

**İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOROZYON ETKİSİ ALTINDAKİ BETONARME ÇERÇEVELERİN
DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ SABİT TEK MODLU İTME
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eyüp Bora DİLEK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEMMUZ 2019

İZMİR KATİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOROZYON ETKİSİ ALTINDAKİ BETONARME ÇERÇEVELERİN
DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ SABİT TEK MODLU İTME
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eyüp Bora DİLEK
Y140104008

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mutlu SEÇER

TEMMUZ 2019

İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsünün Y140104008 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Eyüp Bora DİLEK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KOROZYON ETKİSİ ALTINDAKİ BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ SABİT TEK MODLU İTME YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :

Dr.Öğr. Üyesi Mutlu SEÇER
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi



Jüri Üyeleri :

Doç. Dr. Taner UÇAR
Dokuz Eylül Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi M. Alper ÇANKAYA
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi



Teslim Tarihi : 11.06.2019
Savunma Tarihi : 02.07.2019

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, korozyonun betonarme çerçeve yapı davranışı üzerindeki etkisi sabit tek modlu itme yöntemi ile incelemiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Bu çalışmayı hazırlarken geçirdiğim süreçte bana yardım eden ve kendimi daha da geliştirmeme katkı sağlayan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mutlu SEÇER'e teşekkürü bir borç bilirim. Tezime katkılarından dolayı sayın Doç. Dr. Taner UÇAR'a teşekkür ederim. Ayrıca sevgili hayat arkadaşım Gizem ÖZTÜRK DİLEK ve canım aileme şükranlarımı sunarım.

Temmuz 2019

Eyüp Bora DİLEK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	1
1.2 Kapsam ve Yöntem	1
1.3 Literatür Taraması	2
1.4 Literatür Taramasının Değerlendirilmesi	4
2. KOROZYON MEKANİZMASI.....	5
2.1 Korozyona Etki Eden Faktörler.....	7
2.2 Korozyon Başlama Zamanı	8
2.3 Korozyon Hızı	11
2.4 Korozyon Çeşitleri	12
2.4.1 Üniform korozyon.....	12
2.4.2 Çukurlaşma korozyonu	14
2.5 Korozyonun Donatı Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	17
2.6 Korozyonun Betonarme Binalar Üzerindeki Etkisi	18
2.7 Betonarme Tasarım için Yönetmelik ve Standartlarda Korozyon	19
3. YAPILARIN SABİT TEK MODLU İTME EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE DEPREMİN YER DEĞİŞTİRME TALEBİNİN BELİRLENMESİ.....	21
3.1 Plastik Mafsal Hipotezi	22
3.2 Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi	23
3.2.1 Malzeme özellikleri.....	24
3.2.2 Moment-eğrilik-plastik dönme ilişkisi.....	27
3.2.3 Karşılıklı etki diyagramı	28
3.3 Etkin Rijitlik Çarpanı	29
3.4 Sabit Tek Modlu İtme Analizi ve Modal Kapasite Diyagramının Elde Edilmesi	30
3.5 Deprem Yeri Değiştirme İsteminin Elde Edilmesi	31
3.6 Deprem Modal Yeri Değiştirme Talebinin Elde Edilmesi.....	31

4. KOROZYONA MARUZ BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ SABİT TEK MODLU İTME YÖNTEMİ İLE NÜMERİK İNCELENMESİ.....	35
4.1 Betonarme Binanın Geometri ve Malzeme Özellikleri	35
4.2 Korozyon Hesabı	40
4.2.1 Korozyon başlama zamanının belirlenmesi	40
4.2.2 Korozyon sonrasında kalan alanın belirlenmesi.....	42
4.2.3 Her bir analiz için korozyon sonrasında donatı mekanik özelliklerinin belirlenmesi	48
4.3 Kiriş ve Kolon Plastik Mafsal Girdilerinin Elde Edilmesi.....	51
4.3.1 Kiriş ve kolon kesitlerinin tanımlanması	51
4.3.2 Kiriş moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesi	59
4.3.3 Kolon karşılıklı etki diyagramlarının elde edilmesi.....	61
4.3.4 Kolon moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesi	62
4.4 Korozyon Etkisindeki Kiriş Yapı Elemanlarının Moment-Eğrilik İlişkilerinin İncelenmesi.....	65
4.5 Korozyon Etkisindeki Kolon Yapı Elemanlarının Moment-Eğrilik İlişkilerinin İncelenmesi.....	67
4.6 Korozyon Etkisindeki Kolon Yapı Elemanlarının Karşılıklı Etki Diyagramlarının İncelenmesi	72
4.7 Sabit Tek Modlu İtme Analizi.....	74
4.7.1 Betonarme çerçeve modeli	74
4.7.1.1 Malzeme girdileri	74
4.7.1.2 Etkin kesit rijitlik çarpanlarının belirlenmesi.....	76
4.7.1.3 Kolon ve kiriş kesitlerinin tanımlanması	77
4.7.2 Çerçeve modele etki eden yüklerin tanımlanması.....	80
4.7.3 Plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması	81
4.7.4 İtme eğrisinin elde edilmesi	83
4.7.4.1 Düşey ve yatay yükleme durumlarının tanımlanması	83
4.7.4.2 Yer değiştirme isteminin (talebinin) belirlenmesi.....	85
4.7.4.3 Sabit tek modlu itme eğrilerinin elde edilmesi.....	89
4.8 Korozyon Etkisi Altında Yapı Taban Kesme Kuvveti Kapasitelerinin Zamana Bağlı Değişiminin İncelenmesi	99
5. SONUÇLAR	102
KAYNAKLAR.....	104
EKLER.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	111

KISALTMALAR

TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS-500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
ND	: Korozyonsuz Durum
AD	: Atmosferik Durum
SD	: Sıçrama Durumu

SEMBOLLER

A	: Metalin moleküler ağırlığı
A_C	: Çukurlaşma korozyonu alanı
A_{KC}	: Çukurlaşma korozyonu sonrası kalan alan
A_U	: Üniform korozyon sonrası donatı çeliğinde kalan alan
A_{UKC}	: Üniform ve çukurlaşma korozyonu sonucunda oluşan alan
a_1	: Kesit çevresinde boyuna donatıların eksenleri arasındaki mesafe
$a(t)$: Çukur genişliği
$a_1^{(X,k)}$: X deprem doğrultusu için k'inci itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal sözde ivmesi
b_o	: Göbek betonu sargılayan etriyelerin arasında kalan kesit boyutu
C_{cr}	: Kritik klor konsantrasyonu
C_R	: Spektral yer değiştirme oranı
C_s	: Yüzeydeki klor konsantrasyonu
D_u	: Difüzyon katsayısı
D_0	: Korozyonsuz donatı çeliği çapı
D_1	: Korozyon sonrası donatı çeliği çapı
d_c	: Net beton örtüsü
$d_1^{(X,k)}$: X deprem doğrultusu için k'inci itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesini
$d_{1,max}^{(X)}$: X deprem doğrultusu için modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi
E_c	: Beton modeli için kullanılan elastisite modülü
E_k	: Korozyona uğramış çeliğin elastisite modülü
$(EI)_e$: Yapı elemanlarının etkin kesit rijitlikleri
erf	: Gauss hata faktörü
F	: Faraday sabiti
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama basınç dayanımı
f_{co}	: Sargısız betonun basınç dayanımı
f_e	: Etkili sargılama basıncı

f_{syk}	: Korozyona uğramış donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{suk}	: Korozyona uğramış donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{su}	: Korozyona uğramamış donatı çeliğinin kopma dayanımını
f_{sy}	: Korozyona uğramamış donatı çeliğinin akma dayanımını
f_{ye}	: Donatı çeliğinin ortalama akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Kesit yüksekliği
h_o	: Göbek betonu sargılayan etriyelerin arasında kalan kesit boyutu
I	: Elektriksel akım
i_{corr}	: Korozyon yoğunluğu
i_{corr0}	: Başlangıç korozyon akım yoğunluğu
k_c	: Beton kür faktörü
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı
k_{fe}	: Çevre faktörü
L_p	: Plastik mafsallık boyu
L_s	: Kesme açıklığı
M	: Çözünmüş metal kütlesi
M_y	: Plastik mafsallık etkin akma momenti
$m_{tx1}^{(X,1)}$: X deprem doğrultusu için x ekseninde doğrultusunda birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekline göre hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi
n	: Yaş üstü
n_e	: Değerlik
P_{max}	: En büyük çukur derinliği
P_{ort}	: Üniform korozyon sonrası derinlik
$p(t)$: Donatı çeliğinin bir bölgesinde oluşan çukur derinliği
R	: Çukurlaşma faktörü
R_y	: Akma dayanımı azaltma katsayısı
r_{corr}	: Korozyon hızı
$S/Ç$: Su-çimento oranı
$S_{ae}(T_1)$: Birinci doğal titreşim periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral ivme
$S_{de}(T_1)$: Birinci doğal titreşim periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirme
$S_{di}(T_1)$: Taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını
S_{D1}	: 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı

S_1	: Harita ivme katsayısı
s	: Boyuna doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki mesafe
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_i	: Korozyon başlama zamanı
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_1	: Birinci (hakim) doğal titreşim periyodu
t	: Zaman
t_0	: Beton yaşı
U_a	: Akma anındaki yerdeğiştirme
U_k	: En büyük yer değiştirme
$u_{N \times 1}^{(X,k)}$: X deprem doğrultusu için k'inci itme adımında N'inci katta (binanın tepesinde) x eksenli doğrultusunda hesaplanan yer değiştirme
w/b	: Su bağlayıcılık oranı
$V_{tx1}^{(X,k)}$: X deprem doğrultusu için k'inci itme adımında x eksenli doğrultusunda hesaplanan taban kesme kuvvetini
Δ_w	: Yüzde kütle kaybı
μ	: Süneklik oranı
ε_{cc}	: Sergili beton dayanımına karşı gelen birim şekil değiştirme
ε_{su}	: Enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekil değiştirmesi
ε_{sh}	: Korozyona uğramamış donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ε_{suk}	: Korozyona uğramış donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ε_{sy}	: Korozyona uğramamış donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ϕ_p	: Plastik eğrilik
ϕ_y	: Akma eğriliği
θ_p	: Plastik dönme
θ_y	: Akma dönmesi
ρ_s	: Toplam enine donatının hacimsel oranını
ρ_x	: X doğrultusundaki enine donatı hacimsel oranı
ρ_y	: Y doğrultusundaki enine donatı hacimsel oranı
$\Phi_{N \times 1}^{(1)}$: N'inci katta birinci itme adımında belirlenen sabit mod şeklinin x doğrultusundaki genliği
$\Gamma_1^{(X,1)}$: X deprem doğrultusu için birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekline göre hesaplanan modal katkı çarpanı

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 : Korozyon başlama zamanını etkileyen değişkenlerin istatistiksel dağılımı [25].....	11
Tablo 2.2 : Korozyon sonrası donatı mekanik özelliklerinin değişimi [8].....	18
Tablo 2.3 : Çevresel etki sınıflarına göre beton örtüsü [34].....	20
Tablo 3.1 : Donatı çeliği mekanik özellikleri [3].....	26
Tablo 3.2 : Ortalama malzeme dayanımları [3].	30
Tablo 3.3 : Bir saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı [3].	34
Tablo 3.4 : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı [3].....	34
Tablo 4.1 : Açıklık boyunca yük dağılımı.....	38
Tablo 4.2 : Sayısal uygulamalar için tipik bir kodlama.	39
Tablo 4.3 : Sembollere göre korozyon durumları.	39
Tablo 4.4 : Korozyon durumları ve beton örtüsü.	39
Tablo 4.5 : Korozyon başlama zamanları.....	41
Tablo 4.6 : 3SD50-25 analizi üniform korozyona bağlı donatı azalmaları.	42
Tablo 4.7 : 3SD50-25 analizi için üniform korozyona bağlı donatı mekanik özellikleri.....	48
Tablo 4.8 : 3SD50-25 analizi donatı çeliği kütle kayıpları.	48
Tablo 4.9 : Üniform korozyon sonucu mekanik özelliklerin değişimi.	49
Tablo 4.10 : 3SD50-25 analizi için XTRACT-V3.0.8 moment dönme değerleri.	60
Tablo 4.11 : 3SD50-25 analizi için SAP2000-V17 moment dönme değerleri.	61
Tablo 4.12 : Kolon karşılıklı etki diyagramı değerleri.....	62
Tablo 4.13 : Kolon karşılıklı etki diyagramı değerleri.....	64
Tablo 4.14 : Kolon karşılıklı etki diyagramı değerleri.....	64
Tablo 4.15 : Rijitlik çarpanları.	77
Tablo 4.16 : Düğüm noktaları kat kütlesi ve modal genlikleri.....	88
Tablo EK.1 : Kiriş için moment-dönme değerleri.	106
Tablo EK.2 : Kolon için moment-dönme değerleri.	107
Tablo EK.3 : Kolonlar için karşılıklı etki diyagramı değerleri.	108
Tablo EK.4 : Yapı elemanları rijitlik çarpanları.	109
Tablo EK.5 : Tepe yer değiştirme istemleri.....	110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Betonarme donatı çeliğinin korozyonu ve pasivasyon tabakası [18].	6
Şekil 2.2 : Donatı çeliğinde korozyon sonucu meydana gelen hacim artışı ve etkileri [20, 21].	6
Şekil 2.3 : Donatı çeliği için korozyon gelişim süreci.	7
Şekil 2.4 : Donatı çeliğinin boyuna çatlaklara göre servis ömrü [23].	8
Şekil 2.5 : Korozyon difüzyon aşaması.	9
Şekil 2.6 : Tuzlu suyun yapıya etkisi.	10
Şekil 2.7 : Donatıda üniform korozyon.	13
Şekil 2.8 : Çukurlaşma faktörünün tespiti.	15
Şekil 2.9 : Donatıda çukurlaşma korozyonu.	16
Şekil 2.10 : Üniform ve çukurlaşma korozyonun birlikte etkisi.	17
Şekil 2.11 : Korozyona karşı önlem alınmadığından dolayı 1999 depreminde yıkılan bir bina [30].	19
Şekil 2.12 : 2011 Van depreminde yıkılan bina [32].	19
Şekil 3.1: İdealleştirilmiş gevrek ve sünek davranış.	21
Şekil 3.2: Eşit alanlar yöntemi ile idealleştirme.	23
Şekil 3.3: Plastik mafsallı bölgeleri.	23
Şekil 3.4: Beton modeli için sargılı ve sargısız bölgeler.	24
Şekil 3.5: Beton modeli için gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişki [3].	24
Şekil 3.6: Donatı çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [3].	26
Şekil 3.7: Eğrilik birim deformasyon ilişkisi.	27
Şekil 3.8: İdealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi.	28
Şekil 3.9: Kolona ait tip karşılıklı etki diyagramı.	29
Şekil 3.10: İtme eğrisinin modal kapasite diyagramı dönüşümü [3].	31
Şekil 4.1 : Üç boyutlu bina modeli.	36
Şekil 4.2: Kat kalıp planı ve şematik kesiti.	37
Şekil 4.3: Kiriş ve kolon kesitleri.	37
Şekil 4.4: Çerçeve modele etki eden yükler.	38
Şekil 4.5 : Sıçrama durumu beton örtüsü 40 mm için donatı alanlarının azalması. ..	43
Şekil 4.6 : Atmosferik durum beton örtüsü 40 mm için donatı alanlarının azalması.	43
Şekil 4.7 : Sıçrama durumu beton örtüsü 30 mm için donatı alanlarının azalması. ..	44
Şekil 4.8 : Atmosferik durum beton örtüsü 30 mm için donatı alanlarının azalması.	44
Şekil 4.9 : Sıçrama durumu beton örtüsü 25 mm için donatı alanlarının azalması. ..	45
Şekil 4.10 : Atmosferik durum beton örtüsü 25 mm için donatı alanlarının azalması.	45
Şekil 4.11 : Sıçrama durumu beton örtüsü 20 mm için donatı alanlarının azalması.	46
Şekil 4.12 : Atmosferik durum beton örtüsü 20 mm için donatı alanlarının azalması.	46

Şekil 4.13 : Sıçrama durumu beton örtüsü 15 mm için donatı alanlarının azalması..	47
Şekil 4.14 : Atmosferik durum beton örtüsü 15 mm için donatı alanlarının azalması.	47
Şekil 4.15 : Kiriş ve kolon kesitleri.....	52
Şekil 4.16 : Kiriş ve kolon için sargısız beton modeli.	52
Şekil 4.17 : Kiriş için Mander sargılı beton modeli sembolleri.	53
Şekil 4.18 : 3ND-25 ve 3SD50-25 durumlarında kiriş ve kolon için Mander sargılı beton modelleri.....	57
Şekil 4.19 : 3ND-25 ve 3SD50-25 durumlarında kiriş ve kolon için donatı çeliği modeli.....	58
Şekil 4.20 : Kiriş pozitif moment-eğrilik diyagramı tanımlaması.	59
Şekil 4.21 : Kiriş negatif moment-eğrilik diyagramı tanımlaması.....	59
Şekil 4.22 : Programa aktarılan moment-eğrilik-dönme noktaları.	60
Şekil 4.23 : Kolon karşılık etki diyagramı tanımlaması.....	62
Şekil 4.24 : P_1 için kolon moment-eğrilik tanımlaması.	63
Şekil 4.25 : P_2 için kolon moment-eğrilik tanımlaması.	63
Şekil 4.26 : 30 mm net beton örtüsü (2. grup analizler) için kiriş moment-eğrilik ilişkisi.....	65
Şekil 4.27 : 25 mm net beton örtüsü (3. grup analizler) için kiriş moment-eğrilik ilişkisi.....	66
Şekil 4.28 : 20 mm net beton örtüsü (4. grup analizler) için kiriş moment-eğrilik ilişkisi.	66
Şekil 4.29 : 15 mm net beton örtüsü (5. grup analizler) için kiriş moment-eğrilik ilişkisi.	67
Şekil 4.30 : 30 mm net beton örtüsü (2. grup analizler) için kolon moment-eğrilik ilişkisi a. P_1 %10 eksenel yük seviyesi b. P_2 %40 eksenel yük seviyesi.	68
Şekil 4.31 : 25 mm net beton örtüsü (3. grup analizler) için kolon moment-eğrilik ilişkisi a. P_1 %10 eksenel yük seviyesi b. P_2 %40 eksenel yük seviyesi.	69
Şekil 4.32 : 20 mm net beton örtüsü (4. grup analizler) için kolon moment-eğrilik ilişkisi a. P_1 %10 eksenel yük seviyesi b. P_2 %40 eksenel yük seviyesi.	70
Şekil 4.33 : 15 mm net beton örtüsü (5. grup analizler) için kolon moment-eğrilik ilişkisi a. P_1 %10 eksenel yük seviyesi b. P_2 %40 eksenel yük seviyesi.	71
Şekil 4.34 : 30 mm net beton örtüsü (2. grup analizler) için kolon karşılıklı etki diyagramları	72
Şekil 4.35 : 25 mm net beton örtüsü (3. grup analizler) için kolon karşılıklı etki diyagramları	73
Şekil 4.36 : 20 mm net beton örtüsü (4. grup analizler) için kolon karşılıklı etki diyagramları	73
Şekil 4.37 : 15 mm net beton örtüsü (5. grup analizler) için kolon karşılıklı etki diyagramları	74
Şekil 4.38 : 3SD50-25 analizi için etriye donatısı veri girişi.	75
Şekil 4.39 : 3SD50-25 analizi kiriş boyuna donatı ve kolon boyuna donatı girişi. ...	75
Şekil 4.40 : 3SD50-25 analizi beton modeli girişi.....	76
Şekil 4.41 : 3SD50-25 analizi kiriş kesiti tanımlaması.....	77
Şekil 4.42 : 3SD50-25 analizi kiriş kesiti rijitlik çarpanı tanımlaması.	78
Şekil 4.43 : 3SD50-25 analizi kolon kesiti tanımlaması.....	78
Şekil 4.44 : 3SD50-25 analizi zemin kat kolonların rijitlik çarpanı tanımlaması.....	79

Şekil 4.45 : 3SD50-25 analizi zemin kat hariç bütün kolonların rijitlik çarpanı tanımlaması.	79
Şekil 4.46 : 3SD50-25 analizi çerçeve modeli.	80
Şekil 4.47 : 3SD50-25 analizi için yükleme durumları.	80
Şekil 4.48 : 3SD50-25 analizi kütle kaynağı tanımlaması.	81
Şekil 4.49 : 3SD50-25 analizi giriş moment-dönme veri girişleri.	81
Şekil 4.50 : 3SD50-25 analizi kolon karşılık etki diyagramı veri girişleri.	82
Şekil 4.51 : 3SD50-25 analizi kolon moment-dönme veri girişleri.	82
Şekil 4.52 : 3SD50-25 analizi plastik mafsalsız atamaları.	83
Şekil 4.53 : Düşey yükleme durumu.	83
Şekil 4.54 : Yatay yükleme durumu.	84
Şekil 4.55 : Yer değiştirme değeri girişi.	84
Şekil 4.56 : Birinci doğal titreşim periyodu.	86
Şekil 4.57 : Yer değiştirme istemine göre yatay yükleme tanımlaması.	89
Şekil 4.58 : 1ND-40,1SD30-40,1AD30-40,1AD50-40 analizleri itme eğrisi.	90
Şekil 4.59 : 1SD50-40 analizi itme eğrisi.	90
Şekil 4.60 : 2ND-30,2AD3-30,2AD50-30 analizleri itme eğrisi.	91
Şekil 4.61 : 2SD30-30 analizi itme eğrisi.	91
Şekil 4.62 : 2SD50-30 analizi itme eğrisi.	92
Şekil 4.63 : 3ND-25,3AD30-25,3AD50-25 analizleri itme eğrisi.	92
Şekil 4.64 : 3SD30-25 analizi itme eğrisi.	93
Şekil 4.65 : 3SD50-25 analizi itme eğrisi.	93
Şekil 4.66 : 4ND-20 analizi itme eğrisi.	94
Şekil 4.67 : 4SD30-20 analizi itme eğrisi.	94
Şekil 4.68 : 4SD50-20 analizi itme eğrisi.	95
Şekil 4.69 : 4AD30-20 analizi itme eğrisi.	95
Şekil 4.70 : 4AD50-20 analizi itme eğrisi.	96
Şekil 4.71 : 5ND-15 analizi itme eğrisi.	96
Şekil 4.72 : 5SD30-15 analizi itme eğrisi.	97
Şekil 4.73 : 5SD50-15 analizi itme eğrisi.	97
Şekil 4.74 : 5AD30-15 analizi itme eğrisi.	98
Şekil 4.75 : 5AD50-15 analizi itme eğrisi.	98
Şekil 4.76 : 30 mm net beton örtüsü (2. grup analizler) için taban kesme kuvveti kapasitesi-zaman ilişkisi.	99
Şekil 4.77 : 25 mm net beton örtüsü (3. grup analizler) için taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.	100
Şekil 4.78 : 20 mm net beton örtüsü (4. grup analizler) için taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.	100
Şekil 4.79 : 15 mm net beton örtüsü (5. grup analizler) için taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.	101

KOROZYON ETKİSİ ALTINDAKİ BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ SABİT TEK MODLU İTME YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Ülkemizde yetersiz beton örtüsü, elverişsiz malzeme, çevresel etkiler gibi nedenlerden dolayı donatı korozyonuna uğramış betonarme yapı elemanlarına sıkça rastlanmaktadır. Korozyonun neden olabileceği hasarların kontrol altına alınması, yapı emniyeti, güvenilirlik ve ekonomiklik açısından gereklidir. Bu çalışmada, korozyon mekanizmasının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY2018) göre tasarlanan bir çerçeve yapı üzerindeki etkileri sabit tek modlu itme analizi ile araştırılmıştır. Betonarme çerçeve modeli için yapılan analizler sonucunda beton örtüsü ile orantılı olarak üniform korozyon başlama zamanının arttığı belirlenmiştir. Üniform korozyon sonrası kalan donatı alanları beton örtüsü arttıkça artmakta olup donatı mekanik özelliklerinin değişimi beton örtüsü ile paralel olarak artmaktadır. İtme analizleri neticesinde taban kesme kuvvetleri - tepe yer değiştirmesi grafikleri depremin yatay yer değiştirme istemlerine göre elde edilmiştir. Özellikle deprem bölgelerinde yer alan betonarme binalarda korozyonun yapısal davranış üzerindeki olumsuz etkileri, TBDY2018 yönetmeliği esaslarına göre gösterilmiştir. Betonarme binaların depremin yer değiştirme istemine göre gerekli taban kesme kuvvetlerinin korozyon nedeniyle zamana bağlı değişimleri beton örtüsü ve korozyon tipi dikkate alınarak incelenmiştir.

INVESTIGATION OF NONLINEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE FRAMES UNDER CORROSION EFFECT BY INVARIANT SINGLE MODE PUSHOVER ANALYSIS

ABSTRACT

Reinforced concrete structural elements which are corroded due to reasons such as insufficient concrete cover, unfavorable material and environmental effects are frequently encountered in our country. Control of damages caused by corrosion is essential in terms of structural safety, reliability and economy. In this study, effect of corrosion mechanism is investigated on a frame structure that is designed according to Turkish Earthquake Code (TBDY2018) using pushover analysis. Analysis results of the reinforced concrete frame show that uniform corrosion initiation time increases proportionally with the concrete cover. The remaining sectional areas of rebars after uniform corrosion increase as concrete cover increases and alteration of the material properties of rebars after uniform corrosion increases in parallel with the concrete cover. Due to the results of pushover analysis, base shear – top horizontal displacement graphics are obtained according to seismic demands. Detrimental effects of corrosion on structural behavior, especially in reinforced concrete buildings that are located in earthquake zones, have been studied according to TBDY2018 regulations. Time-dependent changes of the base shear forces of the reinforced concrete buildings according to the seismic displacement demands due to the corrosion are investigated by considering the concrete cover and corrosion type.

1. GİRİŞ

Korozyon, malzemelerin çeşitli çevresel etkiler neticesinde, fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişime verilen isimdir [1]. Betonarme yapı elemanlarında korozyon; başlangıçta pasivasyon oluşumu ile donatı çeliğinde hacim artışı sağlarken, zamanla donatı ve beton arasındaki aderansın kaybolmasına neden olmaktadır. Ayrıca, donatı çeliğinde çap kaybına, mekanik özelliklerin değişimine ve betonda kapak atmalarına sebep olarak yapı güvenilirliğini azaltmaktadır.

Korozyonun neden olabileceği hasarların kontrol altına alınması, yapı emniyeti, güvenlik ve ekonomiklik açısından gereklidir. Bununla birlikte günümüzde korozyona ilişkin çalışmaların sayısı giderek artmakta olup ülkemizde yetersiz beton örtüsü, elverişsiz malzeme, çevresel etkiler gibi nedenlerden dolayı donatı korozyonuna uğramış betonarme yapı elemanlarına sıkça rastlanmaktadır [2]. Bu nedenle, özellikle deprem bölgelerinde yer alan betonarme binalarda korozyonun yapısal davranış üzerindeki olumsuz etkilerinin incelenmesi için çalışmalar yapılması gereği ortaya çıkmıştır.

1.1 Amaç

Bu çalışmanın amacı, korozyon davranışını, mekanizmasını ve korozyonun betonarme binaların yapısal davranışı üzerine olan etkilerinin incelemektir. Çalışmada farklı net beton örtüleri ile atmosferik ve sıçrama korozyon durumları göz önüne alınarak betonarme bina ekonomik ömrü için sabit tek modlu itme analizleri yapılmıştır. Korozyon etkilerinin tüm yapı davranışı üzerine olan etkileri detaylı bir şekilde araştırılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

1.2 Kapsam ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında, İzmir Aliağa liman bölgesinde, 38,750 enlem, 26,950 boylam koordinatları, ZC yerel zemin sınıfı ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınarak betonarme bir bina tasarlanmış, seçilen bir aksı üzerinden çeşitli

korozyon parametreleri dikkate alınarak çerçeve yapı davranışı araştırılmıştır. Üiform korozyon etkisi altında sıçrama ve atmosferik durumlar için çeşitli beton örtü kalınlıkları, yıllara göre donatının çap ve mekanik özelliklerinin değişimi belirlenmiştir. Korozyon hesaplarının tamamlanmasının ardından, TBDY2018 [3] esasları dikkate alınarak kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri XTRACT-V3.0.8 [4] programı ile belirlenmiş, SAP2000-V17 [5] yazılımı ile sabit tek modlu itme analizleri yapılmış ve korozyonun yapısal davranış üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

1.3 Literatür Taraması

Korozyon, metal ve çevresi arasında çevresel etkiler sebebiyle meydana gelen elektrokimyasal süreç sonucunda, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimlerdir. Korozyonun başlangıç süresine, hızına ve gelişimine ortamdaki nem, çimento tipi, su-çimento oranı, beton örtü kalınlığı, sıcaklık, beton pH değeri, ortamdaki oksijen ve klor gibi zararlı maddelerin varlığı etki etmektedir. Korozyon başlama zamanı literatürde Fick'in ikinci yasası gereğince genel olarak izah edilmiş, ilerleyen dönemde, çevresel etkileri, kür faktörünü ve beton yaşını içeren formül deneysel sonuçlarla elde edilmiştir [6].

Sood ve Ghosh [7], otoyol köprülerinin sismik kırılmalık eğrilerinin hesabı için bir yöntem sunmuştur. Klor maruziyeti altında betonarme kolonların çukurlaşma, üniform korozyon bozulmalarını ve zamana bağlı kapasite değişimlerini incelemiştir. Sonuç olarak, klorür kaynaklı korozyon için önerilen gerçekçi çukurlaşma modeline kıyasla, geleneksel yaklaşımı kullanan farklı hasar durumlarında sistem düzeyinde kırılmalık tahminleri altında kayda değer mertebede olduğunu göstermektedir.

Lee ve Cho [8], donatı korozyon derecesi ve donatı mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi deneysel olarak incelemiştir. Klor kaynaklı korozyon sonucunda, donatı korozyon derecesi arttıkça, akma noktası ve elastisite modülünün azaldığını ortaya çıkarmıştır. Donatıların korozyon derecesinin bir fonksiyonu olarak donatı mekanik özellikleri için fonksiyonlar elde etmiştir.

Choe ve Gardoni [9], betonarme kolonların korozyonu için olasılıksal kesme kuvveti kapasite modelleri geliştirmiştir. Hem kapasite hem de klorür kaynaklı korozyon modellerindeki belirsizlikler, çevresel koşullar, malzeme özellikleri ve yapısal geometrideki farklılıklar kırılmalık tahmininde dikkate almıştır.

Rao ve Ranjith [10], bilinen korozyon modellerini dikkate alarak betonarme yapıların kullanım ömrünü tahmin etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bütün modellerde beton örtü kalınlığı, korozyon hızı, donatı çapındaki değişimler gibi etkileri incelemek için parametrik çalışmalar yapmıştır.

Korozyon çalışmalarının yanı sıra sabit tek modlu itme analiziyle ilgili çalışmalar literatürde bulunmaktadır.

Uçar ve Düzgün [11], İzmir bölgesinin mevcut yapı stokunu oluşturan ve konut amaçlı kullanılan 3-8 katlı binalar için hasar görülebilirlik eğrileri oluşturmuştur. Artımsal itme analizi kullanılarak binaların yer değiştirme istemleri elde edilmiştir. Bina sınıfları için modal yer değiştirme cinsinden dört hasar sınırı tanımlamıştır.

Alıcı, Kaatsız ve Sucuoğlu [12], yapının sismik tepkisine katkı yapan etkin modların sayısı ve bunların farklı kombinasyonları DBYBHY2007 [13] yönetmeliği gerekliliklerini dikkate alınarak artımsal itme analizlerinin sayısının azaltıldığı, genel itme analizinin pratik uygulamasını geliştirmiştir. Bu yöntem, 12 katlı bir çerçeve sistemine uygulanmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak genel itme analizinin pratik uygulaması, yer hareketi altında maksimum eleman deformasyonları ve eleman iç kuvvetlerinin tahmininde, kapsamlı olarak uygulanan genel itme analizi ile aynı başarıyı göstermiştir.

Betonarme binaların korozyon etkisi altındaki davranışları ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Yüksel ve Coşkan [2], yaptıkları çalışmada korozyona uğramış betonarme çerçeve sistemli binaların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemiştir. Bu amaçla düzlem çerçeve sistemler üzerinde korozyonsuz ve çeşitli seviyelerde korozyon etkisindeki yapısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Çeşitli korozyon senaryoları için itme analizi gerçekleştirip çerçevenin hedef deplasman değerini elde etmiştir. Sonuçta mevcut binaların sismik değerlendirilmesi sırasında korozyon etkilerinin çok yönlü olarak göz önüne alınması önerilmektedir.

Yüksel ve Sakcalı [14], aderans kaybı, beton ve donatı özelliklerinde değişime neden olan donatı korozyonuna maruz beş katlı tipik betonarme bir binanın performans değerlendirmesini incelemiştir. Binanın korozyonsuz durumuna kıyasla, performans seviyelerinde ve hedef deplasmanlarında kayda değer değişimler gözlemiştir.

Zhang ve Liu [15], SAP2000 programında modelledikleri altı katlı üç açıklıklı bir betonarme çerçevede çeşitli korozyon seviyeleri için itme analizini gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak çerçeve yapının sismik performansını uzun yönde çalışan donatılardaki korozyonun önemli ölçüde etkili olduğunu belirlemiştir.

1.4 Literatür Taramasının Değerlendirilmesi

Literatür taraması incelendiğinde, korozyonun genel olarak eleman bazında, malzeme deney numuneleri ile incelendiği ve bu yönde araştırmalar yapıldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, birtakım çalışmalarda korozyon hızı ve korozyon başlangıç zamanı ile ilgili çeşitli senaryo varsayımları yapılmış ve yapı analizleri bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Bu tip çalışmalarda deneysel verilerin senaryo varsayımlarında dikkate alınmadığı ve bu nedenle sonuçların sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Yapı mühendisliği ile ilgili korozyon çalışmaları ise kiriş/kolon eleman bazında sınırlı tutulmuş, korozyonun yapının tüm performansına olan etkileri genellikle incelenmemiştir.

Bu hususlar dikkate alınarak tez çalışması hazırlanmış olup 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren TBDY2018 [3] yönetmeliği esaslarına göre XTRACT-V3.0.8 programı kullanılarak kesitlerin doğrusal olmayan davranışı modellenmiş, SAP2000-V17 yazılımıyla sabit tek modlu itme analizleri farklı korozyon tipleri ve net beton örtüleri dikkate alınarak yapılmıştır.

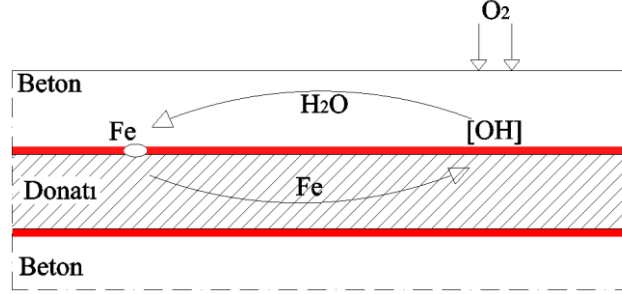
2. KOROZYON MEKANİZMASI

Betonun ve/veya donatı çeliğinin birçok çevresel dış etkilerle ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal olaylar neticesinde kütle ve nitelik kaybetmesine korozyon denir. Bir betonarme yapının, hava ile temas halinde olsa da içinde bulundurduğu oksijen ve su miktarı korozyonun meydana gelmesine sebeptir [16]. Doğada platin ve altın hariç diğer bütün metaller kararlı yapıya sahip olup karbonatlar, oksitler, sülfatlar ve silikatlar olarak bileşik yapıdadır. Metalleri oksitlerden ayırmak zorlu ve zahmetli bir süreçtir. Bu süreç sonucunda metaller, termodinamik açıdan daha yüksek enerji seviyesine ulaşırken enerjileri düşer. Metallerin doğadaki asıl hallerine geri dönme istekleri korozyonun asıl sebebidir. Korozyon yavaş ilerleyen bir olaydır; bu sebeple zararlı sonuçlarının meydana gelmesi uzun yıllar alır. Betonarme elemanlarda ortaya çıkan kırılma, çatlama gibi hasarların araştırılması için öncelikle donatı çeliği ve betonda hasara sebep olan korozyon mekanizmalarının irdelenmesi gerekir.

Betonarme için korozyon mekanizmaları, atmosferik korozyon, elektrolitik korozyon, klorit korozyonu ve temas korozyonu olmak üzere dört ana başlıkta incelenmektedir. Atmosferik korozyon, nemin ve oksijenin donatıyı etkilediği durumlarda söz konusudur. Meteorolojik koşullar ve hava kirliliği korozyon hızını etkiler. Elektrolitik korozyon, elektrokimyasal tepkimeler sonucunda pil oluşumu söz konusudur. Korozyon önce noktasal başlar daha sonra sürekli hale gelir. Klorit korozyonu, en tehlikeli korozyon tipidir. Betonun geçirimli olması, Cl^- iyonu içeren agregaların ve/veya katkıların betonda bulunması, karbonatlaşma sebebiyle ortamın pH'sinin 11'in altına düşmesi gibi nedenlerle donatı yüzeyindeki pasif demiroksit tabakası zarar görerek korozyon süreklilik kazanır [17]. Temas korozyonu, elektriksel olarak temasta bulunan farklı elektro potansiyellere sahip metallerde söz konusudur ve betonarmede ender olarak rastlanır.

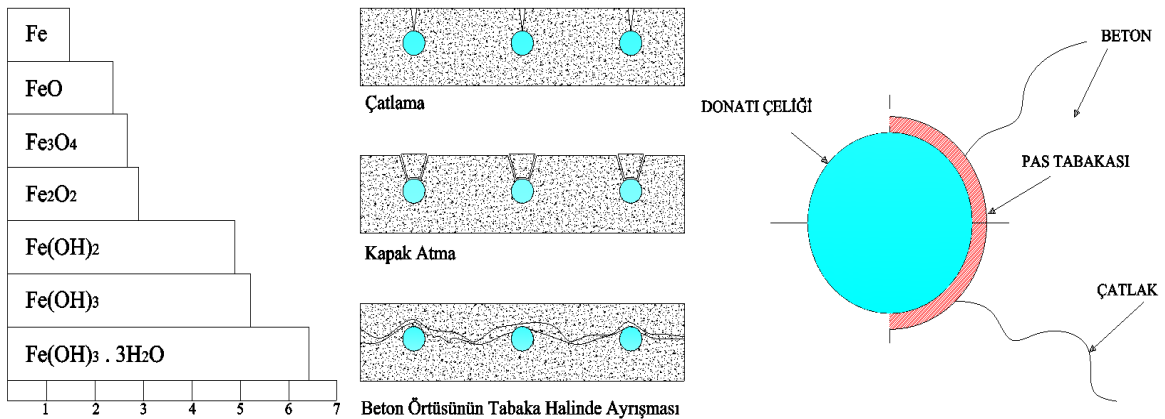
Betonarme, çekme gerilmelerine dayanması için içine uygun şekil ve sayıda donatı çeliği yerleştirilmiş betonu ifade eder. Aderans ile birbirine iyice bağlanan bu iki malzemenin dış kuvvetlere karşı ortak çalışması sağlanmış olur. Donatı çeliği ile

beton arasındaki kenetlenmeyi sağlayan kayma gerilmelerine aderans denir. Donatı beton aderansı korozyondan olumsuz etkilenir. Donatı çeliğinin korozyona uğraması Şekil 2.1’de görüldüğü gibi elektrokimyasal süreç ile izah edilir [18].



Şekil 2.1 : Betonarme donatı çeliğinin korozyonu ve pasivasyon tabakası [18].

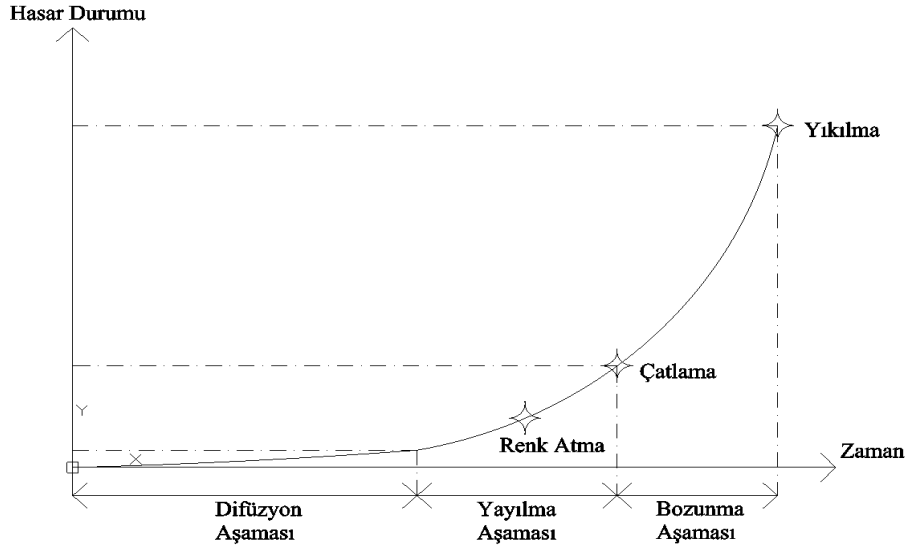
Korozyon sırasında anodik (oksitlenme) ve katodik (indirgenme) reaksiyonlar birlikte oluşur. Bu reaksiyonlar sonucunda pas meydana gelir. Donatı çeliğini kapsayan pas katmanı $Fe(OH)_3$ pasivasyonu sağlayan ve donatıyı korozyona karşı koruyan katmandır [19]. Donatı yüzeyinde meydana gelen bu katman, kütleli olarak çok az kayba sebep iken oluşan bileşiğe bağlı olarak hacim artışına neden olur [20]. Bu hacim artışı başlangıçta boşlukları doldurarak aderansı güçlendirir fakat zaman içerisinde betonda çatlaklar oluşturur, kapak atmalar gözlemlenir ve örtü betonu (sargısız beton) kütlelden ayrılarak donatı açığa çıkar. Betondaki çatlak, donatının korozyonunu, korozyon da betonun hasarını hızlandırır ve ilerlemiş hasar durumunda aderans tamamen kaybolur [21]. Bu durum Şekil 2.2’de açıklanmıştır [20, 21]. Sonuç olarak betonarme elemanın ömrü ve yapı güvenilirliği azalır [22].



Şekil 2.2 : Donatı çeliğinde korozyon sonucu meydana gelen hacim artışı ve etkileri [20, 21].

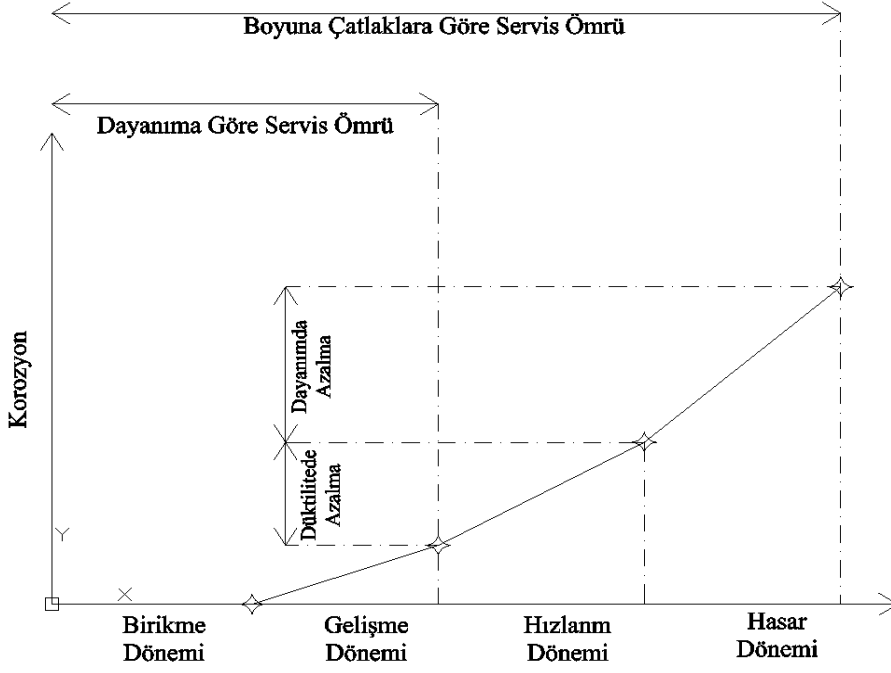
2.1 Korozyona Etki Eden Faktörler

Donatı çeliğinin korozyon sürecinde üç bozulma aşaması vardır. Difüzyon aşaması olarak adlandırılan birinci aşamada klorür iyonları donatı çeliği yüzeyine yayılır. Korozyon yayılma aşaması olarak adlandırılan ikinci aşamada korozyonun başlamasından beton örtüsündeki çatlakların başlamasına kadar geçen süreyi içerir. Son aşama olan bozunma aşaması çatlakların başlamasından sonra gerçekleşen süreçtir. Şekil 2.3'te donatı çeliği korozyon gelişim süreci belirtilmiştir.



Şekil 2.3 : Donatı çeliği için korozyon gelişim süreci.

