

**ÖĞÜTÜLMÜŞ ATIK PETLERLE ÜRETİLEN
BETONUN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Yousef MOHAMMADIAHMADABAD

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı
Prof. Dr. Rüstem GÜL
2014
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÖĞÜTÜLMÜŞ ATIK PETLERLE ÜRETİLEN BETONUN
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Yousef MOHAMMADIAHMADABAD

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Yapı Bilim Dalı**

**ERZURUM
2014**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ÖĞÜTÜLMÜŞ ATIK PETLERLE ÜRETİLEN BETONUN ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Prof. Dr. Rüstem GÜL danışmanlığında, Yousef MOHAMMADIAHMADABAD tarafından hazırlanan bu çalışma 2014/08/20 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3./3.)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Rüstem GÜL

İmza

Üye : Prof. Dr. İbrahim ÖRÜNG

İmza

Üye : Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

İmza

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 21.08.2014 tarih ve 33/1056 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖĞÜTÜLMÜŞ ATIK PETLERLE ÜRETİLEN BETONUN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Yousef MOHAMMADIAHMADABAD

Atatürk Üniversitesi
Fen bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rüstem GÜL

Katı atıkların yönetimi, dünyada olduğu gibi ülkemizde de en önemli çevresel sorunlardan biridir. Atık PET malzemeleri de bu katı atıklar arasında yer almaktadır. Her yıl giderek artan bir şekilde atık PET malzemeler, insan sağlığı, çevre kirliliği ve estetik gibi problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle atık PET malzemelerin yönetimi önem arz etmektedir. Atık PET malzemelerin yönetimi hakkında günümüze kadar çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmanın amacı, atık PET malzemelerin beton içerisinde agrega olarak kullanma, böylece hem bu atıkların yönetimine katkıda bulunmak hem de betonun karakteristiklerine etkilerini araştırmaktır.

Bu çalışmada, beton içerisine agrega hacminin, %0, %1, %1.5, %2, %3 ve %5 oralarında atık PET malzemeler agrega ile yer değiştirilmiş ve elde edilen betonların birim ağırlık, işlenebilirlik, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases hızı ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, beton içerisindeki atık PET agrega miktarı arttıkça birim ağırlık ve ultra ses hızı ölçüm değerlerinde bir azalma gözlenmiştir. Basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri ise beton içerisindeki atık PET içeriğine göre değişik oranlarda azalma göstermektedir.

2014, 71 sayfa

Anahtar Kelimeler: Beton, PET malzemeleri, atık plastik agrega, betonun karakteristik özellikleri.

ABSTRACT

Master Thesis

USE OF WASTE PET BOTTLES IN NORMAL CONCRETE PRODUCTION AND ITS EFFECTS ON CONCRETE PROPERTIES

Yousef MOHAMMADIAHMADABAD

Atatürk University
Graduate School of Engineering Faculty
Department of Civil Engineering
Structure Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Rüstem GÜL

The management of solid wastes is one of the most important issue both in world and our country. Waste PET bottles are one of these solid wastes. These waste PET bottles that are gradually increasing, cause a huge environmental, human health and aesthetic problems. For this reason, the management of waste PET bottles is very important. There are various studies about management of waste PET bottles. Aim of this study is to use of waste PET bottles in concrete as aggregate, hence, it contributes to management of waste PET bottles and investigates the effects of waste PET bottles on characteristics of concrete.

In this study, normal aggregate was replaced with waste PET bottles 0%, 1%, 1.5%, 2%, 3% and 5% of the total aggregate volume in the concrete and tested density, workability, compressive strength, flexural strength and pulse velocity measuring of concrete.

After the experimental results, it is seen that density and pulse velocity values of concrete decrease while the plastic aggregate content in concrete increases. However, the compressive strength and flexural strength of concrete with plastic aggregate presented a difference according to content of plastic aggregates.

2014, 71 pages

Keywords: Concrete, PET bottles, waste plastic aggregate, characteristic properties of concrete.

TESEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Sayın Prof. Dr. Rüstem GÜL, çok değerli arkadaşım İnşaat Mühendisi Sayın Mahyar SHOAE'ye ve laboratuvarın sorumlusu Sayın İlhami Ayhan'a ayrıca manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili anneme ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Yousef MOHAMMADIAHMADABAD

Haziran, 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TESEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1. Atık PET malzemelerin Beton Üretiminde Kullanılması.....	5
2.1.1. Atık PET malzemelerin normal beton üretiminde agrega olarak kullanılması ..	5
2.1.2. Atık PET malzemelerin lifli beton üretiminde kullanılması.....	8
2.1.3. Atık PET malzemelerin polimer betonunda kullanılması.....	8
2.1.4. Atık PET malzemelerin hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılması.....	9
2.1.5. Atık PET malzemelerin asfalt betonunda agrega olarak kullanılması.....	11
2.2. Beton tanımı.....	11
2.2.1. Beton çeşitleri.....	13
2.2.2. Betonun işlenebilme özelliği.....	14
2.2.2.a. Slump (çökme) deneyi.....	14
2.3. Beton Bileşenleri.....	15
2.3.1. Çimento.....	15
2.3.2. Agregalar.....	18
2.3.2.a. Tane şekli.....	17
2.3.2.b. Agrega tane boyutu.....	18
2.3.3. Atık plastikler.....	20
2.3.3.a. Polietilen tereftalat (PET).....	22
2.3.4. Su.....	23
2.4. Betonların Genel Özellikleri.....	24
2.4.1. Basınç dayanımı.....	24
2.4.2. Eğilme dayanımı.....	25

2.4.3. Ultrases hızı	25
3. MATERYAL ve METOD.....	27
3.1. Materyal.....	27
3.1.1. Çimento	27
3.1.2. Agregas	28
3.1.3. Öğütölmüş atık PET malzeme.....	28
3.1.4. Karışım ve kür suyu	30
3.1.5. Diğer malzemeler	30
3.1.6. Deneylerde kullanılan aletler.....	31
3.1.6.a. Elekler ve çökme hunisi	31
3.1.6.b. Betonyer	31
3.1.6.c. Kalıplar	32
3.1.6.d. Pres	32
3.1.6.e. Ultrases hızı ölçüm cihazı.....	33
3.1.6.f. Su kürü uygulamasında kullanılan aletler	34
3.2. Yöntem	35
3.2.1. Agregas deneylerinde uygulanan yöntemler.....	35
3.2.1.a. Tane dağılımı (Elek analizi)	36
3.2.1.b. Birim ağırlık	36
3.2.2. Beton karışım seçeneklerinin belirlenmesi.....	37
3.2.3. Üretilen beton serilerin kodlanması	38
3.2.4. Karışım Hesabı.....	38
3.2.5. Taze beton deneylerinde uygulanan yöntemler.....	40
3.2.6. Sertleşmiş beton deneyleri.....	42
3.2.6.a. Basınç dayanımı	42
3.2.6.b. Eğilme dayanımı.....	42
3.2.6.c. Ultrases hızı deneyi	43
3.2.6.d. Birim ağırlık deneyi.....	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	45
4.1. Agregas Deneyleri ile İlgili Bulgular ve Tartışma.....	45
4.1.1. Elek analizi	45
4.1.2. Birim ağırlık	47

4.2. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	48
4.2.1. Birim ağırlık	48
4.2.2. İşlenebilirlik.....	49
4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Belirlenmesi	51
4.3.1. Basınç dayanımı	51
4.3.2. Eğilme dayanımı.....	57
4.3.3. Birim ağırlık	62
4.3.4. Ultrasonik ses hızı deneyleri	63
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

- BD : Basınç dayanımı
BHA : Birim hacim ağırlık
 D_{max} : Karışımda kullanılan maksimum agrega tane çapı
PET : Polietilen tereftalat
S/Ç : Su/Çimento oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Slump (çökme) deneyi.....	15
Şekil 2.2. Agrega en büyük tane boyutu (D_{maks}) 8 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri.....	19
Şekil 2.3. Agrega en büyük tane boyutu (D_{max}) 16 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri.....	20
Şekil 2.4. PET'in tekrarlanan birimi.....	22
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan PET kırıkları	29
Şekil 3.2. Elekler ve çökme hunisi	31
Şekil 3.3. Betonyer.....	32
Şekil 3.4. Kalıplar	32
Şekil 3.5. Beton pres aleti	33
Şekil 3.6. Ultrases hızı ölçüm cihazı.....	34
Şekil 3.7. Su kürü havuzu	34
Şekil 3.8. Çeyrekleme metodu	35
Şekil 3.9. Çökme hunisinin şematik şekli ve ölçüleri.....	40
Şekil 4.1. Taze betonun birim hacim ağırlığının atık PET miktarı ile değişimi	48
Şekil 4.2. Taze betonun çökme değerinin atık PET içeriği ile değişimi.....	50
Şekil 4.3. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı değişimleri	52
Şekil 4.4. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 11 günlük basınç dayanımı değişimleri	53
Şekil 4.5. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değişimleri	54
Şekil 4.6. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 56 günlük basınç dayanımı değişimleri	55
Şekil 4.7. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 90 günlük basınç dayanımı değişimleri	56
Şekil 4.8. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 7günlük eğilme dayanımı değişimleri	57

Şekil 4.9. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 11 günlük eğilme dayanımı değişimleri	59
Şekil 4.10. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımı değişimleri	60
Şekil 4.11. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 56 günlük eğilme dayanımı değişimleri	61
Şekil 4.12. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 90 günlük eğilme dayanımı değişimleri	62
Şekil 4.13. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük birim ağırlık değişimleri	63
Şekil 4.14. Atık PET ilaveli betonların ultrases geçiş hızı değişimleri	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Çimento hammaddelerinin sınıflandırılması	17
Çizelge 2.2. Ultrasonik test yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi	26
Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi	27
Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	28
Çizelge 3.3. PET'in fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	30
Çizelge 3.4. Beton karışım oranları (1 m ³)	39
Çizelge 4.1. İri agrega ve ince agrega için elek analizi deneyi sonuçları	46
Çizelge 4.2. Karışımda kullanılan agreganın tane dağılımları.....	46
Çizelge 4.3. Gevşek birim ağırlık deneyi sonuçları.....	47
Çizelge 4.4. Sıkışık birim ağırlık deneyi sonuçları.....	47
Çizelge 4.5. Taze betonda birim ağırlık değerleri.....	48
Çizelge 4.6. Taze betonda çökme miktarı değerleri	49
Çizelge 4.7. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı değerleri	51
Çizelge 4.8. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 11 günlük basınç dayanımı değerleri	53
Çizelge 4.9. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri	54
Çizelge 4.10. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 56 günlük basınç dayanımı değerleri	55
Çizelge 4.11. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 90 günlük basınç dayanımı değerleri	56
Çizelge 4.12. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 7 günlük eğilme dayanımı değerleri	57
Çizelge 4.13. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 11 günlük eğilme dayanımı değerleri	58
Çizelge 4.14. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımı değerleri	59

Çizelge 4.15. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 56 günlük eğilme dayanımı değerleri	60
Çizelge 4.16. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 90 günlük eğilme dayanımı değerleri	61
Çizelge 4.17. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük birim ağırlık değerleri	62
Çizelge 4.18. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin ultrases hızı geçiş süreleri	64

1. GİRİŞ

Tüm dünyada olduğu gibi türkiyede de çevre kirliliğine neden olan atık PET malzemeler çevrede problemlere sebep olabilmektedir. İnsanların günlük hayatlarında kullandıkları malzemelerin çoğu plastikten oluşmaktadır. Kullanım alanı çok geniş olduğundan dolayı, plastik malzeme, yaygın olarak insanlar tarafından kullanılan bir malzemedir. Plastik çok kullanılmasının nedeni çok ucuz ve kolay elde edilebilmesinden kaynaklanır.

Günlük hayatta kullandığımız pek çok malzeme (araç lastikleri, poşetler, ambalaj malzemeleri, ev aletleri, PET malzemeler, vb.) plastikten üretilmektedir. Bu plastik malzemelerin işlevleri tamamlandıktan sonra atılmaktadırlar. PET malzemeleri bu atıklar içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Atık PET malzemeler uzun sürede ayrışamaması sebebiyle çevre kirliliği ve insan sağlığı açısından önemli sorunlar meydana getirmektedir. Bunu önlemek amacıyla bu malzemelerin tekrar ekonomiye dönmesi ve yeni kullanım alanlarında katkı malzemesi olarak değerlendirilmesi araştırılmaktadır.

Türkiyede ilk kez PET malzemeler üretimi, 1980'li yıllarında başlamıştır. Su şişeleme sürecinde kullanılmaya başlanan PET malzemeler çok kısa süre içinde sıvı gıda maddelerinin ambalajlanmasında yaygınlaşmıştır. PET malzemeler çoğunlukla su, içecek ve yağ malzemelerinin ambalajlanmasında kullanılmaktadır. Üretimini ucuz olması, istenen şekilde üretilebilmesi, hafif ve dayanıklı olmalarından dolayı kullanım alanı giderek genişleyen PET malzemeler Avrupa ve ABD'de soda ve bira ambalajı olarak da kullanılmaktadır (Pagev 2008).

Suyu şişelemede kullanılan ve ham petrolden üretilen PET malzemesi için, sadece ABD'de yılda yaklaşık 1.5 milyon ham petrol harcanmaktadır ve bu miktar yüz bin otomobilin bir senelik yakıt masrafına eşittir. Tüm dünyada PET malzemeler üretimi için kullanılan plastik yaklaşık 2.7 milyon tona varmaktadır (Gavela *et al.* 2004).

PET malzemelerin doğada tamamen yok olması için bin yıldan fazla bir süre gerekmektedir. Bu nedenle, çöp alanlarında toplanan plastik atıkları ve buna bağlı olan çevresel kirliliği azaltabilmek için uygulanabilecek akılcı yöntemlerden biri, bu malzemeleri diğer endüstrilerde kullanmaktır. Genel olarak atık malzemelerin yeniden kullanımındaki en önemli alan, malzemelerin büyük bir kısmının geri dönüşümde değerlendirilebildiği inşaat uygulamalarıdır.

Atık PET malzemelerin eritilmesi ve tekrardan işlenmesinin, maliyeti oldukça yüksektir. Fakat, bunların parçalanması ve agregaya olarak kullanılması, diğer geri dönüşüm yöntemlerinde kullanılan temizleme ve renk içeriğinin değiştirilmesi gibi uygulamalara göre oldukça avantajlıdır. Beton üretimi için doğal agregaya ihtiyacı fazladır. Bundan dolayı, PET atıkların beton üretiminde agregaya olarak kullanılması, atıkların güvenli bir şekilde yok edilmesinin yanında doğal agregaya elde etmek için çevreye verilen zararların azaltılmasını da sağlayacaktır (Anonim 2014b).

Atık PET malzemeler son yıllarda hızla artan bir biçimde stoklanmakta ve buna bağlı olarak doğayı olumsuz bir şekilde etkilemektedirler. Dünyada her 5 dakikada 2 milyon PET şişe üretilmekte, 30 saniyede 106 bin kutu içecek tüketilmekte ve her yıl 20 milyon ton plastik elde edilmektedir (Anonim 2014a).

Yıldan yıla sayısı artan atık PET malzemelerin doğada ayrışması, bin seneden fazla bir zaman içerisinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle önerilen betonda atık plastiklerden değişik oranlarda yararlanılmaktadır ve beton üzerinde, basınç ve eğilme deneyleri yapılmakta ve olumlu sonuçlar elde edilmektedir (Raghate 2012).

Bilindiği gibi atık PET malzemeler, bu artışa bağlı olarak çevrede birikmektedir. Bu plastiklerin kimyasal yapısı, çevre sağlığı için tehditler oluşturmaktadır. Bu nedenle, sorunun çözümü için yeni çözümler geliştirilmelidir.

Günümüzde teknolojiye gelişmeler, bir yandan toplumun hayat standardını yükseltirken diğer yandan nüfus artışı ve hızlı kentleşme ile birlikte hava, su ve toprak

kirliliği gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Ortaya çıkan bu çevresel sorunlar ve doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı, değerlendirilebilir atıkların özellikle de ambalaj atıklarının geri kazanımını zorunlu kılmaktadır (Anonim 2014a).

Genellikle ambalaj atıkları düşük yoğunluklu ve hacimli atıklar olduğundan depolama alanlarında ciddi yer kaplamaktadırlar. Özellikle ambalaj atıkları içerisinde yer alan plastik atıkların yeniden değerlendirilmesi, plastiklerin doğada bozunmadan uzun yıllar kalması ve oluşturdukları diğer çevresel sorunlardan ötürü gittikçe önem kazanan bir konudur. Plastik atıkların önemli miktarını, artan kullanımı ile dikkat çeken PET malzeme atıkları oluşturmaktadır. PET dahil atık plastikler çöp depolama alanlarında ağırlık olarak %7 ve hacim olarak %20'lik bir yer işgal etmektedirler. Bu nedenle söz konusu atıkların çöp depolama alanlarında depolanması yerine geri kazanılması, depolama alanlarına giden atık hacmini önemli derecede azaltmakta ve depolama sahalarının ömrünü uzatmaktadır (Raghate 2012).

Türkiye'de atık PET malzemelerin oluşturduğu sorunlar, ne yazık ki bilinmemekte veya önemsenmemektedir. Bu plastikler, Anadolu'nun birçok yöresinde vahşi depolama şeklinde gelişmiş güzel doğaya atılmaktadır. Bu atık PET malzemelerin yönetimi ülkemiz açısından önem taşımaktadır.

Beton dünya genelinde kullanılan en yaygın yapı malzemelerinden biridir. Betonun bu kadar yaygın olarak kullanılmasının sebebi, şekil verebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, ekonomik oluşu, kullanım ve üretimindeki pratikliğidir. Betonun arzu edilen başlıca özellikleri, düşük birim ağırlık, yüksek mukavemet, kırılma tokluğu ve çarpma dayanımı olarak sıralanabilir. Betonun bu sayılan özellikleri taşıyabilmesi için son yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Beton içerisine agrega olarak atık PET liflerinin çimento ile kısmen yer değiştirilerek kullanılması suretiyle elde edilen betonun mekanik özelliklerinin araştırılması bu yöntemlerden biridir. Bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır fakat yapı uygulamalarında kullanılmasının tavsiye edilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Taşdemir 2005).

Atık plastik ilaveli beton, geleneksel betona göre daha düşük birim ağırlık, daha yüksek tokluk ve enerji yutma kapasitesine sahiptir. Fakat plastik ilaveli betonun çekme ve basınç mukavemetleri geleneksel betona göre daha düşük çıkmaktadır (Choi *et al.* 2009; Albano *et al.* 2009).

Bu çalışmanın amacı, atık PET malzemelerin beton içerisinde kullanılabilirliğini araştırarak betonun istenen özelliklerini geliştirmek ve bunun yanında çevresel bir tehdit olan atık PET malzemelerin yönetimine katkıda bulunmaktır. Bu nedenle hacimce %0, %1, %1.5, %2, %3 ve %5 oranlarında agrega yerine betona ilave ederek betonun basınç, eğilme, birim ağırlık, ultrases hız gibi özellikleri deneysel olarak tespit edilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde atık PET malzemelerin beton üretiminde kullanımına ilişkin çalışmalar ele alınmaktadır.

