

ZİMBALAMA GÖÇMESİNDE BOYUT ETKİSİ

Semra KÜÇÜK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2010
ANKARA**

ZİMBALAMA GÖÇMESİNDE BOYUT ETKİSİ

Semra KÜÇÜK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2010
ANKARA**

Semra KÜÇÜK tarafından hazırlanan “ZİMBALAMA GÖÇMESİNDE BOYUT ETKİSİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Sıddık ŞENER
Tez Danışmanı, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hüsnü CAN
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA
Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 31/08/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans / Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Semra KÜÇÜK

ZİMBALAMA GÖÇMESİNDE BOYUT ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Semra KÜÇÜK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ağustos 2010

ÖZET

Laboratuar ortamında kare kesitli, farklı boyutlarda beton, betonarme ve çelik lifle güçlendirilmiş döşemelerin zımbalama göçmesi araştırılmış ve elde edilen deneysel çalışma verileri analitik çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, tez kapsamında ANSYS sonlu elemanlar yazılımının özel eleman tiplerinden faydalanılarak, deney döşemelerinin sonlu eleman modeli oluşturulmuş, malzeme özellikleri tanımlanmış, analiz ve deney sonuçları karşılaştırılarak sonlu eleman modelinin deney sonuçlarından sapma limitleri belirlenerek modelin uygulanabilirliği doğrulanmıştır. Laboratuarda analizi yapılan döşemelerin kırılma yükü ve yer değiştirme sonuçları ile ANSYS sonlu elemanlar programı ile benzer durumlarda elde edilen bilgisayar sonuçları karşılaştırılmış ve bununla ilgili grafikler elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.082
Anahtar Kelimeler : Döşeme, zımbalama, boyut etkisi, ANSYS, sonlu eleman, çatlak genişliği
Sayfa Adedi : 121
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Sıddık ŞENER

SIZE EFFECT OF PUNCHING IN FAILURE

(M.Sc. Thesis)

Semra KÜÇÜK

GAZI UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

August 2010

ABSTRACT

Failure of slabs in punching loading, supported with square shaped concrete, reinforced concrete and steel fibers of different sizes are researched in laboratory environment, and the experimental study data obtained is compared with analytic study results. With this purpose, finite element models of experiment slabs are formed by using special element types of ANSYS finite elements software, material characteristics are defined, and the applicability of the model is confirmed through determining the variation limits from the experiment results of finite element model by comparing the analysis and experiment results. Breaking load and displacement results of the slabs analyzed in laboratory are compared with the computer results obtained through ANSYS finite element program in similar circumstances, and graphics related with these results are obtained.

Science Code : 911.1.082
Key Words : Slab, punching, size effect, ANSYS, finite element, crack width
Pages : 121
Thesis Advisor : Prof. Dr. Sıddık ŞENER

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren Hocam Prof. Dr. Sıddık Şener'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Araőtırma Görevlisi Dr. Çağatay Mehmet Belgin'e ve deney numunelerinin üretimi ve deneyler sırasında yardım eden Uzman Faruk Ogün'e teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. BOYUT ETKİSİ	10
2.1. Boyut Etkisi Tipleri ve Uygulanmaları.....	11
2.2. En Büyük Yük Sonrası Yer Değiştirmelerde Boyut Etkisi	12
2.3. Gevrek ve Sünek Kırılma	15
2.4. Boyut Etkisinin Enerji ile Açıklanması	16
2.5. Boyut Etkisinin Kuramsal Uygulaması.....	20
2.6. Doğrusal (lineer) Analiz (Bazant)	20
2.7. Boyut Etkisinde RILEM Önerileri	21
2.7.1. RILEM önerilerinde eşitlikler.....	22
3. ZİMBALAMA GÖÇMESİNDE BOYUT ETKİSİ – DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
3.1. Deney Düzenegi.....	30

Sayfa

3.2. Deney Numunelerinin Şekil ve Boyutları	39
3.2.1. L (Large) numuneler.....	39
3.2.2. M (Medium) numuneler	41
3.2.3. S (Small) numuneler.....	43
3.3. Deney Sonuçları.....	45
3.3.1. Normal beton döşemeler	45
3.3.2. Betonarme döşemeler	46
3.3.3. Çelik lifli beton döşemeler	47
4. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ	49
4.1. Normal Beton Döşemelerin Doğrusal Regresyonu.....	50
4.2. Çelik Lifli Beton Döşemelerin Doğrusal Regresyonu	53
4.3. Betonarme Döşemelerin Doğrusal Regresyonu	56
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ.....	59
5.1. Malzeme Modeli	60
5.1.1. Donatı.....	60
5.1.2. Beton modeli	62
5.2. ANSYS Modellemesi.....	68
5.2.1. Eleman tipleri	69
5.2.2. Malzeme özellikleri.....	73
5.2.3. Nonlineer çözüm	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
7. KAYNAKLAR	85

	Sayfa
EKLER	87
EK 1. Meşli numuneler	88
EK 2. Gerilme dağılımları	91
EK 3. Çatlak dağılımları	100
EK 4. Donatı çekme dayanımları	114
ÖZGEÇMİŞ	121

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Numunelerin boyutları ve ağırlık değerleri	37
Çizelge 3.2. Numunelerin kırılma tarihleri.....	38
Çizelge 3.3. Numunelerin pik yük-deplasman değerleri	48
Çizelge 4.1. Normal beton döşemelerin boyutları.....	50
Çizelge 4.2. Normal beton döşemelerin doğrusal regresyon değerleri	51
Çizelge 4.3. Normal betonun doğrusal regresyon sonuçları	52
Çizelge 4.4. Normal beton döşemelerin doğrusal olmayan regresyon değerleri	52
Çizelge 4.5. Çelik lifli beton döşemelerin boyutları	53
Çizelge 4.6. Çelik lifli beton döşemelerin doğrusal regresyon değerleri	53
Çizelge 4.7. Çelik lifli betonun doğrusal regresyon sonuçları	54
Çizelge 4.8. Çelik lifli beton döşemelerin doğrusal olmayan regresyon değerleri	55
Çizelge 4.9. Betonarme döşemelerin boyutları.....	56
Çizelge 4.10. Betonarme döşemelerin doğrusal regresyon değerleri	56
Çizelge 4.11. Betonarme döşemelerin doğrusal regresyon sonuçları	57
Çizelge 4.12. Betonarme döşemelerin doğrusal olmayan regresyon değerleri	57
Çizelge 5.1. ANSYS'den elde edilen kırılma yükü deplasman değerleri.....	77

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Akma sahanlığı davranışı, a) akma sahanlığı olan sünek kırılma, b) akma sahanlığı olmayan gevrek kırılma	4
Şekil 1.2. Zımbalama etkisindeki bir döşemede boyutun akma sahanlığına etkisi, a) zımbalama etkisi, b) plastik özellik gösteren malzeme, c) yumuşama gösteren küçük malzeme, d) yumuşama gösteren büyük malzeme, e) döşeme üzerinde seçilen noktalar	5
Şekil 2.1. Olasılıksal boyut etkisi.....	11
Şekil 2.2. Boyut etkisi yasası	13
Şekil 2.3. Malzemelerin σ - ε diyagramları. a) Gevrek (cam), b) Yarı gevrek (beton), c) Sünek (demir).....	14
Şekil 2.4. Gevrek ve sünek kırılma.....	15
Şekil 2.5. Boyut etkisinin enerji ile açıklanması.....	16
Şekil 2.6. Boyut etkisinin grafik gösterimi.....	19
Şekil 2.7. Doğrusal analiz I grafiği (Bazant)	20
Şekil 3.1. Beton ve çelik lifli S, M, L döşemeleri.....	26
Şekil 3.2. Betonarme S, M, L döşemeleri.....	27
Şekil 3.3. Dramix çelik teli	28
Şekil 3.4. Deney düzeneği	30
Şekil 3.5. L numunesinin yükleme şekli	39
Şekil 3.6. L numunesinin üstten görünüşü ve boyutları.....	39
Şekil 3.7. RCL numunesi donatı düzeni ($\emptyset 8$).....	40
Şekil 3.8. M numunesinin yükleme şekli	41
Şekil 3.9. M numunesinin üstten görünüşü ve boyutları.....	41
Şekil 3.10. RCM numunesi donatı düzeni ($\emptyset 4$).....	42

Şekil	Sayfa
Şekil 3.11. S numunesinin yükleme şekli	43
Şekil 3.12. S numunesinin üstten görünüşü ve boyutları	43
Şekil 3.13. RCS numunesi donatı düzeni ($\emptyset 2$)	44
Şekil 3.14. Beton numuneler için yük (P) – yerdeğiştirme (Δ) grafikleri	45
Şekil 3.15. Betonarme numuneler için yük (P) – yerdeğiştirme (Δ) grafikleri	46
Şekil 3.16. Çelik lifli beton numuneler için yük (P) – yerdeğiştirme (Δ) grafikleri	47
Şekil 4.1. TS500'deki etkili zımbalama alanı gösterimi	49
Şekil 4.2. Lineer regresyonun grafiksel gösterimi.....	50
Şekil 4.3. Normal betonun doğrusal regresyonu	51
Şekil 4.4. Normal betonun doğrusal olmayan regresyonu.....	52
Şekil 4.5. Çelik lifli beton döşemenin doğrusal regresyonu	54
Şekil 4.6. Çelik lifli beton döşemenin doğrusal olmayan regresyonu.....	55
Şekil 4.7. Betonarme döşemenin doğrusal regresyonu.....	57
Şekil 4.8. Betonarme döşemenin doğrusal olmayan regresyonu	58
Şekil 5.1. İki boyutlu Von Mises akma zarfı.....	62
Şekil 5.2. Betonun iki eksenli göçme yüzeyi	63
Şekil 5.3. Hognestad beton modelinde yer alan parametreler	64
Şekil 5.4. Solid 65 elemanı	70
Şekil 5.5. Solid 45 elemanı	71
Şekil 5.6. Mesnet, sınır şartları	71
Şekil 5.7. Link 8 çubuk elemanı	72
Şekil 5.8. Yük adımları ve alt adımları.....	76

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Silindir basınç deneyi aleti	28
Resim 3.2. 1. tip load cell.....	31
Resim 3.3. 2. tip load cell.....	31
Resim 3.4. Deney düzeneği.....	32
Resim 3.5. Deney düzeneği.....	32
Resim 3.6. Mesnetler.....	33
Resim 3.7. Deney düzeneği.....	34
Resim 3.8. Deney düzeneği.....	34
Resim 3.9. RCL3 döşemesi.....	35
Resim 3.10. RCL3 döşemesinin göçme modu.....	35
Resim 3.11. LVDT aleti.....	36
Resim 3.12. Eksenel çekme deney düzeneği.....	36
Resim 5.1. Çelik lifli, betonarme, normal beton döşemelerde beton için kullanılan Hognestad modelinin grafiği	65
Resim 5.2. Betonarme döşemelerin William-Warnke parametreleri	66
Resim 5.3. Çelik lifli döşemelerin William-Warnke parametreleri.....	67
Resim 5.4. Normal beton döşemelerin William-Warnke parametreleri	67
Resim 5.5. Çelik lifli betonun “multilineer isotropic hardening” strain-stress değerleri	74
Resim 5.6. Betonarme betonunun “multilineer isotropic hardening” strain-stress değerleri	74
Resim 5.7. Normal betonun “multilineer isotropic hardening” strain-stress değerleri	75

Resim	Sayfa
Resim 5.8. RCL döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük- yerdeğiştirme grafiği	77
Resim 5.9. RCM döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük- yerdeğiştirme grafiği	78
Resim 5.10. RCS döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük- yerdeğiştirme grafiği	78
Resim 5.11. SFL döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük- yerdeğiştirme grafiği	79
Resim 5.12. SFM döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük- yerdeğiştirme grafiği	79
Resim 5.13. SFS döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük- yerdeğiştirme grafiği	80
Resim 5.14. CL döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği.....	80
Resim 5.15. CM döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği.....	81
Resim 5.16. CS döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği.....	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
σ_N	Nominal gerilme
D	Karakteristik boyut
G_f	Kırılma enerjisi hızı
C_f	Kırılma bölgesinin karakteristik uzunluğu
C_N	Uygunluk katsayısı
a₀	Çatlak uzunluğu
W	Potansiyel enerji
E	Elastisite modülü
μ	Poisson oranı
B	Malzeme dayanımına bağlı sabit
D₀	Yapı biçimine bağlı sabit
f_t	Betonun çekme dayanımı
β	Gevreklik sayısı
d₀	En büyük agrega boyutu
K_{Ic}	Kırılma tokluğu
U	Şekil değiştirme enerjisi
σ_n	Asal gerilme
σ_e	eşdeğer gerilme
ϵ_{co}	Betonda maksimum gerilmeye karşılık olan birim şekil değiştirme
ϵ_{cu}	Betonda kopma birim şekil değiştirmesi
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
h_f	Döşeme kalınlığı
u_p	Zımbalama çevresi

Simgeler**Açıklama****A_p**

Zımbalama alanı

V_{pc}

Zımbalama dayanımı

S_x

Standart sapma

V_x

Varyasyon katsayısı

a

Döşeme boyutu

b

Zımbalama çapı

r

Korelasyon katsayısı

Kısaltmalar**Açıklama****DSİ**

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

TSE

Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Beton malzemesi 1870'li yıllardaki ilk kullanımlarından sonra zaman içinde, yapı biliminde tüm dünyada çok önemli bir yer tutmuştur. Bunun başlıca nedeni, betonun yüksek basınç gerilmelerini taşıyabilmesidir.

Beton, yarı gevrek bir malzeme olup sadece plastik ya da elastik teori ile davranışının açıklanması pek gerçekçi değildir. Beton davranışı için kırılma mekaniği kullanılmalıdır [1]. Kırılma mekaniğinde malzeme davranışı, gerilme ve uzama cinsinden tam olarak tanımlanamaz. Beton gibi malzeme deneylerinde boyut etkisi görüldüğünden matematik modelde boyut etkisi bulunmalıdır. Boyut etkisi geometrik olarak benzer farklı boyutlu yapılar karşılaştırılırsa; kırılma anındaki nominal gerilme σ_N 'in elemanın karakteristik boyutu D ile azalması olarak tanımlanabilir. Malzemenin matematiksel modeli gerçek davranışı göstermesi için, kırılma enerjisi (G_f) ve kırılma bölgesinin karakteristik uzunluğu (c_f) denilen değişken içermelidir.

Boyut etkisinin betonarme elemanların tasarımında kullanılması önemli yararlar getirir. Özellikle farklı boyutlu yapı elemanları için aynı güvenliğe ulaşma boyut etkisinin göz önüne alınması ile mümkündür. Böylece daha güvenli, daha ekonomik yapı yapma ve ayrıca yeni beton malzeme ile yeni tasarım yöntemlerinin kullanılma olasılığı artmaktadır. Boyut etkisi (kırılma mekaniği) kullanımı ile yüksek dayanımlı betonlar, lifli betonlar, çok büyük boyutlu beton yapılar (barajlar, nükleer santraller, savunma yapıları) ile öngerilmeli yapılar güvenli ve ekonomik inşaa edilebilmektedir.

Önceki çalışmalar, betonarme yapıların gevrek göçmesinde boyut etkisi göstermiştir. Var olan yönetmelik T.S.500 [2] plastik limit analize dayanmakta olup boyut etkisi göstermez. Plastik limit analizde yapı göçme anında tek serbestlik dereceli sistem gibi davranarak göçme yüzeyinde bütün noktalar aynı anda hareket ederek göçer. Gerçekte malzeme dayanımı ise göçme

yüzeyinin farklı noktalarında farklı zamanlarında aşılır. En büyük yükte göçme yüzeyinin sadece bir noktası dayanım limitine ulaşırken diğer kısımlar dayanım limitine ulaşmaz. En büyük yük sonrası davranış yapı boyutları ile değişiklik gösteren yumuşama görülür. Çatlak gelişip yayılarak en büyük yük civarında lokalize olarak yapıyı göçmeye götürür.

Plastik limit analize zıt olarak kırılma mekaniği daima boyut etkisi gösterir. En kuvvetli boyut etkisi lineer elastik kırılma mekaniğinde oluşur ki, burada malzeme göçmesi herhangi bir zamanda sadece bir noktada çatlak tepesinde oluşarak kesit boyunca hareket eder. Beton gibi yarı gevrek malzemede göçme sonlu boyutlu kırılma bölgesinde oluşur. Büyük yapıda kırılma bölgesi kesitin küçük bölgesini kaplar yani göçme lokalize olur ve lineer elastik kırılma mekaniğine yakındır. Küçük yapılarda örnek olarak laboratuvar numunelerinde kırılma bölgesi kesitin büyük kısmını kaplar ve göçme davranışı plastik limit analizine yakındır. Uygulamadaki çoğu yapıların göçmesi ise çok küçük kirişlerde geçerli olan plastik kırılma mekaniği ile çok büyük kirişlerdeki lineer elastik kırılma mekaniği arasındadır.

Kırılma mekaniğinin uygulanabilir tam bir çözüm yöntemine kavuşmasıyla, daha küçük yapı elemanları deney sonuçlarıyla uyumlu ekonomik ve güvenli bir çözüm verecektir.

Kırılma mekaniğinin gerekliliği şu şekilde sıralanabilir:

1) Her yapının içinde mikro çatlaklar vardır ve göçme, gerilmeler altında, bu çatlakların birbiriyle birleşmesinden oluşur. Gerçekte çatlak oluşumu için katının yüzey enerjisi ile tanımlanan “kırılma enerjisi” gereklidir. Bu nedenle enerji kriteri kullanılmalıdır. Fizikçiler için gerekli olan bu kriter tasarımcılar için gerekli değildir. Enerjiye bağlı göçmeyi yalnız kırılma mekaniği kullanır. Diğer yöntemler, emniyet gerilmeleri yöntemi ya da taşıma gücü, enerjiyi göçmede kullanmaz.

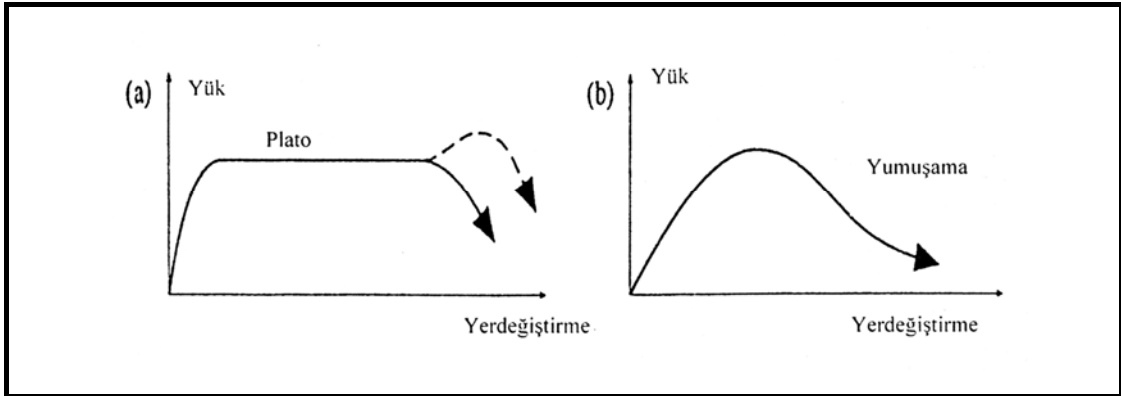
2) Klasik gerilme teorilerine göre, geometrik olarak benzer iki eleman, aynı gerilme değerinde göçer ama uygulamada böyle olmaz. Kırılma mekaniği, boyut etkisini de içerdiği için daha gerçekçi çözümler elde edilebilir.

3) Farklı boyutlu yapı elemanları için aynı güvenliğe ulaşma, boyut etkisinin göz önünde tutulmasıyla mümkündür. Böylece daha güvenli, daha ekonomik yapı yapma ve yeni beton malzeme ile yeni tasarım yöntemlerinin kullanılma olasılığı artmaktadır.

4) Malzeme dayanımı, göçme yüzeyinin farklı noktalarında, farklı zamanlarda aşılır. Çatlağın gelişip yayılmasıyla, en büyük yük sonrası yumuşama görülür. Büyük yapıda çatlak, kesit boyutuna göre çok daha küçük bir bölgede lokalize olup hareket eder. Farklı boyutlarda farklı yumuşama görülür. Kırılma mekaniği farklı yumuşamayı göz önüne alır.

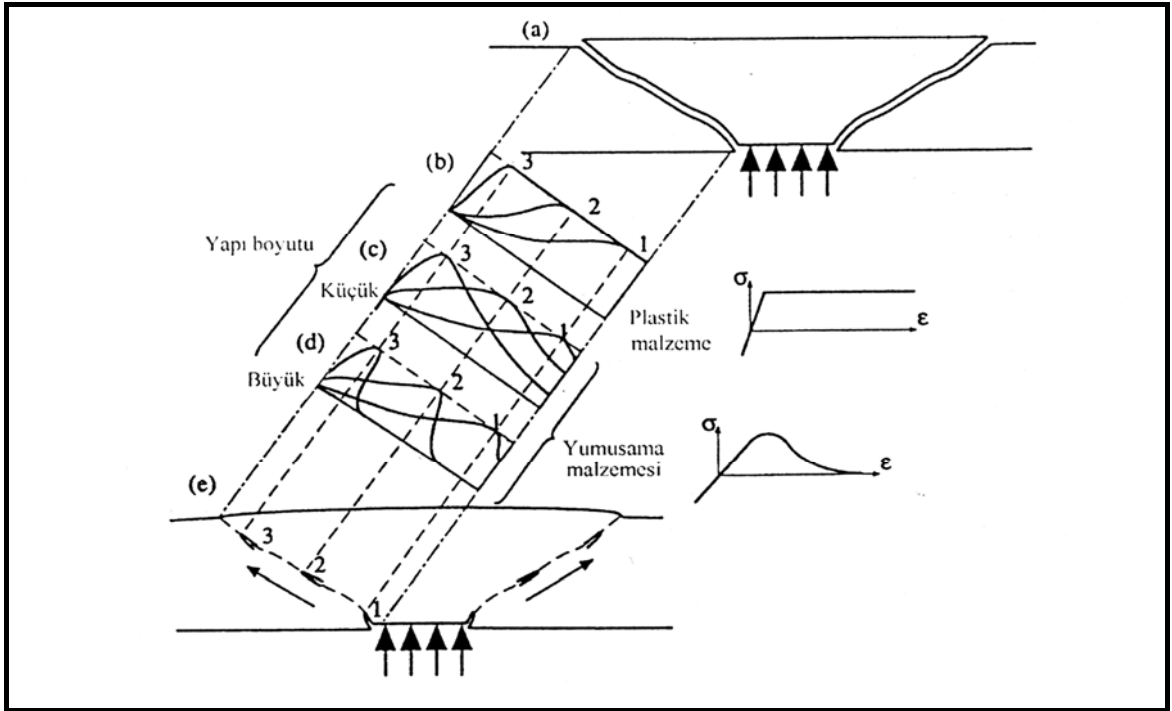
5) Yük-yer değiştirme eğrisinin altındaki alan göçme sırasında yapının yuttuğu enerjiyi verir. Bu enerji özellikle dinamik yüklemelerde önemlidir ve yapının sünekliğini verir. Bazı elemanlar gevrek, bazıları ise sünek göçme gösterirler. Sünek göçme arzulandığı halde, betonarme gibi, %98'i beton olan elemanlarda gevrek göçme, akma platosu olmadığı için kaçınılmazdır. Plastik analizde, en büyük yükten sonraki yumuşamayan bölge göz önüne alınmaz.

6) Yük-yer değiştirme diyagramına dayanan, elastik ve plastik olarak iki tip yapısal göçme vardır. Yapıların plastik ve limit analizinde, yeterli sayıda plastik mafsallı oluştuğunda yapı tek serbestlik dereceli göçer. Akma sahanlığı olan (Şekil 1.1a) bu yapılar plastik göçer. Eğer akma sahanlığı yoksa, (Şekil 1.1b) göçme işleminde plastik mafsallı oluşmaz. Bununla beraber kırılma, çatlağın yayılması ve yapıyı baştan başa kat etmesi ile oluşur.



Şekil 1.1. Akma sahanlığı davranışı, a) akma sahanlığı olan sünek kırılma, b) akma sahanlığı olmayan gevrek kırılma

Şekil 1.2'de (ACI Report 446.1R-91) görüldüğü gibi, döşemelerde zımbalama etkisi gösterilmiştir. Kırılma yüzeyi boyunca çekme gerilmelerinin dağılımı, şekilde yaklaşık olarak görülmektedir. Eğer döşeme plastik bir malzemedен üretilmişse, bütün yüzey akma limitine erişinceye kadar zımbalamaya maruz bölgeler yavaş yavaş geçer. Bununla beraber malzemede çekme yumuşaması gözleniyorsa, pik yükten sonra malzemenin zayıf bölgesindeki yüzey boyunca yumuşama bölgesi yavaş yavaş ilerler. Eğer yapı boyutu küçükse, yumuşama bölgesindeki azalma hissedilmez. Bu gibi durumlarda plastik limit analiz davranışı hakimdir. Ancak, döşemenin boyutu büyükse, zayıf bölgede gerilme hızla düşerek gelişir ve bu durumda plastik limit analiz davranışı olmaz. Eğer döşemenin boyutu aşırı derecede büyükse zayıf bölgedeki gerilme düşüşü çok daha dik olup gerilme profili ideal gevrek malzemeye benzemektedir. Bu durum betonarme döşemenin göçme modunun onun boyutuna bağlı olarak da süneklikten gevrekliğe geçişiyle olduğunu göstermektedir [3].



Şekil 1.2. Zımbalama etkisindeki bir döşemede boyutun akma sahanlığına etkisi, a) zımbalama etkisi, b) plastik özellik gösteren malzeme, c) yumuşama gösteren küçük malzeme, d) yumuşama gösteren büyük malzeme, e) döşeme üzerinde seçilen noktalar

Plastik göçmenin tipik karakteristiği, tek serbestlik dereceli olarak aynı anda gelişmesidir. Bu göçmeler, yük-yer değiştirme eğrisinde uzun akma sahanlığı ile gösterilirler. Eğer yük-yer değiştirme eğrisinin böyle bir akma platosu yok ise, göçme plastik değil, gevrek (ya da yarı gevrek). Oysa gerçekte uzun bir akma platosu yoktur. Dolayısıyla göçme, tek serbestlik dereceli bir sistem olarak gerçekleşmez, gevrek olur. Kırılma mekaniği çatlak gelişimi sonucu oluşan malzeme yumuşamasını, yani akma platosu etkisini, enerji kriterini kullandığı için, dikkate almış olur.

7) Herhangi bir teoride hesaplar, eleman boyutu, koordinat seçimi özelliklerinden bağımsız olmalıdır. Beton tasarımının sonlu eleman analizinde kullandığı yaklaşım dağılı çatlak düşüncesidir. Bu yaklaşıma göre sonlu elemandaki gerilme, malzemenin f_t çekmesi ile sınırlıdır. Bu dayanıma erişildiğinde, sonlu elemandaki gerilme azalmalıdır. Önceki uygulamalarda

gerilme aniden sıfıra azalır, düşey inmektedir. Fakat son zamanlarda gerilmenin yavaş azaldığı, yani malzemenin uzama yumuşaması gösterdiği anlaşılmıştır. Uzama yumuşamasının kullanıldığı sonlu eleman program sonuçları, önemli değişiklikler gösterip, elemana bağlı sonuçların yanlışlığını ortaya koymuştur. Ayrıca, sonlu elemanlar analizinde, farklı boyutlu sonlu eleman seçiminin farklı sonuçlar vermesi, aynı bir probleme farklı sonuçlar getirdiği için, kabul edilemez. Bu farklılık ancak, kırılma mekaniği kullanılırsa giderilir. ANSYS sonlu elemanlar programı, kırılma mekaniğini sonlu elemanlar yöntemiyle uygulamış olduğu için, gerçek duruma oldukça yakın sonuçlar verebilmektedir.

Boyut etkisinin varlığı basit mukavemet halleri olan aksenal basınç, eğilme, kesme, burulma, zımbalama ayrıca öngerilmeli beton elemanlarda, kolonların basınç göçmesinde, Brezilya yarma deney sonuçlarında deneysel ve analitik olarak yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir.

Daha büyük yapı daha fazla şekil değiştirme enerjisi yutabilir, birim alanda çatlak gelişimi için enerji tüketimi yapı boyutuna bağlı olmaksızın aynıdır. Enerji açığa çıkış hızları ise yapı boyutuna bağlı olup küçük yapılarda yavaş büyük yapılarda ise ani gevrek olmaktadır [4].

Son yıllarda beton ya da betonarme konusunda yapılan deneysel araştırmalar, boyut etkisinin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Yakın zamana kadar betonarmede boyut etkisine, olasılıksal davranışın bir sonucu olarak bakılmıştır. Weibull tipi teorilerle, boyut etkisi açıklanıp, güvenlik katsayıları kullanılmıştır. Gerçekte en büyük yüke ulaşılmadan önce büyük çatlak gelişimi olmaktadır.

Beton davranışı zamana ve yük geçmişine bağlı elastik olmayan heterojen, anizotrop bir malzemedir. Bu nedenle beton elemanlarda sistemin çözümünde malzeme davranışıyla ilgili bazı kabullerin de yapılması zorunluluk oluşturmaktadır. Malzeme davranışı, gerçeğe ne kadar yakın

modellenirse çözüm doğruya o kadar yakın olacaktır. Bu nedenle malzemenin gerilme-birim deformasyon özellikleri büyük önem taşır.

Bu tez çalışması kapsamında, döşemelerde zımbalama göçmesinde boyut etkisinin deneysel çalışmalarla ve bilgisayar ortamında modelleme ve nonlinear sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılacak, elde edilen sonuçlar deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

Bu çalışmada, modelleme ve analizin gerçekleştirileceği bilgisayar programı olarak betonarmenin sonlu eleman analizi için dünyada yaygın şekilde kullanılan ANSYS Sonlu Eleman Paket Programı (Versiyon 9.0) kullanılmıştır.

Malzeme özelliklerinin tanımlanmasındaki zorluklar betonarme yapıların sonlu elemanlar analizindeki en büyük engeldir. Kesin matematiksel modellere oturtulamayan beton malzemesi ve betonarme yapı elemanları hakkında pek çok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaya da ışık tutmuş olan geçmişte yapılmış çalışmalar hakkında kısa bilgiler verilecektir.

Barbosa ve Riberio'nun (1998) yaptığı çalışmada, betonarme kiriş elemanı için iki farklı modelleme yapılmıştır. Birinci modelde, beton solid65 elemanı ile tanımlanırken, donatı için link8 çubuk elemanları kullanılmış (ayrık donatı), ikinci modelde ise donatılar solid65 elemanlarının bünyesinde hacimsel oranlarla tanımlanmıştır (gizli donatı). Beton için her analizde farklı malzeme modelleri oluşturulmuş (ezilmeli lineer elastik, elastik tam plastik (Drucker-Prager), ezilme ihmal multilineer pekleşmeli (Von Mises) ve ezilmeli multilineer pekleşmeli), donatı için ise iki modelle yetinilmiştir (lineer elastik, elastik-tam plastik). Bütün analizlerde yük-deplasman eğrileri düşük yüklemelerde birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir. Başlangıçtaki lineer ilişki, betonda çatlama başlayınca ani bir rijitlik kaybı gösterip devamında yine yaklaşık lineer olarak devam etmiştir. Gizli donatılı modellerde bu rijitlik kaybı

safhasındaki atlayış daha yumuşak olmuştur. Modeller arasındaki fark asıl servis yüklerinden sonra oluşmuştur. Lineer elastik modeller kısa zamanda göçmeye ulaşmış ve bir çözüm elde edilememiştir. En iyi sonuçlar gizli donatı tekniğinin kullanıldığı modellerde, ayrıca ayırık donatılı modellemede ise elastoplastik malzeme modelinin ve özellikle ezilmenin ihmal edildiği multiliner pekleşmeli modellerden elde edilmiştir [5].

Miller ve ark.'nın (2001) yaptığı çalışmada, betonarme perde duvarların iki eksenli yükleme altındaki performansları test edilmiştir. Statik ve tersinir-tekrarlanır yükleme altındaki davranışları araştırmak için deneyler öncesi model çalışmaları yapılmıştır. Statik yükleme için kutu ve silindir elemanlar kullanılmıştır. ANSYS v5.6 programı kullanılarak sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Modeldeki perde duvarlarının sonlu eleman modeli için solid65 eleman tipi yayılı donatı özelliği kullanılarak oluşturulmuştur. Kutu yapının üst ve alt döşemeleri rijit varsayılmıştır. Betonun ezilmesi ihmal edilmiştir. ANSYS analizleri sırasında çözüme yakınsama problemleri ile karşılaşmışlardır [6].

Fanning'in (2001) yaptığı çalışmada, öngerilmeli iki ayırık donatılı kirişi ANSYS'te modellemiş ve bulunan sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Beton için solid65, çelik ve öngerme kabloları için link8 elemanları kullanılmış, beton ve çeliğin birim uzamaları aynı kabul edilmiştir. Klasik kiriş, yakınsamayı kolaylaştırma ve deney elemanlarıyla uyum sağlayabilme amacıyla deplasman kontrollü yüklenmiştir. ANSYS'in betonun nonlineer davranışını modellerken yaptığı kabulle, kullandığı elemanlar ve özellikle betonun içinde tanımlanan gizli çatlak modelinin gerçeğe ne kadar uyduğunu belirlemek için yapılmış bu çalışmadan elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Gizli çatlak modelinin betonarme sistemlerin eğilmeden göçmesinde kullanılabilecek uygun bir nümerik model olduğu sonucuna varmıştır [7].

