

**BETONARME VE KISMİ ÖNGERMELİ KİRİŞLERDE
YERDEĞİŞTİRMELERE BETONUN
ÇEKME DAYANIMININ KATKISI**

Muharrem AKTAŞ

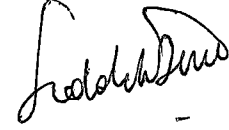
**Yüksek Lisans Tezi
(İnşaat Mühendisliği)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Temmuz 1999
ANKARA**

Muharrem AKTAŞ tarafından hazırlanan BETONARME VE KISMİ ÖNGERMELİ KİRİŞLERDE YERDEĞİŞTİRMELERE BETONUN ÇEKME DAYANIMININ KATKISI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

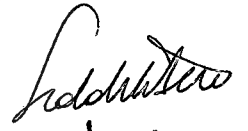


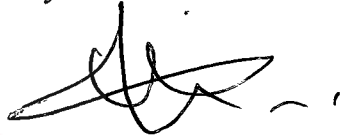
Prof.Dr. Sıddık ŞENER

Tez Yöneticisi

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

Başkan : Doç. Dr. Abdussamet ARSLAN 

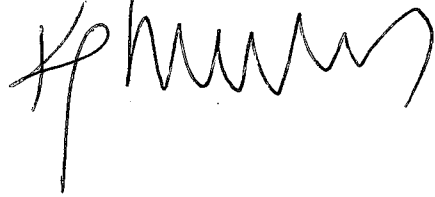
Üye : Prof. Dr. Sıddık ŞENER 

Üye : Y. Doç. Dr. Meral Begimgil 

Üye :

Üye :

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
SİMGELER	ix
1. GİRİŞ	1
2. BU KONUDAKİ ARAŞTIRMALAR	3
2.1. Betonun Mekanik Özellikleri	3
2.1.1. Betonun basınç dayanımı :	3
2.1.2. Betonun çekme dayanımı	6
2.2. Malzeme İçin Matematiksel Modeller	11
2.2.1. Betonun çekmede davranışı	11
2.2.2. Betonun basınçta davranışı	13
2.2.3. Donatı için matematiksel model	14
3. BETONARME ELEMANLARA AIT YERDEĞİŞTİRMELER	16
3.1. Donatıya Ait Değerleri	17
3.2. Betonun Basınç Bölgesine Ait Değerler :	17
3.3. Betonun Çekme Bölgesine Ait Değerler	19
3.4. Denge Denklemleri	21
3.5. Kiriş Eğriliğinin Hesaplanması	21
3.6. Yerdeğiştirmelerin Hesabı	23
4. KISMI ÖNGERMELİ ELEMANLARDA YERDEĞİŞTİRMELERİN HESABI	25
4.1. Kısmi Öngerme	25
4.2. Öngerme Çeliği	26
4.3. Matematiksel Model	28
4.4. Denge Denklemleri	29
5. BETON ÇEKME DAYANIMI İÇİN BASİT ÇÖZÜM	30
6. KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMI	32
6.1. Program Akışı	33

7.	SAYISAL ÖRNEKLER.....	36
7.1.	Örnek-1.....	36
7.2.	Örnek-2.....	41
7.3.	Örnek-3.....	45
7.4.	Örnek-4.....	49
7.5.	Örnek 5.....	53
7.6.	Örnek 6.....	57
7.7.	Örnek 7.....	58
8.	SONUÇLAR	61
	KAYNAKLAR.....	62
	EKLER.....	63
	EK-1	64
	ÖZGEÇMİŞ	78



**BETONARME VE KISMİ ÖNGERMELİ KİRİŞLERDE
YERDEĞİŞTİRMELERE BETONUN ÇEKME DAYANIMININ
KATKISI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Muharrem AKTAŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 1999

ÖZET

Bu çalışmada, betonun çekme dayanımı gözönüne alınarak çatlamış betonarme kirişlerde eğrilik ve yer değiştirmeler elde edilmiştir. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımına oranla çok düşüktür. Bu yüzden betonarme kirişleride deformasyon hesaplarında betonun çekme dayanımı ihmal edilir.

Kırılma aşamasındaki betonarme kirişlerin eğrilik ve yerdeğiştirme analizleri için bir yöntem sunulmuştur. Betonun çekme dayanımı için mikroçatlaklar yüzünden oluşan ve yumuşamayı gösteren eksenel gerilme-uzama diyagramı kullanılmıştır.

Çekmede gerilme-uzama özellikleri direk çekme deneylerinden elde edilen diyagram olup son zamanlarda betonun kırılma test sonuçlarını modellemeye yaygın kullanılmaktadır.

Önerilen yöntemin çok geniş bir uygulama alanı vardır. Bu yöntem, kısa süreli yükler altında çatlamış kirişlere uygulanabilir.

Bilim Kodu :624.03.01

Anahtar Kelimeler :Çekme dayanımı, kısmi öngerme, moment-eğrilik, moment-yerdeğiştirme

Sayfa Adedi :78

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Sıddık ŞENER



**EFFECTS OF TENSILE STRENGTH OF CONCRETE ON THE
DEFLECTION OF CONCRETE AND PARTIALLY PRESTRESSED
BEAMS
(M.Sc. Thesis)**

Muharrem AKTAŞ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 1999**

ABSTRACT

In this study , deflections and curvature of reinforced concrete beams are calculated in the view of accepting concrete with nonzero tensile strength. The tensile strength of concrete is very small in proportion to compressive strength of concrete. For this reason in the calculation of deflection and curvature of reinforced concrete beams the tensile strength of the concrete is neglected.

A consistent theory for the analysis of curvature and deflections of reinforced concrete beams in the cracking stage is presented. The theory assumes concrete to have a nonzero tensile carrying capacity characterized by a uniaxial stress strain diagram which characterizes progressive microcracking due to strain softening.

The tensile stress strain properties are the same as those which are obtained in direct tensile tests and those which have recently been used with success modelling fracture test results for concrete.

Presented theory has great application area. This theory can be used with reinforced concrete beams under short time loading.

Science Code :624.03.01

Key Words :Tensile strength, partially prestressed, moment-curvature, moment-deflection

Page Number :78

Adviser : Prof. Dr. Siddik ŞENER



TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması sürecinde benim için değerli zamanlarını ayırarak, çalışmalarına yön veren, yapıcı önerileriyle büyük katkılarda bulunan sayın hocam Prof. Dr. Sıddık ŞENER' e şükran ve saygı duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Benden değerli desteklerini esirgemeyen gerek maddi gerekse manevi birliktelikleriyle yardımcı olan arkadaşım Araş. Görev. Özgür ANIL'a ve ailesine yürekten teşekkür ederim.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Deney türüne göre betonun çekme dayanımı	9
Çizelge 2.2. Çekme dayanımları	10
Çizelge 6.1. Bilgi giriş ekranı	32
Çizelge 6.2. Visual basic macro penceresi	35
Çizelge 7.1. Excel program çıktısı (Örnek 7.1)	38
Çizelge 7.2. Excel program çıktısı (Örnek 7.2)	42
Çizelge 7.3. Excel program çıktısı (Örnek 7.3)	46
Çizelge 7.4. Excel program çıktısı (Örnek 7.4)	50
Çizelge 7.5. Excel program çıktısı (Örnek 7.5)	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Betonun basınç dayanımı	6
Şekil 2.2. Silindir yarma deneyi.....	8
Şekil 2.3. Direk çekme deneyi	9
Şekil 2.4. Deney türüne göre betonun çekme dayanımı	10
Şekil 2.5. Çekmede beton.....	11
Şekil 2.6. Basınçta beton.....	13
Şekil 2.7. Betona ait σ_c - ϵ_c diyagramı.....	14
Şekil 2.8. Donatı için σ_c - ϵ_c diyagramı.....	15
Şekil 3.1. Kesitteki gerilme ve birim deformasyon dağılımlar ...	16
Şekil 3.2. Kesitteki eğilme	22
Şekil 3.3. Dış yükleme.....	23
Şekil 4.1. Karşılıklı etkileşim diyagramı.....	26
Şekil 4.2. Öngerme çeliği için σ_c - ϵ_c diyagramı.....	28
Şekil 5.1. Beton çekme bölgesi için eşdeğer alan.....	30
Şekil 6.1. Grafik ekranı.....	33
Şekil 6.2. Program akış diyagramı.....	34
Şekil 7.1. Moment eğrilik diyagramı (Örnek 7.1).....	39
Şekil 7.2. Moment yerdeğiştirme diyagramı (Örnek 7.1).....	40
Şekil 7.3. Moment eğrilik diyagramı (Örnek 7.2).....	43
Şekil 7.4. Moment yerdeğiştirme diyagramı (Örnek 7.2).....	44
Şekil 7.5. Moment eğrilik diyagramı (Örnek 7.3).....	47
Şekil 7.6. Moment yerdeğiştirme diyagramı (Örnek 7.3).....	48
Şekil 7.7. Moment eğrilik diyagramı (Örnek 7.4).....	51
Şekil 7.8. Moment yerdeğiştirme diyagramı (Örnek 7.4).....	52
Şekil 7.9. Moment eğrilik diyagramı (Örnek 7.5).....	55
Şekil 7.10. Moment yerdeğiştirme diyagramı (Örnek 7.5).....	56

Şekil 7.11. Moment eğrilik diyagramı (Örnek 7.6)	57
Şekil 7.12. Moment yerdeğiştirme diyagramı (Örnek 7.6)	58
Şekil 7.13. Moment eğrilik diyagramı (Örnek 7.7)	59
Şekil 7.14. Moment yerdeğiştirme diyagramı (Örnek 7.7)	60



SİMGELER

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
f_c	Betonun basınç dayanımı
f_t	Betonun direk çekme dayanımı
σ_c	Betonun eksenel gerilmesi
ε_c	Betonun eksenel birim uzaması
E_c	Betonun Young modülü
E_t	Betonun uzama yumuşama modülü
k_d	Tarafsız eksenin yeri
ε_{cm}	Beton dış basınç lifi birim uzaması
ε_{tm}	Beton dış çekme lifi birim uzaması
ε_{tf}	Betonun çekmede kopma birim uzaması
S_j	Donatı bileşke kuvveti
A_{sj}	Donatı alanı
C_c	Beton basınç kuvveti
N	Normal kuvvet
M	Moment
κ	Kiriş eğriliği
δ	Yerdeğiştirme
L	Kiriş uzunluğu
σ_c	Öngerme kablosunun gerilmesi
f_{py}	Öngerme kablosunun akma gerilmesi
f_{pe}	Öngerme gerilmesi
ε_{pu}	Öngerme kablosunun kopma birim uzaması

1. GİRİŞ

Betonarme hesabı yapan bir mühendis birçok basitleştirici varsayım yapmak zorundadır. Betonarme yapılarda, sistemin çözümü için yapılan klasik varsayımların yanısıra , malzeme davranışı ile ilgili bazı varsayımlarında yapılması zorunludur. Betonarme gibi, elastik ve doğrusal olmayan, gerilmeleri zamana ve yük geçmişine bağlı bir malzemenin davranışını hesaplara yansıtmak kolay değildir. Betonarme hesabında daha az önemli olan değişkenler ihmal edilir, diğerleri basitleştirilerek hesaba katılırken en büyük tehlike , sonunda elde edilen davranışın gerçek davranıştan tamamen uzaklaşma olasılığıdır.

Herhangi bir mekanik problemin çözümünde izlenecek yol 3 aşamada özetlenebilir.

- i.Denge koşullarının sağlanması
- ii.Uygunluk koşullarının sağlanması
- iii.Malzeme için σ - ϵ ilişkilerinin belirlenmesi

İlk iki aşama malzeme özelliklerinden bağımsızdır. Betonarme problemlerini diğer malzemelerden farklı kılan son aşamadır. Bu aşamada, betonarmeyi oluşturan çelik ve betonun gerilme birim deformasyon özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Bu belirleme, çelik için oldukça kolay olmasına karşın beton için oldukça zordur.

Malzeme davranışı ne kadar gerçekçi modellenirse çözüm o kadar doğru olacağından, malzemenin gerilme birim deformasyon özellikleri büyük önem taşır.

Bu çalışmada amaç betonarme ve davranışı betonarmeye benzeyen kısmi öngermeli kirişlerde yerdeğiştirmeleri bulmak, betonun çekme dayanımının katkısını belirlemektir. Bu amaçla dikdörtgen kesitler basit ve çift donatılı incelenmiş, T kesitler eğilme elemanlarının kaçınılmaz kesitlerinden olduğundan incelenmeye katılmıştır. I kesitler öngerilmeli elemanlarda standart kesit sayılabileceklerinden betonarme kesitler kısmında karşılaştırma amacı ile incelenmiştir. Elemanlar , yapıların açıklık ve yükseklikleri arttıkça narinleştiklerinden moment-eğrilik ve yerdeğiştirmelerinin bilinmesi gereklidir. Bu yüzden karşılaştırmalar eğrilik ve yerdeğiştirmelerde yapılmıştır.

Bu çalışmada önceki çalışmalara ek olarak T ve I kesitlerde yerdeğiştirmeler ve moment eğrilik ilişkisi bulunmuştur. Ayrıca betonun çekmede davranışını dikdörtgen gerilme bloğu varsayımı da yapılarak hesaplara [6] çalışmada söz edildiği gibi katılmıştır. Diğer çalışmalardaki [1,2] sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. BU KONUDAKİ ARAŞTIRMALAR

Bu konudaki araştırmaların başlıcaları Zdenek P. Bazant ve Byung H. Oh'un [1] çalışmasıdır. Kısmi öngermeli elemanlarla ilgili kısım için Chern ve arkadaşlarının [2] çalışmasından yararlanılmıştır.

A.C Scordelis'in [5] yaptığı bir başka çalışmada öngerilme kablosundaki gerilme elastik ve non lineer varsayılarak bu çalışmadaki gibi alınıyor. Analiz sonlu elemanlar tekniği kullanılarak yapılmıştır.

Dan E. Branson [3]'ün yaptığı çalışmada betonarme ve öngerilmeli elemanlarda yerdeğiştirmeler zamana bağlı deformasyonlar da göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu çalışmada verilen iki örnek de basit mesnetli kirişe ait olup basit donatılı ve T kesitler içindir.

2.1. Betonun Mekanik Özellikleri

Beton homojen ve elastik olmayan bir malzemedir. Davranışı zamana ve yük geçmişine bağlıdır.

2.1.1. Betonun basınç dayanımı :

Beton, diğer birçok gevrek yapı malzemesi gibi basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşüktür. Betonun standard basınç dayanımı, suda 28 gün saklanmış çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin, tek eksenli basınç altındaki dayanımı olarak tanımlanır. Gerilme cinsinden ifade edilen dayanım, silindirin kırılma yükü, alana bölünerek bulunur.

Ülkemizde ve diğer bazı ülkelerde silindir yerine zaman zaman 200x200x200 mm'lik küp numuneleri de kullanılmaktadır. İngiltere'de standart küp numuneleri 100 mm'dir. Küp ve silindir dayanımları arasındaki ilişkiyi saptayabilmek için çok sayıda deney yapılmıştır. Bu araştırmalar sonunda, silindir dayanımının küp dayanımına oranının, ortalama 0.80-0.85 olduğu bulunmuşsa da, birçok numunede bu oranın 0.7'ye kadar düştüğü veya 1.1'e kadar yükseldiği gözlenmiştir.

Yirmibeş yıl öncesine kadar silindir ABD'de, küp ise Avrupa'da standart numune olarak kabul ediliyordu. Ancak yapılan çalışmalar silindirin küpten daha iyi olduğu kanıtlandığından, Avrupa Beton Komitesi (CEB)'de silindiri standard numune kabul edilmiştir. Tercih nedenleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Küp numunesinin alanı ve dayanımı silindire kıyasla daha büyük olduğundan, kırılma yükü yaklaşık %40 daha fazladır. Bu durumda şantiyede kullanılacak presin kapasitesi küp deneyi için yeterli olmayabilir.

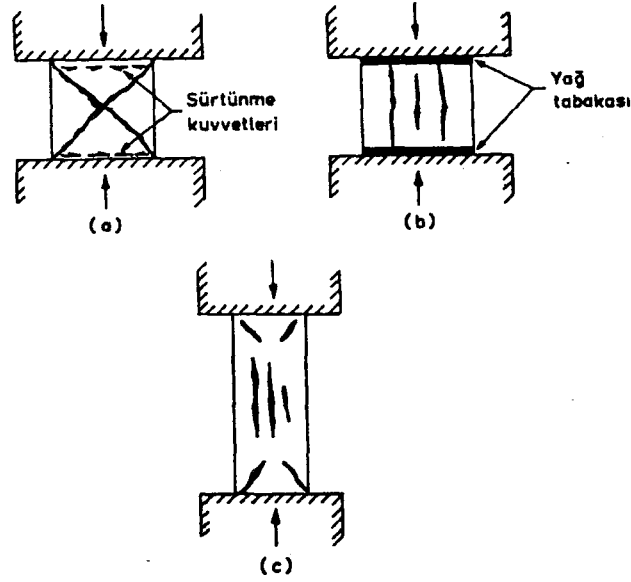
Küpün keskin köşelerinde büzülme (rötre) nedeni ile gerilme yığılmaları olabilir.

Küp deneyinde kırılma, Şekil 2.1. (a) da gösterildiği gibi, eğik çatlakların oluşması ile başlar ve giderek bu çatlaklar numunenin bir piramit biçiminde kırılmasına neden olur. Eksenel basınç altındaki bir numunenin bu tür kırılışının nedeni, pres tablası ile numune arasındaki sürtünmeden oluşan, yük eksenine dik yatay kuvvetlerdir. Yapılan deneyler, numunenin alt ve üst yüzeyleri ile pres tablası arasında oluşturulan bir yağ tabakasının, sürtünmeyi azaltarak, kırılma biçimini değiştirdiğini göstermiştir. Bu durumda, Şekil 2.1. (b) de gösterildiği gibi, kırılma eksenel basınç deneyinden beklendiği biçimde,

yük eksenine dik çatlaklarla oluşmakta ve dayanımda %50'ye varan azalmalar gözlenmektedir.

Pres tablası ile numune yüzeyleri arasında sürtünme nedeni ile oluşan kuvvetlerin etkisi, yükün uygulandığı yüzeyden uzaklaştıkça azalmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak numune yüksekliğinin kesit boyutuna oranı büyüdükçe, sürtünme etkisi kırılmayı daha az etkilemektedir. Bu nedenle, yüksekliğin kesit boyutuna oranı 2.0 olan silindir, oranın 1.0 olduğu küpe kıyasla daha güvenilir bir numune olmaktadır. Standard silindir basınç deneyinde, yönetmeliklerde öngörülen kükürt ve parafinden oluşan başlık sürtünmeyi azalttığından, kırılma Şekil 2.1. (c) de gösterildiği gibi oluşmaktadır. Şekilden görüleceği gibi, yerel sürtünme kuvvetleri numune ortalarında etkisini kaybetmektedir.

Beton zamanla dayanım kazanan bir malzemedir. İlk 7 günde çok hızlı olan dayanım kazanımı, yavaşlayarak devam eder. Bu nedenle standard dayanımın belirli bir beton yaşı ile ifade edilmesi zorunlu olmuştur. Bugün tüm uluslararası ve ulusal yönetmeliklerde 28 günlük dayanım, standard dayanım kabul edilmiştir. Betonarmede kullanılan betonun 28 günlük silindir basınç dayanımı genelde 16 ile 50 N/mm² arasında değişir [7].



Şekil 2.1. Betonun basınç dayanımı

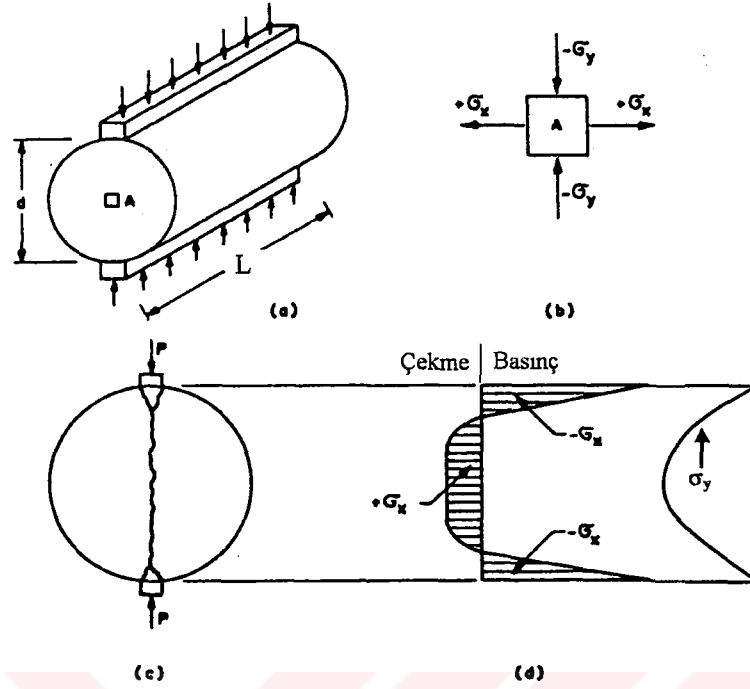
Zamanla dayanım kazanan betonun basınç dayanımını birçok değişken etkilemektedir. Bunlar;

- i. Numune geometrisi ve boyutları
- ii. Yükleme hızı
- iii. Su çimento oranı, kür, numunenin nemli olup olmaması.

2.1.2. Betonun çekme dayanımı

Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımına oranla çok düşüktür. Yaklaşık olarak betonun çekme dayanımı basınç dayanımının %10 kadardır. Betonun çekme dayanımının ideal olarak, eksenel çekme altında denenen bir elemandan elde edilmesi gerekir. Geçmiş yıllarda bu konuda yapılan deneyler başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Bu başarısızlıklardan sonra, çekme dayanımının dolaylı olarak saptanması yoluna gidilmiştir.

Çekme dayanımının dolaylı olarak saptanmasında yaygın kullanılan deney türü “Silindir Yarma Deneyi” veya “Brezilya Deneyi” olarak adlandırılan deneydir. Bu deney, pres tablosuna yatay olarak yerleştirilen bir standard silindir numunesinin (150x300 mm) altına ve üstüne yerleştirilen çelik plakalara dik yönde basınç uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Kırılma, silindirin yük eksenı boyunca yarılanması ile oluşur. Yarma deneyi Şekil 2.2. (a) da, kırılma biçimi ise Şekil 2.2. (c) de gösterilmiştir. Elastisite teorisinden; Şekil 2.2. (a) da gösterildiği biçimde yüklenen bir silindirin yük eksenı doğrultusundaki düzlemde, birbirine dik asal çekme ve basınç gerilmeleri oluşur, Şekil 2.2. (b). Kırılmaya neden olan asal çekme gerilmelerinin eleman çapı boyunca dağıtımı Şekil 2.2. (d) de gösterilmiştir. Yükün uygulandığı noktalarda oluşan yerel basınç gerilmeleri bu noktadan uzaklaştıkça çekme gerilmelerine dönüşmekte ve bu çekme gerilmeleri çap boyunca sabit kalmaktadır. Yükün uygulandığı noktalarda oluşan yerel basınç gerilmelerinin ezilmeye neden olmasını önlemek için, yükün çelik plakalar ile yayılmasına dikkat edilmelidir .



