

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**DÜZ DONATILI BETONARME BİNA PERFORMANSININ
STATİK İTME ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ**

Umut TÜREL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**DÜZ DONATILI BETONARME BİNA PERFORMANSININ
STATİK İTME ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ**

Umut TÜREL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EYLÜL 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜZ DONATILI BETONARME BİNA PERFORMANSININ
STATİK İTME ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ**

Umut TÜREL
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 13/09/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Okan ÖZCAN (Danışman)

Doç.Dr. Razaman ÖZÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Hakan ERDOĞAN



ÖZET

DÜZ DONATILI BETONARME BİNA PERFORMANSININ STATİK İTME ANALİZİ İLE BERLİRLENMESİ

Umut TÜREL

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Okan ÖZCAN

Eylül 2019; 41 sayfa

Bu çalışmada, düz (nervürlü) donatılı çerçeveli betonarme (BA) yapıların sismik davranışının 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmelikleri'ne göre statik itme analiz yöntemi kullanılarak incelenmesi amaçlanmıştır. Statik itme analizinin diğer performans değerlendirme yöntemlerine göre daha kolay uygulanabilir olması nedeniyle, bu yöntemle yapının sismik performansı plan düzensizlikleri ve modal kütle gereksinimleri ile ilgili özel durumların sağlanmasıyla daha kolay incelenebilmektedir. Burada, düz donatılı BA yapıların sismik performansı, daha önce yapılmış olan çalışmalarda önerilen etkin rijitlik ve plastik dönme değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Yapısal modellemede, kolon ve kirişlerin düz donatı kullanımına bağlı etkin rijitlik ve plastik dönme miktarlarındaki değişim ve buna bağlı performans noktaları oluşan plastik mafsalları ile birlikte değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde, düz donatıya sahip BA yapıların nervürlü donatıya sahip binalara göre yaklaşık aynı performans noktasına daha az sayıda plastik mafsalları ve daha çok plastik dönme ile ulaştığı saptanmıştır. Bu davranış, düz ve nervürlü boyuna donatıya sahip kirişlerin temelde sahip olduğu eğilme çatlama davranışına analog olarak görülmektedir. Böylelikle, bu çalışmada düz donatı kullanımından kaynaklanan sismik performans değişimlerinin daha gerçekçi olarak modellenmesi sağlanmış olup, eski tip BA çerçeveli yapılarda düz donatının etkisi doğrudan incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Düz Donatı, Nervürlü Donatı, Statik İtme Analizi

JÜRİ: Doç. Dr. Okan ÖZCAN

Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Hakan ERDOĞAN

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS REINFORCED WITH PLAIN BARS BY STATIC PUSHOVER METHOD

Umut TÜREL

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Okan ÖZCAN

September 2019; 41 pages

In this study, it was aimed to investigate the seismic behavior of framed reinforced concrete (RC) structures according to 2007 and 2018 Turkish Seismic Codes by using static pushover analysis method. Due to the ease of implementation of the static pushover analysis method rather than the other performance analysis methods, the seismic performance of the structures can be evaluated in a simpler way while satisfying special conditions related to plan irregularities and modal mass requirements. Herein, the seismic performance of RC buildings with plain reinforcement was evaluated by using the effective stiffness and plastic rotation values that were suggested in previous studies. In structural modeling, the alteration of effective stiffness and plastic rotations due to plain bar implementation and related performance points were evaluated in conjunction with the number of formed plastic hinges. In the conducted analyses, the buildings with plain reinforcement were observed to reach a close performance point with a less plastic hinges and high plastic rotation amounts. This phenomenon was observed to be analogous to flexural cracking behavior of the beams reinforced with plain and deformed rebars. Thus, in this study, more reliable modeling of the performance alterations arising from plain rebar implementation was ensured and the impact of plain rebars in framed RC structures was investigated directly.

KEYWORDS: Plain Reinforcement, Ribbed Reinforcement, Static Pushover Analysis

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Okan ÖZCAN

Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Asst. Prof. Dr. Hakan ERDOĞAN

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında geçmişte yaşanan depremlerdeki kayıpların bir daha yaşanmaması adına ülkemizdeki mevcut yapıların deprem güvenliğinin tespit edilmesi çalışmalarına katkıda bulunabilmek amaçlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından bitimine kadar geçen süreçte benden yardımlarını esirgemeyen, bildiklerini paylaşan ve özgün bir çalışma ortaya çıkarma konusunda her zaman ilham kaynağım olan, tezimin tamamlanmasında emeğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Okan ÖZCAN'a teşekkür ederim.

Canım kardeşim Avukat Özlem Deniz TÜREL'e ve Canım kuzenim İnşaat Yüksek Mühendisi Özgür TÜREL'e yüksek lisans eğitimim boyunca yardımları ve sınırsız sevgileri için çok teşekkür ederim. Sevgili annem Emine TÜREL ve babam Mehmet TÜREL'e koşulsuz sevgileri, bugüne gelmemdeki emekleri ve her daim yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
3. MATERYAL VE METOT	5
3.1. Performans Kavramı.....	5
3.2. Performans Seviyeleri	5
3.2.1. Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları	5
3.2.2. Yapısal olmayan performans seviyeleri.....	7
3.3. Statik İtme Analizi (Pushover Analizi)	8
3.4. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Statik İtme – Pushover Analizi)	8
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	13
4.1. Betonarme Binanın Bilgisayar Ortamında Analizi	13
4.2. Burulma Düzensizliği Kontrolü(A1).....	20
4.3. Kolonların Kesme Güvenliği.....	21
4.4. SAP200 Analizi Sonuçları.....	22
4.4.1. Modal analiz sonuçları.....	22
4.4.2. X Yönü (EX) itme analizi sonuçları	25
4.4.3. Y Yönü (EY) itme analizi sonuçları	28
4.4.4. Mod1 itme analizi sonuçları	32
4.4.5. Mod3 itme analizi sonuçları	35
5. SONUÇLAR	39
6. KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Düz Donatılı Betonarme Bina Performansının Statik İtme Analizi İle Belirlenmesi ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

13/09/2019

Umut TÜREL



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ϵ_{cu}	:Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_s	:Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
ρ_s	:Kesitte mevcut bulunan enine donatının hacimsel oranı
ρ_{sm}	:Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı
ϵ_{cu}	:Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	:Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalma sınırı
$\epsilon_c^{(KH)}$	:Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalma sınırı
$\epsilon_c^{(SH)}$	:Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalma sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	:Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$	:Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$	:Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
ϵ_{su}	:Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
ω_{we}	:Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
δ	: Mutlak kat ötelemesi
Δ	:Görelî kat ötelemesi($\delta_{kolon,üst} - \delta_{kolon,alt}$)
η	:Burulma düzensizlik katsayısı

Kısaltmalar

ATC	:Applied Technology Council
FEMA	:Federal Emergency Management Agency
DBYBHY-2007	:Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
TBDY-2018	:Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
SAP2000	:Structural Analysis Program 2000
XTRACT	:Cross-Sectional X Structural Analysis Of Components
IO	:Immediate Occupancy
LS	:Life Safety
CP	:Collapse Prevention
BA	:Betonarme
RC	:Reinforced Concrete

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Doğrusal Olmayan Teori İle Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi (Web 2018)	9
Şekil 3.2. Performans Seviyeleri (Web 2018)	10
Şekil 4.1. Normal Kat Kalıp Aplikasyon Planı.....	14
Şekil 4.2. Binanın 3 Boyutlu Görünümü.....	15
Şekil 4.3. Binanın Görünümü	16
Şekil 4.4. C8 kabuk ve çekirdek sargısız beton modeli.....	17
Şekil 4.5. S220 çeliği için elastoplasik model.....	18
Şekil 4.6. XTRACT Programından Kolon İçin Elde Edilen Etki Diyagramı.....	19
Şekil 4.7. XTRACT Programından Kiriş İçin Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi.....	19
Şekil 4.8. Modal 3 Boyutlu.....	23
Şekil 4.9. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod1 Şekli.....	23
Şekil 4.10. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod2 Şekli.....	24
Şekil 4.11. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod3 Şekli.....	24
Şekil 4.12. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan X Yönündeki İtme Eğrisi	25
Şekil 4.13. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönü Plastik Mafsalları Sayıları(A-B).....	25
Şekil 4.14. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönü Plastik Mafsalları Sayıları(B-IO).....	26
Şekil 4.15. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönü Plastik Mafsalları Sayıları(IO-LS).....	26
Şekil 4.16. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönü Plastik Mafsalları Sayıları(C-D).....	27
Şekil 4.17. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönü Önerilen Durum İçin Plastik Mafsalları Yerleri.....	27
Şekil 4.18. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Y Yönündeki İtme Eğrisi	28
Şekil 4.19. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Plastik Mafsalları Sayıları(A-B).....	29

Şekil 4.20. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Plastik Mafsal Sayıları(B-IO).....	29
Şekil 4.21. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Plastik Mafsal Sayıları(IO-LS).....	30
Şekil 4.22. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Plastik Mafsal Sayıları(C-D).....	30
Şekil 4.23. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Önerilen Durum İçin Plastik Mafsal Yerleri.....	31
Şekil 4.24. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod1 İtme Eğrisi.....	32
Şekil 4.25. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Plastik Mafsal Sayıları(A-B).....	32
Şekil 4.26. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Plastik Mafsal Sayıları(B-IO).....	33
Şekil 4.27. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Plastik Mafsal Sayıları(IO-LS).....	33
Şekil 4.28. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Plastik Mafsal Sayıları(C-D).....	34
Şekil 4.29. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Önerilen Durum İçin Plastik Mafsal Yerleri.....	34
Şekil 4.30. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod3 İtme Eğrisi.....	35
Şekil 4.31. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Plastik Mafsal Sayıları(A-B).....	36
Şekil 4.32. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Plastik Mafsal Sayıları(B-IO).....	36
Şekil 4.33. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Plastik Mafsal Sayıları(IO-LS).....	37
Şekil 4.34. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Plastik Mafsal Sayıları(C-D).....	37
Şekil 4.35. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Önerilen Durum İçin Plastik Mafsal Yerleri.....	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yapısal Performans Seviye ve Aralıkları (FEMA356 2000).....	6
Çizelge 3.2. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri (FEMA356 2000).....	8
Çizelge 4.1. Kolon Plastik Eğrilik Kapasiteleri	16
Çizelge 4.2. Kiriş Plastik Eğrilik Kapasiteleri	16
Çizelge 4.3. Yük Hali: EX(E+)	20
Çizelge 4.4. Yük Hali: EX(E-)	20
Çizelge 4.5. Yük Hali: EY(E+)	20
Çizelge 4.6. Yük Hali: EY(E-)	21
Çizelge 4.7. Modların Kütle Katılım Oranları.....	22

1. GİRİŞ

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle meydana gelen ani titreşimlerin dalgalar halinde yayılması sonucu geçtiği mekanları ve yer zeminin titreşme olayına "DEPREM" denir. Deprem, insanların bulunduğu yerinde oynayacağını ve can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir afettir. Yerkürenin oluşumundan beri, aktif sismik hareketlik bulunan bölgelerde depremlerin meydana geldiği ve sonucunda da milyonlarca insanın hayatını kaybettiği bilinmektedir.

Dünya üzerinde oluşan depremlerin neden oldukları zararları ve büyüklüğü bakıldığında 2 büyük deprem bölgesi dikkat çekmektedir. İlki Pasifik Okyanusunu çevreleyen üzerinde etkili olan Pasifik Deprem Kuşağı, diğeri ise Cebelitarık'tan Endonezya ya uzanan ve Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz-Himalaya deprem kuşağıdır. Ülkemizde Erzincan, Dinar, Adana-Ceyhan, Kocaeli-Düzce ve Van depremlerinin meydana gelmesinden sonra yerinde yapılan incelemelerde mevcut yapıların büyük bir kısmında projesel ve/veya imalat hatalarından dolayı hasar can kaybı çok yüksek düzeyde olmuştur. Deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkelerde depremden sonra bir yapının hemen kullanılıp kullanılmayacağı veya güçlendirilip güçlendirilmeyeceğinin belirlenmesi önemlidir. Bunun yanı sıra öngörülen bir deprem için bir yapının kapasitesinin tayin edilerek güvenlik düzeyinin belirlenmesi ve bu çalışmalarının sonucunda yapının kullanımı hakkında karar verilmesi olası bir depremde hasarın sınırlı kalmasını sağlayabilecektir.

Son zamanlarda özellikle kentsel yerlerde oluşan depremlerde yapılardaki hasarların çok oluşu ve can kaybının çok fazla olması nedeniyle, depreme karşı sağlam yapı tasarlamasında hasar kontrolünün de göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermiştir. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla, ATC 40 ve FEMA tarafından FEMA 273, 356 raporları yayınlanmıştır. ATC-40 betonarme yapıların değerlendirmesi olmasına karşılık, her çeşit yapıda kullanılabilir. FEMA-356; önce FEMA 273 FEMA 274 olarak yapıların zelzele güçlendirilebilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Performansa bağlı kavramların ancak yeni projenin yapılmasında kullanılabilir. ATC-40'daki kayıtların ilerisine giderek, FEMA-356 bütün yapıları kapsamak üzere hazırlanmış olup, kabul kriterleri doğrusal ve doğrusal olmayan sonuçları çözümlmek için de verilmiştir. ATC-40 ve FEMA-356 birbirine benzerdir.

Depremlerden elde edilen deneyimler sonucunda birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de deprem yönetmelikleri değiştirilmektedir. Yeni deprem yönetmeliklerinde yapıların güvenlik seviyeleri yükseltilmektedir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 7. bölümde bulunmaktadır. Ülkemizde birçok yapının yürürlükteki deprem yönetmeliğinden daha önce inşa edildiği, inşaat sırasında imalat hatalarının yapılma olasılığının yüksek olduğu ve çoğu zaman projesinde göz önüne alınan kullanım amacından farklı ve itinasız kullanıldığı göz önüne alındığında bir program çerçevesinde sıkıntılı bölgelerdeki önemli yapılardan başlamak üzere tüm yapıların deprem performanslarının tespit edilmesi gerekmektedir. Deprem performansı yapının istenilen sismik yer hareketini karşılayabilme kapasitesi olarak belirtilmektedir.

İtme analizi yöntemin kullanılışı 1970'li yıllara kadar uzayıp gitmektedir. Ancak 15-20 yılda değer kazanmaya başladığını, itme analizi yayınların çokluğundan da

görülmektedir. Bu çalışmalarda öncelikle bu konunun uygulanabilirliği üzerinde tartışmalar başlamış, avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Statik itme (pushover) analizinin amacı, şekil değiştirme (deformasyon) kapasitelerini ve yapının dayanımını belirleyerek ilgili performans sıralamalarını deprem sistemi ile karşılaştırarak, yapının performans düzeyini değerlendirmektedir. Bu yöntemde ikinci mertebe etkisi, malzemenin elastik ötesi davranışı ve iç kuvvetlerin yeniden dağıtılması göz önünde bulundurulmaktadır.

Sonuçta bu yöntemlerin ortaya çıkmasıyla, gelişmiş bilgisayar desteği sayesinde kolaylıkla kullanılarak, amacına uygun daha güvenli yapıların projelendirilmesine ve mevcut yapıların da minimum maliyetlerle güçlendirilmesine olanak tanımaktadır.



2. KAYNAK TARAMASI

Doğrusal olmayan itme analizinin gelişimi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar aşağıda ifade edilmektedir. Bu çalışmalar yöntemin gelişmesi açısından önem arz etmektedir.

1994 yılında Lawson, Vance, Karwinkler tarafından itme analizi ne amaçla kullanılmak istendiği konusunda çalışma yapılmıştır. Bu yöntemlerin uygulanmasında karşılaşılan temel sorunlar itme analizi getirdiği aralıklar ve analiz sonuçlarının değişimi yatay yük dağılımına bağlı olarak üzerinde durulmuştur.

1995 yılında Moghadam, Tso tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yüksek katlı yapı sistemlerinde deprem esnasında büyük hasarlara neden olan burulma düzensizliğinin hasar seviyesine etkisini göstermek üzere, simetrik olmayan yapılarda itme analizi kullanımı üzerinde durulmuştur.

1996 yılında Tso ve Moghadam eksantrik çok katlı yapıların hasar potansiyellerinin belirlenmesi için basitleştirilmiş yöntem geliştirmiştir. Çalışmada yapıların deprem sırasındaki davranışlarında birinci mod etkilerinin hakim olduğu kabul edilmiştir.

1997 yılında Kilar ve Fajfar yaptıkları çalışmada, aralarındaki oranı sabitlemekle beraber artmakta olan yatay yükler etkisindeki yapıların analizi geliştirmiştir. Yöntemde yapıların düzlemsel makro elemanlardan oluştuğu kabul edilmiştir. Her bir düzlemsel makro eleman için doğrusallaştırılmış tepe noktası yer değiştirmesi - taban kesme kuvveti ilişkisi dikkate alınmıştır. Buna göre adım adım işlem yapılarak tüm yapı sistemi için toplam tepe noktası yer değiştirmesi - taban kesme kuvveti ilişkisi hesaplanmıştır.

1998 yılında Krawinkler ve Seneviranta G.D.P.K. tarafından yapılan çalışmada, itme analizi hassasiyeti değerlendirilmiş ve dayandırıldığı temeller özetlenmiştir.

1998 yılında Sasaki, Freeman ve Paret tarafından yüksek mod esaslı itme analizi zmalarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Yöntem kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kolaylıklarını devam ettirerek, bu analizlerin yüksek mod etkilerinin de kapsayacak şekilde genişletilmiş halidir.

1998 yılında Moghadam ve Tso itme analizi i ile yüksek mod ve burulma etkilerini de dikkate alacak şekilde geliştirmiştir.

1998 yılında Faella ve Kilar tarafından yapılan çalışmada, doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi sonuçları ile simetrik olmayan yapıların sismik analizi için kullanılan üç boyutlu doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerin kabul edilebilirliğini kıyaslanmıştır.

1999 yılında Kim, Hong ve Ju tarafından, elastik ötesi bölgelerde elemanların değişen rijitliklerine bağlı olarak değişen mod şekilleri ile orantılı kuvvet dağılımlarını esas alan, bir dinamik elastik ötesi analiz yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde yapının elastik ötesi davranışa girmesiyle birlikte, yatay yüklerin dağılımı mod sekline göre değişmektedir.

2001 yılında Chopra ve Goel sabit yatay yük dağılımını esas alan mevcut itme analizi temel kavramların ve hesap kolaylıklarının korunduğu, yapı dinamiği teorilerini esas alan bir elastik ötesi statik itme analizi yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen bu yüksek mod esaslı elastik ötesi artımsal itme analizinde (Modal Pushover Analysis,(MPA)), artan deprem yüklerine bağlı olarak oluşan sismik talep, her bir moda ait atalet kuvvetlerinin dağılımı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri ile belirlenmektedir.

2001 yılında Kilar ve Fajfar tarafından yapılan çalışmada, simetrik olmayan yapıların sismik tasarımı ve değerlendirilmesinde kullanılmakta olan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin kabul edilebilirliği araştırılmıştır. Yapı sistemleri için elde edilen toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisinin idealleştirilmesini esas alan analiz yöntemleri üzerinde durulmuştur.

