

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EĞİLMEYE ÇALIŞAN PLAK ELEMANLARDA BASINÇ
BÖLGESİNDE OLUŞAN ÇATLAKLARIN ELEMAN
TAŞIMA GÜCÜ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Cengiz SEVİM**

**Danışman
Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2010
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EĞİLMEYE ÇALIŞAN PLAK ELEMANLARDA BASINÇ
BÖLGESİNDE OLUŞAN ÇATLAKLARIN ELEMAN
TAŞIMA GÜCÜ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Cengiz SEVİM**

**Danışman
Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2010
KAYSERİ**

Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ danışmanlığında **Cengiz SEVİM** tarafından hazırlanan “**Eğilmeye Çalışan Plak Elemanlarda Basınç Bölgesinde Oluşan Çatlakların Eleman Taşıma Gücü Üzerine Etkisinin Araştırılması**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

ATİŞ'e teşekkür ederim.

Yapılan deneylerde her türlü yardımcı yapan, zaman harcayan, emek veren, tecrübeli paylaşılan bütün hocalarımıza, Arş. Gör. Furkan BİRDAL'a, İnşaat Mühendisi Zeynep TAŞTEMİROV'a ve İnşaat Mühendisi Halil KİP'e teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimin boyunca, beni yalnız bırakmayan çok sevdiğim JÜRİ:

Danışman: Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

Üye: Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Üye: Yrd. Doç. Dr. Okan KARAHAN

Cengiz
HC
AKH

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 19/01/2010 tarih ve 2010/05-01 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



19.01.2010

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ

Nusret Ayyıldız

TEŞEKKÜR

“Eğilmeye Çalışan Plak Elemanlarda Basınç Bölgesinde Oluşan Çatlakların Eleman Taşıma Gücü Üzerine Etkisinin Araştırılması” konulu tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde maddi ve manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam sayın Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ 'e teşekkür ederim.

Yapılan deneylerde her türlü yardımı yapan, zaman harcayan, emek veren, tecrübesini paylaştan bütün hocalarıma, Arş. Gör. Furkan BİRDAL 'a , İnşaat Yüksek Mühendisi Zamirbek TAŞTEMİROV 'a ve İnşaat Mühendisi Halit KİP 'e teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca, beni yalnız bırakmayan çok sevdiğim değerli aileme de sonsuz teşekkür ederim.

**EĞİLMEYE ÇALIŞAN PLAK ELEMANLARDA BASINÇ BÖLGESİNDE OLUŞAN
ÇATLAKLARIN ELEMAN TAŞIMA GÜCÜ ÜZERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Cengiz SEVİM

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2010
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ**

ÖZET

Dünyada ve ülkemizde son yıllarda birçok yıkıcı depremler yaşanmıştır. Bu durumla birlikte İnşaat Mühendisliğinde depreme dayanıklı yapı tasarımı gittikçe önem kazanmıştır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında sadece statik hesaplar üzerine çalışmalar yapılmamaktadır. Betonarme bir yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların yapımında kullanılan malzeme de inceleme konusu olmuştur. Deprem etkisinde yanal yüklerin taşıyıcı elemanlara dağıtılmasını sağlayan döşemeler üzerinde çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu tez kapsamında döşemeler üzerinde deneyler yapılmış ve döşemelerdeki çatlakların elemanın taşıma gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Son yıllarda düşük su/bağlayıcı oranına sahip ve çatlak oluşumuna daha eğilimli yüksek kalitedeki betonların üretimi hız kazanmıştır. Bu gelişme ile birlikte eğilmeye çalışan plak elemanların taşıma gücü konusunda çatlak oluşumunun oynadığı zararlı rolün araştırılması önem kazanmıştır. Bu durum rötre ve erken yaş çatlaklarının taşıma gücüne etkisinin de araştırılması gerektirmiştir. Bu tez kapsamında bu araştırma konusu ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda çatlaksız ve basınç bölgesinde belirli sayıda çatlak bulunan betonarme plak numuneler üretilmiş ve basit eğilme etkisi altında kırılmıştır. Yükleme tabi tutulan numunelerin yük deplasman ilişkisini çıkarmak için orta noktalarına deplasman saatleri konmuştur. Yük uygulanan numunelerin ilk çatlak yükleri, kırılma anındaki yükleri kaydedilmiştir. Tezin deneysel kısmında eğilme çekme çatlaklarının oluşumu incelenmiş ve yükleme başlangıcından itibaren çatlaklar izlenmiştir. Basınç bölgesine belirli sayıda ön çatlak vermenin plak numunelerde taşıma gücünü %10-20 oranında azalttığı görülmüştür. Basınç bölgesinde ön çatlak bulunan plak elemanların çatlaklarının epoksi ile tamir edilmesi sonucu çatlaksız imal edilen numunelerin taşıma gücünden % 5-10 daha düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taşıma gücü, döşeme, çatlak

**THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE CRACKS FORMING IN THE
SLAB MEMBERS TRYING TO BEND ON THE MEMBER BEARING CAPACITY**

Cengiz SEVİM

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Science

M. Sc. Thesis, January 2010

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

ABSTRACT

Recently, a lot of destructive earthquakes have occurred in our country and in the world. With this case, earthquake proof structural design in Civil Engineering has gradually gained importance. In the earthquake proof structural design, studies are not carried out only on static accounts. The material used in the construction of the members forming the carrying system of a reinforced concrete construction has also become the research subject. Studies on the slabs which provide the distribution of the lateral loads to the carrying members in the effect of earthquake are rather limited. Within the context of this dissertation, experiments on slabs were carried out and the effect of cracks in the slabs on the bearing capacity of the member was analyzed. The production of high-quality concretes which have low rate of water binding and are more inclined to the formation of crack has gained momentum in recent years. Along with this development, the investigation of damaging role of crack formation related to the bearing capacity of slab members trying to bend has gained importance. This case has also required the investigation of the effect of shrinkage and early age cracks on the bearing capacity. Within the context of this dissertation, experimental studies about this research subject were carried out. In this context, reinforced concrete slab samples which were crack-free and had cracks in certain number in compression region were produced and they broke under simple deflection effect. In order to find out the load-displacement relationship of the samples which were exposed to loading, displacement timers were put in their mid-points. First crack loads of samples to which loading was applied and their loads at cracking were recorded. In the experimental part of the dissertation, the formation of deflection tensile cracks was examined and cracks were observed from the beginning of loading. It was seen that bearing capacity in slab samples declined at the rate of 10-20% when pre-cracks in certain number were given to the compression region. It was also observed that the bearing capacity of the cracks of slab members having pre-cracks in compression region was 5-10% lower than the bearing capacity of samples which were produced as crack-free in conclusion of the maintenance with epoxy.

Keywords: Bearing Capacity, Slab, Crack

İÇİNDEKİLER

KABUL ONAY	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix

1. BÖLÜM

GİRİŞ	1
-------------	---

2. BÖLÜM

DÖŞEMELER.....	3
2.1. Betonarme Döşemeler ve Genel Özellikler.....	3
2.2. Döşemelerin Sınıflandırılması	3
2.3. Döşemelerin Görevleri	4
2.4. Döşeme Sisteminin Seçiminde Etkili Olan Parametreler.....	4
2.4.1. Bölgenin Depremselliği	4
2.4.2. Döşemenin Maliyeti	4
2.4.3. Geçilen Açıklık Miktarına ve Hareketli Yük.....	4
2.4.5. Etkiyen Yükün Büyüklüğü ve Çeşidi.....	4
2.4.6. Yapının Kullanım Amacı	5
2.4.7. Kullanım Değişikliklerine Uyumu.....	5
2.5. Yapının Plan Geometrisi	5
2.5.1. Taşıyacağı Eşya Ve Cihazların Hassasiyeti	5
2.5.2. Teknik Personelin Bilgi ve Becerisi.....	5
2.5.3. Konsol Döşemelerin Varlığı	5
2.6. Betonarme Elemanlarda Sehımlerin ve Çatlakların Hesabı.....	6

3. BÖLÜM

RÖTRE	9
3.1. Rötire Olayı.....	9
3.2. Rötire Türleri.....	10
3.2.1. Plastik Rötire	10
3.2.2. Otojen Rötire	11
3.2.3. Kuruma Rötresi	11
3.2.4. Karbonatlaşma Rötresi	13
3.3. Rötireye Etki Eden Faktörler.....	13
3.3.1. Çimentonun Etkisi.....	13
3.3.1.1. Çimentonun Kimyasal Yapısı	13
3.3.1.2. Çimento İnceliğinin Rötireye Etkisi.....	13
3.3.1.3. Mineral Katkılar ve Rötireye Etkileri	14
3.3.1.3.1. Silis Dumanı.....	14
3.3.1.3.2. Uçucu Kül	15
3.3.2. Su / Çimento Oranının Etkisi	15
3.3.3. Agreganın Etkisi.....	16
3.3.4. Bazı Kimyasal Katkı Maddelerinin Rötireye Etkileri	17
3.3.5. Betonda Kürün Etkisi.....	18
3.3.6. Geçirimsizlik ve Porozite Etkisi.....	19
3.3.7. Boyut Etkisi.....	21
3.3.8. Bağlı Rutubet Etkisi	21

4. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	22
4.1. Deneyin Amacı ve Araçları.....	22
4.2. Malzeme	23
4.2.1. Epoksinin Üç Çatlaklı Numunelere Uygulaması	23
4.2.2. Beton Karma Suyu ve Çimento Özellikleri	23

4.2.3.	Donatının Özellikleri.....	24
4.2.4.	Beton Numunelerin Hazırlanmasında Uygulanan Yöntemler	25
4.2.5.	Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme ve Bakımı	25
4.2.5.1.	Deney Programları, Numune Boyutları ve Sayıları.....	26
4.2.5.2.	Betonarme Plakların Boyutları ve Bazı Özellikleri	26
4.2.5.3.	Normal Ağırlıklı Betonarme Plak Numunelerin Teorik Taşıma Gücü Hesabı.....	28
4.2.5.4.	Kırılma Çizgileri Teorisi (KÇT) İle Deney Plakları Kırılma Yüklerinin Hesaplanması	29
4.2.6.	Betonarme Plak Numunelerin Teorik Taşıma Gücü Hesabı.....	30
4.3.	Deneysel Veriler.....	36

5. BÖLÜM

SONUÇLAR	52
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	58

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Betonarme elemanlarda izin verilen karakteristik çatlak genişlikleri.....	8
Tablo 3.1.	Kuruma rötresine bazı katkı maddelerinin etkileri.	18
Tablo 4.1.1	Kullanılan Ø10 betonarme çeliğinin mekanik özellikleri.....	24
Tablo 4.1.2.	Kullanılan Ø8 betonarme çeliğinin mekanik özellikleri.....	24
Tablo 4.1.3.	Kullanılan Ø8 betonarme çeliğinin mekanik özellikleri.....	24
Tablo 4.1.4.	Betonarme çeliğinin TS 708 standart sınır değerleri.	25
Tablo 4.2.	Taze beton deneyleri.	25
Tablo 4.3.	Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları.	26
Tablo 4.4.	Normal beton numune için eğilme taşıma gücü ve mukabil yükü.	34
Tablo 4.5.	Normal beton numune için eğilme taşıma gücü ve mukabil yükü	34
Tablo 4.6.	Normal numune için eğilme taşıma gücü ve mukabil yükü	35
Tablo 4.7.	Normal beton numune için eğilme taşıma gücü ve mukabil yükü.	35
Tablo 4.8.	9Ø8 donatılı normal plak yükleme – deplasman okumaları.	36
Tablo 4.9.	9Ø10 donatılı normal plak yükleme – deplasman okumaları.	38
Tablo 4.10.	9Ø8 donatılı tek çatlaklı plak yükleme – deplasman okumaları.	40
Tablo 4.11.	9Ø10 donatılı tek çatlaklı plak yükleme – deplasman okumaları.	42
Tablo 4.12.	9Ø8 donatılı üç çatlaklı plak yükleme – deplasman okumaları.	44
Tablo 4.13.	9Ø10 donatılı üç çatlaklı plak yükleme – deplasman okumaları.	46
Tablo 4.14.	9Ø8 donatılı epoksili plak yükleme – deplasman okumaları.....	48
Tablo 4.15.	9Ø10 donatılı epoksili plak yükleme – deplasman okumaları.	50
Tablo 5.1.	9Ø10 donatılı numunelerin teorik dayanımları ve deneysel dayanımları	52
Tablo 5.2.	9Ø8 donatılı numunelerin teorik dayanımları ve deneysel dayanımları..	53
Tablo 5.3.	9Ø10 donatılı numunelerin teorik tasarım dayanımları ve deneysel dayanımları.....	53
Tablo 5.3.	9Ø8 donatılı numunelerin teorik tasarım dayanımları ve deneysel dayanımları.....	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Genleşme ve büzülmenin neden olduğu iç kuvvetler	9
Şekil 3.2.	Plastik rötre	11
Şekil 3.3.	Otopark zemin kaplamasında kuruma rötresi çatlağı.....	12
Şekil 3.4.	Su miktarı – Kuruma rötresi	16
Şekil 3.5.	Agrega-çimento hamuru ara yüzeyinde çatlama.....	19
Şekil 3.6.	Agrega-çimento hamuru ara yüzeyinde çatlama.....	20
Şekil 4.1.	Döşeme karot numunesi.....	22
Şekil 4.2.	Çatlaksız numune geometrisi.....	27
Şekil 4.3.	Tek çatlaklı numune geometrisi.....	28
Şekil 4.4.	Üç çatlaklı numune geometrisi.	28
Şekil 4.5.	Eşdeğer basınç bloğu.	30
Şekil 4.6.	9Ø8 donatılı normal plak	36
Şekil 4.7.	Numune No : 1 kuvvet – orta nokta deplasmanları	37
Şekil 4.8.	9Ø10 donatılı normal plak	38
Şekil 4.9.	Numune No : 2 kuvvet – orta nokta deplasmanları	39
Şekil 4.10.	9Ø8 donatılı tek çatlaklı plak.....	40
Şekil 4.11.	Numune No : 3 kuvvet – orta nokta deplasmanları	41
Şekil 4.12.	9Ø10 donatılı tek çatlaklı plak.....	42
Şekil 4.13.	Numune No : 4 kuvvet – orta nokta deplasmanları	43
Şekil 4.14.	9Ø8 donatılı üç çatlaklı plak.....	44
Şekil 4.15.	Numune No : 5 kuvvet – orta nokta deplasmanları	45
Şekil 4.16.	9Ø10 donatılı üç çatlaklı plak.....	46
Şekil 4.17.	Numune No : 6 kuvvet – orta nokta deplasmanları.	47
Şekil 4.18.	9Ø8 donatılı epoksili plak.....	48
Şekil 4.19.	Numune No : 7 kuvvet – orta nokta deplasmanları	49
Şekil 4.20.	9Ø10 donatılı epoksili plak.....	50
Şekil 4.21.	Numune No : 8 kuvvet – orta nokta deplasmanları	51

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Olumsuz çevre koşullarına maruz kalan betonlar için sadece mukavemetten bahsetmek yetersiz olur. Bu betonların, istenen mukavemeti maksimum süre sağlayabilmeleri gerekmektedir. Yani dayanıklı olmalıdırlar. Ancak bu betonların tasarımında mukavemetin yanında servis ömrü de bir parametre olarak yer almalıdır. Bu parametrelerden biride rötredir. Rötire genel olarak betonun büzülmesi şeklinde tanımlanır. Rötire ile birlikte betonda yüzeysel veya derin çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar elemanın taşıma gücünde olumsuz etkiler yaratabileceği gibi donatının korozyonuna da neden olabilir. Bu yüzden rötire, hem estetik hem de statik olarak kötü sonuçlara sebep olabilir.

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar, tamamen çatlaksız ve basınç bölgesine belirli sayıda ön çatlak verilmiş numunelerden oluşmaktadır. Bu numuneler üç nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Daha sonra ön çatlak verilmiş numunelerde farklı donatı çapları kullanılarak aynı deneyler tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmalar başlığı altında numune üretiminde kullanılan malzemeler ve nitelikleri, çeşitli aşamalarda uygulanan deneyler ve bunların sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise elde edilen deney sonuçları değerlendirilip yorumlanmıştır ve sonuçta çatlakların döşeme numuneler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte *rijitlik*, *kararlılık* ve *dayanım* bulunmalıdır. Bu bağlamda döşeme sistemleri, deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenli aktarılmasını sağlayacak düzeyde rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdır [1].