Dede F.T.'nin (2006) yaptığı çalışmada, yüklemenin tersinir-tekrarlanır olarak uygulandığı betonarme çerçeve deneylerinin modellenmesi amaçlanmıştır. Modelleme için, beton ve çelik arasında tam aderans kabulü yapan ve çok eksenli gerilme durumu için kırılmayı modelleyebilen bir betonarme elemanı tipi bulunan ANSYS sonlu eleman programı kullanılmıştır. Yapılan analizlerden, tersinir-tekrarlanır yükleme altındaki yapı elemanlarının kuvvet-deplasman geçmişinin modellenmesi sırasında, taşınabilecek maksimum yüke yaklaşıldığında ANSYS analizinin çözüme ulaşma problemi yaşadığı ve durduğu, ancak durmadan önce elde edilen analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür [8].

2. BOYUT ETKİSİ

Boyut etkisi geometrik olarak benzer fakat farklı boyutlarda yapıların gerilme ve birim boy değişimlerinin karşılaştırılmaları ile bulunur. Bu elemanlarda boyut arttıkça göçmedeki gerilme azalmaktadır.

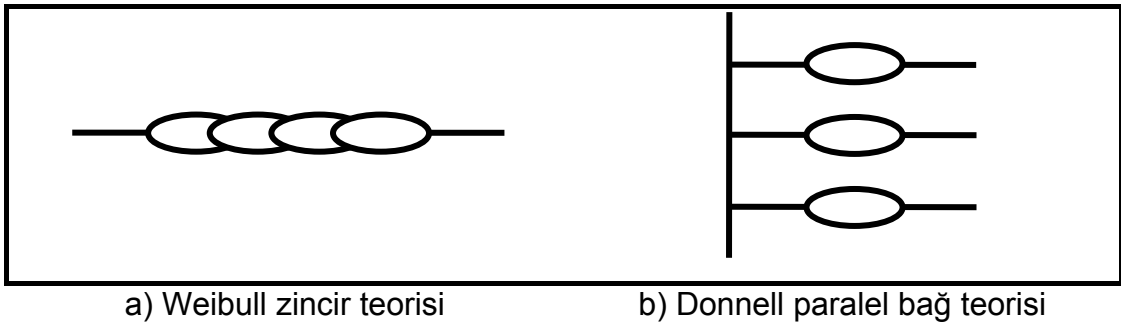
Yapı analizinde boyut etkisi kavramının kullanımı için gösterilen nedenler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- a) Diğer mukavemet hesaplarına dayanan göçme teorileri (elastisite-plastisite) göçmede enerji kriterleri kullanmazken, boyut etkisi enerji yöntemini kullanır. Çatlak gelişmesi, yayılması için de enerji gereklidir.
- b) Farklı boyutlu yapıların en büyük yük sonrası davranışlarını (yumuşama) mukavemet kriterleri göz önüne almaz iken, kırılma mekaniği bu farklılığı göz önüne alır.
- c) Farklı boyutlu geometrik olarak benzer elemanlarda göçme yüklerine karşı gelen nominal gerilme, mukavemet kriterlerine göre değişmez, sabit kalırken, gerçek davranış boyut etkisi içeren lineer olmayan kırılma mekaniği ile temsil edildiğinde artan boyutla gerilmelerin azaldığı görülür.
- d) Farklı kalınlıklardan (boyut etkisi) ötürü sonuçlar da farklı olabilir. Ancak iki boyutlu elemanlar (kalınlık sabit) test edilirse sonuçlar etkilenmez.
- e) Çeper etkisi ile iri malzeme, çeperlerden uzağa kaçar ve ince taneli malzemeler yüzeye (çepere) toplanır. İri malzemelerin elemanda uniform dağılımı sonuçları etkileyen bir başka boyut etkisidir.

2.1. Boyut Etkisi Tipleri ve Uygulanmaları

Boyut etkisi tipleri birçok şekilde görülür.

1. Sınır Tabaka Etkisi: Çeper etkisi olarak da adlandırılır. Özellikle betonarme yapılarda donatı ile beton yüzeyi arası uzaklıkta malzemelerin uniform dağılmaması sonucu etkiler (Betonda agrega ve çimento dağılımı önemlidir).
2. Difüzyon Etkisi: Kalın elemanda kuruma ince elemana göre daha yavaş olur. Bu yüzden kalın elemanda ısı korunması fazla gözenek suyu iletimi azdır. Hidrotasyon ısı kalın eleman genişliğin karesiyle doğru orantılıdır.
3. Olasılıksal Boyut Etkisi: Weibull'un 1939'da önerdiği teoridir [9]. Bu teoriye göre zincirin boyu arttıkça; zincirde zayıf halka olma olasılığı artar. Zincir uzadıkça zincirin kopma mukavemeti azalacaktır. Bu teoride yapı birbirine bağlı halkalar dolayısı ile seri bağlı düşünülmektedir. Bir başka teoriye göre ise (Donnell, 1950) yapı paralel bağlı düşünülmektedir.



Şekil 2.1. Olasılıksal boyut etkisi

Ancak gerçek yapı davranışı karmaşık (paralel ve seri) bağlı bir davranış sergilemektedir. Bu yüzden Weibull teorisinin beton yapılara uygulanması çok doğru değildir.

2.2. En Büyük Yük Sonrası Yer Değişirmelerde Boyut Etkisi

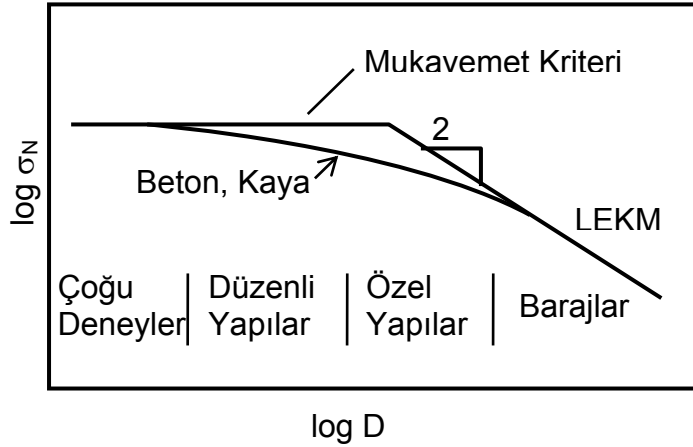
Boyut etkisi iki farklı biçimde karşımıza çıkar; ilki sonlu eleman analizinde farklı boyut kullanımı sonucu bulunan farklılıklardır. İkinci tip boyut etkisi ise yapısal boyut etkisidir.

Boyut etkisi, farklı boyutlu geometrik olarak benzer yapıların (P) göçme yüklerini (en büyük yük) karşılaştırarak tanımlanır. Burada σ_N , nominal göçme gerilmesi cinsinden belirtilmiştir. İki boyutlu benzerlik için (levha gibi) $\sigma_N = c_n P / bD$ ve üç boyutlu benzerlik için (silindir gibi) $\sigma_N = c_n P / D^2$ 'dir. Burada; b=iki boyutlu yapının kalınlığı, D=yapının herhangi boyutu olarak tanımlanan karakteristik boyuttur, c_n =uygunluk için kullanılan katsayı. Sadece σ_N 'nin bağıl değeri gerektiğinden D boyutu, kirişin yüksekliği, kesit kenar uzunluğu olabilir [10].

Betonarme yapılar, boyut etkisinin çok fazla olduğu için lineer elastik kırılma mekaniği (LEKM) ile boyut etkisinin olmadığı dayanım, elastik teori ya da taşıma gücü kriteri arasındadır.

Plastik limit analizinde (taşıma gücü) ya da elastik analizinde (emniyet gerilmeleri yöntemi), gerilmeler cinsinden kullanılan herhangi bir teoriye göre σ_N göçme gerilmesi, yapı boyutundan bağımsızdır. Dolayısıyla eğilme, kesme ya da burulma elastik ya da plastik teoriye dayanan formüller ile verilmiştir.

Betonda göçme, çatlak önünde tek bir noktada başlayıp sonlu bölgede kırılma bölgesi oluşur. Bu da göçmenin yayılarak ilerlediğini gösterir. Lineer elastik kırılma mekaniğinde (LEKM) göçme ise çatlak tepesindeki küçük bölgede olunca eleman göçer kabulü yapılmıştır. Elemanın diğer kısımlarının ise elastik kaldığı kabul edilmektedir.



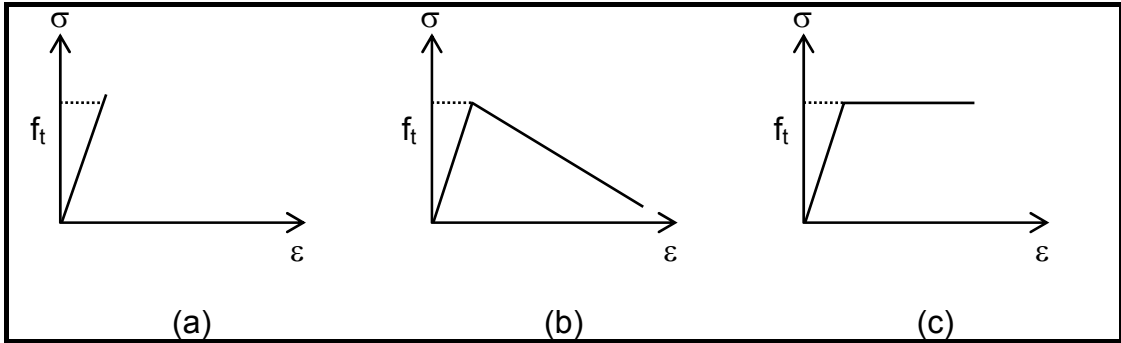
Şekil 2.2. Boyut etkisi yasası

Geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanların göçme yüklerinden elde edilen değerler aynı ise boyut etkisi yoktur demektir. σ_N 'nin yapı boyutuna bağımlılığı boyut etkisini gösterir.

Elastik analiz (Emniyet Gerilmeleri Yöntemi) ile plastik analize (taşıma gücü) dayanan göçme kriterleri yapı boyutunda bağımsız olduğundan boyut etkisi içermezler. Eğer $\log \sigma_N$ 'nin $\log D$ 'ye göre değişimi çizilirse elastik ya da plastik göçme kriterleri yatay çizgiyle verilir (Şekil 2.2'deki yatay çizgi). Bu yüzden elastik ya da plastik göçme kriterleri boyut etkisi göstermez. Lineer elastik kırılma mekaniği Şekil 2.2'de gösterildiği gibi $-1/2$ eğimli çizgi ise kuvvetli boyut etkisi gösterir. Gerçekte betonarme yapılar Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, eğri ile dayanım kriterinden lineer elastik kırılma mekaniğine geçiş gösterir. Eğer yapı çok küçük ise deney sonuçları yatay doğruya (dayanım kriteri), eğer yapı çok büyük ise eğimli doğruya yaklaşır (lineer elastik kırılma mekaniği).

Betonarme yapıların göçmesi, en büyük yüke ulaşmadan önce büyük çatlakların gelişmesi ile oluşur. Kırılma mekaniği teorileri bu yüzyılın ortasında elde edildiği halde tasarım henüz, kırılma mekaniğe dayanmamaktadır. Bunun nedeni kırılma mekaniği son zamanlarda elde edilmiş olup, sadece cam gibi homojen gevrek malzemeye uygulanmıştır.

Kırılma teorilerinin betona uygulanması ilk olarak Kaplan tarafından düşünülmüş fakat başarılı olmamıştır. Betonarme yapılarda, kırılma sırasındaki çatlak önündeki agreganın sağladığı gerilme köprüsü ve çatlakların dağılımı sonucu yumuşama göz önüne alınmalıdır.



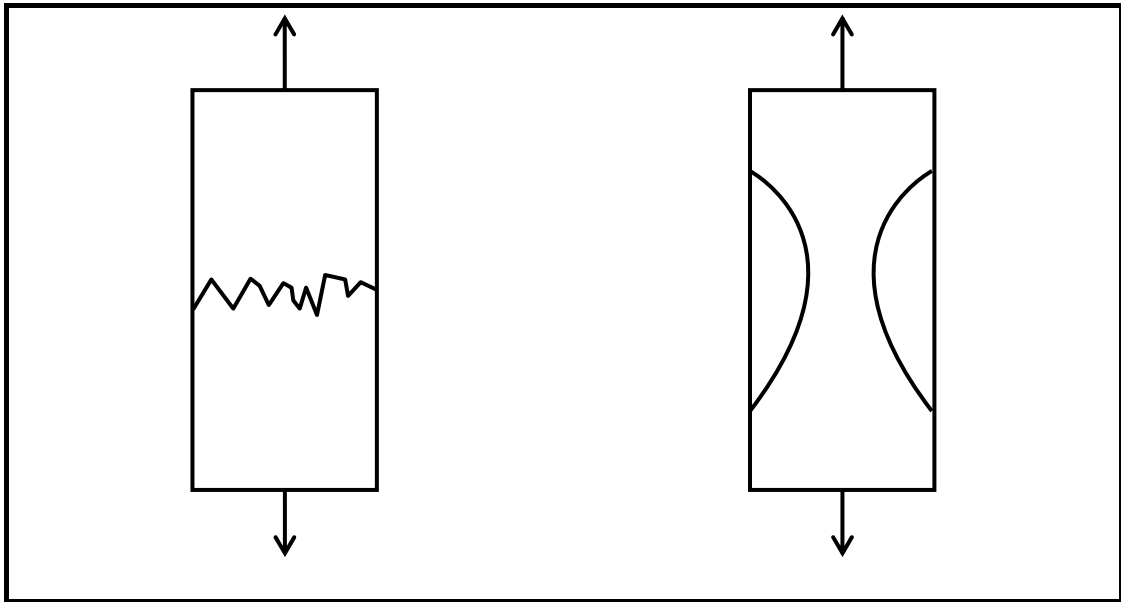
Şekil 2.3. Malzemelerin σ - ϵ diyagramları. a) Gevrek (cam), b) Yarı gevrek (beton), c) Sünek (demir)

Betonarmeye uygulanan kırılma mekaniği biçimi son yıllarda çok gelişmiştir. Betonarme yapı tasarımı günümüze kadar iki devrim görmüştür. İlk devrim betonarme yapıyı elastik ve betonun çekme almadığı varsayımına dayanan Emniyet Gerilmeleri Yöntemi 1900-1930'larda kullanılmıştır. İkinci devrim 1930'daki önceki teoriye dayanmakta olup, plastik limit analizin 1940-1970'li yıllarda kullanılması sonucu ortaya çıkan Taşıma Gücü yöntemidir. Kırılma mekaniğinin betonarme yapıların tasarımında kullanılmasına üçüncü devrim olarak bakılmaktadır. Kırılma mekaniğinin kullanılması betonarme yapı tasarımında önemli yararlar sağlayacaktır. farklı boyutlu yapılar için aynı güvenliğe ulaşmak olası olacaktır. Böylece yapısal güvenlik ve ekonomi arttırılır. Bununla yeni betonarme malzemesi ve yeni tasarımların kullanılması olası olacaktır. Özellikle yüksek dayanımlı ve çok büyük boyutlu betonarme yapılar, lifli beton yapılar, öngerilmeli betonarme yapılar, büyük beton barajlar, nükleer reaktör hücreleri gibi güvenliğin yüksek olduğu ve hasarları büyük felakete neden olabilecek yapılar için kırılma mekaniğine göre tasarım çok önemlidir.

Boyut etkisinin dayandığı kırılma mekaniği yapıda göçmenin yayılmasını göz önüne alan mukavemete dayanan enerji kriteri kullanan, göçme teorisi olarak tanımlanabilir.

2.3. Gevrek ve Sünek Kırılma

Çatlak tepesinde gerilmenin yığılması sonucu gerilme kritik değere ulaşınca çatlak ilerlemeye başlar. Kırılma gerekli enerji miktarına göre sınıflandırılabilir. Gevrek kırılma az enerji gerektirir, sünek kırılma ise fazla enerji gerektirir.



a) Gevrek kırılma

b) Sünek kırılma

Şekil 2.4. Gevrek ve sünek kırılma

Gevrek kırılmada kırılan parçalar genelde orijinal boyutlarındadır. Kalıcı yer değiştirme yoktur ve davranış elastiktir. Sünek kırılmada ise, kırılmadan önce geriye dönmeyen büyük plastik deformasyonlar ve akma hareketi oluşur.

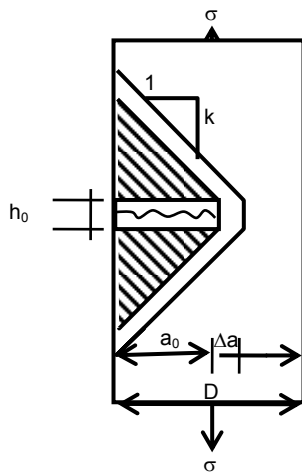
Yüksek ısı ve düşük uzama hızlarında metallerde sünek davranış hakim iken, yüksek uzama hızlarında ve düşük ısılarda aynı malzemede gevreklik hakim olur. Gevrek malzeme göçmesi ani, habersiz, sesli, az enerji yutulması ile

mikroskobik ölçekte göçmede aderans kopması gözlenir. Sünek kırılmada ise aksine kırılma yavaş, büyük enerji yutulması ile, mikroskobik ölçekte düzlemler üzerinde kayarak ısınma ve büyük deformasyonlar gözlenir.

2.4. Boyut Etkisinin Enerji ile Açıklanması

Kırılma mekaniğinin enerji açığa çıkması yüzünden, boyut etkisiyle olan ilişkisi Şekil 2.5'te gösterilen üniform gerilmeli levha düşünülerek açıklanabilir. Şekil 2.5'te sol kenardaki küçük bölgenin dayanımının levhanın diğer kısmından daha az olduğu varsayılmıştır. Dolayısıyla çatlak bandının oluşumu soldan sağa doğru olacaktır.

Beton gibi gevrek heterojen malzeme için kırılma önünde dağılı çatlakların göz önüne alınması önemlidir. Bu bölgenin boyutu yapı boyutu ile orantılı değil, maksimum agrega boyutu ile ilişkilidir [4]. En basit yaklaşımla, kırılma önündeki çatlak bandının h_0 genişliği, yapı boyutundan bağımsız ve yaklaşık sabit varsayılmıştır (aynı betondan yapılmış benzer yapılar karşılaştığı zaman). Benzer olarak maksimum yükte a_0 çatlak uzunluğu, yapı boyutu D ile orantılıdır. Yani $a_0/D = \text{sabittir}$ (eleman analizlerinde ve betonarme yapıların gevrek göçme deneylerinin çoğunda görülmüştür).



Şekil 2.5. Boyut etkisinin enerji ile açıklanması

h_0 genişliği, a_0 uzunluklu çatlak bandı ile kırılmanın oluşumu (Şekil 2.5'deki taralı alandan) $\sigma_N^2/2E$ uzama enerjisini açığa çıkar (σ_N =en büyük yüke karşı gelen gerilme, E =betonun Young modülü). a_0 uzunluklu çatlak Δa uzarsa ek uzama enerjisi Δa genişlikli sık taralı şeritten çatlak önüne açığa çıkar. Büyük yapılarda bu taralı alan daha büyüktür. $\Delta A=h_0\Delta a+2ka\Delta a$, k =Şekil 2.5'te eğim olup yapı biçimine bağlı amprk sabittir (boyut etkisinde önemli olmayan k değeri, sonlu eleman analizlerinde ve deney sonuçlarından $\pi/4$ bulunmuştur).

W , yapıda depolanan potansiyel enerji; b , kalınlık; G_f , kırılma enerjisidir. Dış yüklemeler sonucunda levhanın sık taralı şeridinden açığa çıkan enerji (Şekil 2.5);

$$\Delta W=b(h_0\Delta a+2ka\Delta a) \sigma_N^2/2E \quad (2.1)$$

Levhada yutulan enerji,

$$\Delta W=G_f b \Delta a \quad (2.2)$$

Dış etkiler Eş. 2.1 ile levhanın yuttuğu enerji Eş. 2.2 eşitliğinden,

$$\sigma_N^2 [h_0+2k(a/D)D]=2EG_f \quad (2.3)$$

$$\sigma_N = \left| \frac{2EG_f}{h_0 + 2k(a/D)D} \right|^{1/2} \quad (2.4)$$

$$D_0 = \frac{h_0 D}{2ka} \text{ ile gösterirsek} \quad (2.5)$$

pay ve payda f_t ile çarpıldığında,

$$\sigma_N = \left| \frac{2EG_f}{h_0(1+D/D_0)} \right|^{1/2} \frac{f_t}{f_t} \quad (2.6)$$

elde edilir. Sonuçta;

$$\sigma_N = \left| \frac{2EG_f f_t^2}{h_0 f_t^2 (1 + D/D_0)} \right|^{1/2} \quad (2.7)$$

Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasası elde edilir.

$$\sigma_N = Bf_t(1+\beta)^{-1/2}, \quad B = (2EG_f / h_0 f_t^2)^{1/2}, \quad \beta = D / D_0 \quad (2.8)$$

B, malzeme dayanımına; D_0 , yapı biçimine bağlı boyutsuz sabitlerdir; f_t , betonun çekme dayanımı; B'yi boyutsuz yapabilmek için kullanılmıştır. Daha genel boyut etkisi yasası $\sigma_N = Bf_t(1+\beta^r)^{-1/2r}$, r =geometriye bağlıdır. Bütün geometri ve malzemeler için $r \cong 1$ bulunmuştur.

Eş. 2.8 yaklaşık bir ifadedir, fakat boyut değişiminin 1:20'ye kadar aralığı için yeterlidir. Daha büyük boyut değişimi için karmaşık formüller gereklidir. Eş. 2.8'nin elde edilmesinde aşağıdaki varsayımlardan yararlanmıştır.

1. Göçme anında çatlak önünde açığa çıkan enerji; çatlak uzunluğuna bağlıdır.
2. Açığa çıkan enerji aynı zamanda en büyük agrega boyutu d_a 'nın birkaç katı olan çatlak bandının genişliğine bağlıdır (deneyler ile kayada $5d_a$, betonda $3d_a$ bulunmuştur).
3. Farklı boyutlu geometrik olarak benzer yapılarda oluşan kırılma yüzeyleri de geometrik olarak benzerdir.
4. Yapı göçmesi çatlak başlangıcı ile değil, çatlama bölgesinin tüm yapıya yayılması ile oluşur.

Bazant'ın önerdiği ve boyut etkisinin ifadesinde Eş. 2.8 için, yapı çok küçük $D \ll D_0$ ise $\beta = D / D_0$ değeri birin yanında küçük olduğundan ihmal edilebilir [4]. $\sigma_N = Bf_t$ olur ki göçme gerilmesi plastik limit analiz ya da emniyet

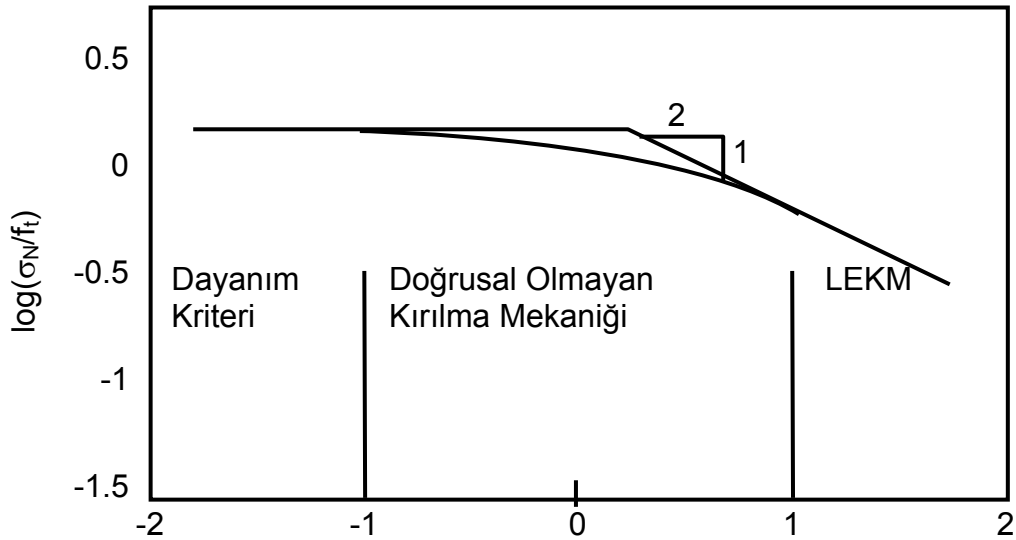
gerilmeleri yöntemi ile temsil edilmektedir. Eğer yapı çok büyük ise $D \gg D_0$ bir değeri β değeri yanında çok küçüktür, $\sigma_N = Bf_t \beta^{-1/2}$ olur. Yani göçme gerilmesi doğrusal elastik kırılma mekaniği ile temsil edilmektedir ya da her iki tarafın Logaritması alındığında $\log \sigma_N = -1/2 \log \beta + \text{sabit}$, Şekil 2.6'da logaritmik eksen takımında, eğimi -1/2 olan doğru ile gösterilmektedir.

Asimtotun kesim noktası, plastik analiz ve LEKM teorileri eşitlenerek,

$$Bf_t = Bf_t \beta^{1/2} \quad (2.9)$$

$\beta^{-1/2} = 1$, buradan $\beta=1$, $D=D_0$ bulunur. β gevreklik sayısıdır.

Eş. 2.8 sadece aynı betondan yapılmış ve en büyük agrega boyutu aynı olan yapılara uygulanabilir. Agreganın küçük farklılık göstermesi durumunda bu yasa yaklaşık olarak uygulanabilir. Agreganın büyük farklılık göstermesi durumunda Eş. 2.8'de düzeltme terimleri kullanılmalıdır.



Şekil 2.6. Boyut etkisinin grafik gösterimi

Şekil 2.6'dan

$\beta < 0.1$ ise plastik limit analiz

$0.1 < \beta < 10$ ise doğrusal olmayan kırılma mekaniği

$\beta > 10$ ise doğrusal elastik kırılma mekaniği (LEKM) geçerlidir.

2.5. Boyut Etkisinin Kuramsal Uygulaması

Deney olarak boyut etkisi araştırılırken geometrik olarak benzer ve farklı boyuttaki numunelere en büyük yük altında yükleme yapılır. Bu deneylerden nominal dayanım hesaplanır ve boyutlara göre grafiği çizilir. Daha sonra Bf_t ve D_0 parametrelerinden küçük kareler yöntemi ile en uygun eğri bulunur,

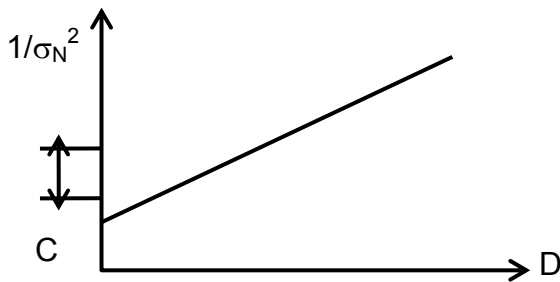
Buradan K_{Ic} (Kırılma Tokluğu), G_f (Kırılma Enerjisi hızı) ve c (plastik bölge uzunluğu) aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$K_{Ic} = Bf_t \sqrt{D_0 k_0} \quad (2.10)$$

$$c = \frac{k_0}{2k_0'} D_0 \quad (2.11)$$

$$G_f = \frac{(Bf_t)^2 D_0 k_0^2}{E} \quad (2.12)$$

2.6. Doğrusal (lineer) Analiz (Bazant)



Şekil 2.7. Doğrusal analiz I grafiği (Bazant)

Şekil 2.7'e bağlı olarak Doğrusal (Linear) Analiz l'in genel denklemleri aşağıdaki gibi bulunur:

$$\sigma_N = \frac{Bft}{\sqrt{(1+D/D_0)}} \quad (2.13)$$

$$Y = AX+C, X = D$$

$$Y = 1/\sigma_N^2, \quad D_0 = C/A, \quad C = \frac{1}{B^2 f_t^2} \quad (2.14)$$

$$K_{Ic} = \frac{1}{A^{1/2}}, \quad G_f = \frac{k_0^2}{AE}, \quad C = \frac{k_0}{2k'_0} \times \frac{C}{A} \quad (2.15)$$

2.7. Boyut Etkisinde RILEM Önerileri

RILEM önerilerine göre beton kırılmasında malzemenin kırılma özellikleri boyut etkisi yasası ile (SEL) elde edilir (RILEM 1990) [11].

Önce linear I regresyon yöntemi ile kırılma parametreleri hesaplanır ve sonradan malzemenin kırılma parametreleri aşağıdaki eşitlikler ile bulunur;

$$K_{Ic} = K(\alpha_0)/A^{1/2}, \quad G_f = K(\alpha_0)^2/(EA), \quad C_f = K(\alpha_0)C/(2K'(\alpha_0)A) \quad (2.16)$$

Bu yöntem özellikle üç nokta yüklemesindeki kirişlerde iyi sonuç vermektedir. Kiriş mesnetleri ve kiriş sonu arasındaki mesafe iyi ayarlanmalıdır, aksi halde kirişte hasarlar ve çatlamlar meydana gelebilir. Numune açıklık ve kesit yükseklik orantısı (S/D) en az 2.5 olmalıdır. Çentik uzunluğunun derinliğe oranı (a_0/D) 0,15 ve 0,5 değerleri arasında olmalıdır. Numune genişliği ve yüksekliği 3 da değerinden küçük olmamalıdır. Önerilere göre deneyler en az üç numune üzerinde yapılmalıdır ve her numune için D değeri belli olmalıdır.

$D = D_1, \dots, D_n$ ve en küçük D_1 değeri $5 d_a$ 'dan büyük ve en büyük D_n değeri $10 d_a$ 'dan (d_a en büyük agrega çapı) küçük olmamalıdır. Beton numunelerinde D_n / D_1 oranı en az 4 olmalıdır.

Ayrıca boyut aralığı mümkün olduğu kadar ideal olmalıdır. Örnek olarak, $D/d_a = 4:8:16$ genelde kabul edilebilir ama $D/d_a = 3:6:12$ ya da $3:9:27$ aralıkları daha fazla tercih edilir. Bütün numuneler aynı beton harcından yapılmalı ve beton kalitesi uniform olmalıdır.

