

**T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS

**ERZİNCAN FIRAT AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN
BETONLARDA BETON TEST ÇEKİCİ VE BASINÇ DAYANIMI
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ferda ŞAN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İsmet ULUSU

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN
2022**

Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans

ERZİNCAN FIRAT AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN BETONLARDA BETON TEST ÇEKİCİ VE BASINÇ DAYANIMI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

Ferda ŞAN

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İsmet ULUSU

Bu araştırma, Erzincan’ da sürekli depremlerin yaşanmış olması ve mevcut yapılarda bulunan betonun %99’unda Fırat agregası kullanılıyor olması nedeniyle Erzincan Fırat agregası kullanılarak üretilen betonların, beton test çekici geri sıçrama değeri R ile pres basınç değerleri f_{ck} arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda farklı D_{max} ve granülometrelerde agregası kullanılarak uygulamada yaygın olarak kullanılan üç farklı (0,45; 0,50; 0,55) su/çimento (s/ç) oranlarında beton karışımları yapılmış, üretilen betonlardan alınan küp numuneler kirece doygun kür tankında bakıma tabi tutulduktan sonra 28 günün sonunda numuneler kür havuzundan çıkarılarak pres makinasında basınç deneyine tabi tutulmuştur. Basınç deneyi sırasında kırılma yüklerinin %40’ ın üzerindeki bir yük altında, en az 10 adet geri sıçrama değerleri okunmuştur. Beton test çekici değerini etkileyen en önemli faktörün agregası olduğu gözlenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak geri sıçrama ile pres değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler çizilmiştir. Sıçrama değeri R’nin, D_{max} ve s/ç oranına bağlı olarak değiştiği, D_{max} ’ ın artmasıyla ve s/ç oranının azalmasıyla R sıçrama değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, tahribatsız olarak Fırat agregası kullanılarak elde edilen betonların dayanımlarının %85’ in üzerindeki bir doğruluk ile belirlenebileceği görülmüştür.

2022, 57 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Beton test çekici, Fırat agregası, Tahribatsız deney, Yerinde basınç dayanımı tayini

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE RELATION BETWEEN SCHMIDT HAMMER AND COMPRESSIVE STRENGTH ON THE CONCRETE WHICH PRODUCE USING FIRAT AGGREGATE

Ferda ŞAN

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineer

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İsmet ULUSU

In this study, the relationship between the Schmidt Hammer rebound value R and the press pressure values f_{ck} of the concretes produced using Erzincan Firat aggregate was tried to be determined because of the continuous earthquakes in Erzincan and the fact that Firat aggregate is used in 99% of the concrete in the existing buildings. In this context, concrete mixtures in three different (0,45; 0,50; 0,55) water/cement (w/c) ratios, which are widely used in practice, were made by using aggregates in different D_{max} and granulometers, After the cube samples taken from the produced concretes were maintained in the curing tank saturated with lime, the samples were taken out of the curing pool at the end of 28 subjected to a pressure test in the press machine. During the pressure test, at least 10 rebound values were read under a load above 40% of the breaking loads. It has been observed that the most important factor affecting the Schmidt Hammer value is aggregate. Using the obtained data, graphs showing the relationship between rebound and press values were drawn. it has been observed that the jump value R changes depending on the D_{max} and w/c ratio, and the R jump value increases with the increase of D_{max} and the decrease of the w/c ratio. The results have shown that there have been seen the strengths of the concretes obtained by using non-destructive Firat aggregate can be determined with an accuracy of more than 85%.

2022, 57 Pages

Keywords: Determination of in-site compressive strength, Firat aggregate, Non-destructive method, Schmidt Hammer

TEŞEKKÜR

Erzincan bir deprem bölgesi olduğu için mevcut yapılardaki beton dayanımının hızlı ve doğru bir şekilde belirlenmesine olanak sağlayacağına inandığım Yüksek Lisans Tezimde başlangıcından bitimine kadar bana destek olan değerli hocalarıma, aileme, meslektaşlarıma, arkadaşlarıma, bazı ticari işletmelere ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırmanın her aşamasında destek veren kıymetli hocam ve danışmanım Dr. Öğr. Üyesi İsmet ULUSU'ya, yol gösterici önerilerde bulunan inşaat mühendisi Fatih SEZGİN'e, kullanmış olduğum malzemelere ulaşılması hususunda yardımlarıyla destek olan Erzincan Öz Çakıroğlu Beton işletmelerinin yetkililerine, laboratuvar malzemesi temini konusunda her türlü yardımı yapan Erzincan Test Laboratuvar ailesine, beton basınç deneylerinin yapılmasında büyük yardımlarını gördüğüm inşaat teknikerleri Mustafa BALBAN' a, Ufuk KAPLAN ve Murat ATEŞ'e, beton numunelerin hazırlanmasında emekleriyle katkı veren abim Ufuk ŞAN'a ve inşaat teknikeri abim Uğur ŞAN' a, Netcad programı kullanımında yardımını esirgemeyen Kadastro ve Mülkiyet Şefi abim Umut ŞAN'a ve grafiklerin çiziminde yardımını esirgemeyen Harun ŞEN' e minnetlerimi sunarım.

Araştırmamı; inşaat uygulamaları konusunda kendisinden çok şey deneyimlediğim babam Ahmet ŞAN ve abim İbrahim ŞAN' a ithaf ediyorum.

Ferda ŞAN

Ağustos, 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. KURAMSAL TEMELLER.....	16
3.1. Hazır Beton	17
3.1.1. Hazır beton yararları.....	17
3.2. Beton Basınç Dayanımı.....	18
3.2.1. Beton basınç dayanımına etki eden parametreler.....	21
3.2.1.1. Çimento	21
3.2.1.2. Agrega	22
3.2.1.3. Su/çimento oranı	22
3.2.1.4. Karışım suyu	22
3.2.1.5. Betonun karıştırılması	23
3.2.1.6. Betonun taşınması	23
3.2.1.7. Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması.....	23
3.2.1.8. Beton bakımı ve yaşının beton dayanımına etkileri	24
3.2.2. Beton basınç dayanımlarını belirleme yöntemleri	24
3.2.2.1. Tahribatsız yöntemler.....	25
3.2.2.1.1. Çekme çıkarma yöntemi.....	25
3.2.2.1.2. Penetrasyon yöntemi	25
3.2.2.1.3. Rezonans frekans tekniği yöntemi	25
3.2.2.1.4. Mekanik ses dalga hızı tekniği yöntemi	26

3.2.2.1.5. Ultrases yöntemi.....	26
3.2.2.1.6. Beton test çekici (schmidt hammer).....	27
3.2.2.2. Tahribatlı yöntemler.....	29
3.2.2.2.1. Gömülü numune kullanma deneyi	29
3.2.2.2.2. Karot deneyi	30
3.3. Taze Betondan Numune Alınması	31
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	33
4.1. Materyal	33
4.1.1. Agregas	33
4.1.2. Su.....	33
4.1.3. Çimento	34
4.1.4. Akışkanlaştırıcı.....	34
4.2. Yöntem.....	35
4.2.1. Agregas granülometrisi.....	35
4.2.2. Agreganın fiziksel özellikleri.....	39
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	41
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
6.1. Sonuçlar.....	46
6.2. Öneriler.....	47
KAYNAKÇA	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Agregaların alındığı lokasyonları gösteren harita (ESRI, 2021).	3
Şekil 3.1. Beton test çekicinin mekanik parçaları (Nergis, 2005).	29
Şekil 3.2. Beton karot örneği ve başlıkları hazırlanmış karot örneğinin serbest dayanım testi sırasındaki görünümü (İlhan, 2003).	31
Şekil 4.1. Granülometri eğrisi $D_{max}=16$ mm farklı su/çimento oranları için.	35
Şekil 4.2. Granülometri eğrisi $D_{max}=20$ mm farklı su/çimento oranları için.	36
Şekil 4.3. Granülometri eğrisi $D_{max}=25$ mm farklı su/çimento oranları için.	36
Şekil 4.4. Granülometri eğrisi $D_{max}=32$ mm farklı su/çimento oranları için.	37
Şekil 4.5. Kübik numunelerin hazırlanması sırasında kalıplara dökülüp bekletilmesi.	38
Şekil 4.6. Hazırlanmış kübik numunelerin deney öncesi bekletilmesi.	38
Şekil 5.1. 0.45 s/ç oranındaki betonun basınç dayanımı ile sıçrama değeri arasındaki ilişki.	41
Şekil 5.2. 0.50 s/ç oranındaki betonun basınç dayanımı ile sıçrama değeri arasındaki ilişki.	42
Şekil 5.3. 0.55 s/ç oranındaki betonun basınç dayanımı ile sıçrama değeri arasındaki ilişki.	43
Şekil 5.4. Hazırlanan kübik numunelerde agrega sıyrılması ve agreganın kırılması.	45

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. PÇ 42.5 R' nin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kimyasal bileşimi	34
Tablo 4.2. Akışkanlaştırıcı teknik özellikleri	35
Tablo 4.3. İnce agrega özgül ağırlık ve su emme kapasitesi.....	39
Tablo 4.4. İri agrega özgül ağırlık ve su emme kapasitesi.....	40
Tablo 5.1. R değerine göre f_{ck} değerinin farklı D_{max} ve s/ç oranlarında aldığı değerler..	44

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

K_1 ve K_2	Agregaya Bağlı Olarak Değişen Ampirik Katsayılar
f_{ck}	Beton Karakteristik Dayanımı
R	Beton Test Çekici Sıçrama Değeri
d	Çap
H	Hidrojen
Ca	Kalsiyum
$Ca(OH)_2$	Kalsiyum Hidroksit
$CaCO_3$	Kalsiyum Karbonat
C	Karbon
CO_2	Karbondioksit
kg	Kilogram
MPa	Mega Paskal
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
mm	Milimetre
O	Oksijen
ph	Power Hidrojen
$^{\circ}C$	Santigrad Derece
s/ϕ	Su/Bağlayıcı
h	Yükseklik
$\%$	Yüzde

Kısaltmalar

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society For Testing And Materials
PÇ	Portland Çimentosu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

UPV	Ultrasonik Geçiş Hızı
YDB	Yüksek Dayanımlı Beton (HSC)
YSA	Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı



1. GİRİŞ

Bir yapı malzemesi olarak kullanılan beton; bağlayıcı, agrega ve gereken durumlarda bazı katkı malzemelerinin katılmasıyla elde edilmektedir. Bağlayıcı, su ve çimentonun birleşmesi ile oluşur. Çimento hamuru katılaştıkça agregaları birleştirir. Bağlayıcının katılması çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyona bağlıdır (Kosmatka vd., 2002). Böylece betonun dayanımı matrisin dayanım kazanmasıyla zamanla artmaktadır.

Aynı zamanda beton, dayanıklı, güvenli, ekonomik ve bakım gerektirmeyen en önemli yapı malzemesidir (Park ve Paulay, 1991). Ayrıca beton, alt yapı yatırımlarının vazgeçilmez bir unsurudur. Beton sayesinde barajlar, tüneller, tren yolları, viyadükler, köprüler, yollar vb. yapılar yapılabilmektedir (Neville, Properties of Concrete, 1995).

Beton hacimce %75 oranında agrega, %15 oranında su ve %10 oranında çimentodan oluşmaktadır. Gereken durumlarda, belirli oranlarda kimyasal katkı maddesi ve mineral de ilave edilebilir (Dedeoğlu, 2010; Dyer, 2014). Beton niteliğini büyük ölçüde etkileyen en önemli parametre agrega özellikleri olmaktadır. Agrega; akarsu aşındırması, yağmur, rüzgâr, sel ile yüksek basınç ve sıcaklık gibi etmenlerin neticesi ile oluşumunu tamamlamış yapısında birçok değişik mineral barındıran inorganik bir malzemedir. İnşaat mühendisliği açısından agregayı oluşturan kayaçların yapısının ve niteliklerinin bilinmesi son derece önemlidir. Beton üretiminde kullanılacak agregaların mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi zorunludur. Dere ve nehirlerdeki agregaların kaynağını bu havzayı besleyen yamaçlardaki kayaçlar oluşturmaktadır. Erzincan Fırat nehrini besleyen yüzeylerdeki kayaçlar zamanla parçalanıp taşınarak Fırat Nehrine ulaşmaktadır ve daha sonra hazır beton üretiminde kullanılacak olan Erzincan Fırat agregasına dönüşmektedir. Basınç dayanımı beton kalitesinin en önemli parametresidir ve bunu etkileyen su/çimento (s/ç) oranına bağlı olarak agrega nitelikleri üzerinde de durmanın faydalı olduğu bilinmektedir.

Betonun kalitesi açısından agrega özelliklerinin ilk olarak belirlenmesi için çimentonun belirli bir ölçüde olması ve suyun ise miktarına bağlı olarak betonun özelliklerine nasıl etki edeceğinin bilinmesi gerekmektedir. Betonun işlenebilirliği, dayanımı ve geçirimsizliği gibi hususlarda agreganın özellikleri etkili olmaktadır (Postacıoğlu, 1987; Dyer, 2014).

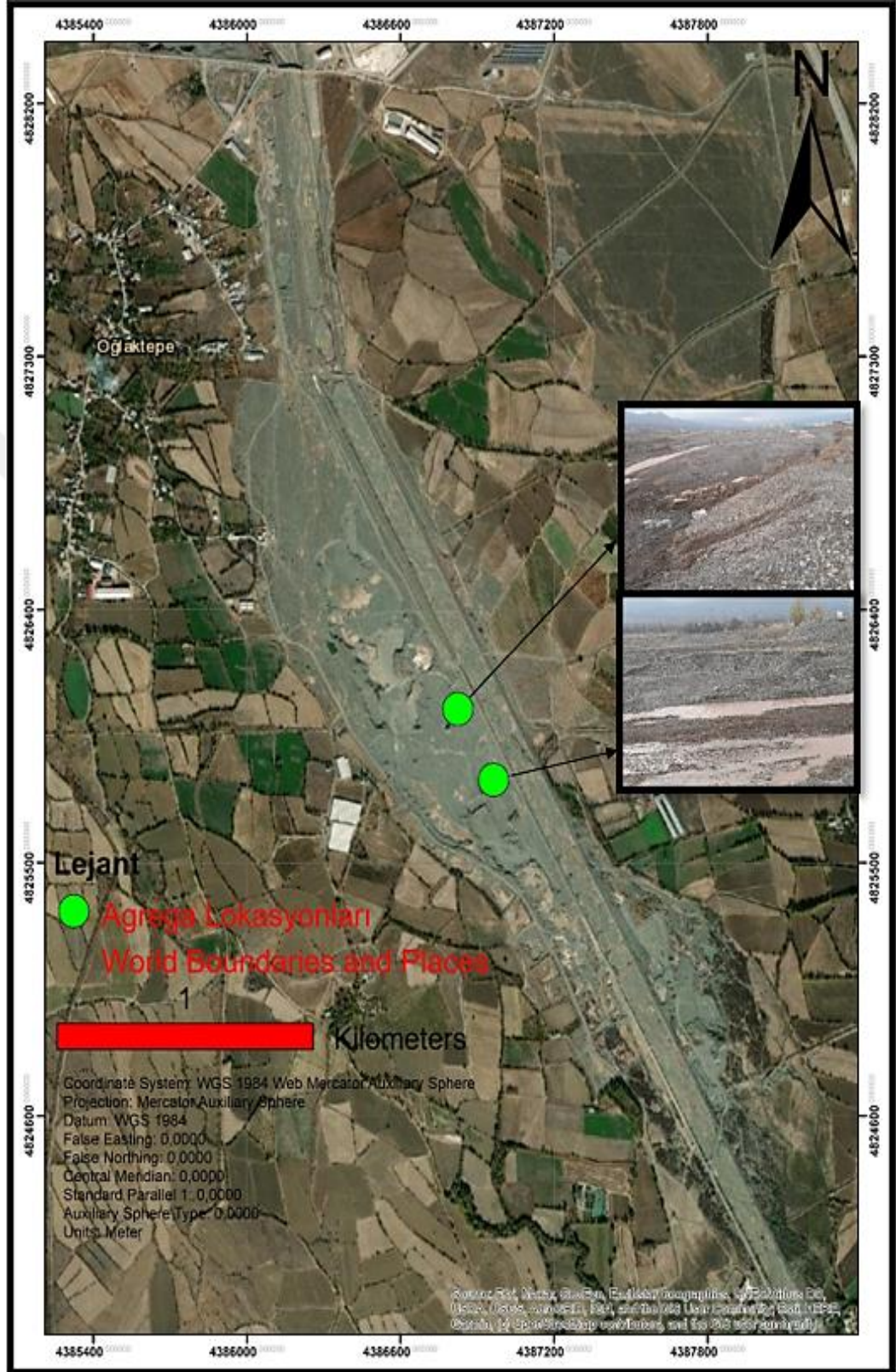
Ekonomik açıdan düşünöldüğünde, agreganın betonda kullanılan zahmetsiz ve saf bir malzeme olmasının nedeni çimentoya göre agrega maliyetinin oldukça düşük olmasıdır. Agregaya, uygulama açısından bir yapı malzemesi olarak düşük maliyetinin yanında, sertleşmiş çimento hamuru içerisinde betonun hacim farklılıklarını engellemekte, dış etkenlere karşı direncini artırmakta ve kendi dayanımı ile de betonun gereken dayanıma ulaşmasını sağlayabilmektedir (Cilason, 1992).

Betonu oluşturmak için agrega, çimento ve su kullanılmaktadır. Agregaya betonun kalitesine etkisinden dolayı betonda önemli rol oynamaktadır. Bunlar dayanım, yaş, sürdürebilirlik, homojen ve daha birçok özelliğten oluşmaktadır (Alexander ve Mindess, 2005).

Belirli bir maliyette olmasının yanı sıra beton çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Yapı sektörü açısından betonun ekonomik yönü dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, beton teknolojisinin öncelikli görevi daha ekonomik beton üretmektir (Aksüt, 2015).

Ölkemizin bir deprem kuşağında yer alması ve deprem sonrası yapılarda oluşan hasarların büyük bir bölümünün beton kaynaklı olduğu görölmektedir. Bu deprem afetinin en çok yaşandığı Kuzey Anadolu Fayı üzerinde yer alan Erzincan ilinde 1983 ve 1992 yıllarında olan depremler bu bölgede yapılarda bulunan beton kalitesinin düşüklüğünden dolayı deprem büyüklüğüne göre beklenilenin üzerinde hasar, mal ve can kaybına neden olmuştur. Daha sonra oluşması muhtemel depremlerde can ve mal kaybını ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için mevcut yapıların deprem açısından durumlarının hızlı bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Deprem davranışı açısından en önemli parametrelerden biri yapıdaki mevcut beton kalitesidir. Mevcut yapıların beton kalitesini belirlemenin birçok yöntemi vardır. Tahribatlı yöntemler çok doğru sonuçlar vermesine rağmen uzun zaman almaları, maliyetli olmaları, yapı elemanı ve yapıda zafiyetler oluşturmaları nedeniyle çok tercih edilen bir yöntem değildir (Bungey ve Millard, 1996). Yeni deprem yönetmeliklerinden sonra yapılarda hazır beton kullanımının ve beton sınıfı olarak minimum C25 kullanılmasının zorunlu hale gelmesiyle betonla ilgili problemlerin çözüldüğü kanaati oluşmuştur. Bu çalışmada Erzincan, Fırat nehri agregasından Şekil 1.1’de üretilen farklı özellikteki betonun, dayanımı ve diğer özellikleri elde edilerek beton test çekici (Schmidt Hammer) ve beton basınç dayanımı arasındaki ilişki kıyaslanmıştır.