Betonarme bir yapının taşıyıcı sistemi, üzerine etkiyen yükleri ve kendi ağırlığını güvenilir bir şekilde zemine aktarma görevini yerine getirebilmelidir. Bu nedenden dolayı yapının taşıyıcı sisteminin seçimi ve tasarımı son derece önemlidir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel ilkeler genellikle yeterli dayanım yeterli rijitlik yeterli süneklik olarak belirtilmektedir. Bunlardan başka yapıların davranışlarıyla ilgili olarak kullanılan yeterli kararlılık, yeterli sönüm ve yeterli uyum ilkelerini de açıklayabiliriz [2].

Yeterli dayanımda amaç; taşıyıcı sistem elemanlarının kendilerine etkiyen yük yada yük etkileri nedeniyle kesit tesirlerini kırılmadan taşıyabilmeleridir. Bu ilke doğrultusunda deprem yönetmeliğinde getirilen koşullardan biri kısaca kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşuludur.

Yapının yeterli rijitliğe sahip olmasının istenmesindeki amaç ikinci mertebe momentlerini mümkün olduğunca küçültmek, sıkça oluşan depremlerde, yani kullanılabilirlik sınır durumuna karşı gelen depremlerde, yapısal olmayan hasarları azaltmak ve deformasyonları önlemektir.

Bir malzeme, bir kesit, bir eleman veya bir yapının taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan deformasyon yapabilme, tekrarlı yükler etkisinde enerji tüketebilme özelliğine; o malzemenin, o kesitin, o elemanın veya o yapının sünekliği denilmektedir. Yapıların süneklik özelliği dikkate alınarak deprem yükleri, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ye bağlı olan deprem yükü azaltma katsayısına bölünerek azaltılmaktadır. Azaltılan bu yüke göre hesap yapıldığında şiddetli depremlerde yapıda elastik sınırın ötesinde deformasyonları dolayısıyla da hasarın oluşabileceği, ancak süneklik ve enerji tüketebilme özelliği nedeniyle tamamen göçmenin önleneyeceği kabul edilmektedir.

Yapı emniyeti için sadece dayanımın dikkate alınması yeterli değildir. Yapının denge konumunun da yeterince kararlı olması gerekmektedir. Eğer sistem kararlı durumdan çok az bir miktarda dahi olsa saparsa, yapı aniden göçer.

2. BÖLÜM

DÖŞEMELER

2.1. Betonarme Döşemeler ve Genel Özellikler

Kalınlıkları, taşıyıcı yöndeki boyutları yanında çok küçük olan iki boyutlu elemanlardır. Bu tür taşıyıcıların kalınlıklarının orta noktalarını birleştiren yüzeye *orta yüzey* denir. Döşemeler, orta yüzeyin geometrik şekline göre plak veya kabuk adını alırlar. Orta yüzeyi düzlemsel olan sistemlere plak denir [3].

Döşeme terimi kirişli ve kirişsiz döşemelerde, sadece döşeme plağını, dişli döşemelerde ise plakla birlikte dişleri (küçük kirişleri) de kapsayacak şekilde kullanılmaktadır.

2.2. Döşemelerin Sınıflandırılması

Döşemeler farklı kriterlere göre sınıflandırılmakta ve aynı tip döşeme için bazen farklı isimler kullanılmaktadır. Döşemeler; kirişli, kirişsiz ve dişli döşeme olarak üç ana başlık altında incelenebilmektedir [4].

1- Kirişli döşemeler (kirişli plak döşemeler)

- Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemeler (hurdi döşemeler)
- İki doğrultuda çalışan kirişli döşemeler (dual döşemeler)

2- Kirişsiz döşemeler (kirişsiz plak döşemeler)

- Tablasız ve başlıksız kirişsiz döşemeler
- Tablalı kirişsiz döşemeler
- Başlıklı kirişsiz döşemeler
- Başlıklı ve tablalı kirişsiz döşemeler

3- Dişli döşemeler

- Bir doğrultuda dişli döşemeler

– İki doğrultuda dişli döşeme

2.3. Döşemelerin Görevleri

Kendilerine etkiyen düşey yükleri mesnetlenmiş olduğu kirişlere, perde duvarlara ya da doğrudan kolanlara aktarmaktadır. Yapıya yatay yüklerin etkimesi durumunda bu yükleri düşey taşıyıcı elemanlara rijitlikleri oranında paylaştırır. Bu önemli görevi yerine getirebilmek için döşemenin yeterli rijitliğe sahip olması gerekmektedir [4].

2.4. Döşeme Sisteminin Seçiminde Etkili Olan Parametreler

2.4.1. Bölgenin Depremselliği

Deprem bölgelerinde depreme dayanıklılık açısından en uygun döşeme sisteminin tekniğine uygun yapılmış kirişli döşeme olduğu söylenebilir.

2.4.2. Döşemenin Maliyeti

Seçilen döşemenin kalıp maliyetinin düşük olması ve kullanılacak malzeme miktarının az olması, tasarruf sağlayan faktörlerdendir. Kirişli döşeme ve asmolen döşemelerin kalıp maliyeti düşük, ancak kullanılan malzeme miktarı fazladır.

2.4.3. Geçilen Açıklık Miktarına ve Hareketli Yük

Betonarme döşeme sistemlerinin daha ekonomik oldukları açıklıklar ve etkisinde kalacakları hareketli yükler bulunmaktadır.

2.4.5. Etkiyen Yükün Büyüklüğü ve Çeşidi

Döşemelere, kalıcı ve hareketli yüklerin dışında, bazen duvar yükü gibi şerit yükler ya da makine ayağı gibi tekil yükler de etkiyebilmektedir. Yükün büyük olması ya da tekil yük bulunması durumunda dişli döşemeler, diğer döşemelere göre daha uygun olmaktadır.

2.4.6. Yapının Kullanım Amacı

Döşeme bir deponun tavanında bulunuyorsa ve depoya malzeme almak ya da boşaltmak için araçlar girip çıkıyorsa, bu durumda kirişli döşemelerde kirişler kullanılan net yüksekliği azaltmakta, bu da kullanımı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum için en uygun döşeme sistemi kirişsiz döşemedir.

2.4.7. Kullanım Değişikliklerine Uyumu

Yapının kullanım amacındaki değişikliklere bağlı olarak, zaman zaman duvarların yerlerinin değiştirilmesi gerekmektedir. Bu gibi durumlarla karşılaşıldığında, en uygun döşeme sisteminin kirişsiz ve kaset döşeme olduğu belirtilebilir.

2.5. Yapının Plan Geometrisi

2.5.1. Taşıyacağı Eşya ve Cihazların Hassasiyeti

Döşemenin sehime ve titreşime duyarlı eşya ve cihazları taşıması durumunda, döşeme sisteminin yeterince rijit olması gerekmektedir. Kirişli döşemeler rijitliği düşük olduğundan sorun oluşturabilmekte, dişli döşemeler ise yüksek rijitlikleri nedeniyle daha uygun olmaktadır.

2.5.2. Teknik Personelin Bilgi ve Becerisi

Döşeme sistemini inşa edecek olan teknik personelin döşeme sistemi hakkındaki bilgi ve becerisi de önemli bir parametredir.

2.5.3. Konsol Döşemelerin Varlığı

Kat döşeme sisteminde konsolların bulunup bulunmaması ve bunların açıklıkları ile doğrultuları komşu döşemeler için seçilecek sistemi etkilemektedir. Kirişsiz döşemelerle uzun ve ağır konsolları tasarlamak oldukça zor ya da imkânsız olacaktır.

Döşemelerin tasarımında da diğer betonarme elemanlarda olduğu gibi taşıma gücü ve kullanılabilirlik sınır durumları dikkate alınmaktadır. Ancak, hasar görmüş yapılar

üzerinde yapılan incelemeler, döşemelerde taşıma gücü açısından genelde sorunla karşılaşmadığını, karşılaşılan problemlerin çoğunun kullanılabilirlik sınır durumuyla ilgili olduğunu ortaya koymuştur. Diğer bir deyişle, döşemelerde sorun aşırı sehim (çökme) titreşim ve çatlama kaynaklanmaktadır. Aşırı sehim ve titreşim doğrudan döşeme kalınlığı ile, aşırı çatlama ise donatı ile ilişkilidir.

2.6. Betonarme Elemanlarda Sehimlerin ve Çatlakların Hesabı

Betonarme yapı elemanlarında yıkılmaya karşı sağlanan güvenliğin yanı sıra, öngörülen işletme yükleri altında elemanların ve yapının tümünün aşırı şekil değiştirme veya çatlama göstermeyecek bir biçimde boyutlandırılıp donatılması gerekir [5]. Yapıda işletilebilme yönünden güvenlik, işletme yükleri altında oluşabilecek sehimlerin ve çatlakların, izin verilebilen maksimum değerlerden küçük olduğu gösterilerek sağlanabilir. İşletme yükleri etkisinde kalan yapılardaki sehimler, elemanların belirli bir rijitlikte olması sağlanarak denetlenebilir ve sınırlandırılabilir.

Sehimlerin denetlenmesinde pratikte iki yol izlenir: birincisi, boyutlandırma olup, yönetmeliklerde verilen ve sehim hesabı yapılmasını gerektirmeyen minimum boyutlar temel alınarak yapılabilir. İkinci olarak, bu minimum boyutların altına inilmesi durumunda ise, sehim hesabı yapılır ve belirlenen sehimin yönetmeliklerdeki sınır değerleri geçip geçmediği araştırılır [6].

Sehim hesabında kullanılan yöntemde, eğilme momentinin eleman boyunca değişken olması nedeni ile sünme ve büzülme etkilerinin göz önüne alınmış olması gerekir. Ani sehim hesabının yalnızca sabit ve hareketli yükler toplamına göre yapılması yeterlidir. Zamana bağlı sehimin hesaplanmasında ise, büzülme ve sünme etkisi hesaba katılmalıdır. Bir kirişte maksimum sehim, kirişin doğrusal elastik davrandığı varsayılarak,

$$\Delta_{max.} = k \times L^2 (M / E \times I) \quad (2.1)$$

genel bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıdaki büyüklükler:

- M : Eğilme momenti,
- L : Kiriş açıklığı,
- E : Kiriş malzemesinin elastisite modülü,

I : Kesit atalet momenti,

k : Sınır koşullarına ve yükün açıklık boyunca dağılımına bağlı katsayıdır.

Bağıntı, betonarme kirişlerdeki sehimlerin hesaplanmasında da kullanılabilir. Elemana etkiyen maksimum eğilme momenti (M_{max}), elemanın çatlama momentinden (M_{cr}) küçükse, sehim, çatlamamış beton kesit atalet momenti (I_c) temel alınarak hesaplanır. I_c 'nin belirlenmesinde donatı hesaba katılmaz.

$$M_{cr} = 1.3 \times f_{ctk} \times I_c / Y \quad (2.2)$$

Maksimum eğilme momenti çatlama momentinden büyük ise, sehim hesabı, kesitin etkili atalet momenti " I_{ef} " temel alınarak yapılır. Etkili atalet momenti, çatlamayı içeren şu bağıntıyla bulunabilir [5]:

$$I_{ef} = (M_{cr} / M_{max})^3 \times I_c + [1 - (M_{cr} / M_{max})^3] \times I_{cr} \quad (2.3)$$

Burada I_{cr} çatlamış kesitin atalet momentini gösterir. Betonarme kesit, eşdeğer beton kesite dönüştürülerek belirlenir. Etkin atalet momenti, çatlamamış beton kesit atalet momentinden büyük alınmamalıdır.

Betonarme elemanlarda; mukavemet bakımından sakıncalı olmasa bile, yapının estetiğini bozacak, konuya yabancı kişilerde kuşku yaratacak ve donatının korozyonuna yol açabilecek ölçüde çatlaklar oluşmamalıdır. Hesaplanan çatlak genişlikleri daima "izin verilen karakteristik değer" in altında kalmalıdır. Çatlak hesaplarında yük ve malzeme katsayıları "bir" alınmalıdır. Elemanın bulunduğu ortama bağlı olarak izin verilen karakteristik genişlikler Tablo 2.1 'de verilmiştir [6].

Tablo 2.1. Betonarme elemanlarda izin verilen karakteristik çatlak genişlikleri.

Normal atmosferik koşullarda, iç yapı elemanlarında	0.4 mm
Nemli veya agresif atmosferlerde yapı içindeki elemanlarda ve normal atmosferik koşullarda dışarıdaki yapı elemanlarında	0.2 mm
Özellikle agresif bir ortamdaki içeride ve dışarıdaki yapı elemanlarında ve geçirimsizlik istenen yerlerde	0.1 mm

Nervürlü çeliklerin kullanılması durumunda, çatlak genişlikleri ve aralıkları düz yüzeyli çeliklere oranla küçük olmaktadır. Belirli bir değere kadar çatlak genişlikleri, çatlak aralıklarının fonksiyonudur. Aynı zamanda çatlak genişliği, donatıdaki uzamanın ve dolayısıyla gerilmesinde fonksiyonudur.

İşletme yükleri etkisindeki eğilme elemanlarında, donatı ağırlık merkezindeki çatlak ortalama genişliği (W_m) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir[5–6].

Düz yüzeyli çubuklar için;

$$W_m = 1.2 \times (2 \times c_{\text{örtü}} + (k_s \times \phi / p_r)) (\sigma_s / E_s) \quad (2.4)$$

$c_{\text{örtü}}$ = Dış yüzeye en yakın çekme çubuğu için örtü beton kalınlığı

ϕ = Donatı çapı

σ_s = Donatıda normal gerilme

E_s = Çeliğin elastisite modülü

k_s = Kesitteki birim deformasyon dağılımı ile donatının yüzey biçimine bağlı katsayı

p_r = Çatlak genişliği donatı yüzdesi olup (2.5) da verilmiştir

$$p_r = [A_s / b_w \times 2 \times (h - d)] \quad (2.5)$$

Karakteristik çatlak genişliği W_k ise , (2.4) hesaplanmış olan W_m ortalama genişlik, 1.7 ile çarpılarak belirlenir.

$$W_k = 1.7 \times W_m \quad (2.6)$$

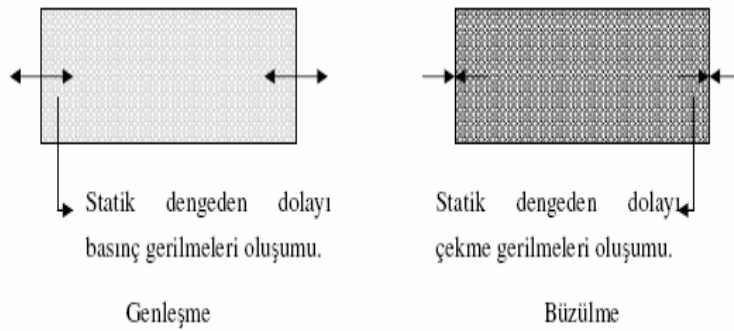
Böylece belirlenen W_k genişliğinin izin verilen karakteristik çatlak genişliğinden büyük olmaması gereklidir.

3. BÖLÜM

RÖTRE

3.1. Rötreye Olayı

Betondaki su miktarının, çimento hidratasyonu ve çevresel etkiler nedeniyle, azalması sonucu çimento matrisinde iç gerilmeler oluşur ve beton büzülmeğe karşı zorlanır. Betonda su kaybının neden olduğu bu hacimsel değişikliğe “Rötreye” denir. Betondan ayrılan suyun rötreye neden olması gibi, betona katılan su da bir miktar genişlemeye neden olur. Ancak bu genişleme, rötreye gibi tehlikeli değildir. Çünkü beton içerisinde genişleme sırasında basınç gerilmeleri oluşacakken, büzülme sırasında çekme gerilmeleri oluşur. Bu gerilmeler betonun şekil değiştirme süresince ona karşı gelen unsurlar tarafından oluşturulur ve buna bağlı olarak mikro çatlaklar oluşur.[9]



Şekil 3.1. Genleşme ve büzülmenin neden olduğu iç kuvvetler

Betonun deformasyonunu engelleyen unsurlar bir şekilde mutlaka vardır. Örneğin; agregalar, betonarme içindeki donatı, yapı elemanları düğüm noktaları (temel-kolon kiriş-döşeme birleşim noktaları) gibi etkenler betonun rötreye ve genişlemeye bağlı hareketini kısıtlarlar ve bu da mikro çatlaklara sebep olur.

