taş Ocağı'ndan çıkarılan agregasıdır. Normal agregası (NA) grupları belirli oranlarda azaltılarak yerine GDA'sı ilave edilerek ve %100 ince ve iri TGDA kullanılarak C30/37 beton sınıfında beton numuneleri üretilmiştir. Karışımlarda iri ve ince GDA birlikte kullanılarak %20, 40, 60 ve 80 oranlarında ağırlıkça ikame edilmiştir. GDA ve NA ile üretilen beton numuneleri, laboratuvar ortamında teste tabi tutularak eğilmede çekme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Beton üretiminde, bağlayıcı olarak İstanbul Büyükçekmece AKÇANSA Çimento Fabrikası'ndan alınan portland çimentosu (EN 197-1 CEM I 42,5 R) ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu, karışım suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,47 olan, kimyasal katkı, geri dönüşüm agregalı beton (GDAB) ve normal agregalı beton (NAB) serileri dökülmüştür.

Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve inşaat yıkıntı atığından (İYA) elde edilen geri dönüşüm agregası (GDA) için arazide ve laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 10. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) için yapılan çalışmaların akış diyagramı



Şekil 11. GDA için yapılan çalışmaların akış diyagramı

2.1.1. Agregas

Çalışmada kullanılan normal agregas (NA), İstanbul Ayazağa AGREGASA Agregas Tesisi'nden (yıllık kapasite 1.500.000 ton/yıl) getirtilen No I ve No II doğal agregas ve temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) olarak atık karot numunelerinden elde edilen agregas ve geri dönüşüm agregası (GDA) olarak beton inşaat yıkıntı atığından (İYA) elde edilen agregadır. Kullanılan TGDA ve beton inşaat yıkıntı atığından elde edilen GDA elek analizi deney sonuçları sırasıyla Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmiştir. Agregas yüzeyinde bulunan çimento, harç vb. su emme oranı yüksek bileşenlerden ayıklanıp elde edilen TGDA birim hacim ağırlığı $2,5 \text{ gr/cm}^3$ ve ağırlıkça su emme oranı %3,3 olarak tespit edilmiştir. GDA birim hacim ağırlığı $2,32 \text{ gr/cm}^3$, nem oranı %4,6, ağırlıkça su emme oranı %9,8 ve Los Angeles aşınma deneyi ile GDA'nın 100 devirde %11,8 ve 500 devirde ise %27,72 aşınma kaybı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Agregalar nem ve sudan korunacak şekilde muhafaza edilmiştir.

6306 sayılı Kanun kapsamında yapılarının risk tespiti için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından lisanslandırılmış kurum ve kuruluşlara başvuruda bulunan maliklerin, lisanslı kuruluşlarca tahribatlı yöntemle beton basınç dayanımını belirlemek amacıyla yaklaşık 20 yıllık binalarından alınan karot numunelerinin laboratuvar ortamında basınç testine tabi tutulduktan (ortalama beton basınç dayanımı 10 MPa) sonra atıl durumda olan bu karot numuneleri (Şekil 12) çekiç yardımıyla elle kırılarak (Şekil 13) temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) elde edilmiştir (Şekil 14). Kentsel dönüşüm kapsamında risk tespiti yapılarak riskli yapı olarak belirlenen binanın yıkılması sonucu oluşan beton inşaat yıkıntı atığının (İYA) (Şekil 15) toplanarak elle kırılması (çekiç yardımıyla) sonucu geri dönüşüm agregası (GDA) (Şekil 16 ve Şekil 17) elde edilmiştir. Ayrıca, yıkılan binanın kolonundan alınan 3 adet karotun ortalama basınç dayanımı $32,3 \text{ MPa}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 12. Basınç dayanım testine tabi tutulan karot numuneleri



Şekil 13. Karot numunesinin çekiçle kırılarak temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) temini



Şekil 14. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA)



Şekil 15. Kentsel dönüşüm kapsamında oluşan inşaat yıkıntı atığı (İYA)



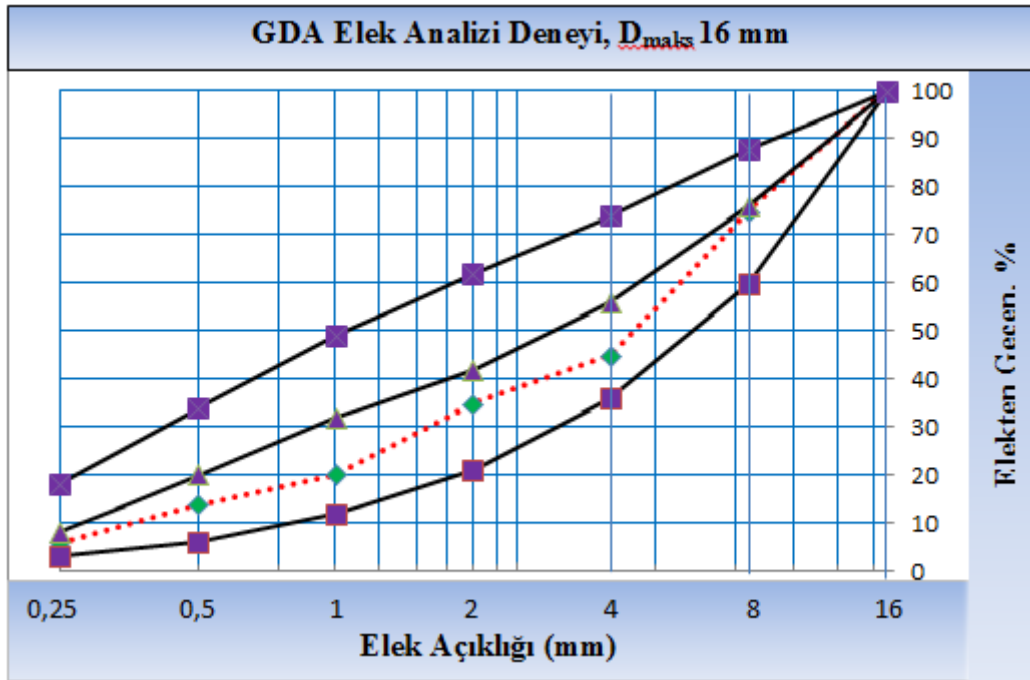
Şekil 16. Beton inşaat yıkıntı atığının (İYA) çekiçle kırılarak geri dönüşüm agregası (GDA) temini



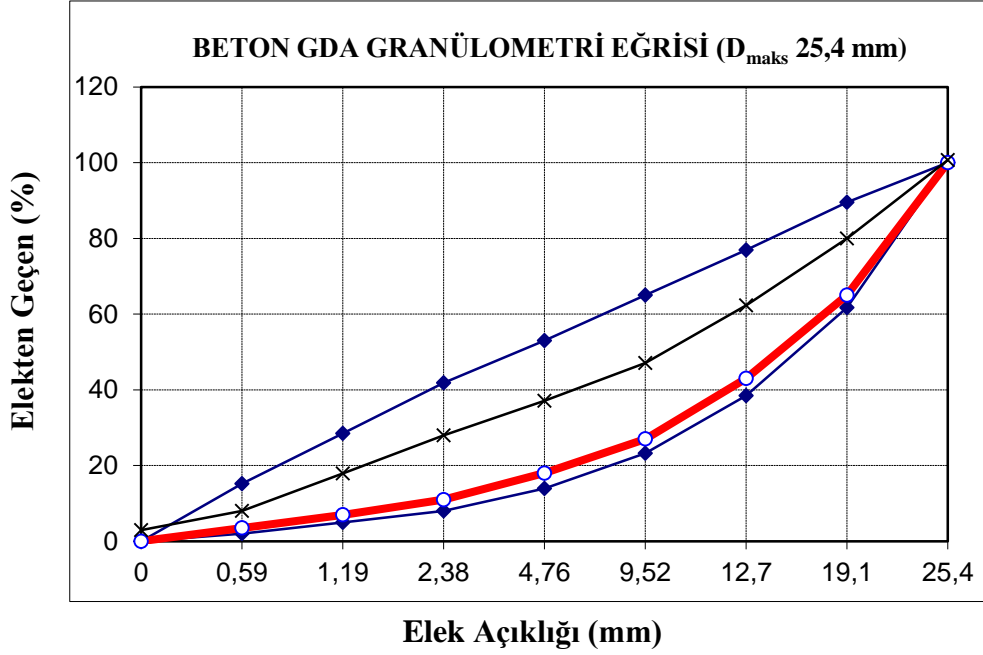
Şekil 17. Beton inşaat yıkıntı atığından (İYA) geri dönüşüm agregası (GDA) temini

2.1.2. Agrega Tane Büyüklüğü Dağılımı

İri ve ince agregalara ait numunelerin tane büyüklüklerine göre dağılımı elek analizi sonucunda belirlenmiştir. Temizlenmiş geri dönüşüm agregasının (TGDA) maksimum tane boyutu 16 mm, geri dönüşüm agregası (GDA) maksimum tane boyutu ise 25,4 mm olarak bulunmuştur. Belirlenen iri ve ince agrega tane dağılımları için karışık agrega dağılımını belirleyebilmek amacıyla, belirli yüzdeler denenerek beton agregaları standartları TS 706 EN 12620 (2003) ve TS 706'daki (1980) maksimum dane büyüklüğü 16 ve 25,4 mm olan eğrilere ait alt (A), orta (B) ve üst sınırlara (C) uygun düşecek şekilde, özellikle alt sınır (A) ile orta (B) arasına yer alacak şekilde karışık agrega granülometrisi ayarlanmıştır [60]. Buna göre karışık agrega %60 iri, %40 ince agregadan oluşacak şekilde ayarlanmıştır. Karışımda kullanılan temizlenmiş GDA granülometri eğrisi ile beton GDA granülometri eğrisi sırasıyla Şekil 18 ve Şekil 19'da sunulmuştur.



Şekil 18. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) granülometri eğrisi



Şekil 19. Beton geri dönüşüm agregası (GDA) granülometri eğrisi

2.1.3. Agregada Birim Hacim Ağırlığı, Su Emme ve Aşınma Deneyi

Betonun kullanım alanlarını belirlemek için agregaların birim hacimdeki ağırlığının miktarının bilinmesi önemli bir etkidir. Agreganın iç yapısında yer alan boşluklar agreganın birim hacim ağırlığını, o da üretilen betonun dayanım ve dayanıklılık unsurlarını etkiler.

Deneylerde kullanılacak olan temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve geri dönüşüm agregası (GDA) arşimet deneyleri sonucunda özgül ağırlıkları ve su emme oranları TS 3526'e (1980) ve TS EN 1097-6 (2002) göre tespit edilmiştir [57]. TGDA ve GDA birim hacim özgül ağırlığı sırasıyla 2,50 ve 2,32 gr/cm^3 'tür. TGDA ve GDA su emme kapasitesi sırasıyla %3,3 ve 9,8 olarak tespit edilmiştir. Los Angeles aşınma deneyi ile GDA'nın 100 devirde %11,8 ve 500 devirde ise %27,72 (beton yol kaplamalarında agrega için aşınma kaybı değeri TS EN 1097-2 ve AASHTO T 96 standartlarına göre %30'u geçerse standart dışında kalmaktadır) aşınma kaybı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Aşınma kaybının 500 devirde %30 olması istendiğinden, yapılan aşınma deneyi sonucu 500 devir sonunda %27,72'lik aşınma kaybı değeriyle bu durumun karşılanmadığı görülmüştür.

2.1.4. Çimento

Çalışmada, İstanbul Büyükçekmece’de bulunan AKÇANSA Çimento Fabrikası’ndan üretilmiş CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. CEM I 42,5 R çimentosunun Büyükçekmece Çimento Fabrikası’nda yapılmış olan kimyasal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 10 ve Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 10. Deneyde kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz / Test Metodu: TS EN 196-2		
Bileşenler	Standartlar	Analiz Sonuçları
SiO ₂ (Çözünen) (%)		19,75
Çözünmez Kalıntı (%)	≤ 5,0	0,35
Al ₂ O ₃ (%)		5,32
Fe ₂ O ₃ (%)		3,36
CaO (%)		62,98
MgO (%)		1,12
SO ₃ (%)	≤ 4,0	3,25
Kızdırma Kaybı (Loss on Ignition) (%)	≤ 5,0	2,85
Cl ⁻ (%)	≤ 0,10	0,0485
Na ₂ O / K ₂ O (%)		0,22 / 0,68
Tayin Edilemeyen (%)		0,42
S.CaO-Free Lime (%)		2
Mineralojik bileşim	C3S	48,27
	C2S	20,29
	C3A	8,42
	C4AF	10,23
LSF		0,95

Tablo 11. Deneyde kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Denemeler / Test Metodu: TS EN 196-3 ve TS EN 196-6			
Özellikler		Standartlar	Analiz Sonuçları
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)			3,14
Priz Süresi	Başlama (dak.)	≥ 60	98
	Bitiş (dak.)		166
Hacim Genleşmesi (mm)		≤ 10	1
İncelik	Özgül Yüzey (cm ² /gr)		3560
	45 µm elek kalıntısı (%)		4,4
	90 µm elek kalıntısı (%)		0,3
Dayanım Denemeleri / Test Metodu: TS EN 196-1			
40x40x160 mm kalıplar Karışım: 1 kısım çimento, 3 kısım CEN ref. Kumu, 0.50 su/çimento			
Basınç Dayanımı (MPa)			
Mekanik Özellik / Gün		Standartlar	Deney Sonuçları
Erken Dayanım 2 gün		≥ 20,0	26,8
Erken Dayanım 7 gün		-----	42,6
Erken Dayanım 28 gün		≥ 42,5 ≤ 62,5	56,4

2.1.5. Kimyasal Katkı – Süper Akışkanlaştırıcı

Taze ve/veya sertleşmiş beton özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında, betona çimento dozajının %5'ini geçmemek üzere eklenen kimyasal maddeler, kimyasal katkı olarak tanımlanmaktadır [58]. Kimyasal katkılar;

- Su azaltıcı katkı,
- Yüksek oranda su azaltıcı katkı,
- Su tutucu katkı,
- Hava sürükleyici katkı,
- Priz hızlandırıcı katkı,
- Serleşmeyi hızlandırıcı katkı,
- Priz geciktirici katkı,
- Çok amaçlı katkı,

olmak üzere sınıflara ayrılmaktadır [59].

Geri dönüşüm agregası (GDA), temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve normal agrega (NA) ile üretilen betonlarda, AYDOS Yapı Kimyasalları San. ve Tic. Ltd. Şti.'nin ürettiği Aydosper-HS 1050 süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır.

Aydosper-HS 1050, düşük su/çimento oranı ile beton dayanımını düşürmeden yüksek işlenebilirlik sağlayan, modifiye naftalin sülfonat esaslı, süper akışkanlaştırıcı beton katkısıdır. TS EN 934-2 Çizelge 3.1 ve 3.2 ve ASTM C 494 Tip F standartlarına uygundur. Döşeme betonları ve temellerde, ince ve sık donatılı betonarme elemanlarının üretiminde, perde, kiriş ve kolonlarda, köprü ve konsollarda, pompalı ve pompasız hazır beton üretiminde kullanılmaktadır. Aydosper-HS 1050 süper akışkanlaştırıcı kimyasal beton katkısının teknik özellikleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Deneyde kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkının teknik özellikleri

Kimyasal İçeriği	Modifiye naftalin sülfonat ve polimer esaslı
Görünüm / Renk	K.Kahverengi sıvı
Yoğunluk	1.17 ± 0.02 kg/l.
pH Değeri	8.0 ± 1
Klor İçeriği(%) (TS EN 480-10)	< % 0.1
Alkali İçeriği(%) (TS EN 480-12)	< % 8
Donma Noktası	°C

2.1.6. Mineral Katkı - Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu

Çalışmada kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu, Karabük Demir Çelik Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Yüksek fırınlarda demir elde edilmesi sürecinde ergimiş metalin üzerinde yüzen bir yan üründür. Öğütülmemiş hali yollarda alt temelde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Deneyde kullanılan öğütölmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri.

Kimyasal analiz raporu			
Bileşenler		Analiz sonuçları	
CaCO ₃ + MgCO ₃	(%)	-----	
H ₂ O	(%)	0,1	
Çözünmeyen Kalıntı	(%)		
SiO ₂	(%)	39,77	
Al ₂ O ₃	(%)	9,67	
Fe ₂ O ₃	(%)	1,38	
CaO	(%)	37,96	
MgO	(%)	8,4	
S	(%)	0,32	
Na ₂ O	(%)	0,34	
K ₂ O	(%)	1,2	
Klorür (Cl ⁻)	(%)	0,0231	
Kızdırma Kaybı (Loss on Ignition)	(%)	0	
Toplam		99,06	
Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)		2,91	
İncelik	Özgöl Yüzey	(cm ² /gr)	3540
	0.045 mm. elekte kalıntı	(%)	0,8
	0.090 mm. elekte kalıntı	(%)	0
	0.200 mm. elekte kalıntı	(%)	0
Aktivite test değeri	N/mm ²	11,1	

2.1.7. Karışım Suyu

Betonda, karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Beton Karışım Hesabının Yapılması

2.2.1. Geri Dönüşüm ve Normal Agregası ile Üretilen Betonun Karışım Tasarımı

Geri dönüşüm agregası (GDA), temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve normal agregası (NA) ile C30/37 beton sınıfında olmasını istediğimiz numunenin karışım hesabında TS 802 – Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları madde 6.1’deki hesaplama bağıntısı dikkate alınarak Formül 1 tasarlanmıştır [59].

$$\frac{\zeta}{\rho_{\zeta}} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + w + \frac{W_a}{\rho_a} + 10 \times A = 1000 \text{ dm}^3 \quad (1)$$

Burada;

ζ : Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg),

p : Karışımında çimentoya ilâve edilen mineral katkı (puzolan) miktarı (kg),

k : Karışımında kullanılacak kimyasal katkı miktarı (kg),

ρ_{ζ} : Çimentonun yoğunluğu (kg/dm³),

ρ_p : Mineral katkı (puzolan) malzemenin yoğunluğu (kg/dm³),

ρ_k : Kimyasal katkının yoğunluğu (kg/dm³),

w : Karışıma girecek suyun hacmi (dm³),

W_a : Karışıma girecek agreganın miktarı (kg),

ρ_a : Agreganın ortalama özgül kütlesi (g/cm³),

A : Betondaki toplam hava miktarı (%)’dir.

Ayrıca, TS 802 – Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları madde 5.5’e göre karışım tasarımında kullanılacak hedef basınç dayanımları, beton sınıflarına bağlı olarak Tablo 14 ve 28 günlük basınç dayanımlarına bağlı olarak s/ç oranları Tablo 15’de verilmektedir.

Tablo 14. Beton sınıflarına göre karışım hesabında esas alınacak hedef basınç dayanımları (f_{cm}) ile deney numunelerinin sahip olması gereken ortalama basınç dayanımları (TS 802), [59].

Beton sınıfı	Karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} (MPa)		Hedef basınç dayanımı, f_{cm} (Ortalama silindir/eşdeğer küp basınç dayanımı) (MPa)		
	Karakteristik silindir (150x300) (mm) basınç dayanımı, f_{ck} (MPa)	Eşdeğer küp (150x150x150) (mm) basınç dayanımı, f_{ck} (MPa)	Standart sapma biliniyorsa	Standart sapma bilinmiyorsa	
				(150x300) (mm) silindir	(150x150x150) (mm) küp
C14/16	14	16	$f_{cm}=f_{ck}+1,48\sigma$	18	20
C16/20	16	20		20	24
C18/22	18	22		22	26
C20/25	20	25		26	31
C25/30	25	30		31	36
C30/37	30	37		36	43
C35/45	35	45		43	53
C40/50	40	50		48	58
C45/55	45	55		53	63
C50/60	50	60		58	68
C55/67	55	67		63	75
C60/75	60	75		68	83
C70/85	70	85		78	93
C80/95	80	95		88	103
C90/105	90	105		98	113
C100/115	100	115	108	123	

Tablo 15. 28 Günlük beton basınç dayanımlarına göre yaklaşık s/ç oranları [59].

Basınç Dayanımı (28 gün) (150x300) mm Silindir (MPa)	Su/çimento oranı	
	Hava sürüklenmemiş beton	Hava sürüklenmiş beton
45	0,37	----
40	0,42	----
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

2.3. Beton Karışımındaki Bileşenlerin Belirlenmesi

2.3.1. Çökme Miktarının Belirlenmesi

Beton karışımındaki bileşenleri belirlemek amacıyla öncelikle tasarımını yapacağımız betonun çökme (slamp) miktarını belirlemek gerekmektedir. Beton karışımının, dayanım, ekonomiklik ve işlenebilirlik açısından optimum bir kıvamda olması gerekmektedir. Değişik yapı elemanlarında kullanılacak beton için öngörülen minimum ve maksimum çökme miktarları TS 802 – Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları madde 5.9'a göre belirlenmiştir [59]. Kıvamın herhangi bir şekilde belirlenmediği durumlarda, beton karışım hesabı için Tablo 16'dan uygun bir değer alınabilmektedir.

Yol kaplama betonları için geri dönüşüm agregası ve normal agregası ile oluşturulacak beton numunenin karışım hesabında çökme (slamp) değeri 30 mm alınmıştır.

Tablo 16. Çeşitli yapı elemanları için uygun çökme (slamp) değerleri (TS 802) [59].

Yapı Elemanı	Çökme, mm	
	En az	En fazla
Betonarme temel duvarları ve ayaklar	30	80
Donatısız beton temeller, kesonlar ve altyapı duvarları	30	80
Kiriş, kolon, betonarme perdeler, tünel yan ve kemer betonları	50	100
Döşeme betonları	30	80
Tünel taban kaplama betonları	20	50
Baraj kütle betonu	20	50

2.3.2. Maksimum Agregası Çapına Karar Verilmesi

TS 802 – Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları madde 5.1'de, beton imalatında kullanılacak agreganın TS 3530 EN 933-1'e uygun olarak tayin edilen en büyük tane büyüklüğü; betonun kullanılacağı yapı elemanının şekil, cins ve en dar kesitinin boyutu, beton örtü tabakası (pas payı) kalınlığı ile betonun dökümünde kullanılacak yöntemle bağlı olup, agregası en büyük tane büyüklüğü, en dar kesite ait kalıp genişliğinin 1/5'ini, döşeme

derinliğinin 1/3'ünü, donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4'ünü aşmayacak tarzda seçilmesi ifade edilmektedir [59].

Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve geri dönüşüm agregası (GDA) ile üretilen beton numuneleri için elde edilen agreganın maksimum tane büyüklüğü sırasıyla 16 ve 25,4 mm olarak belirlenmiştir. TS 802'de çeşitli yapı elemanları için seçilebilecek maksimum agrega çapına ilişkin değerler belirtilmiş olup, bu değerle Tablo 17'de verilmektedir.

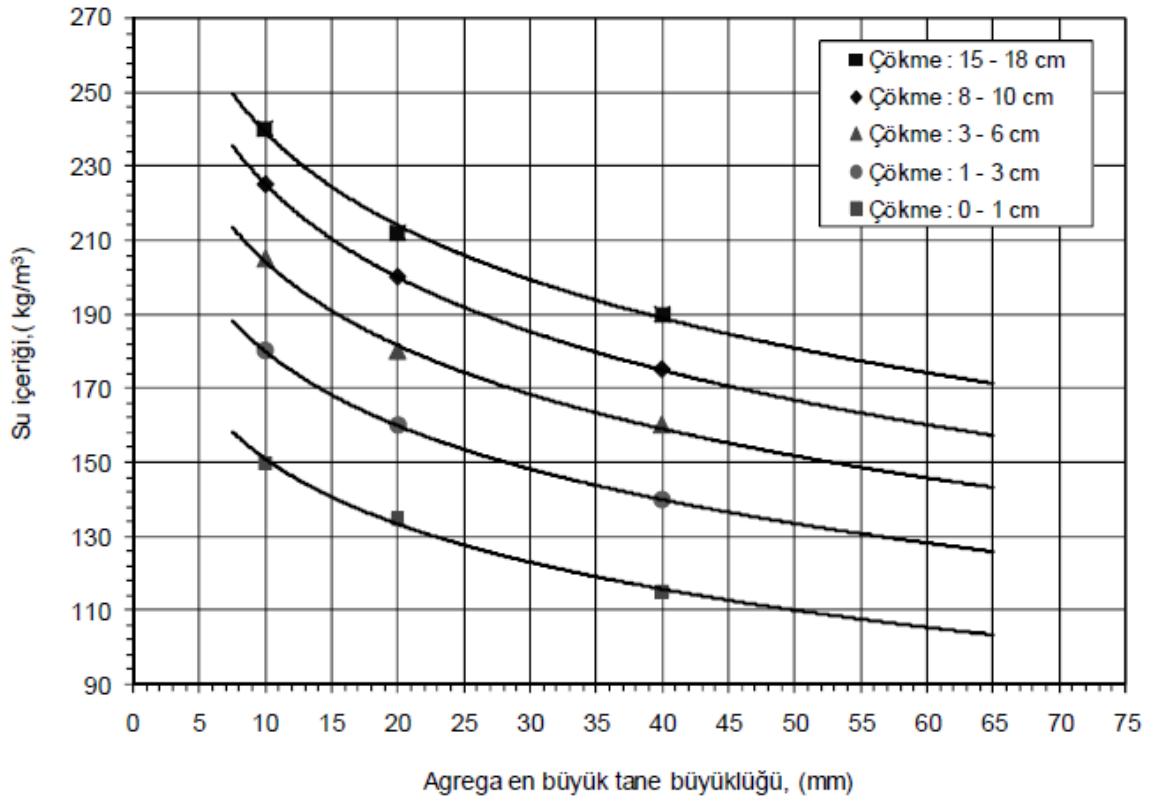
Tablo 17. Çeşitli yapı elemanları için boyutlara bağlı olarak kullanılacak agrega en büyük tane büyüklükleri (TS 802), [59].

Yapı elemanı kesitinin en dar boyutu (cm)	Agrega en büyük tane büyüklüğü (en fazla) (mm)			
	Donatılı perde, kiriş ve kolonlar	Sık donatılı döşemeler	Seyrek donatılı ve donatısız döşemeler	Donatısız perdeler
6-14	16	16	32	16
15-29	32	32	63	32
30-74	63	63	63	63

2.3.3. Su Miktarına Karar Verilmesi

Betonun karışım suyu miktarı, agrega en büyük tane büyüklüğüne, betonun kıvamına, betonun içerisinde kullanılacak olan kimyasal katkıya ve hava sürükleyici katkıya bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Beton üretimi için gerekli olan yaklaşık karışım suyu miktarı, TS 802'den betonun çökmesi ve en büyük agrega tane büyüklüğüne göre verilen Şekil 20'den belirlenmiştir. 30 mm'lik çökme (slamp) değerine sahip beton için temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve geri dönüşüm agregası (GDA)'nın sırasıyla en büyük agrega tane büyüklüğü olan 16 ve 25,4 mm'ye göre yaklaşık karışım suyu miktarı 166 kg/m^3 olarak alınmıştır. TGDA fazla su emme kapasitesine sahip olmadığından ilave su ihtiyacına gerek duyulmamıştır. Ancak, GDA yüksek su emme kapasitesine sahip olduğundan ilave su ihtiyacına gerek duyulduğundan karışım suyu miktarına ekstra su eklenmiştir.

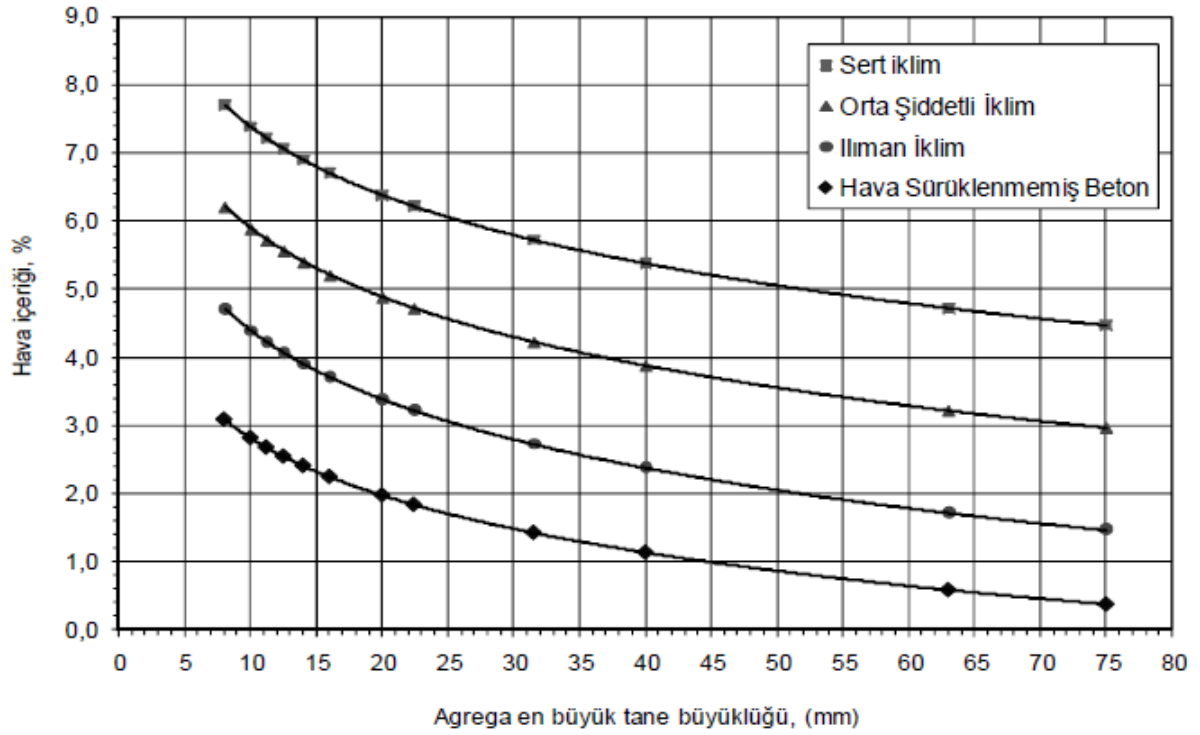


Şekil 20. Doğal şekillenmiş agregalar ile farklı en büyük agrega tane büyüklüğü ve farklı beton çökme değerleri için kimyasal katkısız ve hava sürüklenmemiş betonun yaklaşık karışım suyu miktarı (TS 802), [59].