2002 yılında Antoniou, Rovithakis ve Pinho tarafından itme analizi bazı kısıtlamalarını azaltmak üzere, yeni bir itme analizi geliştirilmiştir. Yöntem, yapının elastik ötesi davranışının çeşitli kademelerinde, elemanların değişen rijitliklerine ve yapı sisteminin dinamik özelliklerine bağlı olarak, yapı sistemi yüksekliği boyunca yatay yük dağılımının değişimini dikkate almakta ve yüksek mod etkilerini içermektedir.

2003 yılında Almeida ve Carneiro-Barros tarafından yapılan çalışmada, birinci doğal titreşim modu şekline göre yatay yük dağılımı uygulanması durumunda çok iyi sonuçlar veren, fakat yüksek mod etkilerinin önemli olduğu yapılarda bu hassasiyetini kaybeden yöntemlerine alternatif olarak her modun katılımını içeren bir yatay yük dağılımı geliştirilmiştir.

2003 yılında Chintanapakdee ve Chopra tarafında yüksek mod esaslı doğrusal olmayan statik modal artımsal itme analizlerinin (Modal Pushover Analysis, (MPA)) hassasiyetini belirlemek için 3, 6, 9, 12, 15, 18 katlı çerçeveler kullanılmıştır. Yüksek mod esaslı statik itme analizleri ve California depremlerine ait kayıtlar kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilerek, kat ötelenmeleri hesaplanmış ve birbiri ile kıyaslanmıştır. Çalışmada ilk iki veya uç mod etkisini dikkate alarak yapılan yüksek mod esaslı statik itme analizlerinin doğrusal olmayan dinamik analizler ile tutarlı sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

2004 yılında Jan, Liu ve Kao tarafından, yüksek mod etkilerini de dikkate alan, çok katlı yapıların sismik taleplerini belirlemek için bir statik itme analiz yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem Taiwan şartnamesine göre güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesi ile tasarlanmış 2, 5, 10, 20 ve 30 katlı çerçeveler üzerinde uygulanmıştır. İki modun yeterli sonuçlar verdiği ve diğer yüksek mod etkilerinin ihmal edilebileceği, yapılan çalışmada vurgulanmaktadır. Buna göre sadece ilk iki modu dikkate alarak gerçekleştirilen statik itme analizler sonucunda seçilen yapılara ait yatay kat yer değiştirmeleri, göreceli kat ötelenmeleri ve plastik mafsallı dönme değerleri elde edilmiştir. Yöntemin hassasiyeti üçgen yük dağılımı ile yapılan statik itme analizleri, yüksek mod esaslı statik itme analizleri ve doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar kıyaslanarak saptanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Performans Kavramı

Herhangi bir projelendirmede hesap kolaylığı açısından deprem hasarları yönetmeliklerin verdiği yatay ve düşey yükler etkisinde elastik sınır değerlere göre modellenir. Yapı gerçekte elastik ötesi tavrı sergilemektedir.

Elastik ötesi tavra ait yükler deprem yükü azaltma katsayısı ile belirlenmektedir. Karmaşık olan bu davranışın depremde oluşacak kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin bulunmasında eksik olmaktadır. Eksiklikler güvenlikte ve güç tükenmesi mekanizmasında belirsizliklere götürmektedir. Bu sebeple yüksek maliyetli olmasından dolayı ekonomik olmamakla ve aşırı güvenli yapı ortaya çıkmamaktadır.

Mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilen “Performans Kavramı” meydana gelmektedir. Performans öngörülmesinde performans seviyesinin birleştirilmesi ve deprem etki seviyesiyle meydana gelen “Performans Amacı”dır. Performans amacı tek bir depremin göz önüne alınarak belirleneceği gibi de birden fazla deprem etkisi de göz önüne alınarak hesaplanabilmektedir. Birden fazla alınan deprem etkisi olan performans amacı “Çoklu Performans Amacı” olarak belirtilmektedir.

Bir yapı inşa edilmeden veya güçlendirilme yapılmadan önce uygun performans amacı, yetkin mühendis ve yapı sahibi tarafından belirlenmelidir. Belirlenen performans amacına göre yetkin mühendisin analizde kullanacak olduğu sismik talebe göre taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların tasarımını ve hesabını kolaylıkla yapabilmektedir. Başarılı bir sonuç elde edilebilmesi için zemin davranışı ve yapısal özelliklerin iyi analiz edilmiş olması gerekmektedir.

Yapı seviye performansları ve kombinasyonlarının nasıl oluşturulacağı hakkında bilgilendirme yapılacaktır.

3.2. Performans Seviyeleri

Yapılarda belirli bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarlarının sınır durumu performans seviyeleridir. Performans seviyelerini belirleyen durumlar, yapılardaki fiziksel hasarlar, bu hasarlardan dolayı oluşabilecek can güvenliği tehdidi ve yapının deprem sonrası kullanılabilirlik durumu şeklinde tanımlanır.

3.2.1. Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları

Yapısal elemanlardaki performans seviyeleri az zarardan çok zarara doğru sıralanmaktadır.

- Hemen Kullanım Performans Seviyesi {Immediate Occupancy,IO}-(PS-1): Oluşan depremden sonra çok sınırlı yapısal hasarın meydana geldiği seviyedir. Yapının depremden önceki kullanım durumu gibi kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

- Hasar Kontrolü Performans Seviyesi {Damage Kontrol, DC}-(PS-2): Açık bir seviye olmamasıyla beraber deprem sonrası hasar durumu için bir aralıktır. Tarihi ve mimari açıdan değerli yapıların zarar görmesini engellemek için bu performans aralığı kullanılmaktadır.

- Can Güvenliği Performans Seviyesi {Life Safety,LS}-(PS-3): Meydana gelen depremden sonra yapıda büyük oranda yapısal hasarın meydana geldiği ancak kısmen veya toptan göçmenin söz konusu olmadığı durumdadır. Yaralanma olabilir ancak can güvenliği tehlikesi olmamaktadır.

- Sınırlı Güvenlik Performans Seviyesi {Limited Safety,LIF}-(PS-4): Açık bir seviye olmamasıyla beraber can güvenliği ile yapısal stabile performans seviyeleri arasında bir aralıkta bulunmaktadır.

- Yapısal Stabile Performans Seviyesi {Structural Stability,SS}-(PS-5): Yapıda önemli hasarların oluşmasıyla beraber yapı taşıyıcı sistemi güç tükenmesi durumuna gelmektedir. Yapının taşıyıcı sistemi kısmen veya toptan göçmeye ulaşma sınırındadır. Yapı stabilitesini korumasına rağmen devam eden artçı sarsıntılar nedeniyle her an yıkılma tehlikesi meydana gelmektedir.

- Taşıyıcı Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi {Not Considered,NC}-(PS-6): Tam manasıyla seviye olmamasıyla beraber yapısal olmayan elemanların (yüzey kaplamaları, duvarlar, eşyalar, asma tavan vb.) sismik açıdan değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için performans seviyesi tanımlanmaktadır.

Çizelge 3.1. Yapısal Performans Seviye ve Aralıkları (FEMA356 2000)

Performans Seviyeleri	Performans Aralığı	Tanım
PS-1		Hemen Kullanım Performans Seviyesi
	PS-2	Hasar Kontrolü Performans Aralığı
PS-3		Can Güvenliği Performans Seviyesi
	PS-4	Sınırlı Güvenlikli Performans Aralığı
PS-5		Yapısal Stabilitate Performans Aralığı
PS-6		Yapısal Performansın Göz Önüne Alınmadığı Seviye

3.2.2. Yapısal olmayan performans seviyeleri

Yapısal olmayan performans seviyeleri NP-n harfleri ile gösterilmektedir. Yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında deprem etkisiyle meydana gelen hasar seviyelerini açıklamak için kullanılmaktadır.

- Kullanımına Devam Performans Seviyesi (NP-A):

Deprem sonrasında taşıyıcı olmayan eleman ve sistemlerin kullanımı engelleyecek bir hasar oluşmadığı veya ihmal edilebilecek kadar küçük hasarlar oluşmaktadır.

- Hemen Kullanım Performans Seviyesi (NP-B):

Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda genel olarak yerlerini korumakla beraber ihmal edilebilecek hasarların oluşması beklenmektedir.

- Can Güvenliği Performans Seviyesi (NP-C):

Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlar ve sistemlerde önemli sayılabilecek bir hasarın olduğu ancak bina içerisindeki ve dışarısındaki ağır elemanlarda yaralanmalara neden olabilecek kopmaların, devrilmelerin oluşmadığı durum olarak tanımlanmaktadır.

- Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi (NP-D):

Deprem sonrasında yapıda toptan göçmenin oluşmadığı ancak yapısal olmayan elemanlarda kısmi veya tamamen göçmenin oluşabileceği ve bu hasardan dolayı insanların zarar görebildiği performans seviyesidir.

- Yapısal Olmayan Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi (NP-E)

Net bir seviye olmamakla beraber yetkin mühendis ve yapı sahibi için yapının durumunun saptanmasında bilgi vermektedir.

Hesapları yapılırken her ne kadar yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sisteme herhangi bir katkısı ve etkisi olmadığı kabul edilerek yapılmaktadır.

Çizelge 3.2. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri (FEMA356 2000)

Performans Seviyesi	Tanım
NP-A	Kullanıma Devam Performans Seviyesi
NP-B	Hemen Kullanım Performans Seviyesi
NP-C	Can Güvenliği Performans Seviyesi
NP-D	Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi
NP-E	Yapısal Olmayan Performansın Göz Önüne Alınmadığı Durum

3.3. Statik İtme Analizi (Pushover Analizi)

Mevcut yapıların performans seviyelerinin değerlendirilmesi ve deprem etkileri göz önüne alınarak yapılacak analizler bulunmaktadır.

Betonarme yapılar için lineer ve non-lineer olmak üzere kullanılan analizler yöntemleridir. Lineer analiz yöntemlerinde malzemenin lineer sınırlar içerisindeki davranışlarına dikkat edilmektedir. Non-lineer analiz yöntemlerinde ise yapıların göçme anındaki davranışlarını, kuvvet dağılımlarını ve mod şeklinin nasıl olacağına dair net cevaplar göstermektedir.

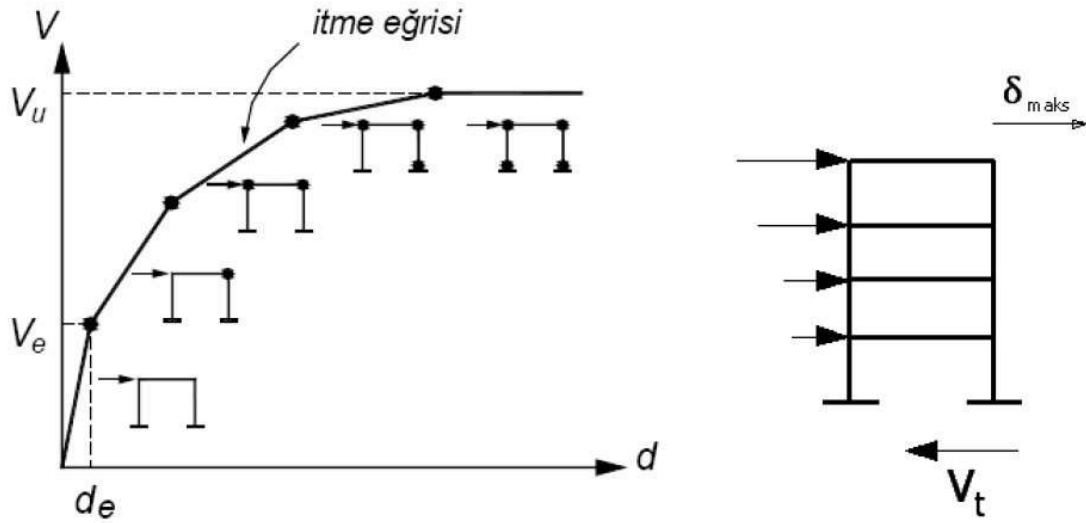
Deprem performansı hesaplama yöntemleri:

1. Lineer Yöntemler (Doğrusal Elastik Yöntemler)
 - a. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
 - b. Mod Birleştirme Yöntemi
 - c. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi
2. Nonlineer Yöntemler (Doğrusal Olmayan Yöntemler)
 - a. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Statik İtme - Pushover Analizi)
 - b. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
 - c. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

3.4. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Statik İtme – Pushover Analizi)

Analiz; yapının hedef deplasmana ulaşınca kadar sabit yükseklik dağılımıyla adım adım artan yanal kuvvetlere maruz bırakılmasıyla yapılan yaklaşık bir yöntemidir.

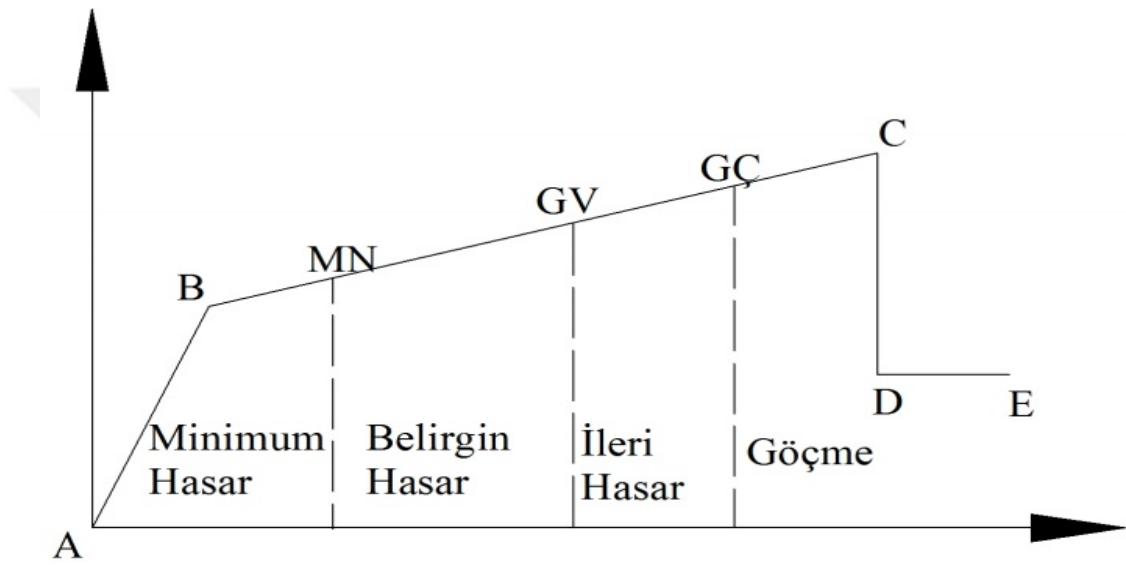
İtme analizi, yapı sistemleri iki veya üç boyutlu analitik modellerle gösterilmektedir. Yapıların deprem yükleri uygulanırken doğrusal olmayan davranışlarının belirlenebilmesi için kullanılan itme analizi, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisinin, malzeme ve şekil değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. İtme analizi, yapı dinamik atalet kuvvetlerini temsil etmek üzere, kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Yatay yüklerin uygulanması esnasında, yapıda düşey yükler de yer almaktadır. Statik yatay yükler, her adımda aralarındaki oran sabit kalacak şekilde yapı belirli bir yer değiştirme veya göçme durumuna erişinceye kadar artırılır ve yapıya ait yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi belirlenmektedir. Arttırılan yatay yüklerin etkisiyle kesitlerin biri veya birkaç taşıma kapasitelerine erişmekte ve bu kesitlerde plastik mafsallar oluşmaktadır. Plastik mafsal oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmaksızın dönmeye devam etmektedir. Plastik mafsallar arasında sistem, doğrusal elastik davranmaktadır. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını mekanizma durumuna getiren göçme yüküne (limit yük) ulaşılmaktadır. Doğrusal olmayan artımsal statik itme analizinden elde edilen tipik bir yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi şekilde verilmektedir.



Şekil 3.1. Doğrusal Olmayan Teori İle Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi (Web 2018)

Kapasite eğrisi (pushover eğrisi) olarak isimlendirilen yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi sayesinde yapıda veya elemanlarda meydana gelecek zararın, kısmen veya toplu olarak göçme durumları bulunmaktadır. Yapının zayıf elemanları ve bunların oluşma yerleri, yapı sisteminin göçmesine bağlı göçme anında ve limit yükteki yer değiştirme değeri, yapı mekanizmalarının ve elemanların deformasyon talepleri bulunabilmektedir.

Yapının kapasitesi statik itme eğrisiyle gösterilmektedir. Bu eğri itme analizinin her adımında yapının tabanında meydana gelen kesme kuvveti ile tepe noktasında oluşan yatay yer değiştirme değerlerinin kaydedilmesi ve grafik ortamında işaretlenmesi ile oluşturulmaktadır. Analizde düşey yüklerle uyumlu kütlelerin göz önünde bulundurulacağı yönetmelikte belirtilmektedir. Kapasite eğrisi çizilirken, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanabilme şartlarında belirtildiği üzere yapının birinci doğal titreşim modu göz önüne alınarak yapılan yüklemeler sonucunda yapıda meydana gelen taban kesme kuvveti ile oluşan yatay yer değiştirme bakılmalıdır. Bu zamanda 1.modun doğal titreşim periyodunun 1 saniye ya da daha az olduğu yapılarda da mevcuttur. Mevcut yapılarda daha yüksek modların yapıya etkileri oldukça küçük olduğu için bu etkileri alınmadan devam edilebilmektedir.



Şekil 3.2. Performans Seviyeleri (Web 2018)

- B : Akmanın meydana geldiği nokta
- MN(IO) : Hemen kullanım durumu
- GV(LS) : Can güvenliği durumu
- GÇ(CP) : Yapı stabilite durumu
- C : Nihai göçme durumu
- D : Göçme öncesi durum
- E : Göçmenin meydana geldiği nokta

DBYBHY-2007'ye göre plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği sűnek betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır.

- Kesit Minimum Hasarı Sınırı (MN) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları için:

$$(\epsilon_{cu})_{MN}=0.0035; (\epsilon_s)_{MN}=0.010 \quad (3.1)$$

- Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\epsilon_{cu})_{GV}=0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0135; (\epsilon_s)_{GV}=0.040 \quad (3.2)$$

- Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\epsilon_{cu})_{GÇ}=0.0040+0.014(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.018; (\epsilon_s)_{GÇ}=0.060 \quad (3.3)$$

Öneride bulunduğumuz;

- Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\epsilon_{cu})_{GV}=0.0035+0.015(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0135; (\epsilon_s)_{GV}=0.040 \quad (3.4)$$

- Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\epsilon_{cu})_{GÇ}=0.0040+0.020(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.018; (\epsilon_s)_{GÇ}=0.060 \quad (3.5)$$

TBDY-2018'ye göre plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği sűnek betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları aşağıda tanımlanmıştır.