Betonarme yapı elemanlarının donatı çeliği korozyonuna bağlı olarak servis ömürlerinin belirlenmesinde dayanımın esas alındığı yöntemde, Şekil 2.4'te görüldüğü gibi birikme dönemi Cl^- iyonlarının beton örtüye difüzyonu ve donatı çevresinde birikmesi aşamasıdır. Gelişme aşamasında donatı çeliği, Cl^- iyonları nedeniyle korozyona tabi olur ve beton örtüde çatlamlar meydana gelir. Bu nokta dayanım esas alındığında servis ömrünün son bulunduğu anlamı taşır. Hızlanma aşamasında ise gelişme aşamasında oluşan boyuna çatlaklar sebebiyle Cl^- difüzyonu artar ve korozyon hızlanır, beton örtüde kabuk atmalar başlar ve betonun dayanımı azalır. Hasar dönemi olarak adlandırılan son dönemde ise donatı kesit alanında azalmalar belirginleşir, yapının tekrarlı yükler altında dayanımı ve duktilitesi azalır [23].



Şekil 2.4 : Donatı çeliğinin boyuna çatlaklara göre servis ömrü [23].

Korozyonun başlangıç süresine, hızına ve gelişimine çevresel ve içsel bir takım faktörler etki eder. Bunlar genel olarak; ortamdaki nem, çimento tipi, su-çimento oranı, beton örtü kalınlığı, sıcaklık, beton pH değeri, ortamdaki oksijen, ortamdaki Cl^- gibi zararlı maddelerin varlığı şeklinde özetlenebilir.

2.2 Korozyon Başlama Zamanı

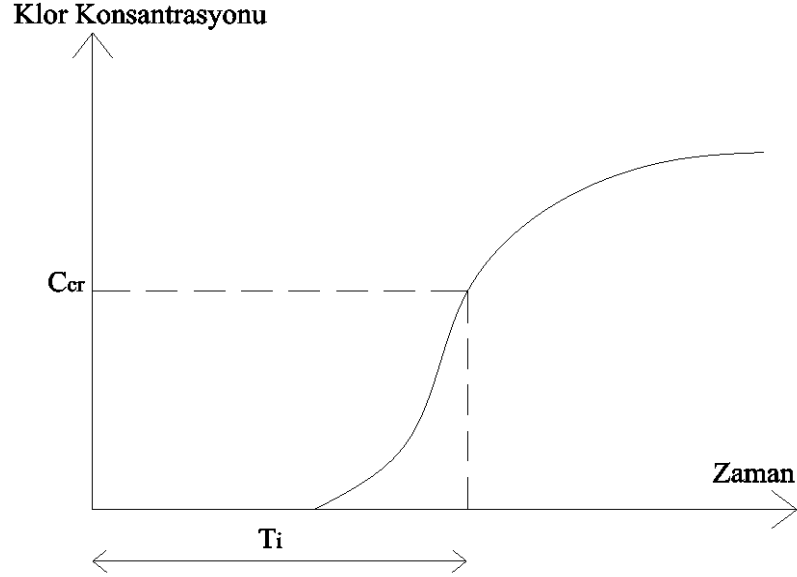
Korozyon başlama zamanı Fick'in ikinci yasasının tek boyutlu çözümüne dayanmaktadır [24]. Genel çözüm olarak d_c derinlikteki t zamanda klor konsantrasyonu C denklem 2.1 ile edilir [24].

$$C(x,t) = C_s \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{d_c}{2\sqrt{D_u t}} \right) \right] \quad (2.1)$$

Burada C_s yüzeydeki klor konsantrasyonunu, erf gauss hata faktörünü, D_u difüzyon katsayısını göstermektedir. Ayrıca, t inşaat başlangıcından belirli bir zamana kadar olan süre olarak ifade edilir. Korozyon başlama zamanı T_i ve donatı çeliğine olan derinlik d_c olarak ifade edilirse C_{cr} kritik klor konsantrasyonu denklem 2.2'deki gibi yazılabilir.

$$C(d_c, T_i) = C_{cr} \quad (2.2)$$

Klorür iyonlarının donatı çeliği üzerinde birikmesi ve kritik klor konsantrasyonuna ulaştığı difüzyon aşaması Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Korozyon difüzyon aşaması.

Ölçülen parametreler, çevresel koşullar ve seçilen modellerdeki belirsizlikleri dikkate alan klor kaynaklı korozyon başlama zamanı için denklem 2.3'ü sunulmaktadır [6].

$$T_i = \left[\frac{d_c^2}{4k_{fe}k_cD_u(t_0)^n} \left[\text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{C_{cr}}{C_s} \right) \right]^{-2} \right]^{\frac{1}{(1-n)}} \quad (2.3)$$

Burada; D_u ($\text{mm}^2/\text{yıl}$) difüzyon katsayısını, d_c donatı yüzeyinden (mm) ölçülen net beton örtü kalınlığını, k_c beton kür faktörünü, k_{fe} çevresel faktörü, t_0 beton yaşını (yıl), n beton yaş faktörünü ifade etmektedir.

Denklem 2.3'te tanımlanan erf gauss hata fonksiyonu denklem 2.4'te sunulmaktadır.

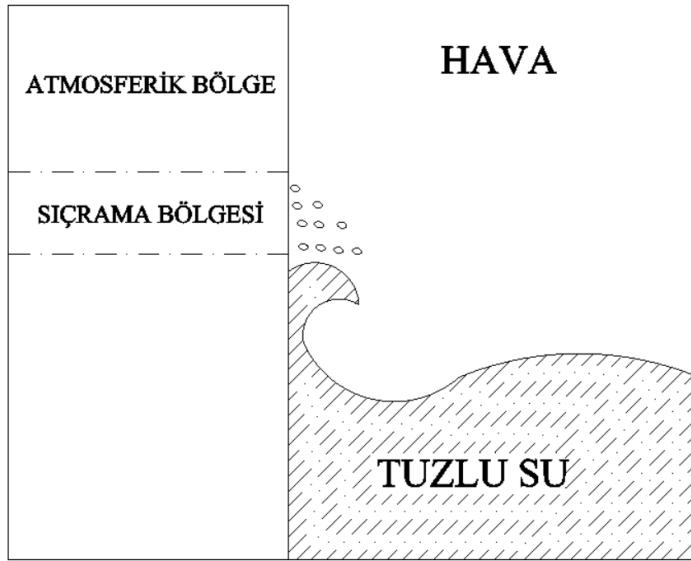
$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (2.4)$$

C_s , yüzeydeki klor konsantrasyonu, portlant çimento özelliklerine bağlı lineer bir fonksiyon olarak, denklem 2.5'te ifade edilmiştir.

$$C_s = A_{cs} (w/b) + \varepsilon_{cs} \quad (2.5)$$

Denklem 2.5'te yer alan w/b , su bağlayıcılık oranını, ε_{cs} , klorür yüzey içeriği hata terimini, A_{cs} , klorür yüzey içeriği regresyon parametresini göstermektedir.

Tuzlu su etkisinin betonarme yapı üzerindeki etkileri şematik olarak Şekil 2.6'da sunulmuştur. Burada sıçrama bölgesi ve tuzlu suyun aktif olarak etkilemediği atmosferik bölge bulunmaktadır.



Şekil 2.6 : Tuzlu suyun yapıya etkisi.

Tuzlu su ortamında klor etkisindeki betonarme yapı elemanları için korozyon başlama zamanını belirleyecek parametreler çeşitli çevre koşulları, su-çimento oranları ve farklı kür durumlarına göre istatistiksel bir biçimde Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1 : Korozyon başlama zamanını etkileyen değişkenlerin istatistiksel dağılımı [25].

D_u Referans Difzyon Katsayısı ($t_0=28$ gün) $\text{mm}^2/\text{yıl}$					
Durum	Dağılım	D_u ($\text{mm}^2/\text{yıl}$)	Standart Sapma		
$S/\zeta = 0,40$	Normal	220,9	25,4		
$S/\zeta = 0,45$	Normal	315,6	32,5		
$S/\zeta = 0,50$	Normal	473	43,2		
n Yaş Faktörü					
Durum	Dağılım	n	Standart Sapma		
Her Durum	Beta	0,362	0,245		
k_{fe} Çevresel Faktör					
Durum	Dağılım	k_{fe}	Standart Sapma		
Sıçrama	Gama	0,265	0,045		
Atmosferik	Gama	0,676	0,114		
k_c Kür Faktörü					
Durum	Dağılım	k_c	Standart Sapma		
1 Gün	Beta	2,4	0,7		
3 Gün	Beta	1,5	0,3		
7 Gün	Deterministik	1,0	-		
28 Gün	Beta	0,8	0,1		
A_{cs} ve ϵ_{cs} Parametreleri					
Durum	Dağılım	A_{cs}	ϵ_{cs}	Standart Sapma	
Sıçrama	Normal	7,758	0	1,360	1,105
Atmosferik	Normal	2,565	0	0,356	0,405
C_{cr} Kritik Klor Konsantrasyonu					
Durum	S/ζ	Dağılım	C_{cr}	Standart Sapma	
Tüm Durumlar için	0,3	Normal	0,50	0,10	
	0,4	Normal	0,80	0,10	
	0,5	Normal	0,90	0,15	

2.3 Korozyon Hızı

Belirli bir zaman diliminde, birim yüzeyde oluşan korozyon miktarına korozyon hızı denir. Korozyon hızı malzemenin korozif ortam sonrasındaki kütle kaybının

belirlenmesiyle ölçülür. Kimyasal olaylarda korozyon hızı kütle azalma yöntemiyle, elektrokimyasal olaylarda ise doğrusal polarizasyon direnci yöntemiyle ölçülür. Elektrokimyasal teknikler kullanıldığında, elektrokimyasal parametrelerin gravimetrik hale dönüştürülmesi Faraday Kanunu ile elde edilir [26].

$$M = \frac{I * t * A}{n_e * F} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'da, I elektriksel akımı (A/m^2), t zamanı (s), F Faraday sabitini (96487 As/mol), A metalin moleküler ağırlığını (55,8 g/mol), n_e değerliğini ve M çözünmüş metalin kütlesini (g) ifade eder. Denklemin içerdiği akım, korozyon yoğunluğu i_{corr} , olarak isimlendirilir. Korozyon hızı ve yoğunluğu farklı terimler olmalarına rağmen, pratik olarak birlikte kullanılır. Gravimetrik değerler ve doğrusal polarizasyon ölçümlerinden bulunan elektrokimyasal değerler uyumluluk göstermelidir. Bu durum korozyon yoğunluğu i_{corr} değerinin gerçek ve geçerli olması için önemlidir [26].

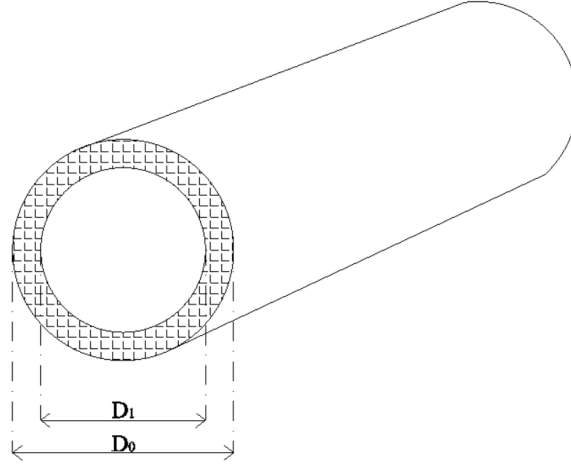
2.4 Korozyon Çeşitleri

Farklı ortamlarda metalik malzemelerin korozyon gelişimleri de farklılık gösterir. Bu korozyon çeşitleri: üniform, çukurlaşma, galvanik, çatlak, taneler arası, seçimli, korozyondur. Üniform ve çukurlaşma korozyonu betonarme için en kritik korozyon çeşitleri olup ilerleyen bölümde detaylı şekilde alt başlıklar içerisinde açıklanmıştır. Galvanik korozyon, iki farklı metalin aynı ortamda birbirine bağlanması ile oluşan korozyon olup çatlak korozyonu ise metal ara yüzeylerine sızmış elektrolitin çevresindeki daha yüksek oksijen konsantrasyonunun çözelti ile meydana getirdiği korozyondur. Taneler arası korozyon, metalin kristal yapısındaki tanelerin sınır çizgisi boyunca oluşan korozyondur. Seçimli korozyon ise bir alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak ortamdaki uzaklaşmasıdır [27].

2.4.1 Üniform korozyon

Metal yüzeyinin her bölgesinde aynı hızla ilerleyen korozyondur ve korozyon sonucu kesit kaybı her noktada aynı olduğu kabulüne dayanır. Şekil 2.7'de üniform korozyon sebebiyle donatı çeliği çapındaki azalma gösterilmiştir. Burada D_0

donatının korozyon öncesi çapı, D_1 donatının üniform korozyon sonrasında kalan çapını ifade etmektedir.



Şekil 2.7 : Donatıda üniform korozyon.

Laboratuvar ortamında yapılan hızlandırılmış korozyon testleri sonucunda genel olarak başlangıç korozyon akım yoğunluğu için denklem 2.7 kabul görmüştür [28].

$$i_{corr_0} = \frac{37,8(1 - S / \zeta)^{-1,64}}{d_c} \quad (2.7)$$

Bu denklemde beton örtü kalınlığının (d_c) mm cinsinden dikkate alınır. S / ζ ise su çimento oranını ifade eder. Uygulamada bu oran 0,4-0,5 arasında kabul edilmektedir.

Vu ve Stewart [28], laboratuvar deneylerine dayanarak başlangıç korozyonunun zamanla azaldığını ortaya koymuştur.

$$i_{corr}(t_p) = 0,85 * i_{corr_0}(t_p)^{-0,29} \quad (2.8)$$

$$t_p = t - T \quad (2.9)$$

Denklem 2.8 ve 2.9'da, i_{corr_0} başlangıç korozyon akım yoğunluğunu ($\mu A/cm^2$), $i_{corr}(t_p)$ korozyon başlamasından t_p zaman sonraki korozyon akım yoğunluğunu ($\mu A/cm^2$) ifade eder. Korozyon hızı r_{corr} (mm/yıl) ise bu ifadenin korozyon faktörü ile çarpılması ile denklem 2.10 şeklinde elde edilir.

$$r_{\text{corr}}(t_p) = 0,0116 * i_{\text{corr}}(t_p) \quad (2.10)$$

Üniform korozyon için korozyon sonrası kalan donatı çeliği çapı D_1 , denklem 2.11 ile verilmiş olup korozyon hızına ve korozyon başlama zamanına bağlı olarak değişmektedir.

$$t > T_i \quad ; \quad D_1 = D_0 - 2 \int_{T_i}^t r_{\text{corr}}(t_p) dt_p \quad (2.11)$$

Aynı şekilde korozyon sonrası donatıda kalan alan $A_U(t)$ da denklem 2.12'de açıklandığı şekilde hesap edilmektedir.

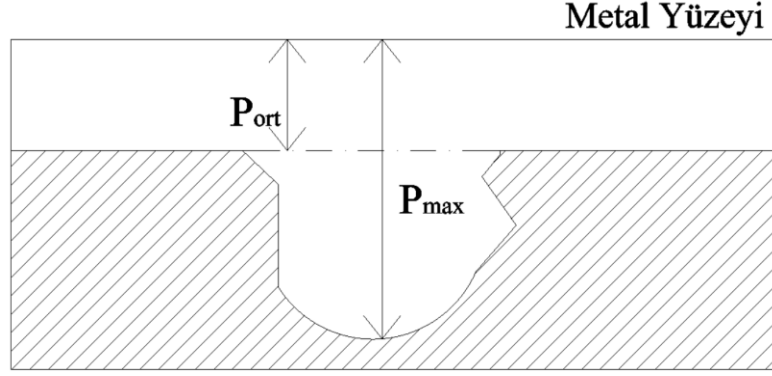
$$A_U(t) = \frac{\pi D_1^2}{4} \quad (2.12)$$

2.4.2 Çukurlaşma korozyonu

Metal yüzeyinin küçük bir bölgesindeki lokal korozyon oluşumudur. Oluşum sonucunda çukurlaşmalar meydana gelir. Çukurlaşma korozyonu en tehlikeli korozyon türüdür. Çukur derinliğine bağlı olmak üzere metal yüzeyi ciddi hasar görebilir ve işlevini kaybedebilir. Çukurların sayısını ve yerini tespit etmek oldukça güçtür. Çukurlaşma korozyonu anodik reaksiyon ile başlar. Çevresel faktörlerle de oksijen redüksiyonu sonucu katodik reaksiyon gerçekleşir. Çukurlaşma korozyonunda metalin cinside önem arz eder. Çukurlaşma korozyonunda, yapılan deneylerle, çukur sayısı ve maksimum çukur derinliği birlikte değerlendirilmelidir. Ayrıca çukurlaşma faktörü R , çukurlaşma korozyonunun değerlendirilmesinde çok önemlidir. R faktörü, deneyler sonucunda elde edilir ve denklem 2.13 ile hesaplanır [29].

$$R = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{ort}}} \quad (2.13)$$

Burada; P_{\max} yapılan deney sonucunda elde edilen beş en büyük çukur derinliğinin ortalamasını, P_{ort} ise üniform korozyon sonucu derinliği teşkil etmektedir. Şekil 2.8’de bir metal yüzeyi için R faktörünün parametreleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Çukurlaşma faktörünün tespiti.

Araştırmalar sonucunda çukurlaşma korozyonu maruziyetinde oluşan çukur alanı Val ve Melchers [29] tarafından denklem 2.14 – denklem 2.22 ifadeleri ile tanımlanmıştır.

$$a(t) = 2p(t) \sqrt{1 - \left(\frac{p(t)}{D_0} \right)^2} \quad (2.14)$$

$$p(t) = R \int_{T_i}^t r_{\text{corr}}(t_p) dt_p \quad (2.15)$$

$$\theta_1 = 2 \arcsin \left(\frac{a(t)}{D_0} \right) \quad (2.16)$$

$$\theta_2 = 2 \arcsin \left(\frac{a(t)}{2p(t)} \right) \quad (2.17)$$

$$A_1 = 0,5 \left[\theta_1 \left(\frac{D_0}{2} \right)^2 - a(t) \left* \frac{D_0}{2} - \frac{p(t)^2}{D_0} \right* \right] \quad (2.18)$$

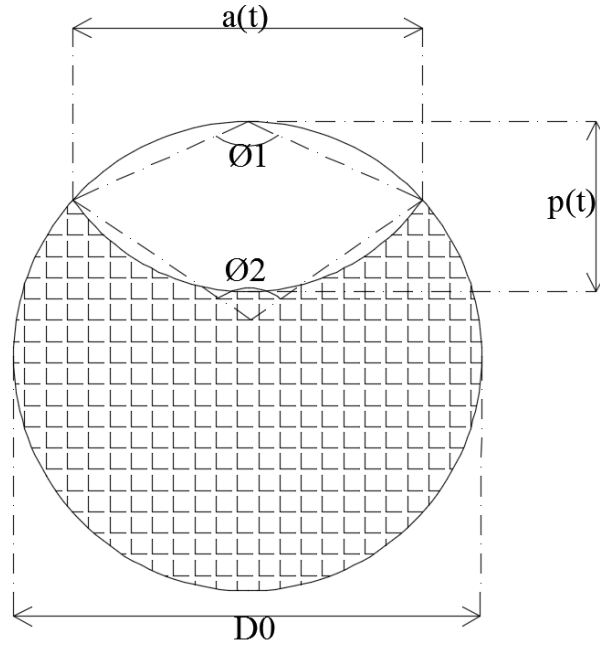
$$A_2 = 0,5 \left[\theta_2 p(t)^2 - a(t) * \frac{p(t)^2}{D_0} \right] \quad (2.19)$$

$$p(t) \leq \frac{D_0}{\sqrt{2}} \quad , \quad A_c(t) = A_1 + A_2 \quad (2.20)$$

$$\frac{D_0}{\sqrt{2}} < p(t) < D_0 \quad , \quad A_c(t) = \frac{\pi D_0^2}{4} - A_1 + A_2 \quad (2.21)$$

$$p(t) \geq D_0 \quad , \quad A_c(t) = \frac{\pi D_0^2}{4} \quad (2.22)$$

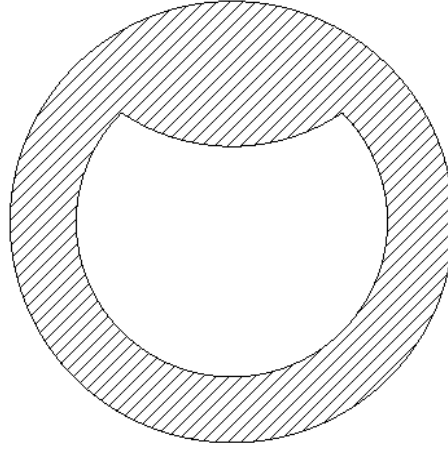
Şekil 2.9’da belirtildiği üzere $p(t)$ donatının bir bölgesinde oluşan maksimum çukur derinliğini, $a(t)$ çukur genişliğini ifade etmektedir. θ_1, θ_2 çukurlaşma korozyonunun neden olduğu alanın belirlenmesinde kullanılan ve denklem 2.16 ile denklem 2.17’de belirtilen açılarını ifade etmektedir. $A_c(t)$ ise çukurlaşma korozyon alanını belirtmektedir. Donatıda kalan alan $A_{KC}(t)$ ise korozyonsuz andaki donatı alanından çukurlaşma korozyon alanının çıkarılması ile denklem 2.23’te gösterildiği gibi elde edilir.



Şekil 2.9 : Donatıda çukurlaşma korozyonu.

$$A_{KC}(t) = \frac{\pi D_0^2}{4} - A_C(t) \quad (2.23)$$

Zamana bağılı olarak gerçekleşen korozyon, donatı çeliğinde hem üniform hem de yer yer çukurlaşma şeklinde görülebilir. Bu durumda donatıda oluşan korozoyon sonrası alan Şekil 2.10'daki gibi bir hal almakta ve denklem 2.24 ile ifade edilebilmektedir.



Şekil 2.10 : Üniform ve çukurlaşma korozyonunun birlikte etkisi.

$$A_{UKC}(t) = \left(A_U(t) - \frac{\pi D_0^2}{4} \right) \left(1 - \frac{a(t)}{2D_0} \right) + A_{KC}(t) \quad (2.24)$$

2.5 Korozyonun Donatı Mekanik Özelliklerine Etkisi

İster üniform isterse çukurlaşma şeklinde olsun korozyonun etkisi sadece donatıda alan azalması şeklinde tanımlanması davranışı tam yansıtmaz. Donatıda alan azalmasının yanısıra aynı zamanda donatının mekanik özellikleri de değişim gösterir. Korozyon derecesine göre donatı çeliğindeki mekanik özelliklerin değişimi takip edilerek taşıma kapasitesi üzerindeki etkiler tespit edilebilir. Ayrıca, korozyona maruziyet süresi arttıkça önemli ölçüde kütle kayıpları oluşacaktır. Buna ek olarak çekme dayanımının ve malzeme sünekliğinin korozyondan belirgin bir şekilde etkilenmesi muhtemeldir. Lee ve Cho Tablo 2.2'de yer alan korozyon sonucu donatı çeliğinin mekanik özelliklerini sunmuşlardır [8]. Burada f_{sy} korozyona uğramamış

çeliğin akma dayanımı, f_{su} korozyona uğramamış çeliğin kopma dayanımını, E korozyona uğramamış çeliğin elastisite modülünü, ε_{su} korozyona uğramamış çeliğin kopma birim şekil değiştirmesini ifade ederken; f_{svk} , f_{suk} , E_k , ε_{suk} korozyon sonrası mekanik özellikleri ifade etmektedir. Korozyon sonrası kütle kaybını ifade eden Δ_w parametresi ise 2.25 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta_w = \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_0^2} 100 \quad (2.25)$$

Tablo 2.2 : Korozyon sonrası donatı mekanik özelliklerinin değişimi [8].

Mekanik Özellikler	Korozyon Tipi	Korozyon Sonrası Değer
Akma Dayanımı	Üniform	$f_{svk} = (1-1,24(\Delta_w/100))*f_{sv}$
	Çukurlaşma	$f_{svk} = (1-1,98(\Delta_w/100))*f_{sv}$
Kopma Dayanımı	Üniform	$f_{suk} = (1-1,07(\Delta_w/100))*f_{su}$
	Çukurlaşma	$f_{suk} = (1-1,57(\Delta_w/100))*f_{su}$
Elastisite Modülü	Üniform	$E_k = (1-0,75(\Delta_w/100))*E$
	Çukurlaşma	$E_k = (1-1,15(\Delta_w/100))*E$
Kopma Birim Şekil Değiştirmesi	Üniform	$\varepsilon_{suk} = (1-1,95(\Delta_w/100))*\varepsilon_{su}$
	Çukurlaşma	$\varepsilon_{suk} = (1-2,59(\Delta_w/100))*\varepsilon_{su}$

2.6 Korozyonun Betonarme Binalar Üzerindeki Etkisi

Aktif deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizin hemen hemen her yerinde, çevresel etkiler doğrultusunda korozyondan zarara uğramış, belki de yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya olan, birçok riskli betonarme yapı bulunmaktadır. Gerek yapım aşamasındaki yanlışlıklardan, gerek korozyonun önemsenmeyişinden gerekse çevresel faktörlerden dolayı bu tür yapılar risk altındadır. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi 1999 depreminde yıkılan binaların, bir kısmının korozyon nedeniyle hasar gördüğü belirtilmiştir [30].



Şekil 2.11 : Korozyona karşı önlem alınmadığından dolayı 1999 depreminde yıkılan bir bina [30].

Şekil 2.12’de görüldüğü gibi 2011 yılında gerçekleşen Van depreminde, korozyona karşı alınmayan önlemler neticesinde binaların bir kısmının depremden ağır hasar oluşturduğu bilinmektedir [31].



Şekil 2.12 : 2011 Van depreminde yıkılan bina [32].

Bu nedenlerden dolayı korozyon mekanizmasını iyi anlamak, bina performansı üzerindeki etkilerini iyi değerlendirmek ve doğabilecek olumsuz sonuçları en aza indirmek gerekmektedir.

2.7 Betonarme Tasarım için Yönetmelik ve Standartlarda Korozyon

Korozyon, dış etkiler sonucu betonun geçirimsizliğinin artması ve kimyasal tepkimeler neticesinde beton ve donatı arasındaki bağın kopmasını ifade etmektedir. Bu bağın ayakta kalabilmesi için net beton örtüsünün yeterli, beton vibrasyonunun doğru şekilde yapılmış ve betonarme yapı elemanının gerektiğinde dış etkilere karşı izole edilmiş olması önem arz etmektedir. TS-500’de donatıya gerekli aderansı

sağlamak ve donatıyı dış etkilerden korumak üzere gerekli net beton örtüsü hava koşullarına açık kolon ve kirişlerde 25 mm, yapı içinde bulunan ve dış etkilere açık olmayan kolon ve kirişlerde ise 20 mm olarak tanımlanmaktadır [33]. TS-EN206’da ise deniz suyundan kaynaklanan klorürlerin sebep olduğu korozyon için maksimum su-çimento oranlarını atmosferik durum için 0,55, sıçrama durumunda ise 0,45 verilmiştir [34]. Ayrıca TS-EN206’da çevresel etki sınıflarına göre beton örtüsünün değişimi Tablo 2.3’te sunulmuştur.

Tablo 2.3 : Çevresel etki sınıflarına göre beton örtüsü [34].

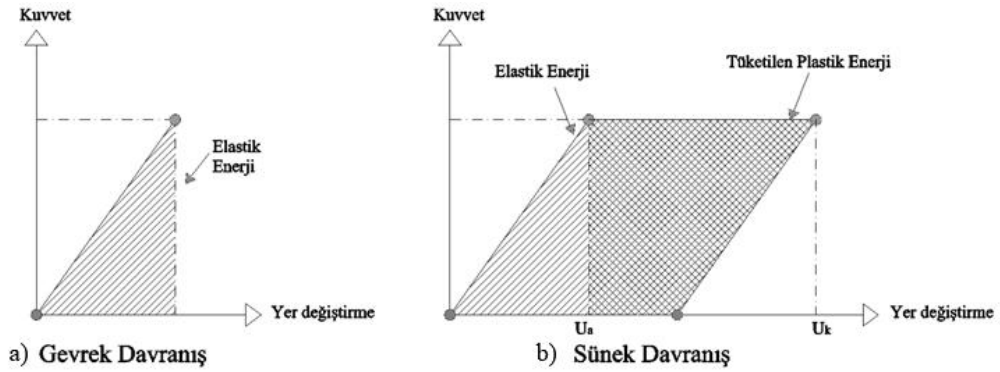
	XO	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
Betonarme Beton Örtüsü (mm)	10	15	25	30	35	40	45
Öngerilmeli Beton Beton Örtüsü (mm)	10	25	35	40	45	50	55

Tablo 2.3’te verilen çevre sınıfları aşağıda açıklanmıştır.

XO: Çok kuru (hava nemi çok düşük, bina içi betonlar); XC1: Kuru (hava nemi düşük, bina içi betonlar); XC2: Islak, nadiren kuru (su tutucu yapı bölümleri, temeller); XC3: Orta derecede nem (yağmurdan korunmuş dış/iç eleman); XC4: Tekrarlı ıslanma-kuruma (su temasına açık yüzeyler); XD1: Islak, nadiren kuru (klorür içeren su sıçraması); XD2: Orta derecede rutubet (yüzme havuzu, endüstriyel su); XD3: Tekrarlı ıslanma-kuruma (köprü, yer kaplaması, otopark); XS1: Deniz suyu ile direct temas yok (sahile yakın yapılar); XS2: Denizin altında (deniz yapılarının belli kısımları); XS3: Gelgit, dalga ve serpintiye maruz (deniz yapılarının belli kısımları)

3. YAPILARIN SABİT TEK MODLU İTME EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE DEPREMİN YER DEĞİŞTİRME TALEBİNİN BELİRLENMESİ

Deprem, yıkıcı etkisi ve tekerrür sıklığıyla can ve mal kayıpları bakımından en çok zarar veren doğal afettir. Yapıların depreme karşı dayanıklı tasarlanabilmesi, deprem esnasında açığa çıkan enerjinin yapı elemanlarından temel zeminine güvenli bir biçimde aktarılması ile mümkündür. Bu aktarım ise taşıyıcı sistemin bütününde, dayanım, rijitlik ve süneklik ilkeleri doğrultusunda gerçekleşir. Dayanım, yapı elemanlarının tasarım yükleri altında uygun kesit boyutları ve yeterli donatı alanına sahip olması ile sağlanmaktadır. Rijitlik, yer değiştirmelerin sınırlandırılması ve ikinci merteye etkilerin kontrol altına alınması ile sağlanmaktadır. Süneklik ise bir kesitin, bir elemanın veya bir taşıyıcı sistemin dış yükler altında, kapasitede önemli bir azalma olmadan, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, yer değiştirme yapma yeteneğidir [35]. Gevrek ve sünek davranış Şekil 3.1’de ifade edilmiştir. Süneklik oranı ise denklem 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: İdealleştirilmiş gevrek ve sünek davranış.

$$\mu = \frac{U_k}{U_a} \quad (3.1)$$

Burada μ süneklik oranını, U_k en büyük yer değiştirmeyi, U_a ise elastik davranışın son bulup plastik davranışın başladığı akma anındaki yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

Sayısal ifade olarak süneklik, enerji tükenmesi durumundaki şekil değiştirme ile elastik sınır durumundaki şekil değiştirmenin oranıdır. Çok şiddetli depremler etkisinde yapı, dayanımını yitirmeden deprem enerjisinin önemli bir bölümünü tüketebilmek için yeterli derecede sünekliğe sahip olmalıdır.

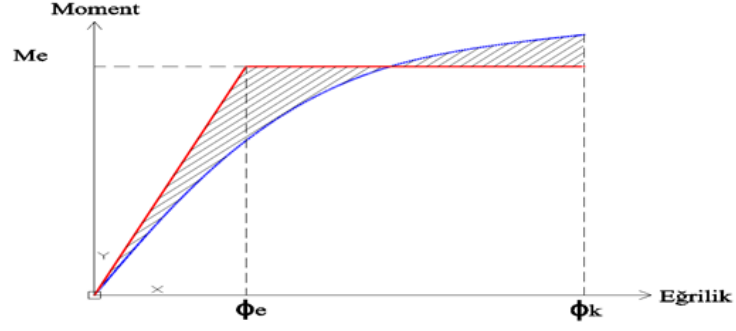
Depreme dayanıklı yapı tasarımında temel iki farklı yaklaşım yöntemi mevcuttur. Bunlar, yapı sistemi iç kuvvetlerinin elastik bölgede kalarak tasarlandığı doğrusal hesap yöntemleri ve elastik sınırın aşıldığı, yer değiştirmelerin büyük değerlere ulaştığı doğrusal olmayan hesap yöntemleridir. Doğrusal olmayan yöntemler hem daha güvenilir hem de daha ekonomiktir.

Yapı sistemlerinin dış etkiler altında doğrusal olmayan davranışı, malzemenin doğrusal davranış göstermemesi sebebiyle bünye bağıntılarının doğrusal olmaması ve geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin doğrusal olmamasından kaynaklanmaktadır.

3.1 Plastik Mafsal Hipotezi

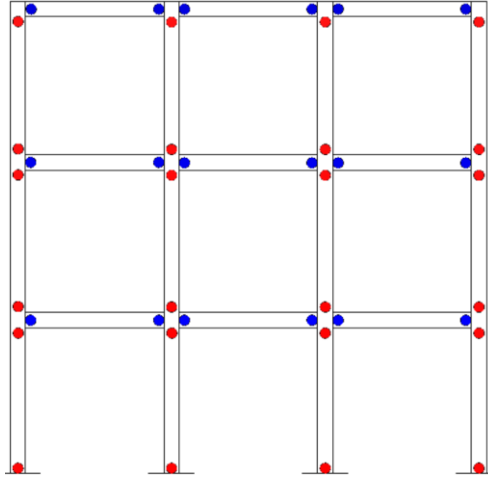
Plastik mafsal (yığılı plastik davranış) hipotezi, süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sınırlı bir alanda biriktiği diğer bölgelerin doğrusal elastik davrandığı varsayımına dayanır [36].

Deprem etkisi altında, yapı sistemindeki plastik mafsalarda tüketilen enerji, moment-eğrilik altında kalan alanla orantılıdır. Bu hipotezin icra edilmesi, gerçek moment-eğrilik denkleminin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi sonucunda olmaktadır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi bu idealleştirme eşit alanlar yöntemi ile yapılmaktadır.



Şekil 3.2: Eşit alanlar yöntemi ile idealleştirme.

Plastik mafsal uzunluğu L_p , doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin biriktiği bölgeyi temsil etmektedir. Bu uzunluk çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit alınabilir [3]. Deprem anında yapı elemanları için olası plastik mafsal bölgeleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Burada mavi daireler, kiriş; kırmızı daireler ise kolon plastik mafsal bölgelerini ifade etmektedir.



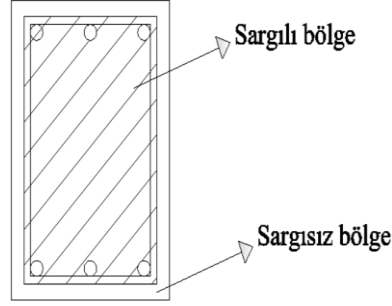
Şekil 3.3: Plastik mafsal bölgeleri.

3.2 Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi

Doğrusal olmayan yaklaşımla yapı sistemi itme eğrilerinin elde edilmesi, yapı elemanlarında oluşan plastik mafsallar takip edilerek elde edilir. Bu yaklaşımda bütün yapı elemanlarının uç bölgeleri mafsallaşma gösterebileceği için her bir kesitte plastik mafsal özellikleri belirlenmelidir.

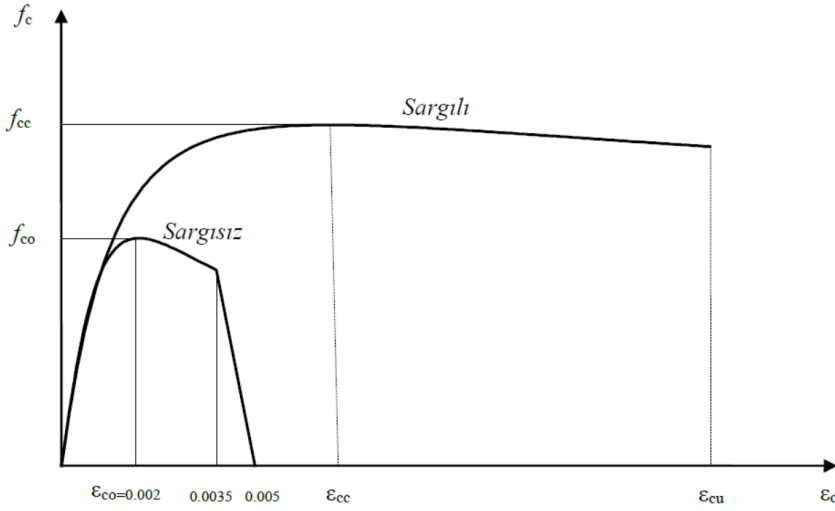
3.2.1 Malzeme özellikleri

Beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları ve donatı çeliği modeli TBDY2018’de tanımlanmıştır. Burada tanımlanan bağıntılar Mander beton modeli esasına dayanmaktadır. Şekil 3.4’de örnek bir betonarme kesit için TBDY2018’e göre belirtilen sargısız ve sargılı bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Beton modeli için sargılı ve sargısız bölgeler.

Şekil 3.5 ise TBDY2018’de yer alan sargılı ve sargısız beton modelleri için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Beton modeli için gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişki [3].

Burada sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki bağıntı denklem 3.2 ve denklem 3.3 ile verilmiştir [3].

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (3.2)$$

$$\lambda_c = 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \frac{f_e}{f_{co}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}}} - 1,254 \quad (3.3)$$

Buradaki f_e etkili sargılama basıncı, dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için 3.4 ve 3.5 denklemleriyle belirlenen değerlerin ortalaması olarak alınabilir [3]. Bu bağıntılarda f_{yw} enine donatının akma dayanımını ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacimsel oranlarını göstermektedir [3].

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad (3.4)$$

$$f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (3.5)$$

Denklem 3.6 ile tanımlanan k_e ise sargılama etkinlik katsayısı oranını ifade etmektedir. Burada a_i kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_o ve h_o göbek betonunu sargılayan etriyelerin arasında kalan kesit boyutlarını, s boyuna doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir [3].

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (3.6)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi ε_{cu} denklem 3.7 ile ifade edilir [3].

$$\varepsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3.7)$$

Burada; ρ_s toplam enine donatının hacimsel oranını, ε_{su} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekil değiştirmesini göstermektedir [3].

Sargılı beton dayanımına karşı gelen birim şekil değiştirme ε_{cc} ise denklem 3.8 ile ifade edilir [3].

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} \cong 0,002 \quad (3.8)$$

Beton modeli için kullanılan elastisite modülü E_c de denklem 3.9 ile belirtilmiştir [3].

$$E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \quad (3.9)$$

Doğrusal olmayan yöntemler ile şekil değiştirmeye göre değerlendirmede kullanılmak üzere, donatı çeliğine ait bilgiler Tablo 3.1’de tanımlanmıştır [3].

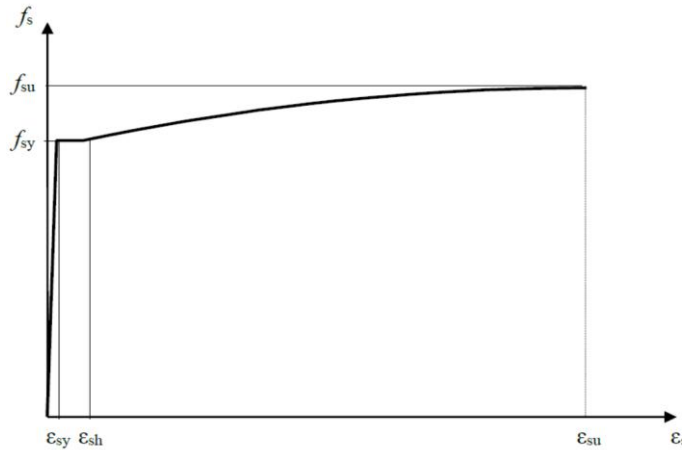
Tablo 3.1 : Donatı çeliği mekanik özellikleri [3].

Kalite	f_{sy} MPa	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su}/f_{sy}
S220	220	0,0011	0,011	0,12	1,20
S420	420	0,0021	0,008	0,08	1,15 – 1,35
B420C	420	0,0021	0,008	0,08	1,15 – 1,35
B500C	500	0,0025	0,008	0,08	1,15 – 1,35

Burada; f_{sy} donatı çeliğinin akma dayanımını, ε_{sy} donatı çeliği akma birim şekil değiştirmesini, ε_{sh} donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesini, f_{su} da donatı çeliğinin kopma dayanımını ifade etmektedir [3].

Donatı çeliğinin elastisite modülü E_s , 200000 MPa’dır [3].

Donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



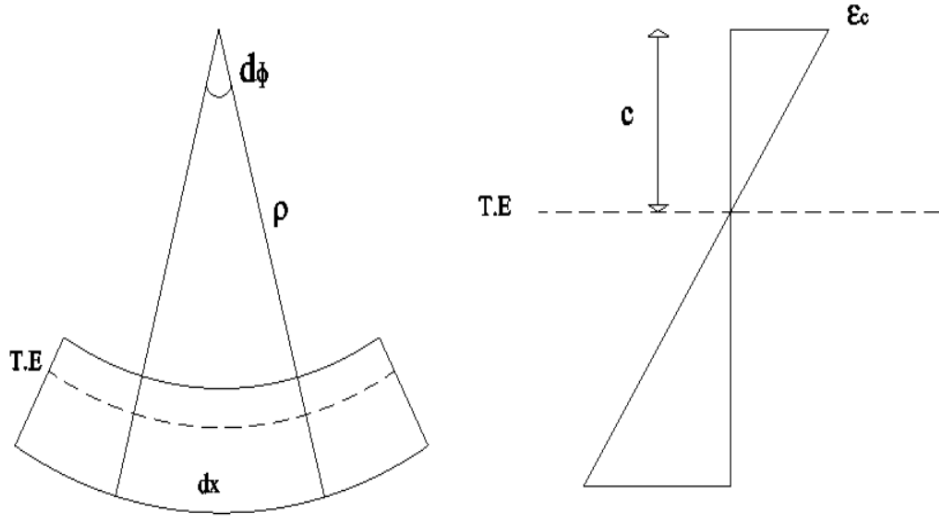
Şekil 3.6: Donatı çelik modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi [3].

3.2.2 Moment-eğrilik-plastik dönme ilişkisi

Eğilme ve aksenal yük etkisindeki betonarme kolonlar veya yalnızca eğilme etkisi altındaki betonarme kirişlerin kesit davranışları, doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak elde edilen moment-eğrilik ilişkisinden belirlenebilir.

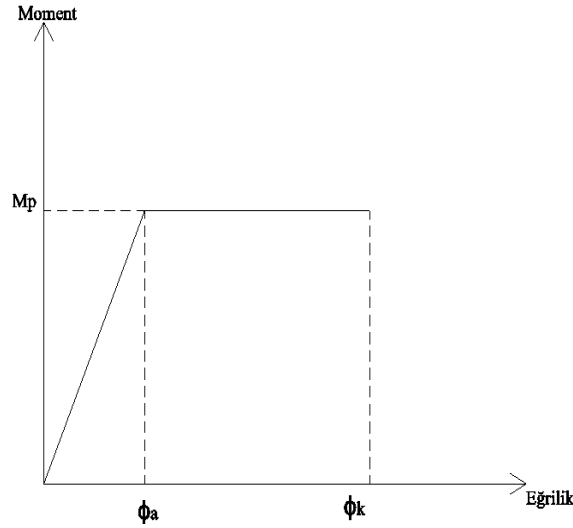
Eğrilik ϕ , birim dönme açısını ifade etmektedir. Eğrilik, düzlem kesitlerin eğilmeden sonra da düzlem kalacağı varsayımı ile iki kesit arasındaki dönme açısı farkından veya kesitteki birim deformasyondan yararlanılarak eğilmiş kesitin geometrisinden hesaplanır. Kesitteki eğrilik, süneklik kapasitesini belirler. Eğrilik denklem 3.10'da olduğu gibi hesaplanmış, Şekil 3.7'de eğrilik birim deformasyon ilişkisi ifade edilmiştir.

$$\phi = \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.10)$$



Şekil 3.7: Eğrilik birim deformasyon ilişkisi.

Moment-eğrilik ilişkisinin iki doğru parçası ile idealleştirilmesi ise Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



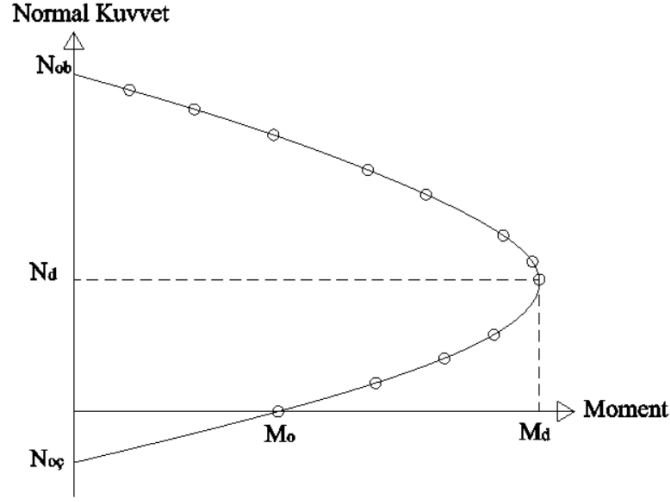
Şekil 3.8: İdealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi.