Şekil 2.2. Silindir yarma deneyi

Silindir yarma deneyinden betonun çekme dayanımı, elastisite teorisi kullanılarak aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$\sigma_x = f_{cts} = \frac{2P}{\pi dL} \quad (2.1)$$

f_{cts} = Yarmada silindirin çekme dayanımı

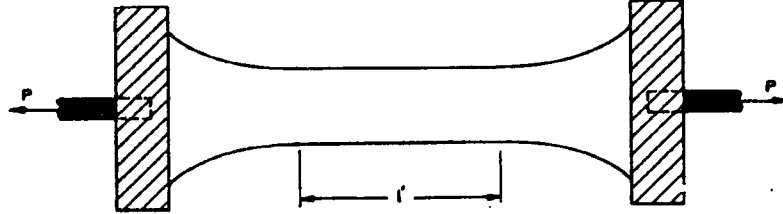
P = Yarıma yükü

d = Silindir çapı (150 mm)

L = Silindir boyu (300 mm)

Prof. Rüsch tarafından gerçek çekme dayanımını veren basit çekme deneyini laboratuvarında standart deney olarak uygulanması pratik değildir (Şekil2.3). Prof. Rüsch tarafından yapılan çok sayıda deneyden yararlanılarak Çizelge 2.1 hazırlanmıştır. Eksenel çekme deneyinden elde edilen çekme dayanımı temel

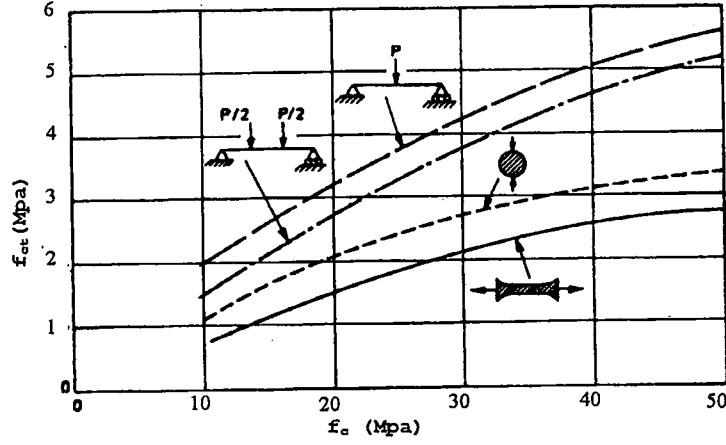
alınarak 1.0 olarak gösterilmiş, diğer tür deneylerden elde edilen sonuçlar buna göre verilmiştir. Çeşitli tür deneylerden elde edilen çekme dayanımlarının basınç dayanımına göre değişimi de Şekil 2.4.'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Direk çekme deneyi

Çizelge 2.1. Deney türüne göre betonun çekme dayanımı

Deney Türü	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımının Eksenel Çekme Dayanımına oranı
Eksenel Çekme	$f_{ct} = 0.35\sqrt{f_c}$	1.0
Yarma Silindir	$f_{ct} = 0.5\sqrt{f_c}$	1.45
Kiriş (tek yük)	$f_{ct} = 0.69\sqrt{f_c}$	2.0
Kiriş (çift yük)	$f_{ct} = 0.63\sqrt{f_c}$	1.82



Şekil 2.4. Deney türüne göre betonun çekme dayanımı

Betonarme hesaplarda kullanılacak çekme dayanımı, problemin özelliğine göre değişir. Aşağıda bazı önemli yönetmeliklerde öngörülen çekme dayanımları Çizelge 2.2’de verilmiştir. Denklemlerde çekme ve basınç dayanımları N/mm^2 olarak alınmalıdır [7].

Çizelge 2.2. Çekme dayanımları

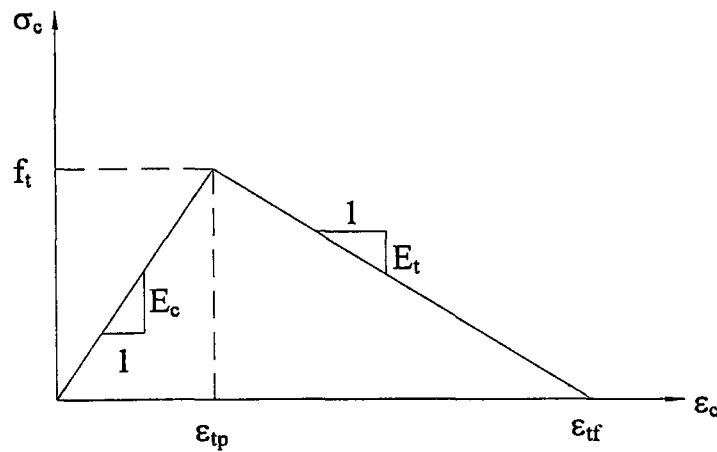
Amerikan (ACI)	$f_{ctf} = 0.63\sqrt{f}$
Avrupa (CEB)	$f_{ct} = 0.46 \alpha f_c^{2/3}$ $\alpha = 0.21 - 0.225$
Türk (TS500)	$f_{ct} = 0.35\sqrt{f_c}$

2.2. Malzeme İçin Matematiksel Modeller

Herhangi bir mukavemet probleminin çözümünde, gerilme veya kuvvet cinsinden ifade edilen denge denklemleri ile deformasyon cinsinden ifade edilen uygunluk denklemleri arasındaki ilişki, ancak kullanılan malzemenin gerilme birim deformasyon ($\sigma - \epsilon$) ilişkisinden yararlanılarak kurulur. Denge ve uygunluk denklemleri malzeme özelliklerinden bağımsız olduğundan, çözümdeki hata oranı büyük çapta varsayılan malzeme davranışının yani $\sigma - \epsilon$ ilişkisinin doğruluğuna bağlıdır. Matematiksel çözümü kolaylaştırmak amacı ile, deneyden elde edilen $\sigma - \epsilon$ eğrileri idealize edilip, basitleştirilerek kullanılır. İdealize edilip basitleştirilen $\sigma - \epsilon$ eğrileri “matematiksel model” olarak adlandırılır.

Betonun $\sigma - \epsilon$ eğrisinin çok sayıda değişken etkiler. Bugüne kadar çeşitli araştırmacılarca yüzlerce beton modeli önerilmiştir.

2.2.1. Betonun çekmede davranışı



Şekil 2.5. Çekmede beton

Çok rijit deney aletleri, betonun çekme uzama yumuşamasını yani artan uzama ile çekme gerilmesindeki yavaş azalmanın varlığını göstermiştir. Bu davranış yaklaşık olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\varepsilon_c \leq \varepsilon_{tp} \quad \sigma_c = E_c \varepsilon_c \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_{tp} < \varepsilon_c < \varepsilon_{tf} \quad \sigma_c = f_t - (\varepsilon_c - \varepsilon_{tp})(-E_t) \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_c > \varepsilon_{tf} \quad \sigma_c = 0 \quad (2.4)$$

$$E_t = \frac{-0.493E_c}{0.4 + f_t} \quad (2.5)$$

σ_c = Betonun eksenel gerilmesi (N/mm²)

ε_c = Betonun eksenel uzaması

E_c = Betonun Young modülü (N/mm²)

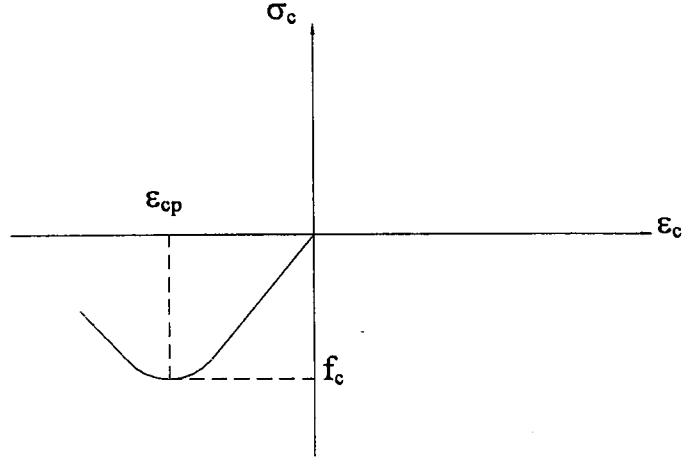
f_t = Betonun direk çekme dayanımı (N/mm²)

E_t = Uzama yumuşama modülü (N/mm²)

ε_{tp} = En büyük çekme gerilmesine karşı gelen uzamadır.

Denklem 2.2-2.4 son zamanlarda yaygın kullanılan kırılma mekaniği ile birleştirilirse betonun bütün göçmeleri tanımlanabilir [1].

2.2.2. Betonun basınçta davranışı



Şekil 2.6. Basınçta beton

Eksenel basınçta beton için yumuşamayı içeren gerilme-uzama denklemi aşağıdaki gibidir [1].

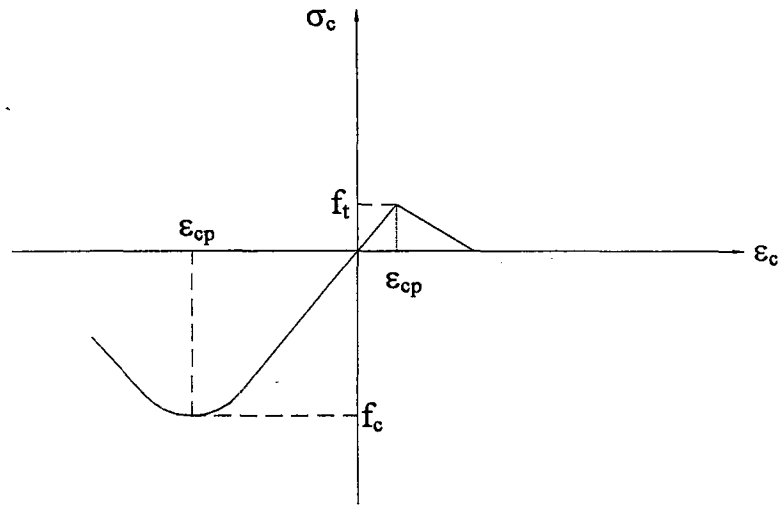
$$\sigma_c = \frac{E_c \varepsilon_c}{1 + \left(\frac{E_c \varepsilon_{cp}}{\sigma_{cp}} - 2 \right) \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cp}} \right) + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cp}} \right)^2} \quad (2.6)$$

σ_{cp} = Betonun eksenel gerilmesi (N/mm²)

ε_{cp} = Betonun eksenel uzaması

E_c = Betonun Young modülü (N/mm²)

Bu çalışmada kullanılan betona ait matematik modeli Şekil 2.7.'deki gibidir.

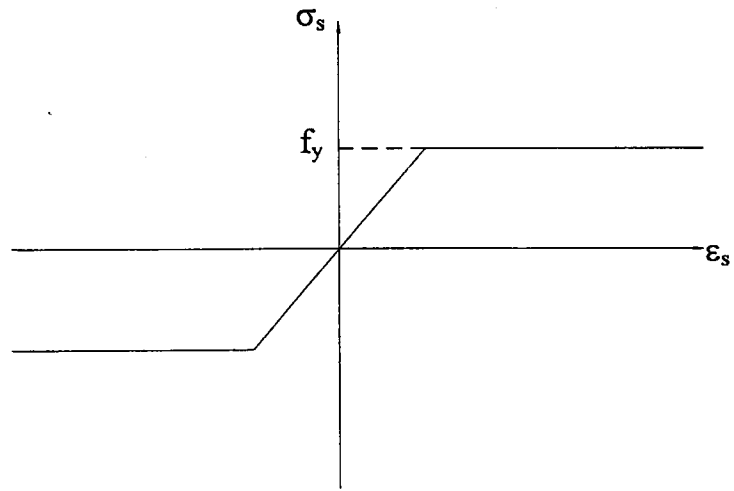


Şekil 2.7. Betona ait σ_c - ϵ_c diyagramı

2.2.3. Donatı için matematiksel model

Donatının basınç ve çekme altındaki gerilme-birim deformasyon eğrileri arasında önemli bir fark yoktur. Bu nedenle çeliğin çekme ve basınç altında σ - ϵ eğrilerinin özdeş olduğu kabul edilir.

Bu çalışmada çelik, elastik tam plastik varsayılmıştır. Buna göre donatı çeliği akma gerilmesine ulaşıncaya kadar doğrusal elastik, bu noktadan sonra plastik bir malzeme gibi davranacaktır.



Şekil 2.8. Donatı için σ - ϵ diyagramı

E_s = Elastik young modülü

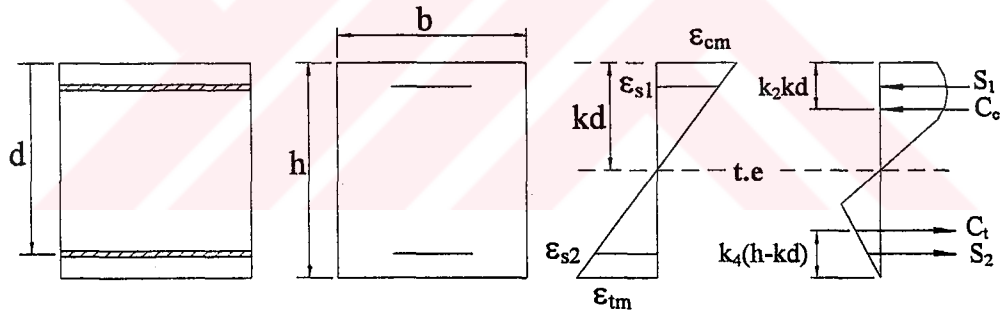
f_y = Eksenel akma gerilmesidir.

3. BETONARME ELEMANLARA AİT YERDEĞİŞTİRMELER

Eğilme altında dikdörtgen kesitlerde moment-eğrilik yerdeğiştirmesi ile yerdeğiştirmeleri bulmak için denge ve uygunluk denklemleri kullanılacaktır.

Aynı düzeyde çelikte ortalama uzama, betondaki ortalama uzamaya eşit varsayım kabul edilmiştir. Yani aderans kayması sıfırdır (Çatlaklar arasında yerel aderans kayması bu varsayıma uymaz).

Çalışmamızda kullandığımız betonarme dikdörtgen kesit Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kesitteki gerilme ve birim deformasyon dağılımları

3.1. Donatıya Ait Değerleri

Basınç ve çekme donatısı alanları sırası ile A_{s1} ve A_{s2} ile gösterilmiştir. Donatılara ait birim uzamalar da ε_{sj} ($j=1,2$) ile belirtilmiştir. Donatıların gerilmeleri σ_{sj} 'dir.

$$\varepsilon_{sj} = \varepsilon_{cm} \frac{kd - d_j}{kd} \quad (3.1)$$

ε_{cm} = Basınç yüzünde betonun uzaması

kd = Basınç yüzünün tarafsız eksene olan uzaklığı

d_j = Donatının basınç yüzüne olan mesafesi

σ_{sj} çelik gerilmeleri, çeliğin gerilme uzama diyagramından bulunacaktır. Donatıların kuvvet bileşkeleri :

$$S_j = \varepsilon_{sj} A_{sj} \quad (3.2)$$

S_j = Donatı bileşke kuvveti

A_{sj} = Donatı alanı

3.2. Betonun Basınç Bölgesine Ait Değerler :

Betonun aldığı toplam basınç kuvveti aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$C_c = k_1 f_c b kd \quad (3.3)$$

k_1 = Ortalama basınç gerilmeleri için kullanılan düzeltme çarpanı

b = Kesit genişliği

Bileşke kuvvetin uygulama noktası beton basınç yüzünden z_1 uzaklıktadır.

$$z_1 = k_2 kd \quad (3.4)$$

Gerilme-birim deformasyon diyagramına göre k_1 ve k_2 için aşağıdakiler yazılabilir.

$$k_1 = \frac{\int_0^{\varepsilon_{cm}} \sigma_c d\varepsilon_c}{f_c \varepsilon_{cm}} \quad k_2 = 1 - \frac{\int_0^{\varepsilon_{cm}} \varepsilon_c \sigma_c d\varepsilon_c}{\varepsilon_{cm} \int_0^{\varepsilon_{cm}} \sigma_c d\varepsilon_c} \quad (3.5)$$

Bu integrallerin çözümü için denklem 2.6, denklem 3.5'e yerleştirilirse k_1 ve k_2 aşağıdaki şekilde bulunur.

$$k_1 = \frac{E_c}{f_c \varepsilon_{cm}} \left[\frac{1}{2B} \ln(1 + A\varepsilon_{cm} + B\varepsilon_{cm}^2) + \frac{A}{B\sqrt{q}} \left(\tan^{-1} \frac{A}{\sqrt{q}} - \tan^{-1} \frac{A + 2B\varepsilon_{cm}}{\sqrt{q}} \right) \right] \quad (3.6)$$

$$k_2 = 1 - \frac{\left(\frac{\varepsilon_{cm}}{B} - \frac{A}{2B^2} \ln(1 + A\varepsilon_{cm} + B\varepsilon_{cm}^2) + \left(\frac{A^2 - 2B}{B^2 \sqrt{q}} \right) \left(\tan^{-1} \frac{2B\varepsilon_{cm} + A}{\sqrt{q}} - \tan^{-1} \frac{A}{\sqrt{q}} \right) \right)}{\varepsilon_{cm} \left(\frac{1}{2B} \ln(1 + A\varepsilon_{cm} + B\varepsilon_{cm}^2) + \frac{A}{B\sqrt{q}} \left(\tan^{-1} \frac{A}{\sqrt{q}} - \tan^{-1} \frac{A + 2B\varepsilon_{cm}}{\sqrt{q}} \right) \right)} \quad (3.7)$$

$$A = \frac{1}{\varepsilon_{cp}} \left(\frac{E_c \varepsilon_{cp}}{\sigma_{cp}} - 2 \right) , \quad B = \frac{1}{\varepsilon_{cp}^2} , \quad q = 4B - A^2 > 0 \quad (3.8)$$

3.3. Betonun Çekme Bölgesine Ait Değerler

Betonun aldığı toplam çekme kuvveti ve çekme yüzeyinden olan uygulama noktası aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$C_t = k_3 f_t b (h - kd) , \quad z_1 = k_4 (h - kd) \quad (3.9)$$

Verilen gerilme-birim deformasyon diyagramına göre k_3 ve k_4 için aşağıdakiler yazılabilir.

$$k_3 = \frac{\int_0^{\varepsilon_{tm}} \sigma_c d\varepsilon_c}{f_t \varepsilon_{tm}} , \quad k_4 = 1 - \frac{\int_0^{\varepsilon_{tm}} \varepsilon_c \sigma_c d\varepsilon_c}{\varepsilon_{tm} \int_0^{\varepsilon_{tm}} \sigma_c d\varepsilon_c} \quad (3.10)$$

İntegrallerin çözümü için denklem 2.2, 2.3 ve 2.4 , denklem 3.10' da sırayla yerine konulur ve çözümü yapılır. Bundan dolayı 3 farklı k_3 ve k_4 değeri elde edilmiştir. Bunlar sırasıyla aşağıdaki gibidir.

a) $\varepsilon_{tm} \leq \varepsilon_{tp}$ aralığında integral 0'dan ε_{tm} 'ye kadar alınmalıdır.

$$k_3 = \frac{E_c \varepsilon_{tm}}{2f_t} \quad (3.11)$$

$$k_4 = \frac{1}{3} \quad (3.12)$$

b) $\varepsilon_{tp} < \varepsilon_{tm} < \varepsilon_{tf}$ aralığında integral ε_{tp} 'den ε_{tf} 'ye kadar alınacaktır.

$$k_3 = \frac{1}{f_t \varepsilon_{tm}} \left[(f_t + \varepsilon_{tp} |E_t|) \varepsilon_{tm} - \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tm}^2 - \frac{1}{2} f_t \varepsilon_{tp} - \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tp}^2 \right] \quad (3.13)$$

$$k_4 = 1 - \frac{-\frac{1}{6} f_t \varepsilon_{tp}^2 + \left(\frac{1}{2} f_t + \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tp} \right) \varepsilon_{tm}^2 - \frac{1}{3} |E_t| \varepsilon_{tm}^3 - \frac{1}{6} |E_t| \varepsilon_{tp}^3}{\varepsilon_{tm} \left[(f_t + \varepsilon_{tp} |E_t|) \varepsilon_{tm} - \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tm}^2 - \frac{1}{2} f_t \varepsilon_{tp} - \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tp}^2 \right]} \quad (3.14)$$

c) $\varepsilon_{tm} \geq \varepsilon_{tf}$ aralığında integral ε_{tp} 'den ε_{tf} 'ye kadar alınacaktır.

$$k_3 = \frac{1}{f_t \varepsilon_{tm}} \left[(f_t + \varepsilon_{tp} |E_t|) \varepsilon_{tf} - \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tf}^2 - \frac{1}{2} f_t \varepsilon_{tp} - \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tp}^2 \right] \quad (3.15)$$

$$k_4 = 1 - \frac{-\frac{1}{6} f_t \varepsilon_{tp}^2 + \left(\frac{1}{2} f_t + \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tp} \right) \varepsilon_{tf}^2 - \frac{1}{3} |E_t| \varepsilon_{tf}^3 - \frac{1}{6} |E_t| \varepsilon_{tp}^3}{\varepsilon_{tm} \left[(f_t + \varepsilon_{tp} |E_t|) \varepsilon_{tf} - \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tf}^2 - \frac{1}{2} f_t \varepsilon_{tp} - \frac{1}{2} |E_t| \varepsilon_{tp}^2 \right]} \quad (3.16)$$

3.4. Denge Denklemleri

Belirli bir eksenel yük altındaki betonarme kesitin moment-eğrilik eğrisini oluşturan M ve κ değerleri, seçilen bir maksimum birim kısalma için yazılacak denge ve uygunluk denklemlerinden elde edilir.

Kesitin denge durumunda moment ve eksenel kuvvet denklemleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$N = k_1 f_c b k d + \sum_{j=1}^2 \sigma_{sj} A_{sj} - k_3 f_t b (h - k d) \quad (3.17)$$

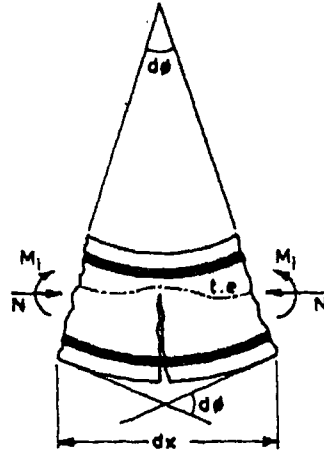
$$M = k_1 f_c b k d \left(\frac{h}{2} - k_2 k d \right) + \sum_{j=1}^2 \sigma_{sj} A_{sj} \left(\frac{h}{2} - d_j \right) + k_3 f_t b (h - k d) \left[\frac{h}{2} - k_4 (h - k d) \right] \quad (3.18)$$

Burada M ve N kesitteki eğilme momenti ve normal kuvvettir.

3.5. Kiriş Eğriliğinin Hesaplanması

Eğilme ve eksenel yük veya yalnız eğrilme altındaki bir kesitin davranışı, en sağlıklı bir biçimde gerçek malzeme davranışını temel olarak hesaplanmış veya deneysel verilerden elde edilmiş Moment-Eğrilik eğrilerinden izlenebilir.

Eğrilik birim dönme açısıdır. Eğrilik Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi iki kesit arasındaki dönme açısı farkından veya doğrudan kesitteki birim deformasyondan yararlanılarak hesaplanabilir.



Şekil 3.2. Kesitteki eğilme

$$Eğrilik = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2x}{dy^2} = \frac{1}{\rho} = \kappa \quad (3.19)$$

veya;

$$\kappa = \frac{\epsilon_{cm}}{kd} \quad (3.20)$$

Denklem 3.19.'daki ilişki eğilmiş kirişin geometrisinden, denklem 3.20.'deki ise Bernoulli – Navier hipotezi olarak, bilinen düzlem kesitlerin eğilmeden sonra da düzlem kalacağı varsayımından elde edilmiştir.

Kirişin moment eğrilik ilişkisini hesaplamaya ϵ_{cm} değeri için kabul yaparak başlanır. Denge denklemleriyle hesaplanan normal kuvvetin verilen normal kuvvete eşit oluncaya kadar tarafsız eksenin yeri değiştirilir. Daha sonra ϵ_{cm} 'ye küçük artışlar vererek ϵ_{cm} 'lere denk gelen tarafsız eksen yerleri hesaplanır. Moment denklemi ile kesitin her ϵ_{cm} 'ye denk gelen moment ve eğriler hesaplanır.

3.6. Yerdeřiftirmelerin Hesabı

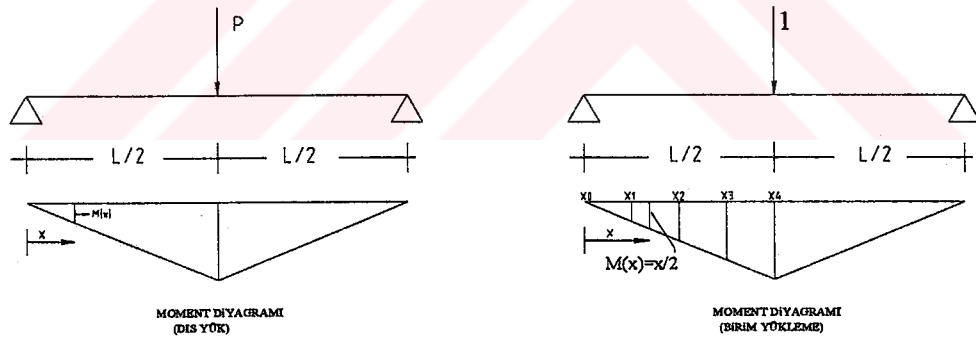
Kirişin δ yerdeřiftirmesi Virtüel iř ilkesine göre bulunabilir.

$$\delta = \int_0^L \kappa M dx \quad (3.21)$$

$M = \delta$ yerdeşiftirmesi yönünde birim yüke karşı gelen eğilme momenti.

