

**ÇOK KATLI ÇERÇEVELERDE MAKSİMUM MOMENT
TESİRLERİNİ VEREN HAREKETLİ YÜK DÜZENLEMESİ**

Ercenk Şıkyazar

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

1997

67428

**ÇOK KATLI ÇERÇEVELERDE MAKSİMUM MOMENT TESİRLERİNİ
VEREN HAREKETLİ YÜK DÜZENLEMESİ**

Ercenk ŞIKYAZAR

Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof.M.Ruhi AYDIN

Temmuz 1997

Ercenk ŞIKYAZAR'ın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı "Çok Katlı Çerçevelerde Maksimum Moment Tesirlerini Veren Hareketli Yük Düzenlemesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye: Prof. M.Ruhi AYDIN (Danışman)



Üye: Prof. Dr. Ahmet TOPÇU



Üye: Yard. Doç. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 22-07-1997 gün ve 97-12/40 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof.M.Selami KILIÇKAYA

Enstitü Müdürü

ÖZET

Mühendislik yapılarının analizinde, hareketli yüklerin maksimum ve minimum kesit tesirlerini verecek şekilde düzenlenmesinin gerekliliği yönetmelikler tarafından ifade edilmektedir. Fakat çok katlı ve açıklıklı çerçevelerde çok fazla sayıda yükleme ve analiz yapmak gerekmektedir. Bu yüzden daha az sayıda çözümlenme yaparak kesin sonuca daha yakın çözümler elde etmek daha pratik bir yaklaşım olacaktır.

Maksimum ve minimum kesit tesirlerini veren hareketli yüklerin düzenlenmesi tesir çizgilerinden yararlanılarak elde edilmektedir. Bu çalışmada; önce tesir çizgileri izostatik ve hiperstatik sistemlerde olmak üzere iki bölümde incelenmiş ve buna göre maksimum ve minimum kesit tesirlerini veren hareketli yük düzenlemeleri incelenmiştir. Çok katlı çerçevelerde hareketli yük düzenlenmesi için daha önce önerilen mevcut yöntemler araştırılmış, bunlara ilaveten basit bir yöntem sunulmuştur. Örnek bir çerçevede mevcut yöntemlerle sunulan yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece hareketli yükün oluşturacağı en büyük kiriş mesnet momentlerini en az kombinasyonlarda saptamanın yolları araştırılmıştır.

SUMMMARY

It is expressed by regulations that in the analysis of engineering structures the organization of live load arrangements should be as such to give the effect of maximum and minimum internal forces. But there must be a great number of loading and analysis in the multi-story bay frames. So, it will be practical to make a less number of analysis in order to obtain more or less definitive solutions.

The organization of live load arrangements which give maximum and minimum internal forces is obtained by making use of influence lines. In this study; influence lines are examined in two classes as isostatic and hyperstatic systems and in accordance with that organized live load arrangement which gives maximum and minimum internal forces is examined. Proposed present methods are investigated for the organized live load arrangements in the multi-story frames and in addition, a simple method is presented a comparison of the proposed method is made with the present methods in a model frame. Thus, the ways of estimating the biggest support moments formed by live load arrangements is investigated at the minimum number of combinations.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi süresi içinde ders ve tez çalışmalarında değerli fikir ve yardımları ile beni yönlendiren değerli hocam Prof.M.Ruhi AYDIN'a ve İnşaat Mühendisliği Bölümünde görevli diğer hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca öğrenim yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Anne ve Babama teşekkür ederim.

Ercenk ŞIKYAZAR
Eskişehir, Temmuz 1997

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. İZOSTATİK SİSTEMLERDE TESİR ÇİZGİLERİNİN BULUNMASI.....	4
2.1. Basit, Konsollu ve Çıkmalı Kirişlerde Tesir Çizgileri.....	4
2.2. İzostatik Sistemlerde Maksimum ve Minimum Kesit Tesirlerini Veren Hareketli Yük Durumları.....	6
2.3. İzostatik Sistemlerde Tesir Çizgilerinin Kinematik Metodla Bulunması.....	14
2.3.1. Gerber kirişlerine ait tesir çizgileri.....	15
2.3.2. Üç mafsallı kemer ve çerçevelere ait tesir çizgileri.....	16
2.3.3. Kafes kirişlere ait tesir çizgileri.....	19
3. HİPERSTATİK SİSTEMLERDE TESİR ÇİZGİLERİ.....	26
3.1. Kuvvet Metoduna Göre Tesir Çizgilerinin İncelenmesi.....	26
3.2. Açık Metoduna Göre Tesir Çizgilerinin İncelenmesi.....	33

4. ÇOK KATLI ÇERÇEVELERDE MAKSİMUM KESİT TESİRLERİ VEREN HAREKETLİ YÜK DÜZENLENMESİ.....	36
4.1. Mevcut Yöntemler.....	36
4.1.1. Large yöntemi	36
4.1.2. Furlong yöntemi	37
4.1.3. Ersoy yöntemi	38
4.1.4. Altın, Ertutar, Abraşoğlu yöntemi	39
4.1.5. Kıraç ve Ünlüoğlu yöntemi	39
4.2. Önerilen Yöntem.....	40
4.3. Örnekler.....	48
5. SONUÇLAR.....	56
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. m kesitine ait moment tesir çizgisinin çizilmesi.....	2
1.2. Yayılı yük halinde m kesitine ait moment tesir çizgisi.....	3
2.1. Basit kirişte tesir çizgileri.....	5
2.2. Kesme kuvvetlerinin maksimum ve minimum değerlerini veren düzgün yayılı yük durumu.....	7
2.3. Eğilme momentinin maksimum değerini veren düzgün yayılı yük durumu.....	8
2.4. Kesme kuvvetlerinin maksimum ve minimum değerlerini veren tekil kuvvetlerde yük durumu.....	9
2.5. Eğilme momentinin maksimum değerini veren tekil kuvvetlerde yük durumu.....	10
2.6. Basit kirişte maksimum momentin yerinin bulunması.....	12
2.7. Konsol kirişte tesir çizgileri.....	13
2.8. Gerber kirişinin kinematik metod ile tesir çizgilerinin çizilmesi.....	15
2.9. Üç mafsallı kemerde moment tesir çizgisi.....	17
2.10. Üç mafsallı kemerde kesme kuvveti tesir çizgisi.....	18
2.11. Kafes kirişte tesir çizgisi.....	20
2.12. Kafes kirişte dik hız planı ile tesir çizgisi.....	22
2.13. Üç mafsallı kafes kemerde tesir çizgisi.....	24
2.14. Kinematik metodla sistem rijitliğinin bulunması.....	25
3.1. Şehim tesir çizgisi.....	26
3.2. Mütemadi kirişte mesnet momenti tesir çizgisi.....	29
3.3. Mütemadi kirişte mesnet tepkisi tesir çizgisi.....	30
3.4. Ankastre moment tesir çizgisine ait grafik.....	35

4.1.	Large yönteminde model yükün çerçeveye uygulanması.....	37
4.2.	Furlong yönteminde model yükün çerçeveye uygulanması.....	37
4.3.	Ersoy yönteminde model yükün çerçeveye uygulanması.....	38
4.4.	Altın, Ertutar, Abraşoğlu yönteminde model yükün çerçeveye uygulanması..	39
4.5.	Kesim yapılmış sistemin elastik eğrisi.....	41
4.6.	Maksimum momenti istenen girişe ait yükleme düzeni.....	42
4.7.	Sistemin kenar mesnetlerinden birine ait elastik eğrisi ve yükleme düzeni	43
4.8.	Önerilen yöntemde model yükün çerçeveye uygulanması.....	44
4.9.	Örnek çerçeveye ait maksimum giriş mesnet momentleri için önerilen yükleme düzeni.....	45
4.10.	Furlong yöntemine göre örnek çerçevede maksimum giriş mesnet momentlerini veren yükleme durumu	46
4.11.	Ersoy yöntemine göre örnek çerçevede maksimum giriş mesnet momentlerini veren yükleme durumu	47
4.12.	Altın, Ertutar, Abraşoğlu yöntemine göre örnek çerçevede maksimum giriş mesnet momentlerini veren yükleme durumu.....	47
4.13.	Kıraç ve Ünlüoğlu yöntemine göre örnek çerçevede maksimum giriş mesnet momentlerini veren yükleme durumu.....	48
4.14.	Örnek çerçeve.....	49
4.15.	“k” rijitlik değerleri farklı örnek çerçeve.....	52
Tablo 1.	“k” rijitliklerinin aynı olması durumunda giriş mesnet momentleri.....	51
Tablo 2.	“k” rijitliklerinin farklı olması durumunda giriş mesnet momentleri.....	54

SİMGELER DİZİNİ

- E : Elastisite modülü
 F : Üniform yayılı yükün altındaki tesir çizgisi alanı
 I : Atalet momenti
 k : Çerçeve sistemde $2EI / \ell$ olmak üzere rijitlik değerleri
 ℓ : Hesap açıklığı
 M : Eğilme momenti
 M_m : m kesitine ait eğilme momenti
 P : Tekil kuvvet
 q : Birim boy veya alana gelen hareketli yük
 Q : Kesme kuvveti
 Q_m : m kesitine ait kesme kuvveti
 R : P kuvvetlerinin bileşkesi
 S : Kafes sistemlerde çubuk kuvveti
 V_i : Virtüel hız
 y : Tesir çizgisi ordinatı
 X_m : Kesit tesiri tesir çizgisi
 δ_{om} : 1 birimlik kuvvetin kesite uygulanması durumunda hiperstatiklik derecesi bir azalmış sistemin elastik eğrisi
 δ_{mm} : Bu elastik eğrinin kesit noktasında ki değeri
 β, ∞ : Açılı değerleri
 φ : Dönüş açısı
 $\dot{\varphi}$: Relatif dönüş açısı hızı
 β : Bilinen sabitler

1.GİRİŞ

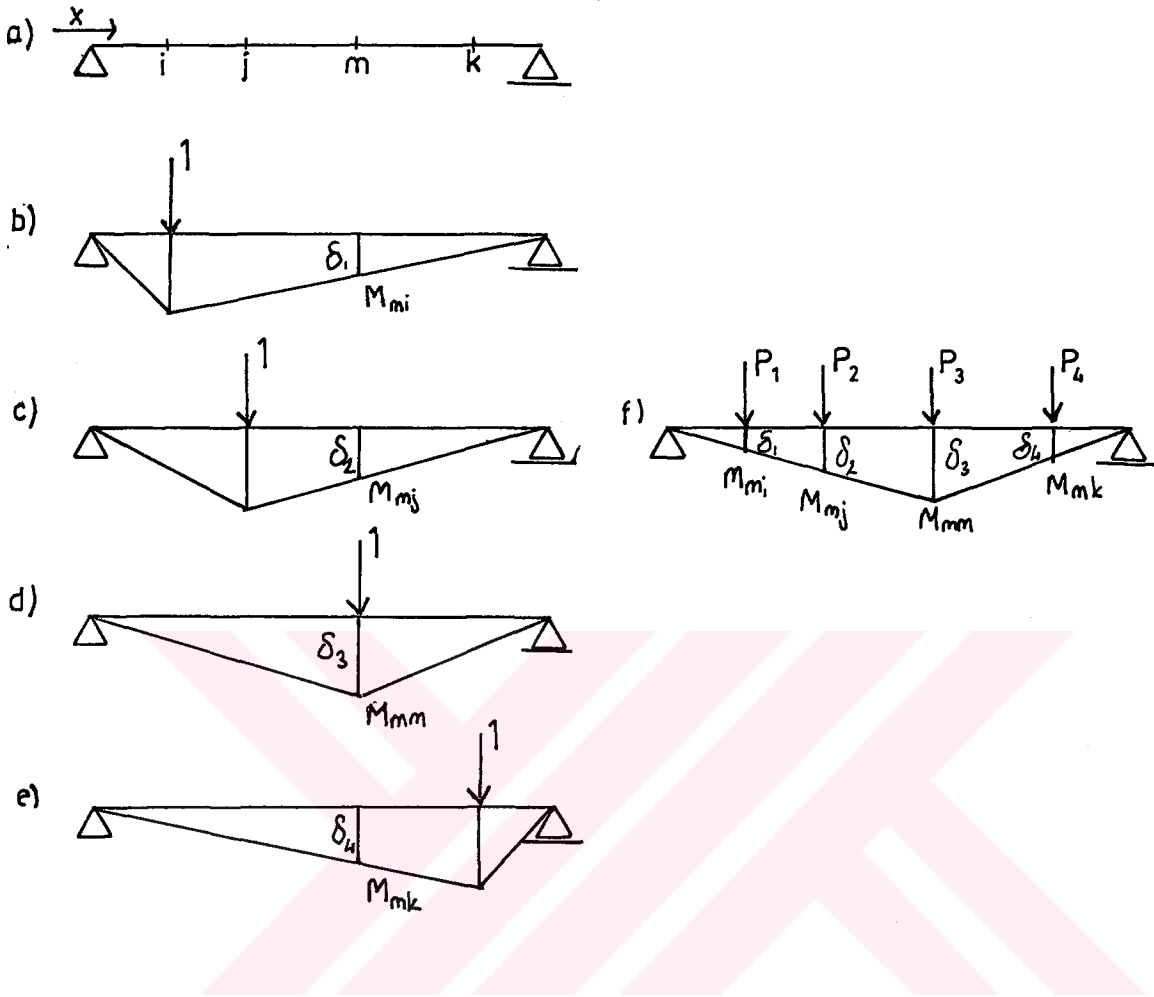
Mühendislik yapılarında, taşıyıcı sistemlerin çözümlenmesinde, en büyük kesit tesirlerini verecek hareketli yük düzenlemesinin yapılması gerekmektedir. Bu yapının güvenliği açısından çok önemlidir ve yönetmeliklerde de belirtilmiştir.

Yapı elemanının, herhangi bir kesitindeki maksimum ve minimum kesit tesirlerini veren hareketli yük durumları tesir çizgisi üzerinde yapılan araştırma ile bulunur. Bir başka ifade ile çeşitli yüklemeler için tesir çizgileri kullanılarak kesit değerlerinin maksimum ve minimum değerleri tayin edilebilir.

Tesir çizgisi diyagramı, birim bir kuvvetin sistem üzerinde yerini değiştirdikçe tanımlanan bir kesit tesiri değerlerinde meydana gelecek değişimi grafik olarak gösterir.

Sistem üzerinde herhangi bir m kesitindeki kesit tesirine ait tesir çizgisini tayin etmek için, sistemde belli bir sabit noktadan x kadar uzaklıktan uygulanan düşey kuvvetin m kesitinde meydana getirdiği kesit tesiri x 'e bağlı olarak ifade edilirse, tesir çizgisi fonksiyonu bulunur. Bu fonksiyonun çizilmesi ile de tesir çizgisi bulunmuş olur.

Tesir çizgisi kavramını bir örnekle açıklamak üzere basit bir kirişin m noktasına ait moment tesir çizgisinin çizilmesi şekil 1.1.b-f 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1: m kesitine ait moment tesir çizgisinin çizilmesi

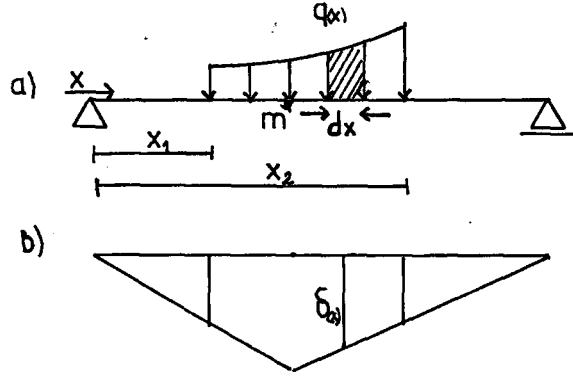
Şekil 1.1.f'deki yüklemekten dolayı m kesitinde meydana gelen moment değeri

$$M_m = P_1 \cdot \delta_1 + P_2 \cdot \delta_2 + \dots + P_n \cdot \delta_n = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta_i \quad (1.1)$$

olarak bulunur.

Burada δ 'lar tesir çizgisinin ordinatı olarak gösterilmiştir ve kuvvetin uygulandığı x mesafesine bağlıdır.