2.1. Atık PET malzemelerin Beton Üretiminde Kullanılması

Günümüzde kaynak israfını ve çevre kirliliğini engellemek için çeşitli yollar aranmış ve plastik malzemeler değerlendirilmeye alınmıştır. Bu değerlendirmelerden biride inşaat firmaları tarafından yapılmaktadır.

Yeni bir yöntem olarak plastik parçaları beton içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılmıştır ve mikronize polistren parçalarını hafif beton katkısı olarak kullanılmış ve patent alınmıştır (Shulman 1996).

Çeşitli araştırmalar sonucunda beton üretiminde, geri dönüşümü olmayan PET malzemelerin kullanıldığı yerler beş başlık altında incelenmiştir:

- Atık PET malzemelerin normal beton üretiminde agrega olarak kullanılması
- Atık PET malzemelerin lifli beton üretiminde kullanılması
- Atık PET malzemelerin polimer betonunda kullanılması
- Atık PET malzemelerin hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılması
- Atık PET malzemelerin asfalt betonunda agrega olarak kullanılması

2.1.1. Atık PET malzemelerin normal beton üretiminde agrega olarak kullanılması

Silvaa et al. (2005); Çimento esaslı malzemelerdeki plastik PET liflerin durabilitesini araştırmak amacıyla lifle güçlendirilmiş harcın karıştırıldıktan sonra 164 gün sonunda basınç, çekme, eğilme dayanımları, elastisite modülleri ve tokluk değerleri elde

edilmiştir. Sonuçlara göre PET liflerin harç üzerinde çok önemli bir etkisi yoktur ancak tokluk özellikleri PET liflerinden dolayı artmaktadır.

Yazoghli et al. (2007); Günümüzde üretilen PET malzemelerin miktarı oldukça fazladır ve bunların çevrede ayrışması zor olduğundan, geri dönüşümleri için alternatif yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada; atık plastik malzemelerin inşaat sektöründe agrega olarak kullanılması uygulanmaktadır. Özellikle PET malzemeler agreganın bir kısmı olarak ya da agrega yerine betonda kullanılmaktadır. Betonda plastik malzemeler, agrega olarak çeşitli hacimlerde %2 ve %100 olarak kullanılmaktadır. Çalışmada çeşitli boyutlarda plastik agrega kullanılmaktadır. Üretilen kompozitlerin kütle yoğunluğu ve mekanik özellikleri değerlendirilmektedir. Sonuçlara göre atık PET malzemelerin agregayla %50 veya daha az kullanılmasıyla basınç dayanımını etkilemekte fakat eğilme dayanımını etkilememektedir. Bu çalışma, küçük parçacıklar haline gelen atık PET malzemelerin beton kompozitlerinde agrega olarak başarıyla kullanılabilceğini göstermektedir. Üstelik plastik üretimi ile ilgili katı atık sorunları çözmeye ve enerji tasarrufuna yardımcı olacaktır.

Ismail and Hashmi (2008); Irak'ta sanayi faaliyetlerden dolayı çevrede fazla miktarda ayrışmayan katı atıklar meydana gelmektedir. Atık plastikler uzun zaman toprakta kalırlar. Bu çalışmada beton üretiminde atık plastiklerin geri kullanılması etkisi için 254 numune üzerinde deney yapılmıştır. Atık plastikler agrega olarak %0, %10, %15 ve %20 oranlarında, 800 kg beton karışımında kullanılmıştır. Beton karışımların testleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Çalışma; çökme, birim ağırlık, kuru birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve tokluk testlerini içermektedir. Numunelere 3, 7, 14 ve 28 günlük kür süresi uygulanmaktadır. Bu çalışma plastik atıkların agrega yerine geri kullanılması, beton malzemesi olarak agreganın maliyetinin düşmesini ve plastikten kaynaklanan katı atık sorunların çözülmesi vurgulamaktadır.

Hannawi et al. (2010); Çevrede parçalanmayan polikarbonat ve PET'ten oluşan atık plastikleri ihtiva eden agregalar betonda kullanılmaktadır. Plastik agregalar değişik hacimlerde örneğin; %3, %10, %2 ve %50 doğal agregayla yer değiştirmektedir. Bu

çalışmanın asıl amacı atık PC ve PET agregaların betonda doğal agreganın bir kısmı olarak kullanılmasıdır. Basınç dayanımını düşürmesine rağmen atık PC ve PET agregaların farklı avantajları vardır. Betonda özgül ağırlığının düşmesi, eğilme davranışını da olumlu yönde etkilemektedir. Atık PC ve PET agregaların miktarı arttıkça betonun tokluğu artar, dolayısıyla betonun enerji yutma kapasitesi artmaktadır. Bu çalışmanın olumlu sonucu, atık plastiklerin geri dönüşümü ve betonda agrega olarak kullanılmasına yol açmaktadır.

Mariaenrica (2010); Betonda yer alan atık PET malzemeler, doğal agregayla %5 oranında yer değiştirilmiştir. Bu çalışmada plastik agregaların elek analizi sonuçları doğal agregayla aynı olup, numuneler iki farklı s/ç oranı ve iki farklı çimentodan elde edilmiştir. Numunelerin üzerinde yapılan testlerden atık PET agregasıyla üretilen numuneler ve referans betonun sonuçları karşılaştırılarak plastik agreganın doğal agregayla yer değiştirme etkisi belirlenmektedir. Taze betonun reolojik karakteristikleri ve mekanik özelliklerine göre atık PET malzemeleriyle üretilen 28 günlük ve 365 günlük numuneler referans numunelerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre işlenebilirlik özelliği aynı fakat basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı referans betona göre biraz daha düşüktür ve referans betona göre sünekliği biraz fazladır.

Nabajyoti and Jorge (2012); Son yıllarda tüm dünyada plastik tüketiminde önemli bir artış görülmektedir ve bu da atık plastiğin büyük oranda artışına yol açmıştır. Beton ve harç gibi yeni malzemeler üretmek yoluyla atık PET malzemelerin değerlendirilmesi mümkündür ve atık PET malzemelerin geri dönüşümü için ekonomik ve çevresel açıdan avantajlıdır. Bu nedenle çimento harcında değişik oranlarda agrega olarak kullanılan atık PET malzemeler için bazı çalışmalar yapılmıştır. Plastik agrega içeren betonun işlenebilirliğinde paralel olarak iki faktör vardır. Bu faktörler, plastik agreganın boyutu ve şeklidir. Kesintili agregalarda taze betonun çökmesi azalır ve küresel agregalarda ise çökme artar ve PET malzemelerin miktarı arttıkça basınç ve eğilme dayanımı düşer. Atık PET ile güçlendirilmiş betonun donma dayanıklılığı referans betona göre daha yüksektir fakat yangına dayanımı daha zayıftır.

Nabajyoti and Jorge (2013); Bu çalışmada değişik boyutlardaki atık PET agregayla üretilen betonların dayanımları elde edilmektedir. Sonuçlar atık PET agreganın eğilme, yarmada çekme ve basınç dayanımına etkisini analiz etmektedir. Değişik boyutlardaki PET agregayla üretilen betonun basınç dayanımı, büyük boyutlu agregaların aderansının zayıf olması nedeniyle azalmaktadır. Ayrıca betonun tokluk özelliğini olumlu yönde etkiler. Yarmada çekme ve eğilme mukavemetleride basınç dayanımıyla orantılı olarak azalmaktadır.

2.1.2. Atık PET malzemelerin lifli beton üretiminde kullanılması

Silva et al. (2005); Bu çalışmada kullanılan PET liflerin dayanıklılık özellikleri incelemiştir. Çalışmada lif olarak kullanılan atık PET malzeme, beton karışımında %0.4-0.8 oranlarında kullanılmıştır ve harçların basınç, çekme ve eğilme dayanımları üzerinde etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Liflerin harç içerisinde olduğundan dolayı, zamanla sertlikte azalma meydana gelmektedir. Elektron mikroskopuyla tarama sonuçlarına göre bazı bölgelerde liflerin tamamen bozulduğu gözlenmiştir.

2.1.3. Atık PET malzemelerin polimer betonunda kullanılması

Rebeiz and Fowler (1991); Bu çalışmada atık PET malzeme ile doymamış polyester reçineli ve çelik takviyeli polimer betonun eğilme dayanımı için çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlara göre, atık PET malzeme ile üretilen polimer betonunun eğilme dayanımı oldukça iyi yönde etkilenmektedir.

Azim (1996); Bu çalışmada atık PET malzeme ile elde edilen polimer betonu numuneleri üretilmiştir. Polyesterdeki, estiren monomeri içinde eritilmiş ve numunelerin davranışları incelenmiştir. Sonuçlara göre reçinelerden yapılan polimer betonlarının basınç dayanımları iyi yönde etkilemiştir. Araştırmacılara göre, atık PET malzemelerle reçine yapımında yararlanılmakta, reçine elde etme maliyetini düşürmek ve çevresel problemleri azaltmak açısından önem taşımaktadır.

Tawfik and Eskander (2006); Bu makalede, atık PET malzemelerden ve atık mermerden üretilen polimer betonunun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin olumlu olduğu görülmüştür. Sonuçlara göre üretilen kompozit malzemenin kimyasal özellikleri ve donma-çözölmeye karşı dayanıklılığı oldukça yüksektir. Atık PET malzemelerin polyester beton yapımında kullanılmasıyla elde edilen polimer betonun kullanılmasıyla, ekonomik ve ekolojik bakımdan avantajlar sağlanabilir.

2.1.4. Atık PET malzemelerin hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılması

Choi et al. (2009); Çalışmada atık PET agregayla elde edilen hafif betonun gelişme süreci hakkında bilgi edinilmiştir. Bu çalışma üç bölümden oluşmuştur ve bu bölümler tek tek incelenmiştir. Hafif PET agreganın ve harcın özellikleri incelenmiş bu ikisinin birbirine karıştığı andaki özelliklerine dikkat edilmiş ve analizler yapılmıştır. Birinci bölüme göre atık hafif plastik agreganın yoğunluğu 1390 kg/cm^3 , su emmesi %0, kütle yoğunluklu 844 kg/m^3 ve incelik modülü de 4.11'dir. İkinci bölümde ise harca katılan atık PET miktarı ile çökme değeri doğru orantılı olarak artmakta, basınç dayanımı azalmakta ve suyu absorbe etme miktarı da artmaktadır. Üçüncü bölümde betonun 28 günlük basınç dayanımı PET agreganın miktarına göre farklılık arz ettiği görülmüştür.

İnşaatta önemli malzemelerden olan beton yapımı için çok çeşitli mineral agregaya ihtiyaç duyulmaktadır. doğal agregadan tasarruf etmek ve atık plastiklerin ekonomik olarak geri dönüşümü, ancak atık plastiklerin beton yapımında kullanılmasıyla da mümkündür.

Koide et al. (2002); Bu çalışmada hafif beton agregası olarak genellikle atık PET malzemelerden oluşan geri kazanılmış atık plastikler kullanılmışlardır. Çalışmada plastik agreganın içeriğinde PET oranı %85 lere kadar çıkmaktadır. Plastik agregalar PET'in sıkıştırılıp kırılmasıyla elde edilir. Ekonomiklik sağlanması bakımından agregalar yıkanmadan kullanılmıştır. Analizlerde doğal ince agrega ve normal Portland çimentosu kullanılmıştır. kullanılan plastik agregaların tane boyutu 10 mm, S/Ç oranı 0.35 ve elde edilen betonların 28 günlük basınç dayanımları 20 Mpa civarındadır. Atık

PET agregayla elde edilen betonun ağırlığı oldukça azalmıştır ve PET agreganın hiç su emmediği için, agregada içindeki nem kolaylıkla kontrol edilebilmektedir.

Gavela et al. (2004); Geleneksel agregaların bir kısmı, atık PET ve polipropilen (PP) malzemeleri ile yer değiştirmiştir ve alternatif yer değişim oranları incelenmiştir. Bu deneylerde Süper akışkanlaştırıcı kullanarak, S/Ç oranları 0.50 ve 0.60 alınmıştır. Bu çalışmada atık PET agregaların özgül ağırlık testi, su emme ve elek analizi yapılmıştır. Yapılan numunelerde atık PET %20 ve %30 oranlarda doğal agregayla yer değiştirmekte ve numune boyutları 100 x100x500 mm alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla 35.1 ve 23.5 MPa ve eğilme dayanımları ise 5.03 ve 2.89 MPa'dır. Sonuçlara göre atık PET agreganın eklenmesiyle 28 günlük basınç ve çekme dayanımlarındaki azalma, çimento hamuru ve plastik agregada arasındaki bağın güçsüz olmasından ve plastik agregada dayanım değerinin az olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yöntemle elde edilen betonun düşük elastisite modülü gereken uygulamalarda avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. PET ve PP'in, çok sıcak şartlar altındaki davranışları incelenerek, yapısal uygulamalarda beton agregası olarak kullanılabilmesi kararı verilmiştir.

Shehata et al. (1996); Bu çalışmada plastik ve cam atıklarını ince agregada yerine %5-20 oranlarında yer değiştirerek betonda kullanmışlardır. Numunelerde kullanılan plastik atıklar, PET malzemelerden oluşmaktadır. Numuneler üzerinde basınç, eğilme ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. Numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımlarının iyi olduğu görülmektedir. Sonuçlara göre, cam agreganın, plastik agregalara oranla çimento hamuruna daha iyi yapıştıkları görülmüştür. Atık plastik ve cam kırıklarının, çimentolu bileşenlerde kumla kısmi olarak yer değiştirilerek kullanılmasının mümkün olduğu belirtilmiştir.

2.1.5. Atık PET malzemelerin asfalt betonunda agrega olarak kullanılması

Hassani et al. (2005); Bu çalışmanın amacı, atık PET atıkların çevreye verdiği zararları azaltmak ve doğal agregadan yararlanmaktır. Dolayısıyla atık PET malzemelerin, asfalt betonunda agrega olarak kullanılabilmesi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan PET agregaların boyutları 2.36-4.75 mm aralığında ve atık PET agrega doğal agregayla hacim olarak %20-60 oranında yer değiştirmiş. Karışımlarda kullanılan bitüm oranı %6.6'dır . Sonuçlara göre, PET'in agrega hacmi olarak kullanıldığı karışımın (plastiphalt) akıcılık değerinin refrens betona göre daha düşüktür. Bu özelliklerdeki asfalt karışımının pratik uygulamalar için uygun olduğu belirtilmektedir.

Zoorob and Suparma (2000); Bu çalışmada, atık PET agrega içeren asfalt beton karışımı araştırılmıştır. Asfalt betonunda kullanılan atık PET parçalar, eşit boyuttaki doğal agregayla belli bir oranda yer değiştirilmiş ve yoğun kıvamdaki bitümlü karışım içine eklenmiştir. Sonuçlara göre, aynı hava boşluğu içeren numunelerde, sıkıştırılmış plastiphalt karışımının geleneksel kontrol karışımından daha düşük hacim yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir. Atık PET agreganın %30 oranında normal agregayla yer değiştirdiği karışımın hacmi, sıkıştırılmış karışım yoğunluğunun %16'sıdır. Yoğunluktaki bu azalma, nakliye aşamasında avantajlıdır.

2.2. Beton Tanımı

Beton, çimento, su ve agreganın karıştırılmasıyla elde edilen ve zaman zaman çeşitli katkı maddelerini ihtiva eden, içinde bulunduğu kalıbın şeklinin kısa sürede alabilen bir malzemedir (Eriç 2002).

Günümüzde irili ufaklı bir çok alanda beton yaygın olarak kullanılır. Beton malzemeleri birbiriyle karıştırıldığında istenilen kaba dökülür, istenilen şekil verilir ve beton bir süre plastik özelliğini korur ve yapısı sertleşir. Sertleşen beton yanmaz, kolay korozyona uğramaz kısacası çevrede oluşabilecek yıpratıcı etkenlere karşı daha büyük dayanıklılığı fazladır. Olumsuz çevre şartlarından korunmak için diğer malzemelerde çeşitli yollar

aranmış ve boyama ve benzeri uygulamalara gidilmiştir. Fakat sertleşmiş betonun bakım masrafı yok denecek kadar azdır. Belirli bir maliyetle enerji harcanarak üretilen çimentonun dışındaki beton hacminin %75'ini de agrega oluşturmaktadır. Temin edilmeleri kolay olan bu agregalar beton üretiminde hem daha ekonomik hem de daha kolay olabilmektedir. Betonun dayanıklılığını gelecekte de koruyabileceği düşünülmektedir. Bu özelliklerinden dolayı beton, inşaat malzemesi olarak yaygın bir şekilde tercih edilir (Akman 1987).

Betonun geçmişten günümüze kadar gelişimini inceleyerek gelecekteki betonun yeri hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Geçmişte kullanım amacı neydi, bugünkü kullanım amacının ne olduğu araştırılıp, gelecekteki betonun yeri hakkında bilgi edinebiliriz.

Normal ağırlıklı beton yapımında yoğun bir şekilde kum, çakıl ve kırma taş en çok kullanılan agregalar arasındadır. TS'ye göre, 4 mm göz açıklıklı kare delikli elekten elendiğinde, geçebilen boyutlardaki agregaya, ince agrega ve bu elek üzerinde kalan agregaya, iri agrega denilir (Eriç 2002).

Çimentonun bağlayıcı özelliği vardır. Bu özelliği su ile karıştırıldığında başlar. Çimentoyla suyun oluşturduğu kıvamlı karışıma çimento hamuru denilir (Ersoy 2001).

Agrega tanelerinin yüzeylerini kaplamak, taneler arasındaki boşlukları doldurmak, bağlayıcılık sağlayarak agrega tanelerinin bir arada tutunmasını sağlamak çimento hamurunun görevleridir. Bu nedenle beton, agregalardan ve çimento hamurundan oluşan kompozit bir malzemedir (Ersoy 2001).

Harç; çimento, su ve ince agreganın karışımıdır. Harçta iri agreganın ihtivası söz konusu değildir. Betonun tazeliği, plastikliğini koruyup korumamasına bağlıdır. Betonda plastiklik korunmuşsa taze beton denir. Beton katılaştıktan sonra sertleşmiş beton adını alır. Taze beton kolayca taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir, kırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır. Ayrıca bu işlemler devam ederken çimento ile iri agrega arasında arışım gerçekleşmemelidir (Neville 1975).

Taze beton içerisindeki suyun yüzeye çıkma eğilimi az olmalıdır. Betonun homojen yapısı kaybolmamalıdır. Ayrıca malzemelerin karılmasından hemen sonra plastik özelliğe sahip bir betonda, plastikliğin kaybolmasına kadar geçen sürenin uzunluğu (priz süresi) gerekenden daha uzun veya kısa seyretmemelidir.

Betonda dikkat edilecek hususlar şunlardır; Basınç dayanımı, çekme dayanımı, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı, eğilme dayanımı, elastiklik modülü, poisson oranı, ısıl genleşme katsayısı, rötre (büzülme) sabit yükler altında sünme ve yoğunluktur (Ersoy 2001).

Beton karışımının oluşturulmasında kullanılan çimentonun, agreganın, suyun ve katkı maddelerinin özellikleri ve kullanılan oranları taze beton ve sertleşmiş beton karışımının oluşmasına etki eder (Erdoğan 2003).

Oluşturulan serleşmiş taze betona uygulanan işlemlerde etki eder. Betona uygun yöntemler uygulanmalı, taşımaya dikkat edilmeli, yerine yerleştirirken çarpma vurma gibi darbelere dikkat edilmeli, yüzeyinin düzleştirilmesi, hidrasyonun olumlu seyredebilmesi için kür edilmesi (bakımı) gerekmektedir (Akman 1976).

2.2.1. Beton çeşitleri

TS EN 206-1'e göre beton 3 sınıfa ayrılmaktadır:

Normal beton: Beton etüv kurusu yoğunluğu 2000 kg/m^3 den büyük olan ve 2600 kg/m^3 geçmeyen betondur.

Hafif beton: Beton etüv kurusu yoğunluğu 800 kg/m^3 veya daha büyük olan ve 2000 kg/m^3 'ü geçmeyen betondur.

Ağır beton: Beton etüv kurusu yoğunluğu 2600 kg/m^3 ten daha büyük olan betondur.

2.2.2. Betonun işlenebilme özelliği

İşlenebilirlik, elde edilen taze betonun homojen yapısını yitirmeden karıştırılabilmesi, taşınması, pompalanabilirliği, kalıba yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve perdahlanması özellikleridir. İşlenebilirlik kabiliyeti döküm boyunca devam etmesi gerekir. İşlenebilir betonu boşluksuz yerleştirilmesi için da vibratör kullanılmalıdır. Kıvam ise işlenebilirliğin ölçüsüdür (TS 11222).

İşlenebilmeyi etkileyen faktörler:

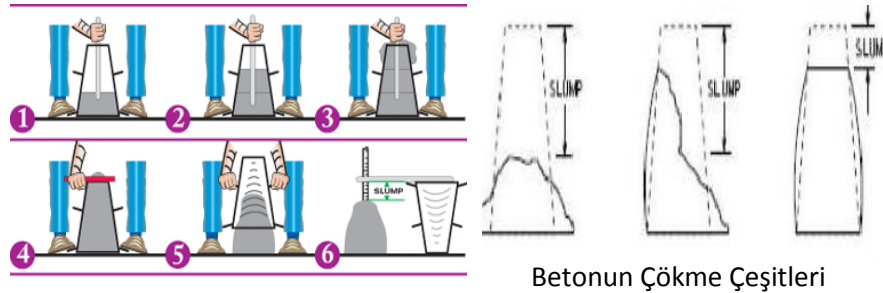
- Karışımdaki çimento miktarı ve özelliği
- Betonun su içeriği
- Agregatane dağılımı ve en büyük agregatane boyutu
- İnce agreganın miktarı ve tane dağılımı oranı
- Betonun sıcaklığı
- Beton üretiminde kullanılan mineral katkı maddeleri
- Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkıları
- Betonlardaki sürüklenen hava miktarı
- Agregatane boyutu

2.2.2.a. Slump (çökme) deneyi

Betonun kıvamın ölçülmesinde ve agregatane neminde meydana gelebilecek artışların belirlenmesinde çökme deneyi yapılır. Taze beton standart olarak tepesi kesik koni şeklindeki metal bir kalıp içine üç çeşit katman halinde ve her katmanı 25 kez özel bir çubuk yardımıyla şişlenerek doldurulur. Taze betonun ilk yüksekliği ile kalıbı kaldırdıktan sonraki yüksekliği arasındaki fark dikkate alınmıştır. Bu fark çökme değeri olarak ifade edilir ve birimi mm'dir.

Çökme deneyi yapılırken, düz bir zemin üzerine slump hunisi yerleştirilir. Bu huniyi tamamen doldururuz ve huniden taşınan kısım mala ile düzeltilir. Yavaş bir şekilde huni

yukarı doğru kaldırılır ve taze betonda kendi ağırlığı sebebiyle çökme meydana gelir.. Çubuğu huninin üzerine konur ve çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçülür. Bu uzunluk, taze betonun çökme (slump) değeri olarak adlandırılır. Çökme 5-10 mm olsa işlenebilirliği çok az, 15-30 mm az, 35-75 mm orta ve 80-155 mm çok sayılır (TS 206).



Betonun Çökme Çeşitleri

Şekil 2.1. Slump (çökme) deneyi

2.3. Beton Bileşenleri

Beton, çimento, su, agrega ve ihtiyaca göre katkı maddeleri eklenerek elde edilen bir malzeme olup, betonu oluşturan bu bileşenler aşağıda alt başlıklar halinde sıralanıp anlatılmıştır.

2.3.1. Çimento

Çimento esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır.

Bunlar jeolojide sedimenter kayalar olarak bilinirler. Kireçtaşları yaygın olarak sedimenter kayac şeklinde oluşur ve büyük boyutlarda oluştururlar. Kirec daha ziyade kalker veya marn gibi kalsiyum karbonat içeren kayalardan ortama girer. Silis için ise başlıca kaynak kildir. Bunları alumin ve demir oksit takip eder. Daha az miktarlarda magnezyum ve alkali oksitler gibi diğer maddeler de bulunur. Bunlar da kirec taşı-kil oranına göre kirec li marn, killi marn ya da marn adını alırlar. Bu kirec taşları içerdikleri CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 miktarlarıyla doğal imento olarak kullanılmaktadırlar (Erdoğan 2003).

“CEM imentosu” adlandırılan imento: Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelmekte ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO_2 toplamının kütlece en az %50 olması gereken çimentodur. Bileşimi Portland imentosu klinkeri, kalsiyum sülfat ve cęeřitli mineral katkılarıdır (TS EN 197-1).

CEM imentoları 5 ana tip altında toplanmıştır (TS EN 197-1).

Portland imentosu: Bu imentoda klinker, kalsiyum sülfat ve minör bileşen olarakda ağırlıkça en fazla %0-5 arası mineral katkı maddesi ile öğütülmesi sonucunda Portland imentosu elde edilir.

Portland-kompoze imentosu: Bu imentoda mineral katkı maddesi miktarı %6-35 arasındadır. Katkı türüne bağlı olarak bu gruptaki imentolar Portland Cüruflu, Portland Puzolanlı gibi isimler de almaktadır.

Portland Yüksek Fırın Cüruflu imentosu: Bu imentoda yüksek fırın cüruflu çimentolar bulunur. Katkı miktarı %36-95 arasındadır.

Puzolanik imento: Bu çimentolarda puzolanik çimentolar yer almaktadır. Bunlarda cüruf veya kalker katkı maddesi olarak kullanılmaz. Katkı madde oranı puzolan ve uçucu kül katkıları ile birlikte %11-55 arasında değişmektedir.

Kompoze çimento: Bu çimentoda kompoze çimentolar bulunur. Bunlara cüruf (%18-50) , puzolan ve de uçucu kül (%18-50) miktarı belirlenen sınırlar içerisinde değiştirilerek birlikte katılır, çimentoda klinker oranı %20-64 arasında kalacak şekilde ayarlanır (Yeğınobalı, 2003).

Kullanılan karbonat kalsiyum oranına göre çimentolar aşağıda Çizelge 2.1 verilmektedir (Cook 1983).

Çizelge 2.1. Çimento hammaddelerinin sınıflandırılması

Hammadde Adı	%CaCO₃ oranı
Mermer	99-100
Kalker	90-98
Kalkerli Marn	75-90
Marn	40-75
Killi Marn	10-40
Marnlı kil	2-10
kil	0-2

2.3.2.Agregalar

Agrega, beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelere denilmektedir. Agregalar beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarındadır ve beton için önemli bir bileşendir. Agregalar tane boyutlarına göre kaba (çakıl kırmataş gibi) ve ince (kum, kırma kum. gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır (Postacıoğlu 1987).

Beton agregalarında su emme, yassılık, elek analizi, özgül ağırlık gibi deneyler yapılarak kalite sürekliliği takip edilmektedir. Betonda kullanılacak agregalar TS 706'ya uygun olmalıdır. Betonun oluşturan malzemeler içerisinde yaklaşık %75 orana sahip olan

agrega (kum, çakıl, kırmalaş ...), doğal kaynakları giderek tükenen ve standartlara uygun, temiz, kaliteli bir malzemedir ve hazır beton sektöründe önemi gittikçe artırmaktadır. 1999 yılında İstanbul'da düzenlenen II. Ulusal Kırmalaş Sempozyumu'nda, bu alanda ciddi planlamalar yapıp, önlemler alınmazsa, yakın gelecekte, agrega ithali bile söz konusu olacağı söylenmiştir. Marmara Bölgesi başta olmak üzere, ülkemizde pek çok taş ocağı "beton agregası" üretme amacıyla çalışmaktadır. Ancak, bunların çok azı yaptığı işin bilincinde; çok azının standartlara uygunluk belgesine sahiptir (Sussman and Baumann 1972).

2.3.2.a. Tane şekli

Agrega taneleri olabildiğince küresel ve kübik olmalıdır. Şekilce kusurlu taneler de olabilir bunlar, tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'ten büyük olan tanelerdir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı, 8 mm' nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50'den yukarı çıkmamalıdır (Erdoğan 1995).

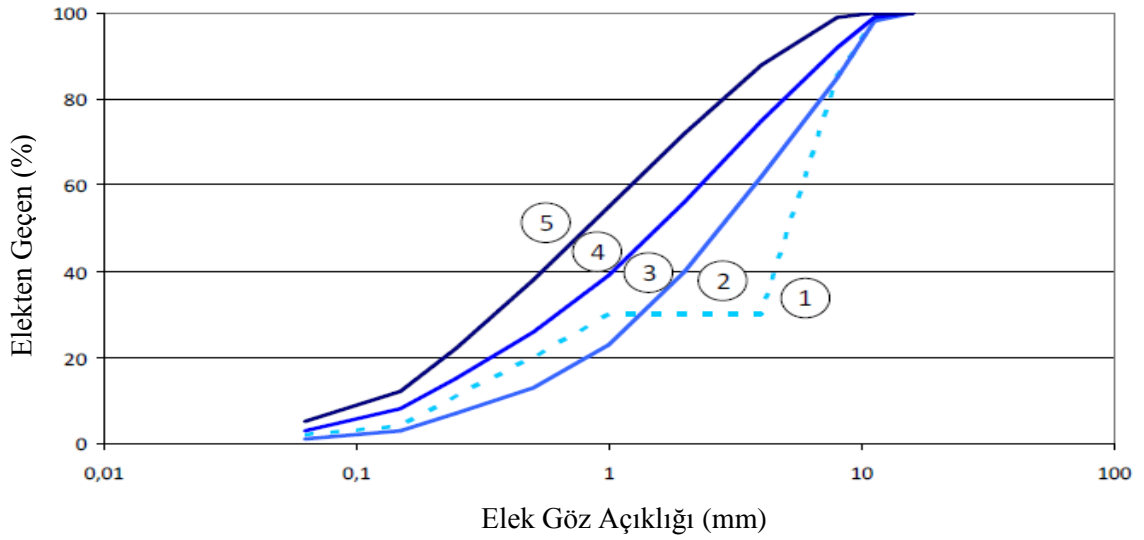
2.3.2.b. Agregatane boyutu

Karışım hesaplarında kullanılan en büyük agregatane büyüklüğü (D_{max}) TS 802'de belirtildiği seçilmektedir. Agreganın özelliklerinden olan D_{max} , agregaların tamamının geçebildiği en küçük elek boyutu olarak tanımlanır. Beton tasarımında kullanılacak agreganın en büyük tane boyutu, betonun kullanılacağı yapı elemanının türü ve bu yapı elemanının boyutlarıyla ve içerisinde bulunan donatıların konumuyla yakından ilişkilidir. En büyük tane çapı betonun döküleceği kalıp genişliğinin $1/5$ 'inden, döşeme kalınlığının $1/3$ 'ünden, donatılı betonlarda ise en küçük donatı aralığının $3/4$ 'ünden daha küçük olan agregatane beton tasarımında kullanılır. Betonda dökme pompa ile yapılacak ise en büyük tane boyutu pompa borusunun iç çapının $1/3$ 'ünden daha az olmalıdır.

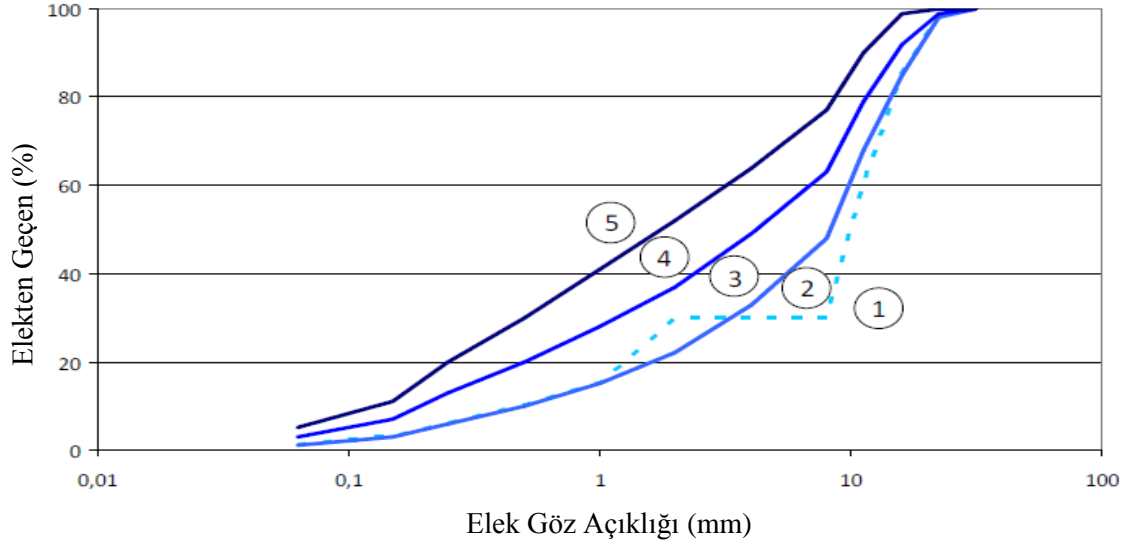
Betonun işlenebilirliğini, dayanımını ve ekonomikliğini, Beton karışımında yer alacak agreganın tane boyut dağılımı, doğrudan etkilemektedir. Karışımındaki agreganın tane

boyut dağılımı, agreganın en büyük tane boyutuyla da ilişkili olarak, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te belirtilen sınırlar içinde seçilmeli, karışımlar bu limitlere göre hazırlanmalıdır.

Karışımın agrega tane boyut dağılımının şekillerde belirtilen, betonun işlenebilirliği, dayanımı ve ekonomikliğine katkı sağlayacağından 3 numaralı bölgeden yana tercih kullanılmalı, bu mümkün değil ise 4 numaralı bölge içinde kalınmalıdır. Sadece zorunlu kalındığında 2 numaralı bölge içinde kalan kesikli tane dağılımları da kullanılabilir.



Şekil 2.2. Agreganın en büyük tane boyutu (D_{maks}) 8 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri



Şekil 2.3. Agrega en büyük tane boyutu (D_{max}) 16 mm olan betonlar için belirlenen agrega gradasyon eğrileri

1 numaralı bölge çok iri, 2 numaralı bölge kesikli, 3 numaralı bölge uygun, 4 numaralı bölge 3 numaralı bölgeye göre daha ince ve 5 numaralı bölge ise çok ince bir tane boyut dağılımını temsil etmektedir.

2.3.3. Atık plastikler

Plastik, petrolün bir türevidir. Plastik ambalajların PET, HDPE, PVC, polystren kötüük ve çözünebilir plastik gibi çeşitleri bulunur. Son 30 yılda üretimi inanılmaz boyutlara ulaşan plastik, çok daha ucuza üretilebildiği için birçok sektörde ahşap, cam ve metal ambalajın yerini almıştır. En çok kullanılan plastik ambalaj çeşitleri olan PET malzemeler, PVC malzemeler ve PE poşetlerin geri kazanılması mümkün değildir. Bir süre sonra molekül yapıları bozularak yeniden kullanılamaz hale gelirler. Plastik, petrokimya sanayinde hammadde olarak petrol esaslı ürün veya ürünler ile doğalgazı kullanıp, bunların kimyasal dönüşümleri ile elde edilir. Paslanmaz ve korozyona uğramazlar, hafiftirler, ısı ve elektrik izolasyonunu gerçekleştirirler, hasara kolay uğramazlar, kolay şekil verilebilirler, esnek ve yumuşaktırlar. Bu özellikler plastikleri vazgeçilmez paketleme malzemesi yapmıştır. Plastik üretiminde kullanılan petrol,

dünyada üretilen petrolün %4'ünü kapsamaktadır. Bu petrolden elde edilen plastiğin %20-25'i ambalaj sektöründe kullanılmaktadır (Polsem 2004).

Plastiğin doğada yok olma süresi 1000 yıldır. Ham petrol, doğal gaz gibi yenilenemeyen kaynaklar plastik üretimi için azaltılmakta, oluşan zararlı gazlar hava, su ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Plastik yandığında, çok tehlikeli bir madde olan ve sera etkisi yaratan dioksin ortaya çıkar. Yapışkan filmler gibi bazı plastikler, vinil klorid içerdiklerinden kanserojendir ve gıdalarla etkileşime geçebilir. Bazı plastiklerin geri dönüştürülmesi mümkün olsa da, çok sınırlıdır. Her ülkenin atık kompozisyonunun farklı olmasının sebebi tüketim çeşitlilikleri ve atık yönetim programlarındaki farklılıklardır. Fakat, plastikler atıklar içinde en fazla yere sahiptir. Plastiklerin en çok kullanıldığı alan paketlenme ve inşaat endüstrisidir. Atık plastik içinde en çok yer kaplayan Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polietilen Tereftalat (PET), Polivinil Klorür (PVC) ve Polistrendir (PS) (Gavela *et al.* 2004).

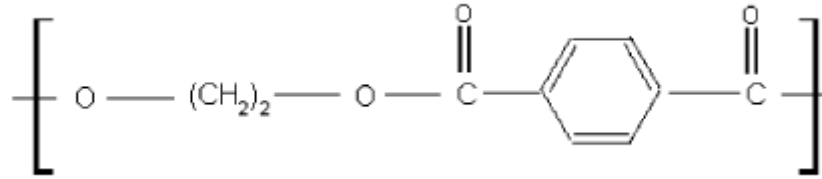
Aşağıda plastiklerin kullanıldığı alanlar belirtilmiştir:

- Poliüretan (PU), dolgu köpüğü imalatı, termal izolasyon köpüğü imalatı ve yüzey mantolama işlemlerinde çok terchi edilen bir plastik türüdür.
- Polietilen Tereftalat (PET), karbonatlı içeceklerin şişesi, kavanoz, plastik film, mikrodalga ambalajı yapımında kullanılır. Pet şişe ismi bu malzemenin kısaltmasından gelmektedir.
- Polivinil Klorür (PVC), boru, profil, cam çerçeveleri (pencere) üretiminde geniş kullnım alanı bulur.
- Polietilen (PE), çamaşır suyu, deterjan ve şampuan şişeleri, motor yağı şişeleri, varil ve bidon üretiminde kullanılmaktadır.
- Polistiren (PS), ambalaj köpüğü, yiyecek ambalajları, köpük bardak, tabak, CD ve kaset kutularının imalatında sıklıkla tercih edilir..
- Polipropilen (PP), çuval, sentetik elyaf, margarin kabı ve deterjan kutularının kapaklarını üretmede kullanılır.

Türkiyede katı atıkların kontrolü yönetmenliğinin 1991 yılında yürürlüğe giren, 18. maddesine göre, bu tarihten itibaren 10 yıl içinde, sorumlu ekonomik işletmeler ambalaj atıklarının ağırlık itibari ile en az %60'ını geri kazanmaları gerekir. Her yıl 10 bin ton atık PET malzeme geri kazanılmaktadır (Pehlivan ve Ünal. 2004) .

2.3.3.a. Polietilen tereftalat (PET)

Polietilen tereftalat (PET), termoplastikler arasında oryente edilmiş kristal yapıda zayıf asitlere, bazlara ve çoğu çözücülere karşı dayanımı olduğu kadar, sağlamlık, sertlik, parlaklık ve yüksek darbe dayanımı gibi özellikleriyle de üstündür. PET'in gaz geçirgenliği diğer plastiklerin çoğundan daha düşüktür. PET, en önemli mühendislik polimerlerin arasına girmeyi, kullanım alanının son 20 yıl içerisinde hızla gelişmesi ile başarmıştır. Birçok uygulama için tercih edilmesinin sebebi kimyasal maddelere karşı olan kararlılığı, işlenebilirliği, renklendirilebilirliği ve termal özellikleridir. Sıradan bir termoplastik olan PET poliester ailesine ait olup yinelenen birimi (-CH₂CH₂-OOC-C₆H₄-COO-) _n şeklindedir. PET'in tekrarlanan biriminin şematik gösterimi Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. PET'in tekrarlanan birimi (Anonim 2013).

PET, 1941 yılında Calico Printer's Ortaklığı tarafından Manchester'de patentlenmiştir. PET şişe ise 1973 yılında patentlenmiştir.

Plastiklerin kaynağı, ham petrol, gaz ve kömürdür. Plastikğin genelde ana kaynağı petrol rafinerisinden arta kalan bakiye maddelerdir. Dünyada üretilen toplam petrolün sadece %4 plastik üretimi için kullanılmaktadır. PET'i oluşturan hammaddeler ham petrolden

elde edilir. Rafine işlemlerinden sonra, ham petrolden farklı petrol ürünleri oluşturulur ve iki tane PET hammaddesi elde edilir. Elde edilen hammaddeler arıtma işlemine tabi tutulur ve bir katalizör vasıtasıyla kanal şeklindeki bir fırında 300°C'ye kadar ısıtma yapılır. Kimyasal reaksiyon sırasında meydana gelen çok sayıdaki monomerler birbirleri ile ester bağlarıyla bağlanıp birleşerek polimerleri oluştururlar. Reaksiyonların ileri safhalarında karışım oldukça koyu bir viskozite kazanır ve sonunda uygun bir kıvama gelir. Bu aşamada, PET çubuklar reaktörden makarnaya benzer şekilde çıkar ve su altında hızlı bir şekilde soğutulur daha sonra ufak tanecikler halinde kesilir. (Plastics Europe, 2008).

2.3.4. Su

- 1-** Karışım suyun görevi, çimento ve agregayla birlikte karılarak beton üretimini sağlamak.
- 2-** Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlemin sertleşmesini sağlamak.
- 3-** Beton karışımında, yıkama suyu olarak, girecek agregaların yıkanması ve betonun karılma işlemi tamamlandıktan sonra betonyerin temizlenmesini sağlamak.

Karışım suyu bilindiği gibi, çimento ve agreganın yanı sıra betonu oluşturan bir diğer temel malzemedir. Beton malzemelerin karılmasında kullanılan karışım suyunun iki önemli görevi bulunmaktadır (TS EN 206).

- a-** Çimento ile birlikte hidrasyona başlamasını sağlamak.
- b-** Betonun karılma işleminde agrega ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak üretilen taze beton karışımında istenilen işlenebilmeyi sağlamak.

Şehirdeki yapılar için üretilen betonların karışımında genellikle belediyeler tarafından sağlanan içilebilir nitelikteki musluk suları kullanılmaktadır. Kırsal kesimdeki çeşitli yapıların beton karışımında kullanılan sular çeşmelerden, kuyulardan, derelerden, göllerden temin elde edilebilmektedir. Suların içinde bulunabilecek bazı yabancı

maddeler şunlardır. Kil, silt, yosunlu madde, şeker, kalsiyum, magnezyum, sodyum klorür, sülfat, değişik türdeki tuzlar, asitler ve yağ (Joannie *et al.* 1998).

2.4. Betonların Genel Özellikleri

2.4.1. Basınç dayanımı

Betonun mekanik mukavemetleri arasında değeri en büyük olan basınç mukavemetidir. Bu husus göz önünde tutularak beton yapılarında daha çok basınç gerilmelerine maruz bırakılarak kullanılır. Betonun basınç dayanımı, “Eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti” (eksenel basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme) olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan 2003).

Betonun basınç dayanımı, yapısal tasarımda esas alınması, kolay tespit edilebilmesi ile betonun diğer özellikleri hakkında olumlu bilgi sağlaması gibi nedenlerden dolayı dayanım türleri arasında araştırılma önceliğine sahiptir. Basınç dayanımının belirtmesi için, taze betondan hazırlanan standart boyutlu numunelerin beton standartlarında belirtilen süre ve koşullarda kür edildikten sonra kırılmaya tabi tutuldukları “Standart deney yöntemi” en çok kullanılan yöntemdir. Bunun yanında, sertleşmiş betondan kesilerek çıkartılan karot numunelerin kırılmaya tabi tutuldukları “Karot numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi”, “Beton test çekici uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi” ve ultrasonik test cihazı olarak adlandırılan bir cihaz vasıtasıyla sertleşmiş betonun içerisinden hasarsız olarak geçirilen ses dalgalarının hızının ölçüldüğü ve betonun basınç dayanımı hakkında yaklaşık bir bilgi elde edildiği “Ultrasonik test cihazı uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi” betonun basınç dayanımının tayini için kullanılan diğer yöntemlerdir.

2.4.2. Eğilme dayanımı

Beton çekme dayanımı; “betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı kırılmaya ve şekil değiştirmeye karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti” olarak tanımlanmaktadır. Çekme deneyi, malzemelerin statik (darbesiz) yük altındaki mukavemet özelliklerini saptamak ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla uygulanan deneydir. Yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Fakat beton elemanlarının üzerlerine gelen basınç ve eğilme kuvvetleri betonun içerisinde çekme kuvvetlerinin oluşmasına sebep olur. Genel olarak, betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %9–10’u kadardır. Betonun kalitesine ve yaşına bağlı olarak, bu oran %7–17 arasında değişebilmektedir. Yapıların tasarım hesaplarında genellikle kullanılmakta olan dayanım türü, betonun basınç dayanımıdır. Ancak, oldukça gevrek bir malzeme olan betonun çekme kuvvetlerine karşı direnme kabiliyeti çok düşük olduğundan, çekme dayanımının değeri betonun içerisindeki çatlakların oluşmasında önemli rol oynamaktadır (Erdoğan 2003).

2.4.3. Ultrases hızı

Frekansları 20–200 kHz, yoğunlukla 50–150 kHz arasında olan ses dalgalarına ultrasonik dalgalar denir. Bu titreşimler duyma eşiğinin ötesindedir. Ultrasonik dalgaların hızları normal ses dalgalarından farksızdır. Frekansları yüksek olduğundan emilmeden daha uzun yol kat edebilirler. Ancak kat ettikleri hacmin iç yapısı ve ortamın gaz, sıvı veya katı olması optimum frekans limitlerini ortaya çıkarır. Örneğin yapısı boşluklu olan betonlar frekansın aşırı derecede artışı parazit yansımalar doğurarak enerji emilmelerine yol açar (Akman 1965).

Ultrasonik test yöntemiyle herhangi bir betonun basınç dayanımını yeterince hassas olarak bulabilmek zor olmakla birlikte, herhangi bir beton içerisinden geçen sesüstü dalganın hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı ve yoğunluğu ile yakından ilgili olduğu için, elde edilen sesüstü hız ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurabilmek mümkün olabilmektedir. Whitehurst (1951) tarafından, yoğunluğu yaklaşık

2400 kg/m³ olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonunda, sesüstü dalga hızı bilindiği takdirde beton kalitesinin ne olabileceğine dair önerilen sonuçlar Çizelge 2.2’te gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Ultrasonik test yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi

Dalga Hızı (m/s)	Beton Kalitesi
> 4500	Mükemmel
3500 – 4500	İyi
3000 – 3500	Şüpheli
2000 – 3000	Zayıf
< 2000	Çok zayıf

3. MATERYAL ve METOD

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri, fiziksel özellikleri, harç karışımlarında kullanılan malzeme oranları ve gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Deneyler için üretilen atık PET agregalı betonların bağlayıcı malzemesi olarak Aşkale Çimento Fabrikası'nın 2013 yılında üretilen Portland Çimentosu (CEM 42.5) kullanılmıştır. Çizelge 3.1'de çimentonun kimyasal özellikleri verilmiştir (TS EN 197-1).

Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşen	Oran (%)
SiO ₂	19.80
Al ₂ O ₃	5.42
Fe ₂ O ₃	3.40
CaO	62.50
MgO	2.67
SO ₃	2.58
Kızdırma Kaybı	2.00
Na ₂ O	0.25
K ₂ O	0.80
Cl	0.0105
Tayin Edilemeyen	0.08
Toplam	100
Serbest CaO	0.51
Çözünmeyen Kalıntı	0.70

Ayrıca Aşkale Çimento Fabrikasında yaptırılan fiziksel özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Basınç dayanımı (MPa)	2 gün	23.3
	7 gün	35.4
	28 gün	47.1
Eğilme dayanımı (MPa)	2 gün	4.49
	7 gün	6.0
	28 gün	7.8
İncelik 45µm elek üstü (%)	8.98	
Litre kütlesi (g/L)	1115	
Hacim Genleşmesi (mm)	2.98	
Özgül Kütle (g/mL)	3.10	
Priz Başlangıcı (saat)	2.15	
Priz Sonu (saat)	3.12	

3.1.2. Agregta

Bu çalışmada, Erzurum ili sınırları içerisindeki Horasan mevkiinden temin edilen doğal kum ve çakıl kullanılmıştır. Kullanılan agregta dere malzemesi olup maksimum agregta tane çapı 16 mm'dir.

3.1.3. Öğütülmüş atık PET malzeme

Çalışmada agregta olarak kullanılan atık PET malzemeler Erzurum Doyum Su Fabrika'sı tarafından üretilen atık PET malzemelerin kesilmesiyle elde edilmiştir. Atık PET malzemeler toplandıktan sonra, sırasıyla yıkama temizleme ve temizlenen materyalin kesilmesi işlemlerine tabi tutulur. Bu çalışmada tane boyutu 0-4 mm olan PET parçacık aragregta olarak kullanılmıştır.

PET parçacıkları harç üretiminde doğal agreganın yüzdesi olarak değerlendirilmiştir. PET agreganın özgül ağırlığı 1.34 gr/cm^3 'tür. Şekil 3.1'de bu çalışmada agregta olarak kullanılan PET kırıkları görülmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan PET kırıkları

PET çeşitli uluslararası firmalar tarafından üretilmekte olup PET, PETE, PETP gibi rumuz ile adlandırılmaktadır. PET, termoplastikler arasında zayıf asitlere, bazlara ve çoğu çözücülere karşı dayanımı olduğu kadar, sağlamlık, sertlik, parlaklık ve yüksek darbe dayanımı gibi özellikleriyle de üstündür. Ayrıca PET'in gaz geçirgenliği diğer plastiklerin çoğundan daha düşüktür (Anonim 2001). Ticari PET'in standart fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. PET'in fiziksel ve kimyasal özellikleri (Choi *et al.* 2005)

Özellikler	Değerler
Moleküler ağırlık (yinelenebilir birim)	192 (g mol ⁻¹)
Ortalama molekül ağırlığı (MW)	30,000–80,000 (g mol ⁻¹)
Yoğunluk	1.41 (g cm ⁻³)
Camsı geçiş sıcaklığı	69–115 (°C)
Erime sıcaklığı	260 (°C)
Çekme dayanımı	50 (MPa)
Çekme dayanımı modülü	1700 (MPa)
Darbe dayanımı	90 (J m ⁻¹)
Su absorpsiyonu (24 h sonra)	0.5 (%)
Sıkışık birim ağırlığı (g/cm ³)	0.56
Gevşek birim ağırlığı (g/cm ³)	0.46
Özgül ağırlığı (g/cm ³)	1.34

3.1.4. Karışım ve kür suyu

Karışım suyu içerisinde, taze ve sertleşmiş betona zararlı kimyasal etkiler yapabilecek miktarda kil, silt, organik madde, yağ, asit, klorür, sülfat, madeni yağ ve endüstri atıkları gibi yabancı maddeler bulunmamalıdır (Anonymous 1977)

Bu tespitler doğrultusunda, çalışmadaki numune betonların üretiminde karışım suyu olarak, içilebilir nitelikteki ve sıcaklığı yaklaşık 20±5°C sıcaklığındaki Atatürk Üniversitesi içme suyu kullanılmıştır.

3.1.5. Diğer malzemeler

Sertleşmiş beton numunelerinin başlıklanmasında kükürt ve numunelerin kalıplardan kolayca çıkmasını sağlamak için kalıplarda ince motor yağı kullanılmıştır.

3.1.6. Deneylerde kullanılan aletler

Bu bölümde çalışmanın deneysel aşamasında kullanılan deney aletlerinin teknik ve fiziksel özellikleri açıklanarak ilgili standartlara uygunluğu bakımından kısa tanımlarına yer verilmiştir.

3.1.6.a. Elekler ve çökme hunisi

Deneylerde TS 1226 ISO 3310-2'ye uygun toplama kabı, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Elekler ve çökme hunisi

Kıvam tayininde kullanılan çökme hunisi, taban çapı 200 mm, üst çapı 100 mm ve yüksekliği 300 mm olan metalden yapılmış kesik koni şeklinde bir alet olup, alt kısmında oynamasını önlemek üzere iki adet basma kulaklığı mevcuttur.

3.1.6.b. Betonyer

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune betonlarının karılması işleminde, ELE firmasının ürettiği 135° açı ile manevra yapabilen 60 dm³ kapasiteli, 25 devir/dakika karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi betonyer kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Betonyer

3.1.6.c. Kalıplar

Deneysel çalışmalar kapsamındaki silindir beton numunelerin üretiminde, sertleştirilmiş plastikten imal edilmiş, 10 cm çaplı ve 20 cm yüksekliği olan silindir hazır kalıplar kullanılmıştır. Ayrıca eğilme dayanımı tayininde gerekli olan kiriş numunelerin üretimi için 7x7x28 cm boyutlu prizmatik çelik kalıplar kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Kalıplar

3.1.6.d. Pres

Sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini için Yüksel Kaya Makine Ltd. Şti. üretimi YKM Q71 model ve 300 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır. Kiriş

numunelerin eğilme dayanımlarının belirlenmesi için de yine bu aletin eğilme aparatından faydalanılmıştır.



Şekil 3.5. Beton pres aleti

3.1.6.e. Ultrases hızı ölçüm cihazı

Ultrases hızı ölçüm cihazı, ultrasonik dalgalar üreterek bu dalgaların belirli boyuttaki numunenin bir yüzeyinden gönderilip diğer bir yüzeyinden alınmasına kadar geçen zamanı elektronik olarak ölçmektedir. Algılayıcılar arasındaki uzaklık hareket zamanına bölüldüğünde dalga ilerlemesinin ortalama hızı elde edilir. Ölçülen bu hız, betonun mukavemeti, homojenliği, elastisite modülü, döküm özellikleri ve çatlakların varlığının belirlenmesi gibi betonun birçok özelliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamındaki ultrasonik hız ölçümleri, (Qust-120+) marka dijital ultrasonic hız ölçme aleti ile yapılmıştır. Deneyleerde kullanılan ultrases hızı ölçüm cihazı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6.Ultrases hızı ölçüm cihazı

3.1.6.f. Su k r  uygulamasında kullanılan aletler

Atık PET ile üretilen betonların dayanım ve birim ağırlık gibi mekaniksel özelliklerinin mukayeseli olarak değerlendirilebilmesi için bir grup numune 7, 11, 28, 56, 90 gün süreyle su k r ne tabi tutulmuş ve değerlendirmelerde referans olarak kabul edilmiştir. Bu amaçla, kirece doygun durumdaki suyu $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulabilen çevrim pompalı tam dijital su k r  tankı (Şekil 3.7) kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Su k r  havuzu

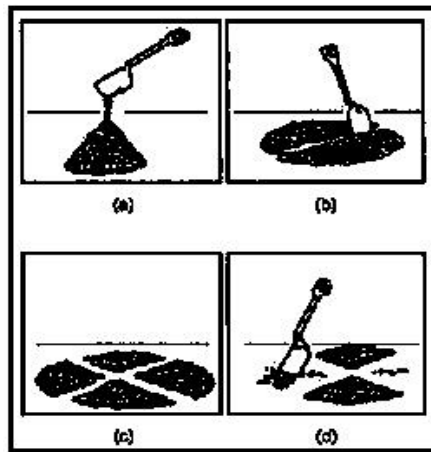
3.2. Yöntem

Bu bölümde, agreganın fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayininde uygulanan yöntemler, deneysel numune betonlarının üretimi ile taze ve sertleşmiş beton deneylerinde uygulanan yöntemler açıklanmıştır.

3.2.1. Agregada deneylerinde uygulanan yöntemler

Yapılacak agrega deneyleri için numune alınması işleminde, TS 707’de belirtilen dörde bölerek küçültme (çeyrekleme) metodu (Şekil 3.6) kullanılmıştır. Bu metot gereği, laboratuardaki malzemenin tümünü temsil etmesi için yığının her tarafından alınan örnekler düz bir zemin üzerine her tarafı eşit ve çapı yüksekliğinin dört katı olan bir daire oluşturacak şekilde serilmiştir. Daha sonra bu dairesel yığın kürekle dörde bölünmüş, karşılıklı iki parçası atılıp, deneyler için yeterli miktarda örnek kalıncaya kadar çeyrekleme işlemine devam edilmiştir.

Her bir deney için, numuneler üzerinde üçer defa agrega deneyleri yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.8. Çeyrekleme metodu (TS 707).

3.2.1.a. Tane dağılımı (Elek analizi)

Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, TS 3530 EN933-1/A1 (2007)'ye uygun olarak belirlenmiştir. Bu standarda göre yapılan deneyde yıkanmış ve kurutulmuş malzeme elek takımına dökülmüştür. Elek takımı, TS EN 1227 ISO 3310-1 (2007) ve TS EN 1227 ISO 3310-2 (2009)'ye uygun toplama kabı, 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm 4 mm, 8 mm, 16 mm göz açıklıklı kare delikli düzenlenmiş elekler, tava ve kapaktan ibarettir.

Elek takımı düzenlenirken yukarıdan aşağıya elek göz açıklıkları düzenli bir biçimde azalacak şekilde birbirine geçirilmiştir. Tüm ince tanelerin yıkama ile uzaklaştırılmadığı bilindiğinden, 63µm göz açıklıklı deney eleği de elek takımına ilave edilmiştir. Malzeme kaybına meydan vermemek için elek takımı tava ve kapak kullanılarak makine ile sarsılmıştır. Daha sonra sırayla büyük göz açıklıklı elekten başlamak üzere altına tava ve üzerine kapak konularak her bir elek takımdan ayrılarak, elle tek tek eleme işlemine devam edilmiştir.

Her elekten geçen malzeme elek setinde bulunan bir sonraki elek üzerine konularak işleme devam edilmiştir. Standarda göre eleme işlemi esnasında, bir dakika süre içerisinde elek üstü malzemede kütlece %1'den daha fazla değişiklik olmuyorsa eleme işleminin tamamlandığı kabul edilebilir. En büyük göz açıklığına sahip elek üzerinde kalan kısım tartılıp, kütlesi kayıt edilmiştir. Altındaki elekte kalan kısım için aynı işleme devam edilmiş ve kütlesi kayıt edilmiştir. Tavada kalan malzemede tartılıp kütlesi kayıt edilmiştir.

3.2.1.b. Birim ağırlık

Birim ağırlık deneyleri TS 3529'a göre yapılmıştır. Standartta belirtildiği üzere maksimum agrega çapına bağlı olarak, iç çapı ile yüksekliği 155 mm ve hacmi yaklaşık 3dm³ olan standart birim ağırlık kabı kullanılmıştır. Sıkışık birim hacim ağırlık tayininde bu kaba yaklaşık üç eşit tabaka halinde doldurulan agregaların her bir tabakası 25 defa şişlenmiştir.

3.2.2. Beton karışım seçeneklerinin belirlenmesi

Çalışmada atık plastikle üretilen agregalı betonların istenen işlenebilme özelliğinde, yeterli dayanım ve dayanıklılıkta olabilmesi için ekonomik betonun malzeme oranlarının tespiti amacıyla beton karışım hesabı yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan agrega, Erzurum ili sınırları içerisindeki Horasan mevkiğinden temin edilen doğal kum ve çakıl'ı kullanılmıştır. Bu çalışmanın elek analizi toplama kabı, 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

Karışım hesabı; işlenebilme, istenen dayanım, dayanıklılık ve diğer istenen özellikleri olan en ekonomik betonu üretmek için gerekli agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarını belirlemek için yapılır.

Bu çalışmada atık PET agregasıyla elde edilen beton için CEM 42.5 çimento kullanarak yaklaşık 300–450 kg/m³ çimento dozajı göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada çimento dozajı 350 kg/m³ alınmıştır.

Çalışmada, atık PET agregasıyla betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla, doğal agreganın yerine farklı hacimlerde (%1, %1.5, %2, %3, %5) PET agregası kullanılmıştır.

Her bir seride basınç dayanımı, birim ağırlık ve ultrases hız testlerinin yapılacağı Ø10/20 cm silindir ile eğilme dayanımı testlerinin yapılacağı 7x7x28 cm boyutlu kırış numune hazırlanmıştır. Her deney için, 7, 11, 28, 56, 90 günlük testler yapılmaktadır. Bu sayede çalışmanın deneysel sonuçları, deney numunesi üzerinde yapılan testlerden elde edilmiştir.

3.2.3. Üretilen beton serilerin kodlanması

Üretilen beton seriler atık plastik agrega boyutu ve karışım oranlarına göre şöyle kodlanmıştır.

K = PET agrega içermeyen kontrol numunesi.

PB-1 = İçerisinde hacimce %1 oranında 0-4 mm plastik agrega bulunan beton numunesi.

PB-1.5 = İçerisinde hacimce %1.5 oranında 0-4 mm plastik agrega bulunan beton numunesi.

PB-2 = İçerisinde hacimce %2 oranında 0-4 mm plastik agrega bulunan beton numunesi.

PB-3 = İçerisinde hacimce %3 oranında 0-4 mm plastik agrega bulunan beton numunesi.

PB-5 = İçerisinde hacimce %5 oranında 0-4 mm plastik agrega bulunan beton numunesi.

3.2.4. Karışım hesabı

Hazırlanacak numunelerin karışım oranları TS 802'ye uygun olarak hazırlanmıştır. Karışım oranları hazırlanırken maksimum agrega çapı 16 mm ve S/Ç oranı (0.5) sabit alınmıştır. Beton içerisine toplam agreganın hacmine göre %1, 1,5, 2, 3 ve 5 oranlarında agrega ile yer değiştirilecek şekilde hazırlanan karışım oranları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Beton karışım oranları (1 m³)

Plastik Oranı (%)	Kontrol		1		1.5		2		3		5	
	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Su	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
Çimento	113	350	113	350	113	350	113	350	113	350	113	350
PET agrega	0.0	0.0	6.819	9.14	10.23	13.71	13.64	18.28	20.46	27.42	34.1	45.69
Agrega (0-4)mm	327.3	873.89	324.04	865.19	322.40	860.81	320.76	856.43	317.49	847.70	310.94	830.21
Agrega (4-16)mm	354.6	939.69	351.04	930.26	349.27	925.57	347.50	920.87	343.95	911.47	336.86	892.68
Hava	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-	30	-
Toplam	1000	2338.58	1000	2329.59	1000	2325.09	1000	2320.58	1000	2311.59	1000	2293.58

Karışımında kullanılan malzeme miktarları, malzeme kayıpları göz önünde tutularak gerekli miktarlar %10 oranında artırılmış ve betonyerde her bir numune grubu için 9 dm³ beton üretilmiştir. Beton üretiminde 60 dm³ hacimli betonyer kullanılmıştır. Betonyer ve çökme hunisi kullanımdan önce iç yüzeyleri iyice temizlenerek ıslatılmıştır.

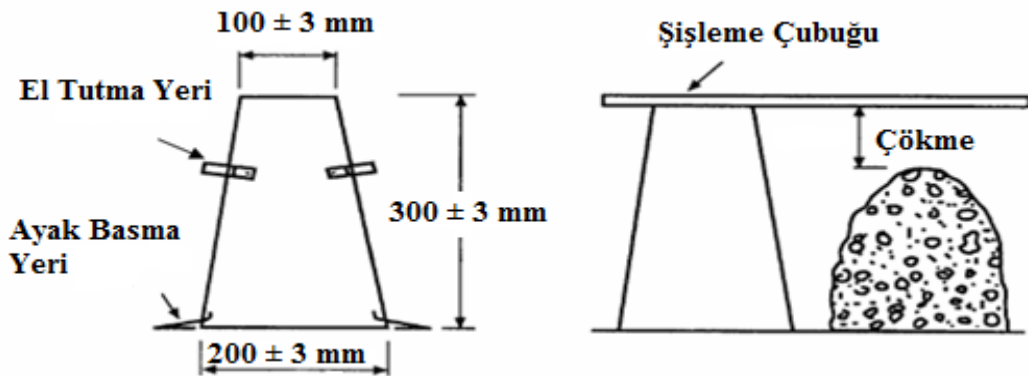
Hazırlanan betonlardan karışımın özelliklerini tam olarak temsil etmesine dikkat edilerek Anonim (2002c)'de belirtilen numune alma yöntemleri uygulanarak taze beton deneyleri için numuneler alınmıştır. Karıştırma işleminin bitiminden itibaren en fazla 15 dakika içerisinde taze beton deneyleri tamamlanmıştır.

3.2.5. Taze beton deneylerinde uygulanan yöntemler

Beton numuneler üretildikten sonra TS EN 12350'de belirtilen esaslar uygulanarak taze beton deneyleri yapılmıştır. Standart hükümleri gereğince bu deneyler karıştırma işlemi bittikten sonra en fazla 15 dakika içinde tamamlanmıştır.

A- Çökme Deneyi

Taze beton deneylerinden, önce çökme deneyi yapılmıştır. Bu deneyin yapılmasında TS EN 12350-3'te belirtilen yöntemler ve standart çökme hunisi kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce çökme hunisinin iç yüzeyi ıslak bir bezle silinmiş ve düz, nemli ve su emmez bir yüzey üzerine konulmuştur. Taze beton huniye üç tabaka halinde ve her tabaka huninin yaklaşık üçte birini dolduracak şekilde yerleştirilmiştir. Her tabaka 16 mm çapında ve 60 cm uzunluğundaki ucu yuvarlatılmış şişleme çubuğu ile 25'er defa kenarlardan ortaya doğru dairesel olarak düşey bir şekilde şişlenmiştir. Daha sonra huni yavaşça düşey olarak yukarı doğru çekilerek yığının yanına konulmuştur. En sonunda huninin üst yüzeyi ile taze betonun üst yüzeyi arasındaki yükseklik farkı okunarak betonun çökme değeri bulunmuştur.



Şekil 3.9. Çökme hunisinin şematik şekli ve ölçüleri

B- Birim Ağırlık

Taze beton deneylerinin ikincisi olarak, TS 3529 EN933-3 hükümleri çerçevesinde birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Deney yapılırken hacmi bilinen standart birim ağırlık kabı kullanılmıştır. Standart hükümlerince taze beton, karışımdaki maksimum agrega tane çapına bağlı olarak hacmi 3dm^3 olan standart birim ağırlık kabına yaklaşık eşit hacimdeki üç tabaka halinde doldurularak her tabaka 25 adet şişleme çubuğu darbesi ile iyice sıkıştırılmış ve tartılmıştır. Ölçülen ağırlıktan kabın ağırlığı çıkarılarak betonun ağırlığı bulunmuştur. Daha sonra betonun ağırlığı, kabın hacmine bölünerek taze betonun birim ağırlığı belirlenmiştir.

C- Numune Hazırlama

Taze betonun çökme değeri ve birim ağırlığı belirlendikten sonra $\text{Ø}10/20$ cm boyutlarındaki plastik silindir ve $7 \times 7 \times 28$ cm boyutlarındaki çelik prizmatik numune kalıplarına yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminden önce, numunenin kalıplardan rahat çıkması için kalıp iç yüzeyleri ince motor yağıyla yağlanmıştır. Kalıplar tamamen doldurulduktan sonra yüzeyleri çelik mala ile düzeltilmiştir. Nem kaybını önlemek amacıyla numune yüzeyleri plastik esaslı örtülerle kapatılmış, su kuru numuneleri için 24 saat kalıplarda bekletilmiştir.

Bu şekilde, su kuru numuneleri 24 saat kalıpta bekletildikten sonra 24 saatin sonunda kalıptan çıkarılmış ve sıcaklığı $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de kirece doymuş su ihtiva eden kür havuzuna yerleştirilerek su kuru uygulanmıştır. Su içindeki numuneler, sertleşmiş beton deneyleri uygulamasından bir gün önce kür havuzundan çıkarılıp laboratuvar şartlarında bekletilerek deneylere hazır hale getirilmiştir.

Silindir numunelere uygulanacak basınç dayanımı testlerinde homojen yük dağılımı sağlamak amacıyla, numunelerin düzgün olmayan üst yüzeylerine Anonim (2003)'de tarifi yapılan "Kükürt Karışım Metodu" ile, basınç dayanımı yaklaşık 50 MPa mertebesinde ve kalınlığı yaklaşık 5 mm olan kükürt başlık yapılmıştır.

3.2.6. Sertleşmiş beton deneyleri

Bu çalışmada, 350 kg/m³ çimento dozajında üretilen betonlar 7, 11, 28, 56 ve 90 gün sürelerle su küründe bekletilmiştir. Kür sürecini tamamlayan beton numunelerinin basınç dayanımı, birim ağırlık, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızı gibi sertleşmiş beton özellikleri tespit edilmiştir.

3.2.6.a. Basınç dayanımı

Basınç dayanımı, TS 500, TS 3114, ASTM C 31 ve ASTM C 39 standartlarına göre verilmektedir. Burda, ASTM ve TS birbirine benzemektedir. Standart deney yönteminin uygulamasında, beton standartlarında belirtilen standart silindir veya küp numuneler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 10x20 cm boyutunda silindir beton numunelerin üzerinde basınç dayanımlarının tayini deneyi yapılmıştır. Numunelerde yükün bütün alana homojen dağılması için başlık yapılmıştır. Bu numuneler 7, 11, 28, 56 ve 90 günün sonunda, deney pressi olarak makine vasıtasıyla basınç yükü altında kırılmıştır.

3.2.6.b. Eğilme dayanımı

Bu çalışmada, farklı oranlarda PET agrega uygulanan beton numunelerin eğilme dayanımlarının testleri, TS EN 196-1'deki esaslar göz önüne alınarak yapılmıştır. 7x7x28 cm boyutlu PET agregayla prizmatik kalıplarda üretilen kiriş numunelerin 7,11, 28, 56 ve 90 günlük eğilme dayanımları için uzun kenarlarının üçte bir noktalarından yüklenerek basit kiriş metodu ile belirlenmiştir. Eğilme dayanımının tayininde, basınç dayanımının tayini için kullanılan presin eğilme aparatından yararlanılmıştır.

Standartta göre, eğilme testi için yükleme hızı 0.04–0.06 MPa/s arasında sabit gerilme artış hızı sağlanacak şekilde ayarlanmalıdır. Yük, darbe etkisi oluşturulmadan, seçilen hız $\pm\%1$ sapma sınırları içerisinde sağlanarak, numune kırılıncaya kadar, sabit hızda arttırılmak suretiyle uygulanmalıdır. TS EN 196-1' re göre 54 N/s'lik yükleme hızı ile yükleme işlemine numuneler kırılıncaya kadar devam edilmektedir.

3.2.6.c. Ultrases hızı deneyi

Frekansları 20–200 kHz, çoğunlukla 50–150 kHz arasında olan ses dalgalarına “ultrasonik dalgalar” denir (Akman 1965). Malzeme testinde kullanılan ultrases dalgalar piezo–elektrik özellik gösteren transdüserler yardımı ile elde edilmektedir. Betonun bir yüzeyinden gönderilen ultrasonik dalgalar beton içinde ilerlerken yolları üzerinde boşluklara rastlarlar. Bu dalgalar boşluk kenarına gelince karşı tarafa geçemediğinden, boşluğun etrafını dolaşacaktır. Bu olayın pek çok sayıda tekrarlanması ultrasonik dalgaların belirli bir nokta arasındaki yolunu artıracaktır (Stefanescu 1974). Ultrason hızının azalması, betonun boşluklu olduğunu göstermekte buna bağlı olarak beton dayanımı da düşmektedir.

Transdüserlerin temas ettikleri yüzeylere iyi intibak edilmeleri için yüzeylerin temiz, düzgün ve boşluksuz olmaları ve transdüserlerle beton yüzeyi arasında boşluk kalmayacak bir küplaj malzemesi katmanı kullanılması gerekir. Küplaj malzemesi olarak gres yağı, kil çamuru, mastik, gliserin ve alçı bulunmaktadır (Akman 1965).

Ultrason hızlarının tespiti için direkt ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Hız ölçümleri her grup için iki numune üzerinde yapılmıştır. Ultrason hızının tespiti yapılırken numunenin ölçüm yapılacak başlıkları bir fırça ile temizlenmiştir. Yapılan ölçümlerin daha sağlıklı olabilmesi için test aleti başlıklarının beton yüzeylere teması ultrases jeli yardımıyla sağlanmış ve her bir numune için en az beş okuma yapılarak bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Ultrason hız ölçümleri Anonymous (2002b)'deki esaslara göre yapılmıştır ve Elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde incelenmiştir.

3.2.6.d. Birim ağırlık deneyi

Bu deney sıkıştırılmış taze betonun birim ağırlığını belirlemek ve sertleşmiş betonun birim ağırlığı hakkında tahminde bulunmak amacıyla TS EN 12350-6'ya göre aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

Hacmi bilinen bir kap içerisine, taze beton, iki tabaka halinde sıkıştırma çubuğuyardımla her tabakaya 25 defa vurularak sıkıştırılır. Sıkıştırma sonrasında, sıkışmış hava ceplerinin tahliyesi sağlanacak şekilde, beton yüzeyinde büyük hava kabarcıkları çıkışı duruncaya kadar kabın dış kenarına tokmak ile hafifçe vurulur. Kabın yüzeyi tesviye edilerek kap içindeki betonun kütlesi belirlenir ve Formül 3.4 yardımıyla taze betonun birim hacim ağırlığı tayin edilir.

$$\text{Birim Ağırlık} = (\text{Betonun Ağırlığı}) / (\text{Kabın İç Hacmi}) \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde agrega ve beton deneylerinden elde edilen sonuçlar izelge ve Şekiller ile gösterilmiştir.

4.1. Agrega Deneyleri ile İlgili Bulgular ve Tartışma

4.1.1. Elek analizi

Bu alıŐmada, Erzurum ili sınırları içerisindeki Horasan mevkiinden temin edilen doğal kum ve çakıl kullanılmıştır. Kullanılan agrega dere malzemesi olup maksimum agrega tane çapı 16 mm'dir.

Standart kare açıklıklı eleklerle, etüv kurusu durumundaki numuneler üzerinde yapılan elek analizi deneyi sonucunda, iri (4–16 mm) ve ince (0–4 mm) agregalar için ayrı ayrı elde edilen tane dağılımlarına ait değerler izelge 4.1'de verilmiştir.

Oluşturulan yeni agrega karışımının tane dağılımına ait değerler ağırlık yüzdesi olarak izelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. İri agrega ve ince agrega için elek analizi deneyi sonuçları

Elek açıklığı (mm)	% Geçen iri agrega	Elek açıklığı (mm)	% Geçen ince agrega
16	100	16	100
8	31,28	8	31,28
4	1,52	4	1,52
2	0,56	2	0,56
1	0,44	1	0,44
0,50	0,36	0,50	0,36
0,25	0,28	0,25	0,28
Elek altı	0	Elek altı	0

Çizelge 4.2. Karışımda kullanılan agreganın tane dağılımları

Elek açıklığı (mm)	Karışım oranları
16	100
8	67,02
4	45,69
2	32,72
1	20,74
0,50	8,52
0,25	2,23
Tava	0

4.1.2. Birim ağırlık

Standart birim ağırlık kabının kullanıldığı bu deneyde, ince ve iri agregaların, birim ağırlık değerleri ayrı ayrı bulunmuştur. Birim ağırlık deneyleri hava kurusu durumunda bulunan agregalar üzerinde yapılmıştır. Agregada deneylerinden elde edilen gevşek birim ağırlık değerlerinin ortalaması Çizelge 4.3'te, sıkışık birim ağırlık değerlerinin ortalaması ise, Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Gevşek birim ağırlık deneyi sonuçları

Agrega Sınıfı		
Ölçülen değer	İnce (0 – 4 mm)	İri (4 – 16 mm)
Gevşek Birim ağırlık. kg/m ³	1374	1424

Çizelge 4.4. Sıkışık birim ağırlık deneyi sonuçları

Agrega sınıfı		
Ölçülen değer	İnce (0 – 4 mm)	İri (4–16 mm)
Sıkışık Birim ağırlık. kg/m ³	1643	1487

Beton içerisine hacimce %1, 1.5, 2, 3 ve 5 oranlarında atık PET agregalar ilave edilerek elde edilen numuneler üzerinde birim ağırlık, çökme, basınç mukavemeti, eğilme dayanımı ve ultrases hızı deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada önce taze betonun fiziksel özellikleri belirlenmiş ve daha sonra 7, 11, 28, 56, 90 günün sonunda sertleşmiş haldeki betonun fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

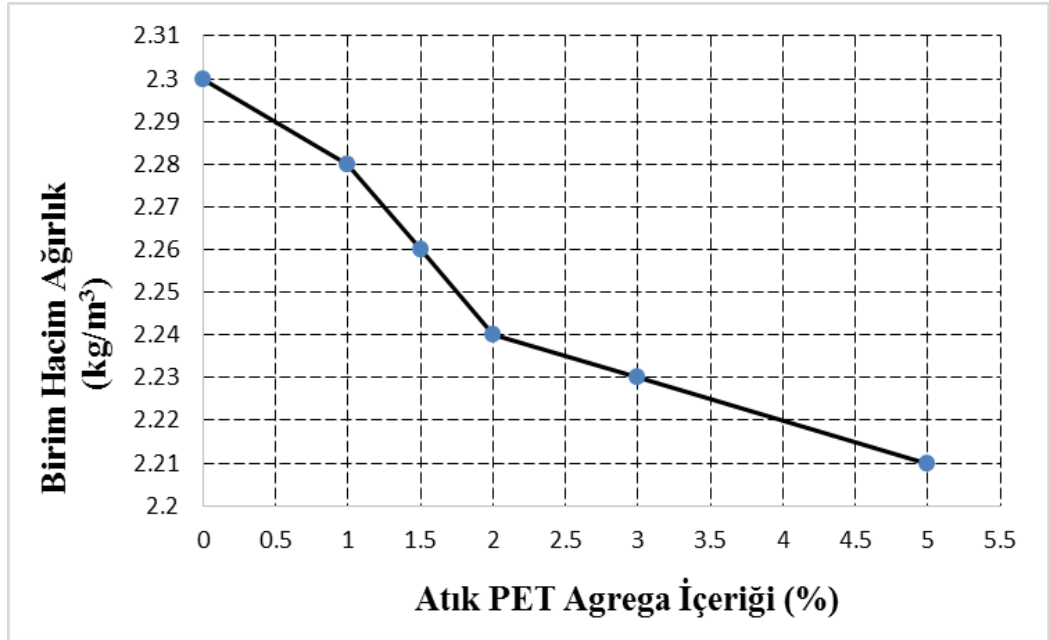
4.2. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.2.1. Birim ağırlık

Atık PET agrega ilaveli betonların birim ağırlıklarının, plastik miktarına bağlı değişimleri Çizelge 4.5 ve Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Taze betonda birim ağırlık değerleri

Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	Kontrol numuneye göre Azalma Oranı (%)
K	0	2.30	-
PB-1	1	2.28	0.7
PB-1.5	1.5	2.26	1.82
PB-2	2	2.24	2.35
PB-3	3	2.23	3.19
PB-5	5	2.21	4.11



Şekil 4.1. Taze betonun birim hacim ağırlığının atık PET miktarı ile değişimi

Elde edilen taze betonda atık PET agrega miktarına bağılı olarak birim ağırlıktaki değişim sonuçları, teorik olarak hacimsel beton karışım hesabındaki değerlerle paralellik göstermektedir. Deney sonuçları, beton içerisinde PET agrega miktarı arttıkça taze betonun birim ağırlığının da düştüğünü göstermiştir. Beton içerisine hacimce %1, 1.5, 2, 3 ve 5 oranlarında PET agrega ilavesi ile taze betonun birim ağırlığında sırasıyla oranlarında, aynı oranlardaki iri lastik ilavesi ile sırasıyla %0.7, 1.82, 2.35, 3.19 ve 4.11 azalmalar meydana gelmiştir.

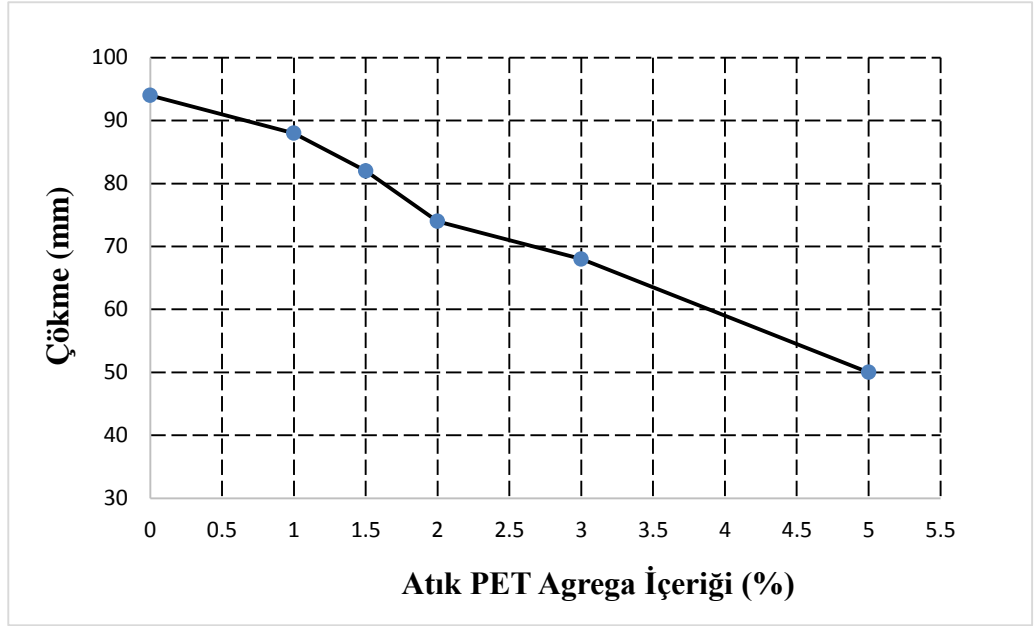
Atık PET agregaların tip ve boyutlarını göz ardına alarak, birim ağırlığının doğal olarak düşük olmasından dolayı, plastiğin miktarı arttıkça taze ve kuru betonun birim ağırlığı ve yoğunluğu düşmektedir (Batayneh *et al.* 2007; Choi *et al.* 2009; Hannawi *et al.* 2010).

4.2.2. İşlenebilirlik

Hacimce %1, 1.5, 2, 3 ve 5 oranlarında atık PET agrega ilavesiyle taze betonun işlenebilme özelliğindeki değişimi belirlemek amacıyla çökme deneyi yapılmıştır. Çökme deneyi sonuçları çizelge 4.6 ve Şekil 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.6. Taze betonda çökme miktarı değerleri

Numune Adı	Çökme Miktarı (mm)					
PB	Kontrol	%1	%1.5	%2	%3	%5
		94	88	82	74	68



Şekil 4.2. Taze betonun çökme değerinin atık PET içeriği ile değişimi

Çizelge 4.6 ve Şekil 4.2 incelendiğinde, beton içerisindeki atık PET agrega miktarı arttıkça çökme değerlerinde bir azalma meydana gelmektedir. Çökme miktarındaki değişim, plastiklerin az da olsa su emme kapasitesinden ve plastikler ile çimento harcı arasındaki yüzeysel sürtünmelerden meydana gelmektedir. Çökme miktarının plastiklerin su emme kapasitesinden ziyade plastikler ile çimento harcı arasındaki yüzeysel sürtünmelerden kaynaklandığı açıktır.

Taze betonun çökme değeri atık PET agrega birleşmesiyle, geleneksel betona göre azalmaktadır ve plastik miktarı arttıkça, çökme değerinde azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni plastik agregaların köşeli olması ve boyutlarından kaynaklanmaktadır (Ismail and Al-Hashmi 2008; Albano *et al.* 2009).

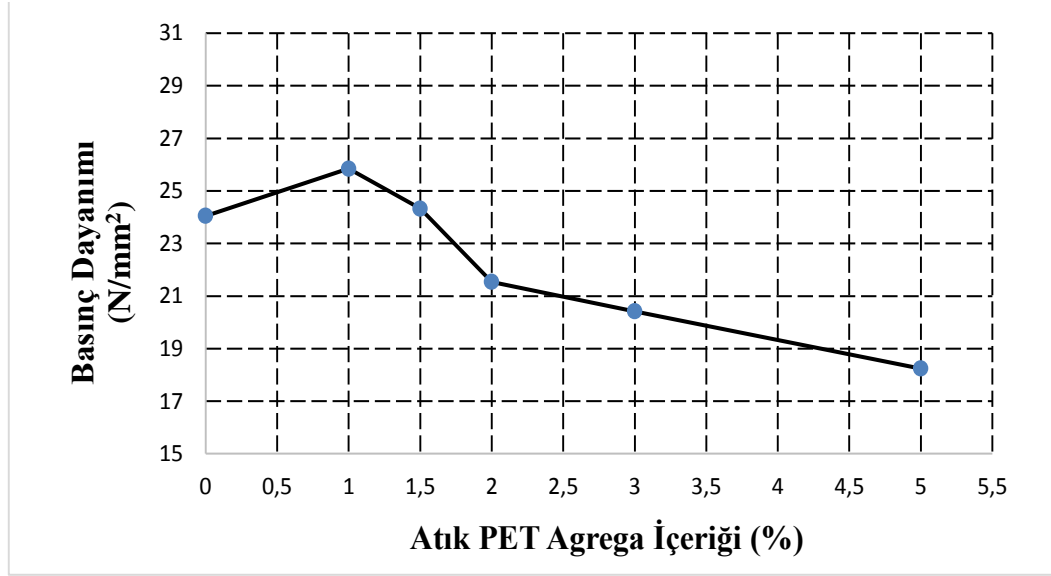
4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Belirlenmesi

4.3.1. Basınç dayanımı

Bu çalışmada, atık PET agrega içeren ve içermeyen beton numunelerin basınç dayanımları 7, 11, 28, 56, 90 günün sonunda belirlenmiştir. Deney sonuçları çizelgelerde ve şekillerde verilmektedir.

Çizelge 4.7. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı değerleri

Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	24.05	-
PB-1	1	25.85	+6.96
PB-1.5	1.5	24.33	+1.17
PB-2	2	21.54	-11.62
PB-3	3	20.42	-17.77
PB-5	5	18.24	-31.85



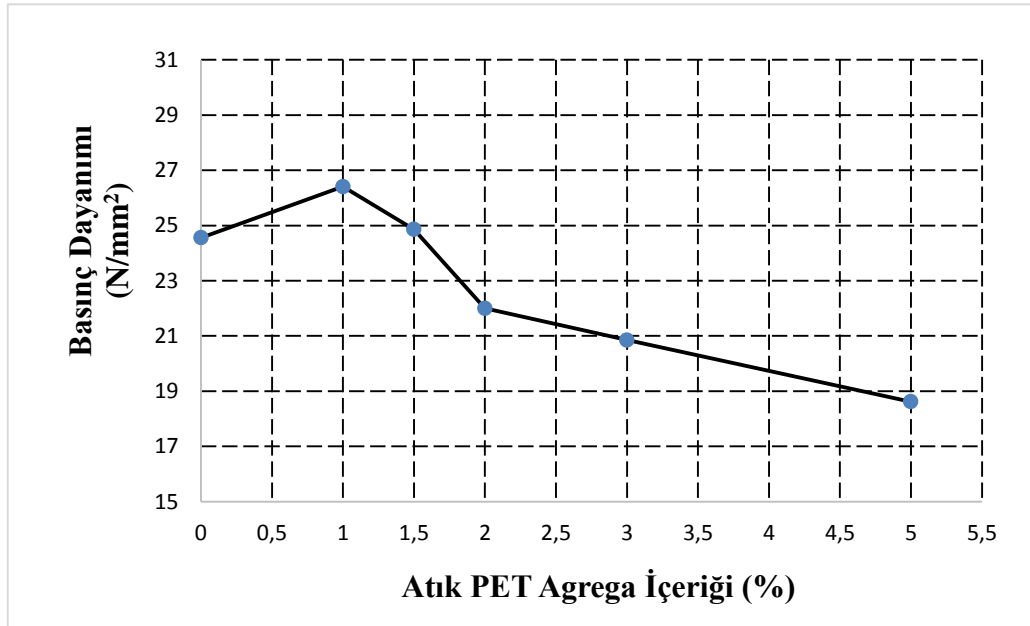
Şekil 4.3. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı değişimleri

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi beton içerisindeki atık PET agrega miktarı %1 ve %1.5 olunca basınç dayanımı sırasıyla %6.96 ve %1.17 artıyor ve %1’de PET agrega doldurucu rolü oynamaktadır. %1.5’tan sonra PET agrega miktarı arttıkça basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.3’ten de görüldüğü gibi atık PET agrega ile çimento harcı arasındaki yapışma yüzeyinin az olması basınç dayanımında azaltıcı rolü oynamıştır ve basınç miktarı %31.85’e kadar düşmektedir.

Benzer çalışmalarda ise atık PET agregaların betonda miktarı %10 olunca, 28 günlük kür ortamında makul basınç dayanım ($21-30\text{N/mm}^2$) değerleri göstermektedir. Yazara göre betonda 28 günlük basınç dayanımı 60 günlük değerlere yakındır. Onlara göre kırılma tipi, boşlukların oluşumu, düşüklenebilirlik gibi faktörlerden dolayı basınç dayanımın doğal agregalı betona göre düşük olmasını açıklamaktadır. Betonda daha büyük pul pul agrega kullandığımızda ince PET agregaya göre basınç dayanımın azalması belirgindir. Araştırmacılara göre PET agregaların boyutları ve şekilleri basınç dayanımı etkilemektedir (Albano *et al.* 2009; Frigione 2010).

Çizelge 4.8. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 11 günlük basınç dayanımı değerleri

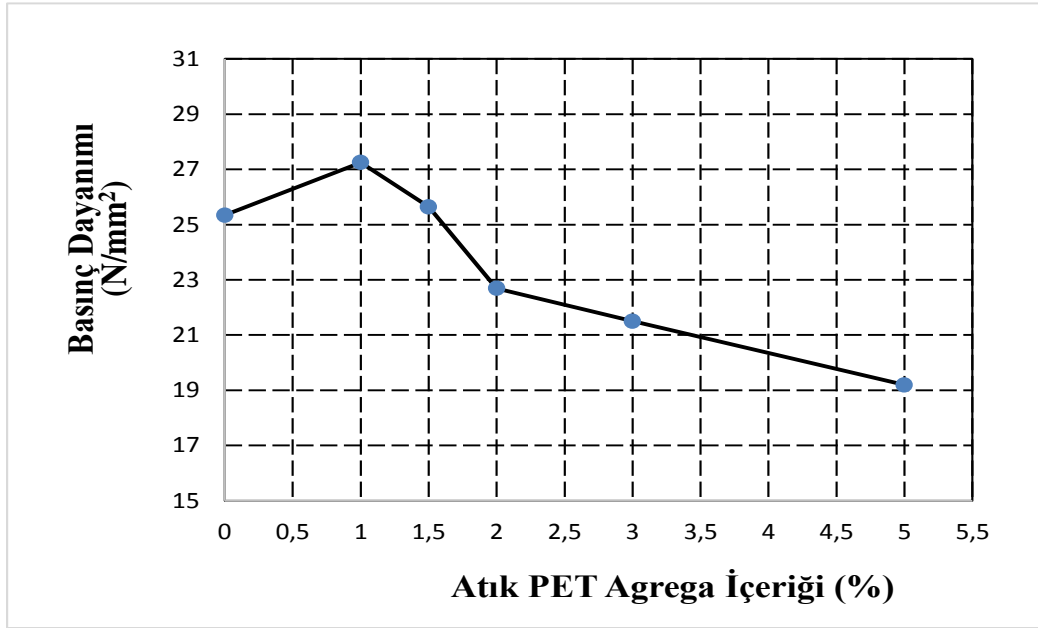
Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	24.56	-
PB-1	1	26.41	+6.98
PB-1.5	1.5	24.86	+1.17
PB-2	2	22	-11.65
PB-3	3	20.85	-17.81
PB-5	5	18.62	-31.92



Şekil 4.4. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 11 günlük basınç dayanımı değişimleri

Çizelge 4.9. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri

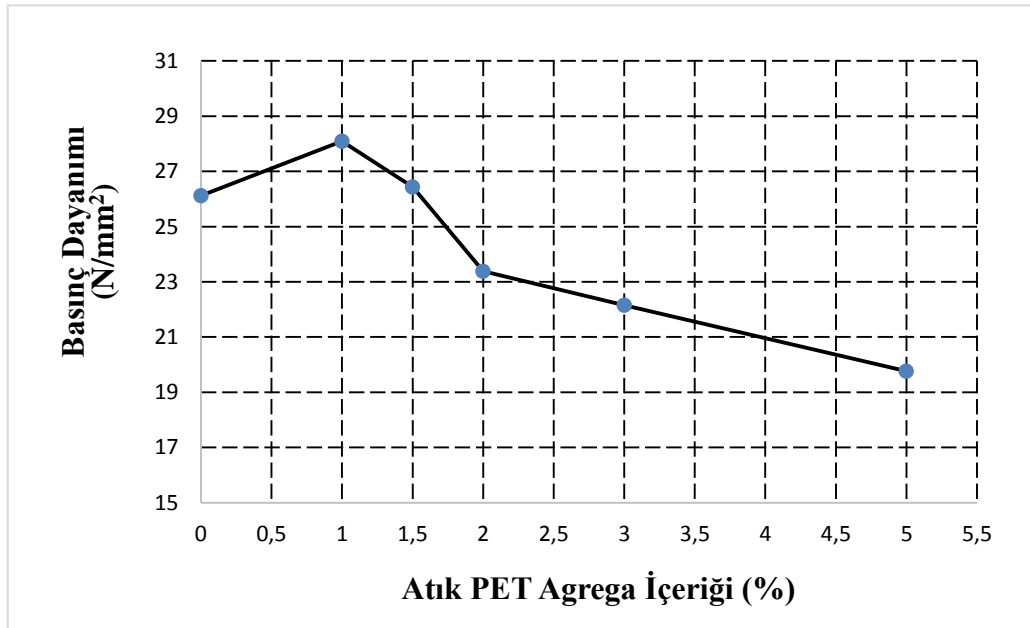
Numune Adı	Atık PET Agregası İçeriği (%)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	25.34	-
PB-1	1	27.25	+6.99
PB-1.5	1.5	25.64	+1.17
PB-2	2	22.69	-11.68
PB-3	3	21.50	-17.87
PB-5	5	19.19	-32.04



Şekil 4.5. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değişimleri

Çizelge 4.10. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 56 günlük basınç dayanımı değerleri

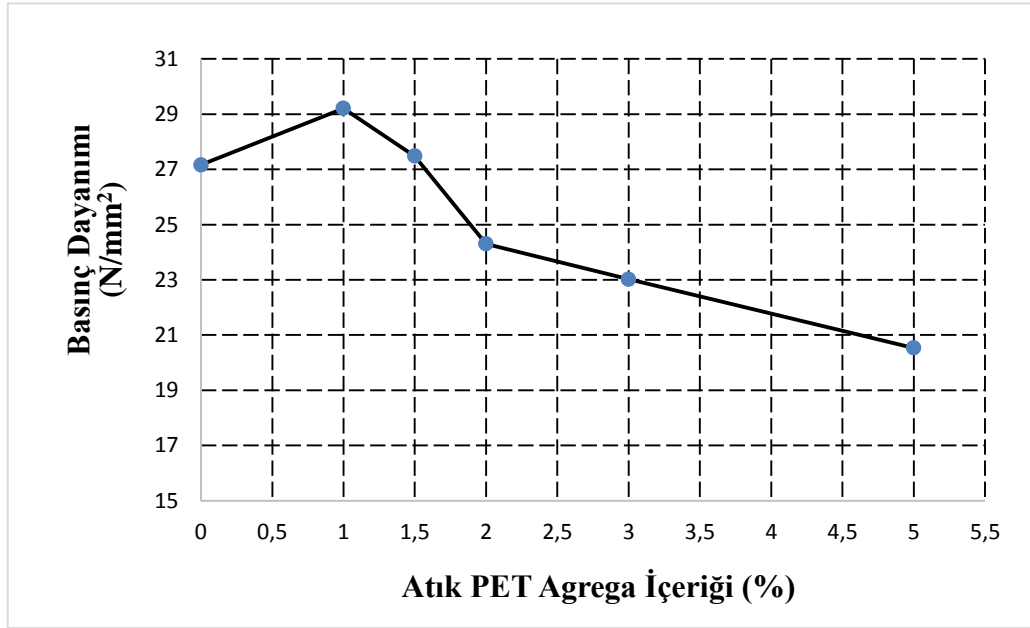
Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	26.12	-
PB-1	1	28.09	+7.01
PB-1.5	1.5	26.43	+1.18
PB-2	2	23.38	-11.72
PB-3	3	22.15	-17.92
PB-5	5	19.76	-32.15