2.3.4. Hava Miktarına Karar Verilmesi

Betondaki hava miktarı, agregadaki kapalı boşluklar dışındaki mevcut hava hacminin beton hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır.

TS 802'de, betonun toplam hava içeriği (TS EN 12350-7 standardına göre belirlenen), iklim şartlarına ve agrega en büyük tane büyüklüğüne uygun olarak seçilmelidir (Şekil 21). İklim şartlarına ve en büyük agrega tane büyüklüğü olan 16 ve 25,4 mm'ye göre Şekil 21'den uygun hava içeriği yaklaşık %2,2 olarak alınmıştır.



Şekil 21. Agrega en büyük tane büyüklüğüne ve iklim şartlarına bağlı olarak beton karışım hesaplarında kullanılacak uygun hava içerikleri (TS 802), [59].

2.3.5. Su/Çimento Oranının Seçilmesi

TS 802’de, su/çimento oranı, betonun (katkılı veya katkısız) dayanım sınıfı ve maruz kalacağı dış etkilerin şiddeti (sıcaklık farklarına, meydana gelebilecek donma-çözülme olayına, bölgenin yağış durumuna, beton yol kaplamanın veya yapının etkisinde kalacağı suyun seviyesi ve özellikleri) ile ilişkilidir.

C30/37 beton sınıfında olmasını istediğimiz beton numuneler için su/çimento oranını belirlemek amacıyla TS 802’de verilen Tablo 15’den (28 Günlük beton basınç dayanımlarına göre yaklaşık s/ç oranları) uygun s/ç oranı 0,47 olarak belirlenmiştir.

2.3.6. Eşdeğer Çimento Miktarının Belirlenmesi

Bir metreküp beton bileşiminde bulunan çimento miktarına dozaj denilmektedir. TS 802’ye göre s/ç oranı ve su miktarı uygun bir şekilde belirlendikten sonra karışıma girecek çimento miktarı yine TS 802 madde 6.2.1’de verilen Formül 2’ye göre hesaplanmıştır.

Çimento miktarı,

$$\zeta = \frac{s}{s/\zeta} \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada;

ζ : Karışıma girecek çimento kütlesi (kg)

s: Karışıma girecek su kütlesi (kg)

s/ ζ : Su/çimento oranı,

olarak verilmiştir.

Eşdeğer çimento miktarı 350 kg/m^3 alınmıştır. Eşdeğer çimento miktarının %70'i çimento, %30'u mineral katkı olarak tasarlanmış olup, beton karışım hesaplarında çimento miktarı 245 kg/m^3 olarak belirlenmiştir.

2.3.7. Kimyasal ve Mineral Katkı Miktarının Belirlenmesi

Üretilecek beton içerisinde kullanılacak kimyasal katkı miktarı, katkı uygunluk deneyi sonucu istenilen işlenebilirlik değerini sağlayabilecek şekilde TS 802'den çimento dozajına oranla %1,5 olarak alınmıştır. Yani karışımda kullanılacak kimyasal katkının miktarı, eşdeğer çimento dozajının (350 kg/m^3) %1,5'lük değeri $5,25 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır.

Beton karışım hesap tasarımında eşdeğer çimento dozajının %30 u kadar mineral katkı, %70'i kadar da çimento kullanılmıştır. Beton karışım hesap tasarımında mineral katkı miktarı 105 kg/m^3 alınmıştır.

2.3.8. Geri Dönüşüm ve Normal Agrega Miktarının Belirlenmesi

Beton karışımına giren bileşenlerden ağırlık ve hacim olarak en büyük değeri agrega oluşturmaktadır. TS 802 – Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları madde 6.1'deki hesaplama bağıntısı Formül 3 dikkate alınarak agrega hacmi hesaplanmıştır [59].

$$\frac{W_a}{\rho_a} = \left\{ 1000 - \left(\frac{\zeta}{\rho_\zeta} + \frac{p}{\rho_p} + \frac{k}{\rho_k} + w + 10 \times A \right) \right\} \quad (3)$$

$$\frac{W_a}{\rho_a} = 694 \text{ dm}^3$$

bulunmuştur.

Beton karışım tasarım hesabında kullanılacak %100 temizlenmiş geri dönüşüm iri ve ince agrega kütlesi;

$$W_{a\text{Temizlenmiş}\%100\text{GDA (iri agrega)}(8-16 \text{ mm})} = 694 \times 0,60 \times 2,5 = 1041 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{ Temizlenmiş}\%100\text{GDA (ince agrega)}(0-4\text{mm})} = 694 \times 0,40 \times 2,6 = 722 \text{ kg}$$

olarak hesaplanmıştır.

Beton karışım tasarım hesabında kullanılacak %100 normal iri ve ince agrega kütlesi;

$$W_{a\text{Normal}\%100 \text{ (No II Mıçır)}(12-22 \text{ mm})} = 694 \times 0,40 \times 2,7 = 750 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{ Normal}\%100\text{(No I Mıçır)}(4-12 \text{ mm})} = 694 \times 0,20 \times 2,7 = 375 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{ Normal}\%100\text{(ince agrega)}(0-4 \text{ mm})} = 694 \times 0,40 \times 2,6 = 722 \text{ kg}$$

olarak hesaplanmıştır.

Beton karışım tasarım hesabında birlikte kullanılacak %20 geri dönüşüm iri ve ince agrega kütlesi ile %80 normal iri ve ince agrega kütlesi;

$$W_{a\text{GDA}\%20 \text{ (iri agrega)}(8-25,4 \text{ mm})} = 694 \times 0,60 \times 2,5 \times 0,2 = 208 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{GDA}\%20\text{(ince agrega)}(0-4 \text{ mm})} = 694 \times 0,40 \times 2,6 \times 0,2 = 144 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{Normal}\%80\text{(No II Mıçır)}(12-22 \text{ mm})} = 694 \times 0,40 \times 2,7 \times 0,8 = 600 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{ Normal}\%80\text{(No I Mıçır)}(4-12 \text{ mm})} = 694 \times 0,20 \times 2,7 \times 0,8 = 300 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{ Normal}\%80\text{(ince agrega)}(0-4 \text{ mm})} = 694 \times 0,40 \times 2,6 \times 0,8 = 578 \text{ kg}$$

Beton karışım tasarım hesabında birlikte kullanılacak %40 geri dönüşüm iri ve ince agrega kütlesi ile %60 normal iri ve ince agrega kütlesi;

$$W_{a\text{GDA}\%40 \text{ (iri agrega)}(8-25,4 \text{ mm})} = 694 \times 0,60 \times 2,5 \times 0,4 = 416 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{GDA}\%40 \text{ (ince agrega)}(0-4 \text{ mm})} = 694 \times 0,40 \times 2,6 \times 0,4 = 289 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{Normal}\%60 \text{ (No II Mıçır)}(12-22 \text{ mm})} = 694 \times 0,40 \times 2,7 \times 0,6 = 450 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{ Normal}\%60\text{(No I Mıçır)}(4-12 \text{ mm})} = 694 \times 0,20 \times 2,7 \times 0,6 = 225 \text{ kg}$$

$$W_{a\text{ Normal}\%60\text{(ince agrega)}(0-4 \text{ mm})} = 694 \times 0,40 \times 2,6 \times 0,6 = 433 \text{ kg}$$

Beton karışım tasarım hesabında birlikte kullanılacak %60 geri dönüşüm iri ve ince agrega kütlesi ile %40 normal iri ve ince agrega kütlesi;

$$W_{aGDA\%60}(\text{iri agrega})(8-25,4 \text{ mm}) = 694 \times 0,60 \times 2,5 \times 0,6 = 625 \text{ kg}$$

$$W_{aGDA\%60}(\text{ince agrega})(0-4 \text{ mm}) = 694 \times 0,40 \times 2,6 \times 0,6 = 433 \text{ kg}$$

$$W_{aNormal\%40}(\text{No II Mıdır})(12-22 \text{ mm}) = 694 \times 0,40 \times 2,7 \times 0,4 = 300 \text{ kg}$$

$$W_{aNormal\%40}(\text{No I Mıdır})(4-12 \text{ mm}) = 694 \times 0,20 \times 2,7 \times 0,4 = 150 \text{ kg}$$

$$W_{aNormal\%40}(\text{ince agrega})(0-4 \text{ mm}) = 694 \times 0,40 \times 2,6 \times 0,4 = 289 \text{ kg}$$

Beton karışım tasarım hesabında birlikte kullanılacak %80 geri dönüşüm iri ve ince agrega kütlesi ile %20 normal iri ve ince agrega kütlesi;

$$W_{aGDA\%80}(\text{iri agrega})(8-25,4 \text{ mm}) = 694 \times 0,60 \times 2,5 \times 0,8 = 833 \text{ kg}$$

$$W_{aGDA\%80}(\text{ince agrega})(0-4 \text{ mm}) = 694 \times 0,40 \times 2,6 \times 0,8 = 578 \text{ kg}$$

$$W_{aNormal\%20}(\text{No II Mıdır})(12-22 \text{ mm}) = 694 \times 0,40 \times 2,7 \times 0,2 = 150 \text{ kg}$$

$$W_{aNormal\%20}(\text{No I Mıdır})(4-12 \text{ mm}) = 694 \times 0,20 \times 2,7 \times 0,2 = 75 \text{ kg}$$

$$W_{aNormal\%20}(\text{ince agrega})(0-4 \text{ mm}) = 694 \times 0,40 \times 2,6 \times 0,2 = 144 \text{ kg}$$

1 m³'lük %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen betonun teorik birleşimi için gerekli malzeme miktarları Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. 1 m³'lük %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen beton için karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg)
Çimento	245
Mineral katkı (öğütülmüş yüksek fırın cürufu)	105
İri agrega (8-16 mm)	1041
İnce agrega (0-4 mm)	722
Su	166
Kimyasal katkı (süper akışkanlaştırıcı)	5,25
Toplam (kg/m ³)	2284,25

1 m³'lük %100 normal agrega (NA) ile üretilen betonun teorik birleşimi için gerekli malzeme miktarları Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. 1 m³'lük %100 normal agregası (NA) ile üretilen beton için karışım miktarları

Malzemeler	Miktar (kg)
Çimento	245
Mineral katkı (öğütülmüş yüksek fırın cürufu)	105
No II Mıçır (12-22 mm)	750
No I Mıçır (4-12 mm)	375
İnce agregası (0-4 mm)	722
Su	166
Kimyasal katkı (süper akışkanlaştırıcı)	5,25
Toplam (kg/m ³)	2368,25

1 m³'lük %20'si iri ve ince geri dönüşüm agregası ve %80'i iri ve ince normal agregası ile üretilen betonun teorik birleşimi için gerekli malzeme miktarları Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20. 1 m³'lük %20 GDA + %80 NA ile üretilen beton için karışım miktarları

(%20 Geri Dönüşüm Agregası + %80 Normal Agregası) Malzeme Miktarları	
Malzemeler	Miktar (kg)
Çimento	245
Mineral katkı (Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu)	105
No II Mıçır (12-22 mm)	600
No I Mıçır (4-12 mm)	300
İnce agregası - kum (0 - 4 mm)	578
İri Geri Dönüşüm Agregası (4 - 22 mm)	208
İnce Geri Dönüşüm Agregası – kum (0 – 4 mm)	144
Su	166
Kimyasal katkı (Süper Akışkanlaştırıcı)	5,25
Toplam (kg/m ³)	2351,25

1 m³'lük %40'ı iri ve ince geri dönüşüm agregası ve %60'ı iri ve ince normal agregası ile üretilen betonun teorik birleşimi için gerekli malzeme miktarları Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. 1 m³'lük %40 GDA + %60 NA ile üretilen beton için karışım miktarları

(%40 Geri Dönüşüm Agregası + %60 Normal Agregası) Malzeme Miktarları	
Malzemeler	Miktar (kg)
Çimento	245
Mineral katkı (Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu)	105
No II Mıçır (12-22 mm)	450
No I Mıçır (4-12 mm)	225
İnce agregası - kum (0 - 4 mm)	433
İri Geri Dönüşüm Agregası (4 - 22 mm)	416
İnce Geri Dönüşüm Agregası – kum (0 – 4 mm)	289
Su	166
Kimyasal katkı (Süper Akışkanlaştırıcı)	5,25
Toplam (kg/m ³)	2334,25

1 m³'lük %60'ı iri ve ince geri dönüşüm agregası ve %40'ı iri ve ince normal agregası ile üretilen betonun teorik birleşimi için gerekli malzeme miktarları Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22. 1 m³'lük %60 GDA + %40 NA ile üretilen beton için karışım miktarları

(%60 Geri Dönüşüm Agregası + %40 Normal Agregası) Malzeme Miktarları	
Malzemeler	Miktar (kg)
Çimento	245
Mineral katkı (Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu)	105
No II Mıçır (12-22 mm)	300
No I Mıçır (4-12 mm)	150
İnce agregası - kum (0 - 4 mm)	289
İri Geri Dönüşüm Agregası (4 - 22 mm)	625
İnce Geri Dönüşüm Agregası – kum (0 – 4 mm)	433
Su	166
Kimyasal katkı (Süper Akışkanlaştırıcı)	5,25
Toplam (kg/m ³)	2318,25

1 m³'lük %80'ı iri ve ince geri dönüşüm agregası ve %20'si iri ve ince normal agregası ile üretilen betonun teorik birleşimi için gerekli malzeme miktarları Tablo 23'de verilmiştir.

Tablo 23. 1 m³'lük %80 GDA + %20 NA ile üretilen beton için karışım miktarları

(%80 Geri Dönüşüm Agregası + %20 Normal Agregası) Malzeme Miktarları	
Malzemeler	Miktar (kg)
Çimento	245
Mineral katkı (Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu)	105
No II Mıcır (12-22 mm)	150
No I Mıcır (4-12 mm)	75
İnce agrega - kum (0 - 4 mm)	144
İri Geri Dönüşüm Agregası (4 - 22 mm)	833
İnce Geri Dönüşüm Agregası - kum (0 - 4 mm)	578
Su	166
Kimyasal katkı (Süper Akışkanlaştırıcı)	5,25
Toplam (kg/m ³)	2301,25

Tablo 24. Farklı oranlarda üretilen betona ait karışım miktarları

Beton Karışım Oranları	Çim. (kg/m ³)	No II Mıcır (kg/m ³)	No I Mıcır (kg/m ³)	İnce NA (kg/m ³)	İri GDA (kg/m ³)	İnce GDA (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Min. Katkı (kg/m ³)	S.A. Katkı (kg/m ³)	Toplam (kg/m ³)
%100 TGDA	245	-	-	-	1041	722	166	105	5,25	2284,25
%100 NA	245	750	375	722	-	-	166	105	5,25	2368,25
%20 GDA + %80 NA	245	600	300	578	208	144	166	105	5,25	2351,25
%40 GDA + %60 NA	245	450	225	433	416	289	166	105	5,25	2334,25
%60 GDA + %40 NA	245	300	150	289	625	433	166	105	5,25	2318,25
%80 GDA + %20 NA	245	150	75	144	833	578	166	105	5,25	2301,25

2.4. Beton Numunelerin Üretilmesi

Geri dönüşüm agregası (GDA), temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve normal agrega (NA) ile üretilecek numunelerin sertleşmiş beton deneyleri için deney numunesi ve kalıpların şekli ve boyutu TS EN 12390-1 (2002) de belirtilen şartlara göre seçilmiştir [60]. Beton karışım hesapları sonucunda ağırlıkları bulunan malzemeler hassas terazide tartıldıktan sonra önceden nemlendirilmiş betoniyer içerisine konulmuştur. Betoniyere malzemeler, ilk önce iri ve ince agrega konulmuş ve 1-2 dk. karıştırılmıştır. Daha sonra çimento ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu eklenmiş, 2-3 dk. bu şekilde

betoniyerde karıştırmaya devam edilmiştir. Ardından su ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı betoniyere eklenerek 3-5 dk. daha karıştırmaya devam edilmiştir. Karıştırma işleminin tamamlanmasının ardından, daha önce temizlenmiş ve yağlanmış olan beton numune kalıplarına (Şekil 22) taze beton karışımları şişlenerek tokmak yardımıyla yerleştirilmiştir. Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması (Şekil 23) ve kürlenmesi, TS EN 12390-2 (2002) standardına göre yapılmıştır [61].



Şekil 22. Kiriş numune kalıplarının temizlenmesi ve yağlanması



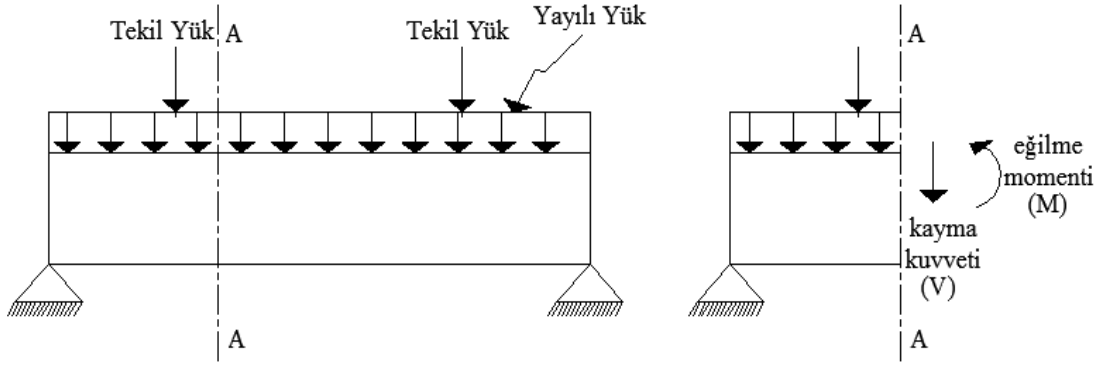
Şekil 23. Kiriş kalıplara %20 GDA ve %80 NA karışım betonunun yerleştirilmesi

2.5. Beton Numuneler Üzerinde Yapılan Testler

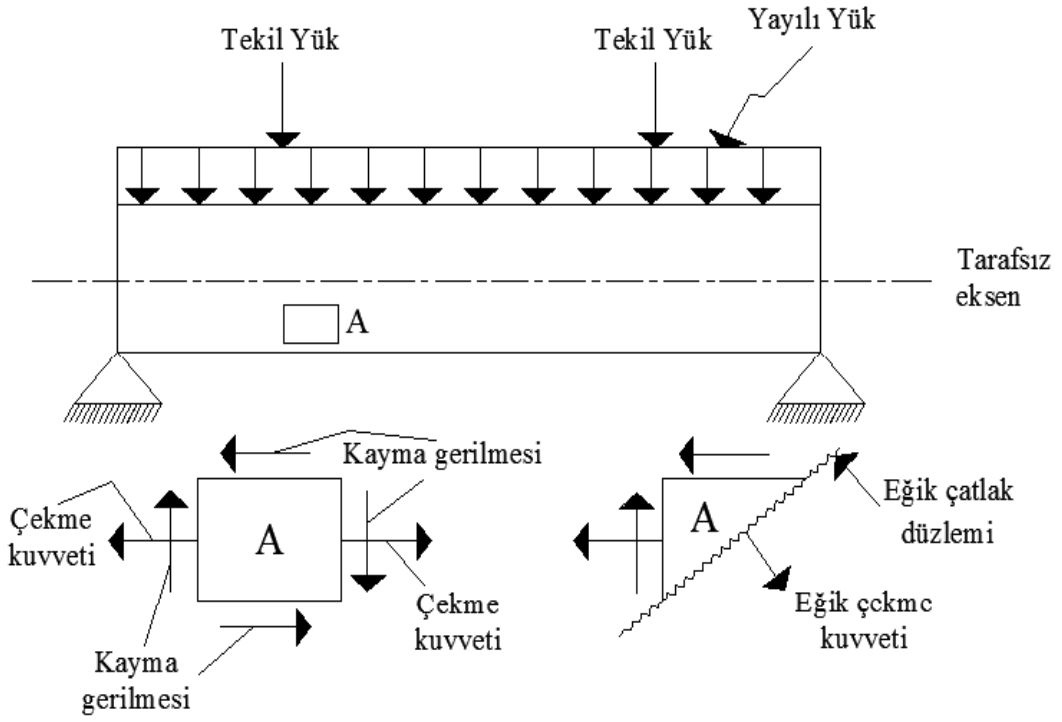
Araştırma amacı doğrultusunda 3 adet %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve 3 adet de %100 normal agregası (NA) ile toplamda 6 adet 15x15x65 cm boyutunda beton kiriş numune (TS EN 12390 -1'e uygun) ve GDA'nın NA yerine %20, 40, 60 ve 80 karışım oranlarında birlikte kullanımı sonucu toplamda 12 adet 15x15x75 cm boyutunda beton kiriş numune (TS EN 12390 -1'e uygun) üretilmiştir [60]. Üretilen beton kiriş numuneler, 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir. Kür havuzundan çıkarılan numuneler üzerinde eğilmede çekme dayanım deneyi uygulanmıştır. Ardından TGDA ve NA ile üretilen numuneler beton kesme makinesiyle kesilerek 15x15x15 cm boyutunda küp numuneler elde edilmiştir. Bu küp numuneler üzerinde de basınç dayanım deneyi uygulanmıştır.

2.6. Geri Dönüşüm Agregalı Beton (GDAB) Numuneler Üzerinde Eğilmede Çekme Dayanımı Testi

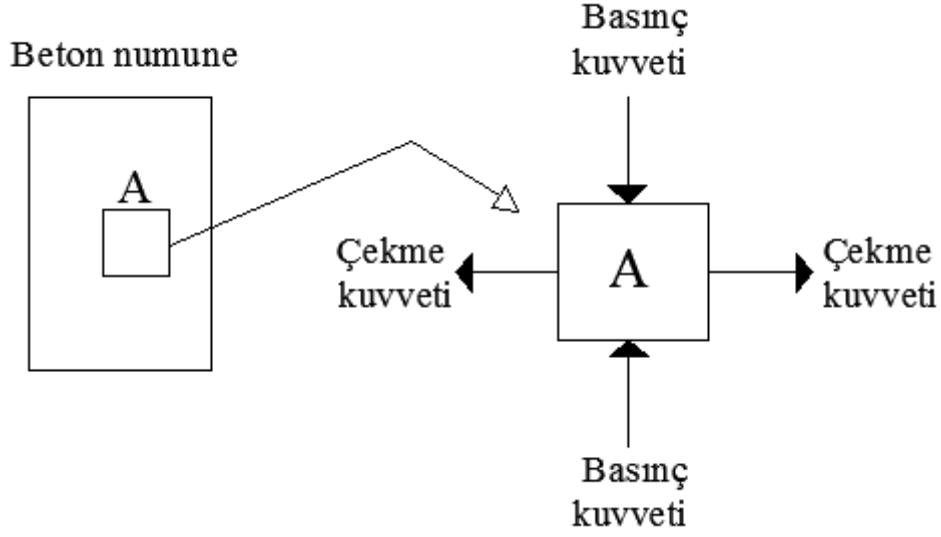
Betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti betonun çekme dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Yol mühendisi, beton yol tasarımı yaparken betonun çekme dayanımı ve basınç dayanımı o tasarımda önemli rol oynamaktadır. Beton elemanların üzerine gelen basınç ve eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı da olsa çekme kuvvetlerinin oluşmasına sebebiyet verecektir. Yol betonunun yüksek sıcaklık farklarına veya donma-çözünme olayına maruz kalması durumunda içerisindeki donatı ve agregası tarafından bu etki tepkiye direnmesiyle de betonun içerisinde çekme kuvvetleri oluşabilmektedir. Betondaki çekme kuvvetlerinin nasıl oluştukları aşağıda gösterilmektedir (Şekil 24, Şekil 25 ve Şekil 26) [62].



Şekil 24. Basit kirişteki kayma kuvveti ve eğilme momenti [62].



Şekil 25. Basit kirişin bir A elemanı üzerindeki çekme ve eğik çekme kuvvetleri [62].



Şekil 26. Betona basınç uygulanmasıyla bir A elemanında oluşan çekme kuvveti [62].

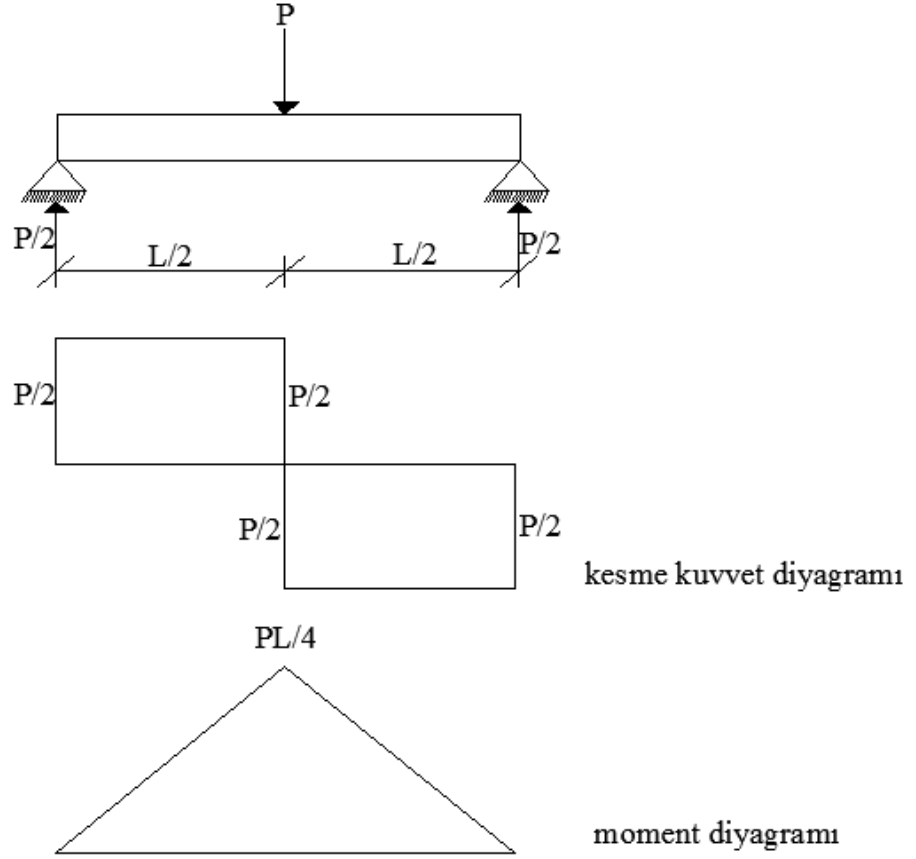
Şekil 24'den görülebileceği gibi, basit bir kirişin üzerindeki eğilme yükleri, kiriş kesitinde kesme kuvveti ve eğilme momenti oluşturmaktadır. Eğilme momenti, kirişteki tarafsız eksenin üstünde kalan bölgede basınç gerilmesi, altında kalan bölgede ise, çekme gerilmesi meydana getirmektedir. Yani, Şekil 25'de gösterildiği gibi, tarafsız eksenin altındaki bölgede bulunan küçük bir A elemanının üzerinde hem çekme hem de kayma gerilmeleri bulunmaktadır. Kayma gerilmelerine diyagonal olan düzleme (eğik düzleme) dik olarak "eğik çekme" kuvveti oluşmaktadır. Eğik çekme kuvveti, eğik düzlem üzerinde "eğik çatlak" olarak adlandırılan çatlakların yer almasına neden olmaktadır. Şekil 26'dan görülebileceği gibi, beton numune üzerine basınç yükü uygulanması durumunda da, betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetleri oluşmaktadır [62].

Beton yolda oluşacak basınç ve çekme gerilmeleri, trafik yüküne, yolun yapılacağı bölgenin konumu ve iklim şartlarına, kaplama kalınlığına, yol altyapısına bağlı olduğu gibi proje mühendisi tarafından seçilecek beton yolun türüne (donatısız ve derzli, kısmen donatılı ve derzli, sürekli donatılı ve derzsiz) ve beton sınıfına bağlı olarak değişkenlik gösterecektir.