Burada ϕ_a akma eğriliğini, ϕ_k en büyük eğriliği, M_p plastik momenti ifade etmektedir. Plastik eğrilik ϕ_p ise kopma eğriliğinden akma eğriliğinin çıkarılması ile belirlenmektedir. Sabit tek modlu itme analizinde plastik mafsal oluşabilecek noktalar için moment-eğrilik ilişkisi, moment-plastik dönme ilişkisine dönüştürülebilir. Bu durumda plastik dönme, plastik mafsal boyu ile plastik eğriliğin çarpılması sonucu elde edilir ve denklem 3.11 ile hesaplanmaktadır.

$$\theta_p = \phi_p L_p \quad (3.11)$$

3.2.3 Karşılıklı etki diyagramı

Doğrusal olmayan davranış ile itme eğrilerinin elde edilmesinde, eğilme ve eksenel yük etkisindeki yapı elemanları için moment-eğrilik ilişkisinin yanında karşılıklı etki diyagramlarının tanımlanması gerekmektedir. Yapı sistemine monolitik olarak bağlı olduğu için bu tür yapı elemanlarında eğilme momenti ile normal kuvvet beraber ortaya çıkar. Gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak betonarme bir kesitin karşılayacağı eğilme momenti ve normal kuvvet sınır değerleri, karşılıklı etki diyagramı adı verilen eğride birlikte gösterilmektedir [38]. Şekil 3.9'da eğilme ve eksenel yük etkisindeki kolonlara ait karşılıklı etki diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.9: Kolona ait tip karşılıklı etki diyagramı.

3.3 Etkin Rijitlik Çarpanı

Yığılı plastik davranışa göre modellenen kolon, kiriş yapı elemanlarının etkin kesit rijitlikleri $(EI)_e$, denklem 3.12'ye göre hesaplanır [3].

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \frac{1}{3} \quad (3.12)$$

Burada M_y ve θ_y çubuk elemanın uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir. L_s ise kesme açıklığı olup yaklaşık olarak açıklığın yarısı kabul edilebilir [3]. Plastik mafsal akma dönmesi θ_y denklem 3.13 ile bulunur [3].

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0,0015\eta \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (3.13)$$

Burada ϕ_y plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini, h kesit yüksekliğini, d_b donatı çeliklerinin ortalama çapını, f_{ce} ve f_{ye} ise betonun ortalama basınç dayanımı ile donatı çeliğinin ortalama akma dayanımını göstermekte olup ayrıca η ifadesi kiriş ve kolon için 1,0 değerini, perde için 0,5 değerini almaktadır. Ortalama malzeme dayanımları Tablo 3.2'de belirtilmiştir [3].

Tablo 3.2 : Ortalama malzeme dayanımları [3].

Beton	$f_{ce} = 1,3 f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1,2 f_{yk}$
Yapı çeliği (235)	$f_{ye} = 1,5 f_{yk}$
Yapı çeliği (275)	$f_{ye} = 1,3 f_{yk}$
Yapı çeliği (355)	$f_{ye} = 1,1 f_{yk}$
Yapı çeliği (460)	$f_{ye} = 1,1 f_{yk}$

3.4 Sabit Tek Modlu İtme Analizi ve Modal Kapasite Diyagramının Elde Edilmesi

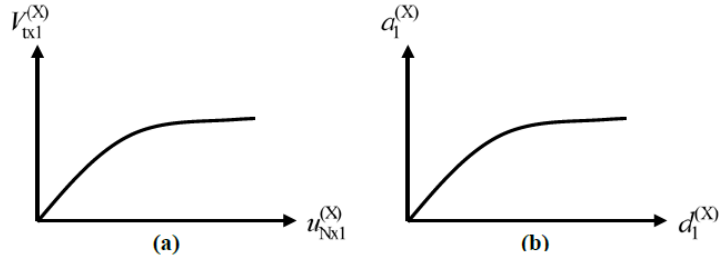
İtme analizi sonrasında elde edilen itme eğrisinin, modal kapasite diyagramına dönüştürülmesi gerekmektedir. İtme eğrisi taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ilişkisi olarak tanımlanır. Bu eğrinin koordinatları denklem 3.14 ve denklem 3.15'e göre dönüştürülerek modal tek serbestlik dereceli sisteme ait modal sözde ivme-modal yer değiştirme ilişkisi olarak modal kapasite diyagramına Şekil 3.10'da görüldüğü gibi dönüştürülür [3].

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,1)}} \quad (3.14)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1-1}^{(1)} \Gamma^{(X,1)}} \quad (3.15)$$

Burada; $V_{tx1}^{(X,k)}(X)$ deprem doğrultusu için k'inci itme adımında x eksenini doğrultusunda hesaplanan taban kesme kuvvetini, $m_{tx1}^{(X,1)}(X)$ deprem doğrultusu için x eksenini doğrultusunda birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekline göre hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerini, $a_1^{(X,k)}(X)$ deprem doğrultusu için k'inci itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal sözde ivmesini, $u_{Nx1}^{(X,k)}(X)$ deprem doğrultusu için k'inci itme adımında N'inci kata (binanın tepesinde) x eksenini

doğrultusunda hesaplanan yer değiştirmeyi, $\Phi_{N \times 1}^{(1)}$ N'inci katta birinci itme adımında belirlenen sabit mod şeklinin x doğrultusundaki genliğini, $\Gamma_1^{(x,1)}(X)$ deprem doğrultusu için birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekline göre hesaplanan modal katkı çarpanını, $d_1^{(x,k)}(X)$ deprem doğrultusu için k'inci itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesini göstermektedir [3].



Şekil 3.10: İtme eğrisinin modal kapasite diyagramı dönüşümü [3].

3.5 Depremın Yer Değiştirme İsteminin Elde Edilmesi

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem etkisi için şekil değiştirme istemleri ile iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır ve şekil değiştirme, iç kuvvet kapasiteleri karşılaştırılarak, kesit, eleman ve bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapmaktır.

Sabit tek modlu itme yöntemi ile elde edilen modal kapasite diyagramının ve deprem talebiyle elde edilen deprem spektrum diyagramının TBDY2018'e göre belirlenen yöntemlerle aynı grafikte çizilmesiyle depremin yer değiştirme istemi bulunmaktadır. Bu yer değiştirme istemi baz alınarak yapının itme analizi tamamlanır.

3.6 Depremın Modal Yer Değiştirme Talebinin Elde Edilmesi

Depremın modal yer değiştirme talebinin elde edilmesi, verilen (dikkate alınan) deprem etkisi altında modal kapasite diyagramı tarafından temsil edilen modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesinin hesabına karşı gelmektedir [3]. Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük yer değiştirme, doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak tanımlanır.

$$d_{d1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \quad (3.16)$$

Denklem 3.16'da $d_{d1,max}^{(X)}$ modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesini, $S_{di}(T_1)$ ise taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeyi göstermektedir [3].

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (3.17)$$

Denklem 3.17'de $S_{de}(T_1)$ birinci doğal titreşim periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirmesini, C_R ise spektral yer değiştirme oranını ifade etmektedir.

Spektral yer değiştirme oranı C_R , birinci moda ait doğal titreşim periyodu T_1 ve yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu T_B 'ye bağlı olarak değişmektedir [3].

$T_1 > T_B$ koşulunun geçerli olduğu denklem 3.18'de modal kapasite diyagramı üzerinde hiçbir işlem yapılmamaktadır. $T_1 \leq T_B$ koşulunun geçerli olduğu denklem 3.19'da ise spektral yer değiştirme oranı C_R , ardışık yaklaşımla hesaplanmaktadır. Bu durumda önce modal kapasite diyagramı $C_R = 1$ alınarak iki doğrulu elasto-plastik diyagrama dönüştürülür. Eşit alanlar kabulü ile akma sözde ivme a_{y1} kullanılarak denklem 3.20'den R_y belirlenir. Buradan da C_R ve $S_{di}(T_1)$ hesaplanır. Sonuçların birbirine en yakın noktasında ardışık yaklaşım sonlandırılır.

$$T_1 > T_B \quad ; \quad C_R = 1 \quad (3.18)$$

$$T_1 \leq T_B \quad ; \quad C_R = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad (3.19)$$

$$R_y = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (3.20)$$

Denklem 3.20'de R_y akma dayanımı azaltma katsayısını ifade etmekte olup $S_{de}(T_1)$ ise, 3.21 denklemiyle elde edilir [3].

$$S_{de}(T_1) = \frac{T_1^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T_1) \quad (3.21)$$

Bu denklemde $S_{ae}(T_1)$ birinci doğal titreşim periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral ivmeyi, g yerçekimi ivmesini temsil etmektedir [3].

Yatay elastik tasarım ivme spektrumu $S_{ae}(T_1)$ denklem 3.22 – denklem 3.25 ifadeleri ile doğal titreşim periyoduna bağlı olarak belirlenir [3].

$$(0 \leq T \leq T_A) \quad ; \quad S_{ae}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (3.22)$$

$$(T_A \leq T \leq T_B) \quad ; \quad S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (3.23)$$

$$(T_B \leq T \leq T_L) \quad ; \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T_1} \quad (3.24)$$

$$(T_L \leq T) \quad ; \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T_1^2} \quad (3.25)$$

Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyotlarını belirten T_A ve T_B denklem 3.26 ve denklem 3.27 ile bulunur [3].

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.26)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.27)$$

Şekil 3.12'de belirtilen T_L elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu, altı saniye alınır [3]. Denklem 3.29'da belirtilen S_{D1} bir saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı ve denklem 3.28'de belirtilen S_{DS} kısa periyot spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. Bu değerler yerel zemin etki

katsayıları ve harita spektral ivme katsayılarına bağlı olarak değişmektedir. Denklemlerde belirtilen S_s ve S_1 harita spektral ivme katsayıları deprem tehlike haritaları yardımıyla deprem yer hareketi düzeyine bağlı olarak belirlenir.

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (3.28)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (3.29)$$

Yerel zemin etki katsayıları F_s ve F_1 ise TBDY2018’de belirtilen yerel zemin sınıflarına ve harita ivme katsayılarına bağlı olarak belirlenir. Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de bu katsayılar sunulmuştur.

Tablo 3.3 : Bir saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı [3].

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 = 0,50$	$S_1 \geq 0,60$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
ZD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılmalıdır					

Tablo 3.4 : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı [3].

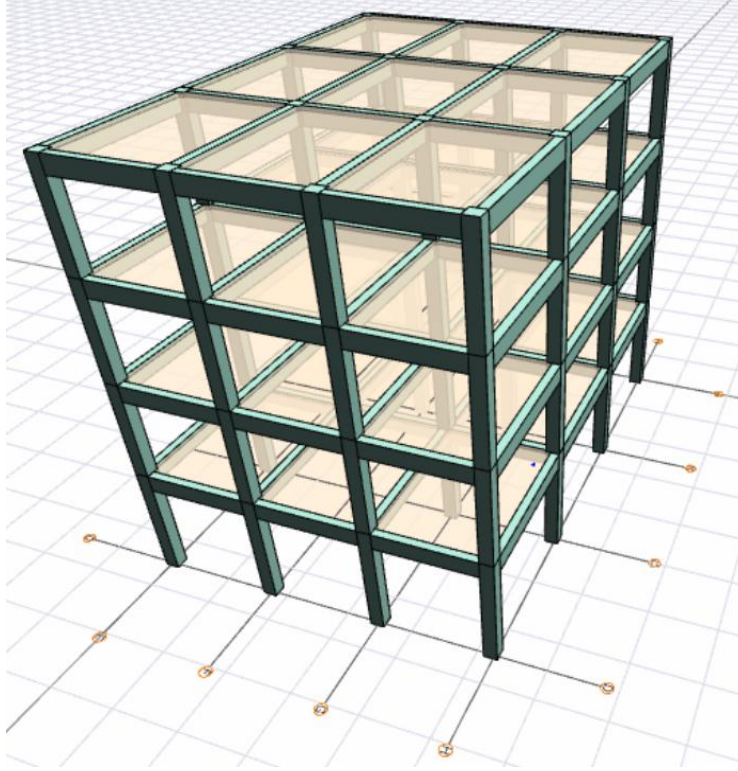
Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılmalıdır					

4. KOROZYONA MARUZ BETONARME ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ SABİT TEK MODLU İTME YÖNTEMİ İLE NÜMERİK İNCELENMESİ

Bu bölümde korozyonun betonarme yapı davranışı üzerine olan etkileri sayısal uygulama ile incelenmiştir. Sayısal uygulamada, tuzlu su etkisiyle üniform klorit korozyonuna maruz kalan bir betonarme çerçevenin çeşitli beton örtüleri için itme analizleri çeşitli yıllar için hesaplanmıştır. Çalışmada, SAP2000-V17 ve ideCAD-10 [39] ile betonarme üç boyutlu bir yapı TS-500 ve TBDY2018 koşullarına göre tasarlanmış olup korozyon hesapları için binanın bir aksı seçilmiş ve sabit tek modlu itme analizi düzlem çerçeve dikkate alınarak yapılmıştır. Sayısal uygulama kapsamında ele alınan betonarme kesitlerdeki; kolon boyuna donatı, kiriş boyuna donatı ve etriye donatısı için üniform korozyon sonrası kalan alanlar yıllara göre hesap edilerek ve korozyon sonrası malzeme mekanik özellikleri değişimi de dikkate alınarak doğrusal olmayan itme analizinin verileri oluşturulmuştur. Sabit tek modlu itme analizlerinde, beton örtüsü farklılık gösteren kesitlerin doğrusal olmayan mekanik özellikleri XTRACT-V3.0.8 programı kullanılarak belirlenmiş, doğrusal olmayan analizler inşaat başlangıcından sonraki 30 ve 50 yıllarını kapsayacak şekilde ayrı ayrı irdelenmiştir. Analizler belirli bir kodlama ve gruplama ile sunulmuştur. Analizler içerisinden 3SD50-25 detaylı bir şekilde açıklanmış, işlem adımları sırayla irdelenmiştir. Diğer analizlerin işlem adımları ise tablolar ve şekiller halinde belirtilmiş olup EKLER bölümünde hesap detayları sunulmuştur.

4.1 Betonarme Binanın Geometri ve Malzeme Özellikleri

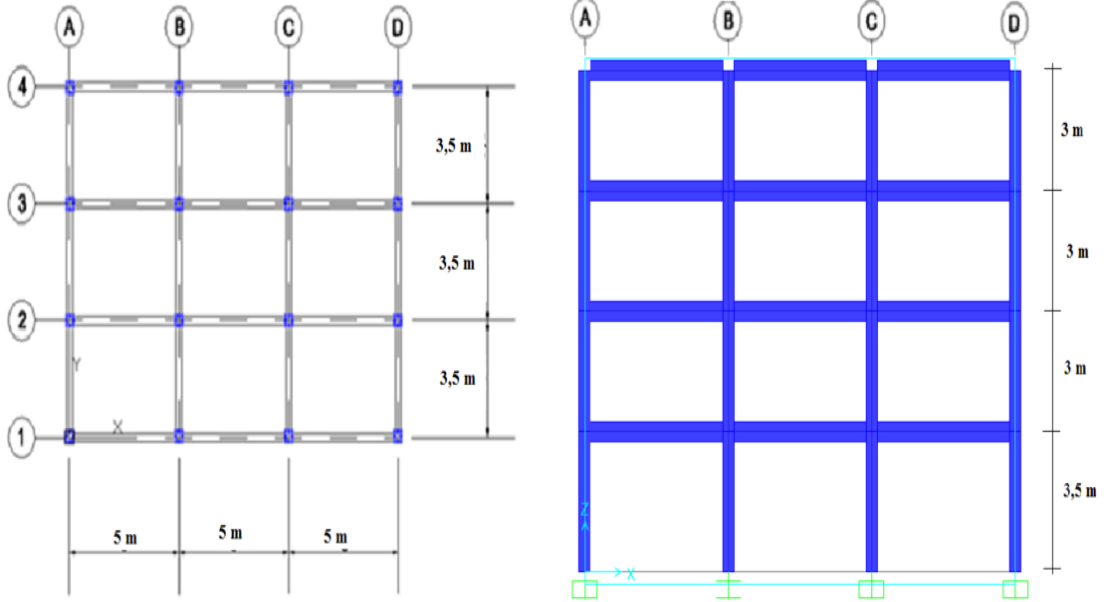
Sayısal uygulamada kullanılan betonarme bina aksının klorit üniform korozyon etkisiyle yapı performansı ilişkisinin irdelenmesi için tasarlanan yapı modeli Şekil 4.1'de verilmiştir.



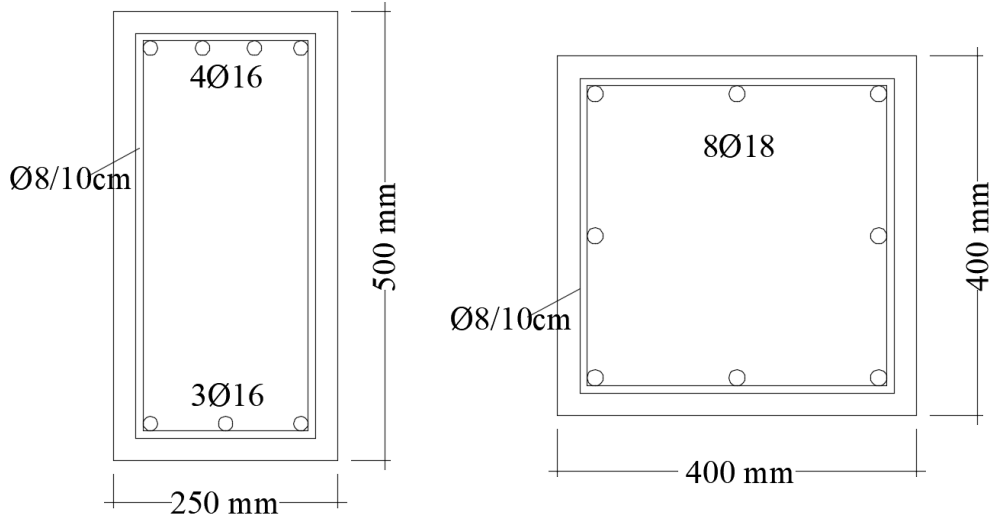
Şekil 4.1 : Üç boyutlu bina modeli.

Betonarme bina, 38,750-enlem, 26,950-boylam koordinatlarında, ZC yerel zemin sınıfında ve denize yakın bir bölgede bulunacak şekilde tasarlanmıştır. Kat kalıp planı ve şematik kesiti Şekil 4.2’de verilen dört katlı, her iki doğrultuda üçer açıklığa sahip mevcut binanın ön tasarımı ideCAD-10 ile mod birleştirme yöntemine göre yapılmış, akabinde SAP2000-V17 modeli oluşturularak ön tasarım modeli kontrol edilmiştir. SAP2000-V17 ve ideCAD-10 ile modelleme yapılarak sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisiyle boyutlandırılmıştır. Kullanılan beton malzemesi C25/30, donatı çeliği ise S420 sınıfındadır. Şekil 4.2’de kat planında X doğrultusunda aks açıklığı 5 m, Y doğrultusunda aks açıklığı 3,5 m’dir. Kat yükseklikleri zemin kat için 3,5 m, diğer katlarda 3 m’dir. Bina kullanım sınıfı (BKS) 3, bina önem katsayısı (I) 1, deprem tasarım sınıfı (DTS) 1’dir.

Betonarme tasarımda kiriş boyutları 250x500 mm, kullanılan donatı çeliği üst donatı 4Ø16, alt donatı 3Ø16, tek etriyeli ve etriye Ø8 olacak şekilde belirlenmiştir. Ayrıca, kolon boyutları 400x400 mm, kullanılan donatı çeliği 8Ø18, çift etriyeli ve etriye Ø8 olacak şekilde belirlenmiştir. Kiriş ve kolon kesitleri minimum değerlere göre tasarlanmış ve Şekil 4.3’te gösterilmiştir.

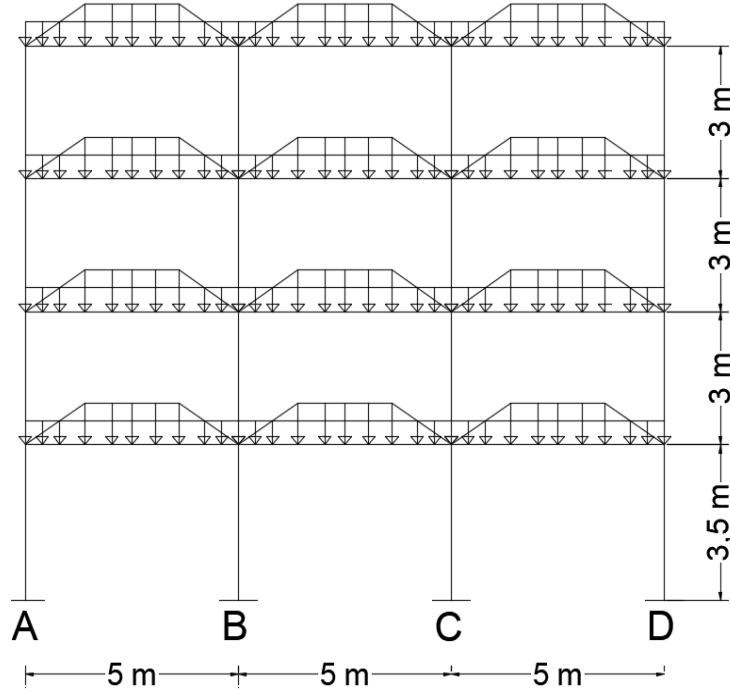


Şekil 4.2: Kat kalıp planı ve şematik kesiti.



Şekil 4.3: Kiriş ve kolon kesitleri.

Betonarme tasarım sonrasında itme analizleri için binanın 1 nolu aksı seçilerek hesaplar yapılmıştır. Şekil 4.4'te görüldüğü üzere 1 nolu aks üzerine döşmeden gelen hareketli ve sabit yükler ile duvar yükü aktarılmış böylelikle çerçeve yapı modeli tanımlanmıştır.



Şekil 4.4: Çerçeve modele etki eden yükler.

1 nolu aks üzerine 6 kN/m duvar yükü, 7,875 kN/m sabit yük ve 3,5 kN/m hareketli yük etkimektedir. Açıklık boyunca etkiyen (5 m) yükler Tablo 4.1’de özetlenmiştir. Ayrıca eleman öz ağırlıkları SAP2000 programı tarafından dikkate alınmıştır.

Tablo 4.1 : Açıklık boyunca yük dağılımı.

Yayılı Yük Tipi	Etkime Şekli		Aks Açıklığı Boyunca (m) – Yük (kN/m)			
			0 (m)	1,75 (m)	3,25 (m)	5 (m)
Hareketli	Trapez		0	3,5	3,5	0
Sabit Yük	Trapez		0	7,875	7,875	0
Duvar Yükü	Dikdörtgen		6	6	6	6

Betonarme çerçeve modelin, 40 mm, 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm beton örtü kalınlığı ve bina yapım yılından sonraki 30 ve 50 yılları için, atmosferik ve sıçrama ortamında üniform korozyon etkisi ile korozyonsuz durum itme analizleri TBDY2018’e göre yapılmış, itme eğrileri elde edilmiştir.

Sayısal uygulama kapsamında yapılan analizler için örnek bir kodlama Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2 : Sayısal uygulamalar için tipik bir kodlama.

Beton Örtüsüne Göre Grup Adı	Korozyon Durumu	Yıl	Beton Örtüsü (mm)
3	SD	50	25
3SD50-25			

Korozyon durumlarına göre kodlamalar ise Tablo 4.3'te belirtilmiştir.

Tablo 4.3 : Sembollere göre korozyon durumları.

Sembol	Korozyon Durumu
ND	Korozyonsuz Durum
SD	Sıçrama Durumu
AD	Atmosferik Durum

Burada 25 mm beton örtü kalınlığına sahip betonarme çerçevenin 50 yıllık sıçrama ortamında üniform korozyon etkisi ile itme analizleri irdelenmiş, diğer analizler için ise sonuçlar toplu olarak sunulmuştur. Hesaplarda kullanılan tüm bilgiler EKLER bölümünde verilmiştir. Tablo 4.4 ile bu tez kapsamında belirlenen tüm analiz kodlamaları belirtilmiştir.

Tablo 4.4 : Korozyon durumları ve beton örtüsü.

Grup	Analiz	Korozyon Durumu	Yıl	Beton Örtüsü (mm)
1	1ND-40	Korozyonsuz	-	40
	1SD30-40	Sıçrama Durumu	30	
	1SD50-40	Sıçrama Durumu	50	
	1AD30-40	Atmosferik Durum	30	
	1AD50-40	Atmosferik Durum	50	
2	2ND-30	Korozyonsuz	-	30
	2SD30-30	Sıçrama Durumu	30	
	2SD50-30	Sıçrama Durumu	50	
	2AD30-30	Atmosferik Durum	30	
	2AD50-30	Atmosferik Durum	50	
3	3ND-25	Korozyonsuz	-	25
	3SD30-25	Sıçrama Durumu	30	
	3SD50-25	Sıçrama Durumu	50	
	3AD30-25	Atmosferik Durum	30	
	3AD50-25	Atmosferik Durum	50	

Tablo 4.4 (devam) : Korozyon durumları ve beton örtüsü.

4	4ND-20	Korozyonsuz	-	20
	4SD30-20	Sıçrama Durumu	30	
	4SD50-20	Sıçrama Durumu	50	
	4AD30-20	Atmosferik Durum	30	
	4AD50-20	Atmosferik Durum	50	
5	5ND-15	Korozyonsuz	-	15
	5SD30-15	Sıçrama Durumu	30	
	5SD50-15	Sıçrama Durumu	50	
	5AD30-15	Atmosferik Durum	30	
	5AD50-15	Atmosferik Durum	50	

4.2 Korozyon Hesabı

4.2.1 Korozyon başlama zamanının belirlenmesi

Üniform korozyon başlama zamanı için denklem 2.3 kullanılmıştır. Tablo 2.1’de verilen değerler dikkate alınarak, betonarme kesitlerde her bir beton örtüsü için korozyon başlama zamanı belirlenmiş ve Tablo 4.5’te sunulmuştur. 3SD50-25 analizi için kiriş boyuna donatı, kolon boyuna donatı ve etriye donatısı korozyon başlama zamanları denklem 4.1 – denklem 4.4 ile hesaplanmıştır. Denklemlerde su-çimento oranı S/\mathcal{C} , 0,4 alınmış ayrıca su bağlayıcılık oranı w/b , 0,5 kabul edilmiştir. Ülkemiz şartları düşünüldüğünde, bir günlük kür faktörünün alınmasının daha gerçekçi sonuçlar vereceği öngörülmüştür. Yüzeydeki klor konsantrasyonu C_s , denklem 2.5 ile hesaplanmıştır.

$$T_{i,\text{Kiriş Boyuna Donatı}} = \left[\frac{(33)^2}{4 * 0,265 * 2,4 * 220,9 * \left(\frac{28}{365}\right)^{0,362}} \left[\text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{0,8}{3,879} \right) \right]^{-2} \right]^{\frac{1}{(1-0,362)}} = 17,22 \text{ yıl} \quad (4.1)$$

$$T_{i,\text{Kolon Boyuna Donatı}} = \left[\frac{(33)^2}{4 * 0,265 * 2,4 * 220,9 * \left(\frac{28}{365}\right)^{0,362}} \left[\text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{0,8}{3,879} \right) \right]^{-2} \right]^{\frac{1}{(1-0,362)}} = 17,22 \text{ yıl} \quad (4.2)$$

$$T_{1, \text{Etriye Donatısı}} = \left[\frac{(25)^2}{4 * 0,265 * 2,4 * 220,9 * \left(\frac{28}{365}\right)^{0,362} \left[\text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{0,8}{3,879} \right) \right]^{-2}} \right]^{\frac{1}{(1-0,362)}} = 7,22 \text{ yıl} \quad (4.3)$$

Boyuna donatılar dikkate alındığında, net beton örtüsüne etriye çapı eklenerek hesaplarda dikkate alınacak net beton örtüsü bulunmaktadır. Denklem 4.4'te bu durum ifade edilmiştir.

$$d_{c, \text{Boyuna Donatı}} = 25 + 8 = 33 \text{ mm} \quad (4.4)$$

Tablo 4.5 : Korozyon başlama zamanları.

Beton Örtüsü (mm)	Donatı Tipi	Korozyon Başlama Zamanı (Yıl)	
		Sıçrama Durumu	Atmosferik Durum
40	Etriye Donatısı	31,47	140,98
	Kiriş Boyuna Donatı	55,73	249,68
	Kolon Boyuna Donatı	55,73	249,68
30	Etriye Donatısı	12,78	57,22
	Kiriş Boyuna Donatı	26,80	120,04
	Kolon Boyuna Donatı	26,80	120,04
25	Etriye Donatısı	7,22	32,31
	Kiriş Boyuna Donatı	17,22	77,14
	Kolon Boyuna Donatı	17,22	77,14
20	Etriye Donatısı	3,59	16,06
	Kiriş Boyuna Donatı	10,29	46,09
	Kolon Boyuna Donatı	10,29	46,09
15	Etriye Donatısı	1,46	6,52
	Kiriş Boyuna Donatı	5,56	24,88
	Kolon Boyuna Donatı	5,56	24,88

4.2.2 Korozyon sonrasında kalan alanın belirlenmesi

Bölüm 2.4.1’de bahsedildiği üzere t zaman üniform korozyon sonrası donatı çeliğinde oluşan çap denklem 2.11 ile hesaplanır. Kiriş boyuna donatı sıçrama durumu için 50 yıl sonraki donatı çapı ve alanı ayrıca donatı alan azalması örnek olarak denklem 4.5 – denklem 4.10 ifadeleri ile hesaplanmıştır.

$$i_{\text{corr}_0} = \frac{37,8*(1-0,4)^{-1,64}}{(25+8)} = 2,647 \mu\text{A}/\text{cm}^2 \quad (4.5)$$

$$i_{\text{corr}}(t_p) = 0,85*2,647*(t_p)^{-0,29} = 2,250*(t_p)^{-0,29} \quad (4.6)$$

$$r_{\text{corr}}(t_p) = 0,0116*2,250*(t_p)^{-0,29} = 0,026*(t_p)^{-0,29} \quad (4.7)$$

$$D_1 = 16 - 2 \int_{17,22}^{50} 0,026*(t_p)^{-0,29} dt_p = 15,124 \text{ mm} \quad (4.8)$$

$$A_U(t) = \frac{\pi*(15,124)^2}{4} = 179,647 \text{ mm}^2 \quad (4.9)$$

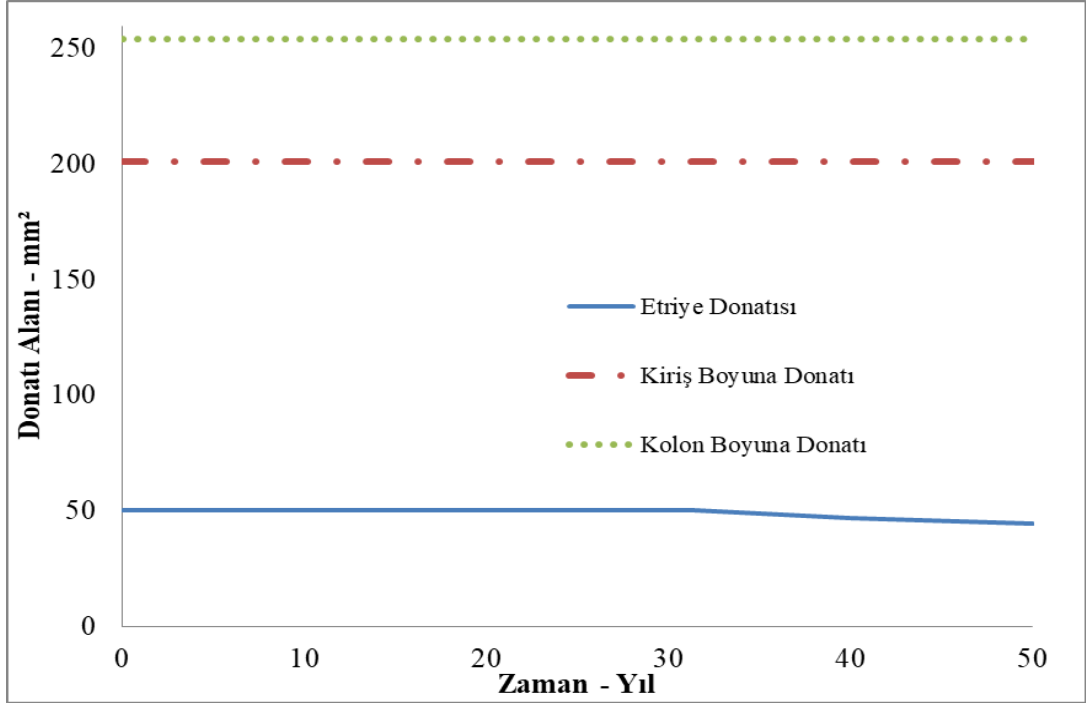
$$\frac{\pi*(16)^2}{4} - 179,647 = 21,415 \text{ mm}^2 \quad (4.10)$$

3SD50-25 analizi için korozyon başlama zamanına bağlı olarak yıllara göre donatı çeliği alan azalmaları Tablo 4.6’da belirtilmiştir.

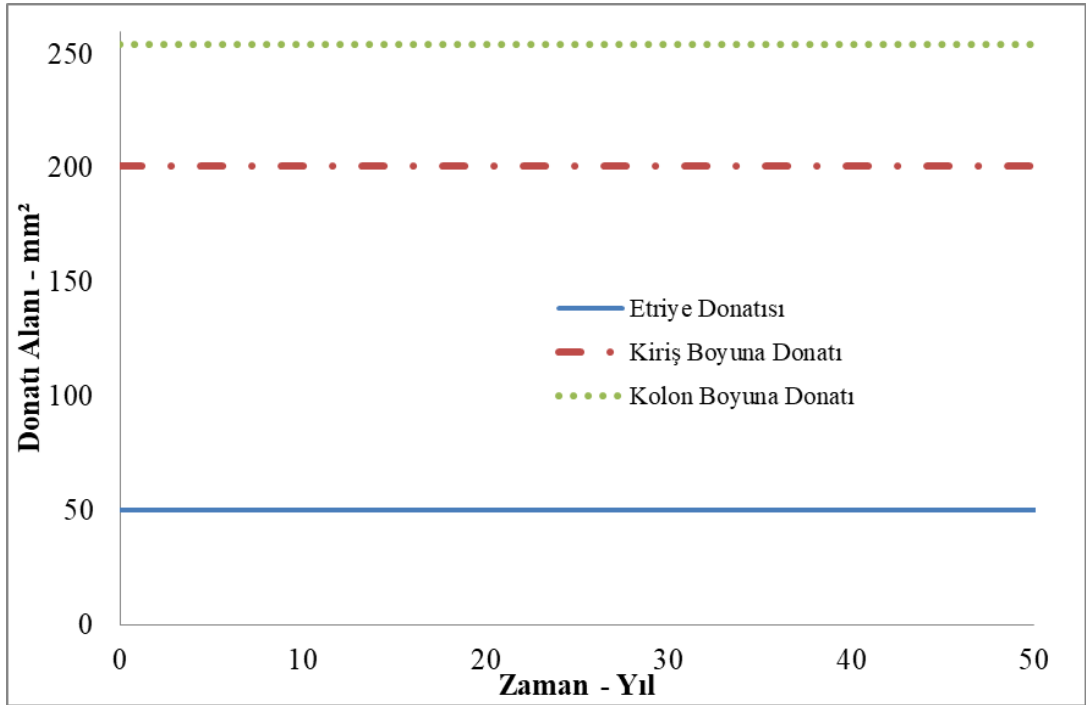
Tablo 4.6 : 3SD50-25 analizi üniform korozyona bağlı donatı azalmaları.

Sıçrama Durumu – Beton Örtüsü 25 mm											
Etriye Ø8				Kiriş Boyuna Donatı Ø16				Kolon Boyuna Donatı Ø18			
Zaman	Oluşan Çap	Korozyon Sonrası Kalan Alan	Donatı Alanı Azalması	Zaman	Oluşan Çap	Korozyon Sonrası Kalan Alan	Donatı Alanı Azalması	Zaman	Oluşan Çap	Korozyon Sonrası Kalan Alan	Donatı Alanı Azalması
Yıl	mm	mm ²	mm ²	Yıl	mm	mm ²	mm ²	Yıl	mm	mm ²	mm ²
0	8	50,266	0	0	16	201,062	0	0	18	254,469	0
7,22	8	50,266	0	10	16	201,062	0	10	18	254,469	0
10	7,8	47,777	2,489	15	16	201,062	0	15	18	254,469	0
15	7,58	45,168	5,098	17,22	16	201,062	0	17,22	18	254,469	0
20	7,41	43,096	7,17	20	15,85	197,261	3,801	20	17,85	250,191	4,278
30	7,11	39,670	10,596	30	15,55	189,940	11,122	30	17,55	241,936	12,533
40	6,84	36,784	13,482	40	15,32	184,417	16,645	40	17,32	235,699	18,77
50	6,6	34,243	16,023	50	15,12	179,647	21,415	50	17,12	230,301	24,168

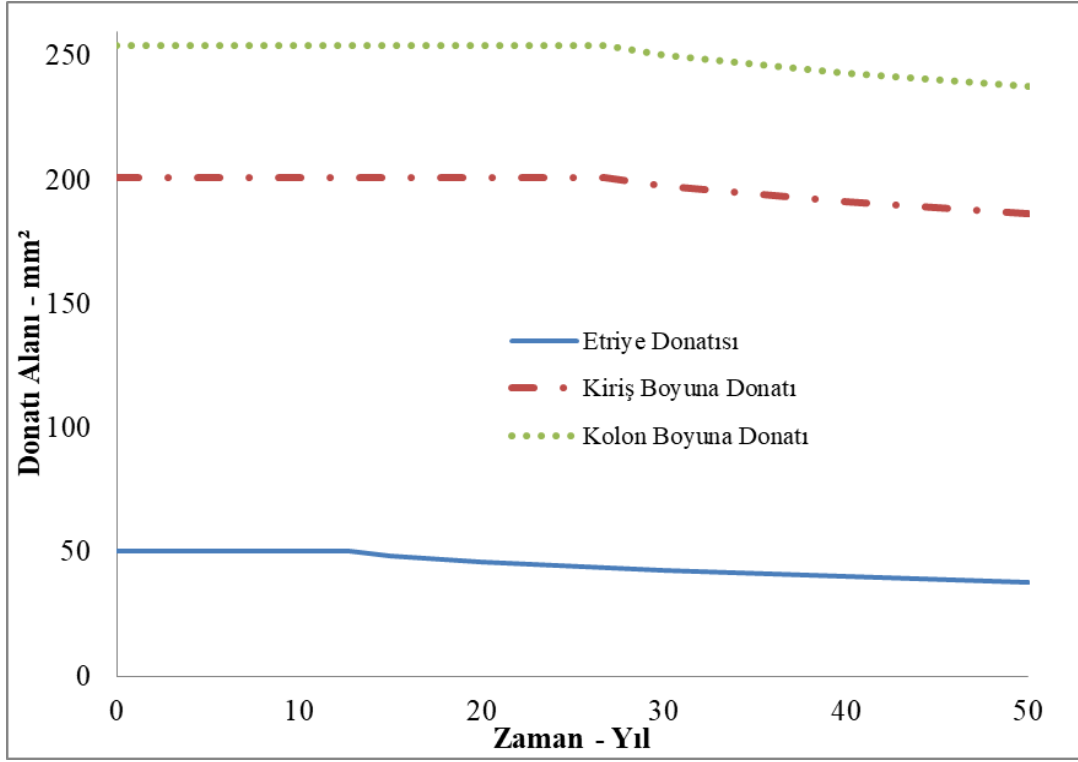
Ayrıca tüm analizlerin, beton örtü kalınlığına bağlı olarak sıçrama ve atmosferik durum için, Tablo 4.5'te verilen korozyon başlangıç zamanları dikkate alınarak hesaplanan alan azalmaları Şekil 4.5 - Şekil 4.14'te sunulmuştur.



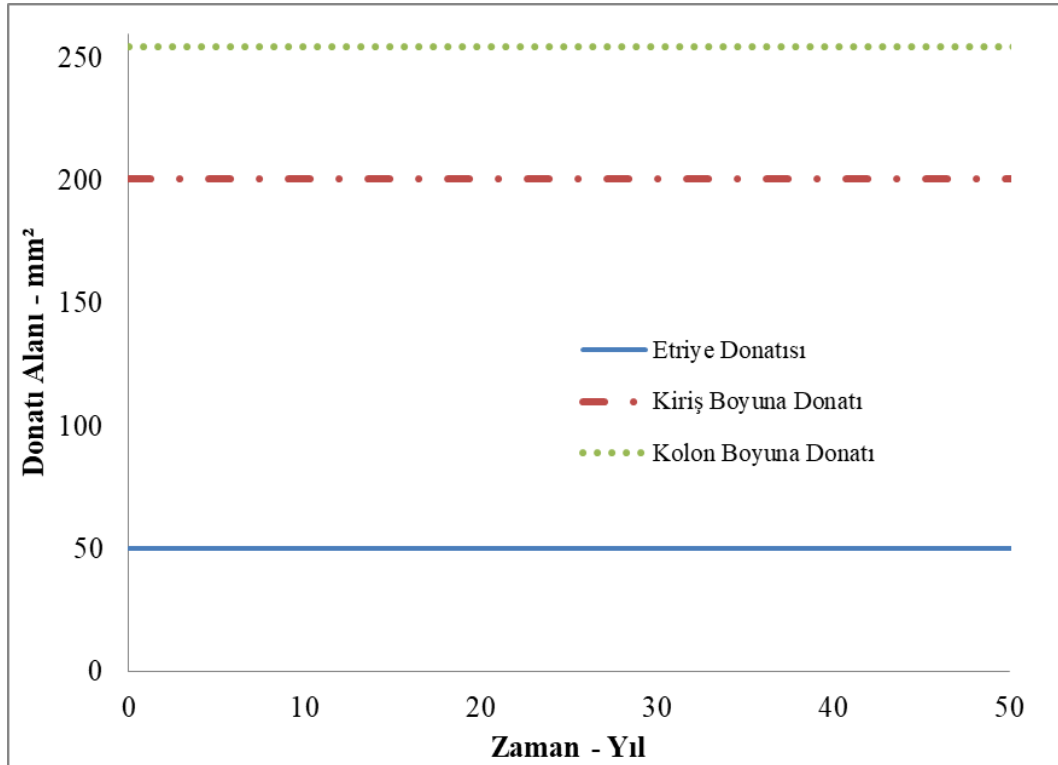
Şekil 4.5 : Sıçrama durumu beton örtüsü 40 mm için donatı alanlarının azalması.



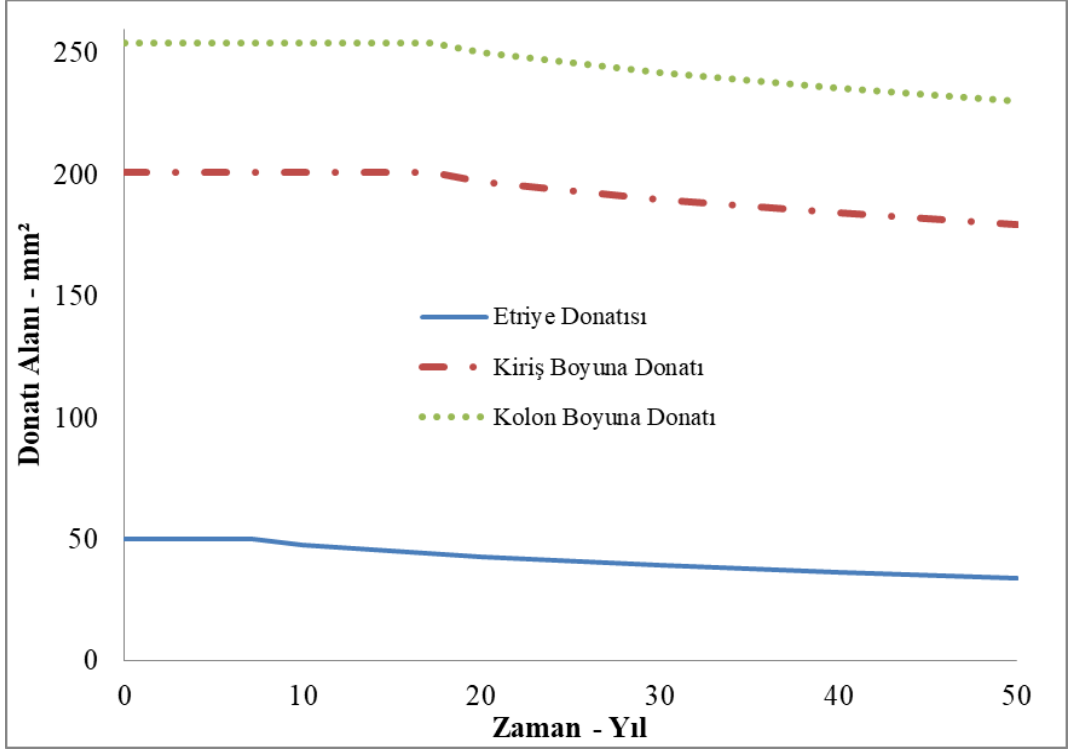
Şekil 4.6 : Atmosferik durum beton örtüsü 40 mm için donatı alanlarının azalması.