$\kappa = \text{Eğrilik}$

Virtüel iř prensibinde kullanılan diyagram aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.3. Dış yükleme

İntegral sayısal analiz ile hesaplanabilir. Bunun için Simpson Kuralı kullanılmış ve kiriş yarım açıklık için 4 eşit parçaya bölünmüştür.

$$\delta = 2 \int_0^{L/2} \kappa(x) \frac{x}{2} dx \approx \frac{L^2}{48} \left[\kappa\left(\frac{L}{8}\right) + \kappa\left(\frac{L}{4}\right) + 3\kappa\left(\frac{3L}{8}\right) + \kappa\left(\frac{L}{2}\right) \right] \quad (3.22)$$

Formülde gerekli olan κ değerleri oluşturulan moment eğrilik diyagramından okunur. Momente karşılık gelen eğrilik değerleri, formülde yerine konarak kiriş ortasındaki δ yerdeğiştirmeleri bulunur.



4. KİSMİ ÖNGERMELİ ELEMANLARDA YERDEĞİŞTİRMELERİN HESABI

4.1. Kısmi Öngerme

Öngerilmeli beton dizayn eden mühendisler, ilk zamanlar normal servis yükleri altındaki elemanlarda çekme gerilmelerini tümüyle ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır. Bu işleme tam öngerme adı verilir [8].

Öngerilmeli beton inşaatlarının artmasıyla kazanılan tecrübeler göstermiştir ki; tam öngerilmeli beton ile normal donatılı beton arasında oluşturulacak ara bir çözümün bir takım avantajları birlikte getirebileceğiydi. Bu şekilde, servis yükleri altında betonun çekmesine ve bazı kırılma çatlaklarına izin veren ara çözüme kısmi öngerme denir [8].

Tam öngerme, servis yükleri altındaki elemanlarda çatlakları tümüyle ortadan kaldırmasına karşın, servis yüklerinden daha az yüklerde büyük kavisli veya büyük negatif yerdeğiştirmeli elemanlar oluşmasına sebep olmaktadır [8].

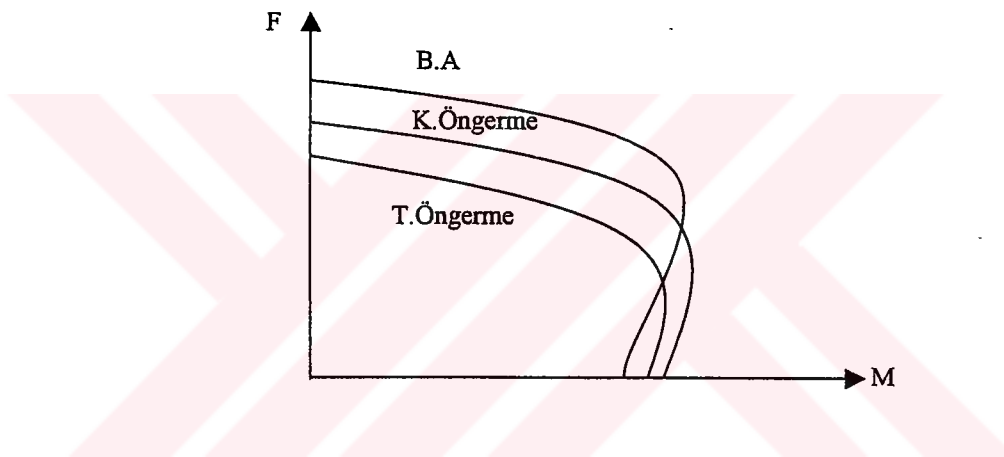
Kısmi öngerilmeli kirişlerde tüm servis yükleri uygulandığında çatlaklar oluşacaktır ancak oluşacak bu çatlaklar küçük ve yük azaldıkça tümüyle kapanacaktır.

Kısmi öngerilmeli kesitlerde, tam öngerilmeli kesitlere göre daha az öngerme halatı kullanılması ve daha değişik enkesit biçimine izin vermesi yüzünden çok daha ekonomiktir [9]

Kısmi öngerme de elemanların kırılmalarına karşı bir güvenlik içinde olması gereklidir. Bu da çekme zonu içerisine normal çekme donatısı bulundurulmasını gerektirir [9].

Kısmi öngerme, donatılı ve öngerilmeli betonun avantajlarını birleştirerek sunduğu faydalar ile son yıllarda ABD’de çok hızla yükselen kullanım alanı bulmaktadır.

Kısmi öngermenin üstünlüklerinin biri de tam öngerilmeye göre göçmede daha fazla enerji yutması nedeni ile sünek yapı oluşturur (Şekil 4.1). Deprem bölgelerinde kısmi öngerilmeli tam öngerilmeye göre süneklilik nedeni ile daha çok kullanılmaya elverişlidir [10].



Şekil 4.1. Karşılıklı etkileşim diyagramı

Bölüm 3 de verilen beton ve normal donatıya ait mekanik özellikler ve matematiksel modeller, kısmi öngerme analizleri için de geçerlidir. Bu bölümde sadece öngerme halatına ait özellikler verilecektir.

4.2. Öngerme Çeliği

Öngerme donatısı yüksek kaliteli çelikten olmalıdır. Öngerme donatısı TS 3233’ e [11] göre tel, toron, çubuk ve bunların herbirinden oluşturulan grupların meydana getirdiği kablo şeklinde olabilir.

a) Öngerme Telleri:

Çapları 1.5 mm' den 7 mm'ye kadar olan öngerme telleri kaplamasız, gerilmeden arınmış, orantılılık sınırları yükseltilmiş tellerdir. Çapı çok ufak olanların dışındaki teller yan yüzleri nervürlü veya profilli olarak imal edilmektedirler. Öngerme tellerinin çapları büyüdükçe minimum kopma dayanımları 1800 N/mm^2 ' den 1500 N/mm^2 ' ye düşmektedir [12].

b.) Öngerme Toronu:

Öngerme toronları iki veya daha fazla telin helis şeklinde üst üste sarılmaları ile elde edilen germe donatılarıdır. 7 telli toronlarda, bir telin çevresine konmuş 6 tel, iç tel üzerine helis şeklinde sarılmışlardır. Sargı işlemi fabrikalarda yapılır ve bu esnada teller kalıcı deformasyona uğrarlar. Minimum kopma dayanımları 1600 N/mm^2 dir [12].

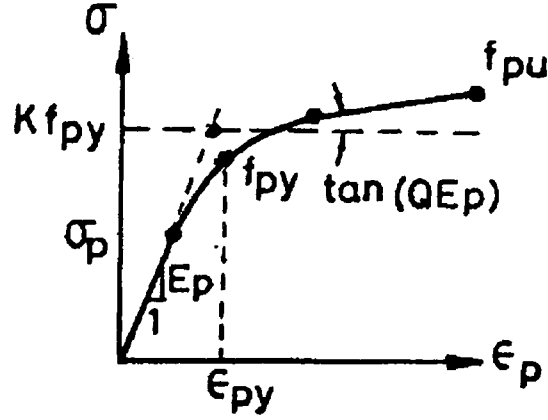
c.) Öngerme Çubuğu:

Öngerme çubukları çapları 7 ile 32 mm arasında değişen, sıcakta çekilmiş özel alaşımlı tek parçadan oluşan çubuklardır. Minimum kopma dayanımları 1000 N/mm^2 dir [12].

d.) Öngerme Kablosu:

Öngerme kablosu, tel veya toron veya çubuk gruplarından oluşan germe elemanlarıdır. Mekanik özellikleri bu bakımdan değişiktir. İmal eden firmaların belgelerinde gerekli özellikler belirtilmiştir.[5]

4.3. Matematiksel Model



Şekil 4.2 Öngerme çeliği için σ - ϵ diyagramı

Öngerme donatısının σ - ϵ ilişkisi için Menegotto ve Pinto tarafından önerilen ve Naaman tarafından da uygun görülen aşağıdaki formül kullanılacaktır.

$$\sigma_p = E_p \epsilon_p \left(Q + \frac{1-Q}{\left(1 + \left(\frac{E_p \epsilon_p}{Kf_{py}} \right)^N \right)^{1/N}} \right) \quad (4.1)$$

$$Q = \frac{f_{pu} - Kf_{py}}{E_p \epsilon_{pu} - Kf_{py}} \quad (4.2)$$

f_{py} : Akma gerilmesi

f_{pu} :Kopma gerilmesi

ε_{pu} :Kopma birim uzaması

N, K, Q :Ampirik değerler olup Naaman tarafından sırasıyla 6.06,1.0325 ve 0.00625 olarak verilmiştir.[6]

4.4. Denge Denklemleri

Kesitin denge durumunda moment ve eksenel kuvvet denklemleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

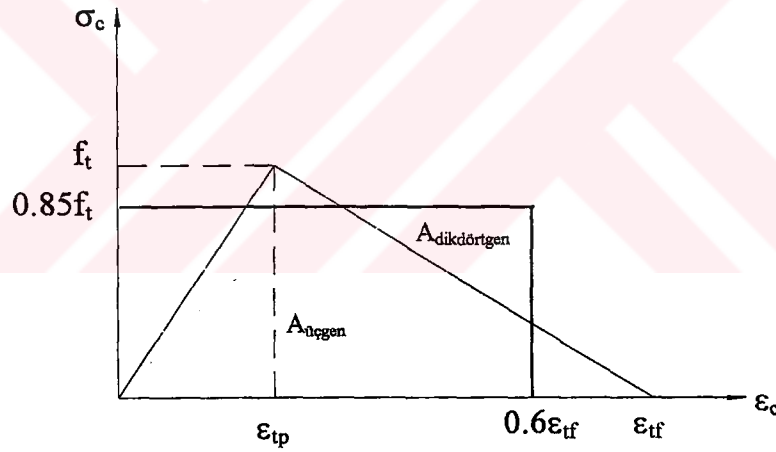
$$N = k_1 f_c b k d + \sum_{j=1}^2 \sigma_{sj} A_{sj} - k_3 f_t b (h - k d) + \sum \sigma_p A_p \quad (4.3)$$

$$M = k_1 f_c b k d \left(\frac{h}{2} - k_2 k d \right) + \sum_{j=1}^2 \sigma_{sj} A_{sj} \left(\frac{h}{2} - d_j \right) + k_3 f_t b (h - k d) \left[\frac{h}{2} - k_4 (h - k d) \right] + \sum \sigma_p A_p d_p \quad (4.4)$$

5. BETON ÇEKME DAYANIMI İÇİN BASİT ÇÖZÜM

Analitik analizlerde kullanılan beton modelinde TS 500' de kullanılan beton basınç bölgesinde önerilen basitleştirme yöntemi çekme bölgesine uygulanmıştır [3]. Çekme bölgesi için detayları bölüm 2' de verilen üçgen gerilme birim deformasyon ilişkisi yerine eşdeğer bir dikdörtgen gerilme bloğu yerleştirilmiştir.

Bu basitleştirme ile detayları bölüm 3' de irdelenmiş olan integrasyon formüllerinde basitleştirmeye gidilmek amaçlanmıştır. Ayrıca çekme bölgesinde üç aralıkta inceleme yapmadan sadece iki aralıkta inceleme yapılması sağlanmıştır.



Şekil 5.1. Beton çekme bölgesi için eşdeğer alan

$$Alan_{\text{üçgen}} = Alan_{\text{dikdörtgen}}$$

$$\frac{1}{2} \varepsilon_{tf} f_t \cong 0.85 f_t 0.60 \varepsilon_{tf}$$

Beton çekme bölgesine ait gerilme bloklarının alanları yukardaki şekilde ifade edilebilir.

Denklem 3.10' da verilen integraller eşdeğer dikdörtgen alan için uygulanacak olursa;

$$a.) \varepsilon_{tm} < 0.6\varepsilon_{yf}$$

$$k_3 = \frac{\int_0^{\varepsilon_{tm}} 0.85 f_t d\varepsilon_c}{0.85 f_t \varepsilon_{tm}} = \frac{0.85 f_t \varepsilon_{tm}}{0.85 f_t \varepsilon_{tm}} = 1 \quad (5.1)$$

$$k_4 = 1 - \frac{\int_0^{\varepsilon_{tm}} \varepsilon_c 0.85 f_t d\varepsilon_c}{\varepsilon_{tm} \int_0^{\varepsilon_{tm}} 0.85 f_t d\varepsilon_c} = 1 - \frac{\varepsilon_{tm}^2 0.85 f_t}{2 \varepsilon_{tm} 0.85 f_t \varepsilon_{tm}} = 0.5 \quad (5.2)$$

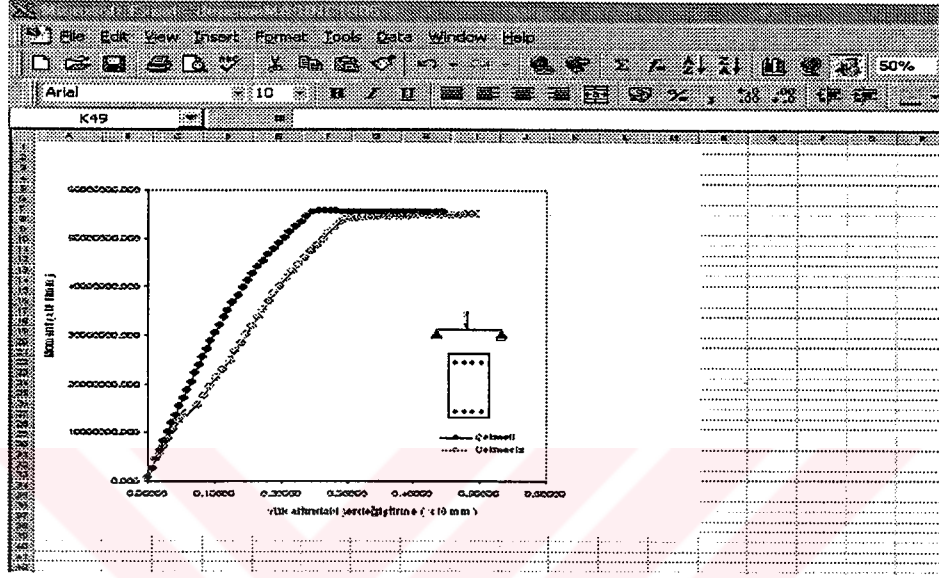
$$b.) \varepsilon_{tm} \geq 0.6\varepsilon_{yf}$$

$$k_3 = \frac{\int_0^{0.6\varepsilon_{yf}} 0.85 f_t d\varepsilon_c}{0.85 f_t \varepsilon_{tm}} = \frac{0.85 f_t 0.6\varepsilon_{yf}}{0.85 f_t \varepsilon_{tm}} = \frac{0.6\varepsilon_{yf}}{\varepsilon_{tm}} \quad (5.3)$$

$$k_4 = 1 - \frac{\int_0^{0.6\varepsilon_{yf}} \varepsilon_c 0.85 f_t d\varepsilon_c}{\varepsilon_{tm} \int_0^{0.6\varepsilon_{yf}} 0.85 f_t d\varepsilon_c} = 1 - \frac{(0.6\varepsilon_{yf})^2 0.85 f_t}{2 \varepsilon_{tm} 0.85 f_t 0.6\varepsilon_{yf}} = 1 - \frac{0.3\varepsilon_{yf}}{\varepsilon_{tm}} \quad (5.4)$$

olarak bulunabilir.

programın o alt programı aktif hale gelerek veri giriş bölümünün sol ve sağında kalan sonuç tabloları program tarafından otomatik olarak doldurulur. Program bu değerleri kullanarak Şekil 6.1' de gösterilen grafikleri oluşturur.

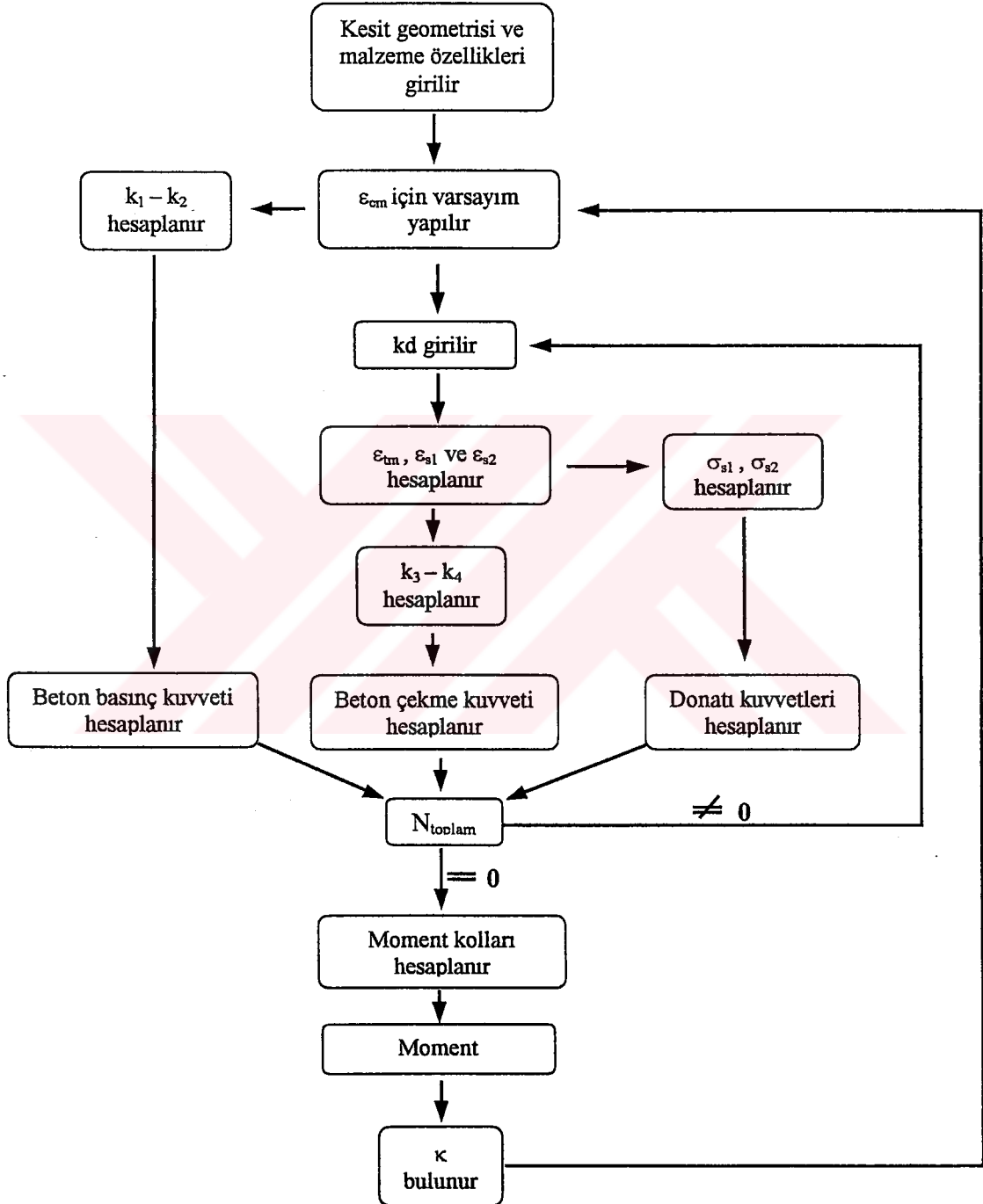


Şekil 6.1. Grafik ekranı

6.1. Program Akışı

Programın akış şeması incelendiğinde ilk olarak geometrik özellikler, donatı özellikleri ve beton özellikleri olarak üç ana başlığa ayrılmış olan veri girişleri yapılmıştır. Daha sonra beton dış lifinin birim şekil değiştirmesi için bir varsayım yapılır. Beton kesitinin tarafsız ekseninin yeri 1 birimlik aralıklarla artırılarak bölüm 2'de detayları verilen beton modelini oluşturan kuvvetler ve kuvvet kolları verilen integrasyon formülleri kullanılarak hesaplanır. Yatay kuvvet dengesi kullanılarak eksenel kuvvet değeri bulunur. Sonra normal kuvvet değerinin sıfır olduğu noktanın yüksekliğinin kesit tarafsız ekseninin yeri olması özelliği kullanılarak kesit için tarafsız eksenin yeri bulunmuş olur. Bu değerler kullanılarak moment değeri ve eğrilik değeri hesaplanır. Daha

sonra başa dönülerek tüm işlemler başka bir dış lif beton birim deformasyonu değeri için tekrarlanır. Böylece Geometrik, donatı ve beton özellikleri verilen kesit için moment eğrilik ilişkisi elde edilmiş olur.

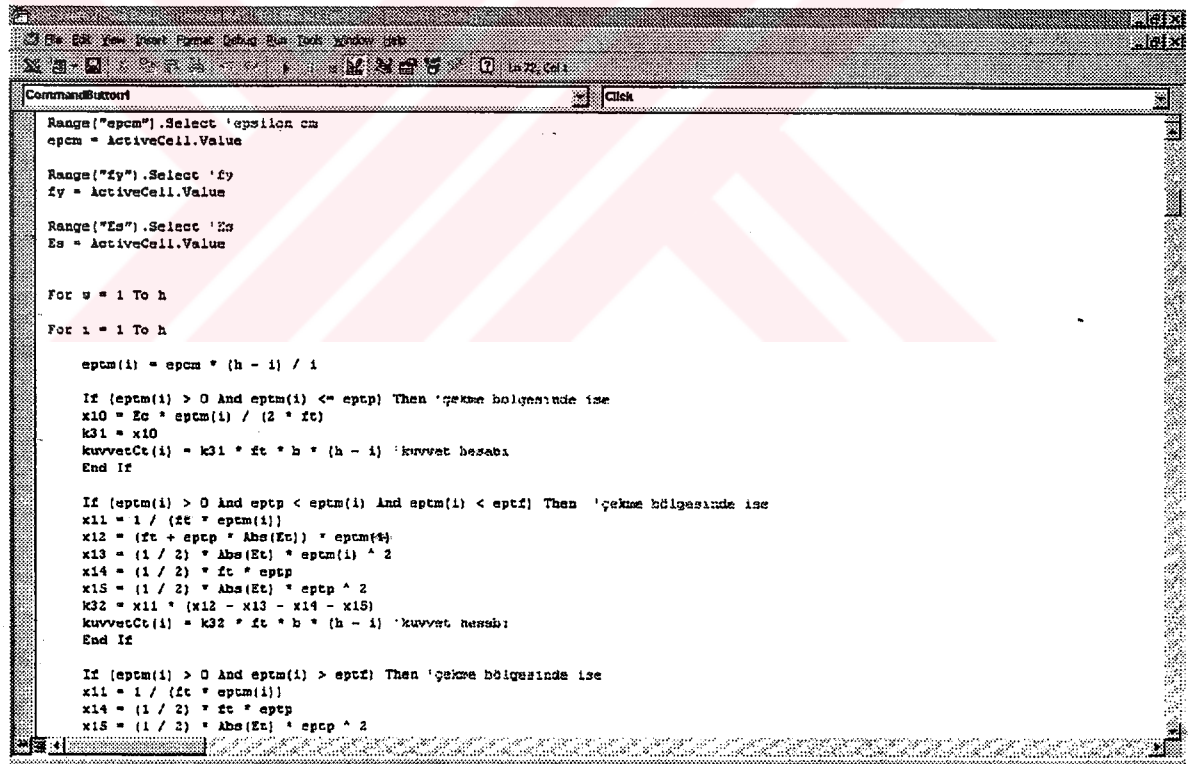


Şekil 6.2. Program akış diyagramı

Programın ikinci kısmı ise moment ile kiriş orta nokta deplasman arasındaki ilişkinin hesaplandığı bölümdür. Bu bölümde $P=1$ den başlanarak istenilen bir P kuvvetine kadar deplasmanlar bulunur. Bunun için Simpson kuralı uygulanır.

Şekil 6.2' de verilen program akışı kullanılarak ve çizelge 6.2'de gösterilen makrolar yazılarak program kodu oluşturulmuştur. Program kodu Excel'den veri okutma ve yazdırma satırları hariç tamamen Visual Basic komutlarından oluşmuştur.