Beton yolun projelendirme ve tasarım aşamasında genellikle eğilmede çekme dayanımı baz alınmaktadır. Betonda oluşan çekme kuvvetleri, betonun çatlamasına ve kırılmasına yol açan en önemli nedendir. Betonun içerisindeki çatlakların oluşması, bu çatlaklarla betonun içerisine dışarıdan su ve bu sularla birlikte sülfat, asit, gibi maddelerin girmesine sebebiyet verecektir. Bir beton yolun altyapısı ve drenaj sistemleri iyi

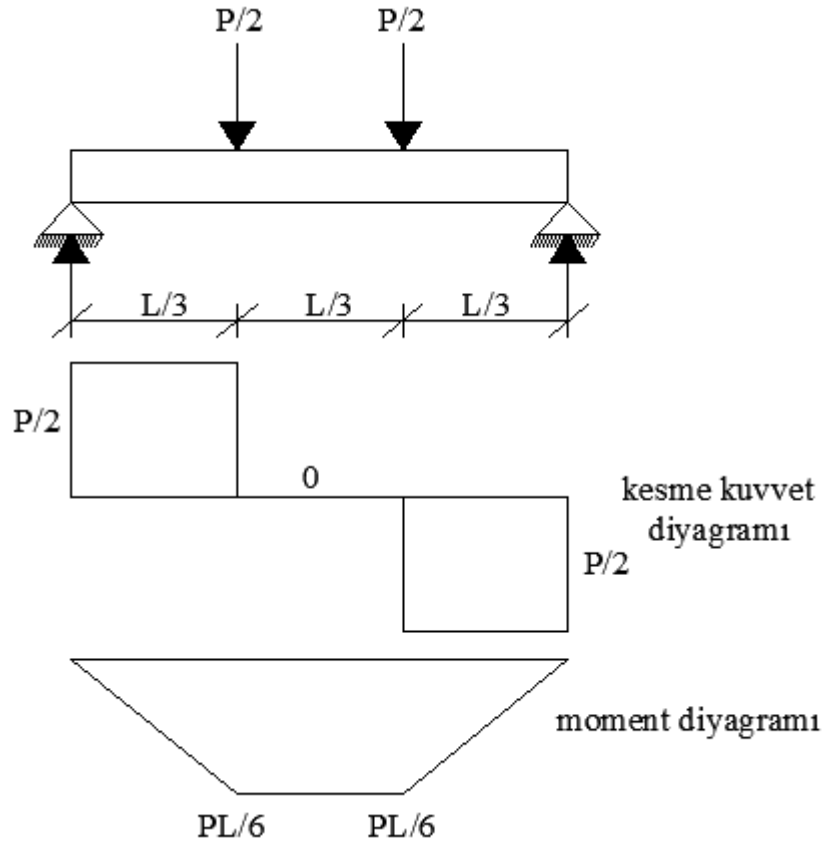
I : Atalet momenti (dikdörtgen kesitler için $I = bd^3/12$; kare kesitler için $I = d^4/12$)'dir.

Orta noktadan yüklenen üç nokta eğilme deneyinde dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde oluşan kesme kuvvetleri ve momentler Şekil 29'da verilmiştir.



Şekil 29. $1/2$ mesafesinden yüklenen kirişteki kesme ve moment diyagramı [62].

Mesnete $1/3$ mesafesinden yüklenen dört nokta eğilme deneyinde dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde oluşan kesme kuvvetleri ve momentler Şekil 30'da verilmiştir.



Şekil 30. 1/3 mesafesinden yüklenen kirişteki kesme ve moment diyagramı [62].

Bu moment değerleri yukarıdaki formülde yerine konulacak olursa orta noktasından (1/2 mesafesinden) yüklenen üç nokta eğilme deneyi ve mesnete 1/3 mesafesinden yüklenen dört nokta eğilme deneyi ile basit kirişte eğilme dayanımı aşağıdaki formül ile elde edilmiştir.

$$\sigma_e = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (5)$$

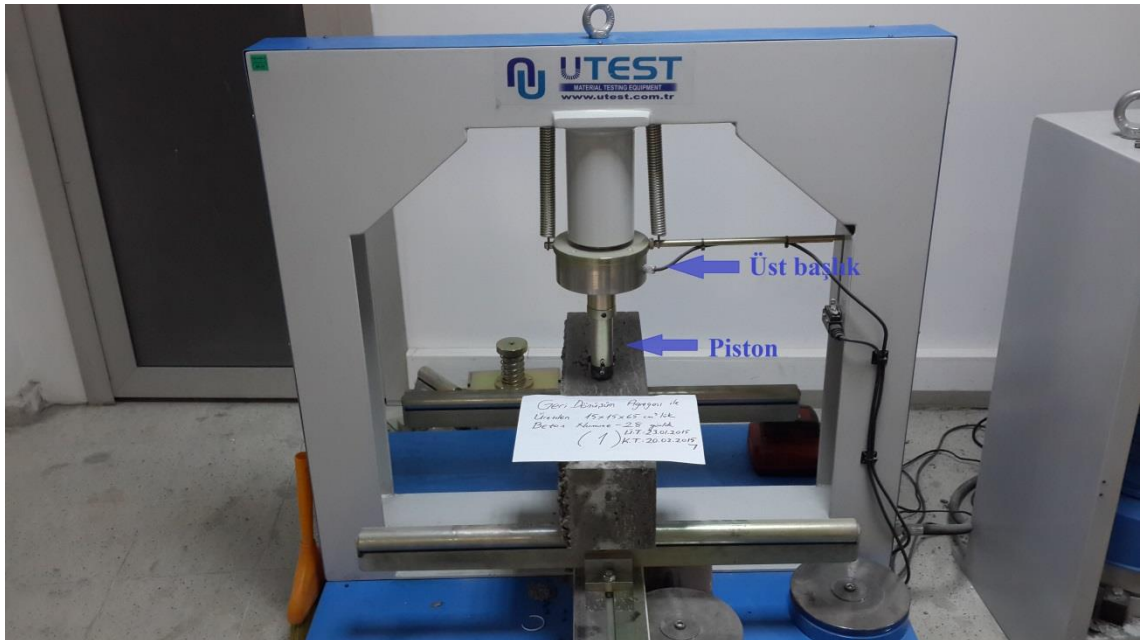
Şekil 31 ve Şekil 32’de verilen 28 günlük kür havuzundan çıkarılan temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen 1. beton kiriş numunesi ile aynı şekilde 2. ve 3. beton kiriş numunesi Şekil 35, Şekil 36, Şekil 39 ve Şekil 40’da verildiği gibi üç nokta eğilmede çekme dayanım testine tabi tutulmuştur.

Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen 1. beton kiriş numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testine tabi tutulduktan sonra kırılma şekline bakıldığında

kırılmanın düzleme dik bir şekilde gerçekleştiği ve içerisindeki agreganın çimento ile iyi aderans sağladığı tespit edilmiştir (Şekil 33 ve Şekil 34).



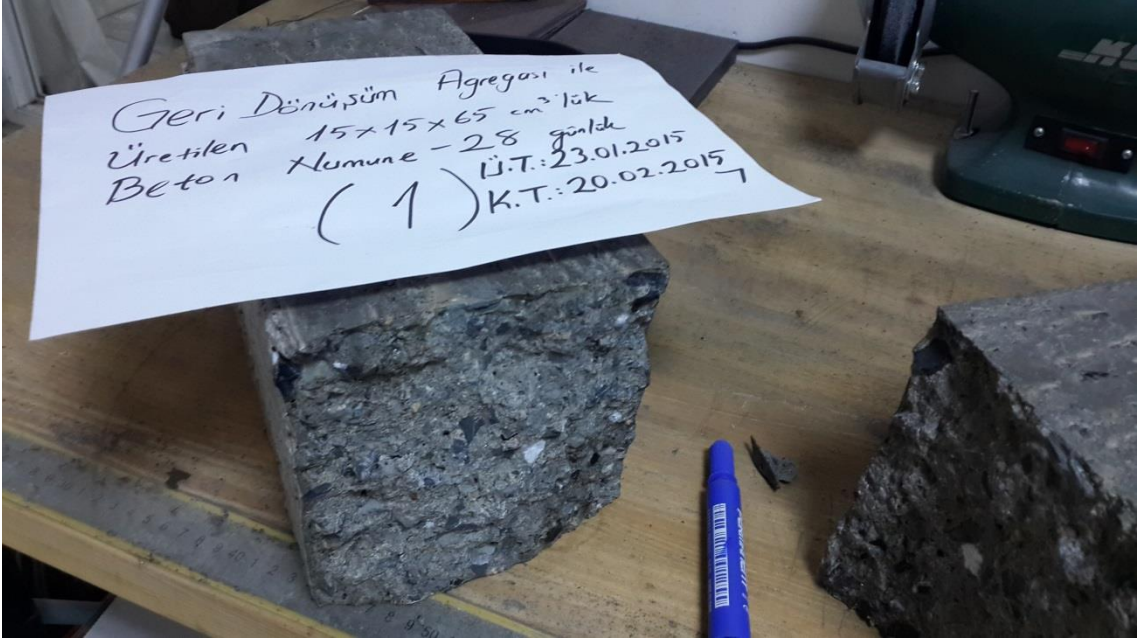
Şekil 31. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen 1. beton kiriş numunesi



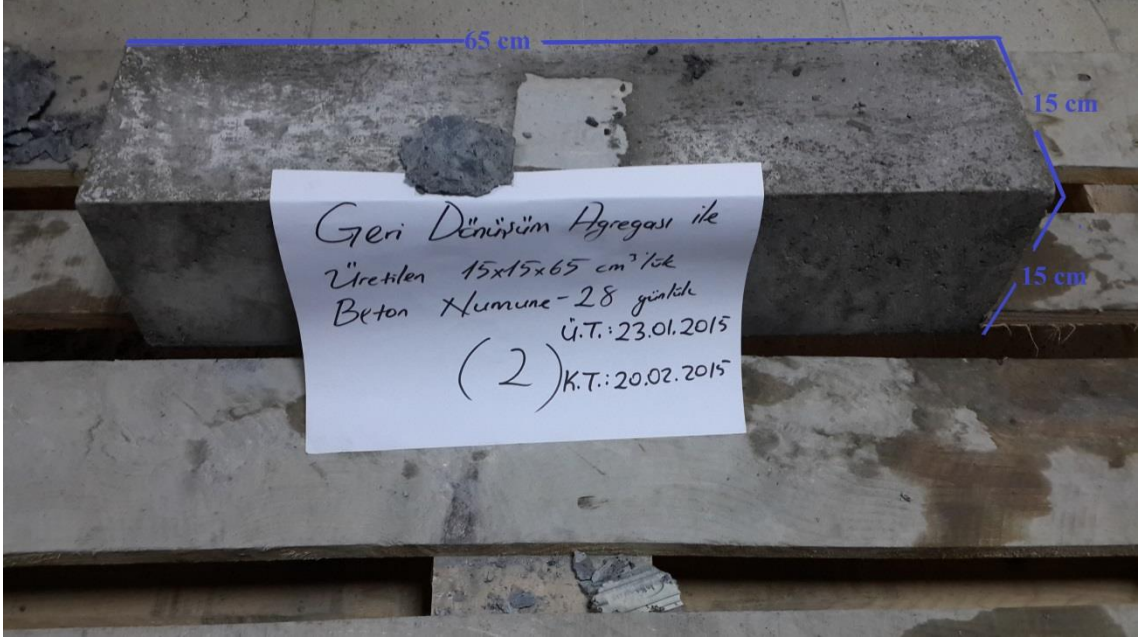
Şekil 32. TGDAB 1. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi



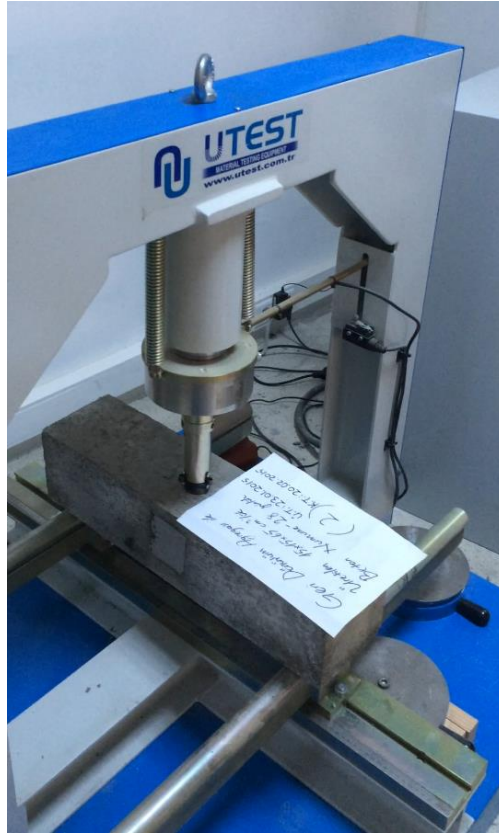
Şekil 33. TG DAB 1. numunenin kırılma şekli ve düzlemi



Şekil 34. TG DAB 1. numunenin dik kırılma yüzeyi



Şekil 35. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen 2. beton kiriş numunesi



Şekil 36. TGDA B 2. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi



Şekil 37. TGDAB 2. numunenin kırılması



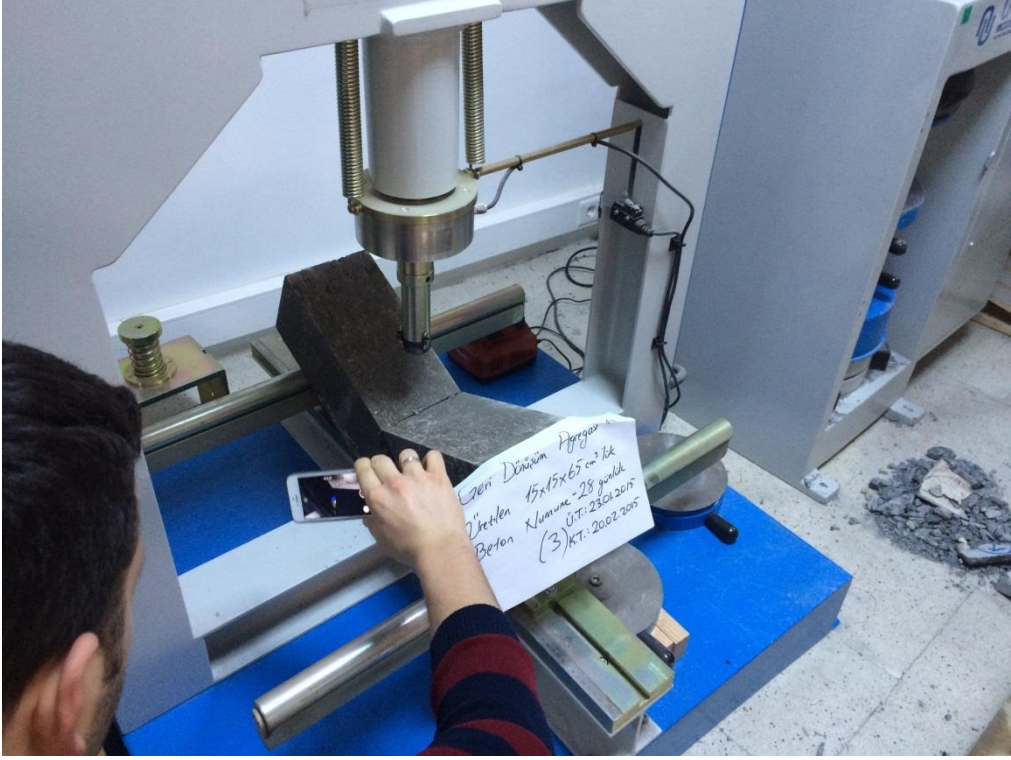
Şekil 38. TGDAB 2. numunenin kırılma şekli ve düzlemi



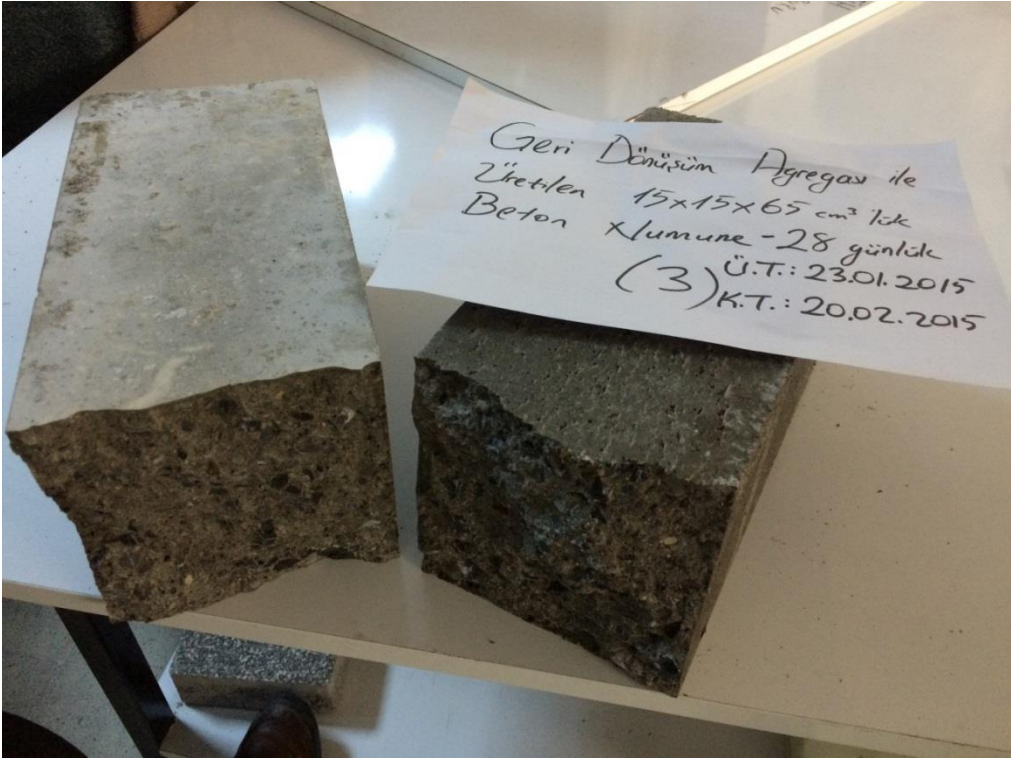
Şekil 39. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen 3. beton kiriş numunesi



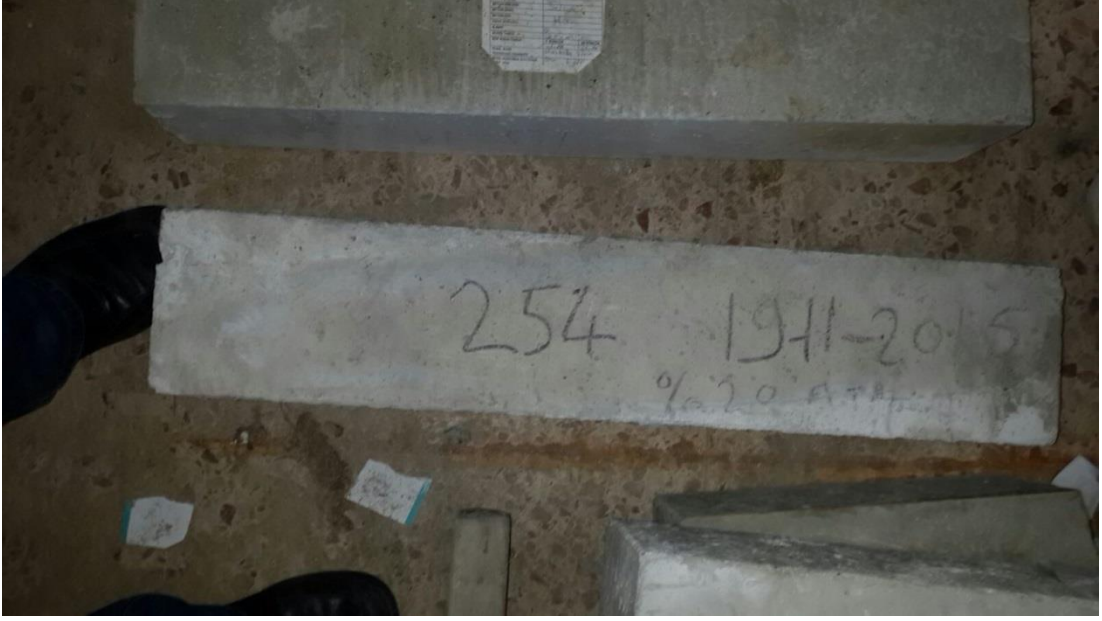
Şekil 40. TGDA B 3. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi



Şekil 41. TGDAB 3. numunenin kırılması



Şekil 42. TGDAB 3.numunenin kırılma şekli ve düzlemi



Şekil 43. %20 GDA ve %80 NA karışım oranında üretilen 1. kiriş numune



Şekil 44. %20 GDA ve %80 NA karışım oranında üretilen 1. kiriş numunenin dört nokta eğilmede çekme dayanım testi



Şekil 45. %20 GDA ve %80 NA karışım oranında üretilen 2. kiriş numunenin dört nokta eğilmede çekme dayanım testi



Şekil 46. %60 GDA ve %40 NA karışım oranında üretilen 3. kiriş numune



Şekil 47. %60 GDA ve %40 NA karışım oranında üretilen 3. kiriş numunenin dört nokta eğilmede çekme dayanım testi



Şekil 48. Dört nokta eğilmede çekme dayanım testine tabi tutulan GDA ve NA beton karışımlarına ait numuneler

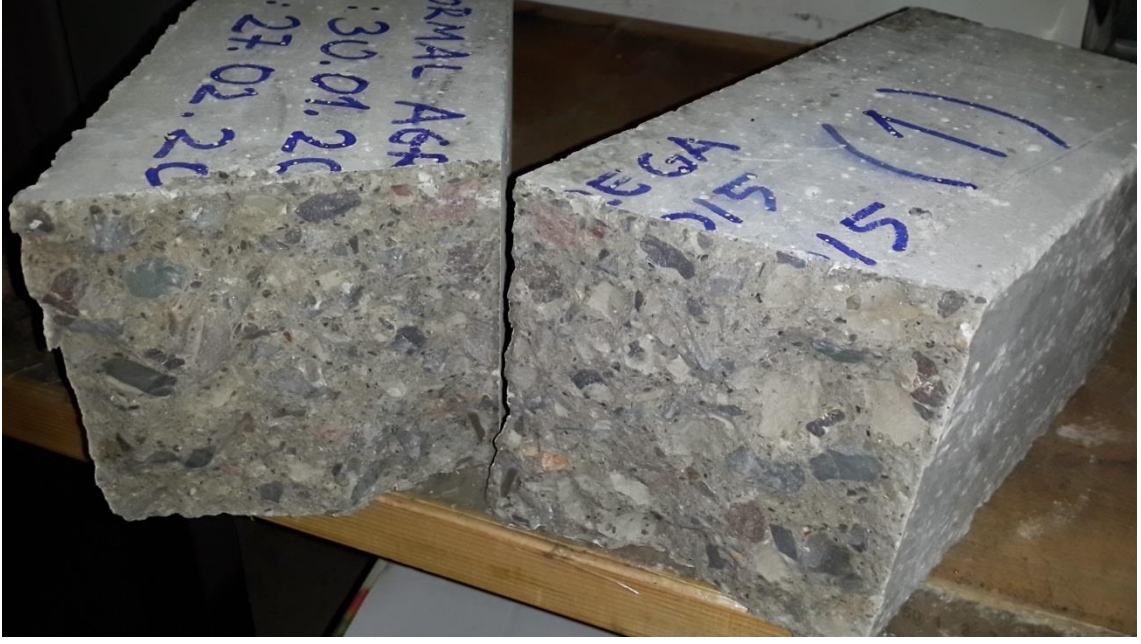
2.7. Normal Agregalı Beton (NAB) Numuneler Üzerinde Eğilmede Çekme Dayanımı Testi

Normal agregalı (NA) ile üretilen beton numuneler üzerinde üç nokta eğilmede çekme dayanımı testi (TS EN 12390-5) laboratuvar ortamında uygulanmıştır [63]. Şekil 49 ve Şekil 50’de verilen 28 günlük kür havuzundan çıkarılan normal agregalı ile üretilen 1. beton kiriş numunesi ile aynı şekilde 2. ve 3. beton kiriş numunesi Şekil 51, Şekil 52, Şekil 53 ve Şekil 54’de verildiği gibi eğilmede çekme dayanım testine tabi tutulmuştur.

Normal agregalı (NA) ile üretilen 1. beton kiriş numunenin eğilmede çekme dayanım testine tabi tutulduktan sonra kırılma şekline bakıldığında kırılmanın düzleme dik bir şekilde gerçekleştiği ve içerisindeki agreganın çimento ile iyi aderans sağladığı tespit edilmiştir (Şekil 50).



Şekil 49. NAB 1. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi



Şekil 50. NAB 1. numunenin kırılma şekli ve düzlemi



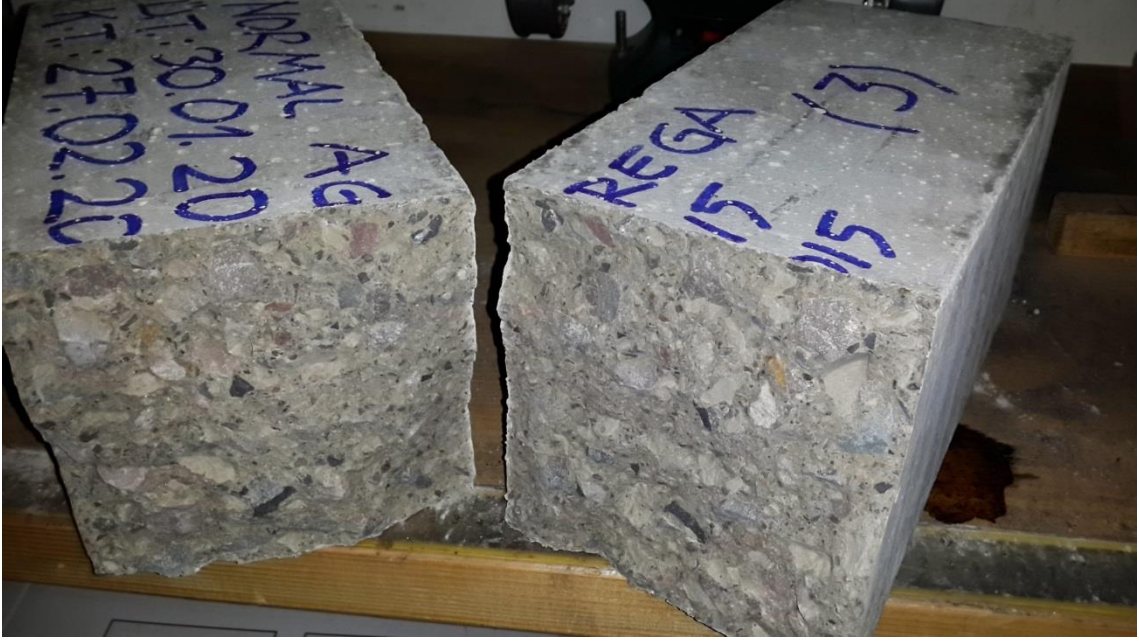
Şekil 51. NAB 2. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi



Şekil 52. NAB 2. numunenin kırılma şekli ve düzlemi



Şekil 53. NAB 3. numunenin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi



Şekil 54. NAB 3. numunenin kırılma şekli ve düzlemi

2.8. Geri Dönüşüm Agregalı Beton (GDAB) Numuneler Üzerinde Basınç Dayanımı Testi

Betonun basınç dayanımı, aksenal basınç yükü altında betonda oluşan maksimum gerilme olarak tanımlanmaktadır. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen beton kiriş numunelere ait üç nokta eğilmede çekme dayanımı testi yapıldıktan sonra geriye kalan beton kirişler beton kesme makinesiyle kesilerek 15x15x15 cm boyutunda küp numuneler elde edilmiştir. Şekil 33, Şekil 38 ve Şekil 42'den de görüleceği üzere küp numuneler haline getirilen beton numuneler üzerinde gözle görülür bir çatlama veya deformasyon gözlemlenmemiştir. Geri dönüşüm agregasının (GDA) %20, 40, 60 ve 80 karışım oranında normal agregası (NA) yerine kullanımı sonucu 15x15x15 cm boyutunda beton küp numuneler üretilmiştir.

Elde edilen bu küp numuneler, laboratuvar ortamında TS EN 12390-3 (Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini) standardına göre U-Test cihazı yardımıyla deney numunesi kırılıncaya kadar sabit bir hızla yükleme yapılarak basınç dayanım testine tabi tutulmuş ve sonuçlar Tablo 32, Tablo 34, Tablo 35, Tablo 36 ve Tablo 37'de verilmiştir [64].