Basit bir kirişin herhangi bir m kesitinde yayılı yükten dolayı meydana gelen momentin tesir çizgisi yardımı ile hesabı Şekil 1.2 a-b'de verilen örnek üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : Yayılı yük halinde m kesitine ait moment tesir çizgisi

Burada $q(x)$ yayılı yükü, $q(x)dx$ şiddetindeki tekil kuvvetlerin toplamı olacağından, şekil 1.2.a'daki yüklemekten dolayı m kesitinde meydana gelen momentin değeri

$$M_m = \int_{x_1}^{x_2} q(x) \cdot \delta_{(x)} \cdot dx \quad (1.2)$$

olacaktır. Şayet $q(x)$ yayılı yükü bölgede sabit ise $q(x) = q$ ile x_1 ve x_2 sınırları arasında kalan tesir çizgisi alanının çarpımı momentin değerini verecektir.

O halde düzgün yayılı yükten dolayı meydana gelen momentin değeri

$$M_m = q \cdot F \quad (1.3)$$

olarak elde edilir. Burada F , düzgün yayılı yükün altında bulunan tesir çizgisinin alanını göstermektedir.

2. İZOSTATİK SİSTEMLERDE TESİR ÇİZGİLERİNİN BULUNMASI

İzostatik sistemlerde tesir çizgileri doğrusal özellik gösterirler. Bu tür sistemlerde genel olarak 3 tip tesir çizgisi çizilmektedir. Bunlar:

- Mesnet Tepkisi Tesir Çizgisi,
- Kesici Kuvvet Tesir Çizgisi,
- Moment Tesir Çizgisidir.

Aşağıda izostatik sistemlerde tesir çizgileri; basit, konsollu ve çıkmalı kirişlerde, gerber kirişlerinde, mafsallı kemer ve çerçevelerde, kafes kirişlerde tek tek ele alınıp incelenecektir.

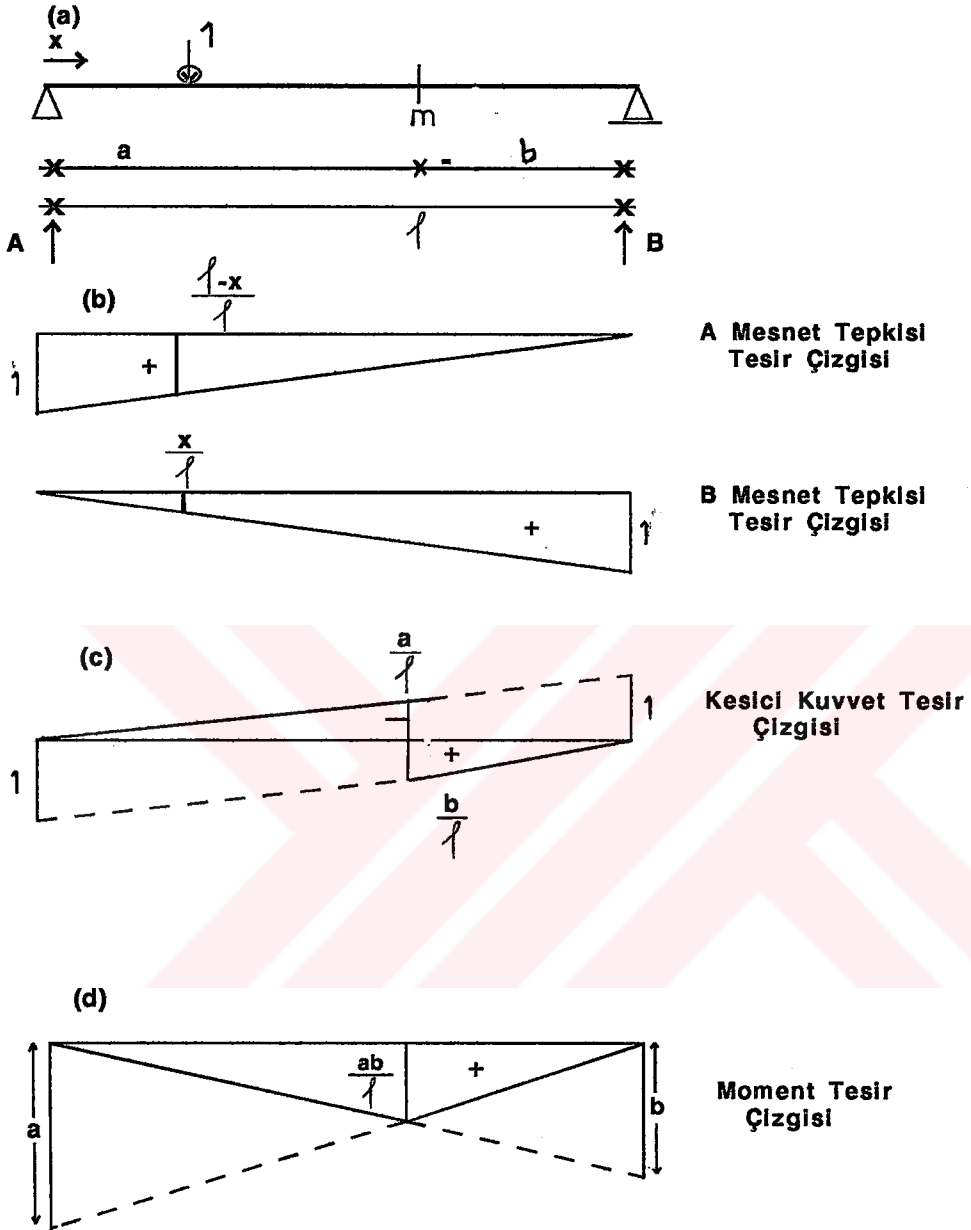
2.1. Basit, Konsollu ve Çıkmalı Kirişlerde Tesir Çizgileri

Basit bir kirişte mesnet tepkilerine ait tesir çizgisi ile herhangi bir kesite tesir eden kesici kuvvet ve mesnet tesir çizgisi diyagramları şekil 2.1'de gösterildiği gibidir.

Burada; A ve B mesnet tepkilerinin tesir çizgileri şekil 2.1.b'de görüldüğü gibidir. Bu mesnet tepkileri A'dan itibaren x uzaklığındaki birim yük için

$$A = \frac{\ell - x}{\ell} \cdot 1 \quad B = \frac{x}{\ell} \cdot 1 \quad (2.1)$$

olarak elde edilir.



Şekil 2.1. Basit Kirişte Tesir Çizgileri

Herhangi bir m kesitine ait kesme kuvveti tesir çizgisinin bulunması için, birim yükün A ile m ve m ile B arasında olması hali için kesici kuvvetin $-B$ ve A değerlerine eşit olacağı özelliğinden yararlanır. (Şekil 2.1.c).

Yani birim kuvvet A ile m arasında iken $Q_m = - B_y$, birim kuvvet m kesiti ile B mesnedi arasında ise $Q_m = A_y$ olarak ifade edilir.

Bu ifadelerden de anlaşılacağı gibi m kesitinin sağında kalan kiriş parçasına uygulanan kuvvetler pozitif kesme kuvvetini verirler ve maksimum kesme kuvvetini bulmak için de kuvvet yüklemelerini bu parça üzerinde uygulamak gerekecektir. Aynı şekilde m kesitinin solunda kalan kiriş parçasına uygulanan kuvvetler negatif kesme kuvvetini verirler ve minimum kesme kuvvetini bulmak için de kuvvet yüklemelerini bu parça üzerinde uygulamak gerekecektir.

Herhangi bir kesite ait moment tesir çizgisinin bulabilmek için önce birim kuvveti kesitin sağında kalan parçasına uygulayalım. Bu durumda m kesitinin solunda yalnız A mesnet kuvveti bulunur ve $M_m = A.a$ olur. Moment pozitiftir. O halde, moment tesir çizgisinin m kesiti ile B mesnedi arasında kalan parçanın ordinatları aynı sınırlar içerisinde kalan A tesir çizgisi parçası ordinatlarının a katıdır (Aykurt, 1976). Aynı şekilde birim kuvvet A mesnedi ile m kesiti arasındaysa, kesitin sağında yalnız B mesnet kuvveti bulunduğundan $M_m = B.b$ olur. Moment pozitiftir. Moment tesir çizgisinin, m kesiti ile A mesnedi arasında kalan parçasının ordinatları, B mesnedi reaksiyon kuvvetinin aynı sınırlar içerisinde kalan parçası ordinatlarının b katıdır (Aykurt, 1976). Buradan, moment tesir çizgisinin tamamı elde edilen parçaların birleştirilmesi ile elde edilir (Şekil 2.1 d).

2.2. İzostatik Sistemlerde Maksimum ve Minimum Kesit Tesirlerini Veren Hareketli Yük Durumları

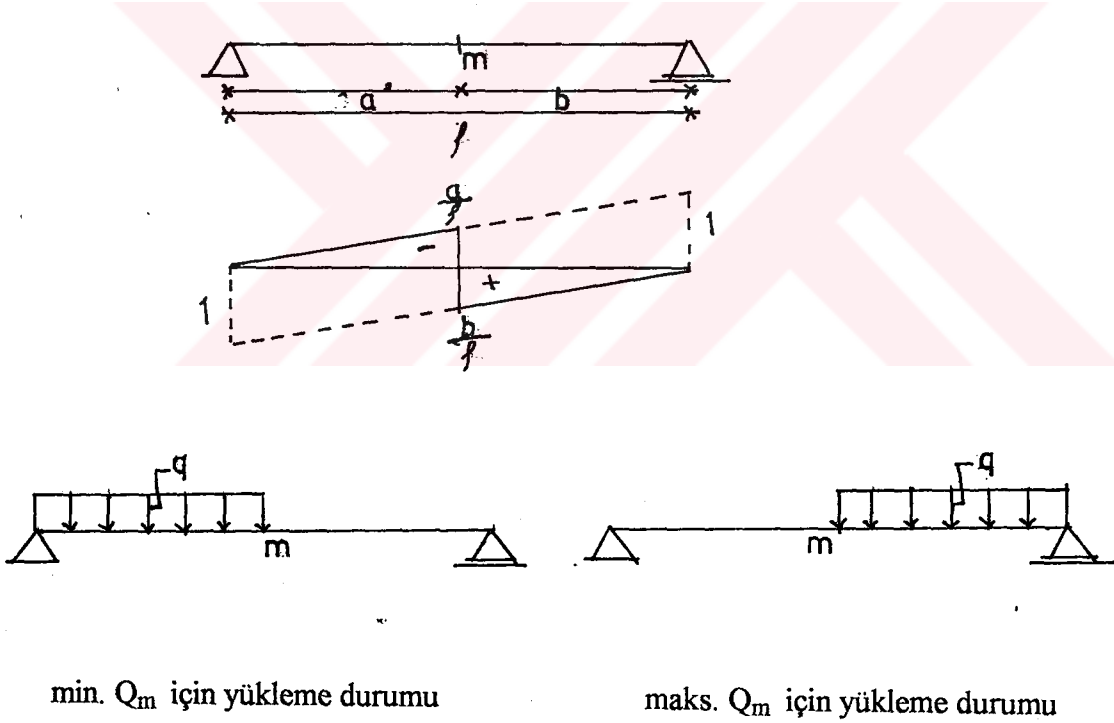
İzostatik bir sistemde maksimum ve minimum kesit tesirlerini veren hareketli yük durumları tesir çizgileri üzerinde yapılan araştırmayla bulunur.

Kesit tesirlerinin maksimum ve minimum değerini veren yükleme durumlarını genel olarak ikiye ayırabiliriz.

- a) Düzgün yayılı yük hali
b) Tekil kuvvetlerden oluşan yük hali

a) Düzgün Yayılı Yük Hali

Basit kirişin herhangi bir m kesitindeki kesme kuvvetinin maksimum değerini veren düzgün yayılı yük, tesir çizgisinin pozitif olduğu alana uygulanmalı, minimum değeri ise düzgün yayılı yükün tesir çizgisinin negatif alanına uygulanması ile elde edilir.



Şekil 2.2: Kesme Kuvvetlerinin maksimum ve minimum değerlerini veren düzgün yayılı yük durumu

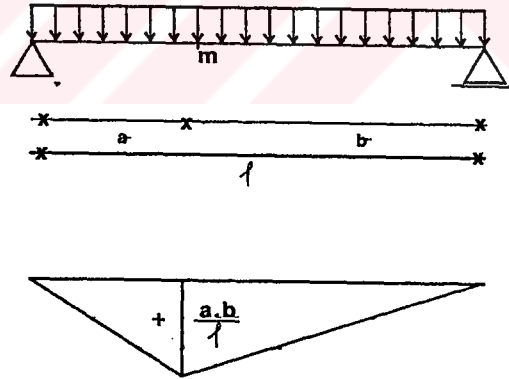
Düzgün yayılı yüklemde maksimum ve minimum kesme kuvvetlerinin değerleri şekil 2.2'deki sisteme göre

$$Q_{m \text{ maks}} = q \cdot \frac{b^2}{2l} \quad (2.2)$$

$$Q_{m \text{ min}} = q \cdot \frac{a^2}{2l} \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir.

Basit bir kirişin herhangi bir m kesitindeki eğilme momentinin maksimum değerini veren düzgün yayılı yük durumu tesir çizgisinin pozitif olduğu alana uygulanmalıdır. Şekil 2.3'deki basit kirişin tamamının bu yük ile dolu olması halinde maksimum eğilme momenti değeri elde edilecektir.



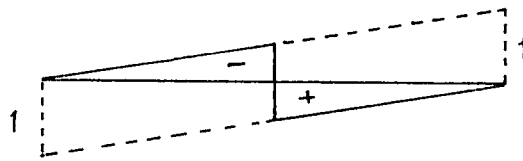
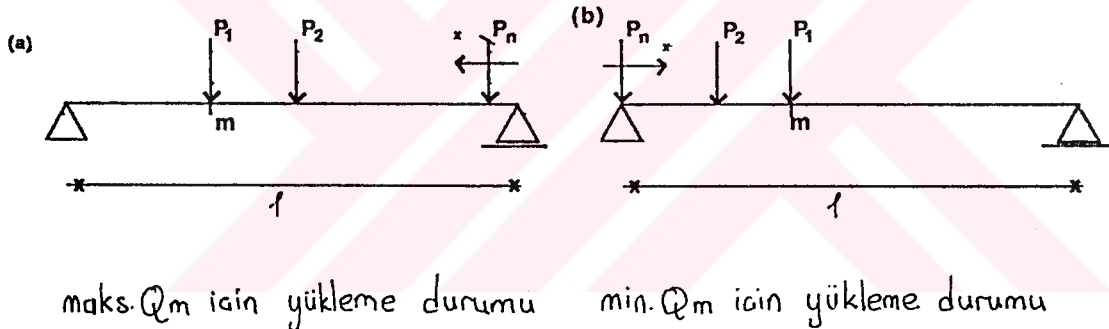
Şekil 2.3: Eğilme momentinin maksimum değerini veren düzgün yayılı yüklem durumu

Bu durumda;

$$M_m \text{ maks} = q \cdot \frac{a \cdot b}{\ell} \cdot \frac{\ell}{2} = q \cdot \frac{a \cdot b}{2} \quad (2.4)$$

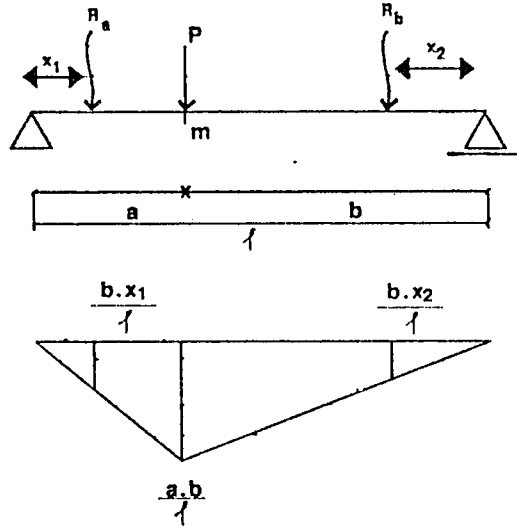
b) Tekil Kuvvetlerden Oluşan Yük Hali

Basit bir kirişin herhangi bir m kesitindeki kesme kuvvetinin maksimum değerini veren yüklemde tekil kuvvetler sağdan sola doğru ve yüklemenin ilk kuvveti m kesitinin üzerine gelecek şekilde olmalıdır. Minimum kesme kuvvetinin bulunması için de, yüklenecek tekil kuvvetler soldan sağa doğru ve yüklemenin ilk kuvveti aynı şekilde m kesitinin üzerine gelmelidir (Çetmeli, 1990).