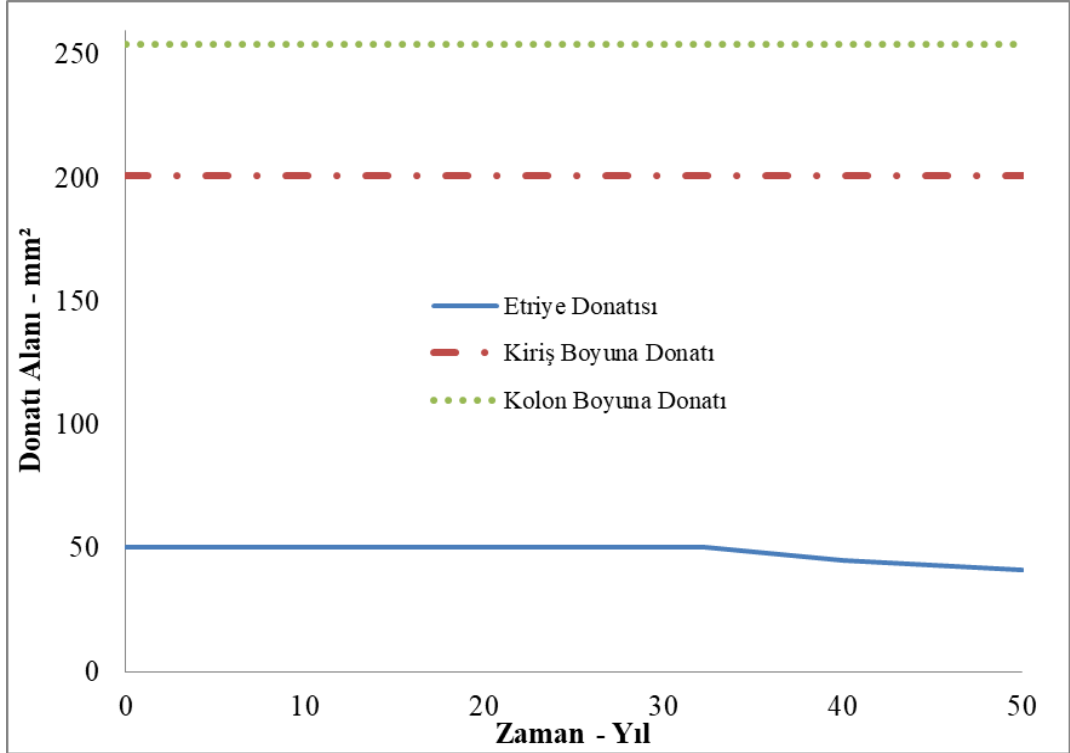
Şekil 4.7 : Sıçrama durumu beton örtüsü 30 mm için donatı alanlarının azalması.



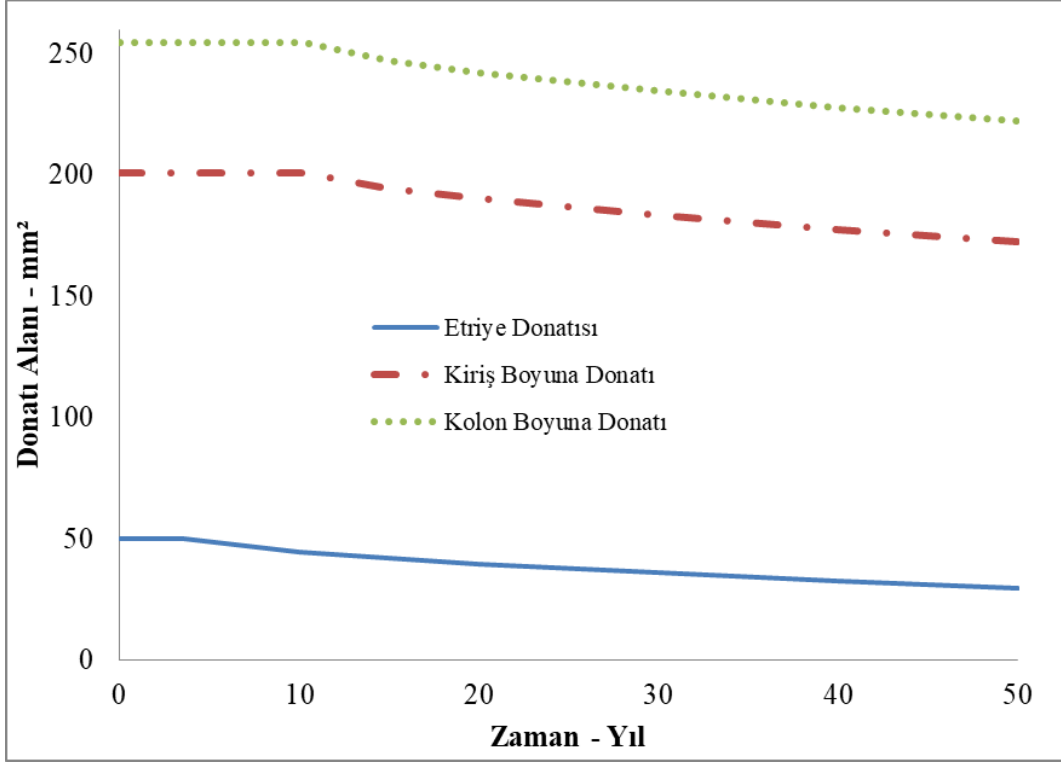
Şekil 4.8 : Atmosferik durum beton örtüsü 30 mm için donatı alanlarının azalması.



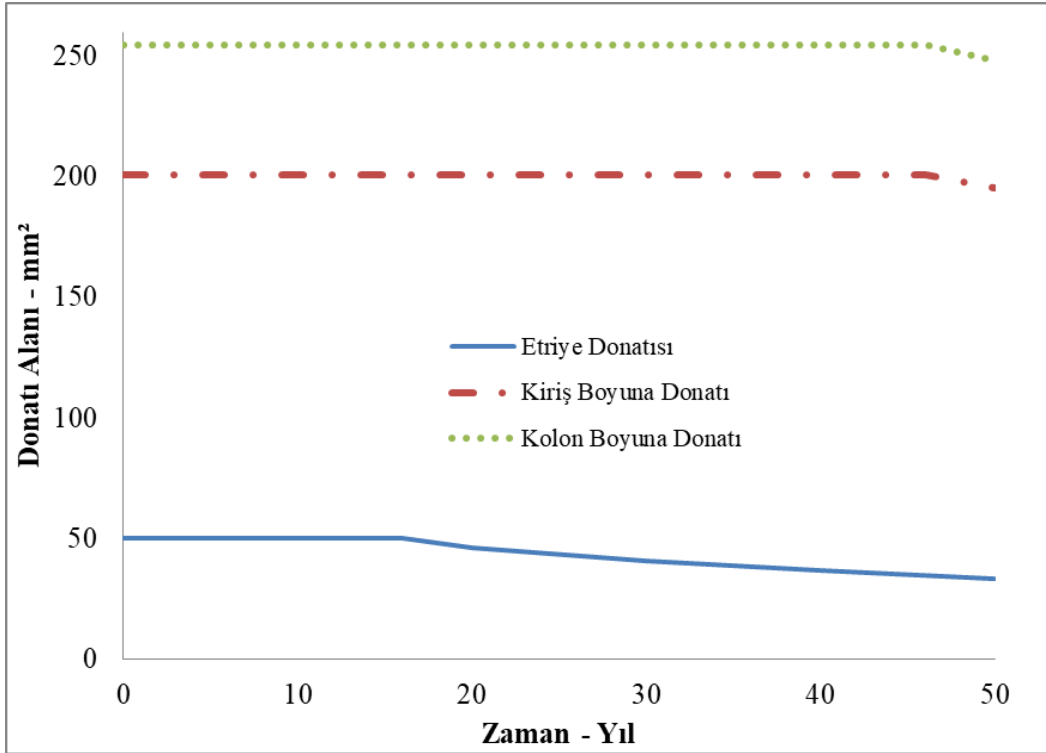
Şekil 4.9 : Sıçrama durumu beton örtüsü 25 mm için donatı alanlarının azalması.



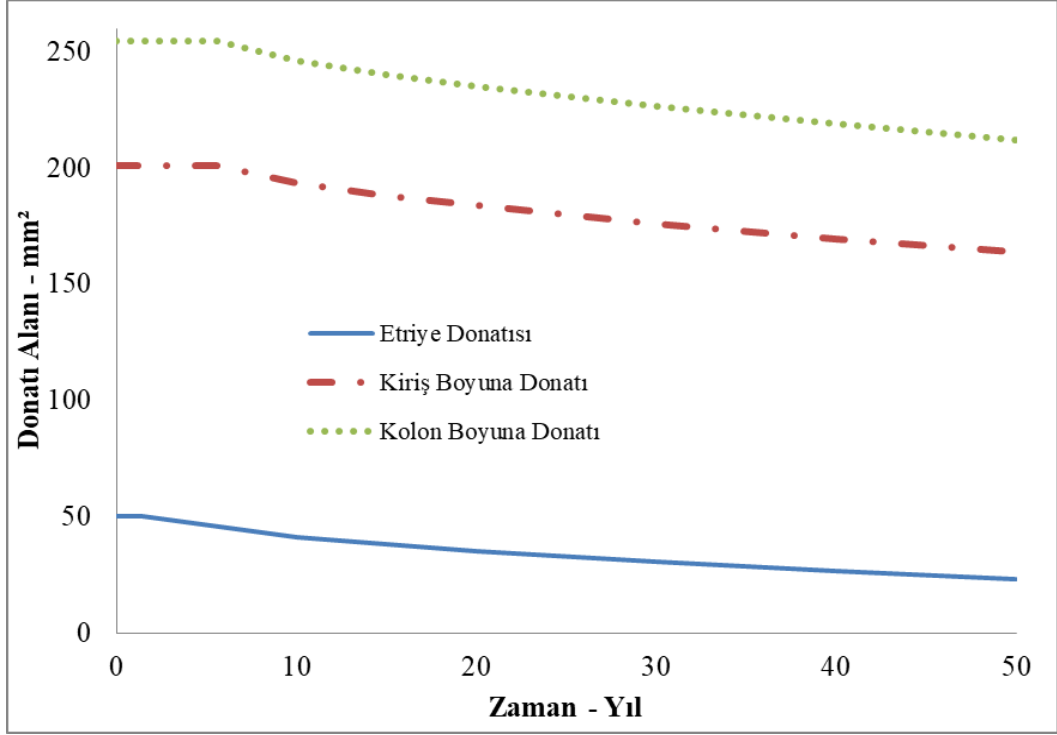
Şekil 4.10 : Atmosferik durum beton örtüsü 25 mm için donatı alanlarının azalması.



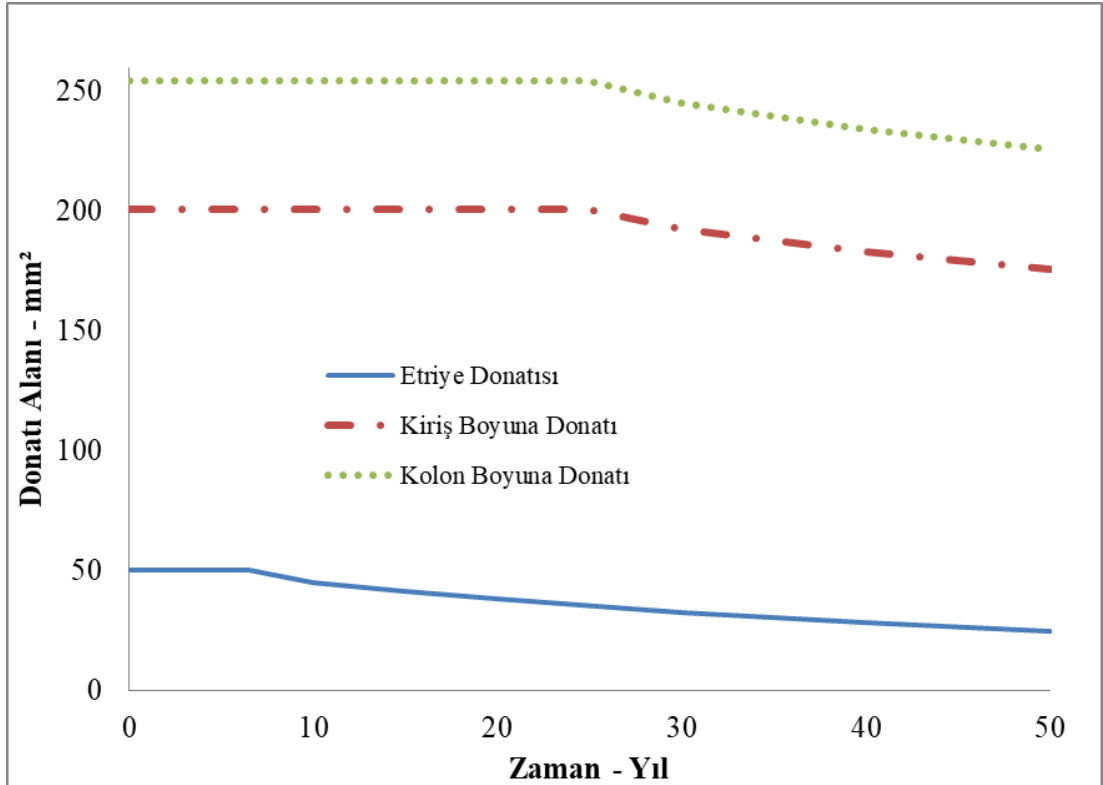
Şekil 4.11 : Sıçrama durumu beton örtüsü 20 mm için donatı alanlarının azalması.



Şekil 4.12 : Atmosferik durum beton örtüsü 20 mm için donatı alanlarının azalması.



Şekil 4.13 : Sıçrama durumu beton örtüsü 15 mm için donatı alanlarının azalması.



Şekil 4.14 : Atmosferik durum beton örtüsü 15 mm için donatı alanlarının azalması.

4.2.3 Her bir analiz için korozyon sonrasında donatı mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Bölüm 2.5'te açıklandığı üzere üniform korozyonun etkisi donatı çeliğinde sadece alan azalması ile değil aynı zamanda Tablo 2.2'de belirtilen mekanik özelliklerin değişimini de içermektedir. Her Bir analiz için kütle kayıplarına bağlı olarak değişen mekanik özellikler belirlenmiş, XTRACT-V3.0.8 ve SAP2000-V17 programlarının malzeme ve kesit modelleme için veriler oluşturmuştur.

TBDY2018'de tanımlanan korozyona maruz kalmayan donatı çeliği Tablo 4.7'de belirtildiği gibi seçilmiş, korozyon sonucu malzeme özellikleri değişimler buna göre belirlenmiştir.

Tablo 4.7 : 3SD50-25 analizi için üniform korozyona bağlı donatı mekanik özellikleri.

Kalite	f_{sy} (MPa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su}
S420	420	0,002	0,008	0,1	550

Tablo 4.8'de 3SD50-25 analizi için donatı çeliği kütle kayıpları belirtilmiştir. Burada, denklem 4.9'da 50 yıl sonraki sıçrama durumu korozyonu nedeniyle kiriş boyuna donatı için kalan çap bulunmuştur. Benzer şekilde kütle kaybı denklem 2.25 kullanılarak denklem 4.11 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta_w = \frac{16^2 - 15,124^2}{16^2} 100 = 10,65 \quad (4.11)$$

Tablo 4.8 : 3SD50-25 analizi donatı çeliği kütle kayıpları.

Donatı Çeliği	İlk Çap D_0 (mm)	Korozyon Sonrası Çap D_1 (mm)	Kütle Kaybı Δw
Etriye Donatısı	8	6,603	31,87
Kiriş Boyuna Donatı	16	15,124	10,65
Kolon Boyuna Donatı	18	17,124	9,50

Donatı çeliği kütle kayıplarına bağlı olarak bütün analizler için üniform korozyon sonucu oluşan mekanik özellikler Tablo 4.9'da özetlenmiştir. Sıçrama durumu

dikkate alınarak 50 yıl sonrası mekanik özellikler kiriş boyuna donatısı için örnek olarak denklem 4.12 – denklem 4.16 ile hesaplanmıştır.

$$f_{syk} = (1 - 1,24 * (10,65 / 100)) * 420 = 364,53 \text{ MPa} \quad (4.12)$$

$$f_{suk} = (1 - 1,07 * (10,65 / 100)) * 550 = 487,32 \text{ MPa} \quad (4.13)$$

$$E_k = (1 - 0,75 * (10,65 / 100)) * 200000 = 184023,33 \text{ MPa} \quad (4.14)$$

$$\varepsilon_{syk} = (364,53 / 184023,33) = 0,0019 \quad (4.15)$$

$$\varepsilon_{suk} = (1 - 1,95 * (10,65 / 100)) * 0,1 = 0,079 \quad (4.16)$$

Tablo 4.9 : Üniform korozyon sonucu mekanik özelliklerin değişimi.

Analiz	Donatı Çeliği	f_{syk} (MPa)	f_{suk} (MPa)	E_k (MPa)	ε_{syk}	ε_{suk}
1ND-40	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
1SD30-40	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
1SD50-40	Etriye Donatısı	359,13	481,21	182467,29	0,0019	0,077
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
1AD30-40	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
1AD50-40	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
2ND-30	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
2SD30-30	Etriye Donatısı	343,59	463,66	177922,01	0,0019	0,071
	Kiriş Boyuna Donatı	410,55	539,32	197278,16	0,0021	0,097
	Kolon Boyuna Donatı	411,60	540,50	197579,36	0,0021	0,097
2SD50-30	Etriye Donatısı	291,74	405,06	163058,03	0,0017	0,052
	Kiriş Boyuna Donatı	381,97	507,03	189047,03	0,0021	0,086
	Kolon Boyuna Donatı	386,13	511,72	190243,52	0,0021	0,087

Tablo 4.9 (devam) : Üniorm korozyon sonucu mekanik özelliklerin değışimi.

2SD50-30	Etriye Donatısı	291,74	405,06	163058,03	0,0017	0,052
	Kiriş Boyuna Donatı	381,97	507,03	189047,03	0,0021	0,086
	Kolon Boyuna Donatı	386,13	511,72	190243,52	0,0021	0,087
2AD30-30	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
2AD50-30	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
3ND-25	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
3SD30-25	Etriye Donatısı	310,21	425,94	168378,51	0,0018	0,059
	Kiriş Boyuna Donatı	391,19	517,45	191702,22	0,0021	0,089
	Kolon Boyuna Donatı	394,35	521,02	192612,54	0,0021	0,090
3SD50-25	Etriye Donatısı	253,99	362,41	152184,9	0,0017	0,038
	Kiriş Boyuna Donatı	364,53	487,32	184023,33	0,0019	0,079
	Kolon Boyuna Donatı	370,54	494,11	185754,1	0,0019	0,081
3AD30-25	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
3AD50-25	Etriye Donatısı	327,36	445,32	173318,81	0,0018	0,065
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
4ND-20	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
4SD30-20	Etriye Donatısı	271,07	381,71	157105,90	0,0017	0,044
	Kiriş Boyuna Donatı	374,21	498,26	186812,38	0,0021	0,083
	Kolon Boyuna Donatı	379,20	503,89	188247,71	0,0021	0,085
4SD50-20	Etriye Donatısı	206,95	309,26	138638,53	0,0015	0,02
	Kiriş Boyuna Donatı	345,83	466,18	178636,47	0,0019	0,072
	Kolon Boyuna Donatı	353,79	457,18	180929,19	0,0019	0,075
4AD30-20	Etriye Donatısı	322,49	439,81	171914,99	0,0019	0,064
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0020	0,100
4AD50-20	Etriye Donatısı	244,95	352,20	149583,11	0,0016	0,035
	Kiriş Boyuna Donatı	405,25	533,34	195752,31	0,0021	0,095
	Kolon Boyuna Donatı	406,88	535,18	196221,26	0,0021	0,095
5ND-15	Etriye Donatısı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kiriş Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
	Kolon Boyuna Donatı	420	550	200000	0,0021	0,100
5SD30-15	Etriye Donatısı	217,39	321,06	141645,31	0,0015	0,024
	Kiriş Boyuna Donatı	355,69	477,33	181476,52	0,0020	0,076
	Kolon Boyuna Donatı	362,62	485,17	183474,42	0,0019	0,079

Tablo 4.9 (devam) : Üniorm korozyon sonucu mekanik özelliklerin değışimi.

5SD50-15	Etriye Donatısı	141,18	234,94	119694,45	0,0012	0,004
	Kiriş Boyuna Donatı	323,39	440,83	172173,54	0,0018	0,064
	Kolon Boyuna Donatı	333,63	452,41	175124,51	0,0019	0,068
5AD30-15	Etriye Donatısı	240,81	347,52	148390,21	0,0016	0,033
	Kiriş Boyuna Donatı	398,33	525,52	193759,23	0,0021	0,092
	Kolon Boyuna Donatı	400,72	528,21	194446,10	0,0020	0,093
5AD50-15	Etriye Donatısı	158,47	254,48	124675,13	0,0013	0,002
	Kiriş Boyuna Donatı	354,46	475,94	181124,30	0,0019	0,075
	Kolon Boyuna Donatı	361,53	483,93	183158,94	0,0019	0,078

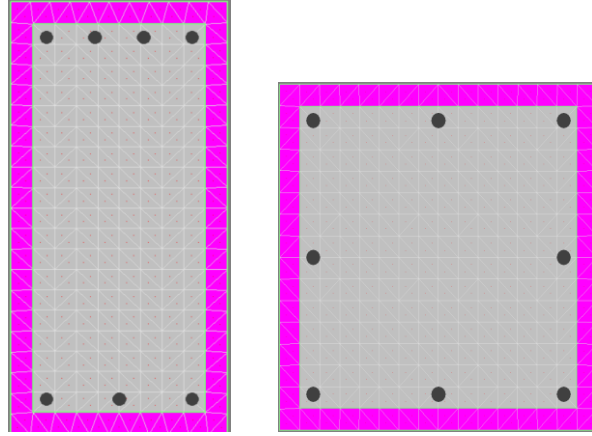
4.3 Kiriş ve Kolon Plastik Mafsall Girdilerinin Elde Edilmesi

Üniorm korozyona bağı sabit tek modlu itme analizinde yıllara bağı olarak elde edilen donatı çeliğı mekanik özellikleri ve korozyon etkisi nedeniyle hesaplanan donatı alanları, XTRACT-V3.0.8 programında veri girdisi olarak kiriş ve kolon kesitlerine tanımlanmıştır. Programda, sargısız ve sargılı beton modelleri ile donatı çeliğı özellikleri kesitlere ayrı ayrı tanımlanmıştır. Tanımlanan kesitlerin plastik mafsall özelliklerini belirleyen ve Bölüm 3'te açıklanan moment-eğrilik ve karşılıklı etki diyagramları elde edilmiştir. Kiriş donatı alanları simetrik olmadığından tanımlanan kesitler için negatif ve pozitif moment eğrilik grafiğı elde edilmiştir. Kolonlar için ise bu çalışmada önce karşılıklı etki diyagramı elde edilmiş, daha sonra oluşan maksimum iç kuvvet değerinin %40 ve %10 seviyeleri kabul edilerek moment eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Kolon donatı alanları simetrik olduğundan negatiflik veya pozitifliğin bir önemi bulunmamaktadır. XTRACT-V3.0.8 programı ile elde edilen diyagram değerleri, analizlerin yapıldığı SAP2000-V17 programına veri girdisi olarak aktararak plastik mafsall özellikleri tanımlanmış olmaktadır.

Elde edilen moment eğrilik grafiklerinde iki doğru ile idealleştirme uygulanmış, Mander beton modelleri hesaplanarak programa aktarılmıştır. Analizlerde Mander'in önerdiği elastisite modülü kullanılmıştır. Korozyona maruz donatılar için pekleşme yok sayılmıştır.

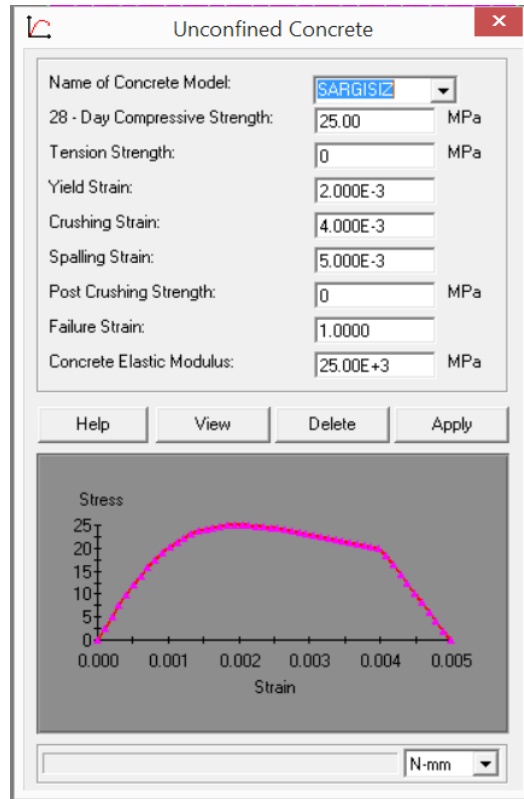
4.3.1 Kiriş ve kolon kesitlerinin tanımlanması

Bu bölümde 3SD50-25 analizi için kiriş ve kolon kesitinin elde edilmesi açıklanmıştır.



Şekil 4.15 : Kiriş ve kolon kesitleri.

Şekil 4.15'te XTRACT-V3.0.8 programıyla tanımlanmış kiriş ve kolon kesiti görülmektedir. Burada koyu renk ile belirtilen kısım sargılanmamış bölgeyi açık renk ile belirtilen kısım ise sargılanmış bölgeyi temsil etmektedir.



Şekil 4.16 : Kiriş ve kolon için sargısız beton modeli.

Sargısız bölgeye C25/30 sınıfı beton özellikleri TBDY2018'de de verilen Şekil 3.5 beton modeli için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi dikkate alınarak tanımlanmıştır. Şekil 4.16'da XTRACT-V3.0.8 programı kiriş ve kolon için sargısız beton modeli girdileri görülmektedir.

$$\varepsilon_{co} = 0,002 \quad (4.17)$$

$$\varepsilon_u = 0,0035 \quad (4.18)$$

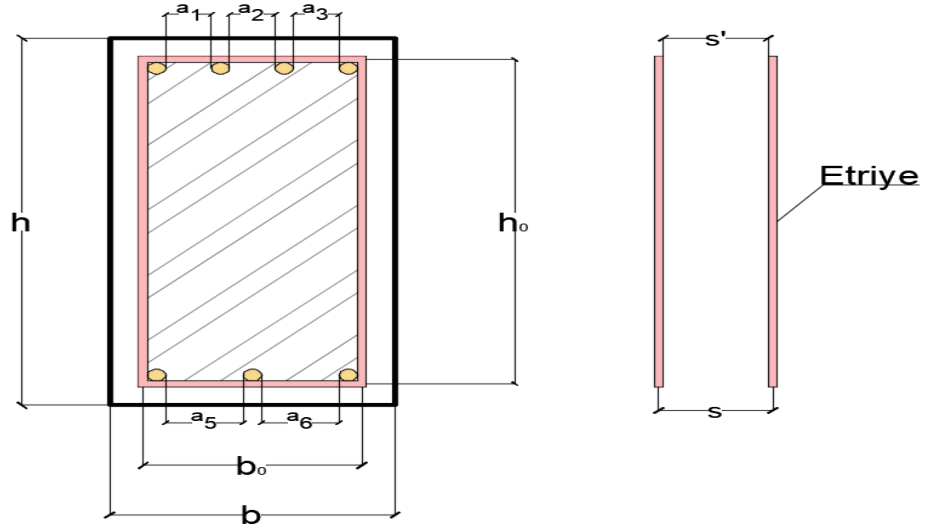
$$\varepsilon_{max} = 0,005 \quad (4.19)$$

$$E = 25000 \text{ MPa} \quad (4.20)$$

$$f_{co} = 25 \text{ MPa} \quad (4.21)$$

Burada; beton basınç birim şekil değıştirme ε_{co} en büyük birim şekil değıştirme ε_u , kırılma anındaki birim şekil değıştirme ε_{max} ile f_{co} , C25/30 sınıfı 28 günlük beton dayanımını ifade etmektedir. Elastisite modülü E , denklem 3.9 ile elde edilmiş olup, hesaplarda kullanılmıştır.

Şekil 4.17’de Mander sargılı beton modeli bağıntılarında yer alan ifadeler gösterilmiştir.



Şekil 4.17 : Kiriş için Mander sargılı beton modeli sembolleri.

3ND-25 durumu için Mander sargılı beton modeli hesapları denklem 4.22 – denklem 4.54 ile sunulmuştur.

$$a_1 = a_2 = a_3 = \frac{(250 - 2 * (25 + 8 + \frac{16}{2}))}{3} - (2 * \frac{16}{2}) = 40 \text{ mm} \quad (4.22)$$

$$a_4 = a_5 = \frac{(250 - 2 * (25 + 8 + \frac{16}{2}))}{2} - 2 * (\frac{16}{2}) = 68 \text{ mm} \quad (4.23)$$

$$h_0 = 500 - 2 * (25 + \frac{8}{2}) = 442 \text{ mm} \quad (4.24)$$

$$b_0 = 250 - 2 * (25 + \frac{8}{2}) = 192 \text{ mm} \quad (4.25)$$

$$s' = 100 - 2 * (\frac{8}{2}) = 92 \text{ mm} \quad (4.26)$$

$$A_s = 7 * \pi * \frac{16^2}{4} = 1407,434 \text{ mm}^2 \quad (4.27)$$

$$k_e = (1 - \frac{40^2 + 40^2 + 40^2 + 68^2 + 68^2}{6 * 442 * 192}) * (1 - \frac{92}{2 * 192}) * (1 - \frac{92}{2 * 442}) * (1 - \frac{1407,434}{192 * 442})^{-1} \quad (4.28)$$

$$k_e = 0,6737 \quad (4.29)$$

$$\rho_x = \frac{\frac{((\frac{\pi * 8^2}{4}) * (2 * (442 + 8)))}{100}}{(250 - 2 * 25) * (500 - 2 * 25)} = 0,00503 \quad (4.30)$$

$$\rho_y = \frac{\frac{((\frac{\pi * 8^2}{4}) * (2 * (192 + 8)))}{100}}{(250 - 2 * 25) * (500 - 2 * 25)} = 0,00223 \quad (4.31)$$

$$f_{ex} = 420 * 0,6737 * 0,00503 = 1,4222 \text{ MPa} \quad (4.32)$$

$$f_{ey} = 420 * 0,6737 * 0,00223 = 0,6321 \text{ MPa} \quad (4.33)$$

$$f_e = \frac{1,4222 + 0,6321}{2} = 1,0271 \text{ MPa} \quad (4.34)$$

$$\lambda_c = 2,254 \sqrt{1 + 7,94 * \frac{1,0271}{25} - 2 * \frac{1,0271}{25} - 1,254} = 1,2596 \quad (4.35)$$

$$f_{cc} = 1,2596 * 25 = 31,49 \text{ MPa} \quad (4.36)$$

$$\varepsilon_{cc} = 0,002 [1 + 5(1,2596 - 1)] = 0,0046 \quad (4.37)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4 * (0,00223 + 0,00503) * 420 * 0,1}{31,49} = 0,0176 \quad (4.38)$$

3SD50-25 durumu için Mander sargılı beton modeli hesapları denlem 4.39 – denklemler 4.44 ile sunulmuştur.

$$a_1 = a_2 = a_3 = \frac{(250 - 2 * (25 + 8 + \frac{16}{2}))}{3} - (2 * \frac{15,124}{2}) = 40,88 \text{ mm} \quad (4.39)$$

$$a_4 = a_5 = \frac{(250 - 2 * (25 + 8 + \frac{16}{2}))}{2} - 2 * (\frac{15,124}{2}) = 68,88 \text{ mm} \quad (4.40)$$

$$h_0 = 500 - 2 * (25,70 + \frac{6,60}{2}) = 442 \text{ mm} \quad (4.41)$$

$$b_0 = 250 - 2 * (25,70 + \frac{6,60}{2}) = 192 \text{ mm} \quad (4.42)$$

$$s' = 100 - 2 * (\frac{6,60}{2}) = 93,40 \text{ mm} \quad (4.43)$$

$$A_s = 7 * \pi * \frac{15,124^2}{4} = 1257,526 \text{ mm}^2 \quad (4.44)$$

$$k_e = \left(1 - \frac{3*40,88^2 + 2*68,88^2}{6*442*192}\right) * \left(1 - \frac{93,40}{2*192}\right) * \left(1 - \frac{93,40}{2*442}\right) * \left(1 - \frac{1257,526}{192*442}\right)^{-1} \quad (4.45)$$

$$k_e = 0,6674 \quad (4.21)$$

$$\rho_x = \frac{\left(\frac{\pi * 6,60^2}{4}\right) * (2 * (500 - 2 * 25,70))}{100} = 0,00345 \quad (4.46)$$

$$\rho_y = \frac{\left(\frac{\pi * 6,60^2}{4}\right) * (2 * (250 - 2 * 25,70))}{100} = 0,00153 \quad (4.47)$$

$$f_{ex} = 253,99 * 0,00153 * 0,6674 = 0,5846 \text{ MPa} \quad (4.48)$$

$$f_{ey} = 253,99 * 0,00345 * 0,6674 = 0,2588 \text{ MPa} \quad (4.49)$$

$$f_e = \frac{0,5846 + 0,2588}{2} = 0,4217 \text{ MPa} \quad (4.50)$$

$$\lambda_c = 2,254 \sqrt{1 + 7,94 * \frac{0,4217}{25} - 2 * \frac{0,4217}{25}} - 1,254 = 1,1125 \quad (4.51)$$

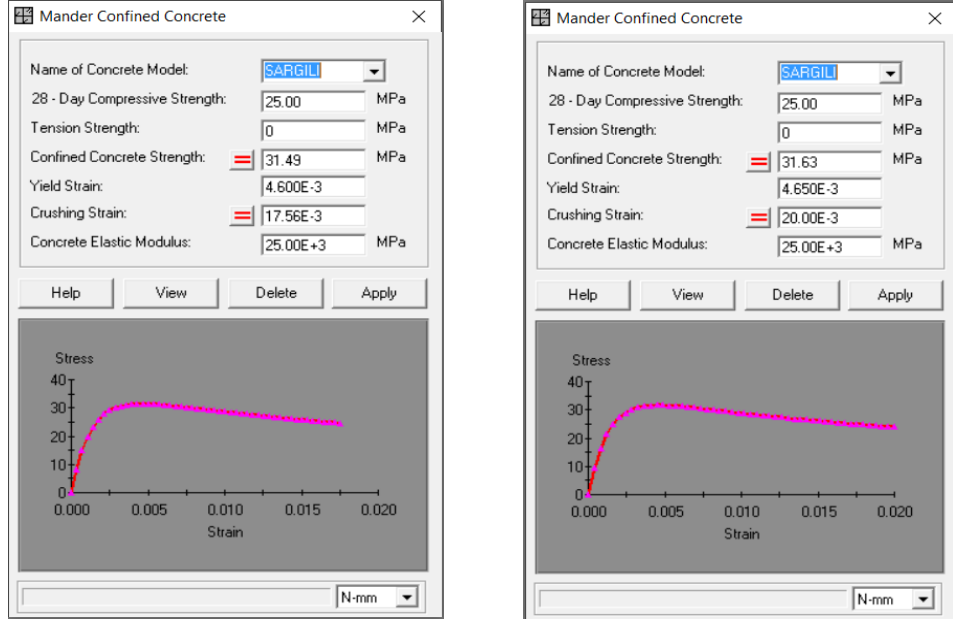
$$f_{cc} = 1,1125 * 25 = 27,81 \text{ MPa} \quad (4.52)$$

$$\varepsilon_{cc} = 0,002 [1 + 5(1,1125 - 1)] = 0,0031 \quad (4.53)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4 * (0,00153 + 0,00345) * 253,99 * 0,0378}{27,81} = 0,0064 \quad (4.54)$$

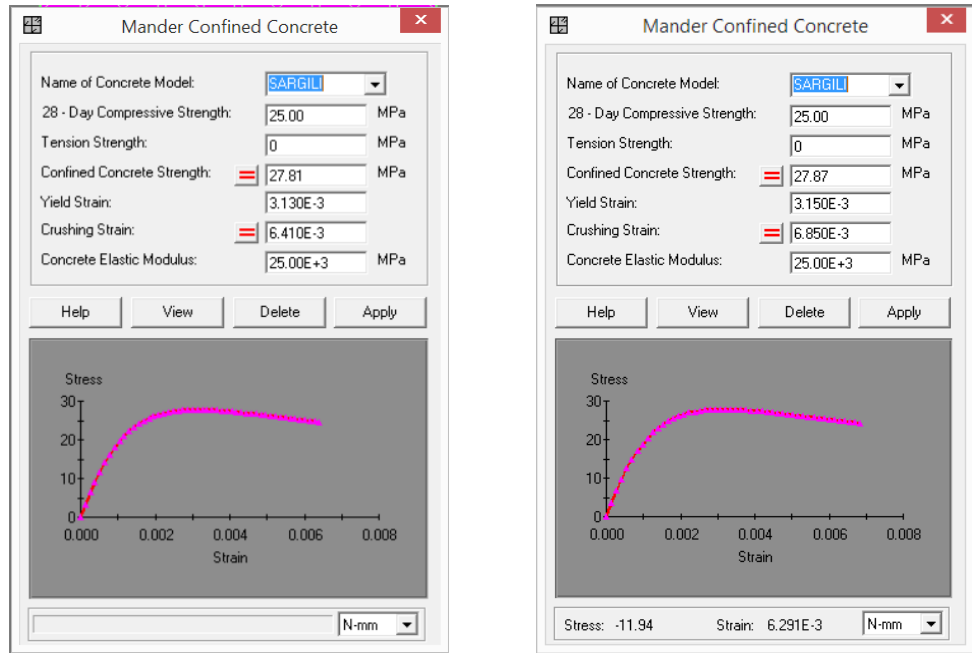
Şekil 4.18'de Mander sargılı beton modeli girdileri görülmektedir. Sargı etkisini sağlayan etriye donatısı ve mekanik özellikleri denklem 3.2 - denklem 3.9 kullanılarak sargılı beton dayanımı f_{cc} , sargılı beton basınç birim şekil değiştirme ε_{cc} sargılı beton en büyük birim şekil değiştirme ε_{cu} elde edilmiştir. Korozyonsuz durum 3ND-25 ve 3SD50-25 için kiriş sargılı beton modelleri hesap adımları sırayla

gösterilmiştir. Mander sargılı beton modeli hesaplarında kullanılan korozyona uğramamış ve korozyona uğramış kiriş elemanları için mekanik özellikler Tablo 4.9'dan alınmıştır.



a) 3ND-25 kiriş sargılı beton modeli

b) 3ND-25 kolon sargılı beton modeli



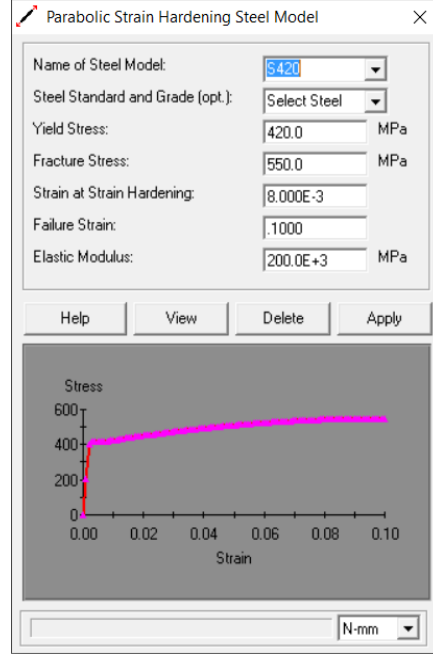
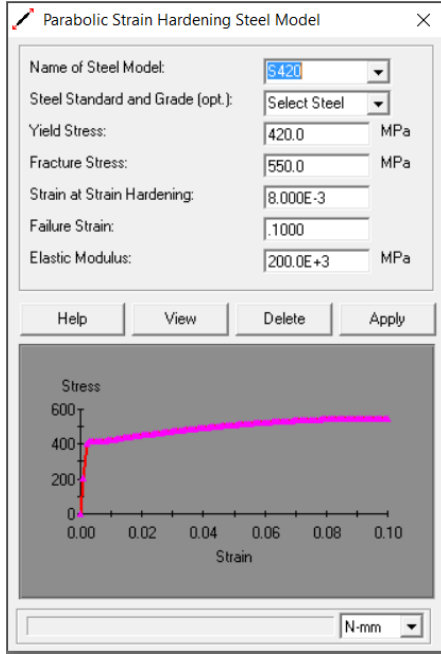
c) 3SD50-25 kiriş sargılı beton modeli

d) 3SD50-25 kolon sargılı beton modeli

Şekil 4.18 : 3ND-25 ve 3SD50-25 durumlarında kiriş ve kolon için Mander sargılı beton modelleri.

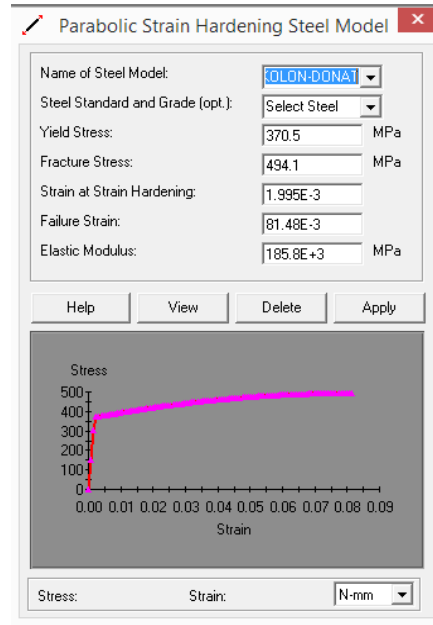
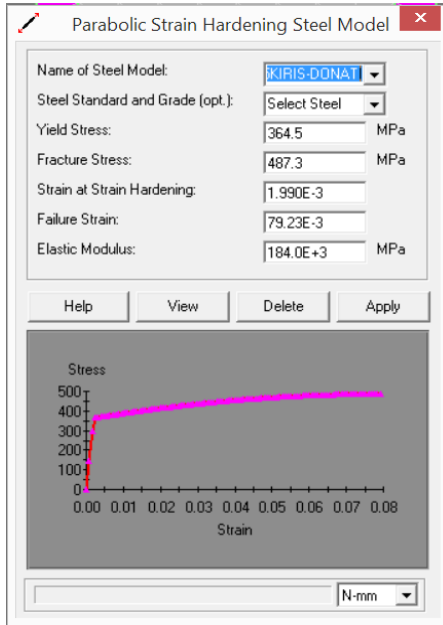
Şekil 4.18'de 3ND-25 ve 3SD50-25 durumları için kiriş ve kolon mander sargılı beton modelleri birlikte sunulmuştur. Buradaki amaç, korozyonun beton davranışı

üzerindeki etkisini en basit halde göstermektedir. Şekil 4.19’da ise kiriş ve kolon donatı çeliği mekanik özelliklerinin girişinin yapıldığı pencere görülmektedir. Burada 3ND-25 ve 3SD50-25 için korozyon sonrası oluşan boyuna donatı mekanik özellikleri Tablo 4.9’ dan alınarak programa tanımlanmıştır.



a) 3ND-25 kiriş donatı çeliği modeli

b) 3ND-25 kolon donatı çeliği modeli



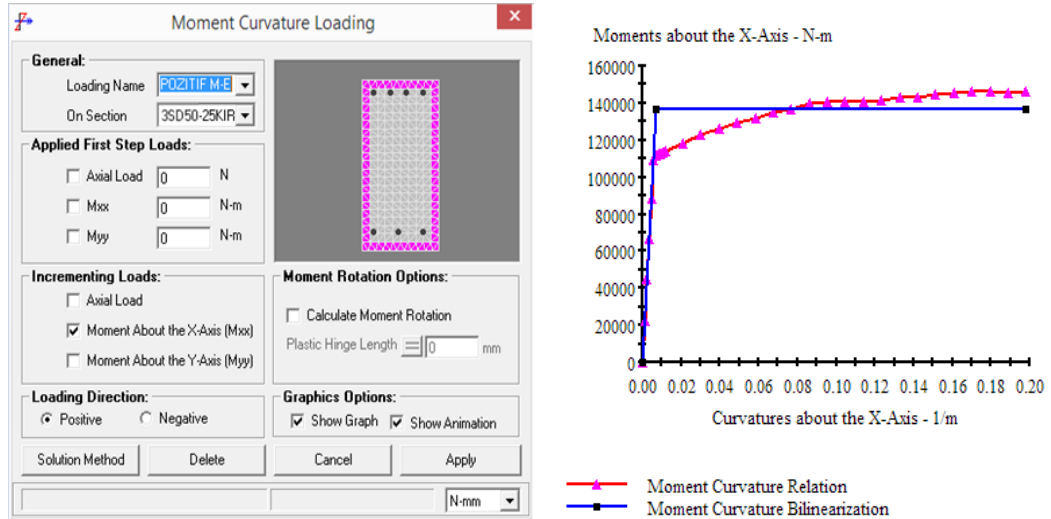
c) 3SD50-25 kiriş donatı çeliği modeli

d) 3SD50-25 kolon donatı çeliği modeli

Şekil 4.19 : 3ND-25 ve 3SD50-25 durumlarında kiriş ve kolon için donatı çeliği modeli.