- Göçmenin Önlenebilirliği (GÖ) performans düzeyi için beton birim kısalması, donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi:

Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde:

$$\epsilon_c^{(GÖ)}=0.0035+0.04\sqrt{\omega_{we}}\leq 0.018 \quad (3.6)$$

Dairesel kesitlerde:

$$\epsilon_c^{(GÖ)}=0.0035+0.07\sqrt{\omega_{we}}\leq 0.018 \quad (3.7)$$

$$\epsilon_s^{(GÖ)}=0.4 \epsilon_{su} \quad (3.8)$$

- Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi için beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekildeğiş-tirmeler:

$$\epsilon_c^{(KH)}=0.75\epsilon_c^{(GÖ)} ; \epsilon_s^{(KH)}=0.75\epsilon_s^{(GÖ)} \quad (3.9)$$

- Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi için beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekildeğiş-tirmeler:

$$\epsilon_c^{(SH)}=0.0025 ; \epsilon_s^{(SH)}=0.0075 \quad (3.10)$$



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Betonarme Binanın Bilgisayar Ortamında Analizi

Örnek olarak incelecek bina Antalya ili Muratpaşa ilçesi Kaleiçi mevkiinde bulunmaktadır.

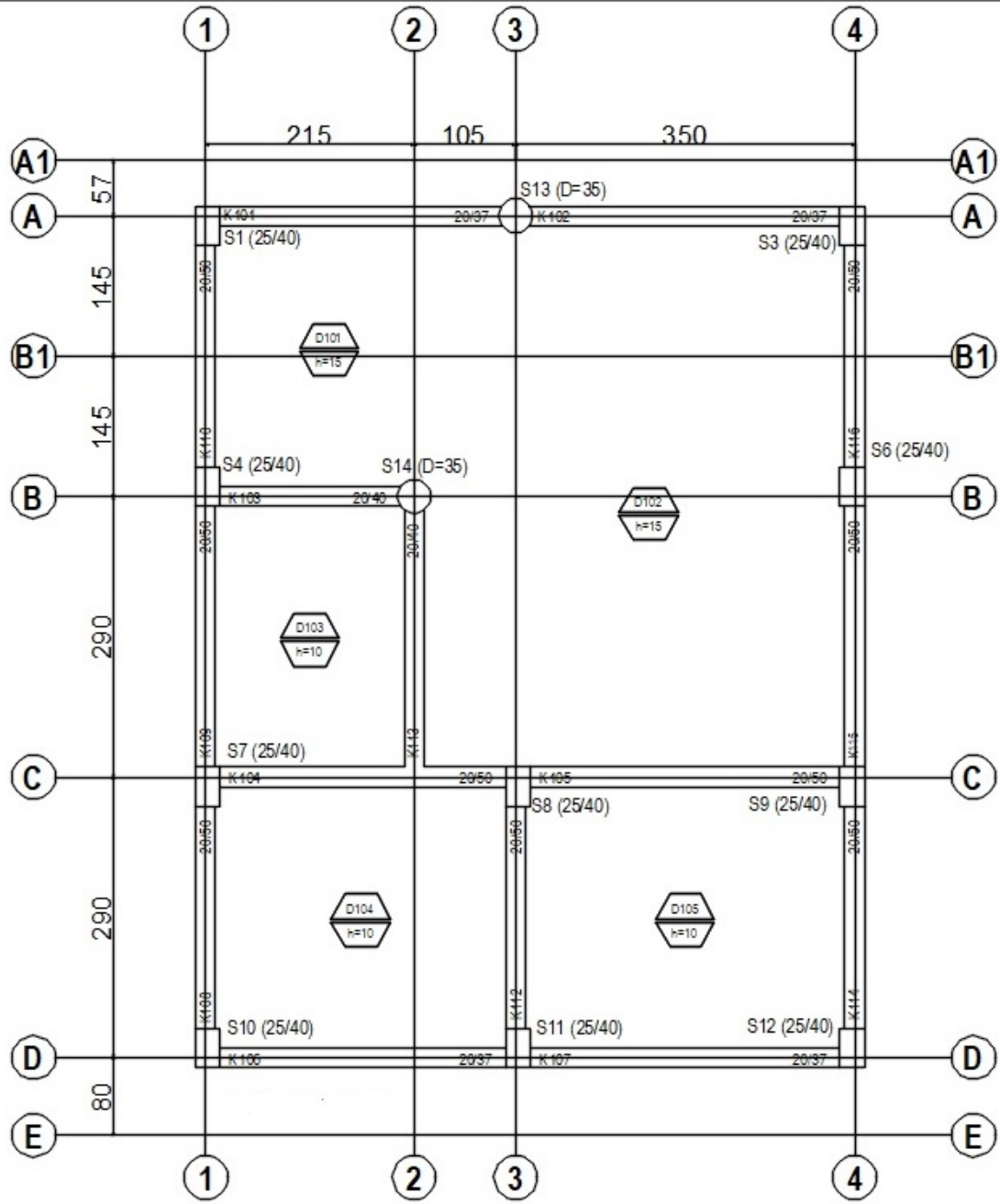
- Kat yükseklikleri zemin katta 2.47m. Birinci katta 2.32m, üçüncü katta 3.41 m olup toplam bina yüksekliği 8.20m.dir.
- Yapının döşeme sistemi plak döşeme olup plak kalınlığı 10-15 cm.dir.
- Kirişler 20/37-20/40-20/50-50/15 cm. boyutlarında bulunmaktadır.
- Kolonlar 25x40 ve D35 cm boyutlarındadır.
- Donatı çeliğinin kalitesi S220 dir.
- Betonarme binada basınç dayanımı 8 N/mm² dir. (C8)

DBYBHY-2007 göre;

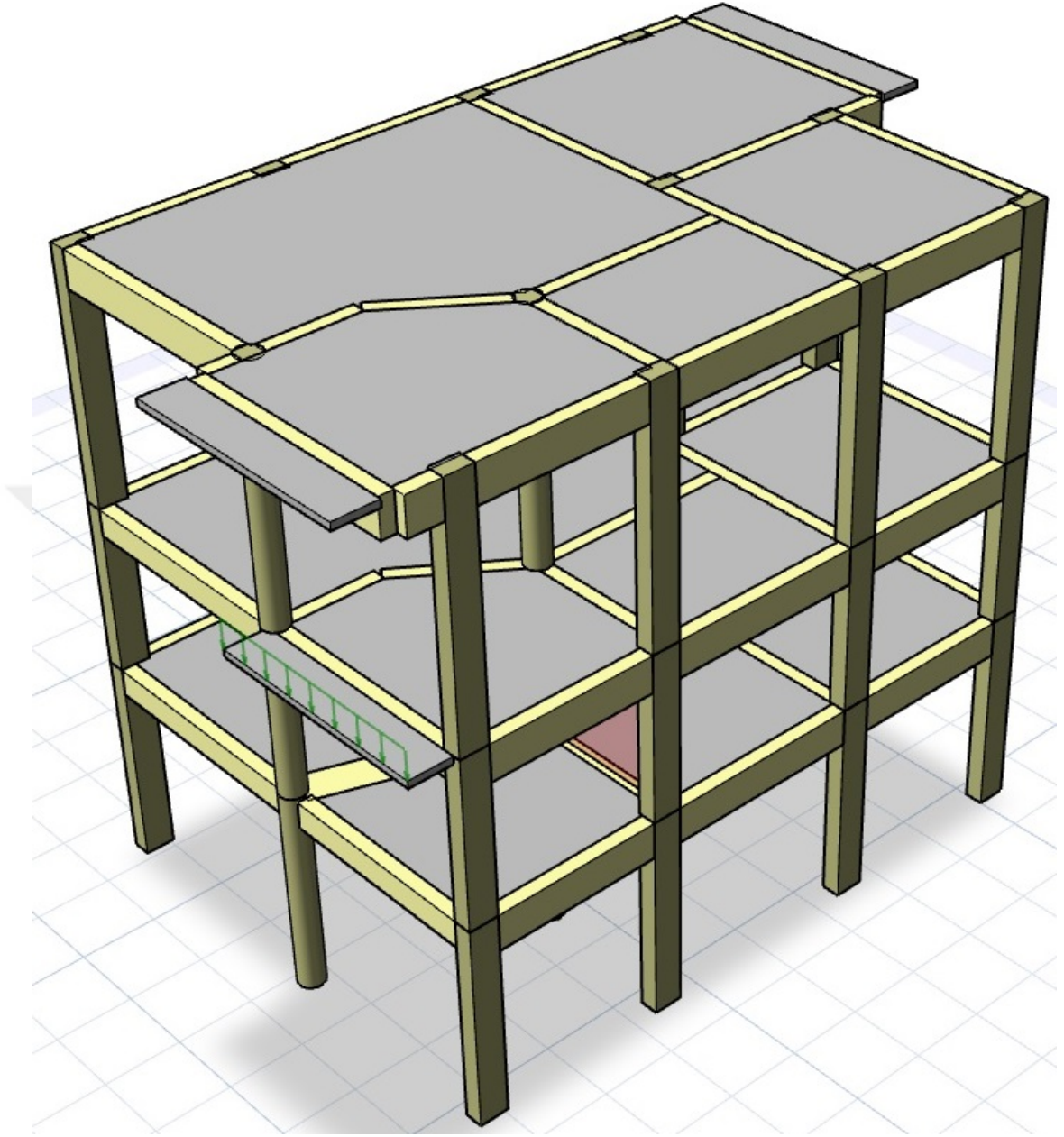
- Yerel zemin sınıfı Z2 olarak belirlenmiştir.
- Etkin yer ivmesi katsayısı 0.30 olarak alınacaktır.
- Yapı önem katsayısı I= 1.2 olarak alınacaktır.
- Zemin hakim periyotları $T_a = 0.15$ s. $T_b = 0.40$ s. olarak alınacaktır.
- Taşıyıcı sistemin davranış katsayısı süneklik düzeyi yüksek betonarme binada $R = 8$ alınacaktır.

TBDY-2018 göre;

- Yerel zemin sınıfı ZB olarak belirlenmiştir.
- Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı(boyutsuz) $S_S = 0.563$ olarak alınacaktır.
- 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz) $S_1 = 0.150$ olarak alınacaktır.
- En büyük yer ivmesi (g) $PGA = 0.263$ olarak alınacaktır.
- En büyük yer hızı (cm/sn) $PGV = 11.091$ olarak alınacaktır.



Şekil 4.1. Normal Kat Kalıp Aplikasyon Planı



şekil 4.2. Binanın 3 Boyutlu Görünümü



Şekil 4.3. Binanın Görünümü

Yapıda perde bulunmamakta, mevcut kolon ve kirişlerin donatı planları önceden yapılmış olan rapordan alınmaktadır. Bina Probina Orion bina tasarım sistemi programı ile modellenmiştir. Gerekli tüm modellemeler Probina Orion ile yapıp sistem Sap2000 programına aktarılmıştır. Kolonların kesit analizleri için Xtract programı kullanılmış ve karşılıklı etki diyagramları elde edilmiştir.

XTRACT programı yapısal elemanların kesit bazlı analizlerini yapan bir program olup, bir kesitin moment-eğrilik, eksenel kuvvet-moment ve kapasite yörüngesi analizlerini yapmaktadır. Bir kesitin geometrik özellikleri ve kesitte bulunan malzemelerin modelleri girilerek istenilen analizler yapılabilmektedir.

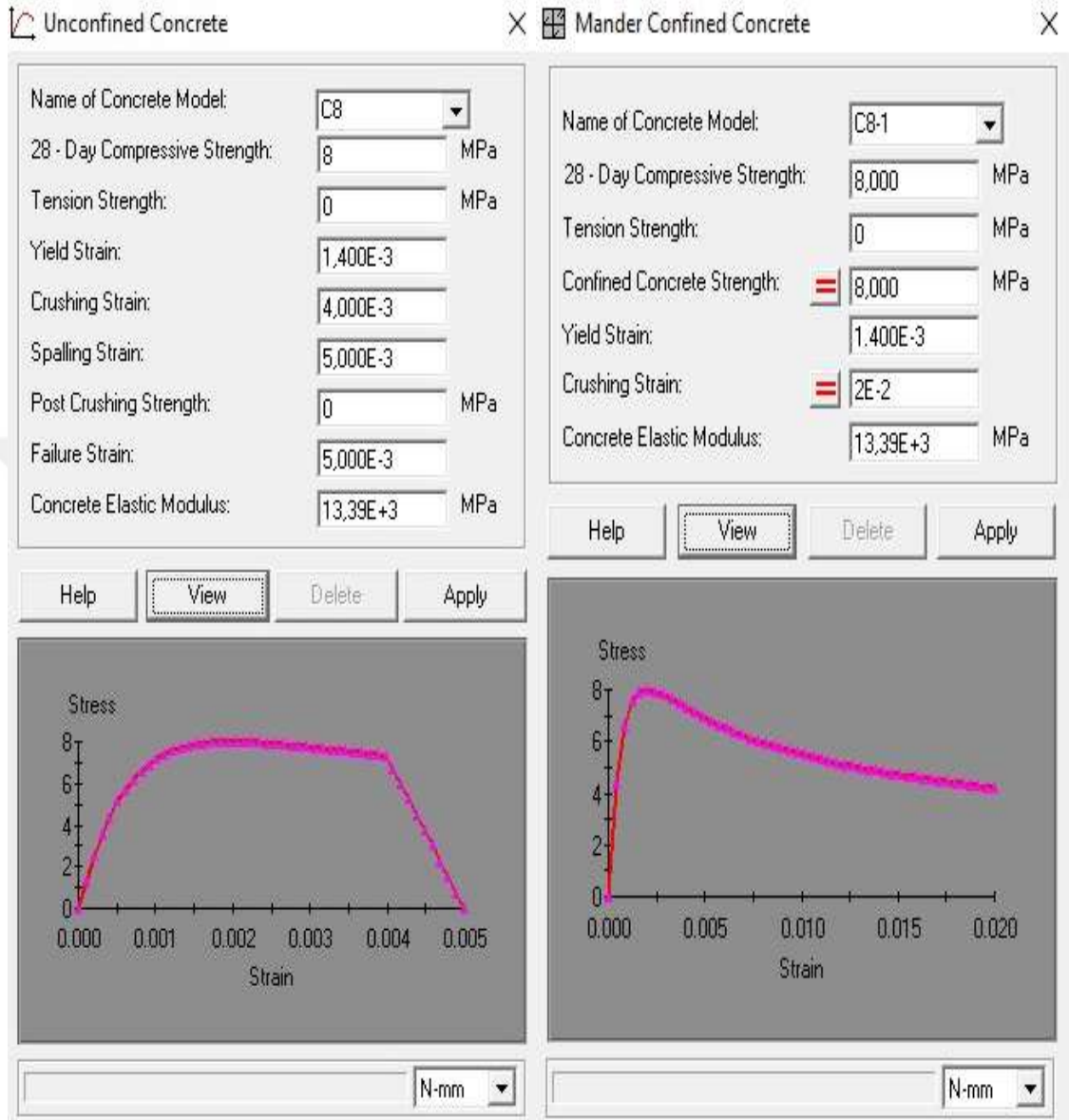
Çizelge 4.1. Kolon Plastik Eğrilik Kapasiteleri

	B	IO	LS	CP	C
	(10^{-3} rad/m)				
Önerilen	6,84	6,95	7,20	7,55	7,85
2007	6,66	6,75	6,88	7,01	7,06
2018	3,71	3,92	4,18	4,35	4,44

Çizelge 4.2. Kiriş Plastik Eğrilik Kapasiteleri

	B	IO	LS	CP	C
	(10^{-3} rad/m)				
Önerilen	3,13	3,21	3,32	3,46	3,55
2007	3,77	3,82	3,95	4,01	4,06
2018	1,90	2,01	2,16	2,23	2,27

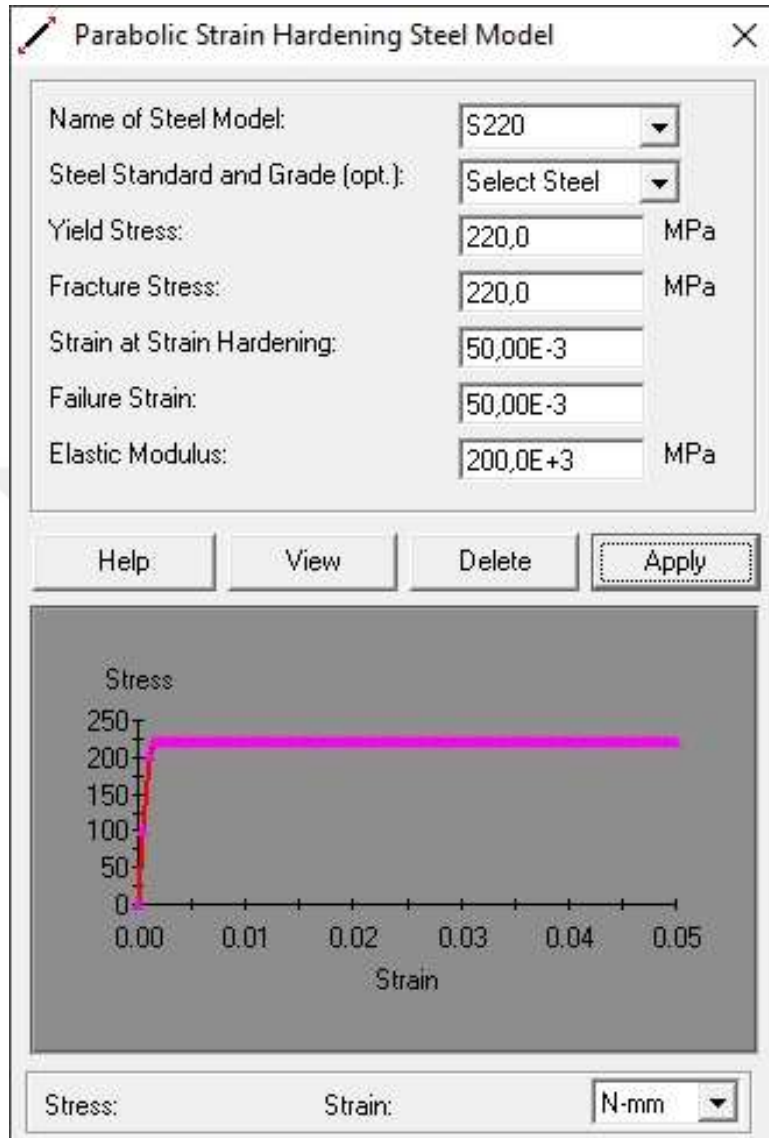
Mevcut binanın beton modeli için XTRACT programında hazır bulunan beton modelleri seçilmiştir. Sargısız betonda $\epsilon_{cu}=0.005$



Şekil 4.4. C8 kabuk ve çekirdek sargısız beton modeli

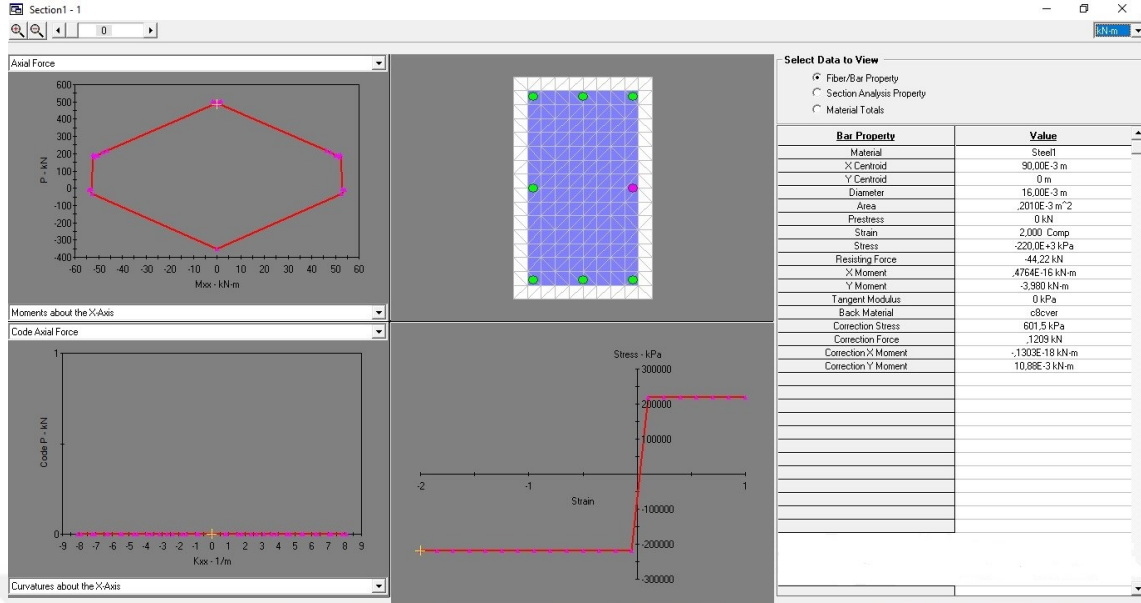
Betonda akma birim kısalması olarak 1.400E-3 belirtilmiştir.