Şekil 2.4 : Kesme kuvvetlerinin maksimum ve minimum değerlerini veren tekil kuvvetlerde yükleme durumu

Basit kirişe ait bir m kesitinde maksimum eğilme momentlerini veren tekil kuvvetlerden oluşan yük durumunu tayin etmek için; m kesitine bir P kuvvetinin etki etmesi zorunludur, zira tesir çizgisindeki en büyük ordinat m kesitinin altındadır. m kesitinin solunda ve sağında kalan kuvvetlerin bileşkeleri R_a ve R_b olsun.



Şekil 2.5 : Eğilme momentinin maksimum değerini veren tekil kuvvetlerde yük durumu

Burada eğilme momenti;

$$M_m = R_a \cdot \frac{b \cdot x_1}{l} + P \cdot \frac{a \cdot b}{l} + R_b \cdot \frac{a \cdot x_2}{l} \quad (2.5)$$

olur. Yükleme kiriş üzerinde soldan sağa doğru Δ hareket ettirilirse moment

$$M'_m = R_a \cdot \frac{b}{l} (x_1 + \Delta) + P \cdot \frac{a}{l} \cdot (b - \Delta) + R_b \cdot \frac{a}{l} (x_2 - \Delta)$$

olur. Buradan;

$$M'_m = M_m + \frac{\Delta}{l} (R_a \cdot b - P \cdot a - R_b \cdot a) \quad (2.6)$$

ifadesi yazılabilir.

M_m momentinin M'_m momentinden büyük olması gerekeceğinden parantez içindeki ifadenin negatif olması

$$R_a \cdot b - P \cdot a - R_b \cdot a < 0$$

gerekmektedir. O halde yükleme durumu soldan sağa doğru hareket etmesi halinde

$$\frac{R_a}{P + R_b} < \frac{a}{b} \quad (2.7)$$

sağdan sola doğru hareket etmesi halinde ise,

$$\frac{R_b}{P + R_a} < \frac{b}{a} \quad (2.8)$$

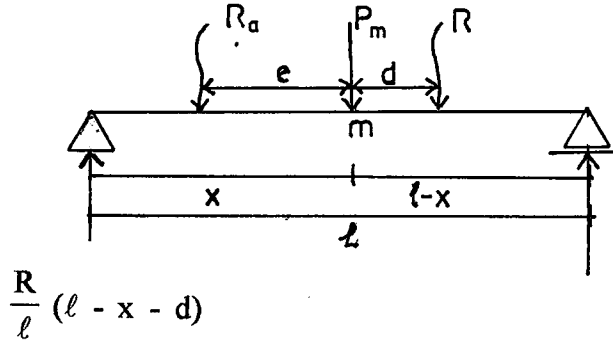
eşitsizlikleri elde edilir.

Bu iki eşitsizliğin aynı anda sağlanması durumunda maksimum eğilme momentini veren yükleme durumu tayin edilmiş olur. Buradan da maksimum eğilme momentinin değeri tesir çizgileri yardımıyla hesaplanabilir.

Basit kiriş üzerindeki her kesit için hesaplanan maksimum eğilme momentleri karşılaştırılarak, bulunan en büyük değere maksimum momentlerin maksimumu denir. Maks M_{maks} olarak gösterilebilir. Maks M_{maks} değerinin hesaplanabilmesi için tek tek karşılaştırılmaya gidilmesi pratik değildir. Bu yüzden maks M_{maks} değeri doğrudan doğruya hesaplanması gerekmektedir.

m kesiti, eğilme momentlerinin maksimumlarının maksimum olduğu kesit olsun. Bilindiği gibi tekil kuvvetlerden birinin m kesiti üzerinde olması gerekmektedir. Bu

kuvveti, P_m ile gösterelim. Kiriş üzerinde bulunan bütün kuvvetlerin bileşkesi R , P_m kuvvetinin solunda kalan kuvvetlerin bileşkeside R_a olsun (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Basit kirişte maksimum momentin yerinin bulunması

Buradan m kesitindeki eğilme momentinin değeri

$$M_m = \frac{R}{l} (l - x - d) \cdot x - R_a \cdot e$$

olur. Kirişe dışarıdan bir kuvvet girip veya çıkmamak kaydıyla kuvvetler katarı az miktarda sağa veya sola hareket ettirilirse eğilme momentinin değeri x 'e bağlı olarak değişir M_m eğilme momentinin maksimum olabilmesi için

$$\frac{dM_m}{dx} = \frac{R}{l} (l - 2x - d) = 0$$

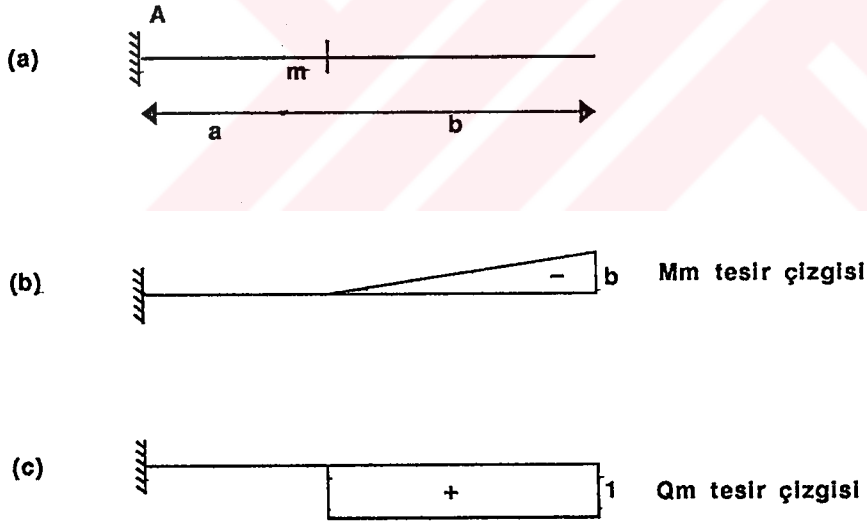
olmalıdır. Buradan; maks M_{maks} 'ın meydana geldiği kesitin yeri

$$x = \frac{l - d}{2} \quad (2.9)$$

olarak bulunur. O halde P_m kuvvetiyle R bileşkesinin ortası bu durumda kirişin ortasına gelmelidir (Çetmeli, 1990).

Başlangıçta P_m kuvvetinin hangi kuvvet olduğu bilinmemektedir. Bundan dolayı maksimum momentin bulunduğu kesitin genellikle kirişin ortasından çok yakın olmasından yola çıkarak, tesir çizgileri yardımıyla orta kesitte eğilme momentini maksimum yapan kuvvet P_m kuvveti olarak seçilir ve irdeleme bunlar üzerinde yapılır.

Konsol bir kirişte, verilen bir m kesitine ait kesit tesirlerinin ve tesir çizgilerinin hesabı için kiriş üzerine uygulanan birim düşey hareketli kuvvetin yeri; m kesiti ile ankastre kısmın arasındaysa kesici kuvvet ve moment sıfır olacaktır, m kesiti ile konsol uç arasında ise kesici kuvvet ve moment değerleri hesaplanabilir (Çetmeli, 1990).



Şekil 2.7: Konsol kirişte tesir çizgileri

Çıkmalı kirişlerde ise çıkmalar üzerindeki kesitlere ait tesir çizgileri konsol kiriştekilerin aynısıdır. Diğer kısımlarındaki tesir çizgileri ise basit kiriştekiler gibi olmaktadır.

Çıkmalı kirişte; mesnetler arasında ki bir m kesitine ait tesir çizgilerinin çizilmesinde ilk önce basit kirişe ait tesir çizgileri çizilebilir ve sonra bu doğrular konsol çıkan kısımların uçlarına kadar uzatılır.

Burada verilen bir m kesitinde düzgün yaylı hareketli yükten dolayı meydana gelen maksimum ve minimum kesit tesirlerinin hesabında; kesit tesiri çizgilerinin pozitif olduğu alanlar yüklenirse maksimum kesit tesirlerini, negatif olduğu alanlar yüklenirse minimum kesit tesirleri bulunabilir.

2.3. İzostatik Sistemlerde Tesir Çizgilerinin Kinematik Metodla Bulunması

Basit olmayan izostatik sistemlerin kesit tesirlerinin ve buna ait tesir çizgilerinin bulunmasında virtüel iş yöntemi ile çözüme ulaşmak daha basit ve pratiktir.

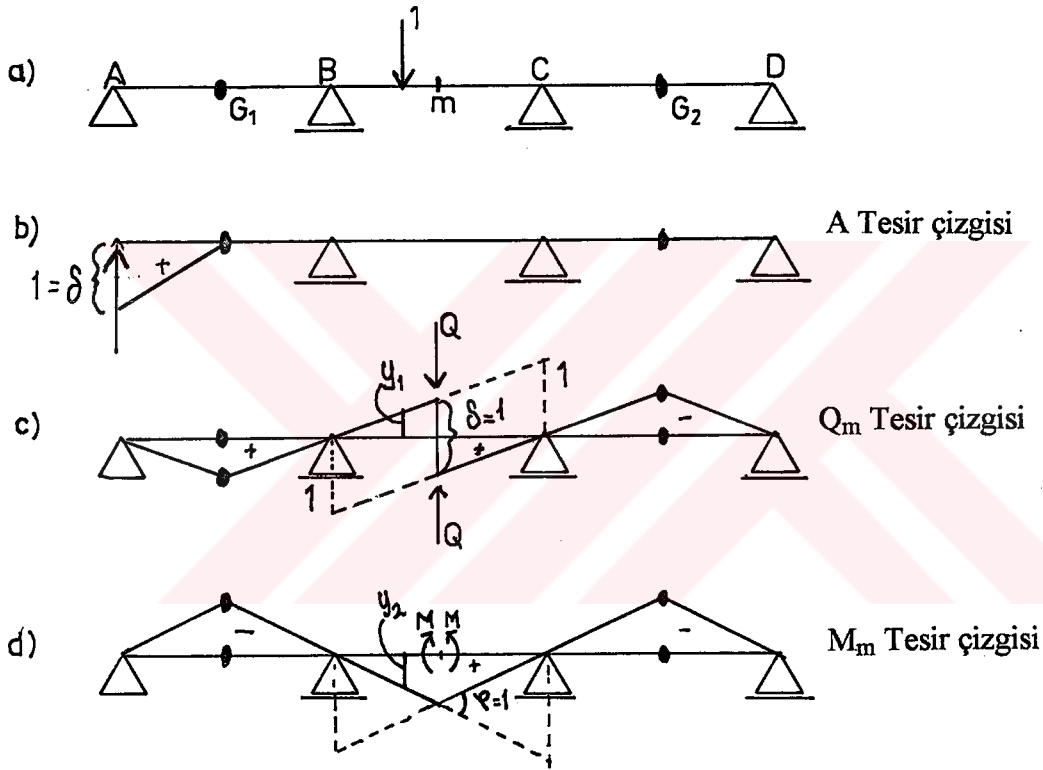
Taşıyıcı bir sistemi virtüel iş yöntemi ile çözmek için sistemden, değerini bulmak istenilen kesit tesiri çıkarılır. Böylece elde edilen sistem rijit olmayan labil bir sistem haline dönüşür. Bu sistemin katı cisim hareketine kinematik zincir adı verilir.

Elde edilen kinematik zincire, çıkarılan kesit tesirlerinin yerine temsilen birim kuvvetler uygulanır. Bu uygulanan kuvvetler ve sistemden kaldırılan iç kuvvetler sistemde bir virtüel hareket oluşturur. Sistemin dengede kalabilmesi için birim kuvvetlerin ve kesit tesirlerinin meydana getirdiği virtüel işin toplamı sıfır olması gerekecektir. Böylece bu denge denklemlerinden yararlanılarak aranan kesit tesiri tesir çizgileri bulunabilir.

Sistemin virtüel hareket sonucunda aldığı şekil ise bize tesir çizgisi diyagramının şeklini verecektir. Bu uygulanan metod kinematik metod olarak adlandırılmaktadır (Aykurt, 1976).

2.3.1. Gerber kirişlerine ait tesir çizgileri

Bir gerber kirişinde birim hareketli yükün herhangi bir m kesitinde meydana getirdiği kesit tesirlerini ve bunlara ait tesir çizgilerini bulmak için Şekil 2.7'de gösterildiği gibi kinematik zincir oluşturulabilir.



Şekil 2.8: Gerber kirişinin kinematik metod ile tesir çizgilerinin çizilmesi

Burada A mesnet tepkisi tesir çizgisini elde edebilmek için A mesnedini kaldırıp yerine $A=1$ gibi bir kuvvet etki ettirilir. Böylece meydana gelen kinematik zincire A noktasından δ kadar virtüel hareket verilirse, kirişin diğer kısımlarında da virtüel bir hareket meydana gelir. $\delta=1$ olarak alınırsa A mesnet kuvvetine ait tesir çizgisinin ordinatları, virtüel hareket sonucu sistemde meydana gelen şeklin aynısı olacaktır (Şekil 2.8.b).

m kesitinde meydana gelen kesme kuvvetini bulmak için; m kesitini kesme kuvvetinden ayırarak yerine kesme kuvveti dış kuvvet olarak verilir. m kesiti boyunca δ 'ya eşit ve kesici kuvvet yönüne ters yönde bir kayma vermek suretiyle kinematik zincire bir virtüel hareket verilirse virtüel iş denkleminde ; $Q = \frac{1 \cdot y_1}{\delta}$ elde edilir. $\delta=1$ olarak alınrsa y_1 , m kesitine ait kesici kuvvet tesir çizgisinin ordinatına eşit olur. Böylece kirişin virtüel hareket sonucunda aldığı şekil kesici kuvvet tesir çizgisini verecektir (şekil 2.8.c).

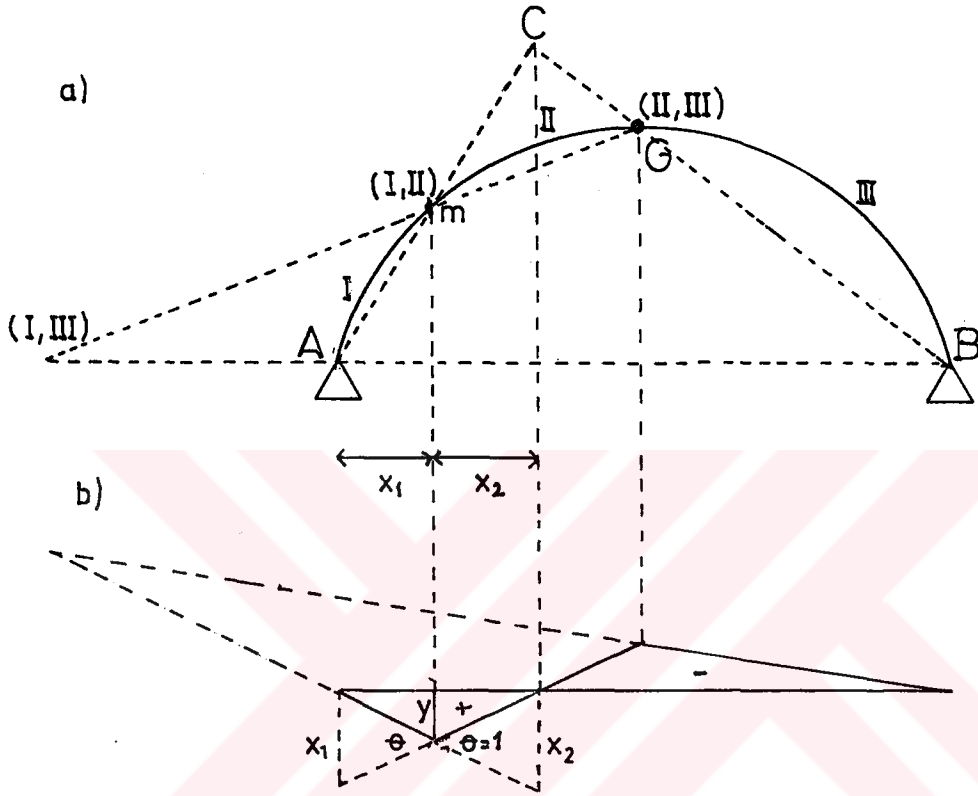
Birim kuvvetten dolayı m kesitinde meydana gelen momenti hesaplayabilmek için m kesitini moment tesirinden ayırmak gerekir; yani m kesiti bir mafsal gibi düşünülür ve kesite tesir eden moment aynı yere dış bir tesir olarak etki ettirilir. Elde edilen kinematik zincirin m mafsalının sağında ve solunda kalan kiriş parçalarını birbirlerine ϕ kadar dönüş açısı yapacak şekilde bir virtüel hareket verilmesi sonucunda oluşan şekil moment tesir çizgisini verecektir (Şekil 2.8.d).