Çizelge 6.2. Visual Basic makro penceresi



7. SAYISAL ÖRNEKLER

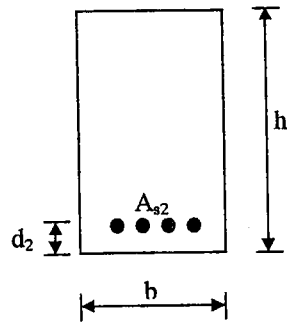
Bu bölümde hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak tek ve çift donatılı dikdörtgen, I ve T kesitler için örnekler analzi edilmiştir. Her örnek hem çekme etkisi dikkate alınarak hem de çekme etkisi ihmal edilerek iki kere analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Ayrıca dikdörtgen kesitlere öngerme kablosu eklenerek servis yükleri altındaki kısmi öngerme davranışı göz önüne alınarak analiz edilmiştir. Sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

Son olarak betonun çekme gerilmesi dikdörtgen gerilme bloğu kabul edilerek elde edilen sonuçlar tek donatılı ve çift donatılı dikdörtgen kesitler için bulunmuştur. Sonuçlar üçgen gerilme bloğu davranışıyla grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

7.1. Örnek-1

Excel çıktıları çizelge 7.1'de gösterilmiştir. Sadece çekme donatısına sahip basit donatılı dikdörtgen kirişe ait moment eğrilik diyagramı (Şekil 7.1.) ve moment yerdeğiştirme diyagramı da (Şekil 7.2) verilmiştir



$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d_2 = 100 \text{ mm}$$

$$A_{s2} = 3534 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_t = 3.45 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 30280 \text{ N/mm}^2$$

$$E_t = -3877.41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 220 \text{ N/mm}^2$$

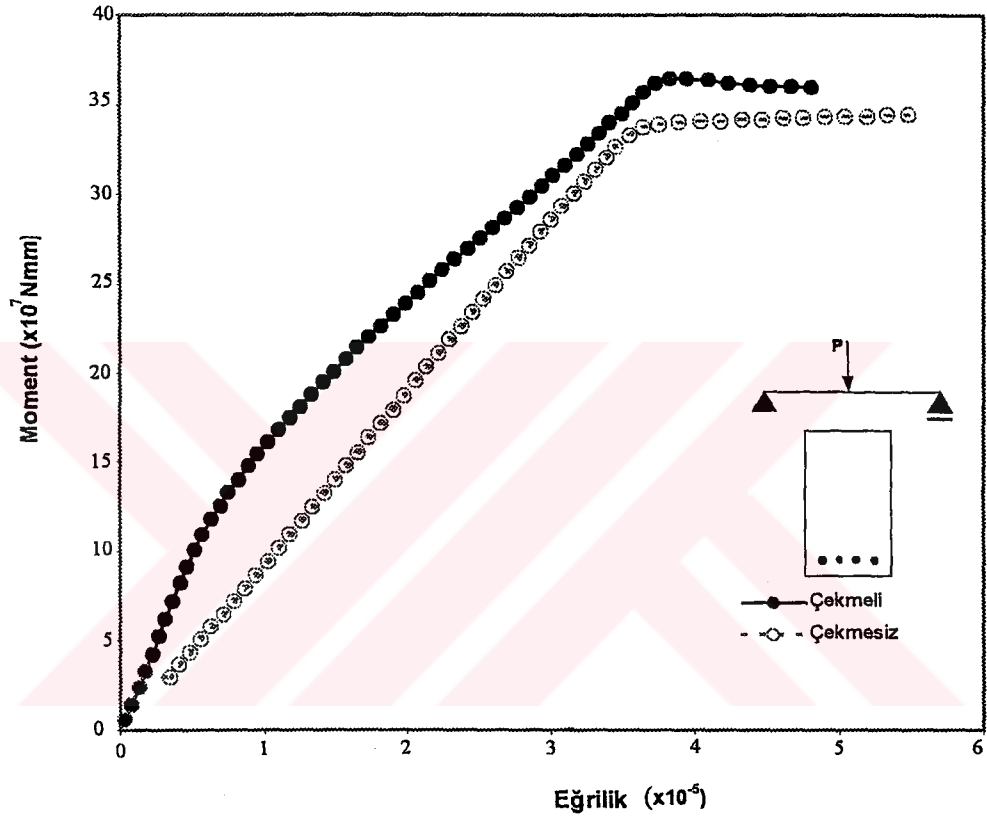
$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 4500 \text{ mm}$$

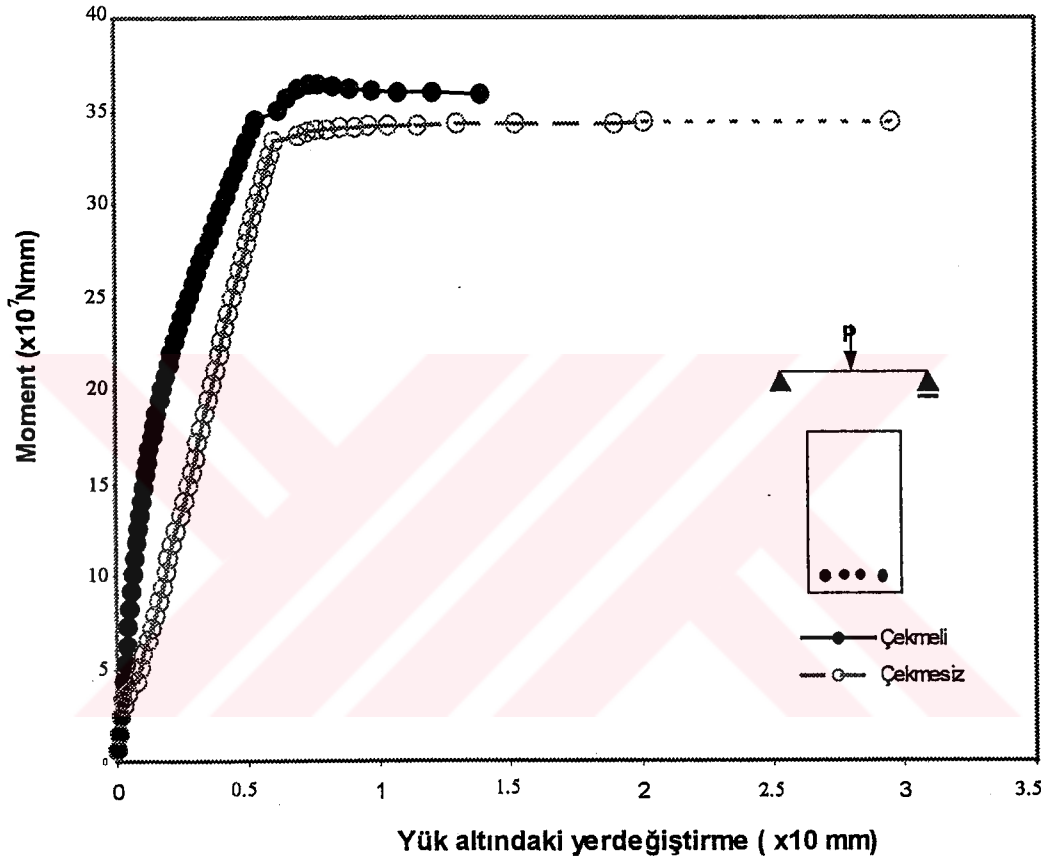
$$P = 400000 \text{ N}$$

Çizelge 7.1. Excel program çıktısı (Örnek 7.1)

ÇEKİRDEK										ÇEKİRDEK									
c	N	Ntopl	E _m	E _{cm}	K _d	Moment	Egrilik	Egrilik	Deplasman	c	N	Ntopl	E _m	E _{cm}	K _d	Moment	Egrilik	Egrilik	Deplasman
0.000096			0.000100	32.240	597646.843	0.000003	0.000000	0.000010	0.000010	0.000096			0.000100	32.240	597646.843	0.000003	0.000000	0.000010	0.000010
0.000017			0.000250	32.146	1484086.270	0.000000	0.000000	0.006770	0.006770	0.000017			0.000250	32.146	1484086.270	0.000000	0.000000	0.006770	0.006770
0.000048			0.000400	32.053	2398409.792	0.000012	0.000000	0.013288	0.013288	0.000048			0.000400	32.053	2398409.792	0.000012	0.000000	0.013288	0.013288
0.000042			0.000550	31.953	3330123.711	0.000017	0.000000	0.019853	0.019853	0.000042			0.000550	31.953	3330123.711	0.000017	0.000000	0.019853	0.019853
0.000061			0.000700	31.878	4278851.586	0.000022	0.000000	0.026353	0.026353	0.000061			0.000700	31.878	4278851.586	0.000022	0.000000	0.026353	0.026353
0.000074			0.000850	31.793	5244009.086	0.000027	0.000000	0.032808	0.032808	0.000074			0.000850	31.793	5244009.086	0.000027	0.000000	0.032808	0.032808
0.000082			0.001000	31.708	6228864.146	0.000032	0.000000	0.039220	0.039220	0.000082			0.001000	31.708	6228864.146	0.000032	0.000000	0.039220	0.039220
0.000103			0.001150	31.627	7223856.466	0.000038	0.000000	0.046174	0.046174	0.000103			0.001150	31.627	7223856.466	0.000038	0.000000	0.046174	0.046174
0.000114			0.001300	31.534	8238772.241	0.000044	0.000000	0.051884	0.051884	0.000114			0.001300	31.534	8238772.241	0.000044	0.000000	0.051884	0.051884
0.000137			0.001450	31.330	9200360.463	0.000046	0.000000	0.058152	0.058152	0.000137			0.001450	31.330	9200360.463	0.000046	0.000000	0.058152	0.058152
0.000149			0.001600	31.066	1010190.550	0.000052	0.000000	0.064370	0.064370	0.000149			0.001600	31.066	1010190.550	0.000052	0.000000	0.064370	0.064370
0.000161			0.001750	30.805	1096338.370	0.000057	0.000000	0.070730	0.070730	0.000161			0.001750	30.805	1096338.370	0.000057	0.000000	0.070730	0.070730
0.000189			0.001900	30.154	1176454.945	0.000063	0.000000	0.076875	0.076875	0.000189			0.001900	30.154	1176454.945	0.000063	0.000000	0.076875	0.076875
0.000206			0.002050	29.577	1264263.577	0.000069	0.000000	0.083104	0.083104	0.000206			0.002050	29.577	1264263.577	0.000069	0.000000	0.083104	0.083104
0.000232			0.002200	28.187	1329408.719	0.000075	0.000000	0.089895	0.089895	0.000232			0.002200	28.187	1329408.719	0.000075	0.000000	0.089895	0.089895
0.000264			0.002350	26.595	1402471.156	0.000082	0.000000	0.095743	0.095743	0.000264			0.002350	26.595	1402471.156	0.000082	0.000000	0.095743	0.095743
0.000281			0.002500	25.208	14737278.312	0.000088	0.000000	0.103931	0.103931	0.000281			0.002500	25.208	14737278.312	0.000088	0.000000	0.103931	0.103931
0.000304			0.002650	27.731	1543549.330	0.000096	0.000000	0.111783	0.111783	0.000304			0.002650	27.731	1543549.330	0.000096	0.000000	0.111783	0.111783
0.000351			0.002800	27.250	16121924.409	0.000103	0.000000	0.118035	0.118035	0.000351			0.002800	27.250	16121924.409	0.000103	0.000000	0.118035	0.118035
0.000364			0.002950	26.821	16798705.408	0.000110	0.000000	0.124029	0.124029	0.000364			0.002950	26.821	16798705.408	0.000110	0.000000	0.124029	0.124029
0.000397			0.003100	26.393	17467444.700	0.000117	0.000000	0.131604	0.131604	0.000397			0.003100	26.393	17467444.700	0.000117	0.000000	0.131604	0.131604
0.000426			0.003250	25.981	18129392.116	0.000125	0.000000	0.137720	0.137720	0.000426			0.003250	25.981	18129392.116	0.000125	0.000000	0.137720	0.137720
0.000472			0.003400	25.580	18765894.603	0.000133	0.000000	0.147726	0.147726	0.000472			0.003400	25.580	18765894.603	0.000133	0.000000	0.147726	0.147726
0.000487			0.003550	25.217	19438638.309	0.000141	0.000000	0.157726	0.157726	0.000487			0.003550	25.217	19438638.309	0.000141	0.000000	0.157726	0.157726
0.000529			0.003700	24.853	20093097.133	0.000149	0.000000	0.168726	0.168726	0.000529			0.003700	24.853	20093097.133	0.000149	0.000000	0.168726	0.168726
0.000557			0.003850	24.529	2073246.482	0.000157	0.000000	0.180638	0.180638	0.000557			0.003850	24.529	2073246.482	0.000157	0.000000	0.180638	0.180638
0.000591			0.004000	24.211	21363411.319	0.000165	0.000000	0.201545	0.201545	0.000591			0.004000	24.211	21363411.319	0.000165	0.000000	0.201545	0.201545
0.000624			0.004150	23.911	21997422.353	0.000174	0.000000	0.214378	0.214378	0.000624			0.004150	23.911	21997422.353	0.000174	0.000000	0.214378	0.214378
0.000651			0.004300	23.629	22627457.203	0.000182	0.000000	0.228544	0.228544	0.000651			0.004300	23.629	22627457.203	0.000182	0.000000	0.228544	0.228544
0.000679			0.004450	23.363	23253176.146	0.000190	0.000000	0.239988	0.239988	0.000679			0.004450	23.363	23253176.146	0.000190	0.000000	0.239988	0.239988
0.000743			0.004600	23.111	23874379.785	0.000199	0.000000	0.253426	0.253426	0.000743			0.004600	23.111	23874379.785	0.000199	0.000000	0.253426	0.253426
0.000769			0.004750	22.875	24450995.785	0.000208	0.000000	0.267180	0.267180	0.000769			0.004750	22.875	24450995.785	0.000208	0.000000	0.267180	0.267180
0.000807			0.004900	22.655	25102708.150	0.000216	0.000000	0.281340	0.281340	0.000807			0.004900	22.655	25102708.150	0.000216	0.000000	0.281340	0.281340
0.000844			0.005050	22.448	25705856.586	0.000224	0.000000	0.295771	0.295771	0.000844			0.005050	22.448	25705856.586	0.000224	0.000000	0.295771	0.295771
0.000881			0.005200	22.283	26309705.423	0.000232	0.000000	0.310555	0.310555	0.000881			0.005200	22.283	26309705.423	0.000232	0.000000	0.310555	0.310555
0.000916			0.005350	22.070	26904319.190	0.000242	0.000000	0.326278	0.326278	0.000916			0.005350	22.070	26904319.190	0.000242	0.000000	0.326278	0.326278
0.000958			0.005500	21.901	27492935.879	0.000251	0.000000	0.343035	0.343035	0.000958			0.005500	21.901	27492935.879	0.000251	0.000000	0.343035	0.343035
0.000983			0.005650	21.746	28074492.871	0.000260	0.000000	0.360587	0.360587	0.000983			0.005650	21.746	28074492.871	0.000260	0.000000	0.360587	0.360587
0.010308			0.005800	21.695	28545447.047	0.000268	0.000000	0.371682	0.371682	0.010308			0.005800	21.695	28545447.047	0.000268	0.000000	0.371682	0.371682
0.010271			0.005950	21.478	29241648.014	0.000277	0.000000	0.386814	0.386814	0.010271			0.005950	21.478	29241648.014	0.000277	0.000000	0.386814	0.386814
0.011028			0.006100	21.358	2984721.894	0.000284	0.000000	0.403688	0.403688	0.011028			0.006100	21.358	2984721.894	0.000284	0.000000	0.403688	0.403688
0.011380			0.006250	21.271	30430474.325	0.000294	0.000000	0.419516	0.419516	0.011380			0.006250	21.271	30430474.325	0.000294	0.000000	0.419516	0.419516
0.011172			0.006400	21.186	31026540.726	0.000302	0.000000	0.436807	0.436807	0.011172			0.006400	21.186	31026540.726	0.000302	0.000000	0.436807	0.436807
0.012663			0.006550	21.114	31620917.818	0.000310	0.000000	0.453505	0.453505	0.012663			0.006550	21.114	31620917.818	0.000310	0.000000	0.453505	0.453505
0.012396			0.006700	21.082	32211905.686	0.000318	0.000000	0.469639	0.469639	0.012396			0.006700	21.082	32211905.686	0.000318	0.000000	0.469639	0.469639
0.012722			0.006850	20.999	32790646.576	0.000326	0.000000	0.485153	0.485153	0.012722			0.006850	20.999	32790646.576	0.000326	0.000000	0.485153	0.485153
0.013040			0.007000	20.958	33377034.213	0.000334	0.000000	0.500329	0.500329	0.013040			0.007000	20.958	33377034.213	0.000334	0.000000	0.500329	0.500329
0.013352			0.007150	20.925	33949886.685	0.000342	0.000000	0.516030	0.516030	0.013352			0.007150	20.925	33949886.685	0.000342	0.000000	0.516030	0.516030
0.013569			0.007300	20.899	34614242.254	0.000349	0.000000	0.531843	0.531843	0.013569			0.007300	20.899	34614242.254	0.000349	0.000000	0.531843	0.531843
0.013977			0.007450	20.851	35075341.119	0.000357	0.000000	0.547775	0.547775	0.013977			0.007450	20.851	35075341.119	0.000357	0.000000	0.547775	0.547775
0.014310			0.007600	20.812	35543455.202	0.000365	0.000000	0.563812	0.563812	0.014310			0.007600	20.812	35543455.202	0.000365	0.000000	0.563812	0.563812
0.014651			0.007750	20.749	36139222.305	0.000374	0.000000	0.580037											



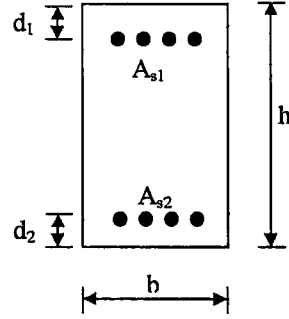
Şekil 7.1.Moment-Eğrilik diyagramı



Şekil 7.2.Moment-Yerdeğiştirme diyagramı

7.2. Örnek-2

Excel çıktıları Çizelge 7.2' de gösterilmiştir. Çekme ve basınç donatısına sahip dikdörtgen kirişe ait moment eğrilik diyagramı (Şekil 7.3.) ve moment yerdeğiştirme diyagramı (Şekil 7.4.) verilmiştir.



$$b = 280 \text{ mm}$$

$$h = 580 \text{ mm}$$

$$d_1 = 60 \text{ mm}$$

$$d_2 = 60 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 2890 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 5529 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$f_t = 3.08 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 28500 \text{ N/mm}^2$$

$$E_t = -4037.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 220 \text{ N/mm}^2$$

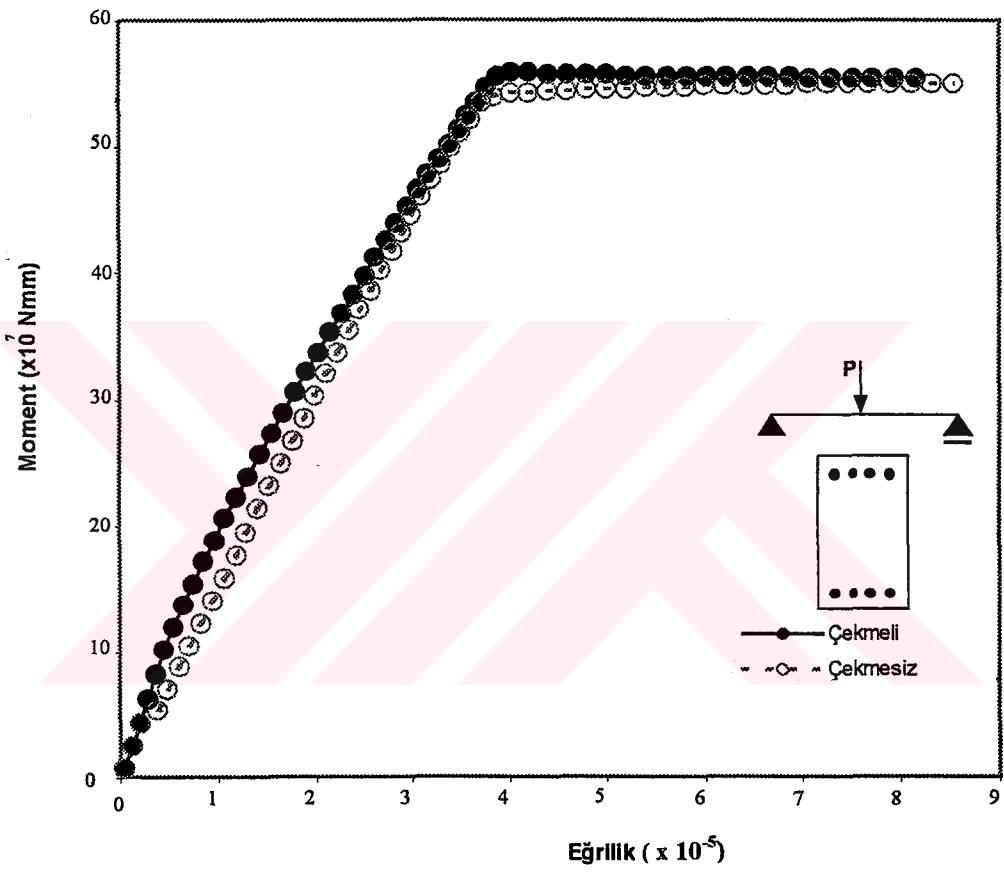
$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 4500 \text{ mm}$$

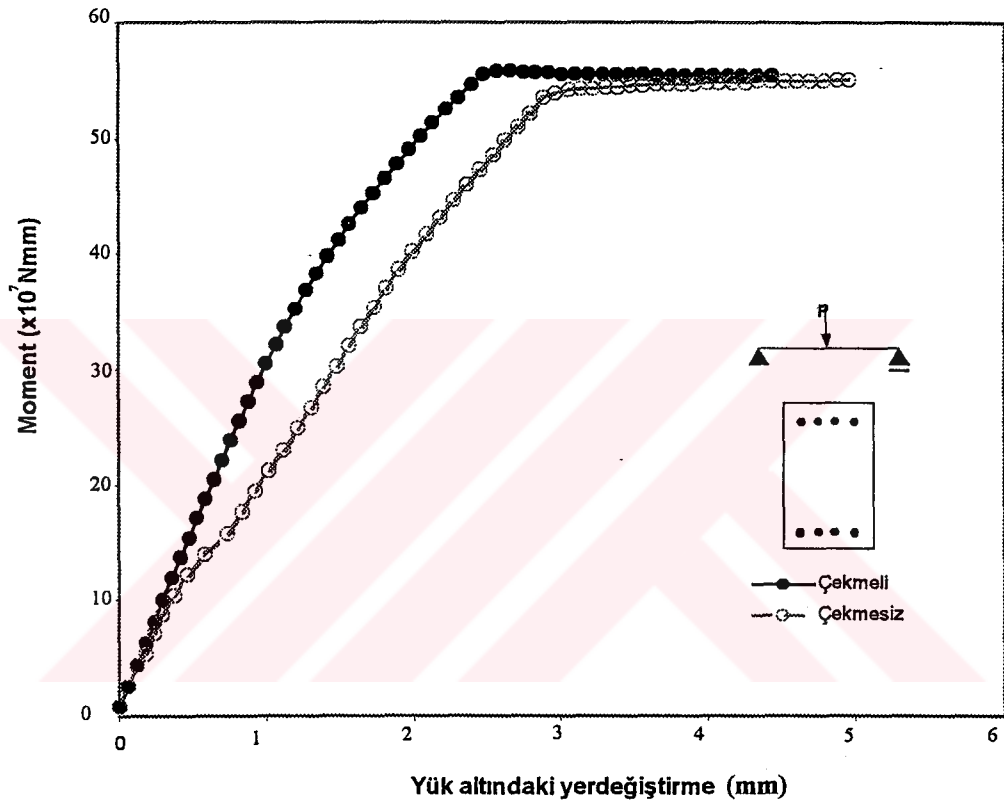
$$P = 400000 \text{ N}$$

Çizelge 7.2. Excel program çıktısı (Örnek 7.2)