Mevcut binanın çelik modeli için XTRACT programında hazır bulunan çelik modelleri seçilmiştir. Maksimum birim uzama $\epsilon_{su}=0.05$



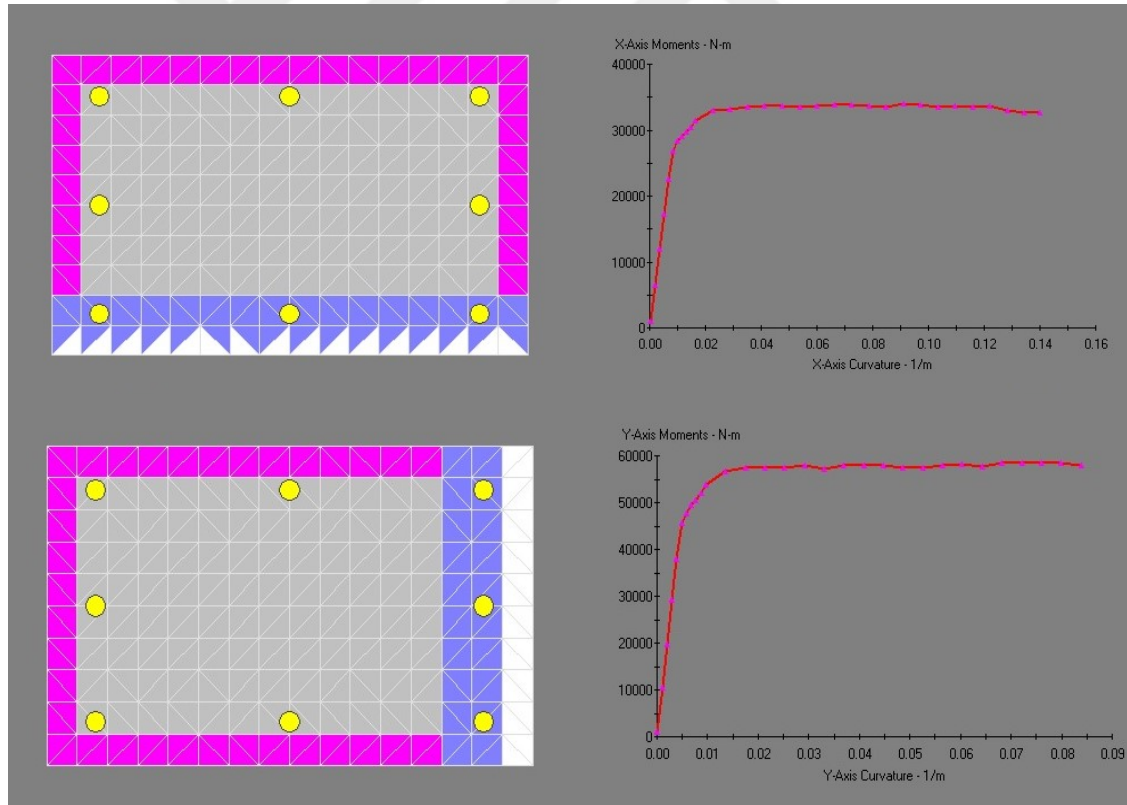
Şekil 4.5. S220 çeliği için elastoplastik model

S220(ST I) çeliği sırasıyla akma ve kopma birim uzaması $1.1E-3$ ve $50.00E-3$ olarak belirtilmiştir.



Şekil 4.6. XTRACT Programından Kolon İçin Elde Edilen Etki Diyagramı

Benzer şekilde kirişler içinde XTRACT programıyla modelleme yapılmıştır.



Şekil 4.7. XTRACT Programından Kiriş İçin Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi

Şekil 4.5.'de açık mavi ile gösterilen alan aşırı zorlamanın olduğu bölgedir. XTRACT programı ile elde edilen değerler Sap2000 programında Frame Hinges moment-curvature olarak tanımlanmıştır.

4.2. Burulma Düzensizliği Kontrolü(A1)

Deprem Etkisi Yönü1 (X- eksen 0.00derece)

Çizelge 4.3. Yük Hali: EX(E+)

Kat	δ_{Min} (m)	δ_{Max} (m)	Δ_{min} (m)	Δ_{max} (m)	Δ_{ort} (m)	$\eta = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ort}}$
3	0.003616	0.003913	0.001643	0.001783	0.001713	$1.041 \leq 1.20$
2	0.001972	0.002130	0.001073	0.001169	0.001121	$1.043 \leq 1.20$
1	0.000899	0.000960	0.000899	0.000960	0.000930	$1.033 \leq 1.20$

Çizelge 4.4. Yük Hali: EX(E-)

Kat	δ_{Min} (m)	δ_{Max} (m)	Δ_{min} (m)	Δ_{max} (m)	Δ_{ort} (m)	$\eta = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ort}}$
3	0.003452	0.004056	0.001580	0.001838	0.001709	$1.076 \leq 1.20$
2	0.001872	0.002217	0.001029	0.001203	0.001116	$1.078 \leq 1.20$
1	0.000842	0.001014	0.000842	0.001014	0.000928	$1.092 \leq 1.20$

Yön1 de Burulma Düzensizliği(A1) saptanmamıştır.

Deprem Etkisi Yönü2 (X- eksen 90.00derece)

Çizelge 4.5. Yük Hali: Ey(E+)

Kat	δ_{Min} (m)	δ_{Max} (m)	Δ_{min} (m)	Δ_{max} (m)	Δ_{ort} (m)	$\eta = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ort}}$
3	0.002328	0.002645	0.001028	0.001169	0.001099	$1.064 \leq 1.20$
2	0.001301	0.001475	0.000706	0.000799	0.000753	$1.062 \leq 1.20$
1	0.000595	0.000676	0.000595	0.000676	0.000635	$1.064 \leq 1.20$

Çizelge 4.6.Yük Hali: Ey(E-)

Kat	δ_{Min} (m)	δ_{Max} (m)	Δ_{min} (m)	Δ_{max} (m)	Δ_{ort} (m)	$\eta = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ort}}$
3	0.002232	0.002716	0.000986	0.001199	0.001093	$1.098 \leq 1.20$
2	0.001246	0.001520	0.000676	0.000824	0.000750	$1.099 \leq 1.20$
1	0.000570	0.000696	0.000570	0.000696	0.000633	$1.099 \leq 1.20$

Yön2 de Burulma Düzensizliği(A1) saptanmamıştır.

4.3. Kolonların Kesme Güvenliği

Kolonlarda kesme göçmesinin oluşmadığı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu şekilde kolonlarda göçmenin plastik mafsallaşmayla oluştuğu belirlenmiştir.

$$V_e = \frac{Ma + M_u}{l_n} \quad (4.1)$$

$$V_e = \frac{43.68 + 43.68}{2.47} = 35.37 kN$$

Kolon kesit alanı: $A_c = 100000 \text{ mm}^2$

Faydalı yükseklik: $d = 210 \text{ mm}$

Hesap genişliği: $b_w = 400 \text{ mm}$

Karakteristik beton basınç dayanımı: $f_c' = 8 \text{ N/mm}^2$

Karakteristik çelik akma dayanımı: $f_y = 220 \text{ N/mm}^2$

Kesme kuvveti: $V_e = 35.37 \text{ kN}$

Normal kuvvet: $N = 1327 \text{ kN}$

$$V_c = 0.65 * f_{ctd} * b_w * d * \left(1 + 0.07 * \frac{N}{b_w * h}\right) \quad (4.2)$$

$$V_c = 0.65 * \frac{0.35\sqrt{8}}{1.15} * 400 * 210 * \left(1 + 0.07 * \frac{1327}{400 * 247}\right) = 47.05 kN$$

Kesitteki etriye $2\phi 8$ Alan: 101 mm^2

$$V_s = \frac{A * f_y * d}{s} \quad (4.3)$$

$$V_s = \frac{101 * 220 * 210}{150} = 31.11 kN$$

$V_e = 35.37 kN < V_c + V_s (78.16 kN)$ Kolon boyuna yönünde kesme güvenliği sağlanmaktadır.

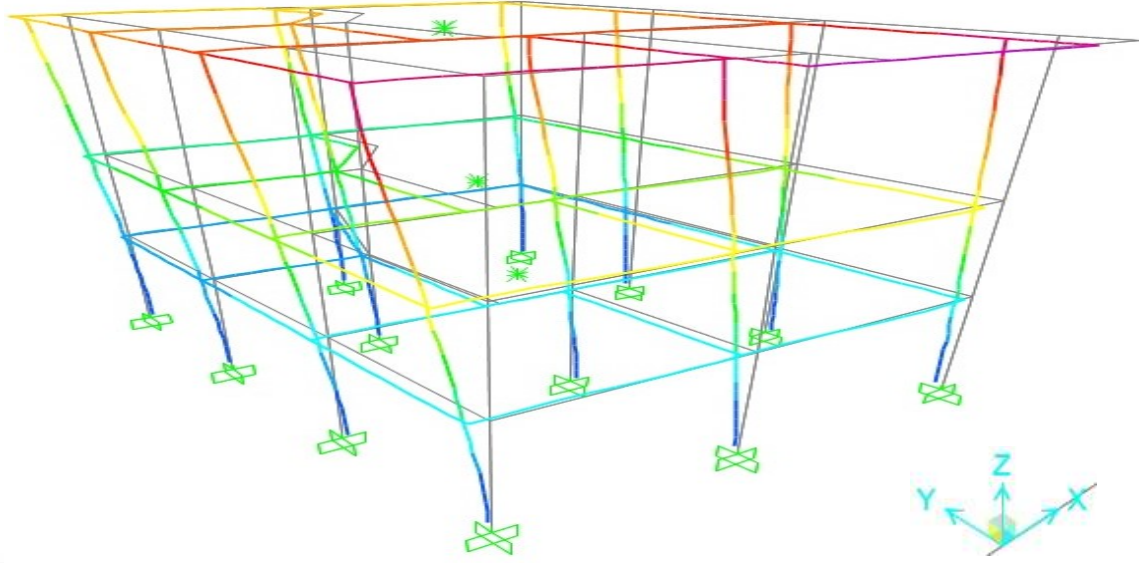
4.4. SAP200 Analizi Sonuçları

4.4.1. Modal analiz sonuçları

Çizelge 4.7. Modların Kütle Katılım Oranları

Analiz	Adım	Adım No	Periyot(sn)	ToplamUx	ToplamUy	ToplamRz
Modal	Mode	1	0.45	0.69	0.00	0.06
Modal	Mode	2	0.32	0.72	0.06	0.74
Modal	Mode	3	0.32	0.73	0.75	0.79
Modal	Mode	4	0.16	0.88	0.75	0.82
Modal	Mode	5	0.11	0.90	0.90	0.86
Modal	Mode	6	0.10	0.95	0.95	0.96
Modal	Mode	7	0.07	0.98	0.95	0.97
Modal	Mode	8	0.06	0.98	0.95	0.97
Modal	Mode	9	0.06	0.98	0.95	0.97
Modal	Mode	10	0.05	0.98	0.95	0.97

Yukarıda görüldüğü üzere kütle katılım oranı 10 mod için yaklaşık olarak %95'e karşılık gelmektedir. Deprem yönetmeliğinde kütle katılım oranının %90'ı geçmesi istenmiştir.



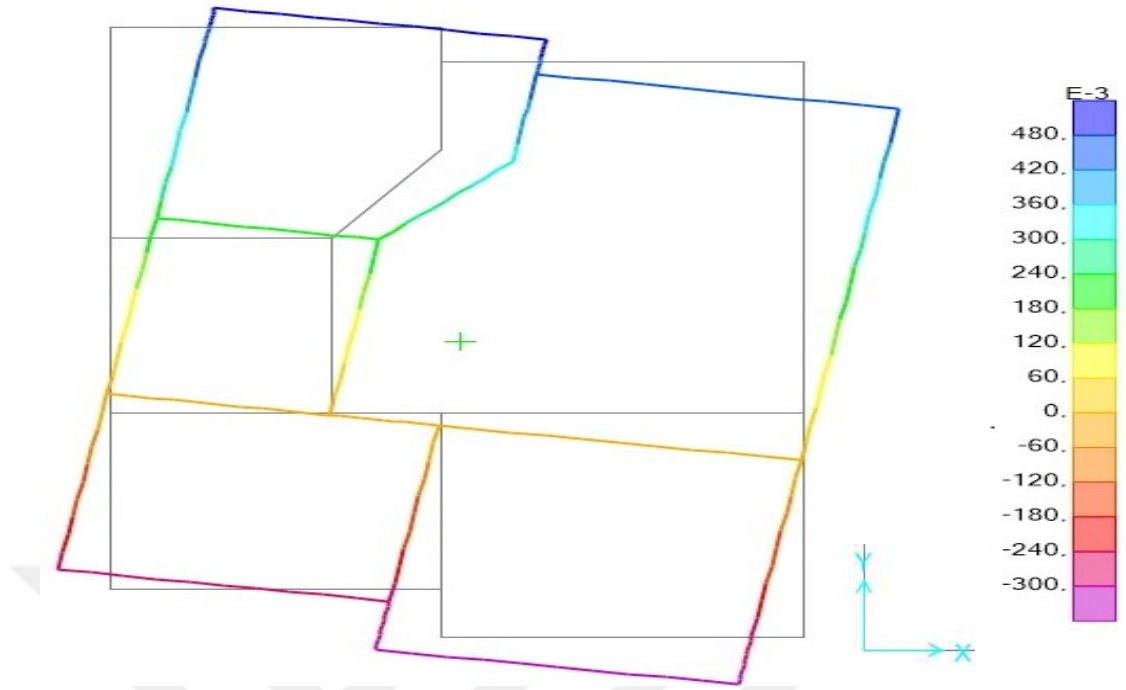
Şekil 4.8. Modal 3 Boyutlu

Yapının birinci doğal titreşim periyodu 0,45 sn bulunmuştur.Sap2000 programında binanın ilk 3 moduna ait mod şekilleri incelenmiştir.



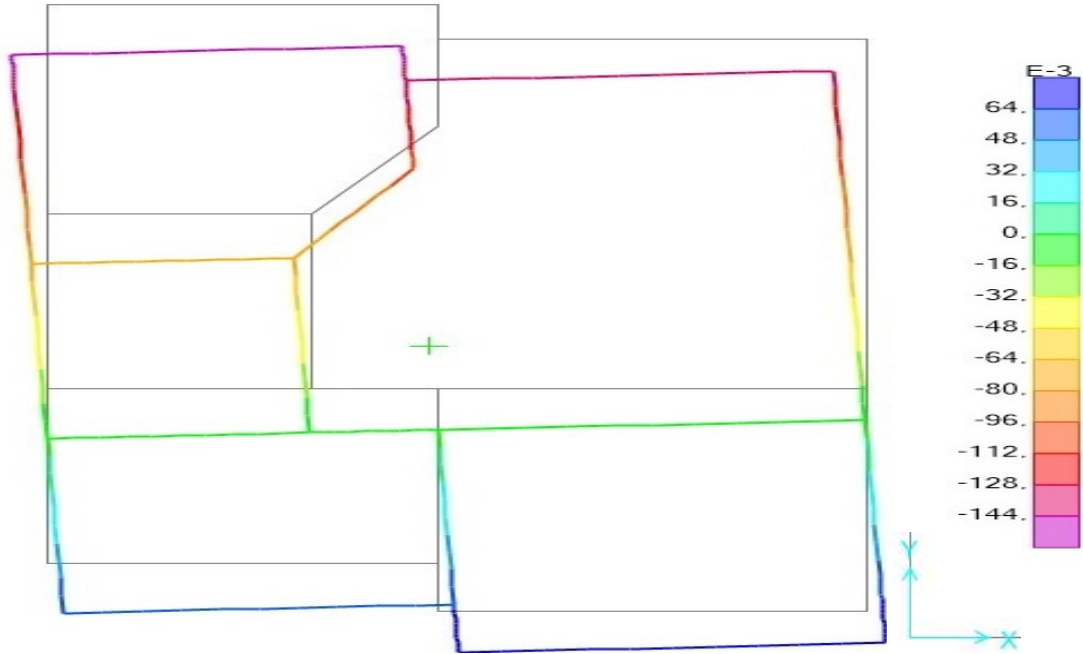
Şekil 4.9. Binaın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod1 Şekli

Binaın X doğrultusundaki birinci moduna karşılık gelen doğal titreşim periyodu Sap2000 programında 0.45 saniye bulunmuştur.