Buradan virtüel iş denklemini yazılacak olursa moment $M = \frac{1 \cdot y_2}{\phi}$ olarak elde edilir. $\phi = 1$ olarak alınrsa y_2 m kesitine ait momentin tesir ordinatı olur.

2.3.2. Üç mafsalı kemer ve çerçevelere ait tesir çizgileri

Üç mafsalı kemer ve çerçevelerde kesit tesirlerine ait tesir çizgilerinin bulunmasında kinematik methodan faydalanılabilir. Kinematik methoda virtüel yer değiştirmelerin tayininde dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Bir cisme yaptırılan küçük bir hareket ani dönüş merkezi denen bir nokta etrafında cisme yaptırılacak yer değiştirme hareketi ile bulunur. Cisme ait her nokta, kendisini ani dönüş merkezine birleştiren doğruya dik ve bu doğrultuyla orantılı miktarda yer değiştirir. Şekil 2.9'da gösterilen üç mafsalı kemerde verilen bir m kesitinde ki moment tesirlerinin tesir

çizgisi yardımıyla bulunabilmesi için sistem, üç parçadan oluşan bir kinematik zincire dönüştürülür.

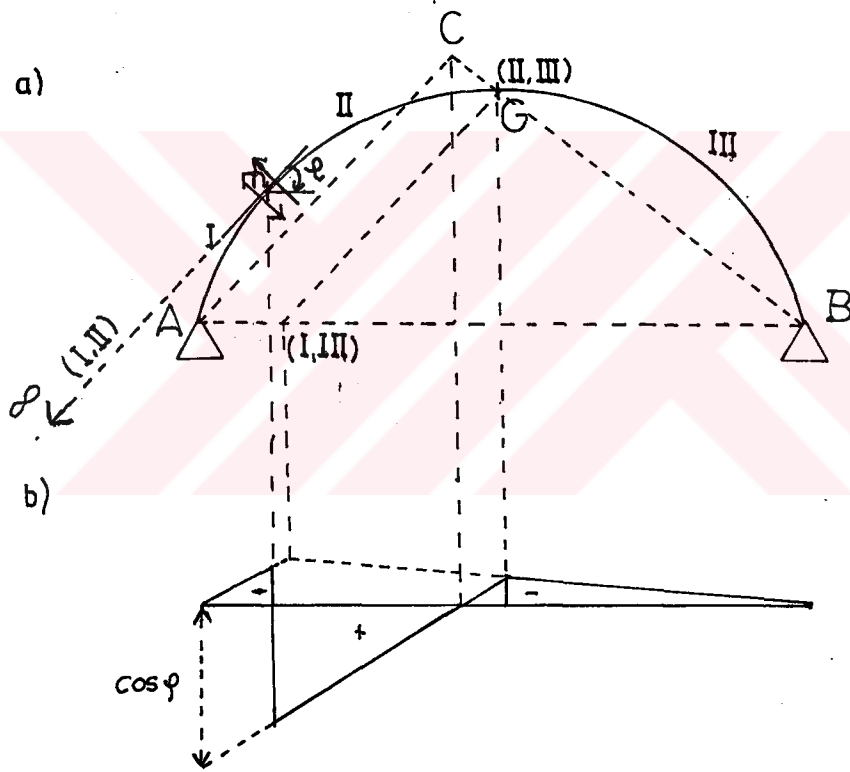


Şekil 2.9 : Üç mafsallı kemerde moment tesir çizgisi

Am, mG ve GB parçalarını sırası ile I, II, III No'lu parçalar olarak adlandırılırsa, I ve III No'lu parçaların ani dönüş merkezleri A ve B olur. m ve G noktaları I, II ve II, III No'lu parçaların ortak dönme merkezleridir. Buna göre II No'lu parçanın ani dönüş merkezi BG ve Am doğrularının kesin noktasında olmak zorundadır. Aksi halde ortak dönüş noktalarındaki hareket vektörleri CG ve GB ile Am ve mC doğrularına dik vektörler olamazlar. Aynı düşünce ile I ve III No'lu parçaların ortak dönme merkezlerinin AB'yi birleştiren doğru ile mG doğrusunun kesim noktasında olacağı anlaşılır.

Virtüel iş prensibine göre I ve II levhaları arasında ki m noktasında ki dönüş açısı $\theta = 1$ olarak alınırsa y ; moment tesir çizgisinin m 'deki ordinatını oluşturur yani $-M.\theta + P.y = 0$ 'dan $M = y$ olacaktır (Aykurt, 1976).

Kemere C noktasından geçerek tesir eden kuvvetin A ve B mesnetlerinde oluşturduğu mesnet tepkileri AC ve BC doğrultusunda olacaktır. Bu nedenle kuvvet, m kesitinde moment oluşturmaz. Böylece C noktasının solunda etkileyen kuvvetler pozitif momentleri, sağında etkileyen kuvvetler negatif momentleri verecektir.



Şekil 2.10: Üç mafsallı kemerde kesme kuvveti tesir çizgisi

Üç mafsallı kemerde verilen bir m kesitindeki kesme kuvveti tesir çizgisi şekil 2.10'da görüldüğü gibidir. Burada m kesitine tesir eden kesme kuvvetlerini ayırarak yerine kesme kuvvetleri dış kuvvet olarak uygulanırsa elde edilen kinematik zincirde II ve III No'lu parçaların ortak dönme merkezi olan G noktası belirlenir. I ve II levhalarının

ortak dönme merkezi ise m kesitinde moment ve normal kuvvet muhafaza edildiğinden, I ve II levhalarının birbirlerine göre hareketleri m noktasına temas eden kesitlerinde paralelliklerini koruyacaktır. Bu yüzden I ve II levhalarının birbirine göre hareketi m noktasına çizilecek teğetin üzerinde ve sonsuzda olması gerekecektir. I ve III No'lu parçaların ortak dönme merkezleri (I, III) ise, A ve B doğrusu ile G noktasından kemerin m noktasındaki teğetine paralel çizilen doğrunun kesişme noktasına karşılık gelir. Aranan tesir çizgisi dönme merkezlerine dayanarak çizilir. I ve II levhalarına ait tesir çizgisi parçaları birbirine paralel olmaktadır (Aykurt, 1976).

Tesir çizgisinin m kesiti altındaki y ordinatı için m kesiti boyunca I levhası yukarı, II levhası aşağı kayacak şekilde bir hareket verilirse virtüel iş denklemi $-Q \cdot \delta + y \cdot P = 0$ ve $\delta = 1$ $P=1$ 'den $Q = y$ olarak bulunur.

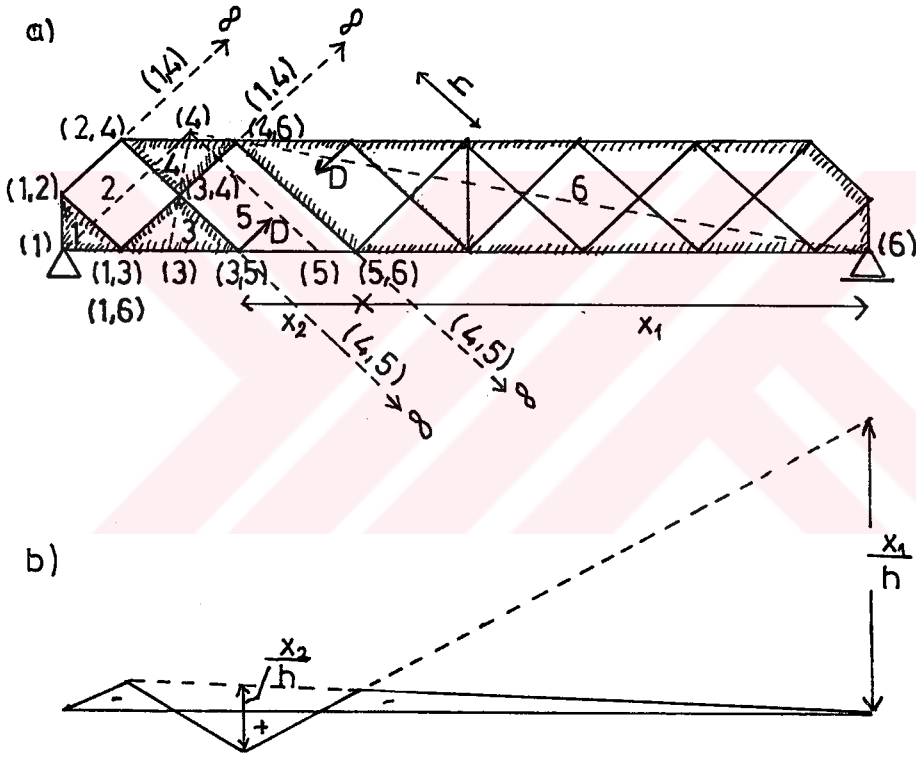
2.3.3. Kafes kirişlere ait tesir çizgileri

Kafes kirişe ait çubuk elemanlarının kuvvet değerleri, her çubuk kuvveti için ayrı ayrı tesir çizgilerini bulmak suretiyle elde edilir. Basit kafes kirişleri mesnet tepkilerine ait tesir çizgileri ise, basit kirişlerde ki mesnet tepkilerine ait tesir çizgilerinden farksızdır.

Basit kafes kirişin çubuklarına ait tesir çizgilerini kinematik metodla elde edebilmek için; tesir çizgisi istenen çubuğun durumuna göre sistem levhalara ayrılarak, sistemin kinematik zincir oluşturulur. Tesir çizgisinin ani dönüş merkezleri altında sıfır ordinatlı olmak üzere her levha için bir doğru parçasına karşılık geleceği, ortak dönüş merkezleri altında da kırılma noktalarının meydana geleceğinden yola çıkılarak tesir çizgisi şekil olarak elde edilir.

Şekil 2.11'de ki kafes kirişin D diyagonal kuvvetine ait tesir çizgisinin bulabilmek için, sistem ilk önce çubuğun konumuna göre 1,2,3,4,5,6 No'lu levhalardan oluşan kinematik zincir haline dönüştürülmüştür (Aykurt, 1976).

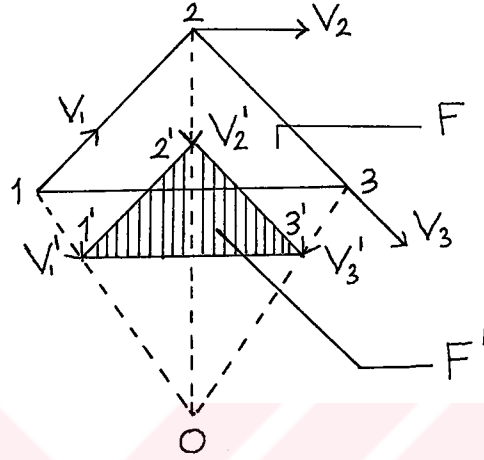
Kuvvet teesirlerinin oluştuğu dđđm noktaları ve bu dđđm noktalarını içeren levhaların sayısı tesir çizgilerindeki kırık çizgilerin sayısını verecektir. Şekil 2.11'deki kafes kirişte bu dđđm noktaları alt başlıkta ve 1,3,5,6 No'lu levhalarda bulunmaktadır. Tesir izgisi bu levhalardan herbirine karşılık gelen bir çizgiden yani dđrt çizgiden oluşmaktadır (Aykurt, 1976).



Şekil 2.11 Kafes kirişte tesir çizgisi

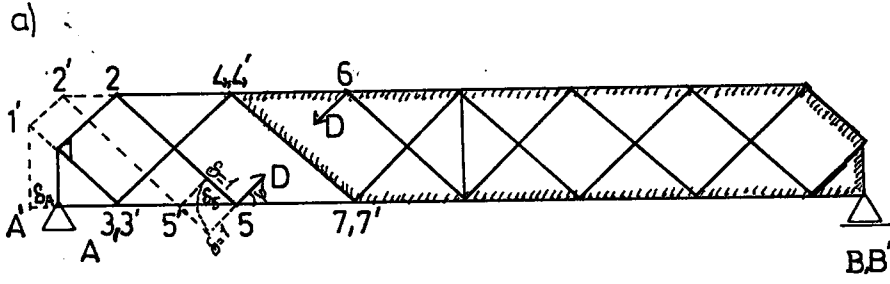
1,3,5,6 No'lu levhaların ani dđnüş merkezleri ve ortak dđnüş merkezleri Şekil 2.11.a'da gđsterildiđi gibidir. Buradan hareketle tesir çizgilerinin kırık noktaları ve sıfır olduğu noktalar Şekil 2.11.b'de gđsterildiđi gibi elde edilebilir.

Kinematik zincirine ait noktaların virtüel yer değiştirmesini bulabilmek için dik hız planından faydalanılır. Dik hız planı aşağıda verilen kinematik zincire ait bir levha üzerinde açıklanabilir.

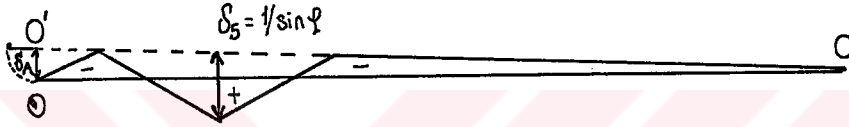


Levhanın dönüş merkezi O noktası olsun. Levhanın düğüm noktalarına ait V_1, V_2, V_3 virtüel hızları bu noktaları O merkezine bağlayan doğrulara diktir. Dolayısıyla virtüel yer değiştirmeler de aynı özelliği gösterecektir. 1,2,3 noktalarına ait virtüel hızları saat dönüş yönünde 90° çevirsek elde edilen noktalar gene O merkezine ait doğrular üzerinde olacaktır. Dolayısıyla $1', 2'$ 'nün 1,2' ye $2', 3'$ 'nün 2,3'e ve $3', 1'$ 'nün 3,1'e paralel olduğu gözlenir. Buradan F levhasına uygulanan virtüel hareketten meydana gelen F' şekli ; F şeklinin benzeridir (Aykurt, 1976).

