DÜZLEMSEL YAPI SİSTEMLERİNDE ELVERİŞSİZ KESİT TESİRLERİNİ VEREN YÜK DURUMLARININ İNCELENMESİ

Tümer ESLEK

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç.Dr. Ahmet BUDAK
2019
Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜZLEMSEL YAPI SİSTEMLERİNDE ELVERİŞSİZ KESİT TESİRLERİNİ VEREN YÜK DURUMLARININ İNCELENMESİ

Tümer ESLEK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ERZURUM
2019

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ ONAY FORMU

DÜZLEMSEL YAPI SİSTEMLERİNDE ELVERİŞSİZ KESİT TESİRLERİNİ VEREN YÜK DURUMLARININ İNCELENMESİ

Doç.Dr. Ahmet BUDAK danışmanlığında, Tümer ESLEK tarafından hazırlanan bu çalışma, 09.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yapı Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği Bilim Dalı'nda **Yüksek Lisans Tezi** tezi olarak **oybirliği** / ~~**oy çokluğu**~~ ~~(.../...)~~ ile kabul edilmiştir.

Başkan: Doç.Dr.Ahmet BUDAK İmza :

Üye : Doç.Dr.Oğuz Akın DÜZGÜN İmza :

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Atilla KUMBASAROĞLU İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 19.09.2019 tarih ve 37 / 52 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÜZLEMSEL YAPI SİSTEMLERİNDE ELVERİŞSİZ KESİT TESİRLERİNİ VEREN YÜK DURUMLARININ İNCELENMESİ

Tümer ESLEK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Ahmet BUDAK

Bu çalışmada yapı sistemlerini oluşturan, yapı elemanlarının tasarımı için gerekli olan;

a. Yapıya etki eden yüklerin neler olduğu,

b. Yapısal çözümlemede, yürürlükte olan yönetmeliklerde, yüklerin elemanlarda en kritik kesit zorlanmalarını oluşturacak şekilde yapı üzerine dağıtılması, düzenlenmesi, bu en elverişsiz yükleme düzeni üzerinden, en kritik kesit zorlanmalarının hesaplanması öngörüldüğünden, basit ve çok katlı yapı sistemlerindeki elverişsiz yüklemeler (hareketli yük düzenlemeleri) incelenmiştir.

Bu çalışmada, Matris-Deplasman yöntemi Q Basıc programlama dilinde kodlanarak bir bilgisayar programı hazırlanmış, mevcut örnekler ve ilave örnekler üzerinde irdelemeler yapılmıştır.

Sonuç olarak, kullanılan bilgisayar programı sayesinde, en elverişsiz kesit tesirlerini veren hareketli yük düzenlemelerinin neler olduğu daha gerçekçi bir şekilde bulunmuştur. Burada elverişsiz açıklık moment değerlerini veren hareketli yük düzenlemeleri hakkındaki yaklaşımların kabul edilebilir düzeyde doğru olduğu anlaşılmıştır. Ancak elverişsiz mesnet moment değerlerini veren hareketli yük düzenlemeleri hakkındaki yaklaşımların ise kabul edilebilir seviyeden farklı olduğu tespit edilmiştir. Çözümü yapılan sistem üzerinde kabul edilen yükleme türünden farklı yüklemeler yapılarak daha elverişsiz mesnet moment değerlerine ulaşılabildiği ortaya çıkarılmıştır.

2019, 121 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sürekli Kirişler, Düzlem Çerçeve Analizi, Elverişsiz Yük Dağılımı, Elverişsiz Yüklemeler, Elverişsiz Yükleme Durumlarında Tasarım Kuvvetleri.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF LOAD SITUATIONS GIVING UNFAVORABLE INTERNAL FORCES IN PLANE STRUCTURE

Tümer ESLEK

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor :Assoc. Prof. Dr. Ahmet BUDAK

In this study, the design of building elements and building systems that are required for;

a. What are the loads acting on the structure,

b. In structural analysis, regulations in force distributing the loads onto the structure to form the most critical section stress in the elements, arranging, this through the most unfavorable loading condition, it is predicted for the calculation of the most critical section stresses, unfavorable loadings (moving load arrangements) in simple and multi-storey building systems have been investigated.

In this study, The Matrix-Displacement method was coded in Quick Basic programming language and a computer program was prepared. The existing examples and additional examples were examined.

As a result, by means of the computer program used, it has been found more realistically what moving load arangements are giving the most unfavorable cross-sections effects. It is understood that the approximations of moving load arrangements that give unfavorable aperture moment values are acceptable. However, it has been found that the approaches about moving load arrangements which give unfavorable support moment values are different from acceptable levels. It has been found out that loadings that are different from the accepted loading type on solution system can be reached to reach more unfavorable beraring moment values.

2019, 121 pages

Keywords: Continuous Beams, Plane Frame Analysis, Unfavorable Load Distribution, Unfavorable Loading, Unfavorable Loading Design Forces İn Unfavorable Loading Situations

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında bana yol gösteren, destek, öneri ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanı hocam Sayın Doç.Dr. Ahmet BUDAK'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu güne kavuşmamda üzerimde büyük emekleri olan anneme, rahmetli babam ve kardeşlerim ile çalışmamın her safhasında yanımda olan ve manevi desteğini esirgemeyen başta eşim Esen ESLEK ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Tümer ESLEK
Temmuz 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET …….. i

ABSTRACT ….…….. ii

TEŞEKKÜR ……. iii

ŞEKİLLER DİZİNİ ……. v

ÇİZELGELER DİZİNİ …… vii

1. GİRİŞ …….. 1

1.1. Amaç ..…… 5

1.2. Kapsam ...…….. 5

2. KAYNAK ÖZETLERİ …….. 6

3. MATERYAL VE YÖNTEM BÖLÜMÜ …….…… 10

3.1. Genel Bilgiler ….……..…….. 10

3.2. Sürekli Kirişler …….…….…… 29

3.3. Düzlem Çerçeveler ……..……..……. 31

3.3.1. Düzlem Çerçeve Elemanlarda Matris Deplasman Yöntemi …… 35

3.3.2. Denklem Takımının Çözümü …….....……. 48

3.3.3. Kesit Tesirlerinin Hesabı …….. 48

3.3.4. Düzlem Çerçeve Eleman Üzerinde Yük Olması Hali …….. 49

3.4. Bilgisayar Programı …….……. 52

3.4.1. Programın Amacı ve Uygulama Alanı ……..……... 52

3.4.2. Verilerin Girilmesi …….. 53

3.4.3. Akış Diyagramı ……..…….. 54

3.4.4. Akış Diyagramı İfadeleri …….....…… 56

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA …… 59

4.1. Sürekli Kirişler ……. 59

4.2. Düzlem Çerçeveler …….. 64

5. SONUÇ VE ÖNERİLER ……. 118

KAYNAKLAR …… 119

ÖZGEÇMİŞ ……. **121**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Elverişsiz kar yüklemeleri ……...…… 14
Şekil 3.2. Elverişsiz rüzgar yüklemesi …….……. 15
Şekil 3.3. Elverişsiz rüzgar ve kar yükü birleşimleri ……. 17
Şekil 3.4. Olası deprem doğrultusu …….…… 19
Şekil 3.5. Deprem doğrultuları ve asal eksenler ……..…… 21
Şekil 3.6. Dolu gövdeli basit kirişte tesir çizgisi …….…… 26
Şekil 3.7. Dolu gövdeli sürekli kiriş …… 28
Şekil 3.8. m ve n Kesitlerindeki elverişsiz yüklemeler …… 30
Şekil 3.9. Eksen takımları ve pozitif yönler …….. 30
Şekil 3.10. Düzlem çerçevede Furlong (1981) yük düzenlemeleri ……. 32
Şekil 3.11. Düzlem çerçevede Ersoy (1989) yük düzenlemeleri ……. 34
Şekil 3.12. (a) Temel kuvvetler (b) Temel deplasmanlar ……. 36
Şekil 3.13. Yer değiştirmeler ve uç kuvvetler …….…….……. 37
Şekil 3.14. Yükleme tiplerine göre örnek ankastrelik kuvvetler …….……. 50
Şekil 3.15. Çubuk yüklerinden düğüm yüklerine geçiş …….……... 51
Şekil 3.16. Program veri girdi ekranı ……..……. 53
Şekil 3.17. Program çıktı ekranı ……..……... 54
Şekil 3.18. Akış diyagramı ……...…… 55
Şekil 4.1. Sürekli kiriş (4 açıklıklı) ……..……. 59
Şekil 4.2. Yüklemeler ve oluşan mesnet tepkileri ……...……. 60
Şekil 4.3. B mesnetinde oluşan mesnet tepkisi ……..……... 62
Şekil 4.4. D mesneti için elverişsiz yüklemeler ……..……... 63
Şekil 4.5. ‘n’ Kesitide oluşan açıklık moment yüklemesi ……..……..63
Şekil 4.6. ‘n’ Kesiti için elverişsiz yüklemeler ……...……..64
Şekil 4.7. 6 Açıklıklı 6 katlı düzlem çerçeve …….. 65
Şekil 4.8. 64 Numaralı kiriş elemanının sol ve sağ (*i* ve *j*) uçlarında maksimum mesnet momenti kesit tesirlerini veren yüklemeler ……..…… 66
Şekil 4.9. 4 Açıklıklı, 6 katlı düzlem çerçeve ……..……... 70
Şekil 4.10. Çok Katlı Çerçeve ……...…… 75
Şekil 4.11. 27 numaralı eleman sağ (*j*) ucu minimum moment yüklemeleri ……. 79

Şekil 4.12. 30 Numaralı eleman sol (*i*) ucu minimum moment yüklemeleri ……. 82
Şekil 4.13. 41 Numaralı eleman sağ (*j*) ucu minimum moment yüklemeleri …. 85
Şekil 4.14. 27 numaralı eleman sağ (*j*) ucu maksimum moment yüklemeleri … 88
Şekil 4.15. 30 Numaralı eleman sol (*i*) ucu maksimum moment yüklemeleri … 91
Şekil 4.16. 41 Numaralı eleman sağ (*j*) ucu maksimum moment yüklemeleri … 94
Şekil 4.17. 28 Numaralı eleman açıklık maksimum moment yüklemeleri ……. 98
Şekil 4.18. 37 Numaralı eleman açıklık maksimum moment yüklemeleri ……... 101
Şekil 4.19. 5 Açıklıklı 5 katlı çerçeve ……..……. 108
Şekil 4.20. 6 Açıklıklı 6 katlı çerçeve ……..……. 108
Şekil 4.21. 37. Eleman sol uç maksimum moment yüklemesi ……..……... 109
Şekil 4.22. 50. Eleman sol uç maksimum moment yüklemesi ……..…… 109
Şekil 4.23. 37. Eleman sol uç minimum moment yüklemesi ……..…….. 110
Şekil 4.24. 50. Eleman sol uç minimum moment yüklemesi …….…….. 110
Şekil 4.25. 37. Eleman açıklık maksimum moment yüklemesi …….……. 111
Şekil 4.26. 50. Eleman açıklık maksimum moment yüklemesi …….…..... 111
Şekil 4.27. 43. Eleman sağ uç maksimum moment yüklemesi …… 112
Şekil 4.28. 57. Eleman sağ uç maksimum moment yüklemesi …….…… 112
Şekil 4.29. 43. Eleman sağ uç minimum moment yüklemesi …… 113
Şekil 4.30. 57. Eleman sağ uç mimimum moment yüklemesi …….…… 113
Şekil 4.31. 43. Eleman açıklık maksimum moment yüklemesi ……..…….. 114
Şekil 4.32. 57. Eleman açıklık maksimum moment yüklemesi …… 114
Şekil 4.33. 49. Eleman sol uç maksimum moment yüklemesi …… 115
Şekil 4.34. 64. Eleman sol uç maksimum moment yüklemesi …….…..... 115
Şekil 4.35. 49. Eleman soluç minimum moment yüklemesi …….…….. 116
Şekil 4.36. 64. Eleman sol uç minimum moment yüklemesi …….……. 116

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Sabit yük değerleri …… 11

Çizelge 3.2. Dört ve daha fazla kata sahip yapılarda hareketli yük azaltma Değerleri …… 12

Çizelge 3.3. Zati Kar Yükü Değerleri (Pko) kN/m² ……. 13

Çizelge 3.4. Çatı eğimine (α) bağlı olarak azaltma değeri (m) …… 14

Çizelge 3.5. Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme (tüm Türkiye için) ... 16

Çizelge 3.6. Temel deprem yüklemeleri …… 21

Çizelge 3.7. Yükleme birleşimleri katsayısı ……. 22

Çizelge 4.1. Kesit tesirleri ……. 70

Çizelge 4.2. F = 1,0G + 1,0Q ± 1,0E Süperpoze değerleri ……... 71

Çizelge 4.3. F = 0,9G ± 1,0E Süperpoze değerleri …….. 71

Çizelge 4.4. F = 1,0G + 1,0Q ± 1,0E Direkt yükleme değerleri …….. 72

Çizelge 4.5. F = 0,9G ± 1,0E Direkt yükleme değerleri …… 72

Çizelge 4.6. Kıyaslama tablosu ……..…….. 73

Çizelge 4.7. Çok katlı Çerçeve için Mesnet Momentleri ……..….. 77

Çizelge 4.8. Çok katlı Çerçeve İçin Açıklık Momentleri ……. 97

Çizelge 4.9. Mesnet momentleri kıyaslama oranları ……. 104

Çizelge 4.10. Açıklık momentleri kıyaslama oranları …….. 106

Çizelge 4.11. 5Açıklıklı ve 6 açıklıklı düzlem çerçevelerin karşılaştırması …… 117

1. GİRİŞ

Yapılar, ömürleri süresince taşıyıcı elemanlarının kesitlerinde gerilme yada şekil değiştirme meydana getiren değişik etkilere maruz kalırlar. Yapının emniyetle taşımak zorunda olduğu bu etkiler; yapının cinsi, kullanım amacı, inşa edildiği bölge, temel ortamının özellikleri, taşıyıcı sisteminin ve kullanılan malzemenin cinsi gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Yapı; cinsi ve kullanım amacına bağlı olarak, değişik hareketli yüklere, çarpma etkilerine, hidrostatik ve hidrodinamik etkiler ile yangın, çalışan makine etkileri gibi etkilere maruz kalabilir. Yapı hesaplamalarında yapının inşa edildiği bölgenin depremselliği ve iklim koşulları ile projelendirilme sırasında deprem, rüzgar, sıcaklık değişimleri gibi etkilerin göz önüne alınması zorunlu hale gelebilir. Öte yandan yapı temellerinin içinde olduğu ortamın özellikleri, mesnet çökmesi, dalga yükleri gibi etkiler ile yapı taşıyıcı sisteminin şekli ve inşasında kullanılan malzeme özellikleri, rötre, sünme, yangın tehlikesi gibi etkiler, yapı güvenliği açısından yapının kritik hale gelmesine sebep olabilir. Dış etkiler olarak tanımlanan, oldukça çeşitli olan ve değişik şekilde sınıflandırılabilen bu etkilerin başlıcaları

- Kalıcı veya sabit yükler, Hareketli yükler, Trafik yükleri, Kar yükleri,
- Deprem, Çarpma, Patlama, Çalışan makine etkileri, Rüzgar yükleri
- Zemin Yükleri, Mesnet hareketleri,
- Sıcaklık değişimi, Yangın tehlikesi,
- Sıvı yükleri, Su, Nem, Buz yükleri, Donma-çözülme etkileri
- Rötre, Sünme etkileri

şeklinde sıralanabilir. Yapıya etkimesi muhtemel bu dış etkilerin her biri diğerlerinden farklı karaktere sahiptir. Örneğin en basit olarak yapının kendi ağırlığından kaynaklanan sabit yükleriyle yapının kullanılması sırasında insan yüklerinden kaynaklanan hareketli yüklerin karekteri biribirinden tamamen farklıdır. Yapı güvenliği açısından en başta yapıya etkimesi muhtemel dış etkilerin hangi etkiler olacağı ve şiddetlerinin ne kadar

olacağının en doğru şekilde belirlenmesi gerekir. Ancak daha önemlisi yapı taşıyıcı elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılacak kesit etkileri belirlenirken göz önüne alınan dış etkinin karakterine uygun bir değerlendirme yapılması gerekir. Bunun yanı sıra bu dış etkilerin herbirinin teker teker göz önüne alınması yanında birlikte etkimeleri halinde nasıl birleştirilecekleri de farklı bir problemdir.

Yukarıda belirtilen dış etkilerden birçoğuna özel yapılarda veya özel durumlarda göz önüne alınması gereken dış etkiler gözüyle bakılabilir. Ancak sabit yükler, hareketli yükler, deprem, rüzgar ve kar yükleri hemen hemen her türlü yapıda göz önüne alınması gereken önemli yük etkileridir.

Kalıcı veya sabit yükler (G), yapının taşıyıcı olan veya taşıyıcı olmayan elemanları ile yapıya ilave edilen cisimlerin ağırlıkları olarak tanımlanır. Bu yükler zamanla değişmediği için sabit yük, zati yük veya ölü yük olarakta nitelendirilir.

Hareketli yükler (Q) kullanım süresince yapı üzerinde uzun sureli olarak kalmayan, bazen var, bazen de var olmayan yüklerdir. Daha çok yapıyı kullanan insanların kendi ağırlıkları ve onların kullandıkları eşyalardan kaynaklanır. Konum ve etkime durumları zamana bağlı olarak değişmesine rağmen yapıda önemli boyutta titreşim hareketi veya atalet kuvvetleri doğurmadıkları için bu yüklere dinamik yük gözüyle bakılmaz.

Kar yükleri (P); kar yağışı sebebiyle binaların çatılarında veya yapının birikmesi mühtemel kısımlarında biriken kardan kaynaklanır. Kar yükü bölgenin coğrafi ve iklim şartlarına, karın yapı ile temas edeceği yüzeyin eğimine, rüzgar biriktirme etkisine, karın yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Hareketli yüklere benzer şekilde yapı üzerindeki konumlarının değişmesi, bazen var bazen olmama durumları sebebiyle kar yüklerine hareketli yük gözüyle bakılmaktadır.

Rüzgar yükü (W) atmosferik hava hareketlerine bağlı olarak ortaya çıkan, yapıya yatay etki ettiği düşünülen ve statik olduğu kabul edilen rüzgardan kaynaklanan yüktür. Yapı

konumlanmasına göre rüzgarın çarptığı ön yüzeylerde basınç, rüzgarın yalayıp geçtiği yan yüzeyler ile yapı arka yüzeyinde ise çekme (emme) kuvveti doğurur. Rüzgar yükü de hareketli yükler gibi bazen var bazen de var olmayan yüklerdendir.

Deprem yükü (E) yer kabuğundaki tektonik hareketler sonucu oluşan ve tektonik yapının özelliklerine bağlı olarak zaman zaman meydana gelen şiddetli yer hareketlerinden kaynaklanır. Depremler, yapıların zeminle olan etkileşimine bağlı olarak yapı sistemlerine etkiyen yatay kuvvetler oluşturur. Deprem sırasında temel zemini titreşim hareketi yapmakta, dolayısıyla yapı temeli ani yer değiştirme ve dönmenin etkisinde kalmaktadır. Temelin bu tür hareketleri yapıda harekete zıt yönde atalet kuvvetlerinin meydana gelmesine sebep olur ki, bu yükler deprem yükü olarak tanımlanmaktadır.

Sabit yükler dışında, hareketli yükler konumlarının değişmesi veya ait oldukları yapı elemanı üzerinde var olup olmama durumlarının değişmesi söz konusu olduğundan, rüzgar ve kar yüklerinin de benzer davranışa sahip olması açısından, depremin farklı yön ve farklı doğrultularda etkimesi muhtemel olduğundan yapı üzerine değişik şekilde etki etmeleri söz konusudur. Dolayısıyla söz konusu dış etkilerden yapı kesitlerinde meydana gelen kesit tesirleri değişkenlik gösterir. Yapı tasarımı açısından bu dış etkiler altında yapının kritik kesitlerinde meydana gelen kesit tesirlerinin elverişsiz değerlerinin araştırılması gerekir.

Yapıların dış etkilere göre tasarlanmasında yapının kritik kesitlerindeki elverişsiz kesit etkileri kullanılır. Belirli bir dış etki altında bir kesit tesirinin bir yapı elemanı üzerinde en büyük veya en küçük değerler aldığı kesitler kritik kesitler olarak adlandırılır. Örneğin bir çerçeve çubuğundaki kritik kesitler çubuk uçları ve çubuk açıklığındaki kesittir. Sabit yükler dışında kalan birçok dış etki için dış etkinin değişik şekilde etkimesine bağlı olarak kritik kesitlerdeki kesit etkileri de değişkenlik gösterir ki, bu değişkenlik gösteren kesit tesirlerinin en büyük ve en küçük değerlerine de elverişsiz kesit etkileri denilir.

Sabit yükler şiddetleri ve konumları değişmediği için ait oldukları elemana yüklenerek yapıda meydana getirdikleri kesit tesirleri ve yer değiştirmeler tek bir statik analizle belirlenebilir. Sabit yükler altında kritik kesitlerdeki kesit tesirlerinin tek bir değeri vardır. Ancak hareketli yükler, deprem, rüzgar ve kar yükleri için kritik kesitlerdeki kesit tesirlerinin elverişsiz değerlerinin aranması gerekir. Bu sebeple öncelikle her kritik kesit için ve belirli bir kesit tesiri için elverişsiz kesit tesirlerini veren yükleme durumlarının araştırılması gereklidir ve elverişsiz yükleme durumlarının sayısı kadar da yapı analizinin yapılması gerekir. Herhangi bir kritik kesitteki bir kesit tesiri için göz önüne alınması gereken elverişsiz yükleme durumu başka bir kritik kesitteki elverişsiz kesit etkilerini veren yükleme durumundan çoğunlukla faklıdır. Bunun gibi bu yükleme durumları taşıyıcı sistemin şekline bağlı olarak değişebilir.

Çoğunlukla, yapıya etkimesi muhtemel dış etkilerin hepsi aynı anda yapı üzerinde bulunmaz. Ancak yapı ömrü boyunca bu durumun gerçekleşmesi ihtimali vardır. Bu durumda dış etkilerin veya dış etkilerden meydana gelen kesit tesirlerinin nasıl birleştirileceği de önemli hale gelmektedir. Dış etkilerin veya bunlardan meydana gelen kesit etkilerinin yüklerin türlerine göre nasıl birleştireceklerine ilişkin önermeler yük kombinezonları olarak adlandırılmaktadır. Yük kombinezonları ile dış etkiler veya bunlardan meydana gelen kesit tesirleri dış etkinin türüne göre uygun yük katsayıları ile çarpılarak birleştirilmektedir. Bu katsayılar belirlenirken çeşitli etkenler göz önüne alınmaktadır. Örneğin dış etkilerin şiddetleri konusundaki belirsizlikler her zaman vardır. Benzer şekilde;

- Yapının kullanım amacı değişimi sonucunda, yapıya etki eden yüklerin artabileceği,
- Sistem çözümünde "Basitleştirici kabullerin" yapılıyor olması,
- Taşıyıcı yapıyı oluşturan ve yapıda kullanılacak malzemenin kalitesinin düşük olma ihtimali,
- İmalat esnasında işçiliğin yeterli kalitede olmaması ve denetim eksikliğinden kaynaklanan nedenler ,

sebebiyle yapılar veya yapıyı oluşturan yapı elemanları, normal kullanım sırasında etkimesi beklenen yüklerden daha büyük yükleri taşıyacak şekilde boyutlandırılırlar (TBDY-2018).

1.1. Amaç

Sabit yükler, hareketli yükler, deprem, rüzgar ve kar yükleri hemen hemen her türlü yapıda göz önüne alınması gereken dış etkilerdendir. Çalışmada sayılan dış etkiler için yapı taşıyıcı elemanlarının kritik kesitlerinde en elverişsiz kesit etkilerini oluşturacak yükleme durumlarının araştırılıp incelenmesi amaçlanmış, günümüz imkanları ile bu kabullerin doğruluk derecelerinin irdelenmesi, yeni bir çözümün veya yeni kabullerin yapılıp yapılamayacağının araştırılıp ortaya çıkarılması düşünülmüştür.

1.2. Kapsam

Çalışmada belirtilen dış etkiler altında elverişsiz kesit tesirlerinin elde edilmesi için yapılması gerekli yüklemeler araştırılmış, özellikle hareketli yükler üzerinde durulmuştur. Ayrıca dış etkilerin beraber etkimeleri durumunda nasıl birleştirilecekleri incelenmiştir. Hareketli yükler altında sürekli kirişler ve düzlem çerçeve sistemlerinde elverişsiz kesit tesirlerinin elde edilmesi için kullanılan mevcut yöntemler incelenmiş, bu amaçla araştırma yapmak üzere elverişsiz yüklemeleri elde eden bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla literatürde çözülmüş olan örnek sistemler tekrar çözülmüş, bilgisayar programı ile çözümden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, bu amaçla verilen yaklaşımların gerçekçiliği irdelenmiştir. Çalışma sonunda hareketli yükler altında belirli bir kesitte belirli bir kesit tesirinin elverişsiz değerlerini elde etmek üzere genel bir kuralın olmadığı, ancak bu amaçla yeterince yaklaşık sonuçlar veren genel kurallar konulabileceği anlaşılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapılar, ömürleri süresince değişik dış etkilere maruz kalırlar. Yapının emniyetle taşıması gereken bu dış etkiler oldukça çeşitli ve değişik karekterlere sahiptirler. Bu dış etkilerden bir kısmı nispeten özel olarak değerlendirilebilir. Ancak sSabit yükler, hareketli yükler, deprem, rüzgar ve kar yükleri hemen hemen her türlü yapıda göz önüne alınması gereken önemli dış etkilerdir. Bu etkiler TS 498, TS ISO 9194 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018)

- Kalıcı Yükler (zati, sabit, öz, ölü yükler) [G,g]
- Haraketli Yükler [Q,q]: Eşya yükleri, insan yükleri ve kar yükleri,
- Yatay Yükler [E]: Deprem, rüzgar yükleri, toprak ve sıvı yükler vb.

şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Kalıcı veya sabit yükler zamanla değişmediği ve yapı üzerinde hep aynı kaldığı için, bu yükler etkisinde yapıda meydana gelen kesit etkilerinin belirlenmesi tek bir yapısal analizle mümkün olmaktadır. Ülkemizde sabit yüklerin hesaplanmasında TS 498/1997 kullanılmaktadır.

Ancak hareketli yükler, deprem, kar, ve rüzgar yükleri için kritik kesitlerdeki elverişsiz kesit tesirlerinin araştırılması bir mühendislik gereği olarak tüm yönetmeliklerde olduğu gibi, TS 500; 2000 ve TBDY-2018 tarafından da şart koşulmaktadır.

TS 500; 2000, Hareketli yük düzenlemesi başlıklı Bölüm 6.3.3'de "Deprem içeren yük birleşimleri dışında kalan yük birleşimlerinde, hareketli yük elemanda en elverişsiz kesit zorlamalarını yaratacak biçimde düzenlenecektir." ifadesi bulunmaktadır. Diğer ulusal veya uluslararası yönetmeliklerde de benzer hükümler vardır (Ersoy 1989).

Hareketli yüklerin yapı üzerindeki konumları ve etkime durumları zamana bağlı olarak değiştiğinden, kritik kesitlerde kesit etkilerini elverişsiz yapan yük kombinezonlarının araştırılması gerekmektedir. Bunun için klasik olarak ilk akla gelen tesir çizgilerinin kullanılmasıdır. Ancak elverişsiz kesit etkilerini veren yük kombinezonları yapı şekline bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden bu araştırma kaynaklarının çoğunda sürekli kirişler temel alınarak yapılmıştır. Ancak yapıların çerçeveler şeklinde düzlemsel olarak ele alınması durumunda veya gerçekte üç boyutlu sistemler olarak düşünüldüğünde sürekli kirişler olarak yapılan araştırmanın yetersiz olduğu akla gelmektedir.

Bu sistemler hiperstatik sistemler olduğundan elverişsiz kesit tesirlerini veren yükleme kombinezonlarının tesir çizgileri yardımıyla aranması oldukça zor ve uzun olmaktadır. Yine bu araştırmanın yapıdaki her kritik kesit ve her kesit tesiri için ayrı ayrı yapılması gereği bu zorluğu daha da artırmaktadır.

Halen uzay sistemler için, elverişsiz kesit tesirlerini veren yüklemelerle ilgili bir kural olmadığı gibi sadece çerçeveler için bir kural ortaya konulması düşüncesiyle yapılan çalışmalarda sınırlı sayıdadır. Bunlardan en önemlileri G.Large, Furlong ve Ersoy tarafından geliştirilenlerdir. Large (1950), Furlong (1981) ve Ersoy (1989)'ya göre tüm bu yöntemler yaklaşık sonuç vermektedir.

Furlong (1981)'de mümkün olduğunca az sayıda hareketli yük düzenlemesiyle çerçeveyi oluşturan kolon ve kirişlerde meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momentlerinin gerçeğe yakın bir şekilde elde edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yük düzenlemesi kat sayısından bağımsızdır. Burada 'n' açıklık sayısı olmak üzere, Furlong'a göre dört açıklıklı ve üç katlı bir yapının hareketli yük ile yüklenme sayısı 2+(n-1) => 2+(4-1) = 5 adet olacak şekilde bulunmaktadır.

Ersoy (1989)'da önerilen yöntem Furlong (1981) ile benzerdir. Bu çalışmada, kolon ve kiriş kesitlerinde hareketli yük nedeniyle oluşacak zorlamaları olabildiğince gerçeğe yakın bir biçimde, en az çözümleme ile elde edebilmenin yolları araştırılmıştır. Bu

amaçla belirli bir sistematiğe dayanan bir düzenleme yöntemi getirilmiştir. Bu yöntemde çerçevenin açıklık ve kat sayı ne olursa olsun beş adet yüklemenin yeterli olduğu savunulmuştur. Kirişlerdeki maksimum ve minimum açıklık momentlerinin elde edilmesi için önerilen yükleme düzeni tesir çizgileri ile elde edilen yöntemdir. Kirişlerin mesnet ve kolonların maksimum momentlerini oluşturacak düzenleme için ise iki dolu bir boştan oluşan bir yük modeli kullanılmaktadır.

Döven vd (2011)'de düzlem çerçeve yapılarda elverişsiz yük dağılımının, süperpozisyon prensibi ile sistematik olarak elde edilebilmesi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen çubuk kuvvetleri pozitif ve negatif olarak gruplandırılarak her çubuk kuvveti için elverişsiz yükleme grupları tespit edilmektedir. Böylece oluşabilecek maksimum çubuk uç kuvvetleri, tasarım çubuk uç kuvvetleri olarak belirlenebilmektedir. Geliştirilen bilgisayar programı ile yapıdaki kirişlere gelmesi muhtemel yüklerin elverişsiz dağılımı sistematik olarak tespit edilmekte ve elemanlardaki elverişsiz tasarım kuvvetleri raporlanabilmektedir.

Arslan vd (1996) hareketli yük düzenlemesine göre tasarım kuvvetlerini daha hızlı ve daha kesin hesaplamak için genetik algoritma kullanmışlardır.

Yönetmelikler, bir yapının yapılacak sistem çözümlemesinde, hareketli yüklerin en büyük kesit etkilerini oluşturacak biçimde tasarlanmasını şart koşmaktadır. Kat sayısı fazla olan yüksek yapılarda bu koşullara aynen uyulduğunda, sağlıklı sistem çözümü için yüzlerce farklı düzenlemenin göz önüne alınması gerekmektedir. Ersoy (1989) bu konudaki görüşlerini "Bu kadar sayıda çözümleme yapmak bilgisayarlarla da olsa pratik ve ekonomik değildir. Yapısal çözümleme çok sayıda varsayıma dayandığından, daha kesin sonuç için çözümü bu şekilde tekrarlamanın da anlamı yoktur. O halde akılcı yaklaşım, kesinlikten bir miktar ödün vererek, daha az sayıda çözümleme ile sonuç almayı gerektirmektedir" şeklinde ifade etmiştir.

Hareketli yük tanımı içerisinde değerlendirlen kar yükü değerleri TS 498/1997'ye göre Ülkemizde dört ayrı bölge için hesaplanmakta ve kar yükünden meydana gelecek kesit tesirlerinin belirlenmesi için etkime şekline göre yapıya dört ayrı şekilde yükleme tipi önerilmektedir. Bu yüklemeler; Tam Kar, Sol Yarım Kar, Sağ Yarım Kar ve Asimetrik kar yüklemesidir. Böylece kar yükü sebebiyle yapıya etkimesi muhtemel elverişsiz kesit tesirlerinin elde edilebileceği düşünülmektedir.

Rüzgar yükü, yönetmeliklerimizde deprem yükü gibi yatay yük olarak değerlendirilmekte, rüzgar yüklerinin hesaplara katılımında yapının rüzgar yönüne göre değişik konumları dikkate alınmaktadır. Yapıya rüzgarın karşıdan çarptığı yüzey basınç, diğer yan ve arka yüzeyler ise çekme kuvetinin etkisinde kalacakları öngörülmektedir. Yapı hesaplarında göz önüne alınan rüzgar yükü hesap değerleri Ülkemizde TS 498/1997'e göre yapılmaktadır. Rüzgar sebebiyle yapıda oluşan etkiler esasen çok daha karmaşıktır. Şöyle ki yapıya etki edecek rüzgar yükü yapının geometrik şekli, arazi durumu, çevredeki yapılaşma gibi faktörlerden etkilenir. Bu sebeple bir çok özel binanın tasarımında rüzgar deneyleri yapılmaktadır.

Yapı sistemi için hesaplamalarda dikkate alınan deprem yükleri yapının konumlandığı deprem bölgesine, zeminle etkileşme durumuna ve depremin yapıya etkime yönüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Ülkemizde deprem yüklerinin hesaplanmasında şu an yürürlükte olan "TBDY-2018" kullanılmaktadır.

Öte yandan dış etkilerin her birinin teker teker göz önüne alınmasının yanında, birlikte etkimeleri halinde nasıl birleştirilecekleri de farklı bir problemdir. TS 500 (2000) ve TBDY-2018 bunlara ilişkin tasarım kurallarını içermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genel Bilgiler

Sabit yükler, hareketli yükler, deprem, rüzgar ve kar yükleri hemen hemen her türlü yapıda göz önüne alınması gereken dış etkilerdendir. Bunlardan sabit yükler dışında kalan dış etkilerin yapı üzerine etkime durumlarının değişiklik göstermesi sebebiyle yapı kesitlerinde meydana gelen kesit tesirleri de değişkenlik gösterir. Yapı tasarımı açısından bu dış etkiler altında yapının kritik kesitlerinde meydana gelen kesit tesirlerinin elverişsiz değerlerinin araştırılması gerekir. Aşağıda bu amaca yönelik olarak herbir dış etki ayrı ayrı ele alınarak incelenmiştir.

Sabit (zati) yükler: Yapıyı oluşturan, yapılarda taşıyıcı olan veya taşıyıcı olmayan elemanlar ile yapıya ilave edilen cisimlerin ağırlıkları olarak tanımlanabilir. Bu yükler zamanla değişmediği için sabit yük, zati yük veya ölü yük (G, g) olarak nitelendirilirler. Genel olarak bir yapı sistemine ait çeşitli elemanların malzemeleri ve boyutları belirlendikten sonra bunların ağırlıkları malzeme özgül ağırlıklarının verildiği tablolar yardımıyla hesaplanır. Yapılara etkiyen yüklerin belirlenmesinde kullanılacak yük değerleri Çizelge 3.1.'de gösterildiği gibi, Ülkemiz için TS 498/1997 "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri" yönetmeliğinde verilmiştir.

Bir yapının sabit yükleri yapının en üst (çatı) kısmından başlayıp, aşağı doğru ilerledikçe artarak temellerde son değerine ulaşır. Dolayısıyla herhangi bir seviyedeki yük değeri; sadece o katta bulunan sabit yüklere değil, o katın üzerinde bulunan yüklere de bağlıdır.

Sabit yüklerin konum ve şiddetlerinin zamanla değişmediği hep aynı kaldığı sebebiyle yapı tasarımında bu yüklerden doğan kesit tesirleri tek bir yapısal analizle elde edilir.

Çizelge 3.1. Sabit yük değerleri (TS ISO 9194)

Malzeme	Yoğunluk, kg/m³	□, kN/m³
Tabi Agregalı Beton	2250-2500	22,5-25,0
Bazalt Agregalı Beton	2300-2500	23,0-25,0
Kırma Taş Agregal Beton	2300-2500	23,0-25,0
Yapı Çeliği	7850	78,5
Dökme Demir	7100	71,0
Harman Tuğlası	1500	15,0
Dış cephe Tuğlası	1900	19,0
Delikli Tuğla	820-1450	8,2-14,5
Kum	1550	15,5
Çakıl	1700	17,0
Yüksek Fırın Cürufu	1200-1500	12,0-15,0
PVC Yer Karosu	1700	17,0
Koro Mozaik	2200	22,0
Mermer	2700	27,0

Hareketli yükler: Yapı üzerinde kullanım süresince uzun sureli olarak kalmayan, konum ve etkime durumları zamana bağlı olarak değişen, hem şiddeti ve hem de etkime noktası değişebilen yükler (Q, q) olarak tanımlanır.

Hareketli yüklerin bu davranışı sebebiyle yapı tasarımında yapı kesitlerinde meydana getirecekleri kesit tesirlerinin elverişsiz değerlerinin aranması gereklidir. Bu amaçla öncelikle elverişsiz kesit tesirlerini oluşturan yük kombinezonları herbir kritik kesit ve herbir kesit tesiri için aranmalıdır. Sonrasında her değişik yükleme durumu için kesit tesiri hesabı yapılarak, her yükleme durumu için kesit tesirleri elde edilir. Buradan anlaşılacağı üzere hareketli yükler için birçok farklı yükleme durumu ve buna bağlı sayıda yapısal analiz yapılması gerekmektedir. Bu yapısal analizler sonrasında elde edilen kesit tesirleri arasından elverişsiz kesit tesirleri seçilerek yapı tasarımında kullanılmak üzere alınır.

Hareketli yükler farklı şekillerde oluşabilse de, belirlenmesindeki zorluklar sebebiyle düzgün yayılı yük olarak kabul edilirler. Hareketli yükü oluşturan elemanlar birçok parametreye göre değiştiğinden bunların gelecekte yapıya etki edecek değerinin kesin hesabı oldukça zahmetlidir. Bu sebeple Ülkemizde TS 498/1997'de yapı türü ve yapı kısımlarına göre hareketli yük değerleri tablo olarak verilmiştir. TS 498/1997'ye göre alınacak hareketli yük değerlerinin minimum değerler olduğunu bilerek gereken durumlarda daha büyük değerlerin alınması gerektiği unutulmamalıdır.

Düşey taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasında tüm kat ve açıklıklarda hareketli yüklerin aynı anda varlığını kabul etmek hiçte ekonomik olmayan bir çözümün oluşmasına sebebiyet verir. Bu nedenle 3 katın üzerindeki yapılarda hareketli yükün azaltılması (α) veya tüm hareketli yüklerin varlığından hareketle hesaplanan toplam hareketli yük azaltılması (β) yapılabilir. TS 498/1997'ye göre bu durum aşağıda belirtilen Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Dört ve daha fazla kata sahip yapılarda hareketli yük azaltma değerleri (TS 498/1997)

Kat Sayısı		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Konut	% Eksiltme	0	0	0	20	40	60	80	80	90	40	40	40
	Azaltma, β	1	1	1	0,95	0,88	0,80	0,71	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60
İşyeri	% Eksiltme	0	0	0	10	20	30	40	40	40	20	20	20
	Azaltma, β	1	1	1	098	0,94	0,90	0,86	0,83	0,80	0,80	0,80	0,80

Kar yükü: Hareketli yük olarak tanımlanan kar yükü özellikle ülkemizin bazı bölgeleri için mutlaka dikkate alınmalıdır. Kar yükü bölgenin coğrafi ve iklim şartlarına, karın yapı ile temas edeceği yüzeyin eğimine, rüzgar biriktirme etkisine, karın yoğunluğuna

bağlı olarak değişmektedir. Büyük alanları kapatan büyük açıklıklı yapılar için kar yükü değeri yapı için hayati önem taşır. Ülkemiz 4 kar bölgesine ayrılmıştır. Yapının inşa edileceği il ve ilçenin kar bölge numarası TS 498/1997'ye göre belirlenir. Burada P_{ko} değeri TS 498/1997 den alınan zati kar yükü değeridir, 'P_{ko}' değeri, alınan bölge numarasına göre, aynı şartnamede bulunan ve aşağıda Çizelge 3.3'te verilen yapı yerinin denizden yüksekliği göz önüne alınarak bulunur.

Çizelge 3.3. Zati Kar Yükü Değerleri (P_{ko}) kN/m² (TS 498/1997)

	1	2	3	4	5
1	Yapı Yerinin Denizden Yüksekliği	BÖLGELER			
	m	I	II	III	IV
	≤ 200	0.75	0.75	0.75	0.75
2	300	0.75	0.75	0.75	0.80
	400	0.75	0.75	0.75	0.80
	500	0.75	0.75	0.75	0.85
3	600	0.75	0.75	0.80	0.90
	700	0.75	0.75	0.85	0.95
	800	0.80	0.85	1.25	1.40
4	900	0.80	0.95	1.30	1.50
	1000	0.80	1.05	1.35	1.60
5	> 1000	1000 m'ye tekabül eden değerler, 1500 m'ye kadar % 10, 1500 m'den yukarı yüksekliklerde %15 arttırılır.			

Bulunan 'P_{ko}' değeri ile yapının çatı eğimi de dikkate alınarak kar yükü hesap değeri 'P_k' hesap edilmektedir.

$P_k = m * P_{ko}$ $\qquad$ $m = 1- \frac{\alpha-30°}{40°}$ $\qquad$ Burada m değeri Çizelge 3.4'ten alınır.

$0 \leq \frac{\alpha-30°}{40°} \leq 1$ ve $\alpha > 30°$ alınırsa

$$P_k = 1- \frac{\alpha-30°}{40°} * P_{ko} \tag{1.1}$$

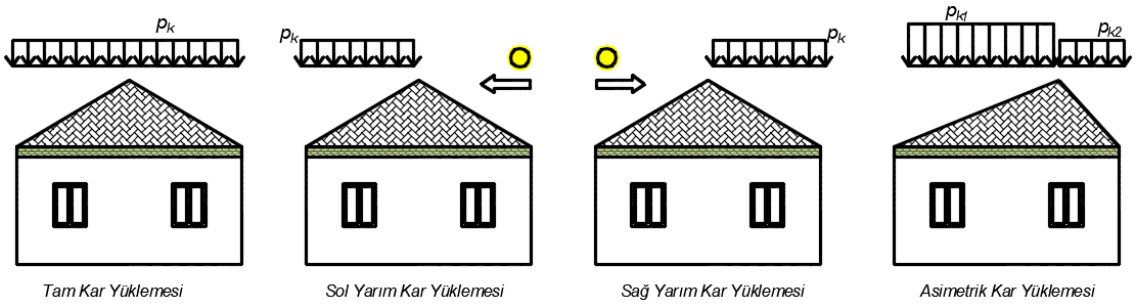
şeklinde hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.4. Çatı eğimine (α) bağlı olarak azaltma değeri (m) (TS 498/1997)

α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 - 30°	1.0									
30°	1.00	0.97	0.95	0.92	0.90	0.87	0.85	0.82	0.80	0.77
40°	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.62	0.60	0.57	0.55	0.52
50°	0.50	0.47	0.45	0.42	0.40	0.37	0.35	0.32	0.30	0.27
60°	0.25	0.22	0.20	0.17	0.15	0.12	0.10	0.07	0.05	0.02
70° - 90°										

Formülden görüleceği üzere çatı eğim değeri arttıkça çatı üzerinde karın yüzeye tutunması ve birikmesi güç hale gelir. 30°'ye kadar olan çatı eğim değerlerinde kar yükünün hesap değeri 'P_{ko}', kar yükü değeri olan P_k'ya eşit olduğu düşünülür. Eğimli çatılardaki kar yükü çatı döşemesine etkiyen düzgün yayılı yüke dönüştürülür. Bilindik çatı türleri dışında kalan özel dizayn edilmiş çatılarda kar yükü hesap değeri 'P_k' kar yükünün dağılımı için yapılacak olan deneylerle belirlenmelidir.

Kar ve dolayısıyla kar yükleri; çatı şekli, ısıl özellikler, yüzey pürüzlülüğü, çatı altında oluşan ısı miktarı, komşu binaların yakınlığı, çevre arazi yapısı, lokal meteorolojik iklim özellikleri, özellikle rüzgar, sıcaklık değişimi yağış ihtimali gibi nedenlerle çatının tamamına veya bir bölümüne birikmiş olabilir (TS EN 1991-1-3, 2007). Bu sebeple tüm çatıya etki eden kar yüklemesine 'Tam Kar Yüklemesi', veya çatının sol veya sağ kenarına biriken kar yüklemesine 'Yarım Kar Yüklemesi' ve çatının simetrik bir yapıya sahip olmaması (α eğim farklı) nedeniyle hesaplamalarda oluşacak kar yüklemesine 'Asimetrik Kar Yüklemesi' denilmekte olup, Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Elverişsiz kar yüklemeleri (TS EN 1991-1-3, 2007- TOPÇU A. 2019).