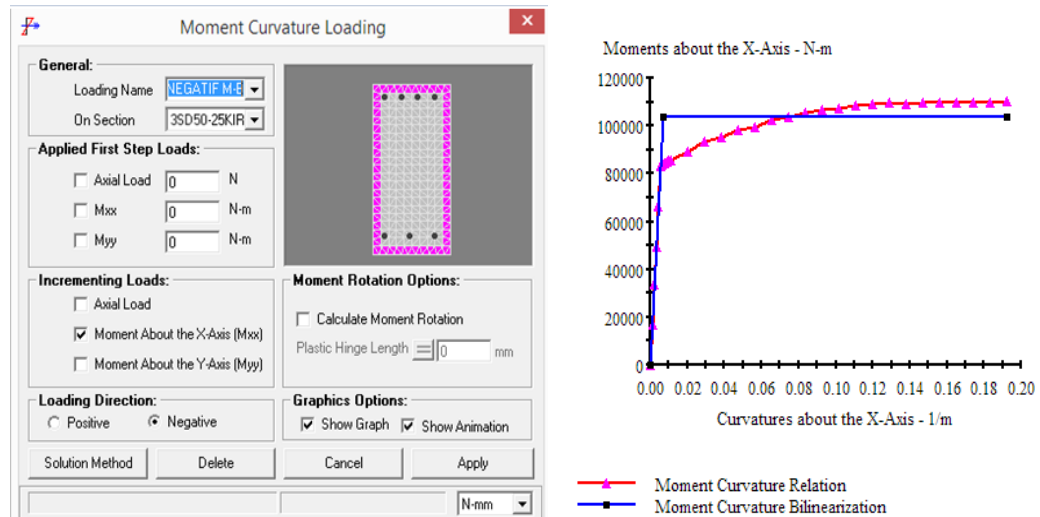
4.3.2 Kiriş moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesi

Korozyon etkisiyle tanımlanan kiriş kesiti için moment eğrilik diyagramı XTRACT-V3.0.8 programı ile elde edilmiştir. Kiriş alt ve üst donatı alanları simetrik olmadığından yükleme yönüne göre pozitif ve negatif iki diyagram tanımlamaları yapılmıştır. Şekil 4.20 ve 4.21’de pozitif ve negatif moment-eğrilik tanımlamaları 3SD50-25 örneği için görülmektedir.



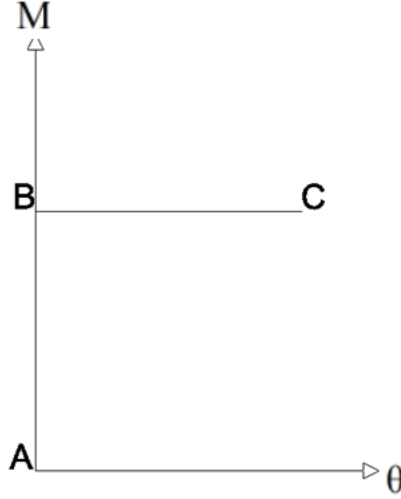
Şekil 4.20 : Kiriş pozitif moment-eğrilik diyagramı tanımlaması.

Tanımlamalar doğrultusunda her bir analiz gerçekleştirilerek diyagramlar elde edilmiştir.



Şekil 4.21 : Kiriş negatif moment-eğrilik diyagramı tanımlaması.

Kiriş için iki doğrulu idealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisinin akma ve kopma koordinatları kullanılarak akma eğriliği ve plastik eğrilik elde edilmiştir. Bu değerler de plastik mafsal boyu ile çarpılarak akma ve plastik dönme değerlerine dönüştürülmüştür. Akabinde, SAP2000-V17 programının plastik mafsal, moment-dönme tanımlanmıştır. Şekil 4.22’de SAP2000-V17 programına aktarılan noktalar şematik olarak izah edilmiştir.



Şekil 4.22 : Programa aktarılan moment-eğrilik-dönme noktaları.

Burada, kiriş negatif için efektif moment 103,7 kNm, akma eğriliği 0,00685 1/m ve kopma eğriliği 0,1921 1/m olup plastik eğrilik 0,1825 1/m’dir. Plastik mafsal uzunluğu, kiriş kesit yüksekliğinin yarısıdır. Burada XTRACT-V3.0.8 programı ile elde edilen veriler ters işaretli olarak, SAP2000-V17 programına aktarılmıştır.

Tablo 4.10 : 3SD50-25 analizi için XTRACT-V3.0.8 moment dönme değerleri.

NOKTALAR	XTRACT NEGATİF			
	Efektif Moment (kNm)	Eğrilik (1/m)	L_p (m)	Dönme (rad)
A	0	0	0,25	0
B	103,7	0,00685	0,25	0,0017125
C	103,7	0,18525	0,25	0,0463125
NOKTALAR	XTRACT POZİTİF			
	Efektif Moment (kNm)	Eğrilik (1/m)	L_p (m)	Dönme (rad)
A	0	0	0,25	0
B	136,8	0,007217	0,25	0,0018043
C	136,8	0,190783	0,25	0,0476958

Tablo 4.10’ da 3SD50-25 analizi için XTRACT-V3.0.8 programı kullanılarak elde edilen moment dönme değerleri görülmektedir. Bu değerlerin SAP2000-V17’ ye aktarılmış durumu da Tablo 4.11’ de sunulmuştur.

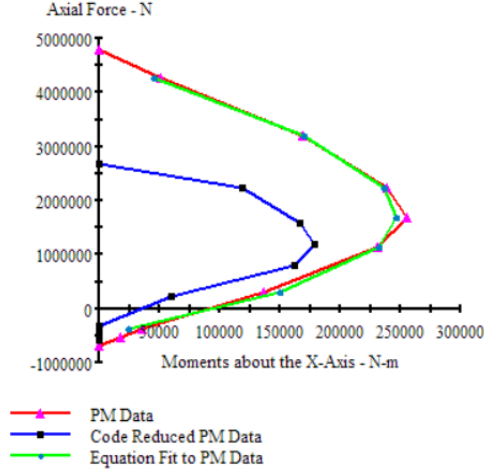
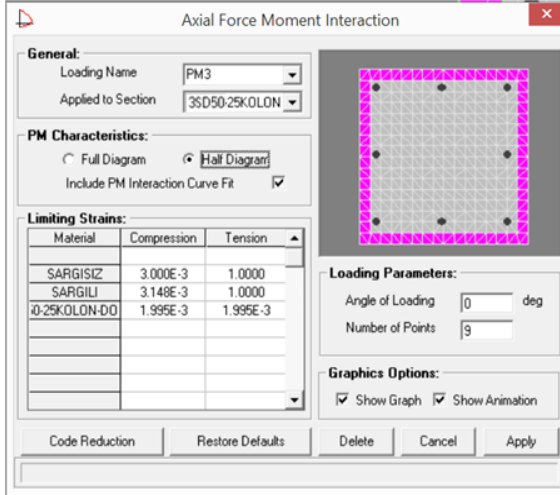
Tablo 4.11 : 3SD50-25 analizi için SAP2000-V17 moment dönme değerleri.

NOKTALAR	SAP2000 POZİTİF			
	Efektif Moment	Dönme	Moment Faktörü	Dönme Faktörü
A	0	0	103,7	0,0017125
B	1	0		
C	1	27,044		
NOKTALAR	SAP2000 NEGATİF			
	Efektif Moment	Dönme	Moment Faktörü	Dönme Faktörü
A	0	0	136,8	0,00180425
B	-1	0		
C	-1	-26,435		

Bu değerler Şekil 4.49 ile SAP2000-V17 programına aktarılmıştır.

4.3.3 Kolon karşılıklı etki diyagramlarının elde edilmesi

Kolonların yatay eleman kirişlerden farklı olarak plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasında öncelikle karşılıklı etki diyagramlarının elde edilmesi gerekmektedir. Daha sonra elde edilen moment-normal kuvvet diyagramından kolon aksinel yük taşıma kapasitesinin %40 ve %10 seviyelerinde belirlenecek normal kuvvetlere göre moment eğrilik diyagramı çizilmektedir. XTRACT-V3.0.8 programı ile önceden belirlenen nokta sayısı kadar noktadan geçen diyagram elde edilir. Elde edilen noktaların koordinatları SAP2000-V17 programının plastik mafsallık, karşılıklı etki diyagramı girdisini teşkil etmektedir. Burada XTRACT-V3.0.8 programı ile elde edilen verilerin ters işaretli olarak, SAP2000-V17 programına aktarıldığı unutulmamalıdır.



Şekil 4.23 : Kolon karşılık etki diyagramı tanımlaması.

Şekil 4.23'te analizi tanımlanan simetrik kolon kesiti için yarım diyagram sekmesi kullanıldığı ve belirlenen dokuz noktadan geçen analiz sonucu görülmektedir.

Tablo 4.12'de 3SD50-25 analizi için XTRACT-V3.0.8 programı kullanılarak elde edilen karşılık etki diyagramı değerleri ve bu değerlerin SAP2000-V17'ye aktarılmış durumu sunulmuştur.

Tablo 4.12 : Kolon karşılıklı etki diyagramı değerleri.

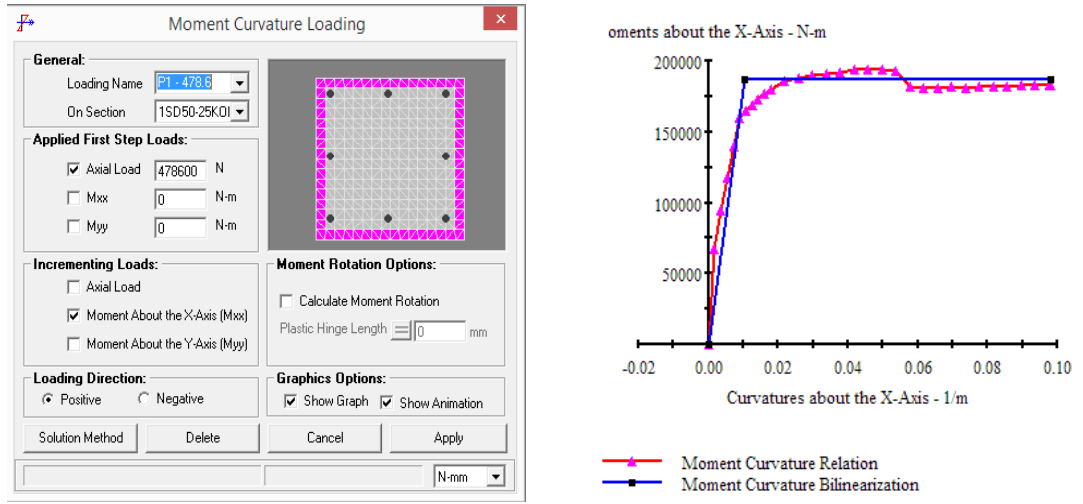
XTRACT		SAP2000 – PM3	
Moment (kNm)	Kuvvet (kN)	Moment (kNm)	Kuvvet (kN)
0	4786	0	-4786
51,13	4268	51,13	-4268
169,1	3202	169,1	-3202
238,7	2248	238,7	-2248
255,6	1694	255,6	-1694
231,5	1139	231,5	-1139
136,9	299	136,9	-299
35,95	-379,3	35,95	379,3
17,97	-531	17,97	531
0	-682,6	0	682,6

Bu değerlerin Şekil 4.50 ile SAP2000-V17' e girişleri gösterilmiştir.

4.3.4 Kolon moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesi

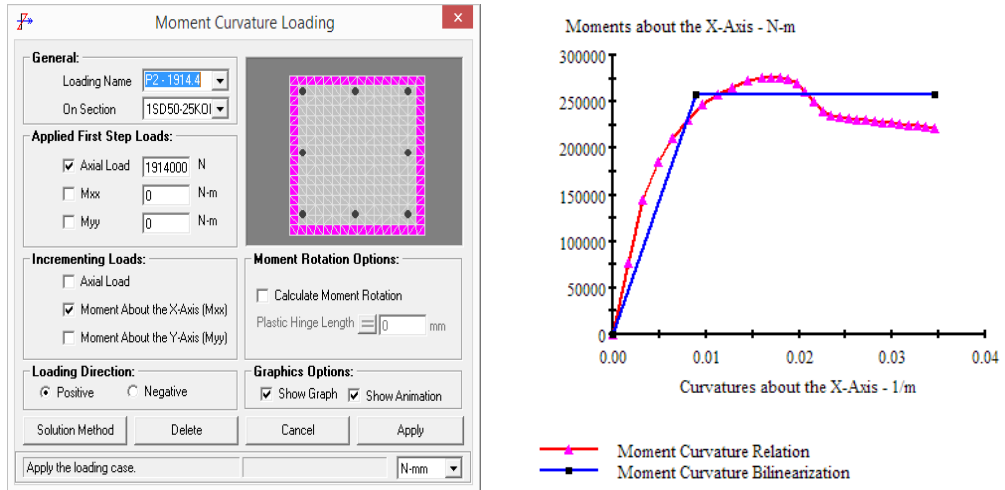
Karşılıklı etki diyagramı ile eksenel yük taşıma kapasitesinin %10'u P_1 , 478,6 kN, %40'ı P_2 , 1914,4 kN elde edilmiştir. Her iki eksenel yük değeri için XTRACT-V3.0.8 programı kullanılarak moment-eğrilik diyagramları elde edilmiş ve SAP2000-

V17 programına veri olarak aktarılmıştır. Şekil 4.24'te P_1 , Şekil 4.24'te P_2 için moment-eğrilik tanımlaması görülmektedir.



Şekil 4.24 : P_1 için kolon moment-eğrilik tanımlaması.

Aynı kirişte olduğu gibi kolonlar için de elde edilen biliner eğrinin akma ve kopma koordinatları kullanılarak akma eğriliği ve plastik eğrilik elde edilir. Bu değerler de plastik mafsalsal boyu ile çarpılarak akma ve plastik dönme değerleri elde edilir.



Şekil 4.25 : P_2 için kolon moment-eğrilik tanımlaması.

Şekil 4.24 ve 4.25 ile elde edilen değerler, SAP2000-V17 programının plastik mafsalsal, moment-dönme girdisini teşkil etmektedir. Tablo 4.13'te 3SD50-25 analizi için XTRACT-V3.0.8 programı kullanılarak kolon için P_1 ve P_2 eksenel yüklerine göre elde edilen moment dönme değerleri görülmektedir.

Tablo 4.13 : Kolon karşılıklı etki diyagramı değerleri.

NOKTALAR	XTRACT – P1 (478,6 kN)			
	Efektif Moment (kNm)	Eğrilik (1/m)	L _p (m)	Dönme (rad)
A	0	0	0,2	0
B	186,7	0,01048	0,2	0,00210
C	186,7	0,09805	0,2	0,01961
NOKTALAR	XTRACT – P2 (1914,4 kN)			
	Efektif Moment (kNm)	Eğrilik (1/m)	L _p (m)	Dönme (rad)
A	0	0	0,2	0
B	257,1	0,008938	0,2	0,00179
C	257,1	0,034620	0,2	0,00692

Elde edilen değerlerin SAP2000-V17'ye aktarılmış durumu da Tablo 4.14'te sunulmuştur.

Tablo 4.14 : Kolon karşılıklı etki diyagramı değerleri.

NOKTALAR	SAP2000 – P1 (478,6 kN)			
	Efektif Moment	Dönme	Moment Faktörü	Dönme Faktörü
A	0	0	186,7	1
B	1	0		
C	1	0,017514		
NOKTALAR	SAP2000 – P2 (1914,4 kN)			
	Efektif Moment	Dönme	Moment Faktörü	Dönme Faktörü
A	0	0	257,1	1
B	1	0		
C	1	0,005136		

Burada gerek giriş gerekse kolon için B-C bölgesi plastik davranışın sergilendiği bölgeyi temsil etmektedir. Bu sebeple hesaplarda en büyük dönme veya eğrilik değerinden akma anındaki dönme veya eğrilik değeri çıkarılarak tanımlanmıştır. Bu değerler Şekil 4.33 ile SAP2000-V17 programına aktarılmıştır.

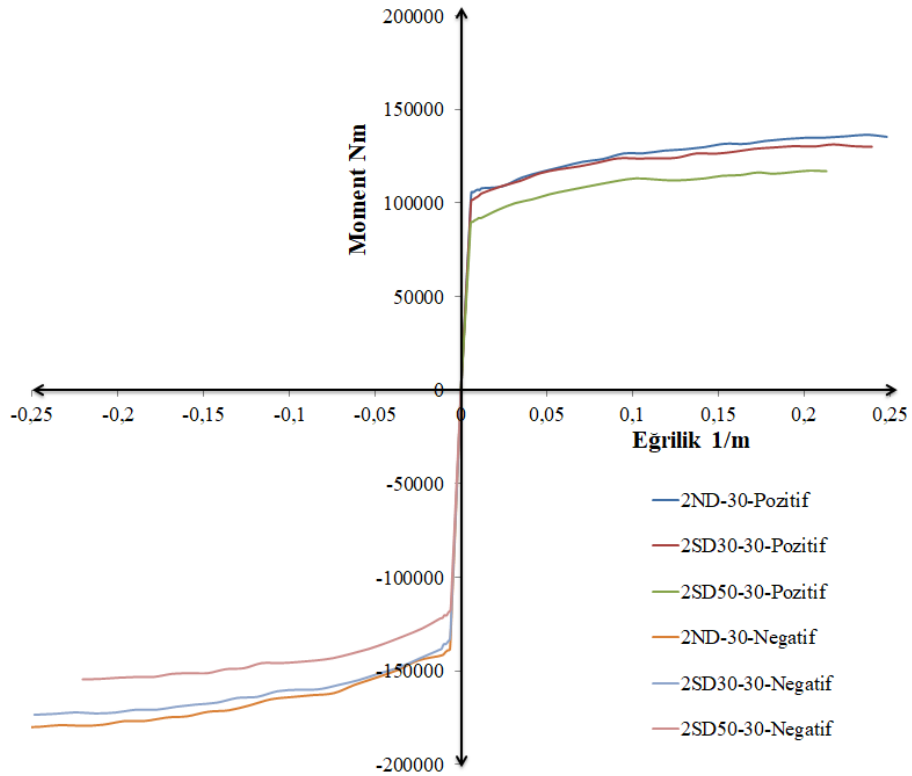
Plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanmasından sonra SAP2000-V17 programıyla çerçeve model oluşturularak itme analizi TBDY2018'e göre gerçekleştirilmiştir.

Diğer analizler için elde edilen sonuçlar EKLER bölümünde sunulmuştur.

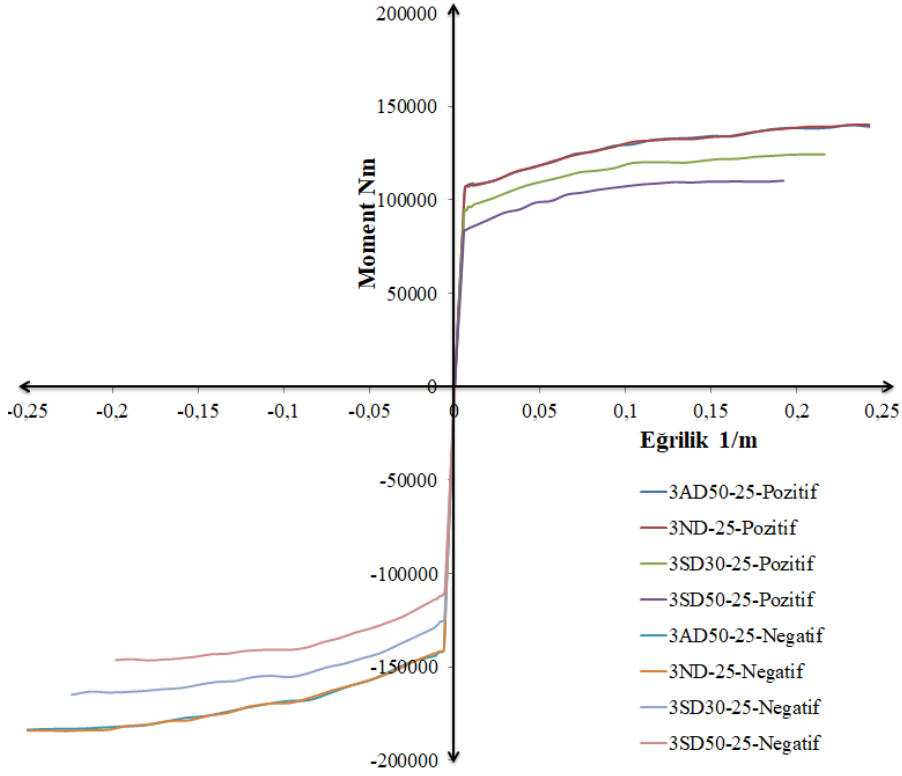
4.4 Korozyon Etkisindeki Kiriş Yapı Elemanlarının Moment-Eğrilik İlişkilerinin İncelenmesi

Önceki bölümlerde açıklandığı üzere XTRACT programı ile elde edilen korozyon etkisindeki kiriş yapı elemanlarının moment-eğrilik ilişkileri bu bölümde incelenmiştir.

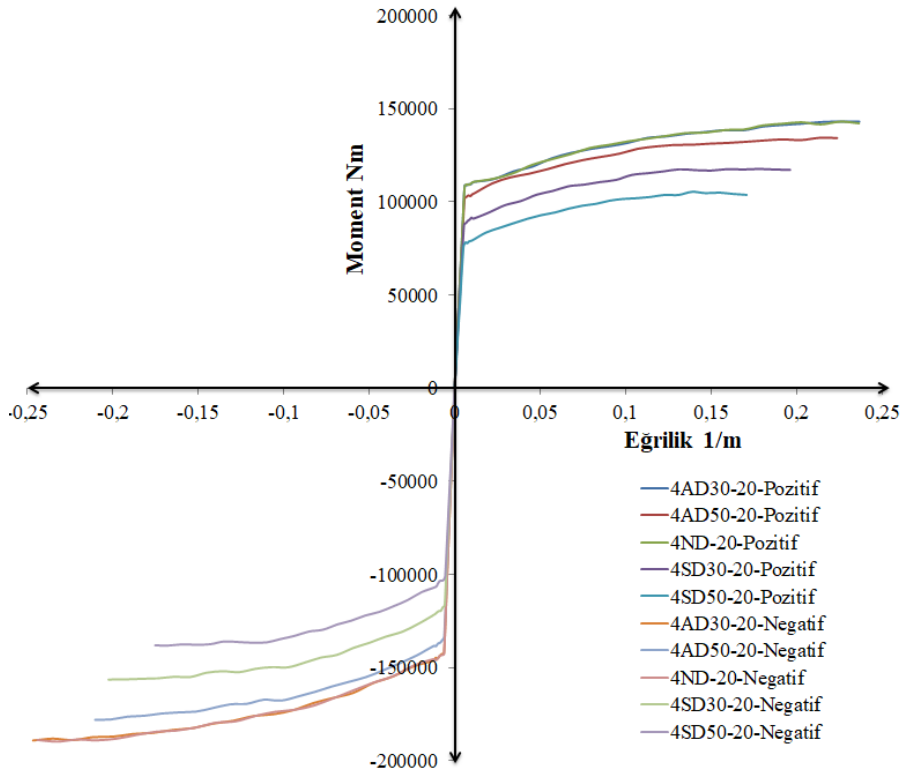
40 mm net beton örtüsü kullanıldığı durumda incelenen sayısal örnek için önemli bir değişim gözlenmemiştir. 30 mm net beton örütüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.26'da; 25 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.27'de; 20 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.28'de ve 15 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.29'da sunulmuştur.



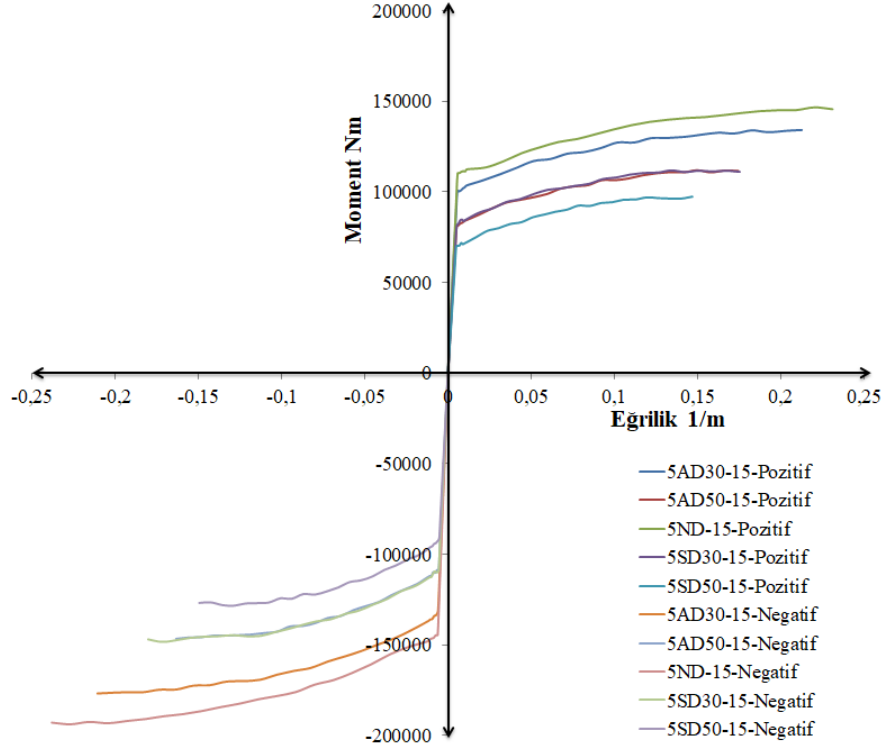
Şekil 4.26 : 30 mm net beton örtüsü (2. grup analizler) için kiriş moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.27 :25 mm net beton örtüsü (3. grup analizler) için kiriş moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.28 :20 mm net beton örtüsü (4. grup analizler) için kiriş moment-eğrilik ilişkisi.

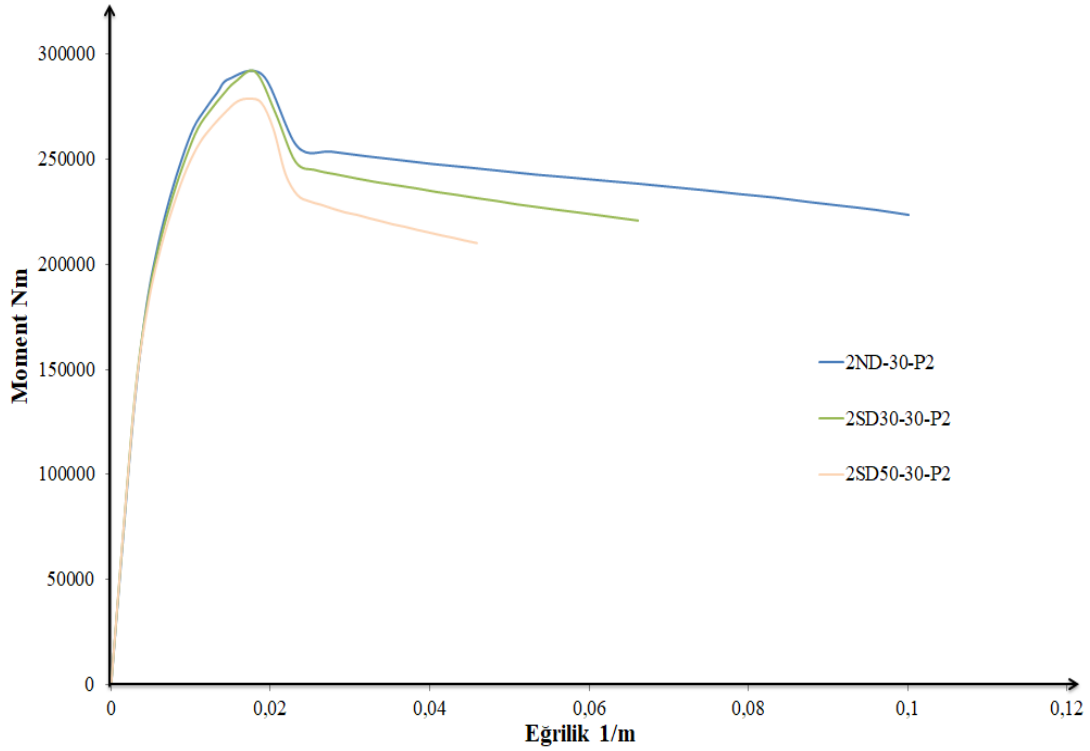
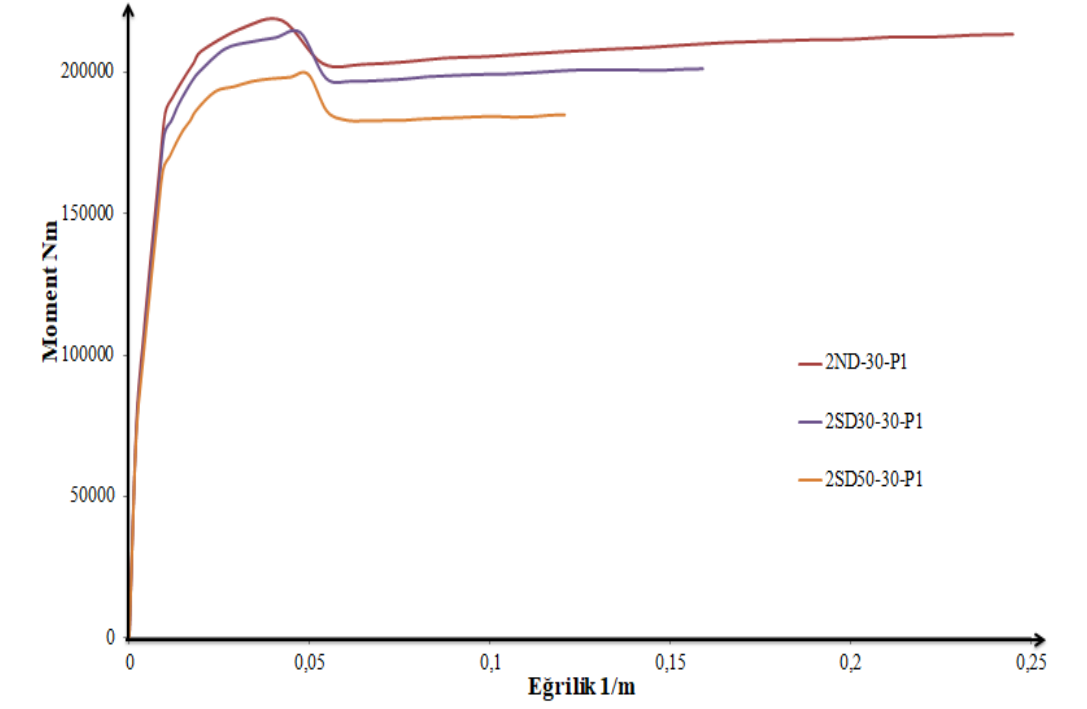


Şekil 4.29 :15 mm net beton örtüsü (5. grup analizler) için kiriş moment-eğrilik ilişkisi.

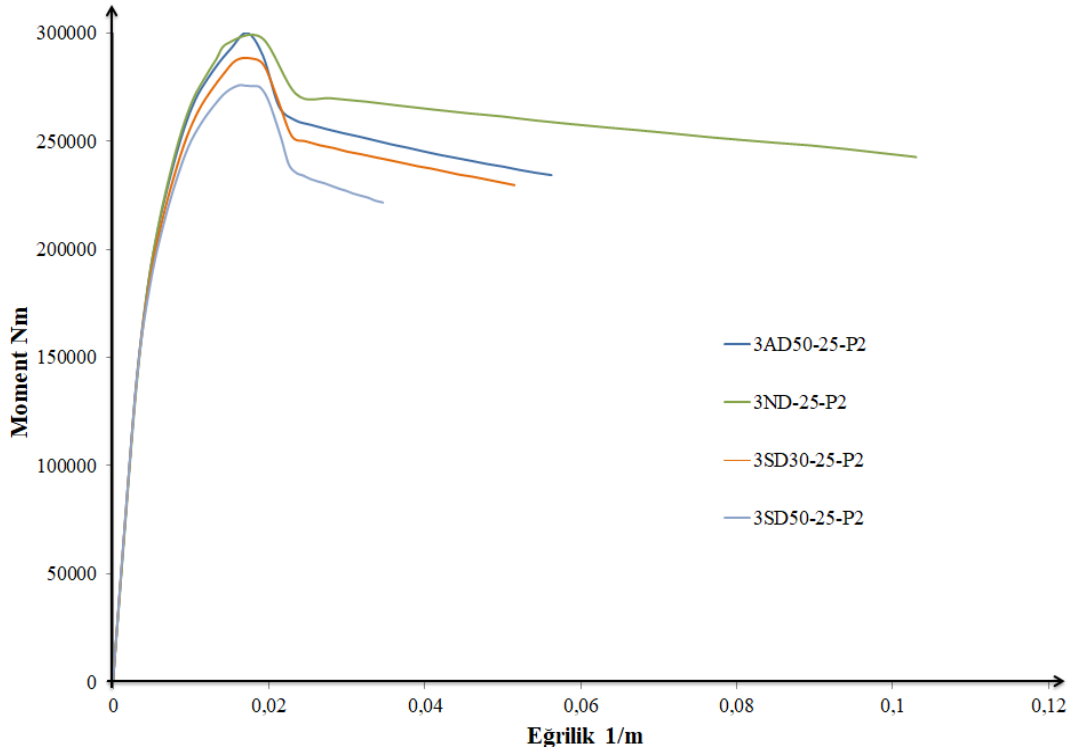
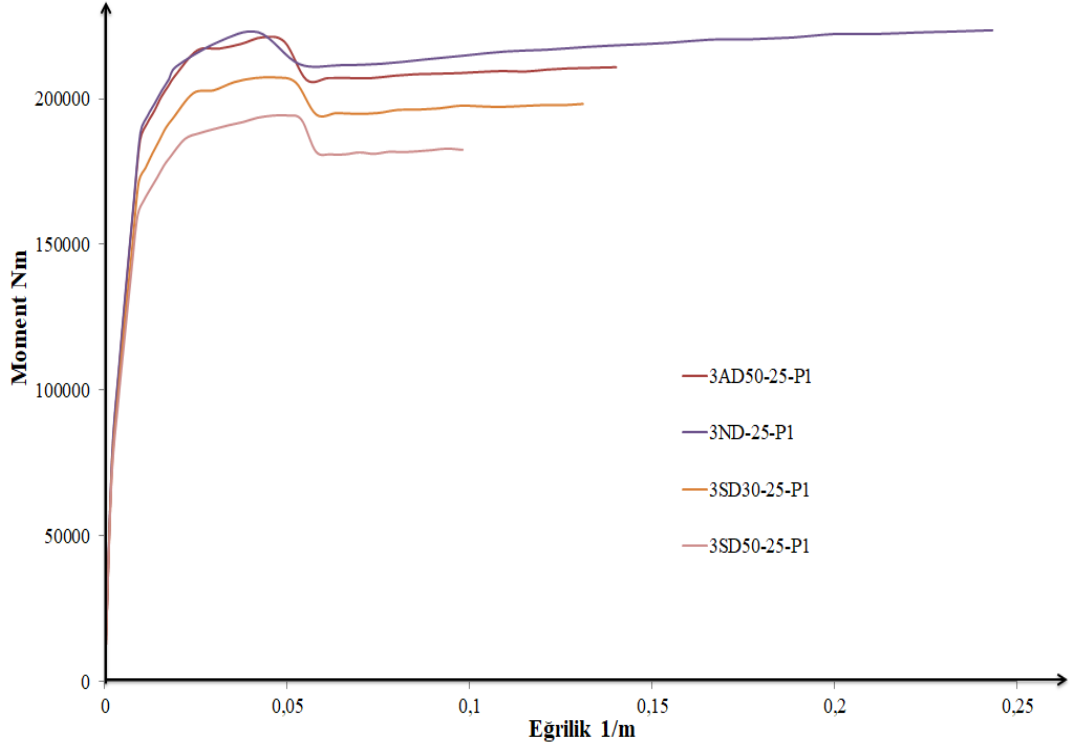
4.5 Korozyon Etkisindeki Kolon Yapı Elemanlarının Moment-Eğrilik İlişkilerinin İncelenmesi

Önceki bölümlerde açıklandığı üzere XTRACT programı ile elde edilen korozyon etkisindeki kolon yapı elemanlarının moment-eğrilik ilişkileri bu bölümde P_1 için %10 ve P_2 için %40 aksenal yük seviyelerine göre ayrı ayrı incelenmiştir.

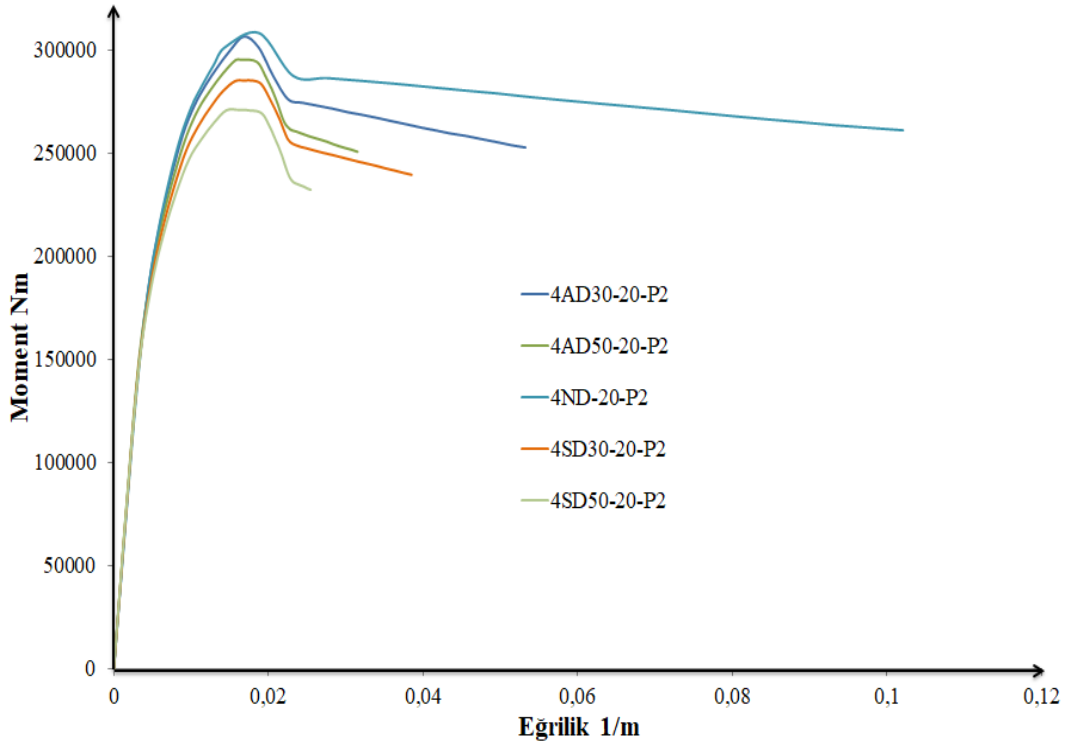
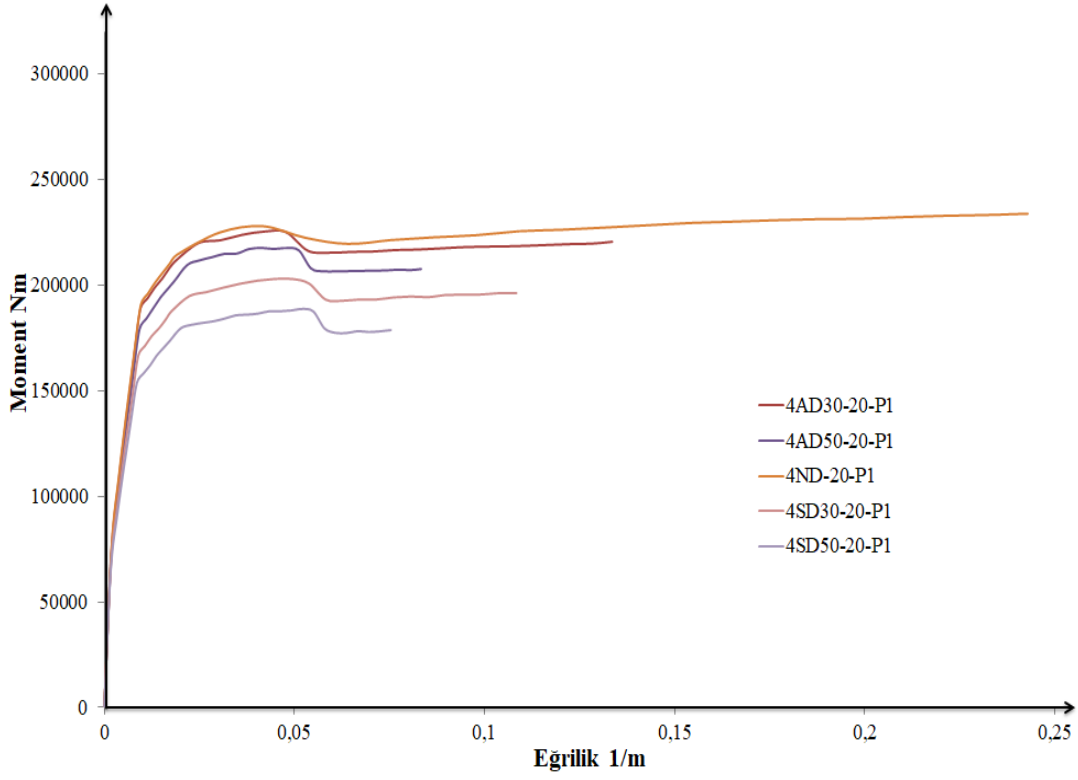
40 mm net beton örtüsü kullanıldığı durumda incelenen sayısal örnek için önemli bir değişim gözlenmemiştir. 30 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.30'da; 25 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.31'de; 20 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.32'de ve 15 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.33'te sunulmuştur.