Şekil 4.10. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod2 Şekli

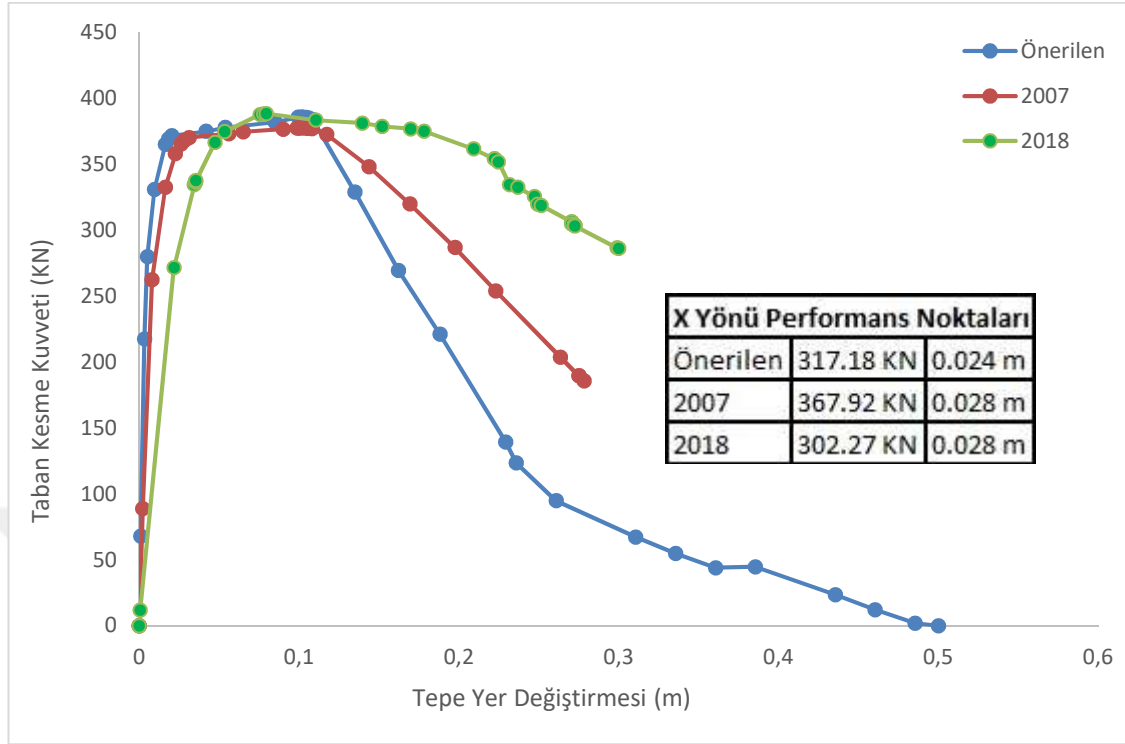
Binanın ikinci moduna karşılık gelen doğal titreşim periyodu Sap2000 programında 0.32saniye bulunmuştur. Yapının ikinci modu burulma modudur.



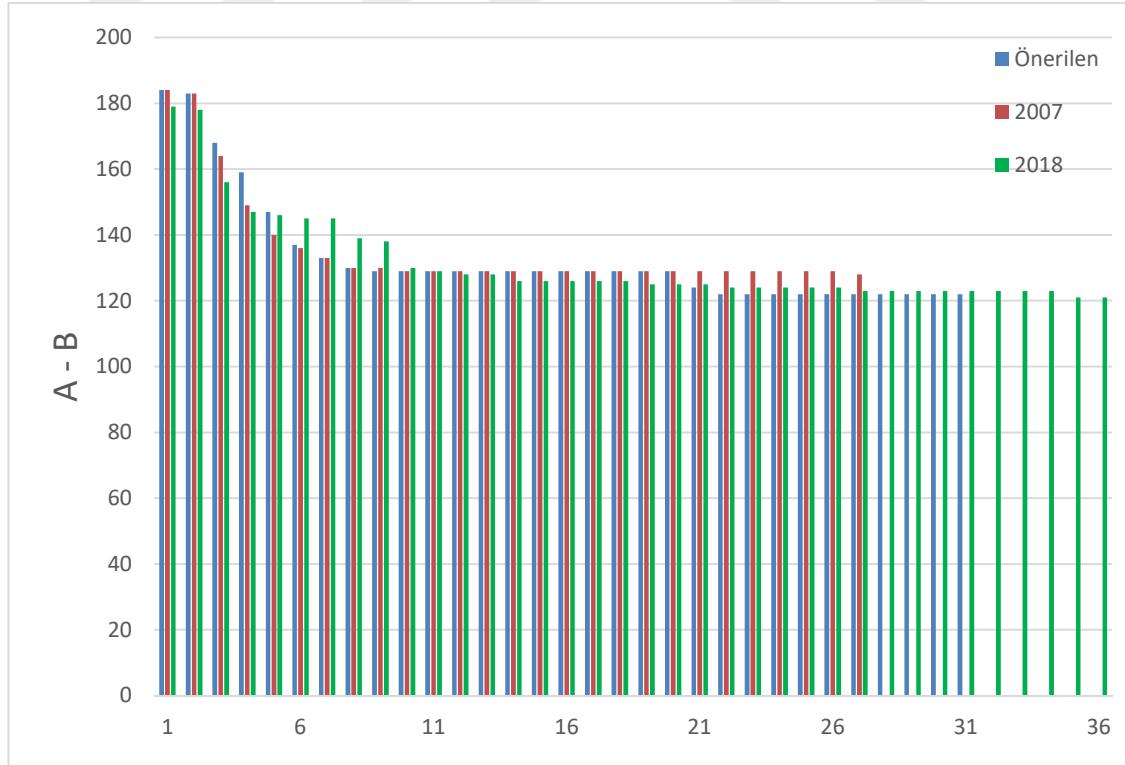
Şekil 4.11. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod3 Şekli

Binanın üçüncü moduna karşılık gelen doğal titreşim periyodu Sap2000 programında 0.32saniye bulunmuştur. Yapının üçüncü modu Y doğrultusuna denk gelmektedir.

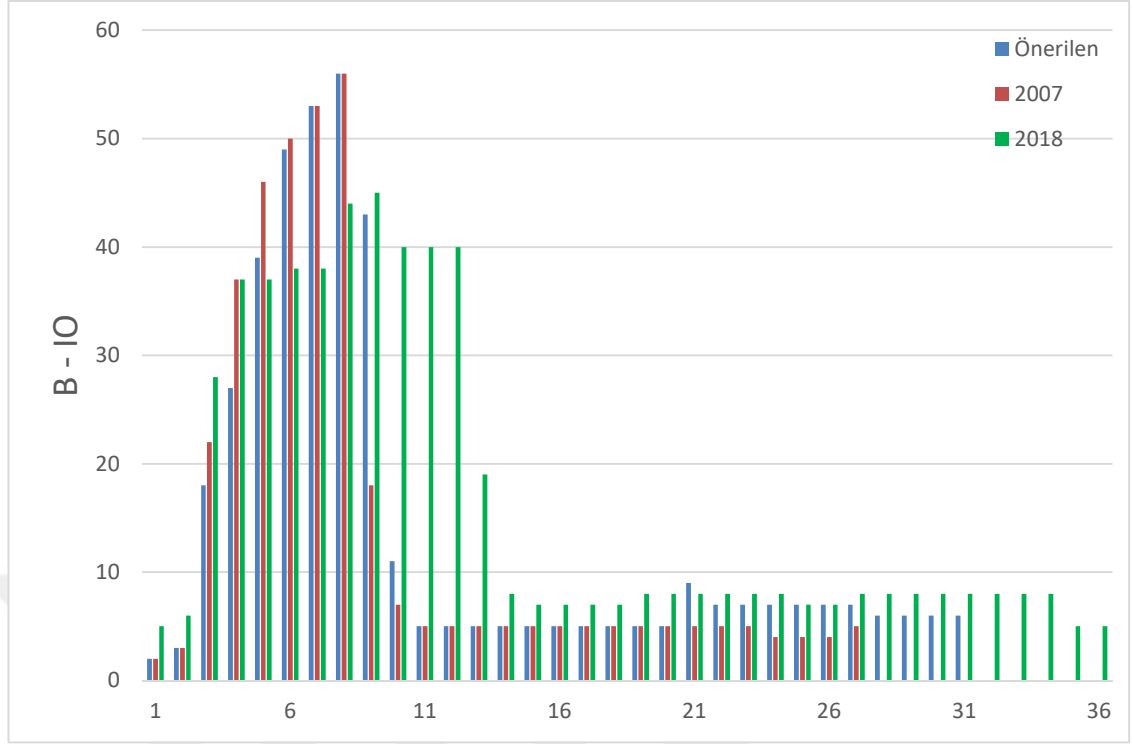
4.4.2. X Yönü (EX) itme analizi sonuçları



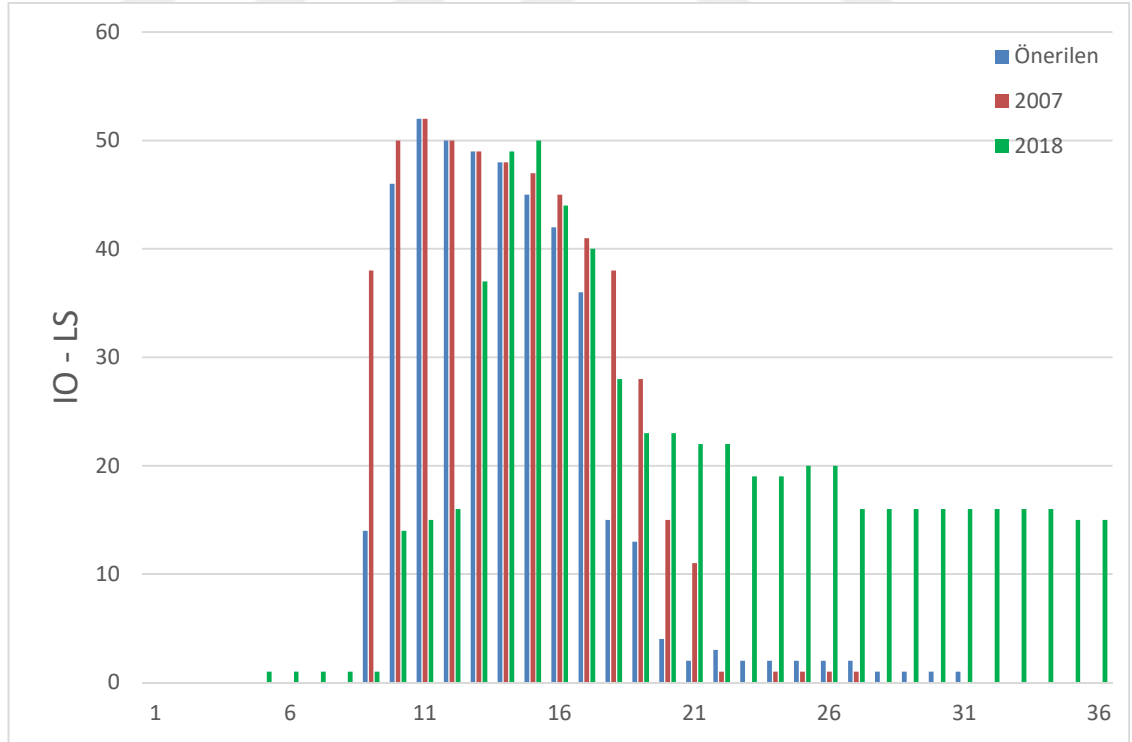
Şekil 4.12. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan X Yönündeki İtme Eğrisi



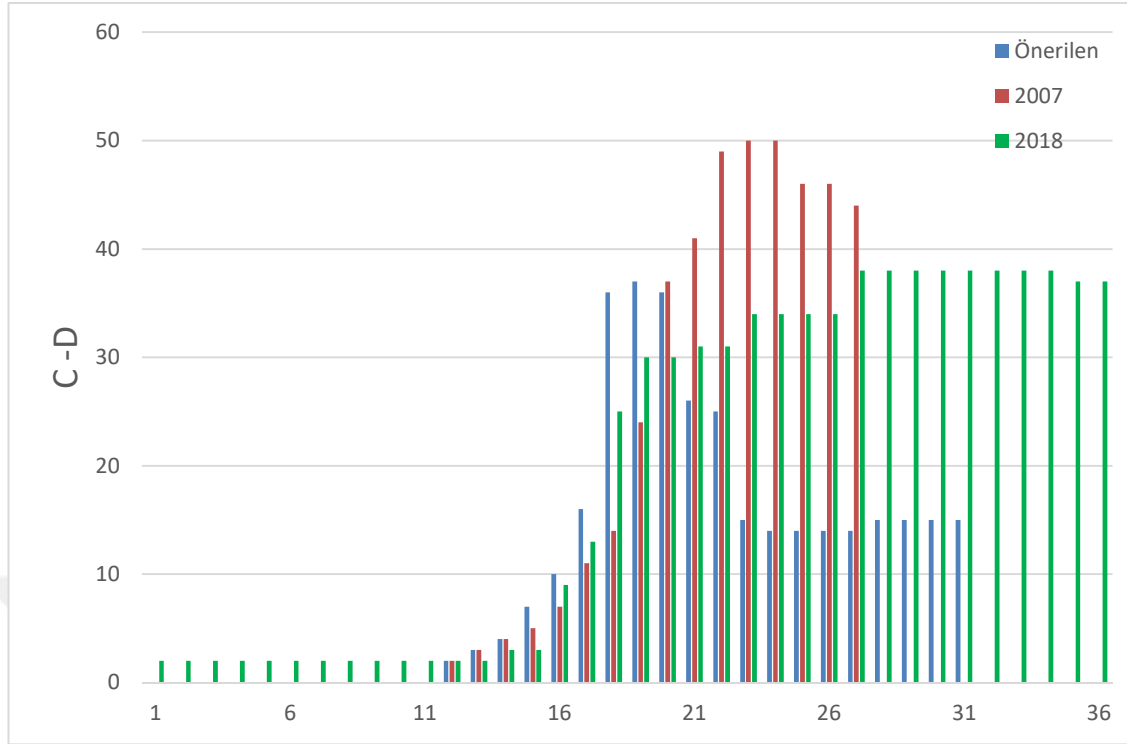
Şekil 4.13. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönü Plastik Mafsalları Sayıları (A-B)



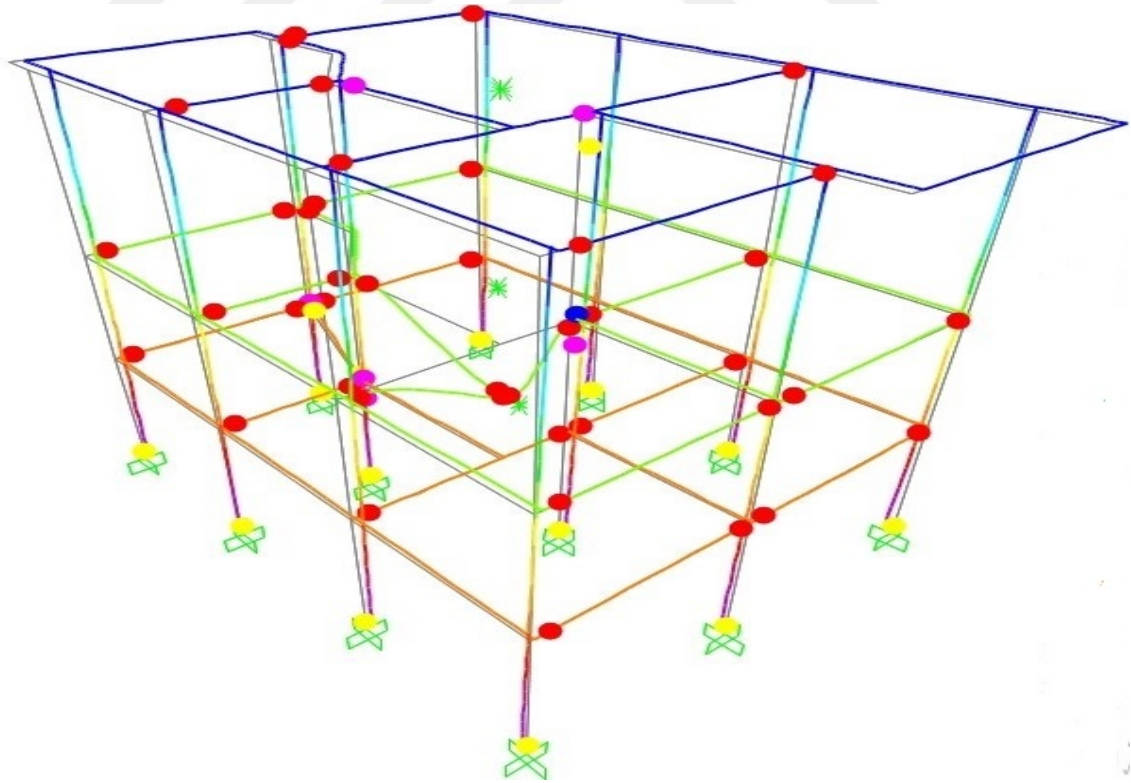
Şekil 4.14. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönu Plastik Mafsal Sayıları (B-IO)



Şekil 4.15. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönu Plastik Mafsal Sayıları (IO-LS)



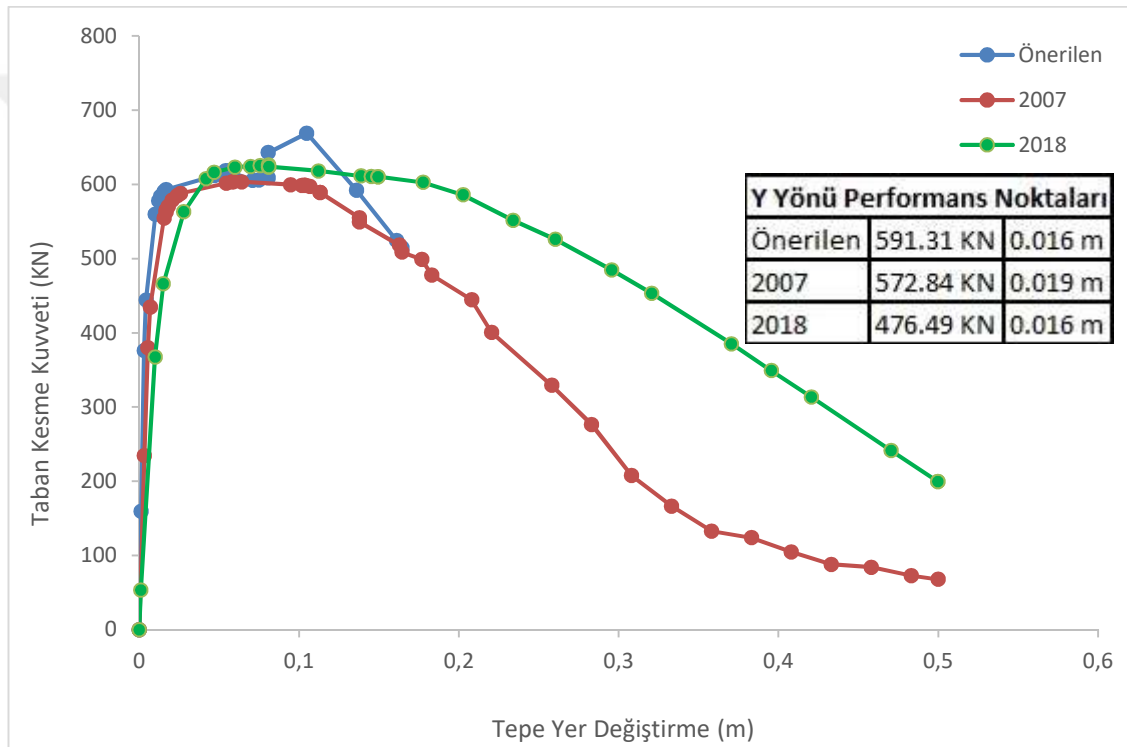
Şekil 4.16. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönü Plastik Mafsal Sayıları (C-D)