şekil 2.11'de verilen kafes sistemin D diyagonal çubuğuna ait tesir çizgisi dik hız planı ile de tayin edilebilir.



b)

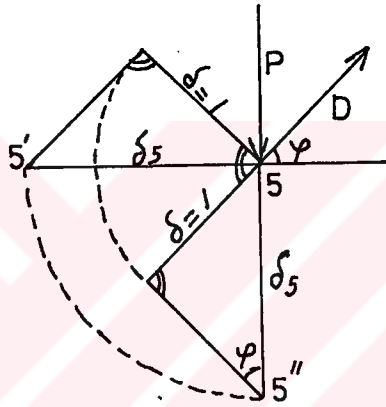


Şekil 2.12: Kafes kirişte dik hız planı ile tesir çizgisi

Şekil 2.12.a'da D diyagonal çubuğu uzaklaştırılarak yerine D kuvvetinin uygulanması ile elde edilen kinematik zincirde 7,4,B rijit levhasının hareket etmeyecek şekilde tespit edildiğini düşünelim. O halde F^1 şeklinin $7^1, 4^1, B^1$ noktaları 7, 4, B noktaları üzerindedir. Diyagonal boyunda $\delta = 1$ birimlik uzamasına karşılık olan yer değiştirme planı (F^1 şekli) çizilmiştir. Bunun için $\delta = 1$ değeri saat dönüşü yönünde 90° döndürülmüş ve buradan 5 noktasının dik yer değiştirmesi 5, 5' bulunmuştur. Yukarıda anlatılan yol takip edilerek F^1 şekli çizilmiştir. Kuvvet tesiri alt başlıkta etkili olduğundan, alt başlıktaki düğüm noktalarının kuvvet doğrultusunda (düşey doğrultuda) yerdeğiştirme miktarları lazımdır. Bu miktarları F^1 şeklindeki yer değiştirmeleri saat dönüş yönüne ters yönde 90° çevirmekle elde edilir; bunlar 2.12.b'de OO^1 doğrusundan itibaren taşınmıştır. δ_A yer değiştirmesinin, sifıra eşit olması gerekir; çünkü mesnet noktası düşey bir harekete maruz değildir. δ_A 'nın bu hatalı değeri 7, 4, B levhasının hareket etmediğini kabul etmemizden doğmuştur. Gerçekte 7, 4, B levhası B mesnedi etrafında dönüşüne tabidir. Bütün sistem,

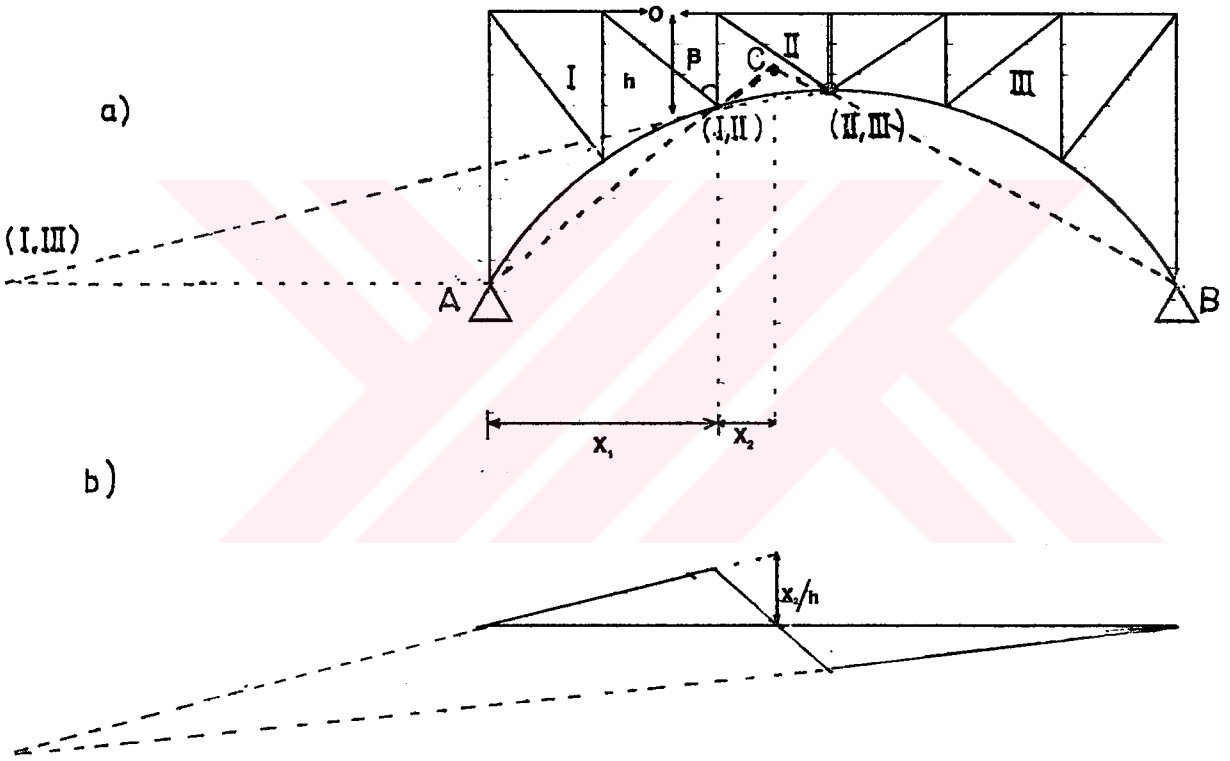
B mesnedi etrafında $\delta_A = 0$ olacak şekilde döndürülürse (OO^1 doğrusunu OO ya dönüştürürsek) aranan tesir çizgisi bulunur (Aykurt, 1976).

$\delta = 1$, tesir çizgisi ordinatlarının ölçeğini tayin eder. Aşağıda verilen şekilde (Şekil 2.12)'de gösterilen kinematik zincire ait 5 düğüm noktası ve buna F^1 şeklinde karşılık gelen 5^1 noktası gösterilmiştir. $5, 5^1$ nü saat dönüşüne ters yönde 90° çevrilirse 5 noktasının gerçek yer değiştirmesi olan $5, 5''$ bulunur. 5 düğüm noktasına tesir eden düşey P kuvvetinin yapacağı virtüel iş, $P \cdot \delta_5$ 'dir ve pozitifdir. Bu değer P 'nin 5^1 noktasına



göre momentidir. Moment saat ibresi dönüşü yönündedir, pozitifdir. Yani virtüel iş moment değer ve işaretleri uymaktadır. 5 düğüm noktasına tesir eden D kuvvetinin virtüel işi D kuvveti ile δ_5 yer değiştirmesinin bu kuvvet doğrultusu üzerindeki izdüşümü çarpımına eşittir; yani $D \cdot \delta_5 \cdot \sin\phi = D \cdot \delta$ dır; iş negatiftir. Bu son değer D kuvvetinin 5^1 noktasına göre momentidir, momentin işareti de iş işaretine uymaktadır. Buradan şu sonuca varılır: Kinematik zincire tesir eden kuvvetlerin meydana getirdikleri virtüel iş bu kuvvetlerin, tesir ettikleri düğüm noktalarının F^1 şeklinde karşılık gelen noktalarına göre statik momentine eşittir. Gerçek yer değiştirmelerden dik yer değiştirmelere saat dönüşüne uygun bir dönüşle geçilecek şekilde düzenlenmiş F^1 şekillerinde yukarıda sözü geçen momentlerin işareti aynı zamanda virtüel işin işaretini verir (Aykurt, 1976).

Üç mafsallı kafes kemerde çubuk kuvvetine ait tesir çizgisini bulmak için sistem gene levhalara ayrılır. Buna göre istenen çubun kuvvetine ait tesir çizgisi çizilir. Şekil 2.13'de verilen sistemde O çubuğuna ait tesir çizgisi için sistem I,II,III levhalarından oluşan kinematik zincire dönüştürülüp, levhaların ani ve ortak dönüş merkezleri daha önce anlaşıldığı gibi tespit edilmiştir. Tesir çizgisi diyagramı şekil 2.13.b'de gösterilmiştir. O çubuğu karşısındaki β açısını arttırdığımızda (I,II) ortak dönüş merkezi yukarı doğru hareket edeceğinden, bu noktanın altındaki tesri çizgisi ordinatı negatif işaretli olacaktır.



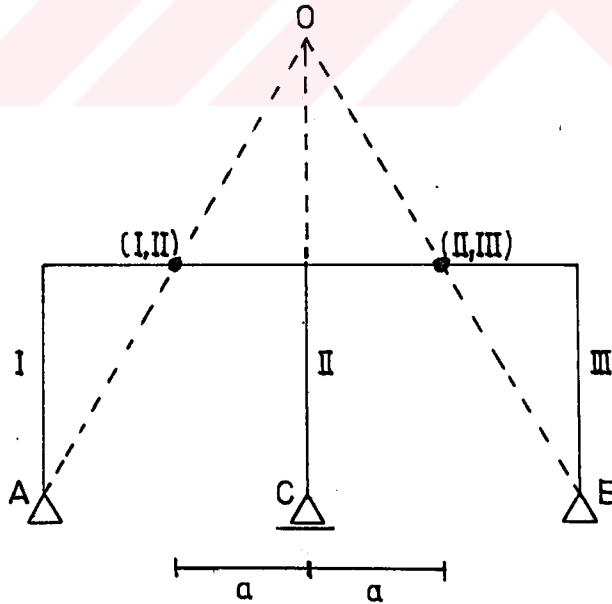
Şekil 2.13 Üç mafsallı kafes kemerde tesir çizgisi

Kinematik zincir metodundan kafes sistemlerin rijit, stabil olup olmadıklarını anlamakta faydalanılabilir. Şekil 2.12'de verilen kafes sistemin kinematik zincire ait F^1 şeklinin kenarları F şeklinin kenarlarına paralel olduğu halde, D diyagonalinin düğüm noktalarına F^1 'de karşılık gelen noktaları birleştiren doğru D çubuğuna paralel değildir. Eğer bu doğrular paralel olsalardı D kuvvetinin virtüel işi sıfır olacağından D kuvvetinin

değeri sonsuz olacaktır. Bu yüzden sistemin kritik bir şekli olduğu, rijit olmadığı sonucuna varılacaktır. O halde, sistemde değeri aranan bir çubuğun kinematik zincirle bulunan F^1 şeklinde bu çubuğa karşılık gelen doğruya paralel ise sistemin rijit olmadığı sonucuna varılır. Bu uygulamada karışık sistemlerin rijit olup olmadığını anlamakta yararlanır.

Ayrıca bütün kenarları sistem çubuklarına paralel olduğu halde sistemin benzeri olmayan bir F^1 şeklinin çizilmesine imkan veren sistemlerde stabil değildir (Aykurt, 1976).

Şekil 2.14'te verilen izostatik sistem I,II,III No'lu levhalardan oluşan kinematik zincir haline dönüştürüldüğünde, bu levhaların ani dönüş merkezlerinin kesişme noktası mesnet noktalarının kesişme noktası üzerindedir. Dolayısıyla mesnetler sistemin bu nokta etrafında dönüşüne engel olamayacağından bu tür sistemlerin labil bir sistem olduğu görülmektedir.



Şekil 2.14 : Kinematik metodla sistem rijitliğinin bulunması

3. HİPERSTATİK SİSTEMLERDE TESİR ÇİZGİLERİ

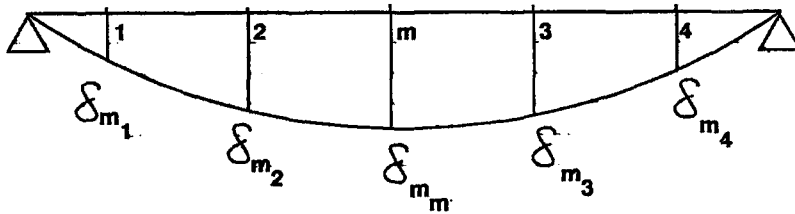
İzostatik sistemlerde olduğu gibi hiperstatik sistemlerde de kesit tesirlerinin maksimum ve minimum değerlerini bulmak için tesir çizgilerinden yararlanılır. Hiperstatik sistemlerde tesir çizgileri kuvvet metoduna ve açı metoduna göre olmak üzere iki ana grupta incelenebilir.

3.1. Kuvvet Metoduna Göre Tesir Çizgilerinin İncelenmesi

Kesit tesirleri için tesir çizgilerinin hesabında sehim tesir çizgilerinden yararlanılır. Şekil 3.1'de verilen sistemin m kesitine ait sehim tesir çizgisini bulmak için sistem 1,2,...,i noktalarında birim kuvvetle yüklenirse m kesitinde meydana gelen sehimler; $\delta_{m1}, \delta_{m2}, \dots, \delta_{mi}$ olacaktır. Maxwell prensibi gereğince bu δ 'lar $\delta_{1m}, \delta_{2m}, \dots, \delta_{im}$ 'e eşit olacaktır.

$$\delta_{im} = \delta_{mi} \quad (3.1)$$

Denklemden görüldüğü gibi kuvvetin yerini gösteren ikinci indis m olmaktadır. Bu ise birim kuvvetin m'ye uygulanması sonucu diğer noktalardaki bütün kesitler için sistemin elastik eğrisini ifade eder. Bunun sonucu; bir m kesitindeki sehim tesir çizgisi, birim kuvvetin m kesitine uygulanması halindeki elastik eğriye eşittir (Aydın, 1985).



Şekil 3.1: Sehim Tesir Çizgisi

Hiperstatik sistemin tesir çizgileri aşağıda tanımlandığı gibi elde edilebilir.

a) Hiperstatik bir sistemde verilen herhangi bir m kesitine ait X_m kesit tesirinin tesir çizgisini bulmak için kesitte, kesit tesiri kaldırılacak şekilde kesim yapılır. Kesimde kaldırılan X_m kesit tesiri, yük olarak uygulanır. Böylece hiperstatiklik derecesi bir azaltılmış sistem için süreklilik denklemi yazılacak olursa

$$\delta_{mm} \cdot X_m + \delta_{mo} = 0 \quad (3.2)$$

olur. Buradan Maxwell prensibine göre $\delta_{mo} = \delta_{om}$ yazılarak X_m kesit tesiri

$$X_m = - \frac{\delta_{om}}{\delta_{mm}} \quad (3.3)$$

olarak ifade edilir.

Burada virtüel iş prensibine göre X_m kesit tesiri; bir kuvvet ise δ 'lar uzunluk boyutunda, moment ise dönme olacaktır. Buna göre;

δ_{om} : $X_m=1$ birim kuvvet veya momentin m kesitine uygulanması durumunda hiperstatiklik derecesi bir azaltılmış sistemin elastik eğrisini.

δ_{mm} : Bu elastik eğrinin m kesitindeki değerini gösterir. Yani X_m kuvvet ise m noktasındaki çökme veya karşılıklı ayrılma, moment ise m'deki karşılıklı dönmedir.

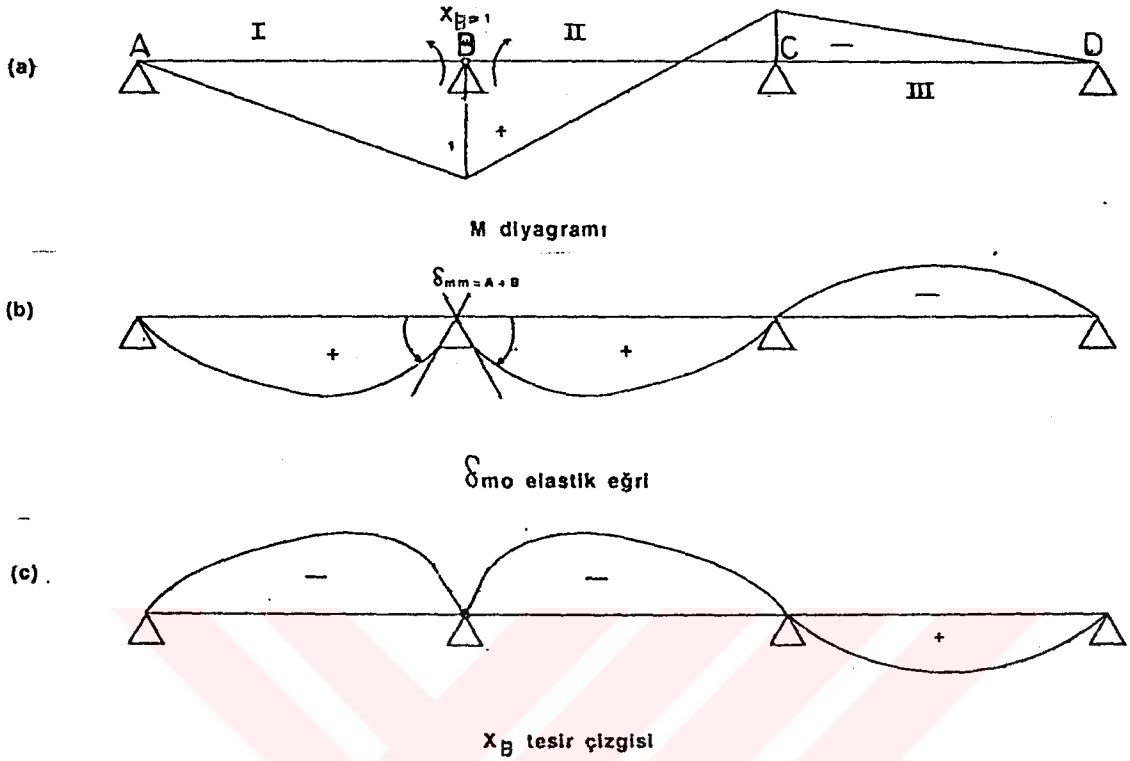
Hiperstatik derecesi bir azaltılmış sistemin elastik eğrisini elde edebilmek için $X_m=1$ yüklemesine göre çözüm yapılmalıdır. Çözülen sistemin Mohr metodundan yararlanılarak elastik eğrisi elde edilir. Elde edilen elastik eğrinin ordinatları δ_{mm} değerine bölünerek tesir çizgisi ordinatları bulunur.

Şekil 3.2’de verilen mütemadi kirişin B mesnet momentine ait tesir çizgisini bulabilmek için B mesnedine mafsalsal olarak birim moment etki ettirilir. Bu momentin oluşturduğu eğilme momenti diyagramı çizilir. Buradan sistemin mesnet momentine ait δ_{0m} elastik eğrisini elde edebilmek için Mohr metodundan yararlanılır. Sistem yan yana gelmiş basit kirişlerden oluşur. Fiktif yük $\frac{M}{EI}$ ‘dır. Moment pozitif olursa fiktif yük aşağıya doğru, negatifse yukarı doğru alınır. Fiktif yükten dolayı sistemde meydana gelen M eğilme momentleri δ_{m0} elastik eğrisine eşittir. δ_{mm} ise Mohr metodu ile elastik eğri hesaplanırken $\frac{M}{EI}$ yükünün, kesitin sol ve sağında meydana getirdiği kesici kuvvetlerin toplamına eşittir (Aydın,1985).

O halde, denklem 3.3 ’e göre B mesnedine ait X_B moment tesir çizgisi

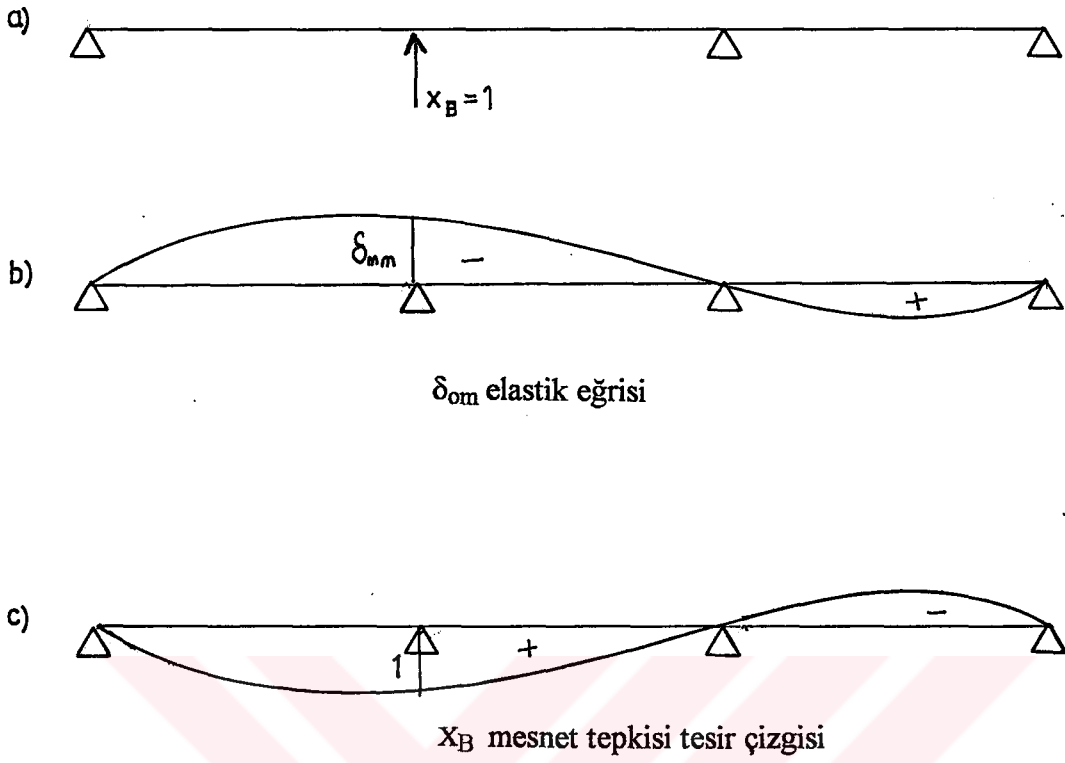
$$X_B = - \frac{\delta_{0m}}{\delta_{mm}}$$

ile, yani elastik eğri δ_{mm} sabitine bölünüp işareti değiştirilerek elde edilir (Şekil 3.2.c)(Çetmeli,1979).



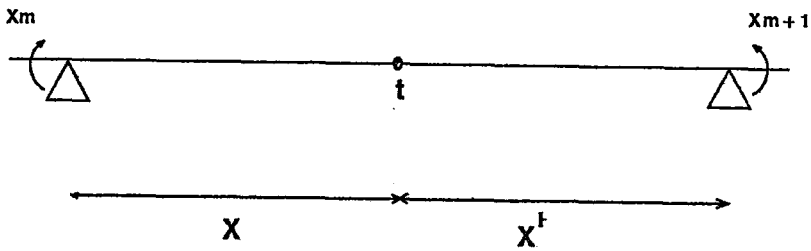
Şekil 3.2 : Mütemadi kirişte mesnet momenti tesir çizgisi

Mesnet kuvvetine ait tesir çizgisi diyagramı çizilmek istenirse, δ_{mm} değeri elastik eğrinin tam mesnet noktasındaki değerine eşit olur. Yani; elastik eğrinin m kesitindeki değeri bir olacak şekilde bütün ordinatlar bölünür (Aydın,1985). Şekil 3.3'de B mesnedine ait $X_B=1$ için elastik eğrisi ve buradan elde edilen mesnet tepkisi tesir çizgisi gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Mütemadi kirişte mesnet tepkisi tesir çizgisi

Hiperstatik sistem üzerinde herhangi bir m kesitine ait moment tesir çizgisi mesnet momentlerinin süperpozizyonundan elde edilebilir. Mütemadi kirişin herhangi bir açıklığındaki t kesitindeki moment değeri;



$$M_t = M_{ot} + X_m \cdot \frac{x^1}{\ell} + X_{m+1} \cdot \frac{x}{\ell} \quad (3.4)$$

$$Q_t = Q_{ot} + \frac{X_{m+1} - X_m}{\ell} \quad (3.5)$$

denklemlerinden elde edilebilir. Burada; M_t , Q_t kesit tesirlerine ait tesir çizgilerini, M_{ot} , Q_{ot} basit kirişteki m kesitine ait kesit tesiri tesir çizgilerini, X_m , X_{m+1} daha önce bulunmuş olan mesnet momentlerine ait tesir çizgilerini göstermektedir.

İzostatik sistemlerde olduğu gibi hiperstatik sistemlerde de maksimum ve minimum kesit tesirlerini veren hareketli yüklerin, yükleme durumları tesir çizgilerinden yararlanarak bulunur. Maksimum kesit tesirlerini bulabilmek için yüklemeyi, tesir çizgisi ordinatlarının pozitif olduğu bölgelerde, minimum kesit tesirlerini bulabilmek içinde yüklemeyi tesir çizgisi ordinatlarının negatif olduğu bölgelerde yapmak gerekmektedir. Buna göre şekil 3.2'de verilen mütemadi kirişin B mesnedindeki maksimum momenti bulabilmek için sistemin III no'lu bölgesi yüklenmesi gerekir. Sistemin I, II no'lu bölgesi yüklendiği takdirde ise minimum mesnet momenti bulanacaktır.

b) Sisteme çok sayıda etkiyen çeşitli yüklemelerin herbirinden meydana gelen kesit tesirlerinin ayrı ayrı bulunması istendiği zaman denklemleri tek tek çözmek yerine δ matrisinin tersine eşit olan β katsayılarını kullanmak daha yararlıdır. Hiperstatik bilinmeyenler için süreklilik denklemleri matris formunda yazılacak olursa

$$[\delta_0] + [D].[X] = 0$$

elde edilir.

Bu denklemin terimleri $[D]^{-1}$ ile soldan çarpılırsa

$[X] = - [D]^{-1} \cdot [\delta_0]$ elde edilir. $- [D]^{-1} = [\beta]$ yazılırsa

$$[X] = [\beta] \cdot [\delta_0] \quad (3.6)$$

Burada : $[X]$: Hiperstatik bilinmeyenler sütun matrisi

$[\delta_0]$: Çözümü istenen hal için dış yükler, sıcaklık değişmesi ve mesnet çökmesinden dolayı meydana gelen yer değiştirmeler sütun matrisi

$[D]$: $X_1 = 1, X_2 = 1, \dots, X_n = 1$ birim yüklemelerinden dolayı 1,2,...,n'deki yerdeğiştirmeleri içeren simetrik kare matris

$[\beta]$: $- [D]^{-1}$ eksi işareti ile esneklik matrisinin tersi.

Denklem 3.6 bir i'nci için satır için açık yazılırsa

$$X_i = \beta_{i1} \delta_{10} + \beta_{i2} \cdot \delta_{20} + \dots + \beta_{in} \delta_{no} \quad (3.7)$$

olur. Sistemde, birim yüklemelerden meydana gelen elastik eğrilerin denklem 3.7'ye göre β katsayıları ile çarpılıp süperpoze yapılması neticesinde kesit tesirlerine ait tesir çizgileri elde edilir (Aydın, 1985).

Ancak burada her bir elastik eğrinin tek tek çizilip, bunların süperpozisyonu yapılması hesaplarda zorluklar yaratacaktır. $X_i = 1$ yüklemesinden meydana gelen elastik eğri δ_{0i} elastik eğrisi olduğu bilindiğine göre M moment alanının EI 'ya bölünmesinden elde edilen fiktif yükten dolayı meydana gelen moment alanının aranan tesir çizgisini verdiği anlaşılır (Aydın,1985).

$$(\beta_{i1} M_1 + \beta_{i2} M_2 + \dots + \beta_{in} M_n) \cdot \frac{1}{EI} = \frac{M}{EI} \quad (3.8)$$

Kesit tesirleri tesir çizgilerini veren elastik eğrinin Mohr veya w kuvvetleri yöntemleri ile bulunması uygun görülmektedir. Sistemde eğik çubuklar varsa Mohr metodu uygulanırken eşdeğer sistemde eğik çubuklar, yatay çubuklara dönüştürülür ve moment alanı $\cos \alpha$ 'ya bölünür.

Hiperstatik bilinmeyenlere ait X_i tesir çizgileri elde edildikten sonra sistem üzerinde herhangi bir m kesitindeki kesit tesirlerine ait tesir çizgileri, denklem 3.9'da verilen süperpozisyon denkleminde elde edilebilir.

$$M_m = (M_o)_m + (M_1)_m \cdot X_1 + (M_2)_m X_2 + \dots + (M_n)_m \cdot X_n \quad (3.9)$$

Burada M_m ; hiperstatik sistemde m kesitine ait tesir çizgisini, $(M_o)_m$ izostatik esas sistemde m kesitine ait tesir çizgisini gösterir (Çetmeli,1979).

3.2 Açık Metoduna Göre Tesir Çizgilerinin İncelenmesi

Hiperstatik bir sistemin herhangi bir kesitindeki kesit tesirlerinden birine ait tesir çizgisi, iki ucu ankastre çubukların tesir çizgilerinin lineer kombinezonu ile tayin edilebilir (Çakıroğlu,1984)

Açık metoduna göre uç momentinin değerini veren denklem takımlarını incelediğimizde;

$$M_{ik} = 2 \frac{EI}{\ell} \left(2 \varphi_{ik} + \varphi_{ik} - \frac{3}{\ell} \delta \right) + \overline{M}_{ik} \quad (3.10)$$

bir uç momentine ait tesir çizgisi, ankastre moment tesir çizgisi ile deformasyon tesir çizgilerinin belirli katsayılarla çarpımının süperpozisyonundan elde edilmektedir.

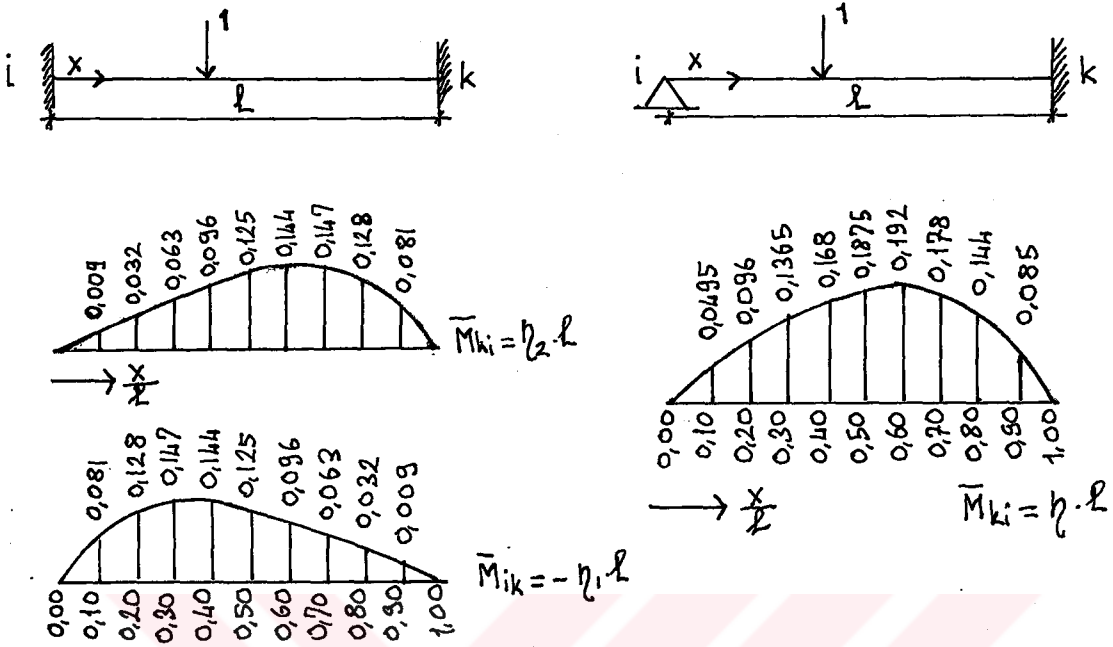
Ankastre moment tesir çizgisi, iki ucu ankastre kiriş üzerinde hareket eden birim kuvvetten dolayı meydana gelen ankastrelik momentleri;

$$M_{ik} = -1 \frac{a \cdot b^2}{\ell^2} \quad (3.11)$$

$$M_{ki} = -1 \frac{b \cdot a^2}{\ell^2} \quad (3.12)$$

kuvvetin yerine göre hesaplanarak bu fonksiyonların grafiğinin çizilmesi ile elde edilir. Ankastre moment tesir çizgisi şekil 3.4'de görüldüğü gibidir (Aydın,1985).

Herhangi bir kesit tesirine ait deformasyon tesir çizgisi ise, kuvvet metoduna göre tesir çizgisinin incelenmesi konusunda anlatıldığı gibi tesir çizgisi aranan kesit tesirinin bulunduğu kesite birim yükleme yaparak elde edilen elastik eğriye eşit olacaktır. Burada, elastik eğrinin hesabında Mohr metodundan yararlanılır. Verilen bir sistemin elastik eğrisini çizerken, açı metodundan yararlanılarak sistemin düğüm noktalarındaki uç momentleri tespit edilir. Elde edilen uç momentlerine göre sistemin moment diyagramı çizilerek w sayıları tablosu vasıtasıyla sistemin elastik eğrisi hesaplanır.



Şekil 3.4 : Ankastré moment tesir çizgisine ait grafik

Sonuç olarak sistemin uç momentine ait tesir çizgisi ankastré moment tesir çizgisi ile elastik eğrilerin toplamına eşit olacaktır. Klasik moment işaret kuralına uyarlamak gerektiğinde işaretleri ters çevirmek gerekecektir.

Sistemin ara kesitlerine ait tesir çizgilerinin bulunmasında uç momentleri tesir çizgilerinden yararlanılabilir.

4. ÇOK KATLI ÇERÇEVELERDE MAKSİMUM KİRİŞ MOMENT TESİRLERİNİ VEREN HAREKETLİ YÜK DÜZENLEMESİ

Çok katlı çerçevelerin düşey yükler altında yapısal çözümlenmesinde, yönetmeliklerde de belirtildiği gibi hareketli yüklerin maksimum kesit tesirlerini verecek şekilde düzenlemesini yapmak gerekmektedir. Fakat çok katlı ve çok açıklıklı bir çerçevede maksimum ve minimum kesit tesirlerini bulabilmek için çok sayıda düzenleme ve çözümlene yapmak gerekmektedir. Bu da ekonomik ve pratik bir yaklaşım değildir. Bu yüzden kesin değerlere yakın sonuçları elde edebileceğimiz daha az sayıda analiz ile çözüme ulaşmak ihtiyacı doğmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, çok katlı yapıların giriş elemanlarının mesnet kesitlerinde hareketli yükün meydana getireceği en büyük moment tesirlerini en az kombinasyonlarla saptamanın yollarını aramaktır.

Çok katlı bir çerçevede maksimum giriş momentlerini veren hareketli yük durumlarını bulabilmek için tesir çizgilerinden faydalanılmıştır. Tesir çizgilerinin ve buna bağlı olarak hareketli yük durumlarının bulunması önerilen yöntem içerisinde verilen örnek bir çerçeve üzerinde anlatılmıştır.

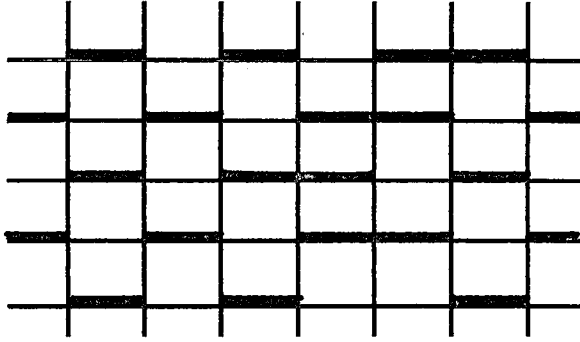
4.1. Mevcut Yöntemler

Hareketli yük düzenlemesi konusunda 1950’de G.Large, 1981’de R.W.Furlong, 1992’de U.Ersoy 1993’de S.Altun, Y.Ertutar, N.Abraşoğlu, 1994’de N. Kırac ve E.Ünlüoğlu tarafından önerilen yöntemler analiz için en pratik yöntemlerdir.

4.1.1 Large yöntemi

Large yöntemi, maksimum moment tesiri aranan kesitlerde, tesir çizgileri ile her kesit için ayrı ayrı bulunan hareketli yük düzenlemesi durumuna dayanmaktadır. Bu da

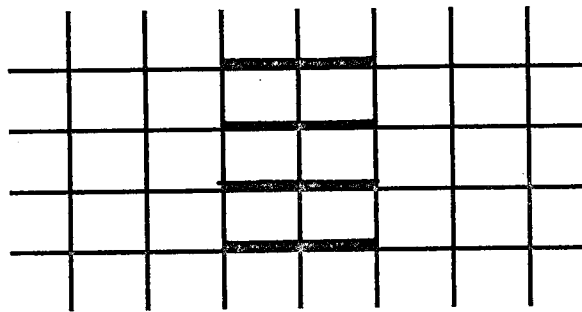
çok katlı ve açıklıklı çerçevelerde çok sayıda düzenleme yapmak gerektireceğinden pratik bir çözüm değildir. Large yöntemine ait tipik model yükün çerçevenin belli bir kesitine uygulanması şekil 4.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.1 : Large yönteminde model yükün çerçeveye uygulanması

4.1.2. Furlong Yöntemi

Furlong yöntemi, çerçeveye ait yapı elemanlarında oluşacak maksimum kesit tesirlerini gerçeğe en yakın olacak şekilde, en az hareketli yük düzenlemesi ile elde edebilmeyi sağlamaktadır. Bu yöntemde kirişte maksimum mesnet momentlerini veren hareketli yük durumu kat ve açıklık sayısına bağlı kalmaktadır ve buna ait model yük şekil 4.2’de görüldüğü gibidir. Çerçevenin açıklık sayısını “n” olarak ifade edersek, gerekli yük düzeni sayısı $2+(n-1)$ olmaktadır. Burada kat ve açıklık sayısından bağımsız olan “2” tür yükleme düzeni maksimum kenar mesnet momentleri ile açıklık momentlerini veren yükleme düzenini gösterir.

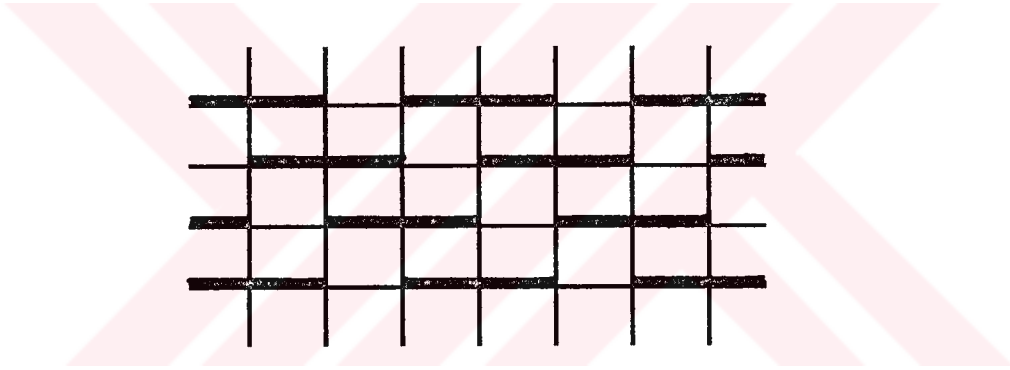


Şekil 4.2 : Furlong yönteminde model yükün çerçeveye uygulanması

Bu yöntemle göre; kirişe ait maksimum mesnet momentlerini bulmak için iki dolu yükleme şekli verilmiştir. Örneğin, 5 açıklık bir çerçevede hareketli yük için 6 adet düzenleme yapmak gerekmektedir. Kiriş açıklık momentlerinin maksimum değerini elde edebilmek için ise; maksimum momentin arandığı açıklığın, tüm katlar boyunca hareketli yük ile yüklenmesi gerekmektedir.

4.1.3. Ersoy yöntemi

Ersoy yönteminde, çerçeveye ait kirişlerin maksimum mesnet momentlerini veren hareketli yük düzenlenmesine ait yük modelinin çerçeveye uygulanması Şekil 4.3'de görüldüğü gibidir.

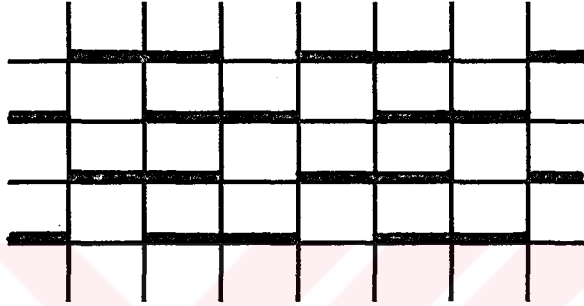


Şekil 4.3: Ersoy yönteminde model yükün çerçeveye uygulanması

Bu model çerçeveye uygulanırken hareketli yük ,çerçeve açıklıkları iki dolu bir boş olacak şekilde ve her katta bir açıklık kaydırılarak düzenlenmiştir. Bundan sonraki her aşamada yük modelinin bir açıklık sağa kaydırılması öngörülmektedir. Böylece Ersoy yönteminin yük düzeni, kat ve açıklık sayısından bağımsız olacak şekilde üç tür düzenlemeyi gerektirmektedir. Maksimum kiriş açıklık momentlerini verecek yükleme durumu ise çerçeve kirişlerinin açıklıkları bir dolu bir boş olacak şekilde iki tür düzenleme gerektirmektedir. Kiriş açıklıklarına ait bu düzenleme bundan sonraki metodlarda da aynen kabul edilmiştir.

4.1.4. Altın, Ertutar, Abraşoğlu yöntemi

Bu yöntemde kiriş mesnet momentlerinin maksimumunu elde edebilmek için iki dolu bir boş olacak şekilde bir yük düzenlemesi yapılmıştır. En üst kata uygulanan bu yükleme düzeni bir alt katta bir açıklık kaydırılmıştır. Üst iki katta oluşan bu yükleme düzeninin alt katlarda aynen uygulandığı görülmüştür.



Şekil 4.4 : Altın, Ertutar, Abraşoğlu, yönteminde model yükün çerçeveye uygulanması

Kiriş açıklık momentlerinin maksimumunu veren yükleme şekli Ersoy yönteminde belirtilenle aynıdır. Bu yöntemde belirtilen hareketli yükleme düzenlemesi, kat ve açıklık sayısından bağımsız olup mesnet momentleri için dört tür yükleme, açıklık momentleri için ise iki tür yükleme düzenlemesi olmak üzere toplam altı tür çözümden oluşmaktadır.

4.1.5. Kıraç ve Ünlüoğlu Yöntemi

Bu yöntemde kiriş mesnetlerindeki maksimum momentler için kat ve açıklık sayısından bağımsız 6 tür yükleme düzeni verilmiştir. Bu yüklemelerin dördü, Abraşoğlu yöntemindeki yükleme düzenidir. Ancak ilave edilen iki tür yükleme orta açıklıktaki kiriş mesnet momentlerinde daha büyük değerlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Burada ki yükleme düzenlemesi de aynı şekilde ve bir açıklık bütün katlar boyunca yüklenmiş, yüklenen açıklıkların bir katta sağı bir katta solu sırayla yüklenmiştir. Kalan açıklıklar ise

iki dolu bir boş olacak şekilde yükleme düzeni ile belirtilmiştir. Kiriş açıklık momentleri ise diğer yöntemlerde olduğu gibi iki adet yükleme düzenlemesinden oluşmaktadır.

4.2. Önerilen Yöntem

Çok katlı ve çok açıklıklı çerçevelerin maksimum ve minimum kiriş mesnet moment tesirlerini ve açıklık moment tesirlerini veren hareketli yükleme düzenlemesini bulabilmek için tesir çizgilerinden yararlanılması gerekmektedir. Çok katlı çerçevelerdeki tesir çizgileri, mütemadi kirişlerdeki tesir çizgileri kavramına benzemektedir. Tesir çizgilerini elde edebilmek için önce sistemin elastik eğrisinin çizilmesi gerekmektedir.

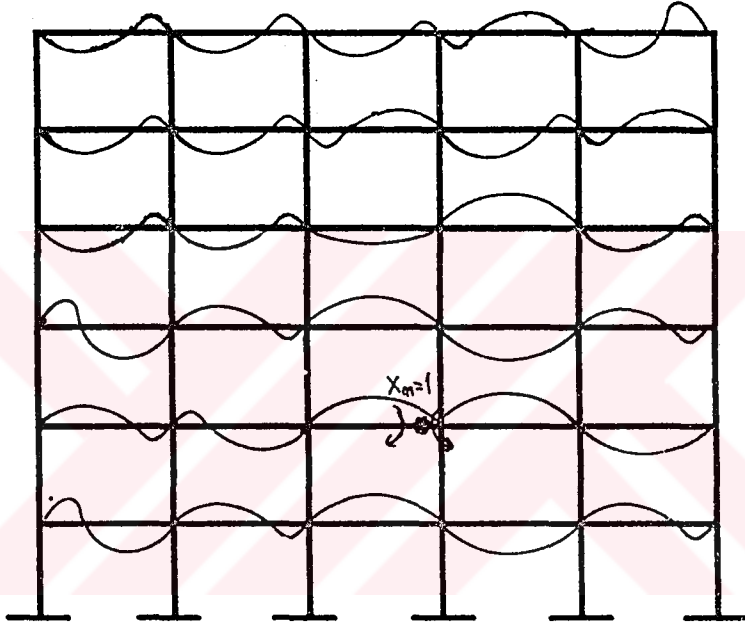
Bu araştırmada, şekil 4.14’de verilen örnek çerçeve üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu çerçeveye ait kirişler üzerinde tek tek incelemeler yapılarak genel bir sonuca gidilmiştir. Böylece elde edilen yöntemde daha az hareketli yük düzenlemesi ile çerçeveye ait kirişlerin maksimum mesnet momentlerinin gerçeğe yakın olarak elde edilebilmesine çalışılmıştır.

Çerçevenin herhangi bir kirişine ait mesnet momenti tesir çizgisini elde edebilmek için, bu kesitteki moment tesirini kaldıracak şekilde bir kesim yapılarak buraya bir mafsal ilave edilir ve böylece sistemin hiperstatiklik derecesi bir azaltılmış olur. Kesimde kaldırılan moment tesiri bir birimlik moment olarak mafsalın bulunduğu yere uygulanır. Elde edilen sistemin statik hesabı yapılarak, sistemde her düğüm noktasında ki birim momentten dolayı meydana gelen dönüş açısının değeri ve yönü elde edilir. Böylece düğüm noktalarındaki dönmelerden dolayı kirişlerde meydana gelen şekil değiştirmelerden hareket edilerek sistemin elastik eğrisi elde edilmiş olur. Denklem

3.3 ’de verilen $X_m = -\frac{\delta_{0m}}{\delta_{mm}}$ formülünden yola çıkılarak, elde edilen elastik eğrinin ters

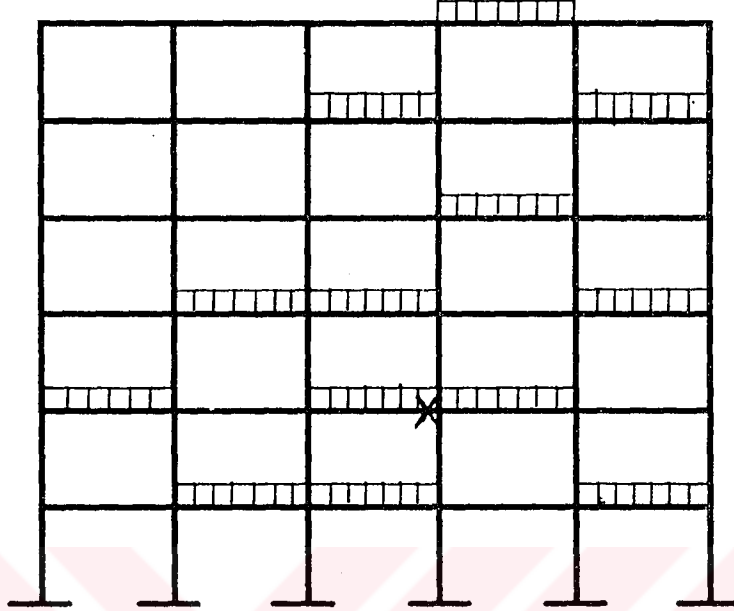
işaretlisi sistemin kiriş mesnet momentlerine ait tesir çizgisini verecektir.

Sistemin elastik eğrisi çizilirken, bilgisayar programı ile her düğüm noktasında elde edilen dönüş açılarının işaretleri saat dönüş yönü negatif, saat dönüş yönü tersi ise pozitif alınarak yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Şekil 4.14'de verilen örnek çerçevenin, (14) no'lu kirişin 2 ucuna ait uç momentinden dolayı çerçeve kirişlerinde meydana gelen elastik eğrisi şekil 4.5'de görüldüğü gibidir. Burada şekilde karışıklık olmaması için kolonların elastik eğrisi gösterilmemiştir.