Rötre, beton veya betonarme yapı elemanlarının hem mimari açıdan görünüş hem de dayanımını olumsuz yönde etkiler. Otopark zemin kaplamalarında, havaalan pistlerinde, betonarme perde duvarlarda, dış cephe prekast elemanlarda, köprü ayaklarında ve liman yapılarında hayati önem taşır. Özellikle kimyasal etkilere (sülfat, alkali-silika reaksiyonlar) maruz kalan betonarme yapı elemanlarında rötrenin neden olduğu çatlaklardan dolayı donatının korozyona uğraması kaçınılmazdır. Kısacası rötre, yapının servis ömrünü etkileyen en önemli faktörlerden biridir.

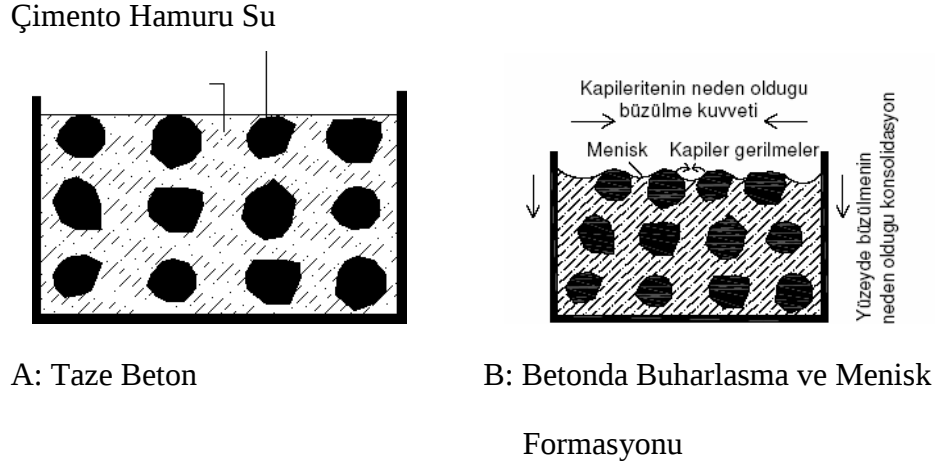
3.2. Rötre Türleri

3.2.1. Plastik Rötre

Taze beton yerleştirildikten sonra agrega dibe doğru çökelirken su, yüzeye doğru çıkmaya başlar. Yüzeydeki su, rüzgar veya güneşin etkisiyle buharlaşırken beton içinde hidratasyon bünyedeki suyu kullanmaya devam eder. Bu aşamada yüzeydeki buharlaşma hızı, terleme hızından fazla olursa betonda “plastik rötre” meydana gelir [7].

Plastik rötrenin sonucu olarak beton yüzeyinde kapileriteden dolayı mikroskobik ölçekte hacim değişiklikleri olur. Bu hacim değişikliğinden dolayı beton yüzeyinde çatlaklar oluşması muhtemeldir. Çünkü, bu bölge yani yüzey, çoğunlukla çekme gerilmelerini karşılayacak elemanlardan yoksun bölgelerdir [7].

Beton içerisinde veya yüzeyinde kapileriteden dolayı oluşan menisk hali betonda bir basınç etkisi oluşturur. Üst kısım büzülmeye zorlanırken, alt kısım sıkışmaya başlar. Bu basınç etkisi beton içindeki suyun, kılcal boşluklardan yukarı doğru çıkışını hızlandırır. Basınç etkisiyle kendisine daha kolay ve kalıcı bir yol açan su, betonun ilerleyen zamanlarda donatısının korozyona uğramasına neden olacak bu boşlukları da birleştirmiş ve betonun geçirimliliğini arttırmış olur.



Şekil 3.2. Plastik rötre.

3.2.2. Otojen Rötire

Otojen rötire, betonun dış etkenlerden (bağıl nem, rüzgar, kür vb.) bağımsız olarak sadece kendi bünyesindeki çimento hidratasyonunun neden olduğu hacimsel değişimden kaynaklanan rötredir [8].

Çimento, su ile temas ettiğinde hidratasyon işlemi başlar. Fakat hidratasyon sonucu oluşan çimento-su karışımı hacim olarak hidratasyona girmemiş çimento-su karışımı miktarından daha az olacağından bu aşamada betonda küçük bir hacimsel değişiklik olur. Hidratasyonun neden olduğu bu kendiliğinden kuruma için çimento ağırlığının yaklaşık %25' i kadar su gerekmektedir. Bu yüzden otojen rötire normal veya yüksek su/çimento oranlı betonlar yerine düşük su/çimento oranlı (<%40), yüksek mukavemetli betonlarda gözlenir [9].

Beton katkı teknolojisinin bugünkü kadar gelişmediği yıllarda işlenebilirliği artırmanın en yaygın yolu su/çimento oranını arttırmaktı. Günümüzde ise yüksek oranda su azaltıcı katkı maddeleri sayesinde düşük su/çimento oranında daha mukavemetli ve işlenebilir beton üretmek mümkündür. Bu yüzden otojen rötire, önceki yıllardan çok günümüzde üzerinde çalışma yapılan bir konu olmuştur.

3.2.3. Kuruma Rötresi

Beton dökümünden sonra çevre koşullarına göre ısı dengeleninceye kadar betonun çevresiyle ısı alışverişi devam eder. Eğer yüzeydeki ısı, iç ısıdan az ise beton içerisinde

su, ısı dengeye ulaşıncaya kadar buharlaşır. Yine beton ve çevresi arasında nem farkı da su buharı transferine yol açar. Ortamın rutubeti, betonun kendi rutubetinden az ise, buharlaşma rutubetin fazla olduğu taraftan kuru tarafa devam edecektir. Bunun sonucunda betonda mikroskobik ölçekte büzülme meydana gelir, buna “kuruma rötresi” denir [9].

Betonda kuruma rötresinin miktarı suyun buharlaşma hızıyla değil, beton içindeki suyun difüzyon hızıyla ilgilidir. nk betonun yüzeyine yakın kısımlardaki su, havadaki nemle çabucak dengeye ulaşırken i bölgelerdeki nem dengesi, betonun difüzyona müsaade hızıyla alakalı olacaktır.



şekil 3.3. Otopark zemin kaplamasında kuruma rötresi çatlağı.

şekil 3.3 de otopark zemin kaplamasında derz yapılarak kuruma rötresi çatlaklarının derz boyunca ilerlemesi beklenmiş ancak başarılı olunamamış [9].

Kuruma rötresinin betonun yüzeyinde ve alt bölgelerinde farklı miktarlarda olması özellikle plaka betonlarda kıvrılmaya neden olur. Bu da rötrenin neden olduğu çatlakların dışında, trafik yükü ve beton plağının kendi ağırlığının bükülmüş beton plağını zorlamasıyla ilave çatlaklar oluşacaktır [10]. Kaplama betonda st kısım ile alt kısım arasında farklı kuruma sonucunda betonda kıvrılma meydana gelmiştir.

3.2.4. Karbonatlaşma Rötresi

Atmosferdeki CO₂ (karbondioksit) çimento hamurunu etkileyebilir ve rötreye sebep olabilir. Karbonatlaşma rötresi olarak isimlendirilen bu işlem su veya ağırlık kaybıyla ilgili değildir. Hatta karbonatlaşma rötresi sonunda ağırlıkta bir miktar artış da olur. CO₂ çimento hamurundaki serbest Ca(OH)₂ (kalsiyum hidroksit)'i etkileyebilir ve aşağıdaki basitleştirilmiş reaksiyona sebep olabilir.



Karbonatlaşma rötresinin mekanizması ile ilgili çeşitli teoriler vardır. Bunlardan bir tanesi; Ca(OH)₂, boşluklardaki menisklerin mevcudiyetinden dolayı bir basınç gerilmesi altındadır. Bu kristaller dayanak görevi görürler ve CSH jel parçacıklarının çökmesini engellerler. Ca(OH)₂' in çözülmesi ve yerine gerilme altında olmayan CaCO₃ çökeltisine dönüşmesi, CSH jelinin çökmesine sebep olabilir. Bu da rötreye yol açar [9].

Diğer bir teoriye göre, denklem (3.1) de gösterildiği gibi Ca(OH)₂, CaCO₃' a dönüşürken H₂O (su) açığa çıkar ve bu su, ortaya çıktıkça ıslanma-kuruma çevrimiyle buharlaşıp rötreye neden olacaktır.

3.3. Rötreye Etki Eden Faktörler

3.3.1. Çimentonun Etkisi

3.3.1.1. Çimentonun Kimyasal Yapısı

Çimento, su ile priz almaya başladıktan sonra havada ve suda sertleşmesine devam edebilen hidrolik bir bağlayıcıdır. Çimentonun kimyasal içeriğini tri-kalsiyum silikat (C₃S: 3CaO.SiO₂) , di-kalsiyum silikat (C₂S: 2CaO.SiO₂) , tri-kalsiyum alüminat (C₃A: 3CaO.Al₂O₃) ve tetra-kalsiyum alümino ferrit (C₄AF: 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃) oluşturur.

3.3.1.2. Çimento İnceliğinin Rötreye Etkisi

Betonda rötreye doğrudan çimento ile ilgilidir. Çimento dozajı arttıkça betonda rötreye miktarı da artacaktır. Çimentonun inceliği rötreye üzerinde çok fazla etkili değildir. Hidratasyon sonucu oluşmuş çimento hamurları (C-S-H) birbirlerini çekerek

aralarındaki boşlukları daraltırlar. Hacimsel olarak betonda şekil değişimine neden olan bu daralma çimentonun inceliği ile değil, çimento hamuru taneleri arasındaki mesafeyle ilgilidir. Bir başka deyişle rötreme miktarı, çimento hamuru yoğunluğu ile ilgilidir [7].

Çimento incelik artışı betonda boşluk oranını azaltır. Diğer yandan incelik arttıkça su ihtiyacı da artacak, dolayısıyla işlenebilirlik azalacaktır [11].

Günümüzde yaygın kullanılan yüksek oranda su azaltıcı ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanımıyla inceliğin artışının beraberinde getirdiği su ihtiyacı azaltılabilir. Böylece işlenebilirlik artıp, porozite azaltılabilir. Daha geçirimsiz bir betonun rötreme miktarı da az olacağından çimentonun inceliğinin artışı, rötreyi de azaltmış olur [9].

3.3.1.3. Mineral Katkılar ve Rötreye Etkileri

Yüksek mukavemetli ve düşük geçirimli betonlarda kullanılan uçucu kül ve silis dumanı en çok kullanılan mineral katkılardır. Genellikle bazı mineral katkılar betonun su ihtiyacını arttırırlar. Teorik olarak, su ihtiyacının arttıkça rötremenin de artması gerekir. Ancak, yapılan bazı çalışmalar bunun tam tersine mineral katkıların her zaman rötreyi arttırmadığını göstermiştir [9].

3.3.1.3.1. Silis Dumanı

Silis dumanı, normal portland çimentosundan 100 kat daha küçük tane çapına sahiptir. Bu malzeme, inceliğinin yüksek olması sebebiyle yüksek miktarda su ihtiyacına neden olur. Su miktarının artması mukavemet, geçirimsizlik ve rötreme açısından olumsuz olacağından bu minerallerle beraber yüksek oran su azaltıcı katkı maddeleri kullanılmalıdır.

Bloom, yaptığı deneyde üç farklı su/(çimento+silis dumanı) değeri için silis dumanının plastik rötreye etkisini incelemiştir. 0,33 su / bağlayıcı oranında silis dumanı, düşük su oranı yüzünden plastik rötreme çatlaklarına sebep olmuştur. 0,50 su / bağlayıcı oranında, su oranı yüksek olduğu için silis dumanı ince yapısı sayesinde boşlukları doldurucu özelliğini kazanmış ve daha geçirimsiz, çatlak miktarı çok daha az bir beton elde edilmiştir. 0,40 su / bağlayıcı oranında rötreme çatlakları gözlenmiş ancak yine 0,40 su /

çimento oranında silis dumanı katılmadığı durumda rötreye çatlaklarının azaldığı tespit edilmiştir [12].

Haque, kuruma rötresinin azaltılması için çimentoya eklenmesi gereken silis dumanının %5-%10 ağırlıkça çimentoya katılmasını önermiştir. %20' den fazla uçucu kül ve cürufun rötreyi arttıracaklarını belirtmiştir [13].

Kür koşulları, silis dumanının su ihtiyacını arttırması yüzünden, çok önemlidir. Aksi takdirde rötreyi ve geçirimsizliği azaltması beklenen bu mineral katkı türü tam tersi bir etkiyle çatlamlara sebep olacaktır [9].

3.3.1.3.2. Uçucu Kül

Uçucu küllerin tane çapları 1 mikron ile 100 mikron arasında değişir ancak %50' si 20 mikronun altındadır. Su ihtiyacını azaltması, işlenebilirliği arttırması ve mukavemeti zamanla arttırması gibi olumlu etkilere sahiptirler. N Sınıfı natürel puzolanları saymazsak iki sınıf uçucu kül mevcuttur. Yüksek miktarda kalsiyum içeren C Sınıfı Uçucu Küller ve düşük miktarda kalsiyum içeren F Sınıfı Uçucu Küller. C Sınıfı, kimyasal etkileri F Sınıfına göre daha etkindir. Su ihtiyacını azalttıkları ve kimyasal genleşmeleri sayesinde rötreyi de azaltırlar [14].

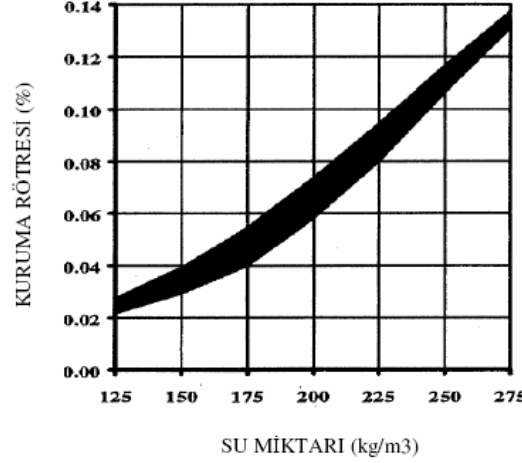
Uçucu küller, kür koşullarının iyi olmadığı ortamlarda normal Portland çimentosu kullanılmış betona göre daha olumlu sonuçlar verir. Kür iyi yapıldığı takdirde (7 gün boyunca 20 °C ve %100 bağıl nem) normal beton ile uçucu küllü beton arasında fazla bir fark görülmez [15].

3.3.2. Su / Çimento Oranının Etkisi

Su/Çimento oranı betonda rötreye miktarını etkileyen en önemli faktördür. Su/Çimento oranı arttıkça rötreye de artar. Karışımdan zamanla uzaklaşıp hacim değişikliğine sebep olacak ana unsur “su” dur. Hidratasyon için gerekli su miktarından fazlası rötreyi arttıracaktır [9].

Beton karışımına katılan su, çimento ile reaksiyona girip hidratasyonu başlatır. Hidratasyon ile beton priz almaya, yani plastik kıvamını kaybederek sertleşmeye başlar.

Çimentonun kimyasal içeriğine bağlı olarak priz alma süresi 1 ile 10 saat arasında değişir.. Ayrıca ortam sıcaklığının düşüşü priz alma süresini geciktirirken sıcaklık artışı priz süresini azaltır [9].



Şekil 3.4. Su miktarı – Kuruma rötresi.

3.3.3. Agreganın Etkisi

Agregaların su emme oranları çimentoya göre çok daha azdır. Ayrıca elastisite modülleri taze çimento hamurununkine göre daha yüksek oldukları için rijittirler. Bu açıdan bakıldığında agrega iki açıdan rötreye üzerinde etkilidir. Birincisi; karışımdaki yüksek agrega oranı, düşük su/çimento oranı demek olacağından rötreye de azalmış olur. İkincisi; iyi yıkanmış temiz agrega, çimento hamuru için iyi tutunma yüzeyleri demektir. Böylece daha rijit bir karışım elde edilir.