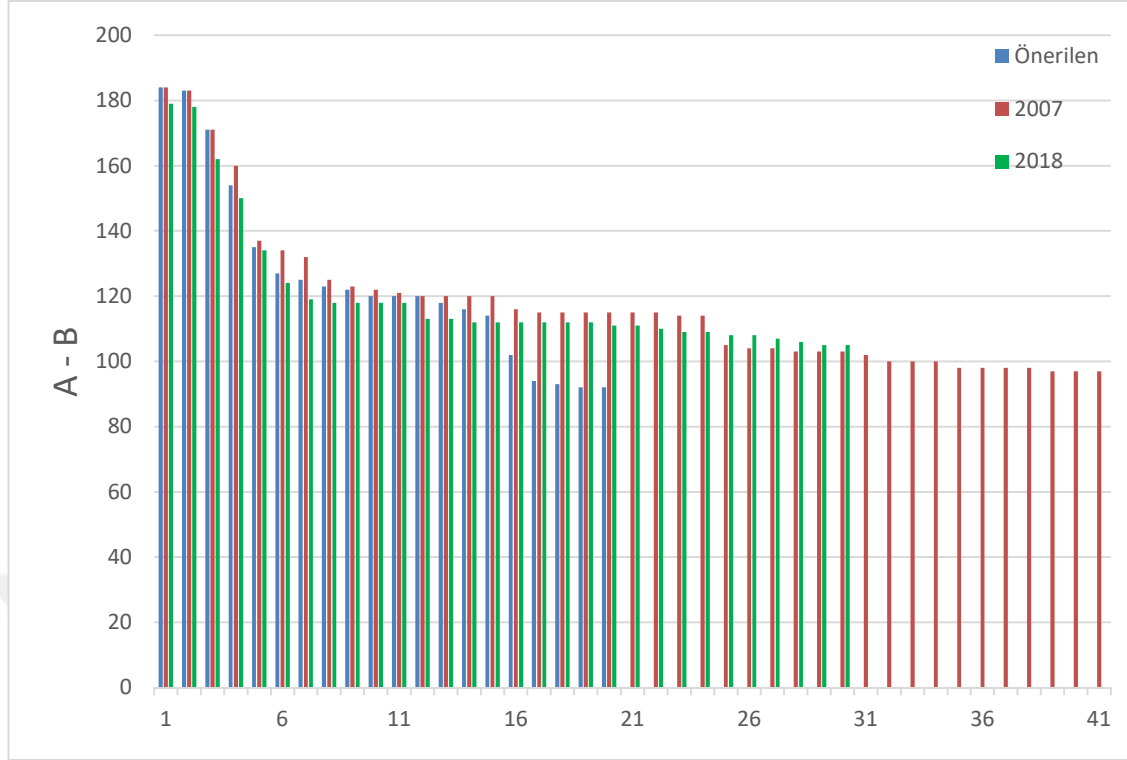
Şekil 4.17. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre X Yönü Önerilen Durum İçin Plastik Mafsal Yerleri

Sap2000 programında EX yönü sisteme girilerek itme analizi yapılmıştır. Önerilen ve 2007 deprem yönetmeliği için DBYBHY-2007 parametreleri, 2018 içinse TBDY-2018 parametreleri girilmiştir. Önerilen ve 2007 deprem yönetmeliği sonuçlarını birbirine yakın seyrederken 2018 yönetmeliğinde ise farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Taban kesme kuvveti 2018 yönetmeliğinde göre erken sonlanmıştır. Plastik mafsallaşma her üçü içinde A-B ve B-IO bölgelerinde yakın devam ederken, yanal yer değiştirmeler arttıkça IO-LS bölgesinde plastik mafsallaşma sayıları önerilen ve 2007 için kısa sürede kapasiteye ulaşırken, 2018’de plastik mafsal oluşumları devam etmektedir. C-D aralığında en fazla mafsal 2007’de oluşmaktadır. Göçme durumunda önerilen durum için binada birinci ve ikinci kat kirişlerinde hasarların oluştuğu , birinci kat kolonlarında ise maksimum düzeyde hasar meydana geldiği gözlemlenmektedir.

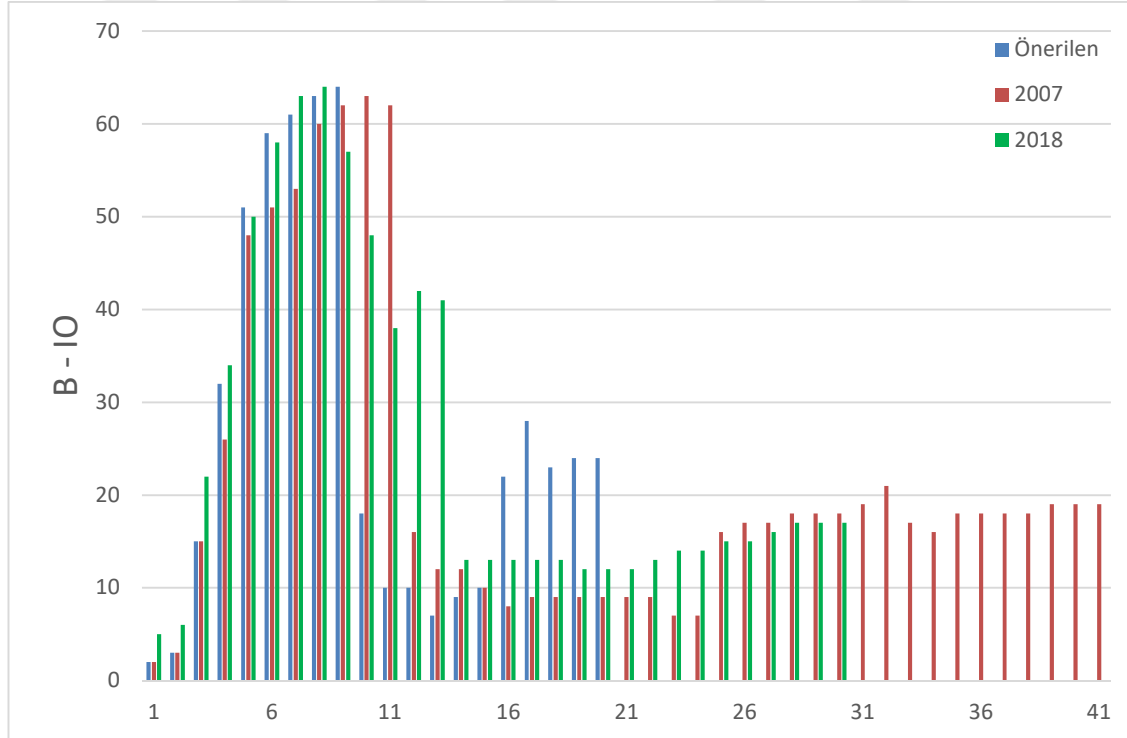
4.4.3. Y Yönü (EY) itme analizi sonuçları



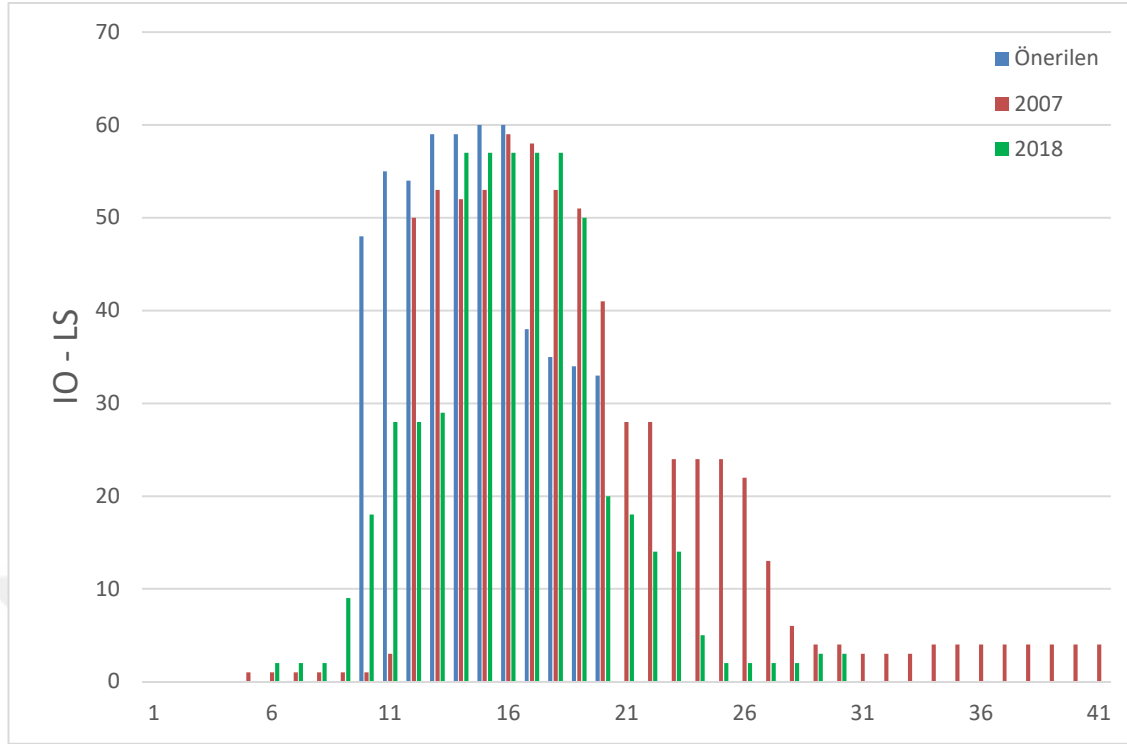
Şekil 4.18. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Y Yönündeki İtme Eğrisi



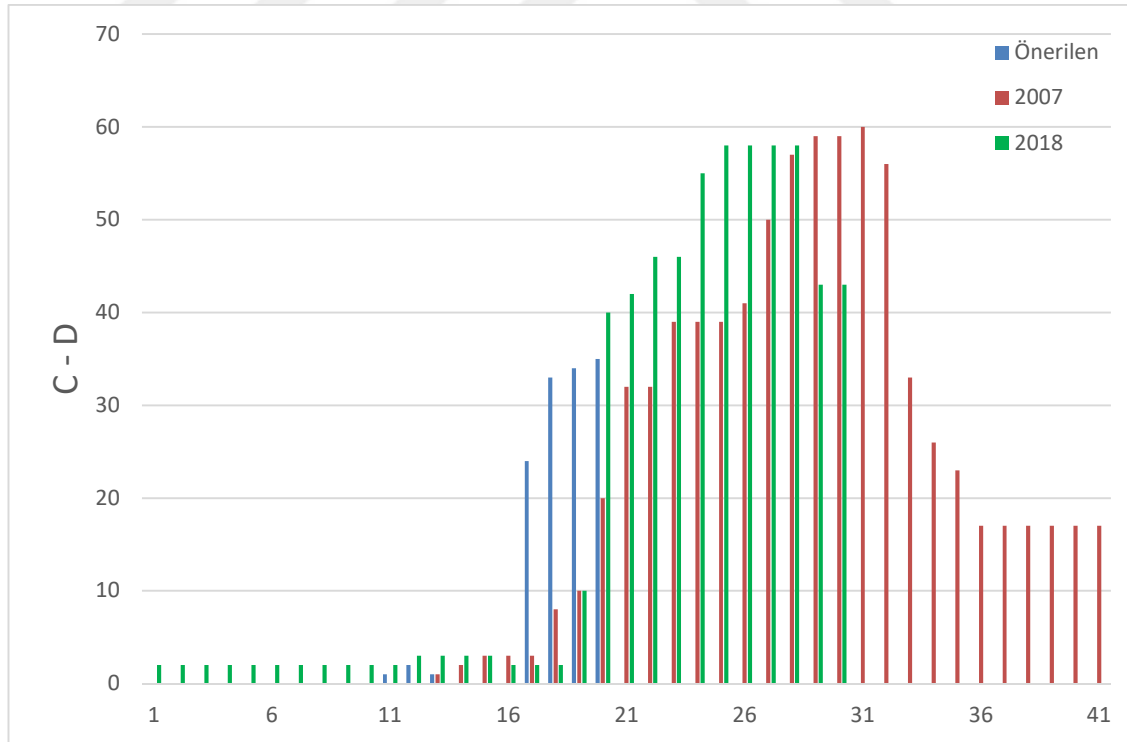
Şekil 4.19. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Plastik Mafsal Sayıları (A-B)



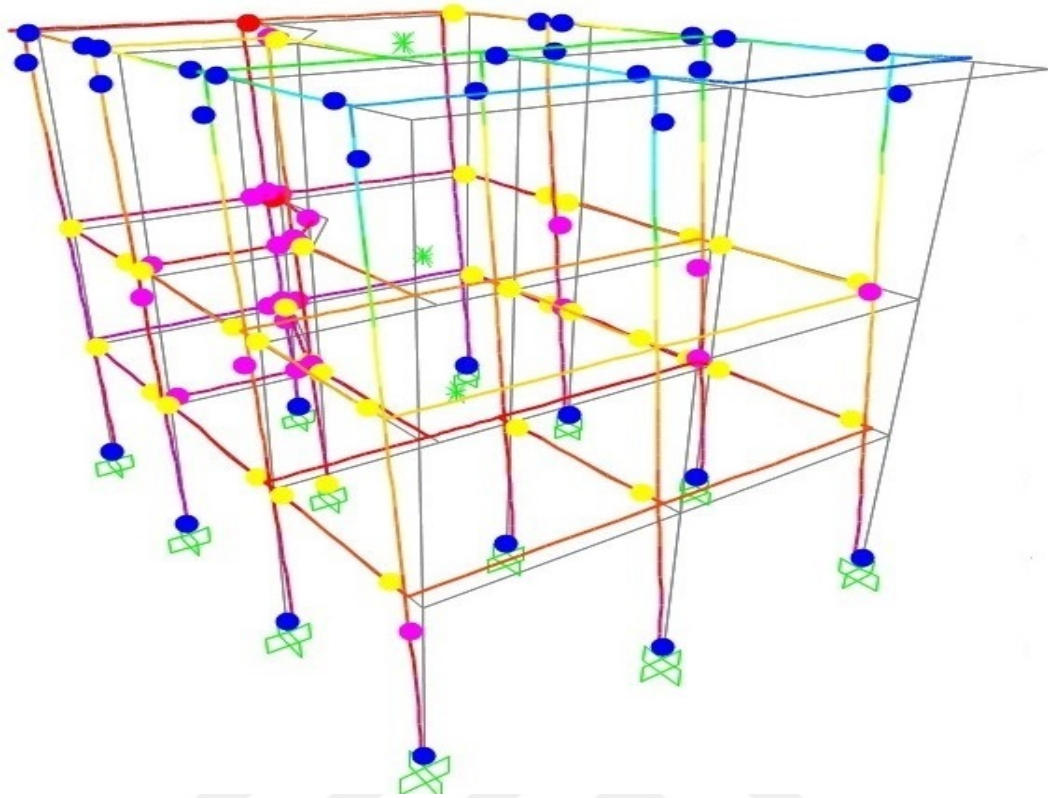
Şekil 4.20. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Plastik Mafsal Sayıları(B-IO)



Şekil 4.21. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Plastik Mafsalları(IO-LS)



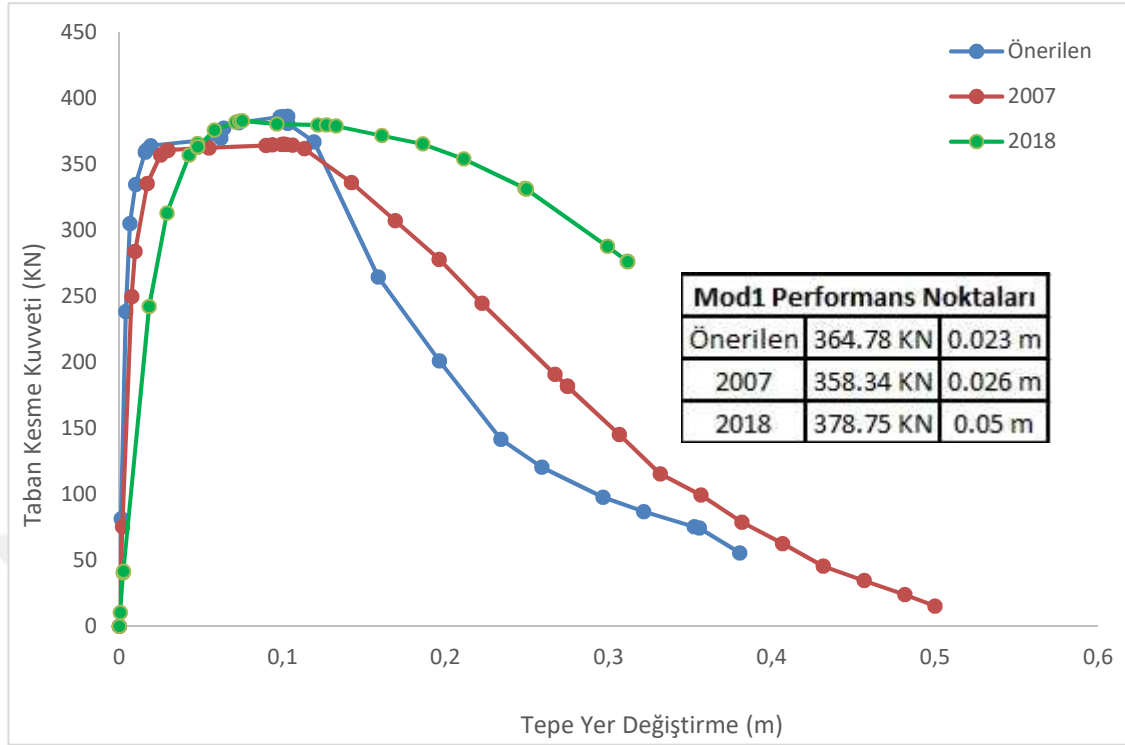
Şekil 4.22. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Plastik Mafsalları(C-D)