ÇEKİŞİZ									
Notlar	E_m	E_{cm}	K_d	Moment	Eğrilik	Deplasman	Eğrilik	Moment	Deplasman
	0.000088	0.000100	30.870	70395.557	0.000003	0.000005	0.000003	70395.557	0.000009
	0.000311	0.000350	30.732	249688.289	0.000011	0.0000236	0.000011	249688.289	0.0000236
	0.000537	0.000550	30.595	434155.174	0.000020	0.011815	0.000020	434155.174	0.011815
	0.000768	0.000850	30.462	523755.504	0.000028	0.0179420	0.000037	539210.441	0.0179420
	0.001003	0.001100	30.333	6165187.289	0.000036	0.0238701	0.000046	7055548.554	0.0238701
	0.001261	0.001350	30.104	10104554.087	0.000045	0.0297470	0.000050	8781277.197	0.0297470
	0.001535	0.001600	29.605	11925817.652	0.000054	0.0359566	0.000060	10475683.163	0.0359566
	0.001882	0.001950	28.893	13580335.089	0.000064	0.0414243	0.000071	12229743.721	0.0414243
	0.002188	0.002250	28.338	15397221.942	0.000074	0.0471766	0.000084	14003934.976	0.0471766
	0.002569	0.002650	27.711	17057475.153	0.000085	0.0529520	0.000106	15786257.251	0.0529520
	0.002960	0.003050	27.122	18708004.659	0.000096	0.0587057	0.000118	17607278.847	0.0587057
	0.003368	0.003450	26.585	2040753.892	0.000107	0.0644547	0.000129	19425197.327	0.0644547
	0.003790	0.003900	26.095	2217031.155	0.000119	0.0701772	0.000141	21247918.942	0.0701772
	0.004222	0.004350	25.609	23894914.094	0.000131	0.0758986	0.000163	23658987.246	0.0758986
	0.004663	0.004800	25.268	25534567.076	0.000142	0.0818076	0.000165	24983555.658	0.0818076
	0.005111	0.005250	24.920	27205445.534	0.000164	0.0878046	0.000177	26587547.769	0.0878046
	0.005569	0.005700	24.618	28850987.900	0.000167	0.0939137	0.000188	28475209.554	0.0939137
	0.006011	0.006150	24.351	30500651.446	0.000179	0.1000767	0.000200	30241713.450	0.1000767
	0.006463	0.006600	24.116	3218445.738	0.000191	0.1061655	0.000211	31982452.690	0.1061655
	0.006913	0.007050	23.915	33710418.924	0.000203	0.1123257	0.000224	33693222.088	0.1123257
	0.007367	0.007500	23.745	35271830.400	0.000216	0.1184851	0.000234	35370281.580	0.1184851
	0.007799	0.007950	23.601	36801559.371	0.000227	0.1245401	0.000245	37010403.066	0.1245401
	0.008233	0.008350	23.480	38256784.106	0.000238	0.1305985	0.000257	38510853.352	0.1305985
	0.008682	0.008800	23.391	39754608.078	0.000250	0.1366605	0.000269	40165808.111	0.1366605
	0.009098	0.009200	23.307	41179701.789	0.000262	0.1427059	0.000278	41694936.304	0.1427059
	0.009487	0.009600	23.256	4257850.024	0.000273	0.1487605	0.000289	43165784.550	0.1487605
	0.009892	0.009950	23.226	43946566.224	0.000284	0.1548661	0.000300	44570897.521	0.1548661
	0.010264	0.010350	23.215	4527553.943	0.000295	0.1609295	0.000310	45933577.373	0.1609295
	0.010635	0.010700	23.220	46571990.080	0.000306	0.1669721	0.000320	47252151.573	0.1669721
	0.010994	0.011050	23.240	47877552.754	0.000316	0.1730532	0.000330	48562274.337	0.1730532
	0.011342	0.011400	23.271	4904398.060	0.000327	0.1791681	0.000340	49833603.619	0.1791681
	0.011679	0.011750	23.313	50226532.554	0.000337	0.1852825	0.000350	5098841.819	0.1852825
	0.012007	0.012050	23.385	51389273.939	0.000347	0.1913963	0.000360	52179593.899	0.1913963
	0.012325	0.012350	23.434	52457541.544	0.000356	0.1975095	0.000372	53321041.389	0.1975095
	0.012634	0.012650	23.491	53519435.089	0.000366	0.2035406	0.000384	54432689.589	0.2035406
	0.012956	0.012950	23.486	54538514.740	0.000377	0.2095041	0.000401	55495921.917	0.2095041
	0.013244	0.013300	23.412	5546455.875	0.000388	0.2154925	0.000419	56413949.527	0.2154925
	0.013578	0.013650	23.247	5613271.507	0.000398	0.2214263	0.000420	5725902.169	0.2214263
	0.013878	0.013950	23.811	56759291.457	0.000404	0.2273225	0.000440	5809841.819	0.2273225
	0.014168	0.014250	22.812	5757282.650	0.000411	0.2331784	0.000460	5893310.168	0.2331784
	0.014456	0.014550	22.385	5837537.454	0.000418	0.2389041	0.000479	5975930.076	0.2389041
	0.014741	0.014800	21.931	5917057.374	0.000426	0.2445811	0.000499	6057530.076	0.2445811
	0.015021	0.015050	21.531	599541732.913	0.000431	0.2502282	0.000521	6139492.076	0.2502282
	0.015296	0.015350	21.639	6072853.554	0.000438	0.2558455	0.000519	62210502.169	0.2558455
	0.015578	0.015650	21.173	6149505.468	0.000445	0.2614263	0.000540	6302689.589	0.2614263
	0.015859	0.015900	20.831	62252109.959	0.000451	0.2669721	0.000560	6383310.168	0.2669721
	0.016135	0.016150	20.512	62995045.301	0.000458	0.2725095	0.000580	6463930.076	0.2725095
	0.016411	0.016450	20.211	6372853.554	0.000465	0.2779581	0.000601	6544541.819	0.2779581
	0.016687	0.016700	20.211	6445753.454	0.000472	0.2833904	0.000621	6625151.819	0.2833904
	0.016963	0.016950	19.877	6518505.994	0.000479	0.2888051	0.000642	6705759.589	0.2888051
	0.017239	0.017250	19.651	6590415.973	0.000486	0.2941784	0.000662	6786369.589	0.2941784
	0.017515	0.017550	19.409	6661455.468	0.000493	0.2995041	0.000683	6866969.589	0.2995041
	0.017791	0.017800	19.168	6731950.946	0.000500	0.3047725	0.000704	6947569.589	0.3047725
	0.018067	0.018050	18.923	6801950.946	0.000507	0.3099581	0.000725	7028169.589	0.3099581
	0.018343	0.018350	18.733	6871950.946	0.000514	0.3151438	0.000746	7108769.589	0.3151438
	0.018619	0.018600	18.516	6941950.946	0.000521	0.3203295	0.000766	7189369.589	0.3203295
	0.018895	0.018900	18.317	7011950.946	0.000528	0.3255152	0.000787	7269969.589	0.3255152
	0.019171	0.019150	18.124	7081950.946	0.000535	0.3307009	0.000808	7350569.589	0.3307009
	0.019447	0.019450	17.941	7151950.946	0.000542	0.3358866	0.000829	7431169.589	0.3358866
	0.019723	0.019700	17.756	7221950.946	0.000549	0.3410723	0.000850	7511769.589	0.3410723
	0.020000	0.020000	17.571	7291950.946	0.000556	0.3462580	0.000871	7592369.589	0.3462580
	0.020276	0.020250	17.386	7361950.946	0.000563	0.3514437	0.000892	7672969.589	0.3514437
	0.020552	0.020500	17.201	7431950.946	0.000570	0.3566294	0.000913	7753569.589	0.3566294
	0.020828	0.020800	17.016	7501950.946	0.000577	0.3618151	0.000934	7834169.589	0.3618151
	0.021104	0.021050	16.831	7571950.946	0.000584	0.3669908	0.000955	7914769.589	0.3669908
	0.021380	0.021350	16.646	7641950.946	0.000591	0.3721765	0.000976	8000000.000	0.3721765
	0.021656	0.021600	16.461	7711950.946	0.000598	0.3773622	0.000997	8080000.000	0.3773622
	0.021932	0.021850	16.276	7781950.946	0.000605	0.3825479	0.001018	8160000.000	0.3825479
	0.022208	0.022150	16.091	7851950.946	0.000612	0.3877336	0.001039	8240000.000	0.3877336
	0.022484	0.022400	15.906	7921950.946	0.000619	0.3929193	0.001060	8320000.000	0.3929193
	0.022760	0.022650	15.721	7991950.946	0.000626	0.3981050	0.001081	8400000.000	0.3981050
	0.023036	0.022950	15.536	8061950.946	0.000633	0.4032907	0.001102	8480000.000	0.4032907
	0.023312	0.023200	15.351	8131950.946	0.000640	0.4084764	0.001123	8560000.000	0.4084764
	0.023588	0.023500	15.166	8201950.946	0.000647	0.4136621	0.001144	8640000.000	0.4136621
	0.023864	0.023750	14.981	8271950.946	0.000654	0.4188478	0.001165	8720000.000	0.4188478
	0.024140	0.024050	14.796	8341950.946	0.000661	0.4240335	0.001186	8800000.000	0.4240335
	0.024416	0.024300	14.611	8411950.946	0.000668	0.4292192	0.001207	8880000.000	0.4292192
	0.024692	0.024550	14.426	8481950.946	0.000675	0.4344049	0.001228	8960000.000	0.4344049
	0.024968	0.024850	14.241	8551950.946	0.000682	0.4395906	0.001249	9040000.000	0.4395906
	0.025244	0.025100	14.056	8621950.946	0.000689	0.4447763	0.001270	9120000.000	0.4447763
	0.025520	0.025350	13.871	8691950.946	0.000696	0.4499620	0.001291	9200000.000	0.4499620
	0.025796	0.025650	13.686	8761950.946	0.000703	0.4551477	0.001312	9280000.000	0.4551477
	0.026072	0.025900	13.501	8831950.946	0.000710	0.4603334	0.001333	9360000.000	0.4603334
	0.026348	0.026150	13.316	8901950.946	0.000717	0.4655191	0.001354	9440000.000	0.4655191
	0.026624	0.026400	13.131	8971950.946	0.000724	0.4707048	0.001375	9520000.000	0.4707048
	0.026900	0.026650	12.946	9041950.946	0.000731	0.4758905	0.001396	9600000.000	0.4758905
	0.027176	0.026900	12.761	9111950.946	0.000738	0.4810762	0.001417	9680000.000	0.4810762
	0.027452	0.027150	12.576	9181950.946	0.000745	0.4862619	0.001438	9760000.000	0.4862619
	0.027728	0.027400	12.391	9251950.946	0.000752	0.4914476	0.001459	9840000.000	0.4914476
	0.028004	0.027650	12.206	9321950.946	0.000759	0.4966333	0.001480	9920000.000	0.4966333
	0.028280	0.027850	12.021	9391950.946	0.000				



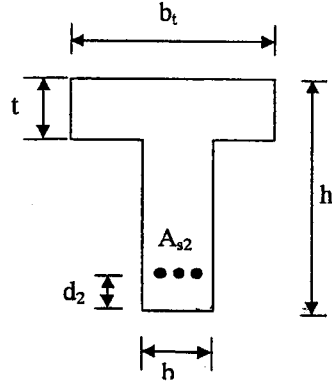
Şekil 7.3.Moment-Eğrilik diyagramı



Şekil 7.4.Moment-Yerdeğiştirme diyagramı

7.3. Örnek-3

Excel çıktıları Çizelge 7.3' de gösterilmiştir. Basit donatılı T-kirişe ait moment eğrilik diyagramı (Şekil 7.5.) ve moment yerdeğiştirme diyagramı (Şekil 7.6) verilmiştir.



$$b = 100 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$t = 150 \text{ mm}$$

$$b_t = 300 \text{ mm}$$

$$d_2 = 100 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = 0 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 3500 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_t = 3.45 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 30280 \text{ N/mm}^2$$

$$E_t = -3877.41 \text{ N/mm}^2$$

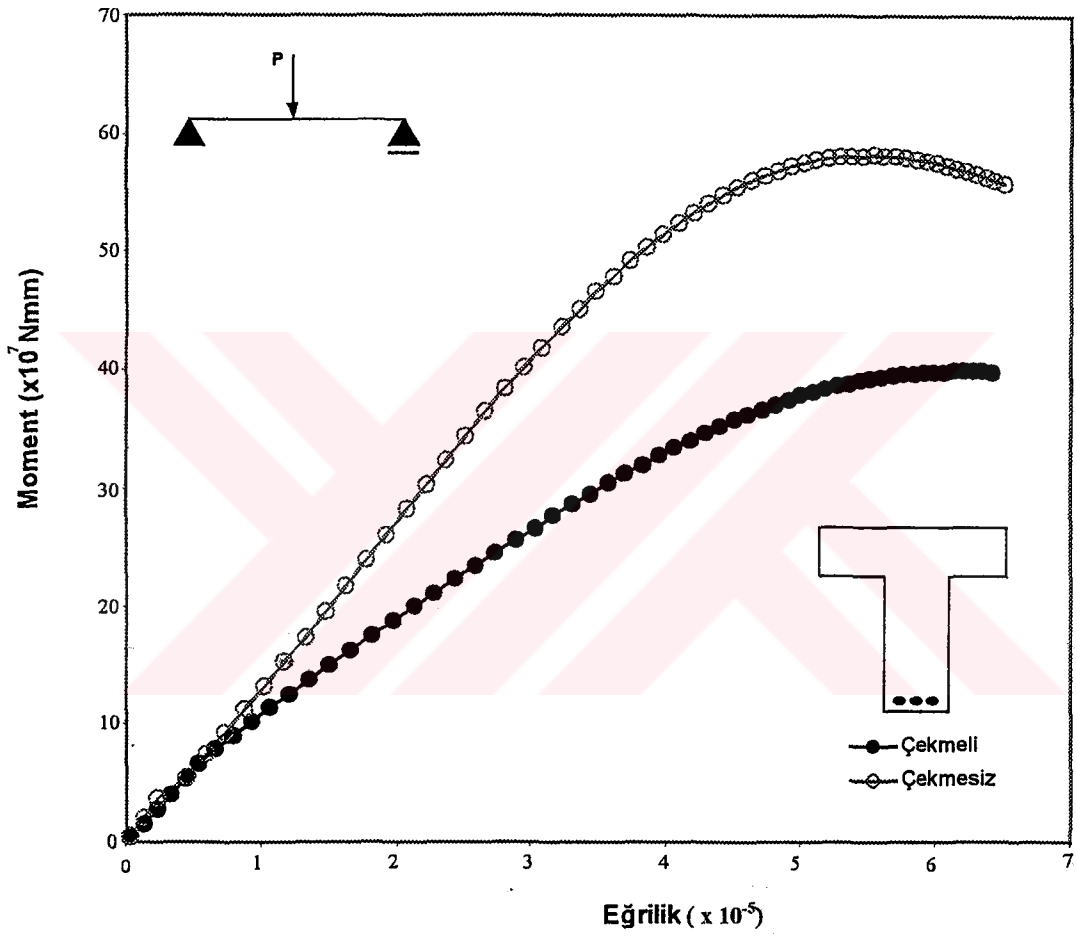
$$f_y = 420 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

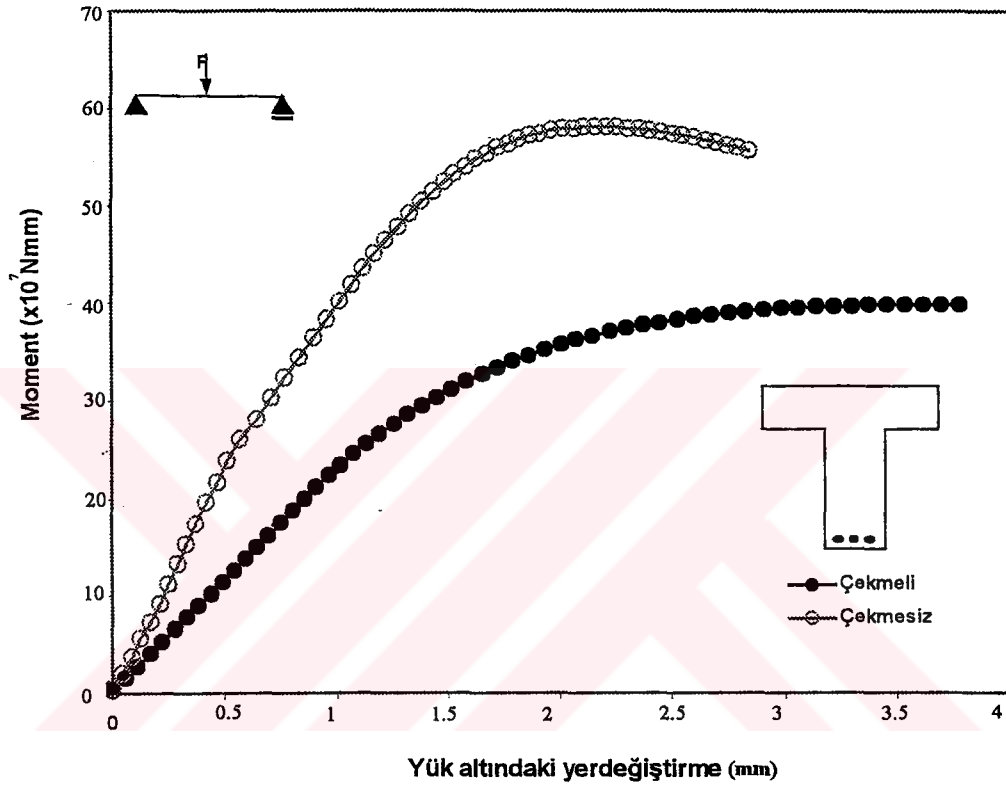
$$L = 4500 \text{ mm}$$

$$P =$$

CEKMEŞİZ									
e	N	Ntoplam	ϵ_m	ϵ_{cm}	K_d	Moment	Egrilik	Deplasman	
			0.000087	0.000100	30.837	488604.181	0.000003	0.000012	
			0.0000355	0.0000400	30.742	2044451.428	0.000013	0.0004261	
			0.0000628	0.0000700	30.550	3684987.058	0.000023	0.0008461	
			0.0000910	0.0001000	30.363	5637378.558	0.000045	0.0126080	
			0.0001200	0.0001300	30.183	7382173.024	0.000068	0.0187567	
			0.0001531	0.0001600	29.839	9254618.825	0.000097	0.0208043	
			0.0001816	0.0001900	28.878	11210823.833	0.000128	0.0250207	
			0.0002147	0.0002200	28.081	13224507.131	0.000162	0.0281285	
			0.0002481	0.0002500	27.285	15286238.071	0.000197	0.0331650	
			0.0002816	0.0002800	26.406	17385228.538	0.000232	0.0371814	
			0.0003151	0.0002800	25.523	19535715.817	0.000267	0.0417173	
			0.0003486	0.0003000	24.648	21866830.061	0.000302	0.0468571	
			0.0003821	0.0003300	23.773	23864215.381	0.000337	0.0516874	
			0.0004156	0.0003600	22.900	26028103.580	0.000372	0.0567354	
			0.0004491	0.0003900	22.027	28177867.424	0.000407	0.0615684	
			0.0004826	0.0004200	21.154	30300811.811	0.000442	0.0664007	
			0.0005161	0.0004500	20.281	32386580.833	0.000477	0.0712358	
			0.0005496	0.0004800	19.408	34420745.588	0.000512	0.0760681	
			0.0005831	0.0005100	18.535	36365811.503	0.000547	0.0809008	
			0.0006166	0.0005400	17.662	38301708.378	0.000582	0.0857280	
			0.0006501	0.0005700	16.789	40130253.703	0.000617	0.0905552	
			0.0006836	0.0006000	15.916	41874688.174	0.000652	0.0953828	
			0.0007171	0.0006300	15.043	43529719.089	0.000687	0.1002104	
			0.0007506	0.0006600	14.170	45091638.357	0.000722	0.1050380	
			0.0007841	0.0006900	13.297	46557816.218	0.000757	0.1098656	
			0.0008176	0.0007200	12.424	47924838.704	0.000792	0.1146932	
			0.0008511	0.0007500	11.551	49165048.854	0.000827	0.1195208	
			0.0008846	0.0007800	10.678	50347310.844	0.000862	0.1243484	
			0.0009181	0.0008100	9.805	51415643.110	0.000897	0.1291760	
			0.0009516	0.0008400	8.932	52386431.683	0.000932	0.1339936	
			0.0009851	0.0008700	8.059	53268280.217	0.000967	0.1388012	
			0.0010186	0.0009000	7.186	54065873.024	0.001002	0.1436088	
			0.0010521	0.0009300	6.313	54780348.824	0.001037	0.1484164	
			0.0010856	0.0009600	5.440	55413261.250	0.001072	0.1532240	
			0.0011191	0.0009900	4.567	55954689.245	0.001107	0.1580316	
			0.0011526	0.0010200	3.694	56405873.024	0.001142	0.1628392	
			0.0011861	0.0010500	2.821	56768269.226	0.001177	0.1676468	
			0.0012196	0.0010800	1.948	57032142.378	0.001212	0.1724544	
			0.0012531	0.0011100	1.075	57206016.520	0.001247	0.1772620	
			0.0012866	0.0011400	0.202	57290890.881	0.001282	0.1820696	
			0.0013201	0.0011700	-0.671	57286267.816	0.001317	0.1868772	
			0.0013536	0.0012000	-1.544	5717478.520	0.001352	0.1916848	
			0.0013871	0.0012300	-2.417	5695430.814	0.001387	0.1964924	
			0.0014206	0.0012600	-3.290	5663142.378	0.001422	0.2013000	
			0.0014541	0.0012900	-4.163	5620850.217	0.001457	0.2061056	
			0.0014876	0.0013200	-5.036	5568568.357	0.001492	0.2109112	
			0.0015211	0.0013500	-5.909	5506286.488	0.001527	0.2157168	
			0.0015546	0.0013800	-6.782	5434004.824	0.001562	0.2205224	
			0.0015881	0.0014100	-7.655	5351722.024	0.001597	0.2253280	
			0.0016216	0.0014400	-8.528	5259439.824	0.001632	0.2301336	
			0.0016551	0.0014700	-9.401	5157157.130	0.001667	0.2349392	
			0.0016886	0.0015000	-10.274	5044874.302	0.001702	0.2397448	
			0.0017221	0.0015300	-11.147	4922591.574	0.001737	0.2445504	
			0.0017556	0.0015600	-12.020	4790308.846	0.001772	0.2493560	
			0.0017891	0.0015900	-12.893	4648026.118	0.001807	0.2541616	
			0.0018226	0.0016200	-13.766	4495743.490	0.001842	0.2589672	
			0.0018561	0.0016500	-14.639	4333460.862	0.001877	0.2637728	
			0.0018896	0.0016800	-15.512	4161178.134	0.001912	0.2685784	
			0.0019231	0.0017100	-16.385	3988895.506	0.001947	0.2733840	
			0.0019566	0.0017400	-17.258	3816612.878	0.001982	0.2781896	
			0.0019901	0.0017700	-18.131	3644330.250	0.002017	0.2829952	
			0.0020236	0.0018000	-19.004	3472047.622	0.002052	0.2878008	
			0.0020571	0.0018300	-19.877	3300065.000	0.002087	0.2926064	
			0.0020906	0.0018600	-20.750	3128082.378	0.002122	0.2974120	
			0.0021241	0.0018900	-21.623	2956100.750	0.002157	0.3022176	
			0.0021576	0.0019200	-22.496	2784118.122	0.002192	0.3070232	
			0.0021911	0.0019500	-23.369	2612135.494	0.002227	0.3118288	
			0.0022246	0.0019800	-24.242	2440152.866	0.002262	0.3166344	
			0.0022581	0.0020100	-25.115	2268170.238	0.002297	0.3214400	
			0.0022916	0.0020400	-25.988	2096187.610	0.002332	0.3262456	
			0.0023251	0.0020700	-26.861	1924204.982	0.002367	0.3310512	
			0.0023586	0.0021000	-27.734	1752222.354	0.002402	0.3358568	
			0.0023921	0.0021300	-28.607	1580239.726	0.002437	0.3406624	
			0.0024256	0.0021600	-29.480	1408257.098	0.002472	0.3454680	
			0.0024591	0.0021900	-30.353	1236274.470	0.002507	0.3502736	
			0.0024926	0.0022200	-31.226	1064291.842	0.002542	0.3550792	
			0.0025261	0.0022500	-32.099	892309.214	0.002577	0.3598848	
			0.0025596	0.0022800	-32.972	720326.586	0.002612	0.3646904	
			0.0025931	0.0023100	-33.845	548343.958	0.002647	0.3694960	
			0.0026266	0.0023400	-34.718	376361.330	0.002682	0.3743016	
			0.0026601	0.0023700	-35.591	204378.702	0.002717	0.3791072	
			0.0026936	0.0024000	-36.464	31179.074	0.002752	0.3839128	
			0.0027271	0.0024300	-37.337	-8520.250	0.002787	0.3887184	
			0.0027606	0.0024600	-38.210	-25801.622	0.002822	0.3935240	
			0.0027941	0.0024900	-39.083	-41602.994	0.002857	0.3983296	
			0.0028276	0.0025200	-39.956	-57404.366	0.002892	0.4031352	
			0.0028611	0.0025500	-40.829	-73205.738	0.002927	0.4079408	
			0.0028946	0.0025800	-41.702	-89007.110	0.002962	0.4127464	
			0.0029281	0.0026100	-42.575	-104808.482	0.002997	0.4175520	
			0.0029616	0.0026400	-43.448	-120609.854	0.003032	0.4223576	
			0.0029951	0.0026700	-44.321	-136411.226	0.003067	0.4271632	
			0.0030286	0.0027000	-45.194	-152212.598	0.003102	0.4319688	
			0.0030621	0.0027300	-46.067	-168013.970	0.003137	0.4367744	
			0.0030956	0.0027600	-46.940	-183815.342	0.003172	0.4415800	
			0.0031291	0.0027900	-47.813	-199616.714	0.003207	0.4463856	
			0.0031626	0.0028200	-48.686	-215418.086	0.003242	0.4511912	
			0.0031961	0.0028500	-49.559	-231219.458	0.003277	0.4560068	
			0.0032296	0.0028800	-50.432	-247020.830	0.003312	0.4608124	
			0.0032631	0.0029100	-51.305	-262822.202	0.003347	0.4656180	
			0.0032966	0.0029400	-52.178	-278623.574	0.003382	0.4704236	
			0.0033301	0.0029700	-53.051	-294424.946	0.003417	0.4752292	
			0.0033636	0.0030000	-53.924	-310226.318	0.003452	0.4800348	
			0.0033971	0.0030300	-54.797	-326027.690	0.003487	0.4848404	
			0.0034306	0.0030600	-55.670	-341829.062	0.003522	0.4896460	
			0.0034641	0.0030900	-56.543	-357630.434	0.003557	0.4944516	
			0.0034976	0.0031200	-57.416	-373431.806	0.003592	0.4992572	
			0.0035311	0.0031500	-58.289	-389233.178	0.003627	0.5040628	
			0.0035646	0.0031800	-59.162	-405034.550	0.003662	0.5088684	
			0.0035981	0.0032100	-60.035	-420835.922	0.003697	0.5136740	
			0.0036316	0.0032400	-60.908	-436637.294	0.003732	0.5184796	
			0.0036651	0.0032700	-61.781	-452438.666	0.003767	0.5232852	
			0.0036986	0.0033000	-62.654	-468240.038	0.003802	0.5280908	
			0.0037321	0.0033300	-63.527	-484041.410	0.003837	0.5328964	
			0.0037656	0.0033600	-64.400	-500042.782	0.003872	0.5377020	
			0.0037991	0.0033900	-65.273	-516044.154	0.003907	0.5425076	
			0.0038326	0.0034200	-66.146	-532045.526	0.003942	0.5473132	
			0.0038661	0.0034500	-67.019	-548046.898	0.003977	0.5521188	
			0.0038996	0.0034800	-67.892	-564048.270	0.004012	0.5569244	
			0.0039331						