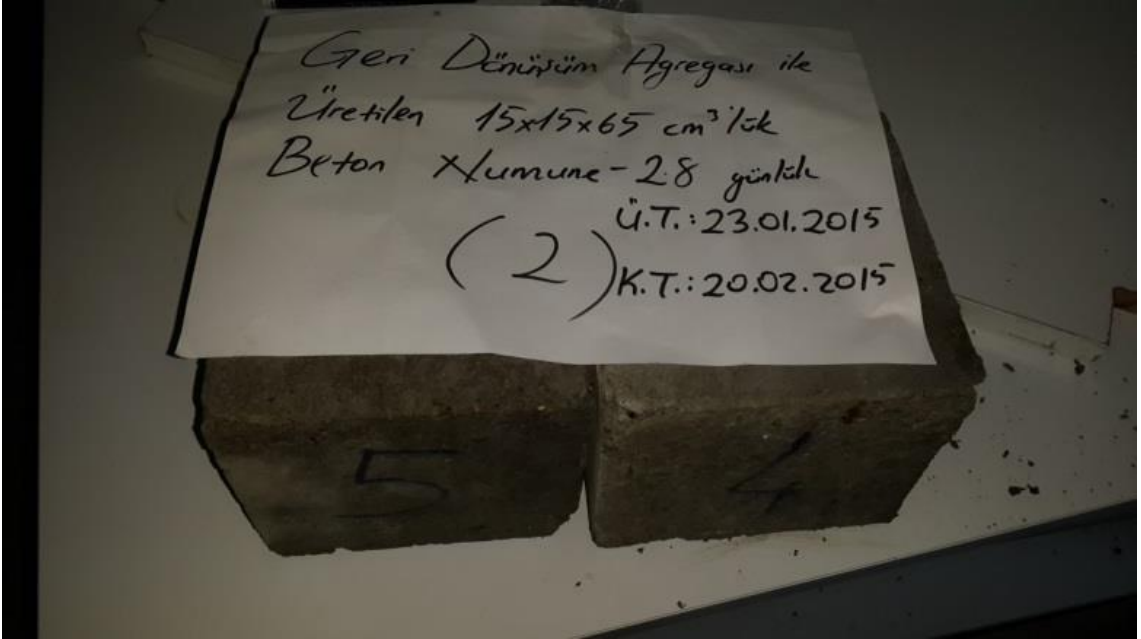
Şekil 55. Beton kesme makinesi



Şekil 56. Kiriş numunelerin küp numunelere dönüştürülmesi



Şekil 57. TGDAB 1. kiriş numuneden 3 adet küp numune elde edilmesi



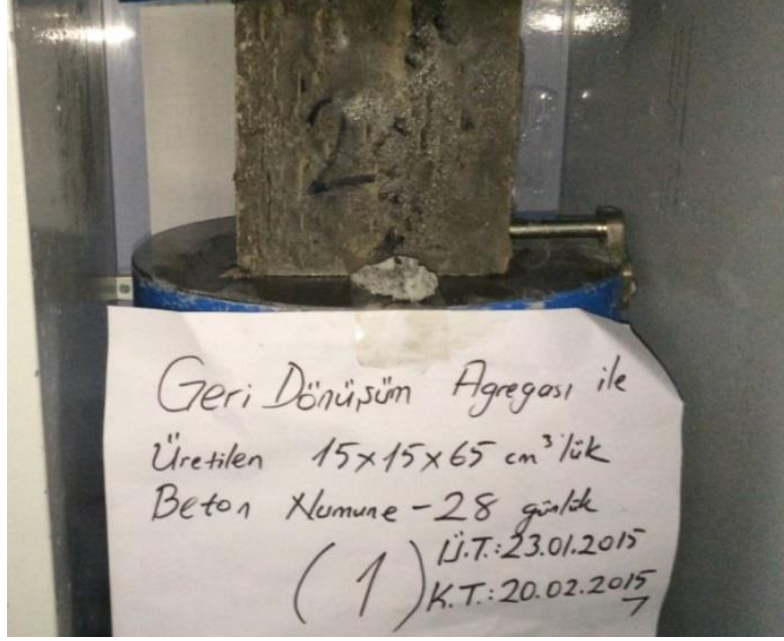
Şekil 58. TGDAB 2. kiriş numuneden 2 adet küp numune elde edilmesi



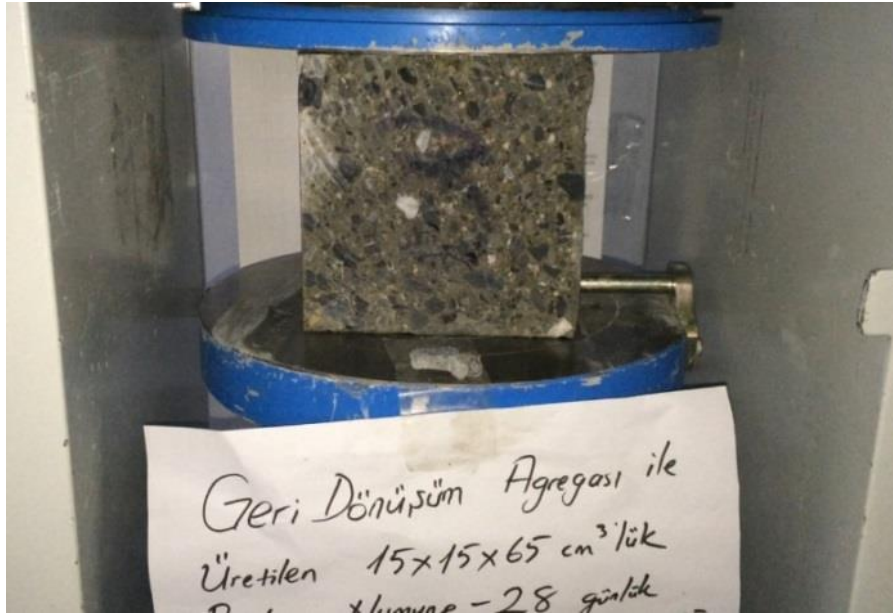
Şekil 59. TGDAB 3. kiriş numuneden 2 adet küp numune elde edilmesi



Şekil 60. TGDAB 1. küp numune basınç dayanımı testi



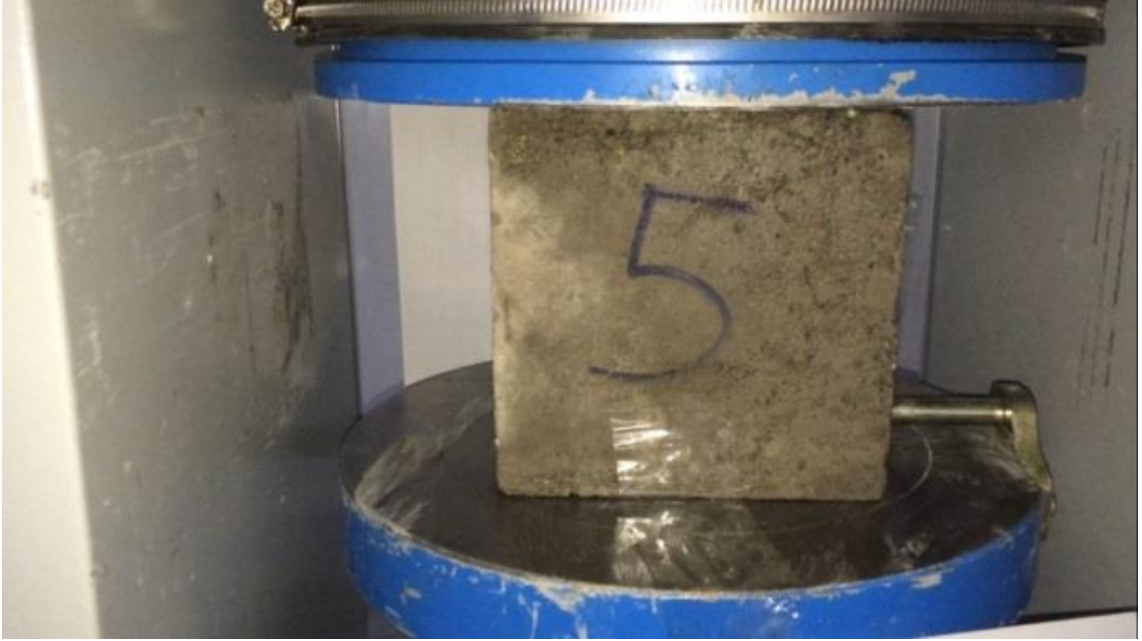
Şekil 61. TGDAB 2. küp numune basınç dayanımı testi



Şekil 62. TGDAB 3. küp numune basınç dayanımı testi



Şekil 63. TGDA B 4. küp numune basınç dayanımı testi



Şekil 64. TGDA B 5. küp numune basınç dayanımı testi



Şekil 65. TGDAB 6. küp numune basınç dayanımı testi



Şekil 66. TGDAB 7. küp numune basınç dayanımı testi

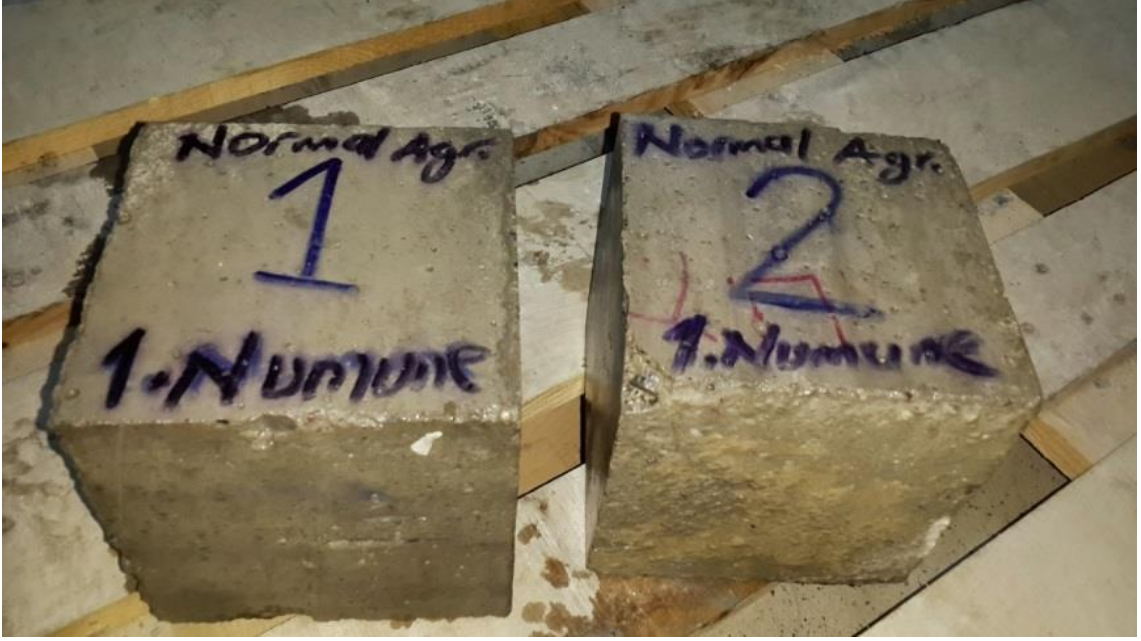


Şekil 67. Farklı karışım oranlarında GDA ve NA ile üretilen 12 adet küp numune

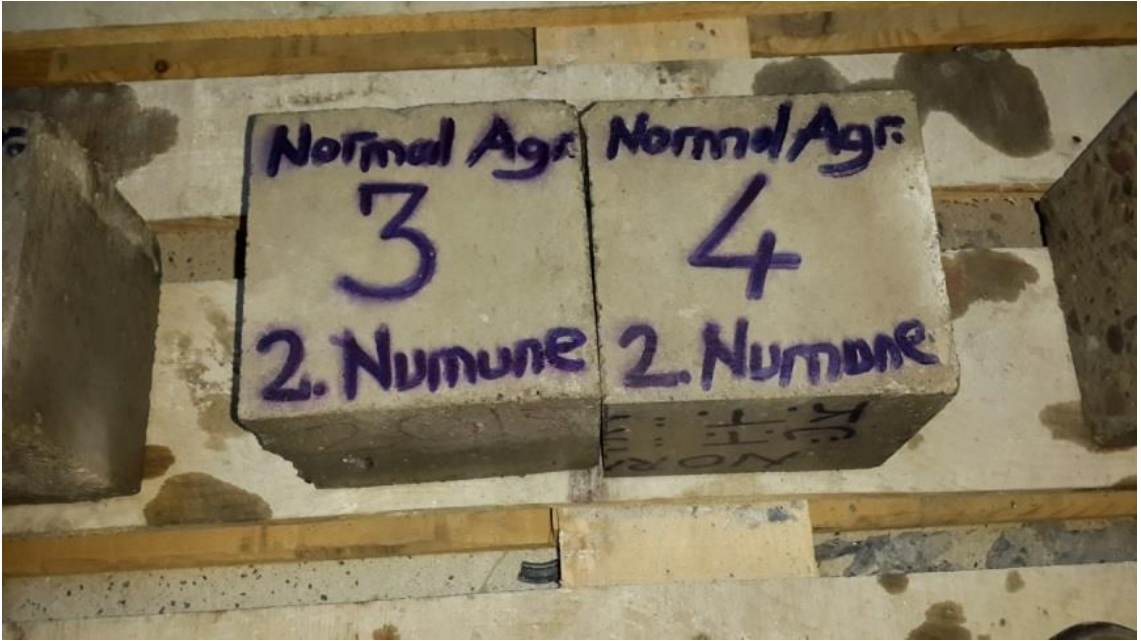
2.9. Normal Agregalı Beton (NAB) Numuneler Üzerinde Basınç Dayanımı Testi

Normal agregalı (NA) ile üretilen beton kiriş numunelere ait eğilmede çekme dayanımı testi yapıldıktan sonra geriye kalan beton kirişler beton kesme makinesi yardımıyla kesilerek 15x15x15 cm boyutunda küp numune elde edilmiştir. Şekil 50, Şekil 52 ve Şekil 54'den de görüleceği üzere küp numuneler haline getirilen beton numuneler üzerinde gözle görülür bir çatlama veya deformasyon gözlemlenmemiştir.

Elde edilen bu küp numuneler, laboratuvar ortamında TS EN 12390-3 (Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini) standardına göre U-Test cihazı yardımıyla deney numunesi kırılıncaya kadar sabit bir hızla yükleme yapılarak basınç dayanım testine tabi tutulmuş ve sonuçlar Tablo 33'de verilmiştir [65].



Şekil 68. NAB 1. kiriş numunedan 2 adet küp numune elde edilmesi



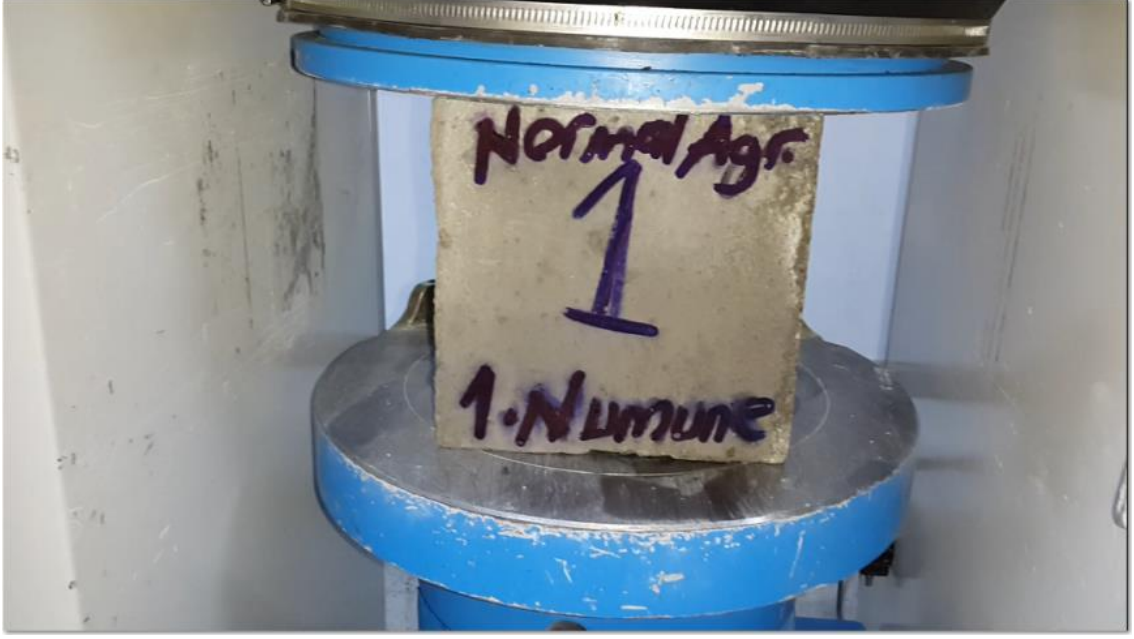
Şekil 69. NAB 2. kiriş numunedan 2 adet küp numune elde edilmesi



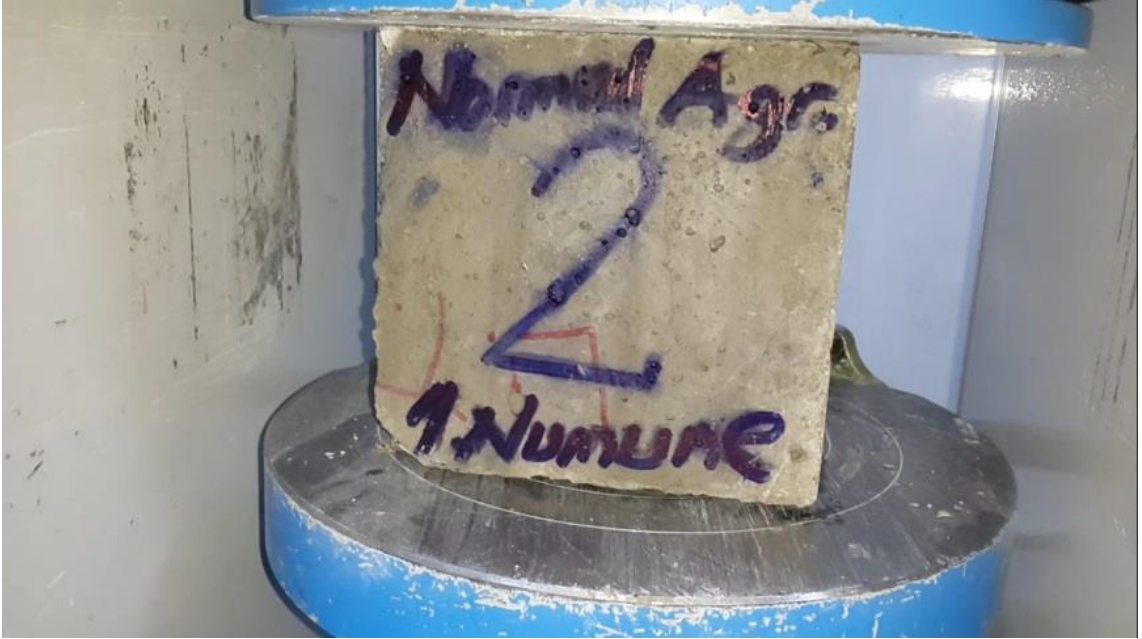
Şekil 70. NAB 3. kiriş numuneden 2 adet küp numune elde edilmesi



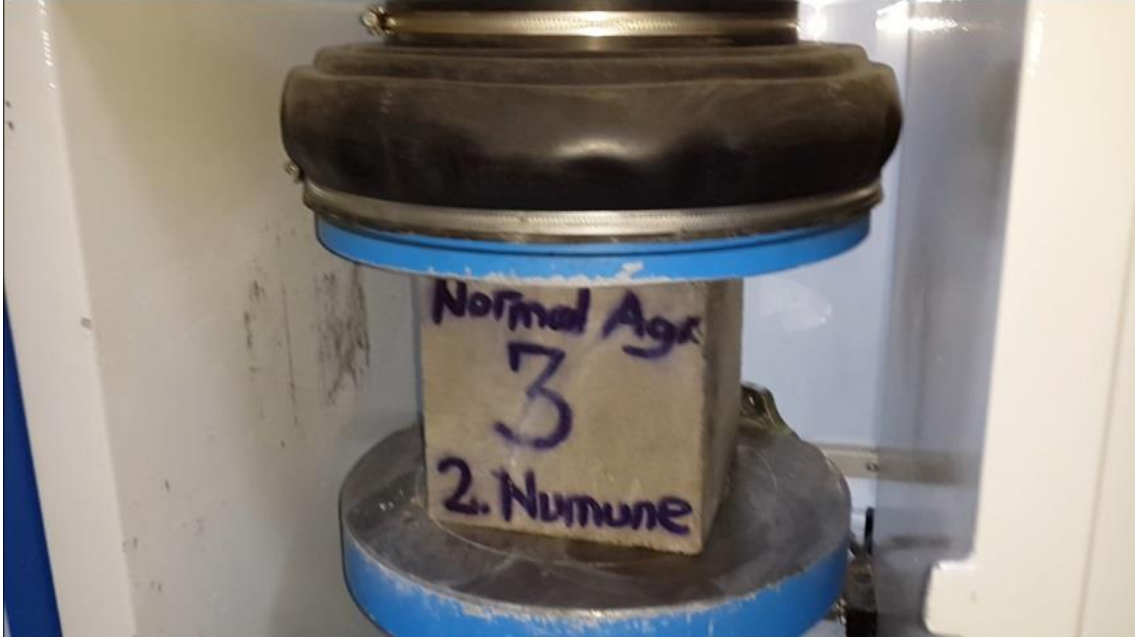
Şekil 71. NAB kiriş numunelerden 6 adet küp numune elde edilmesi



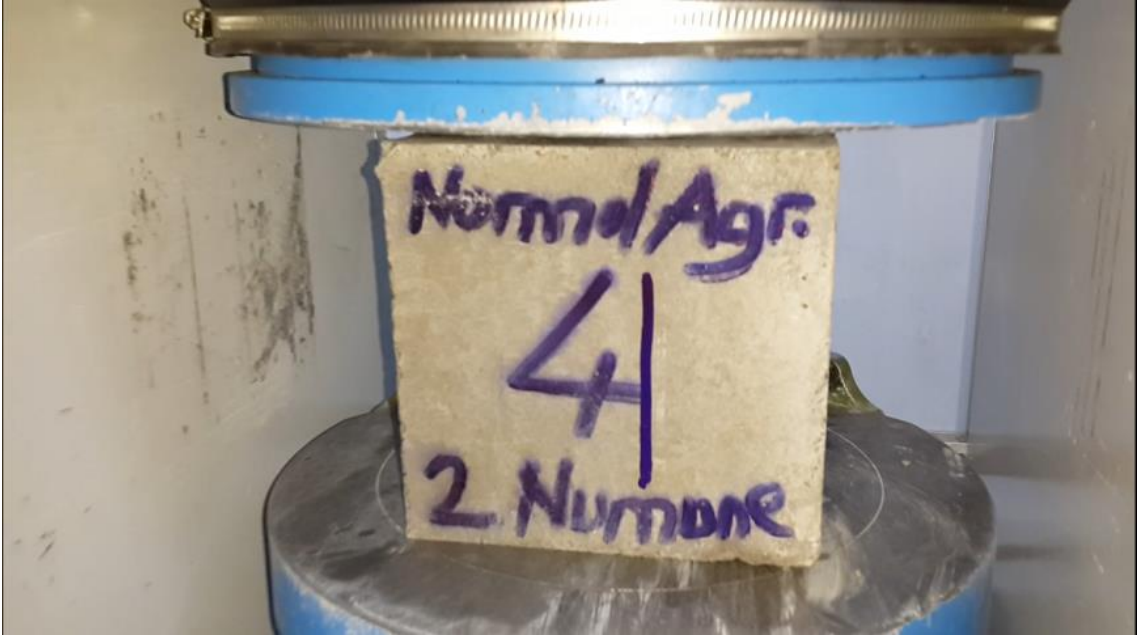
Şekil 72. 1. NAB 1. küp numune basınç dayanımı testi



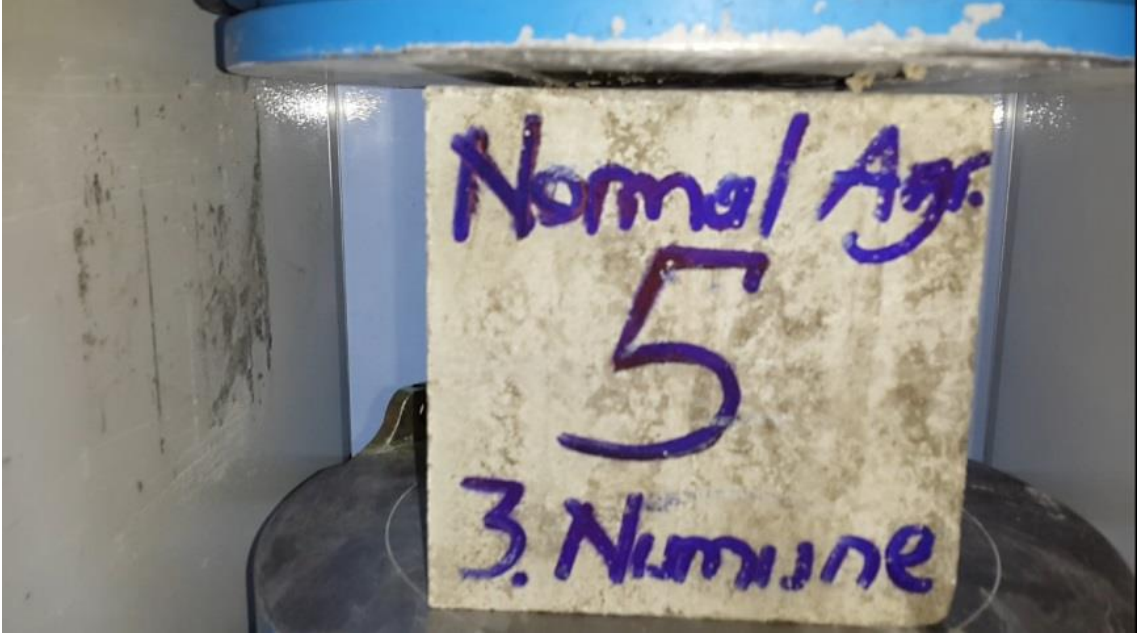
Şekil 73. 1. NAB 2. küp numune basınç dayanımı testi



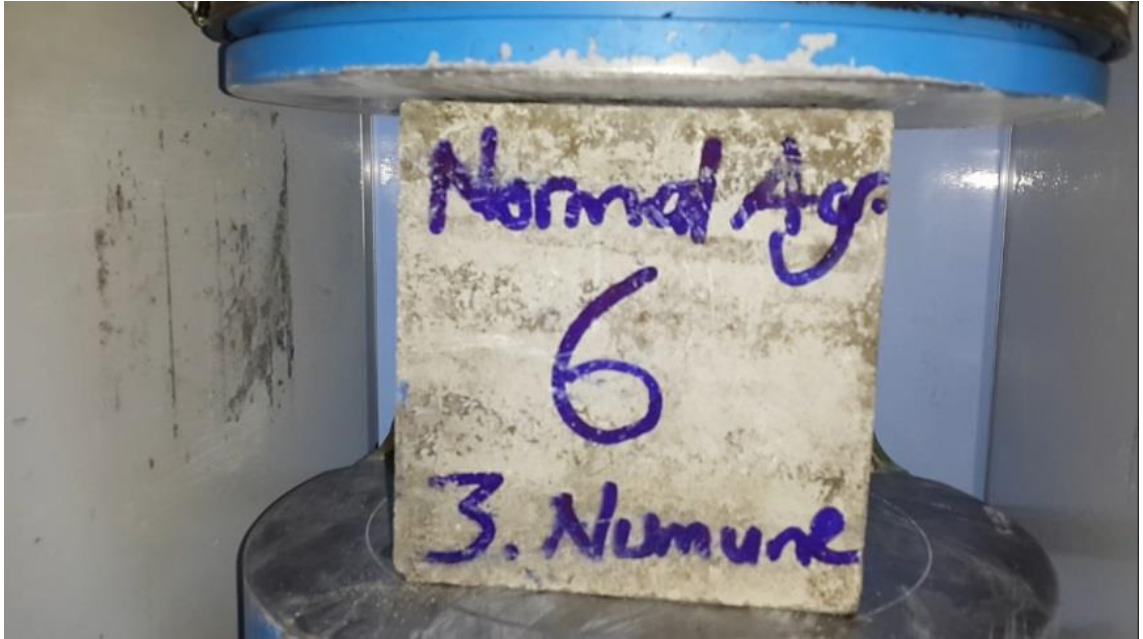
Şekil 74. 2. NAB 3. küp numune basınç dayanımı testi



Şekil 75. 2. NAB 4. küp numune basınç dayanımı testi



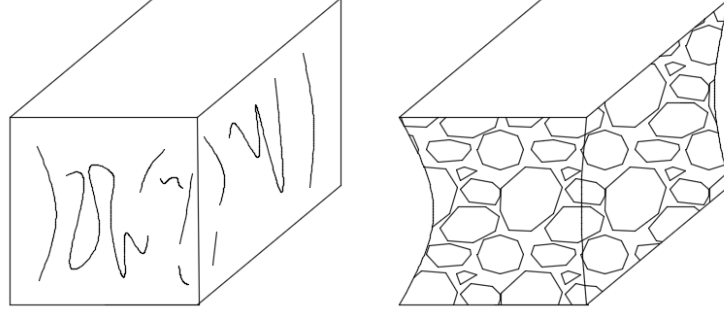
Şekil 76. 3. NAB 5. küp numune basınç dayanımı testi



Şekil 77. 3. NAB 5. küp numune basınç dayanımı testi

Geri dönüşüm agregalı beton (GDAB) ve normal agregalı beton (NAB) küp numunelerine basınç dayanımı testi uygulandıktan sonra, düzgün bir kırılma yüzeyine sahip olduğu ve numunelerin açığındaki dört yüzü de yaklaşık olarak eşit şekilde çatladığı,

yüklemeye başlıklarına temas eden yüzeylere doğru da genellikle çok küçük hasarların oluştuğu görülmüştür (Şekil 78) [65].



Şekil 78. Basınç dayanımı testi sonucu düzgün kırılma yüzeyleri [65].