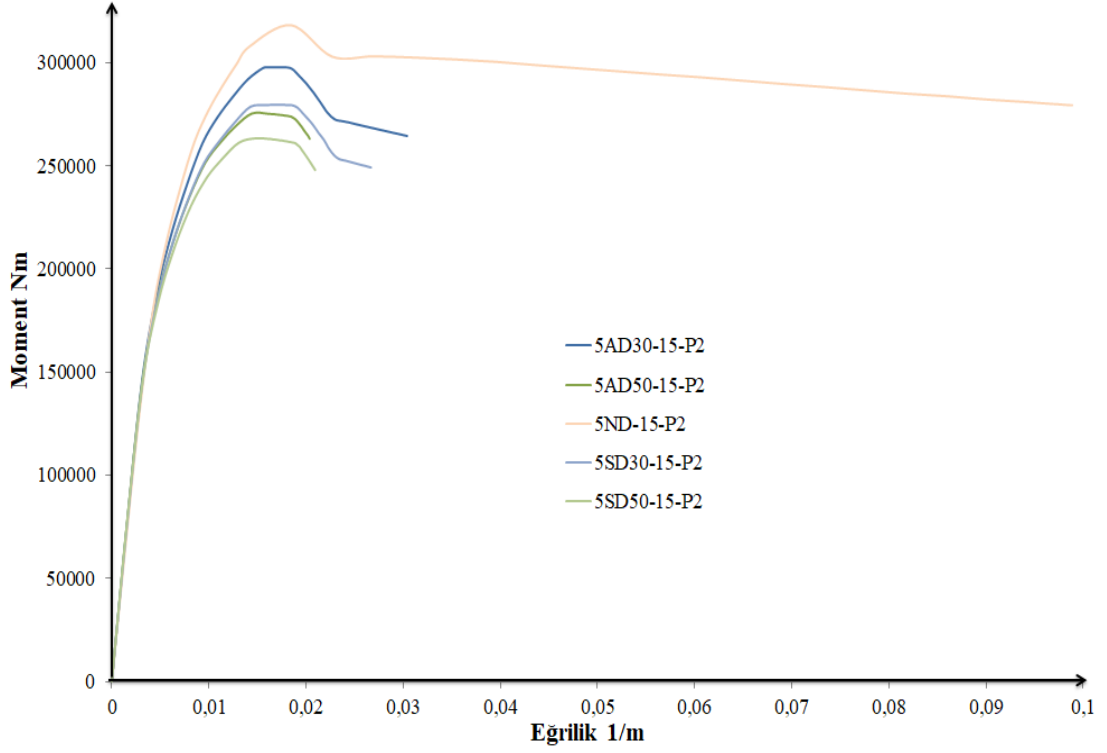
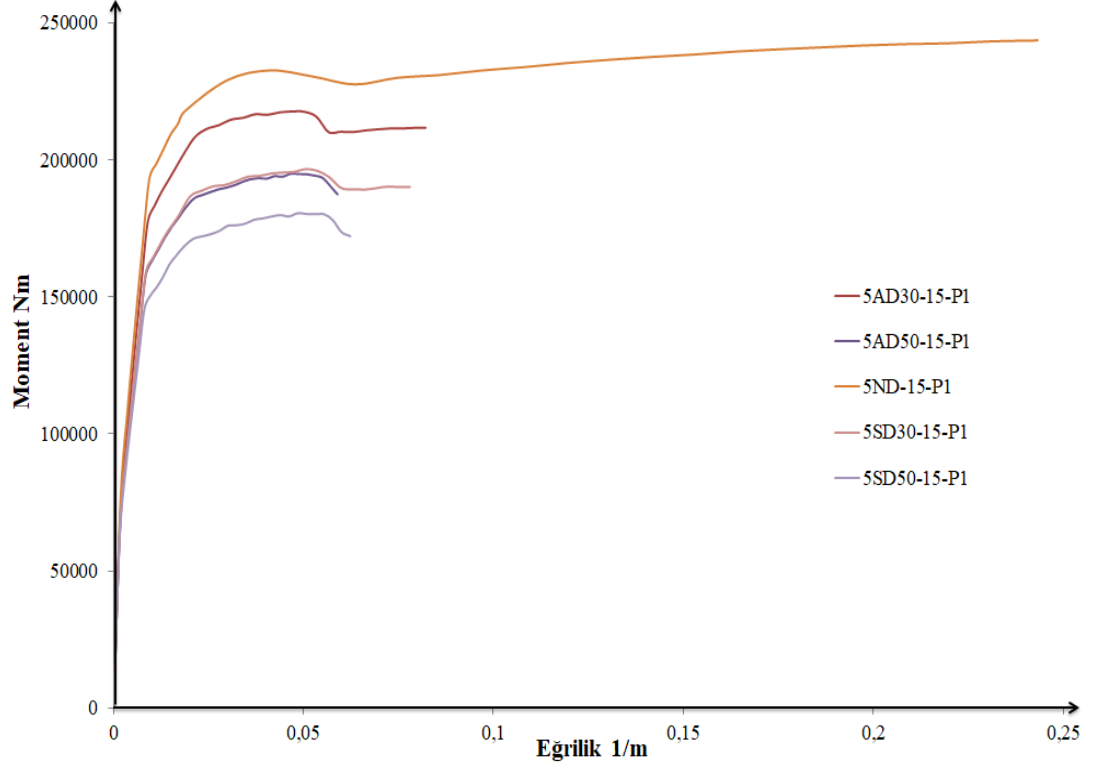
Şekil 4.30 : 30 mm net beton örtüsü (2. grup analizler) için kolon moment-eğrilik ilişkisi a. P₁ %10 aksenal yük seviyesi b. P₂ %40 aksenal yük seviyesi.



Şekil 4.31 : 25 mm net beton örtüsü (3. grup analizler) için kolon moment-eğrilik ilişkisi a. P₁ %10 eksenel yük seviyesi b. P₂ %40 eksenel yük seviyesi.



Şekil 4.32 : 20 mm net beton örtüsü (4. grup analizler) için kolon moment-eğrilik ilişkisi a. P₁ %10 eksenel yük seviyesi b. P₂ %40 eksenel yük seviyesi.

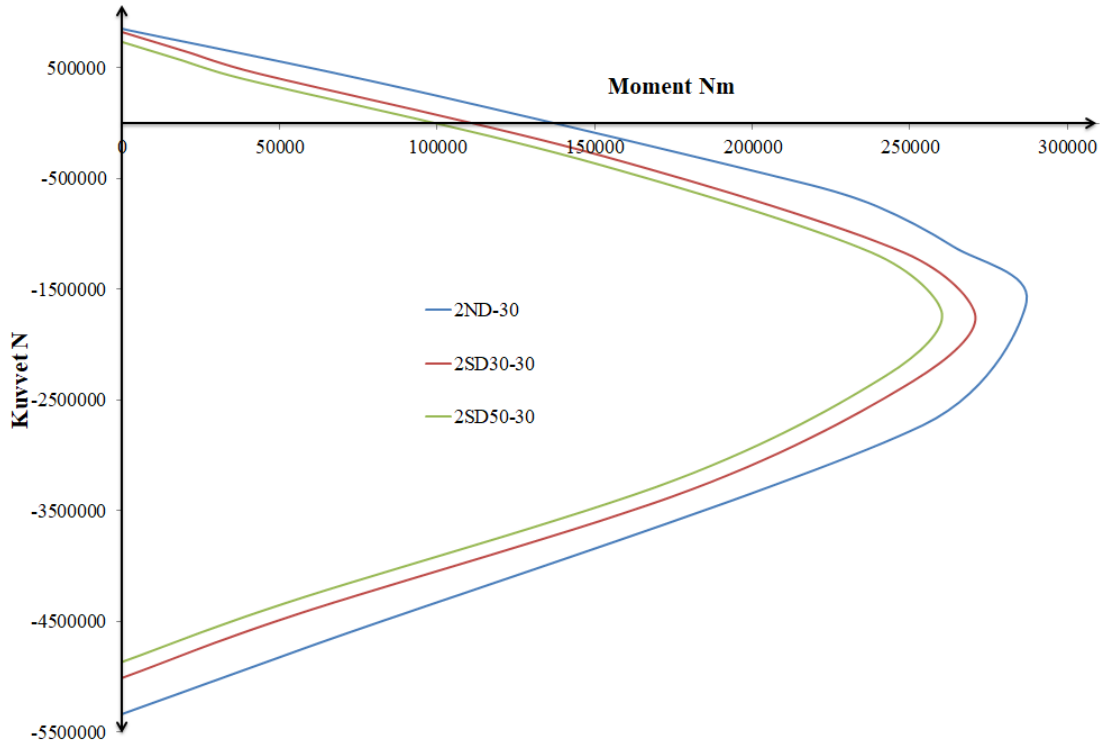


Şekil 4.33 : 15 mm net beton örtüsü (5. grup analizler) için kolon moment-eğrilik ilişkisi a. P₁ %10 aksenal yük seviyesi b. P₂ %40 aksenal yük seviyesi.

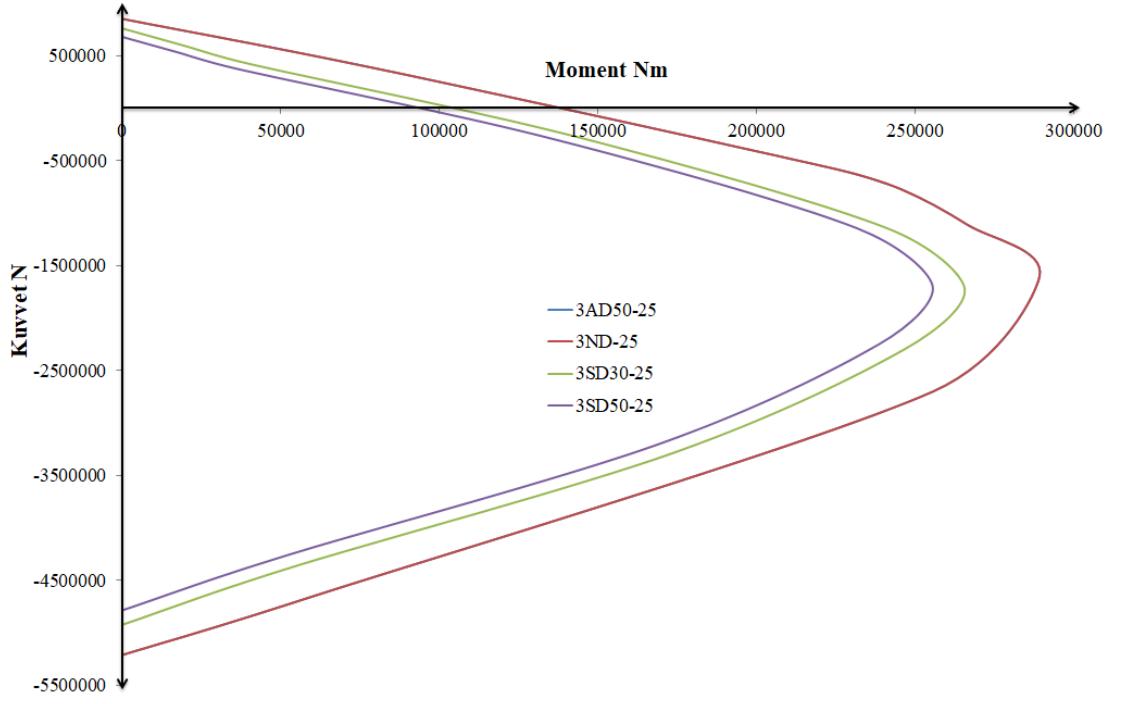
4.6 Korozyon Etkisindeki Kolon Yapı Elemanlarının Karşılıklı Etki Diyagramlarının İncelenmesi

Önceki bölümlerde açıklandığı üzere XTRACT programı ile elde edilen korozyon etkisindeki kolon yapı elemanlarının karşılıklı etki diyagramları incelenmiştir.

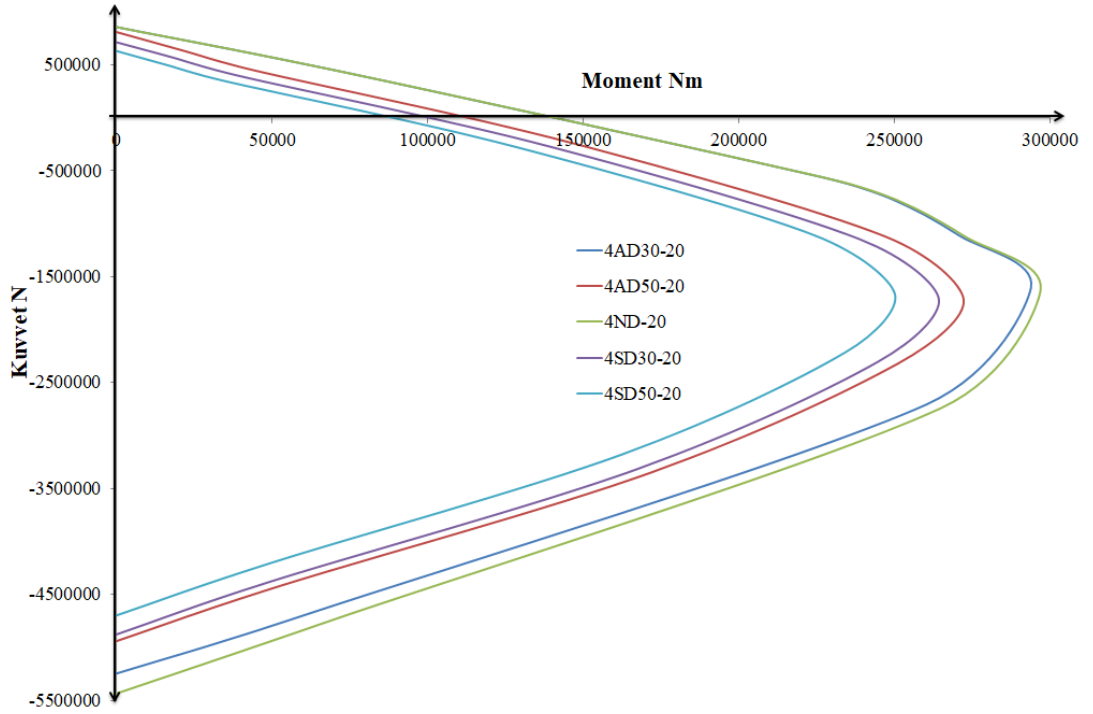
40 mm net beton örtüsü kullanıldığı durumda incelenen sayısal örnek için önemli bir değişim gözlenmemiştir. 30 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.34’de; 25 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.35’te; 20 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.36’da ve 15 mm net beton örtüsü için moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.37’de sunulmuştur.



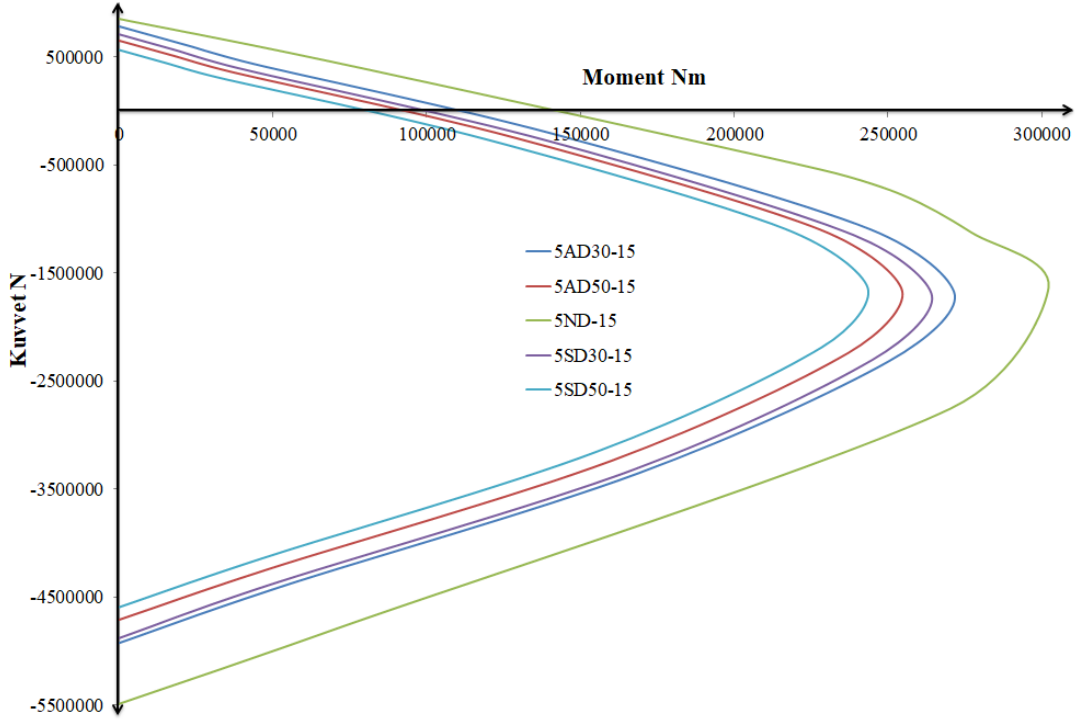
Şekil 4.34 : 30 mm net beton örtüsü (2. grup analizler) için kolon karşılıklı etki diyagramları



Şekil 4.35 : 25 mm net beton örtüsü (3. grup analizler) için kolon karşılıklı etki diyagramları



Şekil 4.36 : 20 mm net beton örtüsü (4. grup analizler) için kolon karşılıklı etki diyagramları



Şekil 4.37 : 15 mm net beton örtüsü (5. grup analizler) için kolon karşılıklı etki diyagramları

4.7 Sabit Tek Modlu İtme Analizi

Bu bölümde, betonarme yapılarda doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden sabit tek modlu itme yöntemi TBDY2018 esaslarına göre korozyon etkileri dikkate alınarak sayısal uygulama modellenmiştir. Betonarme çerçevenin sabit tek modlu itme analizi hesap adımları bu bölümde gösterilmiştir.

4.7.1 Betonarme çerçeve modeli

Betonarme çerçeve, SAP2000-V17 programıyla modellenerek adım adım itme analizi gerçekleştirilmiştir. Çerçevede korozyon etkileri de dikkate alınmış, kolon ve kiriş birleşim bölgeleri rijit kabul edilmiş, birinci mod şekliyle uyumlu olarak analizler gerçekleştirilmiştir. Burada, 3SD50-25 analizi için sabit tek modlu itme yöntemiyle itme eğrisinin elde edilmesi adım adım irdelenmiştir.

4.7.1.1 Malzeme girdileri

Korozyona maruz donatı çeliği hem etriye donatısında hem kiriş donatısında hem de kolon donatısındaki farklı etkilerinden dolayı ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Şekil 4.38’de etriye donatısı veri girdileri görülmektedir. Bu değerler Tablo 4.9’dan alınmıştır.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for the material 'ETRIYE'. The 'General Data' section includes the material name 'ETRIYE' and type 'Rebar'. The 'Weight and Mass' section has empty input fields for 'Weight per Unit Volume' and 'Mass per Unit Volume', and a 'Units' dropdown set to 'KN, m, C'. The 'Uniaxial Property Data' section contains the following values: Modulus of Elasticity, E (1.522E+08), Poisson (0), Coefficient of Thermal Expansion, A (1.200E-05), and Shear Modulus, G (0). The 'Other Properties for Rebar Materials' section includes: Minimum Yield Stress, Fy (253985.99), Minimum Tensile Stress, Fu (362405.4), Expected Yield Stress, Fye (253985.99), and Expected Tensile Stress, Fue (362405.4). There is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

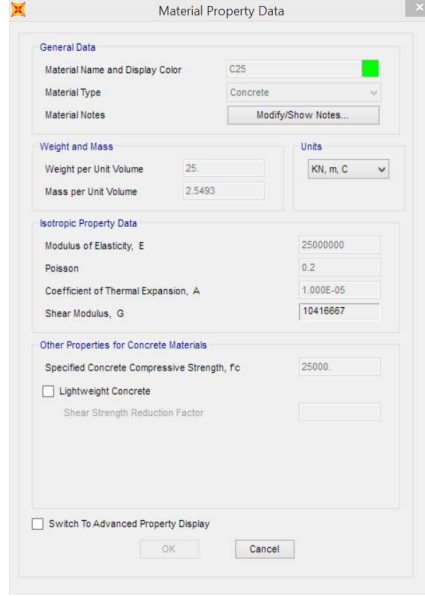
Şekil 4.38 : 3SD50-25 analizi için etriye donatısı veri girişi.

Şekil 4.39’da ise kiriş boyuna donatı ve kolon boyuna donatı veri girişi görülmektedir. Bu değerler Tablo 4.9’da verilmiştir.

The image shows two side-by-side screenshots of the 'Material Property Data' dialog box. The left screenshot is for the material 'KRIS-DONATI' and the right is for 'KOLON-DONATI'. Both dialog boxes have the same layout as the one in Şekil 4.38. The 'Uniaxial Property Data' section for 'KRIS-DONATI' has the following values: Modulus of Elasticity, E (1.840E+08), Poisson (0), Coefficient of Thermal Expansion, A (1.200E-05), and Shear Modulus, G (0). The 'Other Properties for Rebar Materials' section includes: Minimum Yield Stress, Fy (364529), Minimum Tensile Stress, Fu (487318.2), Expected Yield Stress, Fye (364529), and Expected Tensile Stress, Fue (487318.2). The 'Uniaxial Property Data' section for 'KOLON-DONATI' has the following values: Modulus of Elasticity, E (1.858E+08), Poisson (0), Coefficient of Thermal Expansion, A (1.200E-05), and Shear Modulus, G (0). The 'Other Properties for Rebar Materials' section includes: Minimum Yield Stress, Fy (370538.2), Minimum Tensile Stress, Fu (494108.6), Expected Yield Stress, Fye (370538.2), and Expected Tensile Stress, Fue (494108.6). Both dialog boxes have a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Şekil 4.39 : 3SD50-25 analizi kiriş boyuna donatı ve kolon boyuna donatı girişi.

Şekil 4.40'ta da beton modeli girdileri görülmektedir. Burada Mander beton modelinde belirlenen elastisite modülü kullanılmıştır. Yapılan korozyon hesaplarında beton mekanik özelliklerinin değişimi irdelenmemiştir.



Şekil 4.40 : 3SD50-25 analizi beton modeli girişi.

4.7.1.2 Etkin kesit rijitlik çarpanlarının belirlenmesi

Bölüm 3.3'te belirtildiği üzere kolon ve kiriş yapı elemanları için rijitlik çarpanları denklem 3.12 ve denklem 3.13 yardımıyla hesaplanmıştır. Burada 3SD50-25 analizi için kiriş rijitlik çarpanının hesabı yer almakta olup denklem 4.55 - denklem 4.58 ile sunulmuştur. Burada ϕ_y Tablo 4.10'dan 0,0072 1/m, L_s 2,5 m, d_b donatı ortalama çapı 0,016 m, h kesit yüksekliği 0,5 m ve M yine Tablo 4. 10'dan 136,8 kNm olarak elde edilmiştir.

$$\theta_y = \frac{0,0072 * 2,5}{3} + 0,0015 * (1) * (1 + 1,5 * \frac{0,5}{2,5}) + \frac{0,0072 * 0,016 * 437,435}{8\sqrt{32,5}} \quad (4.55)$$

$$\theta_y = 0,00907 \text{ rad} \quad (4.56)$$

$$(EI)_e = \frac{136,8}{0,00907} \frac{2,5}{3} = 12566,548 \text{ kNm}^2 \quad (4.57)$$

$$R_{\zeta} = \frac{12566,548}{25000000 * 0,002604167} = 0,193 \quad (4.58)$$

3SD50-25 analizi için diğer yapı elemanları rijitlik çarpanları Tablo 4.15'te belirtilmiştir. Diğer analizlere ait rijitlik çarpanları EKLER bölümünde sunulmuştur.

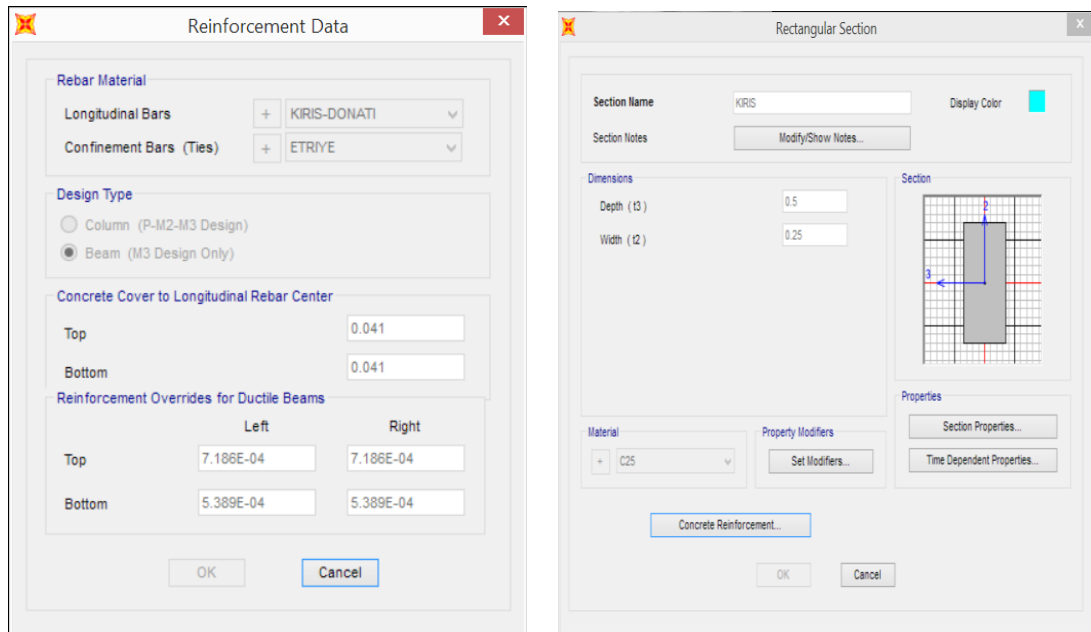
Tablo 4.15 : Rijitlik çarpanları.

Tüm Katlar - Kirişler	Zemin Kat - Kolonlar	Diğer Katlar - Kolonlar
0,193	0,320	0,296

Zemin ile diğer kat yükseklikleri farklı olduğu için rijitlik çarpanları farklı hesaplanmıştır.

4.7.1.3 Kolon ve kiriş kesitlerinin tanımlanması

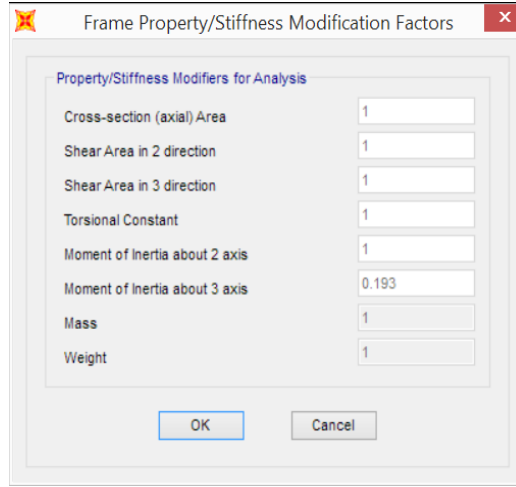
Korozyon etkisine ve rijitlik katsayılarına bağlı olarak SAP2000-V17 programıyla kiriş ve kolon yapı elemanları tanımlanmıştır. Şekil 4.41'de kiriş yapı elemanı için korozyon sonrası kalan alanlar tanımlandığı görülmektedir. Burada aynı zamanda kesitin üstünden ve altından kiriş boyuna donatı merkezine kadar olan beton örtüleri de tanımlanmıştır.



Şekil 4.41 : 3SD50-25 analizi kiriş kesiti tanımlaması.

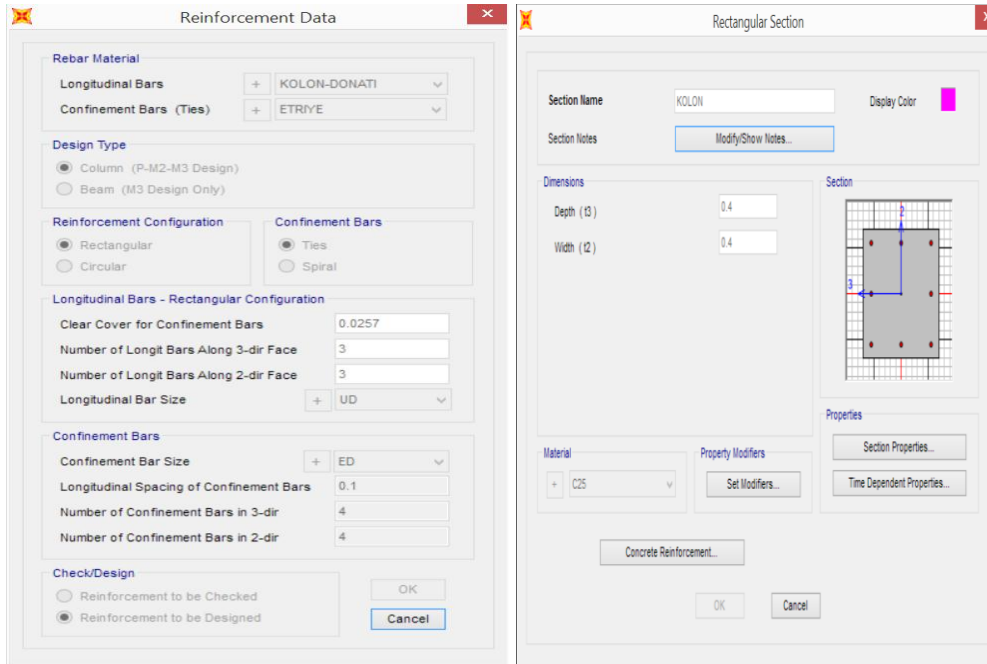
Burada, ana donatı merkezi ile kesit dışı arası mesafe $25+8+8=41$ mm dir. Ayrıca korozyon sonrası kalan alanlar Tablo 4.6'dan alınmıştır.

Şekil 4.42’de ise kiriş rijitlik çarpanı Tablo 4.15’te verilmiş olup SAP2000-V17’de tanımlandığı görülmektedir.



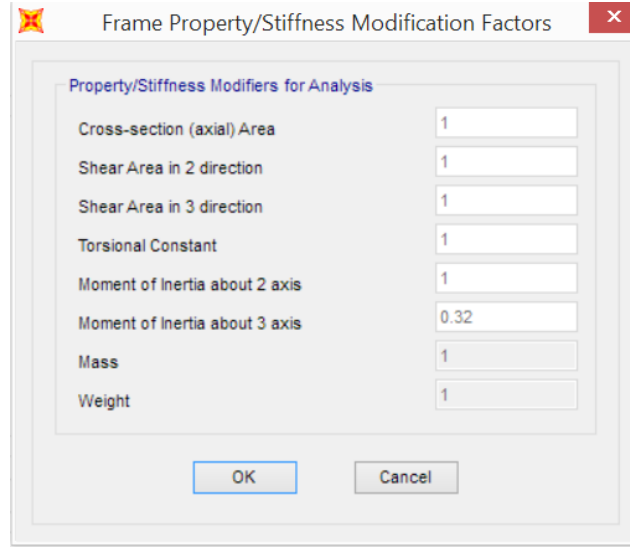
Şekil 4.42 : 3SD50-25 analizi kiriş kesiti rijitlik çarpanı tanımlaması.

Şekil 4.43’te kolon yapı elemanları için korozyon sonrası kalan alanların tanımlandığı görülmektedir. Ayrıca burada korozyon sonrası oluşan etriye donatısına göre beton örtüsü tanımlanmış ve çift etriye dikkate alınmıştır. Kolonda korozyon nedeniyle 3SD50-25 durumu için oluşan net beton örtüsü, 25 mm ve 50 yıl etriye korozyonu nedeniyle azalan çapın yarısının toplanması ile bulunmuştur. Ayrıca korozyon sonrası kalan alanlar Tablo 4.6’dan alınmıştır.



Şekil 4.43 : 3SD50-25 analizi kolon kesiti tanımlaması.

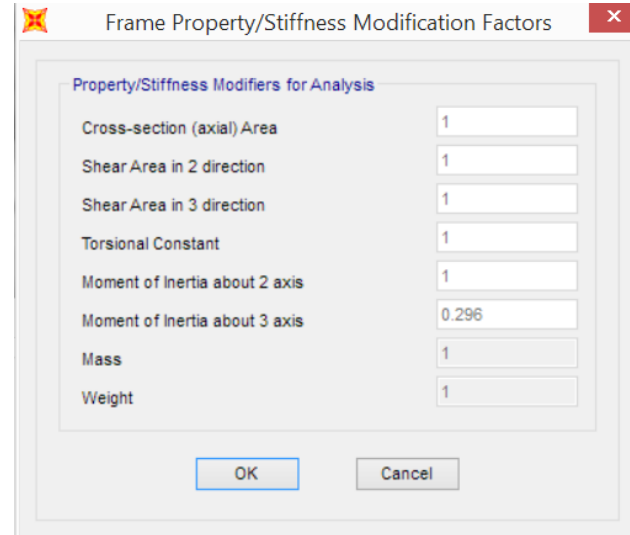
Şekil 4.44'te ise zemin kat kolon yapı elemanları rijitlik çarpanlarının tanımlandığı görülmektedir. Bu değer Tablo 4.15'ten alınmıştır.



Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	0.32
Mass	1
Weight	1

Şekil 4.44 : 3SD50-25 analizi zemin kat kolonların rijitlik çarpanı tanımlaması.

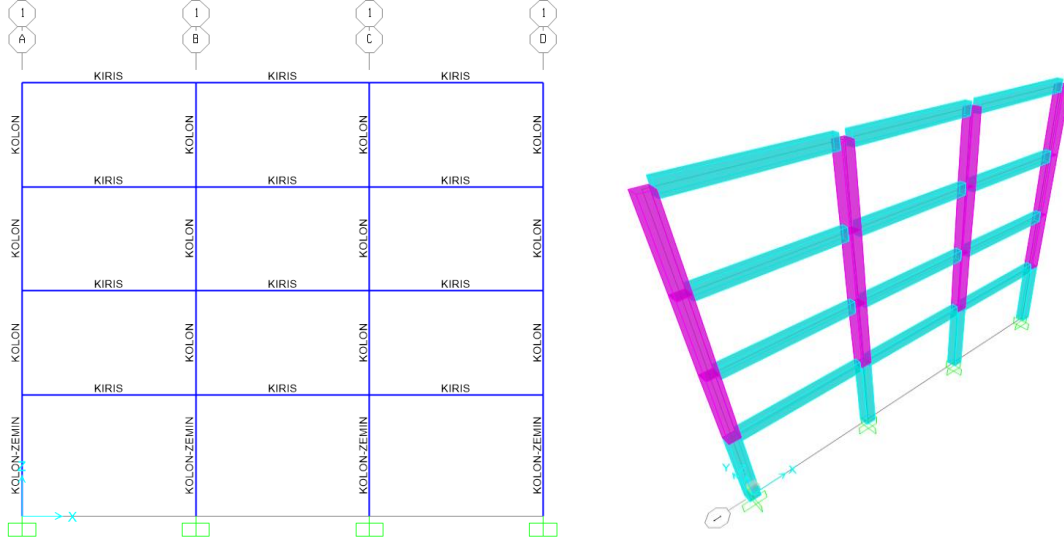
Şekil 4.45'te ise zemin kat hariç kolon yapı elemanları rijitlik çarpanlarının tanımlandığı görülmektedir. Bu değer Tablo 4.15'ten alınmıştır.



Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	0.296
Mass	1
Weight	1

Şekil 4.45 : 3SD50-25 analizi zemin kat hariç bütün kolonların rijitlik çarpanı tanımlaması.

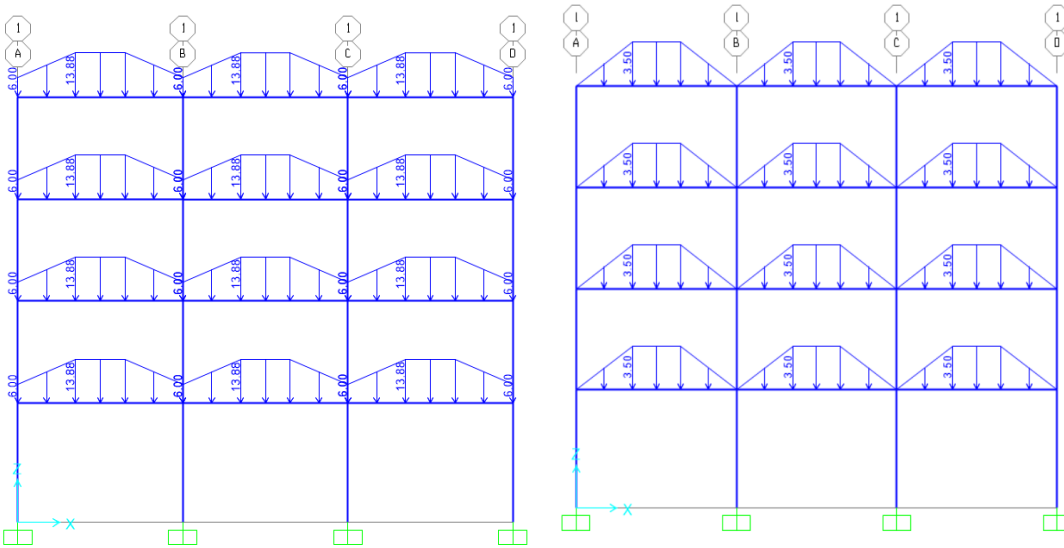
Kesit tanımlamalarından sonra çerçeve model X-Z düzlemi ve ankastre mesnet koşulları göz önüne alınarak SAP2000-V17 programında oluşturulmuştur. Şekil 4.46'da çerçeve model ve kesit bilgisi gösterilmiştir.



Şekil 4.46 : 3SD50-25 analizi çerçeve modeli.

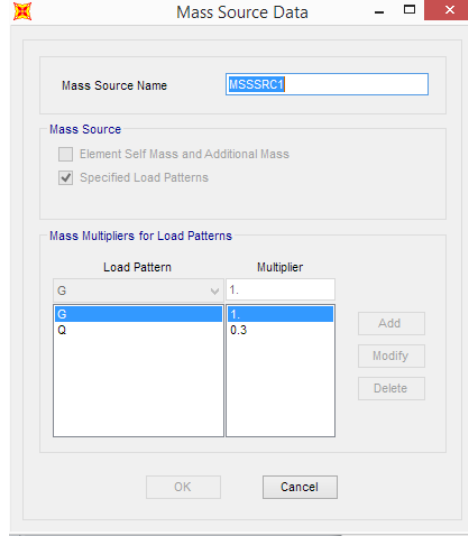
4.7.2 Çerçeve modele etki eden yüklerin tanımlanması

Daha önce belirtilen trapez ve düzgün yayılı sabit (G) ve hareketli (Q) yükler çerçeve modele etkilmiştir. Şekil 447’de çerçeve yükleme durumları verilmiştir.



Şekil 4.47 : 3SD50-25 analizi için yükleme durumları.

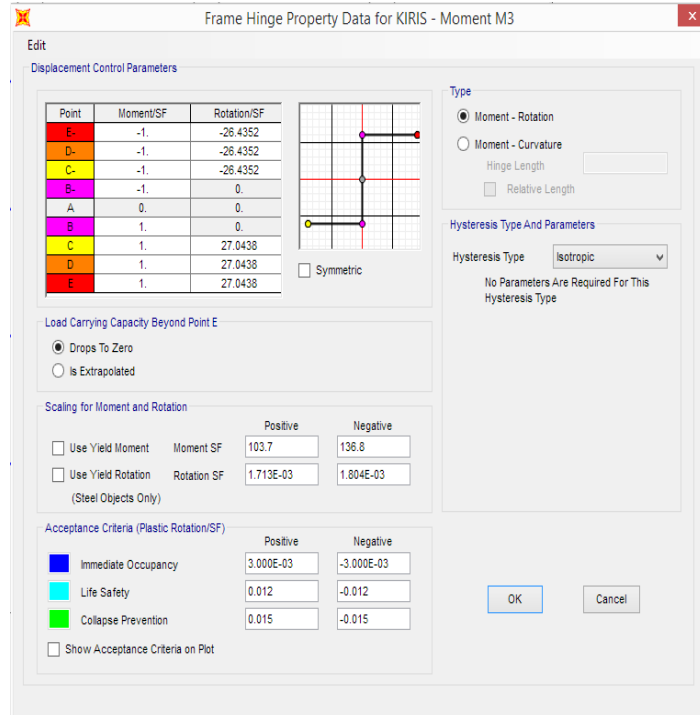
Burada, yükler tanımlanmış ve analizlerde kullanılacak yük kombinasyonları $(G+0,3Q)$ ve kütle kaynağının tanımlanması yapılmıştır. Şekil 4.48’de 3SD50-25 analizi için kütle kaynağının tanımlaması gösterilmiştir.



Şekil 4.48 : 3SD50-25 analizi kütle kaynağı tanımlaması.

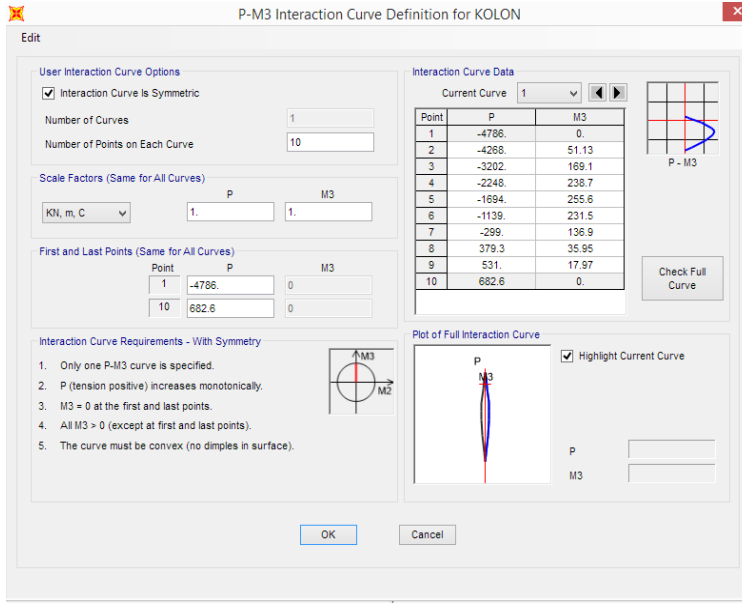
4.7.3 Plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması

XTRACT-V3.0.8 programı kullanılarak tanımlanan plastik mafsal özellikleri SAP2000-V17 programına aktarılmıştır. Burada, daha önce tanımlanan 3SD50-25 analizi kiriş ve kolon plastik mafsal veri girişleri sunulmuştur. Şekil 4.49’da kiriş kesiti plastik mafsal moment-dönme girdileri görülmektedir. Burada kullanılan değerler Tablo 4.11’den alınmıştır.



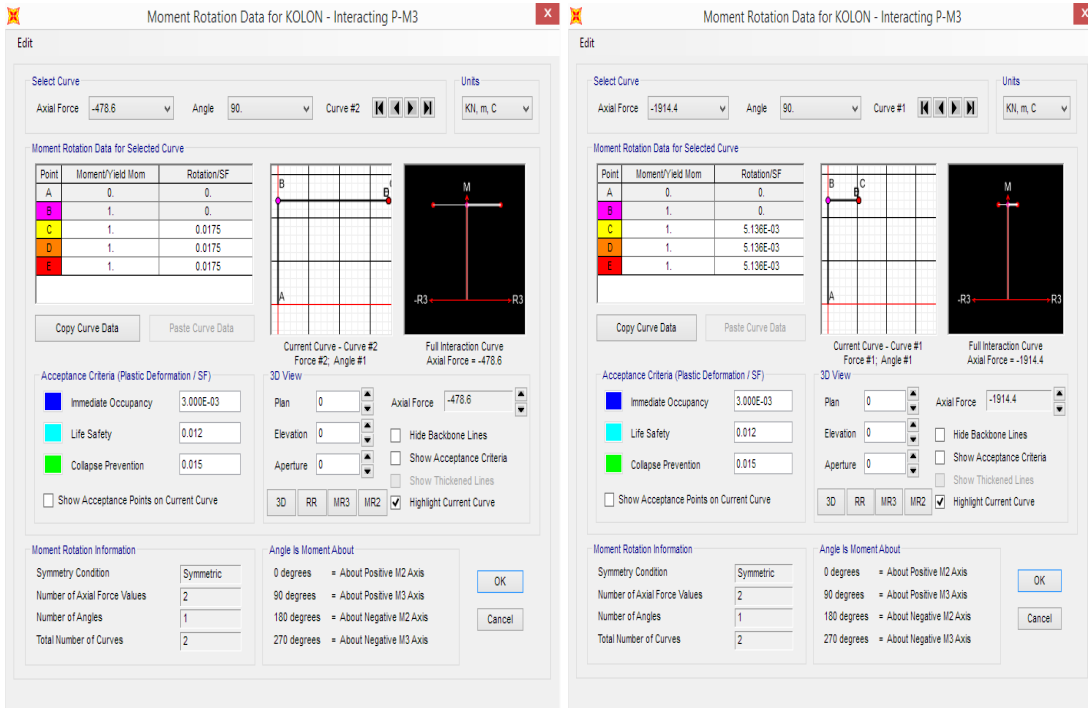
Şekil 4.49 : 3SD50-25 analizi kiriş moment-dönme veri girişleri.

Şekil 4.50’de kolon kesiti plastik mafsal karşılıklı etki diyagramı girdileri görülmektedir. Bu değerler Tablo 4.12’de verilmiştir.



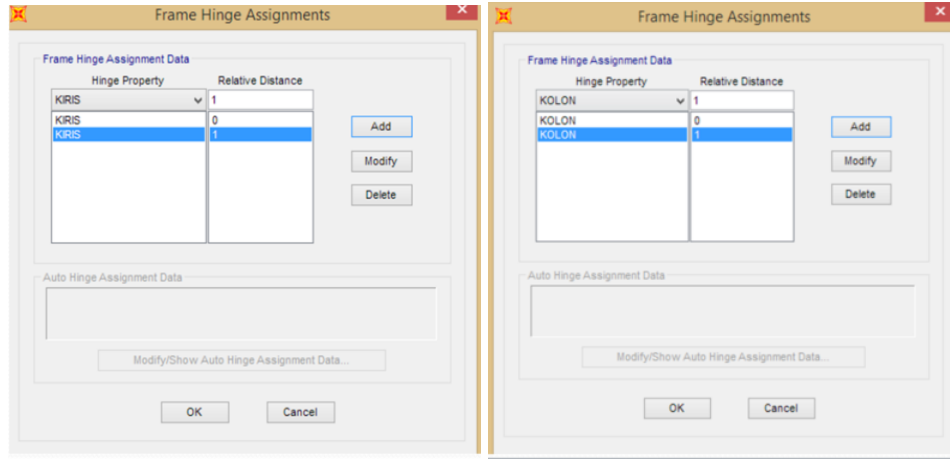
Şekil 4.50 : 3SD50-25 analizi kolon karşılıklı etki diyagramı veri girişleri.

Kolon eksenel yük değerinin %10 ve %40 seviyelerindeki moment-dönme girdileri de Şekil 4.51’de ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu değerler Tablo 4.14 ile verilmiştir.



Şekil 4.51 : 3SD50-25 analizi kolon moment-dönme veri girişleri.

Şekil 4.52’de görüldüğü gibi tanımlanan plastik mafsalları kolon ve kiriş uç bölgelerine atanarak analiz aşamasına geçilmiştir.