• *Agrega temini ve konumu*



Şekil 1.1. Agregaların alındığı lokasyonları gösteren harita (ESRI, 2021).

Erzincan Fırat agregası kullanılarak üretilen betonların, beton test çekici geri sıçrama değeri R ile pres basınç değerleri f_{ck} arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Erzincan ili merkeze bağlı, Oğlak tepe köyü mevkiinde Erzincan Fırat Nehri'nden dere malzemesi alınarak, Erzincan Çağlayan yolu üzerinde merkeze 4 km uzaklıktaki Öz Çakıroğlu İnşaat San. Tic. Ltd. Şti. Tesislerinde hazır beton reçeteleri ile hazırlanan numunelerin 150x150x150 mm kaplara döküldükten sonra numuneler 1 gün laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Kür havuzuna koymak için Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarında 28 gün bekletilmiştir ve sonra havuzdan çıkarıp basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

• Çalışmanın amacı

Erzincan bir deprem bölgesi olduğundan yapılarda hasar oluşturacak bir depremin oluşma ihtimali oldukça yüksektir. Bir sonraki depreme hazırlık kapsamı doğrultusunda mevcut yapıların deprem dayanımı açısından hızlı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Burada en önemli parametre olan mevcut beton dayanımının hızlı ekonomik ve doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Dünya genelinde yapılardaki mevcut beton basınç dayanımının belirlenmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlarda tahribatlı ve tahribatsız yöntemler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Tahribatlı olanlar doğru sonuç vermelerine rağmen uzun zaman almaları, maliyetli olmaları ve yapı ve yapı elemanında tahribat oluşturduğu için çok tercih edilen bir yöntem değildir. Tahribatsız yöntemler hızlı, ekonomik ve yapı ve yapı elemanında tahribat oluşturmamasına rağmen beton basınç dayanımında yaklaşık sonuçlar verdiği için tek başına kullanımları önerilmemektedir. Tahribatsız yöntemin bir tahribatlı yöntem ile desteklenmesi önerilmektedir. Laboratuvar çalışmaları olarak ilk aşamada dört farklı D_{max} sınıfına ait agrega kullanılmış ve üç farklı s/ç oranına sahip beton numunelerinin üretimi yapıldıktan sonra beton deneyleri için kür süresi 28 gün olacak şekilde planlaması yapılmıştır. Yapılan deneylerde hazır beton santrallerinden temin edilen hazır reçeteler kullanılmıştır. Beton basınç dayanımının doğru ve hızlı tespiti için çeşitli tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemleri geliştirilmiş ve bunlar arasındaki bağıntıları belirlemek için birçok araştırma yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ketin (1948), 1939 Erzincan depremi sonrası bölgede çalışmalar yaparak, Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın varlığı ortaya koymuştur.

Malhotra (1956), sıcaklığın betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılmasının bir parçası olarak, sıradan portland çimentosu, nehir kumu ve çakıl agregası ile s/ç oranlarına sahip çeşitli karışımlar yapılmış ve 50mm çapında 100mm uzunluğunda numuneler kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. 600 °C' ye kadar olan sıcaklıkta betonun basınç dayanımı, kullanılan s/ç oranından bağımsız olduğu, ancak agrega/çimento oranından etkilendiği görülmüştür. Belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra numuneler soğutulduğunda, örneklerin basınç dayanımında daha fazla kayıp yaşandığı gözlemlenmiştir.

Sturup vd. (1984), yapmış oldukları çalışmada, betondaki çatlaklar, boşluklar ve diğer süreksizlikler ultrasonik geçiş hızı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi olumsuz olarak etkilediği dolayısıyla bu yöntemle beton basınç dayanımını doğru ve kesin bir şekilde belirlenemeyeceğini söylemektedirler.

Yip ve Tam (1988), sertleşmiş betonun yerinde dayanımını belirlemek için farklı çaplarda karot numuneleri almışlardır. Yapmış oldukları çalışma sonucunda yerinde beton dayanımını doğru olarak belirlemek için en az 50 mm çapında karotun alınması gerektiğini belirtmektedirler.

Koçyiğit (1991), Erzincan'ın kuzeybatısında, Kuzey Anadolu Fayı'nın doğu parçasında bölgenin tektoniği ve bozulma-sıkışma üzerine çalışmalar yapmıştır.

Bartlett ve MacGregor (1994), betonun dayanımını değerlendirmek için beton döküm sırasında alınan numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım test sonuçları ile yapıdan alınan az sayıdaki karot numuneleri üzerinde basınç test sonuçları arasındaki ilişki belirlenerek mevcut yapılardaki beton dayanımı hakkında yorum yapılabileceğini belirtmektedirler.

Altınok (1995), Kuzey Anadolu Fay Zonu'ndan etkilenen Erzincan ve çevresi hakkında Semi-Markov modelini kullanıp 4.5 Ms 'den büyük depremler kullanarak, sismik risk

analizi yapmıştır, havzanın doğu kesiminin büyük risk durumunu koruduğu gözlemlemiştir.

Atış vd. (2000), s/ç oranının beton dayanımı üzerindeki etkisini farklı s/ç oranları ile çeşitli betonları üreterek incelemeye çalışmışlardır. Üç farklı agrega gradasyonu için sabit dayanım ve işlenebilirlik sağlayacak beton karışımı hesaplarını yaptıktan sonra numuneler üretmişlerdir. Numuneler üzerinden çekme ve basınç dayanım sonuçlarını elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında s/ç oranının düşmesiyle beton dayanımlarının oldukça yükseldiğini görmüşlerdir. Akışkanlaştırıcı kullanımı ile işlenebilirliği sıfır olan betonlara yüksek işlenebilirlik verilebileceğini ve akışkanlaştırıcı kullanımının çekme dayanımını artırdığını belirtmektedirler.

Ni ve Wang (2000), çalışmalarında çok katmanlı besleme-ileri sinir ağları (MFNNS) kullanılarak betonun 28 günlük basınç dayanımının tahminini öngören bir yöntem geliştirmişlerdir. Burada çoklu değişken ve doğrusal olmayan problemlerle ilgilenen mevcut yöntemlerin yetersizliğini belirtmektedirler. MFNN modeli, beton basınç dayanımını etkileyen birçok faktör ve beton basınç dayanımı arasındaki karmaşık olmayan ilişkiyi uygulamak için bir araya getirilmiştir. Sinir Ağı (NN) modelleri yüksek tahmin doğruluğu ve araştırma sonuçları neticesinde NNS' nin beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde pratik ve faydalı bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

Qasrawi (2000), sertleşmiş betonun basınç dayanımını belirlemenin en uygun yönteminin karot alınarak belirlenmesi olduğunu belirtmektedir. Bu yöntemde sonuçlar üzerinde birçok faktör etkili olmaktadır. Ancak bu yöntemin maliyet ve yapı elamanında hasar gibi dezavantajlar oluşturduğunu belirtmektedir.

Demir (2001), s/ç oranı ve beton performansına akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin etkilerini çalışmıştır. Çeşitli akışkanlaştırıcı katkıları kullanılarak deneyler yapmıştır. Çalışma sonucunda akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanarak betondaki s/ç oranını azaltıp, aynı işlenebilirlikte daha yüksek dayanımlı beton elde edileceğini belirtmektedir.

Atahan (2002), düşük s/ç oranına sahip betonlarda özelliklerin çimento hamurunun boşluk yapısına duyarlılığı ve bu özellikler arasındaki korelasyonların kuvvetli ya da zayıf olmasının nedenleri üzerine çalışmıştır. Bu amaçla düşük s/ç oranına sahip betonların özelliklerinin çimento hamurunun boşluk yapısına duyarlılıklarını niceliksel olarak

tanımlayan duyarlılık katsayıları ve duyarlılık dereceleri tanımlamıştır. Deney sonuçlarında, hidrasyon derecelerinin numune yaşının ve s/ç oranının artması ile birlikte belirgin şekilde arttığını belirtmektedir.

Kabay (2002), çalışmada yapıyı temsilen donatılı ve donatısız eleman üretmiştir. Bu elemanlardan karot numunelerini alarak farklı koşullarda bekletmiştir. Karot numunelerinin basınç dayanımlarını, kontrol amacı ile üretilen beton numunelerle karşılaştırmıştır ve dayanımlardaki farklılıklar ve bu farklılıklara sebep olan faktörleri de araştırmıştır. Tahribatsız deneylerle karot numuneleri arasında bağıntılar geliştirmiştir. Bu bağıntılar ile beton basınç dayanımının tahmin etmenin mümkün olabileceğini belirtmektedir.

Karaoğlu (2002), çalışmada agrega konsantrasyonu ve diğer tüm değişkenler sabit tutularak üç farklı s/ç oranının ve yükleme yaşının sünme olayı üzerine etkisini çalışmıştır. S/ç oranının artmasıyla ve yükleme yaşının artmasıyla sünmenin yine arttığını belirtmektedir.

Türkel (2002), betonda elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki üzerine çalışmıştır. Farklı basınç dayanımlarına sahip betonlar üretmiştir. Çalışmada, çimento dozajları, s/ç oranları ve katkıları birbirinden farklı betonlar üretmiştir. Üretilen betonlar üzerinde tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapmıştır. Çalışmanın sonucunda korelasyonu yüksek bağıntılar elde etmiştir.

Felekoğlu ve Türkel (2004), yükleme hızının beton basınç dayanımına ve elastisite modülüne etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında standartlara uygun olarak hazırlanmış iki farklı dayanım sınıfına ait silindir numunelerde yaş ve gerilme faktörlerinin dayanıma etkisinin yanında elastisite modülü ile gerilme-deformasyon ilişkilerini de incelemişlerdir. Elastisite modülünün yükleme hızından etkilendiğini belirtmektedirler. Çalışmaları sonucunda numunelerde yükleme hızı arttıkça elastisite modüllerinde de artış olduğunu belirtmektedirler.

Kurbetci (2004), değiştirilmiş sıcak su yöntemi ile beton basınç dayanımının tahmini üzerine çalışmıştır. Sıcak su kürü, kaynar su kürü ve otojen kür gibi çeşitli yöntemler ile beton basınç dayanımının kısa sürede belirlenmesini geliştirmiş ve standartlaştırmıştır. Ayrıca yöntemleri farklı bileşimlerdeki betonlara da uygulamıştır. Sonuç olarak

değiştirilmiş sıcak su yönteminin, sıcak su yöntemi ile karşılaştırıldığında, 28 günlük standart basınç dayanımının belirlenmesindeki hassasiyeti önemli oranda iyileştirdiği, normal mesai saatleri içinde gerçekleştirilme ve sağlık tehlikesi oluşturmama avantajlarını koruduğunu belirtmektedir.

Filiz (2006), standart silindir dayanımları ile beton karot dayanımları arasındaki ilişkinin kür koşullarına bağlı olarak belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Elde edilen sonuçlar, kür koşulu dikkate alınmadan, karot dayanımı aracılığıyla yapıdaki beton sınıfının doğru olarak belirlenmesinin mümkün olmayacağını belirtmektedir.

Kewalramani ve Gupta (2006), tahribatsız test yöntemlerinin belirgin avantajları nedeniyle betonun basınç dayanımının bir ölçüsü olarak ultrasonik ses geçiş hızını (UPV) kullanmaya yönelik sayısız çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında, hızlı test yöntemine duyulan ihtiyaçlar sonucunda, iki farklı boyut ve şekilde numune içeren iki farklı beton karışımı için yükleme ve UPV bazında betonun basınç dayanımının tahminini yapay sinir ağları ve çoklu regresyon analizini kullanarak yapmışlardır. İki yöntem arasındaki karşılaştırmada, yapay sinir ağlarının betonun basınç dayanımını etkili bir şekilde tahmin etmek için kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

Türkel (2006), betonun basınç dayanımına numune boyutunun etkisini çalışmıştır. Çalışmasında küp ve silindir şeklindeki numunelerin boyutlarının betonun basınç dayanımına etkisini araştırmıştır. Üç farklı D_{max} ve iki farklı dayanım sınıfında beton üretimi yapmıştır. Her beton serisi için prizma şeklinde bloklar üretmiştir. Bu bloklardan farklı boyutta küp ve karot numuneler çıkarmıştır. Numunelerin kürleme işlemi yapıldıktan sonra numuneleri basınç deneyine tabii tutmuştur. Basınç deneyinin sonuçlarına göre hem karot hem küp numunelerde en yüksek değerin 100 mm boyutundaki numuneden elde ettiğini gözlemlenmiştir. Numune boyutunun 100 mm üzerine çıkması ile dayanımın azaldığı, ancak küçük boyuttaki 50 mm boyuttaki numunelerin bu kuralın dışında kaldığını belirtmektedir.

Naderi (2007), yapmış olduğu çalışmada yerinde beton dayanımının değerlendirilmesi için “Twist-off” adı verilen yenilikçi, kısmen tahrip edici bir yöntemi araştırmışlardır. Bu yöntemde, 40 mm çapında bir metal prob, yüksek mukavemetli bir epoksi reçine yapıştırıcı vasıtasıyla beton bir yüzeye yapıştırılır. Beton basınç dayanımını ölçmek için, sıradan bir anahtar kullanılarak betona moment uygulanır ve bir kalibrasyon grafiği

aracılığıyla küp basınç dayanımını tahmin etmek için maksimum tork veya kırılma anında kesme gerilmesi değerinden yararlanarak beton basınç dayanımı hakkında yorumlar yapılabileceği gözlemlenmiştir.

Bilgehan ve Turgut (2010), çalışmalarında farklı yaş ve oranlardaki farklı betonarme yapılardan alınan birçok karottan elde edilen deneysel veriler kullanılarak beton basınç dayanımı, UPV ve yoğunluk değerleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi için yapay sinir ağı (YSA) yaklaşımını kullanmışlardır. Yapmış oldukları çalışma sonucu elde ettikleri denklemleri kullanarak henüz yapılmamış betonarme yapılarda kullanılacak beton karışım hesapları için kullanılabileceği ve aynı zamanda sertleşmiş betonun dayanımını da tahminde kullanılabileceğini belirtmektedirler.

Çakıroğlu vd. (2010), beton basınç dayanımının bulanık mantık yöntemi ile tespiti için aynı adette standart küp ve silindir numuneler üretmişlerdir. Kütleme işlemi tamamlanan numunelerin pres basınç makinası ile dayanım testi sonuçlarını bulanık mantık yöntemi ile elde ettikleri dayanım sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmaları neticesinde dayanım testi sonuçlarının kabul edilebilir bir doğruluk ile tespitinin yapılabileceğini belirtmektedirler.

Gök (2010), farklı dozajlarda, s/ç oranlarında ve agregâ türlerinde hazırlanmış silindir numunelerin numune boy değişiminin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini çalışmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde, farklı boyutlardaki silindir numuneler ile standart numunenin basınç dayanımı sonucu arasında karşılaştırmalar yapmış, elde edilen verilerde, numune boy değişiminin, örnek numuneler ile standart numunenin basınç dayanımları üzerinde kesin bir etkisinin olduğunu belirtmiştir.

Sinecen ve Makinacı (2010), yapay sinir ağı yardımıyla agregaların şekil özelliklerini kullanarak sınıflandırılması üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, asfalt ve beton karışımlarında kullanılan doğal ve kırma taş agregaların görüntü işleme tekniklerini kullanarak elde edilen tanımlayıcı vektörlerin yapay sinir ağı yardımıyla sınıflandırılmasını amaçlamaktadırlar. Deneysel sonuçlar da bu tarz yaklaşımların verim, zaman ve maliyet etkenlerini de etkileyeceğini belirtmektedirler.

Başığit vd. (2012), beton sınıflarının görüntü işleme tekniği kullanılarak tahmin edilmesi üzerine çalışmışlardır. Farklı dayanım sınıfında üç farklı s/ç oranına sahip

numuneler üretmişlerdir. Numuneler üzerinde çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca görüntü işleme tekniklerini kullanarak analizler yapmışlardır. Beton basınç dayanımlarının tahmin edilmesinde görüntü işleme tekniğinin yardımcı olacağını belirtmektedirler.

Hannachi ve Guetteche (2012), betonun basınç dayanımının yerinde değerlendirilmesi için ultrasonik geçiş hızı (UPV) ve beton test çekici (BT) testleri ile tahribatlı testler arasındaki regresyon analizi modelleri uygulanarak beton kalitesini incelemişlerdir. Agregaların petrografik özelliklerinin ve betonun bileşiminin ve uygulama araçlarının beton test çekici değerlerini ve ultrasonik geçiş hızını önemli ölçüde etkilediğini göstermişlerdir. Hatalı sonuçların üstesinden gelmek ve tahribatsız testlerle basınç dayanımı tahmininin güvenilirliğini artırmak için, iki ölçüm yönteminden elde edilen değerlerin kalibre edilmesi gerektiğini belirtmektedirler.

Mardani-Aghabaglou vd. (2012), çalışmalarında 28 gün standart koşullarda kürlenmiş küp ve silindirik numuneler ile hava koşulunda bekletilen bloktan elde edilen üç farklı boyuttaki karot numunelerin basınç dayanımına etkisini incelemişlerdir. İki farklı maksimum tane boyutunda agrega ve üç farklı s/ç oranına ait altı çeşit karışım altı çeşit karışım hazırlamışlardır. Hazırlanan numunelerin kürlenme şartlarının farklı olması ve karot numunelerde kesilme işlemi esnasında hasar oluşması sonucunda numunelerde dayanım kaybı oluştuğunu gözlemlemişlerdir. İki farklı koşullarda alınan numune örneklerini kıyaslamışlardır. Hava koşullarında bekletilen bloktan alınan numuneler de dayanım azalmasının s/ç oranı ve maksimum agrega tane boyutundan kaynaklandığını belirtmektedirler.

Usta (2012), çalışmada betonun kompozitesini ve porozitesini belirleyen temel unsurun, iskeletini oluşturan karışım agregasının granülometrik özellikleri olduğunu belirtmektedir. Granülometrik özellikleri birbirinden farklı agregalar kullanarak, en ideal karışım agregasını elde etmeye yönelik yaptığı karışım hesapları ile agrega taneleri arasındaki boşluk miktarını (Porozite) minimum düzeye indirerek, maksimum doluluk (Kompozite) sağlanabileceğini belirtmektedir.

MTA (2012a), Erzincan ve çevresindeki diri fay haritalamasını derlemiştir.

Bingöl (2013), birleştirilmiş tahribatsız yöntemler ile beton basınç dayanımını tespit etmeyi amaçlamıştır. Hazırlanmış olduğu küp numunelerin kütleme işlemini tamamladıktan sonra iki farklı tahribatsız deney yöntemi ile basınç dayanımlarını tespit etmiştir. Ardından numuneleri pres cihazında dayanım testine tabi tutmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde beton dayanımının tahribatsız olarak % 85 doğruluk oranıyla belirlenebileceğini belirtmiştir.

Nikoo vd. (2013), betonun basınç dayanımını belirlemek için bir model oluşturmuşlardır. Bu modele çökme değeri, D_{max} , s/ç oranı ve çimento miktarı girildiğinde yaklaşık basınç dayanımının elde edildiğini ve elde edilen sonuçların diğer çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmektedirler.

Akande vd. (2014), betonun basınç dayanımını öngörmeye SVM (destek vektör makinesi) ve Ann'in (yapay sinir ağı) performans karşılaştırmasını yapmışlardır. SVM'nin Ann'a kıyasla biraz daha iyi bir performans gösterdiği ve oldukça kararlı olduğunu belirtmektedirler.

Özel ve Topsakal (2014), bazı verileri kullanarak beton basınç dayanımının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Alternatif bir metot olarak elde edilen veriler kullanılarak beton basınç dayanımının belirlenmesi için bir model geliştirmişlerdir. Elde edilen verilerin beton basınç dayanımının modellenmesinde kullanılabileceğini belirtmektedirler.

Zebari vd. (2016), tahribatsız bir deney yöntemi olan ultra ses dalgası yayılma hızından faydalanarak beton basınç dayanımının tespit edilmesini amaçlamışlardır. Bu deney yöntemini tercih etmelerinin nedeni yapıya hasar vermemesi ve uygulama esnasında basit ve kolay oluşudur. Elde edilen sayısal veriler ve deneysel bulguların yorumlanması neticesinde deneysel bir model geliştirmişlerdir.

Akbaş (2017), çalışmada beton nemliliğinin beton dayanımına etkisini saptamak için küp numuneler hazırlamıştır. Farklı su içerik değerlerine ait numunelere etüv işlemi uygulayarak ve belirli aralıklarla etüvden çıkararak beton test çekici, ultrases geçiş hızı ve beton basınç dayanımını yöntemlerini uygulamıştır. Sonuçları ayrı ayrı değerlendirmiş ve regresyon analizi yapmıştır. Analizler sonucunda çeşitli grafikler ve formüller elde etmiştir.

Dündar vd. (2017), Osmaniye ilinde hazır beton santrallerinde üretilen betonun kalitesinin verisel olarak değerlendirilmesini çalışmışlardır. Üç farklı beton santralinden elde edilen farklı boyutlardaki küp numunelerin basınç dayanımlarına ait verilerini kullanmışlardır. Elde edilen veriler yardımıyla basınç dayanımındaki değişimlerin yönetmeliklere uygunluğunu araştırmışlardır. Basınç dayanımı sonuçlarını ANOVA analizi testi ile çoklu karşılaştırma yöntemi uygulanarak değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda standardın belirlediği değerlerin de üzerinde dayanım elde edilerek şehirde inşaat sektörünün beton ihtiyacının önemli bir kısmını sağlayan santrallerde kaliteli beton üretimi yapıldığını belirtmişlerdir.

Güçlüer vd. (2017), Adıyaman İlinde faaliyet gösteren farklı agrega ocaklarından tedarik edilen agregalar ile numuneler üretmişler ve betonun mekanik özelliklerine olan etkilerini tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemleri ile araştırarak karşılaştırmalar yapmışlardır. Sonuç olarak amaçlanan dayanım sınıfında beton üretimini farklı agrega tipleriyle gerçekleştirmiş olup birbirleri arasındaki dayanım farklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yorumlanması gerektiğini belirtmektedirler.

Gürsel ve Erenson (2017), agrega türü ve mekanik özelliklerinin yüksek dayanımlı betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi ile ilgili olarak yapmış oldukları çalışmalarında, kökenleri farklı kayalardan elde edilen agregalar kullanılarak farklı dayanım sınıflarında, boyutları farklı, silindirik yüksek dayanımlı beton (ydb) numuneler üretmişlerdir. Laboratuvarda hazırlanan numunelere uygun koşullarda laboratuvarda hazırlanan numunelere 28 gün süreyle kür uygulamışlar daha sonra ise bu numuneleri basınç dayanım deneylerine tabi tutmuşlardır. Deneysel sonuçlarda, agrega mekanik özelliklerinin beton mekanik özelliklerini önemli derecede etkilediğini belirtmektedirler.

Ju vd. (2017), nükleer santral (NPP) yapılarının bakımı için önemli bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada farklı yaklaşımlar kullanılarak yüksek dayanımlı betonların (HSC) basınç dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Tahribatsız testler Ultrasonik test (UPV) ve Schmidt çekici (RH) ölçümleri arasındaki ikili regresyon ilişkisine dayalı olarak, bir tahmin ifadesi geliştirmişlerdir. Daha önce yayınlanmış tahmin denklemleriyle karşılaştırıldığında, bu çalışmada önerilen denklemin beton basınç dayanımını doğru bir şekilde tahminde kullanılabileceğini söylemektedirler.

Khashman ve Akpınar (2017), sinir ağırları kullanılarak beton basınç dayanımının tahribatsız tahmini üzerine çalışmışlardır. Sayısal sonuçlar, basınç dayanımının doğru bir şekilde sınıflandırılmasında yüksek verim göstermektedir ve böylece gerçek hayattaki uygulamalarda bu değerlerin kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna varmışlardır.

Öziçer ve Uyanık (2017), beton dayanımının yerinde P dalga hızında belirlenmesi için İzmir'deki farklı ilçelerden birçok binada elde edilen verilerle yapılan tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerden elde edilen beton basınç dayanım değerlerini karşılaştırmışlardır. Yerinde beton dayanımı açısından deneysel ilişkileri sunmuşlardır. Yerinde P dalga hızı kullanılarak basınç dayanımı hesaplandığında $\pm 2\text{MPa}$ 'lık bir hata ile tahmin edilebileceğini gözlemlemişlerdir. Yerinde P dalga hızının kullanımının beton dayanımı tespitinde hem zaman hem de alansal bilgi sağlayacağını belirtmektedirler.

Özel ve Kapkan (2017), kendiliğinden yerleşen betonların performans özellikleri üzerine agrega etkisini çalışmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada betonun basınç mukavemeti ve incelenmiş olan yayılma çapı değerleri ile birim hacim kütle değerleri arasında yüksek oranda ilişkinin olduğunu belirtmektedirler.

Polat (2018), Çimento türünün ve dozajının basınç dayanımına etkisini tespit etmek için silindir numuneler üretmiştir. Numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapmıştır. Elde edilen veriler sonucunda çimento dozajının artması ile basınç dayanım değerlerinde de artış olduğunu belirtmektedir.

Asteris ve Mokos (2019), hem ultrasonik geçiş hızını hem de literatür de mevcut olan beton test çekici deney sonuçlarını kullanarak betonun basınç dayanımını tahmin etmek için çalışmalar yapmışlardır. Yapay sinir ağından elde edilen sonuçların betonun basınç dayanımına güvenilir ve doğru bir şekilde ulaşılmasının mümkün olduğu düşüncesine varmışlardır.

İnel vd. (2019), mevcut yapıda beton dayanımının daha düşük sayıda karot numunesi ile tahmin edilebilirliği üzerine çalışmışlardır. Simav depremi sırasında az ve orta hasarlı olarak belirlenen çeşitli hasar görmüş binalardan alınan karot numunelerini deneye tabi tutmuşlardır. Beton basınç dayanımının katlara göre değişkenliğinin basınç dayanımını ne ölçüde yansıttığını da incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar neticesinde çalışmalarında ilgili yönetmeliklerce alınması gereken minimum karot sayısının %50'sinin kullanımın

ortalama dayanımı 8 MPa'dan yüksek binalar için mümkün olduğunu belirtmektedirler. Ortalama basınç dayanımı 8 MPa'dan daha düşük binalar içinse gerekli minimum karot sayısının %70'inin kullanımın mümkün olduğunu belirtmektedir.

Jasiński vd. (2019), çalışmalarında gaz betondan yapılmış olan blokların performanslarını belirlemeye çalışmışlardır. Burada yarı tahribatlı, tahribatsız ve ultrasonik test yöntemlerini kullanarak dayanımı belirlemeye çalışmışlardır. Elde ettikleri grafiğin dayanımını belirlemek için yeterli olduğunu belirtmektedirler.

Samadoghli vd. (2019) karot basınç dayanımının etkileyen faktörler üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada karot sonucunu betonun döküm yönü, betonun nemi ve karot içerisinde donatının olup olmaması gibi faktörlerin etkilediğini gözlemlemişlerdir. Dolayısıyla bu gibi faktörleri dikkate almadan yapılan çalışmada elde edilen değerlerin gerçek değerden çok farklı olabileceğini belirtmektedirler.

Seitablaiev (2019), beton dayanımının s/ç ve agrega/çimento (a/b) oranlarına bağlı olarak belirlenmesi üzerine yapmış olduğu çalışma kapsamında literatür de yer alan beton dayanım formüllerini incelemiştir. İncelemeleri neticesinde Çolak modelinin çalışması ile uyumlu olduğunu tespit etmiş ve bu modelin beton basınç dayanım için oldukça iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Ayrıca bu modelin maksimum basınç dayanımını veren s/ç oranının hesaplanmasına imkân sağladığını belirtmiştir.

Topçu vd. (2019), çalışmalarında agrega tipinin, a/b oranının, , ince malzemeli agrega kullanımının geçirimli betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Ayrıca üretilen geçirimli betonların uygulamada karşılaşılabilecek durumlara göre basınç dayanımlarını tespit etmişlerdir. Elde edilen deney sonuçlarına göre geçirimli beton tasarımı için kullanılan a/b oranının geçirimli betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini belirtmektedirler.

Yörübulut vd. (2019), yapı elemanlarına zarar vermeyen tahribatsız yöntemlerden, beton test çekici ve ultrasonik test cihazı ile düşük maliyet ve kısa sürede elde edilen veriler ile yapay zekâ yöntemlerinden yapay sinir ağı ve istatistiksel tahmin yöntemi olan regresyon analizini kullanarak, beton basınç dayanımının tahmin edilmesini amaçlamışlardır. Tahribatsız deney verilerini kullanarak elde ettikleri beton basınç dayanımları ile

tahribatlı yöntem olan karot numunelerinin basınç dayanımlarının birbirlerine oldukça benzer sonuçlar veren modeller olduğunu belirtmektedirler.

Asteris ve Mokos (2020), çalışmaların da mevcut yapılarda betonun basınç dayanımını tahmin etmek için yapay sinir ağlarının (Anns) uygulamasını araştırmışlardır. Yapay sinir ağı ile türetilmiş sonuçları, deney sonucu elde edilen değerler ile karşılatırmışlardır. Buradan doğru olarak yerinde basınç dayanımını tahmin edinebileceğini belirtmektedirler.

Boz ve Yılmaz (2020), Erzincan Ovası ve Yukarı Fırat havzasındaki, doğal afet kaynaklı riskleri ele alan, bölgenin genel jeolojisi, jeomorfolojisi, hidro-jeolojisi ve doğal kaynakların kullanımını ele almaktadır. Bölgenin jeolojisini esas alıp, bölgenin sistemlerini karakterize edip ayırt etmiştir. Buna bağlı olarak arazi yetenek değerlendirmesi yapılmıştır. Bölge için yeni bir planlama öne sürölüp, çevresel faktörlerden de doğacak sorunların önüne geçileceğini belirtmiştir.

Kılıç ve Gök (2021), çalışmalarında silindirle sıkıştırılmış beton tasarımı için üretilen karışımda, portland çimentosu, 4 farklı boyutta agrega ve şebeke suyu kullanmışlardır. Farklı s/ç ile yapılan karışımlarda su miktarını sabit tutmuşlar, çimento ve agrega miktarlarında değişiklik yapmışlardır. Kür süresinin basınç dayanımına etkisi için silindir, prizmatik kiriş, küp örnekleri üretmişlerdir. Elde edilen veriler sonucunda, silindirle sıkıştırılmış betonlarda s/ç oranının, basınç altında su işleme derinliği, aşınma ve eğilme dayanımı gibi betonun özelliklerine etkileri beton basınç dayanım sonuçlarını etkilediğini belirtmektedirler.

3. KURAMSAL TEMELLER

Beton, temel karışım malzemeleri (çimento, agrega ve su) ve gerekli görülen durumlarda bazı katkı maddelerinin de belirli oranlarda ilave edilip karıştırılmasıyla elde edilen, önceden plastik durumda olup, zaman geçtikçe çimento ve su arasındaki hidratasyon sonucunda sertleşerek dayanım kazanan kompozit bir yapı malzemesidir (Neville, 1995; Chen vd., 1999; Özel, 2007). Betonun; işlenebilirlik, mukavemet ve durabilite gibi en temel özelliklere karşı gereken performansı göstermesi beklenir (Neville, 1995; Aİtcin, 1998). Betonun bu özelliklerini etkileyen temel parametreler s/ç oranı, agrega yapısı ve granülometrisi, D_{max} ve kullanılan çimentonun özellikleridir. Bu nedenle beton üretiminde betonu oluşturan malzemelerin özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir.

Beton yapımında kullanılacak agreganın bazı özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu temel özellikler; agreganın mineral yapısı, granülometrisi, maksimum tane boyutu, yüzey yapısı, tane biçimi, birim ve özgül ağırlığı, su emme kapasitesi, agrega içerisindeki zararlı bilinmeyen maddelerin çeşidi ve ölçüsü, aşınma ve dona karşı dayanıklılığı, dayanım, elastiklik modülü ve ısısal özelliklerdir. Bu özellikler üretilen betonun özellikleri üzerinde etkili olan faktörlerdir. Bu özelliklerden bazıları beton karışımı içinde bulunan malzemelerin oranlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Erdoğan, 2015).

Sertleşmiş betonun en önemli özelliği basınç dayanımıdır. Bu özellik üzerinde etkili olan parametreler agrega dayanımı, s/ç oranı ve çimento miktarıdır. Su miktarı arttıkça beton daha iyi işlenebilirlik özelliği göstermektedir. Ancak s/ç oranı arttıkça betonun dayanımı azalmaktadır. Bu nedenle üretilen betonda istenilen işlenebilirliği ve dayanımı sağlamak şartı ile minimum s/ç oranı kullanılması önerilmektedir (Neville, 1995; Aİtcin, 1998). Betonun işlenebilirlik özelliğini doğrudan etkileyen özellik agrega gradasyonu (elek analizi) dir. Eğer agrega gradasyonu gereken işlenebilirliği sağlamazsa betona gerekilenden fazla su ilave edilmesi gerekir ve bu durumda s/ç oranını yükseltmekte, betonun dayanım ve dayanıklılığının düşük olmasına neden olmaktadır. Su miktarı artırıldığında buna bağlı olarak çimento miktarı da arttırılırsa, fazla miktarda çimento kullanımı durabilite ve dayanımın düşmesine, maliyetin ve rötreinin artmasına neden olacaktır (Park ve Paulay, 1991; Alexander ve Mindness, 2005; Dyer, 2014). 1992 Erzincan, 1995 Afyon, 1998 Adana-Ceyhan, 1999 Marmara depremlerinde yapıların beklenenin üzerinde hasar alması veya göçme nedenlerinin başında bu yapılarıdaki beton

kalitesinin oldukça düşük olması gelmektedir (Atımtay, 2000) . Bu yapıların büyük çoğunluğunda kullanılan betonlar inşaat sahasında ilkel yöntemlerle üretilmiş betonlardır. Bu betonlarda granülometri, s/ç oranı, çimento miktarı ve karıştırma süresi gibi parametreleri ayarlamak mümkün değildir. Bu yüzden üretilen bu betonların dayanımları çoğunlukla proje beton dayanımının oldukça altında kalmaktadır. Yapılardaki beton problemini çözmek için 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde 150 m²lik alan üzerindeki yapılarda hazır beton kullanımı zorunluluğu getirilmiştir.

3.1. Hazır Beton

Kullanıcıya gönderilmek üzere hazırlanmış şekil verilebilen ve sertleşmemiş haldeki betona hazır beton denilmektedir (ASTM C 94).

Hazır beton ana dilleri İngilizce olan bazı ülkelerde ready-mixed concrete (hazır karıştırılmış beton) olarak adlandırılmaktadır. Başka bir ifadeyle, karışım için gerekli malzemelerin karıştırılma işlemi tamamlandıktan sonra sahaya gönderilen, yapıda uygulama için hazır duruma getirilmiş taze betondur (Neville, 1995; Erdoğan, 2015).

Diğer ülkelere kıyasla hazır beton sektörü Türkiye’ de yenidir. Hazır beton sektörünün ilk üretimine başlandığı ülke Almanya’dır. Türkiye’de ise Ankara’ da ilk hazır beton üretimine 1976 yılında başlanmıştır (Karakule vd., 2004). Bu üretim ile beraber taze betonun inşaat alanında üretilmesi ile hazır beton olarak üretilip kullanılması durumu karşılaştırıldığında hazır beton üretiminin beton üretimi ve kalitesine sağladığı birçok yarar bulunmaktadır.

3.1.1. Hazır beton yararları

Taze betonun geleneksel yöntemlerle inşaat alanında üretilerek kullanılması durumu ile hazır-beton olarak temin edilerek kullanılması durumu karşılaştırıldığında, hazır-beton üretiminin ve kullanılmasının sağlayabileceği önemli yararlar şunlardır: (Dewar ve Anderson, 1992; Erdoğan, 2015)

- 1- Hazır beton, geleneksel yöntemle üretilen betona göre genellikle daha iyi bir kalite kontrolüne tabi tutulmaktadır.

- 2- Hazır betonda agrega granülometrisi, s/  oranı ve  imento miktarının kontrolü mümkündür.
- 3- Agrega yıkanarak kullanıldığı için agrega içerisinde  imento bağlayıcılığını etkileyecek silt-kil ortadan kaldırılmış olur.
- 4- Hazır beton karışımında kullanılacak bütün malzemeler deneylere tabi tutularak uygunlukları kontrol edilir.

Betonun  retimi ve kullanılmasında dikkate alınan temel özellikler basınç dayanımı ve işlenebilirliktir. Betonun basınç dayanımı ile işlenebilirliği arasında dolaylı bir ilişki vardır. Betonun basınç dayanımı diğer özellikleri üzerinde de etkindir (Neville, 1995; A tcin, 1998).

3.2. Beton Basınç Dayanımı

Beton basınç dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı kırılma ve şekil değiştirmelere karşı, betonun gösterebileceği maksimum dayanma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır (Dyer, 2014; Erdoğan, 2015). Çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın yeterince yüksek olmaması durumunda ya da  imento hamurunun veya agreganın yeterli dayanıklılığı göstermemesi durumunda betonda yük altında kırılmalar meydana gelmektedir. Başka bir ifadeyle, agreganın dayanımı,  imento hamurunun dayanımı ve agrega taneleri ile  imento hamuru arasındaki aderansın ne kadar iyi olduğuna bağlıdır (Dyer, 2014; Erdoğan, 2015). Beton için yapılan araştırmalarda, betonun bazı özelliklerinin basınç dayanımı ile aynı doğrultuda olduğu görülmüştür (şimşek, 2007).

Sertleşmiş betonun yeterli dayanım kazanmasıyla beraber, su ge irirmliliğinin düşük olması, durabilite ve yeterli dayanımı göstermesi gibi diğer bazı özelliklere de sahip olması beklenir. Beton basınç dayanımı beton özellikleri içinde en çok aranılan özelliktir (Neville, 1995; A tcin, 1998; Erdoğan, 2015). Basınç dayanımı sertleşmiş betonun özellikleri içerisinde en kolay belirlenen özelliktir. Betonun basınç dayanımı ile diğer özellikleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu kabul edilmektedir (Neville ve Brooks, 1987). Betonun basınç dayanımı birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler; karışım oranları, karıştırma yöntemleri ve k r koşulları, taşıma, yerleştirme ve test yöntemine bağlıdır (Ni ve Wang, 2000). Betonun en önemli mekanik özelliği olan basınç dayanımı genellikle 28

gün kür tankında bekletilmiş betonlar üzerinde yapılır. Yapının ilk zamanlarında betonun basınç dayanım özelliği bilinmemektedir. Beton üretim firmaları oldukça rekabetçidir. Bu tür şirketler genellikle gerçek karışım oranlarının belirlenebilmesi için sınırlı bütçe kullandıkları için çoğu zaman ideal karışım oranlarına ulaşamazlar. Saha çalışmaları yapıların inşası açısından önem arz etmektedir. Bu firmalar genellikle istenilen işlenilebilirlik ve dayanımı sağlayacak beton karışım oranlarını belirlemek için laboratuvarlarda araştırmalar yapmaktadır. Laboratuvardaki uzman eleman birçok karışım oranlarını deneyerek görmelidir. Bu zaman alıcı süreç hem malzeme israfına hem de daha yüksek maliyetli betonun hazırlanmasına neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı her bina için ayrı ayrı bir beton karışımı yapmak yerine betonun bu özelliklerini tahmin etmek için bir metot geliştirilmelidir (Neville ve Brooks, 1987; Ni ve Wang, 2000). Beton çimento, çakıl (iri agrega), kum (ince agrega), yeterli ve kontrollü miktarda su ile uygun şekilde karıştırılmasıyla oluşturulan insan yapımı bir malzemedir. Tecrübeler göstermiştir ki taze betonun s/ç oranları, çimento miktarı, su miktarı ve kıvamları gibi parametreleri belirlenen sınırlar dâhilinde tutularak betonun önemli özelliklerinin kontrol edilebileceğini göstermiştir (Neville, 1995; Aİtcin, 1998). Taze betonun verileri rutin olarak toplanır ve bu veriler kalite kontrolü için kullanılır. Yapılan çalışmalar da taze beton verileri kullanılarak betonun uzun vadeli dayanım ve durabilitesi tahmin edilebilmektedir (Ni ve Wang, 2000). Beton dayanımını etkileyen faktörler olarak aşağıdaki parametreleri saymak mümkündür. Bu faktörler; çimentonun tipi, s/ç oranı, su miktarı, çimento dozajı, maksimum iri agrega boyutu, ince agrega boyutu, incelik modülü, ince agrega iri agrega oranı, agrega/çimento (a/b) oranı, çökme değeri, kür koşulları ve test sonuçları olarak sayılabilir (Neville, 1995; Aİtcin, 1998; Erdoğan, 2015). Su geçirimsizliğin düşük ve durabilitenin yüksek olması, betonda dayanımın yüksek olmasına neden olmaktadır.

Yapı tasarımcıları için betonun en önemli mühendislik özelliklerinden biri beton basınç dayanımıdır. Belirli bir beton karışımının basınç dayanımının dereceye göre sınıflandırılması standart endüstriyel uygulamadır. Bu değeri ölçmek için kübik veya silindirik beton numuneleri bir basınç test makinesinde test edilir. Test ihtiyaçları, farklı tasarım kodları ve ülkeler açısından değişiklik göstermektedir. Beton basınç dayanımı, 28 gün sonra test edilen 150 mm boyutundaki küplerin veya 150mm/300mm silindir numunelerin karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) cinsinden verilir. Beton dayanımının

kontrolü için üretimden 7 gün sonra basınç testleri yapılır. Bu sonuçlar çimento türüne bağlı olarak hedef dayanımının %65-70' ine ulaşması beklenir. Bu test sonuçlarının bir geçerliliği yoktur. Sadece 28 gün sonucunda hedef dayanımına ulaşp ulaşamayacağını kontrolü için yapılır. Karakteristik dayanım, deney sonuçlarının %5' inden fazlasının altına düşmemesi beklenen betonun dayanımı olarak tanımlanır. İnşaat sektörü genellikle çok çeşitli testlerle ilgilenir. Betonun basınç dayanımı ve diğer malzeme özellikleri ölçülürken izlenen prosedüre bağlı olarak manuel kontrol veya otomatik kuvvet kontrollü test ekipmanları kullanılır. Bazı deney yöntemleri, yükleme hızını belirli bir değer veya aralıkla belirtir veya sınırlarken, diğer yöntemler çok düşük hızlarda çalışan deney prosedürlerine dayalı veri ister. Beton, basınç dayanımı yüksek çekme dayanımı düşük bir yapı malzemesidir. Betonun çok düşük olan çekme dayanımı betonarme hesaplarda genellikle dikkate alınmadığından, üzerinde durulan en önemli özelliği basınç dayanımıdır.

Beton basınç dayanımı, tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere iki yöntemden biri kullanılarak belirlenir. Bu yöntemlerden biri olan tahribatlı yöntemde, mevcut yapıdan alınan karot numune sonuçlarının doğruya en yakın olmasının yanında bu yöntemin uygulanması maliyetli, uzun zaman alması ve elamanı veya yapıyı zayıflatması nedeniyle çok tercih edilen bir yöntem değildir (Bungey ve Millard, 1996). Tahribatsız yöntemlere bakıldığında hızlı, ekonomik olmasına rağmen, sonuçların %60' a varan hata içermesi nedeniyle tek başına bu yöntemlerin uygulanması önerilmemektedir. Tahribatsız yöntemler, betonun karmaşık yapısı nedeniyle genellikle testin uygulanması basit olmasına rağmen, test verilerin de analiz ve yorumlanması karmaşıktır (Aydın ve Sarıbiyık, 2007). Tahribatsız yöntemlerin sonuçları tek başlarına güvenilir olmadıklarından tahribatlı bir yöntemle desteklenmesi önerilmektedir (Bungey ve Millard, 1996). Tahribatsız yöntemlerden biri olan ve sahada en yaygın olarak kullanılan beton test çekici değerlerinin tahribatlı bir yöntemle desteklenmesi önerilmektedir (Bungey ve Millard, 1996; Erdoğan, 2015). Bu çalışmada mevcut yapıların deprem açısından durumlarını belirlemek için gerekli olan beton basınç dayanımını belirlemek için beton test çekici sıçrama değeriyle pres basınç değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesine çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar agrega yapısına, s/ç oranına ve maksimum agrega çapına bağlı olarak değiştiği için bu tür çalışmaların her bölge için ayrı ayrı yapılması daha uygun görülmüştür.

3.2.1. Beton basınç dayanımına etki eden parametreler

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörleri iç ve dış faktörler olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Betonun oluşturan malzeme çeşidi ve oranları iç faktörler iken, betonun üretimi, bakımı ve maruz kalacağı etkilere karşı gösterdiği direnç dış faktörlerdir. (Neville, 1995; Aİtcin, 1998; Baradan vd., 2012; Erdoğan, 2015). Beton dayanımında etkili olan iç faktörlere; çimento çeşidi, s/ç oranı, agrega özellikleri, kullanılan mineral katkıları, betonun boşluklu yapısı vb., dış faktörlere; beton dökümü, kür sıcaklığı ve koşulları, basınç dayanımı deney koşulları vb. örnek olarak verilebilir (Mehta ve Monteiro, 1997). Sertleşmiş betondan beklenen dayanımın elde edilebilmesi için yapılması gerekli olan diğer işlemler; betonun karıştırılması, taşınması, yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi ve uygun şartlarda bakımının yapılması işlemleridir. Basınç dayanımı değer bakımından betonun mekanik özellikleri içerisinde en önemli yere sahiptir. Bu özelliği nedeniyle yapılarda uygulanan betonun, basınç gerilmelerini karşılayacak şekilde tasarımı yapılmalıdır (Gök, 2010).

3.2.1.1. Çimento

Kullanılan çimentonun türü ve miktarı basınç dayanımını etkileyen faktörlerden biridir. Çimento fabrikalarında kullanılmak üzere temin edilen malzemeler ayrı yerlerden alınmakta ve eşit kalitede olmamaktadır. Çimento fabrikalarında üretilen ürünler için yapılan kontrollerin ve kalite metodlarının farklı olması durumları düşünüldüğünde her çimento fabrikasının çimento sınıfı ve ürünü aynı olsa dahi üretilen ürünün kalitesinin farklı olabilmesi mümkündür. Beton dayanımının yüksek olmasında yüksek dayanımlı çimentonun etkisi çok büyüktür. Beton yapımında kullanılan çimentonun dozajının artması dayanımı az da olsa artırırken, dayanımın sadece çimento miktarı ve dayanımı ile ilgili olmadığı asıl nedenin s/ç oranı olduğu net bir şekilde görülmektedir. Karışım hesabı yapılacak betonun, ilk olarak korozyon ve karbonatlaşma etkisi ile dış etkenlere bağlı olarak karışımda kullanılacak en düşük çimento dozajı belirlenmelidir. Buradaki hedef, dış etkenler karşısında beton yüzeyinin ve donatı çeliğinin korunmasını sağlamakla beraber çimentonun agreganın bütün boşluklarına yayılmasını sağlamaktır. Bu yüzden karbonatlaşma olayı betonun dayanıklılığı üzerinde önemli rol oynamaktadır (Akman, 1990; Neville, 1995).

3.2.1.2. Agregalar

Beton yapımında kullanılacak agregaların fiziksel ve mekanik faktörler (aşınma, donma-çözülme, ısınma-soğuma, sert ve sağlam olması vb.) karşısında dayanım özelliği göstermesi gerekmektedir. Yüksek dayanımlı ve sert agregalar çoğunlukla nehir yataklarından elde edilmiş agregalardır. Daha ekonomik ve daha yüksek dayanıma sahip beton üretebilmek için beton karışımı içerisindeki agregaların yoğunluğunun yüksek ve tane büyüklüğü dağılışının (gradasyon) iyi olması gerekmektedir (Kemper ve Rosenau, 1986). Agregaların basınç dayanımlarının belirlenebilmesi için öncelikli olarak agregayı oluşturan kaya parçalarının dayanım özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

3.2.1.3. Su/çimento oranı

S/ç oranının basınç dayanımına etkisine ilişkin kapsamlı deneysel çalışmalar ilk olarak Duff Abrams yürütülmüştür. Abrams dayanım ile s/ç oranı arasındaki ilişkiyi 1919 yılında *su/ çimento kanunu* olarak açıklamış ve şöyle belirtmiştir:

$$f_c = K_1 / K_2^{s/ç} \quad (3.1)$$

Bu formüldeki f_c = Beton dayanımı, $s/ç$ = Su/çimento oranı, ve K_1 ve K_2 = Agregaya bağlı olarak değişen ampirik katsayılar' dır. S/ç oranı yükseldikçe, betonda segregasyon riski artmakta ve fazla olan su betonun içerisinde zamanla buharlaşarak boşluklu yapı oluşturmaktadır. Bu boşluklu yapı betonun hem durabilitesini hem de dayanımını düşürmektedir (Neville, 1995; Erdoğan, 2015).

3.2.1.4. Karışım suyu

Üretilen betonla kullanılan suyun içinde bulunabilecek yabancı maddelerin oranları, dayanıma, dayanıklılığa, priz süresine ve korozyona olumsuz etki yaratacak derecede çok olmamalıdır. Karışım suyu, taze betondan istenilen işlenebilmeyi sağlaması ve beton karışımı içerisinde bulunan çimentonun kimyasal reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için gerekli miktarda kullanılması gerekmektedir (Neville, 1995, Aitcin, 1998, Erdoğan, 2015). Betonda kullanılacak suyun miktar bakımından ölçütünün (az ya da çok) beton özellikleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Az olması

durumunda betondan istenilen işlenebilme ve hidratasyon karşılanamamakta, fazla olması durumunda ise beton içerisinde boşluk miktarları artmakta, dayanım ve dayanıklılık azalmaktadır.

3.2.1.5. Betonun karıştırılması

Taze betonda yer alan malzemelerde ayrışma (segregasyon) olmaması ve düzgün dağılıma sahip bir beton üretilebilmesi için uygun malzemelerin uygun miktarlarda bir araya getirilip karıştırılmaları işlemi sırasındaki geçen sürenin gerekilenden daha uzun ya da daha kısa olmaması gerekmektedir. Karılma süresi çok kısa tutulduğu takdirde, malzemelerin düzgün dağılımı sağlanamamaktadır (Neville, 1995; Aİtcin, 1998; Baradan vd., 2012; Erdoğan, 2015). Karılma süresi çok uzun tutulduğunda ise, hem iri agregalarda kırılmalar, ufalanmalar meydana gelebilmekte hem de beton karışımının sıcaklığı yükselmektedir. Agregalardaki ufalanmalar, istenilen kıvamın elde edilememesine ve ihtiyaç duyulan suyun gerekilenden fazla olmasına neden olmaktadır. Su miktarının artırılması, beton dayanımının azalmasına, s/ç oranının artmasına sebep olmaktadır.

3.2.1.6. Betonun taşınması

Beton dayanımının olumsuz etkilenmemesi için taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi işlemleri sırasında betonda segregasyona neden olunmamalı ve betonun düzgün dağılımı sağlanmalıdır (Dyer, 2014).

3.2.1.7. Betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması

Betonun basınç dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri beton içerisindeki boşluklardır. Bu boşlukların nedenlerinden biri yerleştirilme probleminden kaynaklanmaktadır. Boşluklar üzerinde etkili olan diğer faktör kıvamdır. Kıvamı düşük olan betonlarda yerleştirmeden kaynaklanan boşluklar oluşabilir. Yerine yerleştirilen taze betonun içerisinde istenirse de gereğinden fazla boşluklar oluşabilmektedir. Betonun bu durumda sertleşmesi halinde beton dayanımı oldukça düşmektedir (Dyer, 2014; Erdoğan, 2015). Yerine yerleştirilen taze betonda dayanımın etkisinin çok büyük olabilmesi için uygun şekilde sıkıştırılma işlemlerinin gerçekleştirilmesi ve yerleştirilen betonun olabildiğince az boşluklu yapıda olması gerekmektedir. Beton, harçla dolmuş iri

agrega tanelerinden ve bu tanelerin aralarında rastgele yayılmış hava boşluklarından oluşmuştur. Gelişigüzel yayılmış olan büyük miktardaki havanın yer aldığı beton, kalıbın iç yüzeyindeki ve betonarme betonların içerisindeki demir donatılarının üzerindeki her noktaya temas halinde değildir. Hapsolmuş hava dışarı çıkartılmadığı ve betonun bu haliyle sertleşmesine izin verilmesi durumunda, sertleşmiş betonun dayanıklılığı, dayanımı ve görünümü istenilen düzeyde olmamaktadır (Baradan vd., 2012; Erdoğan, 2015). Vibratör adı verilen aletler aracılığıyla kalıbına yerleştirilmiş taze beton içerisindeki havanın uzaklaştırılması ile betondaki boşluk oranının daha az olması sağlanabilmektedir (Mehta ve Monteiro, 1997). Beton bakımı ve yaşının beton dayan

3.2.1.8. Beton bakımı ve yaşının beton dayanımına etkileri

Betonun kazanacağı dayanımın hızını ve miktarını, taze betonun üretim sürecinden yerleştirilme sürecine kadar geçen süredeki karşılaşacağı sıcaklık ortamı ve daha sonra uygun sıcaklık ve nem ortamında tutulma süresi, çimentodaki hidratasyonun hızı ve ölçüsü gibi faktörler etkilemektedir (Neville, 1995; Aİtcin, 1998; Erdoğan, 2015). İlk zamanlarda betonun dayanım kazanma hızı önem taşımaktadır. Yeterli miktardaki hidratasyonu istenilen sürede yapmamış ve bu duruma bağlı olarak iyi dayanım kazanamamış durumdaki betonların kalıpları söküldüğünde, beton üzerine gelen yükleri taşıyamamakta, çatlamlar ve ayrıca göçme olmaktadır. Bu nedenle, yeterli miktardaki sıcaklığın ve suyun, yerine yerleştirilmiş taze betonun içerisinde bulundurulması ve betonun korunması, özellikle ilk zamanlardaki hidratasyonun normal hızda seyredebilmesini sağlamaktadır.

3.2.2. Beton basınç dayanımlarını belirleme yöntemleri

Betonun %75 oranında agrega içermesi, agregayı betonun dayanımını etkileyen en önemli faktör haline getirir (Mehta ve Monteiro, 1997). Betonun basınç dayanımını agreganın tane dağılımı, agreganın geometrisi, agreganın pürüzsüzlüğü ve gözenekli yapıda olup olmaması, agreganın petrografik ve içerdiği mineraller, kil-silt boyutundaki oran tarafından etkilenmektedir. Aynı zamanda s/ç oranı, betonun yaşı gibi faktörler de basınç dayanımını etkilemektedir. Beton basınç dayanımını belirlemek için farklı yöntemler kullanılmaktadır (Neville, 1995; Bungey ve Millard, 1996). Bu yöntemler betonun durumuna, yerinde yapılmasına ve amaca göre farklılıklar gösterebilmektedir. Betonun

basınç dayanımını belirleme de tahribatlı ve tahribatsız yöntem olmak üzere iki yöntem kullanılır.

3.2.2.1. Tahribatsız yöntemler

3.2.2.1.1. Çekme çıkarma yöntemi

Beton içerisine açılan ve kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılan bir metal parçasının çekilmesi ile betonda oluşan çekme gerilmesi belirlenmeye çalışılır. Buradaki temel amaç betonun çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi belirten ampirik bir formülün oluşturulmasıdır. 105 Mpa' a kadar olan betonlar için uygulanabilecek bir yöntemdir. Sonuç birçok faktöre bağlı olarak değiştiği için çok güvenilir değildir. (Bungey ve Millard, 1996). Bu deneyde betona statik yükleme uygulanarak gerilme analizine izin verilmektedir. Beton kırıldığında ve herhangi bir kırılma gelişmeden önceki gerilmeler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanabilir (Akçay, 2000).

3.2.2.1.2. Penetrasyon yöntemi

Bu deney yöntemin uygulanması için özel olarak tasarımı yapılmış bir tabancanın, çelik bir sondanın tetiklemesi ve rotun betonun yüzeyinden içeri girmesi ve betona girme derinliğinin ölçülmesi ile beton dayanımının belirlenebildiği tahribatsız bir deney yöntemidir. Beton test çekici deneyine göre bu deneyin teorik olarak analizleri daha karışıktır (Ergün ve Kürklü, 2005). Karbonatlaşma derecesi ve beton yaşı beton dayanım hassasiyetini etkileyecek önemli parametrelerdir. Karbonatlaşma, beton yüzeyinin altında belirli bir derinliğe kadar betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek penetrasyon derinliği etkilemektedir. Deney sonucunda sonda yüzeyden ne kadar az içeri girerse, betonun basınç dayanımı o kadar yüksek demektir (Bungey ve Millard, 1996). Bu yöntemde bulunan değerler birçok parametreye bağlı olarak değiştiği için sonuçlar çok güvenilir değildir (Bungey ve Millard, 1996).

3.2.2.1.3. Rezonans frekans tekniği yöntemi

Bu yöntem numunenin rezonans frekansının saptanması prensibine dayanmaktadır. Malzemenin rezonans frekansının belirlenmesi ve ölçülmesi için devamlı olarak yapay

titreşimler gönderilmekte ve bu frekanslara bağlı olarak elde edilen bağıntılar yardımıyla betonun poisson oranı ve dinamik elatisite modülü hesaplanabilmektedir. Daha sonra geliştirilmiş çeşitli dinamik elatisite modülü – dayanım ilişkisiyle beton dayanımı tahmin edilmektedir (Ergün ve Kürklü, 2005). Diğer tahribatsız test yöntemlerindeki gibi güvenilir sonuçlar elde edebilmek için tahribatlı bir yöntemle desteklenmesi gerekmektedir (Bungey ve Millard, 1996).

3.2.2.1.4. Mekanik ses dalga hızı tekniği yöntemi

Tek bir tabanca darbesi ya da tekrarlı darbeler ile oluşturulan ses dalgalarının beton içinden geçiş süresinin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Ölçülen geçiş süreleri yolun uzunluğuna diğer bir ifadeyle alıcı ile verici arasındaki mesafeye bağlı olarak geçiş hızına dönüştürülerek bu hızla dayanım arasında kurulan, kolerasyonla elde edilen ampirik bağıntıdan beton dayanımının tahmin edilmesi yöntemidir (Durmuş, 1996). Diğer tahribatsız test yöntemlerindeki gibi güvenilir sonuçlar elde edebilmek için başka bir test yöntemiyle karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmelidir (Bungey ve Millard, 1996).

3.2.2.1.5. Ultrases yöntemi

Ultrases yöntemi beton elemana doğru gönderilen vibrasyonel enerjinin hızının ölçülmesinden ibarettir. Bu yöntem oldukça ucuzdur ve kullanımı kolaydır ve saha koşullarında bile güvenilirirdir; ancak, operatörlerin iyi eğitilmiş olmaları ve okumaları etkileyen faktörlerin farkında olmaları gerekir. Verici prob kısa aralıklı yüksek voltajlı sinyaller gönderir. Gönderilen bu sinyaller numunenin diğer yüzeyinde alıcı prob ile alınır. Prob yüzeylerindeki hassasiyeti artırmak için her iki prob yüzeyine veya problemin temas edeceği beton yüzeylerine şeffaf vazelin türü macunlar sürülür. Vibrasyonel dalga eleman içerisinde ilerleyerek beton yüzeyinin diğer ucunda bulunan alıcı proba ulaşır. Cihaz üzerindeki ekrandan ses dalgalarının bir probtan diğer proba ulaşması için gereken süre mikrosaniye cinsinden ölçülür. Ultrases hızı verici ile alıcı arasındaki mesafenin ulaşma süresine bölünmesi ile elde edilmektedir. (Akçay, 2000). Elde edilen sonuçların tekniğe aşina olan deneyimli mühendisler tarafından uygun şekilde değerlendirilmesi ve yorumlanması da önemlidir. Sadece bu yöntemle beton basınç dayanımının tespitinin yapılması güvenilir sonuçlar vermemektedir. Güvenilir sonuçlar alabilmek için başka bir test yöntemiyle karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmelidir (Bungey ve Millard, 1996).

3.2.2.1.6. Beton test çekici (schmidt hammer)

Beton test çekici ya da Schmidt çekici olarak kullanılan cihaz, betonun dayanımını geri sıçrama verisinden yararlanılarak belirlemede kullanılan alettir. Adını, mucidinin soy isminden almaktadır. Tahribatsız yöntem ve yerinde uygulamaya sahip olması kullanımını yaygınlaştırmıştır (Schmidt, 1951; Bungey ve Millard, 1996).

Geri tepme çekici, İsviçre çekici, beton test çekici, Schmidt çekici olarak da bilinen alet, ilk olarak 1948'de Ernst O. Schmidt tarafından icat edilen, 1951'de patentini alarak, betonların mukavemetini belirlemek için kullanılan aynı zamanda geleneksel laboratuvar testlerine göre avantajları bulunan cihazdır (Schmidt, 1951). Basit, taşınabilir, ucuz ve hemen hemen çevresel koşullardan etkilenmeden kullanılabilmesi popülerliğini artırıp kullanımı da yaygınlaştırmıştır. Aynı zamanda, kullanım alanına tahribat vermediği için tercih edilir ve sismik bir olay durumunda yapısal bütünlüklerini değerlendirmek için özellikle eski binaların beton mukavemetini ölçmek için popülerdir (Mark Co, 2019).

Laboratuvar testleri genellikle zaman alıcı, pahalı, çevresel koşullara bağımlı, karot örnekleme sırasında bütünlük kaybı ve tahribata yol açması yönünden beton test çekicine göre daha arka planda kalmaktadır. Bahsi geçen nedenlerden ötürü de güvenilirliği tartışılmaktadır. Beton test çekici yöntemi tahribatsız yöntemler içerisinde en hızlı ve en ucuz olandır. Bu yöntem ile betonun hem laboratuvar da hem de saha da test edilmesi mümkündür. Bu testin temelinde betonun sertliğine bağlı olarak dayanım belirlenmektedir (Neville; 1995; Bungey ve Millard, 1996; Brozovsky, 2013; Kumavat vd., 2018).

Geri tepme mesafesi gösterge skalası tarafından gösterilir ve "geri tepme endeksi" olarak tanımlanır. Geri tepme derecesi, kayanın elastik özelliklerine bağlı olarak değişir. Önceki çalışmalarda görülen ve buna bağlı olarak, listelenen de dâhil olmak üzere çeşitli ek faktörlerin laboratuvar ve saha tarafından belirlenen indeks değerlerini etkileyebileceğini görülmektedir. Değişen derecelerde yüzey düzensizliği, darbe yüzeyi nem içeriği, kaya dokusundaki homojensizlikler, “içerdiği mineralden kaynaklı bölünme kaymalarının, yataklanma düzlemlerinin, gözenekli boşlukların ve diğer yerel anomalilerin varlığı”, test yüzeyinin yönü ve boyutu, test yüzeyi aşınmasının süresi ve derecesi gibi faktörler sonuç üzerinde etkili olmaktadır. Bu yöntemde de sonucu etkileyen parametrelerin çokluğu sonucu güvenilir olmaktan çıkarmaktadır. Bu yöntemin tek başına kullanımı

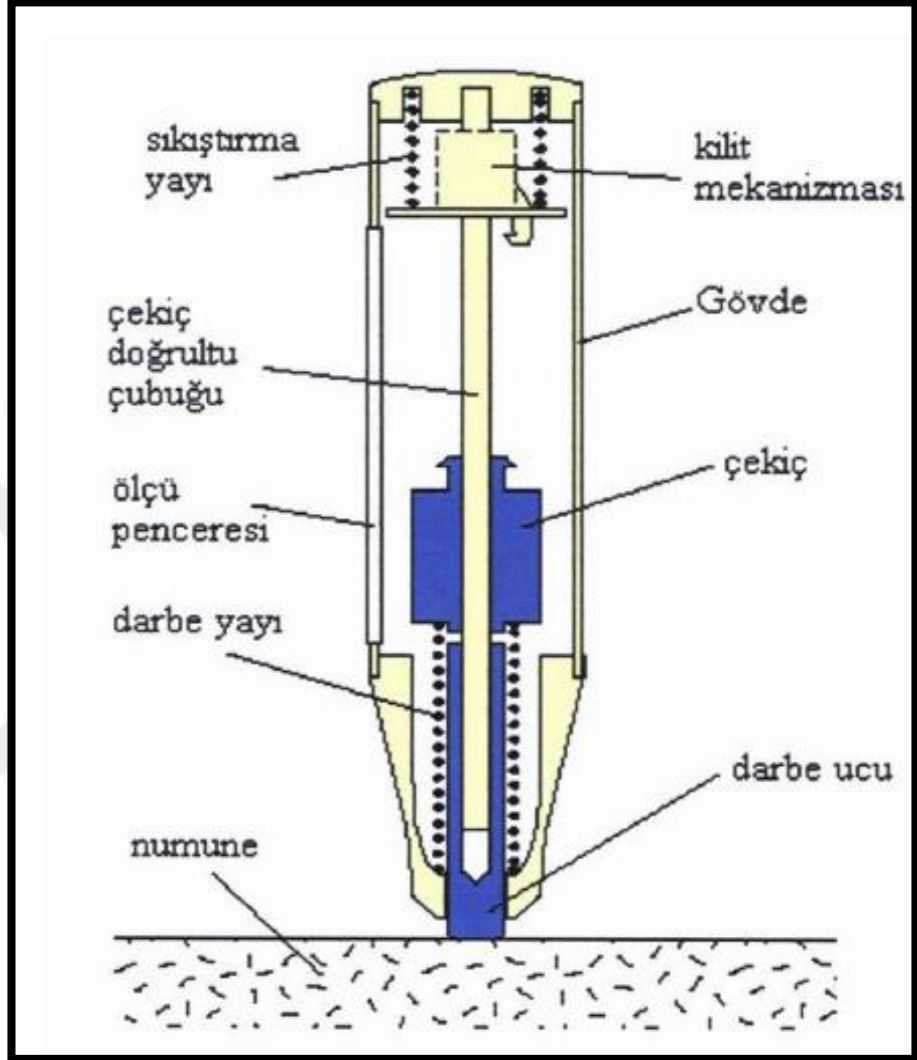
önerilmemektedir. Sonuçların tahribatlı bir yöntem ile desteklenmesi önerilmektedir (Neville, 1995; Bungey ve Millard, 1996).

Şekil 3.1’ te klasik beton test çekiçleri (mekanik) ilk beton test çekici türleridir ve ilk icat edildiklerinden bugüne çalışma prensibi olarak aynı şekilde devam etmiştir. Uygulama alanının durumuna göre sıçrama değerini daha düzgün elde etmek amacıyla, yüzeyi zımparalayarak düzleştirmek gerekir. Daha sonra, çekicin üzerine bastırılarak kayaç ya da betonun sertlik değeri ölçülür. Klasik beton test çekiçlerinde uygulama yüzeyi ile çekicin dikey eksenini yaptığı açı önemlidir. Farklı açılardaki ölçümlerden sonra, düşey vuruş açısına göre düzeltmeler yapılır.

Aynı birim ve yüzey üzerinde yapılan ölçümlerin değerleri birbirlerine yakın olmak zorundadır, aksi durumda ölçümde bir hata yapılmıştır. Farklı okumaların sebepleri ölçüm yapan kişiye bağlı olduğu gibi kalibrasyon noksanlığından da doğabilir. Çekicin arka bölümünde bulunan kalibrasyon vidası ile mekanik tabancaları kalibre etmek mümkündür (Bkz Şekil 3.1). Deney sırasında 12 ölçüm yapılır. En yüksek ve en düşük değerleri görmezden gelerek, 10 ölçümün aritmetik ortalaması alınarak, sıçrama değeri elde edilir (Bungey ve Millard, 1996). Hatalı sonuçların üstesinden gelmek ve tahribatsız testlerle basınç dayanımı tahmininin güvenilirliğini artırmak için, iki ölçüm yönteminden elde edilen değerlerin kalibre edilmesi gerekmektedir.

Karbonatlaşma, genellikle yaşlı betonlarda görülen, kimyasal reaksiyon sonucu beton bileşimine zarar bir olaydır. Hidratasyon sonucu oluşan, havadaki CO_2 ile $Ca(OH)_2$ tepkimeye girerek $CaCO_3 + H_2O$ oluşur. Karbonatlaşmanın sonucunda pH değeri düşerek, betonarme demirlerinin korozyonunu tetikler ve üzerinde olumsuz etki oluşturur. Agrega, su, çimento, mineral katkıları ve kimyasal katkıları betonun bileşenlerini oluşturur ve buna bağlı olarak karbonatlaşma belirli seviyede gerçekleşir. Aynı zamanda boşluk suyu, nem, geçirgenlik, betonun yalıtım özelliğine, beton sınıfına, zamana bağlı olarak karbonatlaşmanın seviyesi değişir (Ramyar, 2007). Dayanım testi gerektiren betonlar genellikle, yapımı üzerinden zaman geçmiş ve kontrol amacıyla teste tabi tutulan betonlardan oluşmaktadır. Karbonatlaşmanın olduğu betonlarda, kalibrasyon aralıklarını artırarak daha gerçeğe yakın sonuçlar almak mümkündür. Karbonatlaşma oluşan yüzey bölgesinde kalsiyum karbonatın oluşturmuş olduğu bir sertlik vardır. Bu sertlik beton test çekici sıçrama değerini oldukça artırmaktadır. Bu durum yanıltıcı sonuçlar

oluşturmaktadır. Karbonatlaşma oluşan yerlerde bu olumsuzluğu dikkate alarak gerekli düzeltmeler yapılmalıdır (Neville, 1995; Bungey ve Millard, 1996).



Şekil 3.1. Beton test çekicinin mekanik parçaları (Nergis, 2005).

3.2.2.2. Tahribatlı yöntemler

3.2.2.2.1. Gömülü numune kullanma deneyi

Bu yöntemde döşeme betonlarının basınç dayanımlarının öğrenilmesi amaçlanmaktadır. Döşeme kalıbı içerisine beton dökümü yapılmadan önce silindir numune kalıpları yerleştirilir ve beton dökümü sırasında beton ile aynı ısı geçmişi sahip numunelerin dolması amaçlanır. Karot alma yöntemine göre bu yöntemin farklılık göstermesinin nedeni kesme ve delmenin dayanıma etkisi olasılığını ortadan kaldırmış olmasıdır.

Yerleştirilen silindir numunelerin boy/çap oranlarının 2' den küçük olması durumunda ölçülen basınç dayanımları düzeltme faktörleri ile düzenlenir. (Durmuş, 1996; Akçay, 2000).

3.2.2.2.2. Karot deneyi

Mevcut bir yapıdan alınan karot numunesinin serbest basınç deneyine tabi tutulmasıyla en gerçekçi olarak betonun karakteristik basınç dayanımı tespit edilebilmektedir. Karot numunesi alımı yöntemi ehil kişiler tarafından yapılmalı gerekir ve mevcut yapıya hasar vermesinden dolayı en son tercih edilen yöntem olmalıdır (İlhan, 2003). Ayrıca, yapıdan alınan karot numunesi ile betona ait su emme, çekme dayanımı, yoğunluk vb. diğer bilgiler de elde edilebilmektedir (Akçay, 2000). Betondan silindir şeklinde numune alınarak tek eksenli basınç dayanımı testine tabi tutulup, malzemenin dayanımı hakkında bilgi elde edilir. Beton karot örneği, mevcut betondan örnek alınarak serbest basınç deneyine tabi tutulmaktadır. Betondan karot örneği alınırken yapıya zarar vermesinden dolayı, güçlendirme yapılacak projelerde daha çok tercih edilmektedir (İnel vd., 2018). Fakat diğer yöntemlerin tek başına güvenilirliği yeterli olmadığı takdirde, karot örneği alınarak korelasyon şeklinde betonun dayanımını bulmak mümkündür. Şekil 3.2' de karot örneği alımı tahribatlı bir yöntem olup, her anlamda yapıya zarar vermektedir. Numune alınırken, ana yapıyı ve esaslarını etkilemeyecek noktalardan örnek almak esastır. Betona zarar vermektense basınç dayanımı için beton test çekici gibi diğer tahribatsız yöntemlerin seçilmesi tercih edilmelidir. Karot örneği almak için kullanılan cihazın karot bıçak çapı, en büyük dane çapının 3 katına eşit ya da daha büyük tercih edilmelidir. İri agrega çapından ve beton mukavemetinin yeterliliğinden emin olduğunda, çapı 50 mm olan karot bıçağı kullanılabilir. Alınan numunenin uzunluğu, tıraşlama göz önünde bulundurularak alınmalı, tıraşlama sonrasında başlıklar yapılacak şekilde alınmalıdır. Genellikle tıraşlanmış numunenin uzunluğun çapına oranı 1-2 arasındadır. Fakat numunenin uzunluğu mümkün olduğunca çapın iki katı şeklinde alınmalıdır. Betonun çekme dayanımı zayıf olduğu için, betonun içindeki donatı çekme dayanımı artırmaktadır. Numune alınırken kesinlikle betonun donatısına zarar vermeden örnek alınması gerekmektedir. Sonuçların daha verimli elde edilebilmesi için, numune alınırken en az 28 günlük betonlardan numune alınması gerekmektedir. Deneyler yapılmadan önce, alınacak numune iyi bir şekilde muhafaza edilip, herhangi mukavemetini düşürecek

faaliyetlerden uzak tutulup taşınma sırasında buna özen göstermek gerekir ve numunelerinin nem oranını korumak önemlidir. Bunun için, talaşlı sandıklarda taşınması önerilmektedir. Alınan numunenin nemini kaybetmeden deneye tabi tutulmalıdır. Eğer alınan numune donatı içeriyorsa ve doğrultusu silindir aksisine paralel olacak şekilde ise dayanım testi için kullanılmaz. Numunenin alındığı bölgeden herhangi bir tesisat geçmemesine dikkat edilmesi gerekir. Rötresiz dolgu harçları, kısa zamanda yüksek mukavemet istenen yerlerde betonun tamiri ve güçlendirmesi için kullanılan malzemedir. Numune alma işlemi bittikten sonra, açılan boşlukların mümkünse rötresiz dolgu harçları ile en kısa zamanda kapatılması gerekmektedir (İlhan, 2003).



Şekil 3.2. Beton karot örneği ve başlıkları hazırlanmış karot örneğinin serbest dayanım testi sırasındaki görünümü (İlhan, 2003).

3.3. Taze Betondan Numune Alınması

Numune alınacak şantiyeye gidildiğinde numunenin alınacağı ve muhafaza edileceği düzgün bir yer tespit edilir. Betonun bir bölümünü temsil eden spot numune herhangi bir mikserden el arabasına kullanacağımız betonun en az 1,5 katı olacak şekilde alınır. El arabasının içinin temiz, betonun suyunu çekmemesi için nemli olması gerekmektedir. Alınan beton homojen şekilde karıştırılır. Öncelikle beton ve hava sıcaklıkları ölçülür. Taze beton her mikserden çizelgede belirtilen betonun atılacak m³ miktarına, transmikser ve 7/28 gün için belirtilen sayılarda küp veya silindir kalıba üç tabaka halinde doldurulur. Her tabaka 25 defa şişleme çubuğu ile şişlenir ve plastik tokmak yardımıyla betonun kalıba yerleştirilmesi sağlanır. Üzeri mala ile düzeltilir (TS EN 12350-1).

Taze betonun alınması, taşınması, kalıplara doldurulması, şişlenmesi ve tesviyelenmesi sırasında geçen süreyi mümkün olduğu kadar kısa tutmak gerekir. Yapılan bu işlemler sırasında betonun bünyesine su girmesine, su kaybına, aşırı ısıcağa ve ayrışmaya

uğramaması için gerekli özen gösterilmelidir. Şişleme, tesviye, perdah ve etiketlenme işlemleri tamamlanmış beton numune yüzeyleri, suyun betondan buharlaşarak kaybolmasını engellemek için su emmeyen ve çimento hamuru ile reaksiyona girmeyen bir malzemeden yapılmış bir levha veya su geçirmeyen, kalın bir plastik örtü ile kapatılır. Numune kalıptan çıkarılınca kadar ıslak olmasına dikkat edilmelidir.



4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Materyal

4.1.1. Agregas

Agrega birbirine yapışabilen küçük kayaçların aşınmasıyla ve birikiminden oluşan parçacıktır. Göreceli olarak çevredeki diğer toprak parçalarından daha güçlüdür, kendi hamurunu oluşturup yapışık halde ve birikim şeklinde bulunabilir (Kemper ve Rosenau, 1986; Neville, 1995; Aİtcin, 1998).

Beton karışımının büyük bir bölümünü iri ve ince agregalar oluşturmaktadır. Kum, doğal çakıl ve kırma taş esas olarak bu amaç için kullanılır. İşlenebilirlik ve homojenlik sağlamak ince agreganın önemli görevidir. Basınç dayanımı arttıkça, iri agregalara etkiyen yük aşırı derecede artmakta ve üzerinde veya çevresinde yüksek basınç altında kırılmayı başlatan zafiyet oluşmaktadır (Aİtcin, 1998). Çalışma da agrega boyutunun etkisini görebilmek için dört farklı D_{max} (16, 20, 25, 32) da agrega kullanılmıştır. Agregas aşınma direnci için devir sayısı değiştirilerek gerçekleştirilen deneysel çalışmada, devir sayısının artmasıyla aşınma kaybının arttığı gözlemlenmiştir. TS EN 706 EN 1260+A1' e göre aşınma sınır değerleri 100 devir için %10 ve 500 devir için ise %50 olarak belirlenmiştir (Neville, 1995; Aİtcin, 1998). Mevcut çalışma sonuçları, literatür ve ilgili şartname ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Erzincan da 2018 yılına kadar beton üretiminde agrega olarak Fırat Nehri kıyısından temin edilen agrega kullanılmakta idi. Fırat agregasını besleyen havzadaki kayaçların yapılarının ofiyolitik yapıda olduğu bilinmektedir.

4.1.2. Su

Betonun bir bileşeni de sudur. Karışım suyu olarak Erzincan yöresi suyu kullanılmıştır. Karışım suyunun iki önemli görevi bulunmaktadır. Bunlardan ilki çimentonun ve agrega tanelerinin yüzeylerinde yağlayıcı etki oluşturarak, beton malzemelerinin kolay bir şekilde karıştırılabilmesini ve yerleştirilebilmesini kısaca işlenebilmesini sağlamak, ikincisi ise çimento ile su arasında hidratasyon olarak adlandırılan kimyasal tepkimenin gerçekleşmesini sağlamaktır (Dedeoğlu, 2010). Beton üretiminde kullanılacak suyun TS 3440'a uygun olması gerekir.

4.1.3. Çimento

Çalışmada yöresel malzemelerin kullanımına özen gösterildiği için Erzincan da beton üretiminde kullanılan Aşkale çimento fabrikası tarafından üretilen CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Tablo 4.1’ de çalışma için kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. PÇ 42,5 R’nin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kimyasal bileşimi

Bileşenler(%)	PÇ 42,5R	TS EN 197-1
CaO	64,02	---
SiO ₂	20,31	---
Al ₂ O ₃	5,64	---
Fe ₂ O ₃	3,27	---
MgO	1,64	≤5,00
SO ₃	2,86	≤4,00
K ₂ O	0,80	---
Na ₂ O	0,87	---
Kızdırma kaybı	0,90	≤5,00
Çözünmeyen kalıntı	0,31	≤5,00
Anabileşenler		
C ₃ S	55,55	---
C ₂ S	16,50	---
C ₃ A	9,41	---
C ₄ AF	9,95	---
Serb.CaO	1,48	---
Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Yoğunluk(g/cm ³)	3,11	---
Özgül yüzey(cm ² /g)	3489	---
200 µm elek üstü(%)	---	---
90 µm elek üstü(%)	0,30	---
40 µm elek üstü(%)	8,40	---
Hacim genleşmesi(mm)	2	≤10
Priz Başlangıcı	145	≥60
(dakika) Sonu	230	---
Basınç dayanımı 7 gün	38,80	---
(Mpa) 28 gün	45,78	≥42,5

4.1.4. Akışkanlaştırıcı

Günümüz beton teknolojisinde işlenebilirlik bakımından sağlamış olduğu kolaylıklar ve ekonomik yararları ile akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddenin kullanımı mecburi hale gelmiştir. Akışkanlaştırıcı kullanımı ile işlenebilirliği sıfır olan betonlara yüksek işlenebilirlik verilebilmektedir. Tablo 4.2’de akışkanlaştırıcı teknik özellikleri gösterilmiştir.

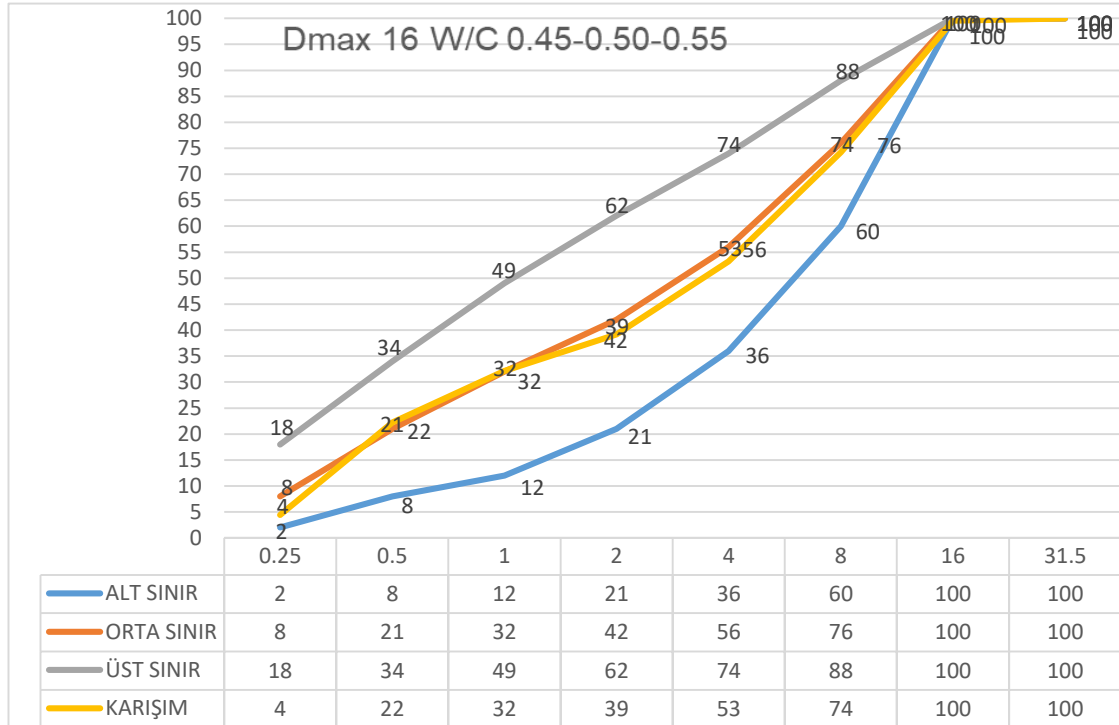
Tablo 4.2. Akışkanlaştırıcı teknik özellikleri

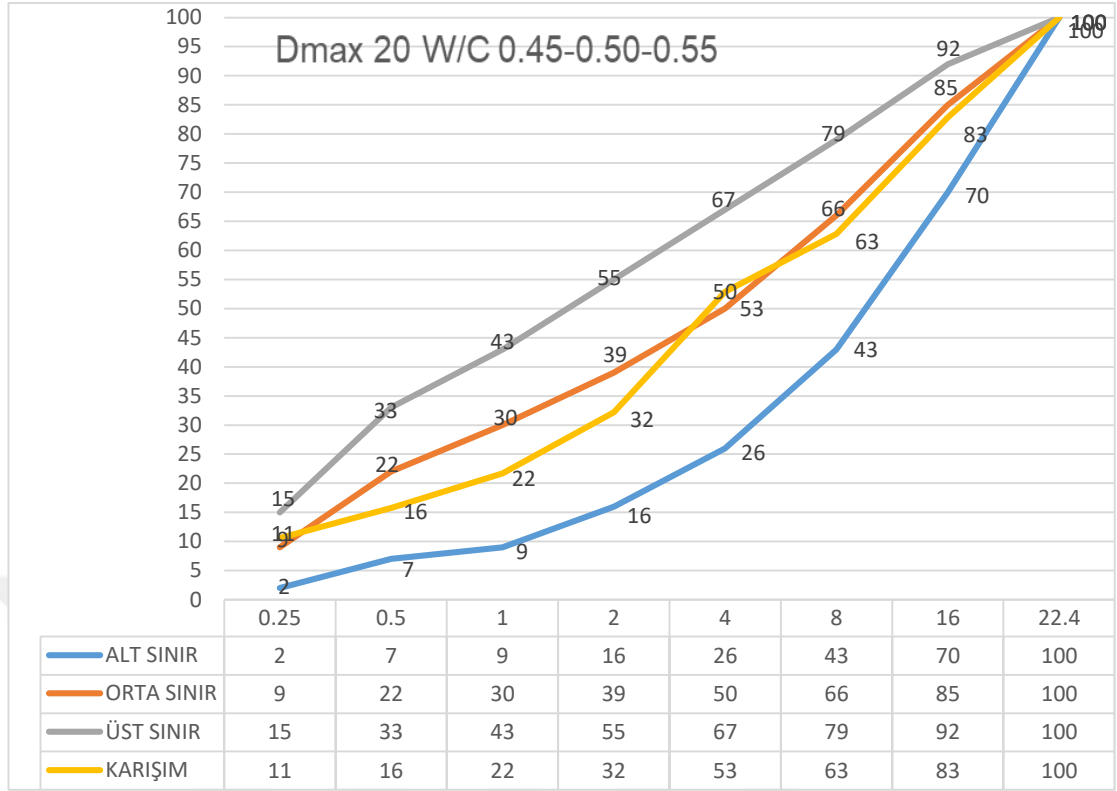
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,035-1,075 kg/litre
Klor içeriği % (EN 480-10)	< 0,1
Alkali içeriği % (EN 480-12)	< 3

4.2. Yöntem

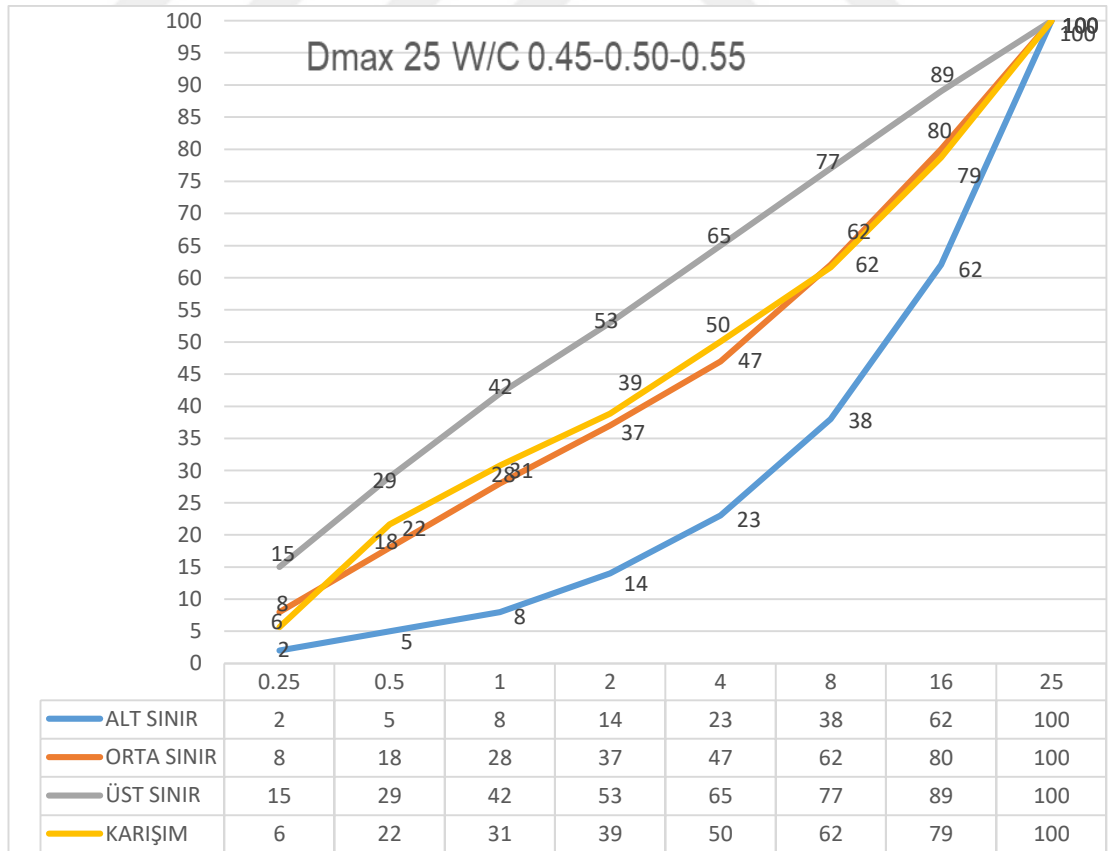
4.2.1. Agrega granülometrisi

Agregayı oluşturan taneler değişik boyutlardadır. Granülometrik bileşim bir agrega numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin hangi oranda bulunduğunu ortaya koyar. Bu oranı belirlemek için de elek analizi yapılır. Elek analizi bir agrega yığınının tane büyüklüklerine göre dizilişlerini saptamak için yapılır. Çalışmada D_{max} a göre kullanılması gereken granülometrik eğriler Şekil 4.1’ de Şekil 4.2’ de, Şekil 4.3’ te ve Şekil 4.4’ te TS 3530 EN 933-1 (2012) de yok ise Fuller bağıntısı kullanılarak granülometrik eğriler elde edilmiştir.

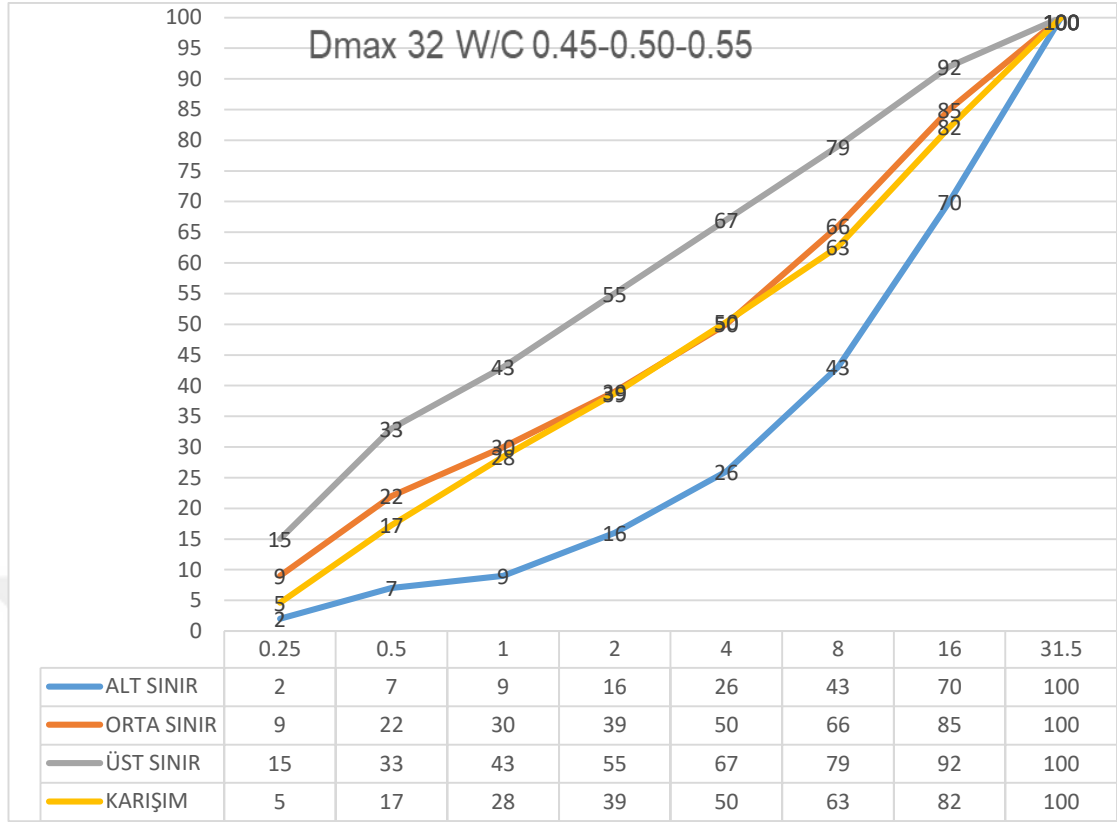
**Şekil 4.1.** Granülometri eğrisi $D_{max}=16$ mm farklı su/çimento oranları için.



Şekil 4.2. Granülometri eğrisi $D_{max}=20\text{mm}$ farklı su/çimento oranları için.



Şekil 4.3. Granülometri eğrisi $D_{max}=25\text{mm}$ farklı su/çimento oranları için.



Şekil 4.4. Granülometri eğrisi $D_{max}=32\text{mm}$ farklı su/çimento oranları için.

Erzincan bölgesinde üretilen betonlarda, sabit bir s/ç oranı olmadığı için farklı s/ç etkisini görmek için numuneler üç farklı s/ç oranı (0,45; 0,50; 0,55) ve dört farklı D_{max} ' ta TS 802 göre karışım hesapları yapılmış elde edilen malzeme oranları kullanılarak betonlar üretilmiştir. Miksere sırasıyla agrega, çimento ve suyun bir kısmı ilave edilip 3 dakika karıştırıldıktan sonra suyun kalan kısmı ile süper akışkanlaştırıcı karıştırılıp miksere eklenmiştir. Tekrar 5 dakika daha karıştırılma işlemine devam edilip mikser durdurularak karışım tamamlanmıştır. Taze betonun kıvamını belirlemek için slump deneyi yapılmıştır. Yaptığımız çalışmada S3 beton kıvamı dikkate alınmıştır. Sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini belirlemek için 150x150x150 mm boyutundaki numune kaplarına 3 tabakada doldurulmuş ve her tabaka şişleme çubuğuyla 25 kez şişlenerek sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır Bu işlemlerden sonra numuneler kap ile birlikte Şekil 4.5' te görüldüğü gibi bir gün laboratuvar ortamında prizini alması için bekletilmiştir. Prizini alan numuneler kalıptan çıkarılarak Şekil 4.6'da görüldüğü gibi 23 ± 2 °C' deki kirece doymun kür havuzunda deney gününe kadar bakıma bırakılmıştır. 28 günün sonunda numuneler kür havuzundan alınıp ölçüm alınacak yüzeyin pürüzsüz, temiz ve kuru olmasına dikkat edilip örnekler hazır hale getirilmiştir (TS EN 206A+2, 2021).



Şekil 4.5. Kübik numunelerin hazırlanması sırasında kalıplara dökülüp bekletilmesi.



Şekil 4.6. Hazırlanmış kübik numunelerin deney öncesi bekletilmesi.

Kür işlemi tamamlanan numuneler oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra basınç deneyine tabi tutulmuştur. Prese yerleştirilen numuneler üzerinde tahmini kırılma yükünün %40' ına gelindiğinde, beton test çekici ile 12 adet okuma yapılmış en yüksek ve en düşük sıçrama değerleri çıkarılıp toplam 10 adet okumanın aritmetik ortalaması sıçrama değeri R olarak kaydedilmiştir. Kırılma anında ekranda okunan gerilme değeri bu sıçrama değerine denk gelen f_{ck} olarak kaydedilmiştir. Sonuçların daha etkili

olabilmesi için numune hazırlanırken bölge şartları dikkate alınmış ve numune hazırlanmasında bu bölgede kullanılan malzemelerin kullanılmasına özen gösterilmiştir.

Bu bölgede üretilen betonlar, genellikle 300 kg çimento kullanılarak üretildiği için bu çalışmada çimento miktarı 300 kg/m³ dozajda CEM I 42.5 R kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak BASF GLENİUM 130 katkı maddesi kullanılmıştır. Bu katkı maddesi özel olarak hazır beton endüstrisinin kullanımı için üretilmiş, betonun işlenebilirliğini uzatan, yüksek dayanım sağlayan beton katkısıdır. Elde edilen verilerin kontrolü ve modifiyesi için beton döküm tarihi 1 ila 5 yıl arasında ve 20 yıl üzeri olan yapılarda karot numuneleri alınmıştır. Karot numuneleri alınmadan önce karot alınacak noktada beton test çekici sıçrama değerleri belirlenmiştir.

4.2.2. Agreganın fiziksel özellikleri

Bu çalışmada kullanılan agregaların özgül ağırlıkları ile su emme deneyleri; TS EN 1097-6 (2013) standardına uygun olarak yapılmıştır. Agregaların kuru özgül ağırlık, doymuş özgül ağırlık, görünür özgül ağırlık ve su emme oranları TS EN 1097-6' ya göre belirlenmiştir. İnce ve iri agrega özgül ağırlık ve su emme kapasite değerleri aşağıda Tablo 4.3 ve Tablo 4.4' te verilmiştir.

Tablo 4.3. İnce agrega özgül ağırlık ve su emme kapasitesi

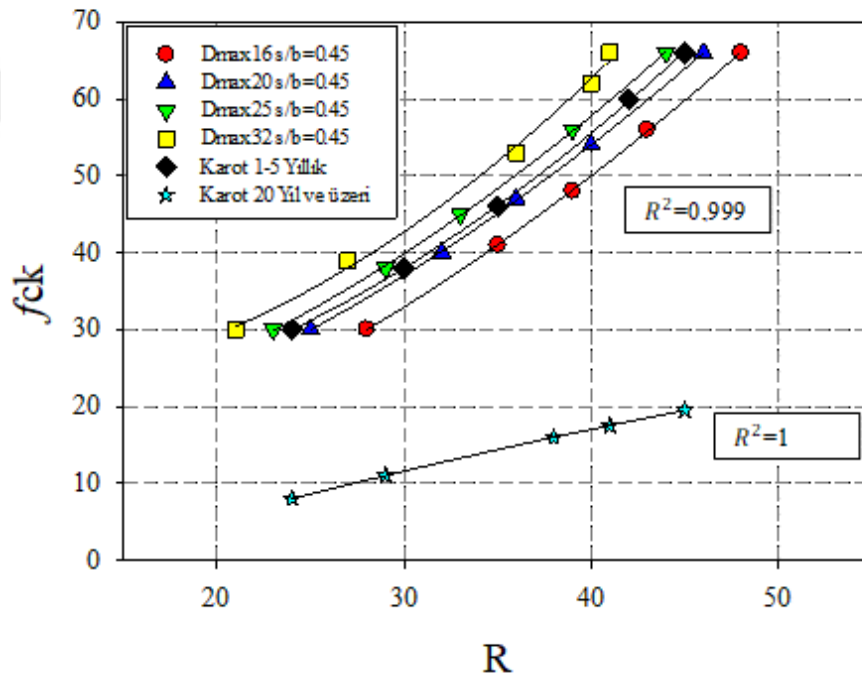
Agreganın Boyutu	mm	0/4		4/8	
Dara	gr	190,8	403,8	538	652,5
Dara + Doymuş Yüzey Kuru Ağırlığı	gr	724,4	964,7	1178,8	1683,3
Doymuş Yüzey Kuru Ağırlığı	gr	533,6	601,2	640,8	1030,8
Dara + Kuru Ağırlık	gr	714,5	953,9	1170,2	1669,6
Kuru Ağırlık	gr	523,7	589,7	632,2	1017,1
Volümetrik Kap + Su Ağırlığı	gr	632,4	612	1196,8	1506,1
Volümetrik Kap + Su + Numune Ağırlığı	gr	966,2	987,7	1600,4	2156,3
Doymuş Yüzey Kuru Özgül Ağırlığı	gr/cm ³	2,671	2,666	2,702	2,708
Kuru Özgül Ağırlık	gr/cm ³	2,621	2,615	2,665	2,672
Zahiri Özgül Ağırlık	gr/cm ³	2,758	2,756	2,766	2,772
Su emme	%	1,89	1,95	1,36	1,35

Tablo 4.4. İri agrega özgül ağırlık ve su emme kapasitesi

Agreganın Boyutu	mm	8/16 (Doğal)		16/30 (Doğal)	
Dara	gr	534,3	538,4	821,3	819,4
Dara + Doygun Yüzey Kuru Ağırlığı	gr	3015,5	3612,5	4962,7	5723,5
Doygun Yüzey Kuru Ağırlığı	gr	2481,2	3074,1	4141,4	4904,1
Dara + Kuru Ağırlık	gr	2982,4	3571,8	4919,2	5671,3
Kuru Ağırlık	gr	2448,1	3033,4	4097,9	4851,9
Sudaki Ağırlık	gr	1568,3	1940,2	2621,4	3100,1
Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlığı	gr/cm ³	2,718	2,711	2,725	2,718
Kuru Özgül Ağırlık	gr/cm ³	2,682	2,675	2,696	2,690
Zahiri Özgül Ağırlık	gr/cm ³	2,783	2,775	2,775	2,770
Su emme	%	1,35	1,34	1,06	1,08

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Elde edilen veriler kullanılarak (f_{ck} ve R) Sigma Plot programında sıçrama değeri ile basınç dayanım değeri arasındaki ilişkiyi ve s/ç oranı ile D_{max} a göre değişiminin grafikleri çizilmiştir. Aynı zamanda mevcut yapılarda alınan karot numunelerinin basınç dayanım değerleri ile bu bölgede yapılan beton test çekici değerinden elde edilen sıçrama değeri R kullanılarak aradaki ilişkinin grafikleri çizilmiştir. Şekil 5.1., 5.2. ve 5.3.' te görüldüğü gibi s/ç oranı azaldıkça ve D_{max} arttıkça sıçrama değerlerinin arttığı görülmektedir. Kumavat vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da D_{max} arttıkça sıçrama değerinin arttığını belirtmektedirler. Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'te görüldüğü gibi s/ç oranı azaldıkça sıçrama değerinin arttığı, arttıkça azaldığı görülmektedir. Benzer durum Neville (1995) tarafından sıçrama değeri R' nin s/ç oranına bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir.



Şekil 5.1. 0.45 s/ç oranındaki betonun basınç dayanımı ile sıçrama değeri arasındaki ilişki.

Elde edilen sonuçları daha iyi değerlendirebilmek ve modifiye etmek için karot basınç dayanım sonuçları ile bu bölgede elde edilen sıçrama değerleri R arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerde eklenmiştir. Grafiklerde görülen sonuçların 1-5 yıllık karot

değerlerinin sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu, 20 yıl ve üzeri karot sonuçları ile uyumsuz olduğu söylenebilir. Bu uyumsuzluğun nedeni 20 yıl önce üretilen betonların inşaat alanında geleneksel yöntemlere göre üretilmiş olması söylenebilir.

Elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafiklerden yararlanılarak farklı s/ç oranı ve $D_{\max}$ a göre karakteristik beton basınç dayanımını veren bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntılar aşağıda verilmiştir.

s/ç =0.45 oranı için;

$$D_{\max} 16\text{mm için} \quad f_{ck} = 2,4738 + 0,5013R + 0,0172R^2 \quad (5.1)$$

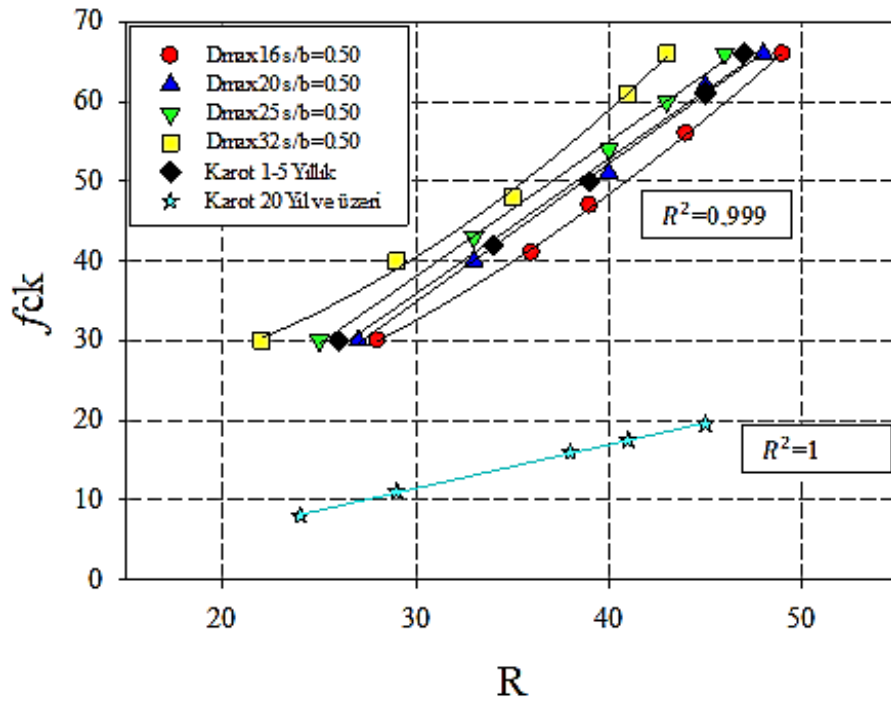
$$D_{\max} 20\text{mm için} \quad f_{ck} = 8,3072 + 0,4042R + 0,0185R^2 \quad (5.2)$$

$$D_{\max} 25\text{mm için} \quad f_{ck} = 11,235 + 0,3319R + 0,0208R^2 \quad (5.3)$$

$$D_{\max} 32\text{mm için} \quad f_{ck} = 22,1544 - 0,2913R + 0,0326R^2 \quad (5.4)$$

$$\text{Karot 1-5 yıllık} \quad f_{ck} = 16,0302 - 0,0306R + 0,0255R^2 \quad (5.5)$$

$$\text{Karot 20 yıl ve üzeri} \quad f_{ck} = -8,6739 + 0,7736R - 0,0033R^2 \quad (5.6)$$



Şekil 5.2. 0.50 s/ç oranındaki betonun basınç dayanımı ile sıçrama değeri arasındaki ilişki.

$s/\phi = 0.50$ oranı için;

$$D_{\max} 16\text{mm için} \quad f_{ck} = 9,9129 + 0,1353R + 0,0206R^2 \quad (5.7)$$

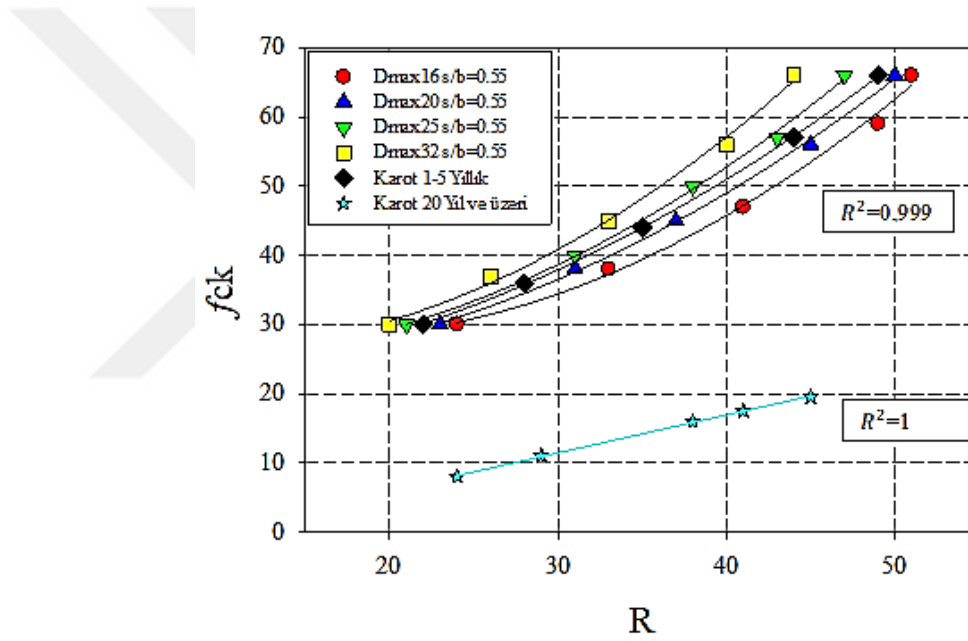
$$D_{\max} 20\text{mm için} \quad f_{ck} = -6,5307 + 1,1386R + 0,008R^2 \quad (5.8)$$

$$D_{\max} 25\text{mm için} \quad f_{ck} = 1,0689 + 0,8733R + 0,0116R^2 \quad (5.9)$$

$$D_{\max} 32\text{mm için} \quad f_{ck} = 23,56 - 0,3766R + 0,0317R^2 \quad (5.10)$$

$$\text{Karot 1-5 yıllık} \quad f_{ck} = 8,8688 + 0,3333R + 0,0188R^2 \quad (5.11)$$

$$\text{Karot 20 yıl ve üzeri} \quad f_{ck} = -8,6739 + 0,7736R - 0,0033R^2 \quad (5.12)$$



Şekil 5.3. 0.55 s/ϕ oranındaki betonun basınç dayanımı ile sıçrama değeri arasındaki ilişki.

$s/\phi = 0.55$ oranı için;

$$D_{\max} 16\text{mm için} \quad f_{ck} = 33,4139 - 0,7892R + 0,0275R^2 \quad (5.13)$$

$$D_{\max} 20\text{mm için} \quad f_{ck} = 23,3198 - 0,1654R + 0,0202R^2 \quad (5.14)$$

$$D_{\max} 25\text{mm için} \quad f_{ck} = 25,0859 - 0,2653R + 0,0239R^2 \quad (5.15)$$

$$D_{\max} 32\text{mm için} \quad f_{ck} = 27,3870 - 0,4320R + 0,0294R^2 \quad (5.16)$$

$$\text{Karot 1-5 yıllık} \quad f_{ck} = 20,6273 + 0,0315R + 0,0182R^2 \quad (5.17)$$

$$\text{Karot 20 yıl ve üzeri} \quad f_{ck} = -8,6739 + 0,7736R - 0,0033R^2 \quad (5.18)$$

Tablo 5.1. R değerine göre f_{ck} değerinin farklı D_{max} ve s/ç oranlarında aldığı değerler

R= 36 için 28 günlük			
D_{max}	s/ç= 0,45 f_{ck} (MPa)	s/ç = 0,50 f_{ck} (MPa)	s/ç = 0,55 f_{ck} (MPa)
16	42,81	41,48	40,64
20	46,83	44,83	43,54
25	50,14	47,54	46,51
32	53,92	50,83	49,93

Elde edilen denklemlere göre R değerine denk gelen f_{ck} değerleri için bir tablo oluşturulmuştur. Tablo 5.1' de görüldüğü gibi R sıçrama değerine göre elde edilen sonuçlar D_{max} ve s/ç oranına göre değişimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında betonların basınç dayanımları Neville (1995) ve AİTCİN (1998) belirttiği gibi s/ç oranı azaldıkça ve D_{max} arttıkça dayanımın arttığı tabloda da görülmektedir.

Jain vd. (2013) yapmış oldukları çalışmalarında elde ettikleri verilerden yararlanarak karakteristik beton basınç dayanımını veren $f_{ck} = 0,788R^{1.03}$ bağıntılar elde etmişlerdir. Bağıntıdaki R değerinin agrega mineral yapısına, D_{max} ve s/ç oranına bağlı olarak değiştiğini belirtmektedirler. Çalışmamıza uygun bağıntılar elde edilmiş ve R değerini etkileyen parametrelerin çalışmamızla paralellik gösterdiği görülmüştür.

Asteris vd. (2021) yapmış oldukları çalışmalarında R değerinin 19-45 arasında değişen değerler aldığını belirtmişlerdir. Basınç dayanımını belirlemek için bir model oluşturmuşlar ve bu modelde 34 ile 38 değerleri arasındaki R değeri için gerçek sonuçlara yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalarında %86-94 arasında bir doğrulukla sonuçların elde edilebileceğini belirtmektedirler. Çalışmamızda R değerlerinin 36 ile 42 arasında elde edilen sonuçlarının %85 bir doğrulukla belirlenebileceğini görülmüştür.

Nobile (2015) çalışmalarında tahribatlı yöntemlerle desteklenen tahribatsız yöntemler ile elde edilen sonuçların oldukça iyi olduğu ve bu yöntemlerle beton basınç dayanımı belirlemede kullanılabileceğini belirtmektedir. Sonuçlar üzerinde değişken olan parametrelerin agrega mineral yapısı, D_{max} ve s/ç oranı gibi faktörler olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmanın yapmış olduğumuz çalışma ile benzer olduğu söylenebilir.

Kibar ve Öztürk (2015) yapmış oldukları çalışmalarında beton basınç dayanımını belirlemede basınç dayanım deneyinin beton test çekici ile belirlenen sonuçlara göre çok güvenilir olduğunu belirtmektedirler. Diğer çalışmalarda olduğu gibi bizim çalışmamızda da beton basınç dayanımı deneyinin güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kheder (1999) beton test çekici yönteminin basınç dayanımını tahmin etmede kullanılabileceğini burada sonucu etkileyen parametrelerin beton yaşı, s/ç oranı, agrega tipi ve boyutu gibi faktörler olduğunu belirtmektedir. Çalışmamızda da benzer yöntem uygulanmış ve sonucun aynı parametrelerden etkilendiği görülmüştür.

Poorarbai vd. (2020) beton basınç dayanımının tahmininde tahribatsız yöntemler kullanmışlardır. Değişken parametreleri dikkate alarak basınç dayanımının doğru bir şekilde tahmin etmenin doğru olabileceğini belirtmektedirler. Çalışmamıza paralel olacak şekilde tahribatsız yöntemlerden biri olan beton test çekici yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 5.4. Hazırlanan kübik numunelerde agrega sıyrılması ve agreganın kırılması.

Deney yapılan numunelerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde Şekil 5.4' te görüldüğü gibi betonun kırılma nedeninin agrega sıyrılması ve bazı iri agregaların dayanımlarının kaybetmesiyle oluştuğu görülmüştür. Normal dayanımlı betonlarda kırılmanın matriksin dayanımını kaybetmesiyle olması istenir (Neville, 1995; Aİtcin, 1998; Erdoğan, 2015). Bu durumda Fırat agregasının fiziksel ve mekanik olarak beton üretimi için uygunluğunun araştırılması önerilebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

- Bu araştırmada elde edilen tahribatsız deney sonuçlarının güvenilirliği için tahribatlı bir deney yöntemi ile desteklenmesinin zorunluluğu sonucuna varılmıştır.
- Sıçrama değerlerinin D_{max} arttıkça arttığı görülmüştür. Aynı zamanda bu artış beton basınç dayanımında da bir artış ile sonuçlanmıştır.
- 1-5 yıllık karot sonuçlarının D_{max} 20 ile D_{max} 25 arasında bir bölgede yer aldığı Şekil 5.1., 5.2., ve 5.3.' te görülmektedir. 1-5 yıllık karot sonuçlarına bakıldığında bu sonuçların beton test çekici kullanılarak elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla tahribatsız yöntemlerden olan beton test çekici deneyi ile mevcut yapıların beton dayanım sonuçlarının %85 üzerindeki bir doğrulukla belirlenebileceği görülmüştür. Bu durum beton santrallerinden üretilen ve bilinçli ekip ve ekipman tarafından yerleştirilip sıkıştırılarak bakımı yapılan betonlar için geçerlidir.
- Grafiklerden görülen sonuçlara göre kontrol amacıyla elde edilen değerlerle 1-5 yıllık karot değerleri karşılaştırılmış sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu, 20 yıl ve üzeri karot sonuçlarının uyumsuz olduğu söylenebilir. Bu uyumsuzluğun nedeni 20 yıl önce üretilen betonların inşaat alanında geleneksel yöntemlere göre üretilmiş olması söylenebilir.
- Bu çalışmada elde edilen sonuçların hazır beton santrallerinde üretilen betonlar için kullanılabileceği, geleneksel yöntemle üretilen betonlar için ise kullanılamayacağı söylenebilir. Bunun nedenini geleneksel yöntemle üretilen betonlarda granülometri, s/ç oranı, karıştırma miktarı ve sıkıştırma yöntemi gibi faktörlere uyulmaması olarak söylenebilir.
- Erzincan Fırat agregası serpantin ve ofiyolit grubu mineraller içerdiği için bu agregalar zamanla bozularak betonun zamanla dayanım kaybetmesine neden olmaktadır. Şekil 5.1., 5.2., 5.3.' te 20 yıl ve üzeri betonlardan alınan karot dayanım sonuçlarının düşük olmasının nedenlerinden biri Fırat agregası içerisinde serpantin ve ofiyolit grubu minerallerin sebep olması olabilir. Bu nedenle üretilecek olan betonlarda fiziksel ve mekanik açıdan uygunluğunun araştırılması önerilmektedir.

- Beton dayanımı düştükçe beton test çekici ile elde edilen değerlerin gerçek (basınç dayanım) sonuçlarından uzaklaştığı, beton dayanımı yükseldikçe sonuçların gerçek değerlere yaklaştığı görülmüştür.
- Elde ettiğimiz formüllerden betonun s/ç oranı, D_{max} ' ı ve sıçrama değeri kullanılarak %85 üzerinde bir doğrulukla basınç dayanımının belirlenebileceği görülmüştür.
- Agreg a boyutu betonun sertliği ve dayanımı üzerinde etkin olan en önemli parametredir. Agreg a boyutu değiştikçe sertlik ve dayanım buna bağlı olarak değişmektedir. Bu durum yapılan çalışma sonucu elde edilen şekil 5.1, 5.2, 5.3' te görölmektedir.
- İri agreg a özgül ağırlığı 2.69, ince agreg a özgül ağırlığı 2.67, aşınma sınır değerleri 100 devir için %10 ve 500 devir için ise %50, iri agreg a su emme kapasitesi %1.08, ince agreg a su emme kapasitesi %1.35 olarak tayin edilmiştir. Bu değerler Fırat agreg asının beton üretiminde kullanılabilirliği açısından olumsuzluk oluşturmamaktadır.

6.2. Öneriler

- Kayaçların betonun yapı taşlarından biri olan agreganın, petrografik olarak türü ve içerdeği mineraller agreganın ve agreganın beton üzerindeki etkisini büyük oranda etkilemektedir. Bu çalışmada agreganın mineral yapısı araştırılmamıştır. Gelecek çalışmalar için Fırat Nehri'nin agregasının kaynağını oluşturan kayaç türlerinin mineral yapıları araştırılabilir.
- Çalışma sırasında beton basınç dayanımı ve beton test çekici sonuçları korelasyon yapılarak incelenmiştir. Sonraki çalışmalarda diğer tahribatsız yöntemlerde araştırılabilir.
- Karbonasyon rötresi beton yüzeyinde sertleştirme oluşturmakta bu da tabanca sıçrama değerlerini artırarak sıçrama değer i ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi bozmaktadır. Sonraki çalışmalarda alınan karotlardaki karbonasyon derinliği belirlenebilir.

KAYNAKÇA

- Alsanusi, S., and Bentaher, L. (2015). "Prediction of compressive strength of concrete from early age test result using design of experiments". Libya: **Civil Engineering Department, Faculty of Engineering**, University of Benghazi, Benghazi.
- Aİtçin, P. C. (1998). High Performance Concrete. **CRC press**. London.
- Akakın , T. (2013). "Betondan karot alınması ve uygunluğunun değerlendirilmesi". **Hazır beton dergisi**, 62-69.
- Akande, K. O., Owolabi, T. O., Twaha, S., and Olatunji, S. O. (2014). "Performance comparison of SVM and ANN in predicting compressive strength of concrete". **IOSR Journal of Computer Engineering**, 16(5), 88-94.
- Akbaş, E. (2017). "Beton nemliliğinin, basınç dayanımı, ultrases hızı ve yüzey sertlik değerleri üzerine etkisi". **Doctoral dissertation, Adıyaman Üniversitesi**.
- Akçay, B. (2000). "İstanbul binalarında karot yardımıyla beton nitelik tayini". **Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü**.
- Akdağ, B., ve Mutlu , M. (2013). "Yerinde beton basınç dayanımlarının ölçülmesinde karot numunesi kullanımı". **Türkiye Hazır Beton Birliği Hazır Beton Dergisi**, 80-84.
- Aksüt, Y. S. (2015). "Erzincan-üzümlü yöresi volkanik kayaçlarının beton agregası olarak kullanılabilirliği". **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**.
- Alexander, M., and Mindess, S. (2005). Aggregates in concrete . **London and Newyork : Taylor & Francis .**
- Asteris, P. G., and Mokos , V. (2020). "Concrete compressive strength using artificial neural networks". **Neural Computing and Application**, 32(15), 11807–11826.
- Asteris, P. G., Bardhan, A., Samui, P., Skentou, A. D., and Lourenço, P. B. (2021). "Soft computing techniques for the prediction of concrete compressive strength using Non-Destructive tests". **Construction and Building Materials**, 303, 124450.

- Atahan, H. N. (2002). "Düşük su/çimento oranlı betonlarda özelliklerin çimento hamurun boşluk yapısına duyarlılığı". *Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Atımtay, E. (2000). "Açıklamalar ve örneklerle afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik betonarme yapılar". *Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*.
- Atış, C. D., Akçaözoğlu, K., ve Özcan, F. (2000). "Su-çimento oranının beton dayanımına etkisi". *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(1-2), 91-98.
- Baradan, B., Yazıcı, H., ve Aydın, S. (2012). Beton. *İzmir : Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, No:334.
- Bartlett, F. M., and MacGregor, J. (1994). "Effect of core diameter on concrete core strengths". *Materials Journal*, 91(5), 460-470.
- Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş., ve Çomak, B. (2012). "Görüntü işleme tekniği ile beton basınç dayanımının tahmin edilmesi". *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(1).
- Bilgehan, M., ve Turgut, P. (2010). "The use of neural networks in concrete compressive strength estimation". *Computers and Concrete*, 7(3), 271-283.
- Bingöl, Ş. (2013). "Beton basınç dayanımının birleştirilmiş tahribatsız yöntemlerle belirlenmesi". *Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Brozovsky, J. (2013). "Comparsion of compressive strenghts of concrete testing by different of sclerometers". *Procedia Engineering*, 65, 254-259
- Bungey, J. H., and Millard, S. (1996). "Testing of convrete in structure, third edition". University of Liverpool: *Blackie Academic & Professional*.
- Chen, H. J., Yen, T., Lia, T., and Huang, Y. (1999). "Determination of the dividing strength and its relation to the concrete strength in lightweight aggregate concrete". *Cement and Concrete Composites*, 21(1), 29-37.
- Cilason, N. (1992). Beton. *S.T.F.A*.

- Çakıroğlu, M. A., Terzi , S., Kasap , S., ve Çakıroğlu , M. (2010). "Beton basınç dayanımının bulanık mantık yöntemiyle tahmin edilmesi". *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 1-8.
- Dedeoğlu, R. Ş. (2010). "Akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin beton üzerine etkilerinin incelenmesi". *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Demir, M. (2001). "Akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin su/çimento oranı ve beton performansına etkileri". *Master's thesis, Sakarya Üniversitesi*.
- Demirel, Y. (2015). "Farklı beton dayanımlarındaki kolonlarda, eksenel yük seviyelerine göre geri sıçramalı çekiç verilerinin kolerasyonu için deneysel bir öneri". *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 76-87.
- Doğan, M. (2009). "Betonarme yapılardaki deprem hasarlarına korozyonun etkisi". *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:XXII, Sayı:1*, 148-168.
- Durmuş, M. (1996). "Yük geçmişi ve donatının beton karot numune dayanımı üzerindeki etkiler". *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 7-14.
- Dündar, B., Atabey , İ., ve Ümit , Y. (2017). "Osmaniye ilinde hazır beton santrallerinde üretilen beton kalitelerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi". *Selçuk Teknik Dergisi*, 16(2), 71-86.
- Dyer, T. (2014). Concrete Durability. *Taylor & Francis Group*.
- Erdoğan, T. Y. (Temmuz ,2015). Beton 5. Baskı. Ankara: ODTÜ.
- Ergün , A., ve Kürklü , G. (2005, Mart 23-25). "Mevcut betonarme yapılarda beton dayanımının belirlenmesi". *Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*. Kocaeli.
- Ergün, A., and Kürklü, G. (2005). "Determination of concrete resistance in existing reinforced concrete structures". *In Earthquake Symposium* , 817-826.
- Felekoğlu, B., ve Türkel , S. (2004). "Yükleme hızının beton basınç dayanımına ve elastisite modülüne etkisi". *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* , 6 (1), 65-75.

- Aydin, F., ve Sarıbıyık, M. (4 July, 2010). "Correlation between Schmidt Hammer and destructive compressions testing for concretes in existing buildings". **Scientific Research and Essays Vol. 5(13)**, 1644-1648.
- Filiz, M. H. (2006). "Beton karot dayanımları ile standart silindir dayanımları arasındaki ilişkinin kür koşullarına bağlı olarak belirlenmesi". **Doctoral dissertation, Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.**
- Gök, G. (2010). "Değişik geometrideki betonların basınç dayanımlarının çeşitli su/çimento oranlarına ve çimento miktarlarına göre incelenmesi". **Doctoral dissertation, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.**
- Güçlüer, K., Günaydın , O., Tekin , Ö., ve Şahan , M. (2017). "Farklı tipte agrega kullanımının betonun mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması". **Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 6(1), 107-114.
- Gürsel, E., ve Erenson , C. (2017). "Kayaç türünün betonun yüksek dayanımına etkisinin petrografik olarak incelenmesi". **Ulusal Mühendislik Jeolojisi-Jeoteknik Sempozyumu, Adana.**
- Gönen, T., ve Yazıcıoğlu, S. (2003). "Betonlarda karbonatlaşmanın önemi". **Standard Ekonomik ve Teknik Dergi**, 42 , 84-88 .
- Hannachi, S., and Guetteche, M. (2014). "Review of the rebound hammer method estimating concrete compressive strength on site". **In International Conference on Architecture and Civil Engineering**, 118-127.
- İlhan, İ. (2003). "Beton karot numunesi alımı". **Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi**, 423, 66-67.
- İnel, M., Çaycı, B., ve Özmen, H. (2019). "Investigation of concrete compressive strength of existing buildings depending on number of core samples". **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimi Dergisi**, 25(6), 621-626.

- Jain, A., Kathuria, A., Kumar, A., Verma, Y., and Murari, K. (2013). "Combined use of non-destructive tests for assessment of strength of concrete in structure". ***Procedia Engineering***, 54, 241-251.
- Jasiński, R., Drobiec, Ł., and Mazur, W. (2019). "Validation of selected non-destructive methods for determining the compressive strength of masonry units made of autoclaved aerated concrete". ***Materials***, 12(3), 389.
- Ju, M., Park, K., and Oh, H. (2017). "Estimation of compressive strength of high strength concrete using non-destructive technique and concrete core strength". ***Applied Sciences***, 7(12), 1249.
- Kabay, N. (2002). Karot numunelerin basınç dayanımına etki eden faktörlerin araştırılması.
- Karakule, F., Akakın, T., ve Uçar, S. (2004). "Ready-mixed concrete industry in Turkey and in the world". ***Proceedings of concrete congress***.
- Karaoğlu, T. (2002). "Betonda su/çimento oranının ve yükleme yaşının sünme üzerine etkileri". ***Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü***.
- Kemper, W. D., and Rosenau, R. (1986). "Aggregate stability and size distribution". ***Methods of soil analysis: Part1 Physical and mineralogical methods***, 5, 425-442.
- Kewalramani, M. A., ve Gupta, R. (2006). "Concrete compressive strength prediction using ultrasonic pulse velocity through artificial neural networks". ***Automation in Construction***, 15(3), 374-379.
- Khashman, A., and Akpınar, P. (2017). "Non-Destructive prediction of concrete compressive strength using neural networks". ***Elsevier***, 2358-2362.
- Kheder, G. F. (1999). "A two stage procedure for assessment of in situ concrete strength using combined non-destructive testing". ***Materials and Structures***, 32(6), 410-417.

- Kibar, H., ve Öztürk , T. (2015). "Determination of concrete quality with destructive and non-destructive methods". **Computers and Concrete**, 15(3), 473-484.
- Kılıç, İ., ve Gök , S. (2021). "Silindirle sıkıştırılmış betonlarda su/çimento oranının etkileri". **Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 10(1), 73-84.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff , B., and Panarese, W. C. (2002). "Design and control of concrete mixtures, fourteenth edition". **USA: Portland Cement Association**.
- Kurbetci, Ş. (2004). "Değiştirilmiş sıcak su yöntemi ile beton basınç dayanımının tahmini". **Teknik Dergi**, 15(71).
- Mahmoudipour, M. (2009). "Statistical case study on schmidt hammer, ultrasonic and core compression strenght test results performed on cores obtained from behbahan cement factory in İran". **In 5th International Workshop of NDT Experts**.
- Malhotra, H. L. (1956). "The effect of temperature on the compressive strength of concrete". **Magazine of concrete research**, 8(23), 85-94.
- Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan , M., Çakır , Ö., and Ramyar, K. (2012). "Agreganın en büyük tane boyutu ve numune boyutunun". **İnşaat Mühendisliği'nde 100. Yıl Teknik Kongresi**, İstanbul.
- Mehta, P. K., and Monteiro, P. (1997). "Concrete:Microstructure, properties, and materials". **McGraw-Hill Education**.
- Mokos, P. G. (2020). "Concrete compressive strength using artificial neural networks". **Neural Computing and Application**, 32(15) 11807–11826.
- Naderi, M. (2007). "New twist-off method for the evaluation of in-situ strength of concrete". **Journal of Testing and Evaluation**, 35(6), 602-608.
- Namlı, E., ve Erdal , H. (2016). "Dalgacık dönüşümü ile beton basınç dayanım tahmininin iyileştirilmesi". **Politeknik Dergisi**, 19(4), 471-480.
- Neville, A. M. (1995). Properties of Concrete. California University: **Pearson**.

- Neville, A. M., and Brooks, J. (1987). Concrete technology (Vol. 438). **England: Longman Scientific & Technical.**
- Ni, H., and Wang , J. (2000). "Prediction of compressive strength of concrete by neural networks". **Cement and Concrete Research**, 30(8), 1245-1250.
- Nikoo, M., Zarfam, M., and Sayahpour, H. (2015). "Determination of compressive strength of concrete using Self Organization Feature Map (SOFM)". **Engineering with Computers**, 31(1), 113-121.
- Nobile, L. (2015). "Prediction of concrete compressive strength by combined non-destructive methods". **Meccanica**, 50(2), 411-417.
- Atoyebi, O., Ayanrinde, O., and Oluwafemi J. (2019). "Reliability comparison of schmidt rebound hammer as a non-destructive test with compressive strenght test for different concrete mix" . **Journal of Physics: Conference Series**, 1378.
- Özel, C., ve Kapkan, A. (2017). "Kendiliğinden yerleşen beton özellikleri üzerinde agrega özelliklerinin etkisi". **Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi**, Sayı: 1, Cilt: 1, 1-6.
- Özel, C., ve Topsakal , A. (2014). "Veri madenciliği kullanarak beton basınç dayanımının belirlenmesi". **Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi**, 35(1), 1-11.
- Öziçer, S., ve Uyanık , O. (2017). "Beton dayanımının yerinde P dalga hızından belirlenmesi ve İzmir örneği". **Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi**, 9(1), 1-16.
- Park, R., and Paulay, T. (1933). Reinforced Concrete Structure. Canada: **A. Wiley - Interscience Publication.**
- Polat, H. (2018). "Farklı çimento tipinin silindire sıkıştırılmış betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması". **Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 5(2), 75-81.

- Poorarbabi, A., Ghasemi, M., and Moghaddam, M. A. (2020). "Concrete compressive strength prediction using non-destructive tests through response surface methodology". *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 939-949.
- Postacıoğlu, B. (1987). Bağlayıcı maddeler, agregalar, Beton. II(211,323). *İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi*.
- Qasrawi, H. Y. (2000). "Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted". *Cement and concrete research*, 30(5), 739-746.
- Samadoghli, E., Kamanlı, M., Cengiz, S., ve Ünal, A. (2019). "Karot basınç dayanımını etkileyen faktörlerin araştırılması". *Engineering and Natural Sciences*, 467-471. Ankara, Turkey: SETSCI Conference Proceedings.
- Samia, H., and Mohamed Nacer, G. (2012). "Application of the combined method for evaluating the compressive strength of concrete on site". *Open Journal of Civil Engineering* vol.4 No.3(2012) (s. 19). içinde Kenya: article ID:49799.
- Seitablaiev, E. (2019). "Beton dayanımının su/çimento ve agrega/çimento oranlarına bağlı olarak belirlenmesi", *Master's thesis, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Sinecen, M., ve Makinacı, M. (2010). "Agregaların temel şekil özellikleri kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla sınıflandırılması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 149-153.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., and Panarese, W. (2002). "Design and control of concrete mixtures, fourteenth edition". USA: *Portland Cement Association*.
- Sturup, V. R. (1984). "Pulse velocity as a measure of concrete compressive strength". *Special Publication*, 82, 201-228
- Subaşı, S., ve Emiroğlu, M. (2008). "Lif kullanılan kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik ve basınç dayanımı arasındaki ilişki analizi". *Fen Ve Mühendislik Bilimi Dergisi*, 3, 527-539.

- Topçu, Ö. B., Felekoğlu , B., ve Çaylak , B. (2019). "Agrega kökeni, agreg a/çimento oranı ve ince malzemeli agreg a kullanımının geçirimli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma". *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 225-234.
- Türkel, A. (2006). "Betonun basınç dayanımına numune boyutunun etkisi". *Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Türkel, E. B. (2002). "Betonda basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiler". *Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Usta, S. (2012). "Agreg a granülometrisinin beton bileşimindeki teorik malzeme miktarları ile betonun kompasite ve porozite değerleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi". *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 1-15.
- Yip, W. K., and Tam , C. (1988). "Concrete strength evaluation through the use of small diameter cores". *Magazine of Concrete Research*, 40(143), 99-105.
- Yörübulut, S., Doğan , O., Erdugan , F., ve Yörübulut , S. (2019). "Tahribatsız yöntem verileri kullanılarak yapay sinir ağı ve regresyon yöntemi ile beton basınç dayanımının tahmin edilmesi". *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2), 769-776.
- Yurt, F. (2019). Betonda karbonatlaşma. *StructPedia*.
- Zebari, Z., Bedirhanoğlu , İ., ve Aydın, E. (2017). "Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma". *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi*, 43-52.

EKLER

Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

II. Insac International Congress on Natural and Engineering Sciences October 21-23, 2021

/ Konya, Turkey (Proceedings book), ISBN:978-625-xxxxxx

Erzincan Fırat Agregası Kullanılarak Üretilen Betonlarda Beton Test Çekici ve Karot Değerleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması

WEB: <https://www.insackongre.com>