Bu düzgün kırılma yüzeyleri bize basınç dayanım deneyinin tatmin edici doğrulukta yapıldığını da göstermektedir. İyi sıkıştırılmamış, yanlış uygulama ile alınmış numuneler veya testi uygulayan cihazın kalibrasyonunun yanlış olmasından kaynaklanan mekanik hatadan dolayı istenilen sonuç elde edilememektedir. Ancak, yapılan basınç dayanımı testinde kırılma yüzeylerinin düzgün bir yapıya sahip olması yapılan basınç dayanımı deneyinin doğru sonuç verdiğini göstermiştir (Şekil 79).



Şekil 79. TGDAB 1. numunenin basınç dayanımı testi sonrası kırılma yüzeyleri

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Giriş

Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA), normal agregası (NA) ve NA yerine ağırlıkça geri dönüşüm agregasının (GDA) %20, 40, 60 ve 80 karışım oranında ikame edilerek üretilen beton kırıntı numunelere ait eğilmede çekme dayanım değerleri sırasıyla Tablo 26, Tablo 27, Tablo 28, Tablo 29, Tablo 30 ve Tablo 31’de verilmiştir. %100 TGDA ile üretilen beton kırıntı numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri 4,29 MPa, %100 NA ile üretilen beton kırıntı numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri 3,91 MPa, %20 GDA ve %80 NA birlikte kullanılarak üretilen kırıntı numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri 2,41 MPa, %40 GDA ve %60 NA birlikte kullanılarak üretilen kırıntı numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri 1,61 MPa, %60 GDA ve %40 NA birlikte kullanılarak üretilen kırıntı numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri 2,84 MPa, %80 GDA ve %20 NA birlikte kullanılarak üretilen kırıntı numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri 1,56 MPa olarak bulunmuştur.

Orta noktadan yükleme yoluyla gerçekleştirilen üç nokta eğilme deneyi, iki noktadan yükleme yoluyla gerçekleştirilen dört nokta eğilme deneyi metoduna göre daha yüksek eğilme dayanımı değeri vermektedir. EC Ölçme ve Deneysel Programı ve MAT 1-CT-94-0043 ile bağlantılı şekilde yapılan kıyaslamalı çalışmada, orta noktadan yükleme yapılarak gerçekleştirilen üç nokta eğilme deneyi ile bulunan sonuçlar, iki noktadan yükleme yapılarak gerçekleştirilen dört nokta eğilme deneyi metoduna göre %13 daha yüksek değer verdiği tespit edilmiştir [66]. Üç nokta eğilme deneyi metoduna bulduğumuz değerleri %13 azaltırsak dört nokta eğilme deneyiyle tespit ettiğimiz çekme dayanım değerleri ile kıyaslama yapılabilecektir. Dolayısıyla, %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen beton kırıntı numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri 3,73 MPa, %100 normal agregası (NA) ile üretilen beton kırıntı numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri 3,40 MPa olarak bulunmuştur.

Eksenel çekme dayanımı (f_{ctk}), eğilme deneyinden elde edilen çekme dayanımını 2,0 ile bölerek yaklaşık biçimde hesaplanabilir [67]. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen betonun ortalama eksenel çekme dayanımı 1,87 MPa, normal agregası

(NA) ile üretilen betonun ortalama aksenal çekme dayanım değeri 1,70 MPa, %20 GDA ve %80 NA birlikte kullanılarak üretilen kiriş numunelerin ortalama aksenal çekme dayanım değeri 1,21 MPa, %40 GDA ve %60 NA birlikte kullanılarak üretilen kiriş numunelerin ortalama aksenal çekme dayanım değeri 0,81 MPa, %60 GDA ve %40 NA birlikte kullanılarak üretilen kiriş numunelerin ortalama aksenal çekme dayanım değeri 1,42 MPa, %80 GDA ve %20 NA birlikte kullanılarak üretilen kiriş numunelerin ortalama aksenal çekme dayanım değeri 0,78 MPa olarak bulunmuştur. %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen betonun aksenal çekme dayanımı Tablo 25'deki 1,9 MPa değeriyle aynı çıkmış fakat diğer beton numunelerinin ortalama aksenal çekme dayanımı bu değerinin altında kalmıştır.

Bu sonuçlar göz önüne alındığında, temizlenmiş geri dönüşüm agregasının (TGDA) normal agregası (NA) yerine kullanılmasında eğilmede çekme ve aksenal çekme dayanımı açısından bir farklılık görülmemektedir. Ayrıca, temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen beton kiriş numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri, normal agregası (NA) ile üretilen beton kiriş numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değerinden %9,72, %80 GDA ve %20 NA ile üretilen beton kiriş numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değerinden %139,10, %60 GDA ve %40 NA ile üretilen beton kiriş numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değerinden %31,33, %40 GDA ve %60 NA ile üretilen beton kiriş numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değerinden %131,68 ve %20 GDA ve %80 NA ile üretilen beton kiriş numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değerinden %54,77 oranında daha yüksek çıktığı deneyler sonucunda tespit edilmiştir.

Tablo 25. Beton sınıfı ve dayanım değerleri [65].

Beton sınıfı	Karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} MPa	Eşdeğer küp (150 mm) basınç dayanımı MPa	Karakteristik aksenal çekme dayanımı, f_{ctk} MPa	28 günlük Elastisite Modülü, E_c MPa
C30	30	37	1,9	32000

Tablo 26. %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregalı (TGDA) kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri

Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	31385	32125	32550
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,15	2,20	2,23
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	650	650	650
Mesnetler arası (mm)	400	400	400
Yüklemeye hızı (MPa/sn)	0.050	0.050	0.050
Yüklemeye hızı (kN/sn)	0.281	0.281	0.281
Alan (mm ²)	5625	5625	5625
Hacim (cm ³)	14625	14625	14625
Kırılma yükü (kN)	27.22	19.98	25.24
Dayanım (MPa)	4.84	3.55	4.49
Zaman (sn)	77	48	68

Tablo 27. %100 normal agregalı (NA) kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri

Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune Yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	32880	31330	32530
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,25	2,14	2,22
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	650	650	650
Mesnetler arası (mm)	400	400	400
Yüklemeye hızı (MPa/sn)	0,048	0,048	0,048
Yüklemeye hızı (kN/sn)	0,270	0,270	0,270
Alan (mm ²)	5625	5625	5625
Hacim (cm ³)	14625	14625	14625
Kırılma yükü (kN)	25	20.55	20.42
Dayanım (MPa)	4,44	3,65	3,63
Zaman (sn)	64	51	50

Tablo 28. %20 GDA ve %80 NA karışımında kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri

Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune Yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	37938	36150	37530
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,29	2,30	2,25
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	750	750	750
Mesnetler arası (mm)	600	600	600
Yükleme hızı (MPa/sn)	0,048	0,048	0,048
Yükleme hızı (kN/sn)	0,270	0,270	0,270
Alan (mm ²)	5625	5625	5625
Hacim (cm ³)	16875	16875	16875
Kırılma yükü (kN)	11,15	16,34	13,11
Dayanım (MPa)	1,98	2,90	2,33
Zaman (sn)	64	51	50

Tablo 29. %40 GDA ve %60 NA karışımında kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri

Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune Yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	37880	36000	37230
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,25	2,28	2,23
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	750	750	750
Mesnetler arası (mm)	600	600	600
Yükleme hızı (MPa/sn)	0.048	0.048	0.048
Yükleme hızı (kN/sn)	0.270	0.270	0.270
Alan (mm ²)	5625	5625	5625
Hacim (cm ³)	16875	16875	16875
Kırılma yükü (kN)	9,08	7,97	10,10
Dayanım (MPa)	1,61	1,42	1,80
Zaman (sn)	60	49	67

Tablo 30. %60 GDA ve %40 NA karışımında kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri

Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune Yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	37335	35925	36995
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,24	2,25	2,22
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	750	750	750
Mesnetler arası (mm)	600	600	600
Yükleme hızı (MPa/sn)	0,048	0,048	0,048
Yükleme hızı (kN/sn)	0,270	0,270	0,270
Alan (mm ²)	5625	5625	5625
Hacim (cm ³)	16875	16875	16875
Kırılma yükü (kN)	15,12	16,30	16,50
Dayanım (MPa)	2,69	2,90	2,93
Zaman (sn)	63	52	55

Tablo 31. %80 GDA ve %20 NA karışımında kiriş betona ait eğilmede çekme dayanım değerleri

Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune Yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	37125	35680	36575
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,20	2,21	2,20
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	750	750	750
Mesnetler arası (mm)	600	600	600
Yükleme hızı (MPa/sn)	0.048	0.048	0.048
Yükleme hızı (kN/sn)	0.270	0.270	0.270
Alan (mm ²)	5625	5625	5625
Hacim (cm ³)	16875	16875	16875
Kırılma yükü (kN)	8,63	8,65	9,00
Dayanım (MPa)	1,53	1,54	1,60
Zaman (sn)	66	48	64

Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA), normal agregası (NA) ve NA yerine ağırlıkça geri dönüşüm agregasının (GDA) %20, 40, 60 ve 80 karışım oranında ikame edilerek üretilen beton küp numunelere ait basınç dayanım değerleri sırasıyla Tablo 32, Tablo 33, Tablo 34, Tablo 35, Tablo 36 ve Tablo 37’de verilmiştir. %100 TGDA ve %100 NA ile üretilen beton kırıntı numuneler, üç nokta eğilmede çekme dayanım testine tabi tutulduktan sonra laboratuvar ortamında beton kesme makinesiyle kesilerek 15x15x15 cm boyutunda küp numuneler elde edilmiştir. Daha sonra bunlar sağlam numune kabul edilerek basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Üç nokta ve dört nokta eğilmede çekme dayanımı testine tabii tutulan kırıntı numunelerin dik kırılma yüzeyine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

%100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen beton kırıntılarından elde edilen küp numunelerin ortalama basınç dayanım değeri 36,86 MPa, %100 normal agregası (NA) ile üretilen beton kırıntılarından elde edilen küp numunelerin ortalama basınç dayanım değeri ise 34,68 MPa olarak bulunmuştur. %20 geri dönüşüm agregası (GDA) ve %80 NA birlikte kullanılarak üretilen küp numunelerin ortalama basınç dayanım değeri 19,58 MPa, %40 GDA ve %60 NA birlikte kullanılarak üretilen küp numunelerin ortalama basınç dayanım değeri 12,56 MPa, %60 GDA ve %40 NA birlikte kullanılarak üretilen küp numunelerin ortalama basınç dayanım değeri 25,94 MPa, %80 GDA ve %20 NA birlikte kullanılarak üretilen küp numunelerin ortalama basınç dayanım değeri 31,73 MPa olarak bulunmuştur.

Tablo 25’deki eşdeğer küp basınç dayanımı olan 37 MPa değeri ile karşılaştırıldığında, %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen betonun ortalama basınç dayanım değeri olan 36,86 MPa ile bu değerin karşılandığını, %100 normal agregası (NA) ile üretilen betonun ortalama basınç dayanım değerinin ise 34,68 MPa ile bu değerin biraz altında kaldığı görülmüştür. Ayrıca, %80 geri dönüşüm agregası (GDA) ve %20 NA birlikte kullanılarak üretilen küp numunelerin ortalama basınç dayanım değeri olan 31,73 MPa ile istenilen mukavemet değeri olan 37 MPa’lık değere ulaşamadığı, diğer %20, 40 ve 60 karışım oranlarında GDA’nın NA yerine kullanılmasıyla üretilen küp numunelerin sırasıyla 19,58, 12,56 ve 25,94 MPa’lık ortalama basınç dayanım değerleri ile bu seviyenin oldukça altında kaldığı görülmüştür.

Portland çimentosu ile yapılan beton yol kaplamalarının çoğu 20,68 ila 34,47 MPa arasında bir basınç dayanımı göstermekte olup (ACPA, 2001), yüksek mukavemetli portland çimentosu ile yapılan betonun kullanılması sonucu yapılan yapı uygulamalarında

41,37 ila 137,90 MPa arasında basınç dayanımına sahip olması istenmektedir [68]. Ayrıca, ASTM C39 standardına göre beton yol kaplama için 28 günlük beton basınç dayanım değerinin şantiyede minimum 27,58 MPa (4000 psi), laboratuvar ortamında ise bu değerden (27,58 MPa) daha yüksek olması istenmektedir [69].

Tablo 25’de, C30/37 beton sınıfı için 28 günlük elastisite modülü (E_c) 32000 MPa (N/mm^2) olarak verilmiştir. TS 500 [67]’de, betonun elastisite modülünün hesabı Formül Ek 2’de verilmiştir. Formül Ek 2’deki f_{cm} değeri silindir basınç dayanımıdır. Dolayısıyla, geri dönüşüm ve normal agrega ile üretilen beton numunelerin elastisite modülü hesabında küp basınç dayanımından silindir basınç dayanımına geçiş yapmak gerekecektir. BS EN 12504-1:2009’da verilen küp basınç dayanımından silindir basınç dayanımına geçiş için Formül 6’daki bağıntıya göre bir “ $K_{silindir}$ ” katsayısı hesaplanır ve bu katsayı küp basınç dayanımı ile çarpılır [70].

$$K_{silindir} = \frac{2.0}{1.5 + \frac{1}{\lambda}} \quad (6)$$

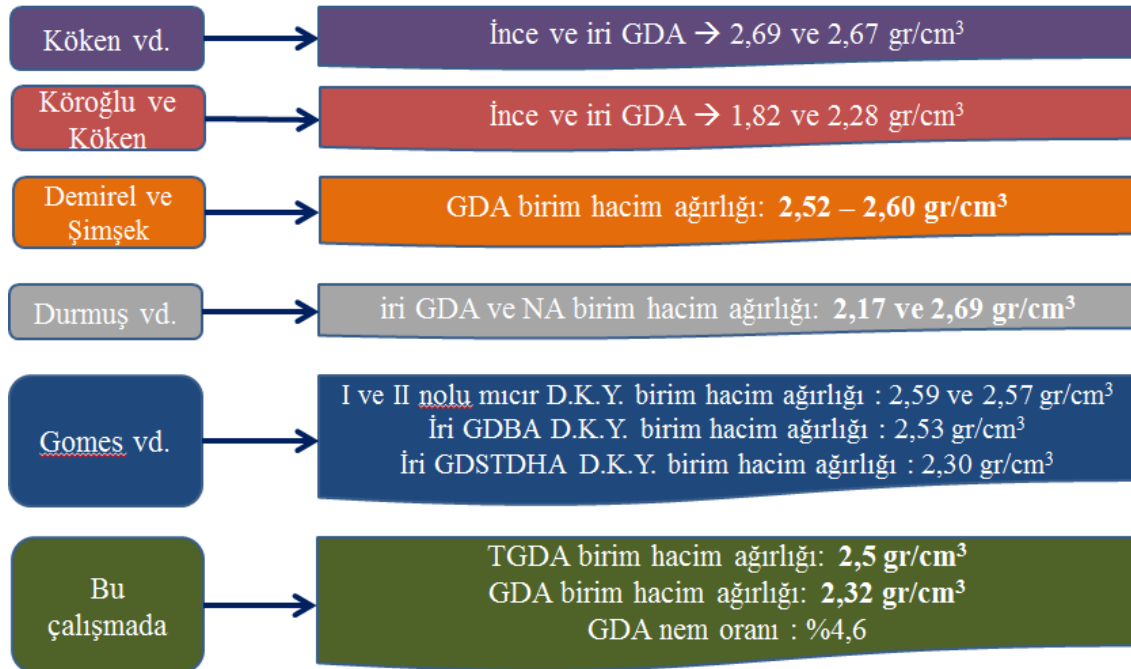
Burada;

λ = iç kısmın uzunluk/çap oranı olarak verilmektedir.

λ , küp için 1 olarak bulunmuş olup, Formül 6’da yerine konulursa $K_{silindir}$ 0,80 olarak hesaplanmıştır. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve normal agrega (NA) ile üretilen beton numunelerin ortalama küp basınç dayanımları, dönüşüm katsayısı $K_{silindir}$ (0,80) ile çarpılarak ortalama silindir basınç dayanımları sırasıyla 29,49 ve 27,74 MPa (N/mm^2), TGDA ve NA ile üretilen betonların ortalama silindir basınç dayanımlarına göre elastisite modülü sırasıyla 31649 ve 31117 MPa (N/mm^2) olarak bulunmuştur. Aynı şekilde, farklı karışım oranlarında geri dönüşüm agregasının (GDA) beton karışımında NA yerine kullanılmasıyla üretilen beton numunelerin küp basınç dayanımları da dönüşüm katsayısı $K_{silindir}$ (0,80) ile çarpılarak ortalama silindir basınç dayanımları bulunmuştur. %20 GDA ve %80 NA birlikte kullanılarak üretilen küp numunelerin ortalama silindir basınç dayanım değeri 15,67 MPa, %40 GDA ve %60 NA birlikte kullanılarak üretilen küp numunelerin ortalama silindir basınç dayanım değeri 10,05 MPa, %60 GDA ve %40 NA birlikte kullanılarak üretilen küp numunelerin ortalama silindir basınç dayanım değeri 20,75 MPa, %80 GDA ve %20 NA birlikte kullanılarak üretilen küp numunelerin ortalama silindir basınç dayanım değeri 25,39 MPa olarak bulunmuştur. Elastisite modülü, %20

GDA ve %80 NA karışım betonu için 26865 MPa, %40 GDA ve %60 NA karışım betonu için 24303 MPa, %60 GDA ve %40 NA karışım betonu için 28804 MPa, %80 GDA ve %20 NA karışım betonu için 30376 MPa (N/mm^2) olarak bulunmuştur.

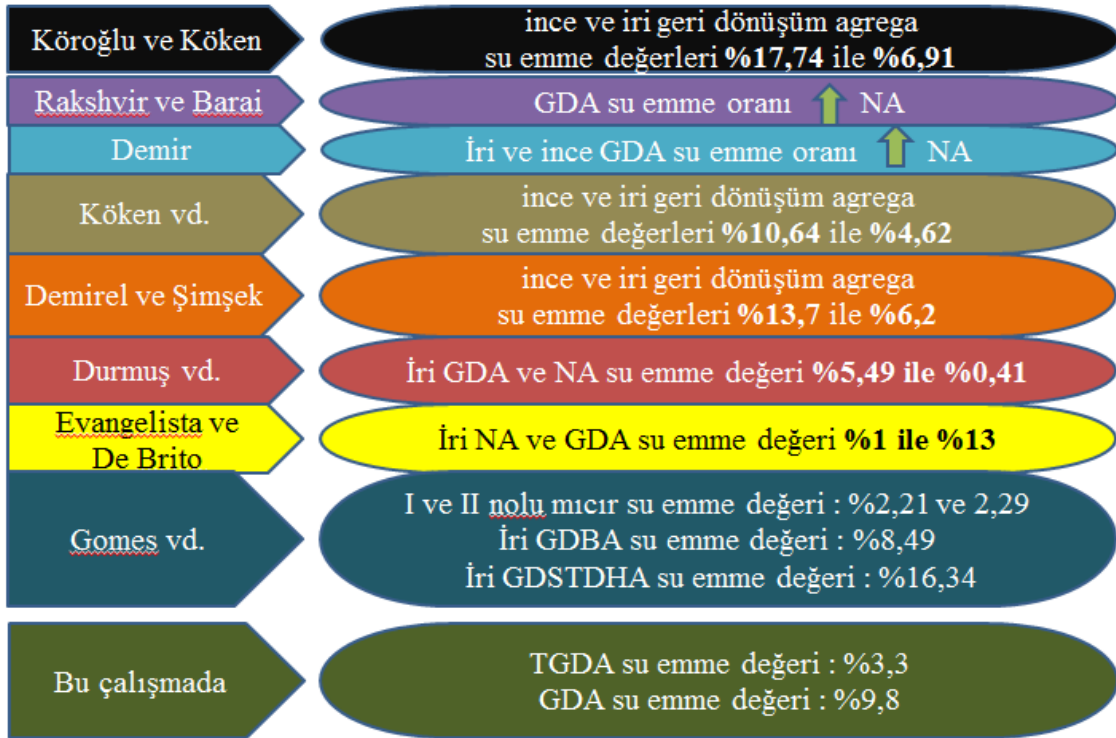
Geri dönüştürülmüş agreganın birim hacim ağırlığı hesabında; Köken vd. [10], ince ve iri geri dönüşüm agregası (GDA) özgül ağırlıklarını sırasıyla 2,69 ve 2,67 gr/cm^3 , Köroğlu ve Köken [14], ince ve iri GDA birim hacim ağırlığını sırasıyla 1,82 ve 2,28 gr/cm^3 , Demirel ve Şimşek [15], araştırmada kullanılan GDA yoğunluklarını 2,52 ila 2,60 gr/cm^3 arasında olduğunu, Durmuş vd. [17], iri GDA ve normal agregası (NA) özgül ağırlıkları ortalamasını sırasıyla 2,17 ve 2,69 gr/cm^3 , Gomes vd. [11] ise I ve II nolu mıcırın doymuş kuru yüzey birim hacim ağırlığını sırasıyla 2,59 ve 2,57 gr/cm^3 , iri geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) ve iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) doymuş kuru yüzey birim hacim ağırlığını ise sırasıyla 2,53 ve 2,30 gr/cm^3 olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada; deneylerde kullandığımız temizlenmiş geri dönüşüm agregasının (TGDA) ve geri dönüşüm agregasının (GDA) birim hacim ağırlığı sırasıyla 2,5 ve 2,32 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.



Şekil 80. Geri dönüşüm agregası birim hacim ağırlığı ile ilgili yapılan çalışmalar

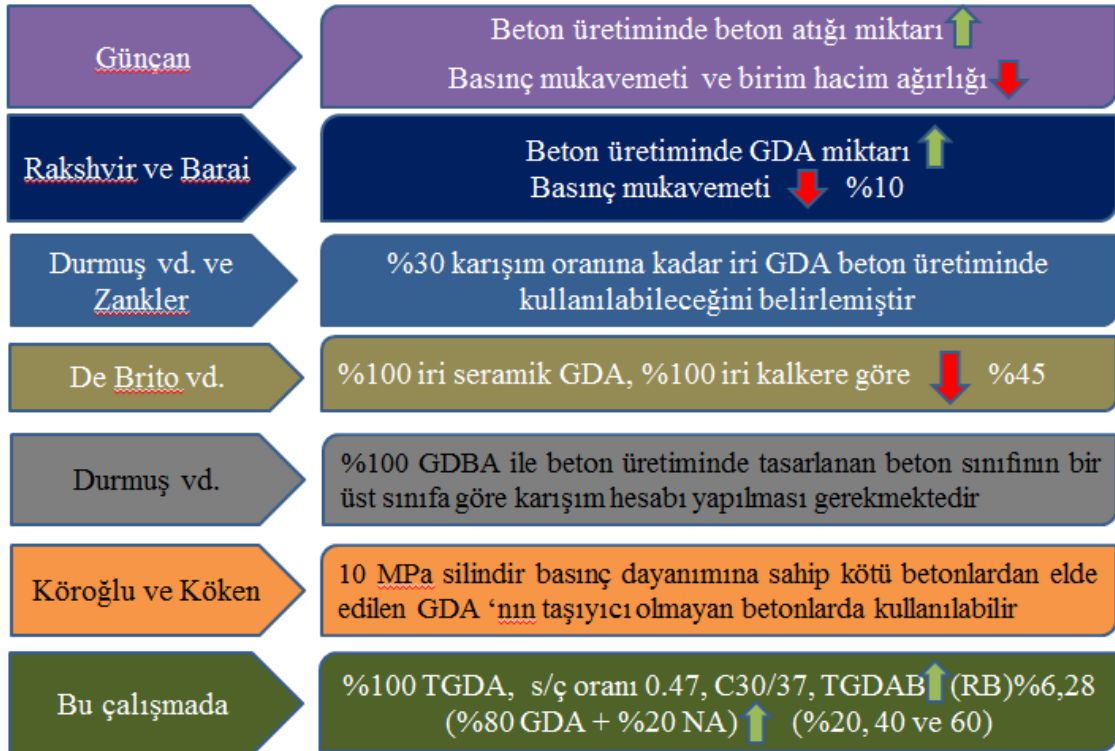
Rakshvir ve Barai [8], geri dönüşüm agregasının (GDA) su emme kapasitesinin normal agregadan (NA) fazla olduğunu, Demir [16], iri ve ince GDA'nın NA'ya göre daha

yüksek su emme kapasitesine sahip olduğunu, Topçu ve Şengel [19], %50'den fazla geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) kullanımının işlenebilirliği azalttığını belirlemiştir. Köken vd. [10], ince ve iri GDA ortalama su emme değerini sırasıyla %10,64 ve 4,62 olarak, Demirel ve Şimşek [15], ince ve iri GDA ortalama su emme değerini sırasıyla %13,7 ve 6,2 olarak, Durmuş vd. [17], iri GDA ve NA su emme değeri ortalamasını sırasıyla %5,49 ve 0,41 olarak, Köroğlu ve Köken [14], ince ve iri geri GDA su emme kapasitesini sırasıyla %17,74 ve 6,91 olarak, Evangelista ve de Brito [20], ince NA su emme oranının %1 ve ince GDBA su emme oranını %13 olarak tespit etmişlerdir. Gomes vd. [11], I ve II nolu mıcırın su emme kapasitesini sırasıyla %2,21 ve 2,29, iri GDBA ve iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) su emme kapasitesini sırasıyla %8,49 ve 16,34 olarak tespit ederek iri ve ince taneli GDA'nın NA'ya göre daha yüksek su emme kapasitesine sahip olduğunu belirlemiştir. Bu çalışmada; deneylerde kullandığımız temizlenmiş geri dönüşüm agregasının (TGDA) su emme kapasitesi %3,3 ve GDA su emme kapasitesi %9,8 olarak bulunmuştur. TGDA, GDA'dan daha fazla su emme kapasitesine sahip olduğundan karışım suyunda GDA ekstra suya gereksinim duymuştur. Çalışmada GDA için bulduğumuz su emme kapasitesi yukarıda verilen diğer çalışmalarla benzerlik göstermektedir.



Şekil 81. Geri dönüşüm agrega su emme kapasitesi ile ilgili yapılan çalışmalar

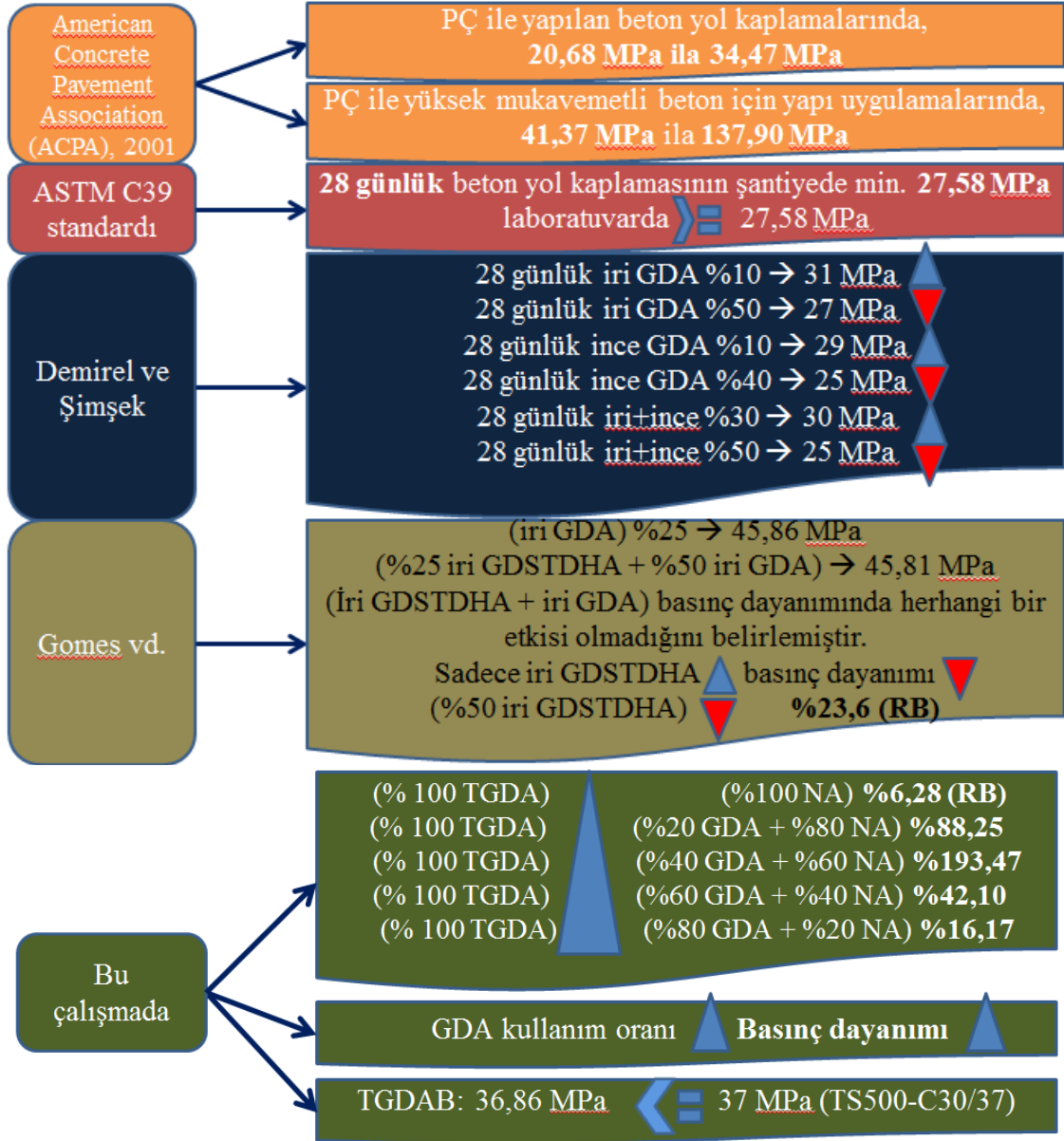
Günçan [22], beton karışımı içindeki eski beton atığı miktarının artmasıyla betonun dayanımının ve birim hacim ağırlığının azaldığını, Rakshvir ve Barai [8], beton karışımında kullanılan geri dönüşüm agregası (GDA) oranı arttıkça betonun basınç dayanımının %10 azaldığını, Durmuş vd. [17] ve Zankler [23], %30 karışım oranına kadar iri geri dönüşüm beton agregasının (GDBA) beton üretiminde kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. de Brito vd. [24], %100 seramik iri GDA ile üretilen betonun basınç dayanımının %100 iri kalker agregası ile üretilen betondan %45 daha düşük çıktığını, Durmuş vd. [13], %100 GDBA'nın beton üretiminde kullanılması istenildiğinde tasarlanan beton sınıfının bir üst sınıfa göre karışım hesabı yapılması gerektiğini tespit etmiştir. Köroğlu ve Köken [14], 10 MPa silindir basınç dayanımına sahip kötü betonlardan elde edilen GDA'nın taşıyıcı olmayan betonlarda kullanılabileceğini, Köken vd. [10], %100 GDA ile üretilen betonun basınç dayanımı, %100 kırma taş agrega ile üretilen betondan %33, GDA'nın %61 oranında ikame edilerek üretilen betonun basınç dayanımı ise %100 kırma taş agrega ile hazırlanan betondan %18 daha az çıktığını ve beton karışımında kullanılan GDA miktarı arttıkça 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımının düştüğünü tespit etmiştir.