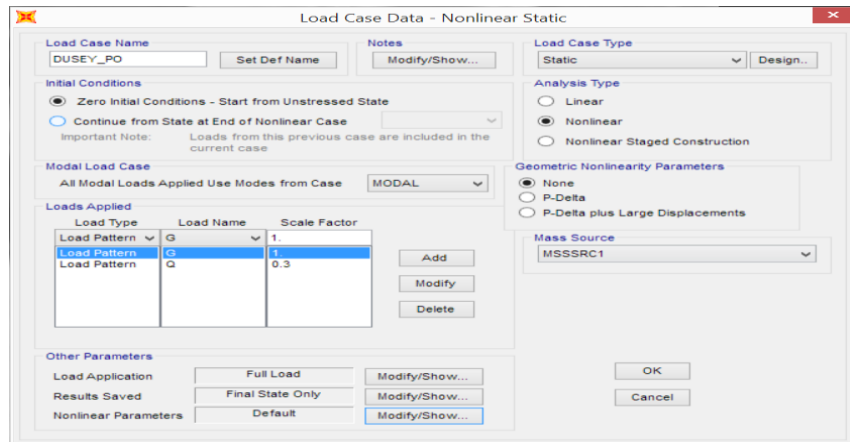
Şekil 4.52 : 3SD50-25 analizi plastik mafsalları atamaları.

4.7.4 İtme eğrisinin elde edilmesi

Plastik mafsalları atanmış çerçeve modeli için doğrusal olmayan yükleme durumları tanımlanmıştır. Sabit düşey ve artan yatay yükler altında betonarme çerçeve belirlenen modal yer değiştirme talebine ulaşıncaya kadar analiz yapılmıştır. Elde edilen taban kesme kuvveti ve tepe noktası yatay yer değiştirme istemi ile itme eğrisi elde edilmiştir.

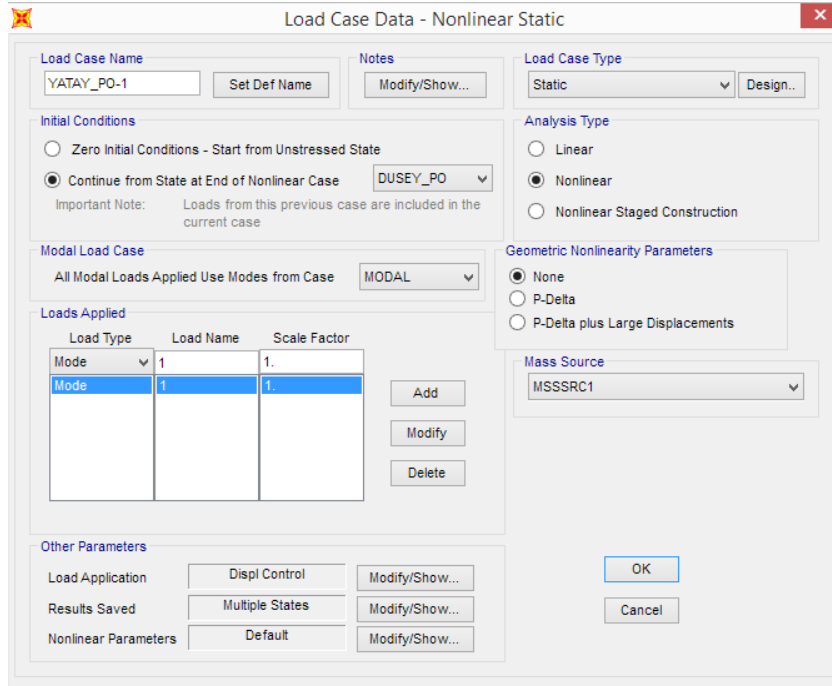
4.7.4.1 Düşey ve yatay yükleme durumlarının tanımlanması

Doğrusal olmayan düşey ve yatay yükleme durumları sırayla yapılmıştır. Şekil 4.53’te sabit yükler altında doğrusal olmayan düşey yükleme durumu görülmektedir.



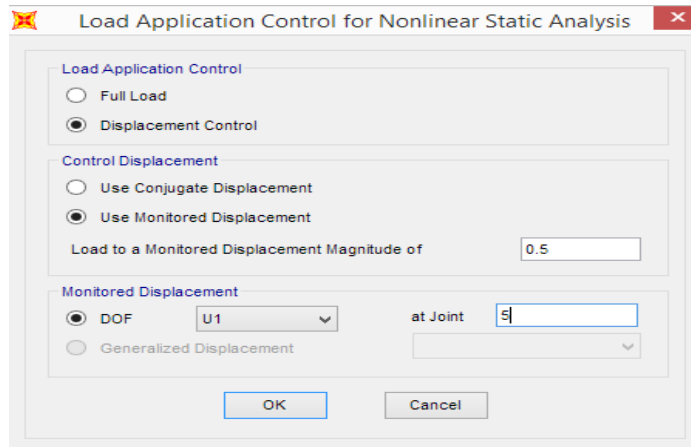
Şekil 4.53 : Düşey yükleme durumu.

Burada öncelikle düşey yükler G+nQ kombinasyonuna uygun bir şekilde tanımlanmıştır. Çalışmada, P-Delta etkileri göz ardı edilmiştir.



Şekil 4.54 : Yatay yükleme durumu.

Yatay yüklerin itme analizi esnasında adım adım artırılarak gerçekleştirilmesinden önce düşey yüklerin çerçeve sisteme yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, yatay yüklerin birinci mod şekliyle uyumlu olacak şekilde programa tanımlanmış olup bu durum Şekil 4.54'te gösterilmiştir. Çerçeve modelde tepe düğüm noktası, yatay yer değiştirme değerinin talep edilen yer değiştirme değerine ulaşınca veya bundan büyük bir değere kadar analiz devam ettirilmiştir.



Şekil 4.55 : Yer değiştirme değeri girişi.

4.7.4.2 Yer değiştirme isteminin (talebinin) belirlenmesi

şekil 4.55'te ilk aşamada yatay yer değiştirme talebi bilinmediğinden program tarafından tanımlanmış 0,5 m'lik bir yer değiştirmeye göre çözüm yapılmıştır. Bu değere göre elde edilen her bir adım için taban kesme kuvveti tepe noktası yer değiştirmesini ifade eden itme eğrisi elde edilmiştir. TBDY2018 esaslarına göre spektral yer değiştirme oranına bağlı olarak ya tekrarlı bir çözüm süreci sonucunda ya da tek çözümle modal yer değiştirme talebi elde edilir. Bulunan modal yer değiştirme talebi denklem 3.15 uygulanarak yer değiştirme istem noktasına dönüştürülür. Bu yer değiştirmeye göre itme eğrisinden taban kesme kuvveti elde edilmiş olunur.

Çalışmada yapılan bütün analizlerde, birinci doğal titreşim periyodu, yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu T_B 'den büyük değere sahip olduğundan TBDY2018'e göre tek adımla modal yer değiştirme talebine ulaşılmıştır.

Çalışmada, İzmir Aliağa bölgesi, 38,750 enlem, 26,950 boylam koordinatları ve ZC yerel zemin sınıfı dikkate alınarak DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için gerçekleştirilmiştir. Burada, 3SD50-25 analizi için yer değiştirme talebi ve bu talebe karşı taban kesme kuvvetinin elde edilmesi detaylı şekilde açıklanmıştır.

Deprem tehlike haritası yardımıyla ilgili koordinatlardaki harita ivme katsayıları S_s ve S_1 bulunmuştur.

$$S_s = 1,171 \quad (4.59)$$

$$S_1 = 0,281 \quad (4.60)$$

Yerel zemin etki katsayıları F_s ve F_1 ZC yerel zemin sınıfına bağlı olarak Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'ten belirlenmiştir.

$$F_s = 1,2 \quad (4.61)$$

$$F_1 = 1,5 \quad (4.62)$$

Harita ivme katsayıları, tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} 'e dönüştürülmüştür.

$$S_{DS} = 1,171 * 1,2 \quad (4.63)$$

$$S_{DS} = 1,4052 \quad (4.64)$$

$$S_{D1} = 0,281 * 1,5 \quad (4.65)$$

$$S_{D1} = 0,4215 \quad (4.66)$$

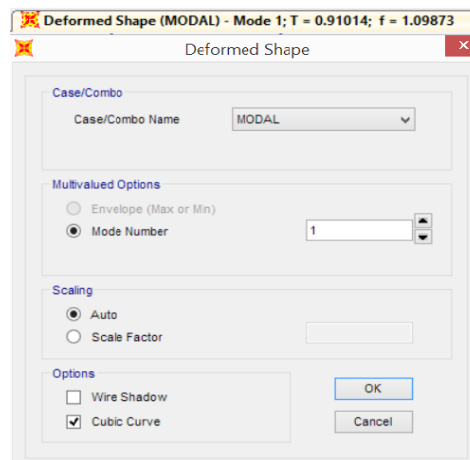
Elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B tasarım ivme katsayılarına bağlı olarak belirlenmiş ve betonarme çerçeve sistemin doğal periyodu ile karşılaştırılmıştır. Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ sn'dir.

$$T_A = 0,2 \frac{0,4215}{1,4052} \quad (4.67)$$

$$T_A = 0,0599 \quad (4.68)$$

$$T_B = \frac{0,4215}{1,4052} \quad (4.69)$$

$$T_B = 0,2996 \quad (4.70)$$



Şekil 4.56 : Birinci doğal titreşim periyodu.

Şekil 4.56’da görüldüğü gibi SAP2000-V17 programı ile elde edilen birinci doğal titreşim periyodu bulunmuştur.

$$T_1 = 0,910 \text{ sn} \quad (4.71)$$

Yukarıdaki veriler dikkate alınarak birinci doğal titreşim periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral ivme $S_{ac}(T_1)$ ve spektral yer değiştirme oranı C_R hesaplanmıştır.

$$T_B \leq T_1 \leq T_L \quad , \quad S_{ac}(T_1) = \frac{0,4215}{0,9101} = 0,4631 \quad (4.72)$$

$$T_B \leq T_1 \leq T_L \quad , \quad C_R = 1 \quad (4.73)$$

Bu durumda modal kapasite diyagramının elde edilmesine gerek kalmadan birinci doğal titreşim periyoduna karşı gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirme $S_{de}(T_1)$ $S_{ac}(T_1)$ bağılı olarak bulunmuştur.

$$S_{de}(T_1) = \frac{(0,9101)^2}{4\pi^2} * 9,81 * 0,4631 \quad (4.74)$$

$$S_{de}(T_1) = 0,09532 \text{ m} \quad (4.75)$$

Birinci doğal titreşim periyoduna karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme, $S_{di}(T_1)$ ’ye dönüştürülmüştür.

$$S_{di}(T_1) = 1 * 0,09532 \quad (4.76)$$

$$S_{di}(T_1) = 0,09532 \text{ m} \quad (4.77)$$

Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük yer değiştirme $d_{1,max}$, doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak tanımlanmıştır.

$$d_{1,max} = S_{di}(T_1) = 0,09532 \text{ m} \quad (4.78)$$

Modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi denklem 3.15'te kullanılarak tepe yer değiştirmes istemi elde edilmiştir. Burada, 3SD50-25 analizi için düğüm noktaları kütleleri Tablo 4.16'da belirtilerek mod genliği $\Phi_{4,x1}$ ve modal katkı çarpanı Γ_1 hesap edilmiştir. Modal katkı çarpanı denklem 4.79 ile elde edilmiştir. Ayrıca TBDY2018'de belirtilen taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine oranının en az 0,70 olma zorunluluğu da denklem 4.83 ile belirlenmiştir. Tablo 4.16'daki kat kütleleri SAP2000 programından elde edilmiştir.

Tablo 4.16 : Düğüm noktaları kat kütesi ve modal genlikleri.

Kat	Düğüm Noktası	Kütle (kNs ² /m)	Kat Kütesi (kNs ² /m)	Modal Genlik
1	2	5,13	28,14	0,0436
	7	8,94		
	12	8,94		
	17	5,13		
2	3	5,03	27,72	0,0822
	8	8,83		
	13	8,83		
	18	5,03		
3	4	5,03	27,72	0,1114
	9	8,83		
	14	8,83		
	19	5,03		
4	5	4,42	25,28	0,1281
	10	8,22		
	15	8,22		
	20	4,42		

Tablo 4.16 kullanılarak yer değiştirme istemi belirlenmiştir.

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^4 m_i \cdot \Phi_{i1}}{\sum_{i=1}^4 m_i \cdot \Phi_{i1}^2} \quad (4.79)$$

$$\Gamma_1 = \frac{9,83186}{0,99963} = 9,83549 \quad (4.80)$$

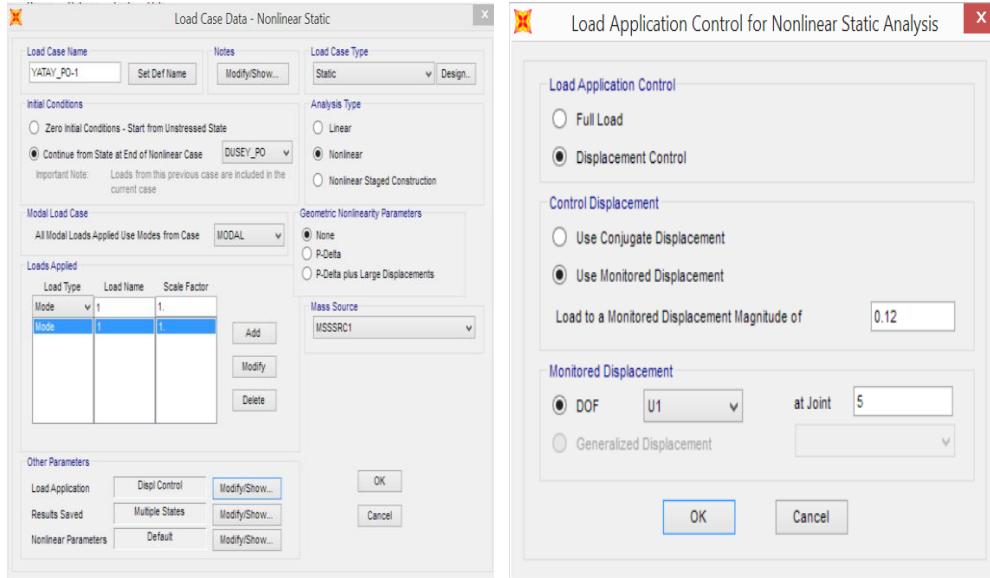
$$\Phi_{4,x1} = 0,1281 \quad (4.81)$$

$$u_{4,x1} = 0,1281 * 9,83549 * 0,09532 = 0,120 \text{ m} \quad (4.82)$$

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^4 m_i \cdot \Phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^4 m_i \cdot \Phi_{i1}^2} = 0,88 > 0,70 \quad (4.83)$$

3SD50-25 analizi için hesap adımları detaylı verilmiş olup tüm diğer durumlar için analizler EKLER bölümünde özet olarak sunulmuştur.

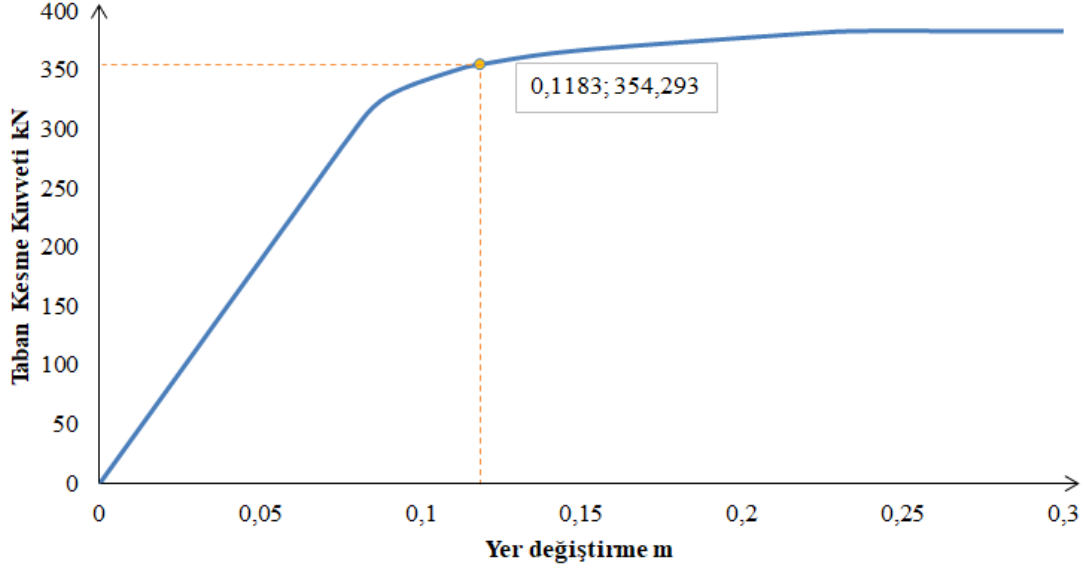
4.7.4.3 Sabit tek modlu itme eğrilerinin elde edilmesi



Şekil 4.57 : Yer değiştirme istemine göre yatay yükleme tanımlaması.

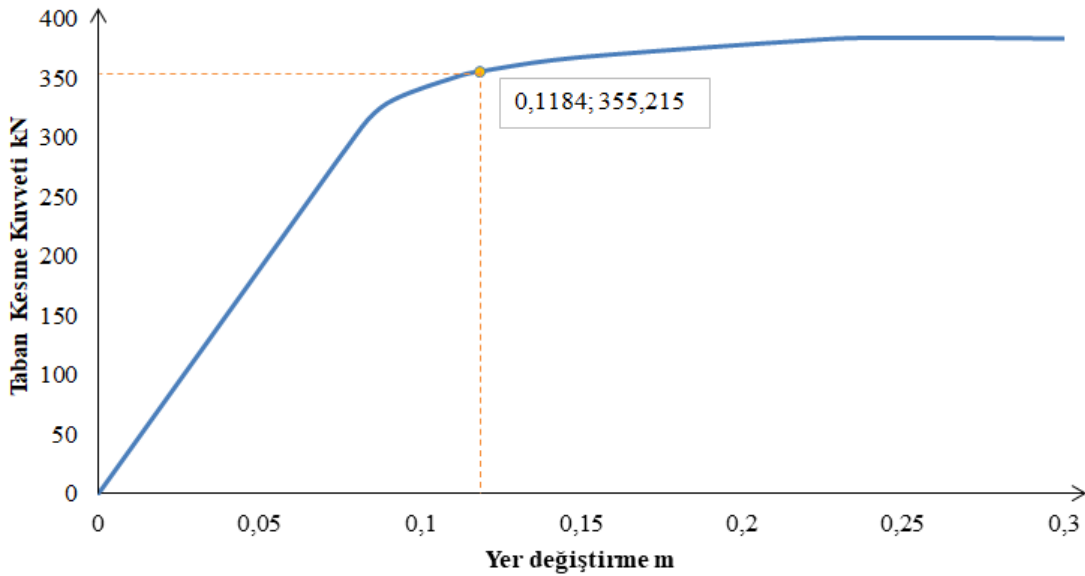
Şekil 4.57’de görüldüğü gibi daha önce tanımlanan doğrusal olmayan yatay yükleme yer değiştirme talebi için belirlenen yer değiştirme istemi tanımlanmış ve tüm veri girdilerinin SAP2000-V17 programına tanımlanması yapılmıştır. Bu aşamadan sonra analiz için itme eğrisi elde edilmiştir. Yapı davranışını daha detaylı görebilmek amacıyla yer değiştirme istemi 0,12 m’den daha büyük bir değer olan 0,3 m için grafikler elde edilmiştir. Bütün analizler için 0,3 m’lik bir yer değiştirmeye göre çözüm yapılmış ve tepe yer değiştirme istemi belirtilmiştir. Son olarak her bir itme adımına karşı gelen taban kesme kuvveti (kN) - tepe yer değiştirmesini (m) ifade eden itme eğrileri elde edilmiş ve sunulmuştur.

Şekil 4.58’de 1ND-40, 1SD30-40, 1AD30-40, 1AD50-40 analizleri için itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir. 40 mm net beton örtüsü analiz gruplarından sadece 1SD50-40 durumu için analiz sonuçları diğerlerinden farklıdır. Bunun nedeni korozyonun 40 mm beton örtüsü ve incelenen 50 yıl için etki göstermemesidir.



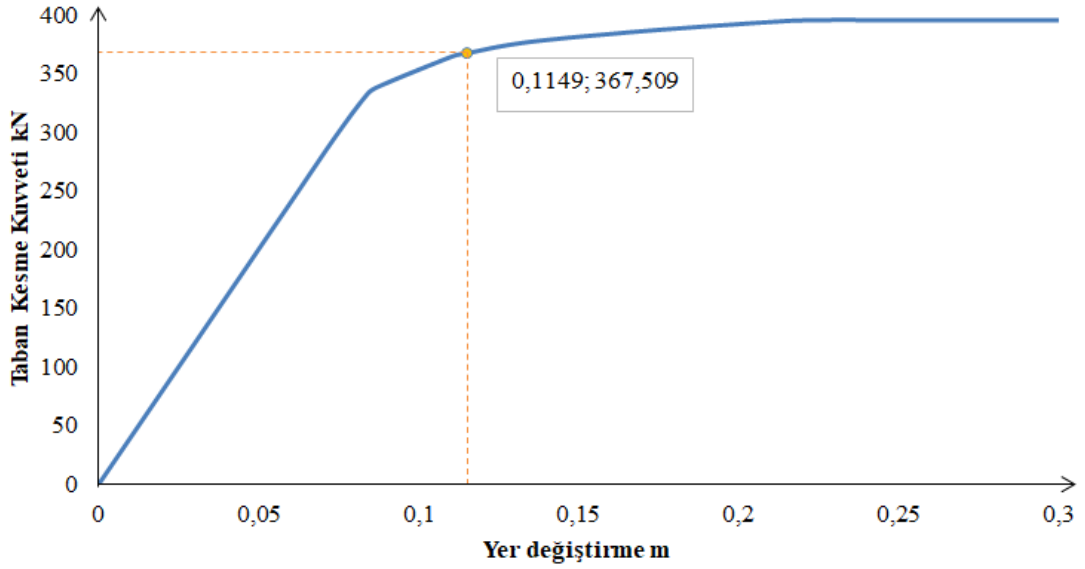
Şekil 4.58 : 1ND-40,1SD30-40,1AD30-40,1AD50-40 analizleri itme eğrisi.

Şekil 4.59’da 1SD50-40 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



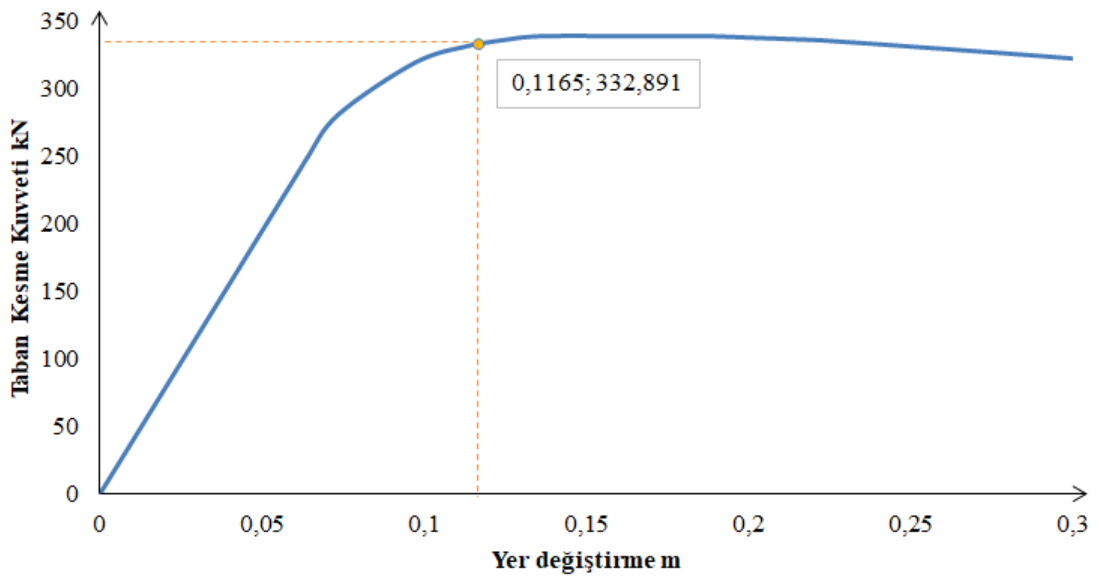
Şekil 4.59 : 1SD50-40 analizi itme eğrisi.

Şekil 4.60'ta 2ND-30, 2AD3-30, 2AD50-30 analizleri itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir. 30 mm net beton örtüsü analiz gruplarından 2SD30-30 ve 2SD50-30 durumları için analiz sonuçları diğerlerinden farklıdır. Bunun nedeni korozyonun 30 mm beton örtüsü ve incelenen 50 yıl için etki göstermemesidir.



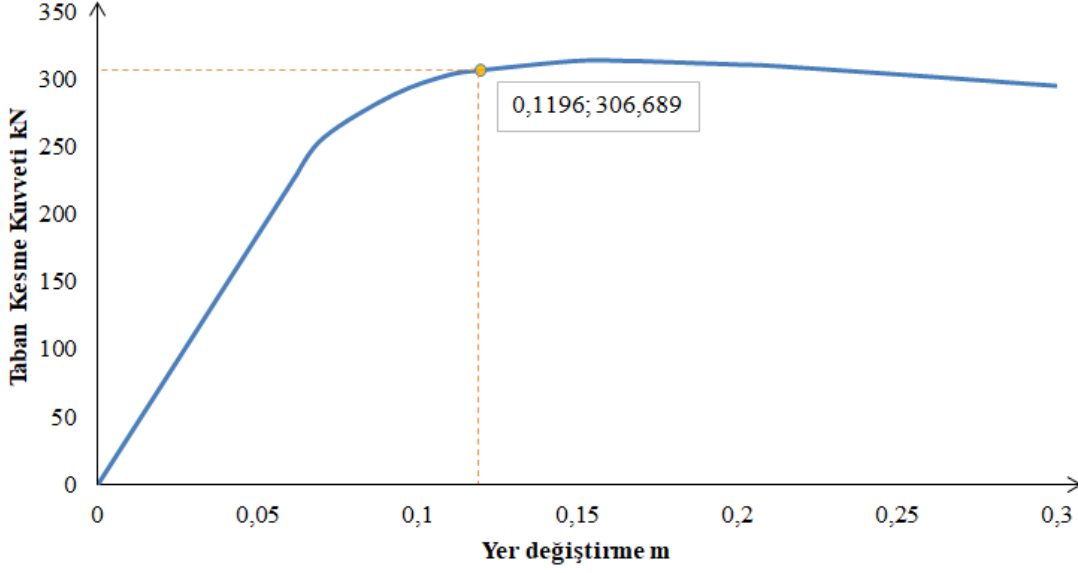
Şekil 4.60 : 2ND-30,2AD3-30,2AD50-30 analizleri itme eğrisi.

Şekil 4.61'de 2SD30-30 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



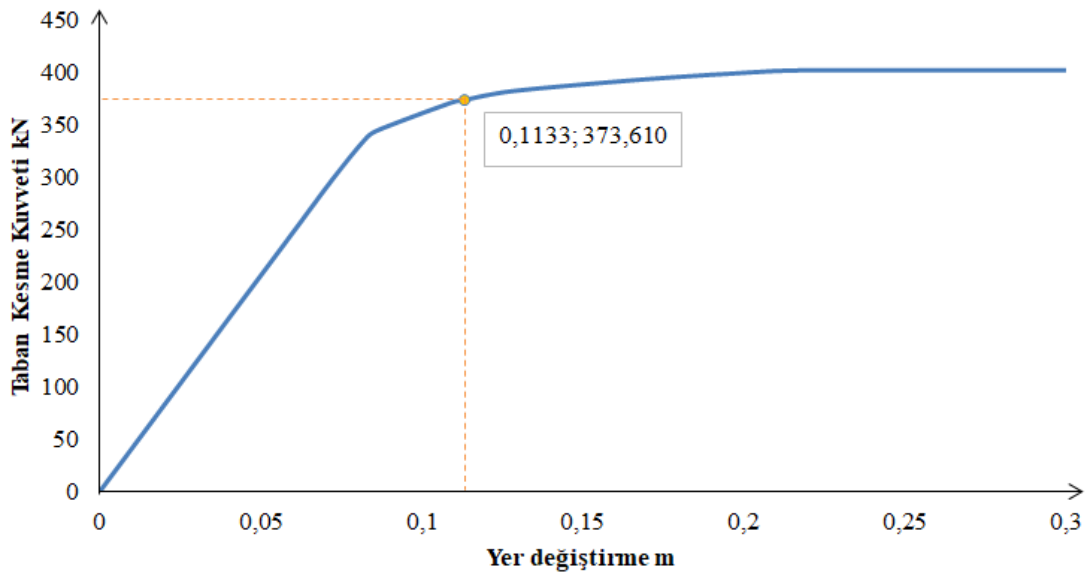
Şekil 4.61 : 2SD30-30 analizi itme eğrisi.

Şekil 4.62’de 2SD50-30 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



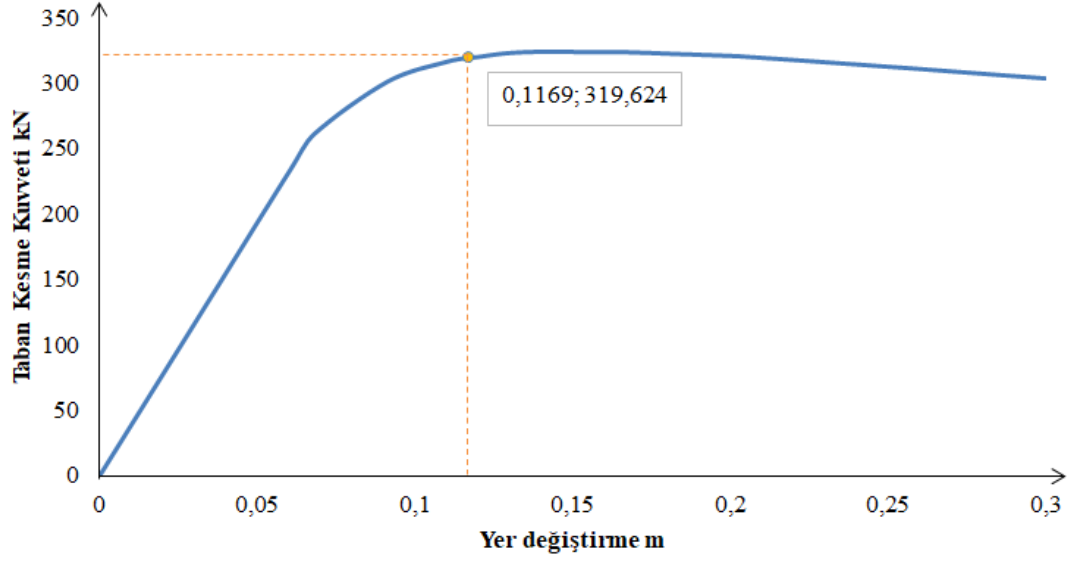
Şekil 4.62 : 2SD50-30 analizi itme eğrisi.

Şekil 4.63’te 3ND-25, 3AD30-25, 3AD50-25 analizlerin itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi koordinatları belirtilmiştir. 25 mm net beton örtüsü analiz gruplarından 3SD30-25 ve 3SD50-25 durumları için analiz sonuçları diğerlerinden farklıdır. Bunun nedeni korozyonun 25 mm beton örtüsü ve incelenen 50 yıl için etki göstermemesidir.



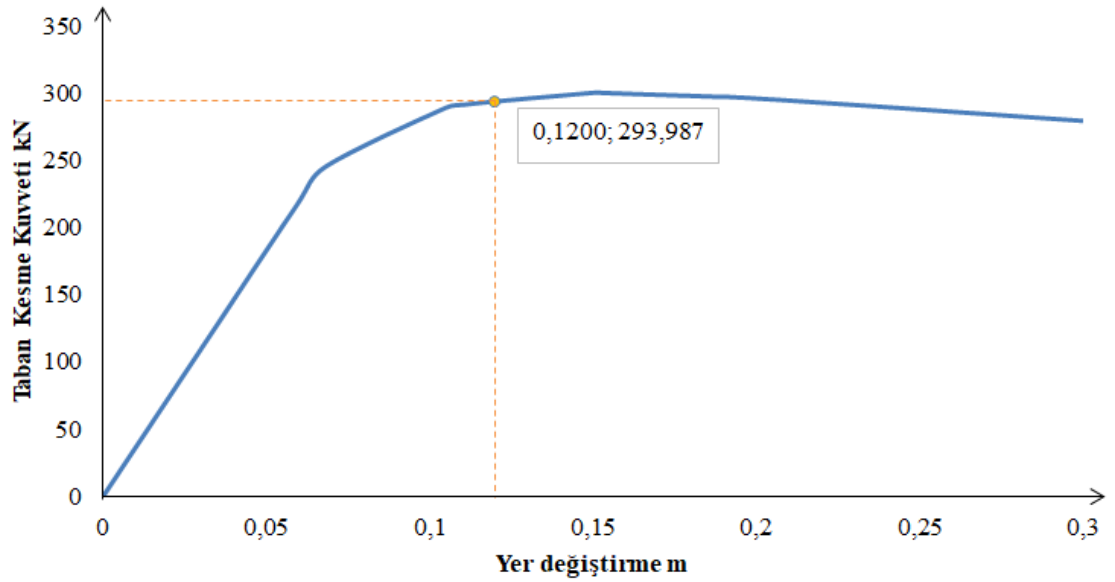
Şekil 4.63 : 3ND-25,3AD30-25,3AD50-25 analizleri itme eğrisi.

Şekil 4.64'te 3SD30-25 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



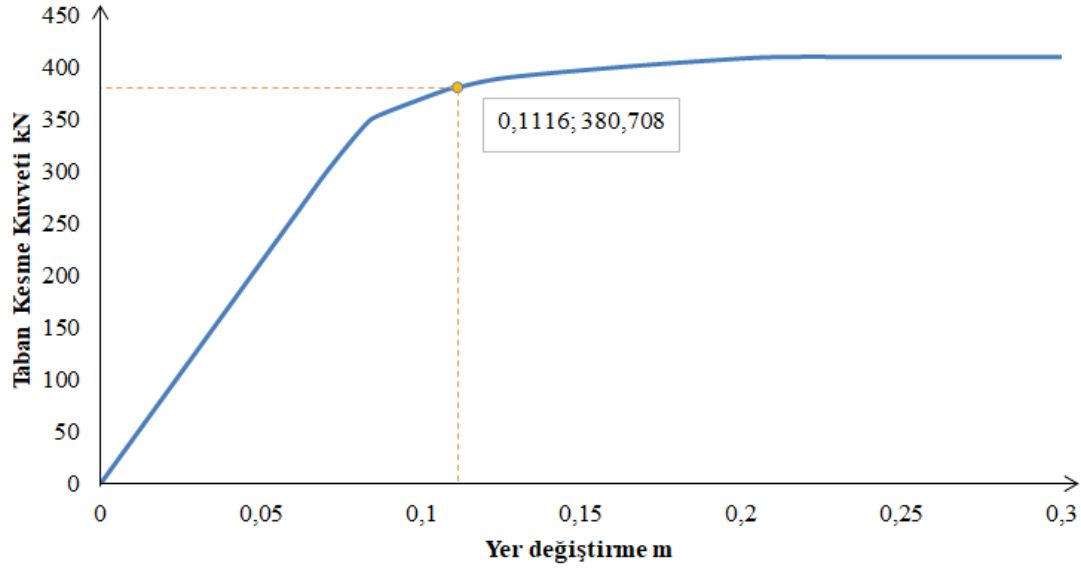
Şekil 4.64 : 3SD30-25 analizi itme eğrisi.

Şekil 4.65'te 3SD50-25 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



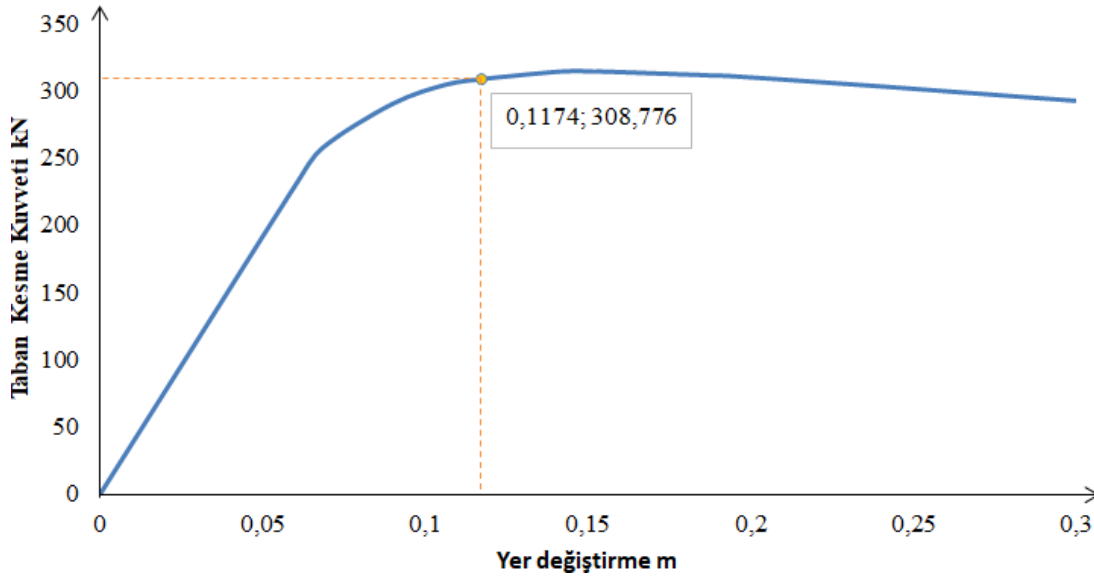
Şekil 4.65 : 3SD50-25 analizi itme eğrisi.

Şekil 4.66'da 4ND-20 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



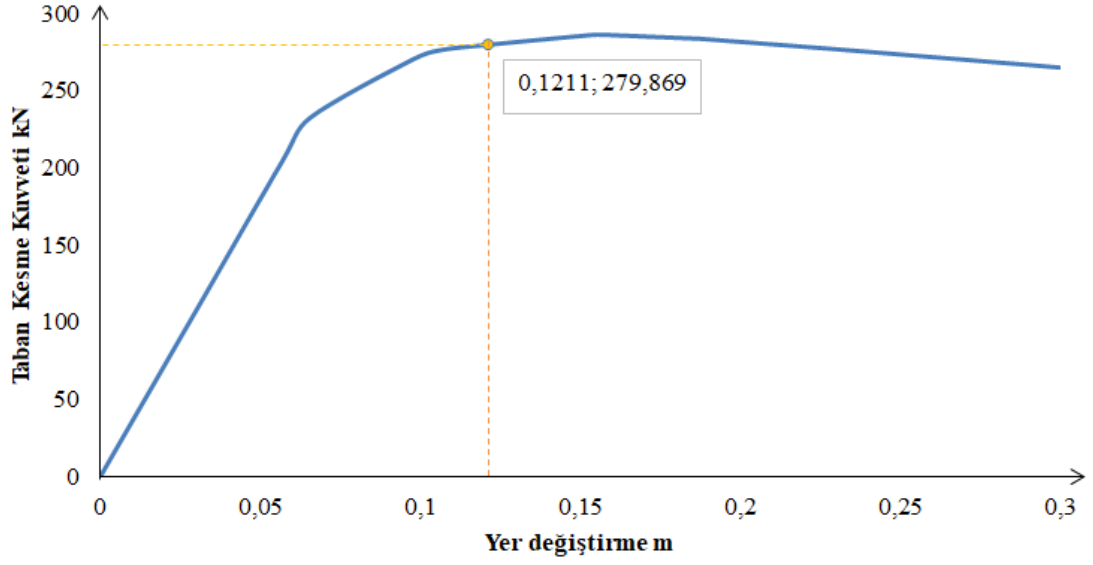
şekil 4.66 : 4ND-20 analizi itme eğrisi.

şekil 4.67’de 4SD30-20 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



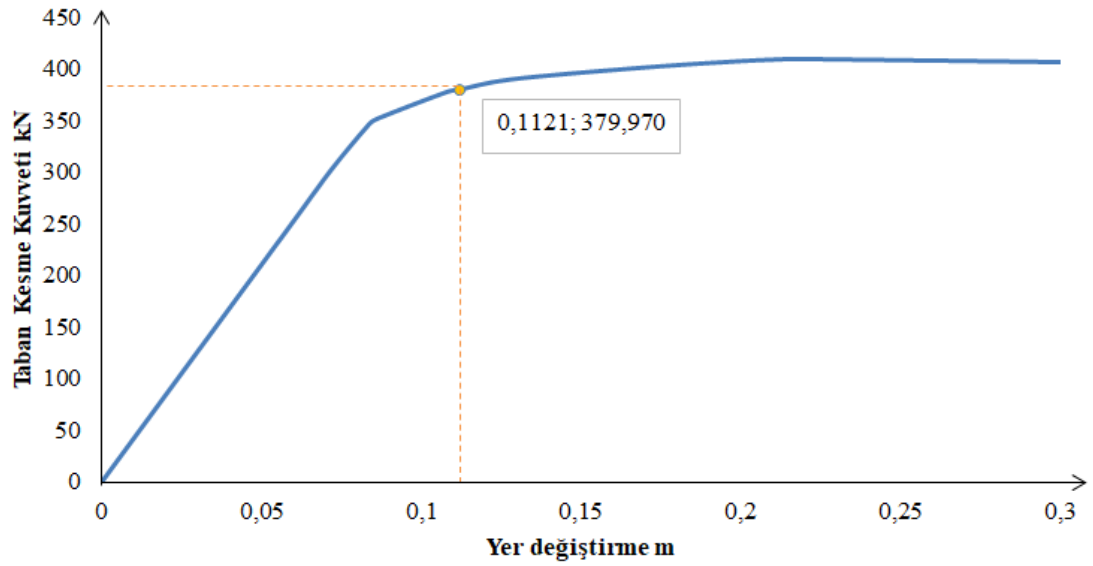
şekil 4.67 : 4SD30-20 analizi itme eğrisi.

şekil 4.68’de 4SD50-20 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



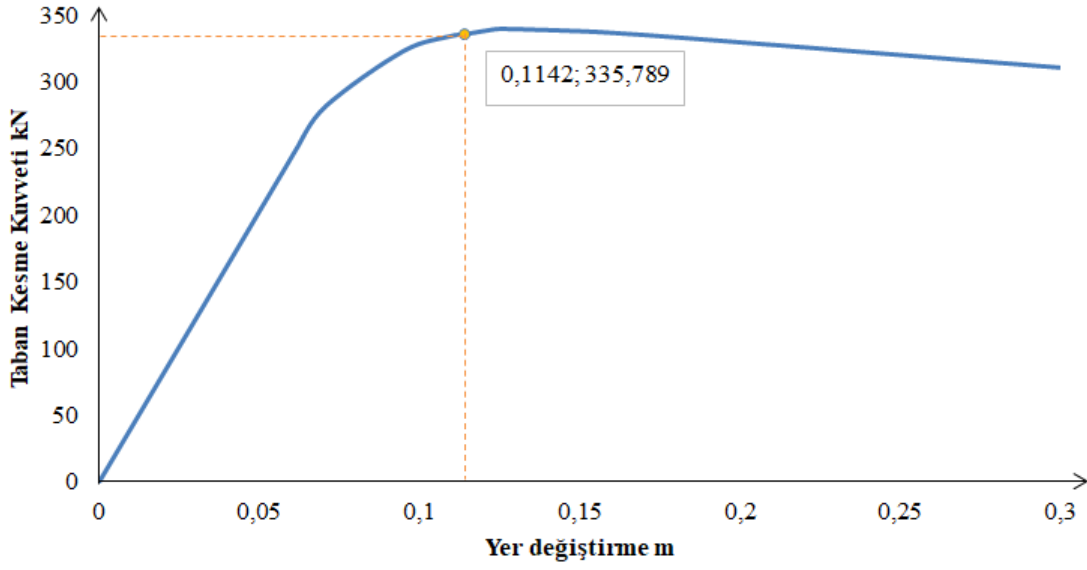
şekil 4.68 : 4SD50-20 analizi itme eğrisi.

şekil 4.69'da 4AD30-20 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



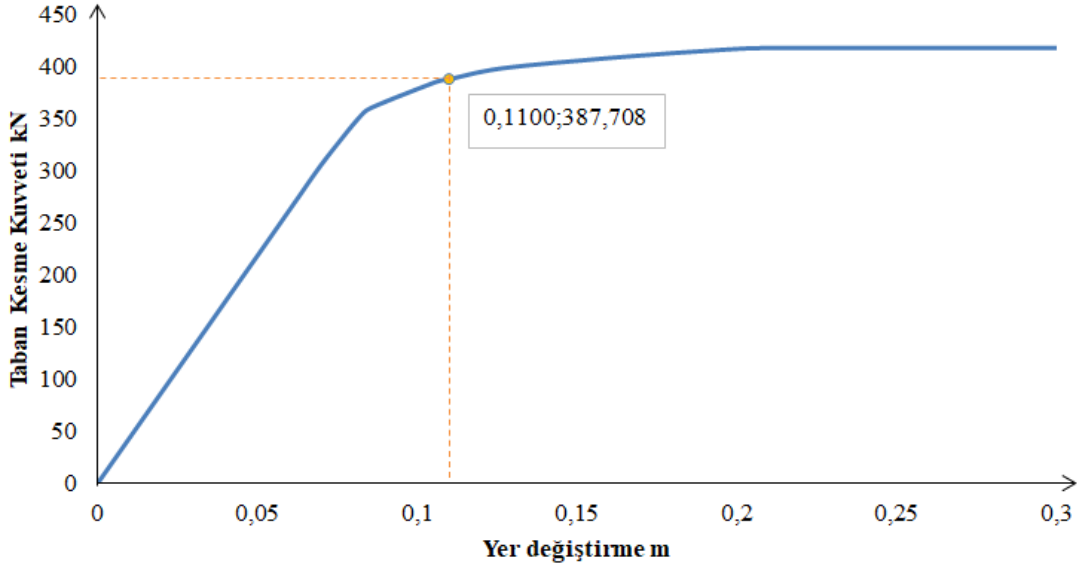
şekil 4.69 : 4AD30-20 analizi itme eğrisi.