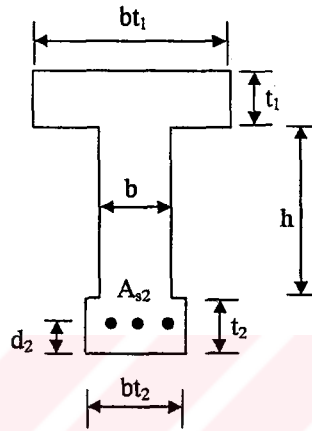
Şekil 7.5. Moment-Eğrilik diyagramı



Şekil 7.6. Moment –Yerdeğiştirme diyagramı

7.4. Örnek-4

Excel çıktıları Çizelge 7.4' de gösterilmiştir. Basit donatılı I-kirişe ait moment eğrilik diyagramı (Şekil 7.6.) ve moment yerdeğiştirme diyagramı (Şekil 7.7) verilmiştir.



$$b = 100 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$t_1 = 150 \text{ mm}$$

$$t_2 = 150 \text{ mm}$$

$$b_{t1} = 300 \text{ mm}$$

$$b_{t2} = 200 \text{ mm}$$

$$d_2 = 60 \text{ mm}$$

$$A_{s2} = 3500 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$f_t = 3.45 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 30280 \text{ N/mm}^2$$

$$E_t = -3877.41 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 420 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 4500 \text{ mm}$$

$$P = 90000 \text{ N}$$

Çizelge 7.4. Excel program çıktısı (Örnek 7.4)

GEKHE-SİZ									
c	N	Ntoplam	ϵ_{tm}	ϵ_{cm}	K_d	Moment	Eğrilik	Deplasman	
			0.000082	0.000100	16.453	136891.804	0.0000006	0.0000084	
			0.0000656	0.0000750	16.000	1076626.216	0.0000047	0.0250534	
			0.0001236	0.0001400	15.932	2067142.301	0.0000088	0.0498012	
			0.0001861	0.0002050	15.724	2975414.691	0.0000130	0.0745272	
			0.0002547	0.0002700	15.436	3860207.302	0.0000175	0.0990189	
			0.0003296	0.0003350	15.122	4767530.718	0.0000222	0.1229741	
			0.0004206	0.0004000	14.824	5294430.218	0.0000274	0.1467645	
			0.0005234	0.0004650	14.114	7144821.225	0.0000329	0.1711396	
			0.0006279	0.0005300	13.732	7959937.732	0.0000386	0.1955538	
			0.0007320	0.0005950	13.452	8730232.864	0.0000442	0.2215041	
			0.0008339	0.0006600	13.254	9446231.328	0.0000498	0.2481532	
			0.0009319	0.0007250	13.127	10100313.292	0.0000552	0.2748023	
			0.0010248	0.0007900	13.059	10688524.809	0.0000605	0.3018142	
			0.0011104	0.0008550	13.051	11223168.581	0.0000655	0.3300188	
			0.0011884	0.0009200	13.091	11702064.563	0.0000703	0.3582645	
			0.0012595	0.0009850	13.165	12121015.715	0.0000748	0.3843526	
			0.0013245	0.0010500	13.266	12480556.239	0.0000791	0.4103831	
			0.0013840	0.0011150	13.385	12783822.942	0.0000833	0.4364976	
			0.0014389	0.0011800	13.517	13035316.433	0.0000873	0.4627049	
			0.0014896	0.0012450	13.658	13240138.354	0.0000912	0.4897332	
			0.0015388	0.0013100	13.805	13403526.269	0.0000949	0.5150632	
			0.0015810	0.0013750	13.955	13530561.525	0.0000985	0.5403933	
			0.0016201	0.0014400	14.117	13616617.719	0.0001020	0.5661432	
			0.0016558	0.0015050	14.285	13669965.591	0.0001054	0.5919881	
			0.0016894	0.0015700	14.451	13698452.249	0.0001086	0.6181265	
			0.0017213	0.0016350	14.614	13705747.692	0.0001119	0.6460381	
			0.0017517	0.0017000	14.775	13695113.050	0.0001151	0.6829362	
			0.0017810	0.0017650	14.932	13669427.188	0.0001182	0.7203933	
			0.0018062	0.0018300	15.088	13498814.769	0.0001212	0.7578692	
			0.0018280	0.0018950	15.270	13377113.000	0.0001241	0.7960397	

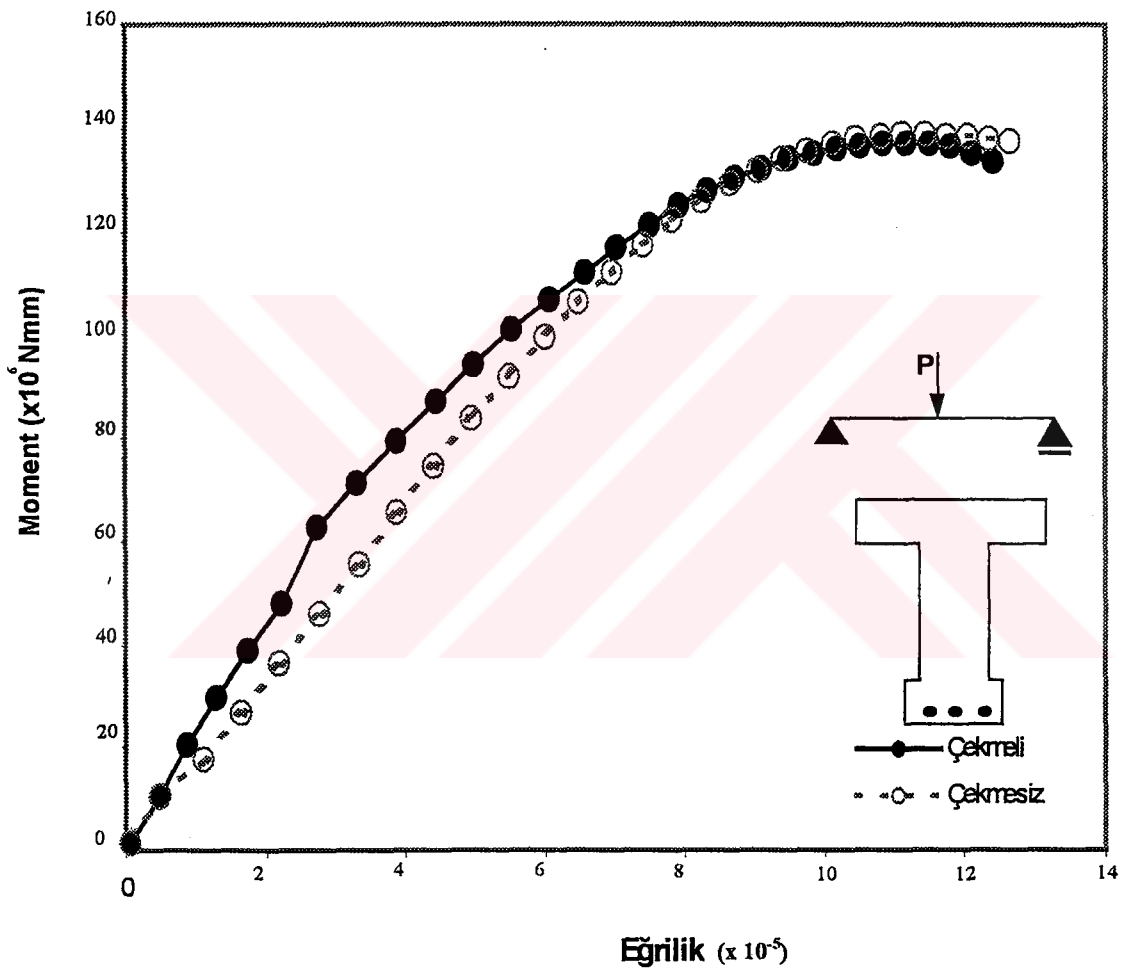
Kestir Geometrisi				Beton Özellikleri			
b =	10	A _{st} =	0	A _{st} =	0		
h =	30	A _{s2} =	35	A _{s2} =	35		
d ₁ =	0	E _s =	20000000	E _s =	20000000		
d ₂ =	6	f _y =	42000	f _y =	42000		
t ₁ =	15	b _{t1} =	30	b _{t1} =	30		
t ₂ =	15	b _{t2} =	20	b _{t2} =	20		

Beton Özellikleri			
f _c =	2500.00	psi	E _{cp} = 1.14E-04
f _t =	345	psi	E _{st} = 1.00E-03
E _c =	3028000	psi	E _{cp} = 8.26E-04
E _t =	-387741.3	psi	L = 450

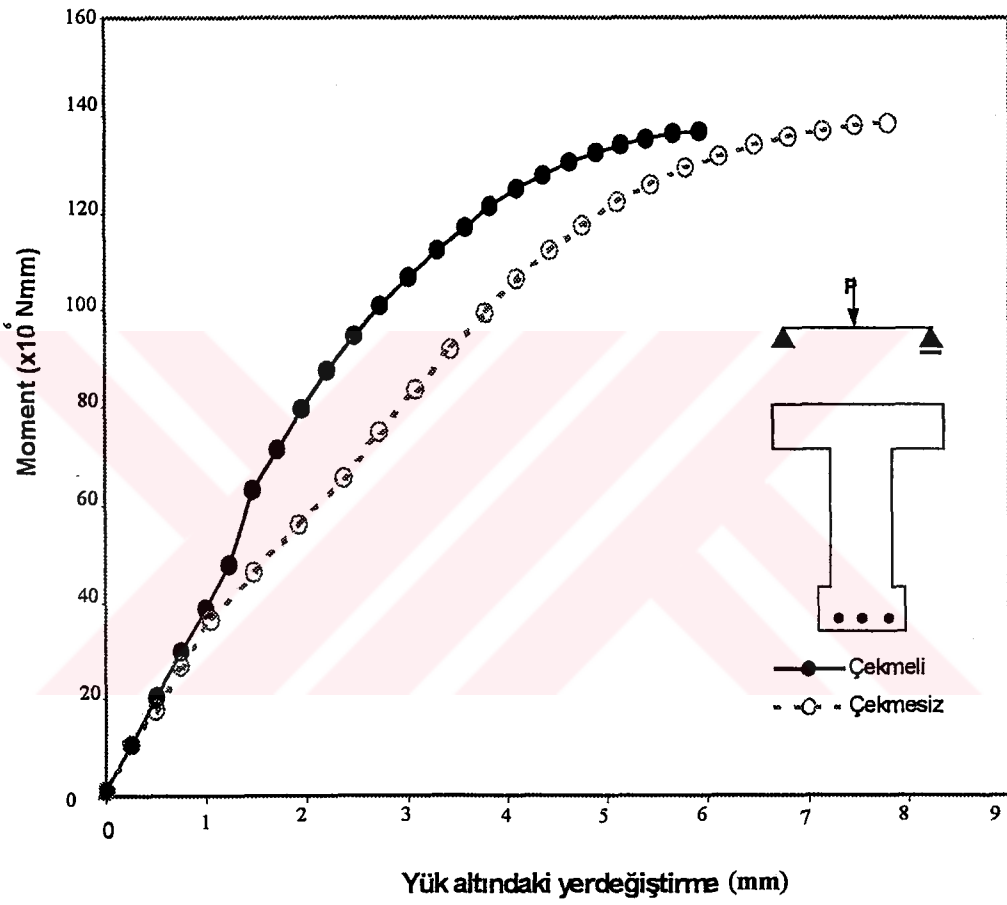
ϵ_{cm} =	0.00001	P =	90000	N
-------------------	---------	-----	-------	---

Çekme Dahil Çekme İhmal

GEKHE-SİZ									
c	N	Ntoplam	ϵ_{tm}	ϵ_{cm}	K_d	Moment	Eğrilik	Deplasman	
			0.000082	0.000100	16.453	136891.804	0.0000006	0.0000084	
			0.0000656	0.0000750	16.000	1076626.216	0.0000047	0.0250534	
			0.0001236	0.0001400	12.598	1768513.929	0.0000111	0.0498012	
			0.0002898	0.0002050	12.429	2675665.747	0.0000165	0.0745272	
			0.0003895	0.0002700	12.281	3623290.897	0.0000220	0.1049589	
			0.0004915	0.0003350	12.160	4596287.538	0.0000276	0.1488604	
			0.0005943	0.0004000	12.069	5576535.319	0.0000331	0.1925385	
			0.0006965	0.0004650	12.011	6544552.631	0.0000387	0.2374091	
			0.0007964	0.0005300	11.987	7480620.637	0.0000442	0.2730007	
			0.0008931	0.0005950	11.985	8368913.365	0.0000486	0.3084106	
			0.0009854	0.0006600	12.034	9195045.641	0.0000548	0.3436204	
			0.0010723	0.0007250	12.101	9949482.953	0.0000599	0.3777699	
			0.0011538	0.0007900	12.193	10627376.592	0.0000648	0.4102434	
			0.0012296	0.0008550	12.304	11227486.679	0.0000695	0.4431400	
			0.0013000	0.0009200	12.432	11761543.398	0.0000740	0.4773668	
			0.0013654	0.0009850	12.572	12203597.426	0.0000783	0.5114170	
			0.0014261	0.0010500	12.721	12599030.708	0.0000825	0.5453775	
			0.0014828	0.0011150	12.876	12914003.839	0.0000866	0.5792888	
			0.0015349	0.0011800	13.039	13181857.282	0.0000905	0.6132379	
			0.0015808	0.0012450	13.217	13369810.749	0.0000942	0.6471523	
			0.0016237	0.0013100	13.396	13554101.580	0.0000978	0.6811605	
			0.0016639	0.0013750	13.574	13680438.988	0.0001013	0.7151852	
			0.0017019	0.0014400	13.749	13774041.500	0.0001047	0.7483553	
			0.0017381	0.0015050	13.922	13839613.124	0.0001081	0.7812522	
			1.770E-03	1.570E-03	14.100	13871332.157	0.0001113	0.8145200	
			1.799E-03	1.635E-03	14.282	13873320.427	0.0001145	0.8478676	
			0.0018269	0.0017000	14.460	13857178.116	0.0001176	0.8815811	
			0.0018536	0.0017650	14.633	13825872.883	0.0001206	0.9156115	
			0.0018794	0.0018300	14.800	13782000.547	0.0001236	0.9500334	
			0.0019045	0.0018950	14.963	13727823.754	0.0001266	0.9845819	



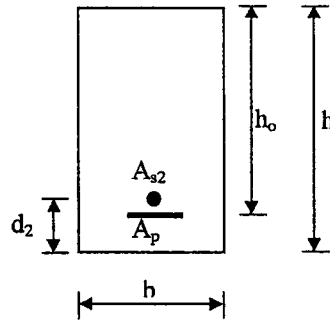
Şekil 7.7. Moment-Eğrilik diyagramı



Şekil 7.8. Moment-Yerdeğiştirme diyagramı

7.5. Örnek 5

Excel çıktıları Çizelge 7.5' de gösterilmiştir. Kısmi öngermeli dikdörtgen kesite ait ve servi yükleri altında meydana gelen moment eğrilik diyagramı (Şekil 7.9.) ve moment yerdeğiştirme diyagramı (Şekil 7.10) verilmiştir



$$b = 160 \text{ mm}$$

$$h = 280 \text{ mm}$$

$$d_2 = 60 \text{ mm}$$

$$A_{s2} = 157 \text{ mm}^2$$

$$A_p = 58.8 \text{ mm}^2$$

$$h = 280 \text{ mm}$$

$$h_o = 250 \text{ mm}$$

$$f_c = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_t = 0.35\sqrt{f_c} = 1.92 \text{ N/mm}^2$$

$$E_c = 31800 \text{ N/mm}^2$$

$$E_t = -6757.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 430 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{py} = 1465 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{pe} = 869 \text{ N/mm}^2$$

$$E_p = 205000 \text{ N/mm}^2$$

$$L = 4200 \text{ mm}$$

$$P = 30000 \text{ N}$$

Çizelge 7.5. Excel program çıktısı (örnek 7.5)

CEKMEZ									
c	N	Ntoplam	ϵ_{cm}	K_d	Moment	Egrilik	Deplasman		
			0.000010	14.272	9842.379	0.000001	0.0000110		
			0.0000773	13.881	630835.935	0.000055	0.0157910		
			0.0002810	9.787	777116.112	0.000164	0.0319127		
			0.0007965	6.189	735220.394	0.0000365	0.0480343		
			0.0012164	5.554	947188.451	0.0000542	0.0641559		
			0.0016180	5.277	1172926.673	0.0000713	0.0802776		
			0.0020153	5.120	1399736.674	0.0000881	0.1237184		
			0.0024040	5.027	1621980.515	0.0001046	0.2836856		
			0.0027854	4.969	1837524.540	0.0001209	0.3944662		
			0.0032756	4.790	1961157.109	0.0001411	0.7868093		
			0.0038383	4.582	2031939.393	0.0001639	0.9113162		
			0.0043863	4.437	2096563.670	0.0001862	1.0412681		
			0.0049136	4.339	2154704.866	0.0002077	1.1711917		
			0.0054174	4.274	2206125.223	0.0002283	1.3931539		
			0.0058973	4.235	2250668.513	0.0002482	1.5269781		
			0.0063549	4.214	2289283.667	0.0002672	1.6757301		
			0.0067927	4.207	2319050.527	0.0002855	1.8793419		
			0.0072137	4.208	2343259.461	0.0003032	2.1377112		
			0.0076201	4.217	2361317.176	0.0003204	2.4331246		
			0.0080138	4.230	2373820.332	0.0003371	3.1577498		
			0.0083956	4.247	2381452.253	0.0003535	3.7816099		
			0.0087659	4.267	2384928.227	0.0003694	4.6816197		
			0.0091244	4.280	2384936.466	0.0003848	6.0120614		
			0.0094709	4.316	2382096.204	0.0003999	8.9251760		
			0.0098051	4.345	2376935.813	0.0004145	15.8825026		

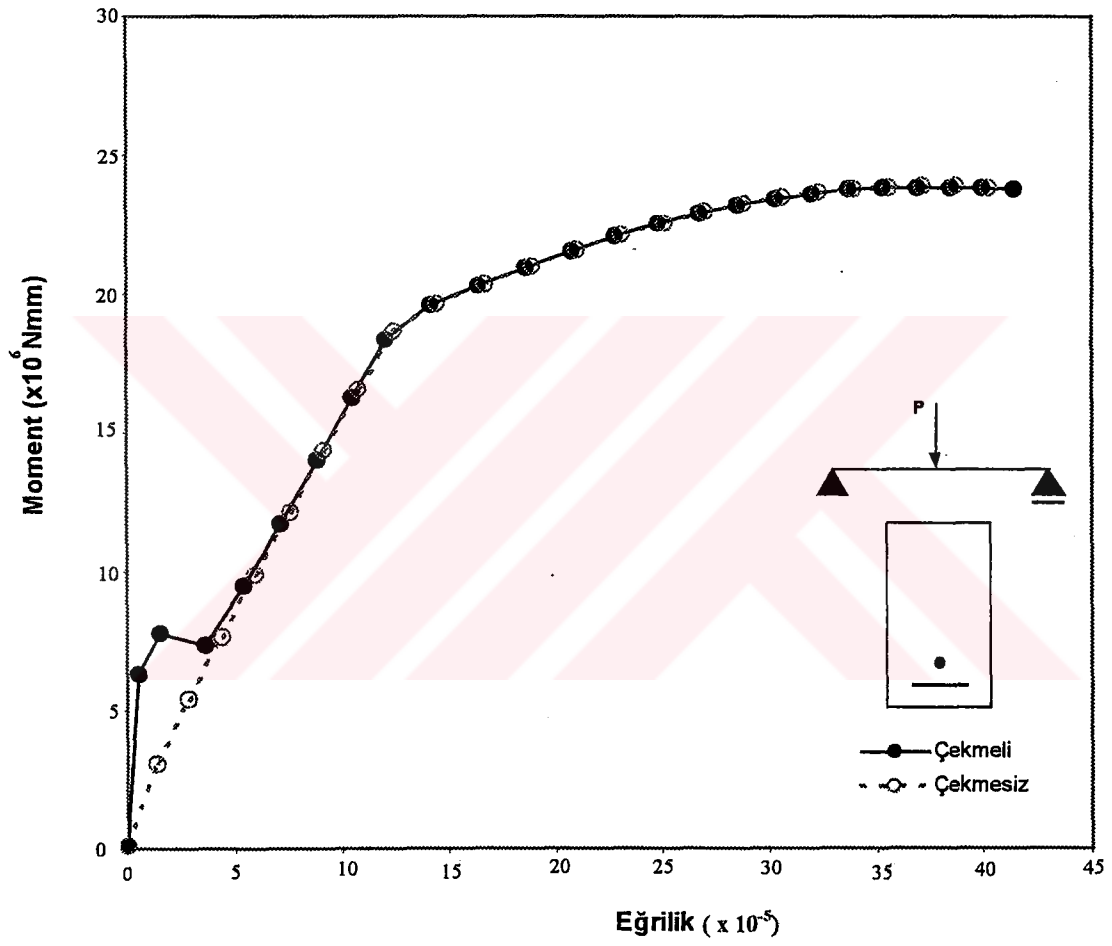
Kısa Çizelge		Düzen Çizelge	
b = 16	A ₁ = 0	A ₁ = 0	A ₂ = 1.57
h = 28	A ₂ = 1.57	A ₂ = 1.57	A ₃ = 20000000
d ₁ = 0	E _s = 20000000	E _s = 20000000	f _y = 43000
d ₂ = 6	f _y = 43000	f _y = 43000	