2.7.1. RILEM önerilerinde eşitlikler

Hesap tablosunda kullanılan veriler kiriş derinliği D ve P_{uk}^0 (deneyde ölçülen en büyük yük, $k = 1, 2, \dots, n$; $n =$ numune sayısı)'dır. Birinci aşamada σ_N değerleri hesaplanmalı ve kirişin öz ağırlığı ve üzerindeki diğer aralıklarda hesaba katılmalıdır. Yükleri hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılır;

Eğer $S_k = L_k$ ise;

$$P_k = P_k^0 + (m_k g / 2); \quad g = \text{yer çekimi ivmesi} \quad (2.17)$$

Eğer $S_k < L_k$ ise;

$$P_{uk} = P_{uk}^0 + m_k g (2S_k - L_k) / 2S_k \quad (2.18)$$

Önerilere göre $c_N = 1$ alınmalıdır (c_N uygunluk katsayısı)

Her bir numune için nominal gerilme hesaplanır;

$$\sigma_N = 3 P_{uk} S_k / (2b_k D_k^2) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2.19)$$

Sonunda lineer I regresyon için $X_k = D_k$ ve $Y_k = 1 / (\sigma_N^2)$ değerleri hesaplanır. A (eğim) ve C (kesişim noktası) katsayıları için aşağıdaki eşitlikler RILEM yöntemine göre hesaplanır.

$$\sum = \sum 1^k = n, \sum x = \sum X_k, \sum y = \sum Y_k \quad (2.20)$$

$$\sum xx = \sum (X_k)^2 \sum yy = \sum (Y_k)^2 \sum xy = \sum (X_k)(Y_k) \quad (2.21)$$

Buradan A ve C değerleri şu eşitlikler yardımıyla hesaplanır;

$$A = (\sum xy - \sum x \sum y) / \Delta, \quad C = (\sum xx \sum y - \sum x \sum xy) / \Delta \quad (2.22)$$

$$A = \frac{\sum \sum xx - (\sum x)^2}{\Delta} \quad (2.23)$$

Dataların standart sapması;

$$X^2 = \sum yy - A \sum xy - \sum y \quad (2.24)$$

A ve C değerlerinin varyasyonu için;

$$W_A^2 = X^2 \sum / [(n-2)A^2 \Delta]; \quad (2.25)$$

$$W_C^2 = 3C^2 \sum xx / [(n-2)C^2 \Delta]; \quad (2.26)$$

$$m^2 = (n-1)X^2 \sum (\sum x)^2 / [(n-2)\Delta(\sum y)^2]; \quad (2.27)$$

C, K_{IC} , G_f , C_f varyasyon değerleri için;

$$C^- = \sum y / \sum W_C^2, \quad \Omega_c^{-2} = X^2 \sum / [(N-2)(\sum Y)^2] \quad (2.28)$$

$$W_{KIC} = 1/2 W_A \quad (2.29)$$

$$W_{Gf} = (W_A^2 + W_C^2)^{1/2} \quad (2.30)$$

$$W_{Cf} = C^{-2} / (C^2 (W_A^2 + W_C^2)) \quad (2.31)$$

Lineer II regresyonu için tüm eşitlikler geçerlidir, fakat X; Y; A ve C değerleri yerine X'; Y'; A'; C' kullanılacaktır.

$$X' = 1 / D \quad \text{ve} \quad Y' = 1 / (\sigma_N^2 D) \quad (2.32)$$

3. ZİMBALAMA GÖÇMESİNDE BOYUT ETKİSİ – DENEYSEL ÇALIŞMALAR

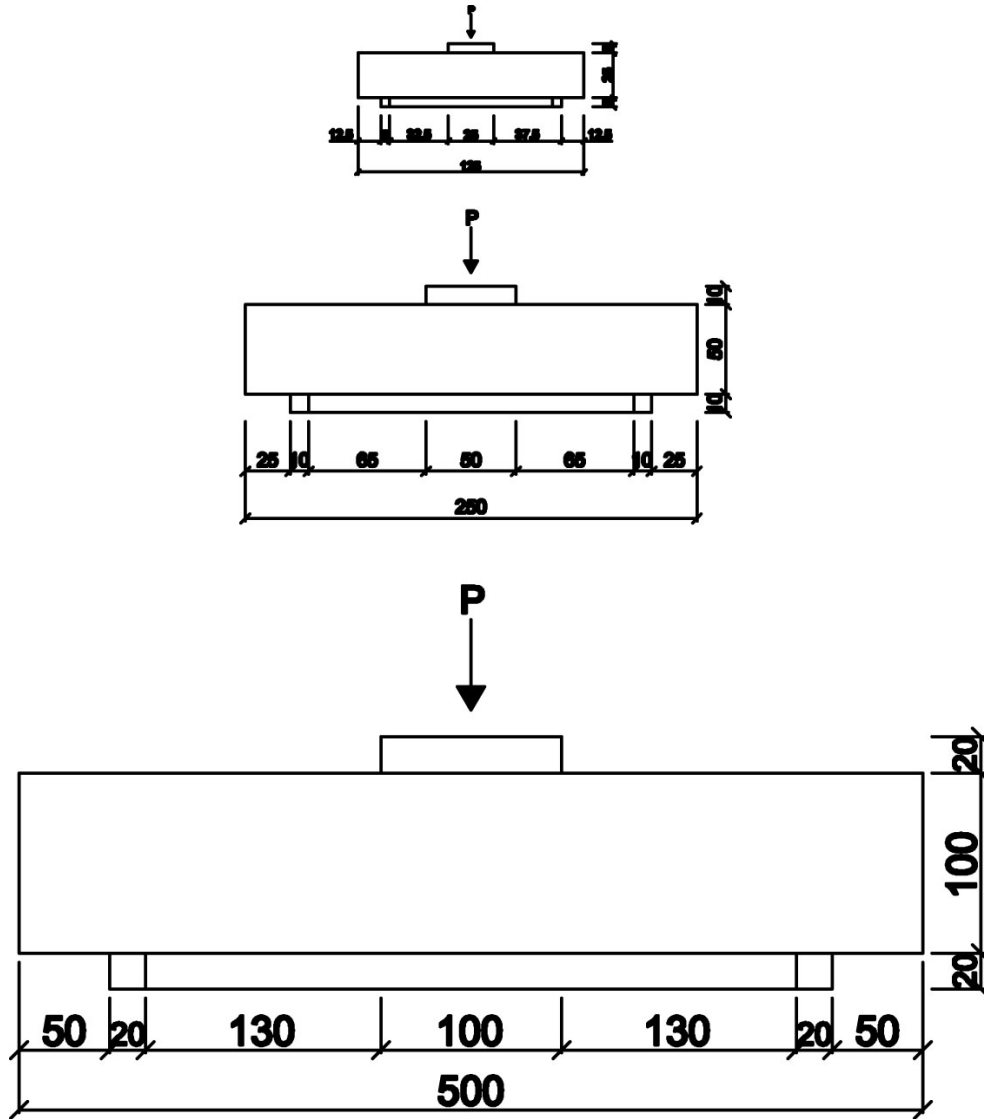
Kirişlere oturan betonarme döşemelerde kayma gerilmeleri, dolayısı ile asal çekme gerilmeleri oldukça düşük düzeyde kaldığından, bu tür yapı elemanlarında kayma güvenliği genelde kritik olmaz. Ancak, döşemelerin doğrudan kolonlar tarafından taşındığı “kirişsiz döşeme” sistemlerinde, kolon yöresinde oluşan asal çekme gerilmeleri oldukça yüksek çıkabilir ve betonun çekme dayanımı aşabilir. Bu sorun, betonarme kirişlerdeki eğik çekme sorununa çok benzer. Ancak, kirişsiz döşemelerde kolonlar yöresindeki asal gerilmeler nedeni ile oluşan bu “eğik çekme” sorunu, kirişteki orana çok daha karmaşıktır, çünkü plaklardaki gerilme durumu üç boyutludur. Tekil betonarme sömellerde, kolonun sömel plağına uyguladığı yük nedeni ile, kirişsiz döşemelere benzer bir sorun oluşmaktadır.

Kirişsiz döşeme ve tekil sömellerde kolon yöresinde oluşan bu asal çekme gerilmeleri betonun çekme dayanımını aştığında, asal çekme gerilmelerine dik yönde çatlakların oluşması doğaldır. Asal çekme gerilmeleri genelde plak düzlemine 45°'lik bir açı yaptığından, çatlaklar da 45°'lik bir eğimle oluşacaktır. Önlem olarak özel kayma donatısı kullanıldığında, bu eğimin azaldığı gözlenmiştir.

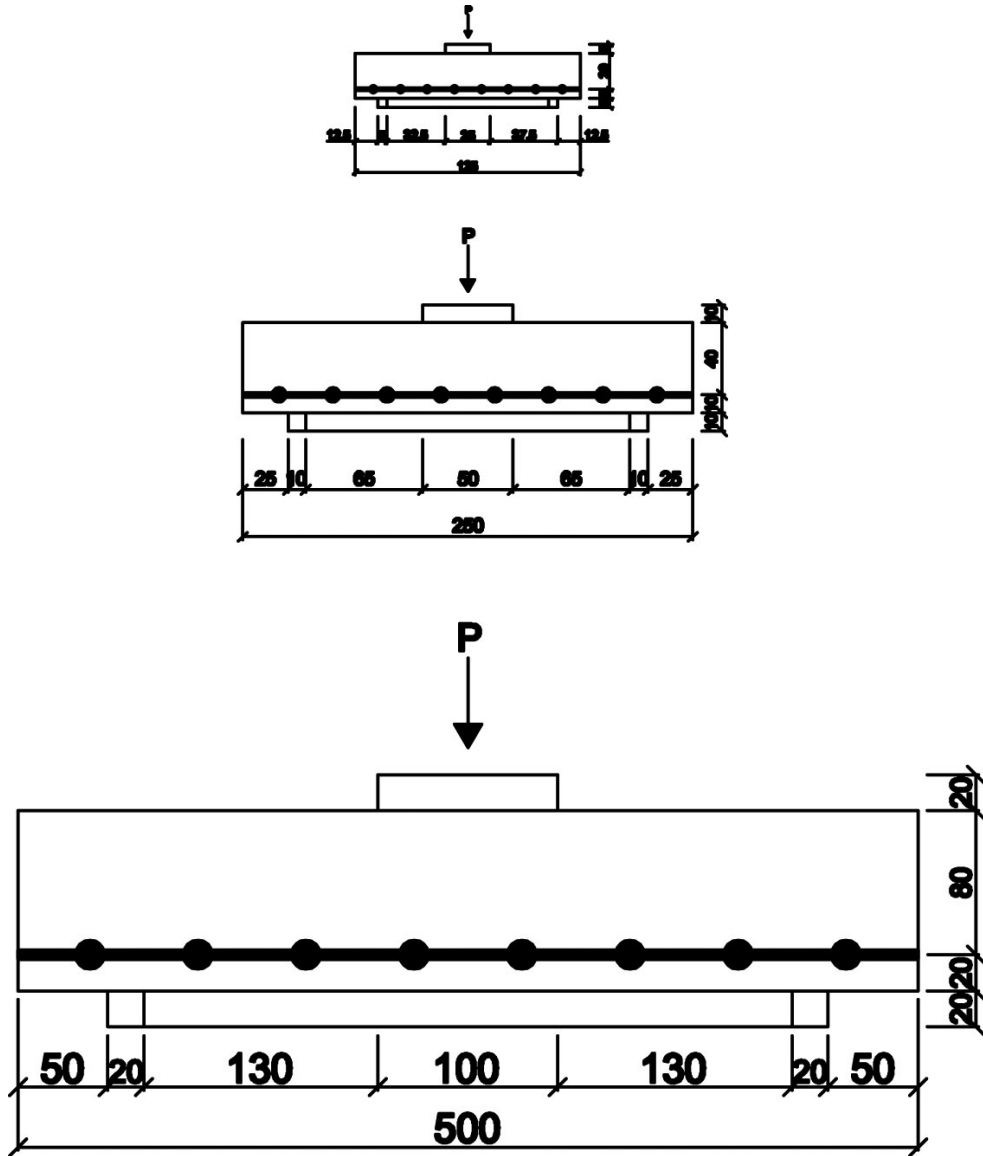
Zımbalama kırılmasına ülkemizden verilebilecek en iyi örnek Ankara'daki Aselsan binasıdır. Söz konusu bina birkaç saniye içinde yerle bir olmuş ve işin ilginç yanı, döşemeler kolondan sıyrılarak üst üste yığılmasına rağmen, birçok kolon ayakta kalabilmiştir.

Deney numunelerinin hazırlanacağı kalıplar 18 mm'lik kaplamalı ahşap plywood malzemedен vidalanarak elde edilmiştir. Büyük boy numune kalıplarının tabanına naylon serilerek beton yerleştirilip, orta ve küçük boy numunelerin altına plywood tablo konulmuştur. Hepsi aynı gün 29.04.2009 tarihinde dökülen numuneler 1 gün sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Üzerlerine

ıslak çuvallar konuldu ve rutubetinin kaybolmaması için naylon branda ile kapatılmıştır. 21°C’de gölgede 21 gün krde tutuldu ve laboratuvarıda gölge bir yere konularak deney gününe kadar muhafaza edilmiştir.



şekil 3.1. Beton ve elik lifli S, M, L döşemeleri



Şekil 3.2. Betonarme S, M, L döşemeleri

Karışımında kullanılan; Çimento:Kum:Çakıl:Su ağırlık oranları sırasıyla 1:2:2:0,5'dir.

Kum: 0-5 mm boyutunda 90 kg Kızılırmak nehrinden elde edilen ocak kumları kullanıldı.

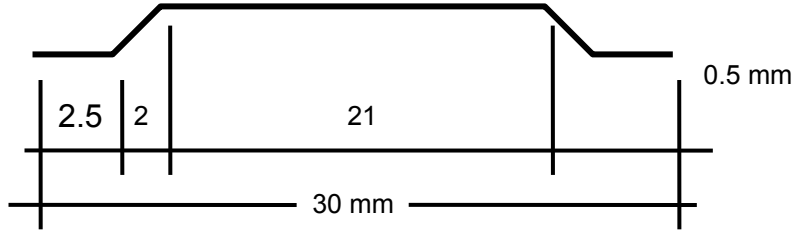
Çakıl: 5-10 mm boyutunda 90 kg

Çimento: 45 kg (KPÇ 42)

Su: 22,5 kg (musluk suyu)

Agrega: 0-10 mm boyutunda (kum ve çakıl)

Buna ilaveten, çimentonun ağırlığının 1/16'sı kadar 2,81 kg çelik tel eklendi. BEKSA tarafından üretilen çelik telin tipi ZP 305 olup; 30 mm genişliğinde 0,5 mm mm çapındadır.



Şekil 3.3. Dramix çelik teli

Elde edilen karışım 250 lt'lik üç paletli elektrikli betoniyerde karıştırılmıştır. En büyük numuneler dalgıç el vibratörüyle yerleştirildi. Silindir numunelerde dalgıç vibratörler ile küçük numuneler masa vibratöründe yerleştirilmiştir. Her numune için 3 adet silindir numune hazırlandı. Toplam 330 dm³ beton döküldü. %10 toleranslı karışım yapılmıştır.



Resim 3.1. Silindir basınç deneyi aleti

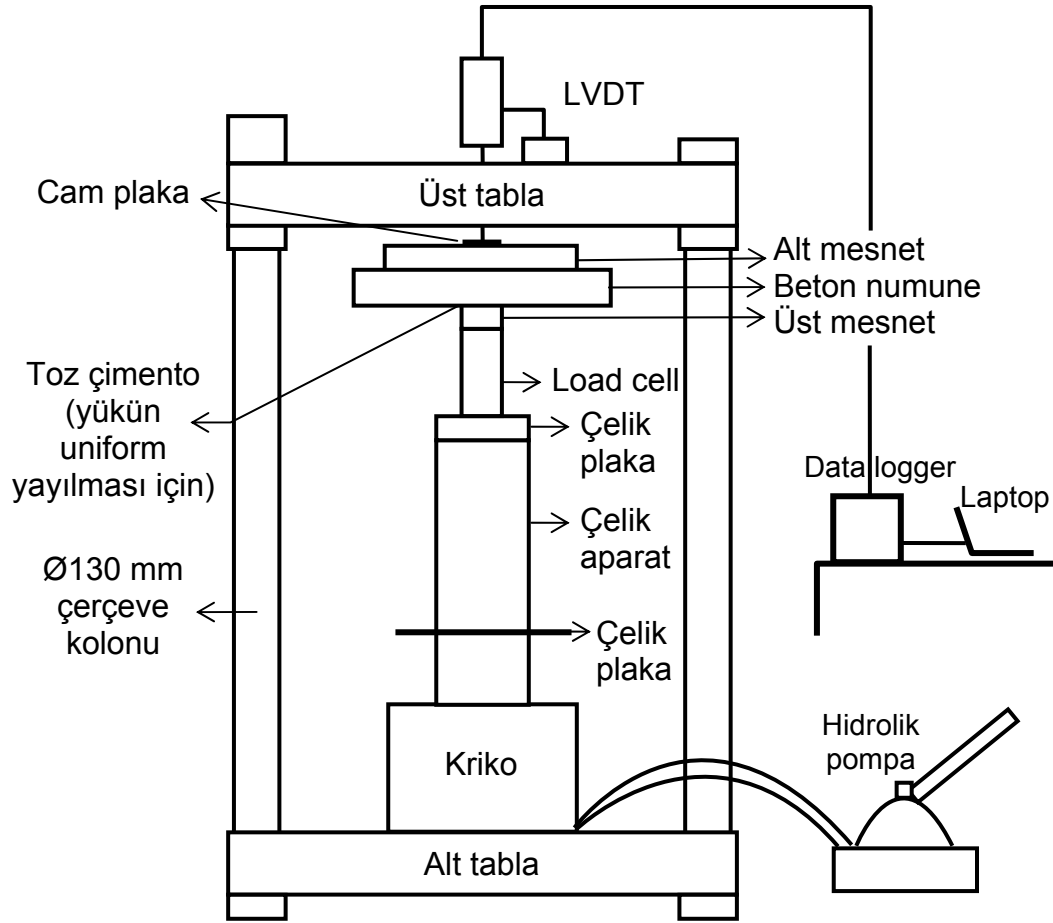
Laboratuarda deneyi yapılacak 150 mm çapında ve 300 mm ykseklisindeki silindirlere basınç deneyi yapılarak beton, betonarme ve elik lifli betonlara ait kırılma yükleri tesbit edilmiştir.

Silindirlerde llen karakteristik basınç dayanımları aşağıdaki gibidir:

1. Lifli Beton Silindirler İçin; $f_{ck} = 35,29$ MPa
2. Betonarme Numuneler İçin; $f_{ck} = 35,25$ MPa
3. Normal Beton Numuneler İçin; $f_{ck} = 35,08$ MPa

3.1. Deney Düzeneği

Deney düzeneği, 200 ton kapasiteli olan kolon yükleme çerçevesinde uygun mesafe ayarlanabilmesi için yardımcı dolgu malzemeler kullanılmıştır.



şekil 3.4. Deney düzeneği

Deneyde 2 tip basınç Load cell (yük ölçer) kullanılmıştır. Kullanılan 1. tip load cell; BUCEM-DELTA pirinç yük ölçme hücresi olup; 22 ton kapasitesindedir ve büyük numuneleri (Large) kırarken kullanılmaktadır. Fotoğrafta görüldüğü üzere; deneyde kullanılan 2. tip load cell ise S şeklinde ve 5000 kg kapasitesindedir. Küçük ve orta boyutlu numuneleri kırarken kullanılmıştır.



Resim 3.2. 1. tip load cell



Resim 3.3. 2. tip load cell

Kullanılan bu 2. tip load cell'in markası;

Type:	DEE-A	CAP 5000 kg
	YKK	CE S/N SBS 466
	SELI	Date: 2008



Resim 3.4. Deney düzeneği



Resim 3.5. Göçme sonrası

Beton numune ile mesnet arasında; yükü uniform dağılımını sağlamak için toz çimento kullanılmıştır. Mesnet ile tabla arasında; LVDT (Deplasman Ölçer)'nin; düzgün okuma yapabilmesi için konulan 2x2 cm'lik cam plaka, silikonla yapıştırılmıştır.

Deneyde kullanılan üstü çimentolanmış üst mesnetin boyutları;

10x10x2,0 cm 4 adet

5x5x2,0 cm 4 adet

2,5x2,5x2,0 cm 4 adet'tir.



Resim 3.6. Mesnetler

Deneyde alt mesnet olarak kullanılan çerçeve için;

38x5x2 cm'lik 4 adet

19x4x1 cm'lik 4 adet

9,5x3x0,5 cm'lik 4 adet

pekleşmesiz çelikten üretilen, kaynaklanarak kare haline getirilen mesnetler kullanılmıştır.



Resim 3.7. Deney düzeneği



Resim 3.8. Deney düzeneği

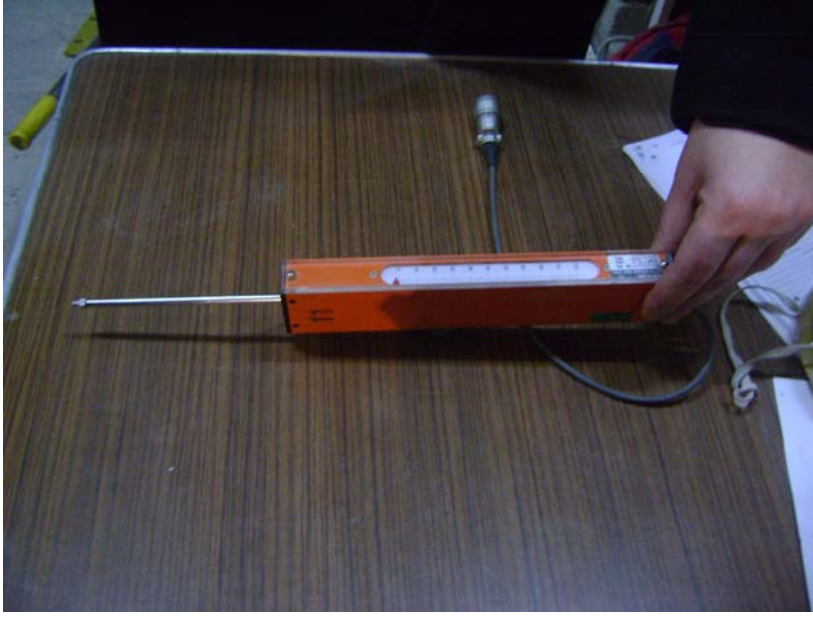


Resim 3.9. RCL3 döşemesi



Resim 3.10. RCL3 döşemesinin göçme modu

Deneyde kullanılan LVDT (Deplasman ölçer) fotoğrafta görüldüğü üzere; Japonya'da imal edilmiş olup (Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd.); 200 mm 5,0 MV/V kapasiteli ve 10^{-5} mm hassasiyetindedir.



Resim 3.11. LVDT aleti

Deneyde, betonarme numuneler için kullanılan 8 mm, 4 mm ve 2 mm çaplı donatıların özellikleri G.Ü.M.M.F. Makine Mühendisliği Mekanik ve Mukavemet Laboratuvarında DARTEC marka aksenal çekme deney düzeneği ile tespit edilmiştir.



Resim 3.12. Aksenal çekme deney düzeneği

Deneyde kullanılan krikonun kapasitesi 200 tondur. 800 bar kapasiteli el tahrikli hidrolik pompa kullanılmıştır. Her saniye data kaydedebilen TDG (Teknik Destek Grubu) CODA marka data logger ve TDG CODA Locomotive programı ile TOSHIBA SATELLITE-L300 marka laptop bilgisayara kayıtlar ve grafik alınmıştır.

TDG (Teknik Destek Grubu) Türkiye’de hizmet veren CODA Veri Toplama Sistemlerinin Ar-Ge’sini başlatmış ve halen devam etmekte olan bir limited şirkettir. Alınan kayıtlar aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Numunelerin boyutları ve ağırlık değerleri

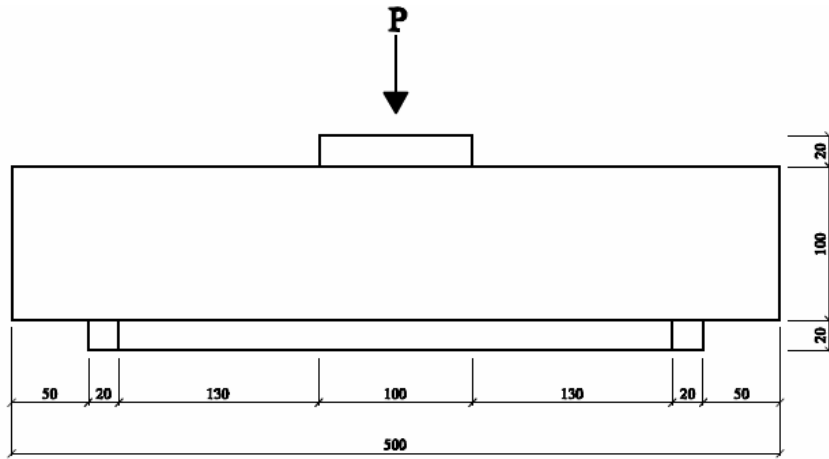
	Ağırlık (gr)	d (döşeme kalınlığı) (mm)	a (döşeme boyutu) (mm)	b (döşeme boyutu) (mm)	zımbalama çapı (mm)
RCS ₁ (Ø2)	900	25	125	125	25
RCS ₂ (Ø2)	955	25	125	125	25
RCS ₃ (Ø2)	890	25	125	125	25
RCM ₁ (Ø4)	6950	50	250	250	50
RCM ₂ (Ø4)	7160	50	250	250	50
RCM ₃ (Ø4)	7020	50	250	250	50
RCL ₁ (Ø8)	57300	100	500	500	100
RCL ₂ (Ø8)	54100	100	500	500	100
RCL ₃ (Ø8)	55600	100	500	500	100
SFS ₁	910	25	125	125	25
SFS ₂	895	25	125	125	25
SFS ₃	885	25	125	125	25
SFM ₁	6090	50	250	250	50
SFM ₂	7030	50	250	250	50
SFM ₃	7210	50	250	250	50
SFL ₁	56000	100	500	500	100
SFL ₂	55100	100	500	500	100
SFL ₃	55200	100	500	500	100
CS ₁	905	25	125	125	25
CS ₂	880	25	125	125	25
CS ₃	960	25	125	125	25
CM ₁	7000	50	250	250	50
CM ₂	7010	50	250	250	50
CM ₃	7060	50	250	250	50
CL ₁	53700	100	500	500	100
CL ₂	56500	100	500	500	100
CL ₃	56500	100	500	500	100

Çizelge 3.2. Numunelerin kırılma tarihleri

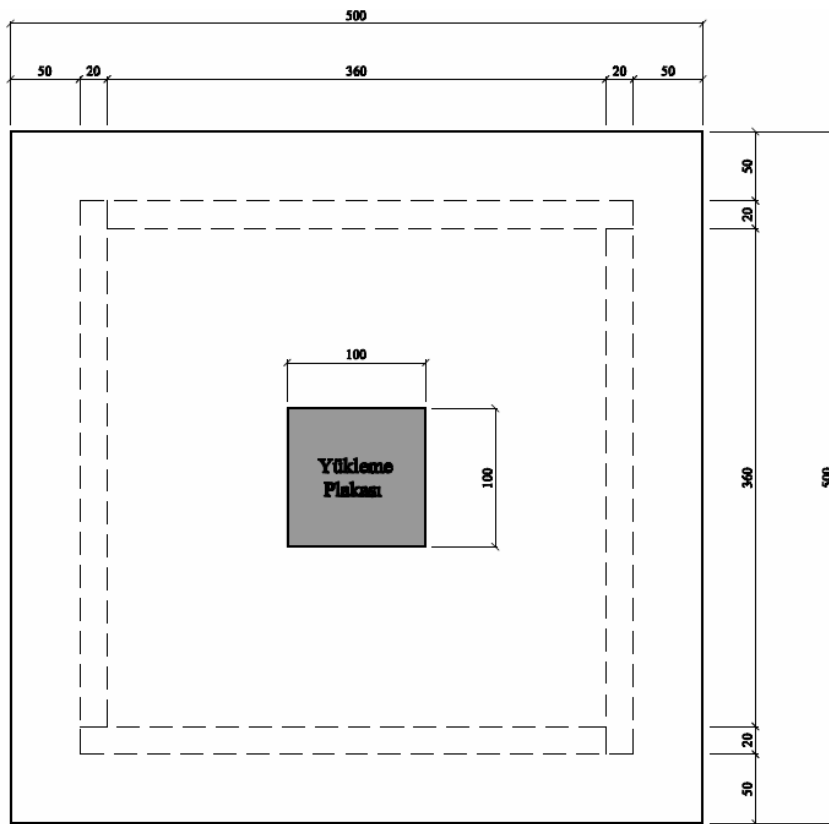
RCS ₁	17.12.2009	CM ₁	16.12.2009
RCS ₂	17.12.2009	CM ₂	16.12.2009
RCS ₃	17.12.2009	CM ₃	16.12.2009
SFS ₁	17.12.2009	RCL ₁	17.12.2009
SFS ₂	17.12.2009	RCL ₂	22.12.2009
SFS ₃	17.12.2009	RCL ₃	22.12.2009
CS ₁	17.12.2009	SFL ₁	17.12.2009
CS ₂	17.12.2009	SFL ₂	17.12.2009
RCM ₁	16.12.2009	SFL ₃	17.12.2009
RCM ₂	16.12.2009	CL ₁	15.12.2009
RCM ₃	16.12.2009	CL ₂	22.12.2009
SFM ₁	16.12.2009	CL ₃	22.12.2009
SFM ₂	16.12.2009		
SFM ₃	16.12.2009		

3.2. Deney Numunelerinin Şekil ve Boyutları

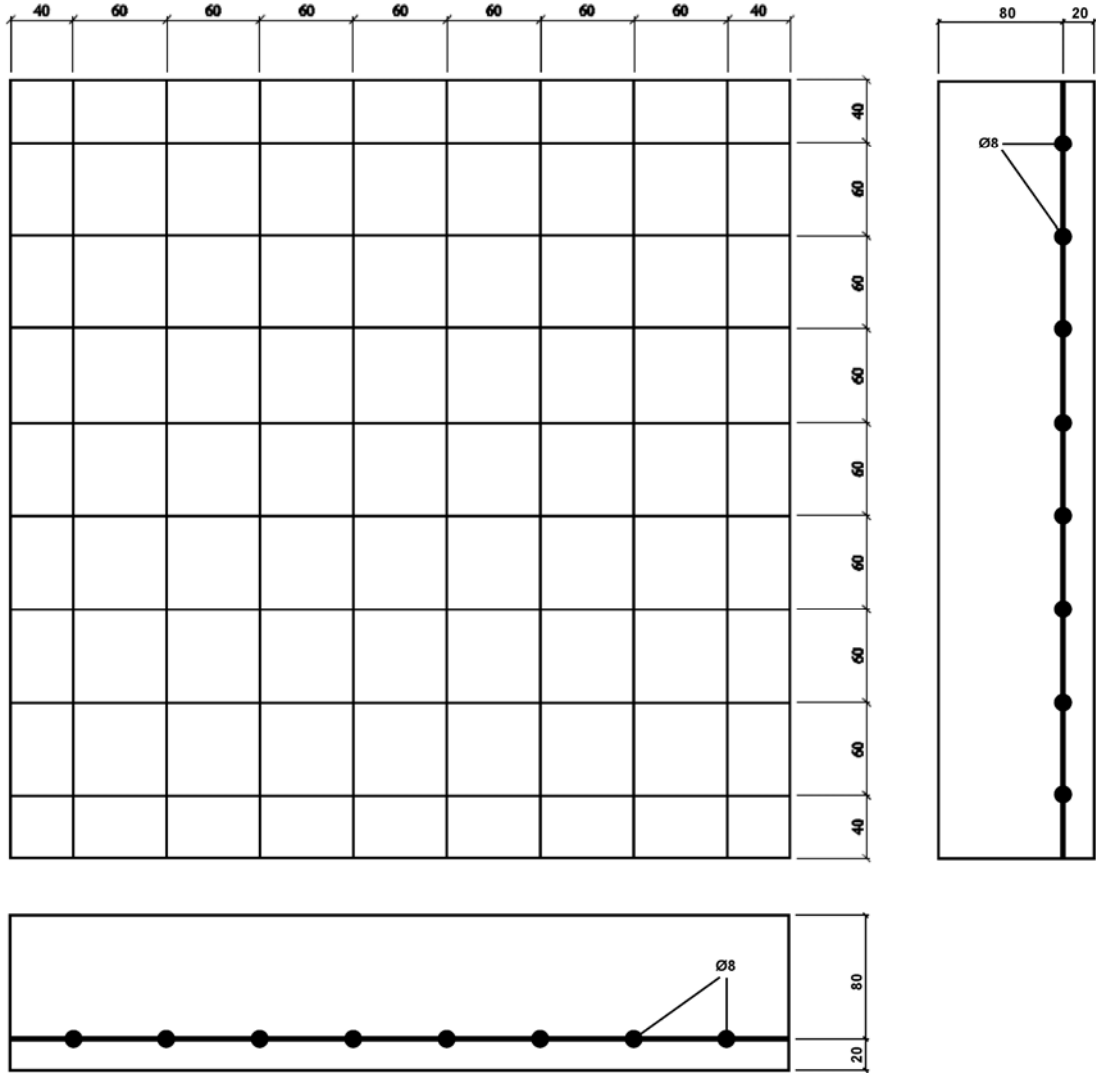
3.2.1. L (Large) numuneler



Şekil 3.5. L numunesinin yükleme şekli

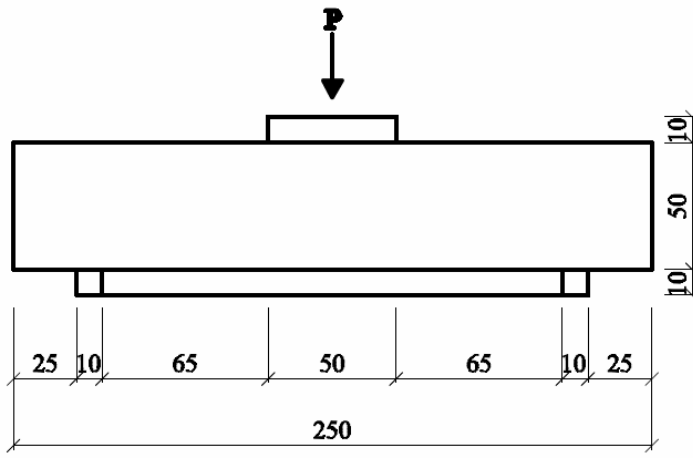


Şekil 3.6. L numunesinin üstten görünüşü ve boyutları

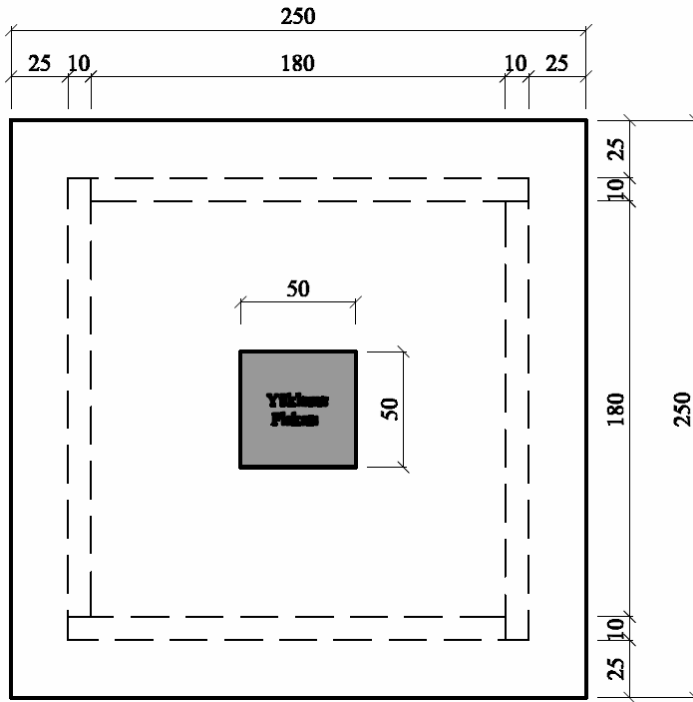


Şekil 3.7. RCL numunesi donatı düzeni (Ø8)

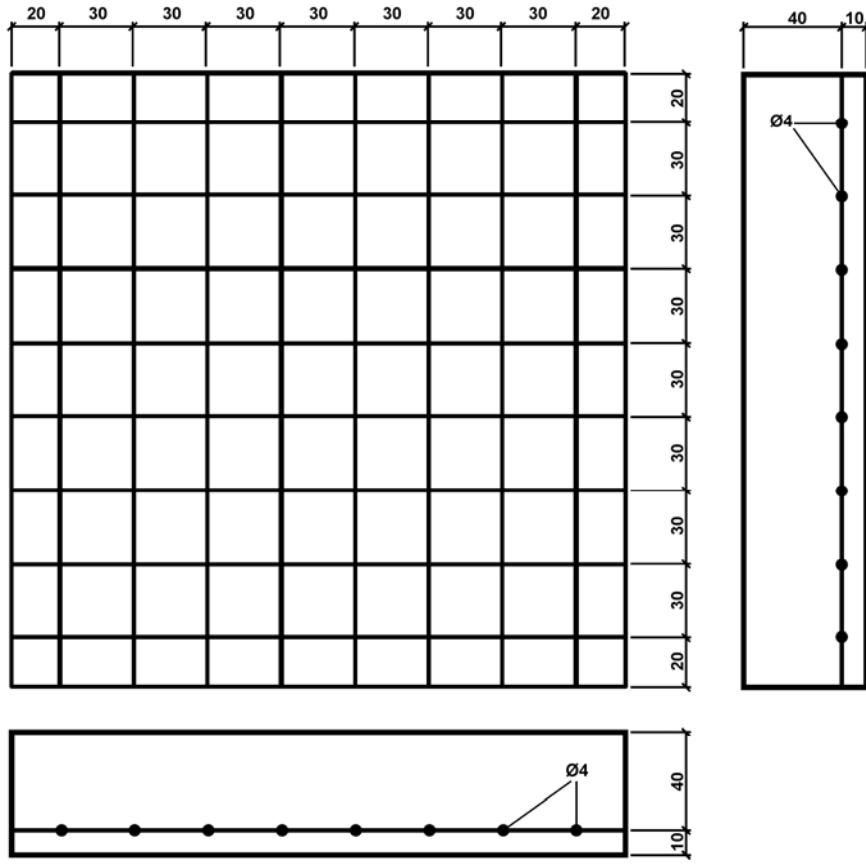
3.2.2. M (Medium) numuneler



Şekil 3.8. M numunesinin yükleme şekli

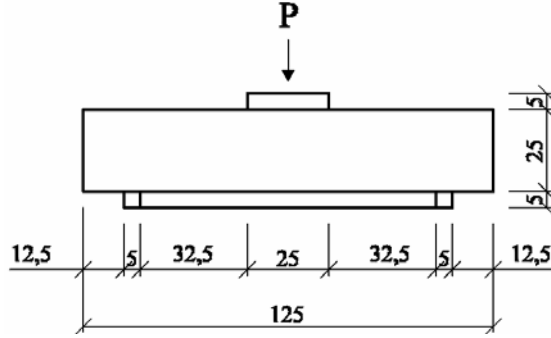


Şekil 3.9. M numunesinin üstten görünüşü ve boyutları

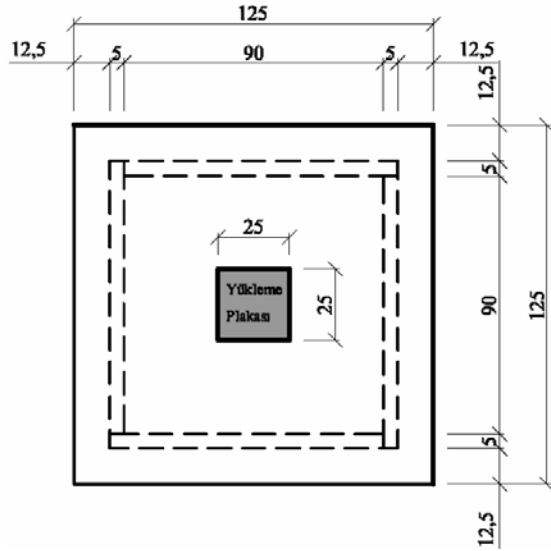


Şekil 3.10. RCM numunesi donatı düzeni ($\varnothing 4$)

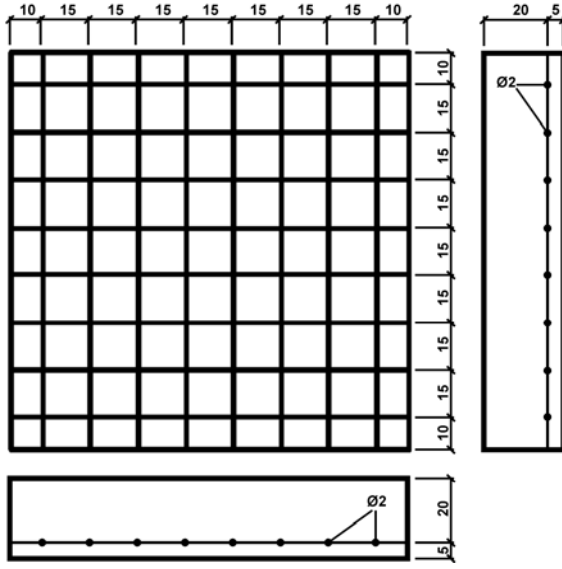
3.2.3. S (Small) numuneler



Şekil 3.11. S numunesinin yükleme şekli



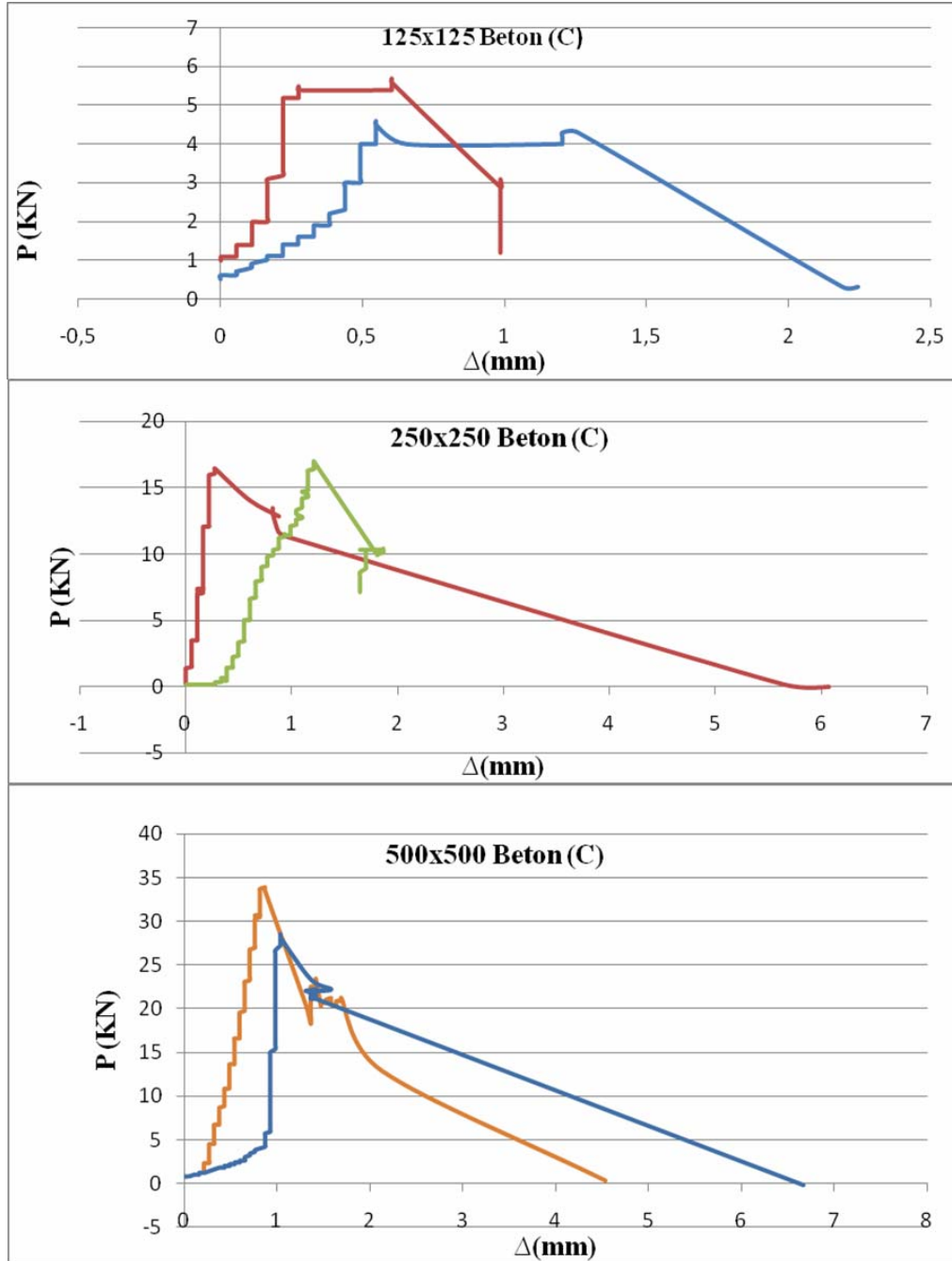
Şekil 3.12. S numunesinin üstten görünüşü ve boyutları



Şekil 3.13. RCS numunesi donatı düzeni (Ø2)

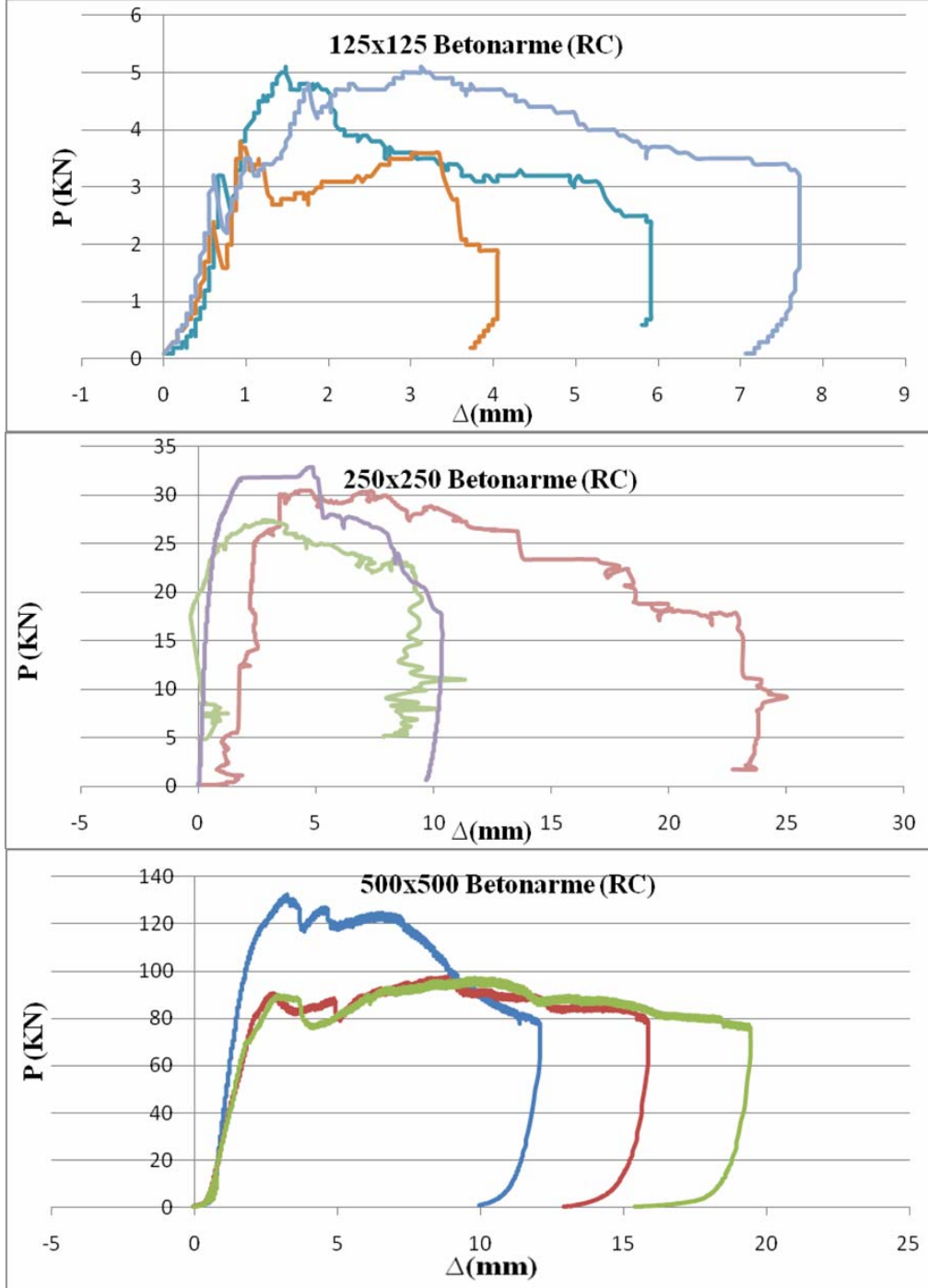
3.3. Deney Sonuçları

3.3.1. Normal beton döşemeler



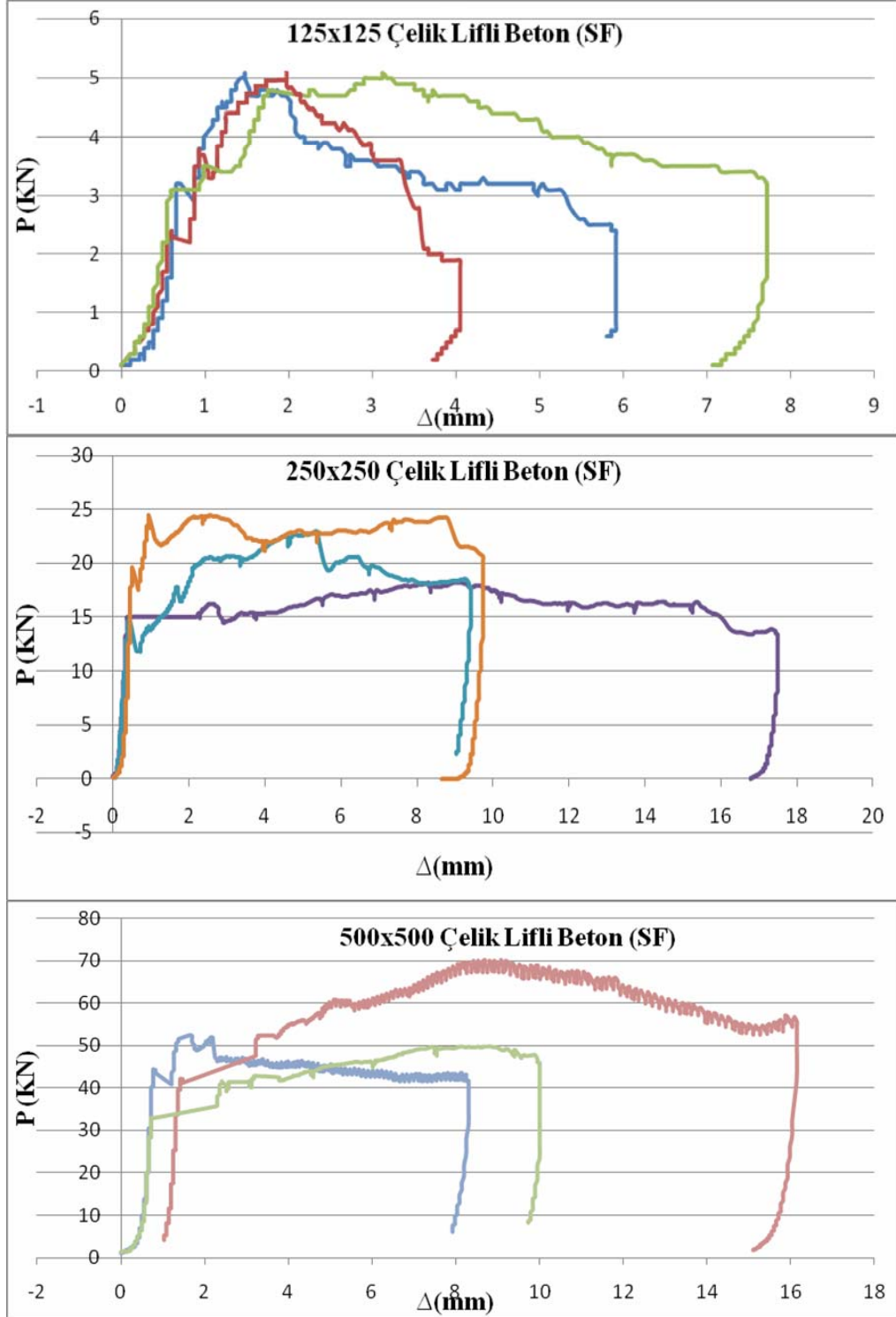
Şekil 3.14. Beton numuneler için yük (P) – yerdeğiştirme (Δ) grafikleri

3.3.2. Betonarme döşemeler



Şekil 3.15. Betonarme numuneler için yük (p) – yerdeğiştirme (Δ) grafikleri

3.3.3. Çelik lifli beton döşemeler

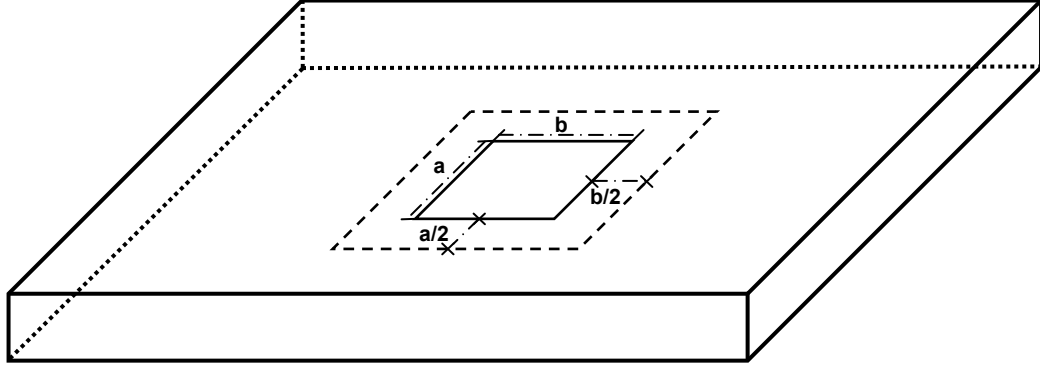


Şekil 3.16. Çelik lifli beton numuneler için yük (p) – yerdeğiştirme (Δ) grafikleri

Çizelge 3.3. Numunelerin pik yük-deplasman değerleri

	Yük (kN)	En Büyük Yükteki Deplasman (mm)
RCS ₁ (Ø2)	5,1	3,118
RCS ₂ (Ø2)	10,1	0,602
RCS ₃ (Ø2)	9,3	1,258
RCM ₁ (Ø4)	30,6	4,759
RCM ₂ (Ø4)	30,1	6,947
RCM ₃ (Ø4)	32,9	4,705
RCL ₁ (Ø8)	132,584	8,206
RCL ₂ (Ø8)	97,115	8,589
RCL ₃ (Ø8)	97,5	9,792
SFS ₁	5,1	1,477
SFS ₂	5,1	1,958
SFS ₃	5,1	3,217
SFM ₁	18,2	8,972
SFM ₂	23	5,306
SFM ₃	24,4	13,567
SFL ₁	59,007	1,532
SFL ₂	70,221	9,081
SFL ₃	52,941	8,206
CS ₁	4,6	0,93
CS ₂	5,7	0,93
CM ₁	16,8	3,392
CM ₂	16,8	3,392
CM ₃	17	1,204
CL ₁	28,519	2,243
CL ₃	33,962	0,875

4. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ



Şekil 4.1. TS500'deki etkili zımbalama alanı gösterimi

$$a = b \text{ (zımbalama boyutu)}, \sigma = \frac{P_{max}}{Ap} \text{ (gerilme)}$$

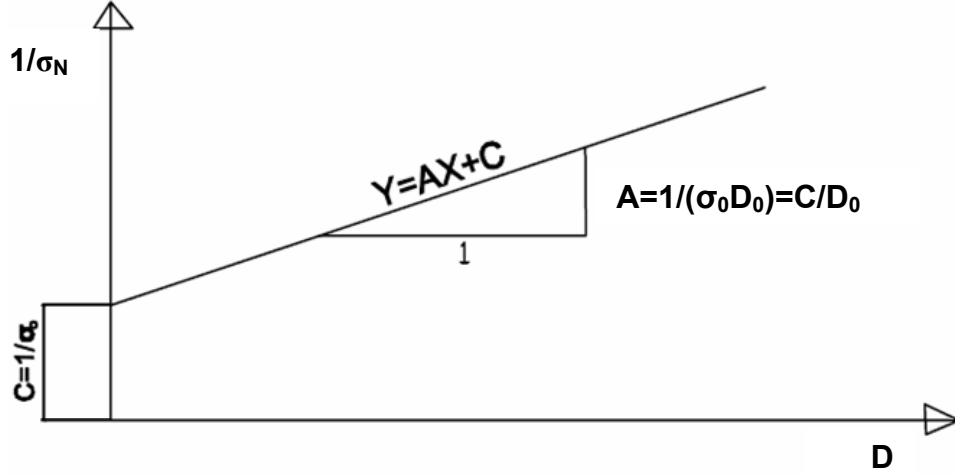
$$Ap = \left(a + 2 * \frac{a}{2} \right) * \left(b + 2 * \frac{b}{2} \right) \text{ (etkili zımbalama alanı)}$$

Deney sonuçlarının analizinde boyut etkisi için Doğrusal (Lineer) Analiz I (Bazant) denklemleri kullanılmıştır. Boyut etkisi denklemleri lineer regresyon ile düzenledikten sonra daha önce bulunan sonuçlar $Y=AX+C$ biçimine getirilmiştir.

Doğrusal (Lineer) Analiz I (Bazant) denklemleri hesabında X ekseninde D, Y ekseninde $1/\sigma_n$ denklemleri kullanılmıştır. Bu ifadeler $Y=AX+C$ ile tanımlandığından C'nin pozitif ve sıfırdan farklı olması gerekmektedir. Boyut etkisini en açık bir şekilde gösteren Bazant'ın logaritmik eğrisidir.

Doğrusal (Lineer) Analiz I (Bazant) denklemleri ile hesapladığımız değerler sonucunda boyut etkisi görülmüştür. Bundan sonraki aşama Doğrusal (Lineer) Analiz I (Bazant) grafikleri ile analizler yapmaktır. Bu analizlerde X eksenini için $\log(D/D_0)$, Y eksenini için $\log(\sigma_N/\sigma_0)$ denklemleri bulunmaktadır. D_0 değeri Doğrusal (Lineer) Analiz I (Bazant) analizinde lineer regresyon

sonucunda bulunan $D_0=C/A$ eşitliğidir. σ_0 değeri de aynı doğru denkleminde yararlanarak $\sigma_0=1/C$ şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. Lineer regresyonun grafiksel gösterimi

$Y=AX+C$ C =sabit sayı, X =boyut (D), A =değişken

$$D_0 = \frac{C}{A} \quad \sigma_0 = \frac{1}{C} \quad \sigma_N = \sigma_0 \left(1 + \frac{D}{D_0}\right)^{-1/2}$$

4.1. Normal Beton Döşemelerin Doğrusal Regresyonu

Çizelge 4.1. Normal beton döşemelerin boyutları

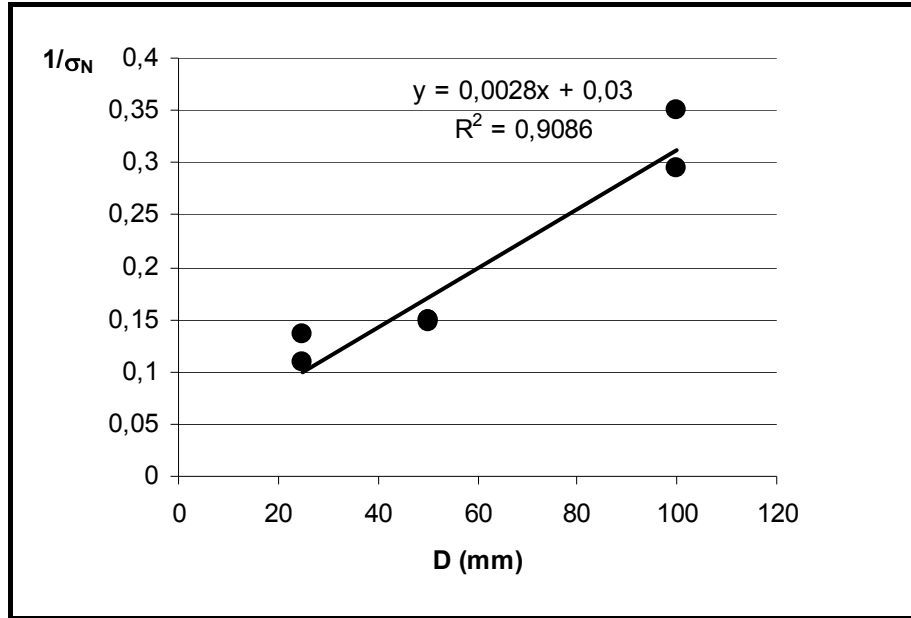
Döşeme No	h (mm) döşeme kalınlığı	a (mm) döşeme boyutu	a (mm) döşeme boyutu	Zımbalama çapı (mm)
CS ₁	25	125	125	25
CS ₂	25	125	125	25
CS ₃	25	125	125	25
CM ₁	50	250	250	50
CM ₂	50	250	250	50
CM ₃	50	250	250	50
CL ₁	100	500	500	100
CL ₂	100	500	500	100
CL ₃	100	500	500	100

Normal betonun doğrusal regresyon sonuçları çizelge 4.2'de verilmiştir. Burada verilen deney sonuçlarının Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasasını

destekleyip desteklemediği araştırılmıştır. Bu amaçla bu çizelgelerden yararlanılarak veriler, $Y=AX+C$ ile temsil edilir. Dolayısıyla B ve D malzeme ile yapı biçimine bağlı sabitler belirlenip, Bazant'ın önerdiği boyut etkisi araştırılır.

Çizelge 4.2. Normal beton döşemelerin doğrusal regresyon değerleri

Döşeme No	f_c' (N/mm ²)	Pu (kN)	σ (N/mm ²)	$1/\sigma$ (mm ² /N)	Boyut D (mm)
CS ₁	35,08	4,6	7,36	0,13587	25
CS ₂	35,08	5,7	9,12	0,109649	25
CS ₃	35,08	0,0	0,0	0,0	25
CM ₁	35,08	16,8	6,72	0,14881	50
CM ₂	35,08	16,8	6,72	0,14881	50
CM ₃	35,08	17	6,80	0,147059	50
CL ₁	35,08	28,52	2,852	0,350631	100
CL ₂	35,08	0,0	0,0	0,0	100
CL ₃	35,08	33,96	3,3962	0,294447	100



Şekil 4.3. Normal betonun doğrusal regresyonu

Excel 2003'den elde edilen lineer regresyon sonucu bulunan değerler çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Normal betonun doğrusal regresyon sonuçları

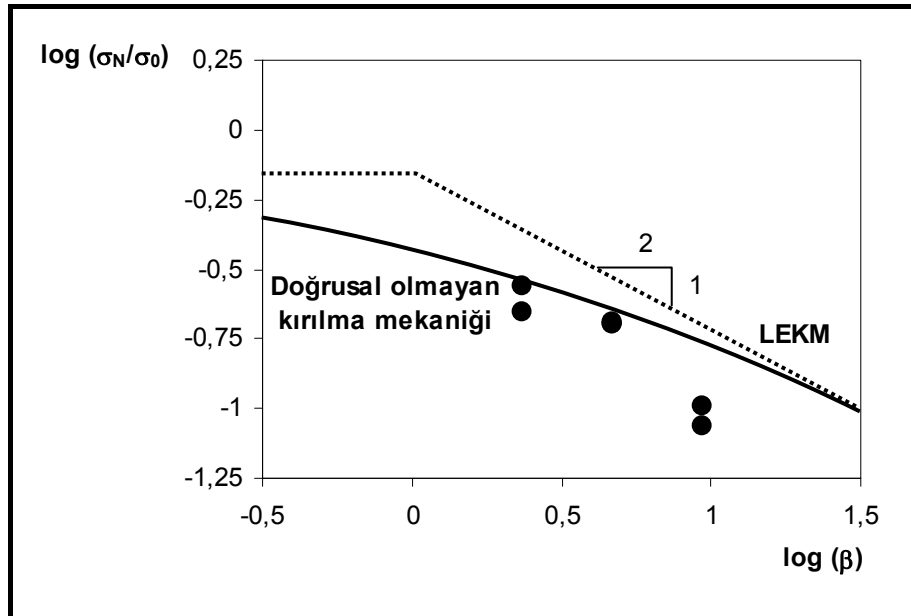
C	A	$D_0=C/A$ (mm)	$B=\frac{1}{\sqrt{C}}$	r	G_f (N/mm)
0,03	0,0028	10,71	5,773	0,953	0,0135

r: korelasyon katsayısı

 G_f : kırılma enerjisi

Çizelge 4.4. Normal beton döşemelerin doğrusal olmayan regresyon değerleri

Döşeme No	σ_N/σ_0	$\log(\sigma_N/\sigma_0)$	$\beta = (D/D_0)$	$\log \beta$
CS ₁	0,221	-0,656	2,33	0,367
CS ₂	0,274	-0,562	2,33	0,367
CS ₃	0,0		2,33	0,367
CM ₁	0,202	-0,695	4,67	0,669
CM ₂	0,202	-0,695	4,67	0,669
CM ₃	0,204	-0,690	4,67	0,669
CL ₁	0,086	-1,065	9,34	0,970
CL ₂	0,0		9,34	0,970
CL ₃	0,102	-0,991	9,34	0,970



Şekil 4.4. Normal betonun doğrusal olmayan regresyonu

4.2. Çelik Lifli Beton Döşemelerin Doğrusal Regresyonu

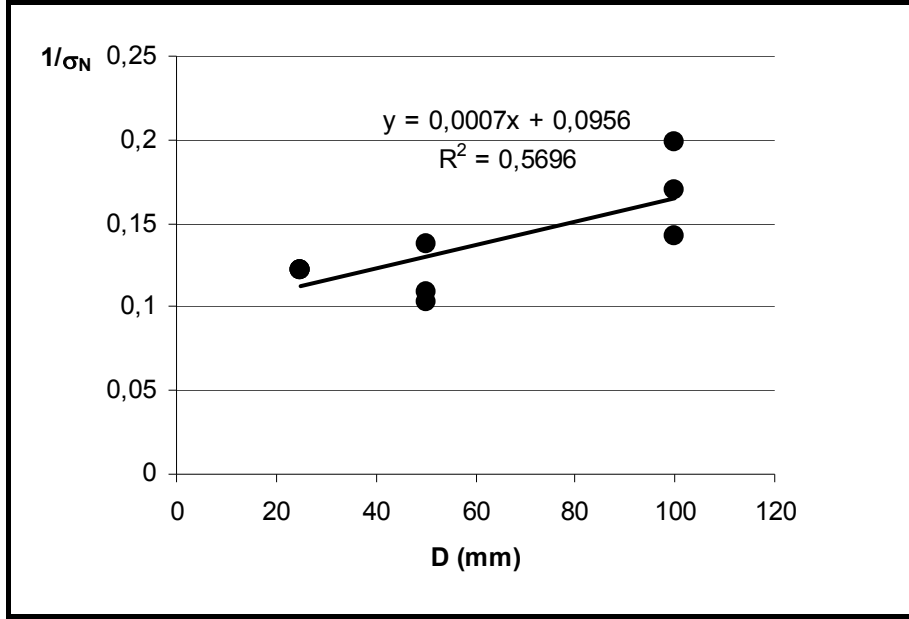
Çizelge 4.5. Çelik lifli beton döşemelerin boyutları

Döşeme No	h (mm) döşeme kalınlığı	a (mm) döşeme boyutu	a (mm) döşeme boyutu	Zımbalama çapı (mm)
SFS ₁	25	125	125	25
SFS ₂	25	125	125	25
SFS ₃	25	125	125	25
SFM ₁	50	250	250	50
SFM ₂	50	250	250	50
SFM ₃	50	250	250	50
SFL ₁	100	500	500	100
SFL ₂	100	500	500	100
SFL ₃	100	500	500	100

Çelik lifli beton döşemenin doğrusal regresyon sonuçları çizelge 4.6'da verilmiştir. Burada verilen deney sonuçlarının Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasasını destekleyip desteklemediği araştırılmıştır. Bu amaçla bu çizelgelerden yararlanılarak veriler, $Y=AX+C$ ile temsil edilir. Dolayısıyla B ve D malzeme ile yapı biçimine bağlı sabitler belirlenip, Bazant'ın önerdiği boyut etkisi araştırılır.

Çizelge 4.6. Çelik lifli beton döşemelerin doğrusal regresyon değerleri

Döşeme No	fc' (N/mm ²)	Pu (kN)	σ (N/mm ²)	1/ σ (mm ² /N)	Boyut D (mm)
SFS ₁	35,29	5,1	8,16	0,12255	25
SFS ₂	35,29	5,1	8,16	0,12255	25
SFS ₃	35,29	5,1	8,16	0,12255	25
SFM ₁	35,29	18,2	7,28	0,13736	50
SFM ₂	35,29	23,0	9,20	0,10870	50
SFM ₃	35,29	24,4	9,76	0,10246	50
SFL ₁	35,29	59,01	5,91	0,16947	100
SFL ₂	35,29	70,22	7,02	0,14241	100
SFL ₃	35,29	50,38	5,04	0,19851	100



Şekil 4.5. Çelik lifli beton döşemelerin doğrusal regresyonu

Excel 2003'den elde edilen doğrusal regresyon sonucu bulunan değerler çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Çelik lifli betonun doğrusal regresyon sonuçları

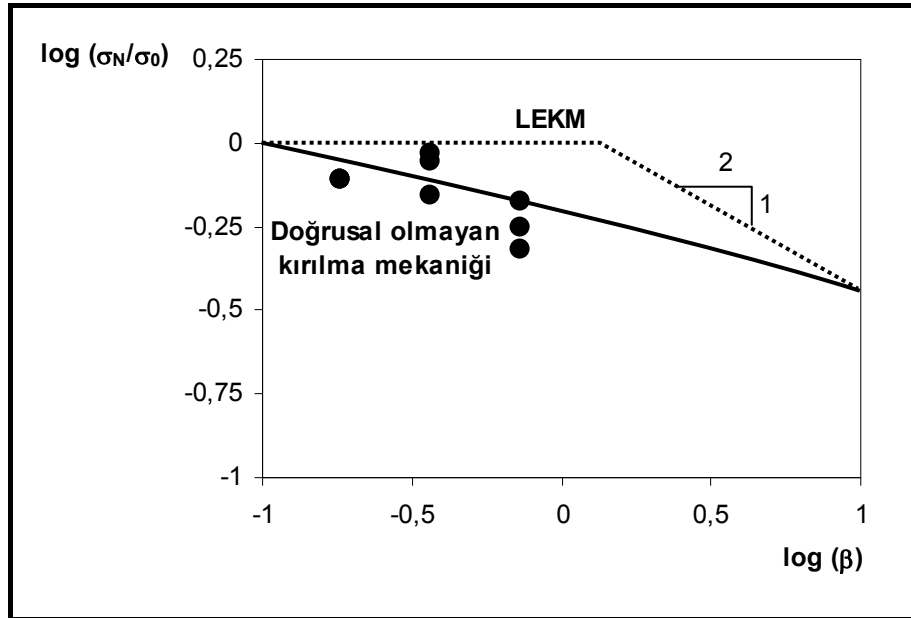
C	A	$D_0 = C/A$ (mm)	$B = \frac{1}{\sqrt{C}}$	r	G_f (N/mm)
0,0956	0,0007	136,57	3,234	0,755	0,5395

r: korelasyon katsayısı

G_f : kırılma enerjisi

Çizelge 4.8. Çelik lifli beton döşemelerin doğrusal olmayan regresyon değerleri

Döşeme No	σ_N/σ_0	$\log(\sigma_N/\sigma_0)$	$\beta = (D/D_0)$	$\log \beta$
SFS ₁	0,78	-0,108	0,183	-0,738
SFS ₂	0,78	-0,108	0,183	-0,738
SFS ₃	0,78	-0,108	0,183	-0,738
SFM ₁	0,696	-0,157	0,366	-0,437
SFM ₂	0,88	-0,055	0,366	-0,437
SFM ₃	0,933	-0,030	0,366	-0,437
SFL ₁	0,56	-0,252	0,732	-0,135
SFL ₂	0,67	-0,174	0,732	-0,135
SFL ₃	0,48	-0,319	0,732	-0,135



Şekil 4.6. Çelik lifli beton döşemelerin doğrusal olmayan regresyonu

4.3. Betonarme Döşemelerin Doğrusal Regresyonu

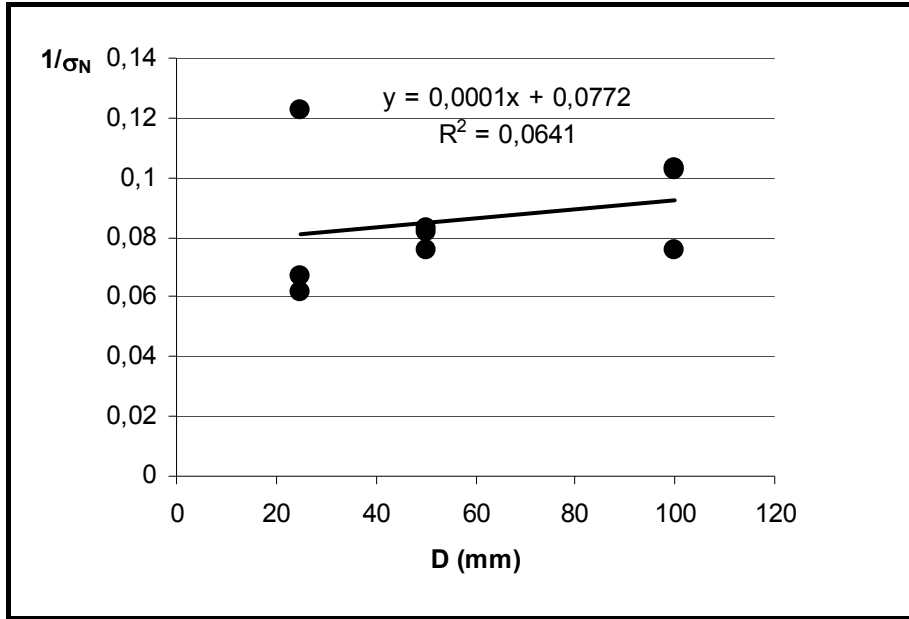
Çizelge 4.9. Betonarme döşemelerin boyutları

Döşeme No	h (mm) döşeme kalınlığı	a (mm) döşeme boyutu	a (mm) döşeme boyutu	Zımbalama çapı (mm)
RCS ₁	25	125	125	25
RCS ₂	25	125	125	25
RCS ₃	25	125	125	25
RCM ₁	50	250	250	50
RCM ₂	50	250	250	50
RCM ₃	50	250	250	50
RCL ₁	100	500	500	100
RCL ₂	100	500	500	100
RCL ₃	100	500	500	100

Betonarme döşemelerin doğrusal regresyon değerleri çizelge 4.10'da verilmiştir. Burada verilen deney sonuçlarının Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasasını destekleyip desteklemediği araştırılmıştır. Bu amaçla bu çizelgelerden yararlanılarak veriler, $Y=AX+C$ ile temsil edilir. Dolayısıyla B ve D malzeme ile yapı biçimine bağlı sabitler belirlenip, Bazant'ın önerdiği boyut etkisi araştırılır.

Çizelge 4.10. Betonarme döşemelerin doğrusal regresyon değerleri

Döşeme No	fc' (N/mm ²)	Pu (kN)	σ (N/mm ²)	1/ σ (mm ² /N)	Boyut D (mm)
RCS ₁	35,25	5,1	8,16	0,12255	25
RCS ₂	35,25	10,1	16,16	0,06188	25
RCS ₃	35,25	9,3	14,88	0,06720	25
RCM ₁	35,25	30,6	12,24	0,08170	50
RCM ₂	35,25	30,1	12,04	0,08306	50
RCM ₃	35,25	32,9	13,16	0,07599	50
RCL ₁	35,25	132,58	13,2584	0,07542	100
RCL ₂	35,25	97,115	9,7115	0,10297	100
RCL ₃	35,25	97,5	9,75	0,10256	100



Şekil 4.7. Betonarme döşemenin doğrusal regresyonu

Excel 2003'den elde edilen lineer regresyon sonucu bulunan değerler çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Betonarme döşemelerin doğrusal regresyon sonuçları

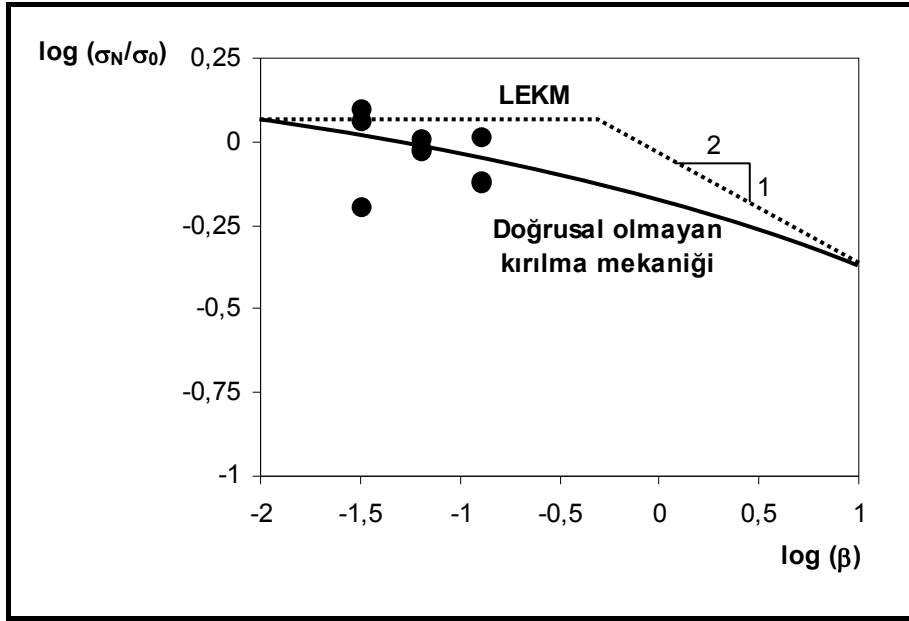
C	A	$D_0=C/A$ (mm)	$B=\frac{1}{\sqrt{C}}$	r	G_f (N/mm)
0,0772	0,0001	772	3,599	0,253	0,3778

r: korelasyon katsayısı

G_f : kırılma enerjisi

Çizelge 4.12. Betonarme döşemelerin doğrusal olmayan regresyon değerleri

Döşeme No	σ_N/σ_0	$\log(\sigma_N/\sigma_0)$	$\beta = (D/D_0)$	$\log \beta$
RCS ₁ (Ø2)	0,63	-0,201	0,0324	-1,489
RCS ₂ (Ø2)	1,25	0,097	0,0324	-1,489
RCS ₃ (Ø2)	1,15	0,061	0,0324	-1,489
RCM ₁ (Ø4)	0,945	-0,025	0,0648	-1,188
RCM ₂ (Ø4)	0,93	-0,0315	0,0648	-1,188
RCM ₃ (Ø4)	1,016	0,0069	0,0648	-1,188
RCL ₁ (Ø8)	1,024	0,0103	0,1295	-0,8877
RCL ₂ (Ø8)	0,75	-0,125	0,1295	-0,8877
RCL ₃ (Ø8)	0,753	-0,123	0,1295	-0,8877



Şekil 4.8. Betonarme döşemenin doğrusal olmayan regresyonu

5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu eleman, yapı problemlerinin çözümü için yaklaşık bir çözüm yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir [12]. Yöntemin üç temel niteliği vardır. İlk olarak, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayrılır. İkincisi her elemandaki, sürekli fonksiyonlar cebirsel normların lineer elemandaki, sürekli olan tanım eşitliklerinin belirli noktadaki (düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır. Kullanılan yaklaşım işlevleri interpolasyon kuramının genel kavramları kullanılarak polinomlar seçilir. Seçilen polinomların derecesi ise, çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır.

Sonlu elemanlar yönteminin kullanılması ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, bugüne kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen birçok makine elemanın (motor blokları, pistonlar, vs.) kolayca incelenebilmesi, hatta çizim esnasında mukavemet analizlerinin kısa sürede yapılarak optimum tasarımının gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemini diğer sayısal yöntemlerden üstün kılan başlıca unsurlar şöyle sıralanabilir:

- a) Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir.
- b) Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir.
- c) Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler incelenebilir.

d) Neden sonuç ilişkisine ait problemler, genel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar yönteminin bu özelliği problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesi olasılığını artırıp basitleştirir.

e) Sınır koşulları kolayca uygulanabilir.

Sonlu elemanlar yönteminin temel ilkesi, öncelikle bir elemana ait sistem özelliklerini içeren eşitliklerin çıkartılıp tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman eşitliklerini birleştirerek sisteme ait doğrusal eşitlik takımının elde edilmesidir.

5.1. Malzeme Modeli

5.1.1. Donatı

Malzeme modeli, yükleme esnasında malzemenin gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin matematiksel formülasyonudur. Hem elastik limit öncesi bölümü, hem de akma sonrası pekleşme/yumuşama bölümünü matematiksel olarak belirleyen bu model, elastik veya inelastik davranış sergileyen lineer ve lineer olmayan malzemeler deney ve gözlemlere bağlı olarak tanımlanır. Malzeme özelliklerini tanımlayan bu matematiksel ilişkiler; ilk akma yüzeyini (akma kriteri), akmadan sonraki yüklemeler plastik deformasyon yarattıkça değişebilen akma yüzeylerini (pekleşme) ve akma durumunda gerilme artışı için elastik ve plastik şekil değiştirme aralıkları belirler. Denge denklemleri ile uygunluk denklemleri arasındaki ilişki, bu gerilme-şekil değiştirme ilişkisinden bulunur. Temel olarak, betonun malzeme davranışının modellenmesi için, bir akma kriterine, gerilme şekil değiştirme ilişkisine ve pekleşme modeline ihtiyaç vardır. Hesaplanan asal gerilmeler, akma kriterine göre ortalama gerilmeye çevrilmekte, elde edilen bu gerilme değerleri ile şekil değiştirme-gerilme grafiğine göre davranış belirlenmekte ve son olarak seçilen göçme

kriterinde çatlama veya ezilme olup olmadığı belirlenmektedir. Söz konusu model ve kriterler aşağıda açıklanmıştır.

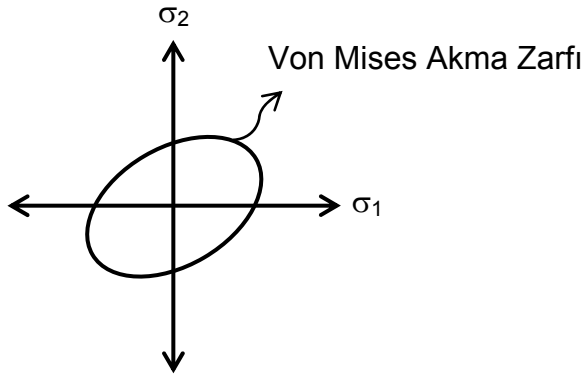
Von Mises akma kriteri

Plastik davranış, malzemenin akma sınırının aşılması ile geri dönüşü olmayan şekil değiştirmelerin oluşması ile tanımlanır. Ayrıca yüklemenin hızı, büyüklüğü, tersinir olup olmaması gibi özellikleri, plastik davranışı etkilemektedir. Bu sebeplerden dolayı plastisite içeren analizlerde, yük adımları gereği kadar küçük tutulmalıdır.

Akma yüzeyi ise, plastik davranışın sınırlarını oluşturmaktadır. Başka bir deyişle, herhangi bir üç boyutlu gerilme kombinasyonu için elastik davranışın limitidir. Farklı malzemeler için değişik akma yüzeyleri tanımlanmıştır. Bunlar, maksimum asal gerilme, maksimum asal şekil değiştirme, maksimum kesme kuvveti, toplam şekil değiştirme enerjisi teorisi ve şekil bozulması enerjisi teorilerine (distortion energy theory) dayanır. Donatı malzemesi için tercih edilen kriter ise, şekil bozulması enerjisi teorisine dayanan Von Mises kriteridir Eş. 5.1.

$$\sigma_e = [1/2 [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]]^{1/2} \quad (5.1)$$

Burada $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ asal gerilmeleri, σ_e ise eşdeğer gerilmeyi ifade etmektedir. $\sigma_e < \sigma_y$ durumunda, gerilme durumu akma yüzeyinin dışına çıkamayacak ve malzeme lineer elastik davranacaktır. Bu eşitlik 3 boyutlu uzayda bir silindir, 2 boyutlu uzayda ise bir elips tanımlamaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. İki boyutlu Von Mises akma zarfı

Lineer veya lineer olmayan elastik malzemeler için göçme yüzeyi bütün yük durumları için sabit kalmaktadır. Bu göçme yüzeyi, pekleşen yani akmadan sonra gerilme artışına dayanabilen malzemelerde genişlemekte, yumuşayan malzemelerde ise daralmaktadır. İzotropik, kinematik ve karma olmak üzere üç adet pekleşme modeli mevcuttur.

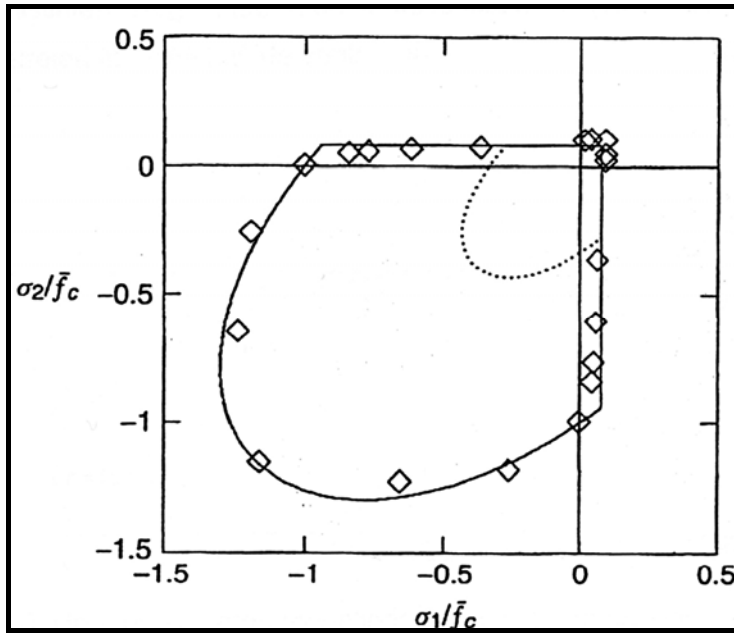
İzotropik pekleşme olayında, akma yüzeyi düzgün olarak genişlemektedir. Göçme yüzeyinde herhangi bir şekil değişikliği, dönme veya ötelenme olmamaktadır. Bu model tipik olarak monotonik yüklemeler için kullanılmaktadır. Malzemenin ters yönde plastik deformasyona uğraması ile plastik deformasyona karşı koyma gücünün azalması olarak tanımlanan 'Baschinger Etkisi', izotropik pekleşme davranışında yer almamaktadır. İzotropik pekleşme, karmaşık yükleme durumları ve tersinir-tekrarlanır yükleme durumlarında kullanılmamaktadır.

5.1.2. Beton modeli

Beton davranışının modellenmesi için uygun modelin bulunması, tez çalışmasının en kritik yerlerinden birini teşkil etmektedir. Beton, basınç ve çekme dayanımı birbirinden çok farklı olan, anizotropik, heterojen, nonlineer bir malzemedir. Ayrıca, özellikle çatlamış durumda, davranışı birçok ikinci derece mekanizmalardan etkilenir. Bir yapının dayanımını, sünekliğini,

göçme modunu ve deplasmanı etkileyen bu faktörlerden bazıları basınç yumuşaması, agrega kilitlemesi, donatının kaldıraç etkisi, arayüz gerilmeleri, aderans, boyut etkisi, sünme ve rötredir.

Beton, basınç kuvvetlerine iyi bir şekilde karşı koyabilse de, çekme mukavemeti basınç mukavemetin yaklaşık 1/10'u oranındadır. Deneysel verilerle elde edilen iki eksenli göçme yüzeyi Şekil 5.2'de yer almaktadır. Şekil incelendiğinde, çekme kuvvetlerinin iki yönde etkimesi durumunda dayanımın tek eksenli çekme dayanımından farklı olmadığı görülmektedir. Ancak bir yüzeyde basınç, diğer yüzeyde çekme kuvvetleri olması durumunda dayanım azalmaktadır. İki yüzeyde de basınç durumunda, yaklaşık %25'e kadar varan dayanım artışı gözlenmektedir.



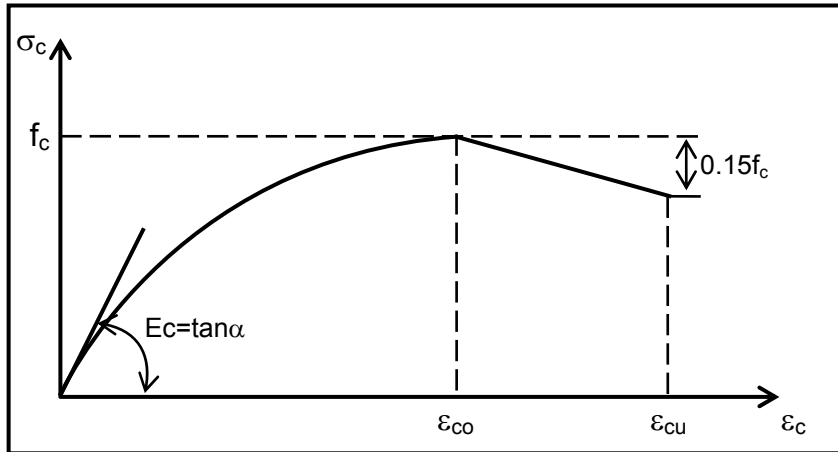
Şekil 5.2. Betonun iki eksenli göçme yüzeyi

Ayrıca beton davranışı, yükleme durumuna bağlıdır. Basınç altında nonlineer davranırken, çekmedeki davranışı lineer olmaktadır. Sargılı olması durumunda ise bir seviyeye kadar süneklik gösterebilirken, sargısız ve donatısız halde oldukça gevrekler. Basınç kuvvetleri altında dayanımının %30

oranına kadar lineer davranmakta, daha sonra oldukça geniş bir şekilde nonlinear davranış göstermektedir.

Beton davranışı incelendiğinde, elastik davranışının sonunda çatlakların oluşmasıyla rijitliğinin azaldığı, dayanımının sonuna ulaştığında ise daha az yüklü liflere yük aktarımı ile oluşan yeniden dağılım gereğince taşınan yükün azaldığı ve maksimum basınç dayanımından daha düşük bir seviyede ezilme olduğu gözlemlenmektedir.

Betonun bu davranışı için, deney sonuçlarına dayanan birçok matematiksel model öne sürülmüştür. Hognestad, Kent ve Park, Üzümeri ve Sheikh bunlardan bazılarıdır. Tez çalışmasında, bu modeller arasında sargısız beton için geliştirilen Hognestad modeli kullanılmıştır [16]. Bu modelin genel parametreleri ile Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Hognestad beton modelinde yer alan parametreler

Bu modelde gerilme şekil değiştirme ilişkisi, tepe noktasına kadar parabol ile tanımlanmış olup, yumuşama bölümünün doğrusal olduğu varsayılmıştır. Bu parabolün eşitliği, Eş. 5.2 ile tanımlanmıştır.

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (5.2)$$

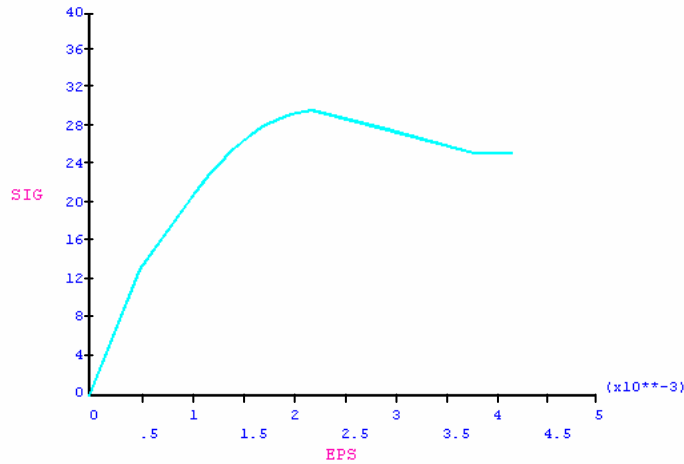
Betonun basınç dayanımına karşılık gelen tepe noktasındaki şekil değiştirme Eş. 5.3 ile tanımlanmıştır. Kopma gerilmesindeki şekil değiştirmesi ise 0.0038 olarak alınmaktadır.

$$\varepsilon_{co} = \frac{2f_c}{E_c} \quad (5.3)$$

Hognestad modelinde betonun başlangıç elastisite modülü için Eş. 5.4 kullanılmaktadır.

$$E_c = 12680 + 460f_c \quad (\text{MPa}) \quad (5.4)$$

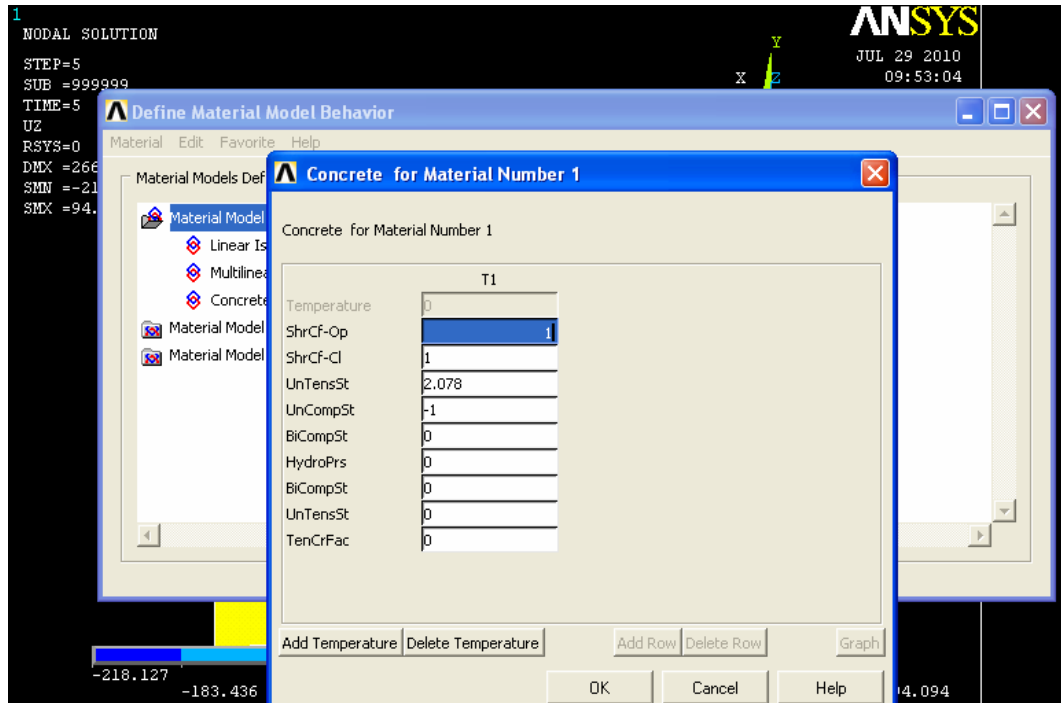
T1=0.00



Resim 5.1. Çelik lifli, betonarme, normal beton döşemelerde beton için kullanılan Hognestad modelinin grafiği

Hognestad modeline göre oluşturulan ve gerilme şekil değiştirme eğrileri yukarıda tanımlanan beton için ayrıca ANSYS'de William-Warnke göçme modelinde kullanılan parametreler tanımlanmıştır. Bu parametreler aşağıda kısaca tanımlanacak olursa;

1. Açık çatlak için kesme transfer katsayısı
2. Kapalı çatlak için kesme transfer katsayısı
3. Tek eksenli çekme dayanımı
4. Tek eksenli basınç dayanımı
5. İki eksenli basınç dayanımı
6. Ambient hidrostatik gerilme durumu altında iki eksenli basınç dayanımı
7. Ambient hidrostatik gerilme durumu altında tek eksenli basınç dayanımı
8. 6. ve 7. sabitlerle kullanılan hidrostatik gerilme durumu
9. Çatlamış durum için rijitlik çarpanı



Resim 5.2. Betonarme döşemelerin William-Warnke parametreleri

5.2. ANSYS Modellemesi

ANSYS, 1971 yılında ilk yayınlanmasından günümüze kadar; statik, dinamik, ısı transferi, akışkan mekaniği ve elektromanyetizma analizlerinde yaygın olarak kullanılmış olan kapsamlı ve çok amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Bu yapısı onun havacılık, otomotiv, elektronik ve nükleer alanlarında da uygulanmasını mümkün kılmaktadır.

Ülkemizde mühendislik uygulamalarında birçok ticari sonlu eleman yazılımları kullanılmaktadır. Genelde bu programlar, tasarıma yöneliktir. Bünyelerinde bulundurdukları tasarım araçlarının, önceden tanımlanmış dünya şartnamelerinin ve tasarım tipinin (çelik-betonarme) kullanıcı ihtiyaçlarına uygunluğu oranında kendilerine kullanım alanı bulurlar. Uygulamaya yönelik olduklarından bünyelerinde karmaşık malzeme modelleri yoktur.

Tez çalışması kapsamındaki ilgili deney modellerinin yapılmasında, yapısında özellikle beton için uygun malzeme modeli buldurması ve çatlak modeline sahip olması sebebiyle ANSYS yazılımından yararlanılacaktır.

ANSYS bünyesindeki temel sonlu eleman analizi adımları ve kullanılan işlemci tipleri aşağıda sıralanmıştır.

Önişlemci (Prep1)

- Eleman tiplerinin belirlenmesi
- Eleman sabitleri (real constants)
- Malzeme özelliklerinin tanımlanması
- Model geometrisinin girilmesi
- Sonlu elemanlar ağı özelliklerinin belirlenmesi
- Yaratılan geometriyi ağa bölmek

Çözüm İşlemcisi (SOLUTION)

- Sınır (mesnet) koşullarının belirlenmesi
- Dış yüklemenin girilmesi
- Nodal çözümün yapılması ve ilgili eleman özelliklerinin hesaplanması

Sonışlemci (POST1)

- Sonuçların listelenmesi
- Sonuçların görselleştirilmesi

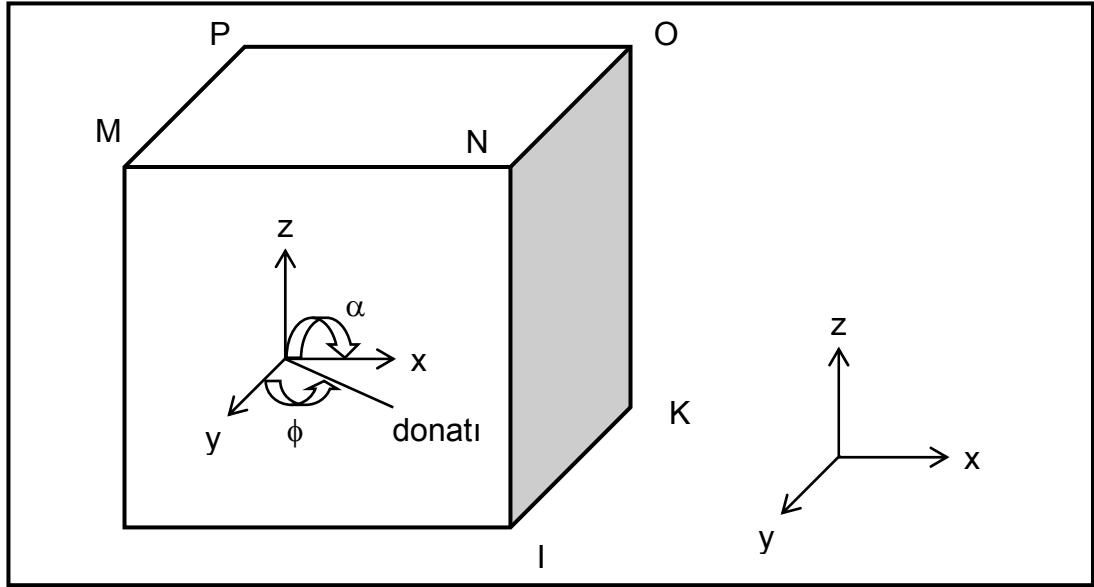
5.2.1. Eleman tipleri

ANSYS yazılımında birçok eleman tipi bulunmaktadır. Deneyde yer alan farklı malzemeler için farklı eleman tipleri seçilmiştir. Eleman tipi seçiminde, nod sayısı, boyut sayısı, içinde gizli bir eleman bulundurması veya tabakalar halinde modellenebilirliği gibi kriterler göz önünde bulundurulur. Her ayrı eleman tipi için, daha karmaşık özelliklerin belirtilmesi amacıyla, malzeme sabiti grupları (real constant set) tanımlanmalıdır. Böylelikle aynı eleman ve malzeme tipi için farklı özelliklerde elemanlar yaratılabilir.

Beton

Beton modellemesi için ANSYS'in bünyesinde yer alan eleman tiplerinden solid 65 elemanı kullanılmıştır. Solid 65; beton ve betonarme elemanlar için ayrılmış; çekmede çatlama, basınçta ezilme, plastik deformasyon ve sünme özelliklerini barındıran 8 düğüm noktalı solid elemandır. Her düğüm noktasında x, y, z yönlerinde 3 ötelenme serbestlik derecesine sahiptir. Donatısız olarak da kullanılabileceği gibi, bünyesinde 3 farklı malzeme ve kesit özellikli donatı tanımlanabilir. Solid 65 elemanı asal gerilmelere dik olarak çatlama, plastik deformasyon yapma ve ezilme davranışı gösterme

özelliklerine sahiptir. Ayrıca, çoklu gerilme durumu için betonun kırılma kriteri de solid 65 elemanında mevcuttur. Bu elemanın geometrisi ve düğüm noktaları Şekil 5.4'de yer almaktadır.

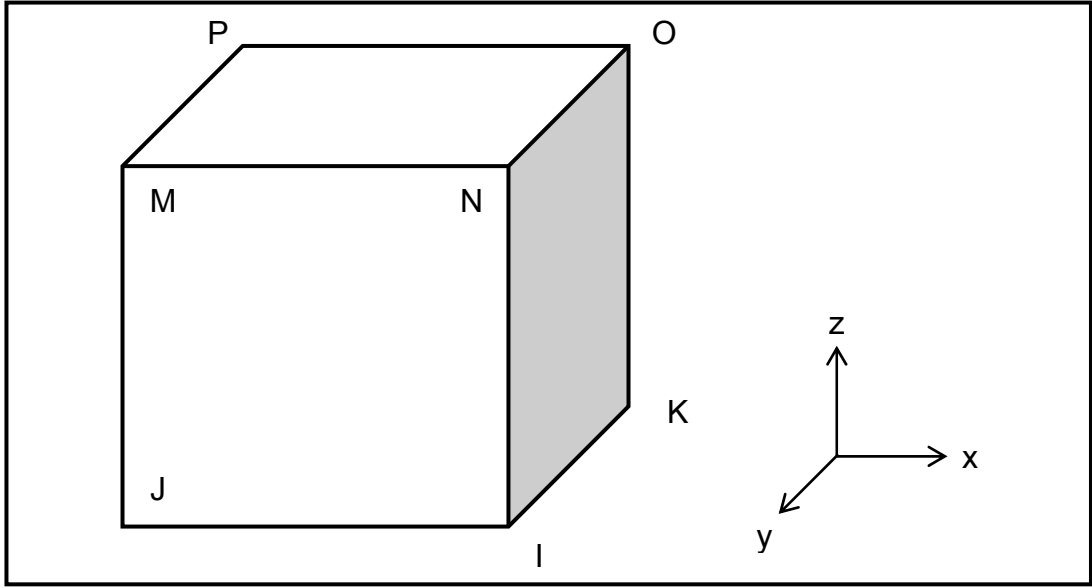


Şekil 5.4. Solid 65 elemanı [17]

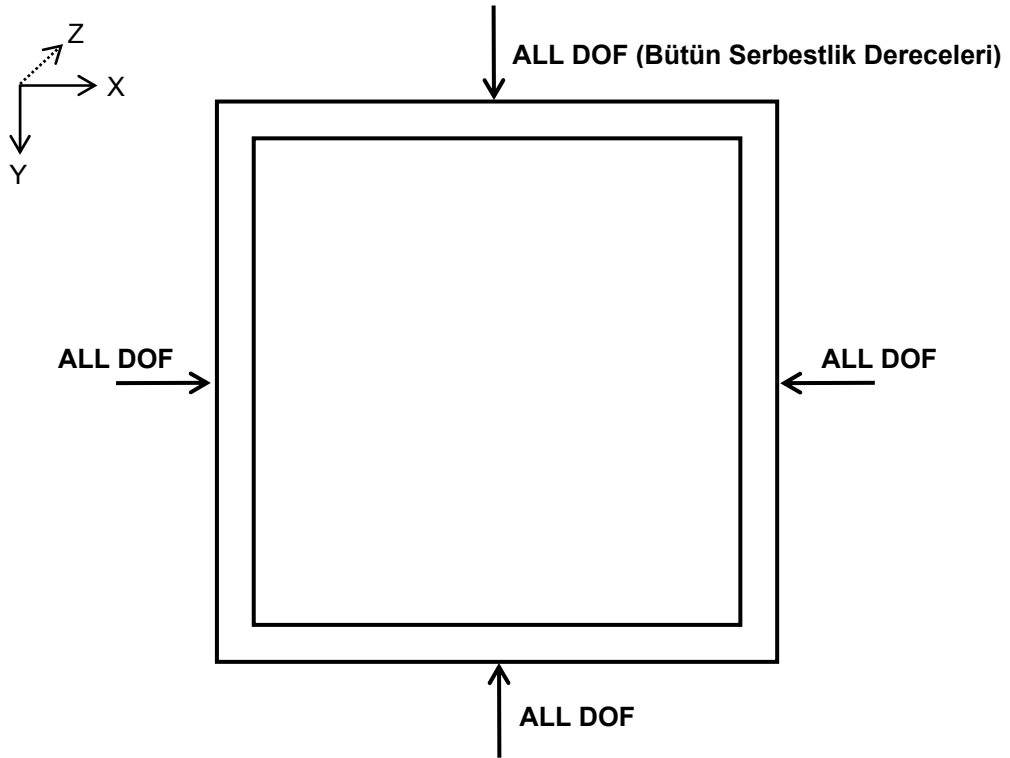
Analizlerde basınç dayanımı 35 MPa olan beton sınıfı kullanılmıştır. C35 dayanım sınıfı için başlangıç Elastisite Modülü ve gerilme-şekil değiştirme ilişkisi için Hognestad Modeli kullanılmıştır.

Mesnetler

Bu tezin ANSYS kısmında mesnet noktalarında; lokal gerilme yığılmalarını önlemek üzere pekleşmesiz çelikten yapılmış çizgi mesnetler kullanılmıştır. Çizgi mesnetler için, ANSYS bünyesinde sekiz düğüm noktalı ve her düğüm noktasında üç serbestlik derecesine sahip Solid 45 elemanı kullanılmıştır. Mesnetin tüm noktalarında sınır şartları ALL DOF (Bütün Serbestlik Dereceleri) olarak seçilmiştir. Bu elemanın geometrisi ve düğüm noktaları Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



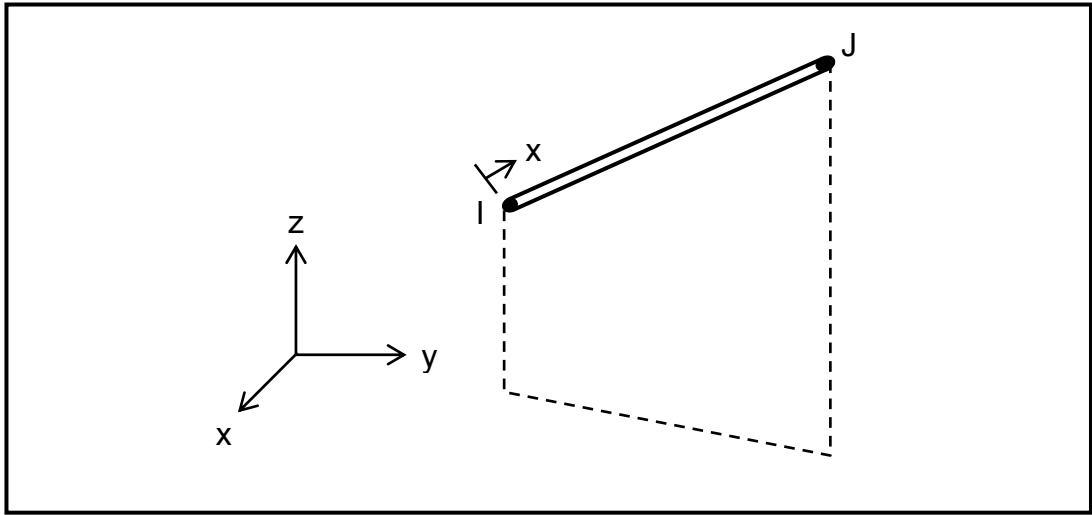
Şekil 5.5. Solid 45 elemanı [17]



Şekil 5.6. Mesnet, sınır şartları

Donatılar

Betonarme Solid 65 elemanı dışında donatı ayrı tanımlanmak istenirse, yine ANSYS Sonlu Elemanlar Programının bünyesinde yer alan Link 8 iki düğüm noktalı çubuk elemanı kullanılabilir. Link 8 elemanının da her bir düğüm noktasında x, y, z yönlerinde 3 ötelenme serbestlik derecesi vardır. Tek eksenli çekme ve basınç elemanıdır, eğilme hesaba katılmaz. Link 8 çubuk elemanının geometrisi ve düğüm noktaları Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Link 8 çubuk elemanı

Çelik lifler

ANSYS'in bünyesinde çelik lifli betonu tanımlayan özel bir eleman tipi bulunmamaktadır. Bu nedenle çelik lifler solid 65 beton elemanı içinde gizli olarak tanımlanmıştır.

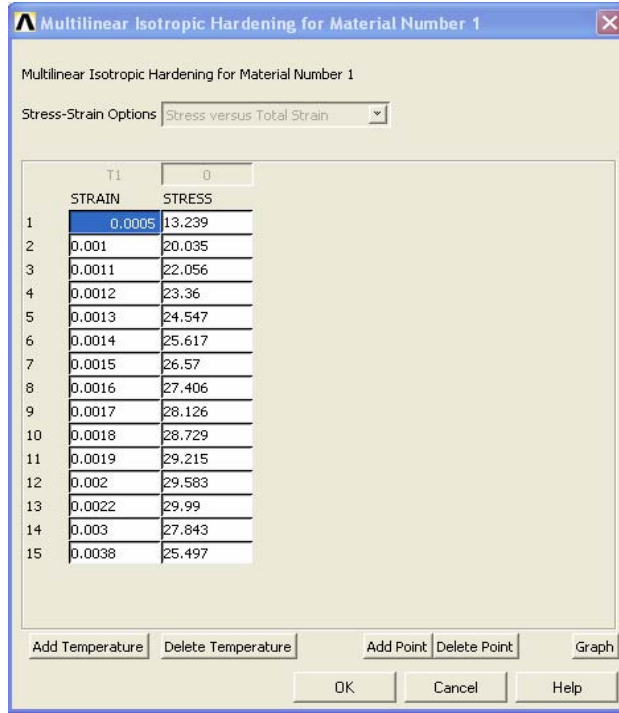
Yükleme plakaları

ANSYS modellemesinde yükün döşemeye uniform aktarılmasını sağlayan yüklem plakaları için pekleşmesiz çelik malzemeyi tanımlayan solid 45 elemanı kullanılmıştır.

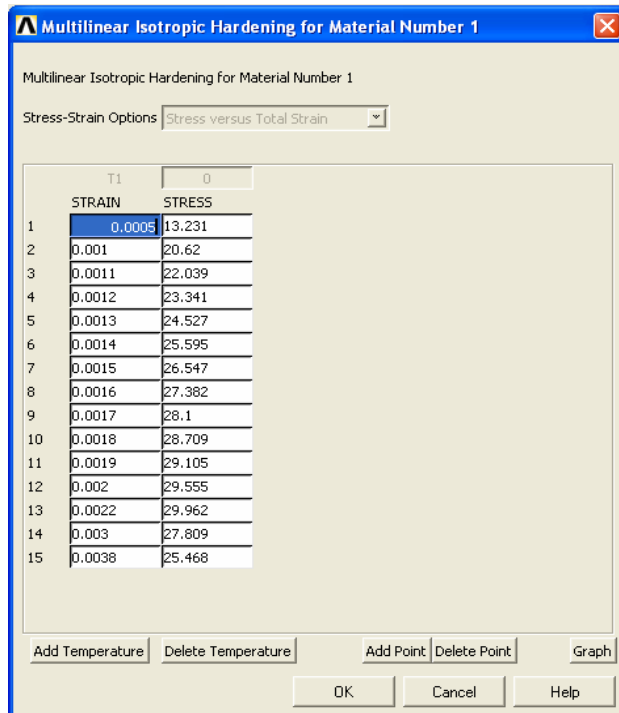
5.2.2. Malzeme özellikleri

ANSYS Sonlu Elemanlar Programı ile laboratuarda deneyleri yapılan modellerin analizleri için deneylerde olduğu gibi kademeli olarak artan yükler verilmiştir. Normal beton modellerde, beton için Elastisite Modülü silindir basınç deneyinden 26396,28 MPa ve poisson oranı 0,2 alınmıştır. Çelik lifli modellerde ise Elastisite Modülü silindir basınç deneyinden 26478,39 MPa ve poisson oranı 0,2 alınmıştır. Mesnetler ve yüklem plakaları için $E=200000$ MPa ve poisson oranı 0,3 alınmıştır. Donatılı modellerde ise betonun Elastisite Modülü, 26462,75 MPa, donatının Elastisite Modülü ise aksenal çekme deneyinden elde ettiğimiz 207000 MPa, poisson oranı 0,3, akma dayanımı 407 MPa ve tanjant modülü 10000 olarak alınmıştır. L numunelerde Ø8, M numunelerde Ø4, S numunelerde ise Ø2'lik donatı kullanılmıştır.

L numunelerde real constant değeri $50,24 \text{ mm}^2$, M numunelerde real constant değeri $12,56 \text{ mm}^2$, S numunelerde real constant değeri $3,14 \text{ mm}^2$ olarak alınmıştır.



Resim 5.5. Çelik lifli betonun “multilinear isotropic hardening” strain-stress değerleri



Resim 5.6. Betonarme betonunun “multilinear isotropic hardening” strain-stress değerleri

Multilinear Isotropic Hardening for Material Number 1

Stress-Strain Options: Stress versus Total Strain

T1	0	
STRAIN	STRESS	
1	0.0005	13.198
2	0.001	20.554
3	0.0011	21.97
4	0.0013	24.442
5	0.0014	25.505
6	0.0015	26.45
7	0.0016	27.326
8	0.0017	27.991
9	0.0018	28.586
10	0.0019	29.073
11	0.002	29.426
12	0.0022	29.818
13	0.003	27.668
14	0.0038	25.346

Buttons: Add Temperature, Delete Temperature, Add Point, Delete Point, Graph, OK, Cancel, Help

Resim 5.7. Normal betonun “multilineer isotropic hardening” strain-stress değerleri

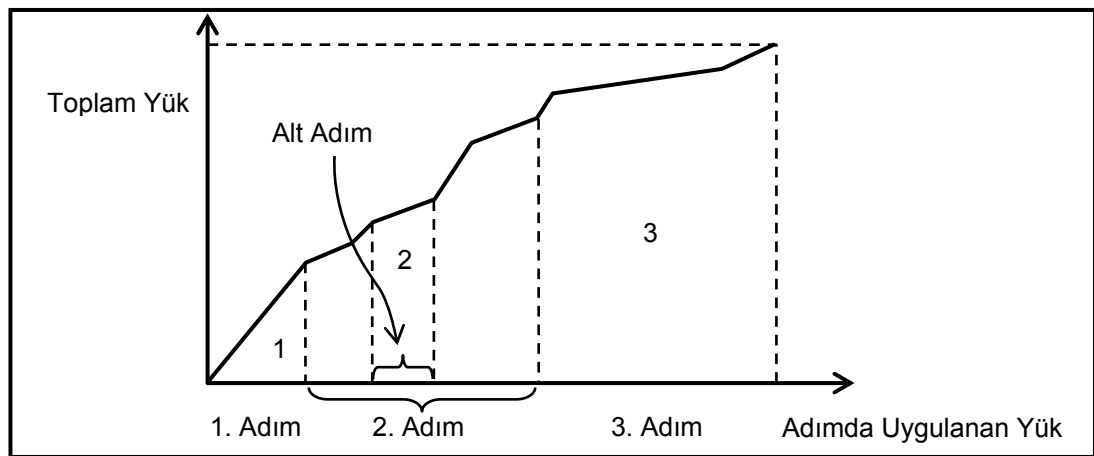
5.2.3. Nonlineer çözüm

Yükleme

Nonlineer analizde, sonlu elemanlar modeline etki eden toplam yük, yük adımı denilen küçük parçalara bölünmektedir. Lineer olmayan davranış sebebiyle, her yük adımından sonra modelde rijitlik değişimleri olmaktadır. Bu değişikliklerin çözüme yansıtılması için, her yük adımından sonra rijitlik matrisi güncellenmektedir. Bu noktadan hareketle, doğru analiz sonuçları elde etmek için yük adımlarının da doğru olarak tayin edilmesi gerekmektedir. ANSYS’de yük adımlarının kontrolü için farklı yöntemler mevcuttur. Toplam yük, kullanıcı tarafından yukarıda bahsedilen davranış esaslarına göre yük adımlarına ayrıldıktan sonra, bu adımların kaç parçaya bölüneceği ANSYS tarafından tayin edilebilmektedir. Yani ANSYS’in otomatik zaman adımlama (Automatic time stepping) özelliği sayesinde, yakınsama durumuna göre yük seviyeleri ayarlanmaktadır. Yakınsamanın kolay olduğu seviyelerde adım

sayısı azaltılmakta, zor yakınsama elde edilen bölümlerde ise adım sayısı arttırılmaktadır. Ancak bunun için, programın uygulayacağı ilk alt adım sayısının ve ANSYS'in seçeceği alt adım sayısının minimum-maksimum değerlerinin kullanıcı tarafından sağlanması gerekmektedir. Herhangi bir sebepten dolayı yakınsama olmaması durumunda yük alt adımı, belirlenen maksimum alt adım sayısı değerine kadar azaltılmaktadır. Yakınsamanın çabuk elde edildiği durumlarda ise alt adım sayısının minimum değeri kullanılmaktadır. Tez çalışmasında, minimum 10, maksimum 100 alt adım sayısı kullanılmıştır.

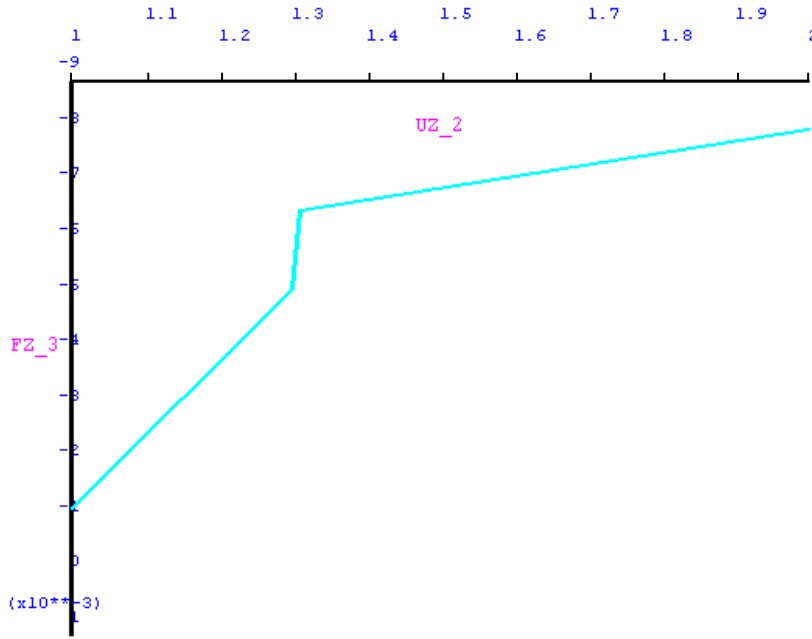
Toplam basınç dayanımının sadece %30'una kadar lineer davranan betonda, lineer kısım için daha az yükleme adımına ihtiyaç varken, çatlaklar oluşuktan ve nonlinear davranış başladıktan sonra yük adımlarının küçültülmesi gerekmektedir. Örnek olarak, Şekil 5.8'de toplam yükün üçe bölünerek uygulandığı, yani üç yük adımına sahip bir analiz verilmiştir. İlk adım süresince davranış lineer olduğundan, ANSYS başlangıç alt adım sayısını değiştirmemiştir. Ancak 2. bölgeye geçildiğinde, yakınsama sorunlarından dolayı artık yük eşit parçalara bölünememiş, ANSYS'in otomatik zaman ayarlama özelliği sayesinde anlık rijitlik matrisi ve analizin yakınsama durumuna göre farklı büyüklüklerde uygulanmıştır.



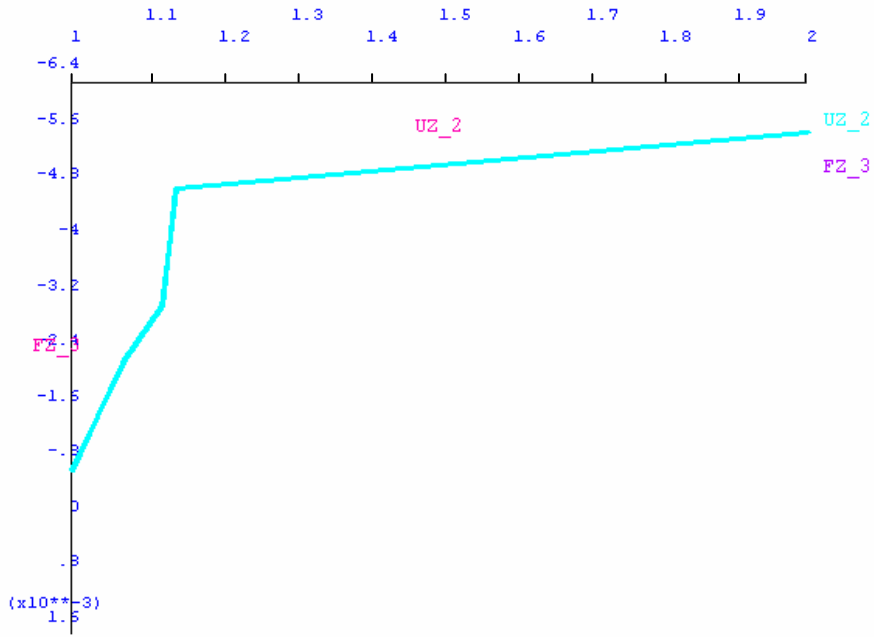
Şekil 5.8. Yük adımları ve alt adımları

Çizelge 5.1. ANSYS'den elde edilen kırılma yükü değerleri

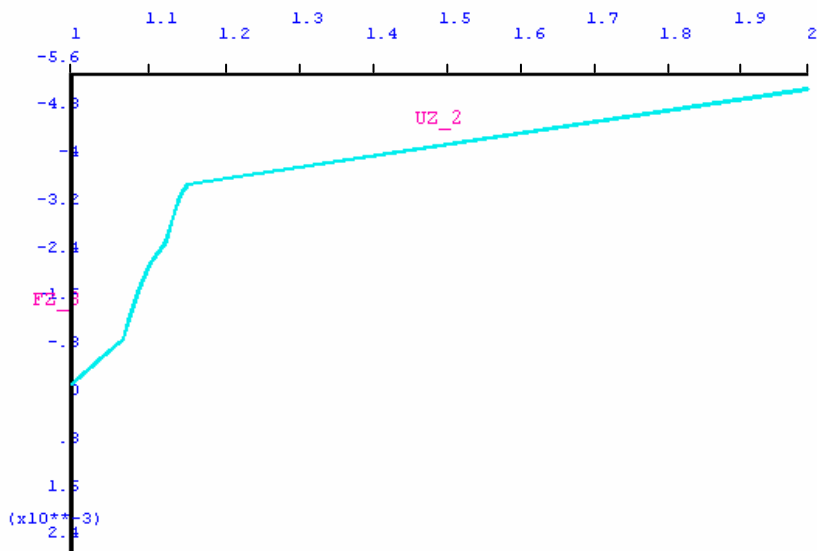
Döşeme No	Yük (N)
RCL (Ø8)	179388
RCM (Ø4)	46271
RCS (Ø2)	11459
SFL	131853
SFM	35130
SFS	9877
CL	119520
CM	79417
CS	18788



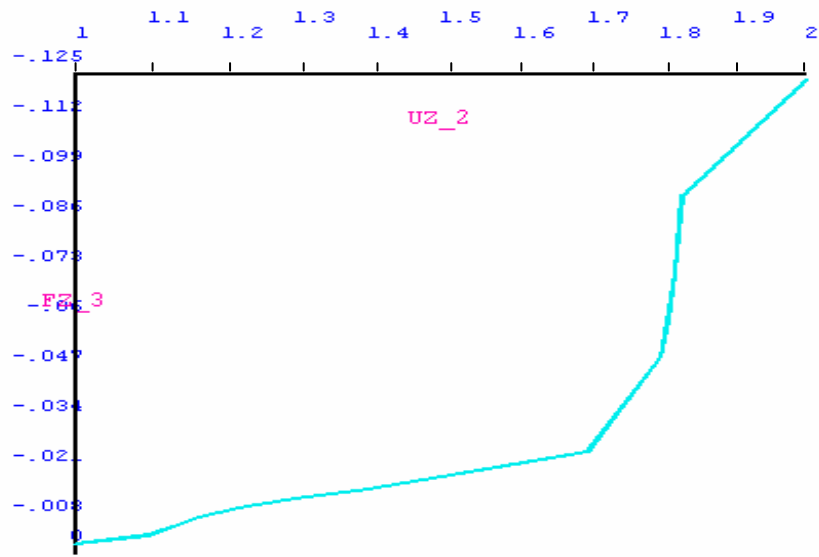
Resim 5.8. RCL döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği



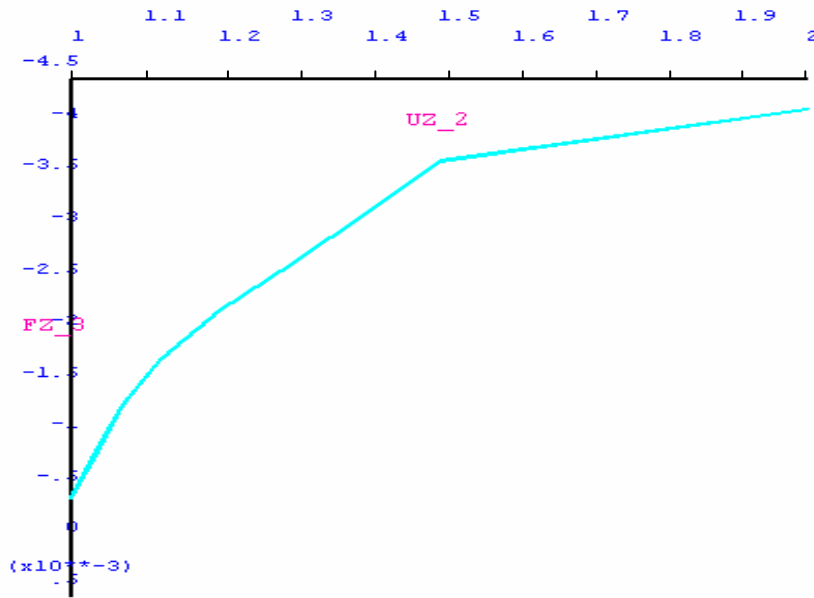
Resim 5.9. RCM döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği



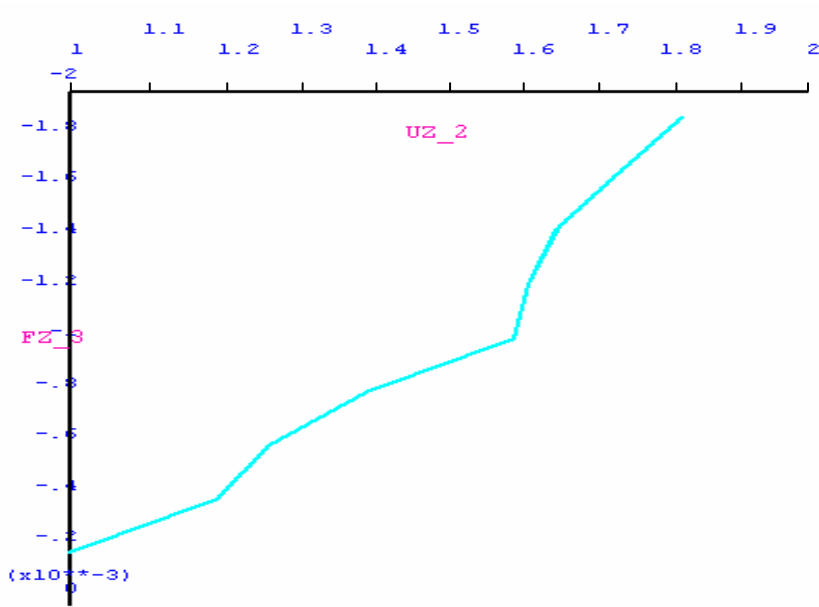
Resim 5.10. RCS döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği



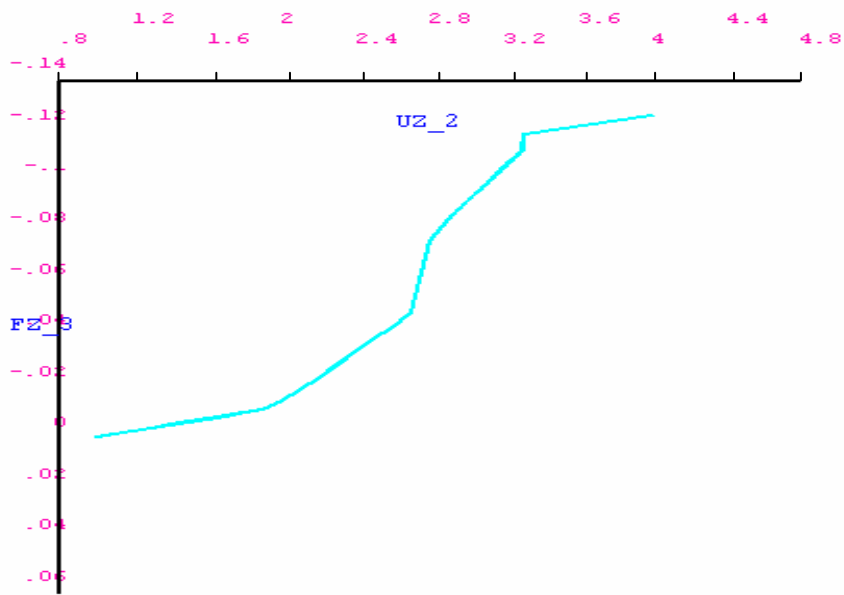
Resim 5.11. SFL döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği



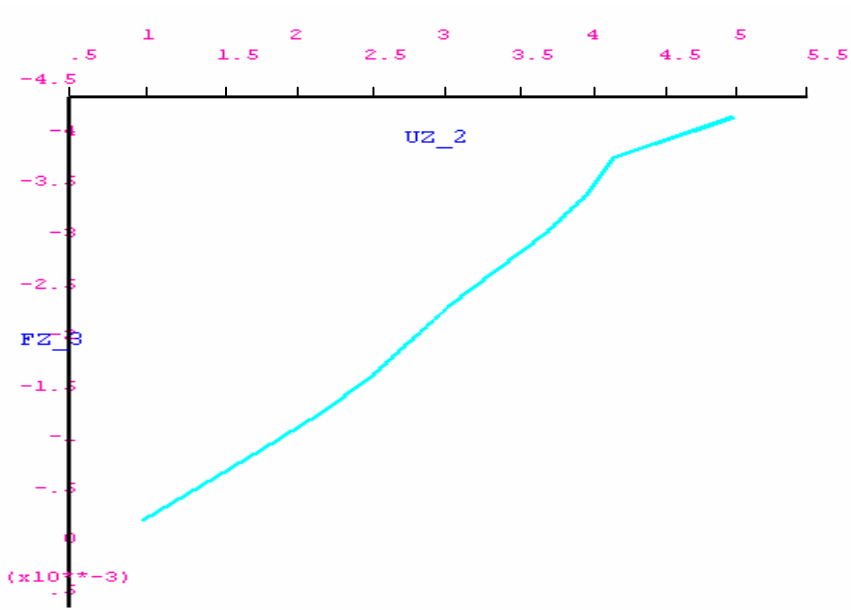
Resim 5.12. SFM döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği



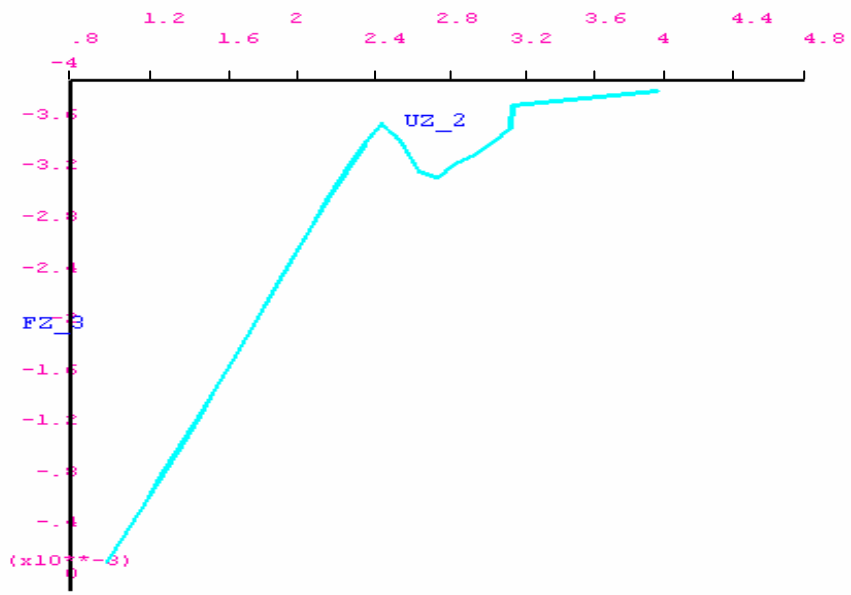
Resim 5.13. SFS döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği



Resim 5.14. CL döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği



Resim 5.15. CM döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği



Resim 5.16. CS döşemesinin ANSYS'den elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Farklı boyutlarda kare kesitli döşemelerin zımbalama yüklemesi deneyleri yapılmıştır. Bu araştırmalar, boyut etkisinin varlığını göstermektedir. Göçmede nominal gerilmenin boyut arttıkça azaldığı görülmüştür.
2. İnce döşemeler plastisiteye yakın, kalın döşemeler ise LEKM'ye yakın ve gevrek davranmıştır. Bu durum; döşemelerin zımbalama davranışında boyut etkisi kanununun varlığını göstermektedir.
3. Döşeme boyutu arttıkça, gevreklik artmaktadır. Yük-yer değiştirme grafiklerinde, genelde, büyük boyutlu döşemelerde daha dik, küçük boyutlu döşemelerde ise daha yatık bir başlangıç eğimi olduğu görülür. Bunun nedeni büyük elemanların daha rijit davranmalarıdır. Benzer şekilde maksimum yük sonrası yumuşamalarda da, genelde büyük boyutlu döşemelerin daha dik, küçük boyutlu döşemelerin daha yatık bir eğimle eğrileri tamamladıkları görülür. Bunun nedeni ise, büyük boyutlu döşemelerin LEKM'ye daha yakın ve daha gevrek bir göçme davranışının oluşmasıdır. Büyük boyutlu döşemeler deneyler sırasında daha ani ve gürültülü bir göçme davranışı göstermişlerdir.
4. Betonarme ve çelik lifli döşemelerin gevrekliği, normal beton döşemeye göre daha az, zımbalama kapasitesi daha yüksektir.
5. Betonarme ve çelik lifli döşemeler, normal beton döşemeye göre daha kademeli göçme göstermiştir.
6. Betonarme ve çelik lifli betonun göçme yükü, rijitliği normal betondan fazladır.
7. Betonarme ve çelik lifli beton kullanıldığında zımbalama sonrası oluşan çatlaklar çok ve kolon civarında iken, normal beton döşemede çatlaklar az ve daha geniş alana yayılmıştır.
8. Betonarme ve çelik lifli döşemelerin pik yük sonrası deformasyon yapabilme yeteneği normal beton döşemeden fazladır.
9. Betonun dayanımı, döşemenin zımbalama kapasitesi ve zımbalama davranışı üzerinde doğrudan etkilidir. Betonarme ve çelik lifli

döşemelerin başlangıç ve çatlak sonrası rijitliklerinin normal beton döşemelerden çok daha yüksek olduğu test edilmiştir.

10. ANSYS modellemesinde mesh yoğunluğunun artırılarak nonlineer analiz adım aralıklarının sıklaştırılması ile analizlerin yapılması daha iyi sonuç vermeye yardımcı olacaktır.
11. ANSYS modellemesinde beton, gerçeğin aksine homojen ve izotropik bir malzeme olarak kabul edilmiştir. Gerçekte ise anizotrop ve heterojen bir malzemedir. ANSYS ile yapılan çalışmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli durum, modellenmek istenen eleman özelliklerini iyi yansıtacak kabullerin yapılması gerektiğidir.
12. Aynı boyuttaki numunelerde, göçme yüklerinde büyük farklılıklar görülmüştür. Bu farklılıkları önlemek için, beton sıkıştırılmasına çok dikkat etmek gerekir.
13. ANSYS ile bulunan sonuçlarda tepe noktasından sonra azalan kısmı elde edilememiştir. Bu nedenle deney sonuç grafiğinin iniş kolları ANSYS programından elde edilen grafiklerle karşılaştırılamamıştır.
14. Betonarme döşemelerin sonlu eleman modelinde elde edilen sonuçla deneysel çalışmalardan elde edilen sonucun farklı olmasının nedenlerinden biri olarak deney döşemesinin sahip olduğu gerçek malzeme dayanımları ile betondan alınan üç numunenin kırılmasıyla elde edilen dayanımlar arasında bir fark olabileceği düşünülmektedir. Aynı durum donatı için de geçerlidir. Deneysel çalışma sırasında donatılar için yapılan üçer adet çekme deneyi sonucu elde edilen malzeme dayanımları bilgisayar modellemesinde kullanılmıştır.
15. Çelik lifli döşeme numunelerin ANSYS modellemesi sonuçlarının deneysel sonuçlardan farklı olmasının nedeni ANSYS programında çelik liflerin döşeme içerisinde düzgün yayılı ve betona yüksek dayanım kazandıran bir malzeme olarak tanımlanmasından kaynaklanmaktadır. Gerçekte ise deneysel çalışmadaki gibi çelik lifler döşeme içinde dağınık haldedir ve özellikle dayanım değeri döşemenin değişik yerlerinde farklı olmaktadır. Bu nedenle ANSYS'deki çatlak gelişimi deneydekinden farklı olmuştur.

16. ANSYS ile yapılan modellemeler sonucunda, büyük boyutlu numunelerin ANSYS'deki kırılma yükleri deney sonuçlarından 1,1 ila 4,6 kat büyük olduğu görülmüştür. Numune boyutu küçüldükçe ANSYS'den elde edilen göçme yükü, deney göçme yüküne yaklaşmaktadır. Bu durum ANSYS'de numune boyutu küçüldükçe gerçeğe daha yakın sonuç alındığını göstermektedir. Ayrıca ANSYS'de elde edilen göçme yükleri deney göçme yükünden her zaman yüksek olduğundan ANSYS'deki döşeme modeli deneydekinden daha rijit olduğu anlaşılmaktadır.

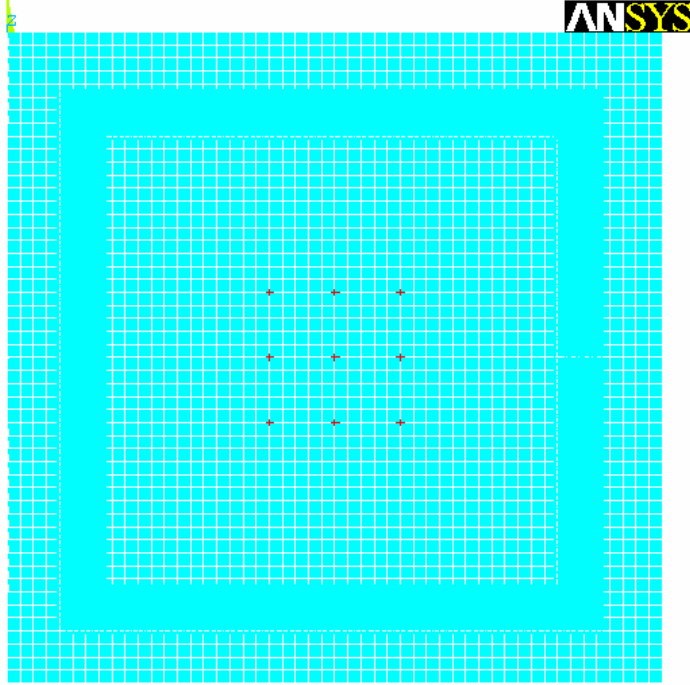
KAYNAKLAR

1. Şener, S., "Gevrek malzeme göçmesinde boyut etkisi", **VII. Ulusal Mekanik Kongresi**, Antalya, 567-576 (1991).
2. TS500, "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (2000).
3. Demirpolat, M., "Betonun kırılma yörüngesinin tespitinde genetik algoritma optimizasyonu", Y. Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi, Fen Bil. Ens.**, Elazığ, 33-48 (1997).
4. Bazant, Z.P., "Scaling theory for quasibrittle structural failure", **PNAS**, 101 (37): 13400-13407 (2004).
5. Barbosa, A.F., Riberio, G.D., "Analysis of reinforced concrete structures using ANSYS nonlinear concrete model", **Computational Mechanics**, 3: 50-57 (1998).
6. Miller, C., Hofmayer, C., Wang, Y., Chokshi, N., Murphy, A., Kitada, Y., "Prediction of NUPEC's multi-axis loading tests of concrete shear walls", **Conference Transactions**, Washington DC, 16 (2001).
7. Fanning, P., "Nonlinear models of reinforced and post-tensioned concrete beams", **Electronic Journal of Structural Engineering**, 2: 111-119 (2001).
8. Dede, F.T., "Tersinir-tekrarlanır yükleme altındaki betonarme çerçevelerin ANSYS programı ile nonlineer sonlu eleman analizi", Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 1-100 (2006).
9. Weibull, W. "A statistical theory of strength of materials" **Royal Swedish Academy of Engineering Sciences**, 151: 1-45 (1939).
10. Bazant, Z.P., Planas, J., "Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials", **CRC Pres**, Boca Raton, New York, Boston, London and Washington (1998).
11. RILEM, "Determination of fracture parameters (K_{1c}^S and $CTOD_c$) of plain concrete using three-point bend tests", **Materials and Structures**, 23, 138: 457-460 (1990).
12. Topçu, M., Taşgetiren, S., "Mühendisler için sonlu elemanlar yöntemi", Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 1-10 (1998).

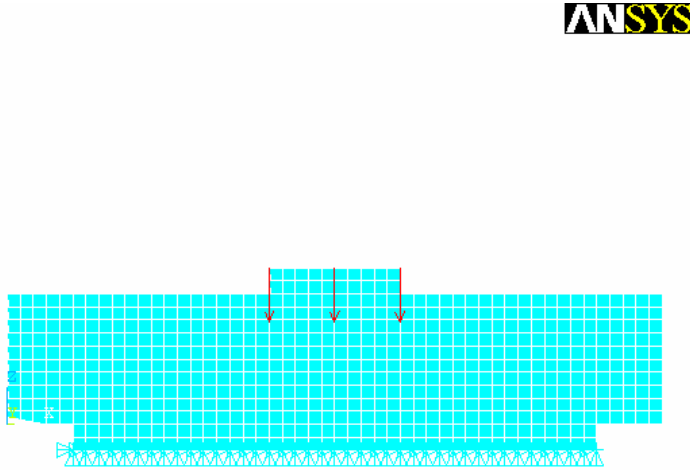
13. GÜNGÖR, İ., "ANSYS sonlu eleman programı ile çift konsol kirişlerin analizi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 15-22 (2004).
14. Moaveni, S., "Finite element analysis: theory and application with ANSYS", **Prentice-Hall**, New Jersey, 527 (1999).
15. Ersoy, U., "Reinforced concrete", **METU**, Ankara, 436 (2000).
16. ANSYS, ANSYS user's manual revision 10.0, ANSYS, Inc., Cannonsburg, Pennsylvania (2005).
17. Celep, Z., "Betonarme yapılar", **İTÜ**, İstanbul, 392 (2009).
18. Ersoy, U., Özcebe G., "Betonarme", **ODTÜ**, Ankara, 504 (2001).

EKLER

EK 1. Meşli numuneler



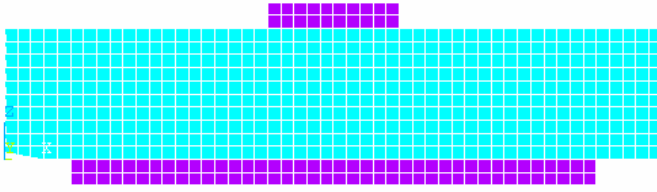
Şekil 1.1. Kuvvetin yükleme plakası üzerinde uygulandığı nodlar



Şekil 1.2. Yükleme plakası üzerindeki nodlara uygulanan kuvvetler

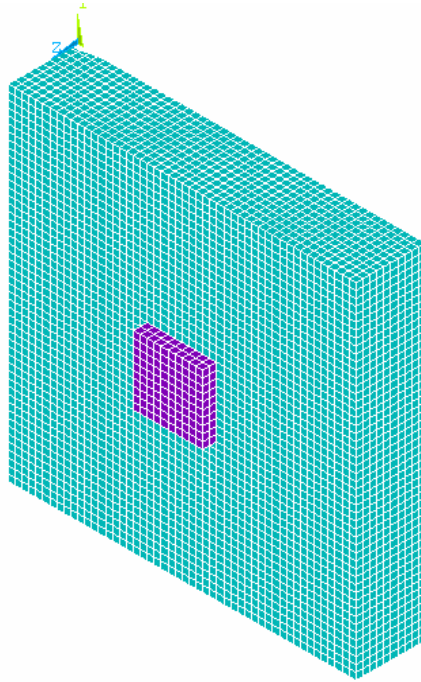
EK 1 (Devam). Meshli numuneler

ANSYS



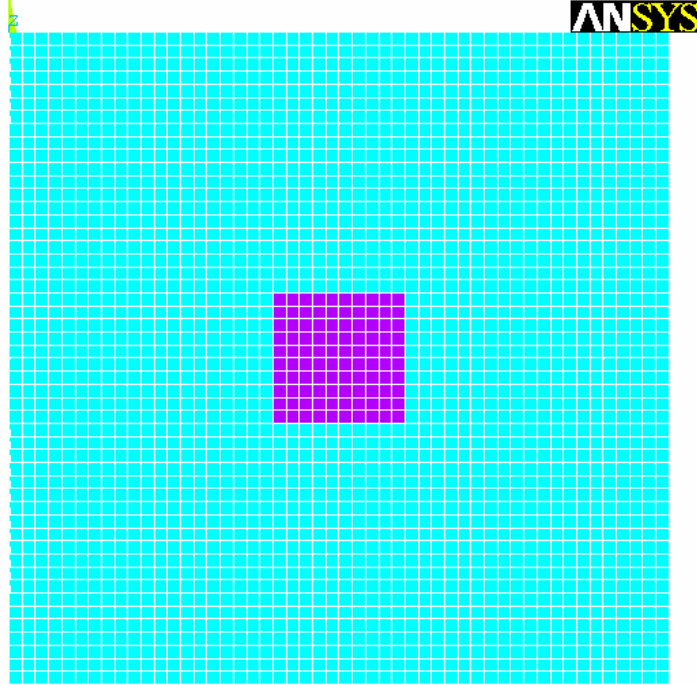
Şekil 1.3. Döşemenin mapped mesh (ağ) yapılmış hali

ANSYS

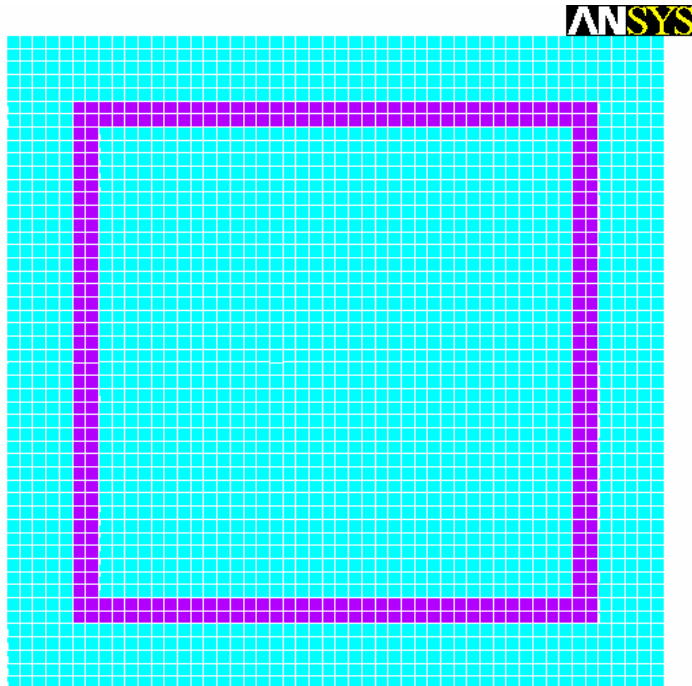


Şekil 1.4. Döşemenin mapped mesh yapılmış halinin üç boyutlu görünüşü

EK 1 (Devam). Meshli numuneler

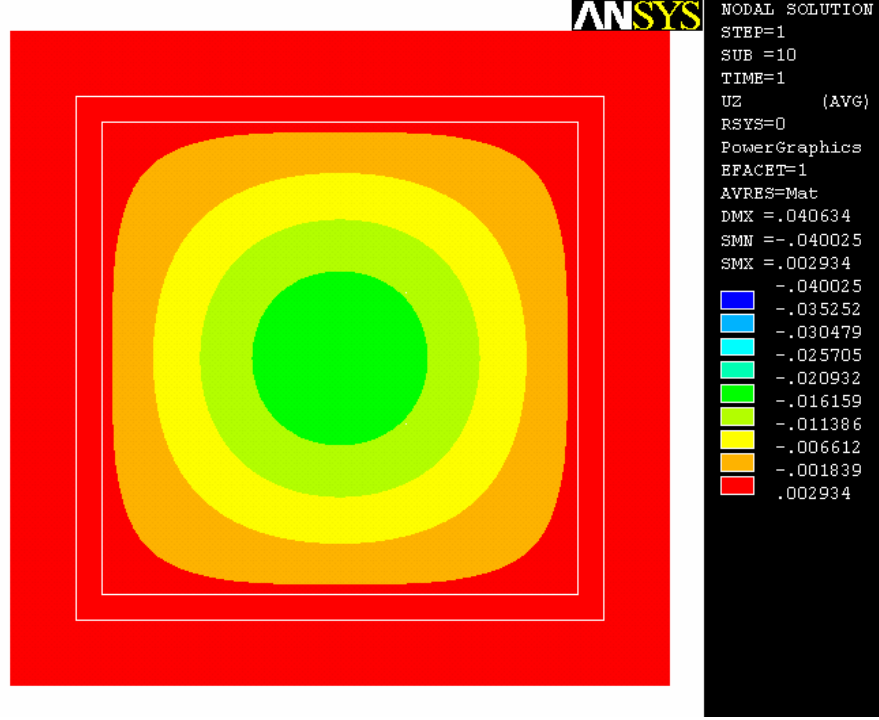
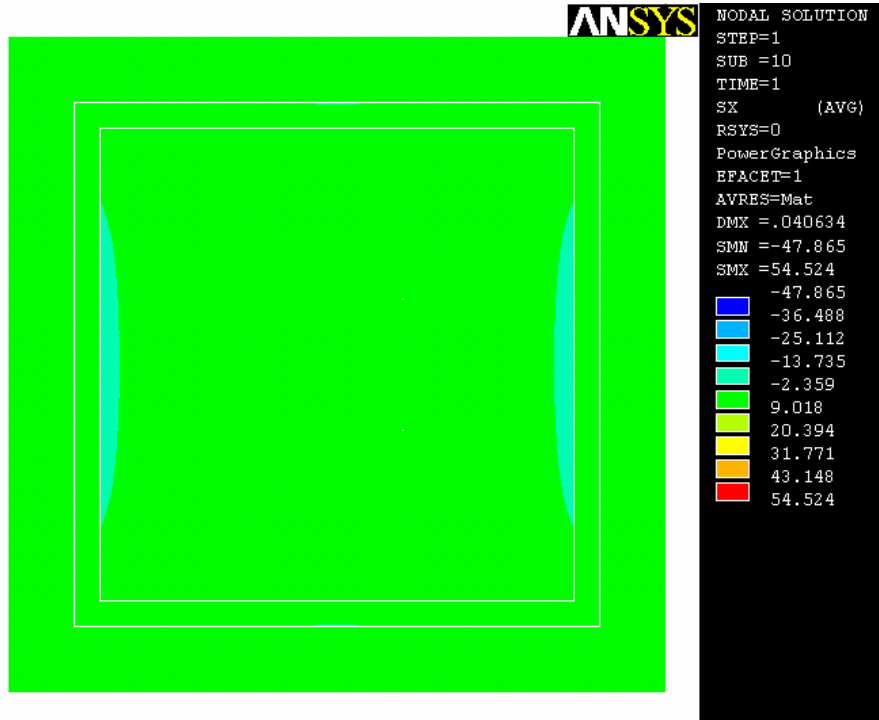


Şekil 1.5. Döşemenin mapped mesh yapılmış halinin üstten görünüşü

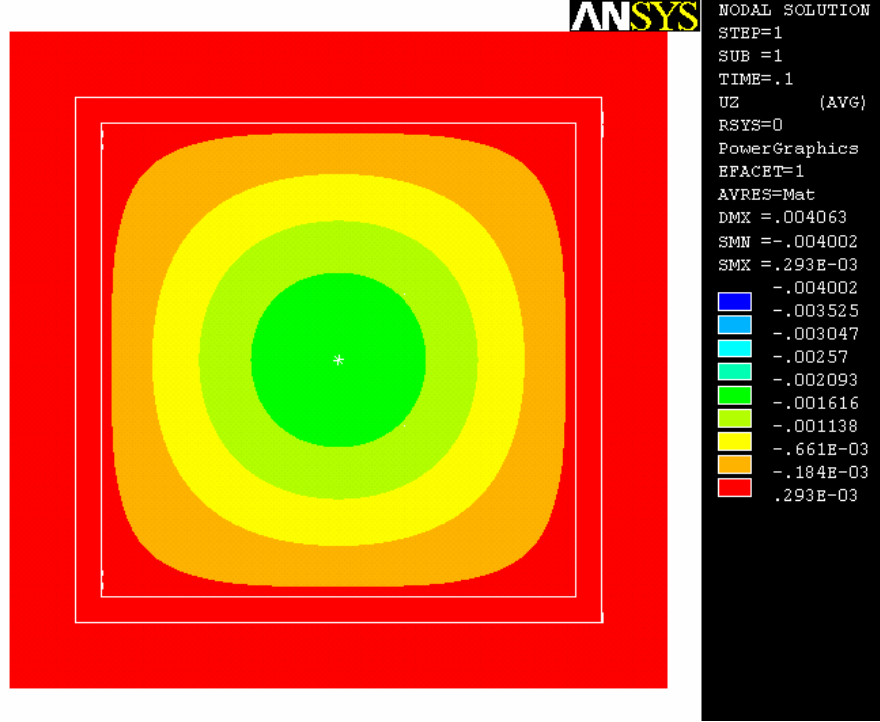
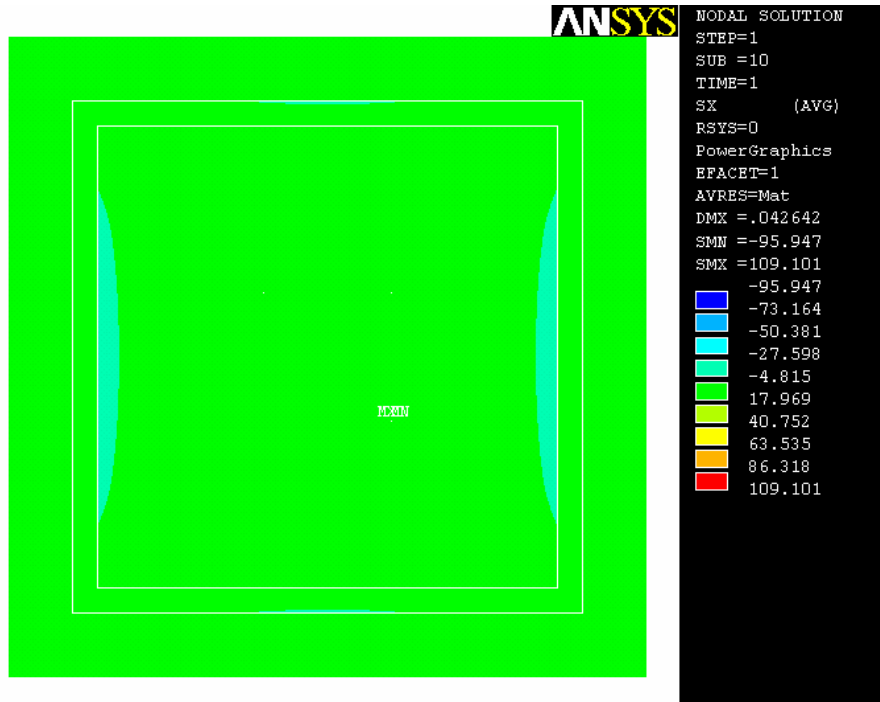


Şekil 1.6. Döşemenin mapped mesh yapılmış halinin alttan görünüşü

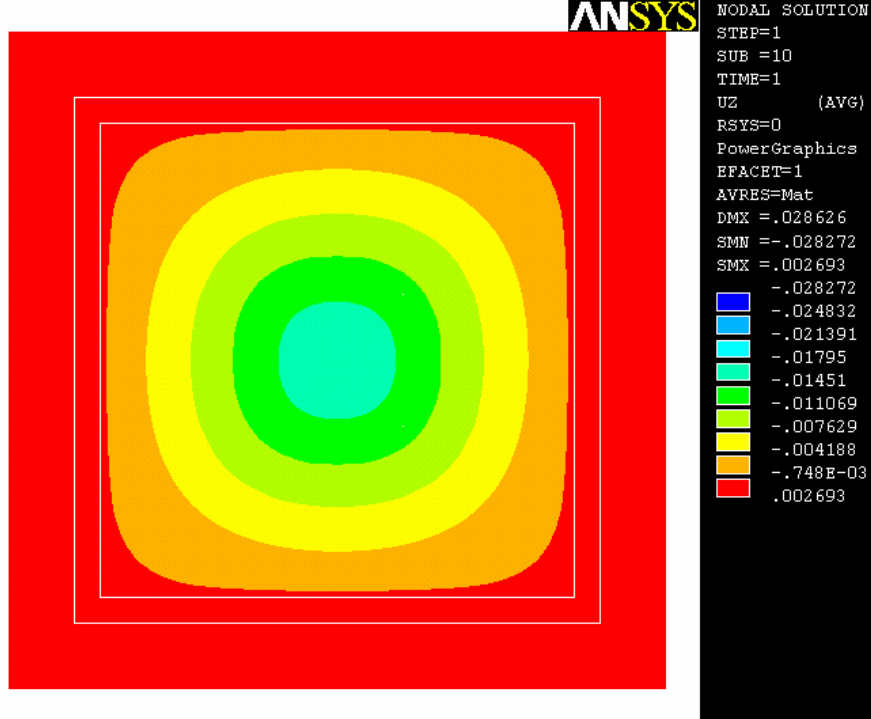
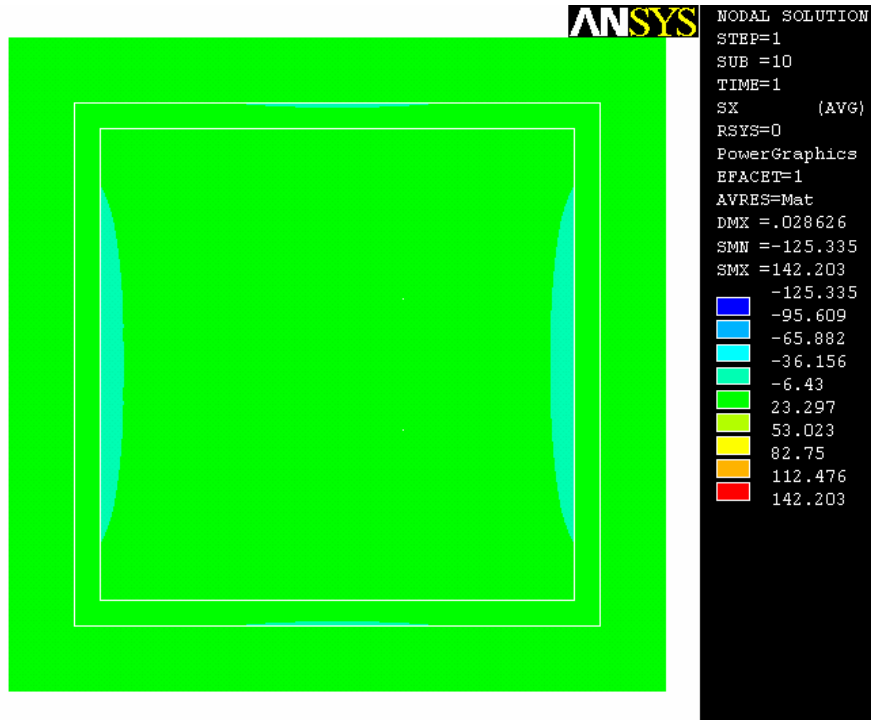
EK 2. Gerilme dağılımları

Şekil 2.1. Beton büyük (CL) döşemesinin Δz yerdeğiştirmesiŞekil 2.2. Beton büyük (CL) döşemesinin σ_x gerilmesi

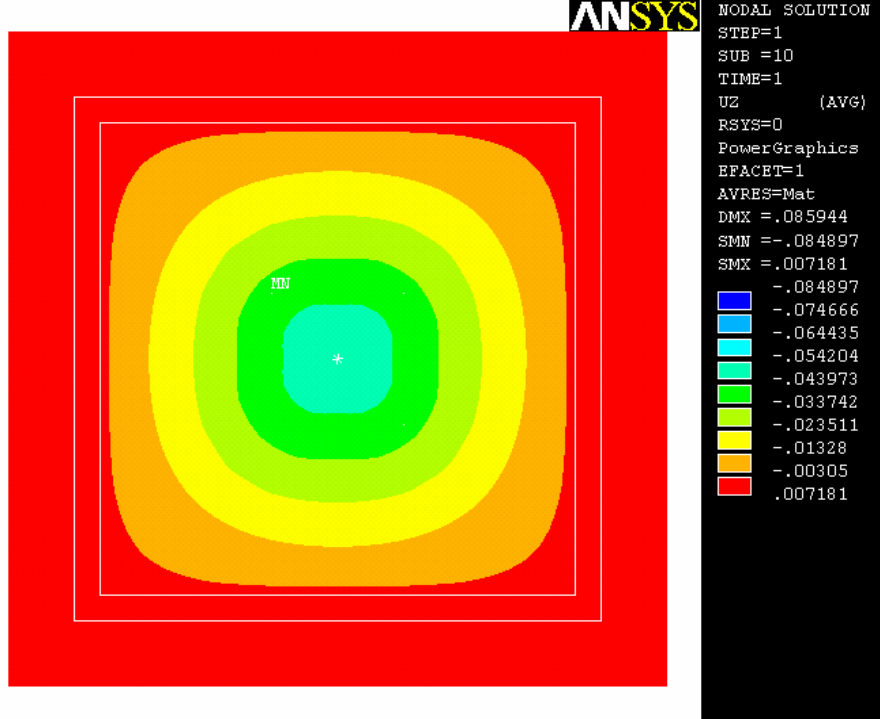
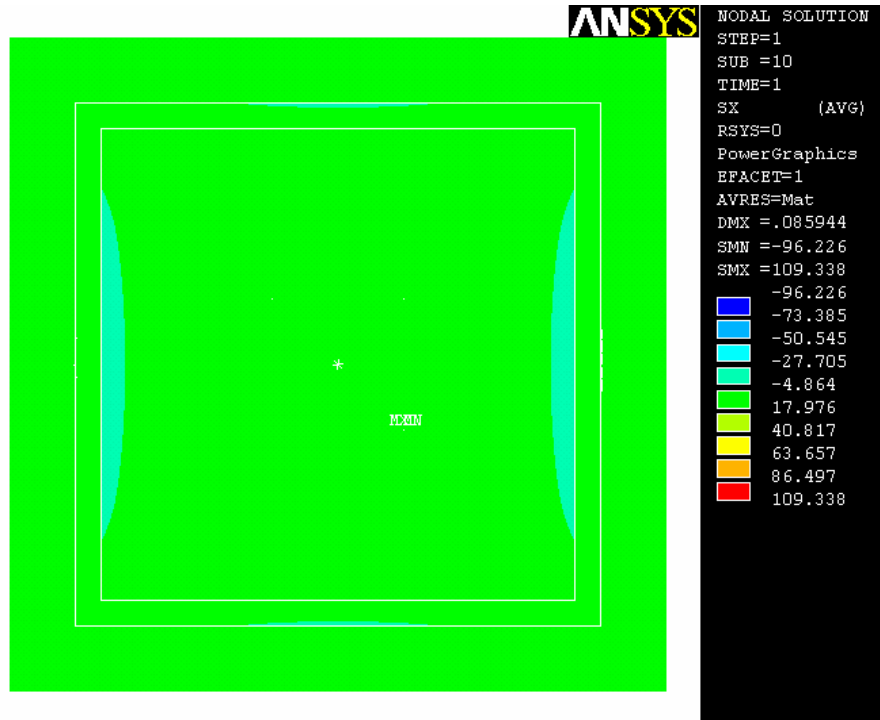
EK 2 (Devam). Gerilme dağılımları

Şekil 2.3. Beton orta (CM) döşemesinin Δz yerdeğiştirmesiŞekil 2.4. Beton orta (CM) döşemesinin σ_x gerilmesi