Şekil 82. Geri dönüşüm agregası ile ilgili yapılan çalışmalar

Demirel ve Şimşek [15], iri GDA betonlarının 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, en yüksek dayanımın 31 MPa ile iri geri dönüşüm agregasının (GDA) karışıma %10 oranında, en düşük dayanımın ise 27 MPa'lık değerle iri GDA'nın karışıma %50 oranında katılmasıyla elde edilen betonun verdiğini, ince GDA betonlarının 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, en yüksek dayanımın 29 MPa ile ince GDA'nın karışıma %10 oranında, en düşük dayanımın ise 25 MPa'lık değerle ince GDA'nın karışıma %40 oranında katılmasıyla elde edilen betonun verdiğini, iri ve ince GDA'nın birlikte kullanılarak üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında ise, en yüksek dayanımın 30 MPa ile iri ve ince GDA'nın karışıma %30 oranında, en düşük dayanımı ise 25 MPa'lık değerle iri ve ince GDA'nın karışıma %50 oranında katılmasıyla elde edilen betonun verdiğini belirlemiştir. Gomes vd. [11], iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar harç agregasının (GDSTDHA) ağırlıkça %25'i ve ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %50'sinin toplamda ağırlıkça %75 oranında beton karışımına dahil edilmesiyle üretilen betonun basınç dayanımının 45,81 MPa'lık sonuç ile iri GDA'nın ağırlıkça %25 oranında ikame edilmesiyle elde edilen betonun 45,86 MPa'lık basınç dayanımı değeri ile hemen hemen aynı sonucu verdiğini, iri GDA ile birlikte iri GDSTDHA beton karışımına aynı anda eklenmesi ile basınç dayanımı üzerinde hiçbir etkisi olmadığını ancak, sadece iri GDSTDHA dahil edildiğinde basınç dayanımında ciddi bir azalma olduğunu, iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %50'sinin beton karışımında agrega olarak kullanıldığı zaman basınç dayanımında %23,6 azalma olduğunu belirlemiştir.

Bu çalışmada; beton karışımına %20, 40, 60, 80 oranlarında geri dönüşüm agregasının (GDA) ikame edilerek üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları bulunmuş ve normal agrega (NA) ve temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen betona göre karşılaştırılmıştır. TGDA ile üretilen beton numunelerin ortalama basınç dayanım değeri, NA ile üretilenden %6,28 daha fazla çıktığı görülmüştür. TGDA ile üretilen beton numunelerin ortalama basınç dayanım değeri, %20 GDA ve %80 NA ile üretilenden %88.25, %40 GDA ve %60 NA ile üretilenden %193.47, %60 GDA ve %40 NA ile üretilenden %42.10, %80 GDA ve %20 NA ile üretilenden %16.17 daha fazla çıktığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada, genel itibariyle GDA kullanım oranı arttıkça basınç dayanım değerinin de arttığı görülmüştür.



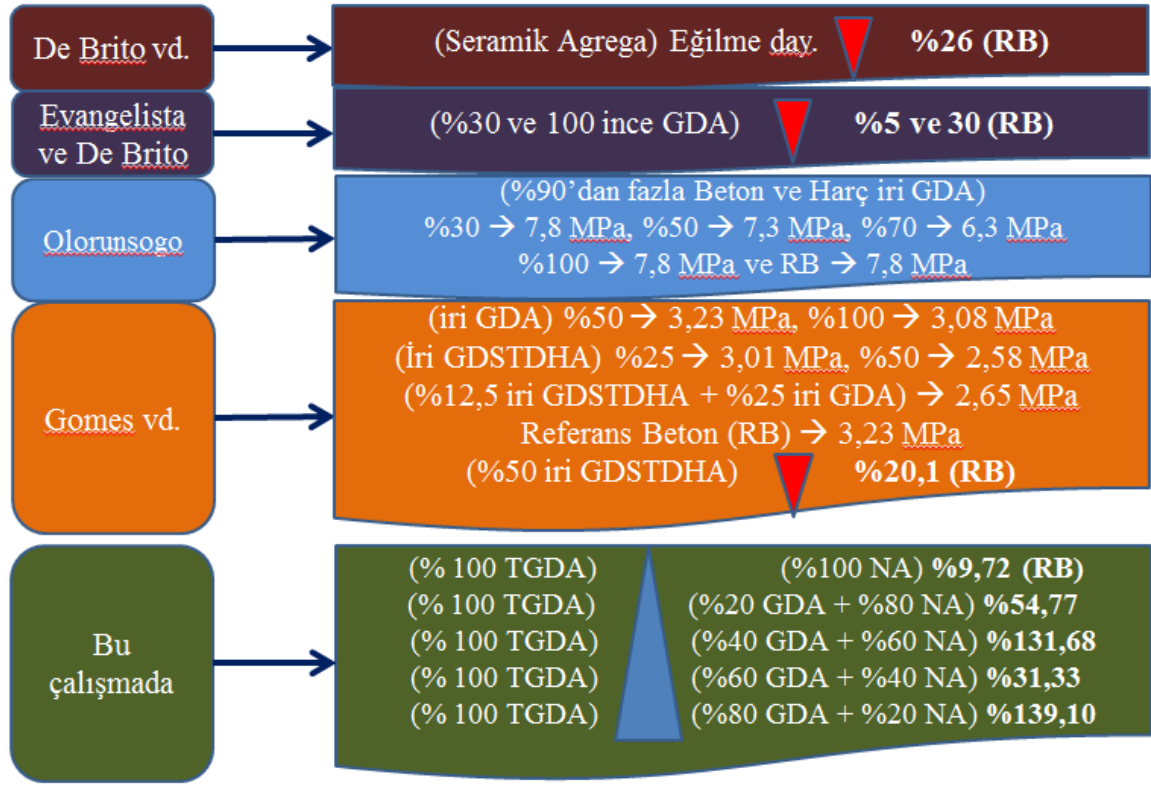
Şekil 83. Basınç dayanımı ile ilgili yapılan çalışmalar

de Brito vd. [24], seramik agregaların kalker agregaların yerine yüksek oranda ikame edilmesiyle çekme dayanımının azaldığını ve normal agregat (NA) ile üretilen kırıtlara göre %26 daha düşük çıktığını belirlemişlerdir. Evangelista ve De Brito [20], %30 ve 100 oranında ince GDA'nın ikame edilmesiyle elde edilen betonların çekme dayanımlarının referans betona (RB) göre sırasıyla %5 ve 30 daha kötü performansa sahip olduğunu, Olorunsogo [27], %90'dan fazla beton ve harç içeren iri geri dönüşüm agregası (GDA) ile %30, 50, 70 ve 100 karışım oranlarından ikame edilerek üretilen betonların 28 günlük

eğilmede çekme dayanımları sırasıyla 7.8, 7.3, 6.3 ve 7.8 MPa değerine ulaştığını ve RB için de 7,8 MPa olarak tespit etmişlerdir. Bu sonuçlara göre, çeşitli karışım oranlarında GDA ile üretilen betonlar ile RB arasında eğilmede çekme dayanımı açısından bir farklılık olmadığını belirlemişlerdir.

Gomes vd. [11], ezilmiş betondan elde edilen iri geri dönüşüm agregasının (GDA) ağırlıkça %50 ve 100 karışım oranında ikame edilmesiyle ürettikleri betonların ortalama yarmada çekme dayanımlarını sırasıyla 3,23 ve 3,08 MPa, iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar + harç agregasının (GDSTDHA) ağırlıkça %25 ve 50 karışım oranında ikame edilmesiyle ürettikleri betonların ortalama yarmada çekme dayanımlarını sırasıyla 3,01 MPa ve 2,58 MPa, iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %12,5'i ve ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %25'i karışım oranında ikame edilmesiyle ürettikleri betonların ortalama yarmada çekme dayanımını 2,65 MPa ve referans beton için ise 3,23 MPa değerini ölçmüşlerdir. iri geri dönüşüm beton agregası (GDBA) eklenmesi ile yarmada çekme dayanımında bir farklılık olmadığını, ancak iri GDSTDHA eklenmesi ile bu dayanımın değiştiğini ve iri GDSTDHA'nın %50'sinin beton karışımında kullanılmasıyla çekme dayanımında %20,1 azalma olduğunu tespit etmiştir. [11].

Bu çalışmada; beton karışımına %20, 40, 60, 80 oranlarında geri dönüşüm agregasının (GDA) ikame edilerek üretilen betonların 28 günlük eğilmede çekme dayanımları bulunmuş ve normal agrega (NA) ile üretilen betona göre karşılaştırılmıştır. Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri, normal agrega (NA) ile üretilenden %9,72 daha fazla çıktığı görülmüştür. TGDA ile üretilen beton numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri, %20 GDA ve %80 NA ile üretilenden %54.77, %40 GDA ve %60 NA ile üretilenden %131.68, %60 GDA ve %40 NA ile üretilenden %31.33, %80 GDA ve %20 NA ile üretilenden %139.1 daha fazla çıktığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada, GDA'nın beton karışımında %60 kullanılması durumunda diğer karışım oranlarına göre (%20, 40, 80) daha yüksek eğilmede çekme dayanımına sahip olduğu, GDA'nın %40 ve %80 karışım oranından beton üretiminde kullanılması durumunda ise eğilmede çekme dayanımının hemen hemen aynı sonucu verdiği görülmüştür.

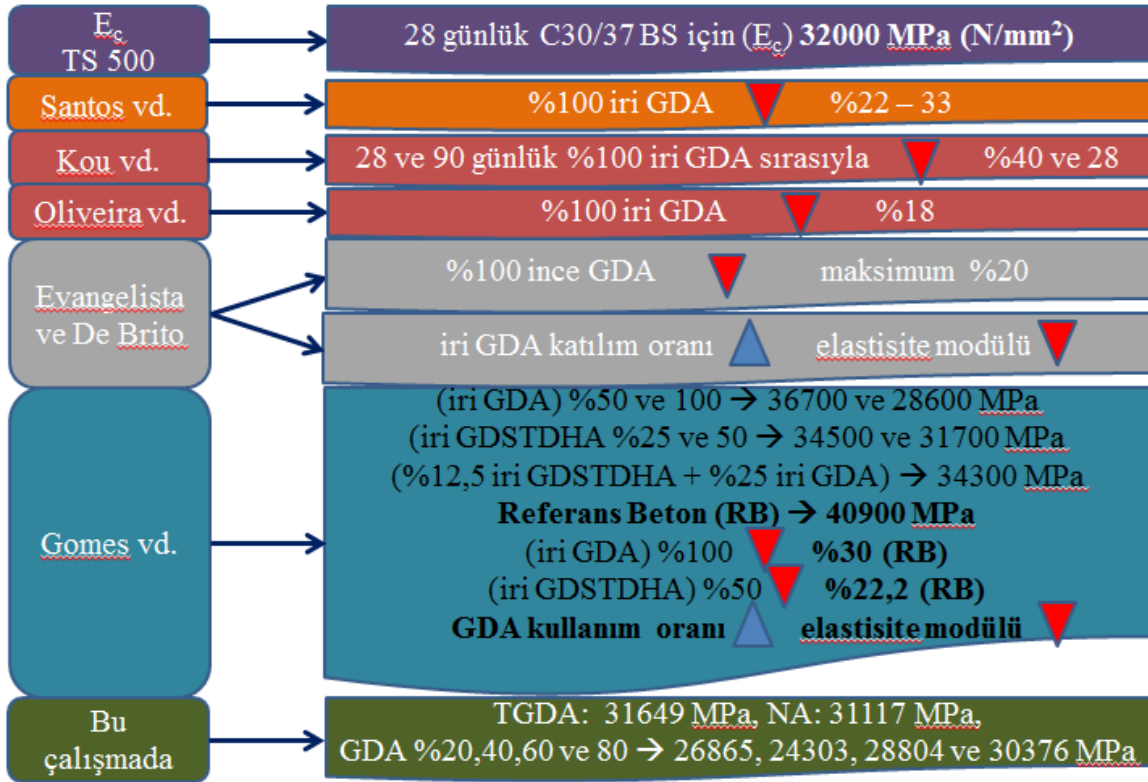


Şekil 84. Eğilmede çekme dayanımı ile ilgili yapılan çalışmalar

Santos vd. [28], %100 iri geri dönüşüm agregası (GDA) ile üretilen betonların elastisite modülünde %22 ve 33 oranında azalma olduğunu, Kou vd. [29], %100 iri GDA kullanılarak üretilen betonun 28 ve 90 günlük elastisite modülü değerlerinde sırasıyla %40 ve 28 oranında azalma olduğunu, Oliveira vd. [30], %100 iri GDA kullanılarak üretilen betonun elastisite modülünde %18'lik bir azalma olduğunu, Evangelista ve De Brito [20], ince GDA'nın karışımında %100 oranında kullanılarak üretilen betonun elastisite modülünde maksimum %20'lik bir azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca; iri GDA katılım oranı ve elastisite modülü arasında doğrusal bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir [20]. Gomes vd. [11], ortalama elastisite modülü değerlerini, ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %50 ve 100 karışım oranında ikame edilmesiyle üretilen betonlar için sırasıyla 36700 MPa ve 28600 MPa, iri geri dönüşüm seramik tuğla duvar + harç agregasının (GDSTDHA) ağırlıkça %25 ve 50 karışım oranında ikame edilmesiyle üretilen betonlar için sırasıyla 34500 MPa ve 31700 MPa, iri GDSTDHA'nın ağırlıkça %12,5'i ve ezilmiş betondan elde edilen iri GDA'nın ağırlıkça %25'i karışım oranında birlikte ikame edilerek üretilen beton için 34300 MPa ve referans beton (RB) için ise 40900 MPa değerini ölçmüşlerdir. İri GDA'nın ağırlıkça %100 karışım oranında ikame edilerek üretilen

betonun elastisite modülünün RB'ye göre %30 daha düşük olduğunu, karışımlarda %50 iri GDSTDHA'nın kullanılmasıyla üretilen betonun elastisite modülünün ise RB'ye göre %22,2'lik bir düşüş yaşandığını belirlemişlerdir. GDA kullanım oranı arttıkça betonun elastisite modülünde doğrusal bir düşüş olduğunu belirlemişlerdir [11].

Bu çalışmada; %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen betonun elastisite modülü 31649 MPa (N/mm²), %100 normal agregası (NA) ile üretilen betonun elastisite modülü ise 31117 MPa (N/mm²) olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, TS 500 standardında C30/37 beton sınıfı için beklenen elastisite modülü değeriyle uyumlu olup, ASTM ve İMO kayıtlarıyla da tutarlıdır. Ayrıca, beton içerisinde geri dönüşüm agregası (GDA) kullanımının %20, 40, 60, 80 karışım oranında kullanılmasıyla üretilen betonların elastisite modülleri sırasıyla 26865, 24303, 28804 ve 30376 MPa (N/mm²) olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, beton üretiminde GDA kullanım oranı arttıkça betonun elastisite modülünün arttığı görülmüştür. Yukarıda yapılan bazı araştırmalarda ise bu durumun tersine GDA kullanım oranı artmasıyla betonun elastisite modülünün azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 85. Elastisite modülü ile ilgili yapılan çalışmalar

Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alındığında, temizlenmiş geri dönüşüm agregasının (TGDA) normal agrega (NA) yerine kullanılmasında çekme ve basınç dayanımı açısından çok farklılık görülmemektedir. Ayrıca, TGDA ile üretilen beton numunelerin ortalama basınç dayanım değeri ile elastisite modülü, NA ile üretilene göre daha yüksek çıktığı yaptığımız deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Yapılan eğilmede çekme ve basınç dayanım deneyleri doğrultusunda, NA yerine TGDA'nın ağırlıkça %100 oranında karışımında kullanılabileceği ancak geri dönüşüm agregasının (GDA) ağırlıkça %80'in altına düştüğü durumlarda ise beton karışımında NA yerine kullanılmasının uygun olmayacağı görülmüştür. Ayrıca, beton içerisinde TGDA kullanım oranının %100 olması durumunda üretilen betonun eğilmede çekme ve basınç dayanımı yönünden NA yerine ve diğer GDA'nın %20, 40, 60, 80 karışım oranında üretilen beton deney grupları arasında en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Tablo 32. %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregalı (TGDA) küp numuneye ait basınç dayanım değerleri

Basınç Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune	4. numune	5. numune	6. numune	7. numune
Numune yaşı (Gün)	28	28	28	28	28	28	28
Ağırlık (gr)	7998	8225	8072	7605	7580	7842	8059
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,37	2,44	2,39	2,25	2,25	2,32	2,39
Genişlik (mm)	150	150	150	150	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150	150	150	150	150
Uzunluk (mm)	150	150	150	150	150	150	150
Yükleme hızı (MPa/sn)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Yükleme hızı (kN/sn)	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50
Alan (mm ²)	22500	22500	22500	22500	22500	22500	22500
Hacim (cm ³)	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375
Kırılma yükü (kN)	799,4	880,4	855	658,9	649	898,2	1065
Dayanım (MPa)	35,53	39,13	38	29,28	28,84	39,92	47,32
Zaman (sn)	64	70	68	57	57	80	80

Tablo 33. %100 normal agregalı (NA) küp numuneye ait basınç dayanım değerleri

Basınç Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune	4. numune	5. numune	6. numune
Numune yaşı (Gün)	28	28	28	28	28	28
Ağırlık (gr)	8000	8125	8100	7885	7750	8200
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,37	2,41	2,40	2,34	2,30	2,43
Genişlik (mm)	150	150	150	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150	150	150	150
Uzunluk (mm)	150	150	150	150	150	150
Yükleme hızı (MPa/sn)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,6
Yükleme hızı (kN/sn)	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,5
Alan (mm ²)	22500	22500	22500	22500	22500	22500
Hacim (cm ³)	3375	3375	3375	3375	3375	3375
Kırılma yükü (kN)	786,5	692	825,6	840	770,5	767,8
Dayanım (MPa)	34,96	30,76	36,69	37,33	34,24	34,12
Zaman (sn)	66	66	60	65	70	65

Tablo 34. %20 GDA ve %80 NA karışımında küp numuneye ait basınç dayanım değerleri

Basınç Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	8200	8300	8225
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,39	2,44	2,45
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	150	150	150
Yükleme hızı (MPa/sn)	0,6	0,6	0,6
Yükleme hızı (kN/sn)	13,5	13,5	13,5
Alan (mm ²)	22500	22500	22500
Hacim (cm ³)	3375	3375	3375
Kırılma yükü (kN)	428,6	446,2	447,1
Dayanım (MPa)	19,05	19,83	19,87
Zaman (sn)	66	66	60

Tablo 35. %40 GDA ve %60 NA karışımında küp numuneye ait basınç dayanım değerleri

Basınç Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	8150	8225	8135
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,35	2,40	2,38
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	150	150	150
Yüklemeye hızı (MPa/sn)	0,6	0,6	0,6
Yüklemeye hızı (kN/sn)	13,5	13,5	13,5
Alan (mm ²)	22500	22500	22500
Hacim (cm ³)	3375	3375	3375
Kırılma yükü (kN)	281,7	278,8	287,1
Dayanım (MPa)	12,52	12,39	12,76
Zaman (sn)	65	64	62

Tablo 36. %60 GDA ve %40 NA karışımında küp numuneye ait basınç dayanım değerleri

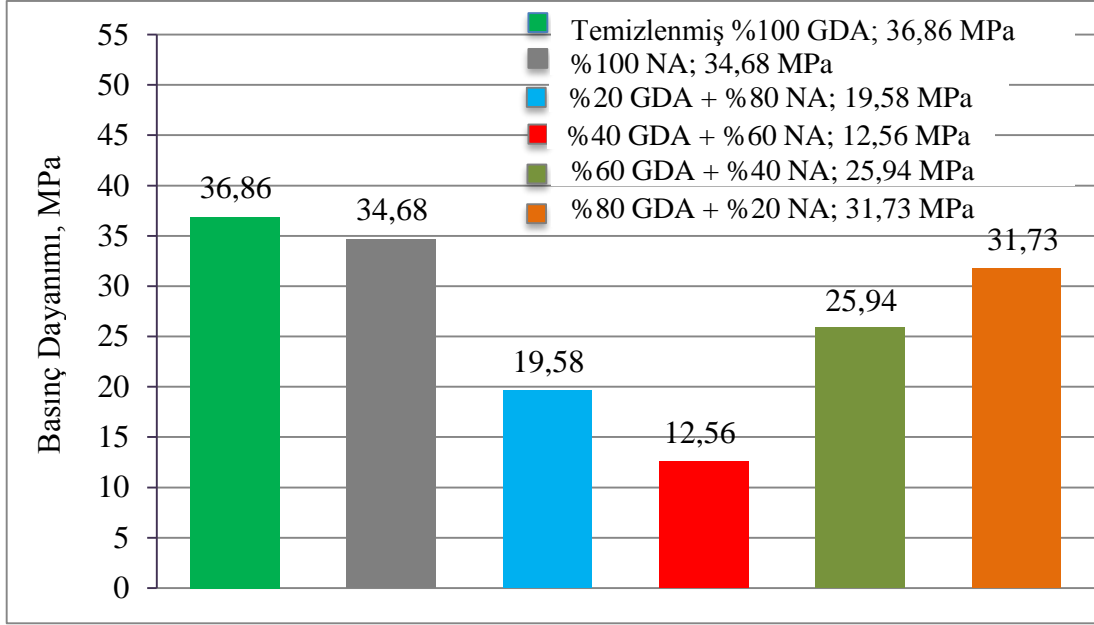
Basınç Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	8175	8255	8200
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,38	2,45	2,39
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	150	150	150
Yüklemeye hızı (MPa/sn)	0,6	0,6	0,6
Yüklemeye hızı (kN/sn)	13,5	13,5	13,5
Alan (mm ²)	22500	22500	22500
Hacim (cm ³)	3375	3375	3375
Kırılma yükü (kN)	563	608	580
Dayanım (MPa)	25,02	27,02	25,78
Zaman (sn)	67	62	59

Tablo 37. %80 GDA ve %20 NA karışımında küp numuneye ait basınç dayanım değerleri

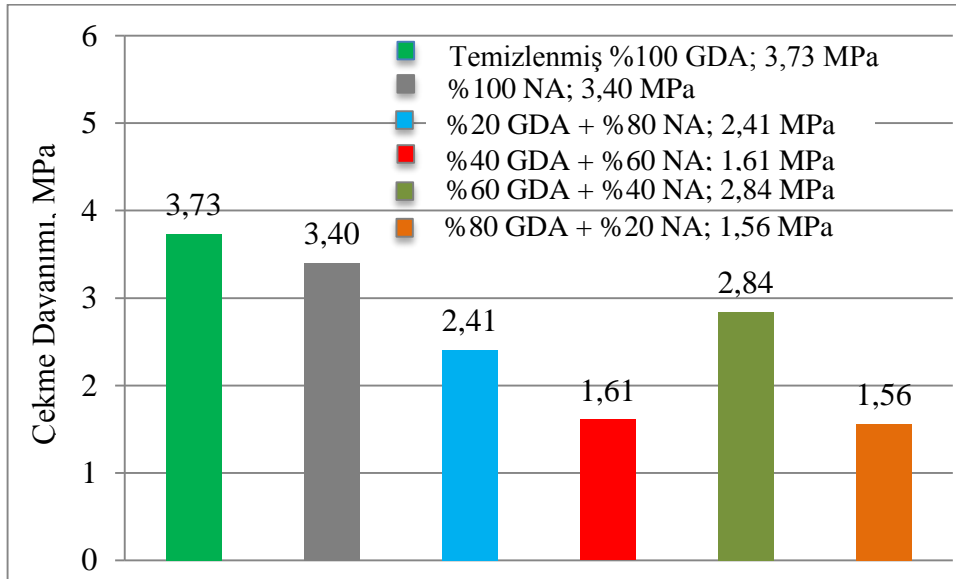
Basınç Dayanımı Tayini	1. numune	2. numune	3. numune
Numune yaşı (Gün)	28	28	28
Ağırlık (gr)	8190	8295	8215
Birim ağırlık (gr/cm ³)	2,33	2,41	2,34
Genişlik (mm)	150	150	150
Kalınlık (mm)	150	150	150
Uzunluk (mm)	150	150	150
Yükleme hızı (MPa/sn)	0,6	0,6	0,6
Yükleme hızı (kN/sn)	13,5	13,5	13,5
Alan (mm ²)	22500	22500	22500
Hacim (cm ³)	3375	3375	3375
Kırılma yükü (kN)	719,3	717,5	705,2
Dayanım (MPa)	31,97	31,89	31,34
Zaman (sn)	68	65	65

Tablo 38. GDA ve NA beton karışımlarına ait eğilmede çekme ve basınç dayanım değerleri

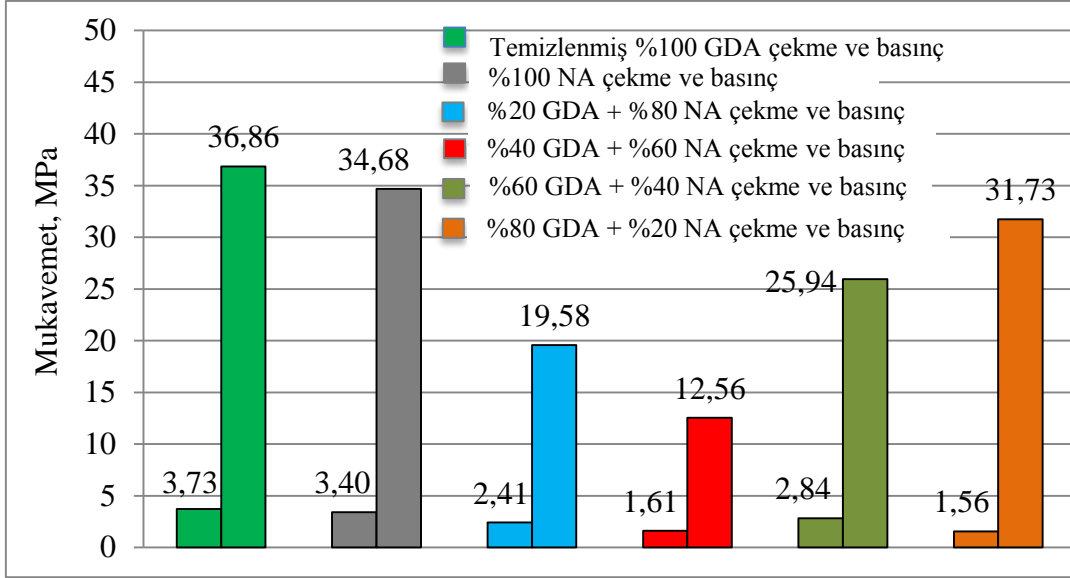
	Lab. No	Döküm Tarihi	Test Tarihi	Numune Ebatı (cm)	Cinsi	28 Günlük Dayanım kN MPa	
%20 GDA + %80 NA Betonu	152254	22.10.2015	19.11.2015	15x15x75	Kiriş	11,15	1,98
	152255	22.10.2015	19.11.2015	15x15x75	Kiriş	16,34	2,90
	152256	22.10.2015	19.11.2015	15x15x75	Kiriş	13,11	2,33
	152257	22.10.2015	19.11.2015	15x15x15	Küp	428,60	19,05
	152258	22.10.2015	19.11.2015	15x15x15	Küp	446,20	19,83
	152259	22.10.2015	19.11.2015	15x15x15	Küp	447,10	19,87
%40 GDA + %60 NA Betonu	152266	27.10.2015	24.11.2015	15x15x75	Kiriş	9,08	1,61
	152267	27.10.2015	24.11.2015	15x15x75	Kiriş	7,97	4,42
	152268	27.10.2015	24.11.2015	15x15x75	Kiriş	10,10	1,80
	152269	27.10.2015	24.11.2015	15x15x15	Küp	281,70	12,52
	152270	27.10.2015	24.11.2015	15x15x15	Küp	278,80	12,39
	152271	27.10.2015	24.11.2015	15x15x15	Küp	287,10	12,76
%60 GDA + %40 NA Betonu	152248	03.11.2015	01.12.2015	15x15x75	Kiriş	15,12	2,69
	152249	03.11.2015	01.12.2015	15x15x75	Kiriş	16,30	2,90
	152250	03.11.2015	01.12.2015	15x15x75	Kiriş	16,50	2,93
	152251	03.11.2015	01.12.2015	15x15x15	Küp	563,00	25,02
	152252	03.11.2015	01.12.2015	15x15x15	Küp	608,00	27,02
	152253	03.11.2015	01.12.2015	15x15x15	Küp	580,00	25,78
%80 GDA + %20 NA Betonu	152350	05.11.2015	04.12.2015	15x15x75	Kiriş	9,00	1,53
	152351	05.11.2015	04.12.2015	15x15x75	Kiriş	8,63	1,54
	152352	05.11.2015	04.12.2015	15x15x75	Kiriş	8,65	1,60
	152353	05.11.2015	04.12.2015	15x15x15	Küp	719,30	31,97
	152354	05.11.2015	04.12.2015	15x15x15	Küp	717,50	31,89
	152355	05.11.2015	04.12.2015	15x15x15	Küp	705,20	31,34



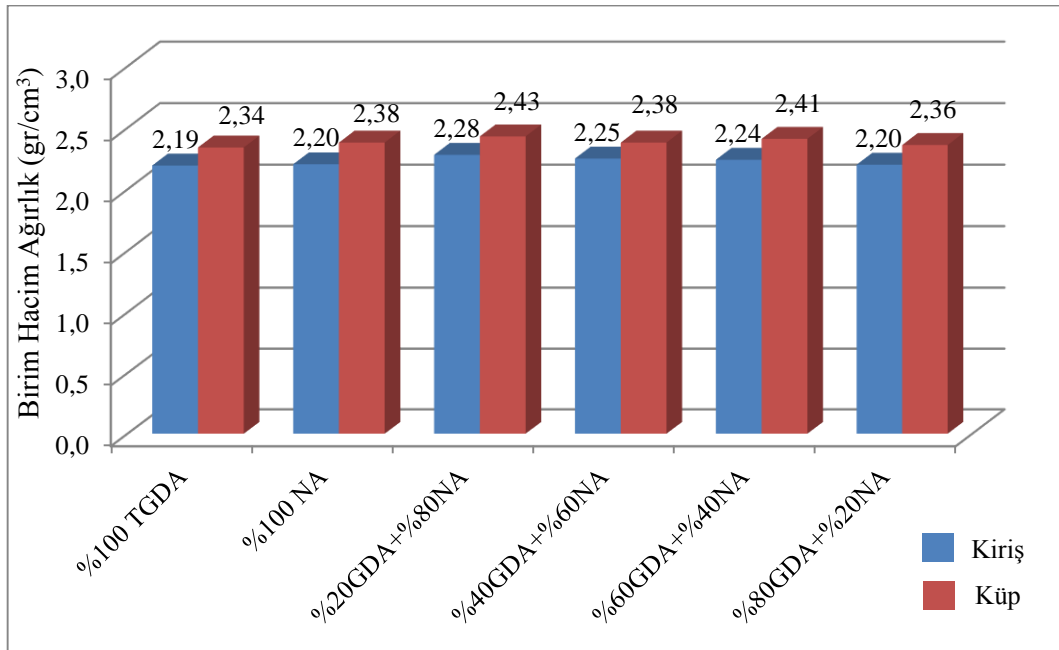
Şekil 86. Basınç dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 87. Eğilmede çekme dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 88. Eğilmede çekme ve basınç dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 89. Geri dönüşüm agrega birim hacim ağırlık değerlerinin grafiksel gösterimi

Çelik [71] ,yaklaşık 25 seneden fazla hizmet ettiği görülmüş Karadeniz Bölgesi köy yollarına ait rijit kaplama üzerinde yapmış olduğu çalışmalarda, yaklaşık 25 yıllık ekonomik ömrünü tamamlamış ve hala serviste olan beton yolların basınç mukavemet değerlerinin 9,84 ve 12,76 MPa arasında olduğunu tespit etmiştir. Bu durumda geri

dönüşüm agregası (GDA) ile yapılacak beton yolların (basınç mukavemet değerleri: 12,54 - 36,86) çok daha fazla uzun ömürlü olacakları açıktır.

3.2. AASHTO Metodu ile Karayolu Beton Kaplama Tasarımı

Beton kaplama kalınlığı, projenin uygulanacağı bölgedeki trafik yükü, zemin ve iklime bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Şehir sokakları, tali yollar ve küçük havaalanları için kaplama kalınlığı $D = 100-175$ mm (4-7 inç) mm, anayol ve devletlerarası karayollarında kaplama kalınlığı $D=175-280$ mm (7-12 inç) ve büyük havaalanlarında ise kaplama kalınlığının $D = 200-460$ mm (8-18 inç) arasında olması istenmektedir [69].

Öte yandan Kanada'da, beton kaplama kalınlığı tasarımı, hem 1993 AASHTO kaplama tasarımı kılavuzu hem de Kanada Portland Çimento Birliği'nin mekanik-ampirik rijit kaplama tasarımı metoduna dayanmaktadır. Beton kaplama kalınlığı 200-280 mm (8-11 inç) arasında değişkenlik göstermektedir. Son 50 yıldır çeşitli beton kaplama tasarımları denedikten sonra, Quebec eyaleti artık hem donatısız derzli hem de sürekli donatılı beton kaplamalar inşa etmektedir. 1994 yılında, Quebec Ulaştırma Bakanlığı tarafından iki standart beton kaplama tasarımı kabul edildi. Bunlardan biri de donatısız derzli beton kaplama tasarımıdır. Bu tasarım için, 1993 AASHTO kaplama tasarımı kılavuzuna göre 30 yıllık sürede oluşacak kamyon trafiği için tasarlanmış plaka kalınlığı ve yeterli toplam kaplama kalınlığı ile donma kabarmasına karşı koyması amaçlanmıştır. Kamyon faktörleri (ESALs/kamyon) üstyapı tasarımında beklenen kamyon trafiğini karakterize etmek amacıyla geliştirilmiştir. Geçerli standarda göre inşa tipik donatısız derzli beton kaplama kalınlıkları 250 ve 325 mm (10-13 inç) arasındadır [72].

Temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile ürettiğimiz betona ait laboratuvar ortamında yapılan eğilmede çekme ve basınç dayanımı testi sonucuna göre elastisite modülü değeri de esas alınarak örnek bir karayolu beton kaplama tasarımı yapılmış, bulunan beton kaplama kalınlığının diğer standartlara ve uygulamalara göre beton yollarda kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Betonun elastisite modülü, $E_c = 31800$ MPa (5×10^6 psi), betonun eğilmede çekme dayanımı, $S'_c = 4,29$ MPa (622 psi), yük transfer katsayısı, $J= 3,6$, drenaj katsayısı, $C_d = 1,0$, standart sapma, $S_0 = 0,35$, güvenilirlik, $R= 0,95$ ve servis yeteneği kaybı, $\Delta PSI= 4,5 - 2,5 = 2,0$ olarak alınmış olup CBR=4 için $D=36$ cm (14 inç) , CBR=12 için $D=33$ cm (13 inç) olarak bulunmuş olup Ekler bölümü Ek 1'de detaylı ve açıklamalı olarak verilmiştir.

Yukarıdaki kaplama kalınlık standartları ile yaptığımız tasarım kıyaslandığında, kaplama kalınlığı CBR=4 için bir miktar yüksek çıkmakta fakat CBR=12 için istenilen standarda uygun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen betonun yol kaplamasında kullanılması uygundur denilebilir.

3.3. Kentsel Dönüşüm Kanunlarının Karşılaştırılması

2010 yılında yürürlüğe giren 5998 sayılı kanuna göre kentsel dönüşüm çalışmaları alan bazlı uygulamaları kapsamakta ve kentsel dönüşüm için alan zorunluluğu en az 5 hektar ve en çok 500 hektar alanda çalışma yapılabilir. 6306 sayılı kanun 2012 yılında yürürlüğe girmiş olup, hem riskli yapı (parsel bazlı), hem riskli alan hem de rezerv yapı alanı (alan bazlı) olarak kentsel dönüşümle ilgili çalışmalar yapılabilir. Bu kanunu diğer kanundan ayıran en önemli özellik ise alan bazlı uygulamanın yanı sıra parsel bazlı (riskli yapı) uygulamanın da olmasıdır. Oturduğu binanın riskli olup olmadığı konusunda tereddüte düşen vatandaşların gönüllülük esasına dayanarak maliklerden herhangi birinin başvurusu sonucu deprem risk analizi hazırlanan binanın riskli yapı sınıfına girmesiyle kentsel dönüşüm süreci başlamış olmasıdır. Yıkılıp yeniden yapılacak riskli yapı malikleri için devletin kira yardımı, kredi faiz desteği, belediye, tapu ve noter harçlarından muaf tutulması gibi kolaylıklar da bu kanunun üstünlükleridir. Aynı kanunda, riskli alanlarda minimum alan sınırı 15.000 m² olmasına rağmen bakanlığın uygun görmesi halinde riskli alan ilanı için 15.000 m² şartı aranmaksızın bakanlığın teklifi ve bakanlar kurulu kararı alınarak ilan edilebilir.

Sonuç olarak, 3 yıl önce (2012 yılı) yürürlüğe giren 6306 sayılı kentsel dönüşümle kanunu ile daha çok inşaat yıkıntı atığı meydana gelecek, dolayısıyla bu atıkların geri dönüşümü sağlanmazsa daha çok depolama sahasına ihtiyaç artacak demektir. Ayrıca, bu inşaat yıkıntı atıklarının geri kazanımı çalışmaları kapsamında yeni şartname ve yönetmelik hazırlığı yapılması gerekliliğini de beraberinde getirmektedir.

3.4. İnşaat Yıkıntı Atıklarının (İYA) Maliyet Analizi

Şartnamelere uygun olarak hazırlanan grovak agrega (kuvarsit, feldspat veya kaya parçalarının çok köşeli kırıntılarında oluşmuş sert, koyu renkli bir kaya) ile dolgu tabakası maliyet karşılaştırılması yapılmıştır. Bunun için inşaat yıkıntı atıkları (İYA) ile yapılan dolgu tabakası maliyeti grovak agrega ile yapılandan oldukça düşük olduğu görülmektedir. İstanbul'da şartnameye uygun olmayan hafriyat malzemesinin dolgu malzemesi olarak kullanılmasından dolayı dolgu uygulaması fiyatları oldukça değişkenlik arz etmektedir [43].

Mazlum [73], yapmış olduğu çalışmada, yollardan kazınan eski asfalt kaplamalar (eski bitüm ve eski agrega), %10, 25 ve 40 oranlarında binder tabakası olarak karışıma katılarak üç farklı katkı oranında karışım malzemesi üretmiştir. Her bir katkı oranı için maliyet analizi yapılmasıyla ekonomik katkı değerlerini ortaya koymuştur. Tüpraş'ın 2014 yılı Nisan ayı bitüm fiyatlarını dikkate alarak geri dönüşüm malzemesi olarak eski asfalt kaplamaların %10, 25 ve 40 oranında binder tabakası üretiminde nakliye masrafları sabit alınarak hesaplanan maliyet analizi raporunda, normal (katkısız) asfalt kaplama maliyetini 86,58 TL/ton olarak, eski asfalt kaplamaların karışıma %10, 25 ve 40 oranında üretime katılmasıyla maliyetlerini sırasıyla, 84.47 TL/ton, 74,86 TL/ton ve 65,25 TL/ton olarak belirlemiş ve geri dönüştürülmüş kaplama katkı oranının artmasıyla maliyetin azaldığını tespit etmiştir.

Arapoğlu [74], yapmış olduğu çalışmada, 2014 yılı birim fiyatları esas alınarak yol platformunda binder ve bitümlü temel tabakaları üzerinde eski asfalt kaplamaların maliyet açısından %10, 20, 30, 40 ve 50 oranında üretime katılmasıyla sırasıyla 3.30 TL/ton, 6.29 TL/ton, 9.58 TL/ton, 12.57 TL/ton ve 15,86 TL/ton kazanç olarak belirlemiştir. Aynı şekilde, 1 km uzunluğunda, 8 km genişliğinde tasarlanan binder ve bitümlü temel geri kazanılmış asfalt ilaveli yolda 1 km'de %10, 20, 30, 40 ve 50 oranında geri kazanılmış asfaltın üretime katılmasıyla sırasıyla 5,031.36 TL/ton, 9,607.10 TL/ton, 14,631.94 TL/ton, 19,190.40 TL/ton ve 24,215.04 TL/ton kazanç olarak belirleyerek, geri kazanılmış asfalt katkı oranının artmasıyla maliyet açısından kazancın da arttığını tespit etmiştir. Ayrıca, Arapoğlu [74] yapmış olduğu geri dönüşüm taşıma maliyet analizlerine göre, geri dönüşüm tesislerin kurulumu esas alınarak 65 km'ye kadar ekonomik olduğunu, nakliyeden ötürü 65 km üzeri mesafeler için ekonomik kazancın oluşmadığını, sanayi bölgelerinde ise diğer bölgelere göre taşıma bedelinin çok fazla olduğunu belirlemişlerdir.

İnşaat yıkıntı atıklarının (İYA) depolama sahalarına döküm ücreti ve nakliye bedeli göz önüne alındığında doğal kaynakların da tüketilmemesi açısından İYA'nın geri dönüşümünün sağlanması gerekmektedir. Depolama sahalarının kapasitesi belli olduğundan bir süre sonra bu sahalar dolmakta ve işlevini yitirmektedir. Bu durum, yeni depolama sahalarının hizmete açılması anlamına gelmektedir. Çıkan maliyet analizi sonuçlarına göre inşaat ve yıkıntı atıkların hiç bedel ödenmeden dolgu, alt temel ve plent miks temel tabakalarında kullanımları daha avantajlı görünmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın belirlediği ve yukarıda bahsedilen politikalar doğrultusunda İYA kullanımını özendirme için yatırımcı veya kullanıcıya vergi avantajları getirilmeli ve bu malzemelerin kullanımı teşvik edilmelidir. Bu durumda teknik ve ekonomik açıdan uygun İYA'nın beton yol yapımında kullanılması ekonomik ve çevresel açıdan da büyük fayda sağlayacaktır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, tahribatlı yöntemle beton basınç dayanımı belirlenen karot numunelerinin elle kırılarak (çekiç yardımıyla) elde edilen %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA), %100 normal agregası (NA) ve kentsel dönüşüm kapsamında oluşan inşaat yıkıntı atığının (İYA) toplanarak elle kırılması (çekiç yardımıyla) sonucu elde edilen geri dönüşüm agregasının (GDA) beton karışımına ağırlıkça %20, 40, 60, 80 oranında ikame edilerek beton kiriş ve küp numuneler üretilmiştir. Eğilmede çekme ve basınç deneylerinden elde edilen veriler üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Eğilmede çekme dayanım değerleri bakımından, %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen betonun, %100 normal agregası (NA) ile üretilene göre %9.72, %80 geri dönüşüm agregası (GDA) ve %20 NA ile üretilene göre %139.10, %60 GDA ve %40 NA ile üretilene göre %31.33, %40 GDA ve %60 NA ile üretilene göre %131.68 ve %20 GDA ve %80 NA ile üretilen betona göre %54,77 oranında daha büyük değere sahip olduğu görülmüştür.

2. Basınç dayanım değerleri bakımından, %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen betonun, %100 normal agregası (NA) ile üretilene göre %6.28, %80 geri dönüşüm agregası (GDA) ve %20 NA ile üretilen betona göre %16.17, %60 GDA ve %40 NA ile üretilen betona göre %42.10, %40 GDA ve %60 NA ile üretilen betona göre %193.47 ve %20 GDA ve %80 NA ile üretilen betona göre %88.25 oranında daha büyük değere sahip olduğu görülmüştür.

Bulunan bu bulgulara göre, beton yol kaplamalarında geri dönüşüm agregalarının dayanım açısından rahatlıkla kullanılabilmesi düşünülebilir.

3. Elastisite modülü değerleri bakımından, %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile üretilen beton ile %100 normal agregası (NA) ile üretilen betona ait sonuçlar, TS 500 standardında C30/37 beton sınıfı için beklenen elastisite modülü değeriyle uyumlu olup, ASTM ve İMO kayıtlarıyla benzerlik göstermektedir. Ayrıca, geri dönüşüm agregasının (GDA) beton içerisinde ağırlıkça %20 ve 40 karışım oranında kullanılarak üretilen betonların elastisite modülleri TS 500 standardında beklenenden oldukça düşük çıktığı ancak GDA'nın beton içerisinde ağırlıkça %60 ve 80 karışım oranında kullanılarak üretilen betonların ise bu seviyeye yaklaştığı görülmüştür.

4. %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ile ürettiğimiz betona ait laboratuvar ortamında yapılan eğilmede çekme ve basınç dayanımı testi sonucuna göre elastisite modülü değeri de esas alınarak örnek bir karayolu beton kaplama tasarımı yapılmıştır. 1993 AASHTO kaplama tasarımı kılavuzu hem de Kanada Portland Çimento Birliği'nin mekanik-amprik rijit kaplama tasarımı metoduna göre (inşa tipik donatısız derzli beton kaplama kalınlıkları 250 ve 325 mm (10-13 inç arasında) yaptığımız tasarım kıyaslandığında, beton yol kaplama kalınlığı CBR=4 için D=36 cm (14 inç) bir miktar yüksek çıkmakta ancak CBR=12 için D=33 cm (13 inç) istenilen standarda uygun olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, %100 TGDA ile üretilen betonun yol kaplamasında kullanılması uygundur denilebilir.

5. Taşıyıcı eleman olan kolonlardan alınan karotlardan elde edilen geri dönüşüm agregasının (GDA) yüzeyindeki çimento vb. su emme oranı yüksek bileşenlerden iyice ayrıştırıldıktan sonra temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) elde edilmiştir. %100 TGDA ile üretilen betonun eğilmede çekme ve basınç dayanımı açısından diğer üretilen deney grupları arasında en büyük değeri (basınç dayanım değeri 36,86 MPa, eğilmede çekme dayanımı 3,73 MPa) verdiği ve TS 500 standardında C30/37 beton sınıfında beklenen değerlere ulaştığı görülmüştür.

6. İnşaat yıkıntı atığından (İYA) elde edilen beton molozun kırılıp elekten geçirilmesi sonucu elde edilen geri dönüşüm agregasının (GDA) hiçbir temizleme işlemi yapılmadan ağırlıkça %20, 40, 60, 80 karışım oranlarında beton üretiminde kullanılmış ve eğilmede çekme ve basınç dayanımı yönünden %100 temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA) ve %100 normal agrega (NA) ile üretilen betonlara göre düşük sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ağırlıkça %20, 40, 60, 80 karışım oranında GDA'nın kullanılarak üretilen beton numuneleri arasında, basınç dayanımı açısından en büyük dayanımı %80 GDA ve %20 NA birlikte kullanılarak üretilen betonun verdiği, en küçük dayanımı ise %40 GDA ve %60 NA birlikte kullanılarak üretilen betonun verdiği, eğilme dayanımı açısından en büyük dayanımı %60 GDA ve %40 NA birlikte kullanılarak üretilen betonun verdiği, en küçük dayanımı ise %80 GDA ve %20 NA birlikte kullanılarak üretilen betonun verdiği tespit edilmiştir.

7. Sonuç olarak; geri dönüşüm agregası (GDA) kullanım oranı arttıkça beton basınç dayanımının arttığı, ancak eğilmede çekme dayanımının GDA kullanım oranı arttıkça inişli çıkışlı bir grafik gösterdiği, ağırlıkça %80 karışım oranında GDA'nın kullanılması durumunda basınç dayanımının en üst seviyeye ulaştığı, %60 karışım oranında GDA'nın

kullanılması durumunda eğilmede çekme dayanımının en üst seviyeye ulaştığı görülmüştür. GDA kullanım oranı artıkça beton basınç dayanımının da artması, inşaat yıkıntı atığından (İYA) getirilen beton molozun kalitesine ve beton molozdan tahribatlı yöntemle beton basınç dayanımını belirlemek amacıyla alınan 3 adet karot numunenin ortalama basınç dayanımının 32,3 MPa gibi yüksek bir değere sahip olmasından kaynaklandığı düşünülebilir.

Bu çalışmanın devamı yönünde ileride yapılabilecek çalışmalar için şu öneriler sıralanabilir.

1. Hızlandırılmış yol testleri ile beton yol uygulamalarının 20-25 yılda gerçekleşen trafik yüklerinin 1-2 sene gibi kısa bir zamanda uygulandığı ve gerçek yüklemeleri temsil ettikleri bilinmektedir. Bu çalışmadaki bulgular, hızlandırılmış yol testiyle geniş çaplı olarak araştırılabilir.

2. Bu çalışmada yapılmayan fakat karayollarında agregaların termal ve bozulma özelliklerini belirlemek amacıyla sıklıkla uygulanan donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini, magnezyum sülfat deneyi, kuruma çekmesi tayini, alkali-silika reaksiyonu deneyi vb. deneylerin agrega üzerinde tatbik edilmek suretiyle eğilmede çekme ve basınç deneyleri ile mukavemetinin araştırılması, farklı çevre koşullarının temsil edilmesi açısından önemlidir.

5. KAYNAKLAR

1. World Business Council for Sustainable Development, Recycling Concrete <http://www.wbcd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=11133&NoSearchContextKey=true> (executive summary) 07 Kasım 2015.
2. Öztürk Ö., Çelikkol M. ve Erkan M., Türkiye Agregat Sektör Raporu, Hazır Beton Dergisi, 84 (2007) 52 - 56.
3. T.C. Resmi Gazete, Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının kontrolü yönetmeliğı. (25406), 18.3.2004.
4. Lauritzen, E. K. ve Jannerup, M., Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Third International RILEM Symposium, Ekim 1993, Odense, Denmark, Bildiriler Kitabı: 35 - 47.
5. Oikonomou, N. D., Recycled Concrete Aggregates, Journal of Cement and Concrete Composites, 27 (2005) 315 - 318.
6. Huang, W. L., Lin, D. H., Chang, N. B. ve Lin, K. S., Recycling of Construction and Demolition Waste Via a Mechanical Sorting Process, Journal of Resources, Conservation and Recycling, 37 (2002) 23 - 37.
7. Elias-Ozkan, S. T., Recycling Rubble into Aggregates: a Model for Local Governments, Journal of Habitat International, 25 (2001) 493 - 502.
8. Rakshvir, M. ve Barai, V. S., Studies on Recycled Aggregates-Based Concrete, Journal of Waste Management and Research, 24 (2006) 225 - 233.
9. Tu, Y. T., Chen, Y. Y. ve Hwang, L. C., Properties of HPC with Recycled Aggregates, Journal of Cement and Concrete Research, 36 (2006) 943 - 950.
10. Köken, A., Köroğlu, M. A. ve Yonar, F., Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğı, Teknik-Online Dergisi, 7, 1 (2008) 86 - 97.
11. Gomes, M., de Brito, J. ve Bravo, M., Mechanical Performance of Structural Concrete with the Incorporation of Coarse Recycled Concrete and Ceramic Aggregates, Journal of Materials in Civil Engineering, 26, 10 (2014) 663 - 710.
12. Kılıç, İ., Atık Betonların Geri Dönüşümünde Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımı, Electronic Journal of Vocational Colleges, 4, 4 (2014) 130 - 137.
13. Durmuş, G., Can, Ö. ve Şimşek, O., Geri Dönüşüm Agregalardan Üretilen Farklı Sınıflardaki Betonun Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Mayıs 2009, Karabük, Bildiriler Kitabı: 2103-2106.

14. Köroğlu, M. A. ve Köken, A., Düşük Mukavemetli Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği.
http://cevre.club.fatih.edu.tr/webyeni/konfreweb/2008_pdf/sayfa22.pdf 07 Kasım 2015
15. Demirel, C. ve Şimşek, O., C30 Sınıfı Atık Betonun Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, S.Ü. Mühendislik, Bilim ve Teknik Dergisi, 2, 2 (2014) 45 - 54.
16. Demir, İ., İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi, AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2 (2009) 105-114.
17. Durmuş, G., Şimşek, O. ve Dayı, M., Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24, 1 (2009) 183-189.
18. Nealen, A. ve Rühl, M., Consistency Aspects in the Production of Concrete Using Aggregates From Recycled Demolition Material, Annual Journal of Darmstadt Concrete, 12 (1997)
19. Topçu, B. ve Şengel, S., Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate, Journal of Cement and Concrete Research, 34 (2004) 1307 - 1312.
20. Evangelista, L. ve de Brito, J., Mechanical Behaviour of Concrete Made With Fine Recycled Concrete Aggregates, Journal of Cement and Concrete Composites, 29, 5 (2007) 397 - 401.
21. Demirel, C. ve Şimşek, O., Erken Yaştaki Atık Betonların Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılabilirliği ve Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3 (2015) 226-235.
22. Günçan, N. F., Eski Beton Kırığı Agregalı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1995.
23. Zankler, G., Recycled Materials in Concrete Construction, Fields of Applications, Development Tendencies and Quality Assurance, International Journal of Betonwerk + Fertigteil Technik, 4 (1999) 38 - 43.
24. Pereira, A. S., de Brito, J. ve Correia, J., Mechanical Behaviour of Non-Structural Concrete Made with Recycled Ceramic Aggregates, Journal of Cement and Concrete Composites, 27, 4 (2005) 429 - 433.
25. Santos, R., de Brito, J. ve Branco, F.A., Mechanical Properties of Concrete with Coarse Recycled Aggregates, Journal of International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 14, 3, (2004) 213 - 215.
26. Matias, D., de Brito, J., Rosa, A. ve Pedro, D., Mechanical Properties of Concrete Produced with Recycled Coarse Aggregates-Influence of the Use of Superplasticizers, Journal of Construction and Building Materials, 44 (2013) 101 - 109.

27. Olorunsogo, F. T., Early Age Properties of Recycled Aggregate Concrete, International Seminar on Exploiting Waste in Concrete, Eylül 1999, İskoçya, Bildiriler Kitabı: 163 - 170.
28. Santos, R., Branco, F. A. ve de Brito, J., Compressive Strength, Modulus of Elasticity and Drying Shrinkage of Concrete with Coarse Recycled Concrete, XXX IAHS World Congress on Housing, Eylül 2002, Coimbra, Portekiz, Bildiriler Kitabı: 1685 - 1691.
29. Kou, S. C., Poon, C. S. ve Chan, D., Properties of Steam Cured Recycled Aggregate Fly Ash Concrete, International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures, Kasım 2004, Barcelona, İspanya, Bildiriler Kitabı II: 590 - 599.
30. Wanderley, A., de Oliveira, M. J. E. ve de Assis, C. S., Study on Compressed Stress, Water Absorption and Modulus of Elasticity of Produced Concrete Made by Recycled Aggregate, International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures, Kasım 2004, Barcelona, İspanya, Bildiriler Kitabı II: 636 - 642.
31. TS 3814 EN 933-4, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler-Bölüm 1: Tane Şeklinin Tayini-Şekil İndisi, T.S.E., Ankara, Kasım 2001.
32. Şimşek, O., Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, 4. Baskı, 384, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2010.
33. T.C. Resmi Gazete, 6306 sayılı afet riski altındaki alanların dönüştürülmesi hakkında kanun. (28309), 31.5.2012.
34. Karadağ, H., Kentsel Dönüşümle Afetlere Hazır Türkiye.
<http://www.csb.gov.tr/db/gumushane/webmenu/webmenu16112.pdf> 22 Mart 2015
35. T.C. Resmi Gazete, 5998 sayılı belediye kanununda değişiklik yapılmasına ilişkin kanun. (27621), 24.6.2010.
36. Öztürk, M., İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 26 s., Ankara, 2005.
37. Ölmez E. ve Yıldız Ş., İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli, II. Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, Kasım 2008, İstanbul.
38. <http://makina-market.com.tr/yikim/detay/8688/yikinti-atiklari-icin-donusum-projesi> İş Akışı ve Yıkıntı Atıkları için Dönüşüm Projesi. 25 Kasım 2014.
39. T.C. Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarından İlk Endüstriyel Uygulama ile Yeşil Tuğla ve Yeşil Çimento Üretilmesi.
<http://www.csb.gov.tr/gm/altyapi/index.php?Sayfa=haberdetay&Id=13871> 17 Haziran 2014.