Beton Çizelge		Çelik Çizelge	
f _c = 3000	E _p = 6.04E-05	h _o = 25	N = 6.06000
f _t = 192	E _p = 3.45E-04	Ap = 0.588	K = 1.03250
E _c = 3180000	E _p = 9.43E-04	Ep = 20500000	Q = 0.00625
Et = -575750	L = 420		

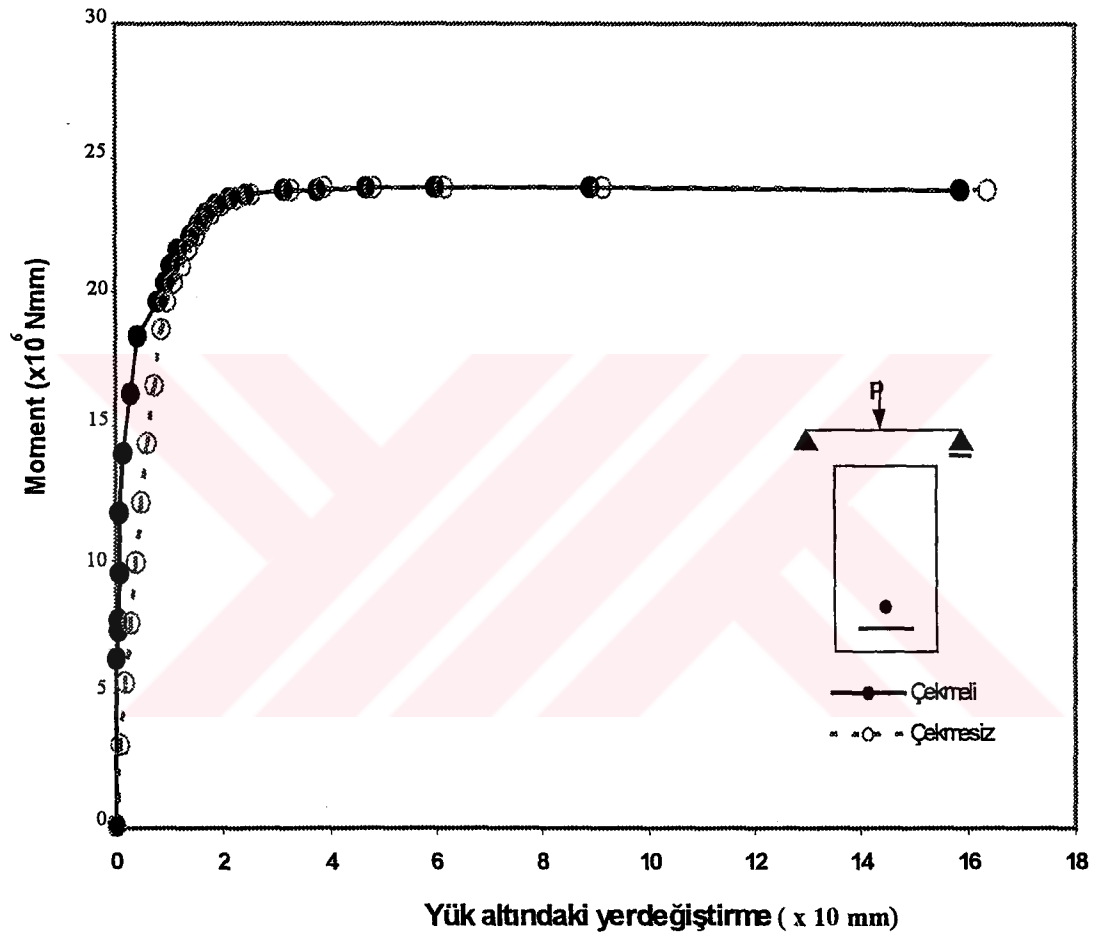
Çizelge Çizelge		Çizelge Çizelge	
f _{py} = 146500	h _o = 25	P = 30000	
f _{pe} = 86900	N = 6.06000		
Ap = 0.588	K = 1.03250		
Ep = 20500000	Q = 0.00625		

P = 30000			
-----------	--	--	--

Cekme Dahil	Cekme Harici
-------------	--------------



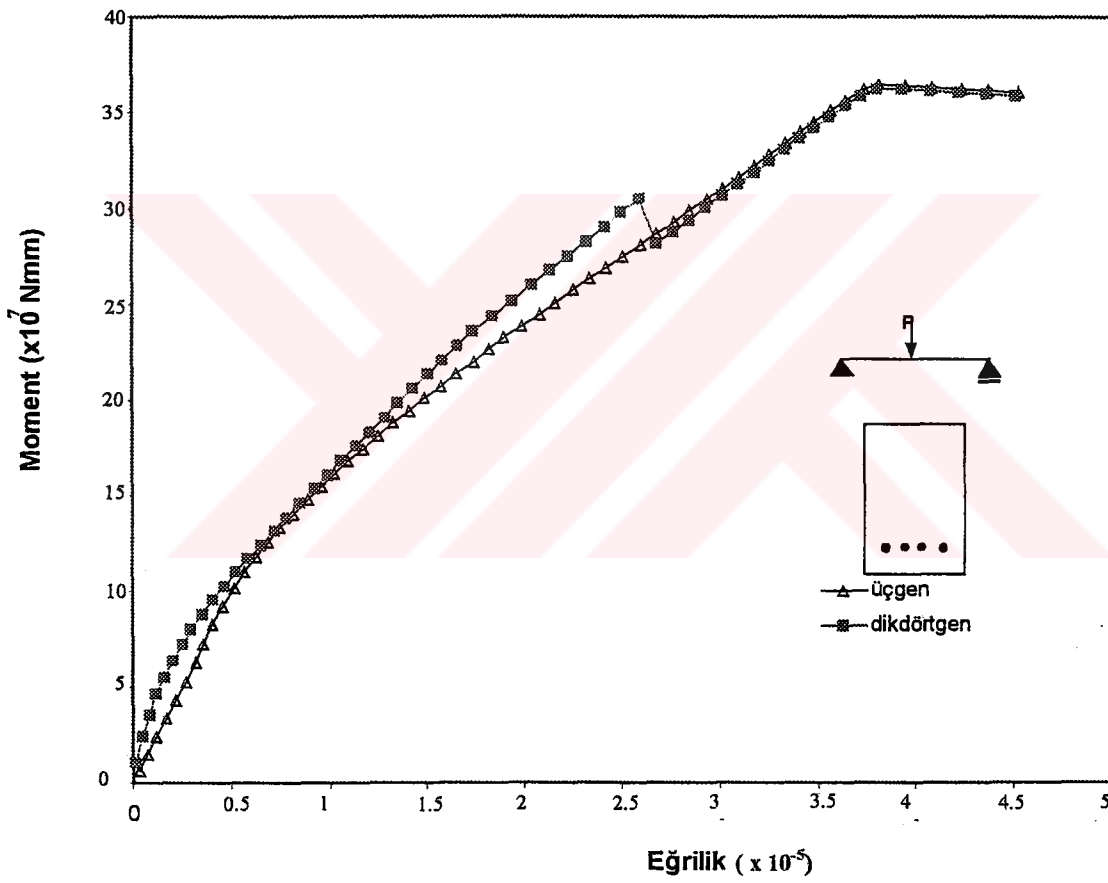
Şekil 7.9. Moment-Eğrilik diyagramı



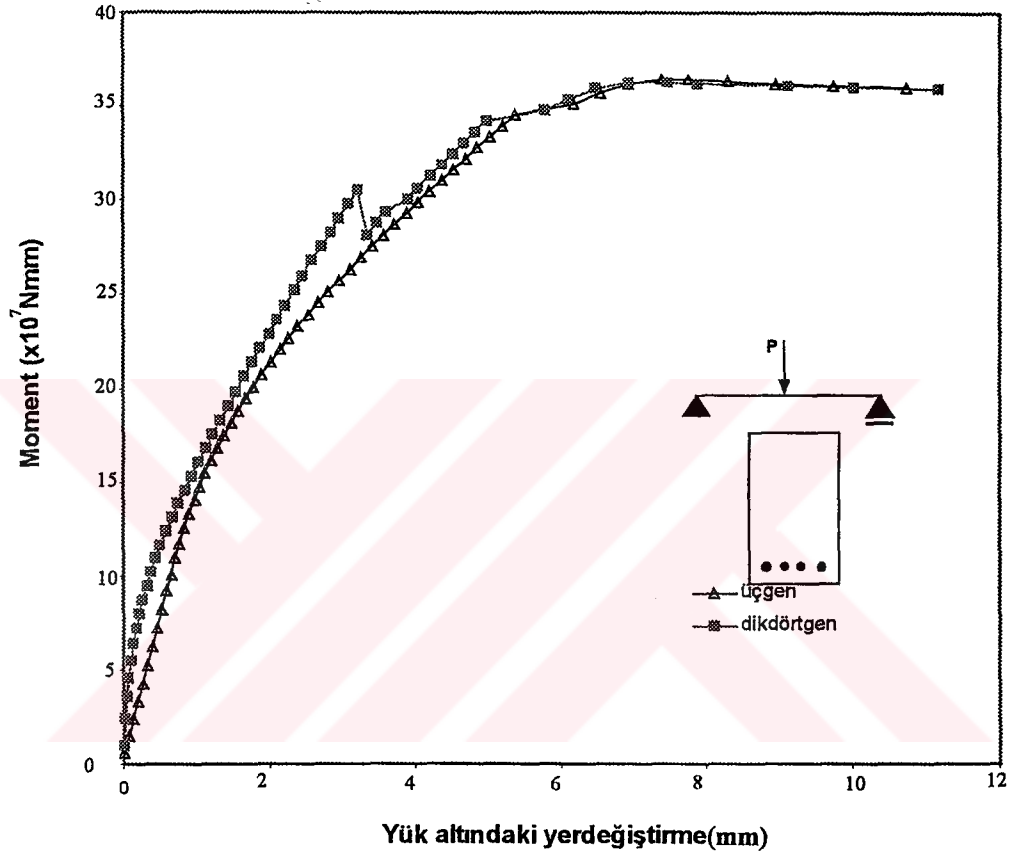
Şekil 7.10. Moment-Yerdeğiştirme diyagramı

7.6. Örnek 6

Şekil 7.11 ve Şekil 7.12’ de verilen tüm kesit özellikleri aynı olan ancak sadece betonun çekme gerilmeleri bloğunun iki farklı durumu için karşılaştırmalar yapılmıştır. Kesitin geometrik özellikleri örnek 7.1 ile aynıdır.



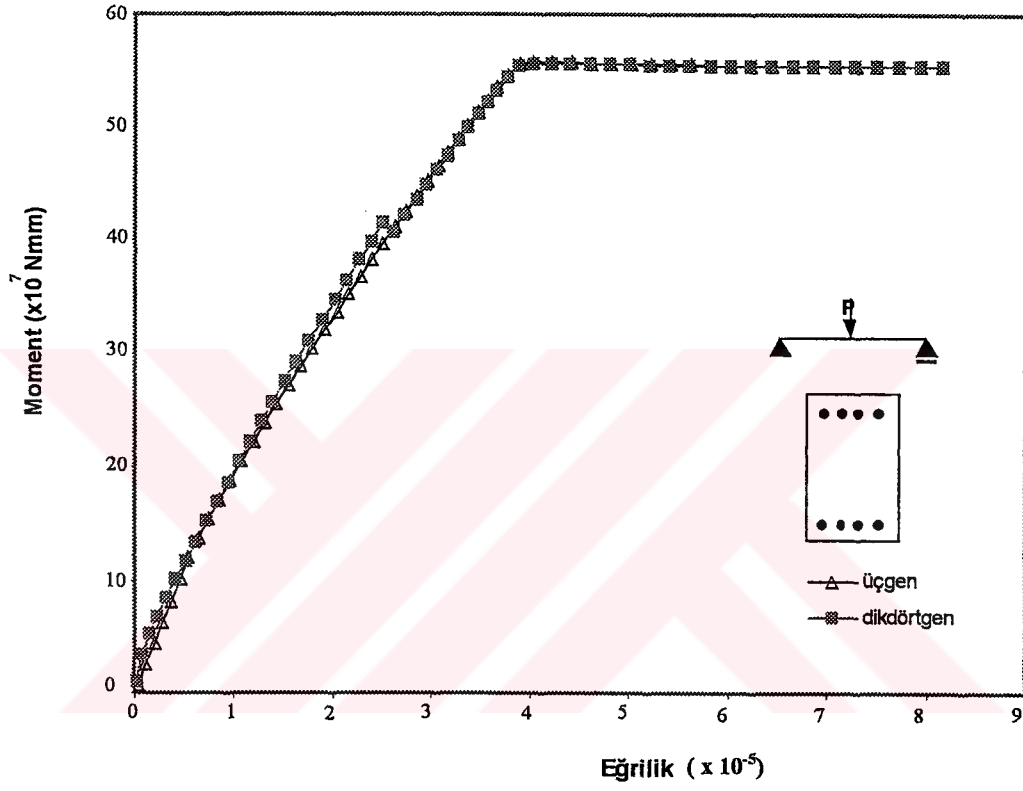
Şekil 7.11. Moment-Eğrilik diyagramı



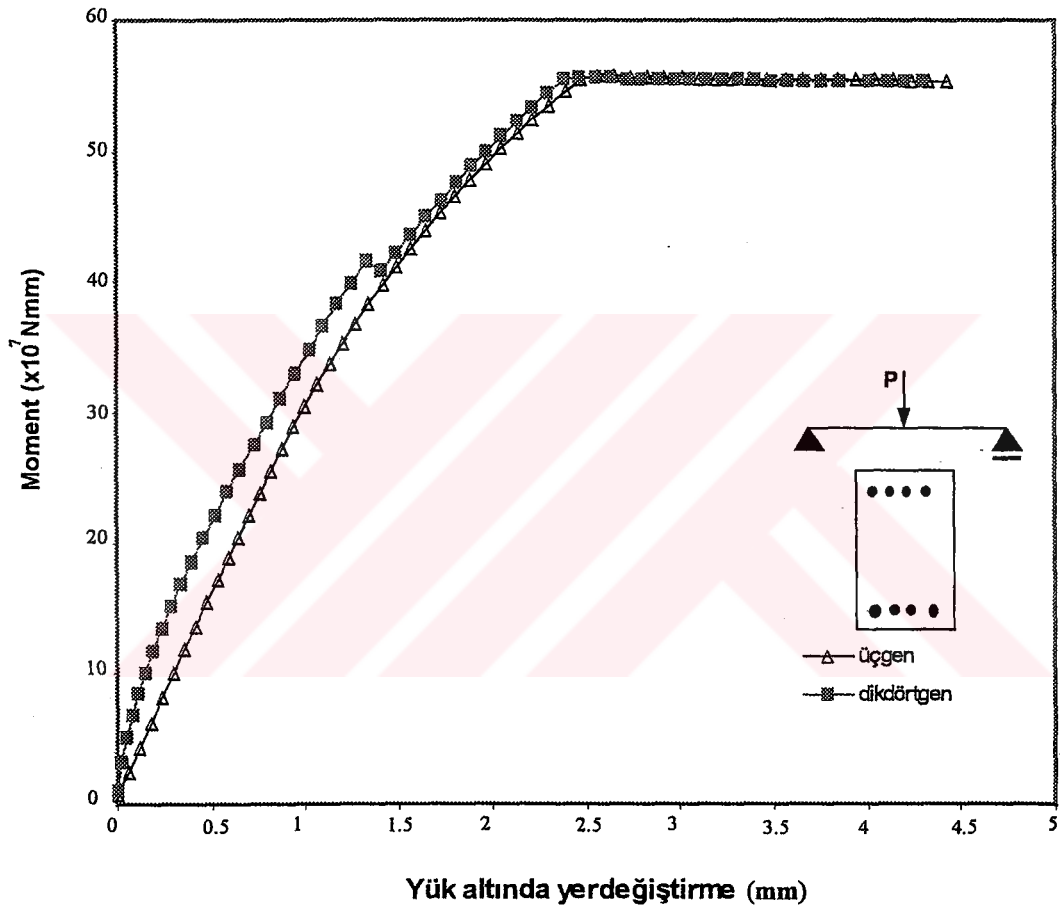
Şekil 7.12. Moment-Yerdeğiştirme diyagramı

7.7. Örnek 7

Şekil 7.13 ve Şekil 7.14' de verilen tüm kesit özellikleri aynı olan ancak sadece betonun çekme gerilmeleri bloğunun iki farklı durumu için karşılaştırmalar yapılmıştır. Kesitin geometrik özellikleri örnek 7.2 ile aynıdır.



Şekil 7.13. Moment-Eğrilik diyagramı



Şekil 7.14.Moment-Yerdeğiştirme diyagramı

8. SONUÇLAR

Grafiklerde görüldüğü gibi, betonun çekme dayanımı gözönüne alınmaması; tek donatılı kirişte rijitliği çok fazla etkilerken, çift donatılı kirişte ise çok az etkilemektedir.

Eğilme etkisindeki betonarme kirişlerde dağılı mikro çatlaklar yüzünden oluşan yumuşama, çekmede, gerilme uzama diyagramı ile tanımlanabilir. İki doğru ile tanımlanan çekme uzama diagramı pratik amaçlar için yeterlidir.

Burada kullanılan direk çekme gerilme uzama diagramı, kirişlerde eğrilik ve yerdeğiştirme hesabında uygun değildir. Gerçek gerilme uzama diyagramı, betonarme kirişlerin eğrilik ve yerdeğiştirmelerini karşılaştırıp akmaya kadar olan kirişlerin eğilme altında kısa süreli deformasyonları ile uygun olmalıdır.

Çekmede dikdörtgen gerilme bloğu kullanılması sonuçları fazla etkilemediğinden pratik amaçlı kullanımlarda yeterli olabileceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- (1) Bazant, Z.P, Oh, H., "Deformation of Progressively Cracking Reinforced Concrete Beams", ACI Journal, Vol 81, No 3, pp:268-278, May-June 1984.
- (2) Chern, J.C., You, C.M, Bazant Z.P, "Deformation of Progressively Cracking Partially Prestressed Concrete Beams", PCI Journal, Vol 37, No 1, pp:74-85, January-February 1992.
- (3) Branson, D.E., "Design Procedures for Computing Deflection", ACI Journal, pp:730-742, 1963.
- (4) Branson, D.E., Trost, H., " Unified Procedures for Predicting the Deflection and Centroidal Axis Location of Partially Cracked Nonprestressed and Prestressed Concrete Members", ACI Journal, Vol 79, pp:119-130, 1982.
- (5) Scordelis, A.C., "Computer Models for Nonlinear Analysis of Reinforced and Prestressed Concrete Structures", PCI Journal, pp:116-135, 1984.
- (6) Kabaila, A., Saenz, L.P, Tulin, L.G, Gerstle, K.H, "Equation for the Stress-Strain Curve of Concrete", ACI Journal, Vol 61, No 3, pp:1227-1239, 1964.
- (7) TS 500, 1999, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü (Taslak) , Ankara.
- (8) Nilson, A.H., 1987, Design of Prestressed Concrete, John Wiley & Sons, 2nd edition, Canada.
- (9) Lin, T.Y., Burns, N.H., 1982, Design of Prestressed Concrete Structures, John Wiley & Sons, 3rd edition, Canada.
- (10) Şener, S., "Öngerilme Ders Notları", 1997.
- (11) TS 3233, 1979, Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- (12) Özden, K., Eren, İ., 1994, Öngerilmeli Beton, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- (13) Naaman, A.C, 1978, Prestressed Concrete, John Wiley & Sons, New York.

EKLER

EK-1

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
Dim sigmaCt(700)
```

```
Dim kuvvetCt(700)
```

```
Dim kuvvetCc(700)
```

```
Dim kuvvets1(700)
```

```
Dim kuvvets2(700)
```

```
Dim eptm(700)
```

```
Dim kolCt0(700)
```

```
Dim kolCc0(700)
```

```
Dim eps1(700)
```

```
Dim eps2(700)
```

```
Dim sigmas1(700)
```

```
Dim sigmas2(700)
```

```
Dim ntop(700)
```

```
Dim kuvvetCt0(700)
```

```
Dim kuvvetCc0(700)
```

```
Dim kuvvets10(700)
```

```
Dim kuvvets20(700)
```

```
Dim sigmas10(700)
```

```
Dim sigmas20(700)
```

```
Dim ept0(700)
```

```
Dim c0(700)
```

```
Dim eps10(700)
```

```
Dim eps20(700)
```

```
Dim ntop0(700)
```

```
Dim mtop0(700)
```

```
Dim egrilik(700)
```

```
Dim moment(100)
```

```
Dim hesegrilik(100)
```

```
Dim delta(700)
```

```
Range("b").Select 'genislik okut
```

```
b = ActiveCell.Value '
```

```
Range("h").Select 'kesit yüksekligini okut
```

```
h = ActiveCell.Value '
```

```
Range("pas1").Select 'paspayını okut
```

```
pas1 = ActiveCell.Value '
```

```
Range("pas2").Select 'paspayını okut
```

```
pas2 = ActiveCell.Value '
```

```
Range("don1").Select 'donatıyı okut
```

```
don1 = ActiveCell.Value '
```

```
Range("don2").Select 'donatıyı okut
```

```
don2 = ActiveCell.Value '
```

```
Range("eptp").Select 'epsilon tp
```

```
eptp = ActiveCell.Value '
```

```
Range("epcp").Select 'epsilon tp
```

```
epcp = ActiveCell.Value '
```

```
Range("eptf").Select 'epsilon tf
eptf = ActiveCell.Value '
```

```
Range("ft").Select 'ft
ft = ActiveCell.Value '
```

```
Range("fc").Select 'fc
fc = ActiveCell.Value '
```

```
Range("Ec").Select 'Ec
Ec = ActiveCell.Value '
```

```
Range("Et").Select 'Et
Et = ActiveCell.Value
```

```
Range("epcm").Select 'epsilon cm
epcm = ActiveCell.Value
```

```
Range("fy").Select 'fy
fy = ActiveCell.Value
```

```
Range("Es").Select 'Es
Es = ActiveCell.Value
```

```
For w = 1 To h
```

```
For i = 1 To h
```

```
    eptm(i) = epcm * (h - i) / i
```

```
    If (eptm(i) > 0 And eptm(i) <= eptp) Then 'çekme bölgesinde ise
```

```
    x10 = Ec * eptm(i) / (2 * ft)
```

```
    k31 = x10
```

```
    kuvvetCt(i) = k31 * ft * b * (h - i) 'kuvvet hesabı
```

```
    End If
```

```
    If (eptm(i) > 0 And eptp < eptm(i) And eptm(i) < eptf) Then 'çekme bölgesinde ise
```

```
    x11 = 1 / (ft * eptm(i))
```

```
    x12 = (ft + eptp * Abs(Et)) * eptm(i)
```

```
    x13 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptm(i) ^ 2
```

```
    x14 = (1 / 2) * ft * eptp
```

```
    x15 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptp ^ 2
```

```
    k32 = x11 * (x12 - x13 - x14 - x15)
```

```
    kuvvetCt(i) = k32 * ft * b * (h - i) 'kuvvet hesabı
```

```
    End If
```

```
    If (eptm(i) > 0 And eptm(i) > eptf) Then 'çekme bölgesinde ise
```

```
    x11 = 1 / (ft * eptm(i))
```

```
    x14 = (1 / 2) * ft * eptp
```

```
    x15 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptp ^ 2
```

```
    x16 = (ft + eptp * Abs(Et)) * eptf
```

```
    x17 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptf ^ 2
```

```
    k33 = x11 * (x16 - x17 - x14 - x15)
```

```
    kuvvetCt(i) = k33 * ft * b * (h - i) 'kuvvet hesabı
```

End If

$x1 = Ec / (fc * epcm)$
 $Bindis = 1 / (epcp ^ 2)$
 $x2 = 1 / (2 * Bindis)$
 $Aindis = ((Ec * epcp / fc) - 2) / epcp$
 $x3 = \text{Log}(1 + Aindis * epcm + Bindis * epcm * epcm)$
 $qindis = 4 * Bindis - Aindis ^ 2$
 $x4 = Aindis / (Bindis * \text{Sqr}(qindis))$
 $x5 = \text{Atn}(Aindis / \text{Sqr}(qindis))$
 $x6 = \text{Atn}((Aindis + 2 * Bindis * epcm) / \text{Sqr}(qindis))$
 $k1 = x1 * (x2 * x3 + x4 * (x5 - x6))$
 kuvvetCc(i) = k1 * fc * b * i 'kuvvet hesabı

'donatı hesabı için donatının akmadığı gerçek degeri alınacaktır.

d1 = pas1

d2 = h - pas2

If pas1 = 0 Then

eps1(i) = 0

Else

eps1(i) = epcm * (i - d1) / i

End If

eps2(i) = epcm * (i - d2) / i

epsy = fy / Es

If (Abs(eps1(i)) > epsy And eps1(i) < 0) Then

sigmas1(i) = -fy

End If

If (Abs(eps2(i)) > epsy And eps2(i) > 0) Then

sigmas1(i) = fy

End If

If Abs(eps1(i)) < epsy Then

sigmas1(i) = eps1(i) * Es

End If

kuvvets1(i) = sigmas1(i) * don1

If (Abs(eps2(i)) > epsy And eps2(i) < 0) Then

sigmas2(i) = -fy

End If

If (Abs(eps2(i)) > epsy And eps2(i) > 0) Then

sigmas2(i) = fy

End If

If Abs(eps2(i)) < epsy Then

sigmas2(i) = eps2(i) * Es

End If

kuvvets2(i) = sigmas2(i) * don2

If eptm(i) < eptp Then

ntop(i) = kuvvetCc(i) - kuvvetCt(i) + kuvvets1(i) + kuvvets2(i)

Else

ntop(i) = kuvvetCc(i) + kuvvets1(i) + kuvvets2(i)

End If