Agrega maksimum tane çapının rötreyi belirleyici bir etkisi yoktur [10]. Ancak şantiye koşullarında agrega tane çapının büyük olması, betonun işlenebilirliğini ve yerleşmesini özellikle donatısı yoğun betonarme yapılarda olumsuz etkileyecektir. Bu açıdan bakıldığında yerleşmenin, sıkışmanın iyi olmaması betonun geçirimsizliğini arttıracak bu da rötreyi miktarını arttıracaktır.

Teorik olarak, karışımdaki agrega miktarları hacim olarak eşit ancak maksimum tane çapları farklı olan iki numuneyi kıyaslayalım, agrega çapı küçük olan karışımda agrega yüzey alanı da fazladır. Bu da daha fazla su emme yüzeyi demektir. Ancak agregaların

su emme miktarları çok düşük olduğu için agrega yüzey alanından çok, agreganın cinsi önemlidir.

3.3.4. Bazı Kimyasal Katkı Maddelerinin Rötreye Etkileri

Hava sürükleyici katkı maddelerinin rötreye doğrudan etkileri yoktur. Çalışma prensibi, beton karma işleminde oluşan hava kabarcıklarını aynı yüklü iyonlar ile yükleyip birbirlerini itmesini ve beton içinde homojen dağılmasını sağlamak olan bu katkı maddeleri yeni hava kabarcıkları üretmez, mevcut havayı homojen dağıtır. Kısacası, rijit olmayan hava kabarcıklarının rötreyi engellemesi beklenmez [10].

Süper akışkanlaştırıcılar rötreyi azaltıcı yönde çok fazla bir etkileri yoktur, hatta kimyasal yapıları itibarıyla rötreyi artırırlar. Ancak bunun yanında su/çimento oranını düşürdükleri için bu iki etki birbirini dengeler ve rötrede kayda değer bir değişim görülmez [10].

Su/çimento oranını düşüren su azaltıcı katkı maddeleri beton bünyesindeki suyu %5-12 oranında azaltabilir. Ancak, kimyasal yapısı tri-etanolamine içerdiği için bu katkılar da süper akışkanlaştırıcılar gibi rötreyi artırma eğilimindedirler [10].

Son yıllarda kullanılmaya başlanan yüksek oran su azaltıcı katkı maddeleri, su oranını %12-45 düşürebildiği gibi kimyasal yapılarında rötreyi arttırıcı bir unsur yoktur. Dolayısıyla bu katkı maddeleri rötreyi azaltırlar [10]. Su azaltıcı-priz geciktirici katkı maddeleri, su miktarını azalttıkları gibi prizi de geciktirdikleri için düşük hidratasyon ısısı sayesinde beton içerisindeki su, betonu çabuk terk etmeyecektir böylece rötreye azalacaktır [10]. Priz hızlandırıcı katkı maddeleri, çimentonun kimyasal reaksiyonunu hızlandırırlar. Bu da daha fazla hidratasyon ısısı açığa çıkması ve bünyeden daha fazla ve hızlı sukaybı ile sonuçlanır. Bu yüzden bu katkı maddeleri rötreyi arttırırlar [10].

Tablo 3.1. Kuruma rötresine bazı katkı maddelerinin etkileri [10].

Katkı Maddesi	Su Azaltma % Oranı (Katkısız) numuneye göre	Su muhtevası	Kuruma Rötresi (56 Günlük) mikrostrain
Su azaltıcı	5	190	550
Priz geciktirici	-	195	540
Priz hızlandırıcı	-	196	610
Su azaltıcı-Priz geciktirici	5	190	510
Su azaltıcı-Priz hızlandırıcı	5	190	570
Yüksek oran su azaltıcı	12	176	470
Yüksek oran su azaltıcı-Priz geciktirici	12	176	470
Katkısız Numune	0	200	720

3.3.5. Betonda Kürün Etkisi

Betonda kür uygulaması, plastik ve otojen rötrem miktarını azaltacaktır. Ancak kuruma rötresine bir etkisi olmayacaktır. Çünkü er ya da geç betonda kür uygulaması bittiğinde kuruma rötresi başlayacaktır. Kuruma rötresinin geç başlamasını sağlamak betonda öngörülen mukavemeti elde etmek açısından çok önemlidir [9].

Kürü yetersiz yapılan betonda aynı zamanda rötrenin etkisiyle boşluklar birbiriyle irtibatlı hale gelebilir. Bu yüzden su/çimento oranına göre genellikle ihtiyaç duyulan kür şöyledir ; $s/\ç = 0,40$ ise 3 gün , $s/\ç = 0,5$ ise 14 gün , $s/\ç = 0,6$ ise 180 gün ve $s/\ç = 0,70$ ise 365 gün buhar kürüne ihtiyaç duyulur [14].

Beton karışımındaki su miktarına ilave olarak “içsel kür” için az miktarda, ıslatılmış, hafif ve küçük agregalar veya süper emici polimer parçacıkları kullanılarak hidrasyon ıslasının düşürülmesi hızlandırılır. Bu sayede daha yüksek mukavemet ve daha az otojen rötrem elde edilir. Çatlaklar azalırken geçirimsizlik de azalmış olur.

İçsel kürün iki önemli faydası vardır, birincisi; çimento hidrasyonu beton bünyesindeki suyu hemen emmeye başlar (yaklaşık 0,07 gr su / gr çimento). Hidrasyon sonucu meydana gelen bu kendiliğinden kurumunun neden olacağı su

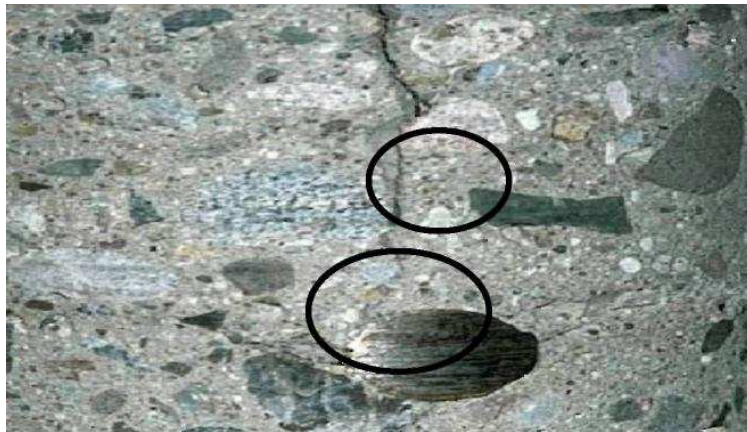
ihtiyacı özellikle düşük su/çimento oranlı betonlarda içsel kür ile karşılanabilir. İkincisi; yüksek su/çimento oranlı betonlarda geçirimliliğin hızını da etkileyen kalsiyum silikatlar zaten su miktarının fazla olması sebebiyle geçirimliliği daha yavaş azaltırlar. Bu yüzden beton dışarıdan sulandığında düşük su/çimento oranlı betonlar daha az su emerler. Bu noktada içsel kür ile düşük su/çimento oranlı betonların dışarıdan gelecek suya ihtiyaçları da azaltılmış olur [16].

3.3.6. Geçirimlilik ve Porozitenin Etkisi

Betonun dayanımını etkileyen en önemli özelliklerden biri de geçirimlilik ve porozitedir. Betonun geçirimliliği ne kadar yüksekse dayanımını da o kadar düşüktür. Kuruma rötresi sırasında nem farkından dolayı beton içerisindeki suyun buharlaşıp betonu terk etme hızı geçirimlilik ile ilgilidir [9].

Betonun geçirimliliği çimento hamurunun, agregası ve çimento hamuru-agrega ara yüzünün (geçiş bölgesi) bir fonksiyonudur. Çimento hamuru genel olarak %30-40 kapiler poroziteye sahiptir [17].

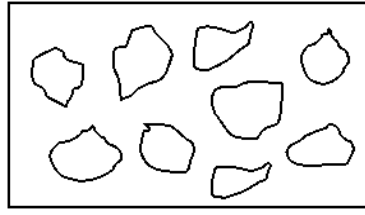
Agregalar genellikle düşük poroziteye sahiptirler (%1-3) ve nadiren %8-10 ' u aşarlar. Her ne kadar geçiş bölgesinin geçirimliliği ölçülmemişse de bu bölgenin oldukça boşluklu olduğu bilinir. Kuruma rötresi sırasında çimento hamuru büzülme isterken agregalar rijit elemanlar olarak buna engel olurlar ve bu da çimento hamuru-agrega yüzeyi arasında mikro çatlaklara neden olur. Yine terleme suyunun agrega yüzeylerine takılarak bu bölgelerde büyük boşluklar oluşturduğu da bilinmektedir [9].



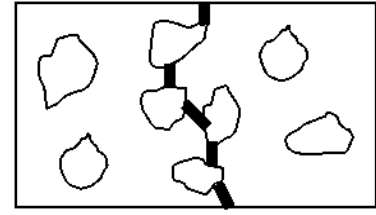
Şekil 3.5. Agregası-çimento hamuru ara yüzeyinde çatlama.

Çok geçirimsiz agregâ kullanıldığında bile çimento hamurunun geçirimsizliği betonun geçirimsizliğinden daha azdır. Bu da çimento hamuru-agrega ara yüzeyi geçiş bölgesinin boşluklu yapısıyla açıklanır [9].

Boşlukların boyutları ve dağılımı, yani birbirleriyle irtibat derecesi geçirimsizliği doğrudan etkiler. Yüksek boşluklu fakat boşlukları irtibatsız bir beton, daha az boşluklu ancak boşlukları irtibatlı betondan daha geçirimsizdir.



A: Boşluklar irtibatsız.



B: Boşluklar irtibatlı.

Şekil 3.6. Agregâ-çimento hamuru ara yüzeyinde çatlama.

Bir hamurun porozitesi, genellikle kür süresindeki artış ve su/çimento oranındaki azalmayla birlikte azalır. Bu durum çimentodaki C_2S ve C_3S' in oluşturduğu C-S-H jelinin hidratasyon sırasında kılcal boşlukları doldurmasına bağlıdır. Çimentoya katılacak uçucu kül, cüruf ve silis dumanı, hidratasyon ısısını düşürücü etkileri ve ince yapıları sayesinde, C-S-H jelinin aktif bir şekilde çimento hamuru-agrega arası geçiş bölgesi boşlukları doldurmasını sağlayacaktır [9].

Geçirimsizliği etkileyen bir başka husus da betonun yerleştirilmesidir. Vibratörle yerleştirilmiş bir betonun geçirimsizliği, vibratörsüz yerleştirilmiş betondan daha az olacaktır. Şantiye uygulamalarında görülmüştür ki, perdah yapılmış bir beton, sadece vibratörle yerleştirilmiş bir betondan çok daha az geçirimsizliğe sahiptir. Perdah sayesinde çimento hamuru yüzeyde iyi sıkışmış bir tabaka oluşturarak yağmur suyu gibi yüzey sularını sadece çimento hamurunun kendi geçirimsizliği nispetinde geçirmiştir. Agregâ zaten kendi ağırlığı ile beton içinde çökelirken üst kısımda kalan bu hamurun iyi sıkıştırılması, hem plastik rötre çatlağı oluşumunu engellemiş, hem de çimento pastası-agrega arası geçiş bölgelerini betonun doğrudan çevreyle ilişkisi olan kısmından uzaklaştırmıştır [9].

3.3.7. Boyut Etkisi

Betondaki difüzyon hızının kuruma rötresi üzerindeki etkisine paralel olarak betonun boyut etkisi de yine rötre üzerinde etkili bir faktördür. Hacim / Yüzey alanı azaldıkça rötre artar. Hatta bu oranı sabit tutup, orantıdaki değerleri arttırdığımızda rötrenin daha da arttığı görülmüştür [10].

Kütle betonlarında ise tam tersine betonun iç kısımlarında, kalınlıktan dolayı, ortamla ısı alış verişi çok yavaş olacağı için hidrasyon ısısının priz süresince artışı, beton yüzeyinde ortamla ciddi ısı farkı oluşturacaktır. Bunun sonucu olarak yüzeydeki hızlı buharlaşma plastik rötre çatlaklarına sebep olacaktır [9].

3.3.8. Bağlı Rutubet Etkisi

Nem'in rötre üzerindeki etkisi diğer faktörlerden biraz farklıdır. Çünkü diğer etkenler kontrol altında tutulup betonun tasarım aşamasında müdahale edilebilirken nem, kür bittikten sonra müdahale edilemeyen bir parametre olarak kalır.

DeneySEL çalışmaların sonucunda havadaki nemin betondaki neme oranı %94'den az ise betonda rötre başlar. Bu oran %100 olduğunda ise tam tersi bir durum yani betonda genleşme gözlenir [7].

4. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneyin Amacı ve Araçları



Şekil 4.1. Döşeme karot numunesi.

Şekil 4.1 'de Kayseri de bir inşaatın döşemesinden alınan karot numunesine aittir. Döşemenin basınç bölgesinde oluşan çatlağın genişliği dikkat çekicidir. Eğilmeye çalışan elemanların basınç bölgesinde oluşan çatlakların dikkate alınması gerektiğini üstteki karot numunesi açıkça göstermektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında bu durum önemlidir. Basınç bölgesindeki çatlak oluşumu döşemenin durabilitesi üzerinde ki olumsuz etkisinin yanı sıra estetik açıdanda kaygı verici boyutlara ulaşmıştır. Tez kapsamında bu durumdan yola çıkarak laboratuvar ortamında oluşturduğumuz çatlaklı ve çatlaksız numunelerle basınç bölgesindeki çatlakların döşemenin taşıma gücüne ve

kırılma yüküne etkisi incelenmiştir. Döşemelerin taşıma güçleri teorik olarakta hesaplanarak deneysel ve analitik verilerin kıyaslaması yapılmıştır.

Beton basınç dayanımı deneyleri için 3000 kN kapasiteli hidrolik beton presi kullanılmıştır. Deneyleri yapılan beton numuneler beton santrallerinde üretilip deney ortamına getirilmiştir. Üretilmiş olan normal betonlar 15x15x15 cm 'lik küp kalıplara dökülmüştür. Numuneler, uygun kür şartlarında bekletilerek 28 günlük olarak basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Kompozit elemanların eğilme deneylerinde 300 kN kapasiteli yükleme çerçevesi kullanılmıştır. Numunelerde oluşan deplasmanların ölçülebilmesi için 0.01 mm hassasiyetli mekanik komparatörler kullanılmıştır. Okumalar numunelerin orta noktalarından yapılmıştır.

4.2. Malzeme

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde [5] TS500 'de tanımlanan ve konut inşaatlarında kullanılan C25/30 betonu kalitesinde normal beton kullanılmıştır. Beton santralinden alınan normal beton ile betonarme yapı elemanları imal edilmiştir. Deneylerde kullanılan malzeme ve özellikleri aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

4.2.1. Epoksinin Üç Çatlaklı Numunelere Uygulanması

Üç çatlaklı döşeme numunelerinin çatlaklarına epoksi uygulaması yapılmıştır. Döşeme numunesinin yüzeyi temiz, kuru ve tüm kirlerden arındırılmıştır. Tüm gevşek parçalar uzaklaştırılmıştır. Yüzey öncelikle reçine ve sertleştirici karışım ile astarlanmıştır. Reçine ve sertleştirici komponentler iyice karıştırılıp, üzerine dolgu eklenmiş ve tekrar karıştırılmıştır. Karışım uygulama yapılacak alan olan döşeme numunelerinin çatlaklarına doldurulup mala ile düzeltilmiştir.

4.2.2. Beton Karma Suyu ve Çimento Özellikleri

Üretilen beton numunelerde karma suyu olarak Kayseri bölgesi şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Yapılan bütün deneylerde çimento olarak CEM I 42,5 kullanılmış olup Kayseri ' de özel bir çimento fabrikasının üretimidir. Kullanılan çimentolar üzerinde TS EN 196'ya uygun çimento deneyleri yapılmıştır.