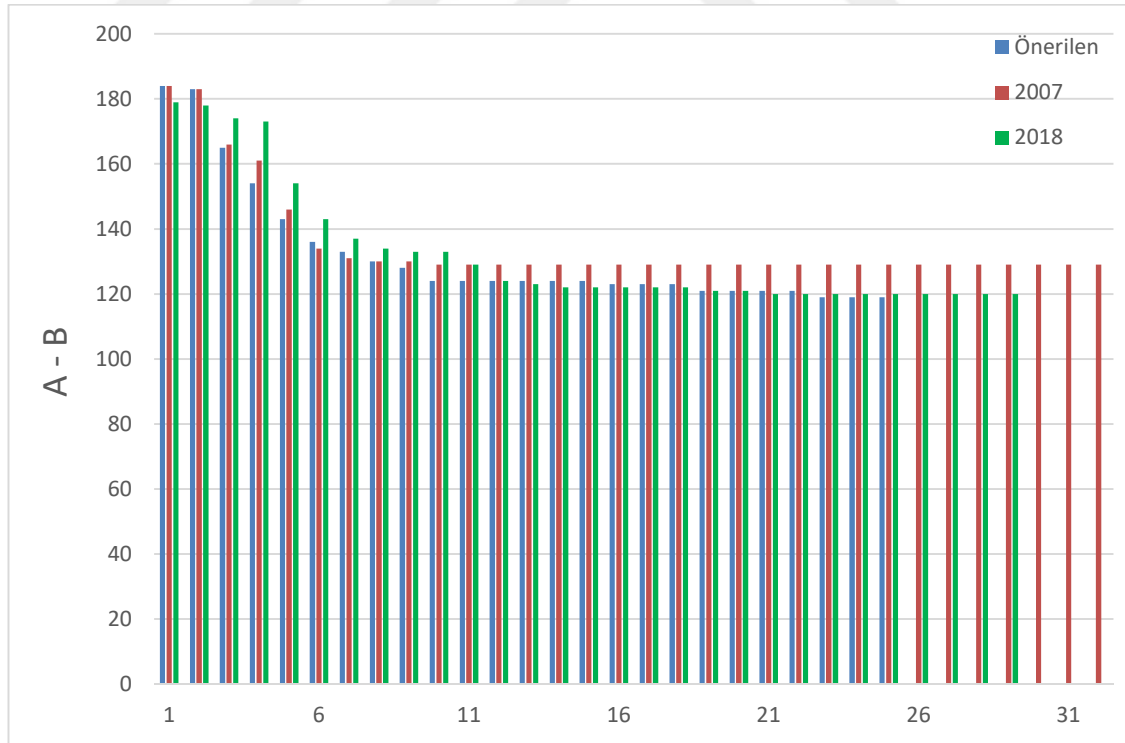
Şekil 4.23. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Y Yönü Önerilen Durum İçin Plastik Mafsal Yerleri

Sap2000 programında EY yönü sisteme girilerek itme analizi yapılmıştır. Önerilen ve 2007 deprem yönetmeliği için DBYBHY-2007 parametreleri, 2018 içinse TBDY-2018 parametreleri girilmiştir. 2007 deprem yönetmeliği sonuçlarını ve 2018 deprem yönetmeliği birbirine yakın seyrederken önerilen durum için ise farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Taban kesme kuvveti önerilen için erken sonlanmıştır. Plastik mafsallaşma her üçü içinde A-B ve B-IO bölgelerinde yakın devam ederken, yanal yer değiştirmeler arttıkça IO-LS bölgesinde plastik mafsallaşma sayıları önerilen ve 2018 için kısa sürede kapasiteye ulaşırken, 2007’de plastik mafsal oluşumları devam etmektedir. C-D aralığında en fazla mafsal 2007 ve 2018’de oluşmaktadır. Göçme durumunda önerilen durum için binada birinci ve ikinci kat kirişlerinde hasarların oluştuğu , birinci kat kolon ve üçüncü kat kolon, kirişlerinde minimum düzeyde hasar meydana geldiği gözlemlenmektedir.

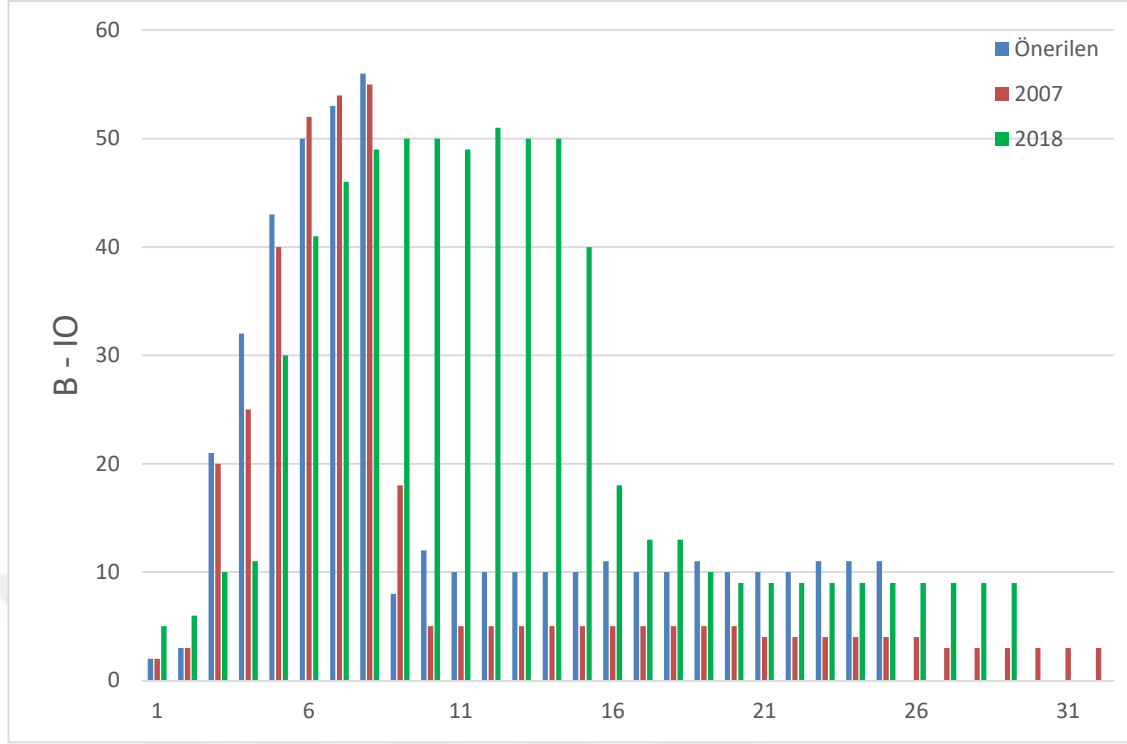
4.4.4. Mod1 itme analizi sonuçları



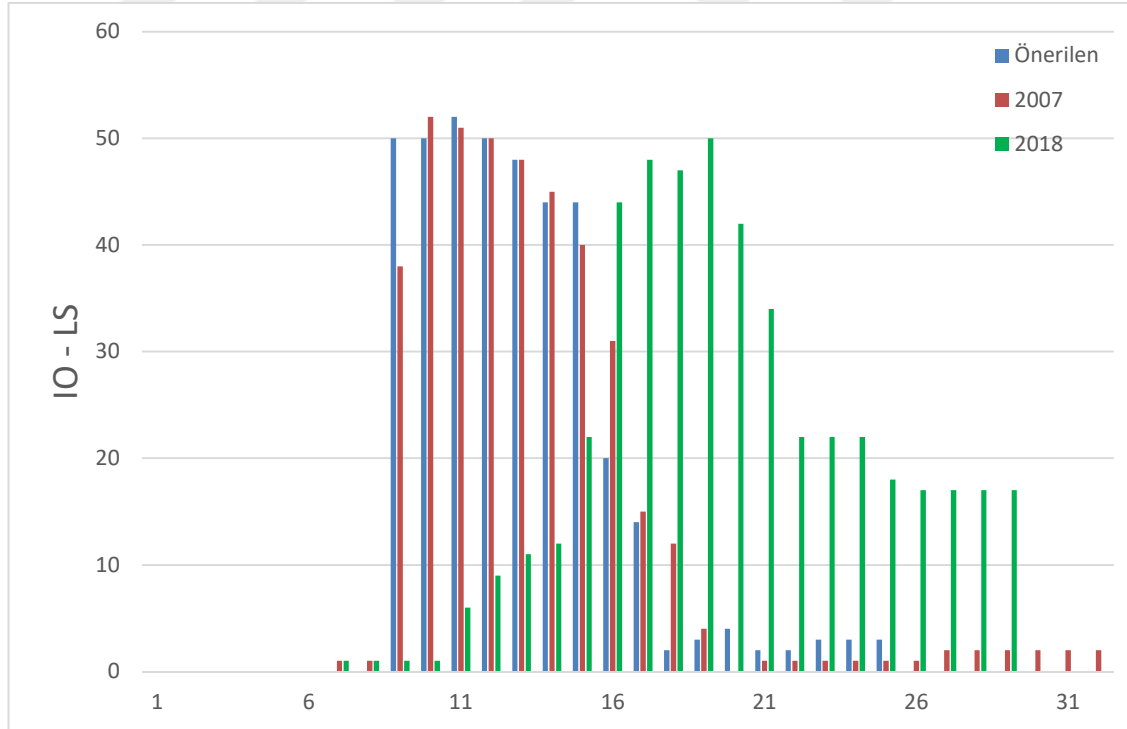
Şekil 4.24. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod1 İtme Eğrisi



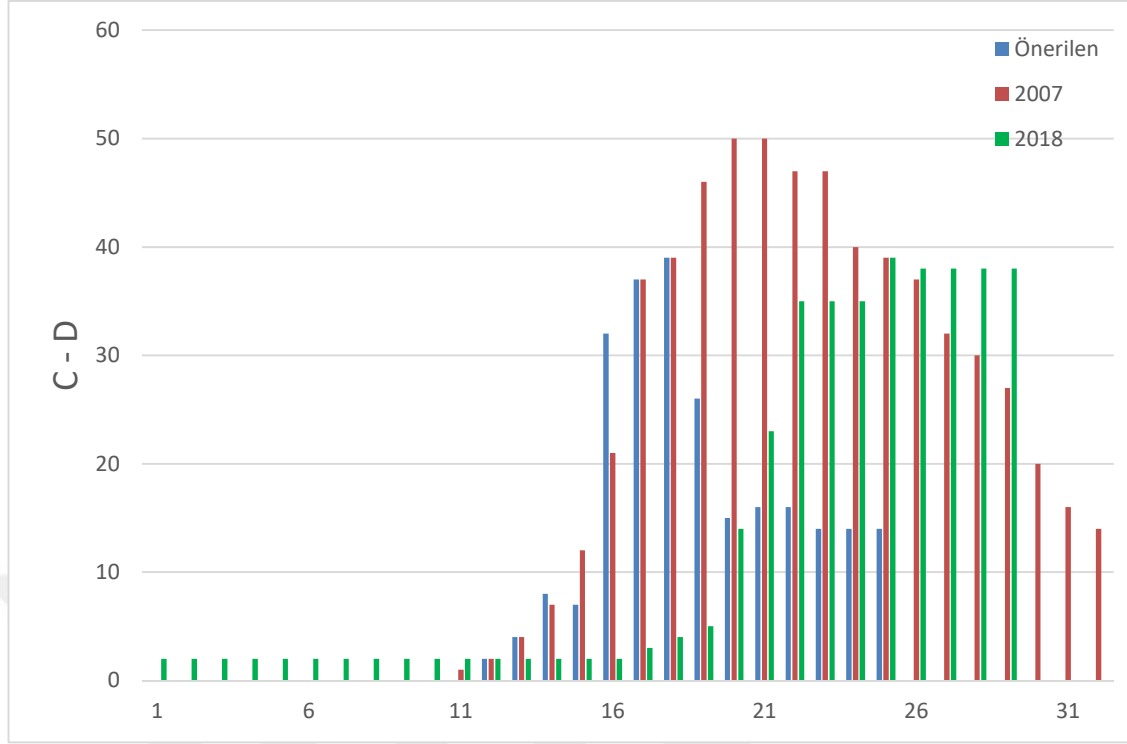
Şekil 4.25. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Plastik Mafsalları(A-B)



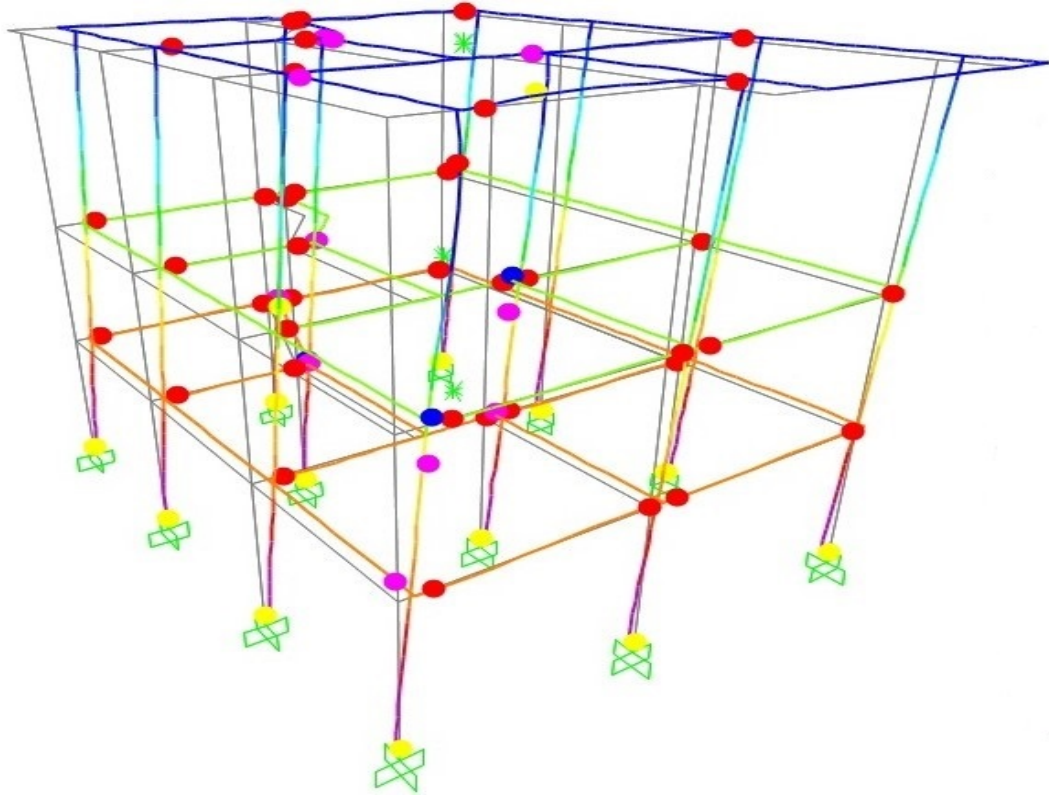
Şekil 4.26. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Plastik Mafsalları(B-IO)



Şekil 4.27. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Plastik Mafsalları(IO-LS)



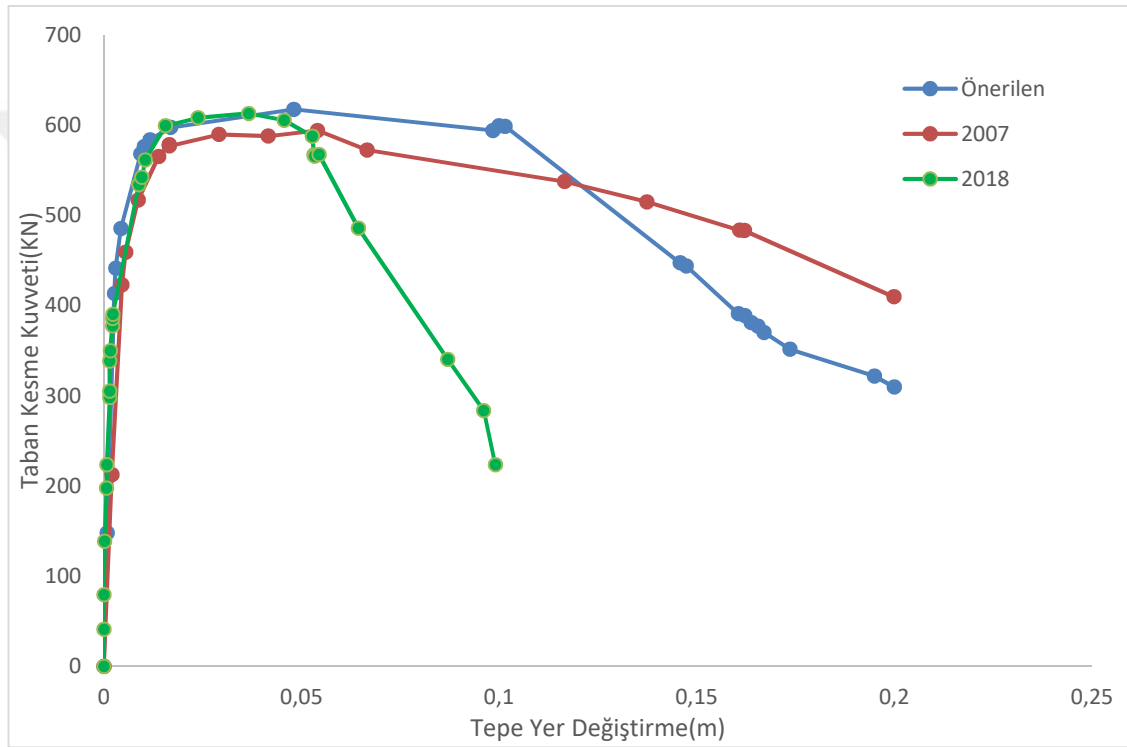
Şekil 4.28. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Plastik Mafsal Sayıları(C-D)



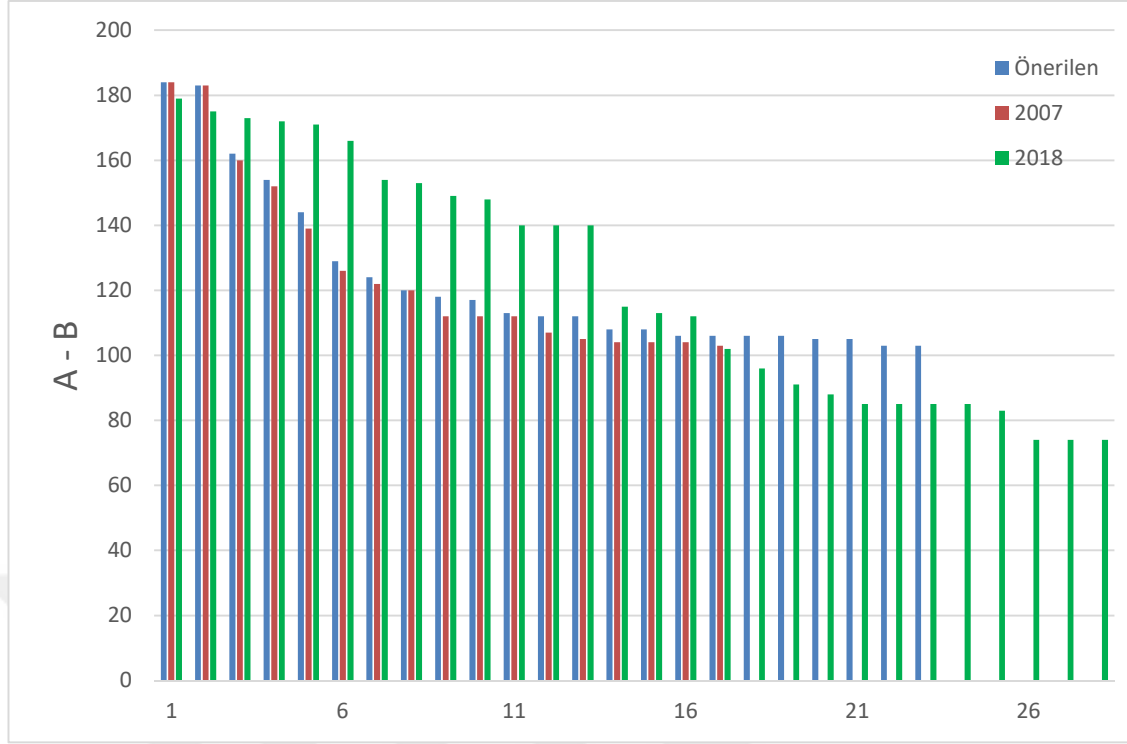
Şekil 4.29. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod1 Önerilen Durum İçin Plastik Mafsal Yerleri

Sap2000 programında Mod1 sisteme girilerek itme analizi yapılmıştır. Önerilen ve 2007 deprem yönetmeliği için DBYBHY-2007 parametreleri, 2018 içinse TBDY-2018 parametreleri girilmiştir. Önerilen ve 2007 deprem yönetmeliği sonuçlarını birbirine yakın seyrederken ve 2018 deprem yönetmeliği ise farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Taban kesme kuvveti 2018 için erken sonlanmıştır. Plastik mafsallaşma her üçü içinde A-B ve B-IO bölgelerinde yakın devam ederken, yanal yer değiştirmeler arttıkça IO-LS bölgesinde plastik mafsallaşma sayıları önerilen ve 2007 için kısa sürede kapasiteye ulaşırken, 2018’de plastik mafsal oluşumları devam etmektedir. C-D aralığında en fazla mafsal 2007 oluşurken bir taraftandan devam etmektedir. Göçme durumunda önerilen durum için tüm bina kirişlerinde hasarların oluştuğu gözlemlenmektedir.