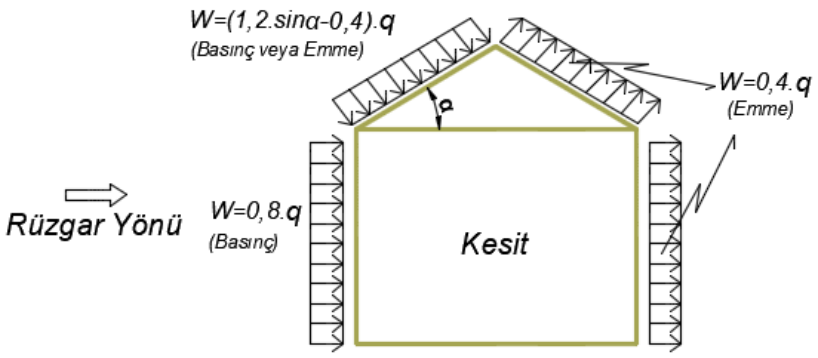
Burada kar yükü ile ilgili iki ana yükleme durumu ortaya çıkmaktadır.

Birikmemiş çatı kar yükü düzeni; yapı bölgesinin iklim özellikleri ortaya çıkmadan önce, yanlızca çatının eğim gibi fiziksel özelliklerinin etkisi altında oluşan yük düzenlemesi,

Birikmiş çatı kar yükü düzeni; Yapı bölgesinin rüzgar gibi iklim özellikleri etkisi altında yağan karın bir kısmının veya tamamının taşınma ve biriktirme etkisi ile oluşan yük düzenlemesine denilir. Biriktirme etkisi ve çatı tipi özelliklerine göre kar yükü değerlerinin (P_k) hesabı TS EN 1991-1-3, 2007'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Kar yükleri, TS 498, TS ISO 9194 ve TBDY-2018'de hareketli yükler sınıfında değerlendirilmekte olup Şekil 3.1'de gösterilen değişik kar yüklemesi durumları için yapısal analizi yapılarak kar yüklerinden kaynaklanan elverişsiz kesit tesirleri belirlenmelidir. Böylece kar yükü sebebiyle yapıya etkimesi muhtemel elverişsiz kesit tesirlerinin elde edilebileceği düşünülmektedir.

<u>Rüzgar yükü:</u> Yapı yüksekliği çok fazla olmayan normal yapılar için yapıya yatay etki eden, statik olduğu kabul edilen yüktür. Yapı konumlanmasına göre Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yapı yüzeyinde rüzgarın çarptığı ön yüzeylerde basınç, rüzgarın yalayıp geçtiği yan yüzeyler ile yapı arka yüzeyinde ise çekme (emme) kuvveti doğurur.



Şekil 3.2. Elverişsiz rüzgar yüklemesi (TS 498/1997)

Rüzgar yükü Ülkemizde diğer yapılara göre daha ağır olan betonarme yapılar için, özellikle çatı ve kalkan duvarlarında hasara sebep olacaktır. Bir yapının herhangi bir yüzeyindeki rüzgar basıncının şiddeti, yapının geometrisine, rüzgar esiş yönüne, rüzgar hızına ve havanın yoğunluğuna bağlıdır. Yapı üst yüzeyine etki eden rüzgar basıncı;

$$W = C_p * q \tag{1.2}$$

şeklinde hesap edilir.

Burada;

q = Rüzgar Basıncı veya Emmesi

C_p = Emme Katsayısı.

olarak tanımlanmaktadır. Emme katsayısı (C_p) rüzgar hesabı yapılacak yapı yüzeyi için, rüzgar esiş yönü ve yapı geometrisine bağlı olarak değişmektedir. TS 498/1997'ye göre, çizelge 3.5.'te tablo olarak verilen, rüzgar emme basıncı q 'nun hesabı için;

$$q = \frac{v^2}{1600} \ \mathrm{kN}/m^2 \tag{1.3}$$

bağıntısı verilmektedir.

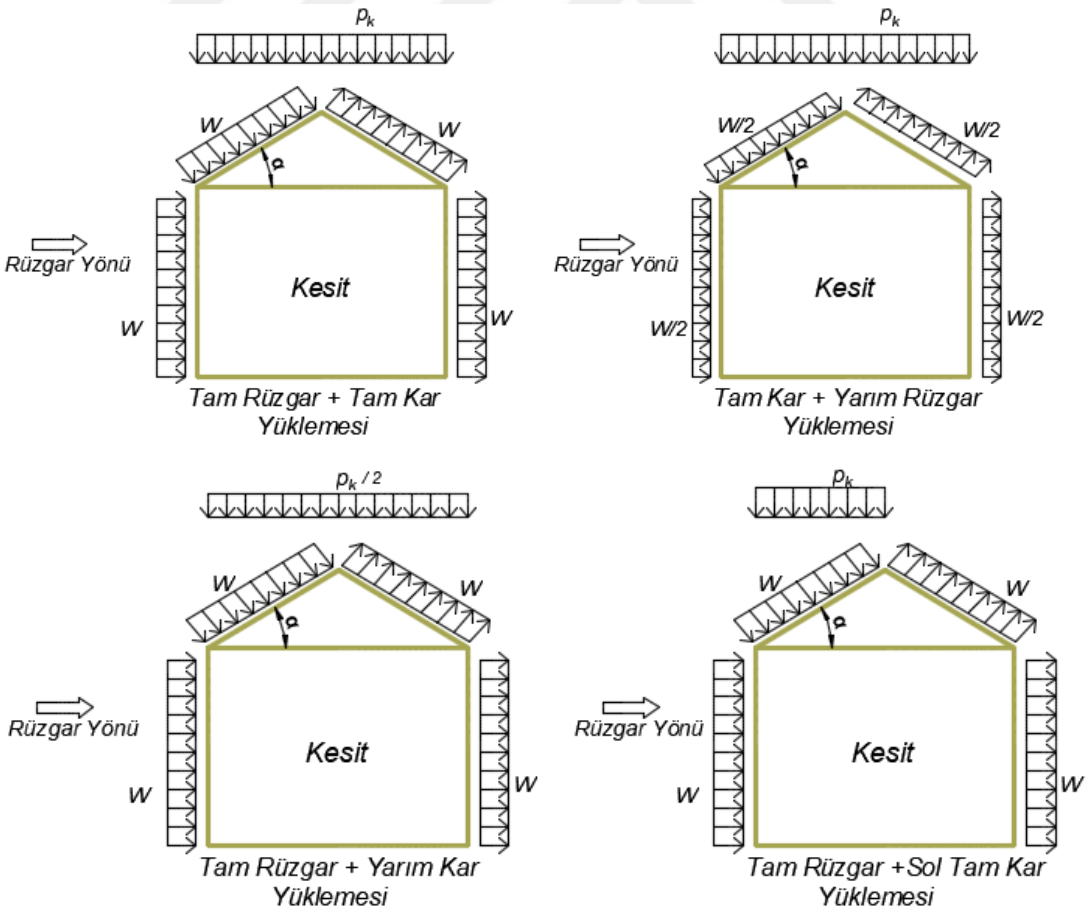
Çizelge 3.5. Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme (TS 498/1997)

Zeminden Yükseklik, q'nun Sabit Alındığı Yükseklik, (m)	V Rüzgar Hızı m/sn (km/Saat)	q (Basınç veya Emme) kN/m²
0 - 8	28 (100)	0.5
8 - 20	36 (130)	0.8
20 - 100	42 (150)	1.1
100 ve yukarısı	46 (165)	1.3

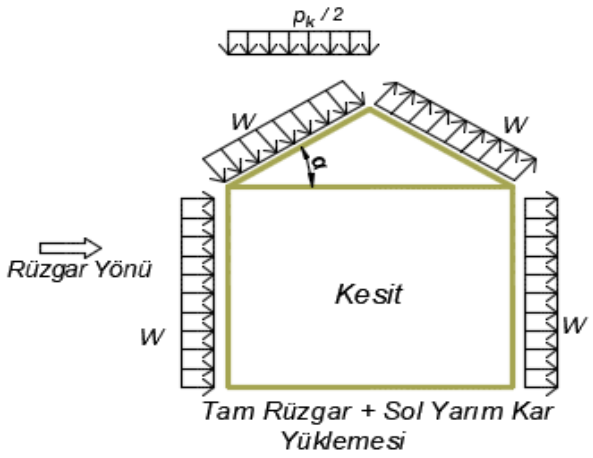
Bazen C_p katsayısı yapının karşılıklı iki yüzündeki değerlerin toplamı olarak ta (0,8+0,4=1,2) dikkate alınmaktadır. C_p katsayısı TS 498/1997'de bulunan çizelgeden alınır.

Rüzgar yükü TS 498, TS ISO 9194 ve TBDY-2018'de yatay yükler sınıfında değerlendirillmekte olup hareketli yükler gibi yapıya değişik şekillerde etki edebilir. Bu sebeple rüzgar yükünden yapı kesitlerinde meydana gelecek kesit etkilerinin elverişsiz kesit değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. TS 498/1997 bununla ilgili olarak yapılması gerekli yükleme için Şekil 3.3 de verilen yüklemeyi yeterli görmektedir.

Ancak yapı hem kar (P_k), hemde rüzgar yükü (W) etkisi altında kalabileceği durumlarla karşılaşılmaktadır. Çatı eğiminin $\alpha \leq 45°$ olduğu hallerde bu durumlarla ilgili Şekil 3.3'de gösterilen elverişsiz yüklemelerin yapılması gerekmektedir.



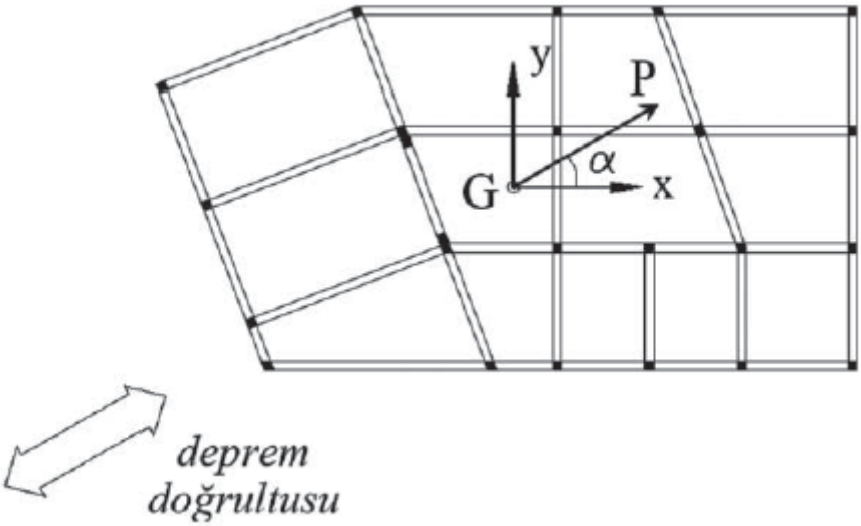
Şekil 3.3. Elverişsiz rüzgar ve kar yükü birleşimleri (TS 498/1997 ve TOPÇU A. 2019)



Şekil 3.3. Elverişsiz rüzgar ve kar yükü birleşimleri (devam) (TS 498/1997 ve TOPÇU A. 2019)

Deprem yükü: Depremler, yapıların zeminle olan etkileşimine bağlı olarak yapı sistemlerine etkiyen yatay kuvvetler (E) oluştururlar. Deprem sırasında temel zemini titreşim hareketi yapmakta, dolayısıyla yapı temeli ani yer değiştirme ve dönmenin etkisinde kalmaktadır. Temelin bu tür hareketleri yapıda harekete zıt yönde atalet kuvvetlerinin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Yapıya etki eden bu yükler kısaca deprem yükü olarak tanımlanmaktadır. Her ülkenin konuya özel bir deprem yönetmeliği bulunmaktadır. Ülkemizde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (DBYBHY-2007), 2018 yılında yapılan bir çalışmayla "TBDY-2018" adı altında revize edilmiştir.

Bir yapıyı tasarlarken, yapının kullanım ömrü boyunca etkimesi muhtemel olan tüm yüklere ait yük birleşimleri dikkate alınmalıdır (TS 500/2000). Deprem tesirleri karşısında bir yapı tasarlanırken yapı elemanlarının boyutlandırmasında oluşabilecek depremin özellikleri hakkında pek az şey bilinmekte veya tahmin edilmektedir. Bu hususlardan birisi olası depremin yapı konumuna göre doğrultusudur. Şekil 3.4'de bir yapıya ait plan ve olası deprem doğrultusu verilmektedir. Şekilde bulunan α açısı yapı üzerinde oluşan deprem yükünün x ekseni ile yapmış olduğu açı değerini göstermektedir.



Şekil 3.4. Olası deprem doğrultusu (DBYBHY-2007, Özmen, G., 2009)

Burada, deprem yükleri altında bulunan yapıların taşıyıcı elemanlarının her biri için kendisine has, ayrı bir elverişsiz deprem doğrultusu olduğu gözükmektedir (Çakıroğlu 1975). Bu doğrultular yapı elemanının, konum, şekil geometrisi vb. çeşitli özelliklerine ve diğer yapı elemanları ile olan bağlantılarına bağlıdır. Dünya üzerinde kabul görmüş olan deprem yönetmeliklerinin tamamında, deprem analizlerinin birbirine dik doğrultudaki iki ayrı eksen üzerinde (X ve Y) yapılması öngörülür (Earthquake Resistant Regulations - A World List). Gerçekte ise farklı açılarda daha büyük etki değerleri oluşabilmektedir. Bilhassa kolonlar gibi iki eksenli eğilmeye maruz yapı elemanları için, elverişsiz deprem doğrultularının saptanması oldukça güçtür.

Bu sebeple ülkemizde; 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikte (DBYBHY-2007) ortagonal ve ortagonal olmayan tüm elemanlar için bu doğrultuları temsil etmek amacıyla “Ortak Etki” formülleri verilmiştir.

Şekil 3.5'de gösterilen ve yapı taşıyıcı sistemine ayrı ayrı tatbik edilen x ve y doğrultusundaki depremlerin ortak etkisi altında a ve b asal eksenleri üzerindeki iç kuvvetler elverişsiz sonuç oluşturacak şekilde;

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0{,}30.B_{ay} \quad \text{veya} \quad B_a = \pm 0{,}30.B_{ax} \pm B_{ay}$$
$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0{,}30.B_{by} \quad \text{veya} \quad B_b = \pm 0{,}30.B_{bx} \pm B_{by} \qquad (1.4)$$

ortak etki formülleri ile bulunmaktadır. Burada;

B_a = Taşıyıcı sistem elemanının a asal ekseni doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü,

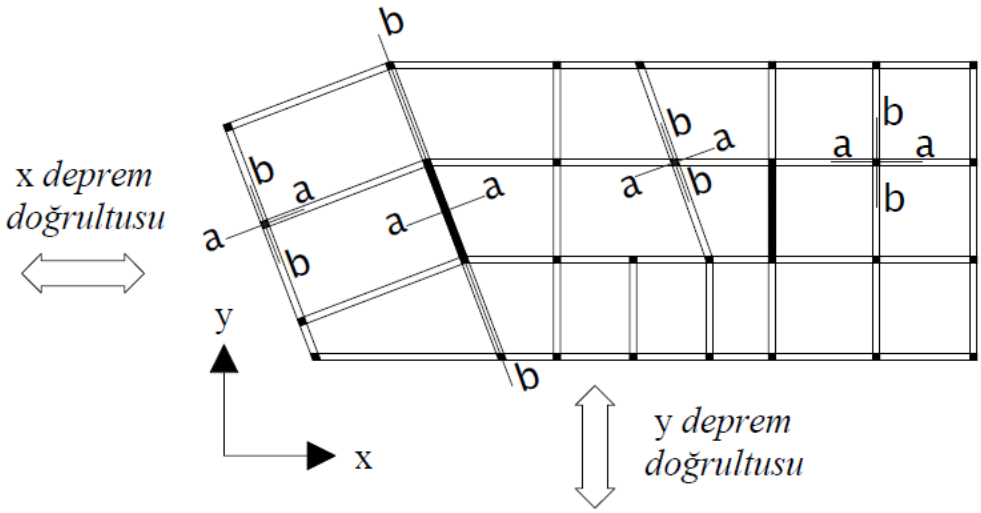
B_b = Taşıyıcı sistem elemanının b asal ekseni doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü,

B_{ax} = Taşıyıcı sistem elemanının a asal ekseni doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü,

B_{ay} = Taşıyıcı sistem elemanının a asal ekseni doğrultusunda, y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü,

B_{bx} = Taşıyıcı sistem elemanının b asal ekseni doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü,

B_{by} = Taşıyıcı sistem elemanının b asal ekseni doğrultusunda, y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğüdür.



Şekil 3.5. Deprem doğrultuları ve asal eksenler (DBYBHY-2007)

Burada yönetmelikler gereği ek dışmerkezlilikler de göz önüne alınarak iki doğrultuda 4 adet deprem yüklemesinin yapılması gerekmektedir. Bu yükleme türleri Çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. Temel deprem yüklemeleri (Özmen, G., 2011)

YÜKLEME ADI	YÜKLEME ÖZELLİĞİ
EXP	x Yönünde + % 5 Dışmerkezlilik
EXN	x Yönünde - % 5 Dışmerkezlilik
EYP	y Yönünde + % 5 Dışmerkezlilik
EYN	y Yönünde - % 5 Dışmerkezlilik

TS 500 (2000)'e göre depremin söz konusu olduğu durumlarda yapı tasarımı için iki adet yükleme yapılmaktadır bunlar ;

$$Fd = 1{,}0G + 1{,}0Q \pm 1{,}0E$$

$$Fd = 0{,}9G \pm 1{,}0E \qquad (1.5)$$

şeklindedir.

Çizelge 3.7'de gösterilen 32 adet yük birleşim katsayıları (1.5) ile verilen yükleme durumlarına uyarlanarak dikkate alındığında toplamda 64 adet yükleme birleşiminin kullanılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.7. Yükleme birleşimleri katsayısı (Özmen, G., 2011)

Birleşim No.	EXP	EXN	EYP	EYN	Birleşim No.	EXP	EXN	EYP	EYN
1	1		0,30		17	0,30		1	
2	1		-0,30		18	-0,30		1	
3	1			0,30	19		0,30	1	
4	1			-0,30	20		-0,30	1	
5	-1		0,30		21	0,30		-1	
6	-1		-0,30		22	-0,30		-1	
7	-1			0,30	23		0,30	-1	
8	-1			-0,30	24		-0,30	-1	
9		1	0,30		25	0,30			1
10		1	-0,30		26	-0,30			1
11		1		0,30	27		0,30		1
12		1		-0,30	28		-0,30		1
13		-1	0,30		29	0,30			-1
14		-1	-0,30		30	-0,30			-1
15		-1		0,30	31		0,30		-1
16		-1		-0,30	32		-0,30		-1

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre ise yapının, deprem etkisi altında kalan sisteminin, deprem hesabı "Mod Birleştirme" ve "Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemleri" ile yapılması halinde yatay düzlemde birbirine dik "X" ve "Y" eksenlerinde tanımlanan depremlerden dolayı oluşan deprem tesirleri (1.6)'te gösterildiği şekliyle birleştirilmektedir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0{,}30.E_d^{(Y)}$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0{,}30.E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \qquad (1.6)$$

Formülde verilen $E_d^{(X)}, E_d^{(Y)}$ yapının herhangi bir kesitinin yatay düzlemde deprem etkisi altında bulunan "X" ve "Y" eksenlerinde ayrı ayrı hesaplanan deprem etkilerini, $E_d^{(H)}$ ise birleştirilerek tasarım için hesaplanan yatay deprem etkisini simgeler.

Düşey deprem etkisi ise özel olarak tasarlanmamış yapılarda genelde yaklaşık olarak;

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3).S_{DS}.G \tag{1.7}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Formülde G sabit yük, S_{DS} kısa perİyot tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir.

Yapı taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların hesabında deprem etkisini içeren (1.8) ve (1.9) yük birleşimleri dikkate alınmaktadır.

$$G + Q + 0{,}2S + E_d^H + 0{,}3E_d^Z \tag{1.8}$$

$$0{,}9G + H + E_d^H - 0{,}3E_d^Z \tag{1.9}$$

Formülde 'Q' hareketli yük, 'S' kar yükü, H yatay zemin itkisini, 'E_d^H' yatay deprem etkisini, 'E_d^Z' düşey deprem etkisini ifade etmektedir (TBDY-2018).

Sonuç olarak yapı taşıyıcı sistemini oluştururken tasarımda yapıya etki etmesi muhtemel bütün yük birleşimleri dikkate alınmalıdır. TS 500 (2000)'e göre yapı hesaplarında karşılaşılan en genel yük birleşimleri ise şunlardır ;

Düşey Yükler Altında; 1,4G + 1,6Q

1,0G + 1,0Q + 1,2T

‘T’ Sıcaklık değişimi nedeniyle yapıda; oturmalar yer değiştirmeler, büzülme ve deformaysonlardan oluşan yük etkisidir.

Rüzgar Yükü Altında; 1,0G + 1,3Q+ 1,3W

0,9G + 1,3W

Deprem Yükü Altında; 1,0G + 1,0Q+ 1,0E

0,9G + 1,0E

Yanal Toprak İtkisi Altında; 1,4G + 1,6Q + 1,6H

0,9G + 1,6H

Akışkan basıncı bulunan durumlarda, bu basınç 1,4 yük katsayısıyla çarpılarak içinde hareketli yük bulunan tüm yük birleşimlerine eklenir.

Burada, ‘G’ ölü yükü, ‘Q’ hareketli yükü, ‘H’ yatay zemin itkisini, ‘E’ deprem yükünü ve ‘W’ rüzgar yükünü ifade etmektedir.

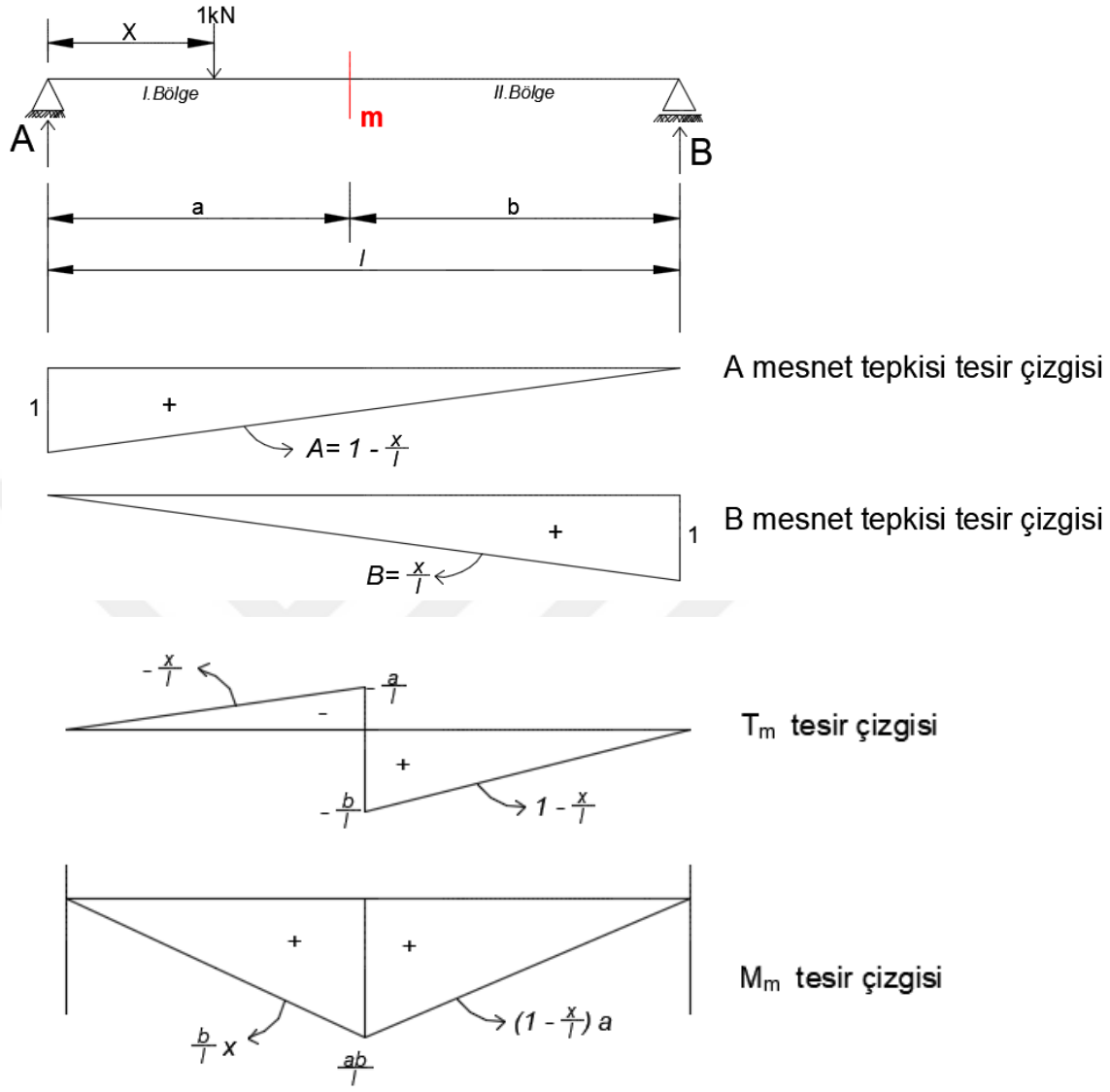
Yapılan bu yük birleşimlerinde, malzemenin doğrusal elastik olması hali ve birinci mertebe teorisinin geçerli olması durumunda “Süperpozisyon İlkesi” uygulanır. Süperpozisyon ilkesi, yapı sistemi üzerine etki eden yüklerin, sisteme ayrı ayrı etki etmesi durumunda oluşan statik büyüklüklerin toplamı ile yüklerin tümünün aynı anda yüklenmesi halinde oluşacak statik büyüklüklerin birbirine eşit olacağı prensibine dayanmaktadır.

Birinci mertebe teorisinde, yapı sisteminde oluşacak geometrik değişimlerin yani yerdeğiştirmelerin, kurulan denge denklemlerine etkisi ihmal edilmektedir. Kısaca, yapı sistemine etki eden dış yüklerden dolayı, sisteminde oluşan yer değiştirmeler, sistemin

eleman boyutları dikkate alındığında, yok denecek kadar küçük olduğu varsayılarak denge denklemleri şekil değiştirmemiş sistem üzerinden yapılır. Bu teoriye *Birinci Mertebe Teorisi* denir. Denge denklemlerinin yazılmasında şekil değiştirmiş yapı sistemi dikkate alınıyor ise bu teoriyede *İkinci Mertebe Teorisi* denir.

Tesir çizgisi: Sistem üzerinde belirli bir doğruda hareket eden 1 birimlik bir kuvvetten dolayı belirli bir kesitteki statik büyüklüğün (mesnet tepkileri, moment, kesme kuvveti gibi) değişimini gösterir. Sistem üzerinde hareket etmekte olan 1 kN'luk düşey kuvvetin herhangi bir konumda, herhangi bir büyüklüğün (mesnet tepkileri, moment, kesme kuvveti gibi) değerini, 1 kN'luk kuvvetin altında ordinat almak suretiyle çizilen diyagrama, bu büyüklüğe ait *tesir çizgisi diyagramı* denir.

Şekil 3.6'da gösterilen dolu gövdeli basit kiriş üzerinde 1 kN'luk düşey bir kuvvet etkittirilmektedir. Bu 1 kN'luk düşey kuvvetin her durumda, m kesitinde oluşturacağı eğilme momentinin değeri, 1 kN kuvvetin y ekseni hizasında elde edilen diyagrama m kesitine ait moment tesir çizgisi diyagramı denilmektedir. Tesir çizgisini oluşturmak için, 1 kN'luk kuvvetin yeri kiriş üzerinde A noktasından x mesafesinde gösterilmiştir. m kesitinde oluşan eğilme momenti bu x mesafesine bağlı olarak ifade edilmektedir. Eğilme momenti fonksiyonu sistem üzerinde x mesafesine bağlı olarak her bölge için ayrı ayrı ifade edilir.



Şekil 3.6. Dolu gövdeli basit kirişte tesir çizgisi (Ekiz, İ., 2008)

Tesir çizgileri kullanılarak herhangi bir büyüklüğün maksimum değerini hesaplamak için, bu büyüklüğe ait tesir çizgisi çizilip, pozitif olan bölgelerin (g+q) yükleri ile, negatif olan bölgelerin ise sadece (g) yükleri ile yüklenmesi yeterlidir. Minimum değerlerin hesabı için bu işlemin tersinin yapılması gereklidir.

Matris – Deplasman Yöntemi, yapı sistemlerinde, önce elemanların uç deplasmanlarının hesaplandığı, daha sonra bu deplasmanların kullanılmasıyla uç kuvvetlerinin elde edildiği bir yöntemdir. Kısaca, matris deplasman yönteminde yapı sistemine uygulanan

kuvvetler (yükler) biliniyor ve yapının rijitliği de belli ise yapı sisteminin oluşturacağı deplasmanlar hesaplanabilir.

Bu yöntemle çözüm yapılabilmesi için yapı sistemi üzerinde aşağıdaki varsayımlar yapılır;

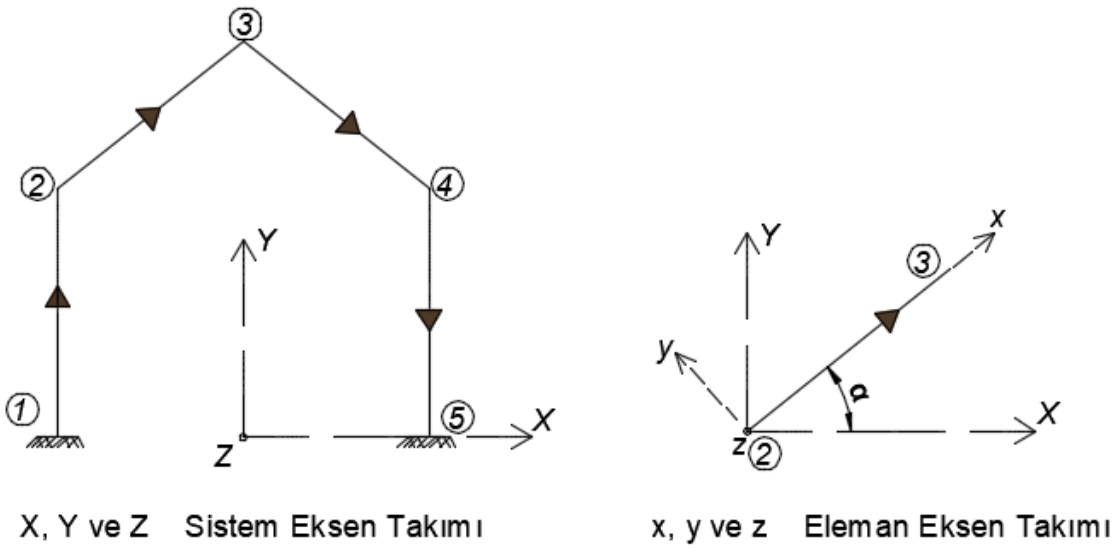
- Malzeme lineer (doğrusal) elastiktir,
- Yer değiştirmelerin yeterince küçük olduğu düşünülür ve şekil değiştiren malzeme üzerinde denge denklemleri yazılabilir,
- Elemandaki rijitlikler sonsuz büyük değilse bağımsız uç yer değiştirmeleri yerine düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler alınır.

Yapılan bu varsayımlar ışığında Matris-Deplasman Yönteminin amacı, yapı sistemini oluşturan elemanlarda, dış yüklerden dolayı oluşacak eleman uç deplasmanlarının belirlenmesidir. Belirlenen eleman deplasmanlarından yola çıkılarak eleman uç kuvvetleri ile elemana ait kesit tesirleri bulunup tüm yapı sisteminin hesabı yapılabilmektedir. Bu hesapta sistemi oluşturan eleman rijitlikleri uygun şekilde süperpoze edilerek sistemin rijitlik matrisi elde edilmektedir.

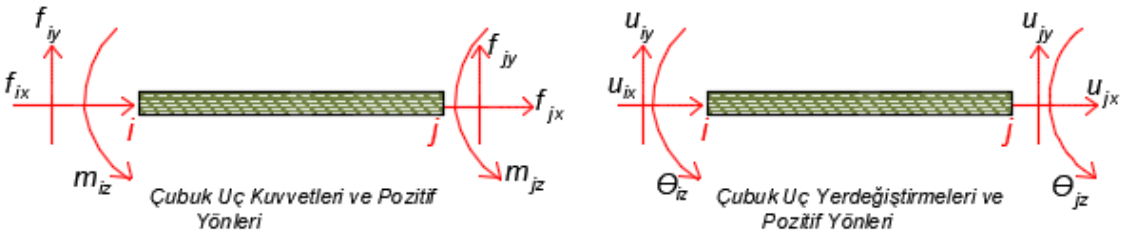
Rijitlik kavramı yapı statiğinde eğilmezlik, bükülmezlik veya yer değiştirmezlik (deplasman) olarak tanımlanır. Genel anlamda ise belirli bir doğrultuda birim deplasman elde edebilmek için yapı sistemine o doğrultuda uygulanması gereken kuvvet olarak tanımlanabilir. Yapı sistemi veya taşıyıcı sistem üzerindeki çubuklara etki eden yükler etkime doğrultularına göre sistemde, belirli deplasmanlar yapar. Çubukların bu deplasman yapabildikleri doğrultuların toplam sayısına çubuğun serbestlik derecesi denir.

Yapı sisteminin maruz kaldığı yükler veya kuvvetler P,p (veya F,f) ile, Rijitlik kavramı K,k ile ve deplasmanlar (yer değiştirmeler) ise U,u harfi ile genellikle sembolize edilir. Yapı sisteminin eksen takımı X,Y,Z ile, yapı sistemini oluşturan elemanların eleman

eksen takımı ise x,y,z ile sembolize edilir (Şekil 3.7.a). Matris Deplasman yönteminde kullanılan pozitif yönler Şekil 3.7.(b)'de gösterilmiştir.



a) Eksen Takımları



b) Pozitif Yönler

Şekil 3.7. Eksen takımları ve pozitif yönler (Çakıroğlu vd 1992)

Yapı sisteminde matris deplasman yöntemi uygulanırken aşağıda izlenmesi gereken yol özetlenmiştir ;

- Sistemi oluşturan düğüm noktaları ve elemanlar kendi içinde numaralandırılır,

- $\{ f \} = [k].\{ u \}$ bağıntısı, yani eleman uç kuvvetleri ile uç deplasmanları arasındaki bağıntı (Hooke Kanunu) yazılır. Burada kurulacak olan $[k]$ matrisi her bir eleman için alt matris şeklinde kurulur.
- $\{ u \} = [T] .\{ U \}$ ve $\{ f \} = [T] .\{ F \}$ bağıntılarında, eleman doğrultuları dikkate alınarak her bir eleman için deplasman ve yük (kuvvet) dönüşüm (transformasyon) matrisleri $[T]$ hesaplanır, her bir eleman için hesaplanan dönüşüm matrisi alt alta gelecek şekilde yazılarak sistem dönüşüm matrisi oluşturulur,
- Eleman rijitlik matrisleri ([k]'lar) oluşturulur,
- Eleman rijitlik matrisleri kullanılarak $[K]$ Sistem rijitlik matrisi $[K] = [T]^T. [k] . [T]$ şeklinde oluşturulur,
- Eleman üzerindeki dış yüklerden, mesnet çökmelerinden, veya ısı değişimlerinden oluşabilen $\{ F \} = [K].\{ U \}$ eleman yerdeğiştirmeleri ve uç kuvvetleri hesap edilir,

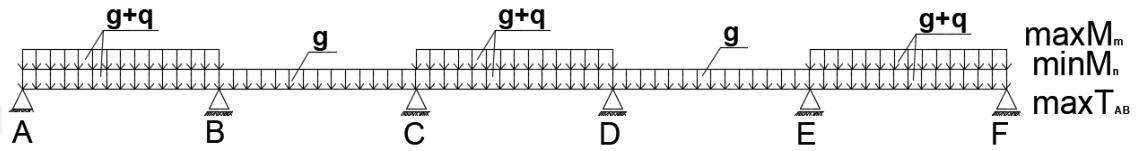
3.2. Sürekli Kirişler

Sürekli kiriş yapı sisteminde, en elverişsiz kesit tesirlerini veren hareketli yük kombinasyonunun bulunması için tesir çizgilerinden yararlanılır. Bu bölümde tesir çizgisinin nasıl kullanılacağı kısaca açıklanmaktadır;

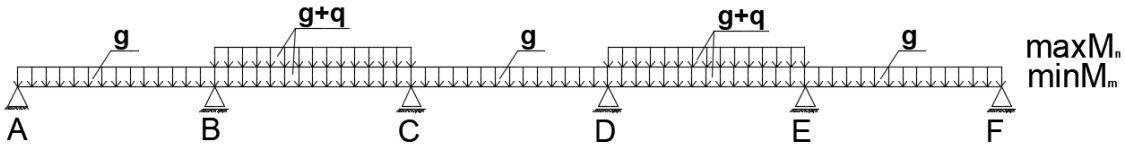
Konu ile ilgili olarak sabit ve hareketli yüklere maruz dolu gövdeli sürekli kirişlerde, açıklık ve mesnet kesitlerindeki en büyük kesit tesirlerini bulmak için öncelikle tesir çizgilerinin kullanılmasıyla çözüm yapılıp, bulunan büyüklüklerle (mesnet tepkileri, moment, kesme kuvveti gibi) ilgili pratik sonuçlara ulaşılmaya çalışılacaktır. Benzer şekilde kullanılan bilgisayar programı vasıtasıyla yeni bir sürekli kiriş ele alınarak çözümü yapılacak, her iki şekilde de elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılıp irdelenecektir.

Burada Şekil 3.8'de gösterilen, 5 açıklıklı, dolu gövdeli ve sürekli kiriş incelenecek olursa, bu kirişin mesnetleri ile "m ve n" kesitlerindeki elverişsiz yükleme durumları tesir çizgileri kullanılarak;

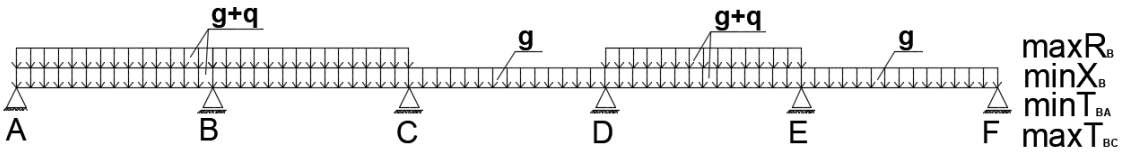
Şekil 3.8. Dolu gövdeli sürekli kiriş



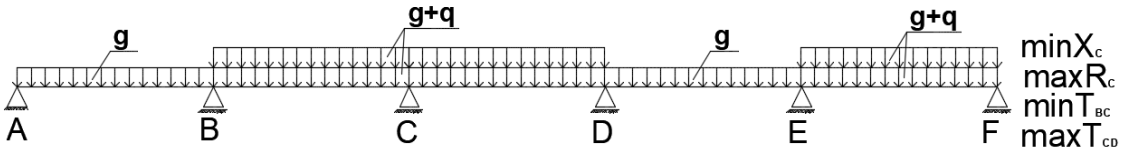
a)



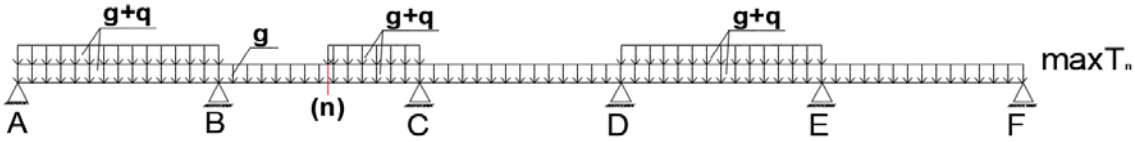
b)



c) R_B = mesnet tepkisi, X_B = mesnet momenti, T_{BA} = BA kesme kuvveti



d)



e)

Şekil 3.9. m ve n Kesitlerindeki elverişsiz yüklemeler (Çakıroğlu, A., Çetmeli, E., 2000, Hibbeler, R.C., 2017)

Şeklinde bulunur. Bu örnekten yola çıkılarak elverişsiz yüklemelerle ilgili şu pratik kabuller elde edilir:

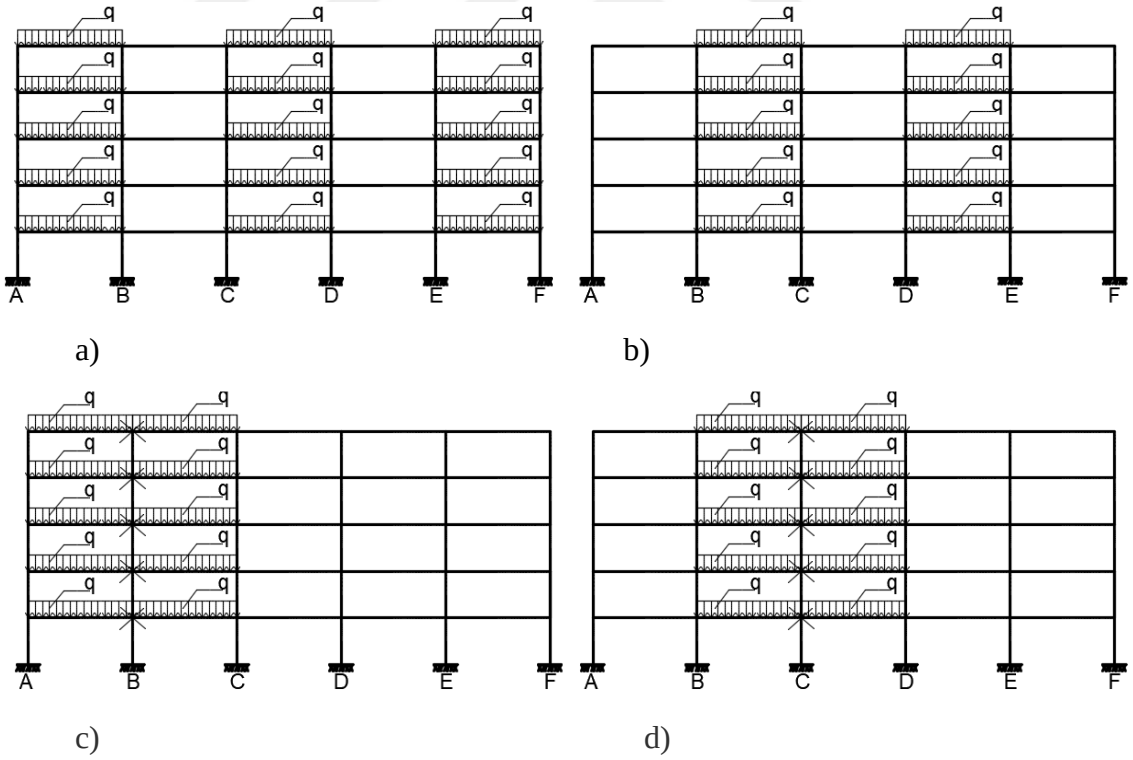
- Maksimum açıklık momentinin elde edebilmesi için, söz konusu açıklık dolu (g+q), komşu açıklıklar ise sırasıyla boş (g), dolu (g+q), boş (g), … olacak şeklinde yüklenmelidir.
- Minimum açıklık momenti için ise bu işlemin tersi yapılır. Yani söz konusu açıklık boş (g), komşu açıklıklar ise sırasıyla dolu (g+q), boş (g), dolu (g+q), … olacak şeklinde yüklenmelidir.
- Bu durum bir sürekli kirişte bütün açıklıklardaki maksimum ve minimum eğilme momentlerinin hesabı için sadece iki yükleme türünün yapılmasının yerterli olduğunu göstermektdir.
- Minimum mesnet momenti, maksimum mesnet tepkisi, mesnedin iki yanındaki maksimum ve minimum kesme kuvvetleri için söz konusu mesnedin iki yanındaki açıklıklar Dolu (g+q) ile, komşu açıklıklar ise sırasıyla boş (g), dolu (g+q), boş (g)… olacak şekilde yüklenmelidir.
- Bahsedilen bu kurallar adı geçen yüklerin tipine bağlı değildir ve bütün yük çeşitleri için geçerlidir. (Ersoy, 1989)

3.3. Düzlem Çerçeveler

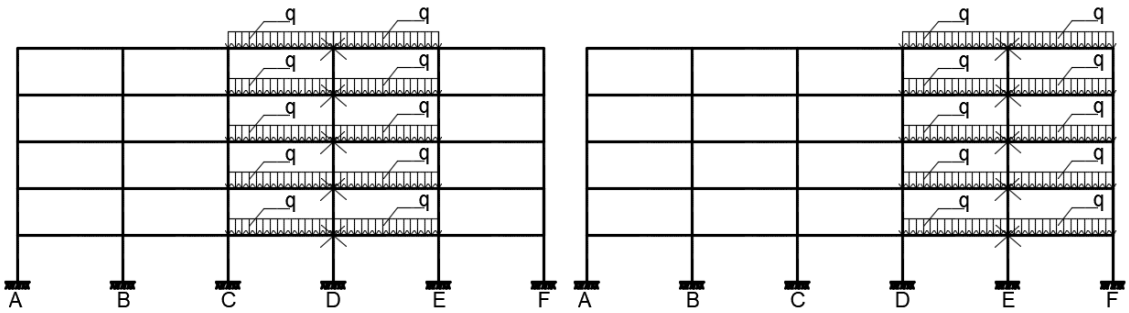
Günümüzde düzlem çerçeveleri içeren yapı sistemlerinin statik açıdan çözümü için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bilgisayarın kullanılmaya başlamasıyla çözüm süreleri kısalmış ve daha pratik bir hal almıştır. Bu nedenlerle çözüm yöntemleri bilgisayar destekli yöntemlere doğru hızla kaymıs ve bugün tamamı bilgisayarla yapılır hale gelmiştir. Daha öncesinde yapılan klasik yöntemlerde elverişsiz kesit tesirlerinin, hem mesnette hemde açıklıkta elastik eğrinin şeklinden faydalanılarak tespit edilmekteydi. Bu elverişsiz yükleme kombinezonları dikkate alınarak maksimum açıklık veya mesnet momentlerinin bulunması için sistemin birkaç defa çözülmesi gerekmektedir. Bu amaçla basitleştirilmiş yükleme modellerinin en önemlileri, Furlong (1981) ve Ersoy

(1989) tarafından geliştirilenler olup, tez çalışmamızın çözümleri bu yöntemlerle çözülen problemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Furlong (1981) tarafından önerilen yöntem ve sonuçlarından aşağıda kısaca bahsedilmiştir. Şekil 3.10. (a,b,c,d,e ve f)'de örneği verilen 5 açıklıklı ve 5 katlı bir yapı için Furlong yük düzenlemesi yapılırsa, (a) ve (b) yük düzenlemelerinin, açıklık ve kat sayısından bağımsız olduğu görülür. Burada yapılacak (c), (d), (e) ve (f) yük düzenlemelerinde "n" açıklık sayısı olarak alınarak, "n-1" sayıda yüklemenin yapılması öngörülmüştür. Yapılan yük düzenlemesi kat sayısından bağımsızdır. Öyleyse Furlong'a göre 5 açıklıklı ve 5 katlı bir yapının hareketli yük ile yüklenme sayısı 2+(n-1) => 2+(5-1) = 6 adet olmalıdır.



Şekil 3.10. Düzlem çerçevede yük düzenlemeleri (Furlong 1981)



e) f)

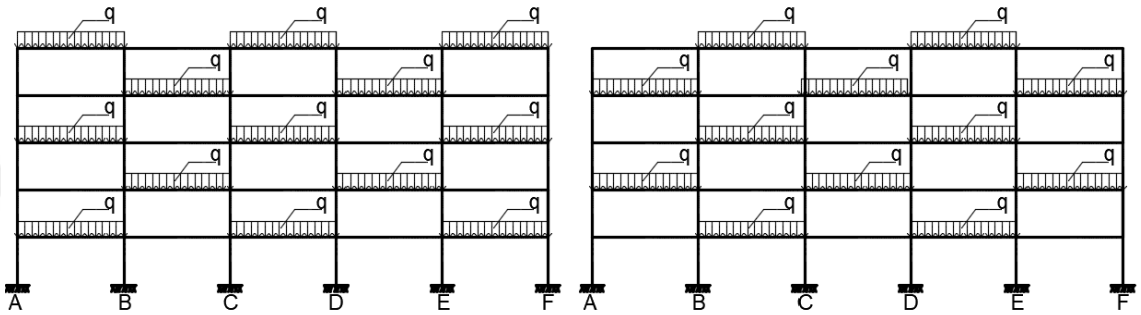
Şekil 3.10. Düzlem çerçevede yük düzenlemeleri (devam) (Furlong 1981)

Yapılan bu yük düzenlemesi ile elde edilmesi beklenen pratik sonuçlar şunlardır:

- Şekil 3.10. (a) ve (b) yük düzenlemeleri ile; A, B, C, D, E ve F kolonlarında Maksimum Momentin elde edileceği,
- Şekil 3.10. (a) yük düzenlemesi ile A-B, C-D ve E-F kirişlerinde, Şekil 3.10. (b) yük düzenlemesi ile B-C ve D-E kirişlerinde Maksimum (+) Açıklık Momentinin elde edileceği,
- Şekil 3.10. (a) yük düzenlemesi ile B-C ve D-E kirişlerinde, Şekil 3.10. (b) yük düzenlemesi ile A-B, C-D ve E-F kirişlerinde Maksimum (-) Açıklık Momentinin elde edileceği,
- Şekil 3.10. (c, d, e ve f) yük düzenlemeleri ile sistem üzerinde işaretli olan kısımlarda Maksimum (-) Moment ve Maksimum Kesme Kuvvetinin oluşacağı öngörülmüştür (Furlong, 1981).

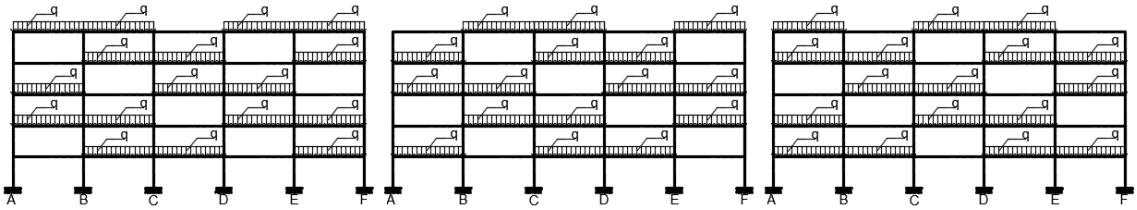
Ersoy (1989) tarafından önerilen yöntemde ise, Bu çalışmada, kolon ve kiriş kesitlerinde hareketli yük nedeniyle oluşacak zorlamaları olabildiğince gerçeğe yakın bir biçimde, en az çözümleme ile elde edebilmenin yollarını aramakta, bir sistematiğe dayanan bir düzenleme yöntemi oluşturulmaktadır. Bu yöntemde çerçevenin açıklık ve kat sayı ne olursa olsun beş (5) yükleme yeterli olmaktadır. Şekil 3.11. (a) ve (b)'de kirişlerdeki maksimum ve minimum açıklık momentlerini vereceği önerilen, tesir çizgileri ile elde edilen yükleme düzeni gösterilmektedir. Şekil 3.11. (c), (d) ve (e)'de

iki dolu bir boştan oluşan bir yük modeli kullanılmakta ve mesnet ve kolonların maksimum momentlerini vereceği önerilen yükleme düzeni gösterilmektedir. Bu model çerçeveye uygulanırken her katta bir açıklık kaydırılarak yükleme yerleşimi yapılmaktadır. Anlaşılacağı üzere, bu yük düzenlemesi kat ve açıklık sayısından bağımsızdır.



a) b)

Kirişlerde Max. ve Min. Açıklık Momentlerinin hesabı için yapılan yüklemeler.



c) d) e)

Max (-) M ve Max V ile Max M Kolonlar için yapılan yüklemeler.

Şekil 3.11. Düzlem çerçevede yük düzenlemeleri (Ersoy 1989)

Önerilen yöntemin Furlong yöntemine göre en büyük avantajı da budur. Önerilen bu yükleme düzenleri ile kirişlerideki maksimum kesme kuvvetlerinin de elde edilebileceği açıktır (Ersoy 1989).

Yapı sistemleri, maruz kaldıkları statik ve dinamik dış etkiler altında yapmış oldukları şekil değistirmeler ve bunun sonucu olarak oluşan kesit tesirlerine göre boyutlandırılan elemanlardır. Bu sistemlerinin hizmet ömrü boyunca emniyetli bir davranış

sergilemeleri, maruz kaldıkları ve kalmaları muhtemel olan dış etkilerin ve bu etkiler altındaki şekil değiştirmelerin gerçeğe yakın olarak belirlenmesiyle mümkündür.

Yapı sistemlerinin çözüm aşamalarına bakıldığında bilgisayarlarla uygulanabilecek en uygun çözüm yöntemin matrislerle yapıldığı görülmektedir. Matris Deplasman Yönteminin, bilgisayar programlama diline uygun olması, çözümünün kısa olması, birden fazla etkinin göz önüne alınması ve diğer yöntemlerde çözümü geciktirici olan ve hesaba katılmayan kabullerinde hesaba katılması bakımından diğer yöntemlere göre daha gerçekci bir yaklaşım sunmaktadır.

Matris Deplasman yöntemi, yapı sistemlerinde, önce elemanların uç deplasmanlarının hesaplandığı, daha sonra bu deplasmanların kullanılmasıyla uç kuvvetlerinin elde edildiği bir yöntem olduğundan bahsedilmişti. Bu yöntemde taşıyıcı sistemin izostatik veya hiperstatik sistem olması çözüm yöntemini değiştirmez. Bu yönüyle yöntemin bilgisayar programlamaları kolayca yazılabilir. Çalışma kapsamında yapılan çözümlemelerde, bu yöntem temelli bir bilgisayar programı kullanılmıştır.

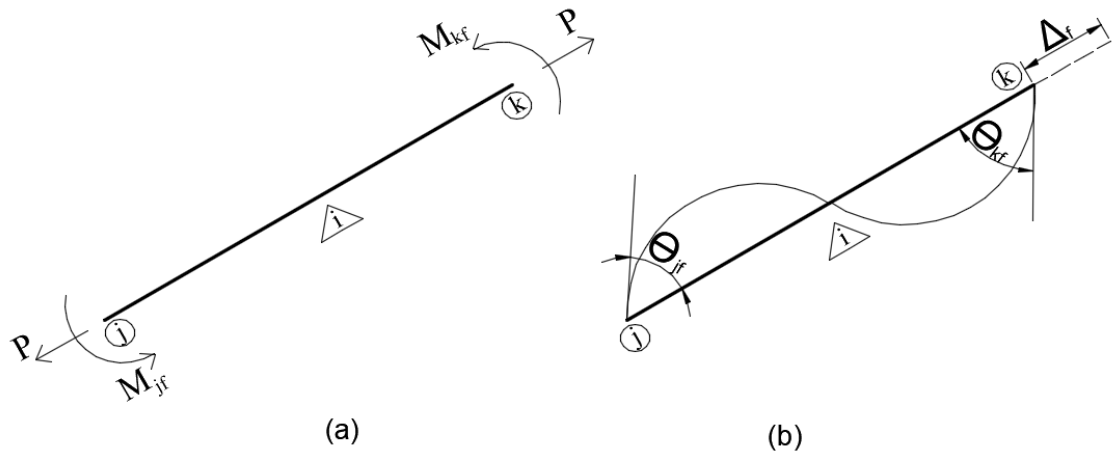
3.3.1. Düzlem çerçeve elemanlarda matris deplasman yöntemi

Düzlem çerçeve sistemini oluşturan elemanlar genellikle birbirlerine rijit olarak bağlıdırlar. Burada bazı elemanların uçlarının mafsallı olması sistemin cinsinde bir değişiklik oluşturmaz. Bu durumda değişiklik yanlızca mafsallı çubukların temel rijitlik (stiffness) sayılarında meydana gelir. Düzlem olarak kabul edilen koordinat sistemi X-Z, Y-Z veya X-Y olabilir. Sisteme dış yükler bu düzlemlerde, ya doğrudan doğruya düğüm noktalarına yada sistemi oluşturan elemanlar üzerine gelir. Üzerinde yük olmayan elemanlarda sadece eksenel kuvvet, üzerinde yük bulunan elemanlarda ise eksenel kuvvete ilave olarak eğilme momenti de oluşur. Sistemin her düğüm noktasında iki adet ötelenme ve bir adette dönme olmak üzere üç adet serbestlik derecesi bulunur. Bu çubukların rijitlik (stiffness) matrisi ise (6x6) büyüklüğünde bir matristir. Bu

yöntemde yapı sisteminin izostatik veya hiperstatik olmasının hiçbir rolü yoktur. Yapılacak olan çözüm ve işlemler tamamen aynıdır.

Temel Kuvvet ve Deplasmanlar: Yapı sistemini oluşturan her elemanın ucunda oluşan deplasmanlara (yer değiştirme) eleman uç deplasmanları, her elemanın ucunda oluşan uç kuvvetlerine de eleman uç kuvvetleri denir. Eleman uçlarındaki yerdeğiştirme ve kuvvetlerin pozitif yönleri koordinat sisteminin pozitif yönü ile aynıdır. Her düğüm noktasındaki yerdeğiştirmeler "serbestlik derecesi" olarak adlandırılır.

Bir elemanının kendi eksen takımına göre, iki ucunda eğilme momentleri, eleman ekseni boyunca çubuk kuvveti olmak üzere Şekil 3.12. (a)'da gösterildiği gibi üç adet temel kuvveti bulunmaktadır. Elemanın iki ucunda kesit dönmeleri ve eleman ekseni doğrultusunda çubuk uzaması olmak üzere Şekil 3.12. (b)'de gösterildiği gibi toplam üç adet temel deplasman (yer değiştirme) bulunmaktadır (Çatal, 2005).



Şekil 3.12. (a) Temel kuvvetler (b) Temel deplasmanlar (Çatal, 2005)

i elemanının global eksen takımına göre temel kuvvetler vektörü aşağıdaki gibi yazılır.

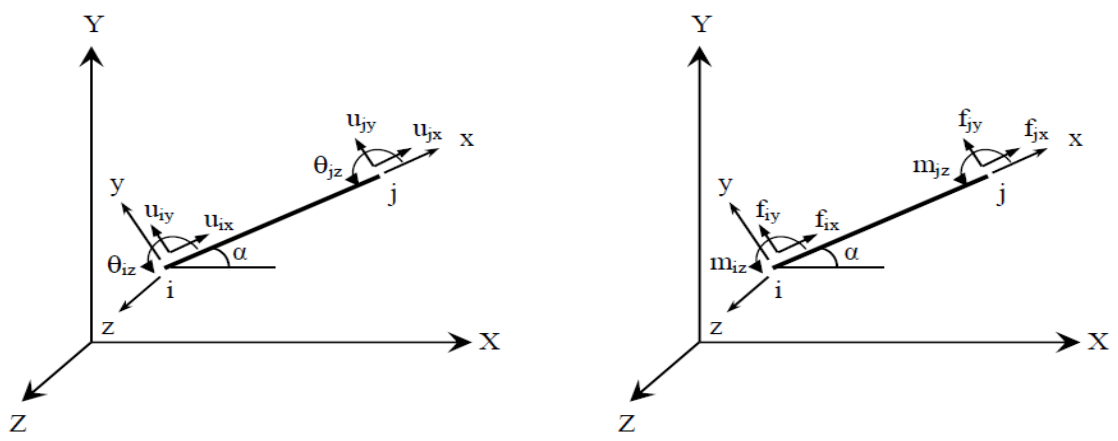
$$\{P_{if}^{t}\} = \begin{Bmatrix} M_{if} \\ M_{kf} \\ \mathrm{P} \end{Bmatrix} \qquad \text{(Çatal, 2005)} \qquad (3.1)$$

i elemanının global eksen takımına göre temel deplasmanlar (yer değiştirmeler) vektörü ise aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{\delta_{if}^{t}\} = \begin{Bmatrix} \theta_{if} \\ \theta_{kf} \\ \Delta_{f} \end{Bmatrix} \qquad \text{(Çatal,2005)} \qquad (3.2)$$

Burada M_{if}, M_{kf}, ve P sırası ile f kuvveti altında, j ve k uçlarındaki eğilme momentlerini ve çubuk eksenel kuvvetini; θ_{if}, θ_{kf}, ve Δ_f sırası ile f kuvveti altında, j ve k uçlarındaki kesit dönmelerini ve çubuk ekseni boyunca yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

<u>Yapı Elemanlarına Ait Kuvvet ve Deplasmanlar:</u> Düzlem çerçeve sistemde bulunan herhangi bir elemanın Şekil 3.13 (a)'da gösterilen her bir ucunda yatay ve düşey yerdeğiştirme ile düzleme dik eksen etrafındaki dönme olmak üzere toplam üç serbestlik derecesi, Şekil 3.13 (b)'de gösterilen bir ucunda yatay ve düşey kuvvet ile eğilme momenti bulunmaktadır. (Çatal 2005)



(a) Çubuk uç yerdeğiştirmeleri (b) Çubuk uç kuvvetleri

Şekil 3.13. Yer değiştirmeler ve uç kuvvetler (Çatal 2005)

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_{iz} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix} \quad (3.3) \qquad \{f\} = \begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ m_{iz} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \\ m_{jz} \end{Bmatrix} \quad (3.4)$$

şeklinde yazılır. Burada X,Y,Z global eksen takımını, x,y,z ise lokal eksen takımını göstermektedir.

<u>Lokal Eksen Takımına Göre Rijitlik Matrisi:</u> Düzlem çerçevelerde, elemanının doğrultusuna x yönü, aynı düzlemde bu doğrultuya dik olan yön ise y yönü olarak tanımlandığında eleman için lokal eksen takımı elde edilmektedir. Elde edilen lokal eksen takımı ve lokal eksen takımı üzerindeki lokal deplasman ve lokal kuvvetler sırasıyla Şekil 3.13. (a) ve (b)'de gösterilmiştir.

Lokal eksen takımında düzlem çerçeve elemanın rijitlik (stiffness) matrisini elde etmek için, eleman uç yerdeğiştirmelerinin her biri ayrı ayrı serbest bırakılıp diğerleri tutularak eleman uçlarındaki kuvvetler bulunur. Her bir durum için bulunan uç kuvvetleri süperpoze edilerek rijitlik (stiffness) matrisi elde edilir. Bu denklem matris formunda yazılırsa;

$$\begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ m_{iz} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \\ m_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_{iz} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca;

$$\{ f \} = [k].\{ u \} \tag{3.5}$$

şeklinde yazılabilir burada;

$\{ f \}$: Lokal eksen takımındaki kuvvet vektörünü

$[k]$: Lokal eksen takımındaki rijitlik (stiffness) matrisini

$\{ u \}$: Lokal eksen takımındaki yerdeğiştirme vektörünü ifade etmektedir.

Buna göre Lokal Eksen takımında düzlem çerçeve elemanın rijitlik (stiffness) matrisi iki ucu (i ve j) ankastre eleman için geçerlidir. Bu formül en genel halde;

$$[k_{ij}] = \begin{bmatrix} S & 0 & 0 & -S & 0 & 0 \\ 0 & D & C_i & 0 & -D & C_j \\ 0 & C_i & A_i & 0 & -C_i & B \\ -S & 0 & 0 & S & 0 & 0 \\ 0 & -D & -C_i & 0 & D & -C_j \\ 0 & C_j & B & 0 & -C_j & A_j \end{bmatrix}$$ şeklindedir. Burada

$A_i = a_i \frac{E.I}{L}$, $A_j = a_j \frac{E.I}{L}$ $B = b_{ij} \frac{E.I}{L}$, $C_i = \frac{A_i + B}{L}$, $C_j = \frac{A_j + B}{L}$,
$D = \frac{C_i + C_j}{L}$, $S = \frac{E.A}{L}$ dir.

- İki ucu ankastre olan sabit atalet momenti elemanlar için $a_i = a_j = 4$, $b_{ij} = 2$ değerini almakta olup elemanın rijitlik matrisi ise ;

$$[k]=\begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Şeklindedir.

- i ucu mafsallı eleman için, bu elemanlarda $a_i = b_{ij} = 0$, $a_j = 3$ olup $A_i = B = C_i = 0$ olduğundan

$$[k_{ij}] = \begin{bmatrix} S & 0 & 0 & -S & 0 & 0 \\ 0 & D & 0 & 0 & -D & C_j \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S & 0 & 0 & S & 0 & 0 \\ 0 & -D & 0 & 0 & D & -C_j \\ 0 & C_j & 0 & 0 & -C_j & A_j \end{bmatrix}$$ şeklindedir.

- ***j*** ucu mafsallı eleman için, bu elemanlarda $a_j = b_{ij} = 0$, $a_i = 3$ olup $A_i = B = C_j = 0$ olduğundan

$$[k_{ij}] = \begin{bmatrix} S & 0 & 0 & -S & 0 & 0 \\ 0 & D & C_i & 0 & -D & 0 \\ 0 & C_i & A_i & 0 & -C_i & 0 \\ -S & 0 & 0 & S & 0 & 0 \\ 0 & -D & -C_i & 0 & D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$ şeklindedir.

- İki ucu mafsallı elemanlarda, elemanların dönmeye karşı rijitliğinin olmamasına ek olarak eğilme rijitliği de ihmal edildiğinde eleman rijitlik matrisi 2x2 boyutlu bir matris olarak karşımıza çıkar. Bu ise;

$$[k_{ij}] = \begin{bmatrix} S & -S \\ -S & S \end{bmatrix}$$ şeklindedir.

<u>Global Eksen Takımına Göre Rijitlik Matrisi :</u> Global eksen takımında bir düzlem çerçeve elemanda kuvvet ile yerdeğiştirme arasındaki bağıntı benzer şekilde ;

$$\{ F \} = [K].\{ U \} \tag{3.6}$$

yazılabilir. Burada ;

{ F } : Global eksen takımındaki kuvvet vektörünü,
[K] : Global eksen takımındaki rijitlik matrisini,
{ U } : Global eksen takımındaki yer değiştirme vektörünü ifade etmektedir.

Yer değiştirmeler için geometrik uygunluk şartı yazıırsa,

i düğüm noktasındaki eleman uç yer değiştirmeleri;

$$u_{ix} = U_{iX}.\cos\alpha + U_{iY}.\sin\alpha$$
$$u_{iy} = -U_{iX}.\sin\alpha + U_{iY}.\cos\alpha$$
$$\theta_{iz} = \theta_{iZ}$$

j düğüm noktasındaki eleman uç yerdeğiştirmesi;

$$u_{jx} = U_{jX}.\cos\alpha + U_{jY}.\sin\alpha$$
$$u_{jy} = -U_{jX}.\sin\alpha + U_{jY}.\cos\alpha$$
$$\theta_{jz} = \theta_{jZ}$$

Bu ifadeler matris formunda düzenlenirse;

$$\begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_{iz} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{Bmatrix} U_{iX} \\ U_{iY} \\ \theta_{iZ} \\ U_{jX} \\ U_{jY} \\ \theta_{jZ} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca ;

$$\{ u \} = [T] . \{ U \} \tag{3.7}$$

şeklinde yazılabilir. Burada [T] deplasman (yer değiştirme) Dönüşüm Matrisidir. Bu işlem herbir eleman için ayrı ayrı düzenlenmelidir. Daha sonra bu işlem eleman numaraları dikkate alınarak alt alta gelecek şekilde yazılıp tüm sistem için [T] deplasman (yer değiştirme) dönüşüm matrisi oluşturulur.

Aynı şekilde kuvvetler için denge denklemleri yazılırsa,

i düğüm noktasındaki eleman uç kuvvetleri için;

$$f_{ix} = F_{iX} . \cos\alpha + F_{iY} . \sin\alpha$$

$$f_{iy} = -F_{iX} . \sin\alpha + F_{iY} . \cos\alpha$$

$$m_{iz} = M_{iZ}$$

j düğüm noktasındaki eleman uç kuvvetleri;

$$f_{jx} = F_{jX} . \cos\alpha + F_{jY} . \sin\alpha$$

$$f_{jy} = -F_{jX} . \sin\alpha + F_{jY} . \cos\alpha$$

$$m_{jz} = M_{jZ}$$

Bu ifadeler matris formunda düzenlenirse;

$$\begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ m_{iz} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \\ m_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} F_{iX} \\ F_{iY} \\ M_{iZ} \\ F_{jX} \\ F_{jY} \\ M_{jZ} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca ;

$$\{ f \} = [T] . \{ F \} \tag{3.8}$$

şeklinde yazılabilir. Burada [T] kuvvet (yük) Dönüşüm Matrisidir. Bu işlemde herbir eleman için ayrı ayrı düzenlenmelidir. Daha sonra bu işlem eleman numaraları dikkate alınarak alt alta gelecek şekilde yazılıp tüm sistem için [T] kuvvet (yük) dönüşüm matrisi oluşturulur.

Burada (3.7) ile (3.8) denklemi (3.5) denkleminde yerine yazılırsa yani, $\{ u \} = [T] . \{ U \}$ ile $\{ f \} = [T] . \{ F \}$ denklemi $\{ f \} = [k] . \{u\}$ denkleminde yazılırsa,

$$[T] . \{ F \} = [k] . [T] . \{ U \} \tag{3.9}$$

elde edilir. (3.9) denkleminin her iki tarafı dönüşüm matrisinin tersi, $[T]^{-1}$, ile çarpılırsa,

$$\underbrace{[T]^{-1} . [T]}_{\text{Birim Matris}} . \{ F \} = [T]^{-1} . [k] . [T] . \{ U \}$$

$$\{ F \} = [T]^{-1}. [k] . [T] . \{ U \} \tag{3.10}$$

elde edilir. { F } yerine (3.6) da bulunan denklem takımı yazılırsa,

$$[K] = [T]^{-1}. [k] . [T] \tag{3.11}$$

elde edilir.

Benzer şekilde aynı düğüm noktasında birleşen elemanların rijitlik matrisleriyle ilgili matematiksel olarak toplama işlemi yapabilmek için rijitlik matrislerinin müşterek (global) eksen takımına göre yazılmış olması gerekmektedir. Lokal eksenlere göre bir düğüm noktasında birleşen yapı elemanlarının (çubuk) uç kuvvetleri ile deplasmanlar üzerinde yaptığı iş, global eksende verilen kuvvetlerin sistemin o düğüm noktasındaki deplasmanlar üzerinde yaptığı işe eşittir.

Eleman eksen takımındaki yer değiştirmeler yardımıyla global eksen takımındaki yer değiştirmeler hesaplanırsa;

$$\begin{aligned}
U_{iX} &= u_{ix}. \cos\alpha - u_{iy} . \sin\alpha \\
U_{iY} &= u_{ix}. \sin\alpha + u_{iy} . \cos\alpha \\
\theta_{iZ} &= \theta_{iz}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
U_{jX} &= u_{jx}. \cos\alpha - u_{jy} . \sin\alpha \\
U_{jY} &= u_{jx}. \sin\alpha + u_{jy} . \cos\alpha \\
\theta_{jZ} &= \theta_{jz}
\end{aligned}$$

elde edilir. Bu ifade matris formunda yazılırsa;

$$\begin{Bmatrix} \mathrm{U}_{i\mathrm{X}} \\ U_{i\mathrm{Y}} \\ \theta_{i\mathrm{Z}} \\ \mathrm{U}_{j\mathrm{X}} \\ \mathrm{U}_{j\mathrm{Y}} \\ \theta_{j\mathrm{Z}} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{Bmatrix} \mathrm{u}_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_{iz} \\ \mathrm{u}_{jx} \\ \mathrm{u}_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca ;

$$\{ \mathrm{U} \} = [\mathrm{T}]^{\mathrm{T}} . \{ \mathrm{u} \} \tag{3.12}$$

şeklinde elde edilir. (3.7) denkleminin her iki tarafı dönüşüm matrisinin tersi, $[\mathrm{T}]^{-1}$ ile çarpılırsa,

$$[\mathrm{T}]^{-1} . \{ \mathrm{u} \} = \underbrace{[\mathrm{T}]^{-1} . [\mathrm{T}]^{\mathrm{T}}}_{\text{Birim matris}} . \{ \mathrm{U} \} \tag{3.13}$$

$$\{ \mathrm{U} \} = [\mathrm{T}]^{-1} . \{ \mathrm{u} \} \tag{3.14}$$

yazılır. (3.12) ve (3.14) denklemleri karşılaştırılıp kıyaslandığında,

$$[\mathrm{T}]^{-1} = [\mathrm{T}]^{T} \tag{3.15}$$

elde edilir. Böylece (3.11) denklemi

$$[\mathbf{K}] = [\mathbf{T}]^{\mathbf{T}} . [\mathbf{k}] . [\mathbf{T}] \tag{3.16}$$

Şeklinde elde edilir. Burada ;

[K] : Global eksen takımındaki rijitlik matrisini,

[k] : Lokal eksen takımındaki rijitlik matrisini ifade etmektedir.

Dönüşüm matrisleri yazılırken, çözümü yapılan elemanın yönüne göre, elemanın *i* ucunun yatayla yaptığı bir 'α' açısı tanımlanmaktadır. Bu açının pozitif yönü olarak saat yönünün tersi tanımlanmaktadır. Dönüşüm matrislerinin de, elemanın iki ucunun ankastre yada mafsallı olması hallerinde elde edilişleri aşağıda verilmiştir.

- İki ucu ankastre ise dönüşüm matrisi;

$$[T_{ij}] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$ şeklindedir.

- ***i*** ucu mafsallı eleman ise dönüşüm matrisi;

$$[T_{ij}] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$ şeklindedir.

- ***j*** ucu mafsallı eleman ise dönüşüm matrisi;

$$[T_{ij}] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$ şeklindedir.

- İki ucu mafsallı eleman ise dönüşüm matrisi;

$$[T_{ij}] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$ şeklindedir.

Buradan görüleceği üzere rijitlik matrisi yanlızca kullanılan yapı elemanının türüne ve bu elemanın şekline bağlıdır. $[K] = [T]^T.[k].[T]$ şeklinde verilen bu denklem iki ucu ankastre bir eleman için açık olarak yazılır ise;

$$[K] = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

kısaca ise;

$$[K_i]_g = \begin{bmatrix} a & b & c & -a & -b & c \\ b & d & e & -b & -d & e \\ c & e & f & -c & -e & g \\ -a & -b & -c & a & b & -c \\ -b & -d & -e & b & d & -e \\ c & e & g & -c & -e & f \end{bmatrix}$$

şeklinde bir düzlem çerçeve elemanın global eksen takımındaki rijitlik matrisi elde edilmiş olur. Buradaki simgeler ;

$$a = \frac{EA}{L}\cos^2\alpha + \frac{12EI}{L^3}\sin^2\alpha \qquad b = \left(\frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right)\cos\alpha\sin\alpha$$

$$c = -\frac{6EI}{L^2}\sin\alpha \qquad d = \frac{EA}{L}\sin^2\alpha + \frac{12EI}{L^3}\cos^2\alpha$$

$$e = \frac{6EI}{L^2}\cos\alpha \qquad f = \frac{4EI}{L}$$

$$g = \frac{2EI}{L}$$

ifade eder.

3.3.2. Denklem takımının çözümü

Yapı sistemini oluşturan her eleman için yazılan eleman rijitlik matrisi [k], eleman konumlandırma numaraları göz önüne alınarak oluşturulan sistem rijitlik matrisinde, bu numaralara uygun ilgili yerlere yerleştirilerek sistem rijitlik matrisi [K] elde edilir.

Tanımlanmış olan yer değiştirmeler sistem rijitlik matrisinde işaretlenip buradan yükleme matrisi { F } hesaplanmaktadır. Nihayetinde { F } = [K].{ U } denklem takımı sayısal hesaplama yollarından biriyle çözülerek { U } yer değiştirme matrisi bulunmaktadır.

3.3.3. Kesit tesirlerinin hesabı

Yer değiştirme matrisi { U } bulunan yapı sistemi elemanlarının sistem rijitlik matrisi [K] doğrudan kurulmuş ise, uç kuvvetleri de { F } = [K].{ U } bağıntısından elde edilmektedir. Bulunan kesit tesirlerine daha önce hesaplanmış olan ankastrelik etkiler de

ilave edilerek $\{ f \} = [T] . \{ F \}$ çubuk uç kuvvetleri, kesit tesirleri hesap edilmektedir. Kesit tesirleri matris deplasman yöntemiyle hesaplandığından işaret ve yönleri alınırken bu durum göz önünde bulundurulup gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.

3.3.4. Düzlem çerçeve eleman üzerinde yük olması hali

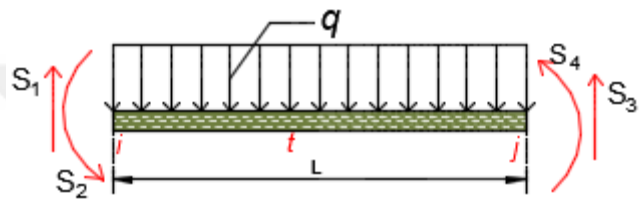
Bir yapı sistemine etki eden dış yükler, etki ettikleri yer bakımından ikiye ayrılır. İlki doğruda sistemin düğüm noktalarına etki eden yükler, yani direkt dış yükler, ikincisi ise yapı elemanının kendi ekseni boyunca etki eden dış yükler ki, bu yükler ise endirek dış yükler veya açıklık eleman yükleri olarak adlandırılır.

Matris Deplasman Yönteminde yapı sistemine etki eden yüklerin, yapı düğüm noktalarına etkidiği kabul edilir. Bu sebeple yapı sistemi üzerine etkiyen tüm yükler, sistemin düğüm noktalarına etkiyeceği düşünülen tekil eşdeğer yüklere çevrilerek hesaba katılır.

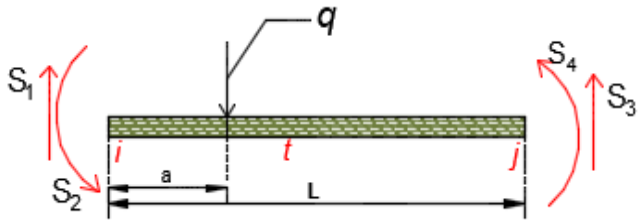
Yapı elemanına etki eden kuvvetler (endirek yükler) nedeniyle oluşan eleman uç kuvvetleri, yapı elemanının uçlarının (i ve j) ankastre bir kiriş olarak kabul edilmesi halinde oluşan ankastrelik uç kuvvetleri ile aynıdır. Yani yapı elemanına etki eden kuvvetin (yüklerin) eşdeğer düğüm kuvvetleri (yükleri), elemana ait ankastrelik kuvvetlerdir. Ankastrelik kuvvetler ise mukavemet derslerinden bilinen formüllerle hesap edilir. Eleman uçlarına etki eden bu ankastrelik reaksiyonların ters işaretlileri, Newton'un etki tepki prensibi gereği düğüm noktalarına etkittirilir. Bu durumu şu şekilde açıklayacak olursak; yapı sistemini oluşturan bütün elemanların diğerleri ile ankastrre bağlı olduğu düşünülür ve bilinen bağıntılarla ankastrelik uç reaksiyonlar hesap edilir, bu reaksiyonların ters işaretlileri düğüm noktalarında direkt yükler olarak kullanılır.

Burada elde edilen ankastrelik kuvvetler; yapı elemanına ait eksende ki yani lokal eksendeki (x, y, z) kuvvetlerdir. Dönüşüm matrisi ile çarpılarak global eksendeki (X, Y, Z) değerleri elde edilir.

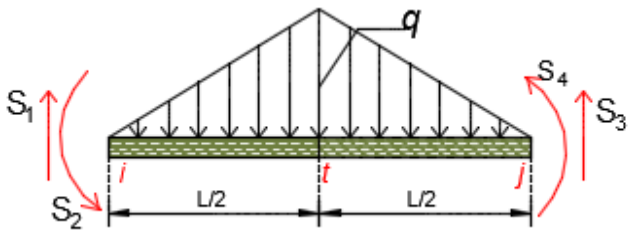
Belirli yüklemelere ait ankastrelik uç kuvvetler Şekil 3.14'de verilmiştir. Diğer yükleme türleri için literatürde bulunan hazır tablolardan yararlanılır.



$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{q.L}{2} \\ \frac{q.L^2}{12} \\ \frac{q.L}{2} \\ -\frac{q.L^2}{12} \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q(1-\frac{3.a^2}{L^2}+\frac{2.a^3}{L^3}) \\ q(a-\frac{2.a^2}{L}+\frac{a^3}{L^2}) \\ q(\frac{3.a^2}{L^2}-\frac{2.a^3}{L^3}) \\ q(-\frac{2.a^2}{L}+\frac{a^3}{L^2}) \end{bmatrix}$$



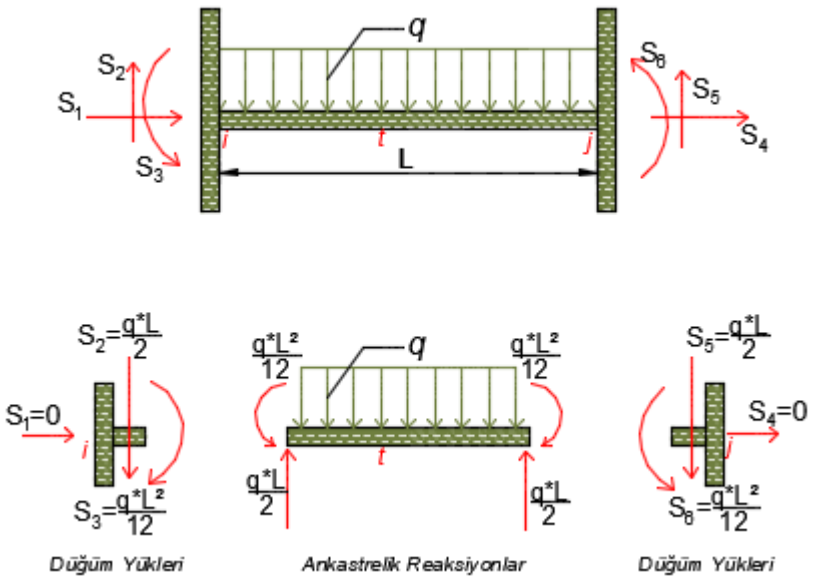
$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{q.L}{4} \\ \frac{5}{96}q.L^2 \\ \frac{q.L}{4} \\ -\frac{5}{96}q.L^2 \end{bmatrix}$$

Şekil 3.14. Yükleme tiplerine göre örnek ankastrelik kuvvetler (Çatal 2005)

Hesaplanan ankastrelik yükler sistemin düğüm noktalarına aktarılırken aşağıda verilen işlem kuralları uygulanır;

- Yapı elemanının üzerindeki yükler dikkate alınarak ankastrelik kuvvetleri hesaplanır.
- Yapı elemanının düğüm noktarında hesaplanan ankastrelik momentlerin ters işaretlileri aynı düğüm noktalarına etki eden benzer yüklerle toplanır ve elemanın artık yüksüz olduğu varsayılarak hesap yapılır.

Örnek olarak açıklık elemanında q yayılı yükü bulunan L açıklıklı bir düzlem çerçeve çubuğunun ankastrelik reaksiyonları ile bu yükten düğüm noktalarına gelen tesirler Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Bu örnekte global koordinatlar ile eleman koordinatları çakıştığından dönüşüm yapılmasına gerek yoktur. Fakat eleman koordinat ekseni x,y,z ile Global koordinatlar X,Y,Z çakışmadığı durumlarda ankastrelik reaksiyonların global eksene dönüşümü yapılacaktır.



Şekil 3.15. Çubuk yüklerinden düğüm yüklerine geçiş (Çatal 2005)

‘t’ (Şekil 3.15) Çubuğunun Ankastrelik Reaksiyonlar

Düğüm Yüklerine Ankastrelik Reaksiyonların katkısı

$$\begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \end{bmatrix}_{XYZ} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{q.L}{2} \\ \frac{q.L^2}{12} \\ 0 \\ \frac{q.L}{2} \\ -\frac{q.L^2}{12} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ m_{iz} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \\ m_{jz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ldots + 0 \\ \ldots\ldots + (-\frac{q.L}{2}) \\ \ldots\ldots + (-\frac{q.L^2}{12}) \\ \ldots + 0 \\ \ldots\ldots + (-\frac{q.L}{2}) \\ \ldots\ldots + (\frac{q.L^2}{12}) \end{bmatrix}$$

Yapı sistemi, düğüm noktalarına doğrudan etki eden bu dış yükler (kuvvetler) altında analiz edilir. Dolayısıyla sisteme etkiyen elemanın açıklık yükleri artık dikkate alınmaz. Ancak çözüm tamamlanıp söz konusu elemanın dengesi veya kesit tesir diyagramları çizilirken bu yükler dikkate alınır.

3.4. Bilgisayar Programı

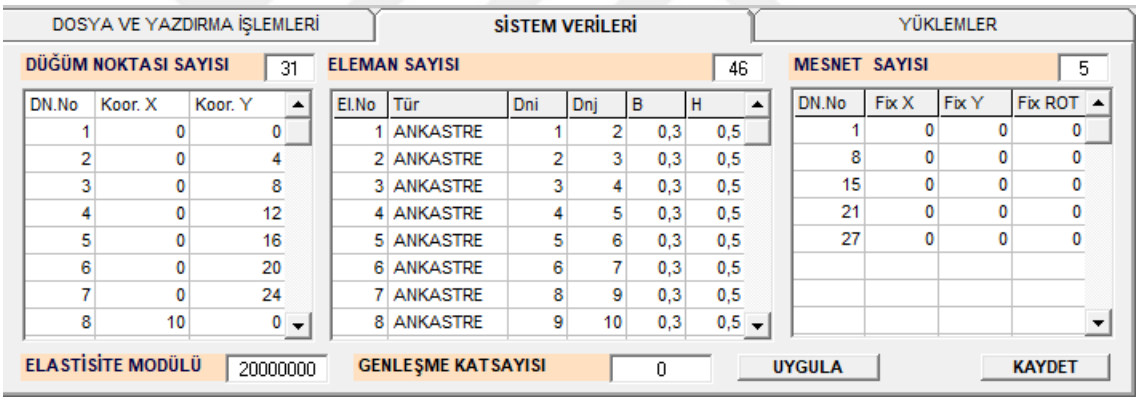
Yukarıda esasları verilen teorik yöntem için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu kısımda ise bu bilgisayar programı hakkında bir takım bilgiler ile akış diyagramları gösterilmiştir.

3.4.1. Programın amacı ve uygulama alanı

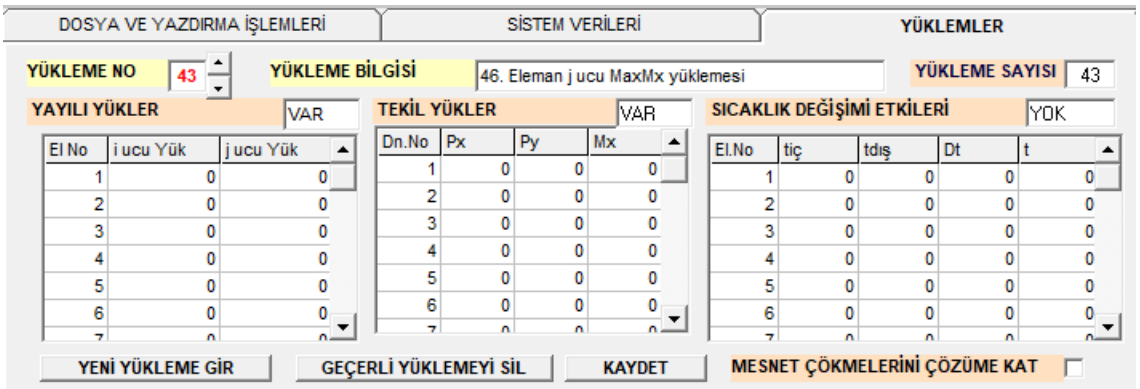
Düzlem çerçevelerin analizi için Quick Basic dilinde kodlanmış bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu program ile düzlem çerçevelerin elastik analizleri yapılabilmektedir. Elastik analizin yapımında yukarıda anlatılan matris deplasman yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde sistem rijitlik matrisi doğrudan elde edilerek kullanılmıştır.

3.4.2. Verilerin girilmesi

Veriler programa, Şekil 3.16'da gösterilen ve sol üst köşede bulunan sayfalar üzerinden girilmektedir. Burada yapı elemanına ait düğüm noktaları ve bunların yerleşim koordinat değerleri girilmektedir. Düğüm noktası üzerinden elemanların *i* ve *j* uçları tanımlanıp eleman boyutları girilmektedir. Böylelikle yapı sisteminin şekli oluşturulmaktadır. Yapı elemanlarının birbirleriyle olan bağlantıları, mesnetlenme koşulları, elastisite modülü, eleman genleşme katsayısı ve yapı sisteminin üzerine etki eden yüklemeler gibi veriler de yine bu ekran üzerinden belirlenmektedir. Yapı sistemini oluşturan elemanların en kesit alanları, atalet momentleri, boyutları gibi bilgiler program tarafından otomatik olarak hesaplanmakta olup ayrıca girilmesine gerek yoktur.



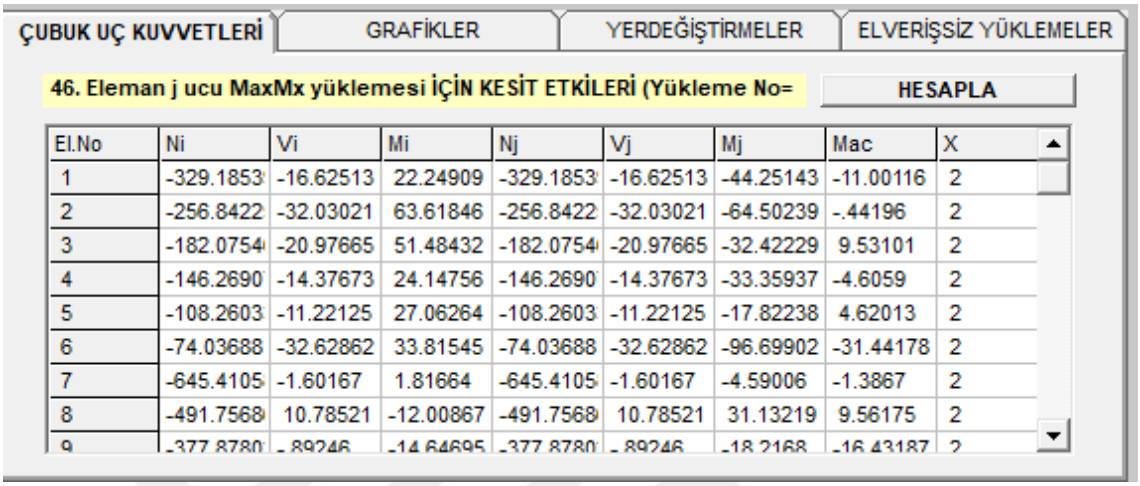
a)



b)

Şekil 3.16. Program veri girdi ekranı

Program üzerinde yapı sisteminin çözümü yapıldıktan sonra, her bir eleman için Şekil 3.17'de gösterilen sonuçlar alınıp kullanılır.

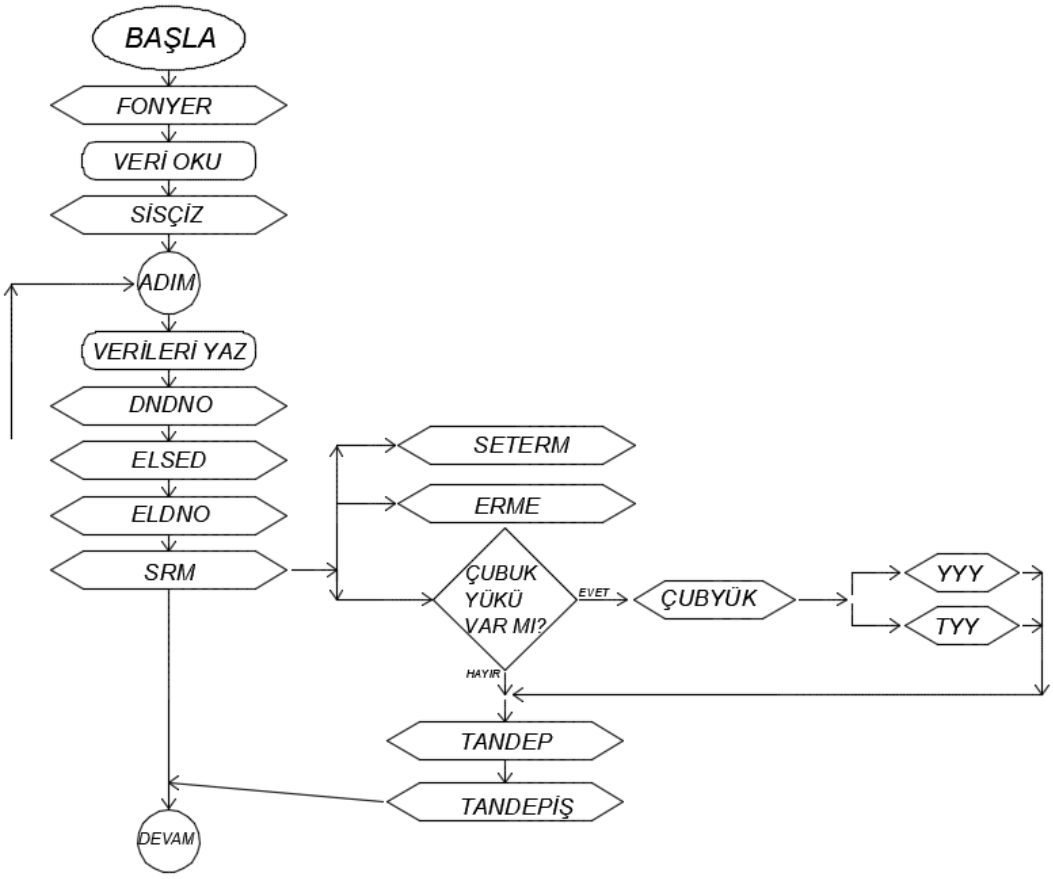


El.No	Ni	Vi	Mi	Nj	Vj	Mj	Mac	X
1	-329.1853	-16.62513	22.24909	-329.1853	-16.62513	-44.25143	-11.00116	2
2	-256.8422	-32.03021	63.61846	-256.8422	-32.03021	-64.50239	-.44196	2
3	-182.0754	-20.97665	51.48432	-182.0754	-20.97665	-32.42229	9.53101	2
4	-146.2690	-14.37673	24.14756	-146.2690	-14.37673	-33.35937	-4.6059	2
5	-108.2603	-11.22125	27.06264	-108.2603	-11.22125	-17.82238	4.62013	2
6	-74.03688	-32.62862	33.81545	-74.03688	-32.62862	-96.69902	-31.44178	2
7	-645.4105	-1.60167	1.81664	-645.4105	-1.60167	-4.59006	-1.3867	2
8	-491.7568	10.78521	-12.00867	-491.7568	10.78521	31.13219	9.56175	2
9	-377.8780	-.89246	-14.64695	-377.8780	-.89246	-18.2168	-16.43187	2

Şekil 3.17. Program çıktı ekranı

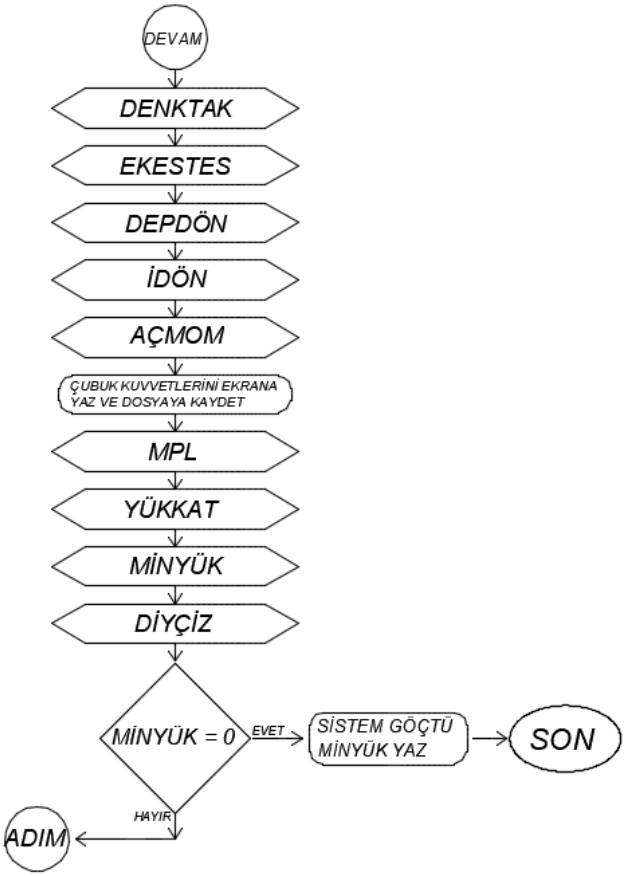
3.4.3. Akış Diyagramı

Kullanılan programın akış diyagramı Şekil 3.18 (a) ve (b)'de verilmiştir.



a)

Şekil 3.18. Akış diyagramı



b)

Şekil 3.18. Akış diyagramı (devam)

3.4.4. Akış diyagramı ifadeleri

FONYER: Kurulacak olan fonksiyonun bilgisayardaki yeri belirlenip bir dosya açılarak bu dosya içerisine bilgiler kaydedilecektir.

VERİOKU: Yapı sistemini ve burada tanımlanan eleman özelliklerini, düğüm noktalarına ve elemanların üzerine etkiyen dış yükler gibi önceki kısımda ifade edilen verileri matris formatında okuyabileceği bir dosyaya kaydetmektedir.

SİSÇİZ: Programa girilen veriler doğrultusunda veya adım adım değişen verilerle sistemdeki değişiklikleri gözlemek için değişen sistemin şeklini çizmektedir.

DNDNO: Düğüm noktası yer değiştirme numaralarını bulmaktadır.

ELSED: Yapıyı oluşturan elemanların serbestlik derecelerini bulmaktadır.

ELDNO: Yapıyı oluşturan elemanların yer değiştirme numaralarını bulmaktadır. Bu değişim serbestlik derecelerine bağlı olduğu için adım adım değişecektir.

SRM: Bu SETERM, ERME, ÇUBYÜK, YYY, TYY, TANDEP, TANDEPİŞ alt programlarını kullanarak sistem rijitlik matrisini oluşturmakta ve denklem takımında kullanılmak üzere son halini vermektedir.

SETERM: Sistem eksen takımına göre eleman rijitlik matrisini hesaplamaktadır.

ERME: Kurulan eleman rijitlik matrisini, yer değiştirme numaralarına bağlı olarak sistem rijitlik matris takımına eklemektedir.

ÇUBYÜK: Yapı sitemi düğüm noktaları dışında elemanlar üzerine etki eden yükleri düğüm noktalarına etkiyecek şekilde dönüştürmektedir.

YYY: Yayılı yükleri, denklem takımının Gaus Eliminasyon yöntemi ile çözümünde kullanılmak üzere, sistem rijitlik matrisinin içine bir kolon eklenerek oluşturulan yerlere yine yer değiştirme numaralarına bağlı olarak yerleştirir.

TYY: YYY'de olduğu gibi bu yüklerde aynı yöntemle sistem rijitlik matrisine yerleştirilir.

TANDEP: Sistemde tanımlanmış yer değiştirme numaralarını kayıtlı oldukları ilgili dosyadan bulmaktadır.

TANDEPİŞ: Tanımlı yer değiştirme numaralarını sistem rijitlik matrisinde işaretlemektedir.

DENKTAK: Yer değiştirme numaralarını ve bulunan sistem rijitlik matrisini kayıtlı olduğu dosyadan alarak denklem takımını çözmekte ve dolayısıyla yer değiştirmeler bulunmaktadır.

EKESTES: Yer değiştirmeleri kullanarak eleman kesit tesirlerini hesaplamaktadır.

DEPDÖN: Yer değiştirme dönüşüm matrisini, elemanın mesnetlenme şekline bağlı olarak şartlayıp alt programlara göndererek hesaplamaktadır.

İDÖN: Matris Deplasman Yönteminde kullanılan işaretleme kabulü doğrultusunda bulunmuş olan kesit tesirlerini, yapı statiği işaretleme kabulü doğrultusuna dönüştürmektedir.

AÇMOM: Açıklık momentlerini hesaplamaktadır.

MPL: Elemanların plastik taşıma gücünü hesaplamaktadır.

YÜKKAT: Yük katsayılarını hesaplamaktadır.

MİNYÜK: Herbir eleman için ayrı ayrı bulunan yük katsayılarından en küçüğünü almaktadır.

DİYÇİZ: Herbir adım için ayrı ayrı kesit tesir diyagramlarını çizmektedir.

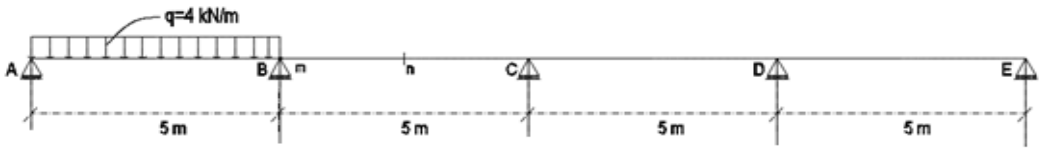
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Sürekli Kirişler

Sürekli kirişlerde kiriş boyutlandırılması ve donatı hesabı için sabit ve hareketli yüklerden meydana gelen eğilme momentleri, kesme kuvveti kullanılır. Yapılan bu pratik kabulleri, kullanılan bilgisayar programı yardımıyla 4 açıklıklı, dolu gövdeli ve Şekil 4.1'de gösterilen bir sürekli kiriş çözülerek kıyaslanmıştır. Burada sürekli kirişin herbir açıklıklığı tek başına hareketli yük ile yüklenecek, süper pozisyon prensibi kullanılarak yapılan bu yüklemelerden, en elverişsiz kesit tesirlerini veren yükleme belirlenecektir.

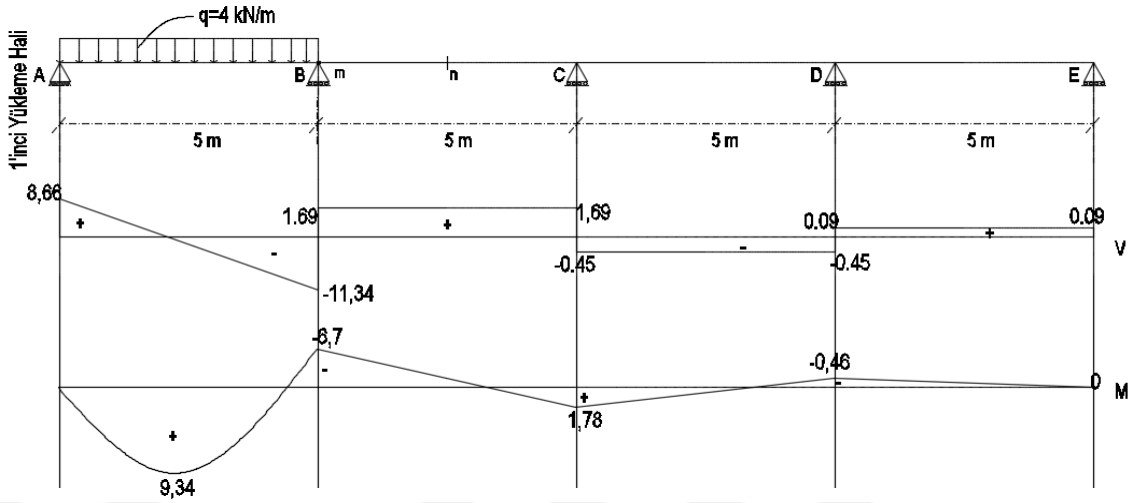
Seçilen bu örnek için kullanılan veriler ;

- 0,30 x 0,60 metre enkesit ölçülerinde dikdörtgen kesitli dolu gövdeli sürekli kirişte q=4 kN/m hereketli yük, (m; mesnet ve n; açıklık kesit tesirleri için) elverişsiz yükleme durumlarını inceleyelim.

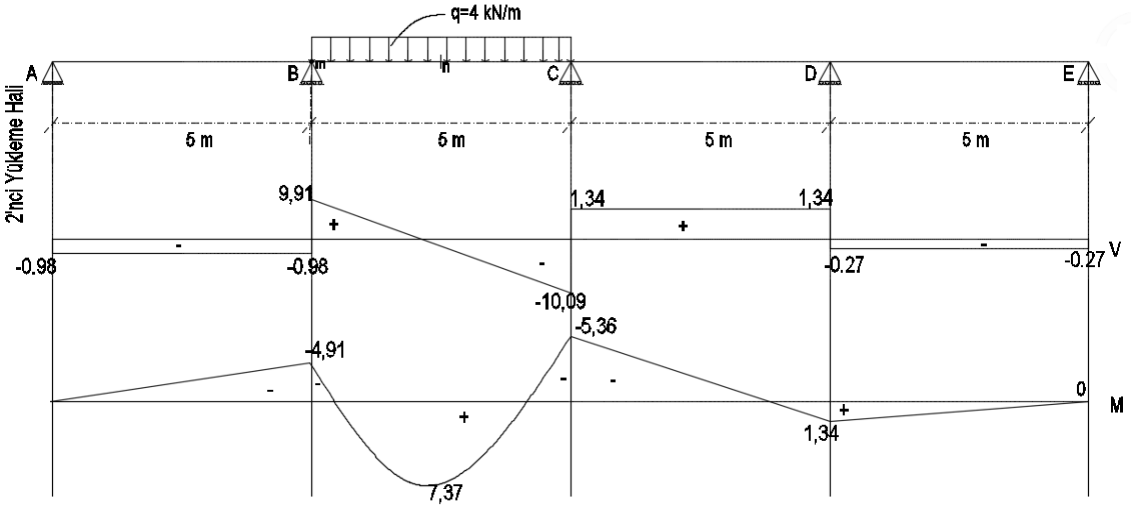


Şekil 4.1. Sürekli kiriş (4 açıklıklı)

Bu 4 açıklıklı bir sürekli kirişte önceden belirlenen "B" noktasındaki mesnet momenti "m" için ve "B-C" arasındaki açıklık momentinin "n" maksimum değerlerini bulmak amacıyla sürekli kirişe 4 farklı yükleme yapılmış, en büyük kesit tesirlerini veren yükleme tipleri tespit edilmiştir (Şekil 4.2).

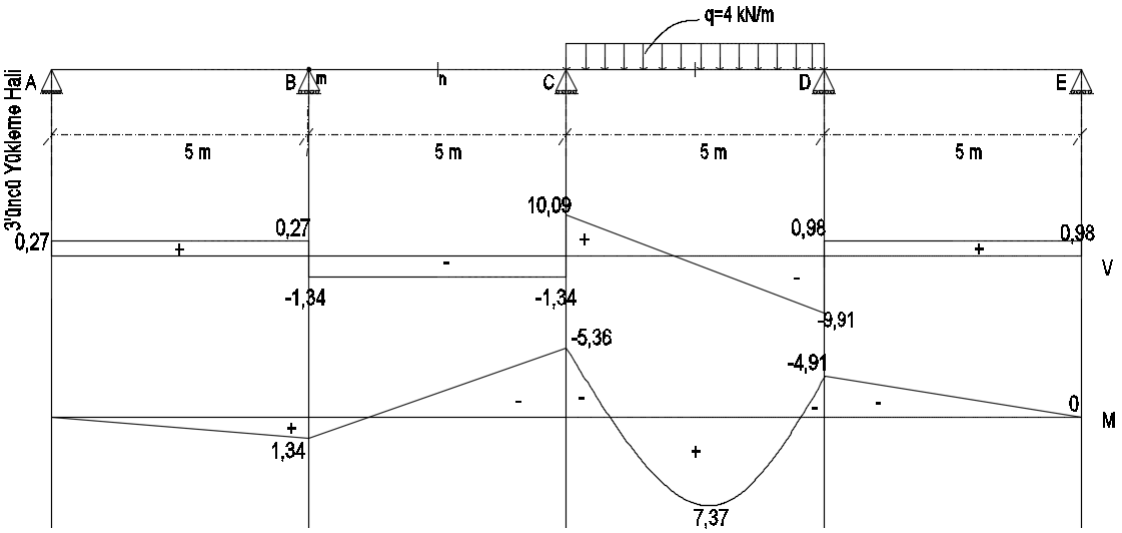


(a)

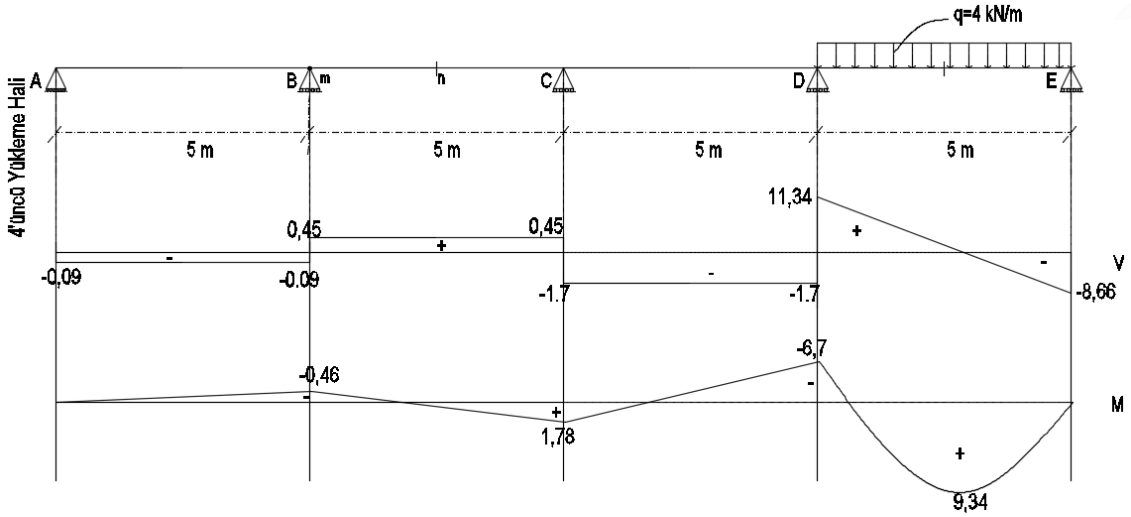


(b)

Şekil 4.2. Yüklemeler ve oluşan mesnet tepkileri



(c)

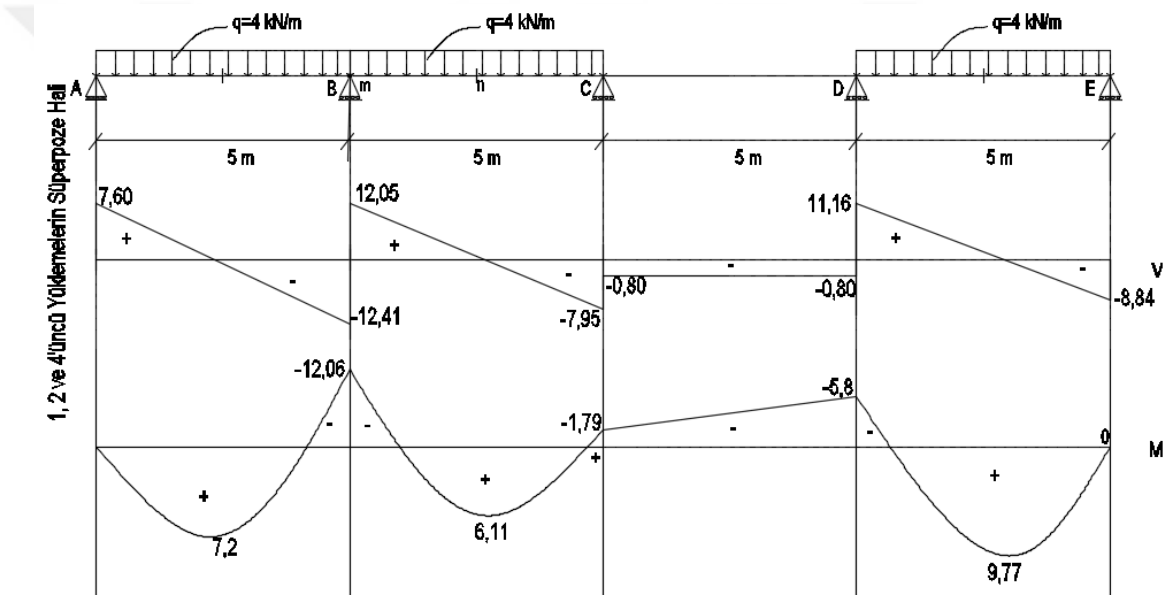


(d)

Şekil 4.2. Yüklemeler ve oluşan mesnet tepkileri (devam)

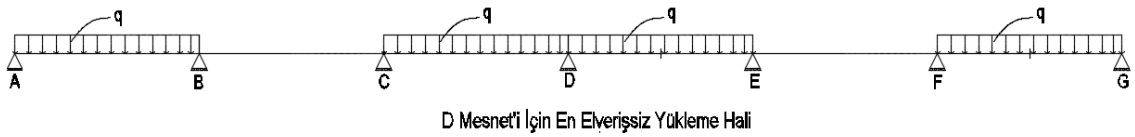
Yapılan yüklemeler neticesinde minimum mesnet momenti (mutlak değerce en büyük) dolayısıyla maksimum mesnet tepkisi ile mesnedin her iki yanındaki maksimum ve minimum (mutlak değerce en büyük) kesme kuvvetlerini veren yüklemeleri bulmak için "B" mesnetinin ("m" kesiti için) moment diyagramında negatif (-) işaretli olan

yüklemeler ile kesme kuvvetinde pozitif (+) ve negatif (-) maksimum değerleri veren yüklemeleri almak gerekmektedir. Şekil 4.2. (a), (b), (c) ve (d)'de gösterilen ayrı ayrı yapılan bu yüklemeler süperpoze ederek birleştirdiğimizde bu durumunun "B" mesneti ("m" kesiti) için en elverişsiz yükleme şeklini oluşturacağı görülecektir. Burada "B" mesnetindeki ("m" kesiti için) en büyük kesit tesiri için (a), (b) ve (d) yükleme durumlarında negatif (-) moment oluştuğundan bunların süperpoze edilmesi ile en elverişsiz yükleme şekli ve kesit tesirleri ortaya çıkacaktır. Aşağıda Şekil-4.3'de bu yüklemelerin yapılması ile elde edilen kesit tesir diyağramları görülmektedir.



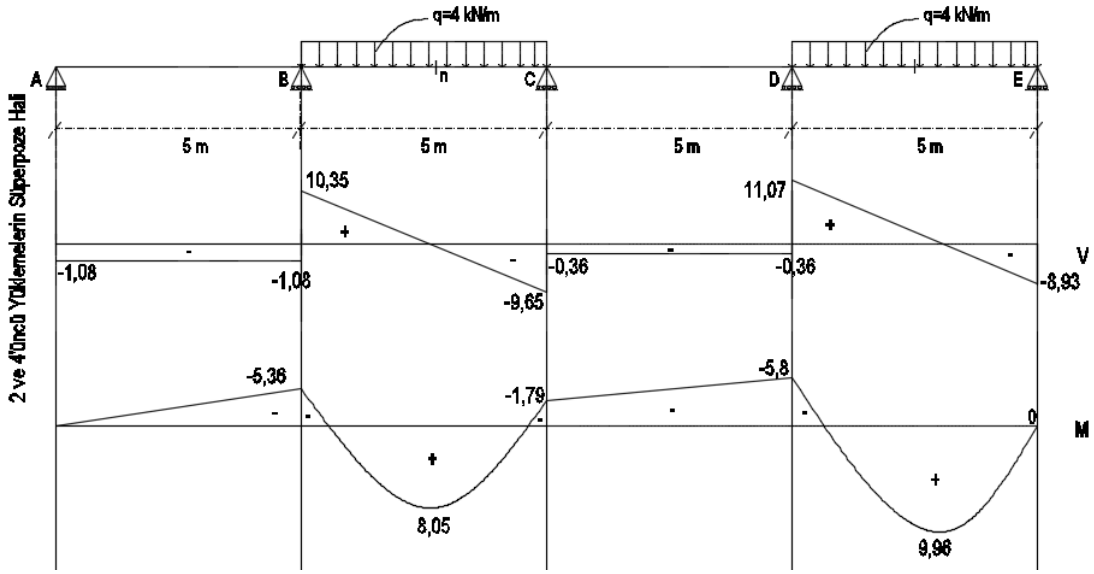
Şekil 4.3. B mesnetinde oluşan mesnet tepkisi

Buradan hareketle, sürekli kirişlerde herhangi bir mesnet için en büyük kesit tesirlerini veren, Şekil 4.4'de gösterilen en elverişsiz yükleme şeklini oluşturabilmek için; o mesnetin sağ ve sol yanındaki açıklıkların hareketli (q) yük ile yüklenmesinin gerekli olduğu, diğer açıklıkların ise sırasıyla bir boş, bir dolu şeklinde yüklenilerek devam edilmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.4. D mesneti için elverişsiz yüklemeler

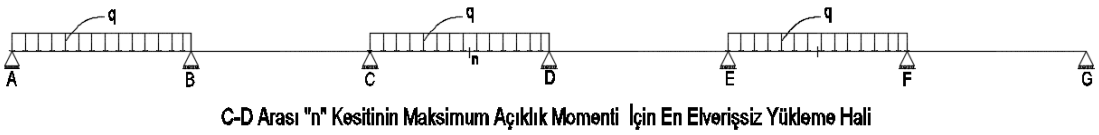
Herhangi bir kirişte meydana gelen maksimim açıklık momentini veren en elverişsiz yükleme şeklini bulmak için ise yine aynı örnek üzerinden hareket edilecektir. Örnekte B-C mesnetleri arasında bir yerde bulunan "n" noktasını dikkate alalım. "n" noktasında en büyük kesit tesiri için maksimum (+) açıklık momentinin oluştuğu en elverişsiz yüklemelerin Şekil 4.2. (b) ve (d)'de yapılan yüklemeler olduğu (momentin "+" olduğu) görülmektedir. Bu yüklemelerin Şekil-4.5'de gösterilen süperpozesinde "n" kesitinde maksimum açıklık momenti oluşacaktır.



Şekil 4.5. n Kesitide oluşan açıklık moment yüklemesi

Buradan hareketle, sürekli kirişlerde herhangi iki mesnet arasındaki bir kesitin maksimum açıklık momentlerini elde etmek için uygulanması gereken en elverişsiz yükleme şekli; o açıklığın hareketli (q) yük ile yüklenmesi komşu açıklıkların ise bir

boş bir dolu olacak şekilde yüklenmesinin gerekli olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durum Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 'n' Kesiti için elverişsiz yüklemeler

Minimum açıklık momentinin hesabı için ise yukarıda maksimum açıklık momenti için anlatılan yüklemenin tam tersi yükleme yapılarak en elverişsiz yükleme şekli bulunabilir.

4.2. Düzlem Çerçeveler

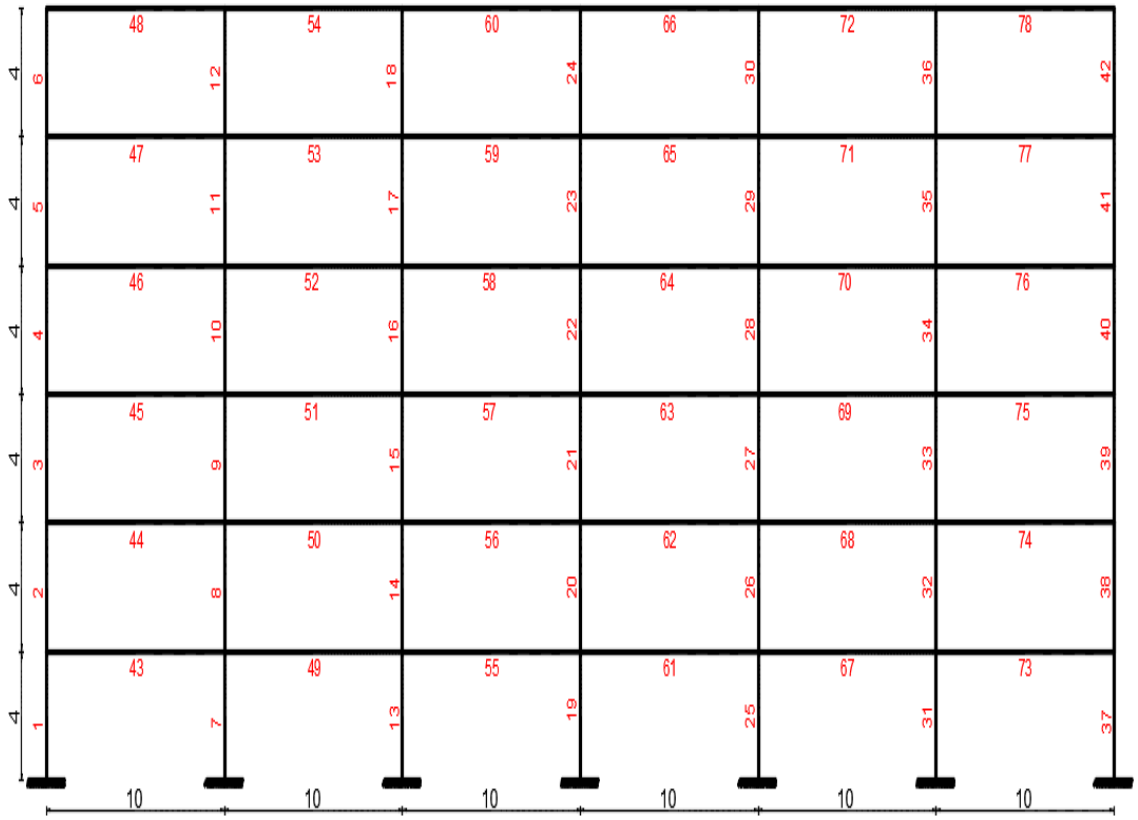
Bir düzlem çerçeve yapı sisteminde, hareketli yüklerin bilgisayar programı yardımı ile elverişsiz kesit zorlarını oluşturacağı konumları tespit edilmektedir. Bulunan bu yükleme şeklinin sistematiğinin olup olmadığı incelenerek, Furlong (1981) ve Ersoy (1989) tarafından önerilen modellemelerle kıyaslanmıştır.

Yapılan bu çalışma öncesinde iki konuya açıklık getirilmek üzere kısa ayrı bir çalışma yapılmıştır.

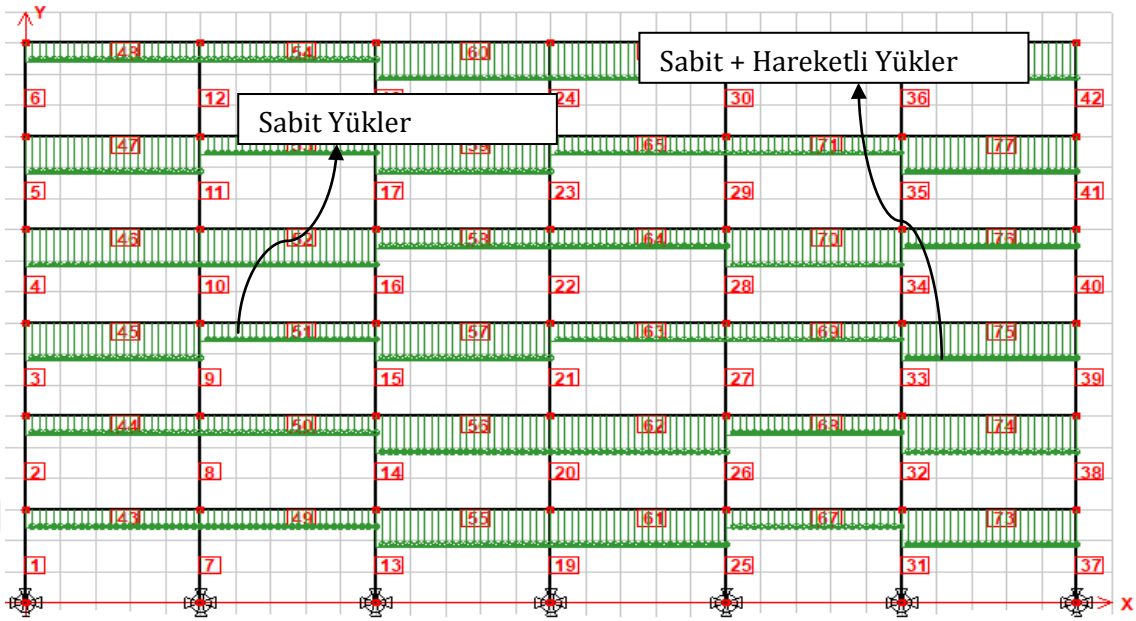
Bunlardan ilki, düzlem çerçeve sistemini oluşturan yapı aynı hareketli yükler altında, elemanlarının farklı ebatlarda olması halinde elverişsiz kesit tesirlerini veren hareketli yük düzenlemesi yerleşiminin değişip değişmeyeceğidir. Bu durum aşağıda verilen örnek üzerinde incelenecek olursa;

Şekil 4.7'de gösterilen çerçeve 6 açıklıklı ve 6 katlıdır. Yapı sistemi birinci durumda tüm kolon ve kiriş ebatlarını aynı (40/40 cm boyutlarında) alarak, ikinci durumda tüm kolonların aynı (40 x 40 cm) ebatlarda, kirişlerin ise hepsinin birbirinden farklı ebatlarda alarak ve üçüncü durumda ise tüm kolon ve kiriş ebatlarını birbirlerinden tamamen farklı ebatlarda alınması ile en elverişsiz kesit tesirlerini veren hareketli yük düzenlemesi bulunmuştur. Buna göre tüm kesitler için Elastisite modülü E= 20 x 10^6 kN/m² ve poisson oranı $\nu = 0{,}20$ olarak alınmıştır. Yapıya etki eden ölü yükler g = -15 kN/m ve hareketli yükler ise q = -15 kN/m olup tüm kirişlere etki etmektedir.

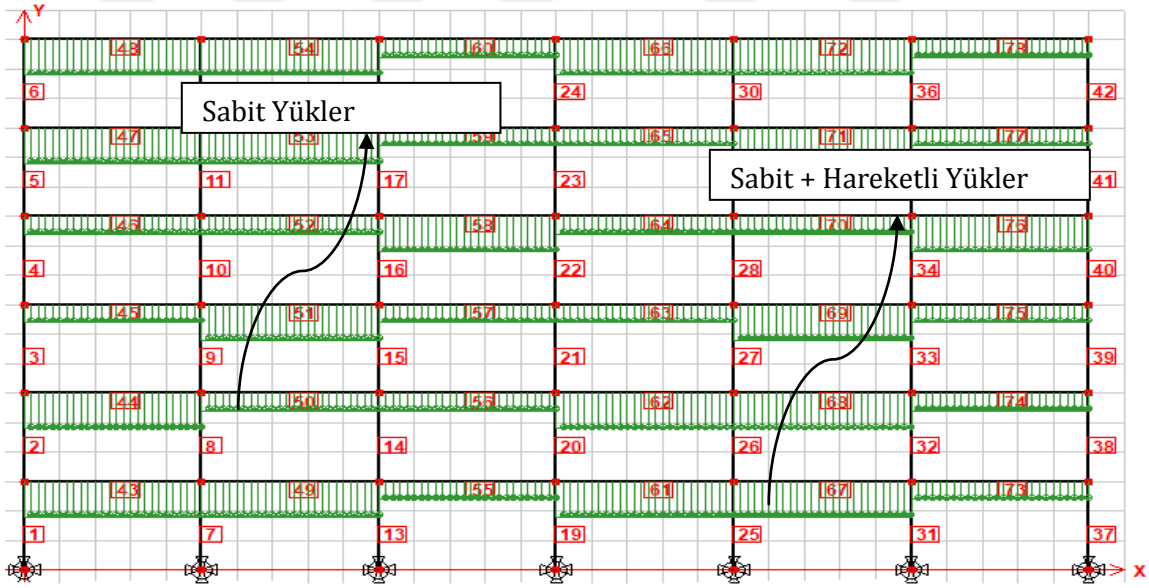
Yapı sistemi üzerinde seçilen 64 numaralı kiriş elemanının sol ve sağ (*i* ve *j*) uçlarında maksimum mesnet momenti kesit tesirlerini oluşturacak hareketli yük düzenlemeleri tespit edilmiş ve aşağıda Şekil 4.8. (a), (b), (c), (d), (e) ve (f)'de ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 6 Açıklıklı 6 katlı düzlem çerçeve

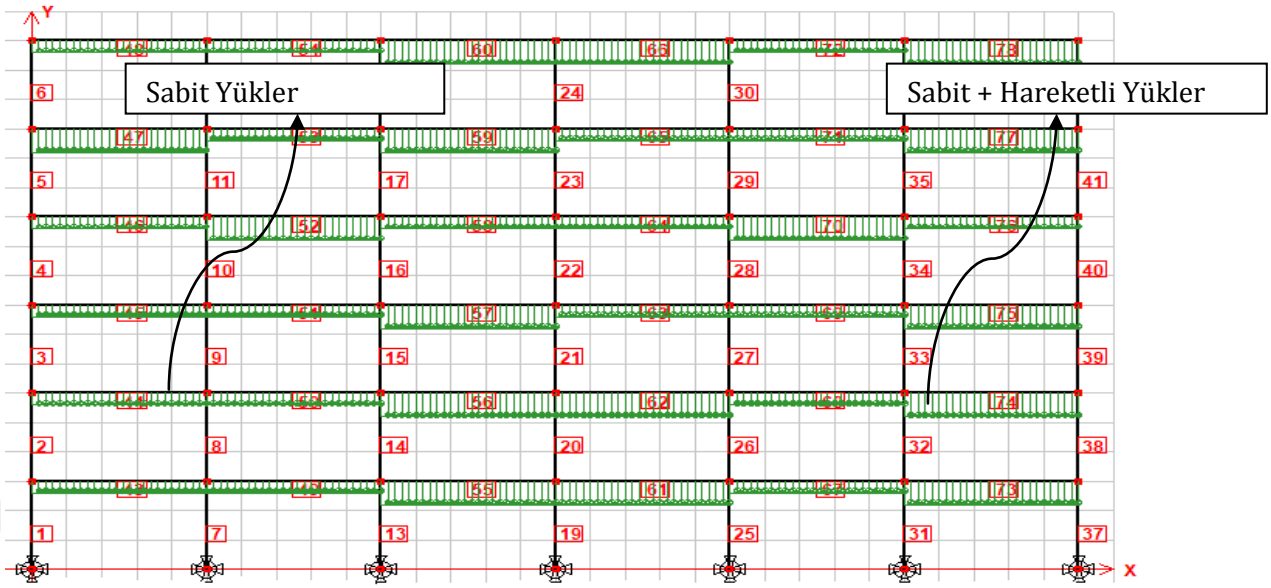


a) Tüm kolon/kiriş eleman ebatlarının aynı olduğu (40 x 40 cm) yapı sisteminde 64 numaralı elemanın *i* ucunda Max.Mx elde edebilmek için yapılması gereken hareketli yük düzenlemesi.

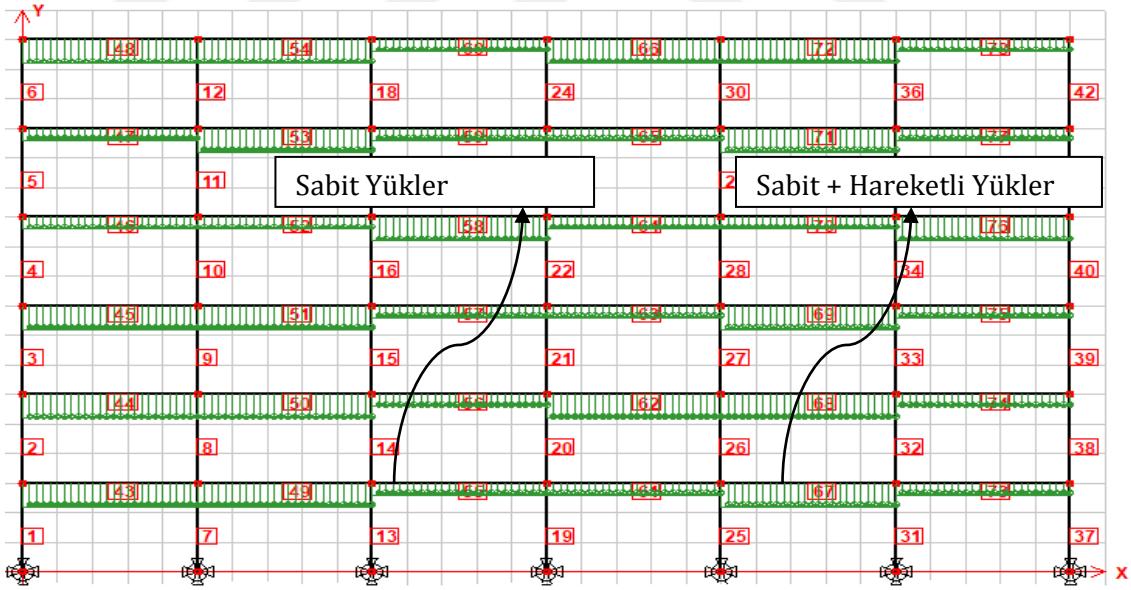


b) Tüm kolon/kiriş eleman ebatlarının aynı olduğu (40 x 40 cm) yapı sisteminde 64 numaralı elemanın *j* ucunda Max.Mx elde edebilmek için yapılması gereken hareketli yük düzenlemesi.

Şekil 4.8. 64 Numaralı kiriş elemanının sol ve sağ (*i* ve *j*) uçlarında maksimum mesnet momenti kesit tesirlerini veren yüklemeler

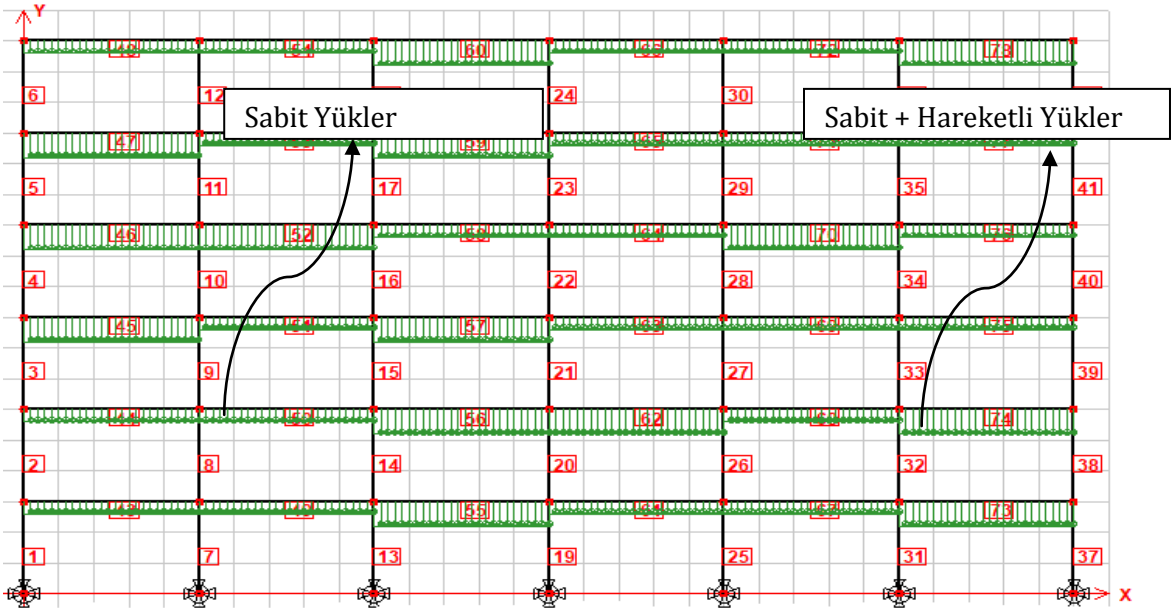


c) Tüm kolon eleman ebatlarının aynı (40 x 40 cm), kiriş elemanlarının birbirinden farklı ebatlarda olduğu yapı sisteminde 64 numaralı elemanın *i* ucunda Max.Mx elde edebilmek için yapılması gereken hareketli yük düzenlemesi.

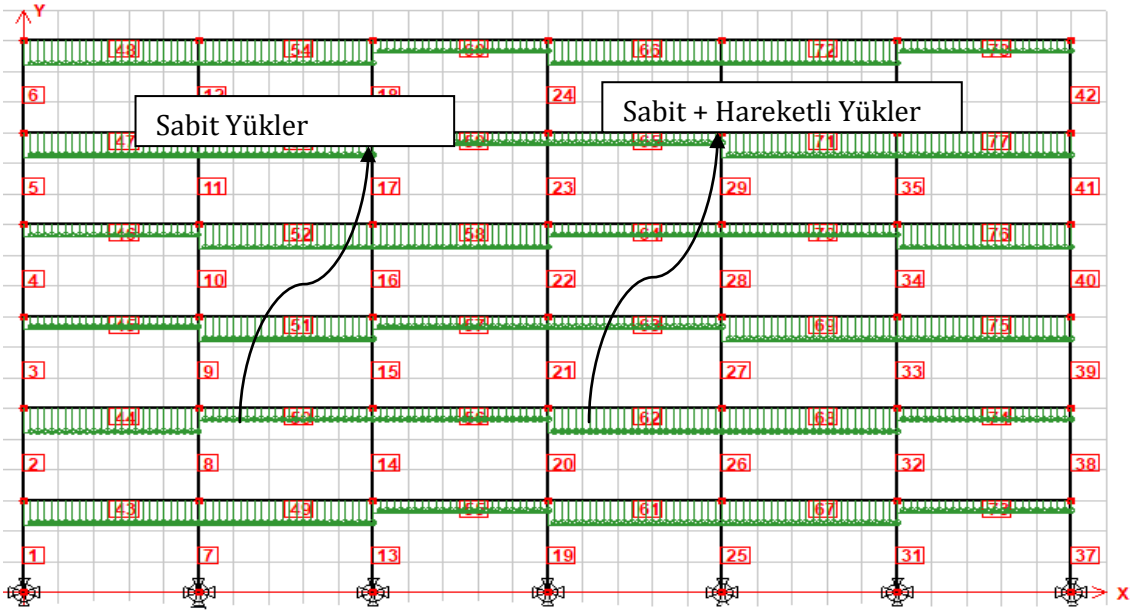


d) Tüm kolon eleman ebatlarının aynı (40 x 40 cm), kiriş elemanlarının birbirinden farklı ebatlarda olduğu yapı sisteminde 64 numaralı elemanın *j* ucunda Max.Mx elde edebilmek için yapılması gereken hareketli yük düzenlemesi.

Şekil 4.8. 64 Numaralı kiriş elemanının sol ve sağ (*i* ve *j*) uçlarında maksimum mesnet momenti kesit tesirlerini veren yüklemeler (devam)



e) Tüm kolon/kiriş elemanlarının birbirinden farklı ebatlarda olduğu yapı sisteminde 64 numaralı elemanın *i* ucunda Max.Mx elde edebilmek için yapılması gereken hareketli yük düzenlemesi.



f) Tüm kolon/kiriş elemanlarının birbirinden farklı ebatlarda olduğu yapı sisteminde 64 numaralı elemanın *j* ucunda Max.Mx elde edebilmek için yapılması gereken hareketli yük düzenlemesi.

Şekil 4.8. 64 Numaralı kiriş elemanının sol ve sağ (*i* ve *j*) uçlarında maksimum mesnet momenti kesit tesirlerini veren yüklemeler (devam)

Sonuç olarak yapılan bu ilave çalışmada yapı taşıyıcı sistemini oluşturan yapı elemanların farklı fiziksel özelliklere (farklı ebatlara) sahip olması en elverişsiz kesit tesirlerini veren hareketli yük düzenlemesinin dağılımını değiştirdiği Şekil 4.8. (a), (b), (c), (d), (e) ve (f)'de (yapılan çözümlemelerden de görüleceği üzere) ortaya çıkmıştır.

İkinci olarak, düzlem çerçeve sistemini oluşturan yapının, hareketli yükler altında, TS 500:2000'e göre depremin söz konusu olduğu durumlarda yapı tasarımı için iki adet yükleme yapılmıştır. Bunlar ;

$$Fd = 1{,}0G + 1{,}0Q \pm 1{,}0E \tag{3.17}$$

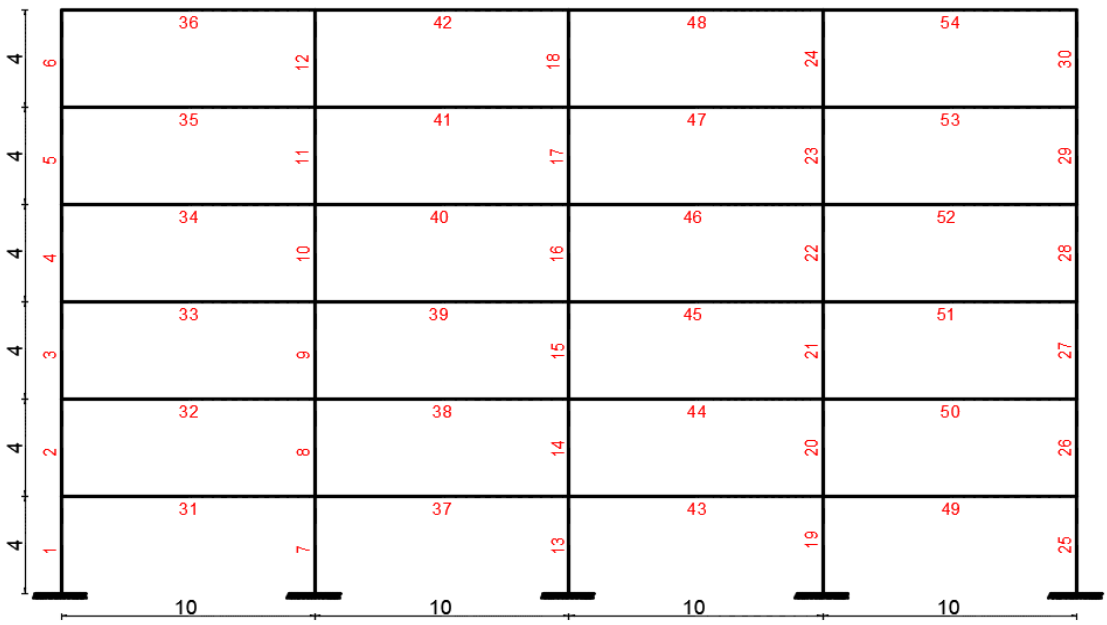
$$Fd = 0{,}9G \pm 1{,}0E \tag{3.18}$$

şeklindedir. Yapı sistemini bu yükleme türleri için öncelikle ayrı ayrı sonrasında tasarım yükü ile yükleyip sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tasarımda, yapıya etkimesi olasılığı bulunan bu yük birleşimlerini bir yapı sistemi üzerinde irdelenecektir. Önce yapı sistemini sabit (G), hareketli (Q) ve deprem yükleri (E) ile ayrı ayrı yüklenecektir. Elde edilen kesit tesirlerini ayrı ayrı hesap edip yukarıda verilen formüllerde yerine yazarak süperpoze edip, yapı tasarımı için istenilen yük değeri bulunacaktır. Daha sonrasında kesit tesirlerinin hesap işlemini direkt yapı tasarımında kullanılan yük değeri (Fd) üzerinden hesaplayıp, kıyaslama yapılacaktır.

Bunun için;

Şekil 4.9'de görülen çerçeve 4 açıklıklı ve 6 katlıdır. Tüm kolon ve kiriş kesitleri 40x50 cm boyutlarındadır. Buna göre tüm kesitler için kesit alanı A=0,20 m², atalet momenti I=0,004167 m^4 tür. Elastisite modülü E= 20 x 10^6 kN/m² ve Poisson oranı $\nu = 0{,}20$ olarak alınmıştır. Yapıya etki eden ölü yük G = 20 kN/m ve hareketli yük ise Q = 15 kN/m ve deprem yükü E = 10 kN/m olup, tüm kirişlere etki etmektedir.



Şekil 4.9. 4 Açıklıklı, 6 katlı düzlem çerçeve

Yapı sistemini önce sabit (G), hareketli (Q) ve deprem yükleri (E) ile ayrı ayrı yüklersek Çizelge 4.1'de verilen kesit tesir değerleri bulunur. Bulunan kesit tesirlerinin (3.17) ve (3.18) formüllerinde yerine konularak yapılan süperpoze sonucunda Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3'de ki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 4.1. Kesit tesirleri

G=-20, Q=-15, E=10 Alınır ve Ayrı Ayrı Yüklenirse													
Çubuk Nu.		Sabit Yük(-20) ile Yükleme			Hareketli Yük(-15) ile Yükleme						Deprem Yükü (10) ile Yükleme		
		Max.M	Max.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)	Max.M	Min.M	Max.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)	Min.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)	Max.M	Max.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)
32	Sol (*i*)	-152.706	88.40543	*X=4.91003*	9.41548	-123.945	78.01173	*X=5.0628*	-11.7384	*X=5*	114.731	3.224	*X=5*
	Sağ (*j*)	-170.644			14.28847	-142.2715					-108.283		
39	Sol (*i*)	-166.7501	83.27277	*X=5.0002*	21.10385	-146.1664	79.7867	*X=5.01299*	-17.3309	*X=5*	83.2673	-0.11786	*X=5*
	Sağ (*j*)	-166.7044			21.4676	-146.4959					-83.50307		
46	Sol (*i*)	-166.5789	83.19318	*X=4.9977*	21.2831	-146.2174	80.1316	*X=4.98931*	-17.7359	*X=5*	60.45516	0.07475	*X=5*
	Sağ (*j*)	-167.0348			21.0078	-146.284					-60.30566		
53	Sol (*i*)	-165.7288	87.05635	*X=5.02777*	18.89407	-143.1907	79.5907	*X=4.88151*	-14.199	*X=5*	38.3937	-1.05427	*X=5*
	Sağ (*j*)	-160.1744			8.8939	-129.0243					-40.50229		

Çizelge 4.2. F = 1,0G + 1,0Q ± 1,0E Süperpoze değerleri

		Fs1p=1.0 G + 1.0 Q + 1.0 E				Fs1n=1.0 G + 1.0 Q - 1.0 E			
Çubuk Nu.		Max.M	Min.M	Max.Maç.	Min.Maç.	Max.M	Min.M	Max.Maç.	Min.Maç.
32	Sol (*i*)	-28.55952	-161.92	169.64116	79.89103	-258.02152	-391.382	163.19316	73.44303
	Sağ (*j*)	-264.63853	-421.1985			-48.07253	-204.6325		
39	Sol (*i*)	-62.37895	-229.6492	162.94161	65.82401	-228.91355	-396.1838	163.17733	66.05973
	Sağ (*j*)	-228.73987	-396.70337			-61.73373	-229.69723		
46	Sol (*i*)	-84.84064	-252.34114	163.39953	65.53203	-205.75096	-373.25146	163.25003	65.38253
	Sağ (*j*)	-206.33266	-373.62446			-85.72134	-253.01314		
53	Sol (*i*)	-108.44103	-270.5258	165.59278	71.80308	-185.22843	-347.3132	167.70132	73.91162
	Sağ (*j*)	-191.78279	-329.70099			-110.77821	-248.69641		

Çizelge 4.3. F = 0,9G ± 1,0E Süperpoze değerleri

		Fs2p=0.9 G + 1.0 E		Fs2n=0.9 G - 1.0 E	
Çubuk Nu.		Max.M	Max.Maç.	Max.M	Max.Maç.
32	Sol (*i*)	-22.7044	82.788887	-252.1664	76.340887
	Sağ (*j*)	-261.8626		-45.2966	
39	Sol (*i*)	-66.80779	74.827633	-233.34239	75.063353
	Sağ (*j*)	-233.53703		-66.53089	
46	Sol (*i*)	-89.46585	74.948612	-210.37617	74.799112
	Sağ (*j*)	-210.63698		-90.02566	
53	Sol (*i*)	-110.76222	77.296445	-187.54962	79.404985
	Sağ (*j*)	-184.65925		-103.65467	

Burada; Fs1p, Fs1n, Fs2p ve Fs2n değerleri bulunmuştur. Bu ifadelerde geçen;

Fs, Fd: Tasarım hesap dayanımını,

1 : Bir nolu formülasyonu (F = 1,0G + 1,0Q ± 1,0E)

2 : İki nolu formülasyonu (F = 0,9G ± 1,0E)

p : pozitif yüklemeyi

n : Negatif yüklemeyi temsil etmektedir.

Yapı sistemi daha sonra (3.17) ve (3.18) formüllerinde verilen tasarım hesap yükleri ile direkt yüklenirse Çizelge 4.4. ve Çizelge 4.5'de verilen kesit tesir değerleri direkt hesaplanmış olur.

Çizelge 4.4. F = 1,0G + 1,0Q ± 1,0E Direkt yükleme değerleri

		G=-20, Q=-15, E=10 iken						G=-20, Q=-15, E=10 iken					
		Fd1p=1.0 G + 1.0 Q + 1.0 E						Fd1n=1.0 G + 1.0 Q - 1.0 E					
Çubuk Nu.		Max.M	Min.M	Max.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)	Min.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)	Max.M	Min.M	Max.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)	Min.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)
32	Sol (*i*)	-28.5595	-161.92	177.3338	*X=4.32843*	96.82204	*X=3.70234*	-258.022	-391.382	169.768	*X=5.62282*	81.45045	*X=5.89354*
	Sağ (*j*)	-264.639	-421.199					-48.0725	-204.633				
39	Sol (*i*)	-62.3789	-229.649	166.845	*X=4.52269*	72.82497	*X=4.1682*	-228.914	-396.184	167.2449	*X=5.48218*	72.78839	*X=5.81387*
	Sağ (*j*)	-228.74	-396.703					-61.7337	-229.697				
46	Sol (*i*)	-84.8406	-252.341	165.5535	*X=4.64908*	69.12936	*X=4.40021*	-205.751	-373.252	165.262	*X=5.33915*	69.07699	*X=5.60782*
	Sağ (*j*)	-206.333	-373.624					-85.7213	-253.013				
53	Sol (*i*)	-108.441	-270.526	166.6728	*X=43747*	72.45338	*X=4.74369*	-185.228	-347.313	168.2242	*X=5.19767*	76.64973	*X=5.5194*
	Sağ (*j*)	-191.782	-329.701					-110.778	-248.696				

Çizelge 4.5. F = 0,9G ± 1,0E Direkt yükleme değerleri

		G=-20, Q=-15, E=10 iken						G=-20, Q=-15, E=10 iken					
		Fd2p=0.9 G + 1.0 E						Fd2n=0.9 G - 1.0 E					
Çubuk Nu.		Max.M	MinM	Max.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)	Min. Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)	Max.M	MinM	Max.Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)	Min. Maç.	Açıklık Momentinin Yeri X (m)
32	Sol (*i*)	-22.7044	aynı	98.60445	*X=3.67134*	aynı	aynı	-252.1664	aynı	88.15604	*X=6.14927*	aynı	aynı
	Sağ (*j*)	-261.863	aynı					-45.29656	aynı				
39	Sol (*i*)	-66.8077	aynı	82.54947	*X=4.07372*	aynı	aynı	-233.3424	aynı	82.79282	*X=5.92673*	aynı	aynı
	Sağ (*j*)	-223.537	aynı					-66.53087	aynı				
46	Sol (*i*)	-89.4659	aynı	79.02702	*X=4.32682*	aynı	aynı	-210.3762	aynı	78.82246	*X=5.66861*	aynı	aynı
	Sağ (*j*)	-210.637	aynı					-90.02567	aynı				
53	Sol (*i*)	-110.762	aynı	78.80637	*X=4.58946*	aynı	aynı	-187.5496	aynı	81.35316	*X=5.46608*	aynı	aynı
	Sağ (*j*)	-184.659	aynı					-103.6543	aynı				

Yapı sistemi üzerine ayrı ayrı yapılan yüklemeler ve bunların süperpozisyonu sonucu elde edilen kesit tesirleri ile yapı sisteminin direkt yüklenmesi ile elde edilen kesit tesirleri aşağıda gösterilen Çizelge 4.6'da kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.6. Kıyaslama tablosu

		Fs1p/Fd1p				Fs1n/Fd1n				Fs2p/Fs2p		Fs2n/Fs2n	
Çubuk Nu.		Max.M	Min.M	Max.Maç.	Min.Maç.	Max.M	Min.M	Max.Maç.	Min.Maç.	Max.M	Max.Maç.	Max.M	Max.Maç.
32	Sol (*i*)	1.000002	1.000001	0.956621	0.825133	1.000000	1.000000	0.96127162	0.90168968	1.000002	0.839606	1.000000	0.865975
	Sağ (*j*)	1.000000	1.000000			1.000001	1.000000			1.000000		1.000001	
39	Sol (*i*)	1.000001	1.000000	0.976605	0.903866	1.000000	1.000000	0.97567896	0.90755861	1.000001	0.906458	1.000000	0.906641
	Sağ (*j*)	1.000000	1.000000			1.000000	1.000000			1.044735		1.000000	
46	Sol (*i*)	1.000000	1.000000	0.986989	0.947962	1.000000	1.000000	0.98782557	0.94651678	1.000000	0.948392	1.000000	0.948957
	Sağ (*j*)	1.000000	1.000000			1.000000	1.000000			1.000000		1.000000	
53	Sol (*i*)	1.000001	1.000000	0.993520	0.991025	1.000000	1.000000	0.99689177	0.96427763	1.000001	0.98084	1.000000	0.976053
	Sağ (*j*)	1.000002	1.000001			1.000004	1.000002			1.000002		1.000004	

Yapılan bu karşılaştırmada, belirli çubuk numaralarına sahip elemanların mesnet reaksiyonlarının (maksimum ve minimum mesnet momentleri) her iki durumda da aynı çıktığı tespit edilmiş, ancak açıklıkta oluşan reaksiyonlarının (maksimum ve minimum açıklık momentleri) belirli bir oran sınırında değiştiği gözlenmiştir. Bu durumların sebebi olarak;

- Mesnet reaksiyonlarının meydana geldiği yer, düşey ve yatay yükler altında değişmemekte (x=0 m ve x=10 m) ve sonuç olarak iki hesaplamada da aynı değerler çıkmaktadır.
- Kiriş açıklıklarında oluşan reaksiyonların yeri ise, yapılan düşey ve yatay yüklemeler sonucunda elde edilen maksimum (veya minimum) açıklık moment değerinin bulunduğu yerler farklı noktalar olarak bulunmaktadır. Dolayısıyla bu şekilde

yapılacak olan süperpoze işlemi ile kesin sonuca ulaşılması mümkün değildir. Belirli bir hata payı ile işlem yapılmış olur.

Bu duruma örnek verilecek olursa, 32 no'lu elemanın i ucunda olaşan maksimum açıklık momentinin (Max.Maç.) yeri,

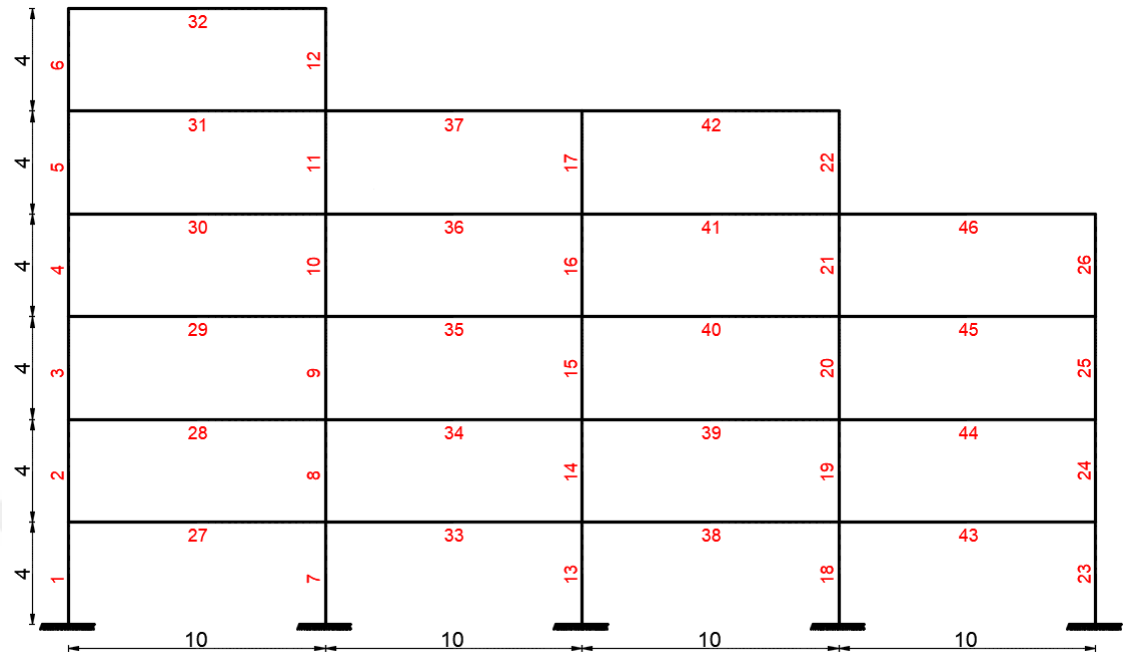
- Ayrı ayrı yapılan hesaplamalarda;
  Sabit Yükler altında (G) : X = 4,91003 m
  Hareketli Yükler altında (Q) : X = 5,628 m
  Deprem Yükleri Altında (E) : X = 5,0 m şeklinde,

- Tasarım hesap yükü ile yaplan hesaplamada;
  1,0G + 1,0Q + 1,0E : X = 4,32843 m
  1,0G + 1,0Q - 1,0E : X = 5,62282 m
  0,9G + 1,0E : X = 3,67134 m
  0,9G - 1,0E : X = 6,14927 m

şeklinde olduğu görülmektedir.

Yapılan bu iki ilave çalışmadan sonra literatürde daha önce çözülmüş olan (Döven M.S., Saraçoğlu M.H., Kaymak B., Bayer M.T.,2011 tarafından) bir problemin üzerinden hareket edilerek, önceki çalışmada bulunan sonuçlar ile bu çalışmada bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.10'da gösterilen çerçeve 4 açıklıklı ve 6 katlıdır. Tüm kolon ve kiriş kesitleri 30x50 cm boyutlarındadır. Buna göre tüm kesitler için kesit alanı A=0,15 m², atalet momenti I=0,003125 m^4 tür. Elastisite modülü E= 20 x 10^6 kN/m² ve poisson oranı $v = 0{,}20$ olarak alınmıştır. Yapıya etki eden ölü yük g = 7,5 kN/m ve hareketli yük ise q = 7,5 kN/m olup tüm kirişlere etki etmektedir.



Şekil 4.10. Çok Katlı Çerçeve

Düzlem çerçeve ile ilgili literatürde daha önce çözülmüş olan bu problem bilgisayar programı ile yeniden çözüldüğünde, en elverişsiz yükleme durumlarının ve en elverişsiz çubuk tesirlerini veren hareketli yük kombinasyanları bulunmuş ve Çizelge 4.7. (a) ve (b) ile Çizelge 4.8'de literatürdeki sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.7. (a) ve (b)'de verilen sonuçlara ait örneklendirmeler Şekil-4.11/4.16 (a, b ve c)'de, . Çizelge 4.8'de verilen sonuçlara ait örneklendirmeler Şekil-4.17/4.18 (a, b ve c)'de gösterilmektedir. Bu yöntemle yapı, hareketli yük yerleşim kombinasyonlarının yaklaşık değil kesin sonuçları elde edilmiş olur. Böylece tasırımda yaklaşık değerler yerine kesin ve gerçek değerlerin kullanılması sağlanır.

Literatürde çözülmüş olan örnekte verilen moment değerleri ile bu çalışma ile yapılan çözüm sonucunda bulunan moment değerlerinin karşılaştırılmasında;

- Elde edilen mesnet momentlerinin mutlak değerce daha büyük olduğu, yani hareketli yük düzenlemesinin daha elverişsiz kesit tesirleri oluşturduğu,

- Elde edilen açıklık momentlerinin daha önce bulunan değerlere kıyasla nispeten daha büyük olduğu ve daha elverişsiz kesit tesirleri oluşturduğu,

Sonuç olarak yapılan bu kıyaslamalarda bulunan çözümlerin literatür çözümlerine yakın değerlerde bulunduğu ve dolayısıyla elde edilen çözümlerin ve çözüm yollarının doğru olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Çok katlı Çerçeve için Mesnet Momentleri

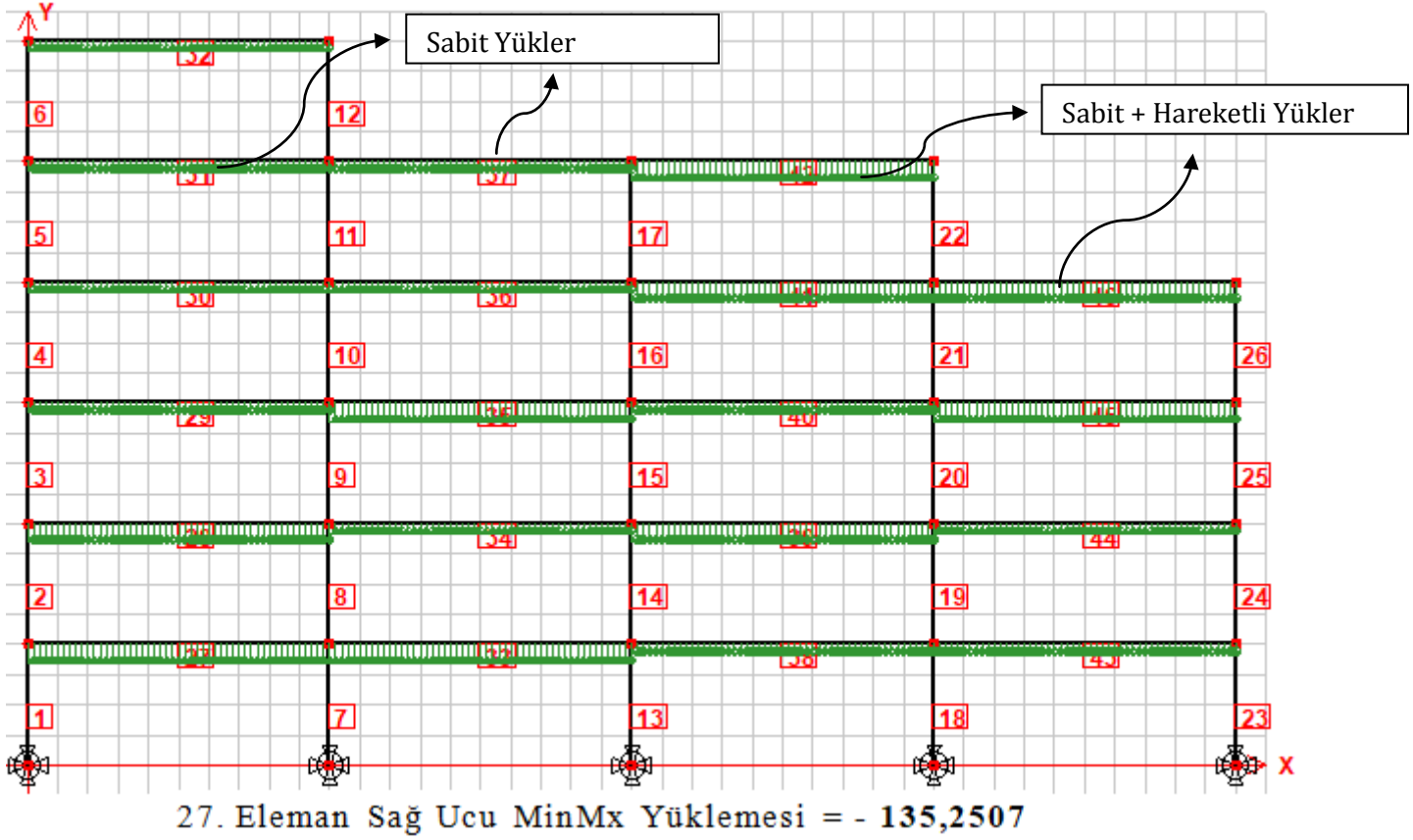
El.Nu.		Bu Çalışma			Döven M.S. , Şaraçoğlu M.H., Kaymak B. , Bayer M.T. (2011)		Aslan vd (2011)	Large (2011)	Furlong (1981) (Kurala Göre Yükleme)		Ersoy (1989) (Kurala Göre Yükleme)	
		Yüklü Kiriş Nu.	(-) Max mesnet M	(-) Min Mesnet M	Yüklü Kiriş Nu.	(-) Max mesnet M	(-) Max mesnet M	(-) Max mesnet	(-) Max mesnet M	(-) Min Mesnet M	(-) Max mesnet M	(-) Min Mesnet M
27	sol		-113,8528	-50,28384					-108,5262	-52,1569	-111,3459	-53,74421
	sağ	27,28,33,35,39,41,42, 45,46	-135,2507	-61,22322	27,28,33,35,39,41,42, 45	-135,2466	-135,2	-131	-132	-64,4151	-134,0253	-72,21047
29	sol	28,29,30,32,33,34,36 37,38,40,42,44,45,46	-120,9215	-53,50407	28,29,30,32,33,34,36, 37,38,40,42,44,45,46	-120,9888	-121	-120,3	-116	-57,11099	-117,7864	-59,94075
	sağ		-133,9831	-55,24874					-127,6461	-61,58566	-128,9253	-69,88501
30	sol		-120,6425	-52,4203					-115,2090	-57,85375	-117,6877	-59,41195
	sağ	29,30,31,36,38,40,43, 44,46	-133,8341	-54,44801	29,30,31,34,36,38,40, 43,44,46	-133,2381	-133,2	-124,2	-125,1	-62,74555	-129,5828	-69,15525
33	sol	27,29,33,34,36,39,40, 41,42,43,44	-133,0542	-55,64458	27,29,33,34,36,39,40, 41,42,43,44	-133,0488	-133	-132,6	-127,8	-60,9275	-128,6643	-70,62231
	sağ		-132,2469	-54,7633					-127,8760	-68,5285	-131,7633	-65,72512
36	sol	28,30,32,33,35,36,37, 45	-136,8075	-52,68132	28,30,32,33,35,36,37, 38,39,40,42,45,46	-137,1313	-137,1	-136,7	-126,3	-63,43405	-131,6029	-70,8416
	sağ		-135,6685	-50,31495					-124,0979	-64,11138	-131,4215	-67,64284

(a)

Çizelge 4.7. Çok katlı Çerçeve için Mesnet Momentleri (devam)

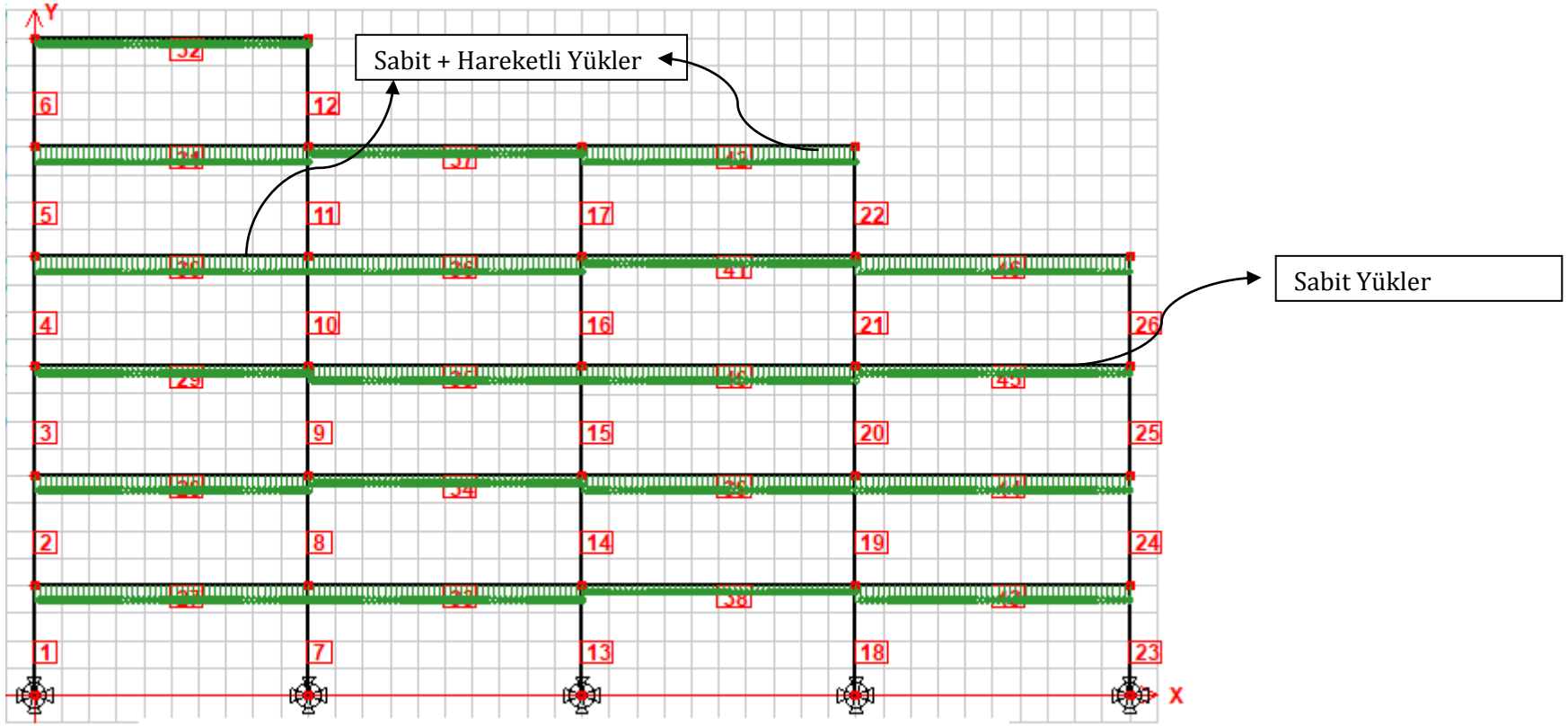
El.Nu.		Bu Çalışma			Döven M.S. , Şaraçoğlu M.H., Kaymak B. , Bayer M.T. (2011)		Aslan vd (2011)	Large (2011)	Furlong (1981) (Kurala Göre Yükleme)		Ersoy (1989) (Kurala Göre Yükleme)	
		Yüklü Kiriş Nu.	(-) Max mesnet M	(-) Min Mesnet M	Yüklü Kiriş Nu.	(-) Max mesnet M	(-) Max mesnet M	(-) Max mesnet	(-) Max mesnet M	(-) Min Mesnet M	(-) Max mesnet M	(-) Min Mesnet M
39	sol		-134,3624	-52,29712					-126,3418	-66,5675	-130,2533	-68,20991
	sağ	27,28,29,33,35,36,37, 38,39,40,42,44,46	-135,5276	-53,44576	27,28,29,33,35,36,37, 38,39,40,42,44,46	-135,6076	-135,6	-135,1	-126,9	-62,0631	-131,6475	-69,69753
41	sol		-132,8348	-47,84467					-123,67	-63,09731	-126,4787	-65.01232
	sağ	30,31,33,34,35,37,38, 40,41,42,44,46	-142,3513	-59,66512	30,31,33,34,35,37,38, 40,41,42,44,46	-142,5095	-142,5	-141,9	-134,8	-67,2067	-136,9330	-79,18024
43	sol		-135,5453	-61,57465					-132,4193	-64,70059	-131,1850	-75,33989
	sağ	27,28,33,35,39,40,41, 42,43,44,46	-113,6195	-50,04971	27,28,33,35,39,40,41, 42,43,44,46	-113,7294	-113,7	-112,8	-111,2	-55,3793	-113,3767	-52,39538
44	sol	30,31,32,33,35,37,39, 43,44,45	-135,5891	-57,77548	30,31,32,33,35,37,39, 41,43,44,45	-135,3849	-135,4	-128,1	-129,5	-63,75576	-130,8261	-72,66834
	sağ		-117,956	-51,63972					-112,3833	-57,21239	-115,5823	-57,20446
46	sol	27,28,32,33,35,37,41, 45,46	-137,7131	-56,4503	27,28,32,33,35,37,39, 41,45,46	-137,0415	-137	-129,8	-128,8	-64,66101	-132,7685	-71,49277
	sağ		-101,8553	-44,37845					-97,21475	-48,42067	-97,16385	-49,58506

(b)



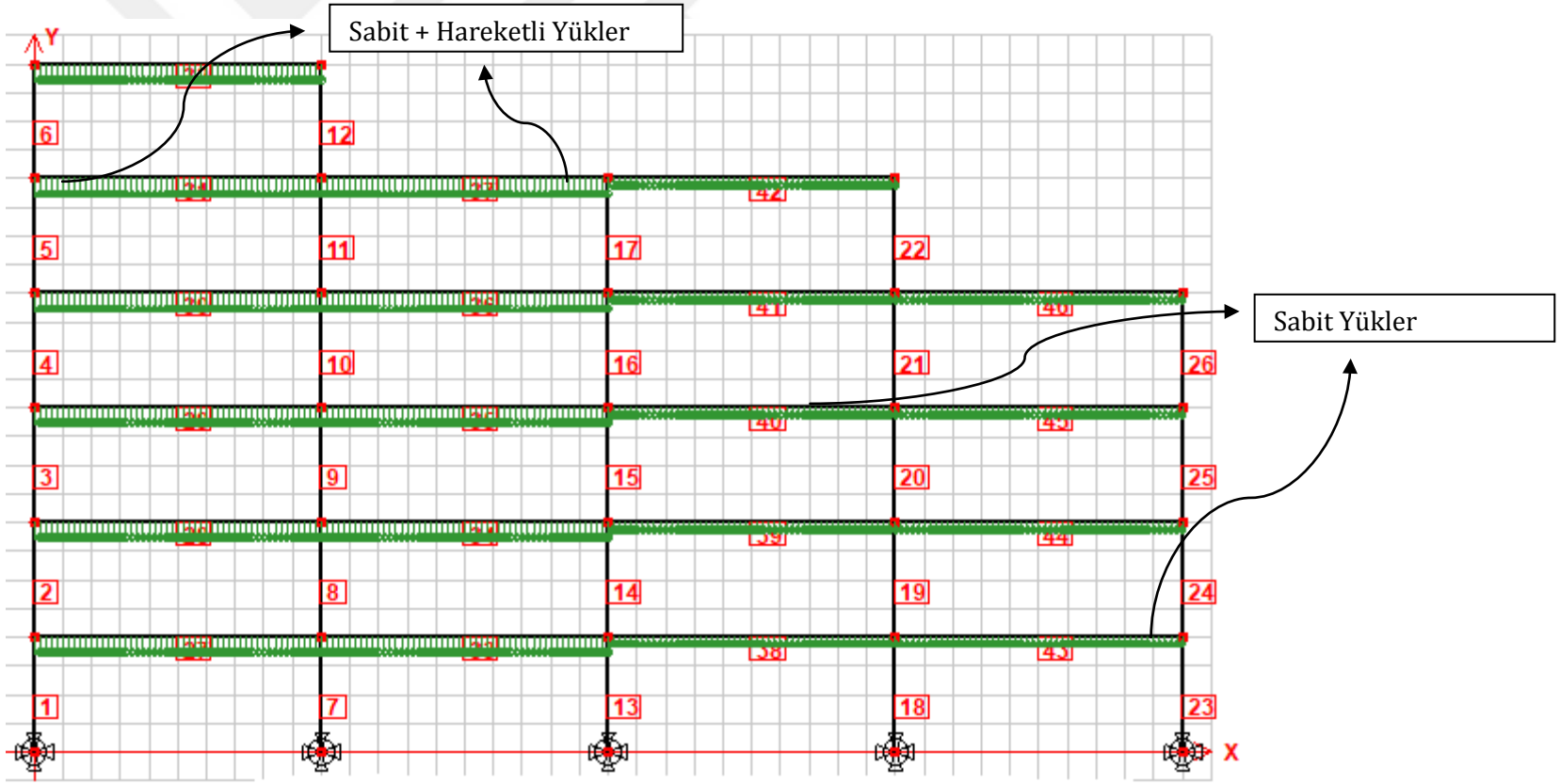
a) Tez konusu yapılan yükleme düzeni

Şekil 4.11. 27 numaralı eleman sağ (*j*) ucu minimum moment yüklemeleri



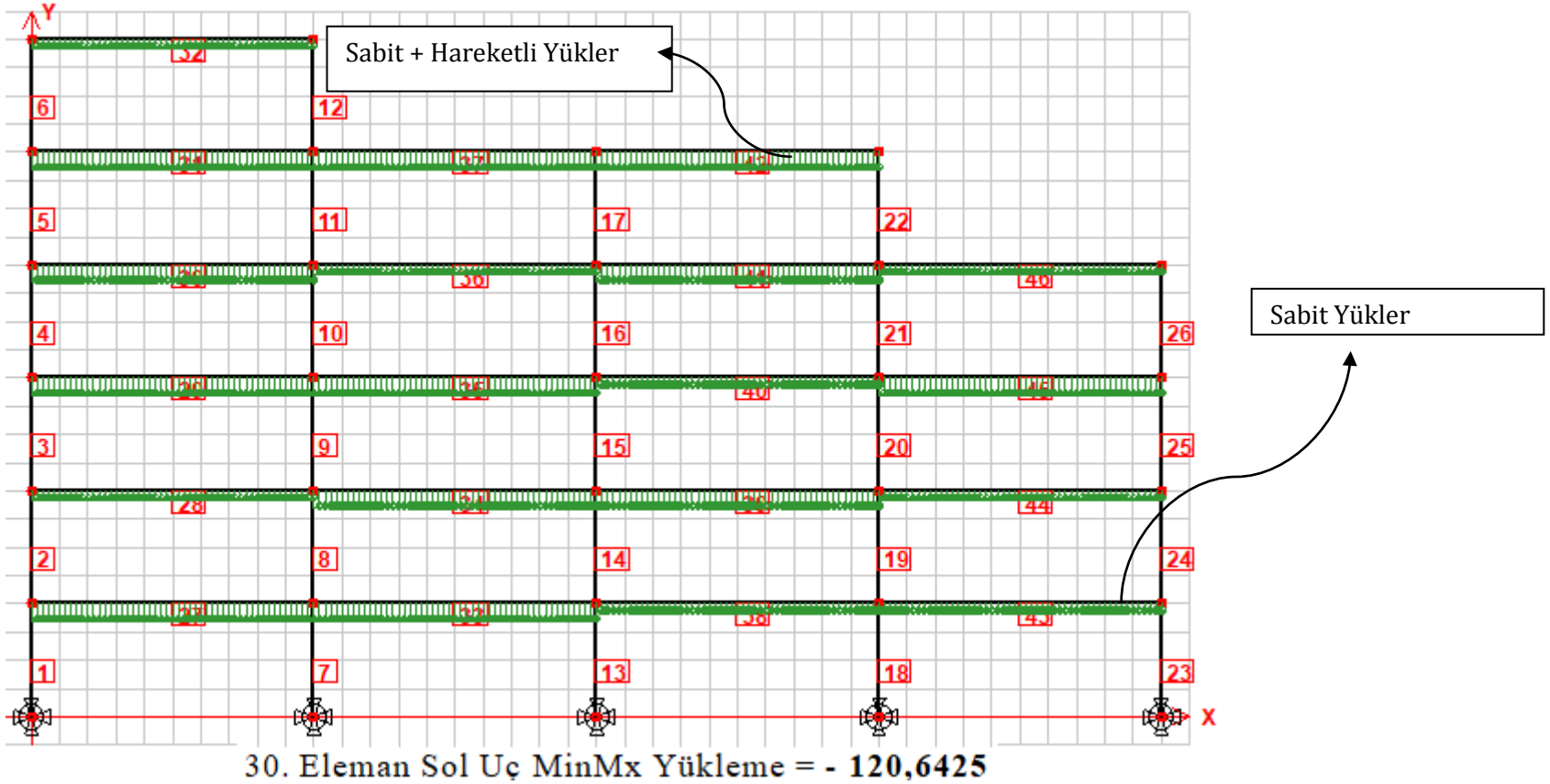
b) Ersoy (1989) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.11. 27 numaralı eleman sağ (*j*) ucu minimum moment yüklemeleri (devam)



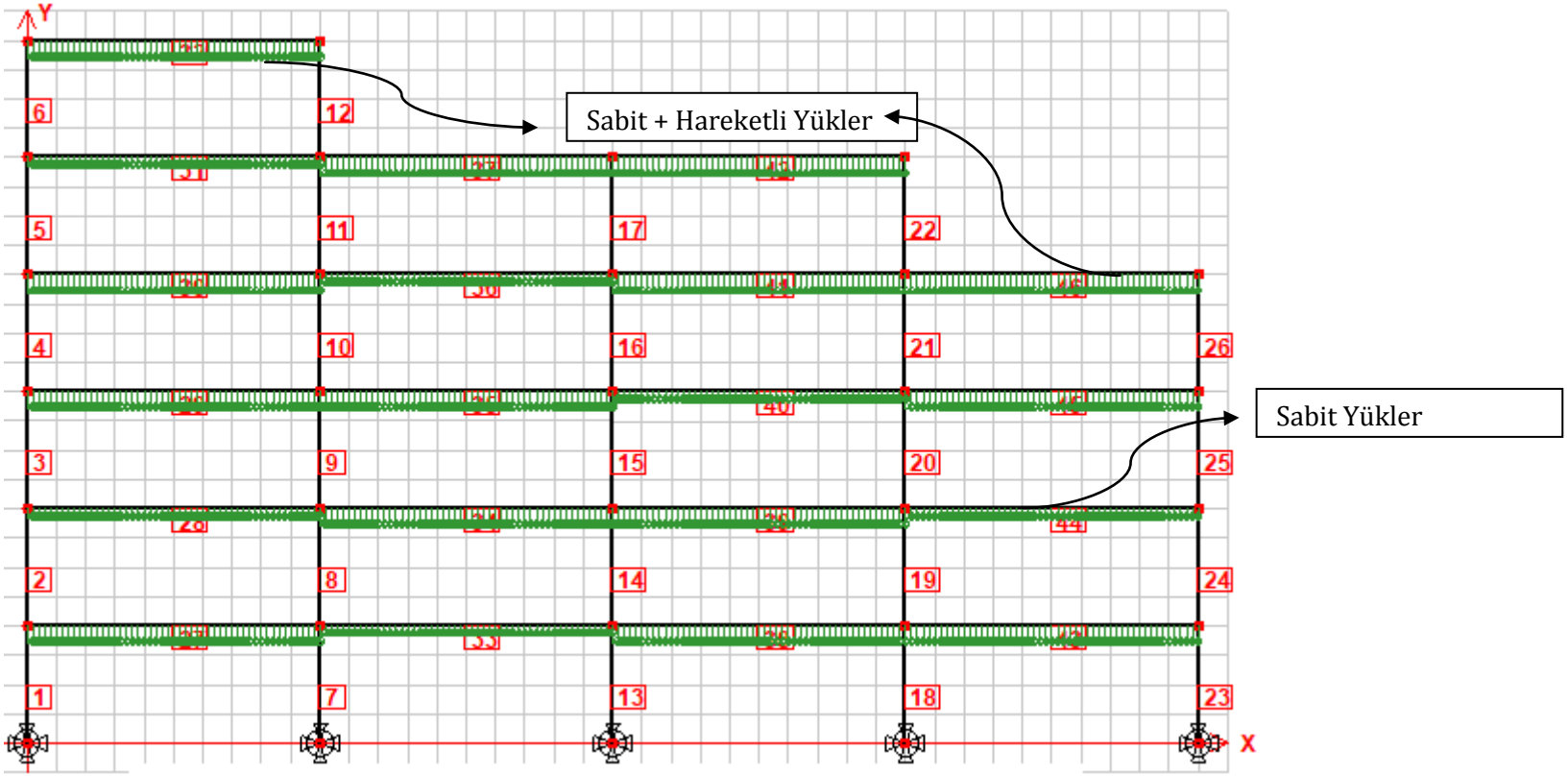
c) Furlong (1981) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.11. 27 numaralı eleman sağ (*j*) ucu minimum moment yüklemeleri (devam)



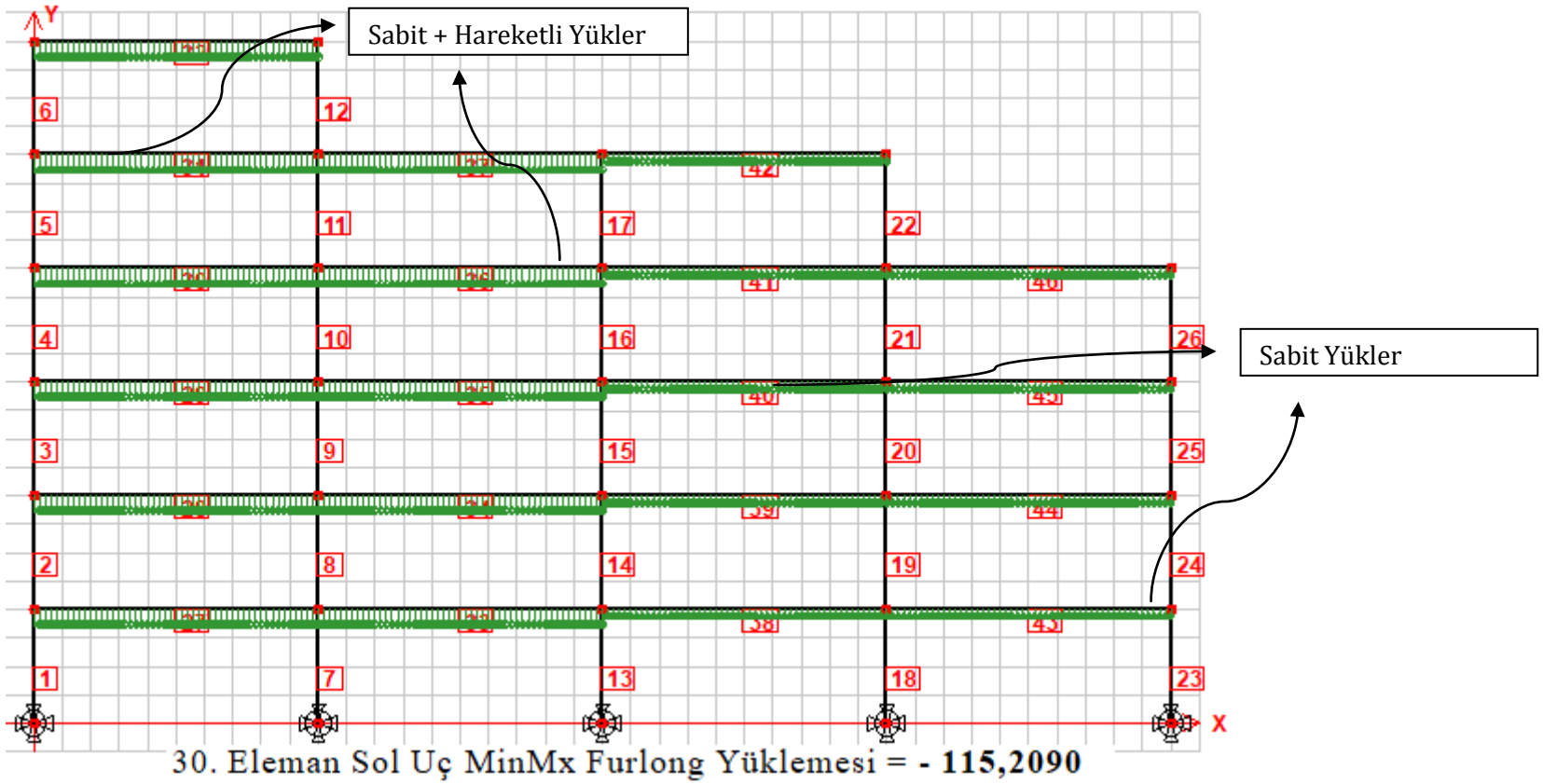
a) Tez konusu yapılan yükleme düzeni

Şekil 4.12. 30 Numaralı eleman sol (*i*) ucu minimum moment yüklemeleri



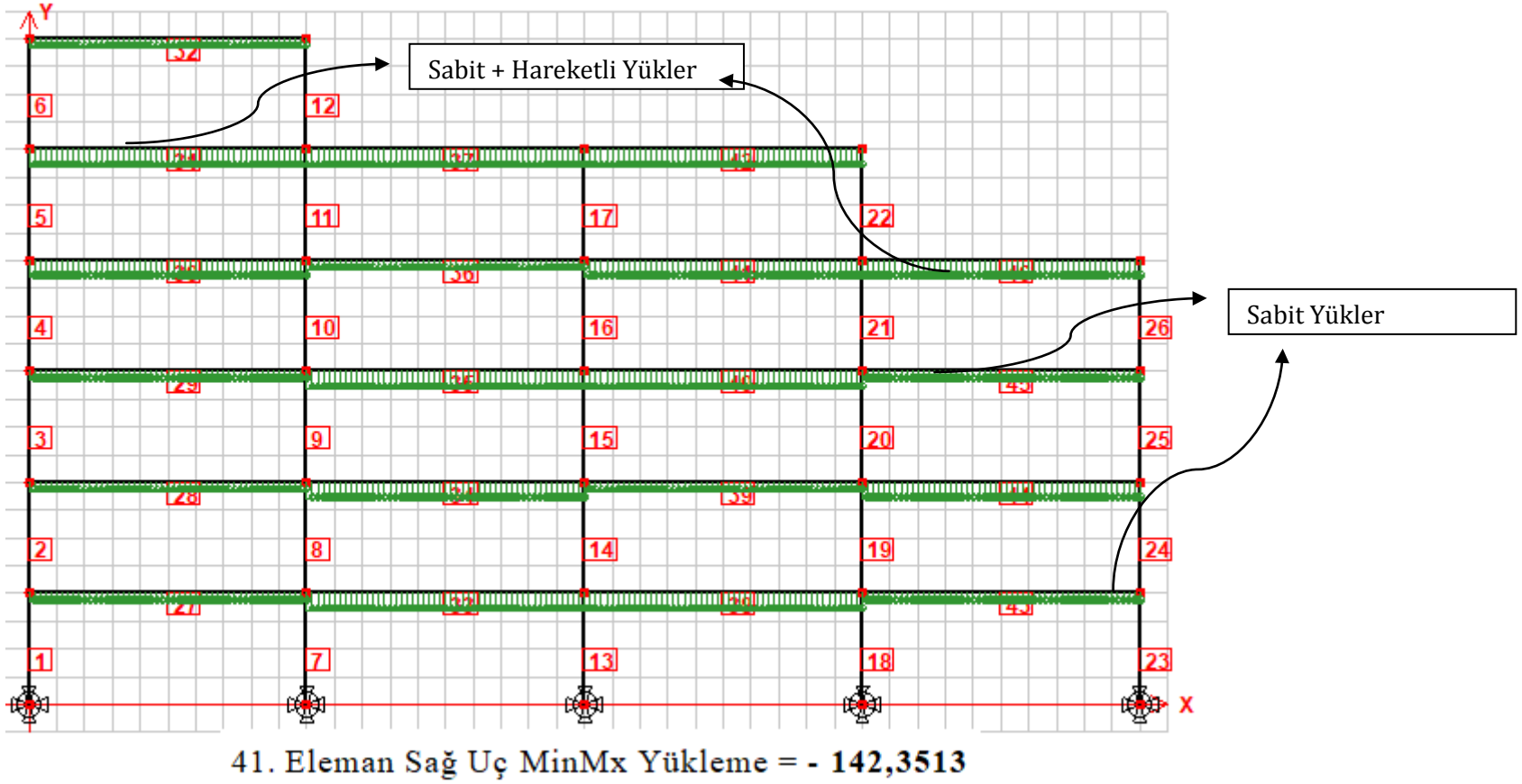
b) Ersoy (1989) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.12. 30 Numaralı eleman sol (*i*) ucu minimum moment yüklemeleri (devam)



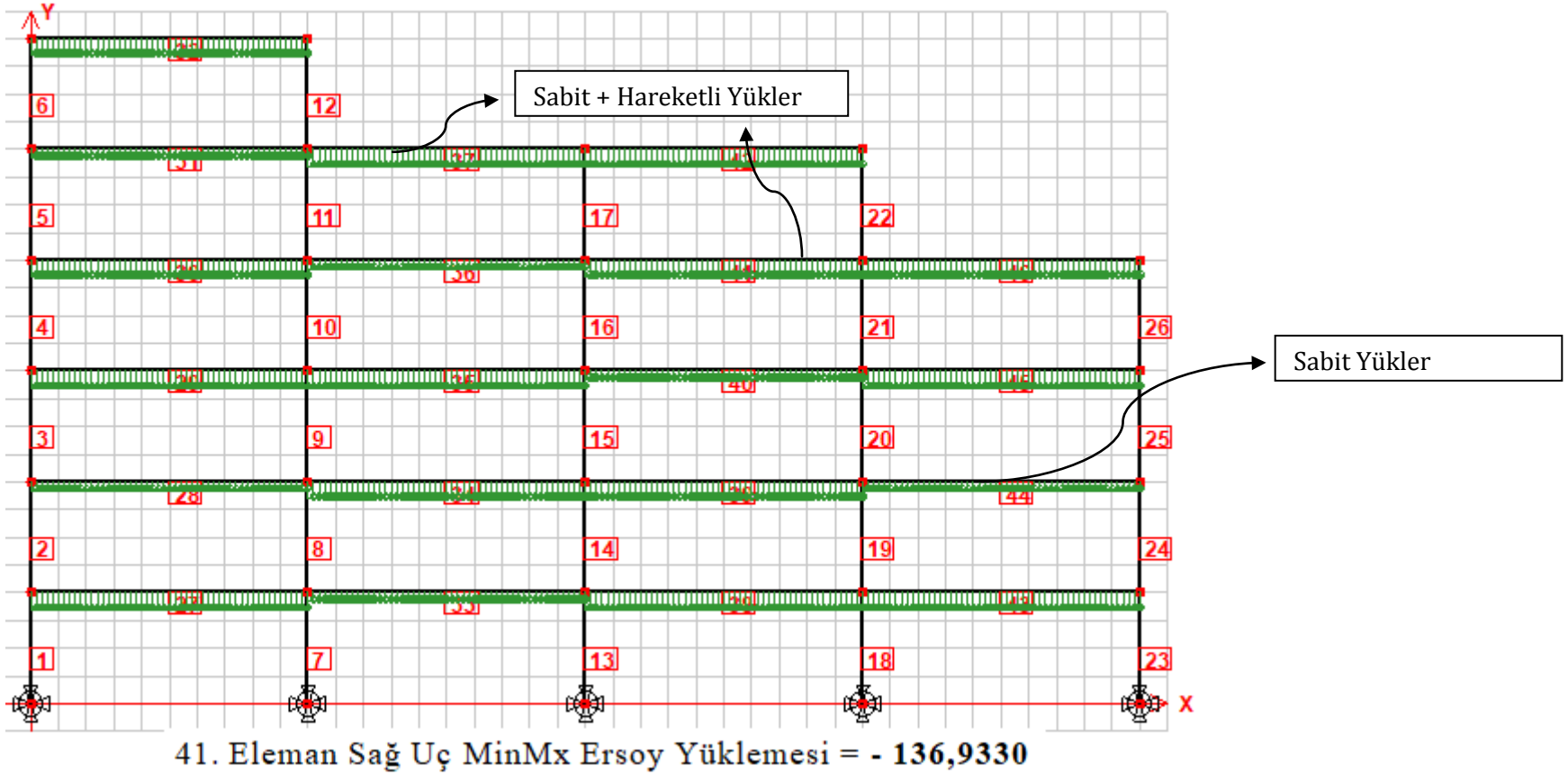
c) Furlong (1981) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.12. 30 Numaralı eleman sol (*i*) ucu minimum moment yüklemeleri (devam)



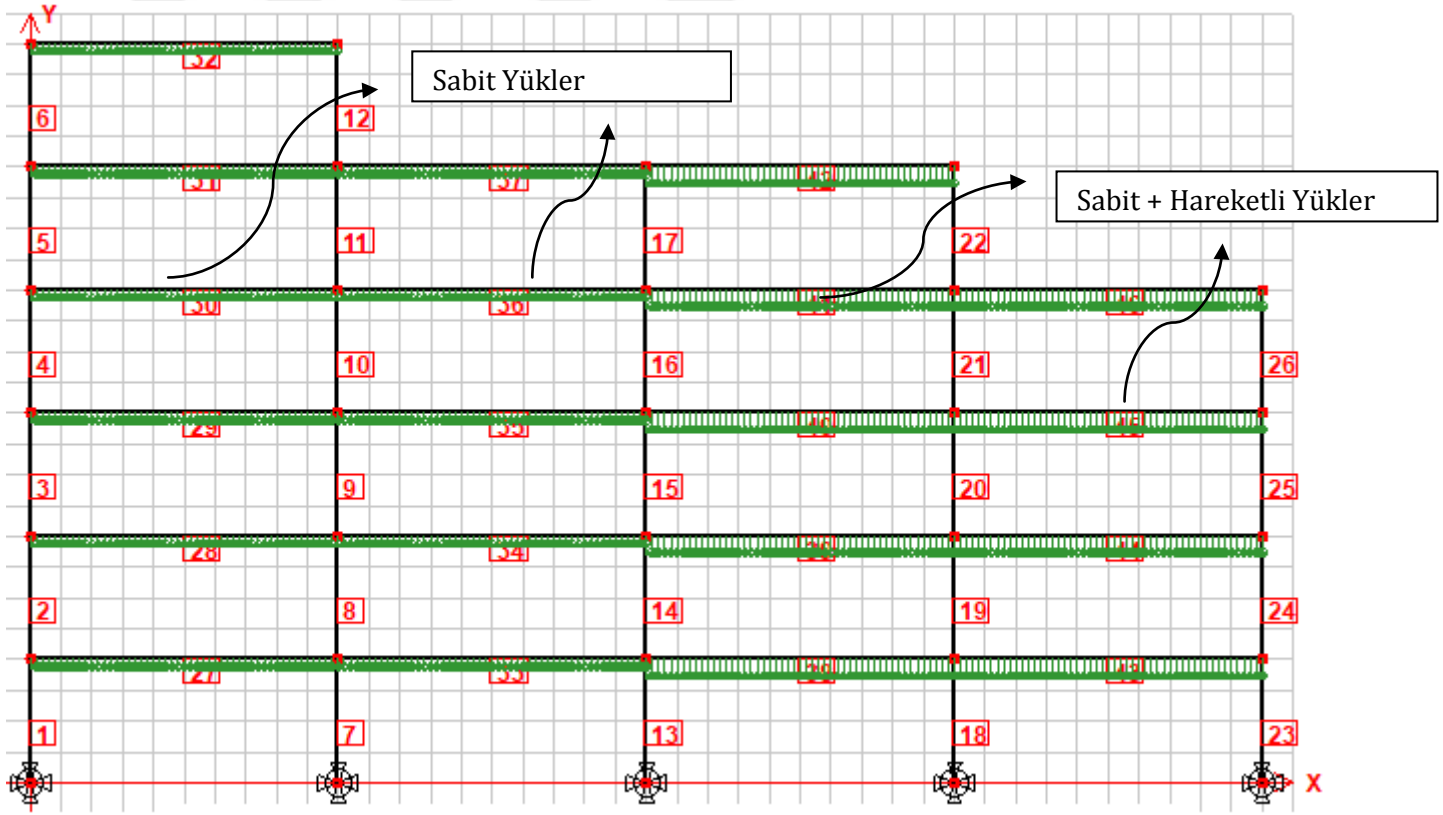
a) Tez konusu yapılan yükleme düzeni

Şekil 4.13. 41 Numaralı eleman sağ (*j*) ucu minimum moment yüklemeleri



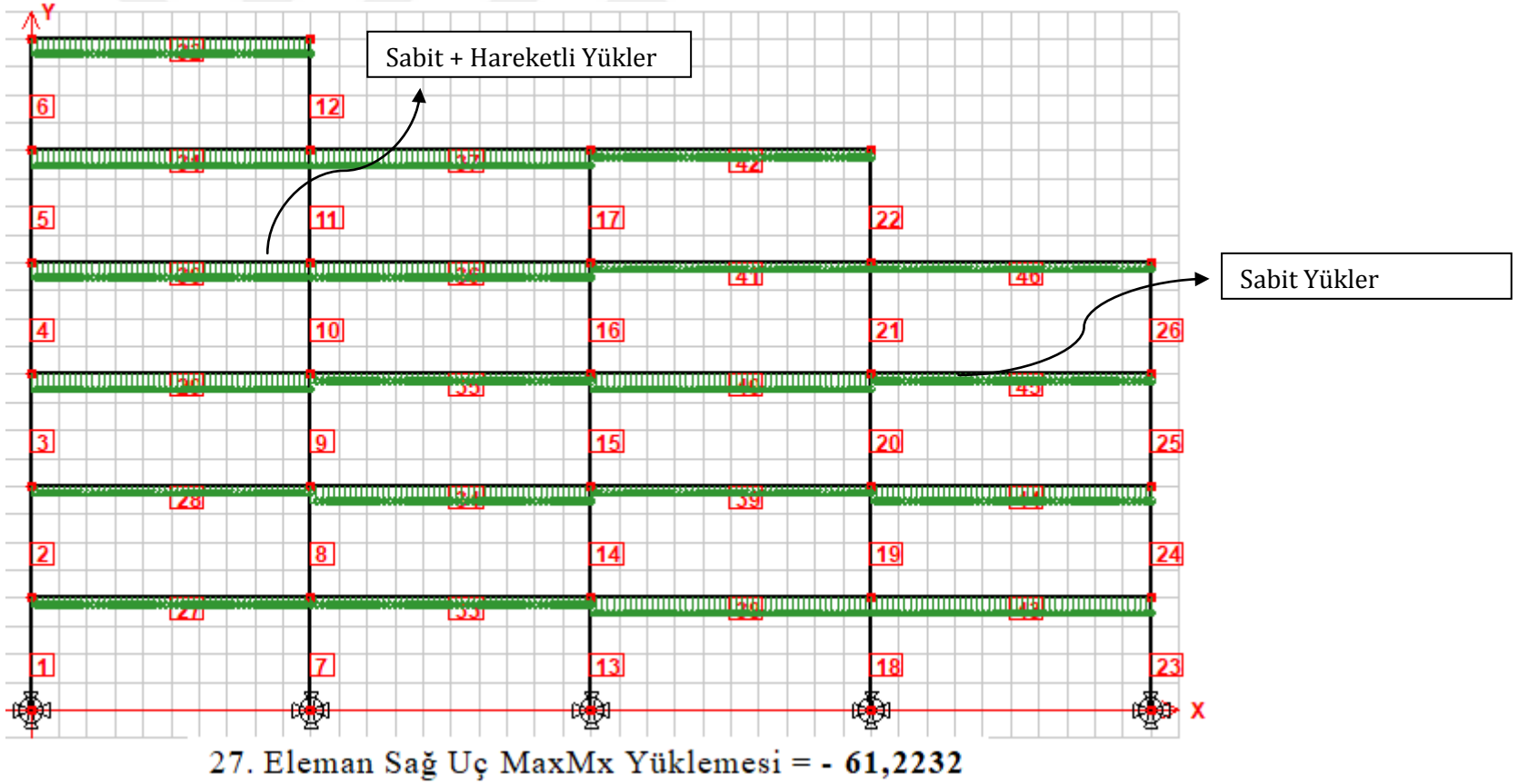
b) Ersoy (1989) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.13. 41 Numaralı eleman sağ (*j*) ucu minimum moment yüklemeleri (devam)



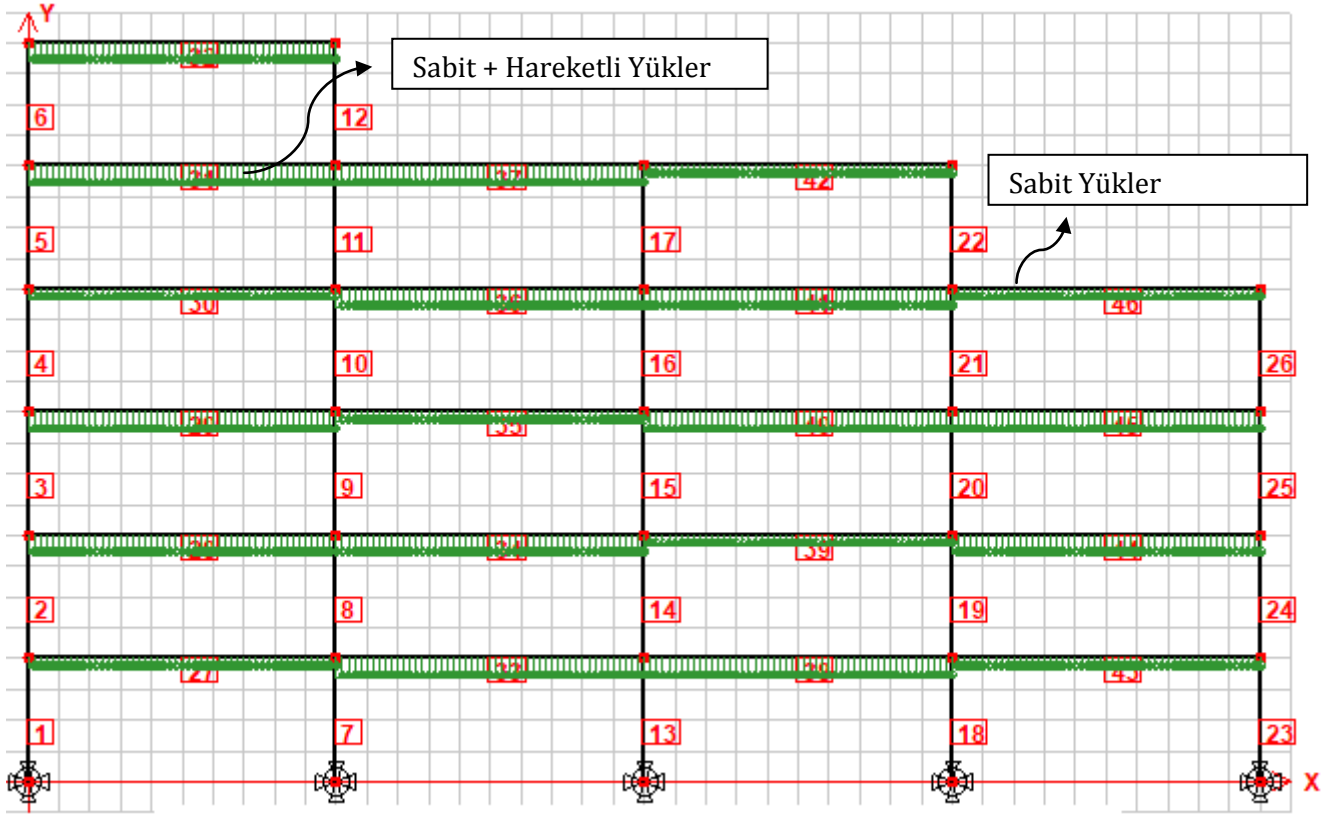
c) Furlong (1981) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.13. 41 Numaralı eleman sağ (*j*) ucu minimum moment yüklemeleri (devam)



a) Tez Konusu Yapılan Yükleme Düzeni

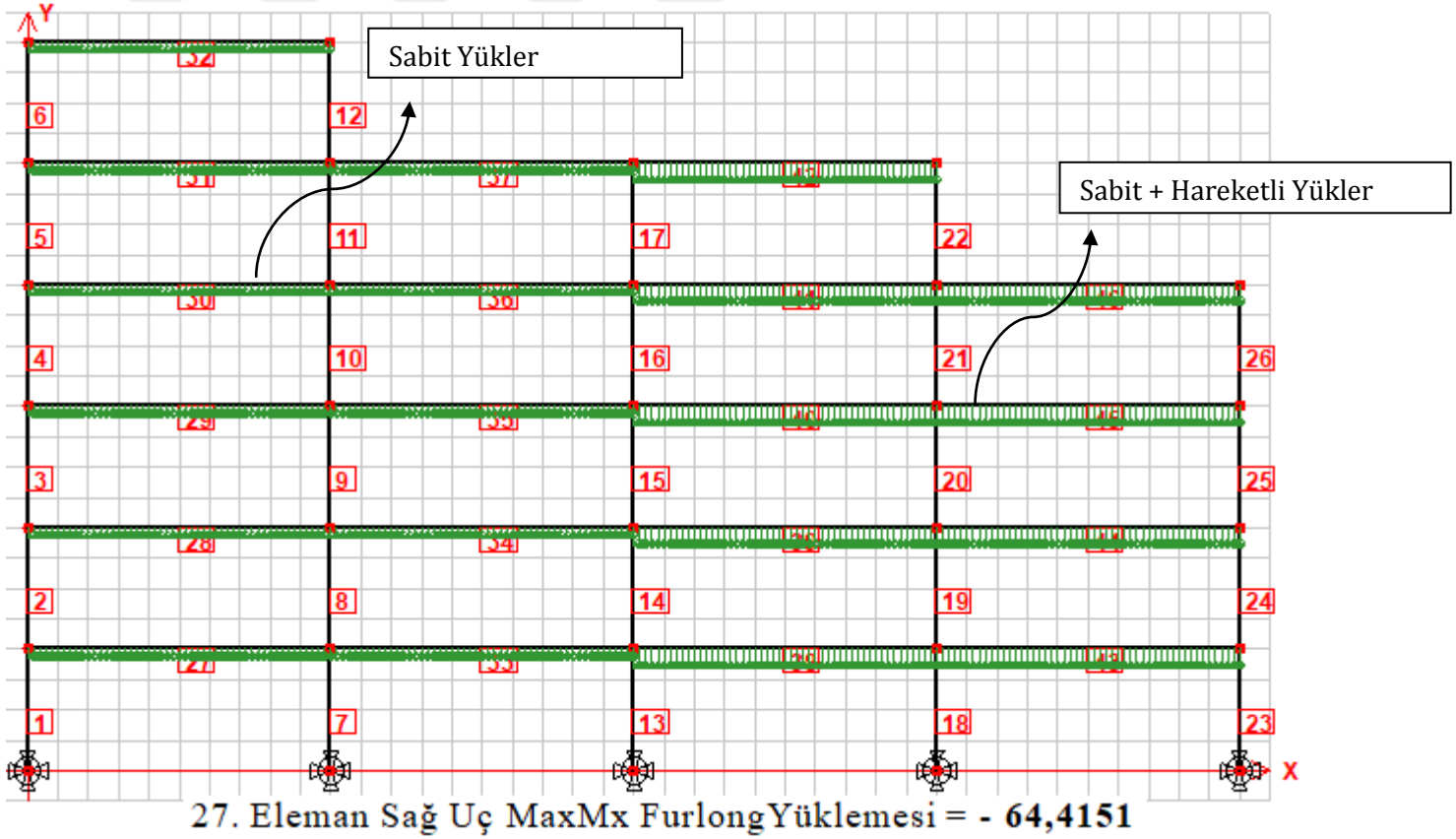
Şekil 4.14. 27 numaralı eleman sağ (*j*) ucu maksimum moment yüklemeleri



27. Eleman Sağ Uç MaxMx Ersoy Yüklemesi = - 72,2105

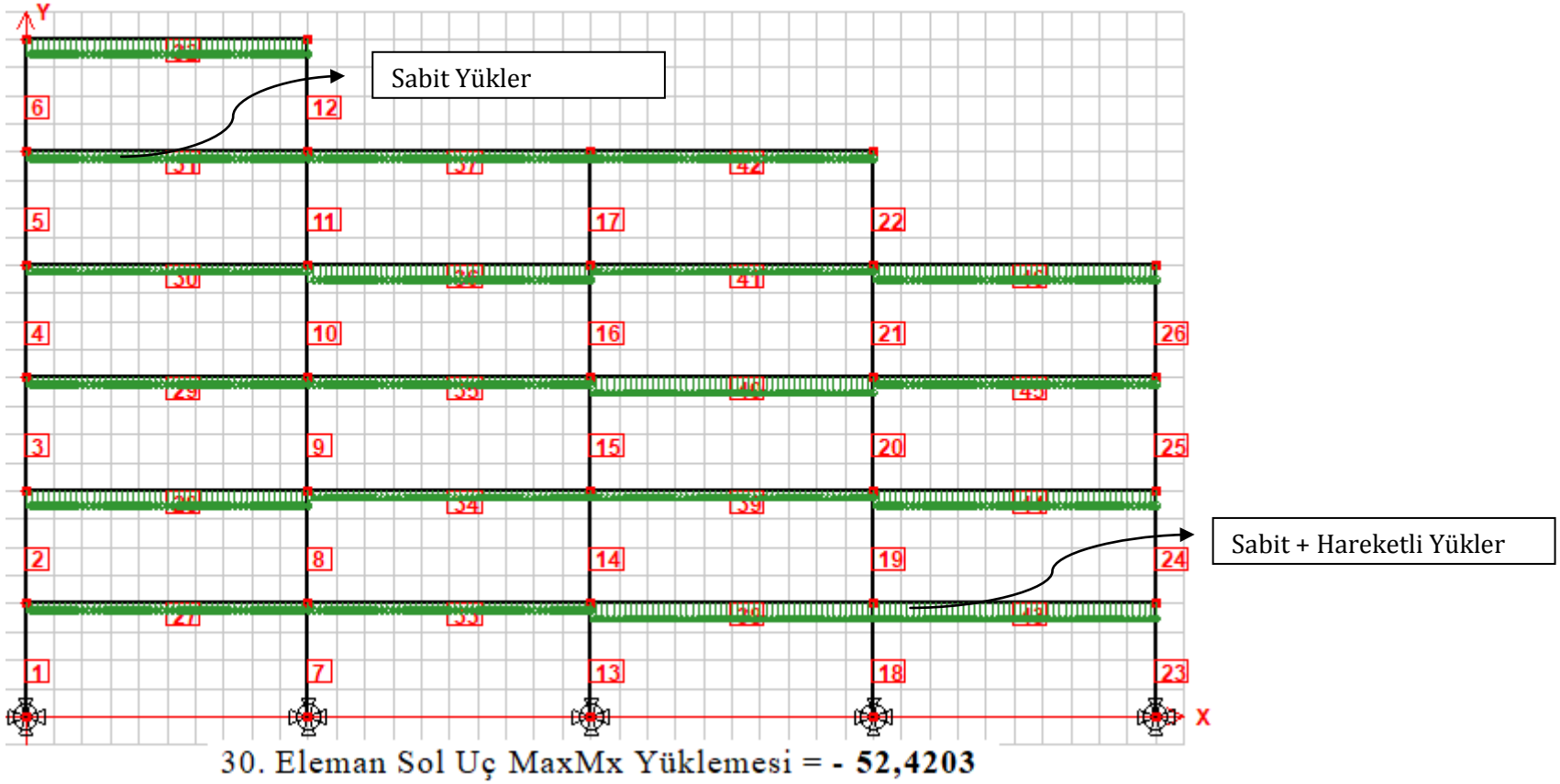
b) Ersoy (1989) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.14. 27 numaralı eleman sağ (*j*) ucu maksimum moment yüklemeleri (devam)



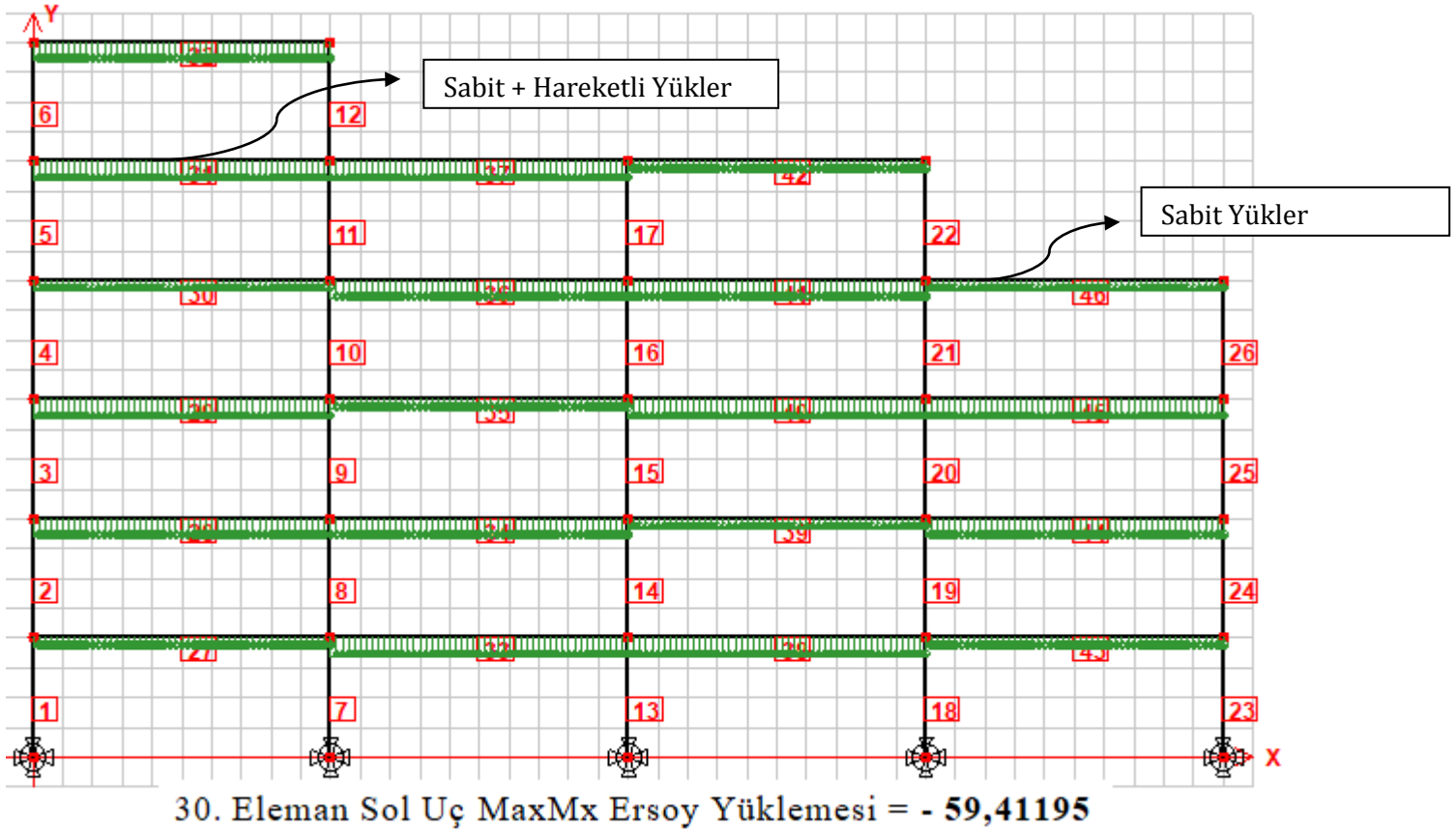
c) Furlong (1981) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.14. 27 numaralı eleman sağ (*j*) ucu maksimum moment yüklemeleri (devam)



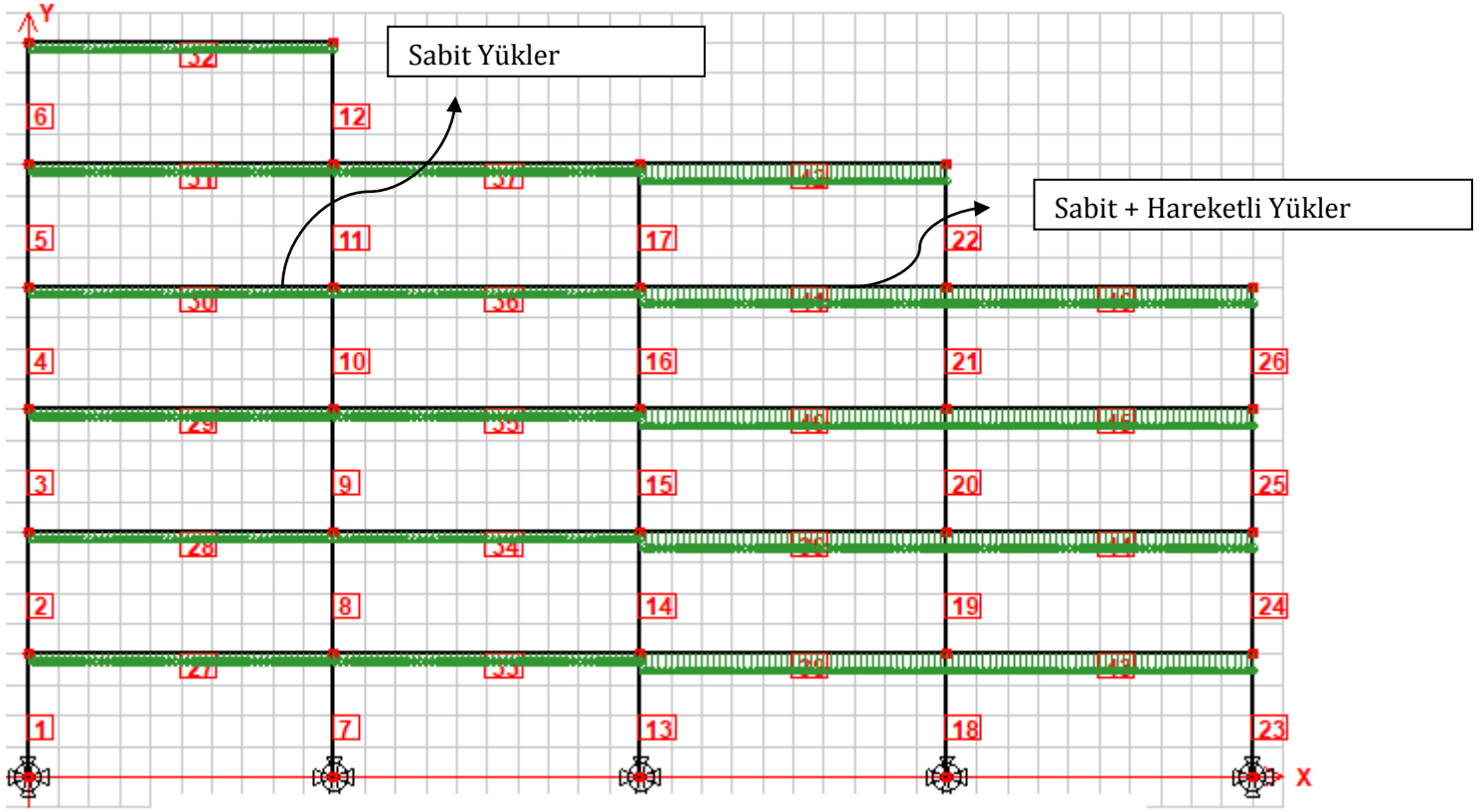
a) Tez Konusu yapılan yükleme düzeni

Şekil 4.15. 30 Numaralı eleman sol (*i*) ucu maksimum moment yüklemeleri



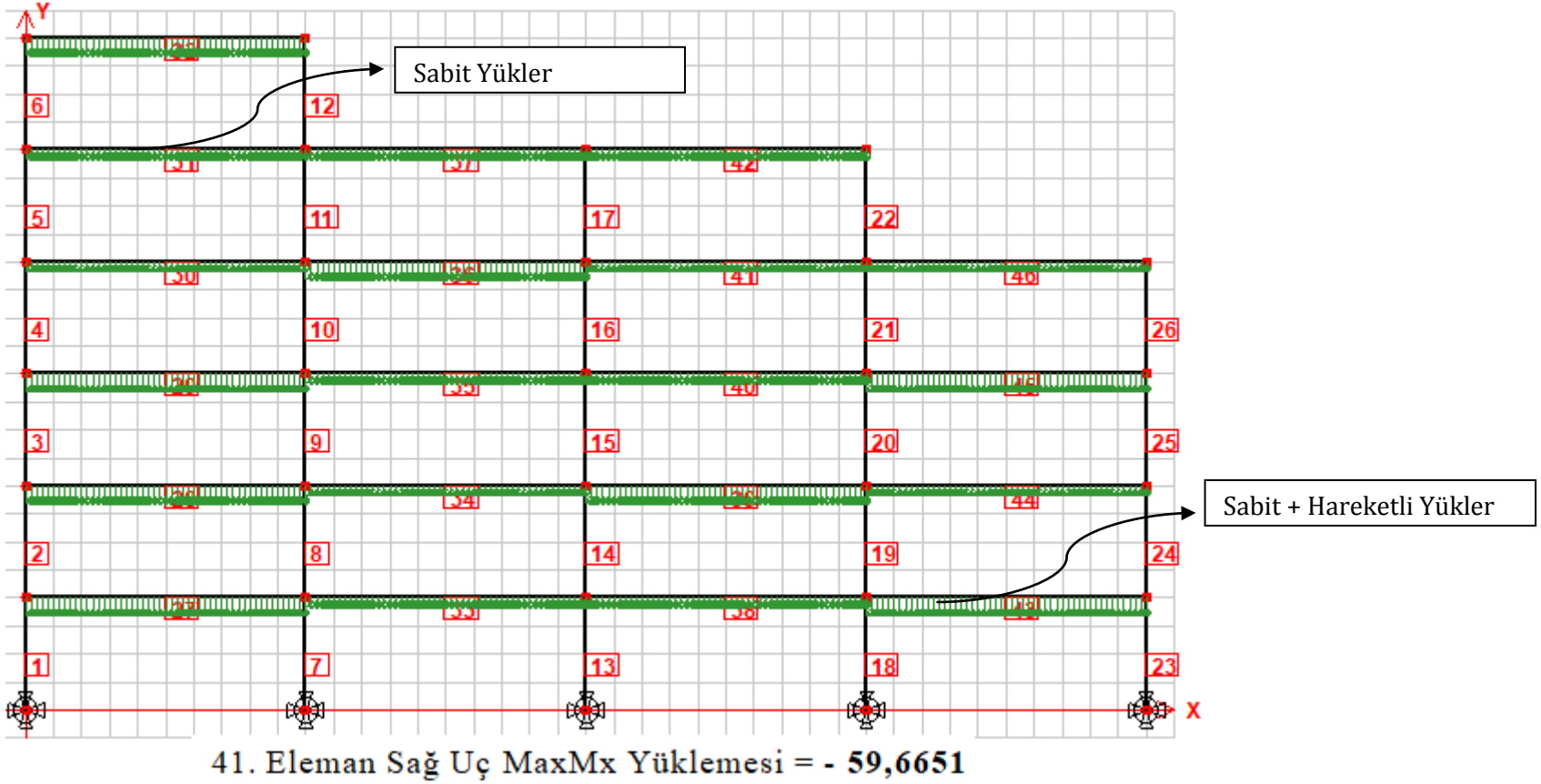
b) Ersoy (1989) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.15. 30 Numaralı eleman sol (*i*) ucu maksimum moment yüklemeleri (devam)



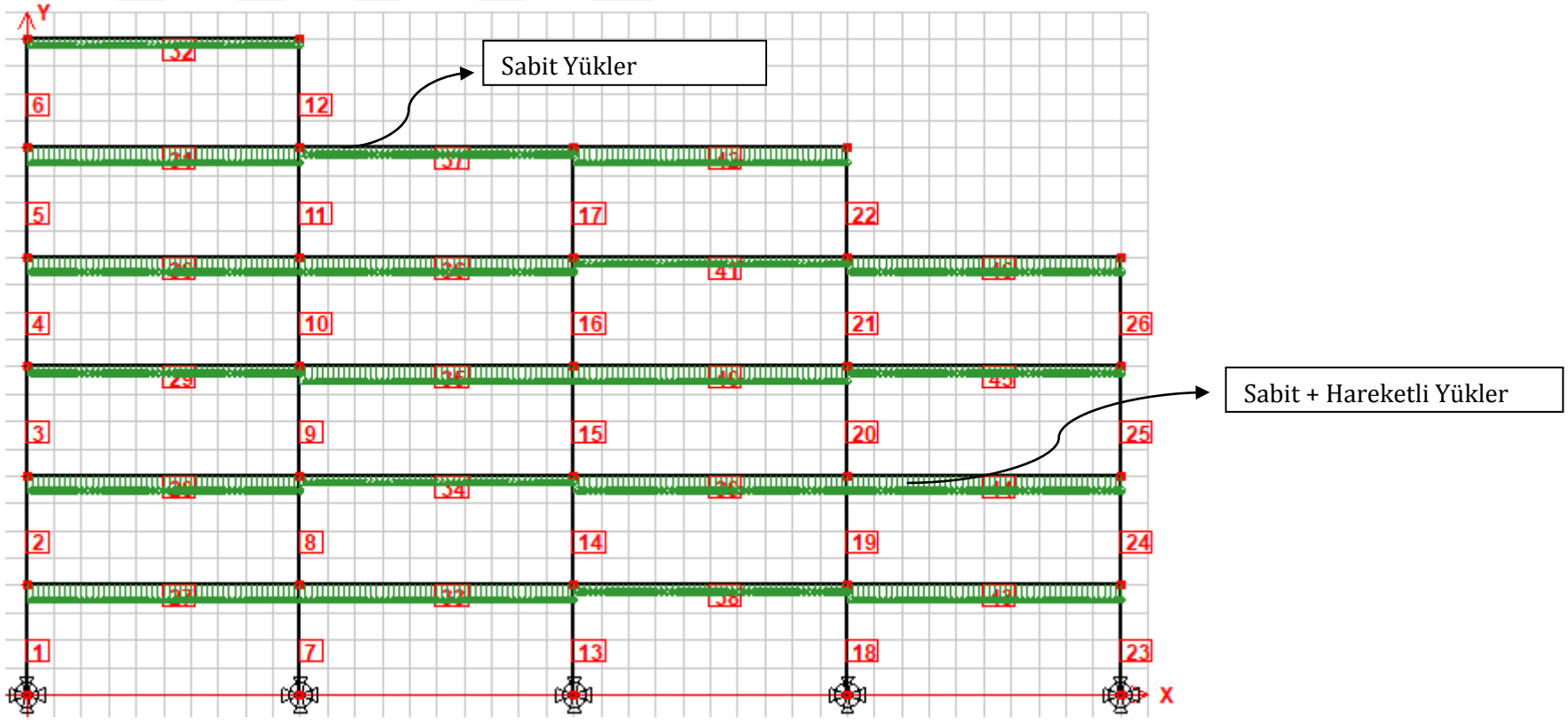
c) Furlong (1981) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.15. 30 Numaralı eleman sol (*i*) ucu maksimum moment yüklemeleri (devam)



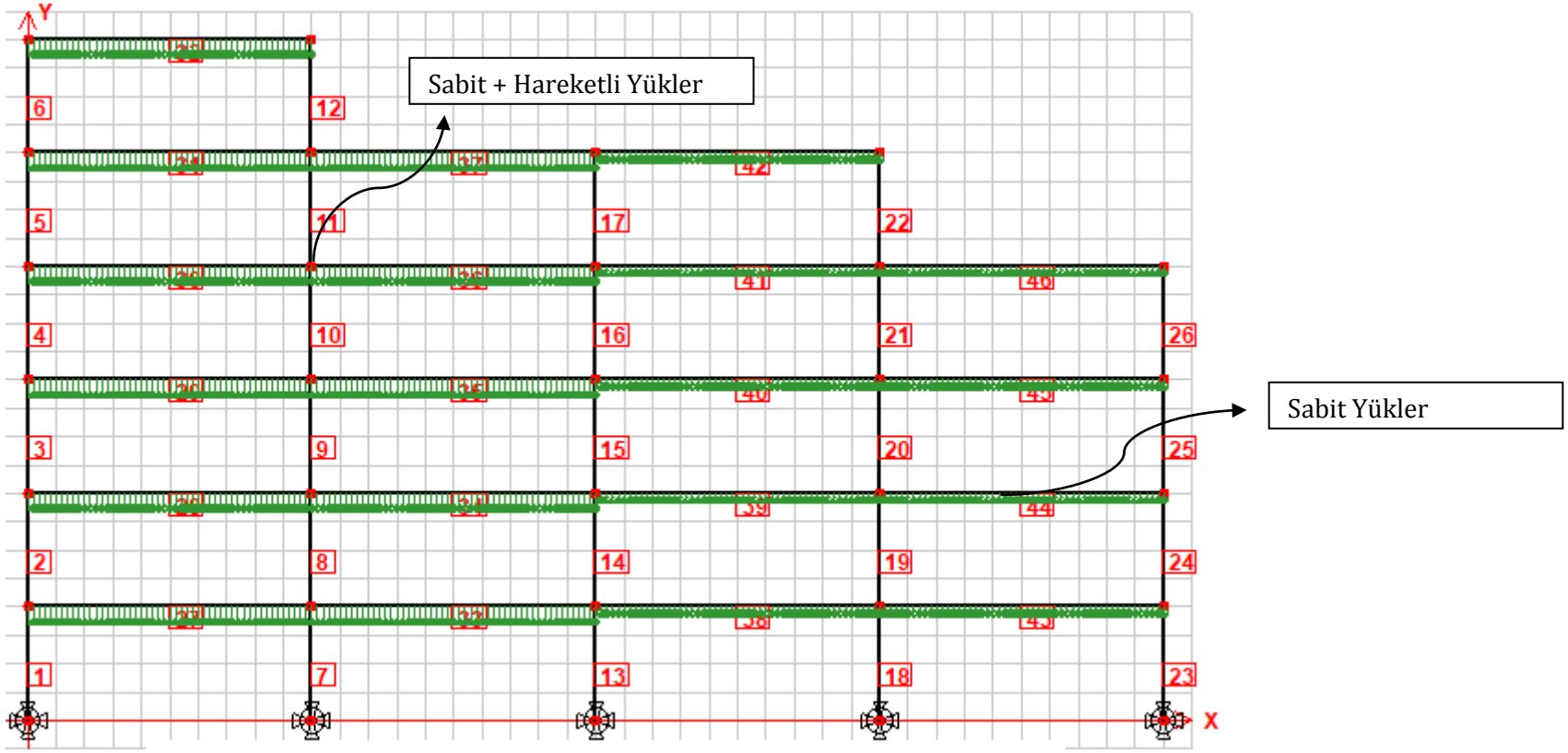
a) Tez Konusu yapılan yükleme düzeni

Şekil 4.16. 41 Numaralı eleman sağ (*j*) ucu maksimum moment yüklemeleri



b) Ersoy tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.16. 41 Numaralı eleman sağ (*j*) ucu maksimum moment yüklemeleri (devam)



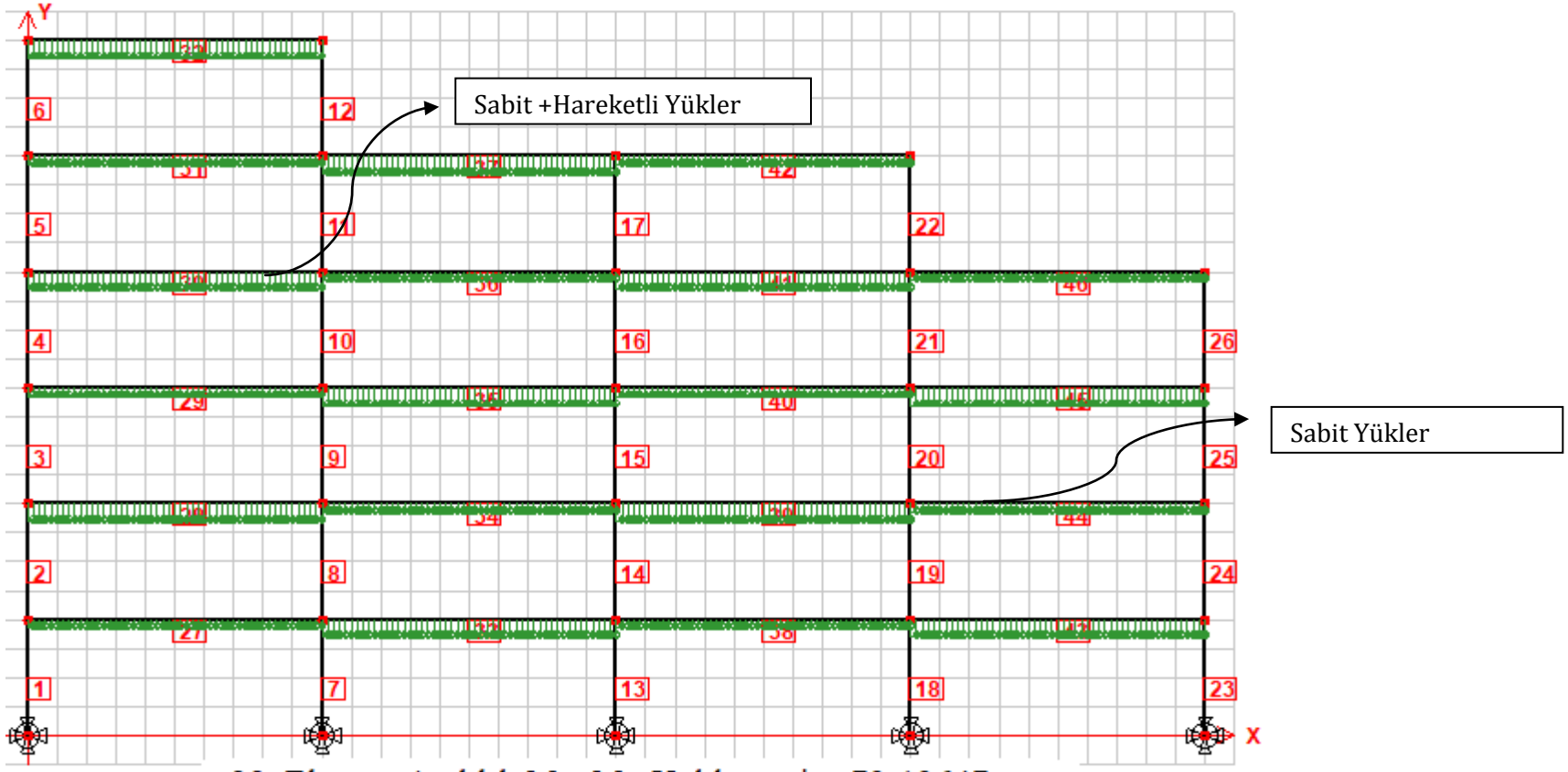
41. Eleman Sağ Uç MaxMx Furlong Yüklemesi = - 67,2067

c) Furlong tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.16. 41 Numaralı eleman sağ (*j*) ucu maksimum moment yüklemeleri (devam)

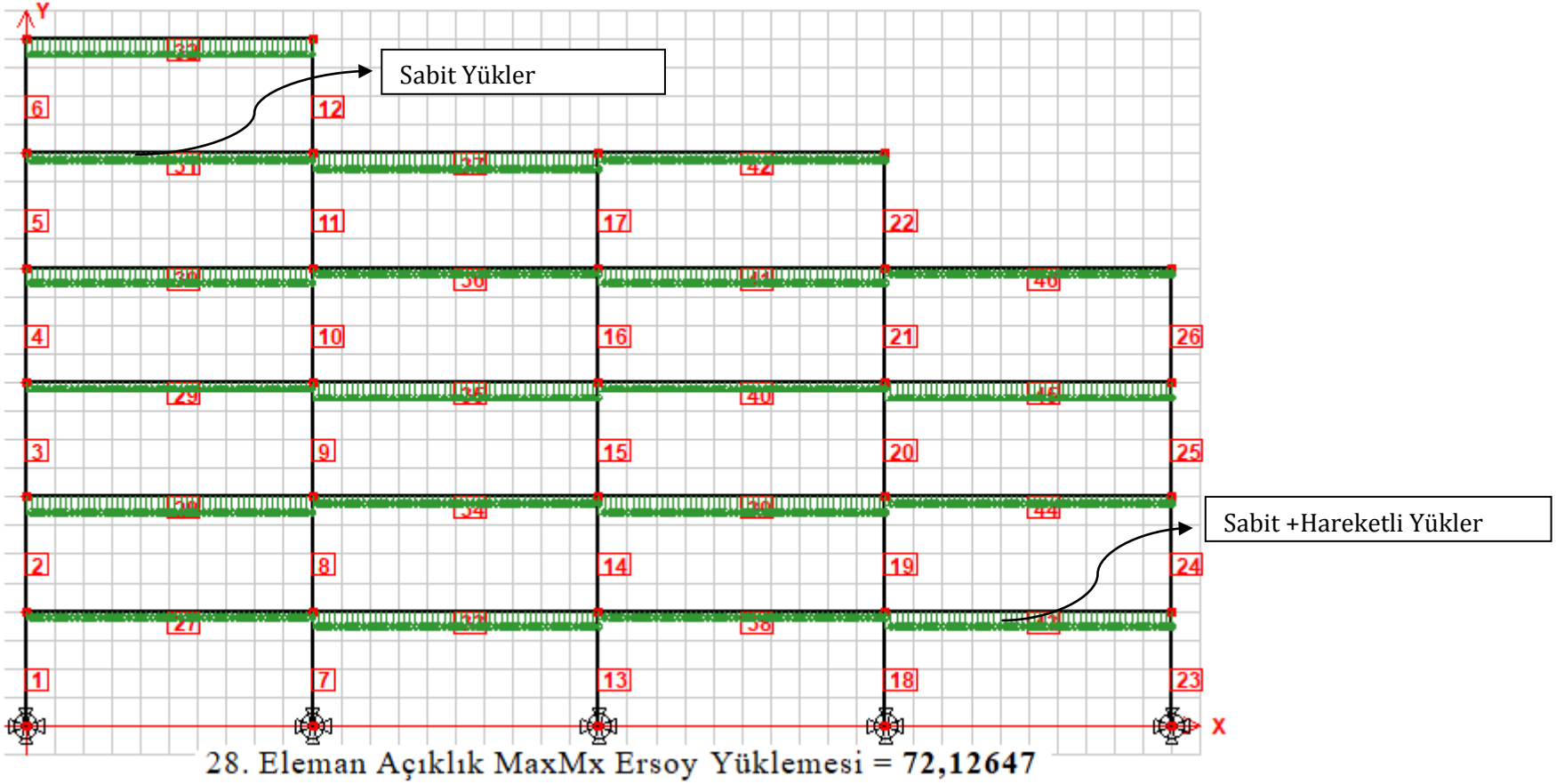
Çizelge 4.8. Çok katlı Çerçeve İçin Açıklık Momentleri

El.Nu.	Bu Çalışma				Döven M.S. , Şaraçoğlu M.H., Kaymak B. , Bayer M.T. (2011)						Ersoy (1989) (Kurala Göre Yükleme)	
	Yüklü Kiriş Nu.	Soldan Mesafe (m)	Max Açıklık	Min Açıklık	Yüklü Kiriş Nu.	Soldan Mesafe (m)	Max Açıklık	Aslan vd	Large	Furlong (1981)	max Açıklık	Min Açıklık
28	28,30,32,33,35,37, 39,41,43,45	4,9865	72,12647	27,50189	28,30,32,33,35,37, 39,41,43,45,46	4,9900	72,0783	72	72	68	72,12647	27,51266
29	27,29,31,34,36,38, 40,42,44	5,00058	72,40325	27,16203	27,29,31,34,36,38, 40,42,44	5	72,3907	72,3	72,3	68,2	72,39037	27,21486
30	28,30,32,33,35,37, 39,41,43,45	5,01328	73,12365	27,62292	28,30,32,33,35,37, 39,41,43,44,45	5,02	73,1562	73,2	73,2	68,8	73,12365	27,6527
33	28,30,32,33,35,37, 39,41,43,45	5,01329	69,1604	24,23646	28,30,32,33,35,37, 39,41,43,45	5,01	69,1626	69,2	69,2	66,7	69,1604	24,23646
37	28,30,32,33,35,37, 39,41,46	4,91056	74,65816	22,83683	28,30,32,33,35,37, 39,41,45	4,91	74,6130	74,6	74,6	69,8	74,65266	22,84031
39	28,30,33,35,37,39, 41,43,45	4,98346	70,69648	22,7391	28,30,33,35,37,39, 41,43,45	4,98	70,6521	70,6	70,6	65,8	70,69054	22,74477
41	28,30,32,33,35,37, 39,41,43,45	4,91469	69,75293	20,2523	28,30,32,33,35,37, 39,41,43,45	4,91	69,7199	69,7	69,7	63,9	69,75293	20,2523
43	30,31,32,33,35,39, 41,43,45	5,07258	71,61518	29,61911	28,29,30,31,32,33, 35,39,41,43,45	5,07	71,6083	71,6	71,6	69,5	71,61392	29,63284
45	28,30,32,33,35,37, 39,41,43,45	5,013	71,64128	25,8746	27,28,30,32,33,35, 37,39,41,43,45	5,01	71,5729	71,6	71,6	66,8	71,64128	25,87459
46	27,31,34,36,38,40, 42,44,46	5,14877	79,94106	31,71411	28,31,34,36,38,40, 42,44,46	5,14	79,7026	79,6	79,6	75,4	79,91285	31,75268



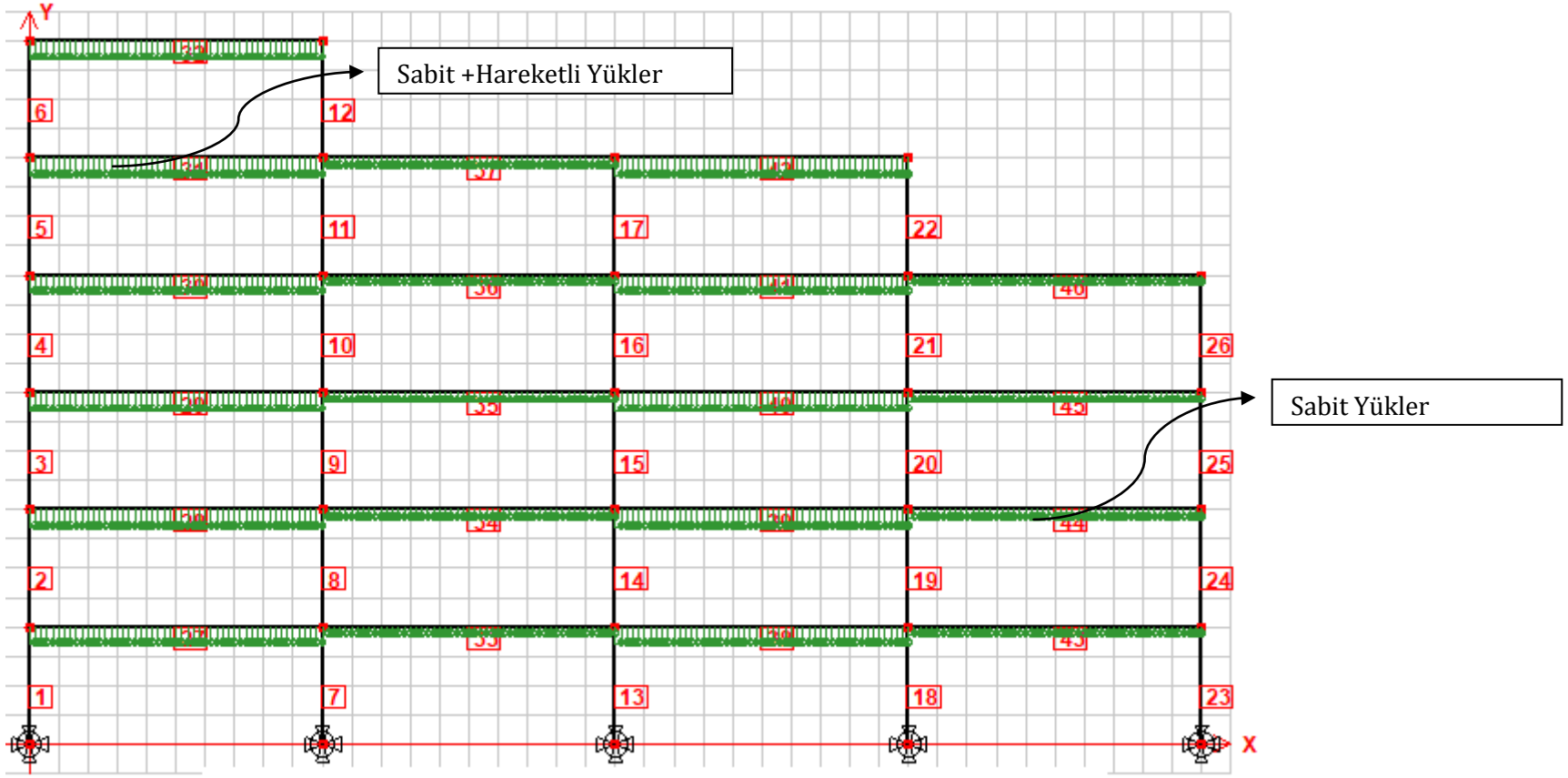
a) Tez konusu yapılan yükleme düzeni

Şekil 4.17. 28 Numaralı eleman açıklık maksimum moment yüklemeleri



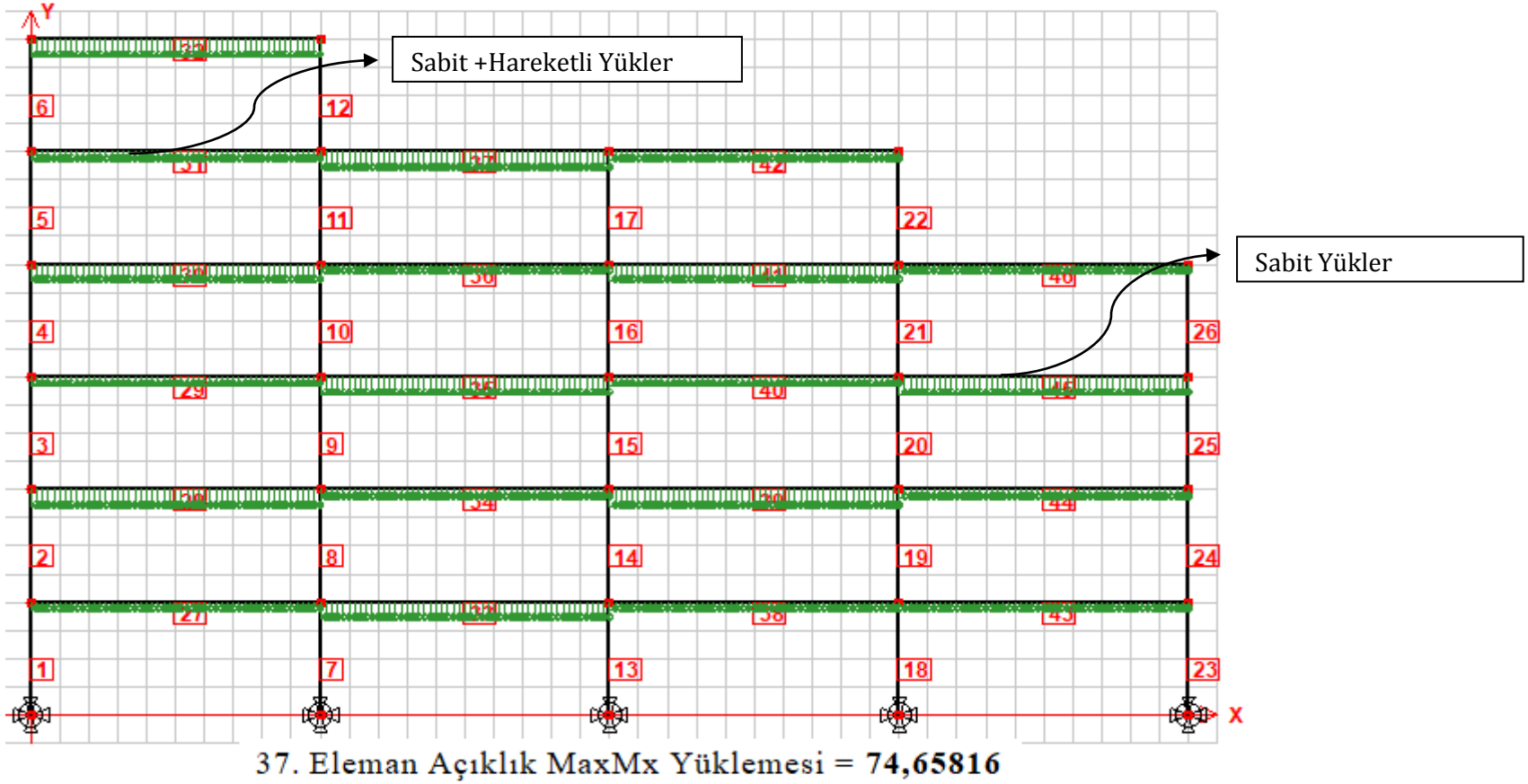
b) Ersoy (1989) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.17. 28 Numaralı eleman açıklık maksimum moment yüklemeleri (devam)



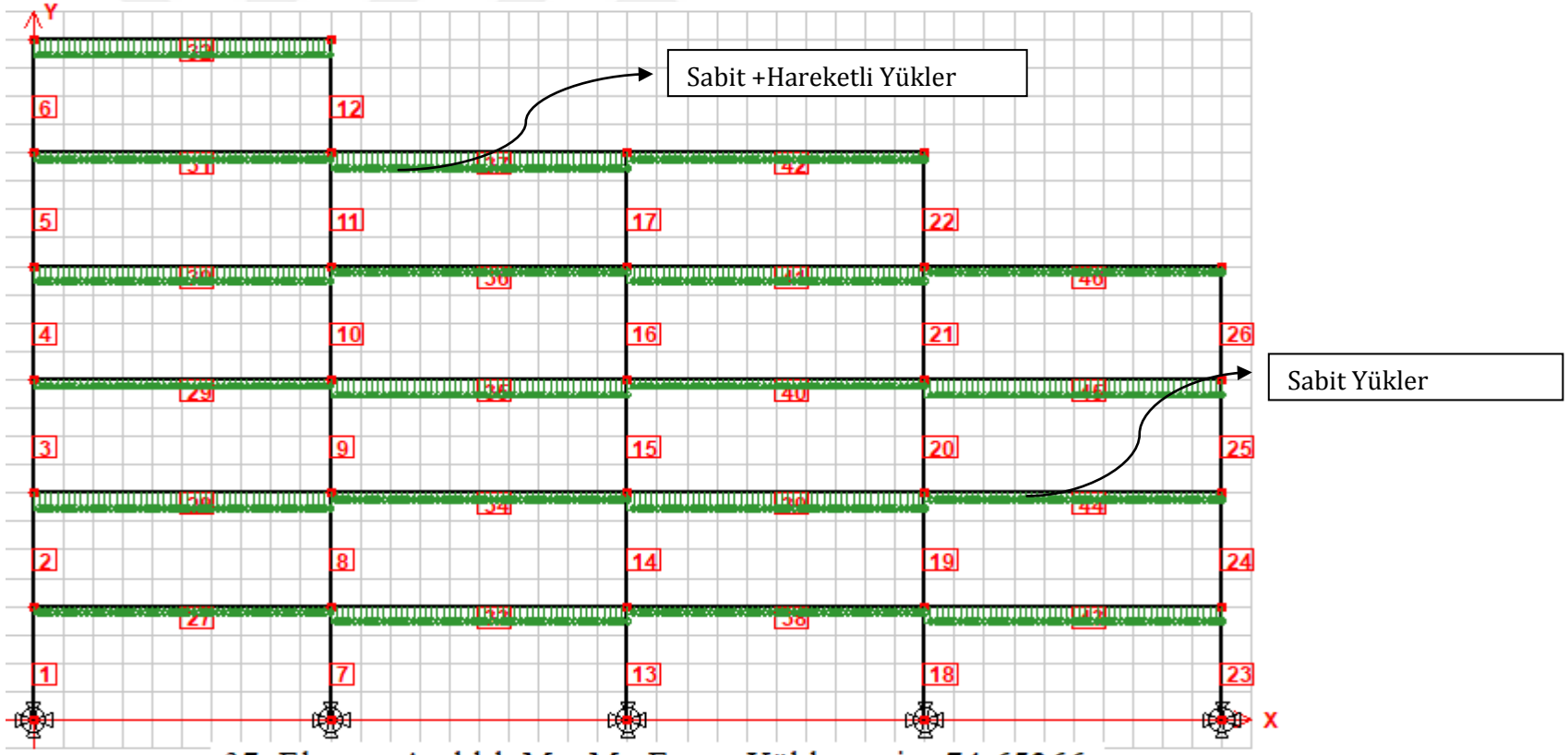
c) Furlong (1981) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.17. 28 Numaralı eleman açıklık maksimum moment yüklemeleri (devam)



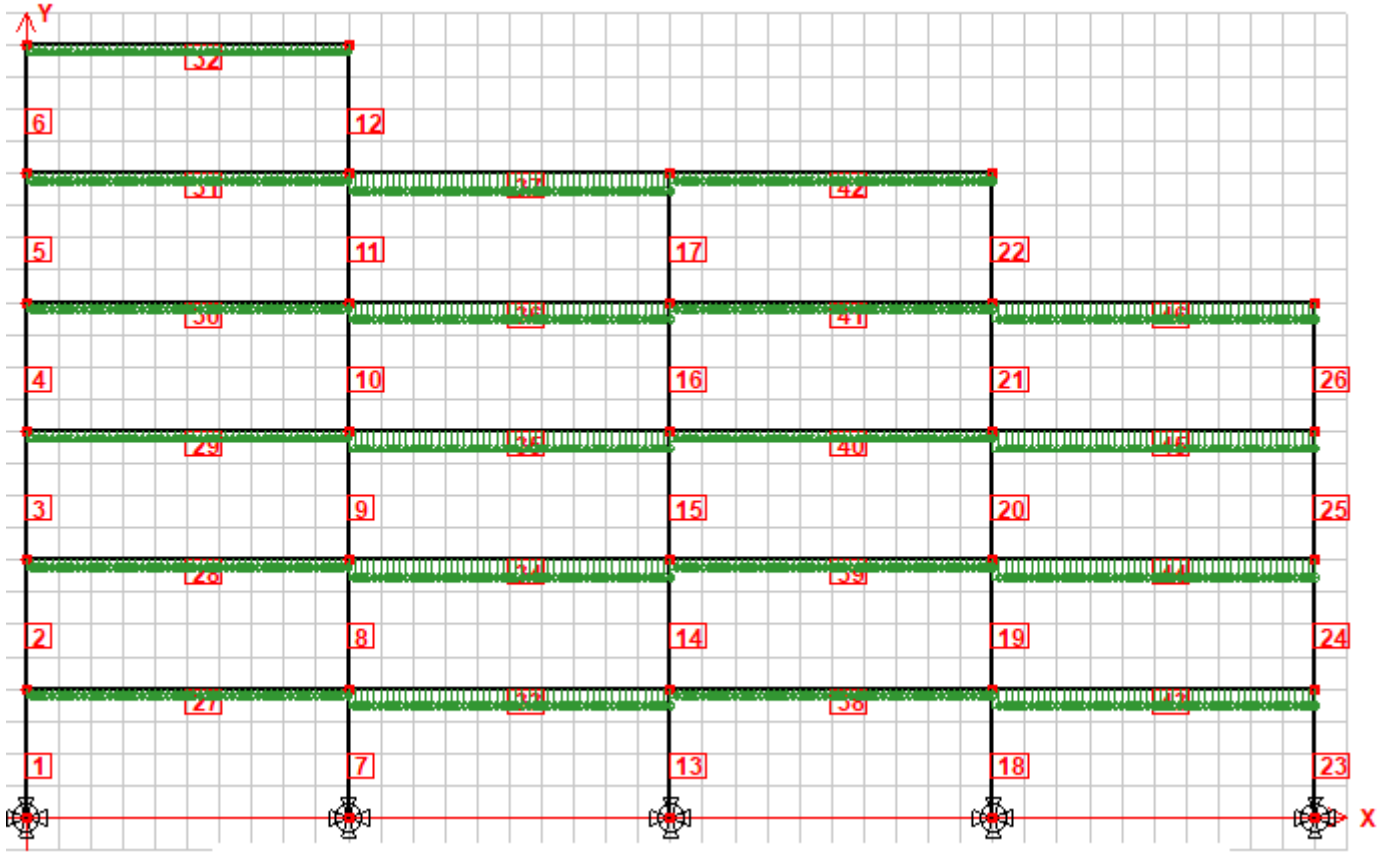
a) Tez konusu yapılan yükleme düzeni

Şekil 4.18 37 Numaralı eleman açıklık maksimum moment yüklemeleri



b) Ersoy (1989) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.18 37 Numaralı eleman açıklık maksimum moment yüklemeleri (devam)



37. Eleman Açıklık MaxMx Furlong Yüklemesi = **69,88237**

c) Furlong (1981) tarafından önerilen yükleme düzeni

Şekil 4.18 37 Numaralı eleman açıklık maksimum moment yüklemeleri (devam)

Hareketli yüklerin, yükleme yerlerinin tespit edilmesiyle bu çalışmanın sonucu olarak hesaplanan mesnet moment değerleri ile Furlong (1981) ve Ersoy (1989) tarafından önerilen, modellenmiş hareketli yüklemelere ait mesnet moment değerleri Çizelge 4.9. (a) ve (b)'de kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.9. Mesnet momentleri kıyaslama oranları

El.Nu.		Bu Çalışma		Furlong (1981)		Ersoy (1989)	
		(-) Max mesnet M	(+) Min Mesnet M	(-) Max mesnet M	(+) Min Mesnet M	(-) Max mesnet M	(+) Min Mesnet M
27	sol	-113.8528	-50.28384	-108.5262	-52.1569	-111.3459	-53.74421
				4.91%	3.59%	2.25%	6.44%
	sağ	-135.2507	-61.22322	-132	-64.4151	-134.0253	-72.21047
				2.46%	4.96%	0.91%	15.22%
29	sol	-120.9215	-53.50407	-116	-57.11099	-117.7864	-59.94075
				4.24%	6.32%	2.66%	10.74%
	sağ	-133.9831	-55.24874	-127.6461	-61.58566	-128.9253	-69.88501
				4.96%	10.29%	3.92%	20.94%
30	sol	-120.6425	-52.4203	-115.209	-57.85375	-117.6877	-59.41195
				4.72%	9.39%	2.51%	11.77%
	sağ	-133.8341	-54.44801	-125.1	-62.74555	-129.5828	-69.15525
				6.98%	13.22%	3.28%	21.27%
33	sol	-133.0542	-55.64458	-127.8	-60.9275	-128.6643	-70.62231
				4.11%	8.67%	3.41%	21.21%
	sağ	-132.2469	-54.7633	-127.876	-68.5285	-131.7633	-65.72512
				3.42%	20.09%	0.37%	16.68%
36	sol	-136.8075	-52.68132	-126.3	-63.43405	-131.6029	-70.8416
				8.32%	16.95%	3.95%	25.64%
	sağ	-135.6685	-50.31495	-124.0979	-64.11138	-131.4215	-67.64284
				9.32%	21.52%	3.23%	25.62%

(a)

Çizelge 4.9. Mesnet momentleri kıyaslama oranları (devam)

El.Nu.		Bu Çalışma		Furlong (1981)		Ersoy (1989)	
		(-) Max mesnet M	(+) Min Mesnet M	(-) Max mesnet M	(+) Min Mesnet M	(-) Max mesnet M	(+) Min Mesnet M
39	sol	-134.3624	-52.29712	-126.3418	-66.5675	-130.2533	-68.20991
				6.35%	**21.44%**	**3.15%**	**23.33%**
	sağ	-135.5276	-53.44576	-126.9	-62.0631	-131.6475	-69.69753
				6.80%	**13.88%**	**2.95%**	**23.32%**
41	sol	-132.8348	-47.84467	-123.67	-63.09731	-126.4787	-65.01232
				7.41%	**24.17%**	**5.03%**	**26.41%**
	sağ	-142.3513	-59.66512	-134.8	-67.2067	-136.933	-79.18024
				5.60%	**11.22%**	**3.96%**	**24.65%**
43	sol	-135.5453	-61.57465	-132.4193	-64.70059	-131.185	-75.33989
				2.36%	**4.83%**	**3.32%**	**18.27%**
	sağ	-113.6195	-50.04971	-111.2	-55.3793	-113.3767	-52.39538
				2.18%	**9.62%**	**0.21%**	**4.48%**
44	sol	-135.5891	-57.77548	-129.5	-63.75576	-130.8261	-72.66834
				4.70%	**9.38%**	**3.64%**	**20.49%**
	sağ	-117.956	-51.63972	-112.3833	-57.21239	-115.5823	-57.20446
				4.96%	**9.74%**	**2.05%**	**9.73%**
46	sol	-137.7131	-56.4503	-128.8	-64.66101	-132.7685	-71.49277
				6.92%	**12.70%**	**3.72%**	**21.04%**
	sağ	-101.8553	-44.37845	-97.21475	-48.42067	-97.16385	-49.58506
				4.77%	**8.35%**	**4.83%**	**10.50%**

(b)

Farklı mesnetler ve bunlara etkiyen Çizelge 4.9. (a ve b)'deki mesnet moment değerleri üzerindeki değerlendirmede;

- Minimum mesnet momenti aranırken, minimum moment değeri pozitif veya negatif (+ veya -) işaretli ise mutlak değerce küçük olanı,

- Maksimum mesnet momenti aranırken, maksimum moment değeri pozitif veya negatif (+ veya -) işaretli ise mutlak değerce büyük olanının alınması gerekmektedir.

Bilgisayar programı yardımıyla elde edilen sonuçlar ile Furlong (1981) ve Ersoy (1989) tarafından önerilen yüklemeler sonucu elde edilen değerlerin kıyaslamasında; %2 - %26 arasında, değişik oranlarda farklılıklar bulunmaktadır. Bu yüksek oranda çıkan farklar kabul edilebilir olarak değerlendirilmemektedir. Sonuç olarak Furlong (1981) ve Ersoy (1989) tarafından önerilen en elverişsiz mesnet moment reaksiyonlarını veren hareketli yük düzenlemesinden daha elverişsiz bir yükleme tipinin (kombinasyonunun) bulunduğu açıktır.

Çizelge 4.10. Açıklık momentleri kıyaslama oranları

El.Nu.	Bu Çalışma		Furlong (1981) (Kurala Göre Yükleme)		Ersoy (1989) (Kurala Göre Yükleme)	
	Max Açıklık M.	Min Açıklık M.	Max Açıklık M.	Min Açıklık M.	Max Açıklık M.	Min Açıklık
28	72.12647	27.50189	68.06044	31.45927	72.12647	27.51266
			5.97%	12.58%	0.000%	0.039%
29	72.40325	27.16203	68.23598	31.24609	72.39037	27.21486
			6.11%	13.07%	0.018%	0.002
30	73.12365	27.62292	68.74014	31.90899	73.12365	27.65270
			6.38%	13.43%	0.000%	0.108%
33	69.16040	24.23646	66.75372	26.64454	69.16040	24.23646
			3.61%	9.04%	0.000%	0.000%
37	74.65816	22.83683	69.88237	27.59893	74.65266	22.84031
			6.83%	17.25%	0.007%	0.015%
39	70.69648	22.73910	65.84407	27.59112	70.69054	22.74477
			7.37%	17.59%	0.008%	0.025%
41	69.75293	20.25230	63.97586	26.07272	69.75293	20.25230
			9.03%	22.32%	0.00%	0.000%
43	71.61518	29.61911	69.58767	31.59110	71.61392	29.63284
			2.91%	6.24%	0.002%	0.046%
45	71.64128	25.87460	66.86608	30.55322	71.64128	25.87459
			7.14%	15.31%	0.000%	0.000%
46	79.94106	31.71411	75.72682	35.84125	79.91285	31.75268
			5.57%	11.52%	0.035%	0.121%

Farklı kirişler ve bunlara etkiyen yükler altındaki açıklık moment değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Burdaki değerlendirmede de yine yukarıda belirtilen;

- Minimum açıklık momenti aranırken, minimum moment değeri pozitif veya negatif (+ veya -) işaretli ise mutlak değerce küçük olanı,
- Maksimum açıklık momenti aranırken, maksimum moment değeri pozitif veya negatif (+ veya -) işaretli ise mutlak değerce büyük olanının alınması gerekmektedir.

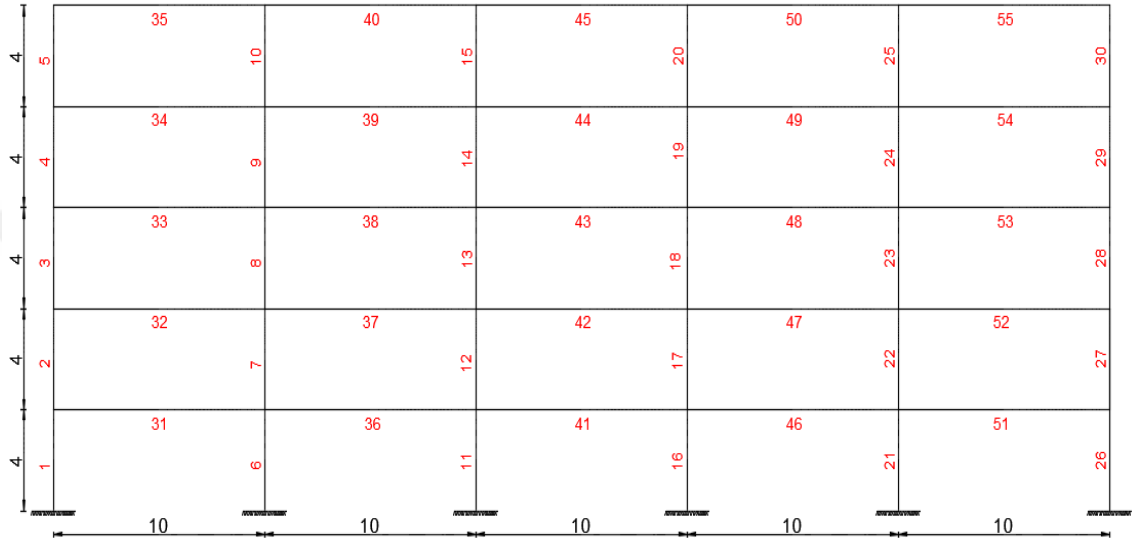
Bilgisayar programı yardımıyla elde edilen sonuçlar ile Furlong (1981) tarafından önerilen hareketli yük düzenlemesi sonucu elde edilen değerler arasında % 2 - % 22 arasında, değişik oranlarda farklılıklar bulunmaktadır. Bu yüksek oranda çıkan farklar kabul edilebilir olarak değerlendirilmemektedir. Sonuç olarak Furlong (1981) tarafından önerilen en elverişsiz açıklık moment reaksiyonlarını veren hareketli yük düzenlemesinden daha elverişsiz bir yükleme tipinin (kombinasyonunun) bulunduğu açıktır.

Aynı şekilde, bilgisayar programı yardımıyla elde edilen sonuçlar ile Ersoy (1989) tarafından önerilen hareketli yük düzenlemesi sonucu elde edilen değerlerin bazılarında % 0.1 civarında farklılıklar bulunmaktadır. Sonuç olarak Ersoy (1989) tarafından önerilen en elverişsiz açıklık moment reaksiyonlarını veren hareketli yük düzenlemesinin bu yönüyle kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

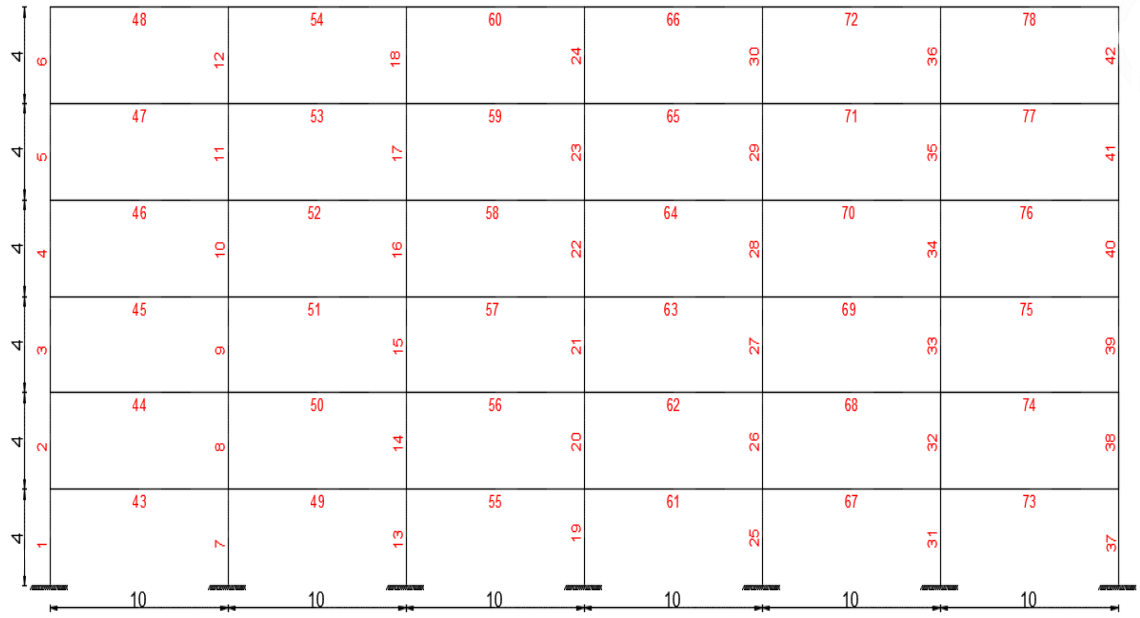
Buradan hareketle düzlem çerçevelerde en elverişsiz kesit tesirlerini veren hareketli yüklerin konumlandırılmaları ile ilgili pratik ve basit yeni bir kabul, bir genelleme yapılıp yapılamayacağı, farklı açıklık ve katlara sahip simetrik iki ayrı düzlem çerçeve üzerinde çözüm yapılarak kontrol edilmiştir.

Şekil 4.19'da gösterilen simetrik düzlem çerçeve 5 açıklıklı ve 5 katlıdır. Şekil 4.20'da gösterilen simetrik düzlem çerçeve ise 6 açıklıklı ve 6 katlıdır. Bu yapıların tüm kolon

ve kiriş kesitleri 30 x 50 cm boyutlarındadır. Buna göre tüm kesitler için kesit alanı A=0,15 m², atalet momenti I = 0,003125 m^4 tür. Elastisite modülü E = 20 x 10^6kN/m² ve poisson oranı $\nu = 0{,}20$ olarak alınmıştır. Yapıya etki eden ölü yük g = 7,5 kN/m ve hareketli yük ise q = 7,5 kN/m olup tüm kirişlere etki etmektedir.

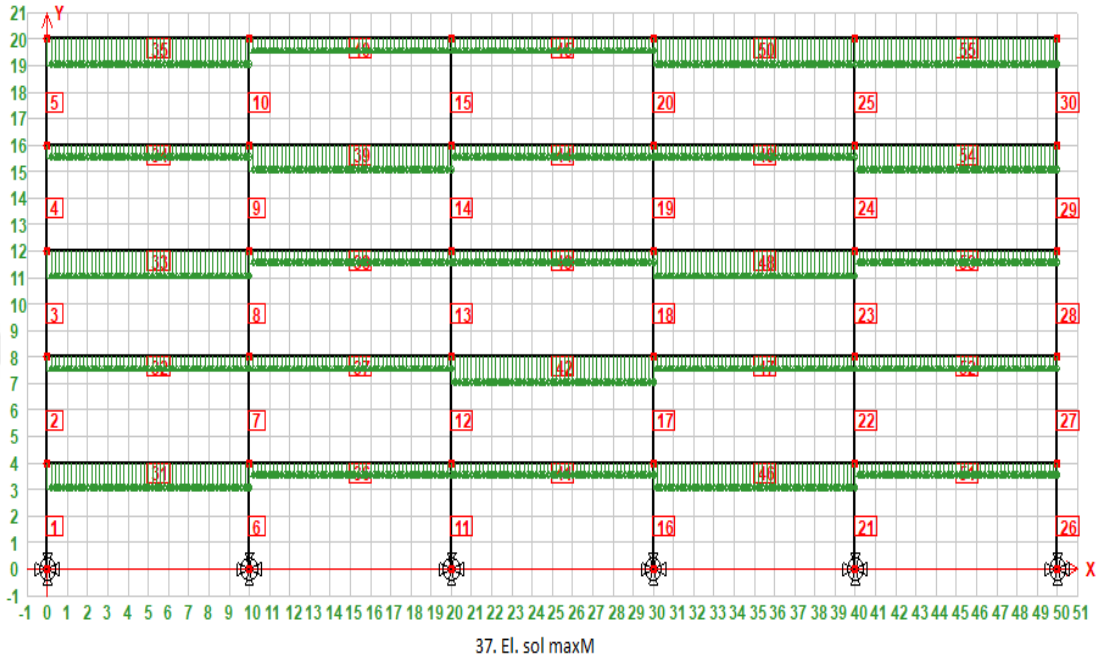


Şekil 4.19. 5 Açıklıklı 5 katlı çerçeve

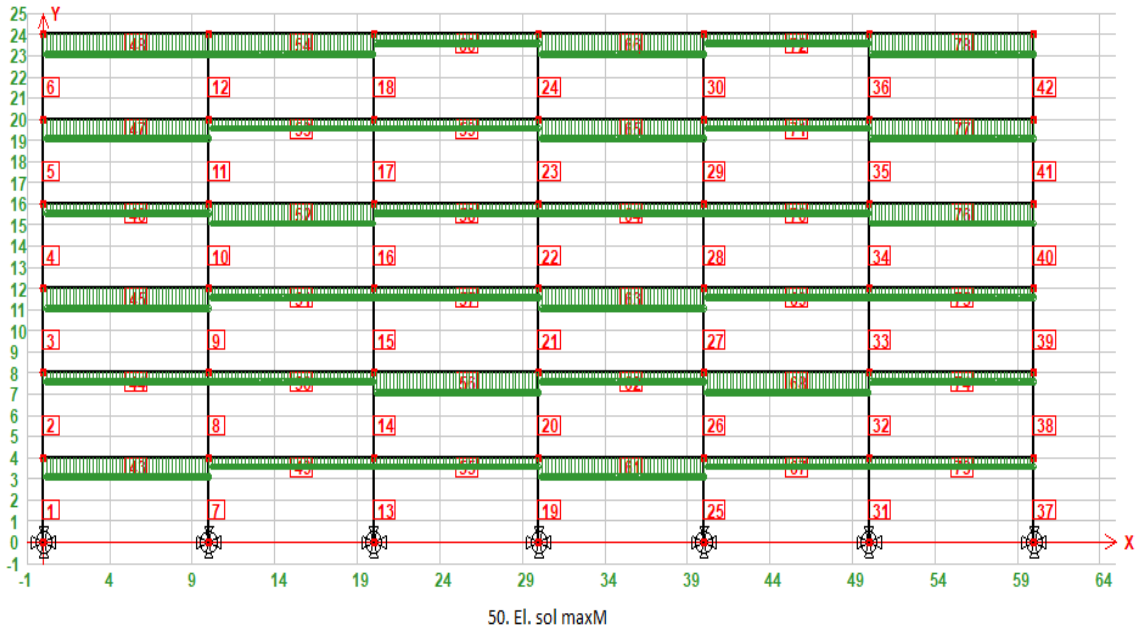


Şekil 4.20. 6 Açıklıklı 6 katlı çerçeve

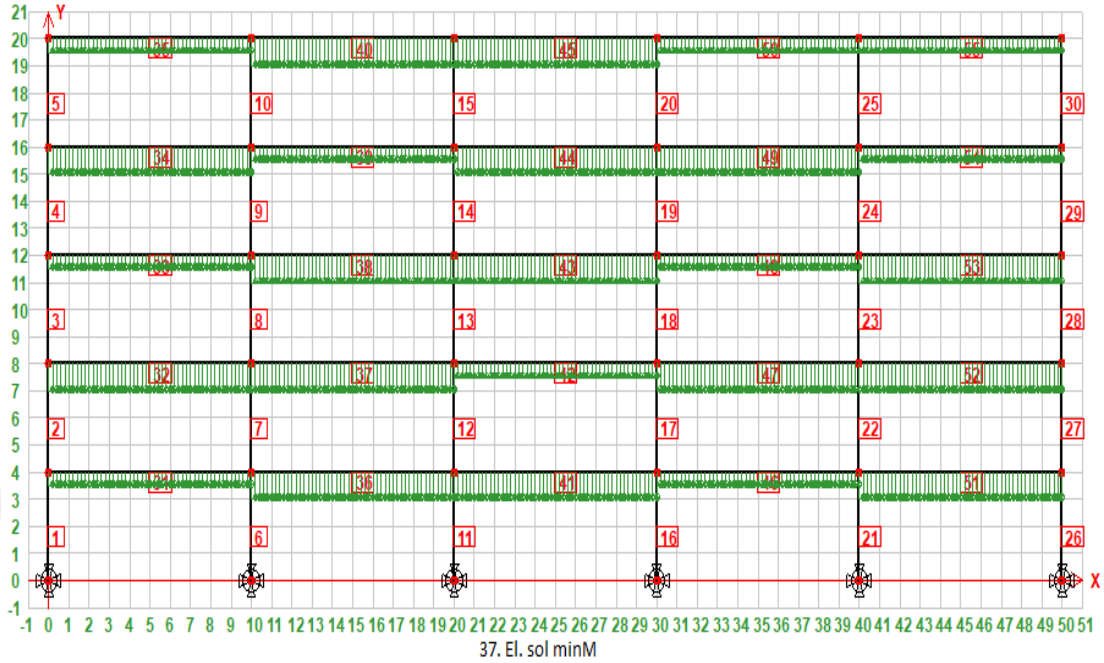
5 açıklıklı çerçevede 37, 43, 49 numaralı elemanlar ile 6 açıklıklı çerçevede buna karşılık gelen 50, 57, 64 numaralı elemanlarda en elverişsiz mesnet tepkilerini veren hareketli yük düzenlemeleri incelenmiştir.



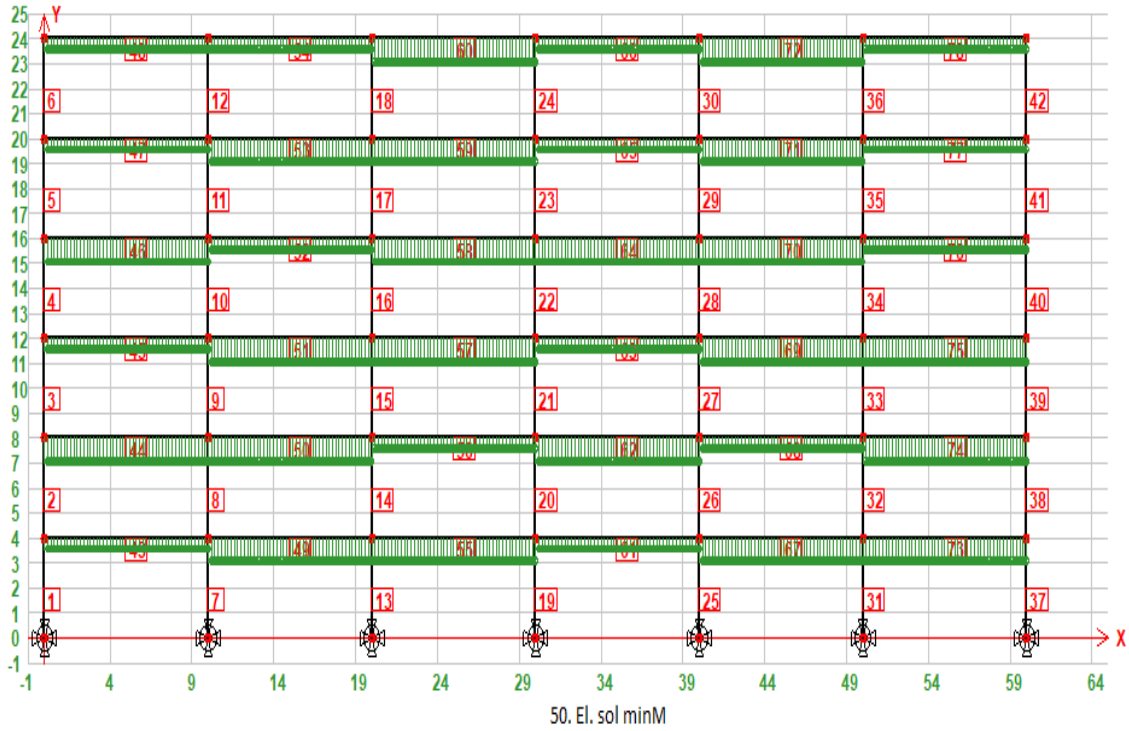
Şekil 4.21. 37. Eleman sol uç maksimum moment yüklemesi



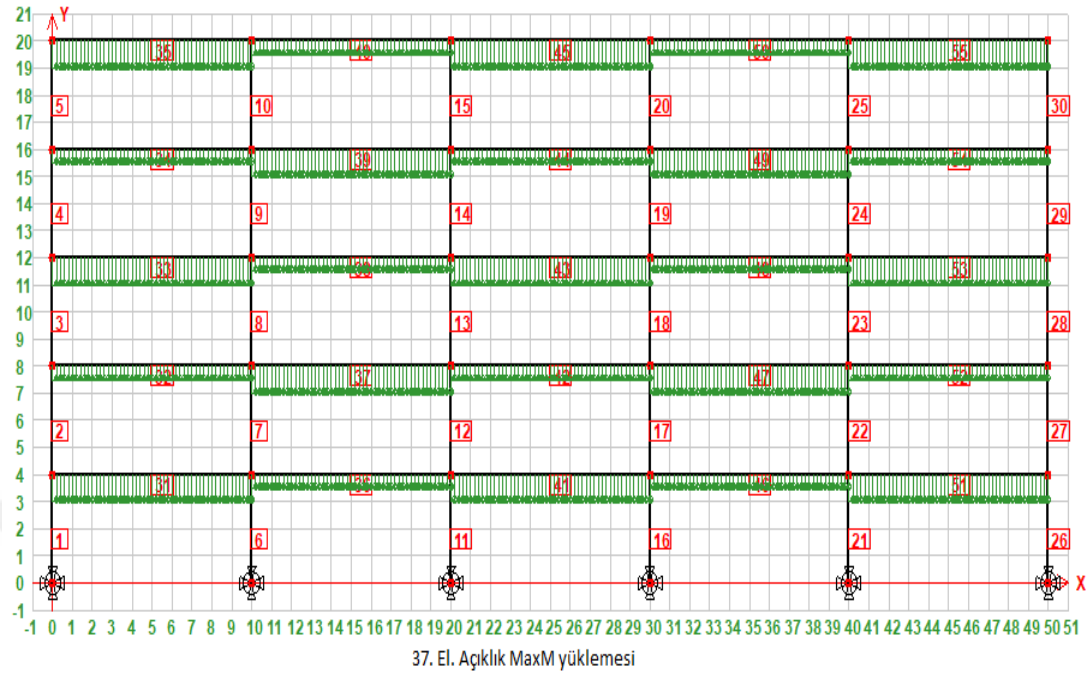
Şekil 4.22. 50. Eleman sol uç maksimum moment yüklemesi



Şekil 4.23. 37. Eleman sol uç minimum moment yüklemesi

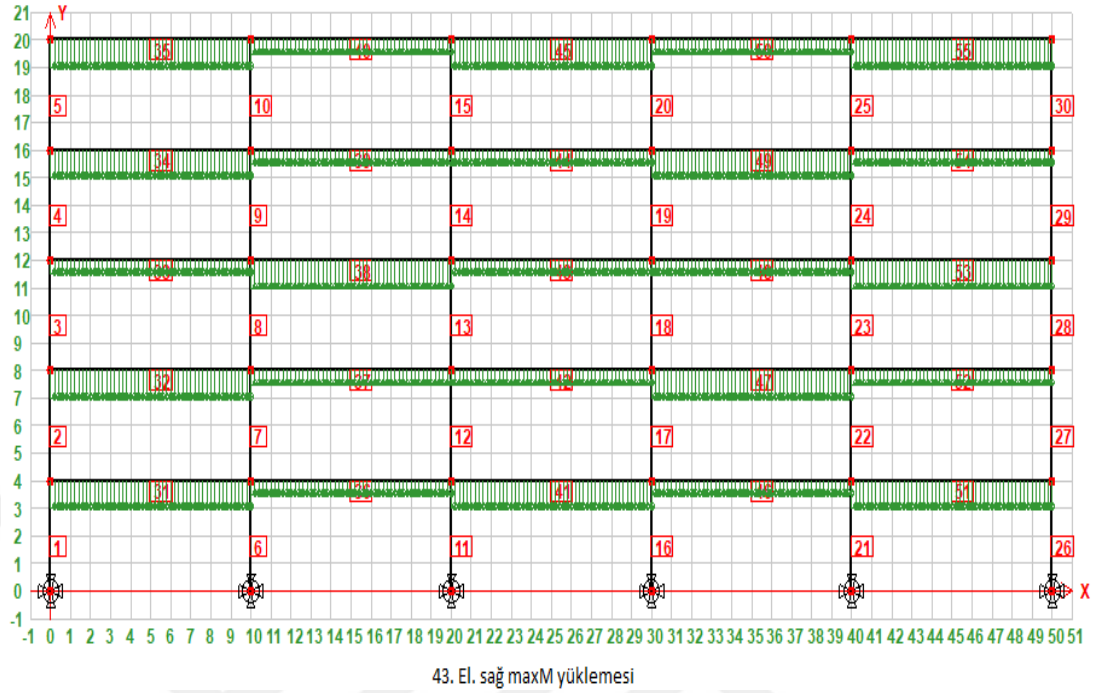


Şekil 4.24. 50. Eleman sol uç minimum moment yüklemesi

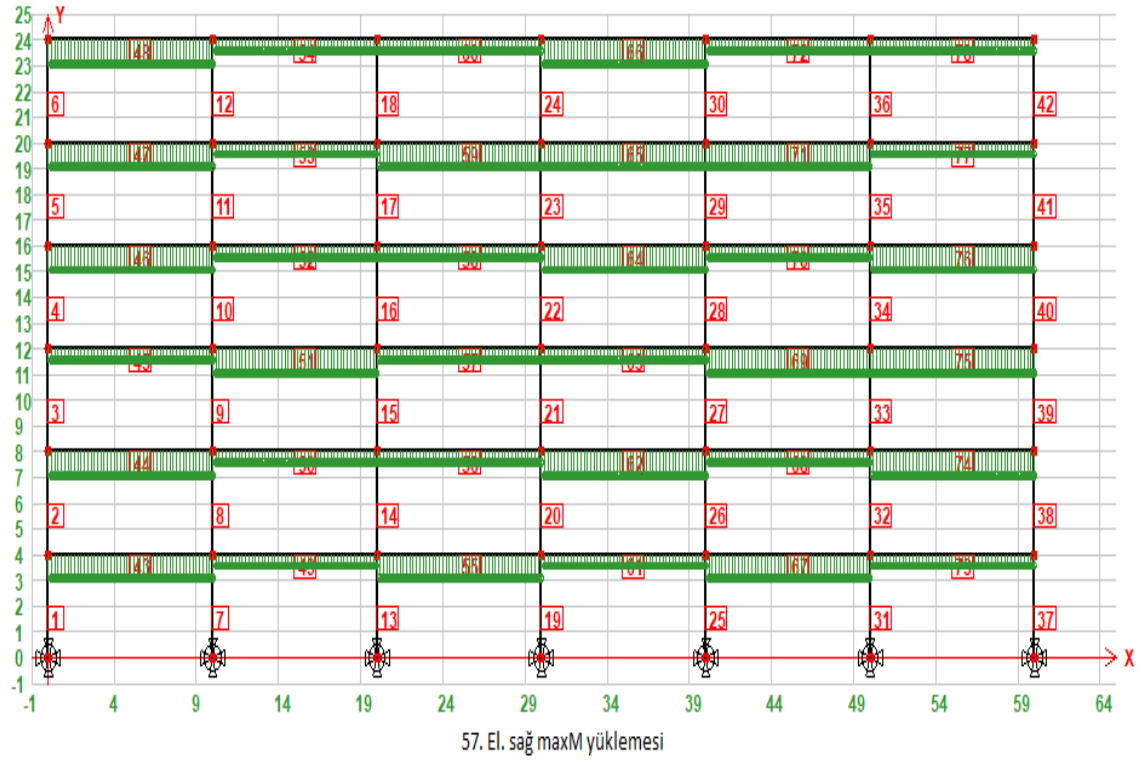


Şekil 4.25. 37. Eleman açıklık maksimum moment yüklemesi

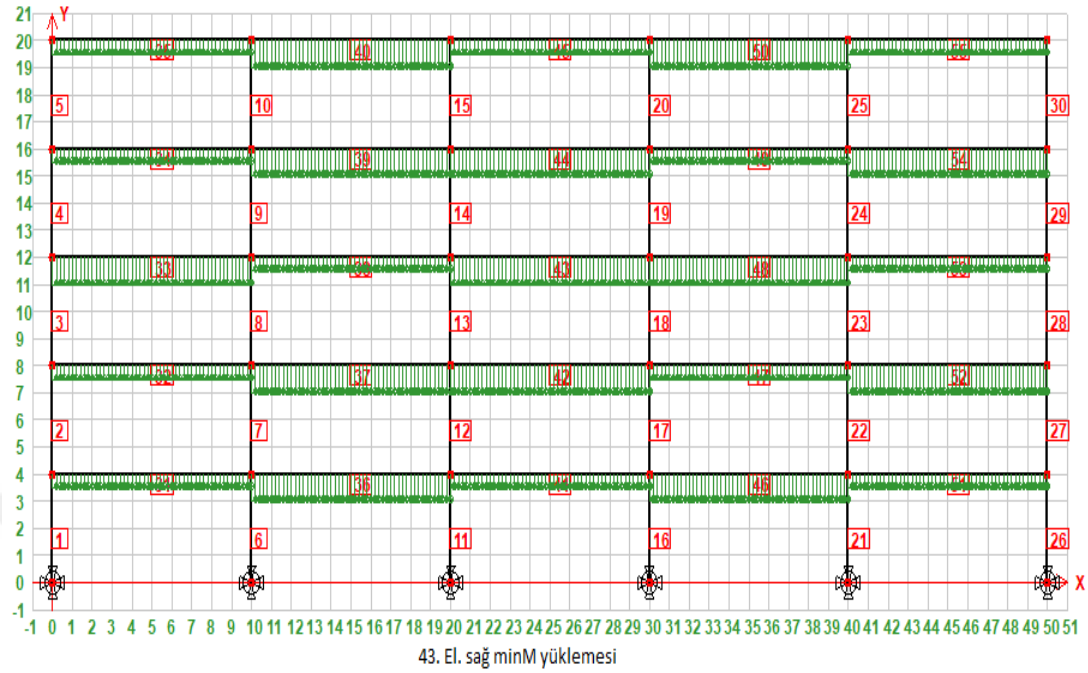
Şekil 4.26. 50. Eleman açıklık maksimum moment yüklemesi



Şekil 4.27. 43. Eleman sağ uç maksimum moment yüklemesi

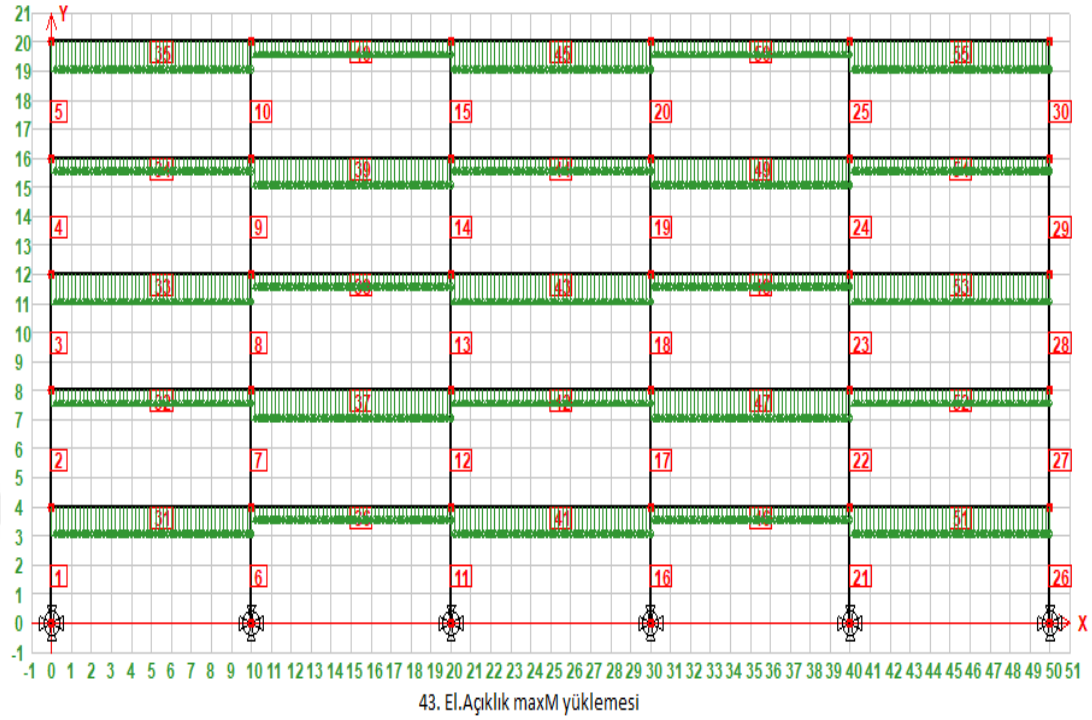


Şekil 4.28. 57. Eleman sağ uç maksimum moment yüklemesi

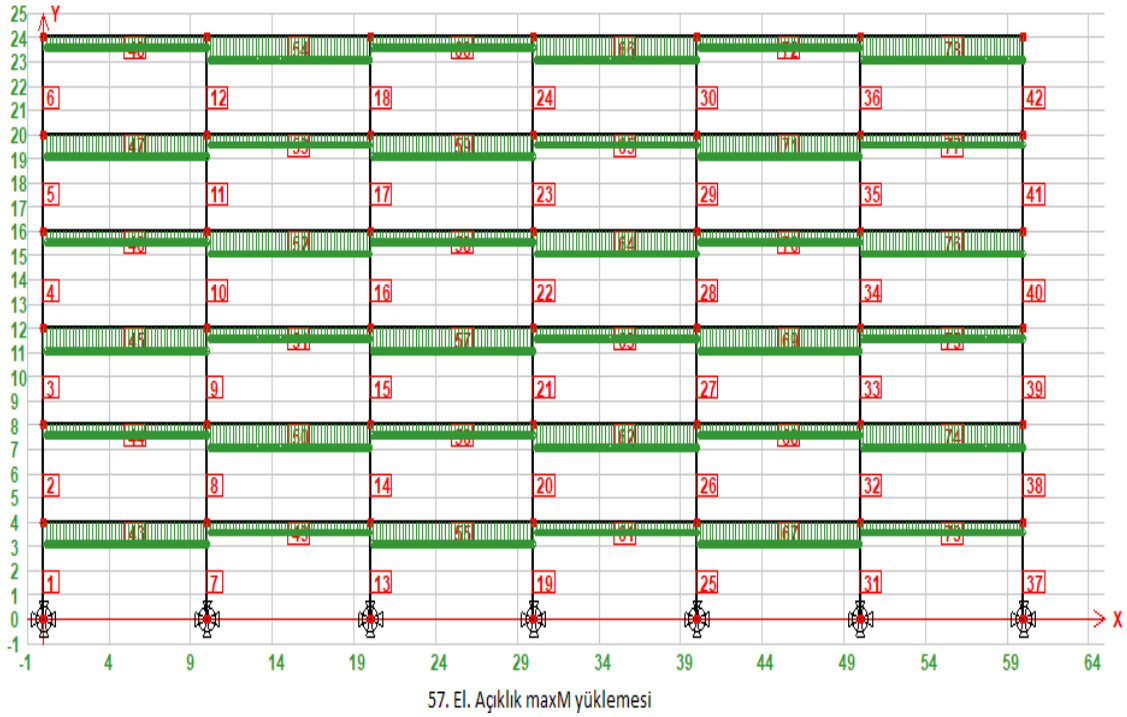


Şekil 4.29. 43. Eleman sağ uç minimum moment yüklemesi

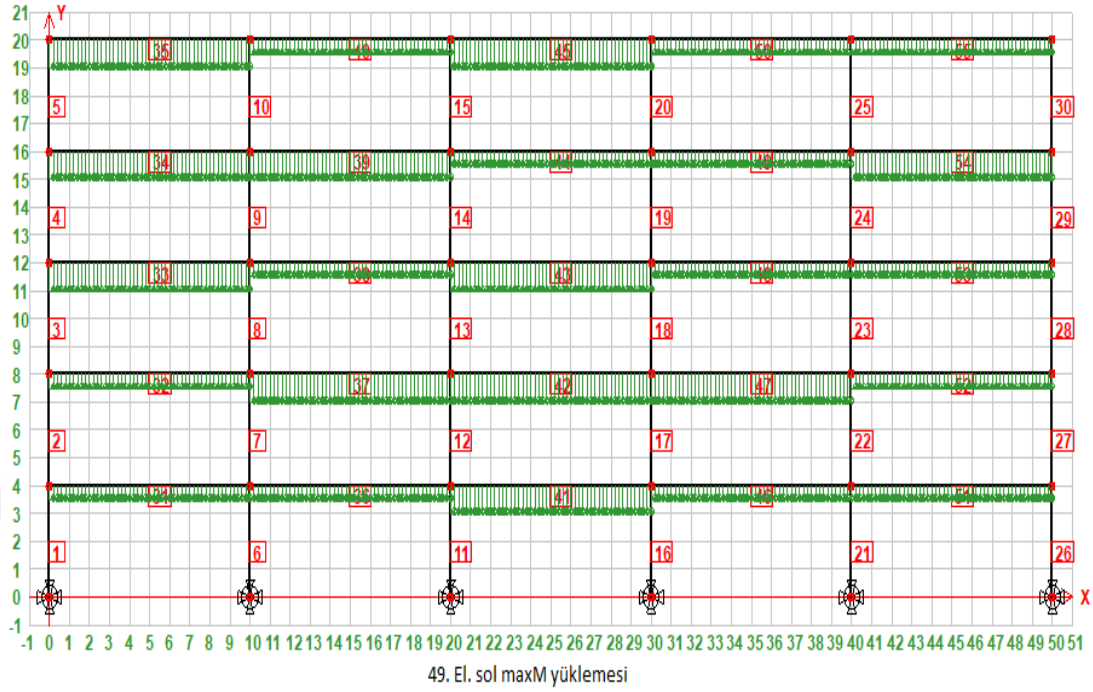
Şekil 4.30. 57. Eleman sağ uç mimimum moment yüklemesi



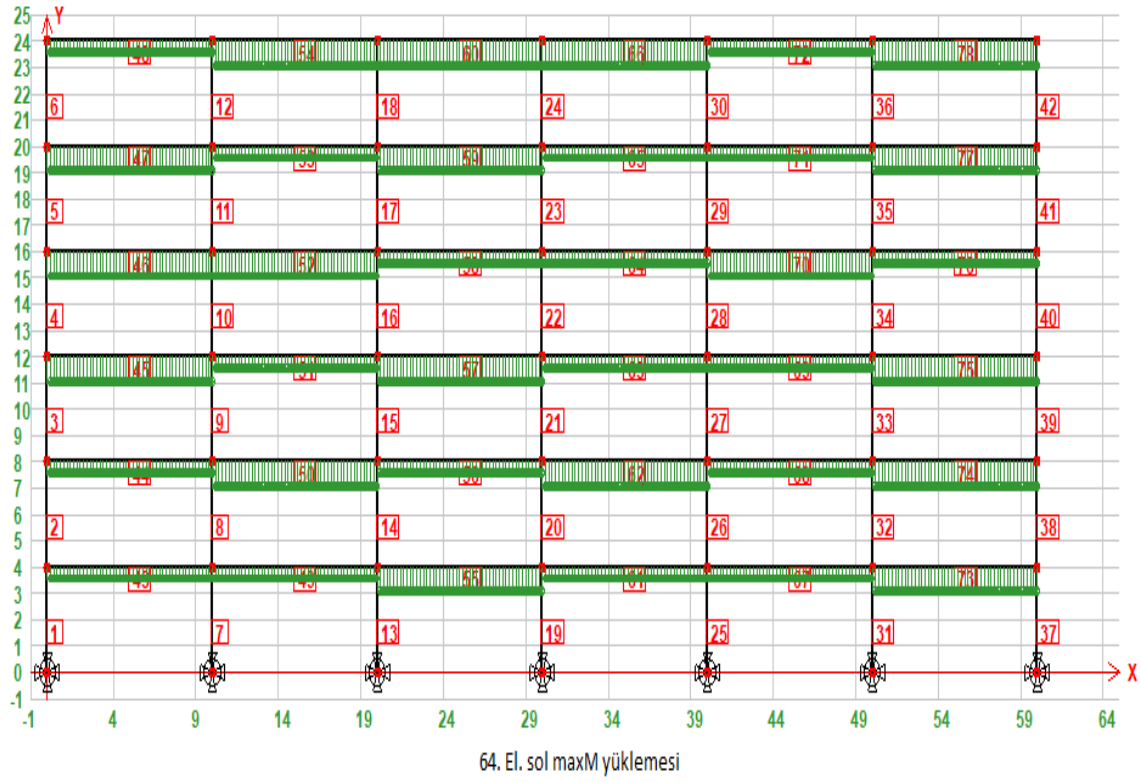
Şekil 4.31. 43. Eleman açıklık maksimum moment yüklemesi



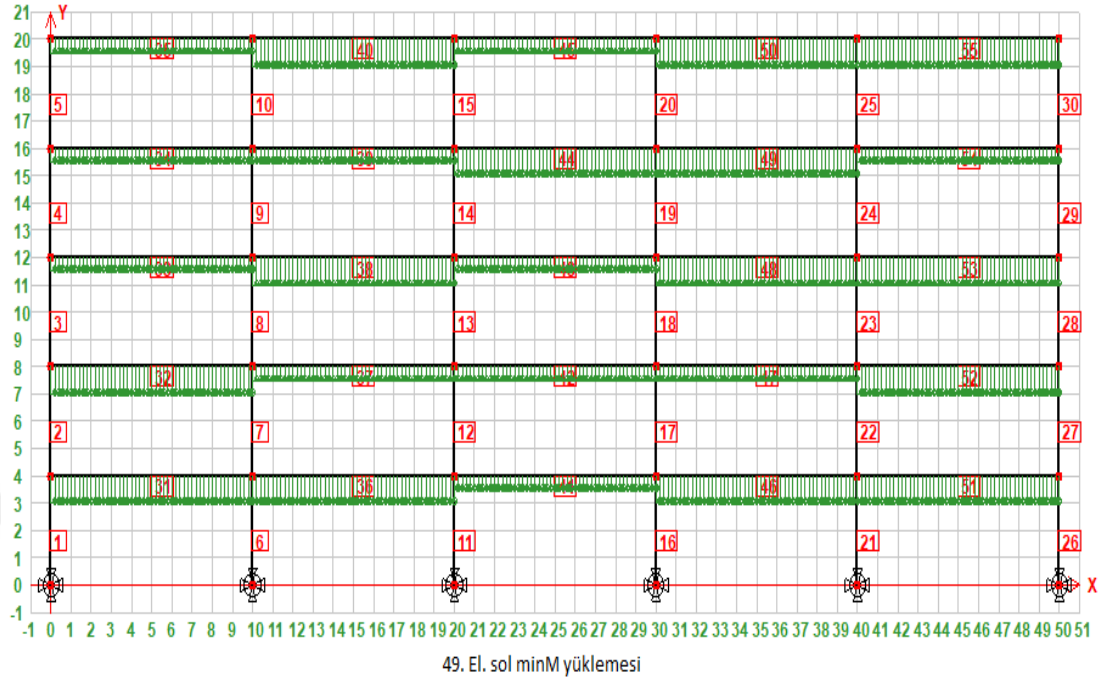
Şekil 4.32. 57. Eleman açıklık maksimum moment yüklemesi



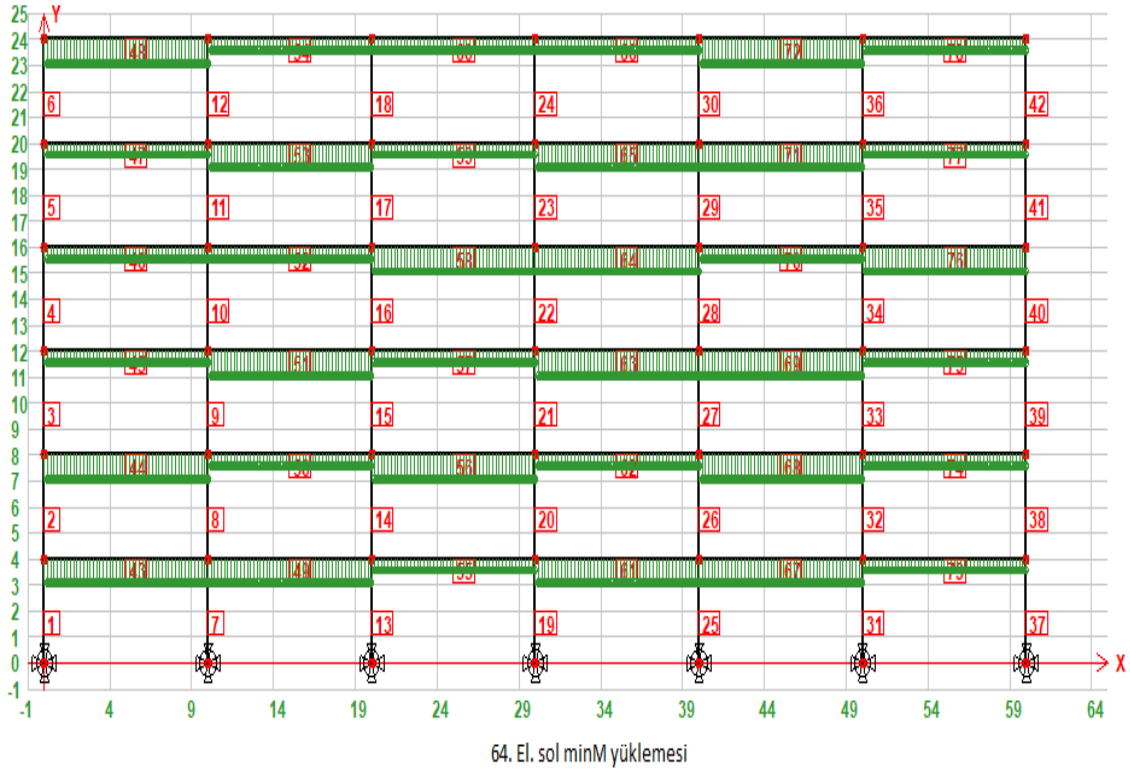
Şekil 4.33. 49. Eleman sol uç maksimum moment yüklemesi



Şekil 4.34. 64. Eleman sol uç maksimum moment yüklemesi



Şekil 4.35. 49. Eleman soluç minimum moment yüklemesi



Şekil 4.36. 64. Eleman sol uç minimum moment yüklemesi

Çizelge 4.11. 5 Açıklıklı ve 6 açıklıklı düzlem çerçevelerin karşılaştırması

El.Nu.			5 Açıklıklı 5 Katlı Düzlem Çerçeve	El.Nu.			6 Açıklıklı 6 Katlı Düzlem Çerçeve
37	sol	maxM	-52.41383	50	sol	maxM	-52.1047
		min M	-135.0276			min M	-135.283
	sağ	maxM	-52.30484		sağ	maxM	-51.99375
		min M	-135.3388			min M	-135.7259
	Açıklık	maxM	70.84476		Açıklık	maxM	70.83255
		min M	22.86362			min M	22.86528
43	sol	maxM	-51.87871	57	sol	maxM	-50.96425
		min M	-135.6363			min M	-136.552
	sağ	maxM	-51.87851		sağ	maxM	-50.90673
		min M	-135.6363			min M	-136.5819
	Açıklık	maxM	-71.44573		Açıklık	maxM	71.35249
		min M	-22.28921			min M	22.395
49	sol	maxM	-50.81746	64	sol	maxM	-50.92556
		min M	-137.6545			min M	-136.499
	sağ	maxM	-49.77543		sağ	maxM	-51.15653
		min M	-136.0063			min M	-136.4863
	Açıklık	maxM	72.11602		Açıklık	maxM	71.52236
		min M	22.01102			min M	22.19392

5 açıklık ve 5 katlı düzlem çerçeve ile 6 açıklık ve 6 katlı düzlem çerçeveler üzerinde en elverişsiz kesit tesirlerini oluşturan hareketli yük düzenlemeleri Şekil 4.21. ve Şekil 4.36. arasında verilmiştir. Bu çalışmalar üzerinde yapılan incelemede, hareketli yüklerle ilgili sistematik bir yükleme şablonu çıkarılamayacağı, her sistemin hareketli yük yükleme düzeninin farklı olduğu tespit edilmiştir.

Ancak Çizelge 4.11'de verilen, benzer noktalardaki kesitler üzerinde yapılan inceleme ve değerlendirmede ise, bulunan sonuçların birbirlerine yakın olduğu, bunun sebebi olarak ta inceleme yapılan kesitin yakın çevresinde benzer yükleme şekillerinin oluştuğu, bu kesitten uzaklaştıkça hareketli yükün etki değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Tespiti yapılan bu durum, "Kesit zorlanmaları o kesitten uzaktaki yüklerden çok az etkilenmektedir. (Ersoy,1989)" sözünü kanıtlar niteliktedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada taşıyıcı elemanlarda en büyük kesit etkilerini oluşturan hareketli yükleme düzenlemelerinin, yapıda pratik ve gerçekçi yaklaşım gösteren bir şekilde konumlandırılması için halihazırda öne sürülmüş ve geçerliliğini sürdüren kabullerin araştırılması ile günümüz imkanları ile bunların doğruluk dereceleri araştırılmıştır. Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Sürekli kişirler üzerinde hareketli yük düzenlemeleri ile ilgili çalışmaların doğruluğunun teyit edildiği,
2. Düzlem çerçevelerle ilgili literatürde kabul edilen yaklaşımlardan, elverişsiz açıklık moment değerlerini veren hareketli yük düzenlemeleri ile ilgili çalışmaların kabul edilebilir düzeyde doğru olduğu, ancak elverişsiz mesnet moment değerlerini veren hareketli yük düzenlemeleri ile ilgili çalışmaların ise kabul edilebilir olmayacağı, sistem üzerinde bu yükleme türünden farklı yükleme kombinasyonları ile daha elverişsiz mesnet moment değerlerine ulaşılabildiği,
3. Kesit zorlanmalarının o kesitten uzaktaki yüklerden çok az etkilendiği sonuçlarına varılmıştır.

Burada pratik, kabul edilebilir ve tüm sistemlere uygulanabilir bir hareketli yük dağılımının olup olmayacağı hakkındaki incelemede, açıklanan konularda genele uygulanabilir bir yaklaşımın ve basit bir çözümün olmadığı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Arslan, A., Turgut, P., Calayır, Y., 1996. A Genetic Search Based Arrangement of Load Combinations İn Structural Frames, Advances in Computational Structures Technology. 85-9, Edinburg.

Çakıroğlu, A., Özden E., Özmen G., 1970. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metodları ve Elektronik Hesap Makinası Programları. İstanbul, C.I.

Çakıroğlu, A., 1975. En Büyük Tesirleri veren Deprem Doğrultularının Tayini. İ.T.Ü. Dergisi Cilt 33, Sayı 3

Çakıroğlu, A., Özden E., Özmen G., 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metodları ve Elektronik Hesap Makinası Programları. İstanbul, C.II.

Çakıroğlu, A., Çetmeli, E., 2000. Yapı Statiği I, II. 10. Baskı, İstanbul, Beta Basım A.Ş.

Çatal, H. H. 2005. Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Matris Yöntemler, İzmir. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:294

DBYBHY; 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik. T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara

Doğangün, A., 2013. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. Birsen Yayınevi

Döven, M.S., Saraçoğlu, M.H., Kaymak, B., Bayer, M.T., 2011. Düzlem Çerçeve Yapıların Elverişsiz Yük Dağılımına Göre Analizi Akedemik Bilişim Konferansı Bildirileri, Malatya

Ersoy, U., 1989. Çok Katlı Yapıların Çözümünde Hareketli Yük Düzenlemesi. İMO İzmir Şubesi

Ersoy, U., 1992. Çok Katlı Yapıların Çözümünde Hareketli Yük Düzenlemesi. İMO Teknik Dergi, Yazı 40 555-561

Ersoy, U. ve Marjani, F., 1991. Betonarme Kesitlerin Bilgisayar İle Analizi ve Dizaynı, Teknik Dergi, İMO XI. Teknik Kongre, İstanbul

Earthquake Resistant Regulations - A World List

Ekiz, İ., 2008. Yapı Statiği I-İzostatik Sistemler. Birsen Yayınevi, 3. Baskı, İstanbul

Furlong R.W., 1981. Rational Analysis of Multistory Concrete Structures. Concrete International, American Concrete Inst.,V.3, No.6.

Girgin, K., Aksoylu, M.G., Durgun, Y., Darılmaz, K., 2014., Yapı Statiği (İzostatik Sistemler) Çözümlü Problemler, Birsen Yayınevi.

Hibbeler, R.C., 2011. Structural Analysis, Prentice Hall Int., Eighth Edition in SI Units, Singapore.

Hibbeler, R.C., 2017. Yapı Statiği, Dokuzuncu Baskıdan Çeviri, Palme Yayıncılık, Ankara.

İnan, M., 1962 Cisimlerin Mukavemeti, Arı Kitapevi Matbaası, İstanbul.

Large, G., 1950. Basic Reinforced Concrete Design , The Ronald Press Co., N.Y.

Nilson A.H., vd. 1991. "Design of Concrete Structures". Hareketli yüklerin hepsinin aynı anda bütün açıklıklarda bulunması olasılığı azdır. McGraw-Hill Publication, Eleventh Edition.

Özmen, G., 2011. Elverişsiz Deprem Doğrultuları İçin Yaklaşık Bir Çözüm. TMH İ.T.Ü.

Özmen, G., 2009. Deprem Etkisi Altında Tasarım İç Kuvvetleri. TMH İ.T.Ü.

Tezcan, S., 1970. Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makineleri İle Çözümü. Arı Kitabevi Matbaası, 404, İstanbul.

Topçu A., 2019. Betonarme II, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY); 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), T.C. İç İşleri Bakanlığı, Ankara

TS 498; 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 500; 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS ISO 9194; 1997. Yapıların projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 1991-1-3; 2007. Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri. (Eurocode 1)

Uysal, M., 2002 Visual Basic 6,0 ile Yazılım Geliştirme, Beta Basım Yayınevi

West, H.H., 1993 Fundamentals of Structural Analysis, John Wiley and Sons, Inc. Singapore

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Erzurumda doğdu. İlk,orta, lise öğrenimini Erzurum'un Uzundere ilçesinde tamamladı. 1997 yılında girmiş olduğu Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında mezun oldu. 2003-2004 yılları arasında askerlik hizmetini yaptıktan sonra özel firmalarda İnşaat Mühendisi olarak görev yaptı. 2007 yılında Milli Savunma Bakanlığı Erzurum İnşaat Emlak Bölge Başkanlığında İnşaat Mühendisi olarak görev yaptı. 2018 yılından itibaren Kültür ve Turizm Bakanlığı Erzurum Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğünde çalışmakta olup, Erzurum Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü (vekaleten) görevini yürütmektedir.