4.2.3. Donatının Özellikleri

Taşıyıcı betonarme plarlarda donatı olarak TS708 –TS138 EN 10002 standardına uygun S420 nervürlü betonarme çeliği kullanılmıştır. Aderans bakımından betonda nervürlü donatı kullanılması tavsiye edilmektedir [18]. Beton çeliğinin mekanik özellikleri Tablo 4.1 1. ve Tablo 4.1.3. 'de verilmiştir.

Tablo 4.1.1. Kullanılan Ø10 betonarme çeliğinin mekanik özellikleri.

DENEY SONUCU BULUNAN DEĞERLER				
Donatı Sınıfı	Çekme /Akma	Akma mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Kopma Uzaması
	R_m/ R_e	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
S420	1,21	468	569,00	20,00
S420	1,34	453	606	18,00

Tablo 4.1.2. Ø10 betonarme çeliğinin TS 708 standart sınır değerleri.

TS 708 STANDART SINIR DEĞERLERİ					
Donatı Sınıfı	Anma Kütlesi		Akma mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Kopma Uzaması
	Kg/m				
			Min	Min	Min
	(Min)	(Max)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
S420	0,58	0,64	420	500	12
S420	0,58	0,64	420	500	12

Tablo 4.1.3. Kullanılan Ø8 betonarme çeliğinin mekanik özellikleri.

DENEY SONUCU BULUNAN DEĞERLER				
Donatı Sınıfı	Çekme /Akma	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Kopma Uzaması
	R_m/ R_e	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
S420	1,69	441	748	19,00
S420	1,69	429	724	18,00

Tablo 4.1.4. Ø8 betonarme çeliğinin TS 708 standart sınır değerleri.

TS 708 STANDART SINIR DEĞERLERİ					
Donatı Sınıfı	Anma Kütlesi		Akma mukavemeti Min	Çekme Mukavemeti Min	Kopma Uzaması Min
	Kg/m				
	(Min)	(Max)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	%
S420	0,37	0,41	420	500	12
S420	0,37	0,41	420	500	12

4.2.4. Beton Numunelerin Hazırlanmasında Uygulanan Yöntemler

Karışım oranlarına ait hesaplar C25 kalitesinde beton elde edebilmek amacıyla yapılmıştır. Deneylerde hazır beton kullanılmıştır. Beton santrallerinde hesaplamaları yapılarak deney ortamına getirilmiştir.

Tablo 4.2. Taze beton deneyleri.

Deney	Birim	SONUÇ
Taze Birim Ağırlık	Kg	2395
Çökme	Cm	14
Hava Boşluğu	%	1,5
VeBe	Sn	2

4.2.5. Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme ve Bakımı

Betonarme kompozit plaklar 100x100x10 cm boyutlarındaki standart tahta kalıp yardımı ile üretilmiştir. Tahta kalıpların içerisine 8 'lik ve 10 'luk donatılar 2.5 cm' lik plastik paspayı kullanılarak yerleştirilmiştir. Hazır beton santralinden alınan beton kullanılarak plak numuneler oluşturulmuştur. Beton vibratör yardımıyla sıkıştırılmıştır. Normal beton arka arkaya üretilip tabaka halinde kalıba dökülmüştür. Betonarme kompozit plak numunelerin üretimi yapılırken aynı zamanda üretilen betondan standart küp numunelerde alınmıştır. Slump değerleri 15 cm olarak ölçülmüştür. Küp numuneler 7 ve

28 gün kür tankında bekletildikten sonra kırılarak basınç mukavemeti değerleri elde edilmiştir. Betonarme kompozit plak numuneleri ise 28 gün bekletildikten sonra kırılmak suretiyle eğilme mukavemeti değerleri ölçülmüştür.

Tablo 4.3. Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları.

	BASINÇ DAYANIMI N/mm ² (MPa)	
	7 GÜNLÜK	28 GÜNLÜK
NUMUNE NO :1	26,72	32,63
NUMUNE NO :2	28,61	36,92
NUMUNE NO :3	28,10	34,59
ORTALAMA f_{cm}	27,81	34,71

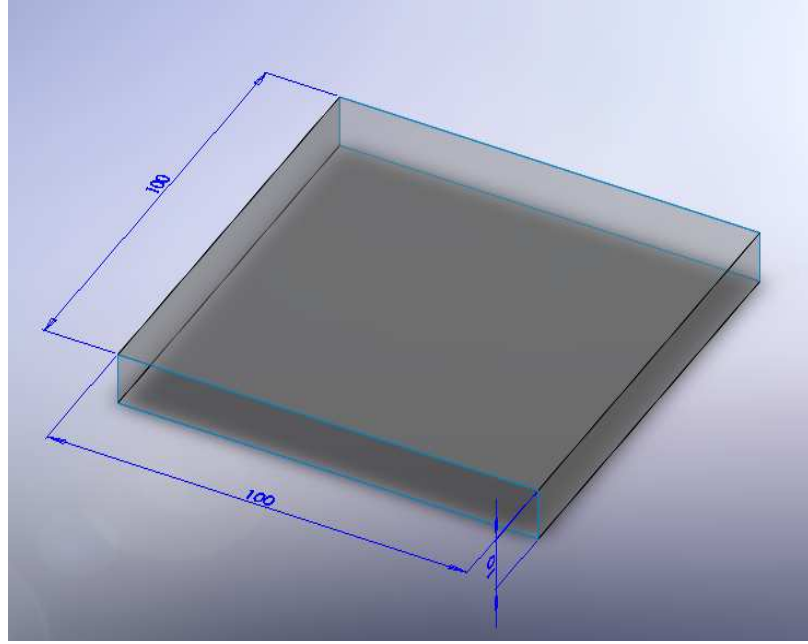
4.2.5.1. Deney Programı, Numune Boyutları ve Sayıları

Değişik donatı çapları ve çatlaklara ve çatlaksız sekiz adet normal beton üretimi yapılmıştır. Betonarme plaklardaki çatlaklar 2 mm kalınlığında 5 cm genişliğinde 90 cm uzunluğunda saç levhaların beton prizini almadan önce betona yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur . Karışımlardan üç adet küp numune alınmıştır. Küp numuneler üzerinde taze beton deneyleri yapılarak işlenebilme özellikleri ile birim ağırlıkları tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda farklı donatı çaplarına ve çatlaklara sahip; 8 adet betonarme plak üretilmiştir. Betonarme elemanlar 28 günlük yaşta deneye tabi tutulmuş; ilk çatlak yükleri, sehimler ve taşıma güçleri deneysel olarak tespit edilmiştir.

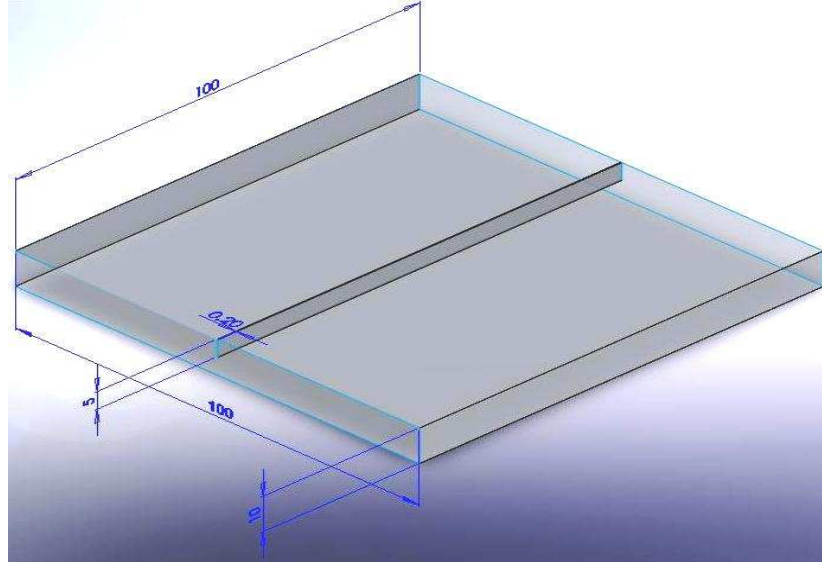
4.2.5.2. Betonarme Plakların Boyutları ve Bazı Özellikleri

Betonarme plaklar; boyutları 100×100×10 cm olacak şekilde 8 adet üretilmiştir. Betonarme plaklardan 1 no 'lu betonarme plak çatlaksızdır ve her iki doğrultuda 9 tane Ø8 'lik nevürlü donatı yerleştirilmiştir. 2 no 'lu betonarme plak çatlaksızdır ve her iki doğrultuda 9 tane Ø10 'luk nevürlü donatı yerleştirilmiştir. 3 no 'lu betonarme plak 2 mm

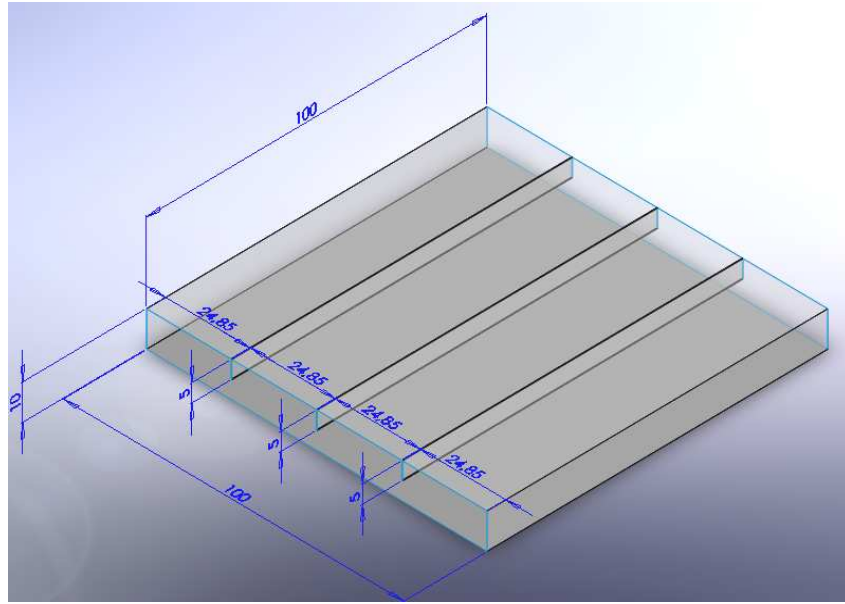
genişliğinde 5 cm derinliğinde 90 cm uzunluğunda tek çatlakla sahip ve her iki doğrultuda 9 tane Ø8 'lik nevürlü donatı yerleştirilmiştir. 4 no 'lu betonarme plak 2 mm genişliğinde 5 cm derinliğinde 90 cm uzunluğunda tek çatlakla sahip ve her iki doğrultuda 9 tane Ø10 'luk nevürlü donatı yerleştirilmiştir. 5 no 'lu betonarme plak 2 mm genişliğinde 5 cm derinliğinde 90 cm uzunluğunda üç çatlakla sahiptir ve her iki doğrultuda 9 tane Ø8 'lik nevürlü donatı yerleştirilmiştir. 6 no 'lu betonarme plak 2 mm genişliğinde 5 cm derinliğinde 90 cm uzunluğunda üç çatlakla sahiptir ve her iki doğrultuda 9 tane Ø10 'luk nevürlü donatı yerleştirilmiştir. 7 no 'lu betonarme plak 5 no'lu betonarme plağın çatlaklarına epoksi uygulanmış biçimindedir. 8 no 'lu plak 6 no'lu betonarme plağın çatlaklarına epoksi uygulanmış biçimindedir.



Şekil 4.2. Çatlaksız numune geometrisi.



Şekil 4.3. Tek çatlaklı numune geometrisi.



Şekil 4.4. Üç çatlaklı numune geometrisi.

4.2.5.3. Normal Ağırlıklı Betonarme Plak Numunelerin Teorik Taşıma Gücü Hesabı

Kesit tesirlerinin hesabında plakların çözümünde sıkça kullanılan Kırılma Çizgileri Teorisi (KÇT) ile de çözüm yapılmıştır. Teorik kırılma yükleri numuneye ait seçilmiş olan bir kırılma figürü için statik denge yöntemi ile hesaplanmıştır. KÇT ile elde edilen

kesit tesirleri kiriş teorisi kabulü sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Yapılan deneylerle teorik hesaplamalar arasında kıyaslamalar yapılmıştır.

4.2.5.4 Kırılma Çizgileri Teorisi (KÇT) İle Deney Plakları Kırılma Yüklerinin Hesaplanması

Kırılma Çizgisi, kırılma durumuna gelmiş döşemede kendisine rastlayan bütün donatının aktığı, döşeme sınırlarına kadar devam eden ve döşemeyi parçalara bölen çatlaklar olarak tanımlanır.

Bu tanımlamayı ilk olarak 1922 'de Danimarkalı bir mühendis A. Ingerslev'' serbestçe oturan ve ankastre dikdörtgen plaklarda kırılma modu için doğru çözüm'' adlı bildirisi ile ortaya atmıştır [19].

Bir diğer Danimarkalı bir bilim adamı Johansen, Kırılma Çizgileri Teorisi ile bazı plak formüllerini içeren doktora tezin çalışmasını 1943 'de tamamladı. Çalışma Danimarka dilinde yayınlandığından, 1962 yılında İngilizceye çevrilmesine kadar geçen sürede çok büyük bir bilgi uyandırmadı. Bu çalışmada KÇT ile elde edilen teorik sonuçların deneysel çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir.

Danimarka dışında 1960 ve 1970 'li yıllarda Almanya, Fransa ve özellikle ABD İllinois Üniversitesinde Siess yönetimindeki çalışma grubu tarafından gerçekleştirilen çok geniş bir deneysel araştırma ile teorinin deneylerle uyumu bir kez daha kanıtlanmış oldu.

KÇT ile hesapta yapılan başlıca varsayımlar şunlardır;

- Döşeme, eğilme dayanımının aşılması ile mekanizma durumuna gelir;
- Kırılma Çizgisine rastlayan bütün donatılar akma durumuna ulaşır;
- Kırılma anında, plastik şekil değiştirmeler yanında elastik şekil değiştirmeler çok küçüktür ve ihmal edilir.

Döşeme kırılma momentinin hesaplanması için döşeme kırılma biçiminin öncelikle belirlenmesi gerekmektedir. Kırılma biçiminin belirlenmesi ve kırılma momentlerinin hesabı için, genelde iki ayrı metot önerilmiştir; bunlar,

- Virtüel İş Yöntemi ve
- Statik Denge Yöntemi'dir.

1. Virtüel İşler Yöntemi: Kırılma Çizgisi (KÇT) figürü tam olarak şekillendiği anda, döşemeye kırılma mekanizmasına uygun küçük bir deplaman verilecek olursa, bu deplasmandan ötürü dış kuvvetlerden KÇ boyunca etkiyen sadece M_p eğilme momentlerinin virtüel işinin dikkate alınması yeterlidir. Virtüel deplasmanda yapılan dış işin iç işe eşit olması şartından M_p momentleri veya kırılma yükleri hesaplanır.

2. Statik Denge Yöntemi: Kırılma Çizgileri 'nin birbirinden ayrıldığı döşeme parçaları soyutlanırsa aşağıdaki etkiler altında dengede bulundukları görülür:

- Dış Yükler,
- Kırılma Çizgilerinde etkileyen eğilme momentleri,
- Kırılma Çizgileri boyunca etkiyen kesme kuvvetleri ve burulma momentleri,

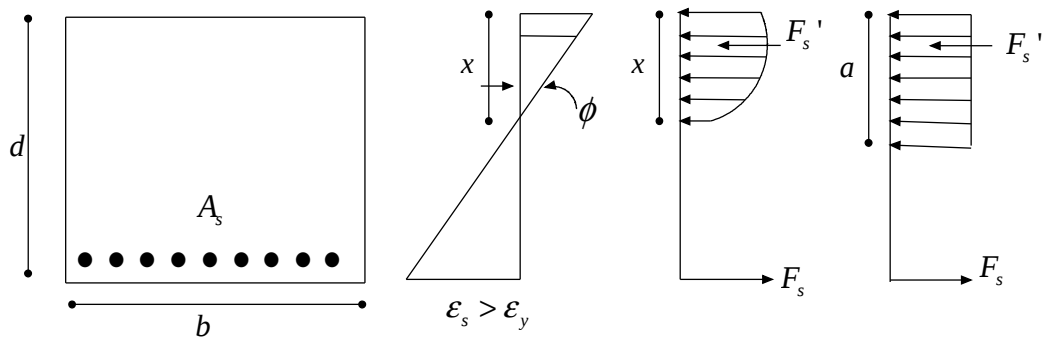
Sonuç olarak bu yöntemde parçaların denge konumu incelenerek M_p momentleri ve/veya kırılma yükleri hesaplanır.