```
Range("cden0").Select
ActiveCell.Offset(i, 0).Value = i
```

```
Range("cdename5").Select
ActiveCell.Offset(i, 0).Value = ntop(i)
```

```
Next i
```

```
For j = 1 To h
Range("cdename5").Select
dum = ActiveCell.Offset(j, 0).Value
If dum >= 0 Then
calt = j
nalt = dum
Exit For
End If
Next j
```

```
cust = j - 1
nust = ntop(j - 1)
```

```
Range("ab5:ab28").Select
Selection.ClearContents
Range("ac5:ac28").Select
Selection.ClearContents
```

```
'-----
'
```

```
c0(w) = (nalt * cust - calt * nust) / (nalt - nust)
```

```
ept0(w) = epcm * (h - c0(w)) / c0(w)
If (ept0(w) > 0 And ept0(w) <= eptp) Then 'çekme bölgesinde ise
x10 = Ec * ept0(w) / (2 * ft)
k31 = x10
kuvvetCt0(w) = k31 * ft * b * (h - c0(w)) 'kuvvet hesabı
x18 = 1 / 3
k41 = x18
kolCt0(w) = k41 * (h - c0(w))
End If
```

```
If (ept0(w) > 0 And eptp < ept0(w) And ept0(w) < eptf) Then 'çekme bölgesinde ise
x11 = 1 / (ft * ept0(w))
x12 = (ft + eptp * Abs(Et)) * ept0(w)
x13 = (1 / 2) * Abs(Et) * ept0(w) ^ 2
x14 = (1 / 2) * ft * eptp
x15 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptp ^ 2
k32 = x11 * (x12 - x13 - x14 - x15)
kuvvetCt0(w) = k32 * ft * b * (h - c0(w)) 'kuvvet hesabı
x19 = -1 / 6 * ft * eptp ^ 2
x20 = (1 / 2 * ft + 1 / 2 * Abs(Et) * eptp) * ept0(w) ^ 2
x21 = 1 / 3 * Abs(Et) * ept0(w) ^ 3
x22 = 1 / 6 * Abs(Et) * eptp ^ 3
k42 = 1 - (x19 + x20 - x21 - x22) / (ept0(w) * (x12 - x13 - x14 - x15))
kolCt0(w) = k42 * (h - c0(w))
End If
```

```

If (ept0(w) > 0 And ept0(w) > eptf) Then 'çekme bölgesinde ise
x11 = 1 / (ft * ept0(w))
x14 = (1 / 2) * ft * eptp
x15 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptp ^ 2
x16 = (ft + eptp * Abs(Et)) * eptf
x17 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptf ^ 2
k33 = x11 * (x16 - x17 - x14 - x15)
kuvvetCt0(w) = k33 * ft * b * (h - c0(w)) 'kuvvet hesabı
x22 = 1 / 6 * Abs(Et) * eptp ^ 3
x23 = (1 / 2 * ft + 1 / 2 * Abs(Et) * eptp) * eptf ^ 2
x24 = 1 / 3 * Abs(Et) * eptf ^ 3
x14 = 1 / 2 * ft * eptp
x15 = 1 / 2 * Abs(Et) * eptp ^ 2
x16 = (ft + eptp * Abs(Et)) * eptf
x17 = 1 / 2 * Abs(Et) * eptf ^ 2
x19 = -1 / 6 * ft * eptp ^ 2
k43 = 1 - (x19 + x23 - x24 - x22) / (ept0(w) * (x16 - x17 - x14 - x15))
kolCt0(w) = k43 * (h - c0(w))
End If

```

```

x1 = Ec / (fc * epcm)
Bindis = 1 / (epcp ^ 2)
x2 = 1 / (2 * Bindis)
Aindis = ((Ec * epcp / fc) - 2) / epcp
x3 = Log(1 + Aindis * epcm + Bindis * epcm * epcm)
qindis = 4 * Bindis - Aindis ^ 2
x4 = Aindis / (Bindis * Sqr(qindis))
x5 = Atn(Aindis / Sqr(qindis))
x6 = Atn((Aindis + 2 * Bindis * epcm) / Sqr(qindis))
k1 = x1 * (x2 * x3 + x4 * (x5 - x6))
kuvvetCc0(w) = k1 * fc * b * c0(w) 'kuvvet hesabı
x7 = epcm / Bindis
x8 = Aindis / (2 * Bindis ^ 2)
x9 = (Aindis ^ 2 - 2 * Bindis) / (Bindis ^ 2 * Sqr(qindis))
k2 = 1 - (x7 - x8 * x3 + x9 * (x6 - x5)) / (epcm * (x2 * x3 + x4 * (x5 - x6)))
kolCc0(w) = k2 * c0(w)

```

'donatı hesabı için donatının akmadığı gerçek değeri alınacaktır.

```

d1 = pas1
d2 = h - pas2

```

```

If pas1 = 0 Then
eps10(w) = 0
Else
eps10(w) = epcm * (c0(w) - d1) / c0(w)
End If

```

```

eps20(w) = epcm * (c0(w) - d2) / c0(w)

```

```

epsy = fy / Es

```

```

If (Abs(eps10(w)) > epsy And eps10(w) < 0) Then
sigmas10(w) = -fy
End If
If (Abs(eps20(w)) > epsy And eps20(w) > 0) Then
sigmas10(w) = fy

```

```

End If
If Abs(eps10(w)) < epsy Then
sigmas10(w) = eps10(w) * Es
End If

kuvvets10(w) = sigmas10(w) * don1

If (Abs(eps20(w)) > epsy And eps20(w) < 0) Then
sigmas20(w) = -fy
End If
If (Abs(eps20(w)) > epsy And eps20(w) > 0) Then
sigmas20(w) = fy
End If
If Abs(eps20(w)) < epsy Then
sigmas20(w) = eps20(w) * Es
End If

kuvvets20(w) = sigmas20(w) * don2

    If ept0(w) <= eptp Then
        ntop0(w) = kuvvetCc0(w) - kuvvetCt0(w) + kuvvets10(w) + kuvvets20(w)
    Else
        ntop0(w) = kuvvetCc0(w) + kuvvets10(w) + kuvvets20(w)
    End If
Range("Gcnler").Select
ActiveCell.Offset(w, 0).Value = ntop0(w)

Range("Gceptm").Select
ActiveCell.Offset(w, 0).Value = ept0(w)
Range("Gcepcm").Select
ActiveCell.Offset(w, 0).Value = epcm
Range("Gckd").Select
ActiveCell.Offset(w, 0).Value = c0(w)

    If ept0(w) < eptp Then
        mtop0(w) = kuvvetCt0(w) * (h / 2 - kolCt0(w)) + kuvvetCc0(w) * (h / 2 - kolCc0(w)) + kuvvets10(w) *
(h / 2 - d1) + kuvvets20(w) * (h / 2 - d2)
    Else
        mtop0(w) = kuvvetCc0(w) * (h / 2 - kolCc0(w)) + kuvvets10(w) * (h / 2 - d1) + kuvvets20(w) * (h / 2 -
d2)
    End If

    egrilik(w) = epcm / c0(w)

Range("cmoment").Select
ActiveCell.Offset(w, 0).Value = mtop0(w)

Range("cegrilik").Select
ActiveCell.Offset(w, 0).Value = egrilik(w)

epcm = epcm + 0.000025

For i = 1 To h
    ntop(i) = 0
    kuvvetCc(i) = 0
    kuvvetCt(i) = 0

```

```

kuvvets1(i) = 0
kuvvets2(i) = 0
Next i
Next w

```

```

Range("lkir").Select 'Kiriş Açıklığı
lkir = ActiveCell.Value '
Range("pkuv").Select 'tekil acıklık yuku
pkuv = ActiveCell.Value '

```

```

art = pkuv / h
pkuv = 1
For opr = 1 To h + 1
For i = 1 To 4
moment(i) = pkuv * (1 / 2) * i * (lkir / 8)

```

```

For j = 1 To h
Range("cmoment").Select
dummy = ActiveCell.Offset(j, 0).Value
If dummy >= moment(i) Then
opalt = j
momentalt = dummy
Exit For
End If
Next j
opust = j - 1
momentust = mtop0(j - 1)
egrilikust = egrilik(j - 1)
egrilikalt = egrilik(j)
Aegrilik = (moment(i) - momentalt) / (momentust - moment(i))
hesegrilik(i) = (Aegrilik * egrilikust + egrilikalt) / (1 + Aegrilik)
Next i
delta(opr) = lkir ^ 2 / 48 * (hesegrilik(1) + hesegrilik(2) + 3 * hesegrilik(3) + hesegrilik(4))
Range("cdelta").Select
ActiveCell.Offset(opr, 0).Value = delta(opr)
pkuv = pkuv + art
Next opr
Beep

```

```
End Sub
```

```

Private Sub hesapla_Click()
Dim sigmaCt(700)
Dim kuvvetCt(700)
Dim kuvvetCc(700)
Dim kuvvets1(700)
Dim kuvvets2(700)
Dim eptm(700)
Dim kolCt0(700)
Dim kolCc0(700)
Dim eps1(700)
Dim eps2(700)
Dim sigmas1(700)
Dim sigmas2(700)
Dim ntop(700)
Dim kuvvetCt0(700)

```

```

Dim kuvvetCc0(700)
Dim kuvvets10(700)
Dim kuvvets20(700)
Dim sigmas10(700)
Dim sigmas20(700)
Dim ept0(700)
Dim c0(700)
Dim eps10(700)
Dim eps20(700)
Dim ntop0(700)
Dim mtop0(700)
Dim egrilik(700)
Dim moment(700)
Dim hesegrilik(700)
Dim delta(700)

```

```

Range("b").Select 'genislik okut
b = ActiveCell.Value '

```

```

Range("h").Select 'kesit yüksekligini okut
h = ActiveCell.Value '

```

```

Range("pas1").Select 'paspayını okut
pas1 = ActiveCell.Value '

```

```

Range("pas2").Select 'paspayını okut
pas2 = ActiveCell.Value '

```

```

Range("don1").Select 'donatıyı okut
don1 = ActiveCell.Value '

```

```

Range("don2").Select 'donatıyı okut
don2 = ActiveCell.Value '

```

```

Range("eftp").Select 'epsilon tp
eftp = ActiveCell.Value '

```

```

Range("epcp").Select 'epsilon tp
epcp = ActiveCell.Value '

```

```

Range("eptf").Select 'epsilon tf
eptf = ActiveCell.Value '

```

```

Range("ft").Select 'ft
ft = ActiveCell.Value '

```

```

Range("fc").Select 'fc
fc = ActiveCell.Value '

```

```

Range("Ec").Select 'Ec
Ec = ActiveCell.Value '

```

```

Range("Et").Select 'Et
Et = ActiveCell.Value

```

```

Range("epcm").Select 'epsilon cm

```

epcm = ActiveCell.Value

Range("fy").Select 'fy
fy = ActiveCell.Value

Range("Es").Select 'Es
Es = ActiveCell.Value

For w = 1 To h

For i = 1 To h

eptm(i) = epcm * (h - i) / i

If (eptm(i) > 0 And eptm(i) <= eptp) Then 'çekme bölgesinde ise

x10 = Ec * eptm(i) / (2 * ft)

k31 = x10

kuvvetCt(i) = k31 * ft * b * (h - i) 'kuvvet hesabı

End If

If (eptm(i) > 0 And eptp < eptm(i) And eptm(i) < eptf) Then 'çekme bölgesinde ise

x11 = 1 / (ft * eptm(i))

x12 = (ft + eptp * Abs(Et)) * eptm(i)

x13 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptm(i) ^ 2

x14 = (1 / 2) * ft * eptp

x15 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptp ^ 2

k32 = x11 * (x12 - x13 - x14 - x15)

kuvvetCt(i) = k32 * ft * b * (h - i) 'kuvvet hesabı

End If

If (eptm(i) > 0 And eptm(i) > eptf) Then 'çekme bölgesinde ise

x11 = 1 / (ft * eptm(i))

x14 = (1 / 2) * ft * eptp

x15 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptp ^ 2

x16 = (ft + eptp * Abs(Et)) * eptf

x17 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptf ^ 2

k33 = x11 * (x16 - x17 - x14 - x15)

kuvvetCt(i) = k33 * ft * b * (h - i) 'kuvvet hesabı

End If

x1 = Ec / (fc * epcm)

Bindis = 1 / (epcp ^ 2)

x2 = 1 / (2 * Bindis)

Aindis = ((Ec * epcp / fc) - 2) / epcp

x3 = Log(1 + Aindis * epcm + Bindis * epcm * epcm)

qindis = 4 * Bindis - Aindis ^ 2

x4 = Aindis / (Bindis * Sqr(qindis))

x5 = Atn(Aindis / Sqr(qindis))

x6 = Atn((Aindis + 2 * Bindis * epcm) / Sqr(qindis))

k1 = x1 * (x2 * x3 + x4 * (x5 - x6))

kuvvetCc(i) = k1 * fc * b * i 'kuvvet hesabı

'donatı hesabı için donatının akmadığı gerçek değeri alınacaktır.

d1 = pas1

d2 = h - pas2

```

If pas1 = 0 Then
    eps1(i) = 0
Else
    eps1(i) = epcm * (i - d1) / i
End If

eps2(i) = epcm * (i - d2) / i

epsy = fy / Es

If (Abs(eps1(i)) > epsy And eps1(i) < 0) Then
    sigmas1(i) = -fy
End If
If (Abs(eps2(i)) > epsy And eps2(i) > 0) Then
    sigmas1(i) = fy
End If
If Abs(eps1(i)) < epsy Then
    sigmas1(i) = eps1(i) * Es
End If

kuvvets1(i) = sigmas1(i) * don1

If (Abs(eps2(i)) > epsy And eps2(i) < 0) Then
    sigmas2(i) = -fy
End If
If (Abs(eps2(i)) > epsy And eps2(i) > 0) Then
    sigmas2(i) = fy
End If
If Abs(eps2(i)) < epsy Then
    sigmas2(i) = eps2(i) * Es
End If

kuvvets2(i) = sigmas2(i) * don2

ntop(i) = kuvvetCc(i) - kuvvetCt(i) + kuvvets1(i) + kuvvets2(i)

'*****silinecek
If epcm = 0.000217 Then
    Range("den1").Select
    'ActiveCell.Offset(i, 0).Value = i
    Range("den2").Select
    'ActiveCell.Offset(i, 0).Value = ntop(i)
End If

'*****

Range("den0").Select
ActiveCell.Offset(i, 0).Value = i

Range("deneme5").Select
ActiveCell.Offset(i, 0).Value = ntop(i)

Next i

For j = 1 To h
    Range("deneme5").Select

```

```
dum = ActiveCell.Offset(j, 0).Value
```

```
If dum >= 0 Then
```

```
calt = j
```

```
nalt = dum
```

```
Exit For
```

```
End If
```

```
Next j
```

```
cust = j - 1
```

```
nust = ntop(j - 1)
```

```
c0(w) = (nalt * cust - calt * nust) / (nalt - nust)
```

```
Range("C5:C28").Select
```

```
Selection.ClearContents
```

```
Range("b5:b28").Select
```

```
Selection.ClearContents
```

```
'-----
'-----
'-----
'-----
```

```
ept0(w) = epcm * (h - c0(w)) / c0(w)
```

```
If (ept0(w) > 0 And ept0(w) <= eptp) Then 'çekme bölgesinde ise
```

```
x10 = Ec * ept0(w) / (2 * ft)
```

```
k31 = x10
```

```
kuvvetCt0(w) = k31 * ft * b * (h - c0(w)) 'kuvvet hesabı
```

```
x18 = 1 / 3
```

```
k41 = x18
```

```
kolCt0(w) = k41 * (h - c0(w))
```

```
End If
```

```
If (ept0(w) > 0 And eptp < ept0(w) And ept0(w) < eptf) Then 'çekme bölgesinde ise
```

```
x11 = 1 / (ft * ept0(w))
```

```
x12 = (ft + eptp * Abs(Et)) * ept0(w)
```

```
x13 = (1 / 2) * Abs(Et) * ept0(w) ^ 2
```

```
x14 = (1 / 2) * ft * eptp
```

```
x15 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptp ^ 2
```

```
k32 = x11 * (x12 - x13 - x14 - x15)
```

```
kuvvetCt0(w) = k32 * ft * b * (h - c0(w)) 'kuvvet hesabı
```

```
x19 = -1 / 6 * ft * eptp ^ 2
```

```
x20 = (1 / 2 * ft + 1 / 2 * Abs(Et) * eptp) * ept0(w) ^ 2
```

```
x21 = 1 / 3 * Abs(Et) * ept0(w) ^ 3
```

```
x22 = 1 / 6 * Abs(Et) * eptp ^ 3
```

```
k42 = 1 - (x19 + x20 - x21 - x22) / (ept0(w) * (x12 - x13 - x14 - x15))
```

```
kolCt0(w) = k42 * (h - c0(w))
```

```
End If
```

```
If (ept0(w) > 0 And ept0(w) > eptf) Then 'çekme bölgesinde ise
```

```
x11 = 1 / (ft * ept0(w))
```

```
x14 = (1 / 2) * ft * eptp
```

```

x15 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptp ^ 2
x16 = (ft + eptp * Abs(Et)) * eptf
x17 = (1 / 2) * Abs(Et) * eptf ^ 2
k33 = x11 * (x16 - x17 - x14 - x15)
kuvvetCt0(w) = k33 * ft * b * (h - c0(w)) 'kuvvet hesabı
x22 = 1 / 6 * Abs(Et) * eptp ^ 3
x23 = (1 / 2 * ft + 1 / 2 * Abs(Et) * eptp) * eptf ^ 2
x24 = 1 / 3 * Abs(Et) * eptf ^ 3
x14 = 1 / 2 * ft * eptp
x15 = 1 / 2 * Abs(Et) * eptp ^ 2
x16 = (ft + eptp * Abs(Et)) * eptf
x17 = 1 / 2 * Abs(Et) * eptf ^ 2
x19 = -1 / 6 * ft * eptp ^ 2
k43 = 1 - (x19 + x23 - x24 - x22) / (ept0(w) * (x16 - x17 - x14 - x15))
kolCt0(w) = k43 * (h - c0(w))
End If

```

```

x1 = Ec / (fc * epcm)
Bindis = 1 / (epcp ^ 2)
x2 = 1 / (2 * Bindis)
Aindis = ((Ec * epcp / fc) - 2) / epcp
x3 = Log(1 + Aindis * epcm + Bindis * epcm * epcm)
qindis = 4 * Bindis - Aindis ^ 2
x4 = Aindis / (Bindis * Sqr(qindis))
x5 = Atn(Aindis / Sqr(qindis))
x6 = Atn((Aindis + 2 * Bindis * epcm) / Sqr(qindis))
k1 = x1 * (x2 * x3 + x4 * (x5 - x6))
kuvvetCc0(w) = k1 * fc * b * c0(w) 'kuvvet hesabı
x7 = epcm / Bindis
x8 = Aindis / (2 * Bindis ^ 2)
x9 = (Aindis ^ 2 - 2 * Bindis) / (Bindis ^ 2 * Sqr(qindis))
k2 = 1 - (x7 - x8 * x3 + x9 * (x6 - x5)) / (epcm * (x2 * x3 + x4 * (x5 - x6)))
kolCc0(w) = k2 * c0(w)

```

'donatı hesabı için donatının akmadığı gercek degeri alınacaktır.

```

d1 = pas1
d2 = h - pas2

```

```

If pas1 = 0 Then
  eps10(w) = 0
Else
  eps10(w) = epcm * (c0(w) - d1) / c0(w)
End If

```

```

eps20(w) = epcm * (c0(w) - d2) / c0(w)

```

```

epsy = fy / Es

```

```

If (Abs(eps10(w)) > epsy And eps10(w) < 0) Then
  sigmas10(w) = -fy
End If
If (Abs(eps20(w)) > epsy And eps20(w) > 0) Then
  sigmas10(w) = fy
End If
If Abs(eps10(w)) < epsy Then
  sigmas10(w) = eps10(w) * Es
End If

```

kuvvets10(w) = sigmas10(w) * don1

If (Abs(eps20(w)) > epsy And eps20(w) < 0) Then
sigmas20(w) = -fy

End If

If (Abs(eps20(w)) > epsy And eps20(w) > 0) Then
sigmas20(w) = fy

End If

If Abs(eps20(w)) < epsy Then
sigmas20(w) = eps20(w) * Es

End If

kuvvets20(w) = sigmas20(w) * don2

ntop0(w) = kuvvetCc0(w) - kuvvetCt0(w) + kuvvets10(w) + kuvvets20(w)

Range("Gnler").Select

ActiveCell.Offset(w, 0).Value = ntop0(w)

Range("Geptm").Select

ActiveCell.Offset(w, 0).Value = ept0(w)

Range("Gepcm").Select

ActiveCell.Offset(w, 0).Value = epcm

Range("Gkd").Select

ActiveCell.Offset(w, 0).Value = c0(w)

mtop0(w) = kuvvetCc0(w) * (h / 2 - kolCc0(w)) + kuvvets10(w) * (h / 2 - d1) + kuvvets20(w) * (h / 2 - d2)
+ kuvvetCt0(w) * (h / 2 - kolCt0(w))

egrilik(w) = epcm / c0(w)

Range("moment").Select

ActiveCell.Offset(w, 0).Value = mtop0(w)

Range("egrilik").Select

ActiveCell.Offset(w, 0).Value = egrilik(w)

epcm = epcm + 0.000025

For i = 1 To h

ntop(i) = 0

kuvvetCc(i) = 0

kuvvetCt(i) = 0

kuvvets1(i) = 0

kuvvets2(i) = 0

Next i

Next w

Range("lkir").Select 'Kiriş Açıklığı

lkir = ActiveCell.Value '

Range("pkuv").Select 'tekil acıklık yuku

pkuv = ActiveCell.Value '

art = pkuv / h

pkuv = 1

```

For opr = 1 To h + 1
For i = 1 To 4
moment(i) = pkuv * (1 / 2) * i * (lkir / 8)
For j = 1 To h
Range("moment").Select
dummy = ActiveCell.Offset(j, 0).Value
If dummy >= moment(i) Then
opalt = j
momentalt = dummy
Exit For
End If
Next j
opust = j - 1
momentust = mtop0(j - 1)
egrilikust = egrilik(j - 1)
egrilikalt = egrilik(j)
Aegrilik = (moment(i) - momentalt) / (momentust - moment(i))
hesegrilik(i) = (Aegrilik * egrilikust + egrilikalt) / (1 + Aegrilik)

```

```

Next i

```

```

delta(opr) = lkir ^ 2 / 48 * (hesegrilik(1) + hesegrilik(2) + 3 * hesegrilik(3) + hesegrilik(4))
Range("delta").Select
ActiveCell.Offset(opr, 0).Value = delta(opr)
pkuv = pkuv + art
Next opr
Beep

```

```

End Sub

```

DE MÜHÜRÖĞRETİM KURULU
 BİREYSELLEŞTİRME VE
 REHABİLİTASYON MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

04/05/1974 'Rize' de doğdu. İlkokul tahsilini 1985 yılında Rize'de tamamladı. Rize Anadolu Lisesi'nden 1992 yılında mezun oldu. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başladı.1996 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu ve aynı üniversitede Yüksek Lisans eğitime devam etti.1996 yılından beri Yüksel Proje Uluslararası AŞ.'de tasarım mühendisi olarak görevimi sürdürmekte.