Şekil 4.6. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 56 günlük basınç dayanımı değişimleri

Çizelge 4.11. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 90 günlük basınç dayanımı değerleri

Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	27.16	-
PB-1	1	29.21	+7.03
PB-1.5	1.5	27.48	+1.18
PB-2	2	24.30	-11.76
PB-3	3	23.02	-17.99
PB-5	5	20.53	-32.28



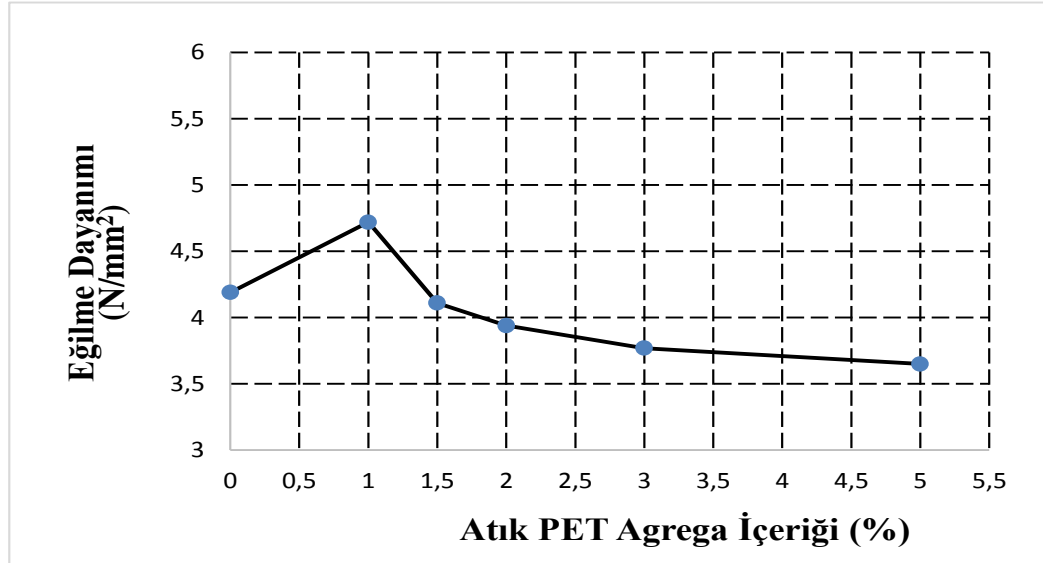
Şekil 4.7. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 90 günlük basınç dayanımı değişimleri

4.3.2. Eğilme dayanımı

Bu çalışmada, atık PET agrega içeren ve içermeyen 7×7×28 cm küp beton numunelerin 7, 11, 28, 56, 90 günlük eğilme dayanımları belirlenmiştir. Deney sonuçları çizelgelerde ve şekillerde verilmektedir.

Çizelge 4.12. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 7 günlük eğilme dayanımı değerleri

Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	4.19	-
PB-1	1	4.72	+11.22
PB-1.5	1.5	4.11	-1.94
PB-2	2	3.94	-6.34
PB-3	3	3.77	-11.14
PB-5	5	3.65	-14.79

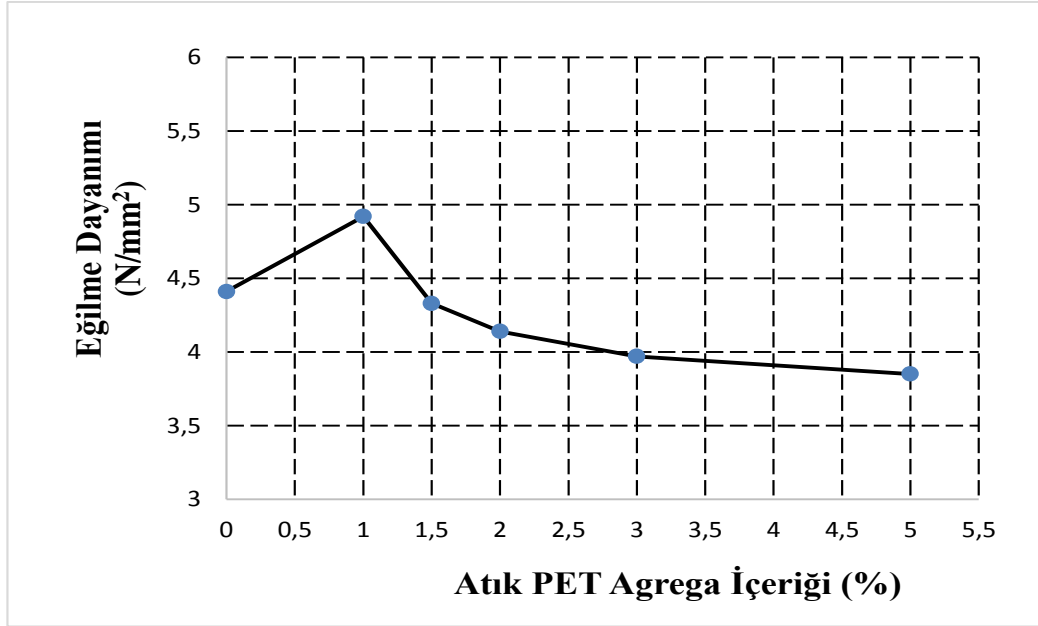


Şekil 4.8. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 7günlük eğilme dayanımı değişimleri

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.8 incelendiğinde, atık PET agrega ilaveli betonların 7günlük eğilme dayanımları değişiklik göstermektedir. Basınç dayanımındaki düşüğe rağmen, atık PET ilavesi betonun eğilme dayanımını bir miktar artırmıştır ve PET agrega miktarı %1 olunca eğilme dayanımda %11.22 artmıştır ve ondan sonra eğilme dayanımı düşmektedir. Ayrıca deney sonunda kontrol numunesi tamamen kırılıp ikiye ayrılmasına rağmen plastik ilaveli betonlar tamamen kırılmamıştır. Özellikle plastikler beton içerisinde lif etkisi göstermişlerdir. Deney sırasında açıklık ortasından bir komparatör yardımıyla ölçülen deformasyon değerleri plastik ilaveli betonlarda daha fazla çıkmıştır. Yani beton içerisindeki plastik ilavesi, betona bir miktar esneklik kazandırmıştır (Batayneh *et al.* 2007; Ismail and Hashmi 2008).

Çizelge 4.13. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 11 günlük eğilme dayanımı değerleri

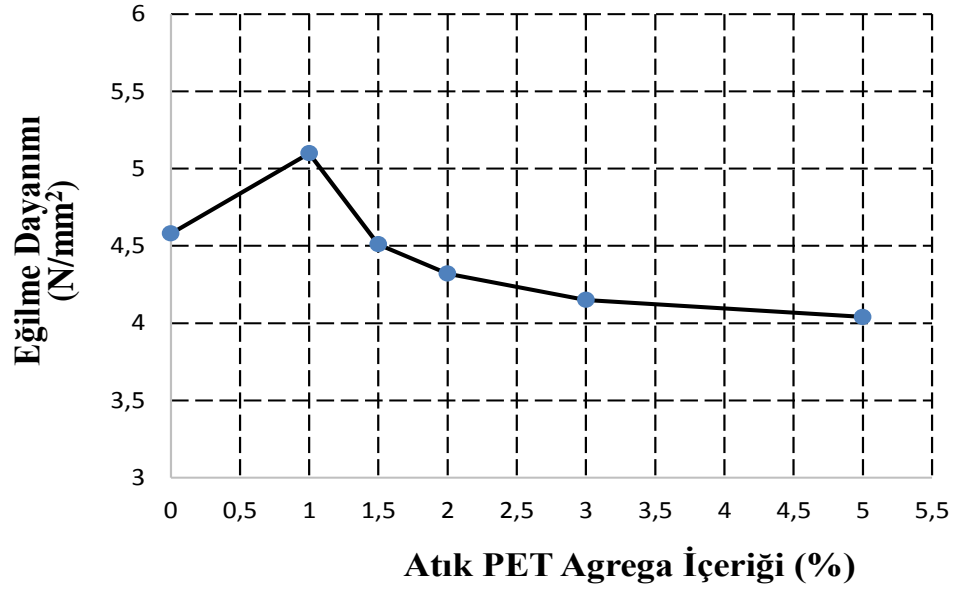
Numune Adı	Atık PET Agregası İçeriği (%)	Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	4.41	-
PB-1	1	4.92	+11.22
PB-1.5	1.5	4.33	-2.32
PB-2	2	4.14	-6.52
PB-3	3	3.97	-11.08
PB-5	5	3.85	-14.54



Şekil 4.9. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 11günlük eğilme dayanımı değişimleri

Çizelge 4.14. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımı değerleri

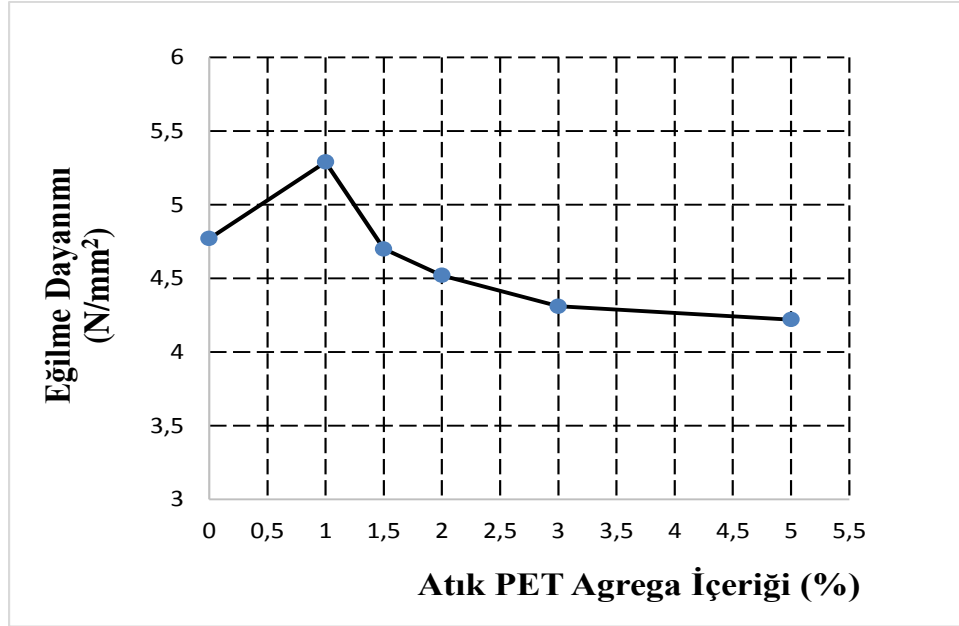
Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	4.58	-
PB-1	1	5.10	+10.19
PB-1.5	1.5	4.51	-1.55
PB-2	2	4.32	-6.01
PB-3	3	4.15	-10.36
PB-5	5	4.04	-13.36



Şekil 4.10. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımı değişimleri

Çizelge 4.15. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 56 günlük eğilme dayanımı değerleri

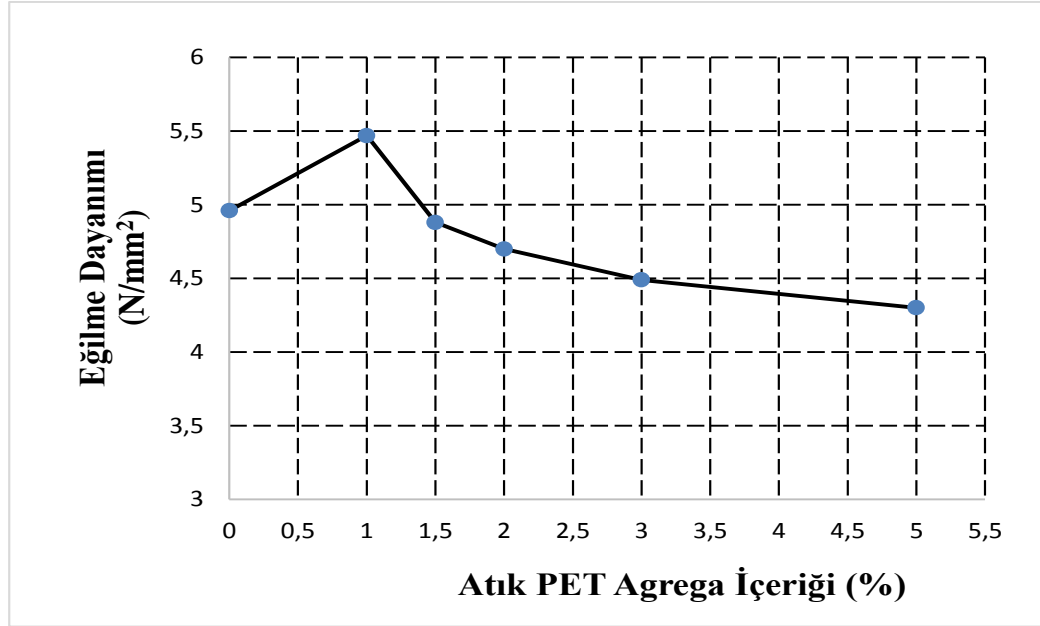
Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	4.77	-
PB-1	1	5.29	+9.82
PB-1.5	1.5	4.70	-1.48
PB-2	2	4.52	-5.53
PB-3	3	4.31	-10.67
PB-5	5	4.22	-13.03



Şekil 4.11. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 56 günlük eğilme dayanımı değişimleri

Çizelge 4.16. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 90 günlük eğilme dayanımı değerleri

Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Kontrol numuneye göre değişme Oranı (%)
K	0	4.96	-
PB-1	1	5.47	+9.32
PB-1.5	1.5	4.88	-1.63
PB-2	2	4.7	-5.53
PB-3	3	4.49	-10.46
PB-5	5	4.30	-13.95



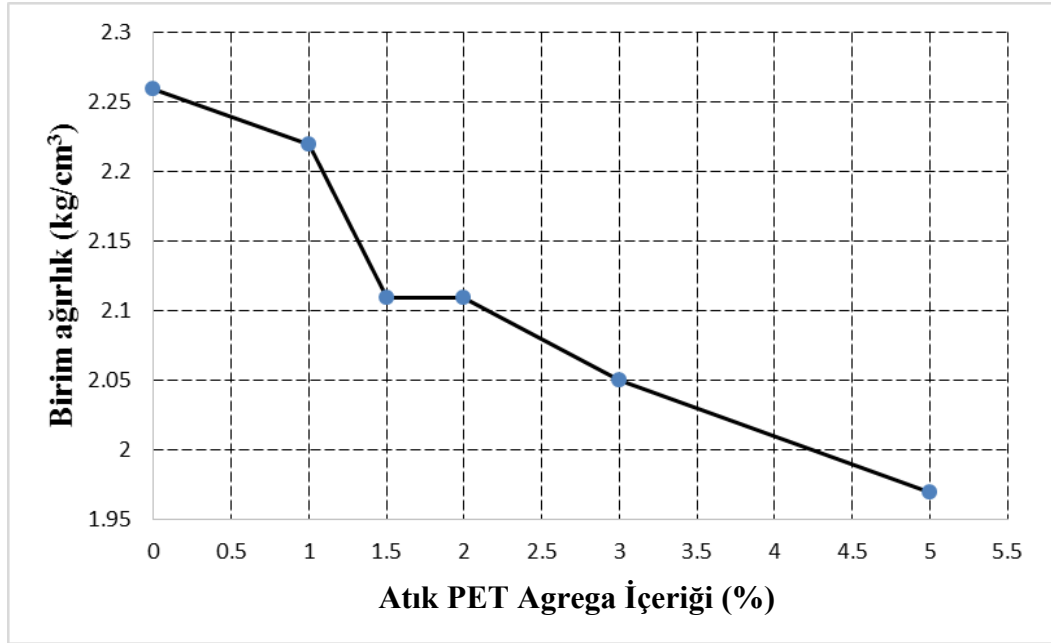
Şekil 4.12. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 90 günlük eğilme dayanımı değişimleri

4.3.3. Birim ağırlık

28 günlük basınç numuneleri üzerinde yapılan birim ağırlık deney sonuçları Çizelge 4.17 ve Şekil 4.13'te verilmektedir.

Çizelge 4.17. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin 28 günlük birim ağırlık değerleri

Numune Adı	Atık PET Agrega İçeriği (%)	Ortalama Birim Hacim Ağırlık(kg/m ³)	Kontrol numuneye göre azalma Oranı (%)
K	0	2.28	-
PB-1	1	2.21	- 2.79
PB-1.5	1.5	2.15	-5.95
PB-2	2	2.10	-8.36
PB-3	3	2.06	-10.35
PB-5	5	1.99	-14.51



Şekil 4.13. Atık PET agregası ilaveli beton numunelerinin 28 günlük birim ağırlık değişimleri

Beton içerisindeki plastik miktarı arttıkça sertleşmiş betonun birim ağırlığında taze betonda olduğu gibi bir azalma meydana gelmiştir ve yapı elemanlarında oldukça hafiflik kazandırmaktadır. Bir karışımda %5 PET agregası normal agregayla yer değiştirdiğinde %14.51'e kadar bir hafiflik var.

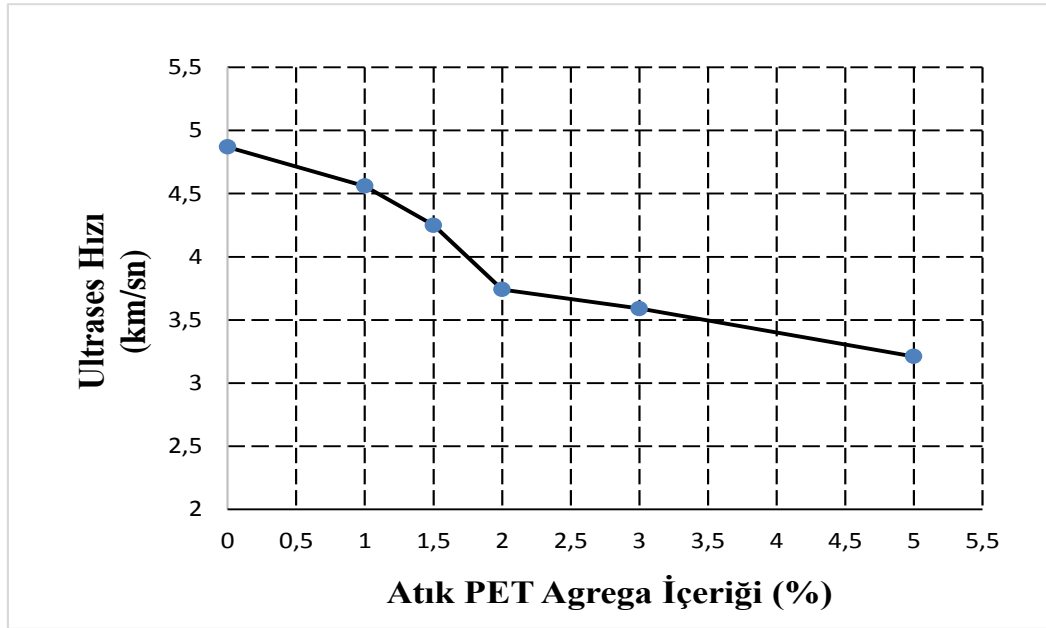
Atık PET agregalarının tip ve boyutlarını göz ardına alarak, birim ağırlığının doğal olarak düşük olmasından dolayı, plastiğin miktarı arttıkça taze ve kuru betonun birim ağırlığı ve yoğunluğu düşmektedir (Choi *et al.* 2009; Hannawi *et al.* 2010).

4.3.4. Ultrasonik ses hızı deneyleri

Hasarsız deney yöntemlerinden biri olan ultrasonik ses hızı ölçümü bu çalışma kapsamında yapılmıştır. Atık PET agregası ilavesi ile beton numunelerin ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler Çizelge 4.18 ve Şekil 4.14'de verilmektedir.

Çizelge 4.18. Atık PET agrega ilaveli beton numunelerinin ultrases hızı geçiş süreleri

Numune Adı	Ultra Ses Hızı (km/sn)					
	Kontrol	%1	%1.5	%2	%3	%5
PB	4.87	4.56	4.25	3.74	3.59	3.21

**Şekil 4.14.** Atık PET ilaveli betonların ultrases geçiş hızı değişimleri

28 gün sonunda basınç numuneleri üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı değerleri beton içerisindeki plastik agrega içeriği arttıkça azalma göstermiştir. Burada, plastik agregaların beton içerisindeki boşlukları doldurduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 2.2'ye göre sonuçlarda iki sınıf beton görünmektedir hem mükemmel kalite olan hemde şüpheli.

ASTM C597'ye göre atık PET agregalı betonların kütle yoğunluğu düşmektedir dolayısıyla betonun elastisite modülü azalmaktadır ve PET agregalar ultrases dalgaların yayılma düzenini bozmakla ultrases hızı da azalmaktadır (Marzouk *et al.* 2007).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, atık PET agregası ile üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Doğada çok zor bozulup, parçalanabilen ve atıldıkları çevrede uzun yıllar olumsuzluklar ortaya çıkaran plastikler ülkemizde de katı atıkların önemli bir miktarını oluşturmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesi ve ekonomimize geri kazanılması amacıyla yapılan bu çalışma, atık PET agregayla hacimce yer değiştirmesi göz önünde bulundurulduğunda; basınç ve eğilme dayanımları, birim ağırlık ve ulturases deneye göre %5 oranına kadar plastik katkısının kullanılabilceği belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen 7, 11, 28, 56 ve 90 günlük sonuçlar irdelendiğinde şunları söylemek aşağıda belirtildiği üzere mümkündür.

1. Taze beton üzerinde yapılan fiziksel özelliklerden biri olan birim hacim ağırlık deneyi sonucunda, beton içerisindeki atık PET agregası miktarı arttıkça betonun birim hacim ağırlığı azalmıştır.
2. Beton içerisindeki PET agregası miktarının, taze betonda çökmeyi azaltıcı yönde etkiyaptığı gözlenmektedir.
3. Beton içerisindeki atık PET agregası miktarı arttıkça basınç dayanımında bir azalma gözlenmektedir. Fakat %1 %1.5’de basınç dayanımı sırasıyla %6.96 %1.17 artmaktadır. Neden ise beton boşluklarının PET agregası tarafından doldurulmasıdır.
4. Plastik agregası ilaveli betonların eğilme mukavemetleri beton içerisindeki plastik agregası miktarına göre farklılık göstermektedir. Burada plastik agregaları, şekillerinden dolayı beton içerisinde lif etkisi göstermişlerdir. Plastik agregası ilavesi betonun eğilme

dayanımını olumlu yönde etkilemiştir ve %1 agrega hacmi olarak eğilmedayanımında %11.22 artış göstermektedir.

5. Sertleşmiş betonun birim ağırlık değerleri, beton içerisindeki plastik agrega miktarı arttıkça azalma göstermiştir. Plastiğin birim ağırlığı normal agregadan az olduğu için PET agreganın miktarı arttıkça numunenin birim ağırlığı düşmektedir.

6. Beton içerisindeki plastik agrega miktarı arttıkça, ultrases geçiş hızı değerlerinde birazalma meydana gelmiştir. Betonunun boşlukları atık PET agregayla dolduğundan dolayı ses dalgası zor geçmektedir.

7. Beton içerisine plastik agrega ilavesi ile daha hafif yapı elemanları üretilebilmektedir. Özellikle plastik ilaveli betonların eğilme ve basınç dayanımları incelendiğinde, basınç ve eğilme dayanımındaki iyileşme, bu şekilde elde edilmiş betonların en büyük artışı olarak ortaya çıkmaktadır.

8. Plastik agregalar ile çimento harcı arasındaki yapışma özelliğinin artırılması gerekmektedir. Çeşitli katkı maddeleri (uçucu kül, pirinç kabuğu, yüksek fırın cürufu, farklı bağlayıcı malzeme kullanımı vs.) kullanılarak bu özellik geliştirilebilir.

9. Beton içerisindeki agrega kalitesi ve çimento miktarı artırılarak ve S/B oranı azaltılarak beton kalitesi daha da iyileştirilebilir. Bu şekilde dayanım artırılarak, yüksek dayanım istenen uygulamalarda önerilebilir.

10. Yapılan bu çalışmanın, şimdiye kadar bu konuda yapılmış çalışmalara katkı sağlayacağı, bundan sonra yapılacak çalışmalara örnek teşkil edeceği, atık bir malzeme olan atık PET yönetimine ve dolayısıyla ülke ekonomisine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Azim, A., 1996. Unsaturated Polyester Resins From Poly (Ethylene Terephthalate) Waste for Polymer Concrete. *Polymer Engineering and Science*, 36 (24),2973-2977.
- Akman, M.S., 1965. Ultrasonik Titreşimlerin Betona Uygulanması. *İTÜ Dergisi*, (23),9-18.
- Akman, S., 1976. Betonda Dayanıklılık Özelliği ve Önemi. İnşaat Fak. Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Akman, S., 1987. YAPI MALZEMESİ. İTÜ Yayınları.
- Albano, C., Camacho, N., Hernandez, M., Matheus, A., Gutierrez, A., 2009. Influence of content and particle size of pet waste bottles on concrete behaviour at different w/c ratios. *Waste Manage*, 29, 2707–16.
- Anonim 1999. TS 3530 EN 933-1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu. TSE, Ankara.
- Anonim, 1980. TS 3529, Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini. TSE, Ankara.
- Anonim, 1985. TS 802, Beton Karışımı Hesap Esasları. TSE, Ankara.
- Anonim, 2000. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarım Kuralları. TSE, Ankara.
- Anonim. 2001. Plastik Ürünleri Sanayii, DPT, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara
- Anonim, 2002a. TS 12350–2, Beton–Taze Beton Deneyleri, Bölüm 2, Çökme (Slamp) Deneyi. TSE, Ankara.
- Anonim, 2002b. TS EN 12390–5, Beton Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 5, Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- Anonim, 2002c. TS EN 12350–1, Beton–Taze Beton Deneyleri, Bölüm 1, Numune Alma. TSE, Ankara
- Anonim, 2002d. TS EN 206–1, Beton–Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. TSE, Ankara.
- Anonim, 2003. TS EN 12390–3, Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 3, Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara
- Anonim, 2006. Ambalaj ve Geri Dönüşüm,
- Anonim, 2009a. TS ISO 3310–2, Deney Elekleri–Teknik Özellikler ve Deneyler–Bölüm 2: Delikli Metal Plakalı Deney Elekleri. TSE, Ankara
- Anonim, 2009b. TS ISO 3310–1, Deney Elekleri–Teknik Özellikler ve Deneyler–Bölüm 1: Metal Tel Örgülü Deney Elekleri. TSE, Ankara
- Anonim, 2013. <http://tr.wikipedia.org>
- Anonim, 2014a. <http://www.ntvmsnbc.com>
- Anonim, 2014b. <http://www.kimyaevi.org>
- Anonymous, 1977. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Concrete. ACI Publication, 103-105, Detroit.
- Anonymous, 2002a. ASTM C597, Test Method for Pulse Velocity Trough Concrete, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA.

- Anonymous, 2002b. ASTM C78, Test Method for Flexural Strength of Concrete(Using Simple Beam with Third Point Loding), Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA.
- Anonymous, 2002c, ASTM C39, Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete, Annual Book of ASTM Standarts.
- Batayneh, M., Marie, I., Ibrahim, A., 2007. Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste Manage*, 27, 1870–6.
- Bingöl, F., Tohumcu, İ., 2013. Silis dumanı ve uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özellikleri ve basınç dayanımları. *Deü mühendislik fakültesi mühendislik bilimleri dergisi*, 15(2), 31-44.
- Choi, N.W., Ohama, Y., 2004. Development and Testing of Polystyrene Mortars Using Waste EPS Solution-Based Binders. *Construction and Building Materials*, 18 (4), 235–241.
- Choi, Y., Moon, D., Kim, Y., Lachemi, M., 2009. Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. *Constr Build Mater*, 23 (8), 2829–2835.
- Cook, D.J., 1983. Expanded polystyrene concrete. en Swamy R.N. (Ed.), *Concrete Technology and Design.New Concrete Materials*, 1, 41-69.
- Erdoğan, Y.T., 1995. *Betonu Oluşturan Malzemeler*. AGREGA. Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 110.
- Erdoğan, T.Y., 1995. *Beton Karışım ve Beton Suları*. Türkiye Hazır Beton Birliği.
- Erdoğan, T., 2003. *Beton.O.D.T.Ü Geliştirme Vakfı Yayıncılık*.
- Eriç,M., 2002.*Yapı Fiziği ve Malzemesi*. Literatür Yayınları.
- Ersoy,H., 2001. *Kompozit Malzeme*. Literatür Yayınları.
- Frigione, M., 2010.*Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete*. *Waste Manage*, 30, 1101–6.
- Gavela, S., Karakosta C., Nydriotis, C., Kaselouri–Rigopoulou, V., Koliass, S., Tarantili, P. A., Magoulas, C., Tassios, D., Andreopoulos, A., 2004.*A Study of Concretes Containing Thermoplastic Wastes as Aggregates*.Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures, Barcelona, Spain.
- Gül, R., Aydın, A. C., 1998. Hızlandırıcı katkı maddelerinin betona uygulanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar. *Ulusal kimya kongresi*, Erzurum.
- Gül, R., Demirboğa, Kurt, M. R., Aydın, A.C., 2000. Freeze-Thaw Resistance Of Light Weight Aggregate Concrete. *Second Int. Symposium On Structural Lightweight Aggregate Concrete*, Norway.
- Gül, R., Demirboga, R., 2003. Thermal conductivity and compressive strength of Expanded Perlite Aggregate Concrete with Mineral admixtures, *Energy & Buildings*, 35 (11), 1155-1159.
- Gül, R., Demirboğa, R., Güvercin, T., 2006. Compressive strength and Ultrasound Pulse Velocity of Mineral admixed mortars, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 13, 18-24.
- Gül, R., Geçten, O., 1994. *Hafif Betonların Kullanılabilirliği DSİ Teknik Bülteni*, 81.
- Hannawi, K., Kamali-Bernard, S., Prince, W., 2010. Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste Management*, 30(11), 2312-20 .

- Hassani, A., Ganjidoust, H., Maghanaki, A.A., 2005. Use of Plastic Waste (Polyethylene Terephthalate) In Asphalt Concrete Mixture as Aggregate Replacement. *Waste Management & Research*, 23,322-327.
- Ismail, Z., Al-Hashmi, E., 2008. Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste Manage*, 28, 2041-7
- Jansen, D.C., Kiggins, M.L., Swan, C.W., Malloy, R. A., Kashi, M.G., Chan, R.A., Javdekar, C., Siegal, C., Weingram, J., 2001. Lightweight Fly Ash-Plastic Aggregates in Concrete Transportation Research Record, 1775,44-52.
- Joanne,W,Chin., Tinh Nguyen., Khaled Aouadi., 1998. Sorption and Diffusion of Water, Salt Water, and Concrete Pore Solution in Composite Matrices. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.
- Koide, H., Tomon, M., Sasaki T., 2002. Investigation of The Use of Waste Plastic as an Aggregate for Lightweight Concrete. *Sustainable Concrete Construction*, London, 177-186.
- Laukaitis, A., Zurauskas, R., Keriene, J., 2005. The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cement and Concrete Composites*, 27, 41-47.
- Long, A.E., Henderson, G.D. and Montgomery, F.R., 2001. Why assess the properties of near-surface concrete. *Construction and Building Materials*, 15, 65-79.
- Mahmoud, A., Halim, A.-G., 2004. Structural Material from Waste Plastic. *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 2543-2547.
- Malloy, R., Desai, N., Wilson,C., Swan, C., Jansen, D., Kashi, M., 2001. High Carbon Fly Ash / Mixed Thermoplastic Aggregate for Use in Lightweight Concrete. Society of Plastics Engineering, Annual Technical Conference, Dallas, TX, 47,2743-2751.
- Marzouk, O.Y., Dheilily, R.M., Queneudec.M., 2007.Valorisation of post-consumer plasticwaste in cementitious concrete composites. *Waste Manage*, 27, 310-8.
- Nabajyoti Saikia., Jorge de Brito., 2012. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation, *Construction and Building Materials*, 34, 385-401.
- Nabajyoti Saikiaa., Jorge de Britoa., 2013. Waste Polyethylene Terephthalate as an Aggregate in Concrete, 16(2),341-350
- Neville, A.M., 1975. *Properties of Concrete*. Sir Issac Pitman and Sons Ltd. London. 687.
- Pagev, 19.03.2008. *Türk Plastik Sanayi. Dünyada ve Türkiye’de Plastik Tüketimi*.
- Pehlivan, E., Ünal, S., Tunçsiper, B., 2004. *Plastik Ambalaj Malzemelerinin Hayatımızdaki Yeri ve Bunların geri kazanılması ve Azaltımında Çağdaş Yöntemler*.
- Plastics Europe, 04.03.2008. Association of Plastics Manufacturers. Home, Discover Plastics, Plastics Materials, PET. <http://www.plasticseurope.org>
- Polsem., 2004. *Polimer İşleme ve Geri Kazanımı Sempozyumu*, Mersin, 114-128.
- Postacıoğlu, B., 1987. *Beton, (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton)*. 177-402, İstanbul.
- Raghate Atul, M., 2012. use of plastic in a concrete to improve its properties.international. *jurnal of advanced engineering research and studies*, 1(3).

- Rebeiz, K. S., Serhal, S.P., Fowler, D.W., 1995. Shear Strength of Reinforced Polyester Concrete Using Recycled PET. *Journal of Structural Engineering*, 121(9), 1370-1375.
- Rebeiz, K.S., 1996. Precast Use Of Polymer Concrete Using Unsaturated Polyester Resin Based on Recycled PET Waste. *Construction and Building Materials*, 10 (3),215-220.
- Rebeiz, K.S., Fowler, D.W., Paul, D.R., 1991. Flexural Properties Of Reinforced Polyester.
- Schroeder, R., 1994. The Use of Recycled Materials in Highway Construction. *Public Roads*, 58 (2),32-41.
- Shehata, I., Shahram, V., Elsayy, A., Fahmy, M., 1996. The Use of Solid Waste Materials as Fine Aggregate Substitutes in Cementitious Concrete Composites. *Semisequicentennial Transportation Conference Proceedings*, Iowa State University, Iowa.
- Shulman, D., M., 1996. Lightweight Cementitious Compositions and Methods of their Production and Use. United States Patent, Patent number 5580378.
- Silvaa, D.A., Betiolia, A.M., Gleizea, P.J.P., Romana, H.R., Gomeza, L.A., Ribeiro, J.L.D., 2005. Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials. *Cement and Concrete Research*, 35(9), 1741– 1746.
- Sussman, V., Baumann, G.H., 1972. Expanded polystyrene beads lighten the load. *Soc. Plastic Eng. J*, 28,18-21.
- Tang, W.C., Lo, Y. Nadeem, A., 2008. Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 30, 403-409.
- Taşdemir, M.A., 2005. Betonun Dayanım ve Dürabiliteye göre Tasarım ve Üretimi. İMO İstanbul Şubesi, Beton Kurs Notları, 15.
- Tawfik, M. E., Eskander, S. B., 2006. Polymer Concrete from Marble Wastes and Recycled Poly(ethylene terephthalate). *Journal of Elastomers and Plastics*, 38, 65-79.
- Topçu, İ.B., Uğurlu, A., 2007. Betonda Elastisite Kuramı ve Baraj Betonları için Statik E-Modülünün Kompozit Modellerle Tahmini. *İMO Teknik Dergi*, 268, 4055-4067.
- TS 3526, TS 3673, TS 3527, TS 3814, TS635, TS 3114, TS 11222, TS 707, TS 1226 Standartları. TS 3530 EN933-1/A1 (2007), TS EN 1227 ISO 3310-1 (2007), TS EN 1227 ISO 3310-2 (2009), ASTM C 31
- TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 46s.
- TS 706, 1980. Beton agregaları.türk standartları enstitüsü, Ankara.
- TS 802., 1985. Beton karışım hesapları.türk standartları enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2002, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve
- TS3529 EN933-3, 1980, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Bölüm 3: Tane Şekli Tayini, Yassılık Endeksi.
- Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 25s. TS EN 12350-6

- V., Koliass, S., Tarantili, P. A., Magoulas, C., Tassios, D., Andreopoulos, A., 2004. A Study of Concretes Containing Thermoplastic Wastes as Aggregates. Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures, Barcelona, Spain.
- White, D.J., 2000. Microstructure of Composite Material from High-lime Fly Ash and RPET. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 12 (1), 60-65.
- Whitehurst, E.A., 1951. Soniscope Tests Concrete Structures, *J. of American Concrete Institute*, 47, 443-444.
- Wu, H.C., Sun, P., 2007. New building materials from fly ash-based lightweight inorganic polymer. *Construction and Building Materials*, 21, 211-217.
- Yeğınobalı, A., 2001. Katkılı beton mu, katkılı çimento mu-çimento ve beton dünyası, 5(30) 33-45s.
- Yeğınobalı, A., 2003. Çimento da yeni standardlar ve mineral katkılar.
- Yıldız, E., 2006. Farklı Tipteki Puzolanların Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zoorob, S.E., Suparna, L.B., 2000. Laboratory Design and Investigation of The Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement (Plastiphalt). *Cement & Concrete Composites*, 22, 233-242.

ÖZGEÇMİŞ

Ağustus 1986 tarihinde Marağa'da doğdu.İlk, orta ve lise eğitimini Marağa'da tamamladıktan sonra, 2008 yılında üniversite eğitimine Marağada AZAD Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Bilim Dalında başladı.Lisans eğitimini 2010 yılında tamamladı.Eylül 2011 yılında Türkiye'de Atatürk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim DalındaYüksek lisans eğitimine başladı.