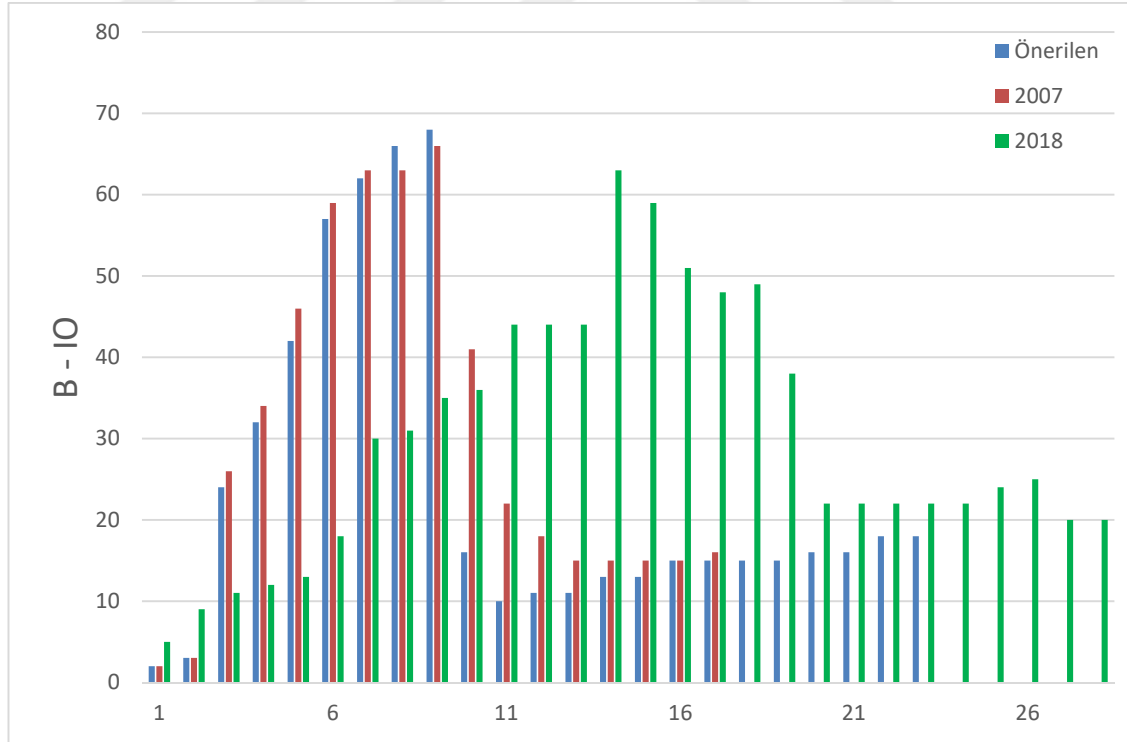
4.4.5. Mod3 itme analizi sonuçları



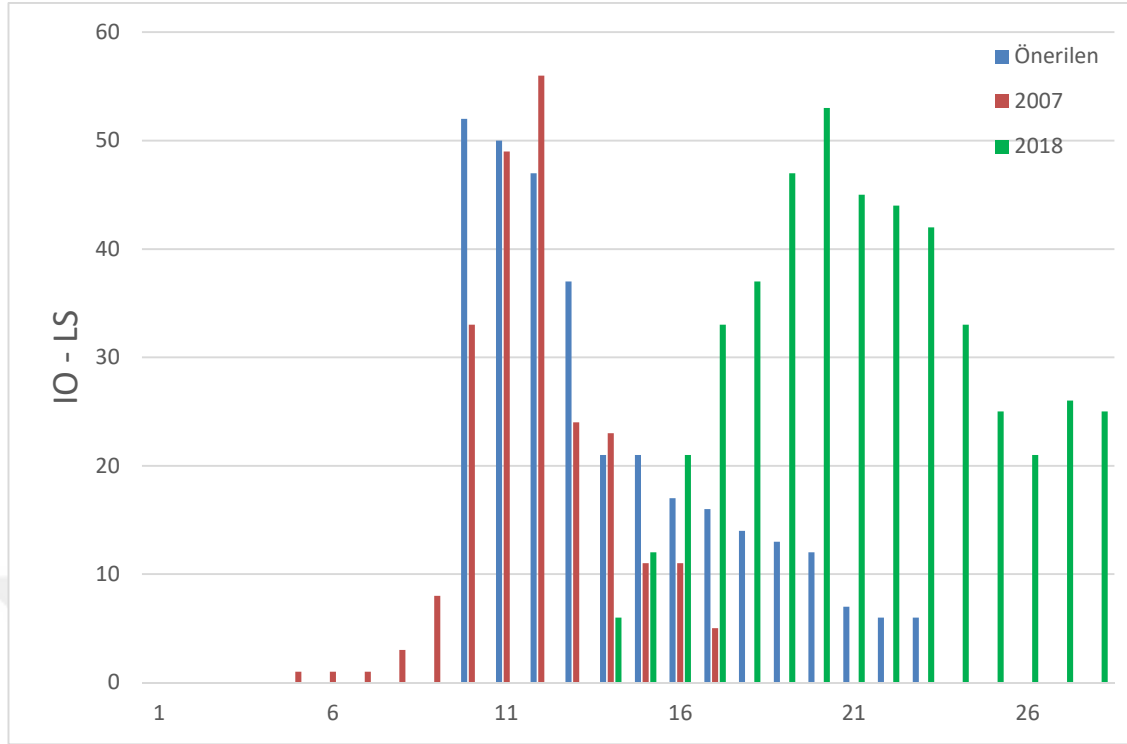
Şekil 4.30. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Mod3 İtme Eğrisi



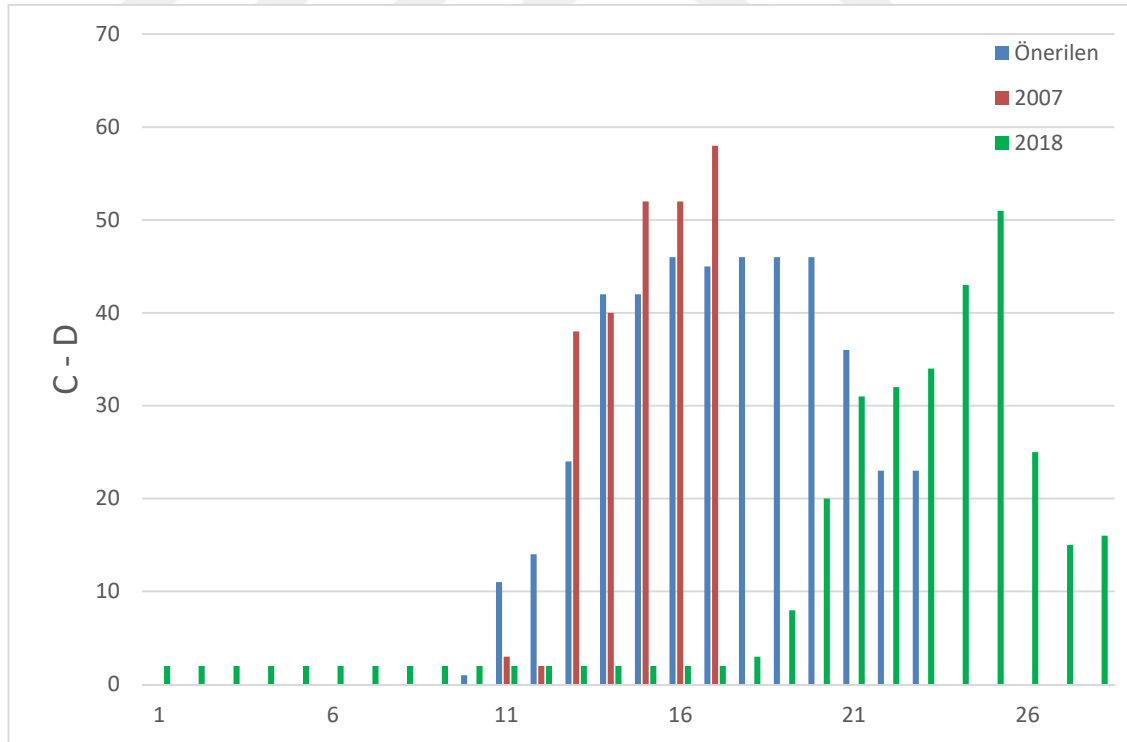
Şekil 4.31. Binaın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Plastik Mafsalları(A-B)



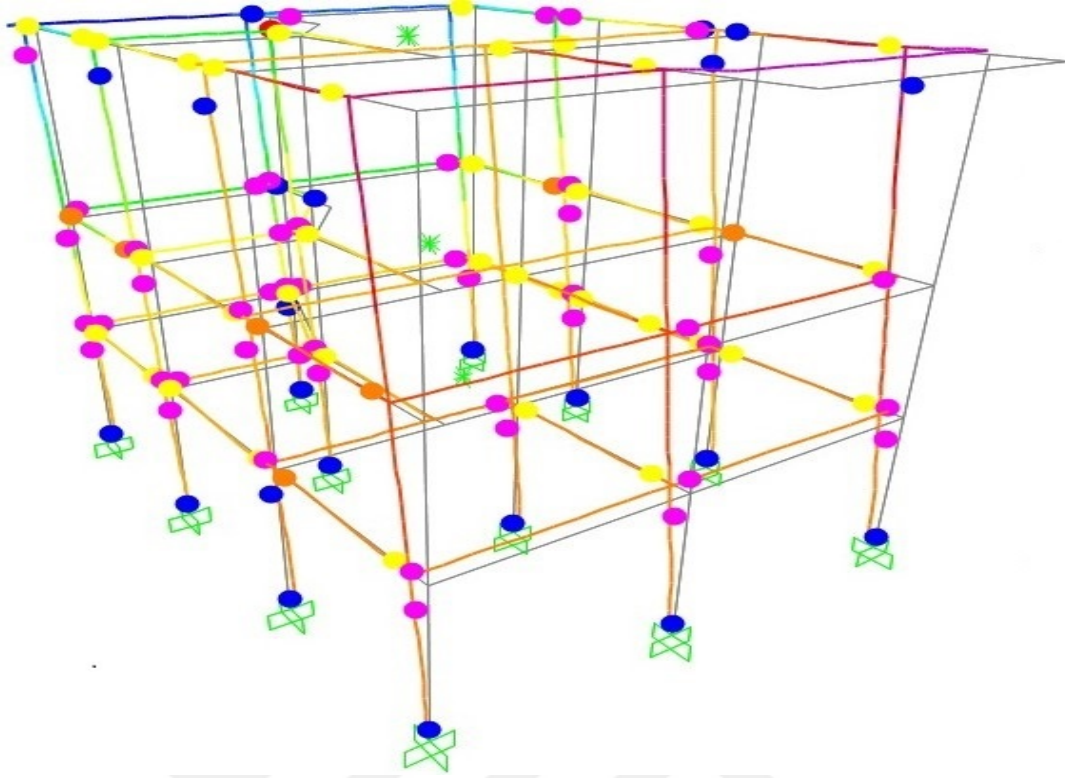
Şekil 4.32. Binaın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Plastik Mafsalları(B-IO)



Şekil 4.33. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Plastik Mafsalları(IO-LS)



Şekil 4.34. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Plastik Mafsalları(C-D)



Şekil 4.35. Binanın Sap2000 Programıyla Bulunan Sonuçlarına Göre Mod3 Önerilen Durum İçin Plastik Mafsal Yerleri

Sap2000 programında Mod3 sisteme girilerek itme analizi yapılmıştır. Önerilen ve 2007 deprem yönetmeliği için DBYBHY-2007 parametreleri, 2018 içinse TBDY-2018 parametreleri girilmiştir. Önerilen ve 2007 deprem yönetmeliği sonuçlarını birbirine yakın seyrederken, 2018 deprem yönetmeliği durum için ise farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Taban kesme kuvveti önerilen için 2018 için sonlanmıştır. Plastik mafsallaşma her üçü içinde A-B ve B-IO bölgelerinde yakın devam ederken, yanal yer değiştirmeler arttıkça IO-LS bölgesinde plastik mafsallaşma sayıları önerilen ve 2007 için kısa sürede kapasiteye ulaşırken, 2018’de plastik mafsal oluşumları devam etmektedir. C-D aralığında en fazla mafsal 2007 oluşurken 2018 için devam etmektedir. Göçme durumunda önerilen durum için birinci kat kolon ve kirişlerinde minimum hasar, ikinci ve üçüncü kat kirişlerinde ise maksimum hasarların olduğu gözlemlenmektedir.

5. SONUÇLAR

Bir betonarme sistem modeli üzerinde binaların deprem performanslarının ve hasar seviyelerinin belirlenmesinde doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması üzerine sayısal bir tez çalışması yapılmıştır. Çalışmada betonarme yapıların performans değerlendirilmesi yapmak üzere iki katlı betonarme bir yapı seçilmiştir. Bu yapının performans seviyesi itme analizi kullanılarak ProbinaOrion programı ile modellenerek SAP2000 programında çözülmüştür. Modelleme yapılırken ilk olarak DBYBHY-2007 kullanılmıştır. İkinci modellemede ise öneride bulunan yöntemle hesap yapılmıştır. Son olarak da TBDY-2018 kullanılarak çözüm yapılmıştır. Yer değiştirme ve dayanım talepleri ile yapısal elemanların hasar seviyeleri değerlendirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada X(EX), Y(EY) yönü ve Mod1,Mod3 için statik itme analizi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre X yönü için taban kesme kuvveti TBDY-2018 de Y yönü için öneride bulunan da erken sonlanmıştır. Mod1 ve Mod3 içinse taban kesme kuvveti TBDY-2018 de erken sonlanmıştır. Çözümlemeler sonucunda binanın göçme durumunda kolon ve kirişlerinde hasarların olduğu gözlemlenmiştir.

Bu veriler sonucunda itme analizi, yapıların deprem yükleri altındaki gerçek davranışlarının anlaşılmasına yardımcı olurken, mevcut veya yeni yapılacak yapıların güvenlik seviyelerinin anlaşılmasında önemli bir analiz yöntemi olduğu anlaşılmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Almeida R. ve Carneiro-Barros R. 2003. A “new” multimode load pattern for pushover analysis: the effect of higher modes of vibration. *Earthquake Resistant Engineering Structures*, IV, 3-13.
- Antoniou S. , Rovithakis A. ve Pinho R. 2002. Development and verification of a fully adaptive pushover procedure. *The Twelfth European Conference on Earthquake Engineering*, electronic resource.
- Applied Technology Council, ATC-40, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, California.
- Chintanapakdee C. ve Chopra A.K. 2003. Evaluation of modal pushover Analysis using generic frames. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.32, 417-442.
- Chopra A.K. ve Goel R.K. 2001. A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 561–582.
- Faella G. ve Kilar V. 1998. Asymmetric multistorey R/C frame structures: push-over versus nonlinear dynamic analysis. *Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering*, computer file.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1997, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-273
- Jan T.S. , Liu M.W. ve Kao Y.C. 2004. An upper- bound pushover analysis procedure for estimating the seismic demands of high-rise buildings. *Engineering Structures*, Vol.26, 117-128.
- Kilar V. ve Fajfar P. 1997. Simple push-over analysis of asymmetric buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.26, 233-249.
- Kilar V. ve Fajfar P. 2001. On the applicability of pushover analysis to the seismic performance evaluation of asymmetric buildings. *European Earthquake Engineering*, Vol. XV, No.1, 20–31.
- Kim S.D. , Hong W.K. ve Ju Y.K. 1999. The Structural Design of Tall Buildings, volume 8, issue 1, 57–73.
- Krawinkler H. ve Seneviranta G.D.P.K. 1998. Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. *Engineering Structures*, Vol.20, 452-464.
- Lawson R. S. , Vance V. ve Karwinkler H. 1994. Nonlinear static push-over analysis why, when, and how. *Proceeding 5th US National Conference on Earthquake Engineering*
- Moghadam A.S. ve Tso W.K. 1995. 3-D pushover analysis for eccentric buildings. *Earthquake Engineering: Seventh Canadian Conference*, 285-292.
- Moghadam A.S. ve Tso W.K. 1998. Pushover analysis for asymmetrical multistorey buildings. *Proceedings of the Sixth US National Conference on Earthquake Engineering*.

- Ozcan O. 2018. Rotation Capacities of RC Columns Reinforced with Plain Rebars, Journal of Earthquake Engineering DOI:10.1080/13632469.2018.1509809
- Sasaki K.K. , Freeman S.A. ve Paret T.F. 1998. Multi-mode pushover procedure (MMP)- a method to identify the effect of higher modes in a pushover analysis. *6th. U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, CD-ROM.
- Tso W.K ve Moghadan A.S. 1996. Damage assessment of eccentric multistorey buildings using 3-D pushover analysis. *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, computer file.
- XTRACT v3.0.5 2006. Educational Version; Imbsen Software Systems, CA



ÖZGEÇMİŞ

UMUT TÜREL

umut_turel@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2014-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Antalya
Yüksek Lisans 2017-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği (Disiplinlerarası)(Tezsiz) ABD, Antalya
Lisans 2009-2013	Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta