



**SOĞUK DERZİN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Nursultan KADYROV

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2015

Nursultan KADYROV tarafından hazırlanan “SOĞUK DERZİN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Doç. Dr. İlhami DEMİR
Yapı Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 29/6/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dökümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....

Nursultan KADYROV

29/6/2015

SOĞUK DERZİN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Nursultan KADYROV

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2015

ÖZET

Bu çalışmada, deneysel olarak soğuk derzin betonun doğrudan çekme, basınç ve eğilme dayanımı üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar TS EN 206-1 standardına göre üretilen C25 sınıfındaki beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. 100x200 mm boyutlarında silindir ve 100x100x500 mm boyutlarında prizma şeklinde hazırlanan beton numunelerde 45° ve 90° açılarda soğuk derz oluşturulmuştur. Numunelerin yarısı dökülüp 2, 3, 4 ve 6 saat beklenecek soğuk derz oluşturulduktan sonra kalan yarısı dökülmek suretiyle deney numuneleri elde edilmiştir. Hazırlanan bu numuneler üzerinde doğrudan çekme, basınç ve eğilme dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre soğuk derz oluşumunda süre uzadıkça doğrudan çekme ve eğilme dayanımlarında azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu azalma 6 saatten sonra dökülen betonlarda daha belirgin olmuştur. Basınç dayanımında ise 45° açıda dökülen betonlarda çok az azalma olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 911.1.143
Anahtar Kelimeler : Beton, Soğuk derz, Doğrudan çekme, Basınç, Eğilmede çekme, Beton prizi.
Sayfa Adedi : 65
Danışman : Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COLD JOINT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE

(M. Sc. Thesis)

Nursultan KADYROV

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2015

ABSTRACT

This study researches the effects of cold joint on the direct tensile, compressive strength and flexural strength of the concrete. The experimental studies were carried out on C25 concrete samples produced according to the standard TS EN 206-1. Cold joints were formed at the angles of 45 and 90 degrees in the concrete samples, which were produced in the shape of a 100x200 mm cylinder and a 100x100x500 mm prism. Test samples were prepared first by pouring the half of the concrete samples and forming the cold joint after waiting 2, 3, 4 and 6 hours, and then by pouring the remaining half of the concrete. Direct tensile, compressive and flexural strength tests were conducted on these samples. The results showed that during the formation of cold joint, a longer period of time led to a decrease on the direct tensile and flexural strength of the concrete. This decrease was more evident on the concrete samples poured after 6 hours. The compressive strength of the concrete poured at 45 degree was also found to be slightly decreased.

Science Code : 911.1.143

Key Words : Concrete, Cold joint, Direct tensile, Pressure, Flexural strength, Concrete socket.

Page Number : 65

Supervisor : Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü desteği ile bana yardımcı olan, mesleki ilim kazanmamda en büyük paya sahip olan, yine eğitimim boyunca yüksek derecede yardımları ile birlikte iyi niyeti, hoşgörüsü, güler yüzü ile çalışmalarına destek olarak yön veren kıymetli tez danışmanım hocam Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU'na en derin ve kalbi duygular ile teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca tecrübe ve değerli önerileriyle beni yönlendiren, her konuda yardım ve katkılarda bulunan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e ve eğitimim süresince ders aldığım tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar imkanlarını benim için seferber ederek laboratuvarında çalışmama imkan sağlayan ve çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren laboratuvar teknikeri Osman AYDIN'a, aynı zamanda her türlü çalışmalarda ilgi, iyi niyet, güler yüz ve özenle yardımlarını esirgemeyen bölüm Araştırma Görevlisi Kenan TOKLU'ya ve Doktora öğrencisi Seyedrahim BAHARAVAR'a teşekkür ederim.

Malzeme temininde yardımcı olan Ankara, Mamak bölgesi, Uğural Agregası ve Asfalt Tesisinin Sevkiyat ve Laboratuvar Şefi Nuh AYDIN'a ve Votarantin Kayaş Hazır Beton Tesisinin Şefi sayın Doğan Bey'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince boş vakitlerinde yardımcı olan Dastan Almen, Kaysar KAYRAT, Baktiyar DAULETBEK, Oral DAIYROV, Ramazan SAZÇALAR ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Türkiyede iyi bir eğitim almam için böyle bir imkan sağlayan, tüm uluslararası öğrencilere her konuda destek veren "Türkiye Bursları" programının tüm değerli personellerine ve Türkiye Cumhuriyeti'ne sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kendileri uzakta olsalarda hiç bir zaman beni yalnız bırakmayan sevgili Anne ve Babama, çok değerli kardeşlerime ve çalışmalarımda katkıda bulunan herkese teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRILMASI.....	3
2.1. Beton ve Bileşenleri.....	3
2.1.1. Agregalar.....	5
2.1.2. Çimento.....	7
2.1.3. Su.....	9
2.1.4. Kimyasal katkı maddeleri.....	10
2.1.5. Mineral katkı maddeleri.....	13
2.2. Betondan Beklenen Özellikler.....	19
2.2.1. Taze betondan beklenen özellikler.....	20
2.2.2. Sertleşmiş betondan beklenen özellikler.....	24
2.3. Soğuk Derz.....	29
2.4. Kaynak Araştırılması.....	34
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	37
3.1. Malzeme.....	37
3.1.1. Çimento.....	37

	Sayfa
3.1.2. Agrega.....	37
3.1.3. Karışım suyu.....	39
3.1.4. Epoksi.....	39
3.2. Yöntem.....	39
3.2.1. Beton karışım hesabı.....	40
3.2.2. Deneş programı.....	40
3.2.3. Deneş numunelerin hazırlanması.....	41
3.2.4. Epoksi hazırlanması.....	42
3.2.5. Taze beton deneşleri.....	42
3.2.6. Sertleşmiş beton deneşleri.....	44
4. DENEŞSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	49
4.1. Betonda Priz Süresinin Penetrasyon Direnci ile Ölçme Deneş.....	49
4.2. Basınç Dayanım Deneş.....	50
4.3. Doğrudan Çekme Dayanım Deneş.....	51
4.4. Eğilme Dayanım Deneş.....	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	65

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Normal ve ağır beton için basınç dayanımının sınıflandırılması.....	4
Çizelge 2.2. Çimento dayanım sınıfları.....	9
Çizelge 2.3. Suların zararlılık dereceleri için sınır değerler.....	10
Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.....	37
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan agreganın fiziksel özellikleri.....	38
Çizelge 3.3. Epoksinin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	39
Çizelge 3.4. 1 m ³ karışıma giren malzeme miktarı.....	40
Çizelge 3.5. Deney programı.....	40
Çizelge 3.6. Beton kıvam sınıfları ve özellikleri.....	43
Çizelge 4.1. Penetrasyon direncinden elde edilen veriler.....	49
Çizelge 4.2. Basınç dayanım değerleri.....	50
Çizelge 4.3. Doğrudan çekme dayanım değerleri.....	52
Çizelge 4.4. Eğilme dayanım değerleri.....	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bodrum kat çevre perdelerinin beton dökümü sırasında, uygulamadaki gecikme sebebiyle ilk tabakalar arasında meydana gelen soğuk derz oluşan beton örnekleri.....	31
Şekil 2.2. Farklı zamanlarda dökülerek ek yerleri oluşturulan betonarme istinad duvarında oluşan soğuk derz betonların örnekleri.....	32
Şekil 2.3. Kolonda oluşturulan soğuk derz.....	33
Şekil 2.4. Soğuk derz oluşan betonların farklı örnekleri.....	33
Şekil 2.5. Beton dökümünde ek yerlerin en uygun bırakılma şekilleri.....	34
Şekil 2.6. Çalışmada gösterilen betonun yerleştirme şekli.....	35
Şekil 3.1. Kullanılan agreganın tane büyüklüğü dağılımı.....	38
Şekil 3.2. 45° ve 90° açılarda soğuk derz oluşumunun tasarımı.....	41
Şekil 3.3. Epoksi bileşenlerinin resmi.....	42
Şekil 3.4. Standart yük uygulama cihazı.....	44
Şekil 3.5. Yük kontrollü beton presi.....	45
Şekil 3.6. Çekme dayanımı deneyinde kullanılan A) doğrudan çekme deney makinası, B) beton numunelerin yüzeylerine yapıştırılan çelik başlık, C) çelik başlık yapıştırılarak doğrudan çekme deneyine hazır hale getirilmiş bir beton numunesi.....	46
Şekil 3.7. Eğilme dayanımı deney presi.....	48
Şekil 4.1. Betonda priz başlangıç ve priz bitiş sürelerinin eğri ile belirlenmesi.....	49
Şekil 4.2. Basınç dayanım deneyinde kullanılmış silindir numuneleri.....	50
Şekil 4.3. Ortalama basınç dayanım değerleri.....	51
Şekil 4.4. Doğrudan çekme dayanım deneyinde kullanılmış silindir numuneleri.....	52
Şekil 4.5. Ortalama doğrudan çekme dayanım değerleri.....	53
Şekil 4.6. Silindir numunelerin kopma yerlerini şematik olarak gösteren çizimler; çizimlerde düz kesintisiz çizgi soğuk derzi, kesikli çizgi ise numunenin koptuğu yeri göstermektedir.....	54
Şekil 4.7. Eğilme dayanımı deneyi uygulanmış prizma numuneleri.....	55

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. Ortalama eğilme dayanım değerleri.....	56
Şekil 4.9. Prizma numunelerin kırılma yerlerini şematik olarak gösteren çizimler; çizimlerde düz kesintisiz çizgi soğuk derzi, kesikli çizgi ise numunenin kırıldığı yeri göstermektedir.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
D_{mak}	En büyük agraga çapı
μm	Mikron
σ_p	Penetrasyon direnci, N/mm ²
σ_b	Basınç dayanımı, N/mm ²
σ_ζ	Doğrudan çekme dayanımı, N/mm ²
σ_e	Eğilme dayanımı, N/mm ²
P	Maksimum yük, N
A	Kesit alan, mm ²
A_i	İğnenin batan ucunun alanı, mm ²
L	İki mesnet arası, mm
b	Prizma kesitinin eni, mm
d	Prizma kesitinin yüksekliği, mm
N_n	Numune sayısı
Kısaltmalar	Açıklama
CEM I	Portland çimentosu
KB	Kontrol betonu
S/Ç	Su/Çimento oranı
Num	Numune

1. GİRİŞ

Beton; ekonomik olması, bileşenlerinin doğada bol miktarda bulunabilmesi, dayanımı ve dayanıklılığının yüksek, maliyetinin düşük olması, işlenebilirliği, yangına karşı direnci, üretiminde az enerji gereksinimi duyulması, çevre dostu olması, estetik yapıların inşasına olanak sağlayan mühendislik özelliklerinden ve daha birçok özelliği ile alternatifsiz bir yapı elemanıdır. İlkel şekliyle 5000 yıl kadar önce Mısır Piramitlerinin inşasında, Çin Seddinin yapımında, Romalılar döneminde birçok mühendislik yapısında kullanıldığı bilinmektedir [1].

Bugünkü anlamda beton 1824 yılında portland çimentonun üretilmesi ve 1848 yılında İngiltere’de ilk çimento fabrikasının kurulmasıyla kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra 1903 yılında Almanya’da hazır beton, 1916 yılında da betonun taşınması için transmikserler kullanılmaya başlanmıştır [1].

Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en yaygın ve en popüler malzeme durumundadır. Betonun en çok kullanılan yapı malzemesi olması, diğer yapı malzemelerine göre betonun sahip olduğu üstünlüklerden ileri gelmektedir [2].

Taze betondan ve sertleşmiş betondan beklenen birçok özellik vardır. Taze beton, gerekli işlenebilmeye sahip olmalı, yerine yerleştirilen taze betonda mümkün olabildiği kadar az terleme yer almalı, priz süresi kullanılma amacına uygun olmalıdır. Sertleşmiş beton ise, istenilen süre içerisinde yeterli dayanımı gösterebilmeli, yeterli dayanıklılığa ve hacim sabitliğine sahip olmalıdır [2].

Beton, inşaat sektöründe maalesef çevresel koşullardan ve içerdiği malzemelerin özelliklerinden etkilenip çeşitli problemler oluşturabilir. Beton ile ilgili yaşanabilecek problemler dört ana gruba ayrılır. Bunlar;

- Beton yüzeyindeki problemler,
- Beton dökümünde ve yerleştirilmesinde yaşanabilecek problemler,
- Zamanla yapıda görülebilecek problemler,
- Beton etkileyen dış faktörler’dir.

Bu tüm problemlili durumlar betonun tam olarak anlaşılmasından, kötü işçilikten ve yanlış uygulamalardan kaynaklanmaktadır. Şantiyeye uygun koşullarda getirilmeyen, uygun bir şekilde yerleştirilmeyen, vibratörle sıkıştırılmayan, masterlanmayan ve periyodik bakımı(kürü) yapılmayan betonda hem dayanım hem de dayanıklılık yönünden problemler görülür. Bu nedenle beton ürünü diğer yapı malzemelerine göre üretim, taşıma ve uygulama safhalarında daha hassastır. Betondan istenilen verimin alınması için betonun hassasiyeti iyi bilinmeli ve buna göre önlemler önceden uygulama sırasında alınmalıdır [3].

Günümüzde kullanılan taze betonun önemli bir bölümü hazır-beton olarak üretilip taşındığından, yapının bulunduğu yere kadar transmikserlerle getirilmiş olan taze betonun yerleştirilmesi işleminde de pompa gücünden yararlanılmaktadır. Taze betonun yerine yerleştirme işlemi için hangi yöntem veya araç seçilse seçilsin, ulaşılmak istenen amaç, betonun homojen yapısı bozulmadan, uygun tarzda yerleştirmenin sağlanmasıdır [4].

Taze betonun yerleştirme işlemi başladığında, bu işlemin istenmeyen herhangi bir nedenle yarıda kalmaması gerekmektedir. Aksi takdirde, önceden yerleştirilmiş ve sertleşmiş olan betonun yüzeyi arasında yeterli bağ (aderans) oluşmamakta, “soğuk derz” denilen ve istenmeyen bir bağlantı eksikliği meydana gelmektedir [4]. Soğuk derz, farklı zamanlarda dökülen beton kütleleri arasında aderansın sağlanmayarak, iki kütlelerin ayrı çalışmasına neden olan bir imalat hatasıdır. İlk dökülen beton kütlelerinin prizini almaya başlamasından ya da tamamen prizini aldıktan sonra ikinci kütlelerin dökülmesi ile meydana gelir [5].

Bu çalışmada, soğuk derzin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada C25 standartlarında üretilen normal betondan farklı zamanlarda ve farklı derecelerde dökülen 100x200 mm boyutlu silindir numuneleri üzerinde basınç dayanımı ve doğrudan çekme dayanımı, 100x100x500 mm boyutlarında prizma numunelerinde ise eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca çalışma, hazırlanan taze beton numunelerinin priz başlama ve sona erme sürelerini belirlemeye ilişkin deneysel çalışmalarını da kapsamaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRILMASI

2.1. Beton ve Bileşenleri

Beton; çimento, beton agregası(kum-çakıl), su ve uygun katkı maddelerinin hesaplar neticesinde ve belirli bir üretim teknolojisine uygun olarak belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle katılaşp, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir [5].

Betonun oluşturulmasında çimento hamurunun işlevi, agrega tanelerinin yüzeylerini kaplamak, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmak, ve agrega tanelerini birarada tutacak tarzda bağlayıcılık sağlamaktır. Bu bakımdan beton, “çimento hamurundan ve agregalardan oluşan kompozit bir malzeme” olarak da tanımlanabilmektedir. Çimento, su, ve ince agreganın karışımından oluşan malzemeye “harç” denilmektedir. Harç, içerisinde iri agrega bulunmayan bir betondur [2].

Çimento ve suyun birleştirilmesiyle elde edilen çimento hamuru, başlangıçta, plastik (yumuşak, şekil verilebilir) bir malzeme durumundadır. Ancak, çimento ve su arasında hemen başlayan ve devam etmekte olan kimyasal reaksiyonların (hidrasyonun) etkisiyle, çimento hamurunun başlangıçtaki plastik özelliği zaman ilerledikçe azalmaktadır. Böylece, bir veya birkaç saat içerisinde, çimento hamuru katılaşmakta ve daha sonraları da tamamen sertleşmiş bir duruma gelmektedir. Karışım durumunda olan beton, zaman ilerledikçe, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların daha çok gelişmesiyle katılaşp sertleşmektedir. Betonun plastikliğini koruduğu süredeki durumu “taze beton”; katılaşma olayından sonraki safhadaki durumu ise “sertleşmiş beton” olarak adlandırılmaktadır [2].

Beton taze halde iken ayrışmadan ve boşluğu en az olacak şekilde sıkışp yerleşebilmeli ve sertleştikten sonra, ömrü boyunca karşılaşacağı çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere karşı yeterli dayanıklılığa sahip olmalıdır. Beton değişik dış ve iç etkilere mazur kalır. Gerek mazur kaldığı dış etkiler altında (mekanik, fiziksel ve kimyasal), gerekse kendi iç yapısında zaman içerisinde meydana gelecek değişikliklerden dolayı yapacağı şekil değiştirmelerin belirli değerleri aşmaması istenilen özelliklerdir [6].

Betonun sınıflandırılmasında iki sistem dikkate alınır;

- Birim ağırlıklarına göre sınıflandırma,
- En düşük karakteristik silindir veya küp basınç dayanımına göre sınıflandırmadır.

Betonlar birim ağırlıklarına göre üç ana grupta toplanırlar;

- Normal beton; etüv kurusu durumundaki yoğunluğu, 2000 kg/m^3 'ten büyük olup, 2600 kg/m^3 'ü geçmeyen beton,
- Hafif beton; etüv kurusu durumundaki yoğunluğu, 800 kg/m^3 veya daha büyük olup, 2000 kg/m^3 'ü geçmeyen beton, (Hafif betonda kullanılan agreganın bir kısmı veya tamamı hafif agrega olabilir.)
- Ağır beton; etüv kurusu durumundaki yoğunluğu, 2600 kg/m^3 'ten daha büyük olan betonlardır [7-8].

Betonun, basınç dayanımına göre sınıflandırılmasında, normal beton ve ağır beton için Çizelge 2.1'de verilen sınıflar uygulanır. Sınıflandırmada, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan silindir şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck,sil}$) veya kenar uzunluğu 150 mm olan küp şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck,küp}$) kullanılabilir. Özel durumlarda, ilgili tasarım standardının izin vermesi şartıyla Çizelge 2.1'de verilen dayanım seviyelerinin ara değerleri de kullanılabilir [8].

Çizelge 2.1. Normal ve ağır beton için basınç dayanımının sınıflandırılması [8]

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı, N/mm^2	En düşük karakteristik küp dayanımı, N/mm^2
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37

Çizelge 2.1. (devam) Normal ve ağır beton için basınç dayanımının sınıflandırılması

C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

2.1.1. Agregalar

Betonun ana iskeletini oluşturan, toplam hacminin yaklaşık %60-80 oranlarında yer işgal eden mineral kökenli, taneli malzeme, agregalar olarak isimlendirilir. Agregalar elde edilmesine göre doğal ve yapay agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalar, suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile birlikte zararlı bileşenler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir [9].

İyi bir aderans için kırma taş agregalar kullanılması, şekli bozuk tanelerin %5'i geçmemesi, düşük S/Ç oranlı karışımlarda bir miktar su emen agregalar seçilmesi, kaba agregalar mekanik özelliklerinin yeterli düzeyde olması, ince agregalar olarak düşük s/ç oranları için uygun aderanslar oluşturur. Diğer taraftan agregalar tane çapının (D_{mak}) büyük olması, genel olarak betonda iri tanelerin fazla bulunduğunu gösterir. Bu durum agregalar için gerekli su miktarının azalmasına neden olur. Tane çapı büyük olan agregalar kullanılarak üretilen betonların kapasitesi daha büyük olur ve ayrıca bunlar az miktarda suya ihtiyaç duyarlar. Böylece agregalar tane çapı büyük olan betonların mukavemetinde önemli bir artış sağlanabilir. Yalnız mukavemetin yüksek olmasını sağlamak için agregalar çapının artırılması yönünde fazla ilerlemek, bu karakteristiğin işlenebilirlik özelliğini azalttığı için elverişli değildir [9].

Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır;

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür vb.)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimento ile zararlı reaksiyona girmemeleri,
- Agregada silt ve kil olmaması.

Agregaların fiziksel özellikleri denildiğinde birim ağırlık, özgül ağırlık, kompasite, boşluk oranı, agreganın su emme kapasitesi ve mevcut rutubet durumu, donma-çözülme ve diğer fiziksel etkilere karşı dayanıklılık anlaşılmaktadır [10].

Agregalarda aranılan en önemli özelliklerden biri, mekanik mukavemetlerinin bunların içinde de özellikle basınç mukavemetinin yüksek olmasıdır. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımının en az 600 kgf/cm² olması istenir. Betonun bu etkilere dayanabilmesi için, yapımında kullanılan iri agreganın aşınmaya ve çarpmaya karşı yüksek mukavemete sahip olması gerekir [10].

Beton yapımında kullanılacak agreganın değişik özellikleri araştırılmaktadır. Araştırılan özellikler şu şekilde sıralanabilmektedir; gradasyon, maksimum tane büyüklüğü, tane şekli, yüzey dokusu, su emme kapasitesi, birim ağırlık, özgül ağırlık, agregadaki zararlı yabancı maddelerin türü ve miktarı, aşınmaya dayanıklılık, dona dayanıklılık, dayanım, elastiklik modülü ve ısısal özellikler [2].

Yoğunluğu 2,4 – 2,8 kg/dm³ arasında olan agregalar “normal ağırlıklı agregalar” olarak kabul edilmektedir [11, 12]. Kum, çakıl, kırmataş bu sınıfa dahildir. Yoğunlukları 2,4 kg/dm³’ den küçük olan agregalar “hafif agregalar” olarak açıklanmaktadır. Genleştirilmiş kil, genleştirilmiş perlit, bims gibi agregalar hafif agregalardır. Bu tür agregalarla hafif beton üretilmektedir. Yoğunlukları 2,8 kg/dm³’den büyük olan agregalar, “ağır agregalar” olarak anılmaktadır. Kırılarak taneli duruma getirilmiş hematit, magnetit, barit gibi demir cevherleri ağır agregalardır. Ağır agregalarla yoğunluğu yüksek olan “ağır beton”

üretilmektedir. Ağır beton, nükleer santrallerde olduğu gibi, radyasyonun geçişini önlemek amacıyla özel olarak da üretilmektedir [11, 12].

2.1.2. Çimento

Çimento ile yapılan harç ve beton gibi çimentolu ürünler insanoğlunun geçmişte en fazla kullandığı ve gelecekte en fazla kullanacağı yapı malzemesi olmakla beraber, aynı zamanda en fazla küçümsenen ve özellikleri en az bilinen malzemedir [13]. Çimento, yapı malzemeleri grubuna giren hidrolik bağlayıcı bir inşaat malzemesidir. Çimentoya özelliklerini kazandıran iki önemli öğeden biri hammadde bileşimi, diğeri ise klinkerin ısısal işlenmesidir. Klinker bileşimi, esas olarak hammadde karışımının kompozisyonuna sıkı sıkıya bağlıdır. Ayrıca kullanılan yakıt cinsi ve yakıt içerisinde kül meydana getiren maddeler de klinker bileşimini etkileyen faktörlerdir [14].

Çimento üretimi, kompleks bir iştir ve bunu üretmek için büyük tesislere ihtiyaç vardır. Çimentonun temel maddeleri kireç taşı ve kildir. Kireç bir bazdır ve silis, alüminyum ve demir oksitle birleşme özelliği vardır. Kil, saf olmayan alüminyum, kalsiyum ve demir silikattır. Çimento üretiminde gaye, bu maddeleri belirli oranlarda karıştırmak ve yüksek sıcaklıkta (1400-1500°C) pişirmektir. Yüksek sıcaklıkta temel maddeler değişikliğe uğrar. Kireç taşından CaO, kilden SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ meydana gelir. Bu maddeler, yine yüksek sıcaklıkta aralarında birleşerek çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran silikat ve alüminatları meydana getirirler. Çimento üretiminde hammadde olarak, klinkere %3-6 oranında alçı taşı (CaSO₄.2H₂O) katılarak birlikte öğütülür. Alçı taşının görevi, çimentoda priz süresini ayarlamaktır. Klinkere öğütme sırasında katkı maddesi olarak %2-3 gibi az bir oranda, kireç taşı da katılmaktadır. Kireç taşı klinkerden daha kolay öğütülebilen bir malzemedir. Böylece klinker daha iri, kireç taşı taneleri daha küçük olur ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak çimentonun mukavemetini ve işlenebilirliğini artırır, çimentonun kolay yayılmasını sağlar [14, 15].

Çimentolardan istenilen düzeyde yararlanabilmek için kullanılacak yerlerin özelliğine göre çimento seçmek gerekir. Sülfatlı zemine veya su ile temas eden inşaatlarda sülfata dayanıklı çimento kullanılması ve kütle betonlarda ise hidrasyon ısısı düşük çimento seçmek gerekir [10].

Çimentonun üretimi sırasında asit ve bazik öğeler birbirleriyle birleşerek portland çimentolarının dört ana bileşenini oluştururlar. Bunlar;

- $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ Dikalsiyum Silikat (C_2S)
- $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ Trikalsiyum Silikat (C_3S)
- $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ Trikalsiyum Alüminat (C_3A)
- $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ Tetrakalsiyum Alümino-Ferrit (C_4AF)'dır [6, 16].

TS EN 197-1 “Çimento Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellik ve Uygunluk Kriterleri” [17] standardı kapsamında 27 farklı genel çimento beş ana tipte olmak üzere gruplandırılmıştır. Bunlar;

- CEM I Portland Çimento
- CEM II Portland-Kompoze Çimento
- CEM III Curufllu Çimento
- CEM IV Puzolanlı Çimento
- CEM V Kompoze Çimentosudur.

Çimento dayanım sınıfları 32,5 N; 32,5 R; 42,5 N; 42,5 R; 52,5 N ve 52,5 R olmak üzere altıya ayrılmıştır. Bu sınıflandırmada, 28 günlük minimum basınç dayanımı değerinin yanında belirtilmiş olan “R” harfi, erken dayanım koşulu getirmektedir. Çizelge 2.2’de TS EN 197-1 “Çimento Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellik ve Uygunluk Kriterleri” standardındaki dayanım sınıfları ve basınç dayanımı sınırları verilmiştir.

TS EN 197-1 “Çimento Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellik ve Uygunluk Kriterleri” standartında 32,5 N ve 42,5 N dayanım sınıfı çimentolar için ilk priz süresi en az 60 dakika, 52,5 dayanım sınıfı çimentolar için ise en az 45 dakika olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.2. Çimento dayanım sınıfları [17]

Dayanım sınıfları	Basınç Dayanım Sınırları (N/mm ²)		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
32,5 N	-	≥16	≥32,5; ≤52,5
32,5 R	≥10	-	≥32,5; ≤52,5
42,5 N	≥10	-	≥42,5; ≤62,5
42,5 R	≥20	-	≥42,5; ≤62,5
52,5 N	≥20	-	≥52,5
52,5 R	≥30	-	≥52,5

2.1.3. Su

Beton karışımında kullanılan sular değişik kaynaklardan elde edilebilmektedir. TS EN 1008 standardı beton yapımında kullanılabilen suları;

- İçilebilen sular,
- Beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan sular,
- Yeraltı kaynaklarından çıkan sular,
- Doğal yüzey suları ve endüstriyel atık suları,
- Deniz suyu ve göl suyu şeklinde sınıflandırılmaktadır [18].

Şehir ve kasabalardaki yapılar için üretilen betonların karışımında, genellikle, belediyeler tarafından sağlanan ve içilebilir nitelikteki musluk suları kullanılmaktadır. Ayrıca, beton yapımı için uygun özellikte olduğu belirlenen endüstriyel sular da kullanılabilir. Kırsal kesimdeki çeşitli yapıların beton karışımlarında kullanılan sular çeşmelerden, kuyulardan, derelerden, göllerden, hatta denizlerden elde edilebilmektedir [2].

Kural olarak içilebilen bütün sular, beton üretiminde endişe duyulmadan kullanılabilirler. Ancak her zaman bu özellikte su bulmak mümkün olmayabilir. Beton karma suyu asidik olmamalıdır. Yani, pH derecesi 7 ve 7'nin üzerinde olmamalıdır. Çizelge 2.3'de belirtilen madde ve özelliklerden biri zararlı etki düzeyine ulaşıyor ise, suyun zararlı etkinlik derecesinin tayininde bu düzeye ait değer esas alınır. İncelenen özelliklerden iki veya daha

fazlasının söz konusu olması halinde, aralarında en yüksek zararlı etkinlik derecesine karşılık gelen değer esas alınarak zararlı etkinlik derecesi tayin edilir [19, 20].

Çizelge 2.3. Suların zararlılık dereceleri için sınır değerleri [9]

№	İncelenen Özellikler	Zararlı Etkinlik Derecesi		
		Zayıf	Kuvvetli	Çok Kuvvetli
1	PH Değeri	6,5-5,5	5,5-4,5	4,5'dan küçük
2	Kireç Çözümü (CO ₂ mg/L) (Heyer Mermer Deneyi İle)	15-30	30-60	60'dan büyük
3	Amonyum (NH ₄ ⁺) mg/L	15-30	30-60	60'dan büyük
4	Magnezyum (Mg ²⁺) mg/L	100-300	300-1500	1500'den büyük
5	Sülfat (SO ₄ ⁺) mg/L	200-600	600-3000	3000'den büyük

Beton üretiminde kullanılan karma suyu;

- Bağlayıcı maddenin hidrasyonunu sağlar,
- İnce ve iri agrega taneleri ıslatır,
- Betonun işlenebilme özelliğinin istenilen düzeyde olmasına yardım eder.

Belirli miktar da çimento, kum ve iri agrega kullanılarak beton üretimi istendiğinde en uygun bir optimum su miktarı vardır ki, bu miktarın kullanılmasıyla mukavemeti maksimum olan beton elde edilir [9].

Beton karışımında, çimento ağırlığının %36-42'si arasında karma suyun kullanılması çimentonun hidrasyonu için yeterlidir. Bundan fazla su, betonun işlenebilme özelliği için gereklidir. Karışım suyu miktarı, çimentonun inceliği ve agregadaki çok ince malzeme ile doğru orantılıdır. Kimyasal olarak bağlanamayan su, betonda büzülmelere ve istenmeyen boşluklara neden olur [21].

2.1.4. Kimyasal katkı maddeleri

Beton karışımını oluşturmak üzere kullanılan temel malzemelerin (çimentonun, agreganın ve suyun), karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında beton

karışımının içerisinde katılan malzemeye “beton katkı maddesi” denilmektedir [22]. Beton katkı maddeleri, betonun bazı özelliklerini değiştirerek performansını artırabilmek veya betonun daha ekonomik olmasını sağlayabilmek için kullanılmaktadır. Katkı maddelerinin taze betonun özelliklerine etkilerini anlatırken, taze betonun kıvamı, çökme kaybı, işlenebilmesi, terlemesi ve priz alması gibi bazı terimler kullanılmaktadır. Değişik amaçlarla kullanılmak üzere, değişik isimlerle üretilmiş olan binlerce katkı maddesi bulunmaktadır. Beton katkı maddeleri aşağıdaki dört ana gruba ayrılırlar;

- Kimyasal katkı maddeleri; betonun karışım suyu ihtiyacını azaltan katkılar, taze betonun priz almasını geciktiren katkılar ve priz almasını hızlandıran katkılardır.
- Hava sürükleyici katkı maddeleri; betonun dona karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılan maddelerdir.
- İnce taneli mineral katkı maddeleri; betonun işlenebilmesini, dayanımını, dayanıklılığını, ve ekonomikliğini artırmak amacıyla kullanılan maddelerdir.
- Değişik tiplerdeki diğer katkı maddeleri; korozyon önleyici katkılar, nem önleyici katkılar, su geçirgenliği azaltan katkılar, renklendirici katkılardır [23, 24].

İstenilen kıvamda bir taze beton elde etmek üzere beton karışımının ihtiyacı olan su miktarını azaltan, taze betonun priz almasını hızlandıran veya geciktiren katkı maddeleri gibi kimyasal katkı maddeleri genellikle, betonun karma suyu içerisine çok az miktarlarda katılarak kullanılmaktadır. İnce taneli mineral katkı maddeleri, betondaki çimento ağırlığının yaklaşık %10-%50'sine denk gelen miktarlarda kullanılmaktadırlar.

Kimyasal katkı maddeleri, karışım suyu içerisine çok az miktarda katılarak (çimento kütlesinin yaklaşık %1-%2'si kadar) kullanılmaktadır. TS EN 934-2'ye göre, beton yapımında kullanılacak kimyasal katkı maddelerinin, çimento kütlesinin %5'inden fazla olmaması gerekmektedir [25].

Kimyasal katkı maddeleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadırlar;

- Su azaltıcı katkı maddeleri (akışkanlaştırıcılar),
- Priz geçiktirici katkı maddeleri,
- Priz hızlandırıcı katkı maddeleri.

Su azaltıcı katkı maddeleri

Betonda su azaltıcı etki yapan katkı maddeleri, azalttıkları su miktarına göre ve su azaltmanın yanı sıra betonun priz süresinde yaratmış oldukları etkiye göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar;

- Normal miktarda su azaltıcı katkı maddeleri (akışkanlaştırıcılar),
- Yüksek miktarda su azaltıcı katkı maddeleri (süper akışkanlaştırıcılar),
- Su azaltıcı ve priz geçiktirici katkı maddeleri,
- Su azaltıcı ve priz hızlandırıcı katkı maddeleri,
- Yüksek miktarda su azaltıcı ve priz geçiktirici katkı maddeleridir [26, 27].

Priz geciktirici katkı maddeleri

Taze betonda uygulanacak taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ve yüzey düzeltme işlemlerinin beton henüz katılaşmadan yerine getirilmesi gerekmektedir. Oysa, hava sıcaklığının veya rüzgar hızının yüksek olması ya da havadaki nemin düşük olması gibi koşullar, beton üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bunlar;

- İstenilen kıvamdaki betonu elde edebilmek üzere gereken su miktarı artmakta,
- Taze betonun karıldığı andaki çökme değeri ile yerleştirildiği andaki çökme değeri arasındaki fark yüksek olmakta,
- Betonun prizi daha kısa sürede yer almakta,
- Betonun yüzeyinde plastik büzülme çatlakları olarak adlandırılan çatlaklar artmakta,
- Betonun yerleştirilmesinde güçlüklerle karşılaşmakta, daha önce yerleştirilmiş beton ile yeni yerleştirilen beton arasındaki bağlantıda soğuk derz olarak adlandırılan süreksizlik meydana gelmekte ve büzülme nedeniyle çatlaklar yer almaktadır.

Priz geciktirici katkı maddeleri, sıcak hava koşullarının beton üzerinde yaratabileceği çok hızlı priz yapma etkisini telafi edebilmek üzere, betonun priz süresinin daha uzun olmasını sağlayan katkı maddeleridir.

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri kullanıldıkları betondaki katılaşmanın, katkısız betondakine kıyasla, daha hızlı oluşmasını sağlayan katkı maddeleridir. Soğuk havada katkısız betonun priz süresi daha uzun olmakta, ilk zamanlarda kazanılan dayanım daha az olmakta ve buna bağlı olarak, kalıpların sökülme zamanı uzamakta, betonun kür'ü için daha uzun zaman gerekmektedir. Priz hızlandırıcı katkı maddelerinin kullanılması durumunda, bu gibi olumsuzlukları telafi etmek imkanı yer alan hidrasyonun daha hızlı olmasını sağlamakta, daha hızlı dayanım kazanılmasına yol açmaktadır. Priz hızlandırma amacıyla kullanılan değişik türlerde katkı maddesi bulunmaktadır. Bazıları, portland çimentosunun hidrasyonu ile doğrudan ilişkili olmamakla beraber, çok hızlı priz yaratabilmektedir. Bu tür katkıların kullanıldıkları betonların priz başlama süresi 1-4 dakika, priz sona erme süresi 3-10 dakika olabilmektedir. Çok hızlı priz yapan katkılar, yapıdaki su kaçığını durdurmak için betondaki bir deliğin tıkanması işinde, betondaki bir bölümün yama yapılarak tamiri işinde ve benzeri durumlarda kullanılmaktadır.

Priz hızlandırıcı katkıların kullanılması durumunda, taze beton taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilebilmesi için gereken sürenin çok iyi ayarlanması, doğru programlama yapılması özellikle önemlidir. Fazla miktarda kullanılan katkı maddeleri, ani prize yol açabilmektedir. Ayrıca, priz hızlandırıcılar, ilk günlerdeki beton büzülmesinin biraz daha fazla, betonun nihai dayanımının ise biraz daha az olmasına neden olabilmektedir [2].

2.1.5. Mineral katkı maddeleri

Beton üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanılan birçok malzeme türü mevcuttur. Elde edildikleri kaynaklara göre, mineral katkı maddelerini üç grupta toplayabilmek mümkündür;

1. Doğal malzemeler (volkanik küller, traslar, diatomlu topraklar ve taşunu),
2. Beton üretimi ile doğal olmayan bir endüstri kolunda yan ürün olarak elde edilen malzemeler (uçucu küller, silis dumanı ve granüle yüksek fırın curufu),
3. Isı işlemi uygulanmış olan malzemeler (pişirilmiş kil, pişirilmiş şeyl).

Betonda katkı maddesi olarak kullanılan mineral malzemelerinin mutlaka ince taneli durumda olmaları gerekmektedir. Uçucu kül ve silis dumanı gibi malzemeler, yan ürün olarak elde edildikleri halleriyle, ince taneli malzemelerdir. Öte yandan, volkanik tüf, granüle yüksek fırın curufu, pişirilmiş kil gibi bazı malzemelerin beton katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için, öğütülmeleri ve tanelerinin inceliğinin en az potland çimentosu tanelerinin inceliğine getirilmesi gerekmektedir.

İnce taneli mineral katkı maddeleri beton üretiminde kullanılan temel malzemelerin yanı sıra ayrı bir malzeme olarak beton karışımına doğrudan dahil edilmekte ve temel malzemelerle beraber karılmaktadırlar. Bunların kullanıldıkları oran, genellikle, beton karışımında yer alan çimento miktarının %10-%50'si kadardır. Çoğu zaman, beton karışımında kullanılacak çimento miktarı azaltılmakta ve azaltılan miktar kadar ince taneli katkı maddesi konulmaktadır. Gerek görüldüğünde, ince taneli mineral katkı maddelerinin yanı sıra kimyasal katkı maddeleri de kullanılmaktadır. İnce taneli mineral katkı maddeleri, kullanılan malzemenin tipine ve oranına bağlı olarak, taze ve sertleşmiş betonun birçok özelliğini etkileyebilmektedir.

Mineral katkı maddesi kullanarak aşağıda sıralanan amaçlardan birisine veya birden fazlasına ulaşabilmek mümkün olabilmektedir;

1. Taze betonun işlenebilmesini artırmak,
2. Betonun belirli bir özeliğini (veya belirli birkaç özelliğini) geliştirmek:
 - a. Terlemeyi ve segregasyonu azaltmak,
 - b. Hidratasyon ısısını azaltmak,
 - c. Alkali-silika reaksiyonu nedeniyle oluşacak genleşmeyi azaltmak,
 - d. Su geçirgenliğini azaltmak,
 - e. Nihai dayanımı artırmak,
 - f. Sülfatlara karşı dayanıklılığı artırmak,
3. Daha ekonomik bir beton elde etmek.

Taşunu dışında, betonda ince taneli mineral katkı maddesi olarak kullanılan malzemelerin hemen hemen tümü puzolanik özellikli malzemelerdir [2].

Uçucu küller

Elektrik enerjisi üretimi için, termik santrallerin çoğunda yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Kömür, %80'ni 75µm elekten geçebilecek inceliğe sahip olacak tarzda öğütülmekte ve havayla birlikte, buhar üretici kazanları ısıtmak amacıyla, yakıt olarak püskürtülmektedir. Pulverize kömürün yanmasıyla büyük bir miktarda çok ince, bir miktar da nispeten biraz daha iri boyutlara sahip kül tanecikleri ortaya çıkmaktadır. Çok ince tanelere sahip olan küller, yakıt gazlarıyla beraber uçarak bacadan dışarı çıkmak üzere hareket etmektedirler. Nispeten ağır olan iri kül tanecikleri taban külü olarak ocağın tabanına düşmektedirler. Atık malzeme olarak ortaya çıkan küller yaklaşık %70 - %80'i gazlarla birlikte bacadan çıkma eğilimi gösteren çok ince taneli küllerdir. Bu küller'e uçucu kül denilmektedir [28].

Uçucu kül taneciklerinin boyutları 1 – 150 µm arasında değişiklik göstermektedir. Normal olarak 2,1 – 2,7 g/cm³ yoğunluğa sahiptirler. Renkleri açık griden koyu griye uzanan değişikliktedir. Silis ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli olarak elde edildikleri için, uçucu küller de, aynen ince taneli doğal puzolanlar gibi, puzolanik özellik göstermektedirler. Kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiklerinde, hidrolik bağlayıcılığa sahip olmaktadırlar. Bu nedenle, uçucu küller hem portland-puzolan tipi çimento üretiminde, hem de beton katkı maddesi olarak doğrudan kullanılmaktadır. Genellikle, beton katkı maddesi olarak çok büyük miktarlarda kullanılabilir. Beton karışımının içerisinde yer alan uçucu kül miktarı, çimento ağırlığının %15 - %50'si arasında değişebilmektedir.

Betonda katkı maddesi olarak kullanılan uçucu kül'ün beton özelliklerine olumlu etkileri;

- Taze betondaki işlenebilmeyi artırmak,
- Taze betondaki terlemeyi azaltmak,
- Betonun hidratasyon ısısını azaltmak,
- Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmak,
- Sertleşmiş betonun sülfatlara dayanıklılığını artırmak,
- Ekonomiklik sağlamak şeklindedir.

Betonda katkı maddesi olarak kullanılan uçucu kül'ün betonun özelliklerine potansiyel zararlı etkileri ise;

- Betonun prizini birazcık geçiktirmektedir; bu durum, soğuk havalarda sorun olabilmektedir,
- Betonun ilk günlerdeki dayanım kazanma hızını azaltmaktadır,
- Betonun daha uzun süreyle kür edilmesini gerektirmektedir,
- Betonda belirli miktarda sürüklenmiş hava elde edebilmek için daha çok miktarda hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılmasını gerektirmektedir [2].

Silis dumanı

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımlarının üretiminde, yüksek saflıktaki kuvars, elektrikli fırınlarda yaklaşık 2000°C sıcaklıkta kömür yardımıyla indirgenmeye tabi tutulmaktadır. Üretim işleminde çok büyük miktarda SiO'dan oluşan gazlar çıkmaktadır. Gaz halindeki SiO'nun, fırının soğuk bölgelerinde havaya temas etmesiyle ve çok çabuk yoğunlaştırılmasıyla, gazın içerisindeki SiO amorf yapıya sahip SiO₂ durumuna dönüşmektedir. Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımlarının üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85 - %98 oranında silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye silis dumanı adı verilmektedir.

Silis dumanı, amorf yapıya sahip çok ince taneli malzeme olduğundan ve yüksek miktarda SiO₂ içerdiğinden, mükemmel bir puzolanik malzemedir. Diğer puzolanik malzemeler gibi, kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirildiği takdirde, hidrolik bağlayıcılık göstermektedir.

Genellikle, beton karışımında yer alan çimento miktarı yaklaşık %10 kadar azaltılmakta ve onun yerine bu puzolanik madde yerleştirilmektedir. Çok ince taneli olması ve çok yüksek miktarda SiO₂ içermesi nedeniyle gerek ilk zamanlarda ve gerekse nihai olarak oldukça yüksek dayanımlı betonların elde edilebilmesinde kullanılmaktadır.

Silis dumanının beton özelliklerine olumlu etkileri;

- Betonda yüksek basınç dayanımı elde edilmesini sağlamak,
- Taze betondaki terlemeyi ve ayrışmayı azaltmak,
- Betonun hidrasyon ısısını azaltmak,
- Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmak,
- Sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmak,
- Sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığını artırmak, şeklindedir.

Silis dumanının beton özelliklerine potansiyel zararlı etkileri ise;

- Silis dumanı kullanılarak üretilen betonların yüksek miktarda karışım suyu ihtiyacı vardır. Bunu telafi edebilmek için su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir.
- Silis dumanı çok ince taneli olduğundan ve terlemeyi azalttığından, betonun yüzeyinin düzeltilmesi işlemi daha zor olabilmektedir.
- Silis dumanı kullanılması durumunda, daha çok miktarda plastik büzülme çatlama yol açabilmektedir.
- Silis dumanı, daha kolay renkli beton elde edilmesine neden olmaktadır [29].

Öğütülmüş granüle yüksek fırın curufu

Demir elde edebilmek için, demir cevherlerinin, yüksek fırın olarak adlandırılan fırınlarda çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmaları, böylece oksijenden ve yabancı maddelerden arındırılmaları gerekmektedir. Kok kömürünün yakıt olarak kullanıldığı bu fırınlarda, ayrıca, arıtma işlemine yardımcı olması için kalkertaşı da cevherle birlikte ısıtılmaktadır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle, kok kömürünün karbonu ile demir oksitteki oksijen birleşip karbon monoksit ve karbon dioksit gazları oluşturarak fırını terketmektedir. Geride, eriyik durumda demir ve eriyik durumda olan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , MnO , S gibi yabancı maddeler topluluğu kalmaktadır. Demirin yoğunluğu, yabancı maddeler topluluğunun yoğunluğundan daha yüksek olduğu için, eriyik durumdaki demir, fırının en alt bölümünde ve eriyik durumdaki diğer malzemeler ise, demirin hemen üzerinde yer almaktadır. Demir ve diğer malzeme topluluğu ayrı ayrı çıkışlardan dışarı çıkartılmaktadır. Elde edilen

yabancı maddeler topluluğu yüksek fırın curufu olarak adlandırılmaktadır. Yüksek fırından atık malzeme olarak dışarıya çıkartılan eriyik durumdaki curuf yaklaşık 1500 °C sıcaklıktadır. Eriyik curufun havada soğutulması durumunda, elde edilen curuf kristal yapıya sahip olmaktadır. Ancak, eriyik curuf, su içerisine dökülerek çok hızlı soğumaya tabi tutulursa, hem irili kum taneleri boyutunda granüle durumuna gelmekte hem de büyük oranda amorf yapı kazanmaktadır. Eriyik curufun çok hızlı soğutulma işlemi, çok büyük miktarlarda basınçlı su püskürtülmesi ile de yapılabilmektedir.

Amorf yapıya sahip olan büyük miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içeren granüle yüksek fırın curufu, öğütülerek çok ince taneli duruma getirildiği takdirde, doğal puzolanların ve uçucu küllerin puzolanik özelliklerine benzer özellikler göstermektedir. Ayrıca, büyük miktarda CaO içermesi nedeniyle, öğütülmüş granüle yüksek fırın curufunun kendiliğinden de bir miktar bağlayıcılık özelliği bulunmaktadır. Yüksek fırın curufunun portland çimentosu klinkeriyle öğütülerek curuf lu çimento elde edilmesi oldukça eskiye dayanan bir uygulamadır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın curufunun beton katkı maddesi olarak kullanılması Güney Afrika'da Stütterheim tarafından 1947-1953 yılları arasında yapılan araştırmalardan sonra başlamıştır. Katkı maddesi olarak kullanıldığı takdirde, öğütülmüş granüle yüksek fırın curufunun beton özellikleri üzerinde yarattığı etkiler, ince taneli doğal puzolanların veya uçucu küllerin betonda yarattığı etkilere benzerdir [30].

Öğütülmüş granüle yüksek fırın curufunun beton özelliklerine olumlu etkileri;

- Taze betondaki işlenebilmeyi artırmaktadır,
- Taze betonun priz süresini uzatmaktadır,
- Betondaki terlemeyi azaltmaktadır,
- Betonun hidrasyon ısısını azaltmaktadır,
- Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmaktadır,
- Sertleşmiş betonun sülfat dayanıklılığını artırmaktadır.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın curufunun beton özelliklerine potansiyel zararlı etkileri;

- Betonda belirli miktarda sürüklenmiş hava elde edilmek için daha çok hava sürükleyici katkı maddesine ihtiyaç olmaktadır,

- Betonun özellikle soğuk havalarda daha geç priz almasına yol açmaktadır,
- İlk zamanlardaki beton dayanımı artışı daha yavaş tempoda gerçekleşmektedir.

2.2. Betondan Beklenen Özellikler

İyi bir beton taze halde iken, kolay taşınabilmeli, yerleştirilebilmeli, sıkıştırılabilmeli ve bu işlemler sırasında agrega taneleri ayrışmamalıdır. Sertleşmiş halde ise betonun mekanik mukavemeti yeterince yüksek olmalıdır. Bunlarla birlikte hava etkisine, kimyasal etkilere ve aşınma etkisine karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca ekonomik olmalı, yani malzeme, üretim, döküm, kalıplama, bakım masrafları az olmalıdır. Betonun basınç dayanımı genellikle karışıma giren su miktarı azaldıkça artar. Yani basınç dayanımı ile karışıma giren su miktarı arasında ters orantı vardır. Ancak seçilen bir su/çimento oranı için her zaman aynı dayanımların elde edilmesi beklenemez. Çünkü su/çimento oranının değişmemesine rağmen en büyük tane büyüklüğü, tane dağılımı, agreganın yüzey yapısının, biçiminin, cinsinin, dayanımının yanında çimentonun tipinin veya hava miktarının değişmesi, kimyasal veya puzolanik katkı maddesinin kullanılması veya kullanılmaması betonun dayanımını etkiler [6].

Beton donma ve çözülmeye, ıslanma ve kurumaya, ısınma ve soğumaya, zararlı kimyasal etkilere dayanıklı olmalıdır. Betonun bu etkilere dayanıklılığını sağlamak için bazı hallerde özel çimento kullanılmak gerekli ve yeterli olabilir. Su/çimento oranının küçük tutulması, zararlı etkili kimyasal maddelerin girmesini zorlaştıracak az geçirimli bir yapı oluşturacağı için yararlıdır. Donma-çözülmeye maruz kalacak betonlarda hava sürükleyici katkıları kullanılması uygun sonuç verebilir [6].

Yapıda istenilen şekil ve boyutlarda betondan yapılmış elemanların kullanılması için, önce, o şekil ve boyutlardaki kalıplar hazırlanmakta ve içerlerine taze beton yerleştirilmektedir. Kalıpların içerisindeki beton yeterince sertleşip dayanım kazandıktan sonra da kalıplar sökülür. Betonun sertleşmesi ve dayanım kazanması, kalıpların sökülmesinden sonra da devam etmektedir. Bazen, istenilen şekil ve boyutlardaki kalıplar kullanılarak, içerisinde çelik donatı bulunmayan veya çelik donatı ile takviye edilmiş beton elemanlar bir fabrikada önceden üretilmekte ve sertleşmiş durumdaki bu elemanlar yapının bulunduğu yere taşınarak kullanılmaktadır [31].

2.2.1. Taze betondan beklenen özellikler

Taze beton kolayca karılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır. Bu işlemler sırasında iri agregalarla çimento harcı arasında ayrışma olmamalıdır. (Bu özelliklerin tümü “işlenebilme” olarak tanımlanmaktadır.) Yerine yerleştirilen taze betonun içerisindeki suyun yukarıya çıkan eğilimi (terleme) mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Betonun homojen yapısı bozulmamalıdır [31].

Beton, segregasyon ve kuma yapmadan kalıplara konabilmeli ve vibrasyon yapılarak maksimum yoğunluk elde edilebilmelidir. İşlenebilme özelliği, kaliteli beton üretiminin en önemli koşulu sayılabilir. Taze betonun işlenebilirlik özelliğini tek başına belirleyen bir deney metodu yoktur. Beton işlenebilme özelliğine etki yapan başlıca faktörler şunlardır;

- Su/çimento oranı: su/çimento oranı arttıkça taze betonun akıcılığı artar. Ancak gereğinden fazla su kullanarak betonun işlenebilme özelliğinin artırılması çeşitli olumsuz etkileri nedeniyle istenilmez.
- Çimento dozajı: çimento dozajı arttıkça betonun işlenebilme özelliğine iyileşme gözlenir. Ancak çimento dozajı teknik ve ekonomik nedenlerle istenildiği kadar artırılamaz. Dozaj dışında çimento inceliği de betonun işlenebilme özelliğini artırıcı etki yapar.
- Kum: beton karışımında ince kum kullanılması taze betonun işlenebilme özelliğini artırıcı etki yapar. İnce kum daha fazla su tutar ve karışım içindeki serbest suyu azaltır. Kumun inceliği yanında, yuvarlak yapıda ve düzgün granülometride oluşu da işlenebilme açısından yararlıdır. Doğal dere kumu, kırma taş ile elde edilen kuma tercih edilmelidir.
- Sıcaklık: sıcaklığın yüksek oluşu taze betonun işlenebilme özelliğine olumsuz etki yapar.
- Kimyasal katkıları: hava katkısı beton işlenebilme özelliğini iyileştirir. Hava katılması suretiyle beton daha akışkan bir kıvam kazanır. Segregasyon ve kuma olayları belirgin şekilde azalır. Beton karışımına karma suyunu azaltmak amacıyla katılan kimyasal katkıları, betonun slumpını düşürmeden su/çimento oranını azaltır. Su/çimento oranı sabit tutulacak olursa, slumpın arttığı görülür.

- Karışım oranı: betonun karışım oranı iyi ayarlanmak suretiyle taze betonun işlenebilme özelliği artırılabilir. Burada özemli olan çakıl/kum oranı ve maksimum tane çapıdır. Maksimum tane çapı artırıldıkça betonun işlenebilme özelliği azalır [32].

Beton kıvamı

Optimum kıvama karşılık gelen betonun işlenebilirlik özelliği, döküm sırasında segregasyona neden olmadan sağlanabilen maksimum beton akıcılığı olarak tanımlanabilir. Betonu kalıp içinde vibrasyona tabi tutarak sıkıştırmak ve maksimum yoğunluğu erişmek mümkün olabilir. Özellikle ince betonlu yapılarda segregasyon yapmadan betonu kalıp içinde sıkıştırmak büyük önem taşır. Beton mukavemetini artırmak için porozitesini azaltmak, yani beton karışımı içerisinde bulunan havanın mümkün olduğu kadar çıkarılmasını sağlamak gerekir, vibrasyonun temel amacı da budur. Özellikle betonarme demirlerinin bulunması halinde, demirlere yapışmış halde hava kabarcıkları kalması büyük sakınca yaratır. İşlenebilme özelliği yetersiz olan betonlarda hava kabarcıklarını vibrasyonla çıkarabilmek mümkün olmaz. Bu açıklamalardan anlaşılacağı üzere, bir betonda maksimum yoğunluğa erişebilmek için işlenebilme özelliğinin yeterli derecede tutulması zorunludur. Aksi halde kalıplara yerleştirilmiş olan beton içinde hava boşlukları kalır ve bunun sonucu olarak da beton mukavemetinde düşme görülür. Yapılan deneyler, bir beton karışımı için %5 boşluk kalması halinde, bu boşluğun söz konusu betonun mukavemetinde yaklaşık %30 oranında azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Eğer betonun boşluk yüzdesi %2 ye kadar düşürülebilirse, mukavemetteki kayıp en çok %10 olabilir [32].

Betonların işlenebilme özelliğini artırmak için en kolay yol, su/çimento oranını artırmaktır. Ancak su/çimento oranının artırılması, başta mukavemet ve permeabilite olmak üzere betonun bütün özelliklerine olumsuz etki yapar. Bu çelişkili durum, beton içine katkı maddeleri katılarak giderilmeye çalışılır. Böylece, yeteri kadar düşük su/çimento oranlarında, yeteri kadar yüksek işlenebilirlik özelliği elde edilmeye çalışılır.

Pratikte beton kıvamı en kolay şekilde slump deneyi yapılarak ölçülmekte ve mm olarak ölçülen slump değeri göz önüne alınarak işlenebilme özelliği hakkında fikir edinilmektedir. Betonun işlenebilme özelliği üzerine betonun içinde bulunduğu çevre koşulları da etki yapar. Çevredeki atmosferde relatif rutubetin düşük oluşu, beton karışımının kısa süre

içinde su kaybetmesine neden olur. Böylece beton kıvamı daha koyu hale gelir. Buharlaşan suyun yanında, karışım işleminde sonraki ilk saatler içinde bir kısım su da agrega tarafından absorbe edilir ve hidrasyon reaksiyonları ile bağlanır. Bu kayıplar sonucu beton gittikçe koyulaşır ve 1 saat içinde betonun sıkıştırma faktöründe yaklaşık %0,1 oranında azalma gözlenir [32].

Beton rötresi

Çimento su ile karıştırıldıktan sonra hidrasyon sonunda hidrate bileşiklerin oluşmasıyla çimento hamuru hacminde azalmalar görülür. Beton hacminde görülen azalma olayına rötire denir. Beton rötresi genel olarak iki kısma ayrılabilir;

1. Beton dökümünden hemen sonra, beton henüz plastik halde iken, su kaybı nedeniyle hacim küçülmesi sonucu oluşan plastik rötire.
2. Beton sertleştikten sonra meydana gelen kuruma rötresi.

Kuruma rötresini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlardan en önemlileri çimento dozajı ve su/çimento oranıdır. Rötrenin oluşma nedeni beton içine katılmış olan suyun fazlalığıdır. Daha önce açıklandığı gibi çimento hamurunda bulunan su, buharlaşmayan su ve buharlaşabilen su olmak üzere iki grup altında toplanabilir. Buharlaşmayan su hidrasyon ürünleri tarafından kimyasal ve fizikokimyasal olarak bağlanan sudur. Buharlaşabilen su ise, çimento hamurunun kapiler ve jel boşluklarında bulunan sudur. Bu boşlukların durumuna göre buharlaşabilen su:

- Serbest su,
- Jel su,
- Kılcallık su halinde bulunur.

Bu sular farklı şekil ve zamanda buharlaşır. Prizini yapmış çimento hamuru rutubet derecesi düşük bir ortamda tutulduğu vakit önce serbest su buharlaşarak ayrılır. Bunu aynı şekilde kılcallık suyu ve jel suyunun buharlaşarak çimento hamurunu terketmesi izler. Böylelikle havada bırakılan çimento hamurundan veya betondan suların ayrılmasıyla malzemenin ağırlığında bir azalma olur. İşte bu ağırlıktaki azalma veya su kaybı betonların rötire yapmasının başlıca nedenidir.

Segregasyon

Taze betonun içerisinde yer alan iri agregalar ile çimento harcının herhangi bir nedenle ayrışma göstermesi olayına segregasyon denir. Segregasyon sonucu beton karışımının bazı bölgelerinde daha iri agregalar, bazı bölgelerinde de ince agregalar ve çimento hamuru birikerek beton karışımının homojen dağılımı bozulur. Bu durum aynı beton karışımının değişik bölgelerinde farklı mukavemet değerlerinin oluşmasına neden olur.

Segregasyon olayı her şeyden önce, betonu oluşturan kum – çakıl ve çimento gibi değişik büyüklük ve yoğunlukta olan malzemelerin uygun oranlarında kullanılmaması olmasından kaynaklanır. Böyle olmasa bile, taze betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinin uygun şekilde yapılmamış olması da segregasyona neden olabilir. Bunun dışında beton karışımı içindeki iri agregalar oranının çok fazla veya az olması, su/çimento oranının gereğinden yüksek veya düşük oluşu da betonun segregasyon yapmasına neden olabilir. Beton yapımında kullanılan iri ve ince agregaların özgül ağırlıkları arasında büyük fark bulunması halinde de segregasyonda artış görülür.

Betonda kuma

Bütün betonların yüzeyinde dökümünden sonraki ilk saatler içinde su toplanabilir. Bu olay kuma veya terleme olarak ifade edilir. Kuma esas olarak taze beton yapısının farklı büyüklük ve yoğunlukta taneciklerden oluşmasından kaynaklanır. Betonun yerleştirilmesi sürecinde, sudan daha ağır olan agregalar parçacıkları yerçekimi ile aşağı doğru hareket ederken, karışım içinde bulunan fazla suyun yukarı doğru itilmesine neden olurlar. Bu durum betonun yerleştirilmesi sona erene kadar devam eder. Kuma sonucu yüzeye çıkan suyun toplam miktarı karışım özelliklerine, özellikle su/çimento oranı ve ince tane yüzdesine (çimento, uçucu kül, ince kum vb.) bağlıdır. Su/çimento oranının fazlalığı kumayı artırırken, ince malzeme miktarının artması kumaya azaltıcı etki yapar. Diğer taraftan, kuma miktarı yerleştirilen betonun derinliğine de bağlıdır. Derin kesitlerde sığ kesitlerden daha fazla kuma suyu birikir. Kuma, genellikle düzenli bir sızıntı artışı ile üniform bir şekilde bütün yüzeye yayılarak oluşur. Buna karşın bazen yer yer beton yüzeyinde doğal düşey su kanallarının oluştuğu görülür. Su, bu kanallardan çimento ve kumun ince tanelerini taşıyarak içinde kurt delikleri gibi delikler veya kalıplanan yüzeyde ince kum görümlü yüzey bırakarak oldukça hızlı akar.

Yüzeyde oluşan su boşaltım kanalları, kışın buzlanmaya karşı kullanılan tuz çözeltilerinin betona penetrasyonu için açık geçitler olarak rol oynar. Bu durum, betonarme yapıların servis ömrü için çok önemli görülen donma-çözülme direncinin zayıflamasına ve betonarme demirlerinin korozyonunun hızlanmasına neden olur.

Kusma etkisi ile kılcal kanallar oluşmuş olan betonlarda, özellikle kolon ve duvar gibi yapı elemanlarının üst kısımlarında, atmosfer etkilerine açık olan bölgelerde zamanla bozulmalar görülür. Bu bozulmaların başlıca nedeni kusma sonucu beton üst yüzeyinde biriken sudur. Bazen beton üst yüzeyinde biriken su tamamen buharlaşmaz. Yüzeye yakın olan suyun bir kısmı burada tutulur ve yüzeye yakın bölgede çimento oranının artmasına neden olur. Bu ise betonun mekanik mukavemetinin azalması sonucunu doğurur [32].

2.2.2. Sertleşmiş betondan beklenen özellikler

İster yapıdaki kalıbına yerleştirilerek elde edilen beton elemanların üretilmesinde, isterse önyapımlı beton elemanların üretilmesinde, üreticinin ve kullanıcının son hedefi, sertleşmiş durumdaki betonun, kendisinden beklenen özellikleri gösterebilecek kalitede olmasıdır. Sertleşmiş betondan beklenen özellikler şu şekilde verilebilir;

- Sertleşmiş beton 7 günlük, 28 günlük, 90 günlük gibi herhangi bir yaş için hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından daha az bir dayanım göstermemelidir.
- Çevredeki suyun ve diğer sıvıların betonun içerisine kolayca girerek olumsuz etki yaratmaması için, yeterince geçirimsiz olmalıdır.
- Yapıda hizmet gördüğü süre içerisinde çevrede oluşan yıpratıcı etkenler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır. Bir başka deyişle, donma-çözülmeye, ıslanma-kurumaya, ısınma-soğunmaya, aşınmaya, asitlere, sülfatlara, ve alkali-agrega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterebilecek kalitede olmalıdır.
- Yeterli hacim sabitliğine sahip olmalıdır; yani, çatlamalara yol açacak ölçüde büzülme (rötre) veya genleşme göstermemelidir.

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı, gerilme-birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, poisson oranı, ısıl

genleşme katsayısı, yoğunluk, betonun zamana bağlı olarak göstereceği büzülme (rötre) ve sabit yükler altında sünme, betonda aranan önemli özelliklerdir [31].

Beton mukavemeti

Betonun en önemli mekanik özelliğinden birisi basınç mukavemetidir. Beton mukavemet değerleri arasında en yüksek olanı basınç en düşük olanı çekmedir. Pratikte betonun çekme gerilmesinin hiç olmadığı, hemen çatladığı varsayılır.

Betonun basınç dayanımı, betonun diğer nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir betonun, kompasitesi yüksek, su geçirgenliği çok az, dış etkilere dayanıklı ve aşınması az olur.

Pratik yönden dayanım 3, 7, 28 ve 90 günlerde de tayin edilebilir. Beton deney numunesi, alınmış olduğu betonun bütün özelliklerine sahip olan ve kullanılacağı deney uygun boyutlarda kalıplara dökülüp sıkıştırılmak suretiyle ve bakımı yapılarak hazırlanmış olan betondur. Deney sonucu basınç mukavemeti, kontrolü yapılacak beton döküm işinde aynı harmandan alınan deney numunelerinin ortalama basınç mukavemetidir. Basınç dayanımı zamana bağlı olarak artar. Genel olarak, standart beton basınç dayanımının 28 günlük değeri %100 kabul edilir. Beton, yaşlandıkça mukavemet değeri artar ve bu artış 28 güne kadar hızlı, bundan sonra yavaş devam eder. Betonun basınç dayanımının bilinmesi diğer bazı mekanik özelliklerinin tahmin edilmesine yardımcı olur. Yapılan araştırmalara göre betonun basınç dayanımı ile çekme, eğilme ve kesme dayanımları arasında ilişkiler kurulmaktadır. Bu ilişki sonucu elde edilecek dayanım, aynı malzeme ile üretilmek şartıyla yaklaşık bir değerdir. Betonda çekme mukavemeti, bir malzemenin eksenel çekme kuvvetlerinin etkisi altında dayanabileceği en büyük gerilmedir [6].

Temel bir yapı malzemesi olan beton, doğası bakımından diğer yapı malzemelerinden ayrılır. Beton özelliklerinin, tıpkı yaşayan sistemlerde olduğu gibi zamanla gelişme gösterdiği saptanmıştır. Betonun bir bütün olarak doğası, bileşenlerinin özelliklerinin tek tek süper pozisyonu ile elde edilemez. Beton davranışlarının önemli bir bölümü, bu bileşenlerin arasındaki etkileşimler sonucu ortaya çıkar. Beton, kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun taşıyıcılığının en belirgin ölçütü de basınç dayanımıdır. Genellikle betonun kalitesi, dayanımıyla temsil edilmektedir. Beton üzerinde yapılan araştırmalarda,

malzemenin muhtelif özellikleri ve basınç dayanımı arasında ilişkiler aranmış ve bu araştırmalar sonucunda betonun çeşitli özelliklerinin, basınç mukavemeti ile aynı yönde değiştiği görülmüştür. Bu ilişkiden dolayı betonun basınç dayanımı, betonun kalite ölçütü olarak kullanılmaktadır [6].

Mukavemet, betonların kalite kontrolünde en önde yer alan kriterdir. Bir betonun kalitesi en iyi şekilde, standart sıcaklık ve rutubet kürüne (21 °C sıcaklık ve % 100 relatif rutubet) tabi tutulmuş olan 28 günlük deney numunelerinin basınç mukavemeti ölçülerek belirlenebilir. Atmosferde bırakılmış ve standart kür uygulanmamış beton numunelerin basınç mukavemeti, ancak söz konusu olan atmosferik koşulların oluşturduğu tesadüfi bir değer olup bir kriter olarak kullanılamaz.

Beton mukavemeti üzerine etki yapan başlıca faktörler şunlardır;

- Çimento dozajı ve inceliği,
- Agrega karışım oranı ve maksimum tane çapı,
- Su/çimento oranı,
- Beton harmanının karıştırma süresi,
- Kür sıcaklığı ve süresi,
- Hava katkı maddesi

Betonun mekanik mukavemetleri arasında değeri en büyük olan basınç mukavemetidir. Bu husus göz önünde tutularak beton yapılarda daha çok basınç gerilmelerine maruz bırakılarak kullanılır. Nitekim betonun çekmeye karşı mukavemetinin zayıf olmasından dolayı betonarme yapı sistemi ortaya atılmıştır. Bu yapı sistemde meydana gelen gerilmeler çelik armatürler tarafından artılmıştır [33].

Betonda dayanıklılık

Betonun basınç dayanımı, sertleşmiş beton özelliğidir ve beton sınıfları da bu dayanıma göre belirlenir. Dayanıklılık ise beton ve/veya betonarme yapının zaman içinde özelliklerini kaybetmemesidir. Burada, betonun dayanıklılığını azaltan, hasar görmesine neden olan etkenler ve bunlardan biri olan kimyasal etkenler sıralanmıştır. Kimyasal

etkenlerden sülfat etkisi ise en sıklıkla ortaya çıkan ve çok görülen bir etkidir. Betona etki eden dış ortam karşısında betonun dayanıklılığını artırmak ve betonun hasarını en aza indirmek veya bunu önlemek için uyulması gereken kurallara da değinilmiştir.

Malzemelerden, atomlararası kuvvetli bağlar içeren ve seramik sınıfında bulunan beton da metal gibi korozyona uğrar. Bu beton korozyonunun çeşitli nedenleri vardır. Beton hasarı, beton üretiminden önce, beton üretimi sırasında, beton üretildikten sonra uyulması gereken kurallara uyulmamasından kaynaklanır. Bir betondan taze halde de dayanım ve dayanıklılığın iyi olması istenir [34, 35]. Betonun işlenebilme ve basınç dayanımı özelliği kısa sürede belirlenebilirken, dayanıklılık özelliği uzun zaman içinde belirlenir.

Betonun dayanıklılığında en önemli faktör, boşluksuz bir beton üretmektir. Boşluk ve çatlakların çapı ve dağılımı beton yüzeyindeki mikro iklime bağlıdır. Boşluk oranının kontrolü, en düşük değere indirilmesi, beton teknolojisinin kurallarına uymakla olanaklıdır. Boşluk yarıçapı 10^{-7} - 10^{-3} m, kapiler boşluklardır ve dayanıklılıkta önemli rol oynar [36].

Betona, dış ortam fiziksel ve kimyasal etkenlerle etki eder. Fiziksel etkenler, atmosfer koşullarında ıslanma-kuruma, donma-çözülme, aşınma kum fırtınaları ve taşıt araçlarının etkisi şeklinde sıralanabilir. Kimyasal etkenler ise iç ve dış etkenler olarak belirlenir. İç etkenler beton içine giren malzemelerin kimyasal yapısındaki bileşiklerin standartlardaki limit değerlerin dışında olmasından dolayı ortaya çıkar. Dış etkenler ise betonun çevresindeki dış ortamdır. Dış ortam etkisi, deniz, göl, ırmak, zemin suyu gibi sıvı ortam, hava kirliliği sonucu CO_2 ve SO_2 gazlarından, endüstri ve sanayiinin katı atıklarından kaynaklanabilir. Betona, sıcaklığın, güneş enerjisi ve radyasyonun etkileşimi de durabilite ile ilgili dış etkenler olarak değerlendirilmektedir [37].

Aşınma ve çarpmaya karşı mukavemeti

Yol, hava alanı, su boruları, deniz yapıları ve genel olarak döşeme kaplamalarında kullanılan beton önemli derecede aşınma etkisinde kalır. Genellikle basınç dayanımı yüksek olan betonlar aşınmaya karşı da dayanıklıdır. Betonda çimento miktarı agregaya kıyasla az olduğundan asıl aşınma etkisi agregaya gelir. Bu bakımdan beton üretiminde aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması betonun aşınmaya karşı dayanımını

arttırır. Aşınmaya çok dayanıklı betonlar, özel agregaların kullanılmasıyla elde edilir. Bu amaçla granit, kuvarz kökenli agrega, demir parçacıkları, çelik tozu ve karborandum gibi yapay agregalar kullanılır.

Aşınmaya karşı dayanıklı beton elde etmede, beton döküldükten sonra yüzeyinde bir terleme suyu meydana gelmiş ise bu su kayboluncaya kadar beklenilmelidir. Terleme suyunun giderilmesi için beton yüzüne toz çimento serpilmesi yoluna gidilmesi çok hatalı bir yöntemdir. Yüzeyde biriken suyun ortadan kaldırılması, betonun basınç ve aşınma mukavemetinin artırılması için vakum uygulanması yerinde bir harekettir. Yapılan deneyler sonunda aşınma miktarı 1,2 mm den küçük olan betonları aşınma mukavemeti çok yüksek olan ve 3 mm den fazla aşınan betonları aşınmaya karşı mukavemeti zayıf olan beton olarak niteleyebiliriz.

Betonarme kazık, yol ve havaalanları gibi yerlerde beton elemanlar önemli darbe etkilerinde kalırlar. Bu gibi yerlerde kullanılan betonların çarpmaya dayanıklı olması gerekir.

Basınç mukavemeti ve çekme mukavemeti büyük olan betonların çarpma mukavemeti de büyük olur. Bu nedenle beton üretiminde iri agrega olarak çakıl yerine kırma taş kullanılmasıyla çarpmaya daha dayanıklı beton elde edilir. Kırma taşlı betonların daha fazla deformasyon yapma kabiliyetine sahip olması, betonun daha fazla enerji almasına ve çarpma dayanımının artmasına neden olur. Betonun deformasyon yapma kabiliyetinde azalma belirli bir süreden sonra, betonun yaşı ilerledikçe çarpma dayanıklılığının azalmasına yol açar. Bu nedenle betonarme kazık ve palplanjların başları bu tür zorlama ile karşı karşıya gelmektedir. Bu husus göz önünde tutularak söz konusu betonlar üretildikten sonra fazla bekletilmeden çakılmalıdır [6].

Geçirimlilik

Su yapılarında, betonun su geçirgenliğinin az veya hiç olmaması çok önemlidir. Betonun su geçirgen bir yapıda olması, önemli bir su kaybına neden olduğu gibi donma-çözülmeden de çok etkilenmesine yol açmaktadır. Geçirimlilik, boşluklu bir ortamda laminar bir akımla sıvının hareket etmesi sonucu meydana gelen bir olaydır. Betonlardaki porozite, boşlukların iç boyutlarının değişik olması, bunların ani olarak değişmesi, boşluk iç

yüzeylerinin pürüzlülüğü, dolambaçlılık, geçirimliliği önemli ölçüde etkileyen belli başlı faktörlerdir. Betonun boşluğunun büyük olması, geçirimliliğin büyük değerler almasına neden olur.

Geçirimsizlik, çimentonun hidrasyon hızının yüksek olması halinde küçük değerler alabilir. Hidrasyonun zamanla gelişmesi, geçirimliliğin zamanla azalmasına yol açar. Betonun dayanıklılık problemleri, betonun geçirimliliği ile başlar. Betonun geçirimsiz olması durumunda, birçok dayanıklılık problemine yol açan su ve zararlı sıvılar beton içerisine nüfuz edemez. Yani geçirimsiz ya da geçirgenliği çok düşük olan betonlarda, don olayı veya betonu kimyasal olarak parçalayan reaksiyonlar görülmez.

Kılcal su geçirimliliği daha çok bina cephelerinde, zeminsuyun yerçekimine rağmen ince kılcal boşluklardan yükselmesi şeklinde görülür. Sıva ve beton yüzeylerde çiçeklenme adı verilen tuz birikmesi olayı, kapilarite olayı nedeniyle gelişir.

Betonun geçirgenliği azaltabilmek için şu önlemlerin alınması gereklidir;

- Agreganın maksimum tane çapını küçük seçmek ve granülometrisi düzgün agregayı kullanmak,
- Karma suyunu optimum miktarda kullanmak,
- Betonun en yüksek kompaktitede yerleştirmek,
- Optimum çimento dozajının altında çimento kullanmamak, öğütülme inceliği ve kohezyonu yüksek çimentolar kullanmak,
- Betonda mümkün olduğu kadar ince malzeme kullanmak,
- Geçirimsizliği sağlayan beton katkı maddeleri kullanmak [6].

2.3. Soğuk Derz

En iyi beton dökümü, ek yapılmadan yani ara verilmeden dökülen betondur. Ancak beton döküm işlemine ara vermek ve daha sonra dökülen kısımlardan devam etmek zorunda kalınabilir. Mesela beton mikserinin geçikmesi, beton santralindeki geçikme, kalıpların patlaması veya döküm alanının büyük olması gibi nedenlerle beton döküm aralıkları uzayabilir veya işin ertesi güne sarkması ile beton dökme işi yarım kalabilir. Dökülen

beton şertleşmeye başladıktan veya tamamen sertleştikten sonra, bırakılan kısımlarda yeniden beton dökme işlemine devam edilmesi ile iki tabaka arasında soğuk derz adı verilen ek yerleri ve süreksizlik meydana getirilmiş olur [38].

Meydana gelen süreksizlik betondan beklenen özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Bu süreksizlikler yapı elemanlarına göre ve elemanların üstlendiği göreve göre, eski betonla yeni beton arasındaki şekil olumsuzluğu önemli ya da önemsiz olarak nitelendirilebilir [39].

Kolon, kiriş, döşeme ve beton istinat duvarlarında soğuk derzin meydana gelişi, oldukça önemlidir. Düşey taşıyıcı yapı elemanlarda soğuk derzin yatayla yaptığı açı "0" yada sıfıra yakın olması istenir. Yatay taşıyıcı elemanlarda soğuk derzin yatayla yaptığı açı 45° olmalıdır.

Betonun eğilmeye karşı direnci oldukça düşüktür. Eğilme elemanların da eski betonla yeni beton arasında birleşim yeri yataya yakın olacak şekilde, basınca çalışan yapı elemanlarında bu birleşim yerinin yatayla yaptığı açı sıfıra yakın olmalıdır. Fakat burada kayma makaslama etkisi varsa mekanik açıdan eleman göstereceği direnç zayıf olacaktır. Bu durumda birleşim yerinin eleman üzerindeki yeri (konumu) ön plana çıkmaktadır. İstinat duvarlarında arkası toprak dolgu ise soğuk derz üçgen şeklinde bırakılmalıdır. İstinat duvarı arkasındaki topraktaki kuvvetinin etkisi dikkate alınmalıdır [39].

Ek yerleri genellikle yapılan zayıf kısımlarıdır. Bu kısımlarda beton elemanın çekme ve eğilmede çekme dayanım vb. gibi mekanik özellikleri, bir bütün olarak dökülmüş ve homojen bir beton elemanına göre daha azdır. Ayrıca taşıyıcı eleman, çevre etkileri nedeniyle bu kısımlardan daha kolay bir şekilde olumsuz olarak etkilenir. Bu nedenle ek yapılacak beton tabakaları arasında kuvvetli bağlantının sağlanması gerekmektedir. Aslında yapıların hemen hepsinde, betonun bir seferde dökülüp bitirilmemesinden dolayı soğuk derzler oluşturulmaktadır. Mesela farklı zamanlarda dökülen kolon ve kiriş betonları, kat betonları veya yapının temeli ile üzerine gelecek taşıyıcı elemanların betonları arasında bu tür ek yerlerinin ve süreksizliliğin oluşacağı önceden bilinmektedir. Bu türden oluşabilecek ek yerlerini azaltmak için kolon ve kiriş betonlarının birlikte dökülmesi tercih edilmelidir [38].

Taşıyıcı elemanların rastgele bir kesitinde betonlama işine ara verilmesi veya yarım bırakılması ve sonrasında gerekli önlemler alınmadan döküm işine devam edilmesi ile zayıf kesitlerin oluşturulduğu hatalı imalatlardan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Özellikle, içerisinde su vb. sıvı tutan veya temas halinde olan yapılar için bu hususta daha çok özen gösterilmelidir [4]. İstenmeyen bu türden imalatlara ait birkaç resim aşağıda görülmektedir (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Bodrum kat çevre perdelerinin beton dökümü sırasında, uygulamadaki gecikme sebebiyle ilk tabakalar arasında meydana gelen soğuk derz oluşan beton örnekleri

Bu şekilde oluşacak derzlerin önüne geçmek için önceden beton dökümü planlamasının yapılması gerekmektedir. Yani, döküm işinin yarım kalmaması için şantiyede döküm yeri çevresinde gerekli tedbirler alınmalı, yeterli sayıda ve nitelikte ekip ve ekipman hazır bulundurulmalıdır. Beton kalıp işleri uygun şekilde tamamlanmış olmalıdır. Beton tesislerinin verimi, betonun şantiyeye ulaşımı gibi durumların gözönüne alınması gerekmektedir. Beton miktarı siparişi doğru verilmeli, eksik verilmesi durumunda, yeni sipariş verilmesi ile geçen sürede soğuk derzin oluşacağı unutulmamalıdır. Sıcak havalarda beton dökümü esnasında betonun hızlı priz alması veya çeşitli nedenlerle beton döküm

aralıklarının uzaması vb. nedenlerle soğuk derzler oluşabileceği göz önüne alınarak, betonda kimyasal katkılar(priz geçiktirici) kullanılabilir [4].



Şekil 2.2. Farklı zamanlarda dökülerek ek yerleri oluşturulan betonarme istinad duvarında oluşan soğuk derz betonların örnekleri

Yapı elemanları, bu türden tedbirler alınarak ve mümkünse kolon, kiriş ve döşeme betonları birlikte bir bütün olarak dökülerek inşa edilmelidir. Şayet zorunlu olarak, mesela beton döküm alanının büyük olması vb.gibi sebeplerle döküm işlemi bitirilmeyecek ve derz bırakılmak zorunda kalınacaksa, beton dökümü rastgele bir yerde kesilmemeli, ek yerlerinin tekniğine uygun şekilde oluşturulmasına özen gösterilmelidir. Beton ek yerleri; iş programı, beton karma tesislerinin verimi, yapı kısımlarının boyut, özellik ve gerilmeleri ile şayet beton yüzeyi çıplak bırakılacaksa, bu görünüşten beklenen özellikte göz önüne alınarak yerleri önceden tespit edilmelidir [40]. Kolonlarda ek yeri bırakılmamalıdır (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4.).

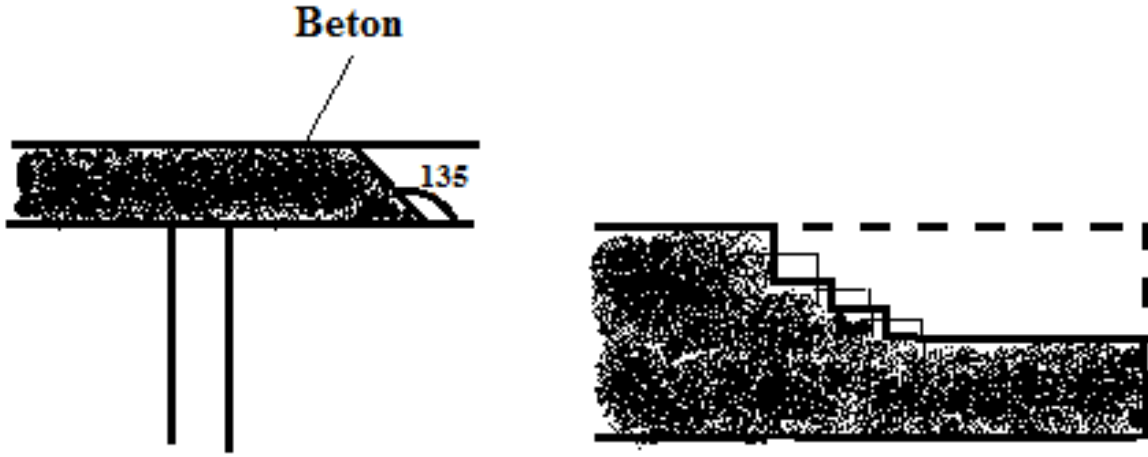


Şekil 2.3. Kolonda oluşturulan soğuk derz



Şekil 2.4. Soğuk derz oluşan betonların farklı örnekleri

Kirişlerde ek yeri bırakmak kaçınılmaz ise açıklığın 1/4 ünde bırakılabilir. Ancak pilye kıvrım yerlerinin en az 20 cm ilerisinde olmasına dikkat edilmelidir. Ek yeri kontrol mühendisince tespit edilmelidir. Döşemelerde de açıklığın 1/4 ünde seçilmelidir. Ek yerleri, momentin en az olduğu yerler olacak şekilde seçilmeli, yaklaşık 45° açıda eğimli, kademeli ya da dişli olarak bırakılmalıdır [38]. Bu kısımlarda donatı filizleri ve kaba agrega parçaları bırakılmalıdır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Beton dökümünde ek yerlerin en uygun bırakılma şekilleri

Daha sonra beton döküm işine devam edilmesi durumunda, sertleşmiş betonun yüzeyi pürüzlendirilmeli, yüzeydeki pislikler, toz, çimento hamuru gibi malzemeler temizlenmeli ve yüzey iyice ıslatılmalıdır. Yüzey, suyu emdikten sonra ve nemli bir durumda iken kalan beton döküm işine devam edilmelidir. Ara yüzeyde aderansı artırıcı gibi kimyasal katkıları kullanılarak da olumsuz etkiler en az seviyeye düşürülebilir [38].

2.4. Kaynak Araştırılması

Soğuk derzle ilgili Rathi ve Kolase [32] tarafından yapılan çalışmada soğuk derzin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için, soğuk derz oluşumu ile ilgili sonuçlara bakarak priz geciktirici madde olarak şeker kullanmışlardır. Numunelerin hazırlanmasında ilk önce kalıbın yarısına diyagonal 45° ve dikey 90° olarak Şekil 2.6'da gösterildiği gibi beton dökülmüş, 45, 75, 120 ve 180 dakikadan sonra kalıbın kalan yarısına taze beton dökülmüştür. Hazırlanan numuneler üzerinde basınç, eğilme ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, priz geciktirici madde olarak şeker katılan betonlar normal

betonla karşılaştırıldığında, soğuk derz oluşumunu çok az miktarda engellediği ortaya çıkmıştır [32].



Şekil 2.6. Çalışmada gösterilen betonun yerleştirme şekli

Subba ve Kishen [41] tarafından yapılan diğer bir çalışmada soğuk derzin beton boyutuna göre etkisi araştırılmıştır. İlk önce farklı boyutlarda prizma kalıplar hazırlanmış, daha sonra kalıpların yarısına tek seferde hazırlanmış aynı karışım oranına sahip taze beton dökülmüştür. İki günden sonra ise kalıpların kalan yarısı aynı karışım oranındaki taze betonla doldurulmuş ve numuneler hazırlanmıştır. Sonra bu numuneler üzerinden eğilme dayanımı deneyi yapılmıştır. Çalışma sonucuna göre yazarlar soğuk derz oluşan betonların arasına donatı yerleştirilmeli, numunenin boyutu arttıkça maksimum yük taşıma kapasitesinin arttığı ve zamanla soğuk derz oluşan betonların eğilme dayanımının azaldığı sonucuna varmışlardır [41].

Lion [42] tarafından yapılan soğuk derz çalışmasında kalıbın ilk yarısına taze beton döküldükten 72 saattan sonra, kalıpların ikinci yarısı aynı karışım oranına sahip taze betonla doldurulmuştur. Boyutları 150x150x600 mm olan prizma numune üzerinde eğilme deneyi yapılmış ve karbonatlaşma deneyi için soğuk derz oluşan betondan boyutları 100x140 mm olan karot numuneler alınmıştır. Karbonatlaşmada kullanılan numuneler 4 hafta boyunca farklı sıcaklıklarda ve ortamlarda tutulmuştur. Soğuk derz numunelerinin karbonatlaşması normal betonun karbonatlaşması ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, prizma numunelerinin üzerinde yapılan eğilme deneyinde zaman arttıkça soğuk derz oluşan betonların eğilme dayanımının azaldığı, karbonatlaşma deneyinin sonuçlarına göre ise soğuk derzde oluşan karbonatlaşma miktarı normal beton karbonatlaşma miktarına göre yüksek olduğu belirlenmiştir [42].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

Deneysel çalışmada, çimento olarak CEM II/A-P 42,5 R tipi çimento, agrega olarak kalker taşı, karışım suyu olarak da Ankara şehir şebeke suyu ve epoksi kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

Çalışmada Baştaş Çimento Sanayi A.Ş. Ankara fabrikasında üretilen CEM II/A-P 42,5 R tip çimentosu kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarının etkilenmemesi için, gerekli olan tüm çimento yaklaşık olarak hesaplanıp tek seferde temin edilerek rutubetsiz ve kuru bir ortamda saklanmıştır. Taze olarak temin edilen ve uygun koşullarda saklanarak kullanılan çimento, süresi içinde bozulmaya uğramadan tüketilmiştir. Çimentoya ait özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir [43].

Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analiz	CEM II/A-P 42,5 R	Fiziksel Özellikler	CEM II/A-P 42,5 R
SiO ₂ (%)	22,87	Priz Başlangıcı (dk)	163
Al ₂ O ₃ (%)	5,59	Priz Sonu (dk)	216
Fe ₂ O ₃ (%)	3,22	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,11
CaO (%)	58,82	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3837
MgO (%)	2,35	Mekanik Özellikler	
SO ₃ (%)	3,50	Basınç Dayanımı (MPa):	
Cl (%)	0,022	1. Gün	16,7
Na ₂ O (%)	0,47	2. Gün	28,4
K ₂ O (%)	1,05	7. Gün	41,7
Kızdırma kaybı (%)	2,11	28. Gün	54,2

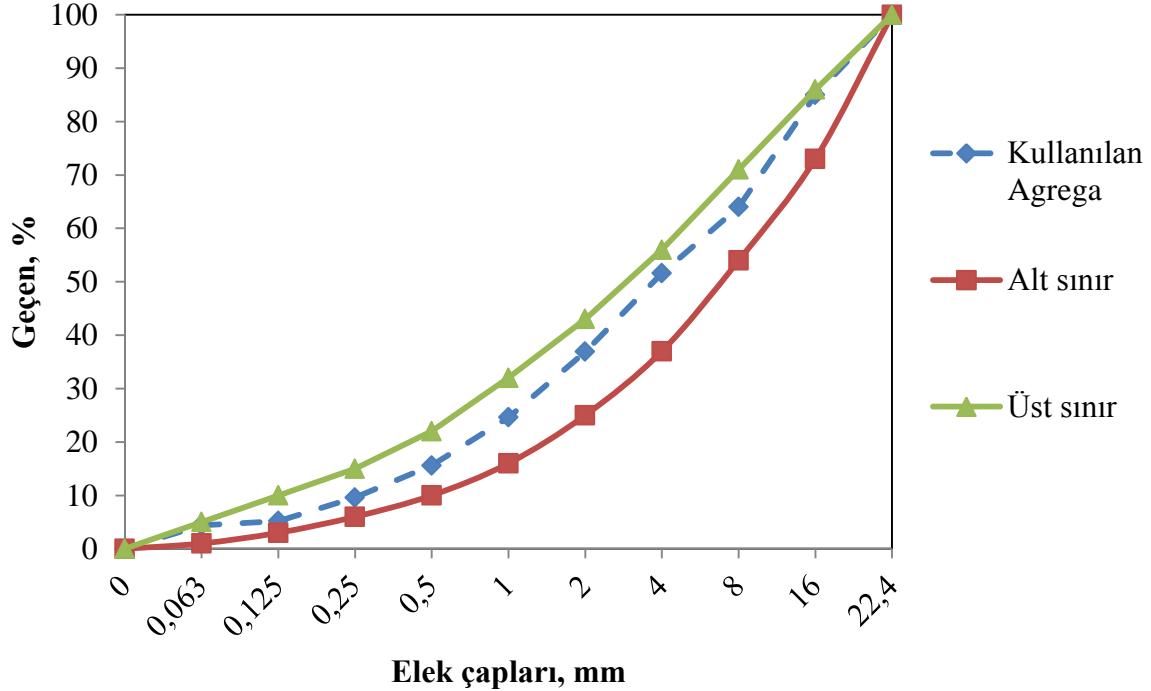
3.1.2. Agrega

Deneysel çalışmada kullanılan kalker esaslı iri ve ince agrega Ankara, Mamak bölgesindeki Uğural taş ocağından temin edilmiştir. Beton tasarımında maksimum agrega çapı 22,4 mm olarak

seçilmiştir. Deney numunelerinin üretiminde agregaların nem içeriği kontrol edilerek kısa süre içerisinde kullanılmış ve deney sonuçlarının agrega su içeriğinden etkilenmemesine dikkat edilmiştir. TS 706 EN 12620+A₁ “Beton Agregaları” standardına uygun olarak agregaların özgül ağırlık, aşınma kaybı ve su emme deneyleri yapılmıştır. Karışımındaki agrega granülometresi standartta belirtilen sınır değerler içerisinde kalmıştır [44]. Kullanılan agregaya ait fiziksel özellikler Çizelge 3.2’de ve tane dağılımı eğrileri ise Şekil 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Fiziksel özellik	Agrega (Kalker taşı)		
	0-4	4-11,2	11,2-22,4
Özgül ağırlık (kg/dm ³)	2,44	2,64	2,65
Aşınma kaybı (500 dev.%)	-	26,2	
Su emme (%)	3,9	0,88	0,70



Şekil 3.1. Kullanılan agreganın tane büyüklüğü dağılımı

3.1.3. Karışım suyu

Deneysel çalışma süresince, karışımların tasarımında ve deney numunelerinin üretiminde Ankara şehir şebekesi içme suyu kullanılmıştır. Karışım suyu herhangi bir bekletme, dinlendirme gibi işlemlere tabi tutulmadan şebekeden alındığı gibi kullanılmıştır.

3.1.4. Epoksi

Çalışmada Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen Sikadur®-52 yüksek dayanımlı epoksi reçinelerden oluşan iki bileşenli, solventsiz, düşük viskoziteli enjeksiyon reçinesi kullanılmıştır. Kullanılan epoksinin üretici firmadan temin edilen kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir [45].

Çizelge 3.3. Epoksinin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

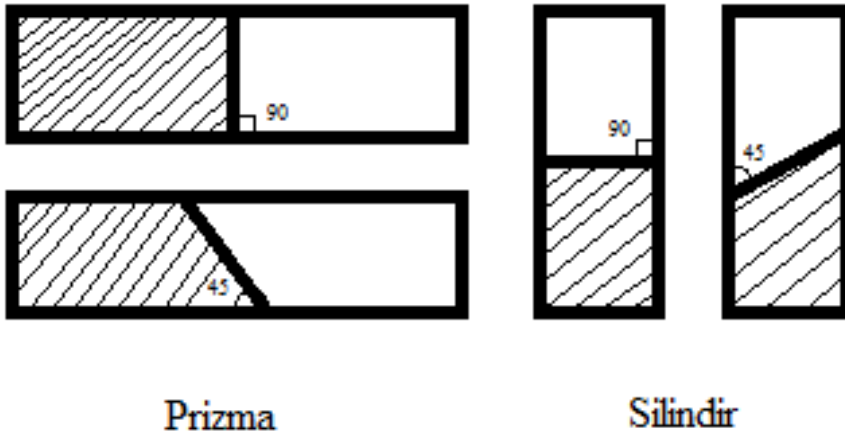
Kimyasal Özellikler	
Yoğunluk:	A bileşeni: 1,13 kg/l (+20°C’de)
	B bileşeni: 1,01 kg/l (+20°C’de)
Viskozite:	450 cp (+20°C’de)
Termal Genleşme Katsayısı:	89x10-6 per °C(-20°C - +40 °C)
Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler	
Basınç Dayanımı:	53 N/mm ² (10 gün sonunda +20 °C)
Çekme Dayanımı:	25 N/mm ² (10 gün sonunda +20 °C)
Yapışma Dayanımı:	- Betonda: >4 N/mm ² (beton kırılması) (+23°C’de 7 gün sonunda)
	- Çeliğe: ~10 N/mm ² (DIN 53232)

3.2. Yöntem

Çalışmanın gerçekleştirilmesi amacıyla agregalara ait fiziksel özellikler belirlenerek, beton karışımı hazırlanmıştır. Beton üretimi sırasında slump ve beton priz deneyi yapılmıştır. Beton dökümü için prizmatik ve silindir kalıplar kullanılmıştır. Kür uygulaması sonrasında, sertleşmiş beton deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yapılan agrega deneyleri, beton karışımları, taze beton deneyleri, sertleşmiş beton deneyleri Gazi

3.2.3. Deney numunelerin hazırlanması

Çalışmada TS EN 206 standardına uygun olarak C25 sınıfında beton üretilmiştir [46]. Beton karışımı 40 dm³ kapasiteli düşey eksenli laboratuvar tipi beton mikserinde 2 dakika boyunca karıştırılarak üretilmiştir. Hazırlanan betonun kıvamının belirlenmesi için TS EN 12350-2 standardına uygun olarak çökme deneyi yapılmış ve kıvam sınıfı S2 olarak belirlenmiştir [47]. Şekil 3.2’de verildiği gibi 100x200 mm boyutlarında silindir ve 100x100x500 mm boyutlarındaki prizma kalıplarda soğuk derz oluşturmak için ilk önce kalıpların yarısına 45° ve 90° açılarda taze beton dökülmüştür. Betonun yüzeyi dişli olarak bırakılmıştır. Kalıp içerisine betonu 45° açıda dökmek için kalıp 45° açığa getirilmiş ve ilk beton dökümü yapılmıştır. İlk beton dökümü yapıldıktan sonra beton kalıplarda 2, 3, 4, ve 6 saat bekletilmiştir. Belirtilen süreden sonra aynı taze beton karışımı ile kalıpların diğer yarısı doldurulmuştur.



Şekil 3.2. 45° ve 90° açılarda soğuk derz oluşumunun tasarımı

Beton numunesi üretiminde laboratuvar ısısı ortalama olarak 20±2°C aralığında olmasına dikkat edilmiştir. Kalıp yüzeyleri yağlandıktan sonra, taze beton yerleştirme işlemi üç aşamada şişleme çubuğu ile 25 vuruş olacak şekilde gerçekleştirilmiştir [48]. Numunenin her bir tabakası için ayrı ayrı yerleştirme işlemleri yapılmıştır. Ertesi gün TS 1247 “Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşulları)” standardında belirtilen esaslara uygun şekilde numuneler kalıplardan çıkartılarak 20±2°C sıcaklıktaki kür tankına yerleştirilmiştir ve 28. güne kadar kür havuzunda bekletilmişlerdir [49].

3.2.4. Epoksi hazırlanması

Epoksiyi kullanım haline getirmek için, Şekil 3.3'deki A ve B bileşenleri birbiriyle karıştırılmıştır. Karışım oranı ağırlığına göre; A:B = 2:1 dir. A:B = 2:1 oranda epoksi çok akıcı olduğu için karışıma C bileşeni eklenmiştir (C=A). C bileşeni 0,25 mm elekten geçen taşunudur. Bileşenler karıştırılıp macun kıvamına getirildikten sonra betona yapıştırılmıştır.



Şekil 3.3. Epoksi bileşenlerinin resmi

3.2.5. Taze beton deneyleri

Çökme (slamp) deneyi

TS EN 12350-2 “Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi” standardına göre taze betonun çökme miktarı belirlenmiştir [47].

TS EN 206-1 “Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk” standardına göre üretilen taze betonun çökme miktarı 50-90 mm aralığında olduğu için kıvam sınıfı S2 olarak belirlenmiştir [46]. Çizelge 3.6’da TS EN 206-1 standardına göre beton kıvam sınıfları ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Beton kıvam sınıfları ve özellikleri

Sınıf	Slamp değeri (mm)	Özelliği
S1	10-40	Su miktarı çok az, vibrasyonla özenli ve kuvvetli bir şekilde yerleştirilmediği takdirde betonda boşluklar kalır.
S2	50-90	Vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli, betonarme yapılar için uygun.
S3	100-150	Donatının fazla sık olması halinde seçilir.
S4	160-210	Su miktarı fazla, vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli değil, çok sık donatı bulunması halinde kullanılmasına izin verilir.

Betonda priz süresinin penetrasyon direnci ile ölçme deneyi

Betonda priz süresinin tayini; TS 2987 “Betonda Priz Süresinin Penetrasyon Direncinin Ölçülmesi Yöntemi ile Tayini” standardına uygun olarak Şekil 3.4’de gösterilen standart yük uygulama cihazı ile yapılmıştır [50]. Taze betonun hazırlanması esnasında su ile çimento karıştırılmaya başlanılmasından itibaren, taze betonun 4 mm’lik elekten elenmesiyle hazırlanan harcın, içerisine daldırılan penetrasyon iğnelere karşı 3,5 MPa direnç kazanmasına kadar geçen süreyi betonda priz başlangıç süresi denir. Taze beton içerisine daldırılan penetrasyon iğnelere karşı 27,6 MPa direnç kazanmasına kadar geçen süreye ise betonda priz bitiş süresi denir. İlk önce deney için taze beton hazırlanmıştır ve taze beton 4 mm’lik elekten elenerek temsili numune elde edilmiştir. Elde edilen temsili numune, 150x150 mm küp numune kalıbına yerleştirilmiştir. Deneye başlanılmadan önce, harcın üzerinde birikmiş olan terleme suyu pipet kullanılarak çekilmiştir. Su alma işlemi başlamadan önce, kalıp yatay 10° açı yapacak şekilde 2 dakika süreyle eğik olarak tutulmuştur. Taze beton hazırlanması esnasında çimento ile suyun ilk temas anından 210 dakika sonra standart yük uygulama cihazı ve standart iğne kullanılarak betonun penetrasyon direnci ölçülmeye başlanmıştır. Taze beton üzerinde her 30 dakika içerisinde 27,6 MPa olana kadar penetrasyon direnci ölçülmesine devam edilmiştir.

Penetrasyon direnci, kaydedilen yükü iğnenin batan ucunun kesit alanına bölünmesiyle aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\sigma_p = \frac{P}{A_i} \quad (3.1)$$

Burada;

σ_p = Penetrasyon direnci, N/mm²

P = Maksimum yük, N

A_i = İğnenin batan ucunun alanı, mm²



Şekil 3.4. Standart yük uygulama cihazı

3.2.6. Sertleşmiş beton deneyleri

Basınç dayanım deneyi

Beton basınç dayanımı deneyi, 100x200 mm'lik silindir numuneler üzerinde TS EN 12390-3 "Beton-sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini" standardına uygun olarak Şekil 3.5'te gösterilen yük kontrollü beton presinde yapılmıştır [51]. Beton silindir numunelerinin alt ve üst yüzeylerini pürüzsüz düzgünlükteki bir duruma getirebilmek amacıyla, kükürt grafit tozu kullanılmıştır. Deney numunelerin alt ve üst yüzeylerin kükürt grafit tozu karışımından oluşan kalınlığı 3-5 mm ve yüzeyi çok düzgün bir tabaka oluşturulup başlık yapılmıştır [2].

Deney numunelerin basınç gerilmeleri N/mm^2 olarak belirlenmiştir. 28 gün kür havuzunda bekletilen beton numunelerine beton basınç deneyi uygulanmıştır. Sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımı, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \quad (3.2)$$

Burada;

σ_b = Basınç dayanımı, MPa (N/mm^2)

P = Maksimum yük, N

A = Kesit alan, mm^2



Şekil 3.5. Yük kontrollü beton presi

Doğrudan çekme dayanım deneyi

Betonun doğrudan çekme yükleri altındaki dayanımının bulunabilmesine dair birçok araştırmacı değişik boyutlu ve şekilli numuneler üzerinde çalışmalar yapılmıştır [52-57]. Bu konuda oldukça kapsamlı araştırmalar yapan H. Rusch ve H. Hilsdorflardır. Bu araştırmacılar Şekil 3.6'ya benzer şekilli beton numunelerin kullanılması durumunda

doğrudan çekme deney yönteminin oldukça başarılı uygulanabileceğini öne sürmüşlerdir [52].

Doğrudan çekme dayanım deneyi için sadece silindir numuneleri kullanılmıştır. Bu deney TS 2027 “Kayaçların çekme dayanımlarının tayini” standardına uygun olarak yapılmıştır [58]. 28 gün kür havuzunda bekletilen beton numuneler 12 saat laboratuvar şartlarında bekletilmiştir ve yapıştırılmadan önce silindirin yüzeyleri tozlardan temizlenmiştir. Kullanılan epoksi üç bileşenlidir. Sertleştirici, reçine ve mineral (taşunu) toz belirli oranlarda karıştırılarak macun kıvamına geldikten sonra numune üzerine metal Şekil 3.6 A beton yüzeyine yapıştırılmıştır. 5 saat sonra yeterli mukavemet kazandığı görüldüğü halde 24 saat sonra doğrudan çekme testi yapılmıştır.



Şekil 3.6. Çekme dayanımı deneyinde kullanılan A) doğrudan çekme deney makinası, B) beton numunelerin yüzeylerine yapıştırılan çelik başlık, C) çelik başlık yapıştırılarak doğrudan çekme deneyine hazır hale getirilmiş bir beton numunesi

Betonun doğrudan çekme dayanımı, kopma yükünün numune boyunun ortasındaki numune kesit alanına bölünerek, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$\sigma_{\xi} = \frac{P}{A} \quad (3.3)$$

Burada;

σ_{ξ} = Doğrudan çekme dayanımı, MPa (N/mm²)

P = Maksimum yükü, N

A = Kesit alanı, mm²

Eğilme dayanım deneyi

Betonun eğilme dayanım deneyi TS EN 12390-5 standardına uygun olarak Şekil 3.7’de gösterilen eğilme dayanım deney presinde yapılmıştır. Bu deney metodunda beton prizmalar açıklığın L/3 uzunluktaki iki noktasından kırılmıştır [59]. Eğilme dayanım deneyi için 100x100x500 mm’lik prizma numuneler kullanılmıştır. 28 gün kür havuzunda bekletilen beton deney numuneleri test edilmiştir. 500 mm uzunluğundaki kiriş numune 450 mm açıklığındaki mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve üçte iki noktalarından tekil yük uygulanmıştır. Deney, Şekil 3.7’de gösterilen Ele Test 3000 markalı 20 ton eğilme kapasiteli preste yapılmıştır. Eğilme dayanımında aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$\sigma_e = \frac{PL}{bd^2} \quad (3.4)$$

Burada;

σ_e = Eğilme dayanımı, MPa (N/mm²)

P = Maksimum yük, N

L = İki mesnet arası, mm

b = Prizma kesitinin eni, mm

d = Prizma kesitinin yüksekliği, mm



Şekil 3.7. Eğilme dayanımı deney presi

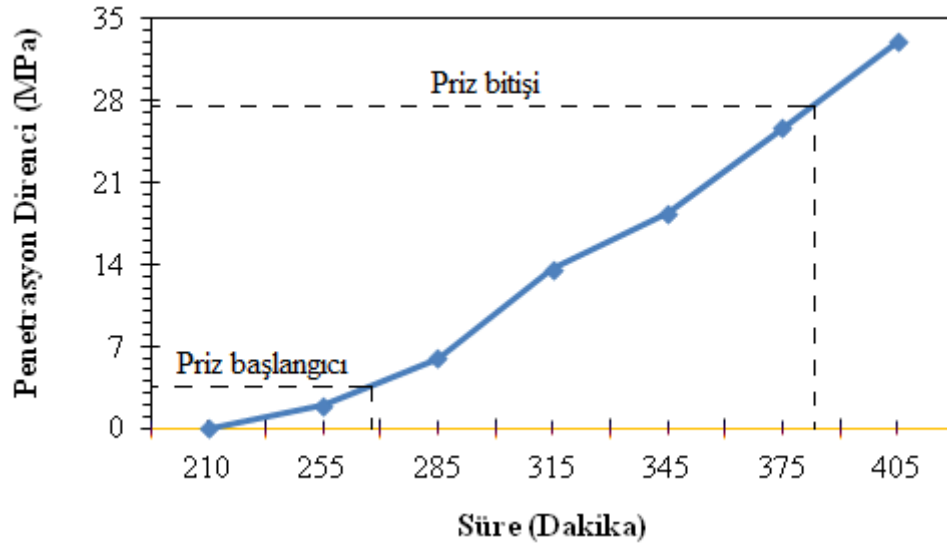
4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Betonda Priz Süresinin Penetrasyon Direnci ile Ölçme Deneyi

Çalışmada hazırlanan taze betonun priz süresinin değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ayrıca değerler Şekil 4.1’de grafik şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Penetrasyon direncinden elde edilen veriler

Penetrasyon Direnci (MPa)	Zaman (Dakika)
0	210
1,98	255
5,94	285
13,56	315
18,37	345
25,71	375
33,05	405



Şekil 4.1. Betonda priz başlangıç ve priz bitiş süresinin eğri ile belirlenmesi

Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1 incelendiğinde 3,5 MPa penetrasyon direnci değerlerinden yatay çizgi çizilerek hazırlanan taze betonun priz başlangıç süresi 267 dakika olarak

belirlenmiştir. Aynı şekilde 27,6 MPa penertasyon direnci değerlerinden yatay çizgi çizilerek, hazırlanılan taze betonun priz bitiş süresi 384 dakika olarak belirlenmiştir.

4.2. Basınç Dayanım Deneyi

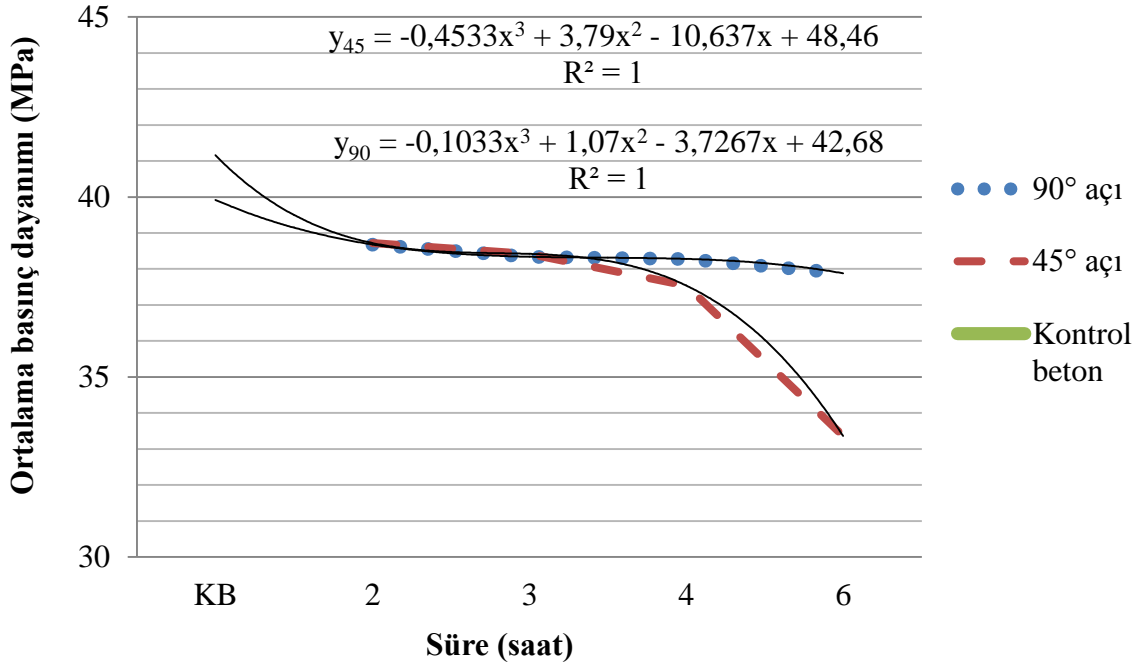
Basınç dayanım deneyinde kullanılmış silindir numunelerinin örneği Şekil 4.2’de, soğuk derz numunelerinin basınç dayanım değerleri de Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ayrıca ortalama basınç dayanımı ile soğuk derz süreleri arasındaki ilişkiyi ifade eden grafik Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Basınç dayanım deneyinde kullanılmış silindir numuneleri

Çizelge 4.2. Basınç dayanım değerleri

Soğuk derz oluşma süresi, (saat)	Numunelerin basınç dayanımı (MPa)								
	Kontrol beton, (MPa)	90° açılı soğuk derz				45° açılı soğuk derz			
		Num.1	Num.2	Num.3	Ortalama değer, (MPa)	Num.1	Num.2	Num.3	Ortalama değer, (MPa)
2	38,56	39,22	38,54	38,28	38,68	40,19	37,15	38,81	38,72
3		39,16	37,73	38,15	38,34	38,82	38,34	38,1	38,42
4		39,09	38,32	37,43	38,28	37,35	37,72	37,56	37,54
6		37,21	38,56	37,87	37,88	35,38	31,56	33,16	33,36

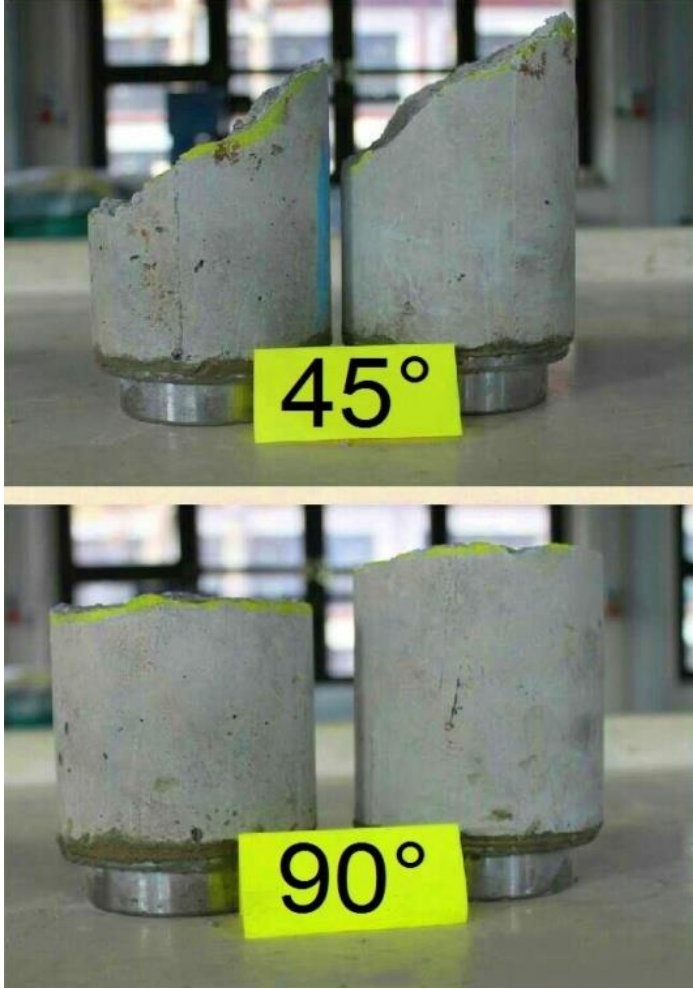


Şekil 4.3. Ortalama basınç dayanım değerleri

Çizelge 4.2 incelendiğinde 90° açıda dökülen betonların basınç dayanım değerleri kontrol betonu ile benzer özellik göstermektedir. Bu beklenen bir durumdur. Ancak 45° açıda soğuk derz oluşturularak dökülen numunelerin 4 ve 6 saatlik basınç dayanımlarında belirgin bir azalma olduğu görülmektedir. Bu azalmanın nedeni 45° açıda dökülen numunelerde kayma yüzeyinin soğuk derzden olumsuz etkilendiği şeklinde açıklanabilir. 4 ve 6 saat sonra 45° açıda dökülen numunelerin basınç dayanımları kontrol betonuna göre sırasıyla %3 ve %14 azalma göstermiştir. 45° açıda soğuk derz oluşturularak dökülen numunelerin basınç dayanımı değerleri ile soğuk derz süreleri arasında 3. derecede parabolik bir ilişkinin olduğu ve bu ilişkinin $R^2 = 1$ yüksek bir değer ile ifade edildiği görülmüştür.

4.3. Doğrudan Çekme Dayanım Deneyi

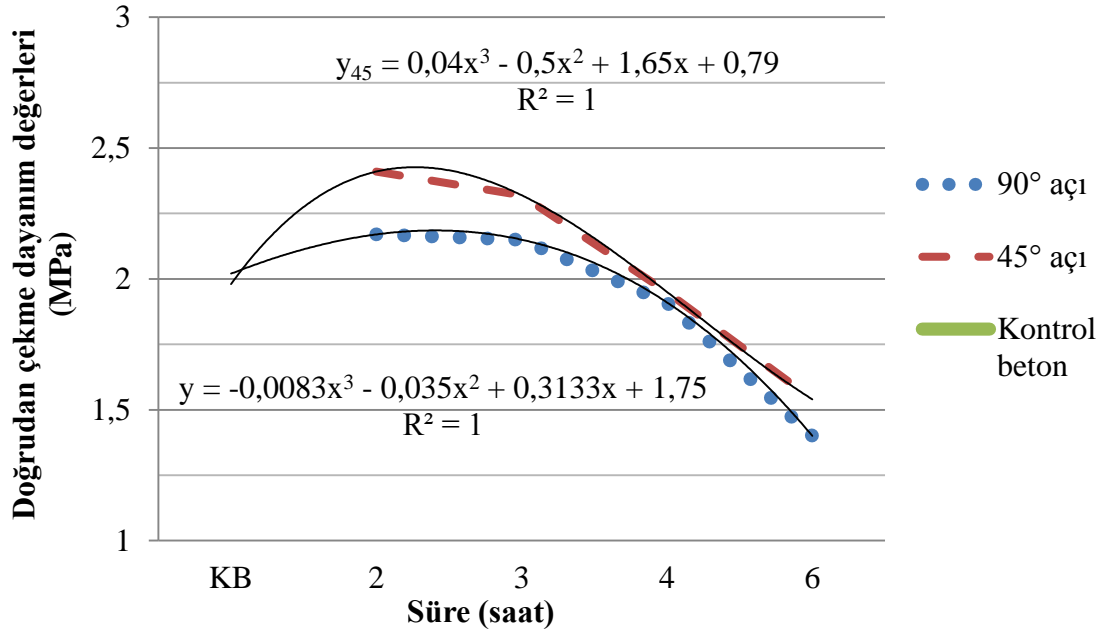
45° ve 90° açıda soğuk derz oluşturulan ve doğrudan çekme dayanım deneyi yapılmış silindir numuneler Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Çalışmada hazırlanan soğuk derz numunelerinin doğrudan çekme dayanım değerleri Çizelge 4.3'de, ortalama doğrudan çekme dayanım değerlerine ait grafik ise Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Doğrudan çekme dayanım deneyinde kullanılmış silindir numuneleri

Çizelge 4.3. Doğrudan çekme dayanım değerleri

Soğuk derz oluşma süresi, (saat)	Numunelerin doğrudan çekme dayanımı (MPa)								
	Kontrol beton, (MPa)	90° açılı soğuk derz				45° açılı soğuk derz			
		Num.1	Num.2	Num.3	Ortalama değer, (MPa)	Num.1	Num.2	Num.3	Ortalama değer, (MPa)
2	2,54	2,11	2,22	2,16	2,17	2,38	2,44	2,4	2,41
3		2,14	2,12	2,17	2,15	1,94	2,54	2,47	2,32
4		1,89	1,97	1,85	1,91	1,97	1,99	1,88	1,95
6		1,51	1,45	1,23	1,4	1,54	1,68	1,38	1,54



Şekil 4.5. Ortalama doğrudan çekme dayanım değerleri

Çizelge 4.3 incelendiğinde, 45° açılı oluşturulan soğuk derzli betonların 90° açılı oluşturulan soğuk derzli betonlara göre daha yüksek çekme dayanımı değerleri verdiği görülmüştür. 45° açılı soğuk derzli betonların yapışma yüzeyinin 90° açılı soğuk derzli betonların yapışma yüzeyine göre daha büyük olması doğrudan çekme dayanım değerlerini arttırmıştır. Elde edilen sonuçlar kaynak [41] ile benzerlik göstermektedir. Soğuk derz oluşturulan betonlar arasındaki süre uzadıkça bu betonlar arasındaki aderansın da azaldığı belirlenmiştir. Çizelge 4.3'e göre 2 ve 3 saatten sonra dökülen betonların doğrudan çekme dayanımları arasında benzerlik olduğu görülmektedir. 90° ve 45° açıda soğuk derz oluşturularak dökülen numunelerin ortalama doğrudan çekme dayanımı değerleri ile soğuk derz süreleri arasında 3. derecede parabolik bir ilişkinin olduğu ve bu ilişkinin $R^2 = 1$ yüksek bir değer ile ifade edildiği görülmüştür. 90° açılı oluşturulan soğuk derzli betonun doğrudan çekme dayanımı kontrol betonun doğrudan çekme dayanımından 2, 3, 4 ve 6 saatten sonra sırasıyla %14, %15, %25 ve %45 azalmıştır. 45° açılı oluşturulan soğuk derzli betonun doğrudan çekme dayanımı ise kontrol betonun doğrudan çekme dayanımından 2, 3, 4 ve 6 saatten sonra sırasıyla %5, %9, %23 ve %39 oranında azaldığı görülmektedir. Çalışmada elde edilen betonun priz başlama süresinin yaklaşık 4,5 saat olduğu dikkate alındığında sonuçların priz başlama süresi ile ilişkili olduğu görülmektedir.

Doğrudan çekme deneyi sonucunda silindir numunelerin kopma yerleri Şekil 4.6'da şematik olarak gösterilmiştir.

Soğuk derz oluşma süresi, (Saat)	90° açılı soğuk derz			45° açılı soğuk derz		
	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Num. 1	Num. 2	Num. 3
2						
3						
4						
6						

Şekil 4.6. Silindir numunelerin kopma yerlerini şematik olarak gösteren çizimler; çizimlerde düz kesintisiz çizgi soğuk derzi, kesikli çizgi ise numunenin koptuğu yeri göstermektedir

Şekil 4.6 incelendiğinde 90° ve 45° açılarda soğuk derz oluşturulan betonların farklı yerlerden koptuğu anlaşılmaktadır. 90° açıda 2 saatten sonra dökülen beton numunelerinin 2 adedi soğuk derz oluşan yerden kopmamıştır. 3, 4 ve 6 saatlerden sonra dökülen beton numunelerinin hepsi soğuk derz oluşan yerlerden kopmuştur. 45° açıda ise 2 saatten sonra dökülen betonlar soğuk derz oluşan yerlerden kopmamıştır. 3 ve 4 saatten sonra dökülen

betonlar ise soğuk derzin en zayıf noktasından kopmuştur. 6 saatten sonra dökülen betonların tamamı ise soğuk derz oluşan yerlerden kopmuştur. Bu durum 4 ve 6 saatten sonra betonların dayanımlarında soğuk derzin olumsuz etkisini açıkça göstermiştir.

4.4. Eğilme Dayanım Deneyi

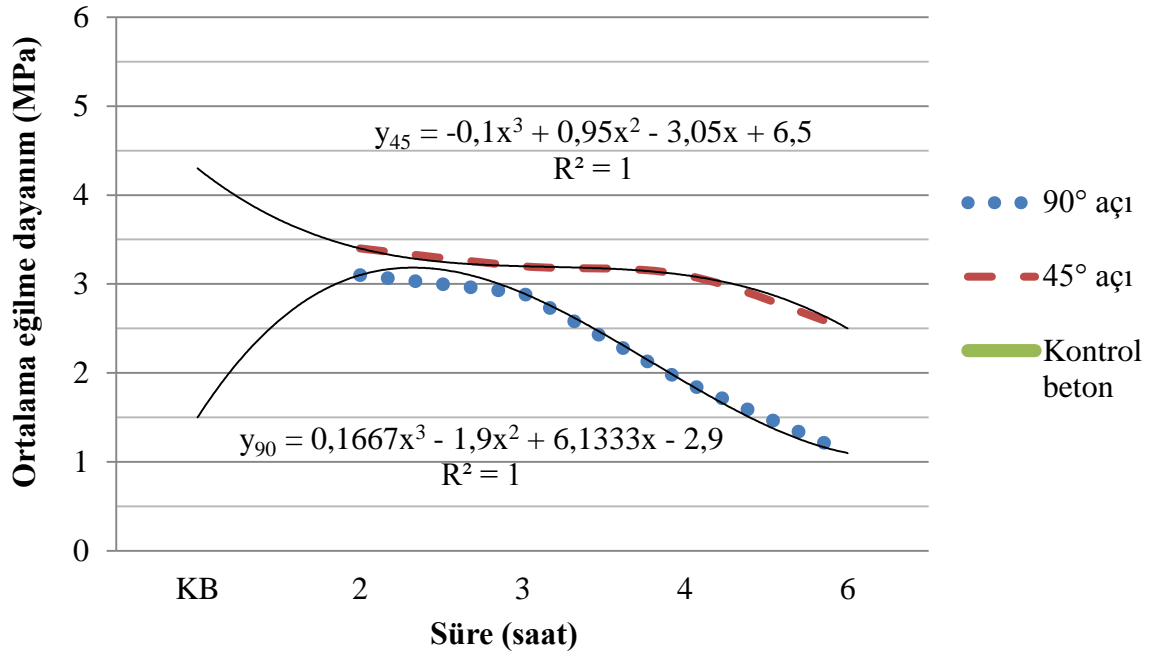
Eğilme dayanım deneyinde kırılmış olan silindir numunelerinin örneği Şekil 4.7’de verilmiştir. Eğilme dayanım deneyi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.4’te, ortalama eğilme dayanımı değerlerine ait grafik ise Şekil 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.7. Eğilme dayanımı deneyi uygulanmış prizma numuneleri

Çizelge 4.4. Eğilme dayanım değerleri

Soğuk derz oluşma süresi, (saat)	Numunelerin eğilme dayanımı (MPa)								
	Kontrol beton, (MPa)	90° açılı soğuk derz				45° açılı soğuk derz			
		Num.1	Num.2	Num.3	Ortalama değer, (MPa)	Num.1	Num.2	Num.3	Ortalama değer, (MPa)
2	5,0	3,1	3,4	2,6	3,1	3,3	3,4	3,5	3,4
3		3,1	2,6	2,8	2,9	3,3	3,0	3,2	3,2
4		2,0	1,9	1,7	1,9	2,9	3,1	3,3	3,1
6		1,2	1,0	1,1	1,1	2,1	2,9	2,5	2,5



Şekil 4.8. Ortalama eğilme dayanım değerleri

Çizelge 4.4 incelendiğinde eğilme dayanım değerleri doğrudan çekme dayanım değerleri ile benzer sonuçlar vermiştir. 45° açıda dökülen betonlar 90° açıda dökülen betonlara göre daha büyük eğilme dayanım değerleri verdiği görülmüştür. Bu durum 45° açılı soğuk derzli betonların yapışma yüzeyinin daha büyük olmasıyla açıklanabilir. Çalışma ile elde edilen sonuçlar kaynak [41, 42] ile benzer özellik göstermektedir. 90° ve 45° açıda soğuk derz oluşturularak dökülen numunelerin eğilme dayanımı değerleri ile soğuk derz süreleri arasında 3. derecede parabolik bir ilişkinin olduğu ve bu ilişkinin $R^2 = 1$ yüksek bir değer ile ifade edildiği şekil 4.8’de görülmektedir. Soğuk derz oluşturulan ikinci betonun geç dökülmesi ile iki beton arasında daha az aderans oluşmuştur. Ortalama eğilme dayanım değerlerine göre 45° açılı oluşturulan soğuk derzli betonların sonuçları bir birine yakındır. 90° açılı oluşturulan soğuk derzli betonların ise 2 ve 3 saatten sonraki eğilme dayanım değerleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Elde edilen sonuçlara 90° açılı oluşturulan soğuk derzli betonun eğilme dayanımı kontrol betonun dayanımından 2, 3, 4 ve 6 saatten sonra sırasıyla %38, %42, %62 ve %78 azaldığı görülmektedir. 45° açılı oluşturulan soğuk derzli betonun eğilme dayanımı kontrol betonun dayanımından 2, 3, 4 ve 6 saatten sonra sırasıyla %32, %36, %38 ve %50 azaldığı görülmektedir.

Eğilme dayanımı deneyleri sonucunda numunelerin kırılma yerleri şematik olarak Şekil 4.9’da verilmiştir.

Soğuk derz oluşma süresi, (saat)	Num.№	90° açılı soğuk derz	45° açılı soğuk derz
2	1		
	2		
	3		
3	1		
	2		
	3		
4	1		
	2		
	3		
6	1		
	2		
	3		

Şekil 4.9. Prizma numunelerin kırılma yerlerini şematik olarak gösteren çizimler; çizimlerde düz kesintisiz çizgi soğuk derzi, kesikli çizgi ise numunenin kırıldığı yeri göstermektedir

Şekil 4.9 incelendiğinde 45° açıda oluşturulan soğuk derzli betonların farklı yerlerden kırıldığı görülmektedir. 90° açılı oluşturulan soğuk derzli prizma numunelerin tamamı soğuk derz oluşan yerlerden kırılmıştır. Bu beklenen bir durumdur. 45° açılı oluşturulan soğuk derzli betonlar ise 90° açılı oluşturulan soğuk derzli betonlara göre farklılık

göstermiştir. 45° açılı 2 ve 3 saatten sonra dökülerek oluşturulan soğuk derzli numuneler soğuk derzin en zayıf noktasından kırılmıştır. 4 saatten sonra dökülen beton numunelerinin ikisi soğuk derz oluşan yerlerden diğeri ise en zayıf noktadan kırılmıştır. 6 saatten sonra dökülen betonların tamamı ise soğuk derzlerden kırıldığı görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmadan elde edilen veriler değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Soğuk derz ile priz başlama süresi arasında önemli bir ilişkinin olduğu görülmüştür.
- Doğrudan çekme ve eğilme dayanım deneylerinde 45° açılı oluşturulan soğuk derzli betonlar 90° açılı oluşturulan soğuk derzli betonlara göre daha yüksek dayanım değerleri vermiştir.
- Soğuk derz oluşumunda sürenin artmasıyla betonun doğrudan çekme ve eğilme dayanımlarının azaldığı görülmüştür.
- İlk dökülen betonun sonradan dökülen betonla yapışma alanı ne kadar genişse, iki beton arasında o kadar iyi aderans sağlandığı belirlenmiştir.
- Soğuk derz 90° açıda dökülen betonların basınç dayanımını etkilememiştir. Bunun yanında 45° açıda 6 saatten sonra dökülen betonların basınç dayanımı kontrol betonuna göre azalma göstermiştir.
- 90° açılı oluşturulan soğuk derzli betonun doğrudan çekme dayanımı kontrol betonun dayanımından 2, 3, 4 ve 6 saatten sonra sırasıyla %14, %15, %25 ve %45 daha düşük çıkmıştır. 45° açılı oluşturulan soğuk derzli betonun doğrudan çekme dayanımı ise 2, 3, 4 ve 6 saatten sonra sırasıyla %5, %9, %23 ve %39 oranında kontrol betonun dayanımından daha düşüktür.
- Doğrudan çekme dayanımı deneylerinde 2 ve 3 saatten sonra dökülen betonlarda meydana gelen kopmalar en zayıf noktalarda, 4 ve 6 saatten sonra dökülen betonlarda ise soğuk derz oluşturulan yerlerinde meydana gelmiştir.
- Eğilme dayanım deneylerinde 90° açılı oluşturulan soğuk derzli numunelerin tamamında meydana gelen kırılmalar soğuk derzlerde oluşmuştur. 45° açılı oluşturulan soğuk derzli numunelerde ise 4 ve 6 saatten sonra soğuk derzlerde kırılmalar meydana gelmiştir.
- Sonuç olarak beton döküm sırasında gecikmeler olduğu takdirde soğuk derz oluşmaması için ikinci tabaka en geç 3 saate kadar dökülmeli ve olumlu sonuçlar için alttaki tabaka 45° açıda bırakılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Ali, Ü. ve Hamdi, Ş. (2008). *Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri*. Ankara: Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, 1-8.
2. Erdoğan, T. Y. (2013). *Beton*. (Dördüncü Baskı). Ankara: METU Press, iv-v, 240-352.
3. Yasin, E. (2013). *Beton ile İlgili Yaşanabilecek Problemler*. Ankara: Türkiye Hazır Beton Birliği, 1-17.
4. İnternet: Özdemir, A. Soğuk derz. İnşaat Bloğu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aykutozdemir.com.tr%2Finsaahat%2Fsoguk-derz.html+&date=2015-07-08> Son Erişim Tarihi: 08.07.2015.
5. TS 802. (2009). *Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
6. Şimşek, O. (2009). *Beton ve Beton Teknolojisi*. (Dördüncü Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık, 23-28.
7. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. (2006). *İnşaat Teknolojisi Beton 2*. Ankara: Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, 3-5.
8. TS EN 206-1. (2002, Nisan). *Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
9. Postacıoğlu, B. (1987). *Beton Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton*. İstanbul: Teknik Kitaplar Yayınevi, 2.
10. Şimşek, O. (2000). *Yapı Malzemesi-II*. Ankara: Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 45-79.
11. Popovice, S. (1979). *Concrete – Making Materials*. Washington: Hemisphere Publishing Corporation.
12. Erdoğan, T.Y. (1995). *Agregalar*. İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği.
13. Yeğinoğlu, A. (2004). *Çimento “Yeni bir çağın malzemesi”*. Ankara: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği.
14. Okucu, A. (1998). *Bigadiç ve Turnatepe yörelerindeki zeolitik ve perlitik tüflerin puzolanik özellikleri*, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Balıkesir, 1-54.
15. Postacıoğlu, B. (1986). *Beton Bağlayıcı Maddeler*. İstanbul: Teknik Kitaplar Yayınevi, 5-38.
16. Özden, K. (1978). *Betonarme I. Betonarmenin Malzemesi ve Kesit Hesapları*. İstanbul: İTÜ, 14-22.

17. TS EN 197-1. (2012). *Çimento Bölümü 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellik ve Uygunluk Kriterleri*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
18. TS EN 1008. (2003). *Karışım Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
19. TS 3440. (2014). *Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
20. Akman, M.S. (1990). *Yapı Malzemeleri*. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1-62.
21. Albayrak, H.F. (1988). Sertleşmiş Çimento ve Agregası Üzerinde Don ve Çözülme Maddesinin Tesiri. *DSİ Teknik Bülteni*. Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü, 54, 3-15.
22. ACI Committee. (1994). *Cement and Concrete Terminology*. USA: ACI Manual of Concrete Practice, 116, 90.
23. ACI Committee. (1994). *Admixtures for Concrete*. USA: ACI Manual of Concrete Practice, 212, 81.
24. ACI Committee. (1994). *Guide for Use of Admixtures for Concrete*. USA: Manual of Concrete Practice, 212, 91.
25. TS EN 934-2. (2013). *Kimyasal katkıları – Beton, harç ve şerbet için – Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları – Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
26. Ramachandran, V.S. (1995). *Concrete Admixtures Handbook*. New Jersey: Noyes Publication.
27. ASTM C 494. (1994). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. USA: Annual Book of ASTM Standards.
28. Cook, J.E. (1983). *Fly Ash in Concrete – Technical Considerations*. USA: ACI Concrete International, 51-59.
29. Jahren, P. (1983). *Use of Silica Fume in Concrete*. USA: ACI Special Publication, 2, 79.
30. Stutterheim, N. (1969). *Portland Blast Furnace Slag – A Case for Separate Grinding of Slag*. Proceedings, Fifth International Symposium on Chemistry of Cement, Cement Association of Japan, IV, Tokyo.
31. Erdoğan, T. Y. (2007). *Beton*. (Genişletilmiş İkinci Baskı). Ankara: ODTU Yayıncılık, 3-5.
32. Rathi, V.R. and Kolase, P.K. (2013). *Effect of Cold Joint on Strength Of Concrete*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2, 9.

33. İnternet: Teknik bilimler. 23-01-2014. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.volkanatabey.com.tr%2Fpost%2FBas%25C4%25B1nc-Mukavemeti&date=2015-07-08> Son Erişim Tarihi: 08.07.2015.
34. Akman, M.S. (1990). Yapı Malzemeleri. *İTÜ dergisi*, 1408.
35. Akman, M.S. (1992). Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi. İTÜ Gemi İnşaat ve Deniz Bilimleri Fakültesi, *İTÜ dergisi*, 1481.
36. Fahriye, K. (2003). Betonda Dayanıklılık. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 427.
37. Eriç, M. (1994). *Yapı Fiziği ve Malzemesi*. Ankara: Literatür Yayıncılık.
38. Tuğrul, B. (2010). Soğuk Derz. *TMMOB Haber Bülteni*. İzmir: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.
39. Şimşek, O. (2014). *İleri Beton Teknolojisi ders notu (Yayınlanmamış)*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yüksek lisans dersi. Ankara.
40. Acar, A. (2005). *İnşaat Ustaları İçin Kurs Notları*. (Geliştirilmiş yeni baskı). IMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayınları. İzmir: 40, 87-109.
41. Subba, R.P. and Chandra, J.M. (2001). Interfacial fracture parameters and size effect in concrete-concrete cold joints. *Indian Institute of Science*, 1-6.
42. Lion, C. Surface treatment agent for horizontal construction joint. *Technical Information (Version 2)*, Joint ACE, 40.
43. Baştaş Çimento fabrikası. (2015). *Çimento Analiz Raporu*. Ankara
44. TS 706 EN 12620+A₁. (2009). *Beton Agregaları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
45. Sikadur®-52. (2006). *Ürün Bilgi Föyü*. İstanbul: Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.
46. TS EN 206. (2014). *Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
47. TS EN 12350-2. (2010). *Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slamp) Deneyi*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
48. TS EN 12390-2. (2010). *Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabii Tutulması*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
49. TS 1247. (1984). *Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşulları)*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
50. TS 2987. (2011). *Betonda Priz Süresinin Penetrasyon Direncinin Ölçülmesi Yöntemi ile Tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

51. TS EN 12390-3. (2010). *Beton-sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
52. Rusch, H. and Hilsdorf, H. (1963). *Deformation Characteristics of Concrete Under Concentric Tensile Stress*. Munich Technical University, Report: 44.
53. Elvery, R.H. and Haroun, W. (1968). A Direct Tensile Test for Concrete Under Long or Short Term Loading. *Magazine of Concrete Research*, 20, 111-116.
54. Krishnaswamy, K.T. (1971). Mechanism of Failure and Microcracking of Plain Concrete Under Uniaxial Tensile Loading. *Indian Concrete Journal*, 204-222.
55. Neely, D. and Lash, S. (1963). Tensile Strength of Concrete. *Journal of American Concrete Institute*, 751-760.
56. Komlos, K. (1970). Comments on the Long Term Tensile Strength of Plain Concrete». *Magazine of Concrete Research*, 22, 232-238.
57. Kassas, A.A. (1976). *Studies on the Tensile Strength of Concrete*. (Supervised by T.Y. Erdoğan). Ankara: Middle East Technical University.
58. TS 2027. (1975). *Kayaçların çekme dayanımlarının tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
59. TS EN 12390-5. (2010). *Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KADYROV, Nursultan
 Uyuğu : KAZAKİSTAN
 Doğum tarihi ve yeri : 07.12.1990, ÖZBEKİSTAN
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (553) 463 26 78
 Faks : -
 E-Posta : nurik_kadirov@mail.ru



Eğitim

Derece	Okul/Program	Mezuniyet yılı
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2015
Lisans	KazUTU/İnşaat Mühendisliği	2013
Kolej	YKKPiT/Iktisat	2009
Lise	Taşkent, Yeni Pazar №34 Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2008-2009	TOO "Badam TAŞ"	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Türkçe, Rusça, Özbekçe

Yayınlar

Kadyrov, N. ve Yazıcıoğlu, S. (2015). Soğuk Derzin Betonun Doğrudan Çekme Dayanımına Etkisinin Araştırılması. **2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu/2nd International Sustainable Buildings Symposium**. Ankara. 156-159.

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Tiyatro, Kitap okuma, Futbol, Tenis, Müzik



GAZİ GELECEKTİR..