Deneyssel çalışmada kullanılmış olan betonarme plak numuneler, karşılıklı iki kenarında basit oturtulma suretiyle mesnetlendirildiklerinde kırılma figürleri belirlidir.

Burada, bu numunelerin teorik kırılma yükleri Statik Denge Yöntemi ile hesaplanmıştır. Numunelerin statik çalışma sistemine benzer bir kırılma biçimi göstermektedirler. [19]

Bu çalışmada deney numuneleri kırılma yükü ve momenti için kiriş teorisinin ve formüllerinin kullanılması uygundur.

4.2.6 Betonarme Plak Numunelerin Teorik Taşıma Gücü Hesabı



Şekil 4.5. Eşdeğer basınç bloğu.

Betonarme bir kesitin en uçtaki basınç lifinde betonun birim kısalmasının ezilme birim kısalmasına ulaşmasıyla ($\epsilon_{cu} = 0,003 \approx 0,0035$) kesit taşıma gücünü kaybeder. Betonarme elemandaki çekme donatısının miktarı kirişin davranışını etkiler ve belirler [20]. Basit eğilme halinde

$$F_S = F_C \quad (4.1)$$

olmalıdır. Çekme gerilmesinin bileşkesi olan, F_S ,

$$F_S = A_S \times f_y \quad (4.2)$$

Basınç gerilmesinin bileşkesi olan beton basınç kuvveti, F_C

$$F_C = 0,85 \times f_c \times a \times b \quad (4.3)$$

olacaktır. Yapılan deneysel çalışmaların betonarme hesaplarında f_c değeri dikkate alınmıştır.

İç kuvvetler moment kolu

$$z = d - a/2 \quad (4.4)$$

Buradan, kesite etkiyen eğilme momenti iç kuvvetlerin oluşturduğu eğilme momentine eşit olacağından ,taşıma gücü momenti M_u ,

$$M_U = F_S \times z = F_C \times z \quad (4.5)$$

İle hesaplanabilir. Çekme kırılması ,betonun ezilme mukavemetine erişmeden donatının akma sınırına ulaşması olarak tanımlanmıştır. Böylece kesit taşıma gücüne ulaşmadan çelikte akma sonucu büyük uzama ve çekme bölgesindeki betonda çatlaklar görülür. Kesit sünek davranış gösterir.Tanım gereği,

$$(\epsilon_s > \epsilon_{yd}) \text{ ve } (\sigma_s = f_{yd}) \quad (4.6)$$

yazılabilir. Böylece

$$a = (A_S \times f_y) / (0,85 \times f_c \times b) \quad (4.7)$$

bulunur. M_u taşıma gücü eğilme momenti ve bunun mukabili P_{au} değeri bu esaslara dayanılarak hesaplanır.

Kesitin sünek davranış göstermesi için betonarme döşemenin denge altı donatılı döşeme olması gerekmektedir. Dengeli donatı oranından daha düşük donatı oranına ($\rho < \rho_b$) sahip döşemelere denge altı donatılı döşemeler denir

Dengeli donatılı bir döşeme kırılmasında , betonun birim kısalması max birim kısaltmaya ($\epsilon_c = \epsilon_{cu}$), donatıdaki birim uzamada akma birim uzamasına aynı anda ($\epsilon_s = \epsilon_{sy}$) Erişmektedir. Dengeli durumu belirtmesi amacıyla bazı sembollerle birlikte b alt indisi kullanılmaktadır.

$$F_{sb} = F_{Cb} \quad (4.8)$$

$$0.85 \times f_c \times b \times a_b = A_{sb} \times f_y$$

Düzlem kesitlerin ,şekil değiştirmeden sonrada düzlem kaldıkları kabul edildiğinden benzer üçgenlerden yararlanılarak aşağıdaki uygunluk denklemi yazılır

$$(X_b / d) = (0.003 / (0.003 + \epsilon_{sy})) \quad (4.9)$$

$$[X_b / d] = [(0.003 \times E_s) / (0.003 \times E_s + f_y)] \quad (4.10)$$

TS 500 de tüm donatı sınıfları için $E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ (MPa) olarak verildiğinden bu uygunluk denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[X_b / d] = [600 / (600 + f_y)] \quad (4.11)$$

Dengeli donatı oranı aşağıdaki bağıntı ile belirlenebilir.

$$\rho_b = A_{sb} / b \times d \quad (4.12)$$

$$\rho_b = 0.85 \times k_1 \times [f_c / f_y] \times [600 \times (600 + f_y)] \quad (4.13)$$

Ø8 'lik donatılı döşeme numunesinin donatının deneysel akma dayanımı 435 MPa TS500 'e göre döşemenin betonunun eşdeğer küp numunelerinin basınç dayanımına karşılık gelen betonun karakteristik basınç dayanımı 25 MPa 'dır.

$$\rho_b = 0.85^2 \times (25 / 435) \times (600 / (600 + 435))$$

$$\rho_b = 0.0241$$

$$A_{sb} = \rho_b \times b \times d \quad (4.14)$$

$$A_{sb} = 0.0241 \times 1000 \times 75$$

$$A_{sb} = 1807.5$$

Ø8 'lik donatılı betonarme döşemede mevcut donatı alanı 452,38 mm²' dir. Dengeli donatı alanından küçük olduğu için betonarme döşeme denge altı donatılı döşemedir.

Ø10 'luk donatılı betonarme döşeme için

$$\rho_b = 0.85^2 \times (25/460.5) (600/(600+460.5))$$

$$\rho_b = 0.0221$$

$$A_{sb} = \rho_b \times b \times d$$

$$A_{sb} = 0.0221 \times 1000 \times 75$$

$$A_{sb} = 1657.5 \text{ mm}^2$$

Ø10 'luk donatılı betonarme döşemede mevcut donatı alanı 706.85 mm²' dir. Dengeli donatı alanından küçük olduğu için betonarme döşeme denge altı donatılı döşemedir

Ø8 'lik donatı kullanılarak oluşturulan numunenin hesabı;

$$A_s = \frac{9 \times \pi \times 8^2}{4}$$

$$A_s = 452,38 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 34,71 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 435 \text{ Mpa}$$

$$d' = 2,5 \text{ cm} = 25 \text{ mm}$$

$$0,85 \times f_c \times b \times a = f_y \times A_s$$

$$0,85 \times 34,71 \times 1000 \times a = 435 \times 452,38$$

$$a = (A_s \times f_y) / (0,85 \times f_c \times b)$$

$$a = 6,66 \text{ mm}$$

$$M_U = F_s \times z$$

$$M_U = 435 \times 452,38 \times 71,67$$

$$M_U = 14,10 \text{ kNm}$$

Üç noktalı eğilme deneyinde, M_u eğilme – taşıma gücü momenti olmak üzere, yükün mukabil değeri;

$$P_{au} = 4 \times M_u / L \text{ İle hesaplanır.}$$

$$P_{au} = 70500 \text{ N}$$

$$P_{au} = 70,50 \text{ kN} = 7,05 \text{ ton}$$

Tablo 4.4. Normal beton numune için eğilme taşıma gücü ve mukabil yükü.

Kalınlık(cm)	Donatı çapı(mm)	M_u (kNm)	P_{au} (kN)	A_s (cm ²)	d(cm)
10	8	14,10	70,50	4,52	7,5

Malzemenin karakteristik dayanımının malzeme katsayısına bölünmesiyle belirlenen tasarım dayanımı kullanılarak yapılan hesaplamalarda;

Tablo 4.5. Normal beton numune için eğilme taşıma gücü ve mukabil yükü.

Kalınlık (cm)	Donatı çapı (mm)	M_u (kNm)	P_{au} (kN)	A_s (cm ²)	d (cm)
10	8	12,02	60,10	4,52	7,5

Ø 10 'luk donatı kullanılarak oluşturulan numunenin hesabı;

$$A_s = \frac{9 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10}{4}$$

$$A_s = 706,85 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 34,71 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 460,5 \text{ Mpa}$$

$$d' = 2,5 \text{ cm} = 25 \text{ mm}$$

$$0,85 \times f_c \times b \times a = f_y \times A_s$$

$$0,85 \times 34,71 \times 1000 \times a = 460,5 \times 706,85$$

$$a = 11,03 \text{ mm}$$

$$M_U = F_S \times z$$

$$M_U = 22,61 \text{ kNm}$$

Üç noktalı eğilme deneyinde, M_U eğilme – taşıma gücü momenti olmak üzere, yükün mukabil değeri,

$$P_{au} = 4 \times M_U / L$$

$$P_{au} = 113050 \text{ N}$$

$$P_{au} = 113,05 \text{ kN} = 11,3 \text{ ton}$$

Tablo 4.6. Normal numune için eğilme taşıma gücü ve mukabil yükü.

Kalınlık(cm)	Donatı çapı(mm)	M_U (kNm)	P_{au} (kN)	A_s (cm ²)	d(cm)
10	10	22,61	113.05	7,06	7,5

Malzemenin karakteristik dayanımının malzeme katsayısına bölünmesiyle belirlenen tasarım dayanımı kullanılarak yapılan hesaplamalarda;

Tablo 4.7. Normal beton numune için eğilme taşıma gücü ve mukabil yükü.

Kalınlık(cm)	Donatı çapı(mm)	M_U (kNm)	P_{au} (kN)	A_s (cm ²)	d(cm)
10	10	19,01	95,05	7,06	7,5

4.3. Deneysel Veriler

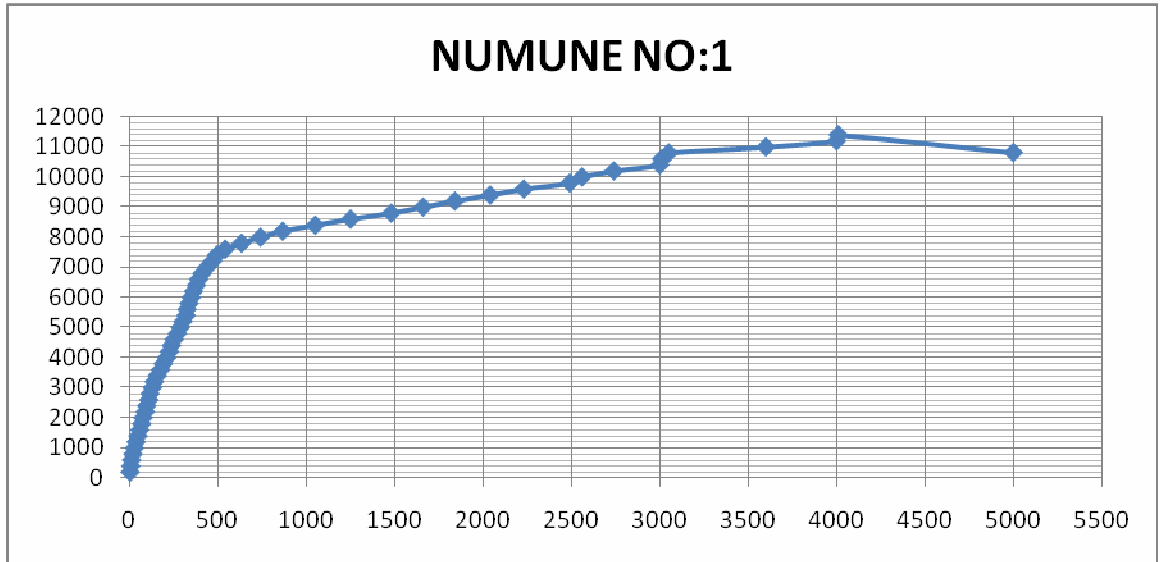


Şekil 4.6. 9Ø8 donatılı normal plak.

Tablo 4.8. 9Ø8 donatılı normal plak yükleme – deplasman okumaları

YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)
200	2	5200	301	10200	2740
400	6	5400	319	10400	3000
600	10	5600	324	10600	3010
800	18	5800	336	10800	3050
1000	27	6000	348	11000	3600
1200	36	6200	361	11200	4000
1400	47	6400	377	11400	4010
1600	57	6600	390	10815	5000
1800	68	6800	410		
2000	75	7000	436		
2200	88	7200	468		
2400	96	7400	491		
2600	108	7600	540		

2800	115	7800	633		
3000	128	8000	740		
3200	139	8200	866		
3400	156	8400	1050		
3600	175	8600	1250		
3800	190	8800	1480		
4000	209	9000	1660		
4200	224	9200	1840		
4400 ilk çatlak	236	9400	2040		
4600	251	9600	2230		
4800	270	9800	2490		
5000	286	10000	2560		
KIRILMA YÜKÜ (kg)				11400	



KUVVET(kg) – ORTA NOKTA DEPLASMANLARI (0,01 mm)

Şekil 4.7. Numune No :1 kuvvet – orta nokta deplasmanları.

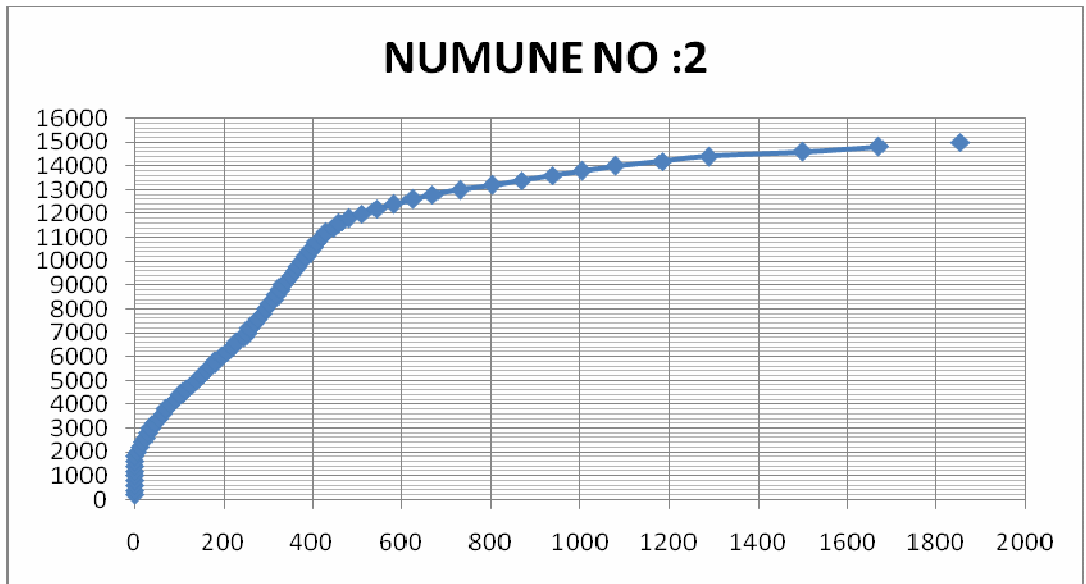


Şekil 4.8. 9Ø10 donatılı normal plak.

Tablo 4.9. 9Ø10 donatılı normal plak yükleme – deplasman okumaları.

YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)
200	0	5200	152	10200	385
400	0	5400	162	10400	394
600	0	5600	172	10600	402
800	0	5800 ilk çatlak	180	10800	410
1000	0	6000	196	11000	420
1200	0	6200	208	11200	430
1400	0	6400	220	11400	448
1600	0	6600	230	11600	460
1800	0	6800	246	11800	480
2000	6	7000	254	12000	512
2200	12	7200	260	12200	545
2400	18	7400	270	12400	582

2600	25	7600	278	12600	625
2800	31	7800	288	12800	670
3000	38	8000	294	13000	732
3200	46	8200	304	13200	804
3400	54	8400	312	13400	870
3600	64	8600	320	13600	940
3800	71	8800	328	13800	1005
4000	82	9000	335	14000	1080
4200	94	9200	342	14200	1185
4400	104	9400	351	14400	1290
4600	114	9600	360	14600	1500
4800	128	9800	367	14800	1670
5000	140	10000	376	15000	1855
KIRILMA YÜKÜ (kg)				14950	



KUVVET(kg) -ORTA NOKTA DEPLASMANLARI(0,01 mm)

Şekil 4.9. Numune No : 2 kuvvet – orta nokta deplasmanları.

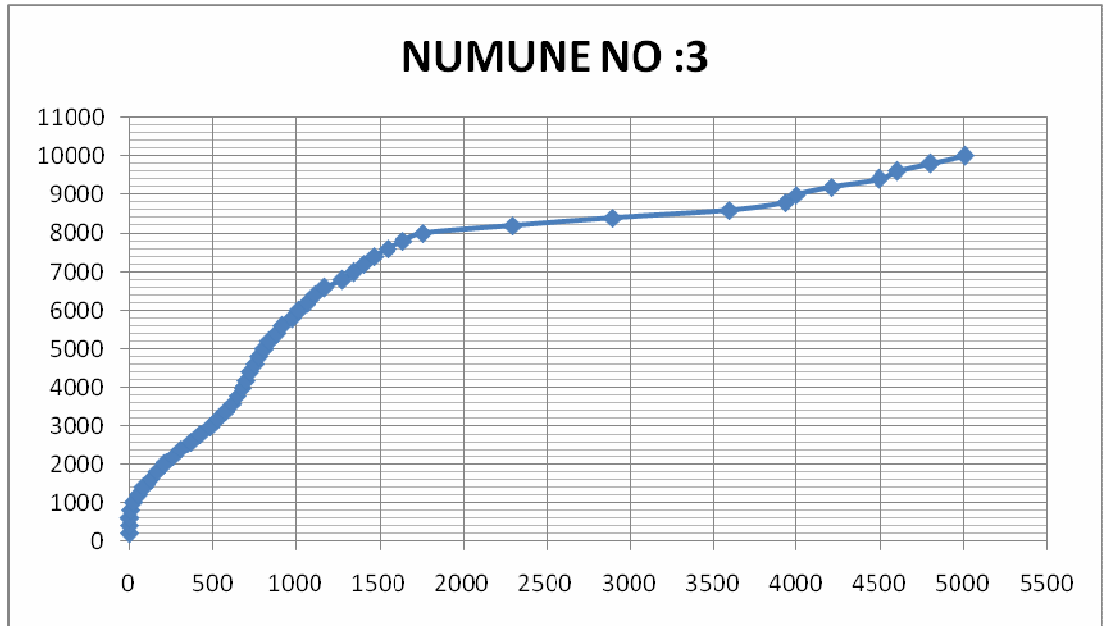


Şekil 4.10. 9Ø8 donatılı tek çatlaklı plak.

Tablo 4.10. 9Ø8 donatılı tek çatlaklı plak yükleme – deplasman okumaları.

YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)
200	0	5200	845		
400	0	5400	885		
600	6	5600	915		
800	10	5800	975		
1000	25	6000	1015		
1200	55	6200	1065		
1400	90	6400	1115		
1600 ilk çatlak	130	6600	1175		
1800	170	6800	1280		
2000	215	7000	1345		
2200	270	7200	1405		
2400	315	7400	1470		
2600	375	7600	1550		

2800	430	7800	1645		
3000	490	8000	1760		
3200	530	8200	2300		
3400	580	8400	2900		
3600	625	8600	3600		
3800	650	8800	3930		
4000	680	9000	4000		
4200	705	9200	4210		
4400	725	9400	4500		
4600	755	9600	4600		
4800	780	9800	4800		
5000	815	10000	5010		
KIRILMA YÜKÜ (kg)				9958	



KUVVET(kg) -ORTA NOKTA DEPLASMANLARI(0,01 mm)

Şekil 4.11. Numune No : 3 kuvvet – orta nokta deplasmanları.

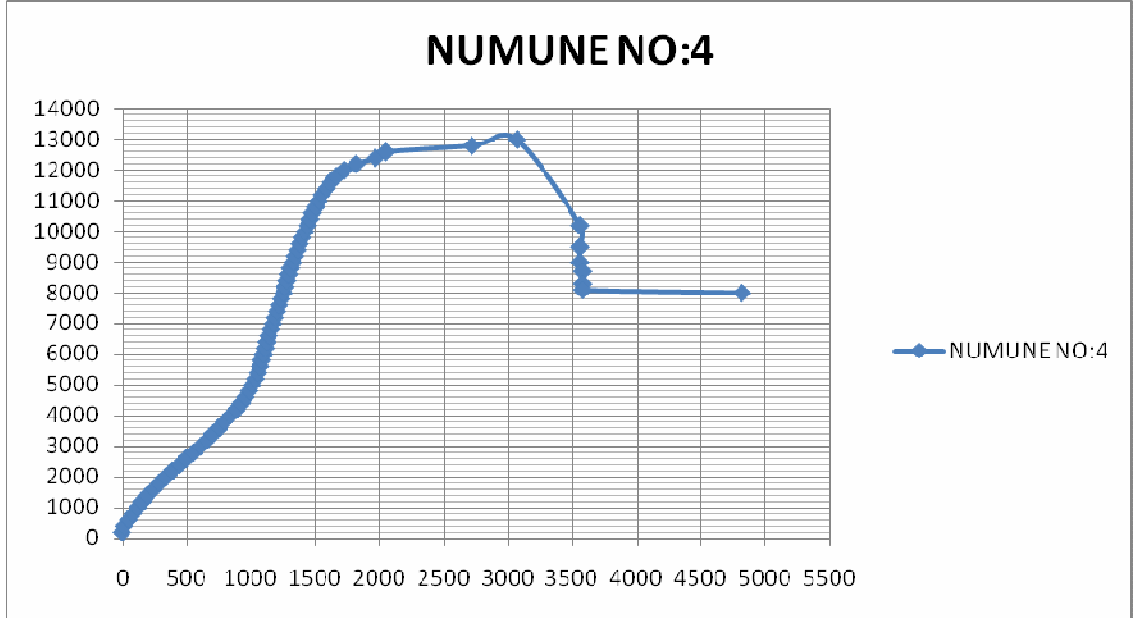


Şekil 4.12. 9Ø10 donatılı tek çatlaklı plak.

Tablo 4.11. 9Ø10 donatılı tek çatlaklı plak yükleme – deplasman okumaları.

YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)
200	0	5200	1035	10200	1440
400	16	5400	1054	10400	1460
600	50	5600	1070	10600	1478
800	85	5800	1083	10800	1505
1000	120	6000	1098	11000	1530
1200	155	6200	1113	11200	1553
1400	195	6400	1125	11400	1588
1600	245	6600	1140	11600	1620
1800	290	6800	1158	11800	1666
2000	340	7000	1174	12000	1725
2200	388	7200	1188	12200	1820
2400	448	7400	1204	12400	1970
2600	499	7600	1220	12600	2050
2800	555	7800	1235	12800	2720

3000 ilk çatlak	610	8000	1254	13000	3070
3200	660	8200	1265	10200	3560
3400	705	8400	1280	9500	3560
3600	757	8600	1295	9000	3560
3800	795	8800	1308	8700	3580
4000	840	9000	1330	8300	3580
4200	890	9200	1345	8100	3580
4400	925	9400	1365	8000	4820
4600	960	9600	1380		
4800	988	9800	1398		
5000	1010	10000	1420		
KIRILMA YÜKÜ (kg)				13167	



KUVVET(kg) -ORTA NOKTA DEPLASMANLARI(0,01 mm)

Şekil 4.13. Numune No : 4 kuvvet – orta nokta deplasmanları.

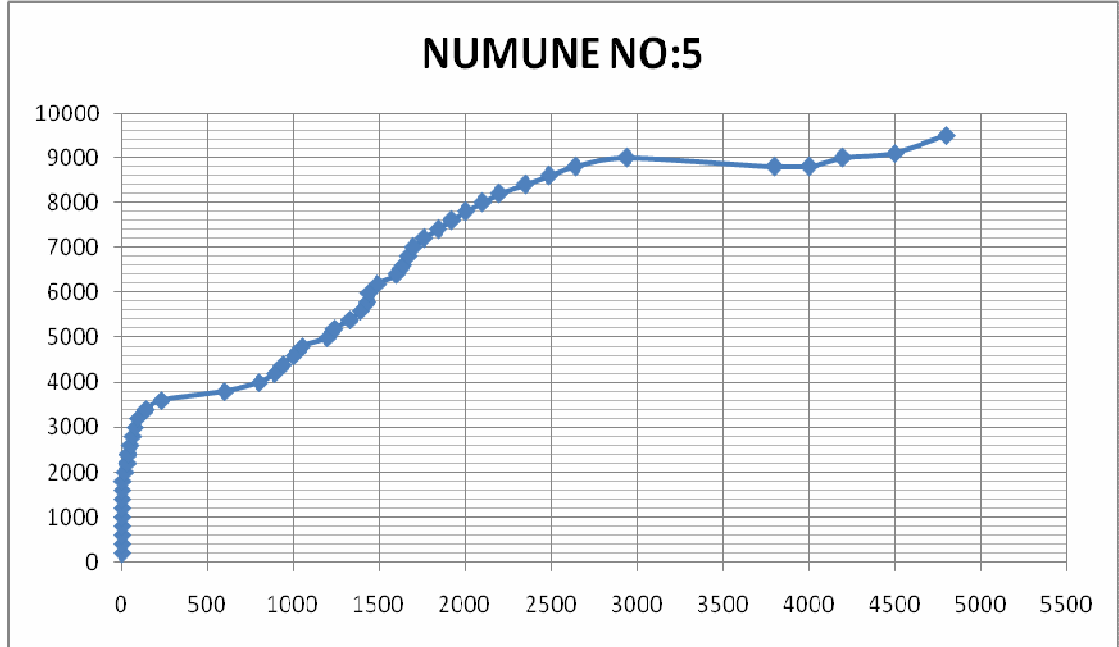


Şekil 4.14.9Ø8 donatılı üç çatlaklı plak.

Tablo 4.12. 9Ø8 donatılı üç çatlaklı plak yükleme – deplasman okumaları.

YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)
200	0	5200	1240	10010	5000
400	0	5400	1330		
600	0	5600	1390		
800	0	5800	1430		
1000	0	6000	1440		
1200	0	6200	1490		
1400	0	6400	1600		
1600	0	6600	1640		
1800	5	6800	1670		
2000	20	7000	1700		
2200	34	7200	1760		
2400	41	7400	1840		

2600	55	7600	1920		
2800	66	7800	2000		
3000	78	8000	2100		
3200	90	8200	2200		
3400	144	8400	2350		
3600 ilk çatlak	230	8600	2490		
3800	600	8800	2640		
4000	800	9000	2940		
4200	890	8800	3800		
4400	940	8800	4000		
4600	1000	9000	4200		
4800	1050	9100	4500		
5000	1200	9500	4800		
KIRILMA YÜKÜ (kg)				10010	



KUVVET(kg) -ORTA NOKTA DEPLASMANLARI(0,01 mm)

Şekil 4.15. Numune No : 5 kuvvet – orta nokta deplasmanları.

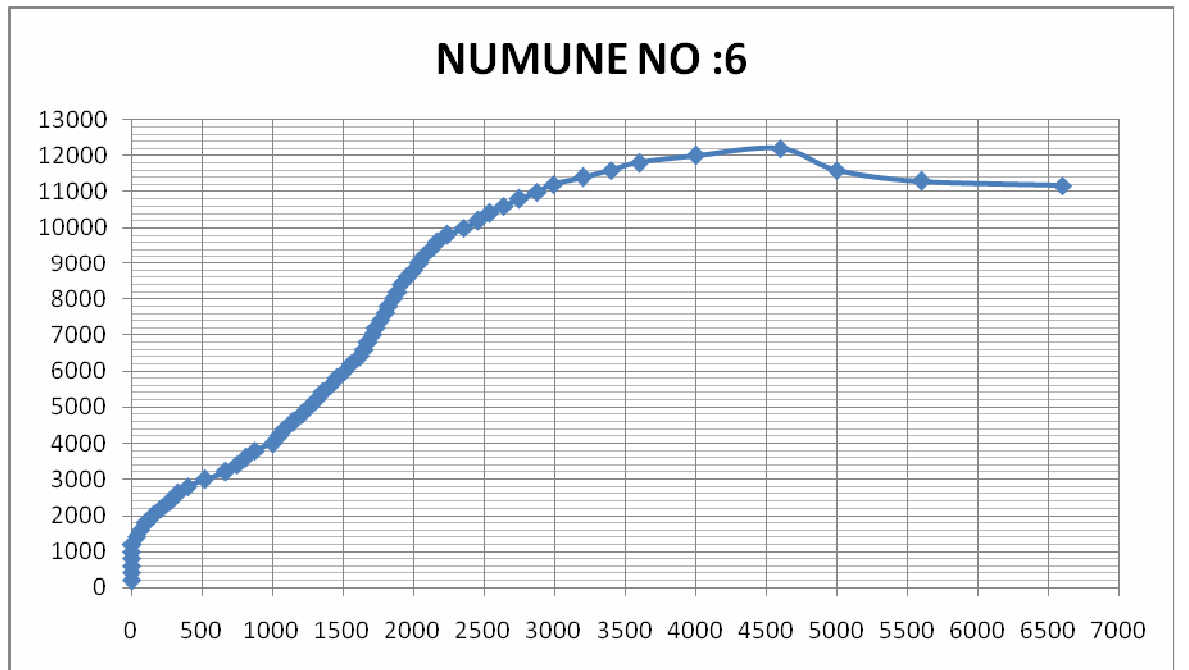


Şekil 4.16. 9Ø10 donatılı üç çatlaklı plak.

Tablo 4.13. 9Ø10 donatılı üç çatlaklı plak yükleme – deplasman okumaları.

YÜKLEME (kg)	Okuma	YÜKLEME (kg)	Okuma	YÜKLEME (kg)	Okuma
200	0	5200	1310	10200	2460
400	0	5400	1360	10400	2540
600	0	5600	1410	10600	2640
800	0	5800	1460	10800	2750
1000	0	6000	1510	11000	2880
1200	8	6200	1560	11200	2990
1400	38	6400	1620	11400	3200
1600	66	6600	1650	11600	3400
1800	107	6800	1680	11800	3600
2000 ilk çatlak	155	7000	1710	12000	4000
2200	215	7200	1730	12200	4600
2400	280	7400	1765	11600	5000

2600	335	7600	1800	11300	5600
2800	400	7800	1825	11170	6600
3000	520	8000	1855	11940	
3200	670	8200	1885	10890	
3400	750	8400	1910	10720	
3600	810	8600	1960		
3800	880	8800	2000		
4000	1000	9000	2040		
4200	1050	9200	2080		
4400	1090	9400	2120		
4600	1150	9600	2170		
4800	1210	9800	2240		
5000	1260	10000	2360		
KIRILMA YÜKÜ (kg)				12490	



KUVVET(kg) -ORTA NOKTA DEPLASMANLARI(0,01 mm)

Şekil 4.17. Numune No : 6 kuvvet – orta nokta deplasmanları.

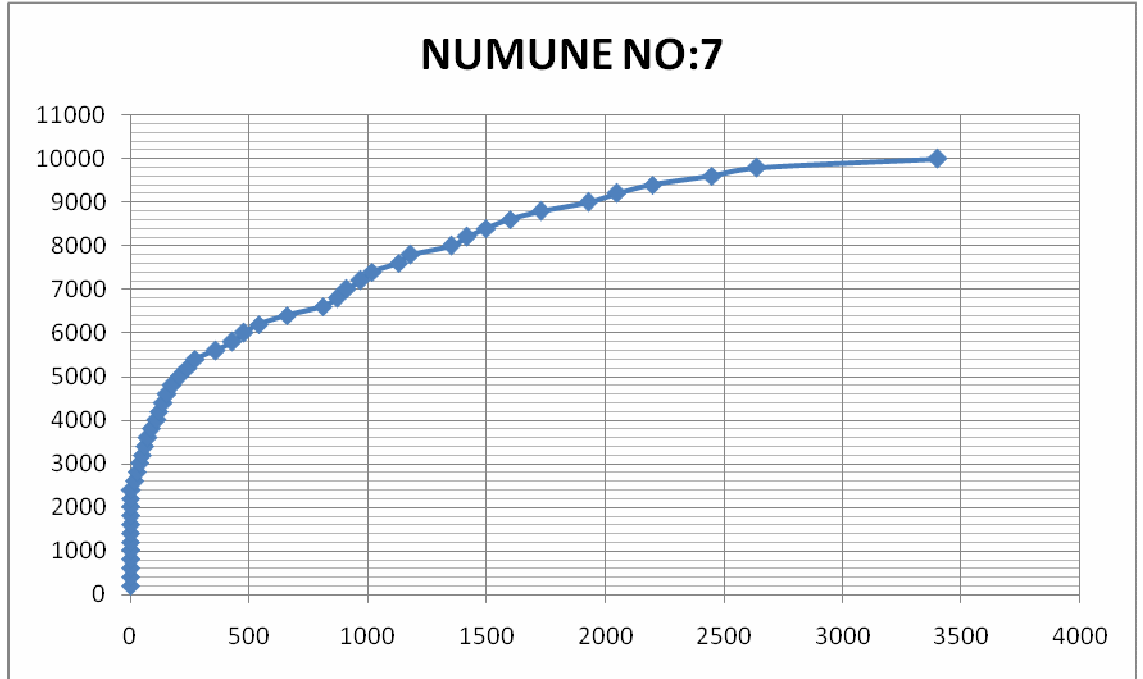


Şekil 4.18. 9Ø8 donatılı epoksili plak.

Tablo 4.14. 9Ø8 donatılı epoksili plak yükleme – deplasman okumaları.

YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)
200	0	5200	240	10200	3600
400	0	5400	275	10400	4500
600	0	5600	360	10600	5000
800	0	5800	430	6000	6000
1000	0	6000	480	3000	7800
1200	0	6200	540		
1400	0	6400	660		
1600	0	6600	810		
1800	0	6800	870		
2000	0	7000	910		
2200	0	7200	970		
2400	5	7400	1020		

2600	17	7600	1130		
2800	28	7800	1180		
3000	39	8000	1350		
3200	49	8200	1420		
3400	60	8400	1500		
3600	74	8600	1600		
3800	88	8800	1730		
4000	110	9000	1930		
4200	120	9200	2050		
4400	140	9400	2200		
4600 ilk çatlak	155	9600	2450		
4800	175	9800	2640		
5000	205	10000	3400		
KIRILMA YÜKÜ (kg)				10672	



KUVVET(kg) -ORTA NOKTA DEPLASMANLARI(0,01 mm)

Şekil 4.19. Numune No : 7 kuvvet – orta nokta deplasmanları.

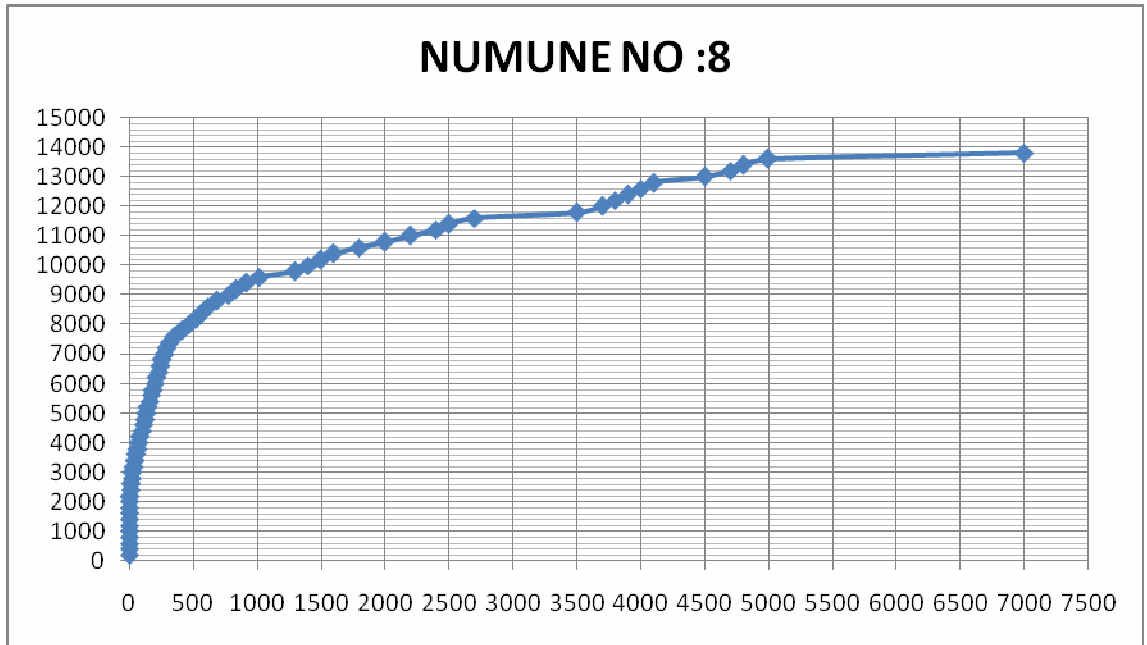


Şekil 4.20. 9Ø10 donatılı epoksili plak.

Tablo 4.15. 9Ø10 donatılı epoksili plak yükleme – deplasman okumaları.

YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)	YÜKLEME (kg)	Okuma (0,01mm)
200	0	5200	148	10200	1500
400	0	5400	160	10400	1600
600	0	5600	173	10600	1800
800	0	5800	188	10800	2000
1000	0	6000	200	11000	2200
1200	0	6200	215	11200	2400
1400	0	6400	230	11400	2500
1600	0	6600	245	11600	2700
1800	0	6800	258	11800	3500
2000	3	7000	275	12000	3700
2200	5	7200	295	12200	3800
2400	10	7400	320	12400	3900
2600	15	7600 ilk çatlak	360	12600	4000

2800	20	7800	420	12800	4100
3000	25	8000	470	13000	4500
3200	34	8200	530	13200	4700
3400	45	8400	570	13400	4800
3600	56	8600	620	13600	5000
3800	65	8800	690	13800	7000
4000	78	9000	780		
4200	89	9200	840		
4400	100	9400	920		
4600	112	9600	1020		
4800	125	9800	1300		
5000	135	10000	1400		
KIRILMA YÜKÜ (kg)				13830	



KUVVET(kg) -ORTA NOKTA DEPLASMANLARI(0,01 mm)

Şekil 4.21. Numune No : 8 kuvvet – orta nokta deplasmanları.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR

1. Üretilmiş olan 8 adet betonarme plak numune yükleme düzeneğine uygun olarak basit eğilme altında kırılmıştır. Numunelerin orta noktalarından deplasman değerleri okunmuştur. Ayrıca betonarme plak numunelerin ilk çatlak yükleri ve kırılma anındaki yükleri tespit edilmiştir. Eğilmeye çalışan basınç bölgesine belirli sayıda ön çatlak verilmiş plak numunelerin kırılma anındaki yükleri çatlaksız numunelerin kırılma anındaki yüklerinden düşük çıkmıştır.

2. Çekme kırılması ile göçmesi planlanan numunelerde f_c betonun basınç dayanımı ve f_y donatının akma dayanımı baz alınarak hesaplanan teorik göçme yükleri numunelerin basınç bölgesinde bulunan çatlaklara rağmen deneysel göçme yüklerinden düşük kalmıştır.

Tablo 5.1. 9Ø10 donatılı numunelerin teorik dayanımları ve deneysel dayanımları.

NUMUNE NO	NUMUNENİN TANIMI	TEORİK GÖÇME YÜKÜ (kN) (A)	DENEYSEL GÖÇME YÜKÜ (kN) (B)	B/A
2	9Ø10 donatılı normal döşeme	113,05	149,5	1,32
4	9Ø10 donatılı tek çatlaklı döşeme	113,05	131,67	1,16
6	9Ø10 donatılı üç çatlaklı döşeme	113,05	124,9	1.10
8	9Ø10 donatılı epoksili döşeme	113,05	138,3	1,22

Tablo 5.2. 9Ø8 donatılı numunelerin teorik dayanımları ve deneysel dayanımları.

NUMUNE NO	NUMUNENİN TANIMI	TEORİK GÖÇME YÜKÜ (kN) (A)	DENEYSEL GÖÇME YÜKÜ (kN) (B)	B/A
1	9Ø8 donatılı normal döşeme	70,50	114	1,61
3	9Ø8 donatılı tek çatlaklı döşeme	70,50	99,58	1,41
5	9Ø8 donatılı üç çatlaklı döşeme	70,50	100,1	1,41
7	9Ø8 donatılı epoksili döşeme	70,50	106,72	1,51

3. Çekme kırılması ile göçmesi planlanan numunelerde f_{cd} betonun tasarım basınç dayanımı ve f_{yd} donatının tasarım akma dayanımı baz alınarak hesaplanan teorik göçme yükleri ve deneysel göçme yükleri arasındaki fark ise daha belirgin hale gelmektedir.

Tablo 5.3. 9Ø10 donatılı numunelerin teorik tasarım dayanımları ve deneysel dayanımları.

NUMUNE NO	NUMUNENİN TANIMI	TEORİK GÖÇME YÜKÜ (kN) (A)	DENEYSEL GÖÇME YÜKÜ (kN) (B)	B/A
2	9Ø10 donatılı normal döşeme	95,05	149,5	1,56
4	9Ø10 donatılı tek çatlaklı döşeme	95,05	131,67	1,38
6	9Ø10 donatılı üç çatlaklı döşeme	95,05	124,9	1,31
8	9Ø10 donatılı epoksili döşeme	95,05	138,3	1,45

Tablo 5.4. 9Ø8 donatılı numunelerin teorik tasarım dayanımları ve deneysel dayanımları.

NUMUNE NO	NUMUNENİN TANIMI	TEORİK GÖÇME YÜKÜ(kN) (A)	DENEYSEL GÖÇME YÜKÜ (kN) (B)	B/A
1	9Ø8 donatılı normal döşeme	60,10	114	1,89
3	9Ø8 donatılı tek çatlaklı döşeme	60,10	99,58	1,65
5	9Ø8 donatılı üç çatlaklı döşeme	60,10	100,1	1,66
7	9Ø8 donatılı epoksili döşeme	60,10	106,72	1,77

4. Deney kapsamında döşeme numunelerinde oluşturulan çatlaklardan kaynaklanan taşıma gücü kayıplarına rağmen teorik olarak hesaplanan kırılma yükü deneysel kırılma yükünün altında kalmıştır.

5. Eğilmeye çalışan plak elemanlara basınç bölgesine ön çatlak verilmesi deneysel göçme yükünü teorik göçme yüküne yaklaştırmaktadır. Aynı donatılı ön çatlak verilmiş plak elemanlar için taşıma gücünün deneysel ve teorik değerleri oranı yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Beklenildiği gibi çatlaksız imal edilmiş betonarme plaklarda deneysel göçme yükü daha yüksek çıkmıştır. Ön çatlak verilmiş plak elemanlarda artan kesme kuvveti karşısında çatlaksız imal edilmiş plak elemanlardan dayanıksız olduğu gözlenmiştir. Deplasman olarak orta nokta sehimleri ölçülmüştür. Yük-deplasman eğrileri yapı elemanlarının davranışını yorumlamak için bizi bilgi sahibi etmektedir.

6. Eğilme çekme çatlaklarının ilk maksimum eğilme momenti bölgesinde meydana gelmesi beklenir. Yükleme başladığından itibaren çatlaklar kılcal düzeyde olup görülmeleri zordur. Yükün şiddeti arttıkça oluşan çatlakların boyu ve genişliği artmaya başlamıştır. Basit eğilme bölgesinde gözlenen çatlaklar eleman eksenine dik yönde

meydana gelmektedir. Kesme eğilme bölgelerinde çatlaklar çekme asal gerilmelerine dik olarak eğikleşir.

7. Basınç bölgesine ön çatlak verilerek oluşturulan plak elemanlar çatlaksız imal edilen plak elemanlardan daha düşük yük şiddetlerinde ilk çatlak oluşumu gözlenmiştir. Plak elemanlara ön çatlak verilmesi ilk çatlak oluşumunu hızlandırmıştır. Ön çatlakların epoksi ile tamir edilmesi ilk çatlak oluşum yükünü olumlu yönde etkilemiştir.

8. Yapılan deneylerde çatlakların beklenildiği gibi meydana geldiği gözlenmiştir, basit eğilme etkisindeki orta bölgede eğilme eksenine dik çekme çatlakları, yükler ile mesnetler arasındaki kesme-eğilme bölgelerinde ise eğik çatlaklar oluşmaktadır.

9. Aynı donatılı eğilmeye çalışma plak elemanlarda basınç bölgesine belirli sayıda ön çatlak verilmiş numunelerin deneysel kırılma yükü çatlaksız imal edilmiş numunelerin deneysel kırılma yükünden % 10–20 daha düşük olduğu görülmüştür.

10. Aynı donatılı eğilmeye çalışan ön çatlaklı plak elemanların çatlaklarının epoksi ile tamir edilmesi sonucu deneysel kırılma anındaki yükü çatlaksız imal edilmiş numunelerin kırılma anındaki yükünden % 5-10 daha düşük olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Deprem Yönetmeliği. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007.
2. Arslan, S., Betonarme Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
3. Berktaş, İ., Plak Teorisi ve Uygulamaları (Küçük Sehimli İnce Plaklar), Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1992.
4. Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsan Yayınevi, K.T.Ü. İstanbul, 2008.
5. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
6. Gündüz, A., Betonarme Taşıma Gücü İlkesine Göre Hesap, Birinci Baskı, Kazmaz Matbaası, Cağaloğlu, İstanbul, 1980.
7. Neville, A. M., Propriétés des bétons , Paris, Éditions Eyrolles, pp. 804 , 2000.
8. Lynam, G.C., "Growth and Movement of Portland Cement Concrete", Oxford University Press, London, U.K., p.p.1-139, 1934.
9. Kadioğlu, T., Rötire Azaltıcı Katkı Malzemeleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
10. Bissonnette, B., "Le fluage en traction: un aspect important de la problématique des réparations en béton", *Thèse de doctorat*, Université Laval, 279 pages, 1996.
11. Powers, T. C, L. E. Copeland, J. C. Hayes, and H. M. Mann., Permeability of portland cement paste. *ACI Journal Proceedings* 51 (3):285-98, 1954.
12. Bloom, Ronit and Bentur, Arnon, "Free and Restrained Shrinkage of Normal and High Strength Concretes", *ACI Materials Journal*, v 30, n 2, pp 211–217, 1995.
13. Haque, M. N., "Strength Development and Drying Shrinkage of High Strength Concretes", *Cement and Concrete Composite*, v 18, n 5, pp 333-342, 1996
14. Mehta, P. K., 1986. "Concrete: Structures, Properties and Materials", New York, Chapter 6 and Chapter 8, 1986.
15. Gebler, S. H., and Klieger, Paul, "Effect of Fly Ash on Physical Properties of Concrete", *ACI Materials Journal*, 1950.

16. Bentz, D.P., Lura, P., Roberts, J.W., “Mixture Proportioning for Internal Curing, *Concrete International*” ; Vol.27, No.2, pp.35-40, 2005.
17. Uyan, M., “Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı”, *Doktora tezi* , İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1977.
18. Açıkel, H., Karapınar Volkanik Agregasından (TS 4047’ ye uygun) Hazır Döşeme ve Çatı Plakları İmali, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1995.
19. Berktaş, İ., Betonarme Plaklarda Kırılma Çizgileri Teorisi ve Uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1988.
20. Berktaş, İ., Betonarme 1 Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları, TMMOB İnşaat Mühendisler Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 1989.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Fatsa’da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Fatsa’da tamamladı. 2002 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2007 yılında mezun oldu. 2008 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2007–2008 yıllarında Bayrakdar İnş.Taah. Mer. Tic. LTD. ŞTİ. 'de İnşaat Mühendisi olarak görev yaptı. Erciyes Teknopark A.Ş.’de İnşaat Servisinde İnşaat Şefliği pozisyonunda halen çalışmaktadır.

Adres:

Sakarya mah. Kamacı sok. No: 33 Kat:2

Fatsa/ORDU

Tel: 0538 348 69 19

e-posta: cengizsevim52@hotmail.com