şekil 4.70'te ise 4AD50-20 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



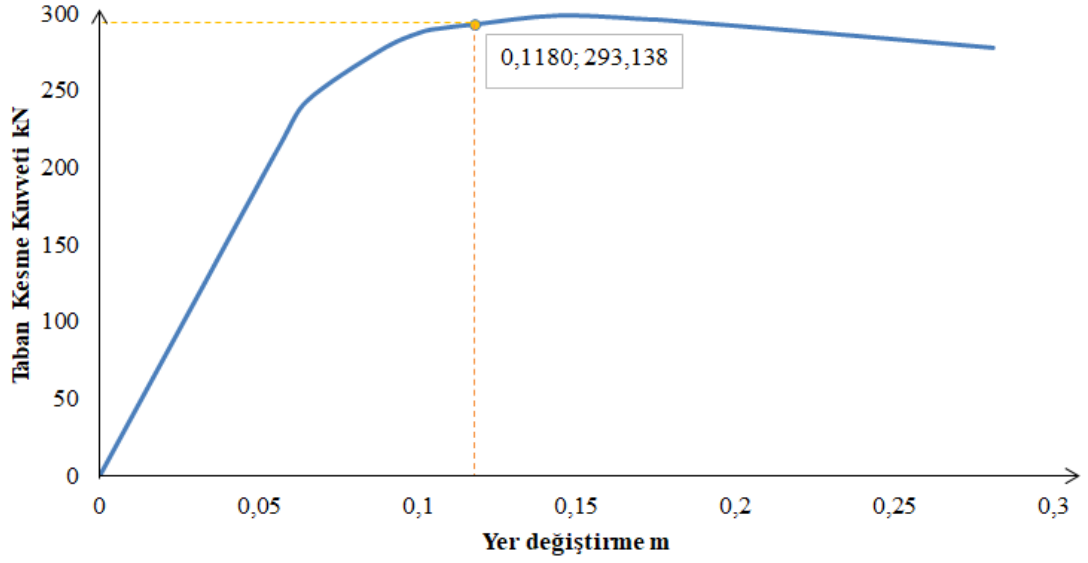
şekil 4.70 : 4AD50-20 analizi itme eğrisi.

şekil 4.71’de 5ND-15 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



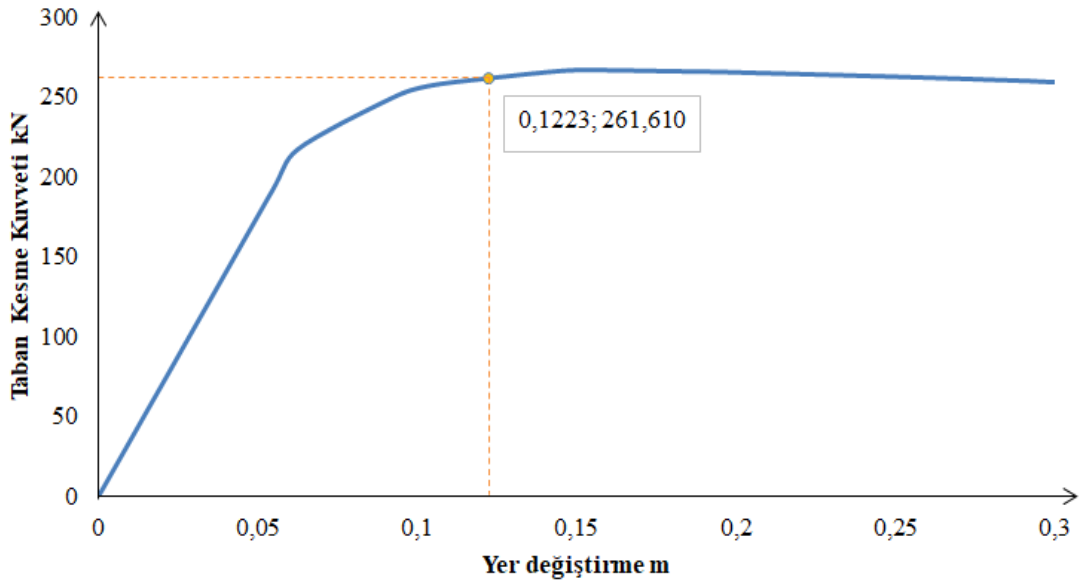
şekil 4.71 : 5ND-15 analizi itme eğrisi.

şekil 4.72’de 5SD30-15 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



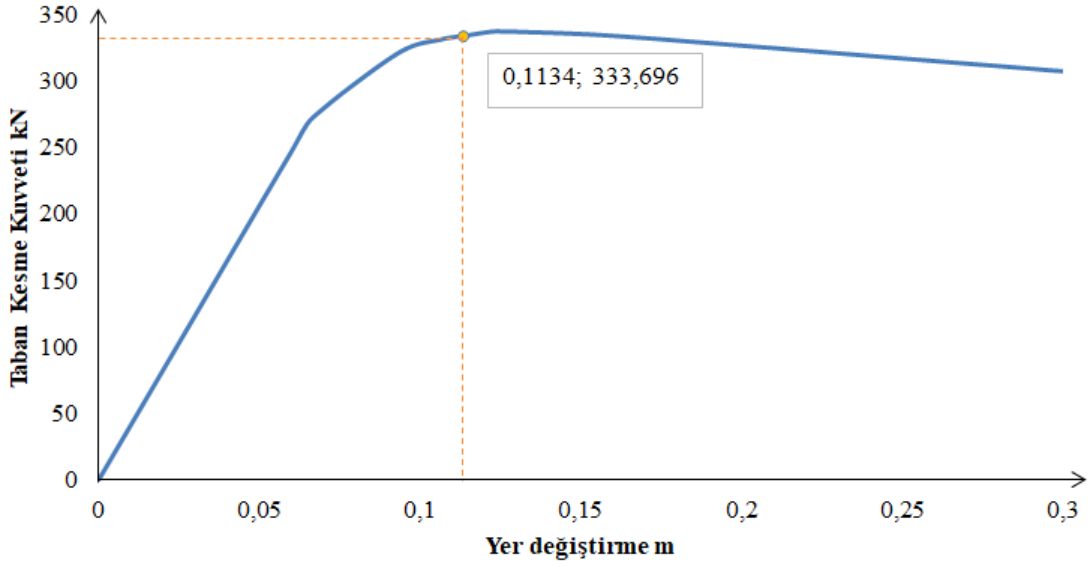
şekil 4.72 : 5SD30-15 analizi itme eğrisi.

şekil 4.73'te 5SD50-15 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



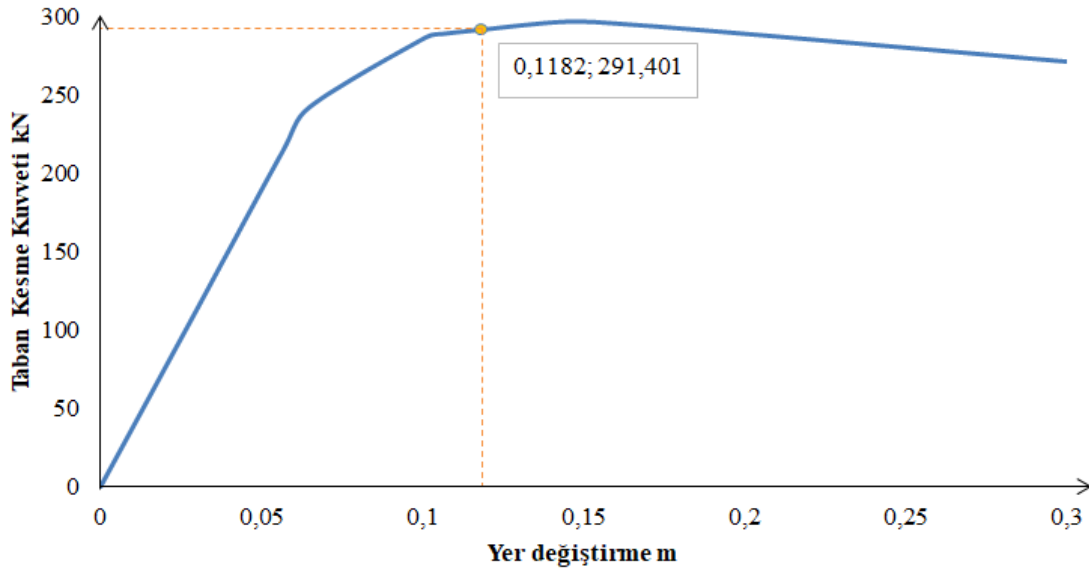
şekil 4.73 : 5SD50-15 analizi itme eğrisi.

şekil 4.74'te 5AD30-15 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.



şekil 4.74 : 5AD30-15 analizi itme eğrisi.

şekil 4.75'te 5AD50-15 analizi itme eğrisi ve tepe yer değiştirmesi istemi koordinatları belirtilmiştir.

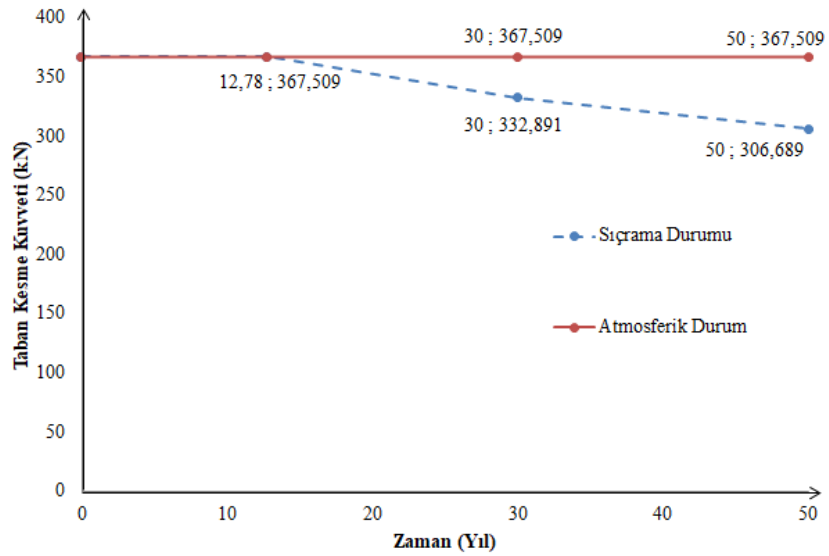


şekil 4.75 : 5AD50-15 analizi itme eğrisi.

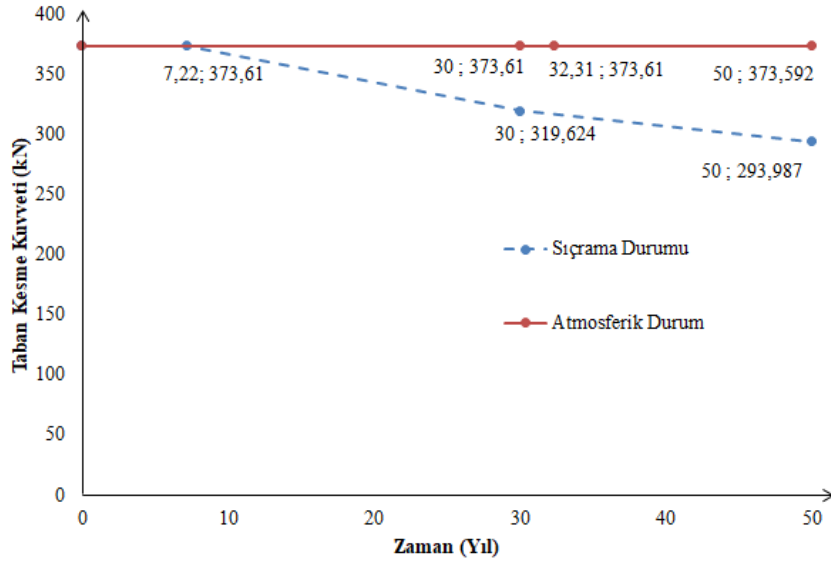
4.8 Korozyon Etkisi Altında Yapı Taban Kesme Kuvveti Kapasitelerinin Zamana Bağlı Değişiminin İncelenmesi

Atmosferik ve sıçrama korozyon durumları farklı net beton örtüleri dikkate alınarak yer değiştirme istemleri için çerçeve yapının taban kesme kuvvet değerleri önceki bölümde elde edilmiştir. Korozyon nedeniyle yapının zamana bağlı taban kesme kuvvetindeki azalmalar grafikler kullanılarak sunulmuştur.

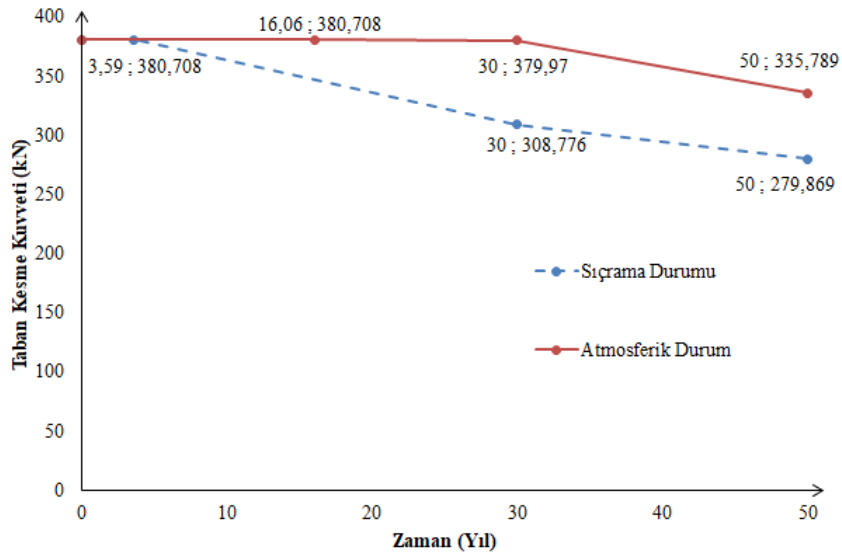
40 mm net beton örtüsü kullanıldığı durumda incelenen sayısal örnek için taban kesme kuvveti kapasitesinde önemli bir değişim görülmemiştir. Ancak, korozyon nedeniyle taban kesme kuvveti kapasitesindeki değişim 30 mm net beton örtüsü Şekil 4.76'da, 25 mm net beton örtüsü Şekil 4.77'de, 20 mm net beton örtüsü Şekil 4.78'de, 15 mm net beton örtüsü Şekil 4.79'da gösterilmiştir.



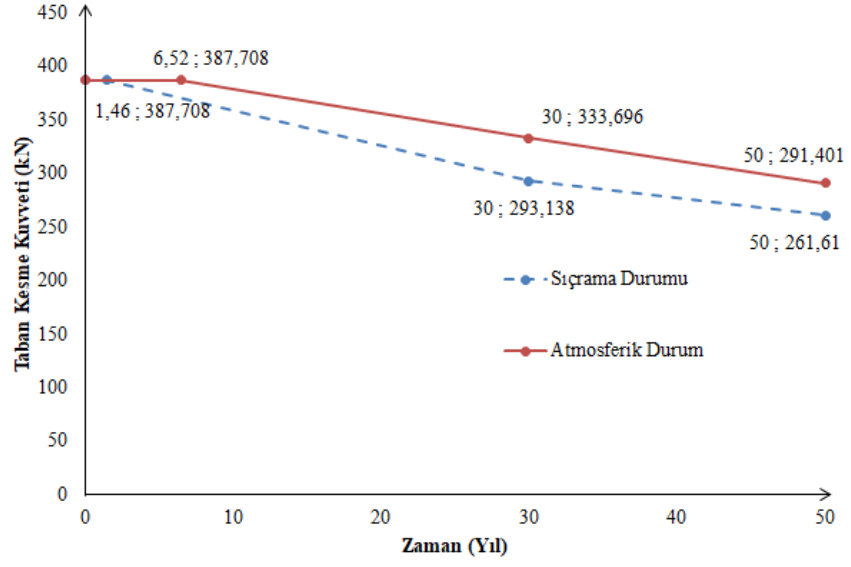
Şekil 4.76 : 30 mm net beton örtüsü (2. grup analizler) için taban kesme kuvveti kapasitesi-zaman ilişkisi.



Şekil 4.77 : 25 mm net beton örtüsü (3. grup analizler) için taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.



Şekil 4.78 : 20 mm net beton örtüsü (4. grup analizler) için taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.



Şekil 4.79 : 15 mm net beton örtüsü (5. grup analizler) için taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi.

Net beton örtüsü azaldıkça korozyon nedeniyle yapının taban kesme kapasitesindeki azalış artmaktadır. İncelenen sayısal örnek için atmosferik korozyon durumunda 20 mm net beton örtüsünden itibaren, sıçrama korozyon durumunda ise 30 mm net beton örtüsünden itibaren korozyonun yapı taban kesme kuvveti kapasitesinde azalmaya neden olduğu görülmüştür.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, İzmir Aliğa liman bölgesi 26,950 enlem, 38,750 boylam koordinatları, ZC yerel zemin sınıfı ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınarak betonarme bir bina tasarlanmış, seçilen bir aksı üzerinden çeşitli korozyon parametreleri dikkate alınarak çerçeve yapı davranışları sabit tek modlu itme analizleri kullanılarak araştırılmıştır. İncelenen sayısal örnekler için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Betonarme çerçeve modeli için yapılan analizler sonucunda beton örtüsü ile orantılı olarak üniform korozyon başlama zamanının atmosferik ve sıçrama durumları için arttığı belirlenmiştir.
- 2- Üniform korozyon sonrası kalan donatı alanları beton örtüsü arttıkça artmaktadır.
- 3- Üniform korozyon sonrasında donatı mekanik özelliklerinin (akma dayanımı, kopma dayanımı, elastisite modülü, kopma birim uzaması) değişimi beton örtüsü ile orantılı olarak artmaktadır.
- 4- TBDY2018 esaslarına göre momet-eğrilik-dönme ilişkisi, beton ve donatı malzeme modeli, kolon karşılıklı etki diyagramı girdileri, yapı elemanları için etkin rijitlik çarpanları korozyon etkileri dikkate alınarak elde edilmiştir. Korozyonun malzeme mekanik özelliklerine etkisi detaylı şekilde modellenmiştir.
- 5- Sayısal örneklerde dikkate alınan korozyon durumları için TBDY2018'e göre yer değiştirme istemleri belirlenmiştir. Akabinde, doğrusal olmayan sabit tek modlu itme analizleri uygulanarak, taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesini ifade eden itme eğrileri yer değiştirme istemleri için elde edilmiştir. Bu analizler ile korozyon nedeniyle taban kesme kapasitesindeki değişimler olduğu görülmüştür.

- 6- Atmosferik ve sıçrama korozyon durumları farklı net beton örtüleri dikkate alınarak yer değiştirme istemleri için çerçeve yapının taban kesme kuvvet değerleri önceki bölümde belirlenmiştir. Korozyon etkisi altında taban kesme kuvveti kapasitelerinin zamana bağlı değişimleri incelenen sayısal örnekler için elde edilmiştir.
- 7- Sayısal uygulama kısmında incelenen çerçeve için atmosferik korozyon durumunda net beton örtüsü 20 mm ve daha küçük olması durumunda, sıçrama tipi korozyon durumunda ise 30 mm ve daha küçük olması durumunda 50 yıllık bina ekonomik ömrü süresince yapı taban kesme kuvveti kapasitesinin önemli mertebede değiştiği görülmüştür.
- 8- İncelenen sayısal örnek için 50 yıllık bina ekonomik ömrü dikkate alındığında analiz gruplarından; 1SD30-40, 1AD30-40, 1AD50-40, 2AD30-30, 1AD50-30, 3AD30-25 durumları için korozyonun yapı davranışı üzerine önemli etkisi gözlenmemiştir.

Tez çalışması kapsamında üniform korozyon üzerine yoğunlaşmış ve sayısal uygulama kısmında üniform korozyon dikkate alınarak atmosferik ve sıçrama durumları incelenmiştir. Yeni yapılacak çalışmalarda çukurlaşma (pitting) tipi korozyonun dikkate alınması, oldukça yaygın görülen bu tip korozyonun da yapı mühendisliği problemlerinde değerlendirilmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Benzer şekilde, yüksek mod etkilerinin de dikkate alındığı üç boyutlu itme analizleri yapılarak korozyonun yapı davranışı üzerine olan etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmesi gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Coşkan, S. (2011). Üniform korozyona maruz betonarme binalarda deprem davranışının incelenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [2] Yüsek, İ., Coşkan, S. (2013). Çerçevelerde donatı korozyonunun taşıyıcı sistem davranışına etkileri. *Constructional Technologie*, 5, 77-88.
- [3] TBDY (2018). Türkiye bina deprem yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Ankara.
- [4] XTRACT-V3.0.8 (2008). Cross section analysis program. ANSYS Inc. Canonsburg, PA.
- [5] SAP2000-V17 (2017). Structural analysis program. Computer and Structures Inc. Berkeley, CA,USA.
- [6] Lindvall, A. (1998). DuraCrete-Probabilistic performance based durability design of concrete structures. 2nd Int. Phd Symposium in Civil Engineering, Budapest.
- [7] Sood, P., Ghosh, J. (2016). Consideration of time-evolving capacity distributions and improved degradation models for seismic fragility assessment of aging highway bridges. *Reliability Engineering and System Safety*, 154, 197-218.
- [8] Lee, H., Cho, Y. (2009). Evaluation of the mechanical properties of steel reinforcement embedded in concrete specimen as a function of the degree of reinforcement corrosion. *Springer Science*, 157, 81-88.
- [9] Choe, D., Gardoni, P., Rosowsky, D., & Haukaas, T. (2008). Probabilistic capacity models and seismic fragility estimates for rc columns subject to corrosion. *Reliability Engineering and System Safety*, 93(3), 383-393.
- [10] Rao, K., Ranjith, A., & Manjunath, K. (2016). Evaluation the effect of corrosion on service life prediction of rc structures – a parametric study. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 587-603.
- [11] Uçar, T., Düzgün, M. (2013). Betonarme binalar için artımsal itme analizi esaslı analitik hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması. *İMO Teknik Dergi*, 24, 6421-6446.
- [12] Alıcı, F., Kaatsız, K., & Sucuoğlu, H. (2013). Genel itme analizinin pratik uygulaması. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.
- [13] DBYBHY (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Ankara.
- [14] Yüksel, İ., Sakcalı, G. (2018). Zemin katı korozyona maruz kalmış bir binanın performans değerlendirmesi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B – Teorik Bilimler*, 6, 152-162.
- [15] Zhang, M., Liu, R., Li, Y., & Zhao, G. (2018). Seismic performance of a corroded reinforce concrete frame structure using pushover method. *Hindawi Advances in Civil Engineering*, 2018, 12.
- [16] Aköz, F. (2012). Betonarme yapılarda donatı korozyonuna neden olan faktörler ve alınacak önlemler. *Korozyon*, 19(1-3), 23-28.

- [17] Çakır, A. (1984). İnşaat endüstrisinde korozyon ve katodik koruma yöntemi ile korunma. *İstanbul Teknik Üniversitesi Malzeme Semineri*. İstanbul.
- [18] Neville, A. (1987). *Concrete technology*. New York: Prentice Hall.
- [19] Hansson, C. (1984). Comments on electrochemical measurements of the rate of corrosion of steel in concrete. *Cement and Concrete Research*, 14(4), 574-558.
- [20] Mehta, P. K. (1986). *Structure Properties and Materials*. Englewood Cliffs: Printice-Hall.
- [21] Baradan, B., Yazıcı, H., & Un, H. (2002). *Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*. İstanbul: Ecem Ofset Matbaacılık.
- [22] Aköz, F., Zorbozan, M., & Yüzer, N. (2000). Betonarme yapılarda korozyon hasarının tespiti onarım için öneriler. *Metal Dünyası*, 25-28.
- [23] Soleymani, H., Ismail, E. (2004). Comparing corrosion measurement methods to assess the corrosion activity of laboratory OPC and HPC concrete specimens. *Cement and Concrete Research*, 34(11), 2037-2044.
- [24] Tuutti, K. (1982). Corrosion of steel in concrete. *Swedish Cement and Concrete Research Institute*. Stockholm.
- [25] DuraCrete. (2000). *Statistical quantification of the variables in the limit state functions*. The European Union.
- [26] Demirtaş, B. (2008). Korozyonun Betonarme Kolonların Deprem Performansına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] <http://www.karadenizkorozyon.com/korozyon-cesitleri-nelerdir>
- [28] Vu, K., Stewart, M. (2000). Structural reliability of concrete bridges including improved chloride-induced corrosion models. *Structural Safety*, 22(4), 313-333.
- [29] Val, D.V., Melchers, R., & Stewart, G. (1998). Effect of reinforcement corrosion on reliability of highway bridge. *Engineering Structures*, 20(11), 1010-1019.
- [30] <http://www.ntv.com.tr/turkiye/korozyona-ugramis-bina-ayakta-kalmaz>
- [31] <https://www.haberler.com/buyuk-tehlike-deprem-degil-korozyon-5130059-haberi/>
- [32] <https://www.takvim.com.tr/guncel/2018/10/23/van-depremi-7-yilinda-van-depreminde-ne-oldu>
- [33] TS-500 (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları standardı. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- [34] TS-EN206 (2002). Beton özellik, performans, imalat ve uygunluk standardı. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- [35] Celep Z. (2007). Betonarme sistemlerde doğrusal olmayan davranış: Plastik mafsallı kabulü ve çözümleme. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı. İstanbul.
- [36] Gelmedi, Ö. (2011). Betonarme çerçeve tipi yapılarda burulma düzensizliğinin doğrusal olmayan statik artımsal itme analiz yöntemleri ile incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [37] Yılmaz, C. (2008). Statik itme analiziyle mevcut bir betonarme yapının performans değerlendirmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [38] Ürünveren, F. (2010). Çok katlı betonarme yapılarda deprem performansının belirlenmesi yöntemleri ve güçlendirme önerileri. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [39] ideCAD-10 (2018). ideYAPI bilgisayar destekli tasarım. Bursa.

EKLER

Kirişler için SAP2000-V17 programına aktarılan moment dönme değerleri Tablo EK.1’de sunulmaktadır.

Tablo EK.1 : Kiriş için moment-dönme değerleri.

Analiz	KIRIŞ							
	POZİTİF				NEGATİF			
	Moment	Dönme	SF Moment	SF Dönme	Moment	Dönme	SF Moment	SF Dönme
1ND-40	0	0	121,1	0,0018	0	0	159,4	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	34,41			-1	-34,36		
1SD30-40	0	0	121,1	0,0018	0	0	159,4	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	34,41			-1	-34,36		
1SD50-40	0	0	121,2	0,0018	0	0	159,5	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	34,42			-1	-34,66		
1AD30-40	0	0	121,1	0,0018	0	0	159,4	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	34,41			-1	-34,36		
1AD50-40	0	0	121,1	0,0018	0	0	159,4	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	34,41			-1	-34,36		
2ND-30	0	0	126,5	0,0018	0	0	167	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	33,23			-1	-32,46		
2SD30-30	0	0	123,1	0,0018	0	0	162,3	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	31,95			-1	-31,22		
2SD50-30	0	0	109,7	0,0018	0	0	144,5	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	29,29			-1	-28,70		
2AD30-30	0	0	126,5	0,0018	0	0	167	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	33,23			-1	-32,46		
2AD50-30	0	0	126,5	0,0018	0	0	167	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	33,23			-1	-32,46		
3ND-25	0	0	129,2	0,0018	0	0	170,7	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	32,53			-1	-31,83		
3SD30-25	0	0	116,2	0,0018	0	0	153,3	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	29,72			-1	-29,13		
3SD50-25	0	0	103,7	0,0017	0	0	136,8	0,0018
	1	0			-1	0		
	1	27,04			-1	-26,44		
3AD30-25	0	0	116,2	0,0018	0	0	153,3	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	29,72			-1	-29,13		
3AD50-25	0	0	129,1	0,0018	0	0	170,6	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	32,67			-1	-32,32		
4ND-20	0	0	131,9	0,0018	0	0	174,4	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	31,97			-1	-31,11		
4SD30-20	0	0	110,3	0,0017	0	0	145,7	0,0018
	1	0			-1	0		
	1	27,34			-1	-26,93		
4SD50-20	0	0	97,25	0,0017	0	0	128,3	0,0018
	1	0			-1	0		
	1	24,48			-1	-23,98		
4AD30-20	0	0	131,7	0,0018	0	0	174,3	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	32,20			-1	-31,44		
4AD50-20	0	0	125,4	0,0018	0	0	164,3	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	30,51			-1	-27,06		

Tablo EK.1 (devam) : Kiriş için moment-dönme değerleri.

5ND-15	0	0	134,2	0,0018	0	0	177,9	0,0019
	1	0			-1	0		
	1	31,74			-1	-30,53		
5SD30-15	0	0	103,5	0,0017	0	0	136,7	0,0017
	1	0			-1	0		
	1	25,09			-1	-24,88		
5SD50-15	0	0	88,81	0,0016	0	0	117,7	0,0017
	1	0			-1	0		
	1	22,15			-1	-21,26		
5AD30-15	0	0	124,1	0,0017	0	0	163,7	0,0018
	1	0			-1	0		
	1	29,60			-1	-27,53		
5AD50-15	0	0	102,8	0,0017	0	0	135,1	0,0017
	1	0			-1	0		
	1	25,06			-1	-22,67		

Kolonlar için SAP2000-V17 programına aktarılan moment dönme değerleri Tablo EK.2’de belirtilmektedir.

Tablo EK.2 : Kolon için moment-dönme değerleri.

Analiz	KOLON							
	P1 kN				P2 kN			
	Moment	Dönme	SF Moment	SF Dönme	Moment	Dönme	SF Moment	SF Dönme
1ND-40	0	0	193,3	1	0	0	217,5	1
	1	0			1	0		
	1	0,05	P1 = -523,6		1	0,018	P2 = -2094,4	
1SD30-40	0	0	193,3	1	0	0	217,5	1
	1	0			1	0		
	1	0,05	P1 = -523,6		1	0,018	P2 = -2094,4	
1SD50-40	0	0	190,9	1	0	0	217,5	1
	1	0			1	0		
	1	0,03	P1 = -514,4		1	0,013	P2 = -2057,6	
1AD30-40	0	0	193,3	1	0	0	217,5	1
	1	0			1	0		
	1	0,05	P1 = -523,6		1	0,018	P2 = -2094,4	
1AD50-40	0	0	193,3	1	0	0	217,5	1
	1	0			1	0		
	1	0,05	P1 = -523,6		1	0,018	P2 = -2094,4	
2ND-30	0	0	210	1	0	0	247,9	1
	1	0			1	0		
	1	0,05	P1 = -533,5		1	0,018	P2 = -2134	
2SD30-30	0	0	202,6	1	0	0	247	1
	1	0			1	0		
	1	0,03	P1 = -500,9		1	0,012	P2 = -2003,6	
2SD50-30	0	0	189	1	0	0	243,5	1
	1	0			1	0		
	1	0,02	P1 = -486,4		1	0,007	P2 = -1945,6	
2AD30-30	0	0	210	1	0	0	247,9	1
	1	0			1	0		
	1	0,05	P1 = -533,5		1	0,018	P2 = -2134	
2AD50-30	0	0	210	1	0	0	247,9	1
	1	0			1	0		
	1	0,05	P1 = -533,5		1	0,018	P2 = -2134	
3ND-25	0	0	218,4	1	0	0	263,1	1
	1	0			1	0		
	1	0,05	P1 = -538,5		1	0,019	P2 = -2154	
3SD30-25	0	0	199,5	1	0	0	256,7	1
	1	0			1	0		
	1	0,02	P1 = -492,3		1	0,009	P2 = -1969,2	
3SD50-25	0	0	186,7	1	0	0	257,1	1
	1	0			1	0		
	1	0,02	P1 = -478,6		1	0,005	P2 = -1914,4	
3AD30-25	0	0	199,5	1	0	0	256,7	1
	1	0			1	0		
	1	0,02	P1 = -492,3		1	0,009	P2 = -1969,2	
3AD50-25	0	0	211,9	1	0	0	260,4	1
	1	0			1	0		
	1	0,03	P1 = -521,1		1	0,010	P2 = -2084,4	
4ND-20	0	0	227,2	1	0	0	278,8	1
	1	0			1	0		
	1	0,05	P1 = -543,6		1	0,019	P2 = -2174,4	
4SD30-20	0	0	196,8	1	0	0	266,8	1
	1	0			1	0		
	1	0,02	P1 = -487,8		1	0,006	P2 = -1951,2	
4SD50-20	0	0	183,1	1	0	0	272,5	1
	1	0			1	0		
	1	0,01	P1 = -469,9		1	0,003	P2 = -1879,6	
4AD30-20	0	0	219,2	1	0	0	275,9	1
	1	0			1	0		
	1	0,02	P1 = -524,7		1	0,009	P2 = -2098,8	

Tablo EK.2 (devam) : Kolon için moment-dönme değerleri.

4AD50-20	0	0	211,3	1	0	0	281,4	1
	1	0	P1 = -494,1		1	0	P2 = -1976,4	
	1	0,01			1	0,004		
5ND-15	0	0	235,8	1	0	0	295,5	1
	1	0	P1 = -548,7		1	0	P2 = -2194,8	
	1	0,05			1	0,018		
5SD30-15	0	0	191,8	1	0	0	279,7	1
	1	0	P1 = -474,9		1	0	P2 = -1899,6	
	1	0,01			1	0,003		
5SD50-15	0	0	176,5	1	0	0	280,2	1
	1	0	P1 = -459,2		1	0	P2 = -1836,8	
	1	0,01			1	0,002		
5AD30-15	0	0	213	1	0	0	289,9	1
	1	0	P1 = -492,3		1	0	P2 = -1969,2	
	1	0,01			1	0,004		
5AD50-15	0	0	191,2	1	0	0	291,4	1
	1	0	P1 = -470,8		1	0	P2 = -1883,2	
	1	0,01			1	0,002		

Kolon karşılıklı etki diyagramı veri girişleri Tablo EK.3'te sunulmaktadır.

Tablo EK.3 : Kolonlar için karşılıklı etki diyagramı değerleri.

KOLON SAP2000 KARŞILIKLI ETKİ DİYAGRAMI VERİLERİ										
1ND-40										
Mxx (kNm)	0	50,12	244,1	277,6	252,1	225,9	203,8	108	2,184	0
P (kN)	-5236	-4711	-2716	-1586	-1073	-697,2	-493,9	187,6	839,9	855,1
1SD30-40										
Mxx (kNm)	0	50,12	244,1	277,6	252,1	225,9	203,8	108	2,184	0
P (kN)	-5236	-4711	-2716	-1586	-1073	-697,2	-493,9	187,6	839,9	855,1
1SD50-40										
Mxx (kNm)	0	47,84	242,3	276,6	251,5	225,5	203,7	107,9	2,184	0
P (kN)	-5144	-4672	-2702	-1579	-1069	-695	-492,9	187,8	839,9	855,1
1AD30-40										
Mxx (kNm)	0	50,12	244,1	277,6	252,1	225,9	203,8	108	2,184	0
P (kN)	-5236	-4711	-2716	-1586	-1073	-697,2	-493,9	187,6	839,9	855,1
1AD50-40										
Mxx (kNm)	0	50,12	244,1	277,6	252,1	225,9	203,8	108	2,184	0
P (kN)	-5236	-4711	-2716	-1586	-1073	-697,2	-493,9	187,6	839,9	855,1
2ND-30										
Mxx (kNm)	0	58,14	254,1	287	263,6	239,9	218,6	93,12	2,336	0
P (kN)	-5335	-4738	-2727	-1609	-1110	-753,7	-557,3	293,5	839,8	855,1
2SD30-30										
Mxx (kNm)	0	54,44	180,7	251	270,8	248,2	153,2	42,11	21,01	0
P (kN)	-5009	-4444	-3307	-2328	-1747	-1168	-299,9	457,8	641,5	824,5
2SD50-30										
Mxx (kNm)	0	52,27	175,3	242,6	260,2	237,7	144,9	37,53	18,74	0
P (kN)	-4864	-4329	-3223	-2275	-1720	-1165	-320,9	407,9	571,5	734,8
2AD30-30										
Mxx (kNm)	0	58,14	254,1	287	263,6	239,9	218,6	93,12	2,336	0
P (kN)	-5335	-4738	-2727	-1609	-1110	-753,7	-557,3	293,5	839,8	855,1
2AD50-30										
Mxx (kNm)	0	58,14	254,1	287	263,6	239,9	218,6	93,12	2,336	0
P (kN)	-5335	-4738	-2727	-1609	-1110	-753,7	-557,3	293,5	839,8	855,1
3ND-25										
Mxx (kNm)	0	62,54	259,8	292,1	268,4	247,2	226,2	85,85	2,413	0
P (kN)	-5385	-4753	-2732	-1620	-1120	-780,2	-586,2	344,1	839,9	855,1
3SD30-25										
Mxx (kNm)	0	53,45	174,2	246,7	265,7	241,3	144,6	40,19	20,07	0
P (kN)	-4923	-4375	-3280	-2297	-1720	-1143	-280,6	424,2	594	763,2
3SD50-25										
Mxx (kNm)	0	51,13	169,1	238,7	255,6	231,5	136,9	35,95	17,97	0
P (kN)	-4786	-4268	-3202	-2248	-1694	-1139	-299	379,3	531	682,6
3AD30-25										
Mxx (kNm)	0	62,54	259,8	292,1	268,4	247,2	226,2	85,85	2,413	0
P (kN)	-5385	-4753	-2732	-1620	-1120	-780,2	-586,2	344,1	839,9	855,1
3AD50-25										
Mxx (kNm)	0	57,16	255,5	289,3	266,5	245,7	225,3	85,91	2,413	0
P (kN)	-5211	-4681	-2702	-1602	-1108	-771,3	-580,6	343,7	839,9	855,1
4ND-20										
Mxx (kNm)	0	66,52	265	297	272,7	251	228,9	79,39	2,489	0
P (kN)	-5436	-4771	-2742	-1628	-1122	-780,6	-576,2	389,4	839,9	855,1
4SD30-20										
Mxx (kNm)	0	49,35	167,4	244,9	264,3	238,9	139,6	38,45	18,31	0
P (kN)	-4878	-4381	-3317	-2302	-1712	-1148	-276	400,6	565,4	711,4
4SD50-20										
Mxx (kNm)	0	49,47	162,6	234,2	250,2	224,5	128,5	34,16	17,08	0
P (kN)	-4699	-4205	-3178	-2217	-1667	-1113	-278	349,3	489	628,6

Tablo EK.3 (devam) : Kolonlar için karşılıklı etki diyagramı değerleri.

4AD30-20										
Mxx (kNm)	0	60,69	260,3	293,9	270,6	249,4	227,8	79,48	2,489	0
P (kN)	-5247	-4693	-2708	-1608	-1109	-771,7	-570,2	388,8	839,9	855,1
4AD50-20										
Mxx (kNm)	0	52,6	172,1	251,1	272,3	247,1	146,2	43,88	21,94	0
P (kN)	-4941	-4420	-3347	-2323	-1721	-1123	-238,3	448,7	628,2	807,6
5ND-15										
Mxx (kNm)	0	70,74	270,4	302,2	277	254,4	228	74,12	2,565	0
P (kN)	-5487	-4790	-2752	-1632	-1121	-772,7	-539,8	427,1	839,9	855,1
5SD30-15										
Mxx (kNm)	0	50,24	161,5	237,8	255,3	227,7	128,5	36,77	18,34	0
P (kN)	-4749	-4248	-3232	-2237	-1664	-1090	-241,4	365,1	511,3	656,7
5SD50-15										
Mxx (kNm)	0	46,7	155,6	228,5	243,4	216,4	119,6	31,72	15,81	0
P (kN)	-4592	-4138	-3149	-2185	-1636	-1088	-262,8	315	441,3	566,6
5AD30-15										
Mxx (kNm)	0	52,87	168,7	250,3	271,7	244,4	141,3	43,98	21,99	0
P (kN)	-4923	-4400	-3353	-2314	-1703	-1096	-211,5	436,3	610,8	785,3
5AD50-15										
Mxx (kNm)	0	48,15	160,2	237	254,6	227,8	128,5	36,58	18,28	0
P (kN)	-4708	-4243	-3235	-2239	-1665	-1095	-244,6	363	508,2	653,3

Yapı elemanları için rijitlik çarpanları Tablo EK.4’te sunulmaktadır.

Tablo EK.4 : Yapı elemanları rijitlik çarpanları.

ANALİZ	KİRİŞLER İÇİN RİJİTLİK ÇARPANI	ZEMİN KAT KOLONLAR İÇİN RİJİTLİK ÇARPANI	DİĞER KAT KOLONLAR İÇİN RİJİTLİK ÇARPANI
1ND-40	0,208	0,310	0,285
1SD30-40	0,208	0,310	0,285
1SD50-40	0,209	0,307	0,283
1AD30-40	0,208	0,310	0,285
1AD50-40	0,208	0,310	0,285
2ND-30	0,220	0,311	0,305
2SD30-30	0,214	0,320	0,295
2SD50-30	0,198	0,315	0,291
2AD30-30	0,220	0,311	0,305
2AD50-30	0,220	0,311	0,305
3ND-25	0,226	0,341	0,315
3SD30-25	0,210	0,324	0,300
3SD50-25	0,193	0,320	0,296
3AD30-25	0,226	0,341	0,315
3AD50-25	0,226	0,334	0,308
4ND-20	0,232	0,353	0,326
4SD30-20	0,204	0,330	0,306
4SD50-20	0,186	0,325	0,301
4AD30-20	0,232	0,345	0,319
4AD50-20	0,222	0,336	0,311
5ND-15	0,238	0,365	0,338
5SD30-15	0,199	0,334	0,310
5SD50-15	0,178	0,327	0,305
5AD30-15	0,224	0,343	0,318
5AD50-15	0,198	0,334	0,311

Herbir analizin İzmir Aliağa bölgesi, 38,750 enlem; 26,950 boylam koordinatları doğrultusunda yer değiştirme istemleri ZC zemin sınıfı için Tablo EK.5'te özetlenmiştir.

Tablo EK.5 : Tepe yer değiştirme istemleri.Hata! Bağlantı geçersiz.

ANALİZ	S _s	S ₁	F _s	F ₁	S _{D1}	S _{Ds}	T _B	T ₁	S _{ae(T)}	S _{de(T)}	Tepe Yer Değiştirme İstemi
1ND-40	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,899	0,47	0,095	0,1183
1SD30-40	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,899	0,47	0,095	0,1183
1SD50-40	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,9	0,469	0,095	0,1184
1AD30-40	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,899	0,47	0,095	0,1183
1AD50-40	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,899	0,47	0,095	0,1183
2ND-30	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,873	0,484	0,092	0,1149
2SD30-30	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,886	0,477	0,093	0,1166
2SD50-30	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,908	0,465	0,096	0,1196
2AD30-30	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,873	0,484	0,092	0,1149
2AD50-30	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,873	0,484	0,092	0,1149
3ND-25	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,86	0,491	0,091	0,1133
3SD30-25	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,887	0,476	0,093	0,1169
3SD50-25	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,911	0,464	0,096	0,1201
3AD30-25	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,865	0,488	0,091	0,1138
3AD50-25	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,865	0,488	0,091	0,1138
4ND-20	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,848	0,498	0,089	0,1116
4SD30-20	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,891	0,474	0,094	0,1175
4SD50-20	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,917	0,461	0,096	0,1212
4AD30-20	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,852	0,495	0,09	0,1122
4AD50-20	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,867	0,487	0,091	0,1142
5ND-15	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,835	0,505	0,088	0,1101
5SD30-15	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,894	0,472	0,094	0,1181
5SD50-15	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,926	0,456	0,097	0,1223
5AD30-15	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,861	0,49	0,091	0,1135
5AD50-15	1.171	0,281	1,2	1,5	0,422	1.405	0,3	0,895	0,472	0,094	0,1182

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : **Eyüp Bora DİLEK**
Doğum Yeri ve Tarihi : **Sivas – 08/01/1989**
E-posta : **ins.muh.boradilek@gmail.com**

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans: 2012, Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM

2012-2013 Rehber Yapı Ltd. Şti. şirketinde kontrol ve saha mühendisi olarak görev almıştır.

2013-2014 Skala Yapı Ltd. Şti. şirketinde kontrol ve saha mühendisi olarak görev almıştır.

2014-2019 İlk İnşaat Taah. San. ve Tic. A.Ş. şirketinde planlama ve hakediş mühendisi olarak İzmir Aliğa Star Rafineri Projesinde görev almıştır.

16/05/2019 tarihinden itibaren İlk İnşaat Taah. San. ve Tic. A.Ş. şirketinde teknik ofis müdürü olarak Adana Hunutlu Termik Santral projesinde görev almaktadır.