40. <http://www.csb.gov.tr/gm/altyapi/index.php?Sayfa=haberdetay&Id=18579> Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü - Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarından Geri Kazanılan Ürünlerin Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi Projesi Kapanış Çalıştayı, İnşaat Ve Yıkıntı Atıklarından Tuğla, Kiremit ve Sıva Atıklarının Tuğla Üretiminde Kullanımının Araştırılması, TÜBİTAK. 13 Mayıs 2015.
41. <http://www.csb.gov.tr/gm/altyapi/index.php?Sayfa=haberdetay&Id=18579> Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü - Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarından Geri Kazanılan Ürünlerin Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi Projesi Kapanış Çalıştayı, İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Geri Kazanım Tesislerinin Yönetimi, İSTAÇ. 13 Mayıs 2015.
42. <http://emlakkulisi.com/trabzon-kentsel-donusum-calismalari-ne-durumda/406816> Trabzon'da Kentsel Dönüşüm. 16 Eylül 2015.
43. <http://www.csb.gov.tr/gm/altyapi/index.php?Sayfa=haberdetay&Id=18579> Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü - Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarından Geri Kazanılan Ürünlerin Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi Projesi Kapanış Çalıştayı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarından Geri Kazanılan Malzemelerin Asfalt ve Yol Dolgu Malzemesi Üretiminde Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi. İSFALT. 13 Mayıs 2015.
44. Birpınar, M. E. ve Sarı, B. A., İstanbul İlinde Hafriyat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi, Y.T.Ü. Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3 (2011) 252 - 260.
45. NYC Department of Design and Construction, Construction and Demolition Waste Manual. <http://www.nyc.gov/html/ddc/downloads/pdf/waste.pdf> 10 Haziran 2015.
- 46., İstanbul'da İnşaat ve Yıkıntı Atıkları, İSTAÇ. <http://www.istac.com.tr/tr/hizmetlerimiz/hafriyat-insaat-ve-yikinti-atiklari> 15 Nisan 2015.
47. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSTAÇ A.Ş., İstanbul, Tuzla - Aydınli İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Geri Kazanım Tesisi İşletimi. <http://docplayer.biz.tr/4386460-Atik-yonetimi-sempozyumu.html> 25 Ağustos 2015.
48. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2015 Yılı Sahalara Hafriyat Döküm Ücreti. <http://www.ibb.gov.tr/sites/CevreKoruma/Hafriyat/Sayfalar/UcretTarifesi.aspx> 29 Şubat 2015.
49. İzmir Ticaret Odası 2012 Aralık-Sektörel Ar&Ge Bülten, Geri Dönüşüm Atağı. <http://www.izto.org.tr/portals/0/argebulten/6kentseldonusumatagi.pdf> 19 Ocak 2015.
50. T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yol Ağı Bilgileri. <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx> 19 Mayıs 2015.

51. Montuschi, A., Flexible Pavement Design Using Mechanistic - Empirical Methods: The Californian Approach, Master Thesis, Alma Mater Studiorum University of Bologna, Institute of Science, Bologna, 2012.
52. TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, Beton Yollar, 427, 5 (2003) 38 - 44.
53. Beton Yol. <http://www.tokihaber.com.tr/karayolunda-ekonomik-alternatif-beton-yollar/> 22 Mayıs 2015.
54. Yeğinobalı, A., Türkiye'nin İlk Beton Karayolları, II. Baskı, 66, TÇMB, Ankara, 2010.
55. Yol Betonu.
http://www.aksiyon.com.tr/dosyalar/karayolunu-beton-yollar-aklayacak_515085
19 Mayıs 2015.
56. TS 706 EN 12620+A1, Beton Agregaları, T.S.E., Ankara, Nisan 2009.
57. TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, T.S.E., Ankara, Aralık 2013.
58. Akman M. S., Kimyasal Katkıların Betona Uygulanması, Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Konulu 4. Ulusal Beton Kongresi, Kasım 1996, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 55 - 71.
59. TS 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, T.S.E., Ankara, Haziran 2009.
60. TS EN 12390-1, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, T.S.E., Ankara, Haziran 2013.
61. TS EN 12390-2, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, T.S.E., Ankara, I. Baskı, Nisan 2002.
62. Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı Deney Föyü, Erzurum, 2008.
63. TS EN 12390-5, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, T.S.E., Ankara, I. Baskı, Nisan 2002.
64. TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, T.S.E., Ankara, I. Baskı, Nisan 2010.
65. Beton Çekme Deneyi. <http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici> 11 Ağustos 2015.
66. T. C. Ulaştırma Bakanlığı, KGM, Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri, Ankara, 2008.
67. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, T.S.E., Ankara, I. Baskı, Şubat 2000.

68. Pavement Interactive, Compressive Strength.
<http://www.pavementinteractive.org/article/compressive-strength/> 14 Eylül 2015.
69. Basics of Concrete Pavement Thickness Design
<http://files.engineering.com/download.aspx?file=DesignFundamentals.PDF&folder=e7ed1009-c5ed-42ea-8487-12e7ad59c362> 14 Eylül 2015
70. BS EN 12504-1:2009, Testing Concrete in Structures, Part 1: Cored Specimens - Taking, Examining and Testing in Compression, British Standard, London, 2009.
71. Çelik, M., Karadeniz Bölgesi Köy Yolları için Rijit ve Esnek Kaplamanın Mekanistik ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
72. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Concrete Pavement Design. http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl07027/llcp_07_03.cfm 15 Eylül 2015.
73. Mazlum, M. S., Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Asfalt Kaplamaların Kazınarak Bitümlü Sıcak Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
74. Arapoğlu, A. S., Bozulmuş Asfalt Kaplamaların Geri Dönüşüm Maliyet Analizi ve Optimum Geri Kazanım Mesafesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2015.
75. Tunç A., Yol Malzemeleri (Agrega, Asfalt, Bitümlü Karışımlar, Beton, Zemin) ve Uygulamaları (Kaplama ve Zemin Islahı – Dizayn ve Yapım Metotları), 2. Baskı, 840 s., Nobel Akademik Yayıncılık, İstanbul, 2007.
76. CIRIA/CUR, Manual on the Use of Rock in Coastal and Shoreline Engineering, Special Publication 83, Report:154, London, 2007.
77. CIRIA/CUR/CETMEF, The Rock Manual, The Use of Rock in Hydraulic Engineering, 2nd edition, Publication C683, 1234, London, 2007.
78. Güner, M. S. ve Süme, V., Yapı Malzemesi ve Beton, 3. Baskı, 315 s., Aktif Yayıncılık, İstanbul, 1999.

6. EKLER

Ek 1. AASHTO Metodu ile Örnek Karayolu Beton Kaplama Tasarımı

Beton yol kaplamaları;

- Donatısız ve derzli,
- Kısmen donatılı ve derzli,
- Sürekli donatılı ve derzsiz,

olarak yapılmakta olup, kaplama kalınlığının hesaplanmasında birçok metot mevcuttur. Geri dönüşüm agregası ile üretilen beton numuneler baz alınarak örnek bir karayolu beton kaplama kalınlığının tasarımı için AASHTO metodu kullanılmıştır.

Yol testi sonuçları ile standart dingil yükü tekerrür sayısının kaplamanın performansına olan etkisi dikkate alınarak geliştirilmiştir. Yukarıdaki üç tip kaplamaya da uygulanabilmektedir. Beton kaplamanın performansı için AASHTO yol testinden Formül E.1'deki gibi eşitlik elde edilmiştir.

$$\text{Log}W_{8,2} = Z_R S_0 + 7,35 \log(D + 1) - 0,06 + \frac{\log \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + [1,624 \times 10^7 / (D + 1)^{8,46}]} +$$
$$(4,22 - 0,32P_t) \log \frac{S'_c C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 [D^{0,75} - [18,42 / (E_c / k^{0,25})]]} \quad (\text{E. 1})$$

Burada;

$W_{8,2}$: 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı,

Z_R : Standart normal sapma,

S_0 : Trafik hacmini ve performans tahminin bileşik standart hatası,

D : Beton plak kalınlığı (inç),

ΔPSI : $P_0 - P_t$ (Servis kabiliyetinde azalma miktarı),

P_0 : Başlangıç servis kabiliyeti indeksi,

P_t : Nihai servis kabiliyeti indeksi,

S'_c : Beton kopma modülü, Beton eğilme modülü (emniyet gerilmesi) (psi),

J : Yük transfer katsayısı,

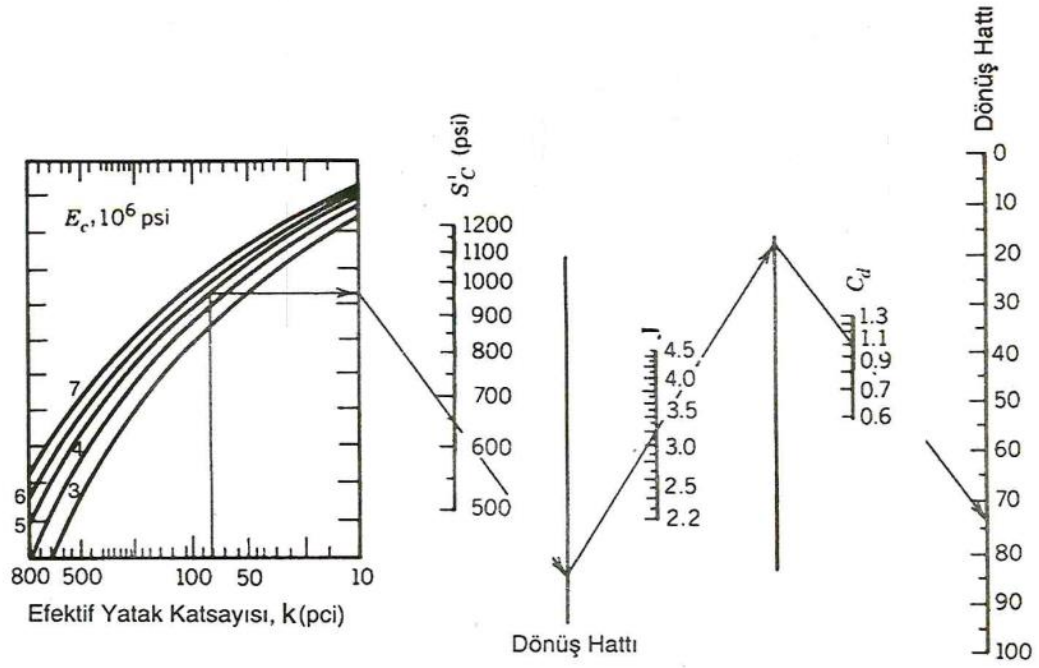
C_d : Drenaj katsayısı,

E_c : Beton elastikiyet modülü (psi),

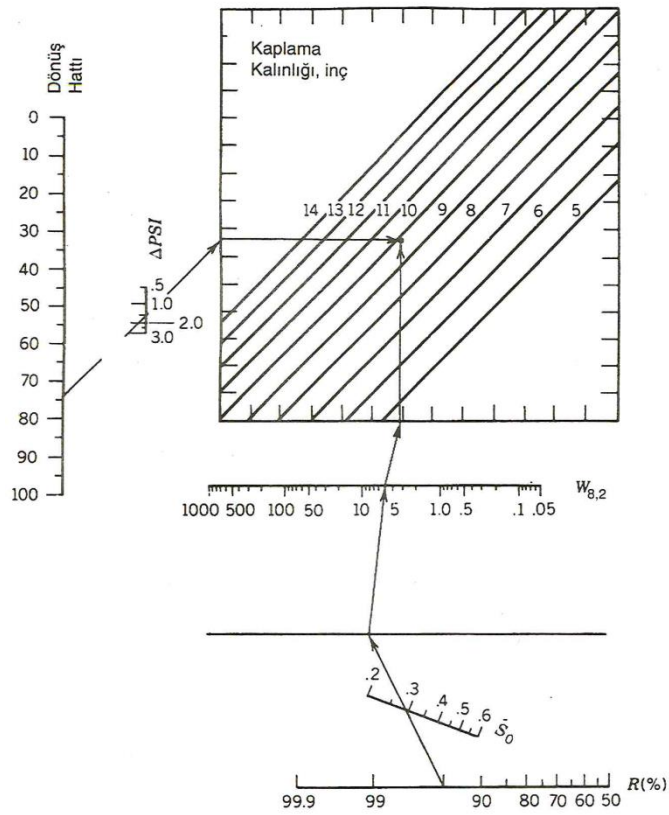
k: Yatak katsayısı (psi),

olarak verilmektedir. Formül E. 1'deki eşitlikten Ek Şekil 1'deki abak geliştirilmiştir.

Bu abak yardımıyla beton kaplama kalınlığı tespit edilmiştir.

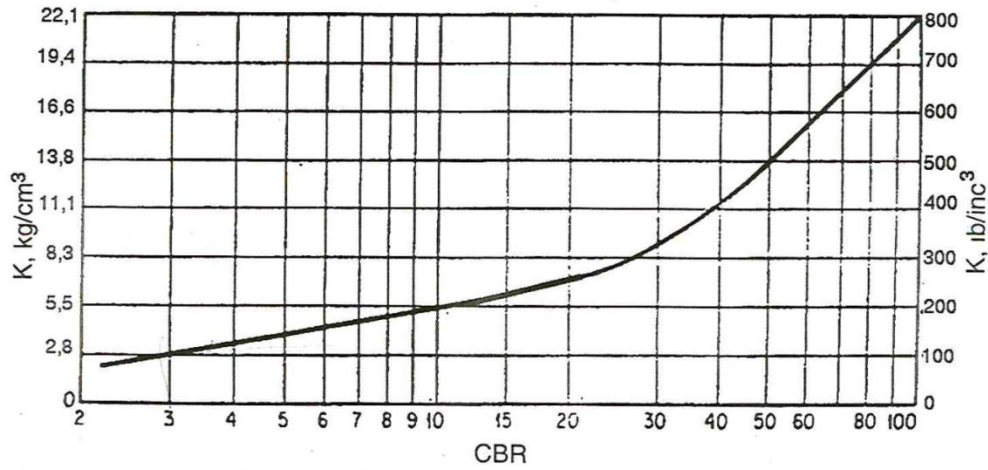


Ek Şekil 1. Beton kaplama kalınlığının tayini (AASHTO 1986) [75].



Ek Şekil 1'in devamı. Beton kaplama kalınlığının tayini (AASHTO 1986),[75].

Efektif Zemin Yatak Katsayısı (k); teker yüklerinden ötürü beton plaklarda hem basınç hem de çekme gerilmeleri bir arada oluşmaktadır. Ancak, betonun yüksek basınç mukavemetine sahip olması nedeniyle betonun eğilmede çekme gerilmesi esas alınarak beton kaplama kalınlığı saptanmaktadır. Ek Şekil 2’de CBR ile k arasındaki ilişki gösterilmektedir. Tasarımda kullanılacak efektif zemin yatak katsayısı (k) Ek Şekil 2’den alınmıştır.



Ek Şekil 2. CBR – K ilişkisi (PCA) [75].

CBR=4 için $k = 3,2 \text{ kg/cm}^3 = 0,76 \text{ Mpa}$ (110 psi),

CBR=12 için $k = 5,5 \text{ kg/cm}^3 = 1,38 \text{ Mpa}$ (200 psi),

olarak bulunmuştur.

Beton Elastisite Modülü (E_c); geri dönüşüm agregası ile üretilen beton numunelerin ortalama basınç dayanımı 36,86 MPa olarak bulunmuştu. TS 500 [70]’den betonun elastisite modülü Formül E.2’deki gibi bulunmaktadır.

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (\text{E. 2})$$

Burada,

E_{cj} : Normal ağırlıktaki betonlar için “j” günlük betonun elastisite modülü,

f_{ckj} : j günlük beton karakteristik silindir basınç dayanımı, olarak verilmiştir.

Geri dönüşüm agregası ile üretilen 28 günlük beton numunelerin ortalama silindirik basınç dayanımı, ortalama küp basınç dayanımının 0,80 dönüşüm katsayısı ile çarpılması sonucu $29,49 \approx 30$ MPa olarak bulunmuştur. Bu değer, Formül E.2’de yerine konulursa betonun elastisite modülü;

$$E_c = 3250\sqrt{30} + 14000 = 31800 \text{ MPa(N/mm}^2) \cong 5 \times 10^6 \text{ psi, olarak bulunmuştur.}$$

Betonun Kopma Modülü (Eğilmede Çekme Mukavemeti) (S'_c); betonun kopma modülü, 28 günlük standart beton kirişlerin üç nokta eğilmede çekme dayanım testi ile elde edilen ortalama değeridir. Geri dönüşüm agregası ile üretilen beton kiriş numunelerin ortalama Eğilmede Çekme Dayanımı 4,29 MPa olarak bulunmuştur.

$$S'_c = 4,29 \text{ Mpa (N/mm}^2) \cong 622 \text{ psi}$$

Yük Transfer Katsayısı (J); beton kaplamanın derzlerde veya çatlaklarda yükü transfer edebilme yeteneği için yük transfer katsayısı (J) bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tavsiye edilen yük transfer katsayıları (AASHTO 1993) Ek Tablo 1’de verilmekte olup, banket türü beton kaplama, yük transferi olmayan ve “Donatısız Derzli” kaplama tipine göre yük transfer katsayısı (J) Ek Tablo 1’den 3,6 olarak alınmıştır.

Ek Tablo 1. Tavsiye edilen yük transfer katsayıları (AASHTO 1993) [75].

Banket	Asfalt		Beton Kaplama	
	Var	Yok	Var	Yok
Yük Transferi	Var	Yok	Var	Yok
Kaplama Tipi	J	J	J	J
Donatısız Derzli	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Donatılı Derzli	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Sürekli Donatılı Derzsiz	2,9 - 3,2	-	2,3 - 2,9	-

Drenaj Katsayısı (C_d); beton kaplamalarda drenaj katsayısı (C_d) tavsiye edilen değerler Ek Tablo 2’de verilmiştir. Drenaj kalitesi iyi, suyun uzaklaştırma süresi 1 gün, kaplamanın doygunluk seviyesine yakın su içeriğine maruz kaldığı sürenin yüzdesi %5 ila %25 arasında olduğu kabul edilerek Ek Tablo 2’den drenaj katsayısı (C_d) 1,0 olarak alınmıştır.

Ek Tablo 2. Tavsiye edilen drenaj katsayıları (AASHTO) [75].

Drenaj kalitesi	Suyun Uzaklaştırma Süresi	Kaplamanın doygunluk seviyesine yakın su içeriğine maruz kaldığı sürenin yüzdesi			
		<%1	%1-5	%5-25	>%25
Çok iyi	2 saat	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
İyi	1 gün	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
Vasat	1 hafta	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90
Kötü	1 ay	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Çok kötü	Dren yok	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

Servis Yeteneği Kaybı (ΔPSI); servis yeteneği kaybı, $\Delta PSI = P_0 - P_t$ olarak bulunmaktadır. P_0 , kaplamanın başlangıç servis yeteneği indeksi ve P_t ise kaplamanın performansını kaybettiği yani rehabilitasyona gerek duyulduğu andaki servis yeteneği indeksidir. Rijit kaplamalarda $P_0=4,5$ ve yüksek trafik hacimli yollarda $P_t=2,5$ ve düşük hacimli yollarda $P_t=2,0$ olarak alınması tavsiye edilmektedir. $P_0=4,5$ ve $P_t =2,5$ olarak alınmıştır.

Standart Sapma (S_0) ve Güvenirlilik (R); Ek Tablo 3'den güvenirlilik (R) seviyeleri için tavsiye edilen değerler verilmiştir. 1. Sınıf Yol ve Kentsel (önemli arterler) sınıflandırmasına göre güvenirlilik seviyesi (R) 0,95 olarak alınmıştır. Rijit kaplamalar için $S_0=0,35$ olarak alınması tavsiye edilmektedir.

Ek Tablo 3. Tavsiye edilen güvenirlilik seviyeleri (AASHTO) [75].

Fonksiyonel sınıflandırma	Kırsal R, %	Fonksiyonel sınıflandırma	Kentsel R, %
Otoyollar, Bölünmüş Yollar	85 – 99,9	Ana Arterler	85 – 99,9
1. Sınıf Yollar	75 - 95	Önemli Arterler	80 - 99
2. Sınıf Yollar	75 - 95	Toplayıcı Yollar	80 - 95
3. Sınıf Yollar	50 - 80	Bölgesel Yollar	50 - 80

Eşdeğer Tek Dingil Yüğü Tekerrür Sayısı ($W_{8,2}$); 8,2 ton (18 kips) eşdeğer tek dingil yüğü sayısı tasarım periyodu için tahmin edildikten sonra tasarım tekerrür sayısı Formül E.3 ile bulunmaktadır.

$$W_{8,2} = D_D \times D_L \times W_{18} \quad (E.3)$$

Burada;

D_D : Yönsel dağılım faktörü (%),

D_L : Şerit dağılım faktörü (%),

W_{18} : Tahmin edilen eşdeğer tek dingil yükü ($W_{8,2}$), olarak verilmiştir.

Projelendirilecek yol hakkında bilinenler;

Yol sınıfı: 1. Sınıf Yol

Son (kaplamanın performansını kaybettiği) servis kabiliyeti (P_t): 2,5

Kaplamanın başlangıç servis kabiliyeti (P_0): 4,5

Şerit dağılım faktörü (Tablo 4.53'den) (η): 0,90

Şerit sayısı ($i \times j$): $2 \times 2 = 4$

(i: Trafiğin kaç yönlü olduğunu, j: Aynı yöndeki şerit sayısını ifade etmektedir.)

Yolun inşaat süresi: 1 yıl

Kabul edilen hizmet süresi: 20 yıl

Yıllık artış oranı (r): %5

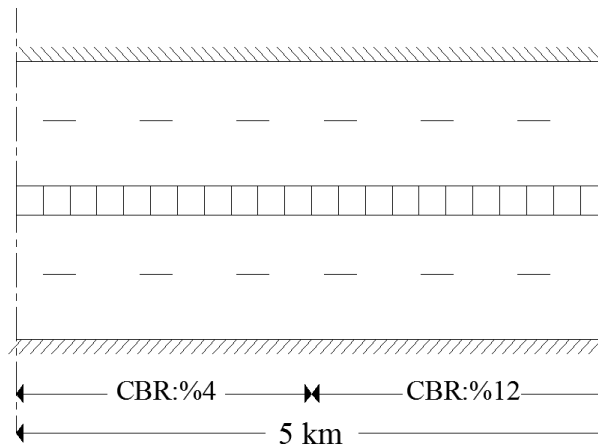
Yolun trafiğe açılacağı ilk Yıllık Ortalama Günlük Trafik (T_i): 14250

Treyler: $T_i \times \%5$

Kamyon: $T_i \times \%15$

Otobüs: $T_i \times \%10$

Otomobil: $T_i \times \%70$



Ek Şekil 3. Projelendirilecek yolun uzunluğu ve CBR değerleri

Toplam Standart Dingil ($W_{8,2t}$) Tekerrür Sayısının (Yıllık) Bulunması; 2015 yılında bu yolda yapılan trafik sayımlarından şu değerler alınmıştır.

Yolun trafiğe açılacağı ilk Yıllık Ortalama Günlük Trafik (T_i): 14250

Treyler: $T_i \times \%5 = 14250 \times 0,05 = 712,5 \cong 713$

Kamyon: $T_i \times \%15 = 14250 \times 0,15 = 2137,5 \cong 2138$

Otobüs: $T_i \times \%10 = 14250 \times 0,10 = 1425$

Otomobil: $T_i \times \%70 = 14250 \times 0,70 = 9975$

Yolun inşaat süresi 1 yıl süreceğinden, ilk trafik değerleri Formül E.4'e göre bulunmuştur.

$$t_i = t_0(1 + r)^t \quad (E.4)$$

Burada;

t_i : İlk yıllık ortalama günlük trafik değeri,

t_0 : Son yıllık ortalama günlük trafik değeri,

r: Yıllık artış oranı (%),

t: Zaman (Yıl),

olarak verilmiştir. 1 yıl sonraki yani İlk Trafik değerleri;

$$t_{i \text{ treyler}} = 713(1 + 0,05)^1 = 748,65 \cong 749$$

$$t_{i \text{ kamyon}} = 2138(1 + 0,05)^1 = 2244,90 \cong 2245$$

$$t_{i \text{ otobüs}} = 1425(1 + 0,05)^1 = 1496,25 \cong 1496$$

$$t_{i \text{ otomobil}} = 9975(1 + 0,05)^1 = 10473,75 \cong 10474$$

olarak bulunmuştur. Yolun hizmet süresi 20 yıl olduğundan, 20 yıl sonraki nihai trafik değerleri;

$$t_{s \text{ treyler}} = 749(1 + 0,05)^{20} = 1987,32 \cong 1987$$

$$t_{s \text{ kamyon}} = 2245(1 + 0,05)^{20} = 5956,65 \cong 5957$$

$$t_{s \text{ otobüs}} = 1496(1 + 0,05)^{20} = 3969,33 \cong 3969$$

$$t_{s \text{ otomobil}} = 10474(1 + 0,05)^{20} = 27790,64 \cong 27791$$

olarak bulunmuştur.

Ortalama Günlük Proje Trafiki, aşağıda verilen Formül E.5'de istenilen veriler yerine konularak hesaplanmıştır.

$$t_p = 0,4343 \frac{t_s - t_i}{\log(t_s/t_i)} \quad (\text{E. 5})$$

$$t_p^{\text{treylar}} = 0,4343 \frac{(1987 - 749)}{\log(1987/749)} = 1268,92 \cong 1269$$

$$t_p^{\text{kamyon}} = 0,4343 \frac{(5957 - 2245)}{\log(5957/2245)} = 3803,87 \cong 3804$$

$$t_p^{\text{otobüs}} = 0,4343 \frac{(3969 - 1496)}{\log(3969/1496)} = 2534,57 \cong 2535$$

$$t_p^{\text{otomobil}} = 0,4343 \frac{(27791 - 10474)}{\log(27791/10474)} = 17746,39 \cong 17746$$

Taşıt Eşdeğerlilik Faktörleri (TEF)'nin tespiti;

Ticari Taşıt = Treyler + Kamyon + Otobüs

Ticari Taşıt/Gün = 1269 + 3804 + 2535 = 7608,

olarak bulunmuştur. Taşıt eşdeğerlilik faktörleri (TEF) Ek Tablo 4'den Ticari Taşıt/Gün = 7608 > 3000 olduğundan aşağıdaki değerler alınmıştır.

Treyler için; 8,50 standart dingil/araç,

Kamyon için; 4,72 standart dingil/araç,

Otobüs için; 2,86 standart dingil/araç,

Otomobil için; 0,0006 standart dingil/araç,

Ek Tablo 4. Taşıt eşdeğerlilik faktörleri (KGM – 1995) [75].

Araç	Ticari Taşıt / Gün			
	0-500	500-1500	1500-3000	>3000
Kamyon	3,75	4,21	4,53	4,72
Treyler	4,27	6,03	7,49	8,50
Otobüs	2,06	2,43	2,69	2,86
Otomobil	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006

Hesap şeridindeki günlük 8,2 ton standart dingil yükü tekerrür sayıları (W_g) Formül E.6'ya göre hesaplanmıştır.

$$W_g = \frac{T_p}{i} \times (\text{TEF}) \times \eta \quad (\text{E. 6})$$

$$W_g^{\text{treyleler}} = \frac{1269}{2} \times 8,50 \times 0,90 = 4853,9 \cong 4854$$

$$W_g^{\text{kamyon}} = \frac{3804}{2} \times 4,72 \times 0,90 = 8079,7 \cong 8080$$

$$W_g^{\text{otobüs}} = \frac{2535}{2} \times 2,86 \times 0,90 = 3262,5 \cong 3263$$

$$W_g^{\text{treyleler}} = \frac{17746}{2} \times 0,0006 \times 0,90 = 4,79 \cong 5$$

Günlük toplam $W_g = 4854 + 8080 + 3263 + 5 = 16202$ standart dingil/gün olarak bulunmuştur.

Toplam standart dingil (8,2 ton) tekerrür sayısı (yıllık) aşağıda verilen Formül E.7'ye göre hesaplanmıştır.

$$W_{8,2t} = W_g \times 365 \times t \quad (\text{E. 7})$$

$$W_{8,2t} = 16202 \times 365 \times 20 = 118.274.600, \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Beton kaplama kalınlığının belirlenmesi;

$$W_{8,2t} = 118.274.600, \text{ CBR} = 4 \text{ ve } \text{CBR} = 12 \text{ alınarak Ek Şekil 2'den,}$$

$$\text{CBR}=4 \text{ için } k = 3,2 \text{ kg/cm}^3 = 0,76 \text{ MPa (110 psi),}$$

$$\text{CBR}=12 \text{ için } k = 5,5 \text{ kg/cm}^3 = 1,38 \text{ MPa (200 psi), olarak bulunmuştur.}$$

$$E_c = 31800 \text{ MPa (} 5 \times 10^6 \text{ psi),}$$

$$S'_c = 4,29 \text{ MPa (622 psi),}$$

$J=3,6$, $C_d=1,0$, $R= 0,95$, $S_0= 0,35$ ve $\Delta\text{PSI}= 4,5-2,5 = 2,0$ olarak alınmış olup Ek Şekil 1'den; $\text{CBR}=4$ için $D=36$ cm (14 inç), $\text{CBR}=12$ için $D=33$ cm (13 inç) olarak bulunmuştur.

ÖZGEÇMİŞ

Emrah SÜME, 1988 yılında Rize’de doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise tahsilini Rize’de tamamladıktan sonra 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2011 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2013 yılı Mayıs ayında vatani görevini yerine getirdikten sonra aynı yıl Ağustos ayında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü, İstanbul Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Müdürlüğü’nde çalışmaya başladı. 2013 yılı Eylül ayında evlendi. Halen aynı kurumda çalışmaya devam etmektedir.