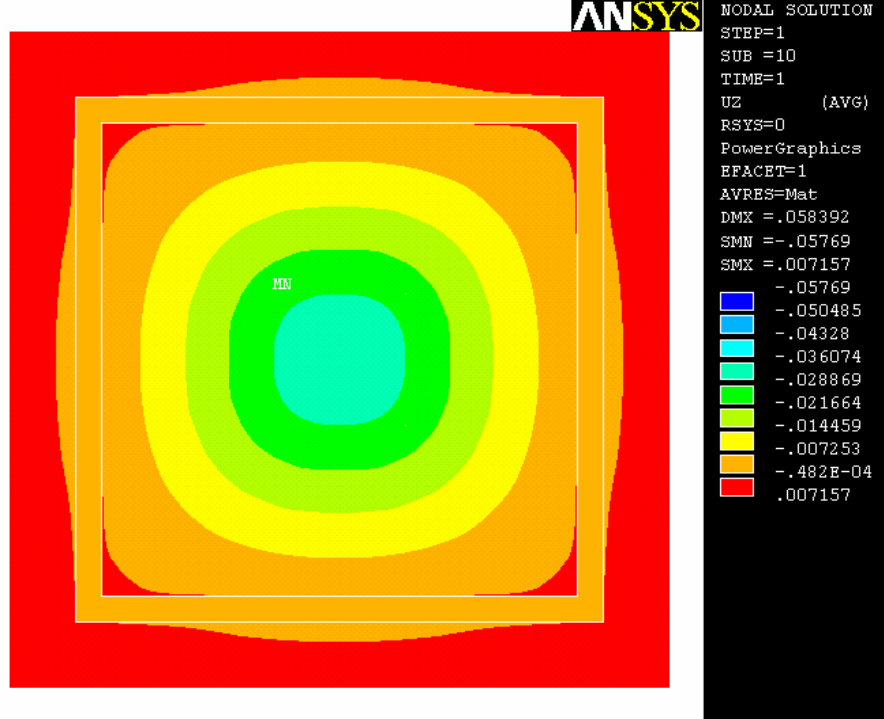
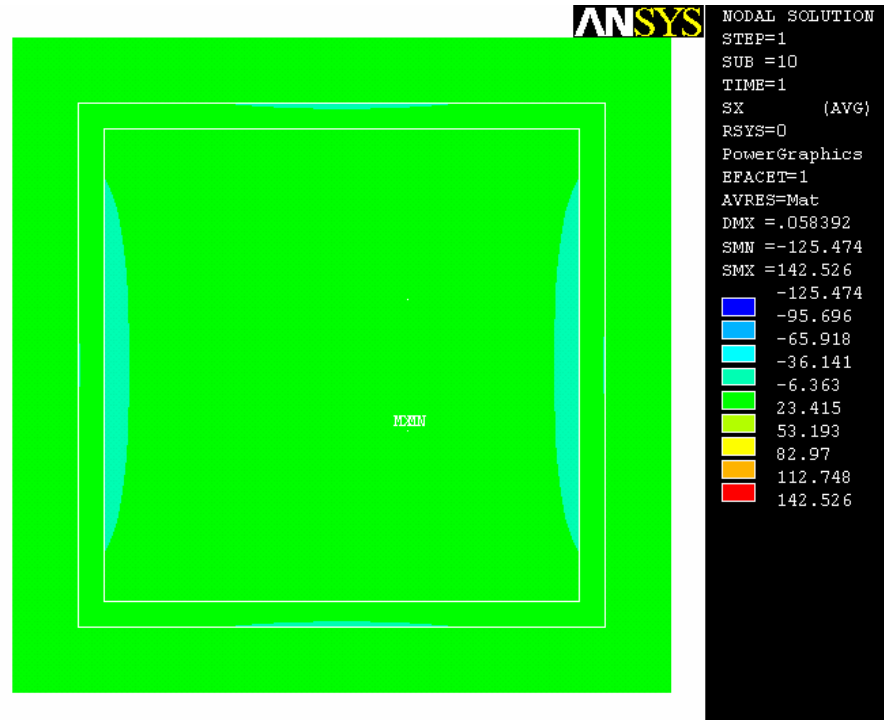
EK 2 (Devam). Gerilme dağılımları

Şekil 2.5. Beton küçük (CS) döşemesinin Δz yerdeğiştirmesiŞekil 2.6. Beton küçük (CS) döşemesinin σ_x gerilmesi

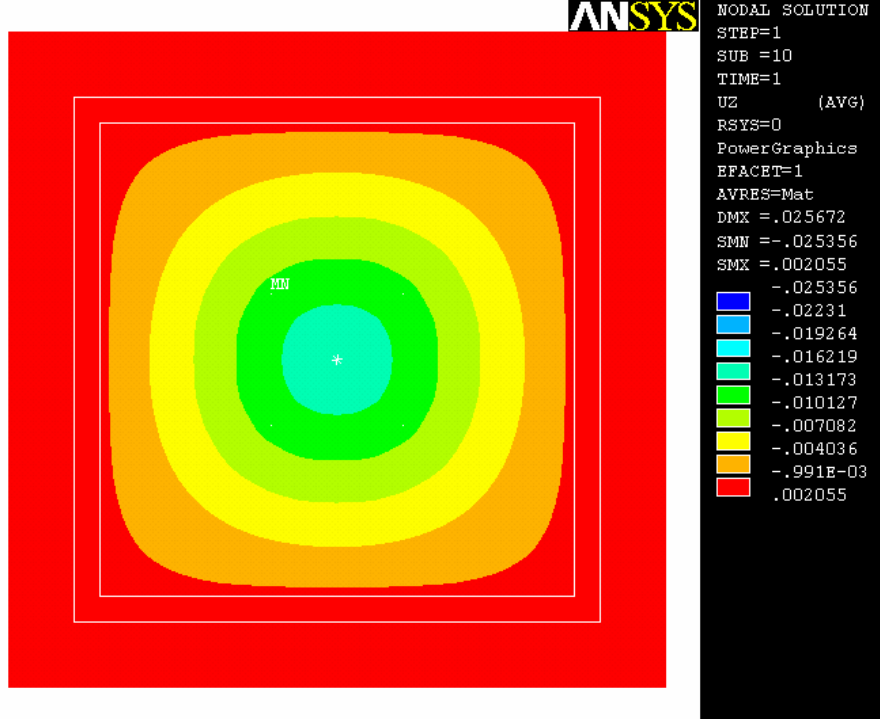
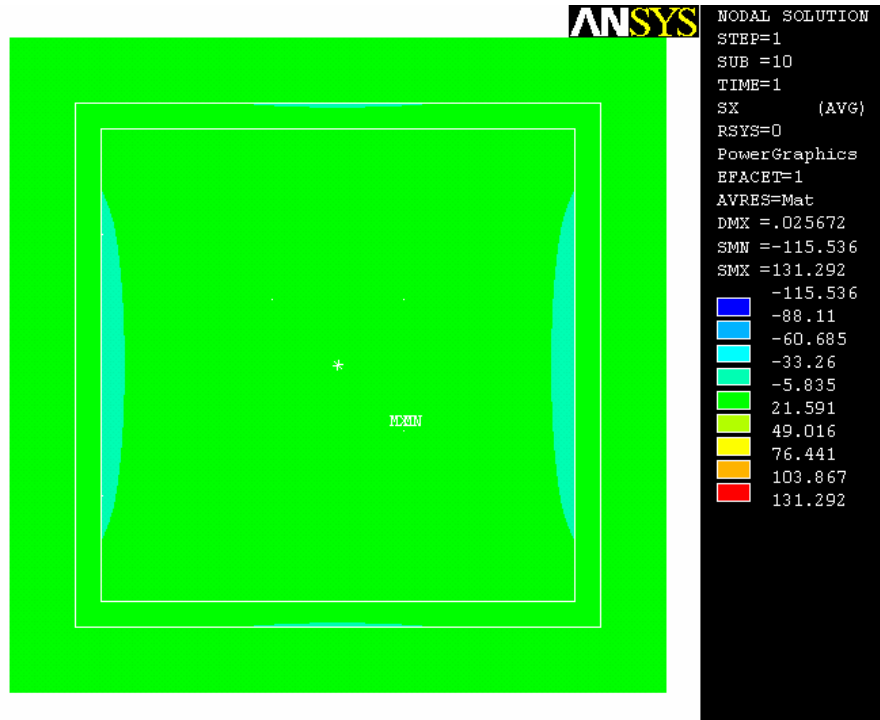
EK 2 (Devam). Gerilme dağılımları

Şekil 2.7. Çelik lifli büyük (SFL) döşemesinin Δz yerdeğiştirmesiŞekil 2.8. Çelik lifli büyük (SFL) döşemesinin σ_x gerilmesi

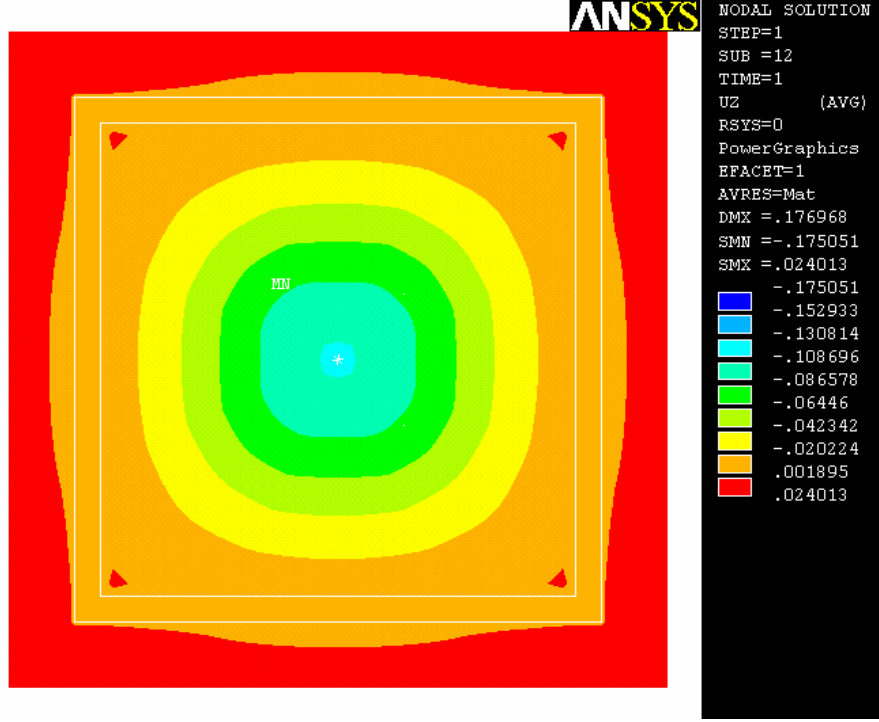
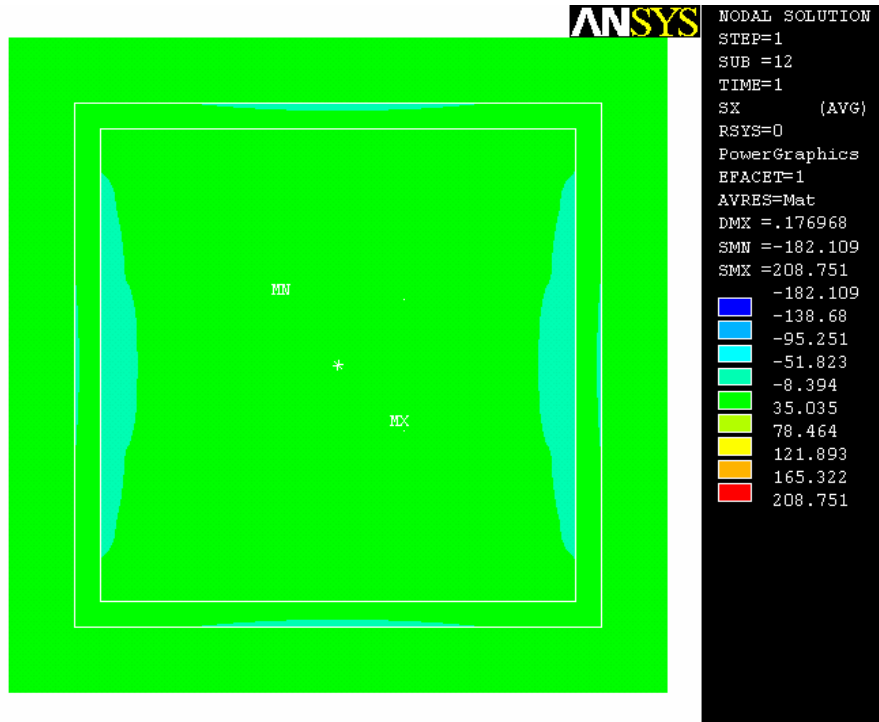
EK 2 (Devam). Gerilme dağılımları

Şekil 2.9. Çelik lifli orta (SFM) döşemesinin Δz yerdeğiştirmesiŞekil 2.10. Çelik lifli orta (SFM) döşemesinin σ_x gerilmesi

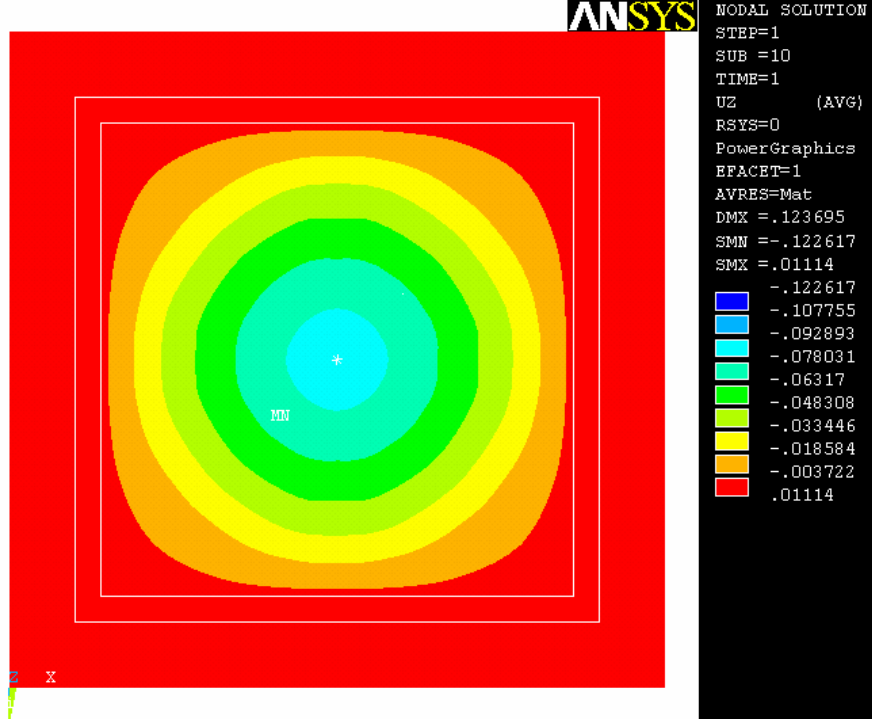
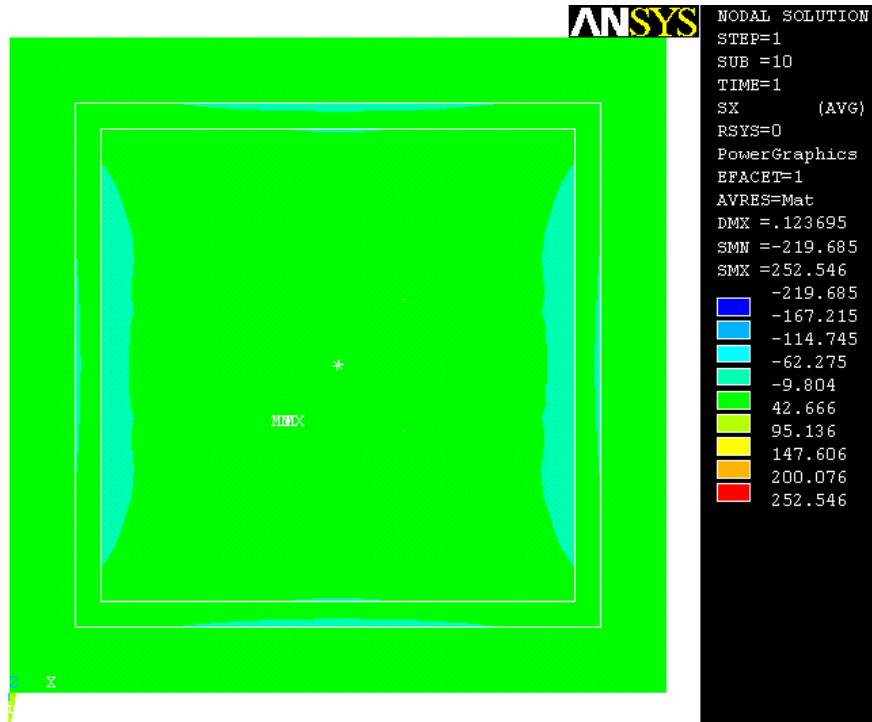
EK 2 (Devam). Gerilme dağılımları

Şekil 2.11. Çelik lifli büyük (SFS) döşemesinin Δz yerdeğiştirmesiŞekil 2.12. Çelik lifli küçük (SFS) döşemesinin σ_x gerilmesi

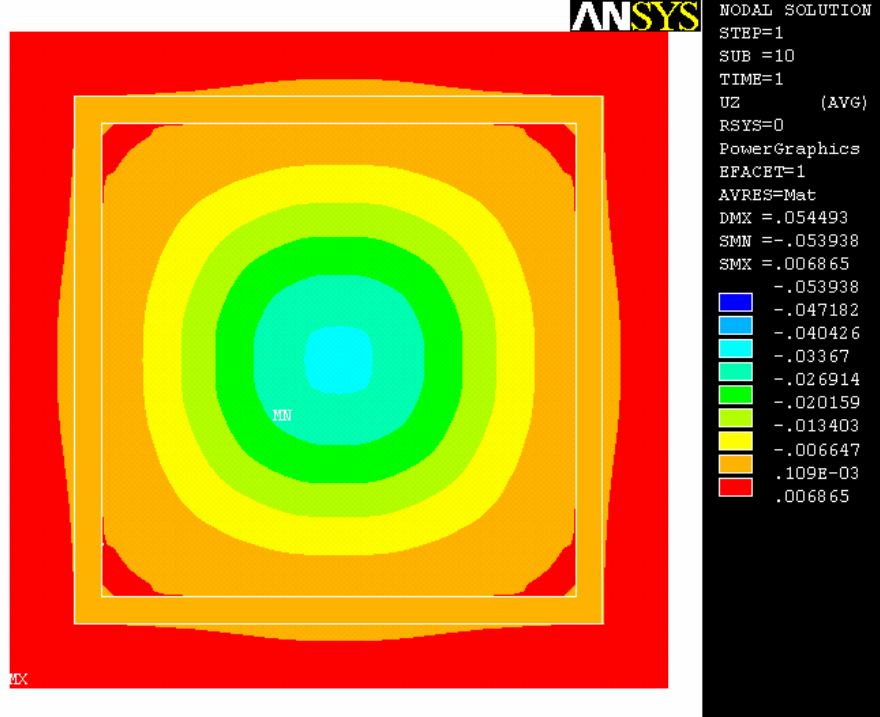
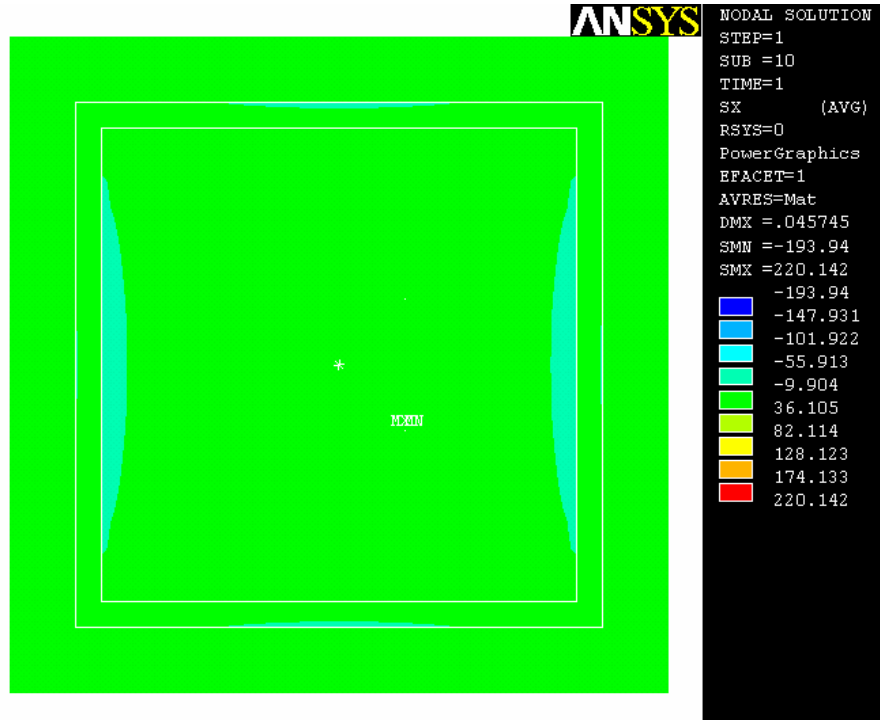
EK 2 (Devam). Gerilme dağılımları

Şekil 2.13. Betonarme büyük (RCL) döşemesinin Δz yerdeğiştirmesiŞekil 2.14. Betonarme büyük (RCL) döşemesinin σ_x gerilmesi

EK 2 (Devam). Gerilme dağılımları

Şekil 2.15. Betonarme orta (RCM) döşemesinin Δz yerdeğiştirmesiŞekil 2.16. Betonarme orta (RCM) döşemesinin σ_x gerilmesi

EK 2 (Devam). Gerilme dağılımları

Şekil 2.17. Betonarme küçük (RCS) döşemesinin Δz yerdeğiştirmesiŞekil 2.18. Betonarme küçük (RCS) döşemesinin σ_x gerilmesi

EK 3. Çatlak dağılımları



Şekil 3.1. CL₁ numunesinin çatlak dağılımı



Şekil 3.2. CL₂ numunesinin çatlak dağılımı

EK 3 (Devam). Çatlak dağılımları



Şekil 3.3. CL₃ numunesinin çatlak dağılımı



Şekil 3.4. CM₁ numunesinin çatlak dağılımı

EK 3 (Devam). Çatlak dağılımları



Şekil 3.5. CM₂ numunesinin çatlak dağılımı



Şekil 3.6. CM₃ numunesinin çatlak dağılımı

EK 3 (Devam). Çatlak dağılımları



Şekil 3.7. CS₁ numunesinin çatlak dağılımı



Şekil 3.8. CS₂ numunesinin çatlak dağılımı

EK 3 (Devam). Çatlak dağılları

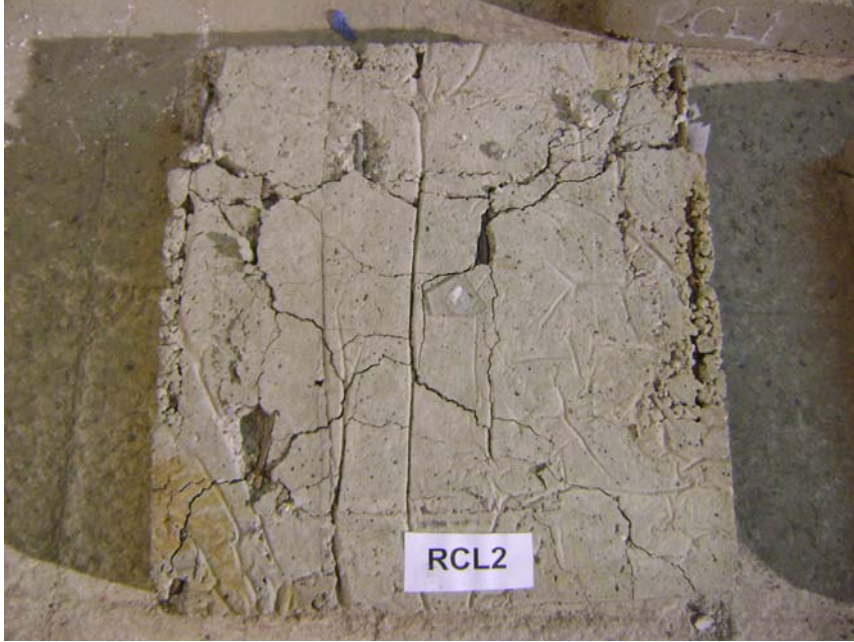


Şekil 3.9. CS₃ numunesinin çatlak dağılımları



Şekil 3.10. RCL₁ numunesinin çatlak dağılımları

EK 3 (Devam). Çatlak dağılımları



Şekil 3.11. RCL₂ numunesinin çatlak dağılımı



Şekil 3.12. RCL₃ numunesinin çatlak dağılımı

EK 3 (Devam). Çatlak dağılımları



Şekil 3.13. RCM₁ numunesinin çatlak dağılımı



Şekil 3.14. RCM₂ numunesinin çatlak dağılımı

EK 3 (Devam). Çatlak dağılları



Şekil 3.15. RCM₃ numunesinin çatlak dağılımları



Şekil 3.16. RCS₁ numunesinin çatlak dağılımları

EK 3 (Devam). Çatlak dağılımları



Şekil 3.17. RCS₂ numunesinin çatlak dağılımı



Şekil 3.18. RCS₃ numunesinin çatlak dağılımı

EK 3 (Devam). Çatlak dağılları



Şekil 3.19. SFL₃ numunesinin çatlak dağılları



Şekil 3.20. SFL₂ numunesinin çatlak dağılları

EK 3 (Devam). Çatlak dağılımları



Şekil 3.21. SFL₁ numunesinin çatlak dağılımı



Şekil 3.22. SFM₃ numunesinin çatlak dağılımı

EK 3 (Devam). Çatlak dağılımları



Şekil 3.23. SFM₂ numunesinin çatlak dağılımı



Şekil 3.24. SFM₁ numunesinin çatlak dağılımı

EK 3 (Devam). Çatlak dağılları



Şekil 3.25. SFS₃ numunesinin çatlak dağılımları



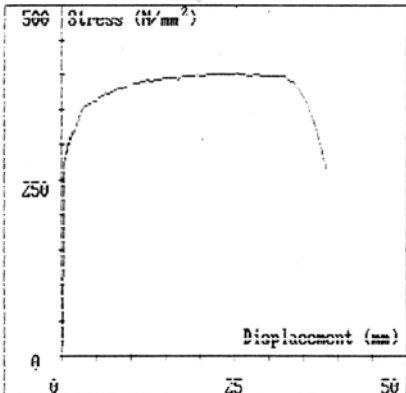
Şekil 3.26. SFS₂ numunesinin çatlak dağılımları

EK 3 (Devam). atlak dağılımları



Şekil 3.27. SFS₁ numunesinin çatlak dağılımı

EK 4. Donatı çekme dayanımları

RCL MAKİNA MÜHENDİSLİK BÖLÜMÜ				DIN 50145 : 1975	
FILE DATA					
File name	AKTF	Test number	5		
File ID.	MM	Date	14/12/09		
Confid. File	AKTF	Time	12:55		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	3	MAI 7FMF			
Diameter	8.000 mm	MISTERT			
Area	50.30 mm ²	OPERATOR			
Parallel length	290.0 mm	TS NO			
Initial G.L	290.0 mm				
Final G.L	327.8 mm				
TEST RESULTS					
Fm	20.3 kN	Ap	0.0 %		
Rm	403 N/mm ²	A	13 %		
ReH	310 N/mm ²	A+	13 %		
Rel	307 N/mm ²	7	76.2 %		
Test complete :- Fracture detected					
Remarks					
					

Şekil 4.1. RCL döşemesinde kullanılan Ø8'lik donatının aksenal çekme deneyi sonuçları

EK 4 (Devam). Donatı çekme dayanımları

RCL MAKİNA MÜHENDİSLİK BÖLÜMÜ				DIN 50 145 : 1975	
FILE DATA					
File name	AKTF	Test number	4		
File ID.	MM	Date	14/12/09		
Config. File	AKTF	Time	13:03		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	3	MAI 7FMP			
Diameter	8.000 mm	MU1STRT			
Area	50.30 mm ²	OPERATOR			
Parallel length	280.0 mm	TS NO			
Initial G.L	280.0 mm				
Final G.L	317.3 mm				
TEST RESULTS					
Fm	20.3 kN	Ap	0.0 %		
Rm	405 N/mm ²	A	13 %		
ReH	407 N/mm ²	A+	13 %		
ReL	399 N/mm ²	7	77.4 %		
Rn 0.1%	335 N/mm ²				
Rn 0.2%	342 N/mm ²				
Rn 0.5%	352 N/mm ²				
Test complete :- Fracture detected					
Remarks					

Şekil 4.2. RCL döşemesinde kullanılan Ø8'lik donatının aksenal çekme deneyi sonuçları

EK 4 (Devam). Donatı çekme dayanımları

İÇ İİ MAKİNA MİHENDİSİ TAT BÖLÜMÜ				DTN 50 145 : 1975	
FILE DATA					
File name	AKTF	Test number	R		
File ID.	MM	Date	15/12/09		
Config. File	AKTF	Time	12:37		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	3	MAI 7FME			
Diameter	4.000 mm	MIISTERT			
Area	12.60 mm ²	OPERATOR			
Parallel length	165.0 mm	TS. NO			
Initial G.L	165.0 mm				
Final G.L	231.1 mm				
TEST RESULTS					
Fm	5.1 kN	Ae	0.0 %		
Rm	407 N/mm ²	A	40 %		
ReH	287 N/mm ²	A+	41 %		
Rel	276 N/mm ²	7	75.0 %		
Test complete :- Fracture detected					
Remarks					

Şekil 4.3. RCM döşemesinde kullanılan Ø4'lük donatının aksenal çekme deneyi sonuçları

EK 4 (Devam). Donatı çekme dayanımları

G İİ MAKİNA MİHENDİSİ TAT BÖLÜMÜ				DIN 50 145 : 1975	
FILE DATA					
File name	AKTF	Test number	9		
File ID.	MM	Date	15/12/09		
Config. File	AKTF	Time	12:45		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	3	MAI 7MF			
Diameter	4.000 mm	MIISTERT			
Area	12.60 mm ²	OPERATOR			
Parallel length	165.0 mm	TS NO			
Initial G.L	165.0 mm				
Final G.L	204.6 mm				
TEST RESULTS					
Fm	3.9 kN	Ap	0.0 %		
Rm	307 N/mm ²	A	24 %		
ReH	300 N/mm ²	A+	19 %		
Rel	280 N/mm ²	7	75.0 %		
Test complete :- Fracture detected					
Remarks					

Şekil 4.4. RCM döşemesinde kullanılan Ø4'lük donatının aksenal çekme deneyi sonuçları

EK 4 (Devam). Donatı çekme dayanımları

R II MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ				DIN 50 145 : 1975	
FILE DATA					
File name	AKTF	Test number	10		
File ID.	MM	Date	15/12/09		
Config. File	AKTF	Time	12:51		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	3	MAI 7FMF			
Diameter	2.000 mm	MUİSTERT			
Area	3.10 mm ²	OPERATOR			
Parallel length	320.0 mm	TS NO			
Initial G.l	320.0 mm				
Final G.l	357.7 mm				
TEST RESULTS					
Fm	1.1 kN	Ap	0.0 %		
Rm	342 N/mm ²	A	12 %		
ReH	281 N/mm ²	A+	9.0 %		
Rel	244 N/mm ²	7	43.8 %		
Test complete :- Fracture detected					
Remarks					

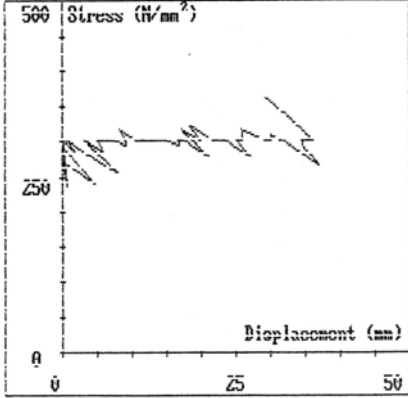
Şekil 4.5. RCS döşemesinde kullanılan Ø2'lik donatının aksenal çekme deneyi sonuçları

EK 4 (Devam). Donatı çekme dayanımları

R H MAKİNA MÜHENDİSLİK BİLİMİ				DIN 50 145 : 1975	
FILE DATA					
File name	AKTF	Test number	11		
File ID.	MM	Date	15/12/09		
Config. File	AKTF	Time	12:59		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	3	MAI 7EMF			
Diameter	2.000 mm	MUŞTERT			
Area	3.10 mm ²	OPERATOR			
Parallel length	138.0 mm	TS NO			
Initial G.L	138.0 mm				
Final G.L	179.4 mm				
TEST RESULTS					
Fm	1.4 kN	Ap	0.0 %		
Rm	517 N/mm ²	A	30 %		
ReH	295 N/mm ²	A _t	29 %		
ReL	251 N/mm ²	7	64.0 %		
Test complete :- Fracture detected					
Remarks					

Şekil 4.6. RCS döşemesinde kullanılan Ø2'lik donatının aksenal çekme deneyi sonuçları

EK 4 (Devam). Donatı çekme dayanımları

R II MAKİNA MÜHENDİSİ TGT BÖLÜMÜ				DIN 50 145 : 1975	
FILE DATA					
File name	AKTF	Test number	10		
File ID.	MM	Date	15/12/09		
Config. File	AKTF	Time	12:51		
SPECIMEN DATA					
Specimen code	3	MAI 7FMF			
Diameter	2.000 mm	MUŞTERT			
Area	3.10 mm ²	OPERATOR			
Parallel length	320.0 mm	TS NO			
Initial G.l	320.0 mm				
Final G.l	357.7 mm				
TEST RESULTS					
Fm	1.1 kN	Ap	0.0 %		
Rm	342 N/mm ²	A	12 %		
ReH	281 N/mm ²	A+	9.0 %		
Rel	244 N/mm ²	7	43.8 %		
Test complete :- Fracture detected					
Remarks					
					

Şekil 4.7. RCS döşemesinde kullanılan Ø2'lik donatının aksenal çekme deneyi sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KÜÇÜK, Semra
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.06.1976 Yalvaç
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 417 83 00
e-mail : semrak@dsi.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Müh.	2010
Lisans	Pamukkale Ü. / İnşaat Müh.	2001
Lise	Akşehir Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2010	Ankara	DSİ Genel Müdürlüğü

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Müzik dinlemek, kitap okumak