Şekil 4.5 : Kesim yapılmış sistemin kirişlerinin elastik eğrisi

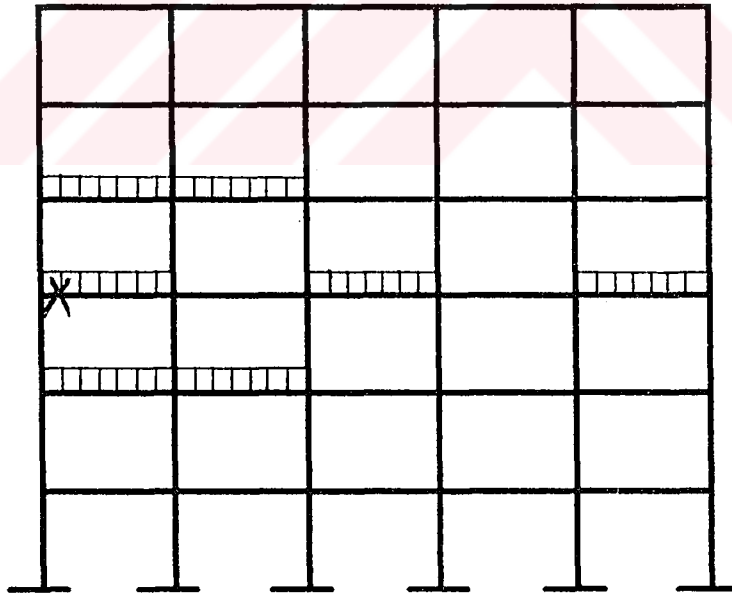
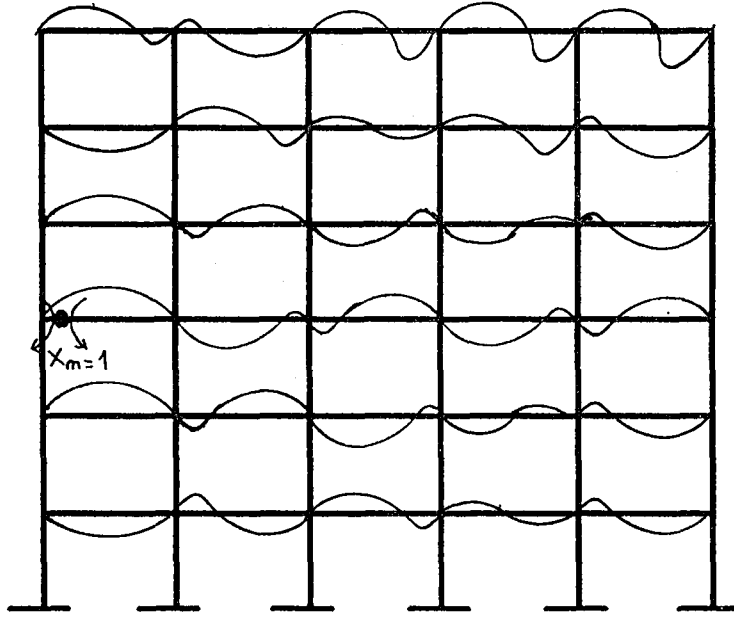
Birim moment klasik moment işaret kuralına göre negatif işaretli seçilmiş olduğundan elastik eğri aynen tesir çizgisi olur. Elastik eğrinin eksenin üstüne isabet eden bölgelerine uygulanacak hareketli yükler maksimum momentleri verir. Çerçeve kiriş elemanlarının her mesnedine ait elde edilen tesir çizgilerinden yararlanılarak, maksimum kiriş mesnet momentlerini veren hareketli yükleme durumları elde edilmiş olur. Şekil 4.5'de verilen (14) no'lu kirişin 2 ucuna ait mesnet momentinden dolayı çerçevede oluşan elastik eğriden yola çıkılarak şekil 4.6'da görülen yükleme düzeni elde edilecektir. Bu yükleme düzeni, kirişin o kesitinde ki maksimum mesnet momentini verecektir.



Şekil 4.6 : Maksimum momenti istenen kirişe ait yükleme düzeni

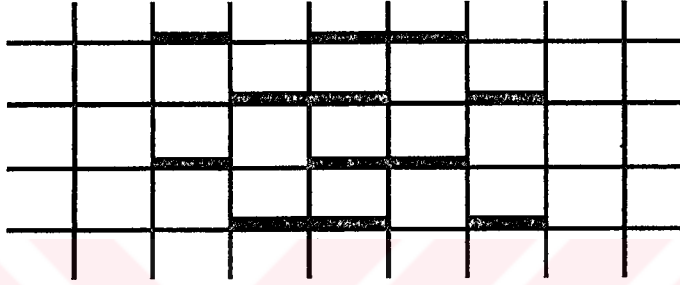
Aynı şekilde örnek çerçevenin kenar mesnetlerinden birisine ait uç momentinden dolayı meydana gelen elastik eğrisi ve bu elastik eğriden elde edilen tesir çizgilerinden yararlanılarak elde edilen yükleme durumu şekil 4.7’de görüldüğü gibidir.

Tüm kiriş mesnet momentlerine ait hareketli yükleme düzenlerini incelediğimizde maksimum momenti aranan kesitten uzakta bulunan açıklıkların, bu kesite etkilerinin çok az olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, hareketli yükleme durumunu, maksimum momenti aranan kesitin bulunduğu katın bir alt ve bir üst katını dahil edilerek incelenmesi yeterli olacaktır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Sistemin kenar mesnetlerinden birine ait elastik eğrisi ve yükleme düzeni

Bu araştırmadan elde edilen her kirişe ait maksimum mesnet momentlerini veren hareketli yükleme durumlarından genel bir sonuca gidilecek olursa, Şekil 4.8’de görülen yük modeli elde edilir. Burada maksimum kiriş mesnet momentlerinin arandığı açıklık tüm katlar boyunca yüklenmeli, sonra yüklenen bu açıklıkların sağından ve solundan iki açıklık alınarak, bu açıklıklar katlar boyunca bir boş bir dolu olacak Şekilde hareketli yük düzenlemesi yapılmalıdır.

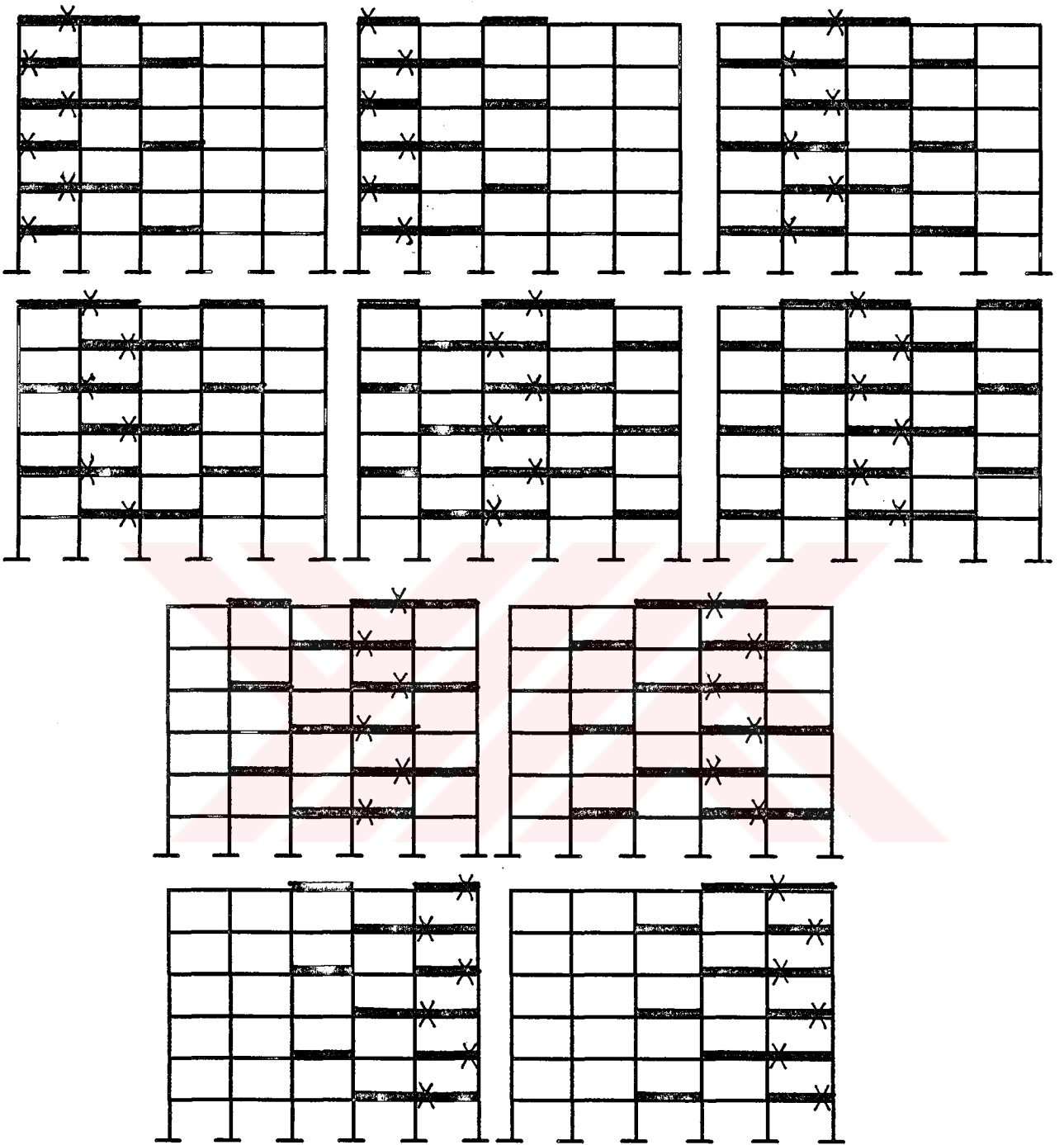


Şekil 4.8 : Önerilen yöntemde model yükün çerçeveye uygulanması

Maksimum kiriş mesnet momentinin arandığı açıklıktan uzaklaşıldıkça diğer açıklıkların bu kesite etkilerinin çok az olduğu araştırmalar sonucu görülmüş ve hareketli yük düzenlemesine ait Şekil 4.8’de grldğu gibi bir sınırlama getirilmiştir.

Burada önerilen maksimum momentleri verecek hareketli yük düzenlemesi çerçevenin açıklık sayısına bağlı ve açıklık sayısının iki katı ($2.n$) olması gerekmektedir. Ancak sistemin simetrik olması durumunda ise simetriden yararlanılarak yükleme yk açıklık sayısı kadar düzenlemek yeterli olacaktır. Ayrıca mesnet momentlerinin maksimum değerinin bulunacağı yerler işaretli olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.9’da verilen 5 açıklıklı örnek sistemde önerilen yöntem göre 10 tür hareketli yük düzenlemesi yapmak gerekmektedir.

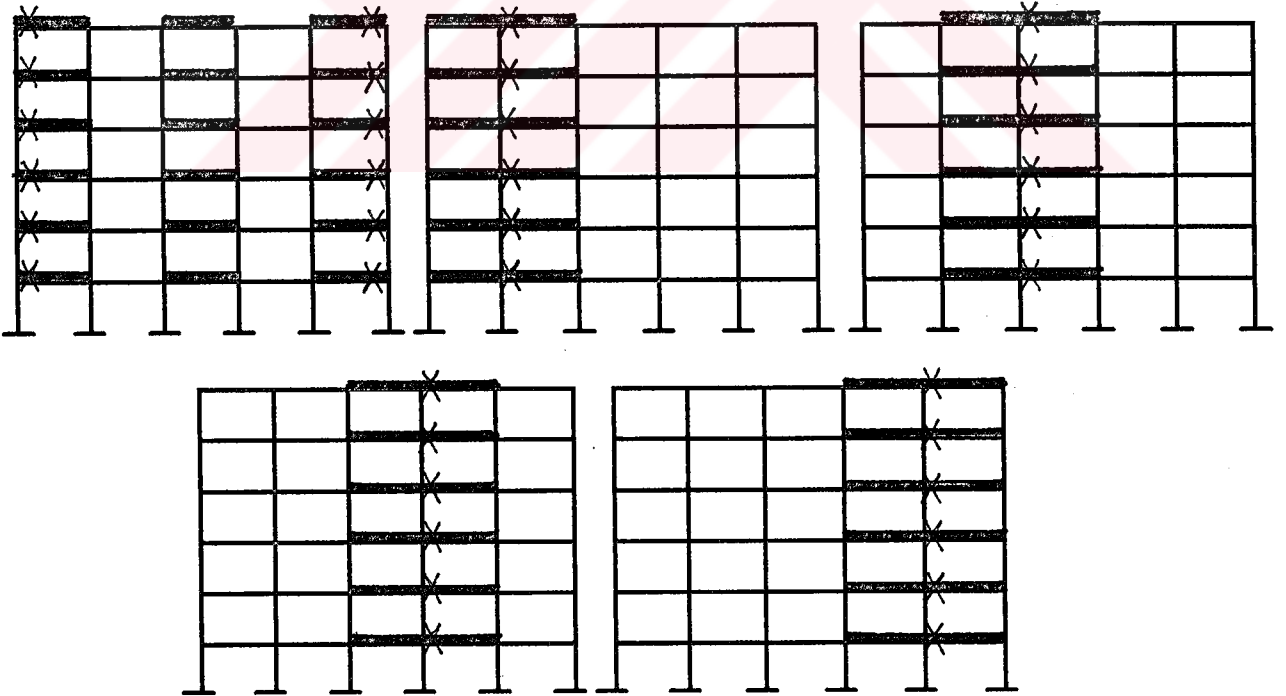


Şekil 4.9 : Örnek çerçeveye ait maksimum kiriş mesnet momentleri için önerilen yükleme düzeni

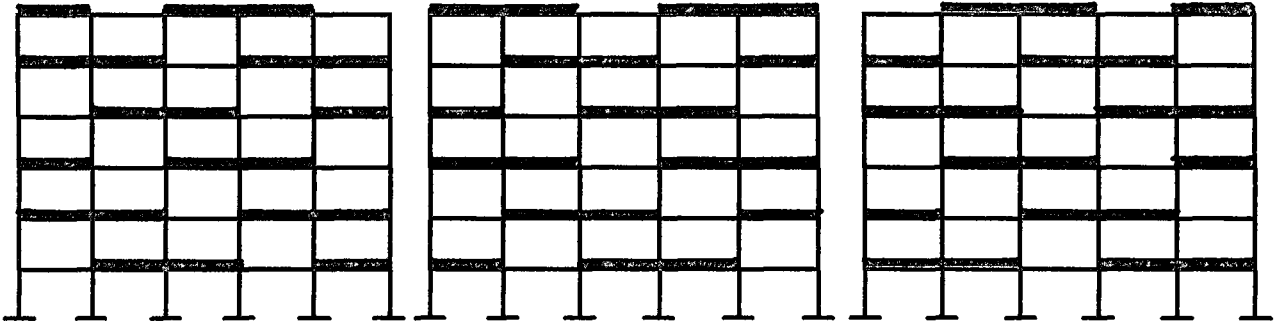
Yalnız sistemin simetrik olması halinde maksimum kiriş mesnet momentini verecek hareketli yükleme düzenlemesini simetriden yararlanarak 5 tür yükleme ile bulmamız mümkün olmaktadır. Şekil 4.9'da görülen yükleme düzenindeki işaretli yerler mesnet momentlerinin maksimum değerlerinin bulunacağı yerler olarak gösterilmiştir.

Önerilen yöntem,bölüm 4.3'te verilen örnekler kısmında, çerçevenin kolon ve kirişlerine ait rijitlik değerlerinin eşit olması durumuna göre çözümlenerek, sonuçları gerçek maksimum momentle ve diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Aynı yöntem daha sonra da rijitlik değerlerin farklı olması haline göre de incelenmiştir. Buna ait sonuçlar bölüm 4.3'te anlatılacaktır.

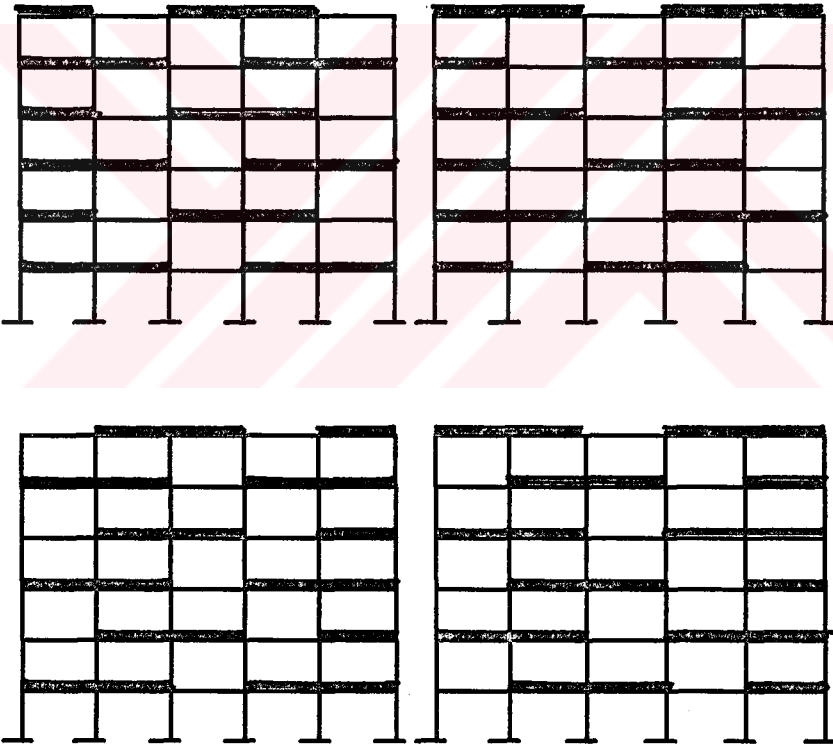
Şekil 4.14'te verilen 6 katlı ve 5 açıklıklı örnek çerçevede en büyük kiriş mesnet momentleri için araştırmacılar tarafından önerilen model yüklerin, bu çerçeveye uygulanış biçimleri aşağıda şekillerde gösterildiği gibidir.



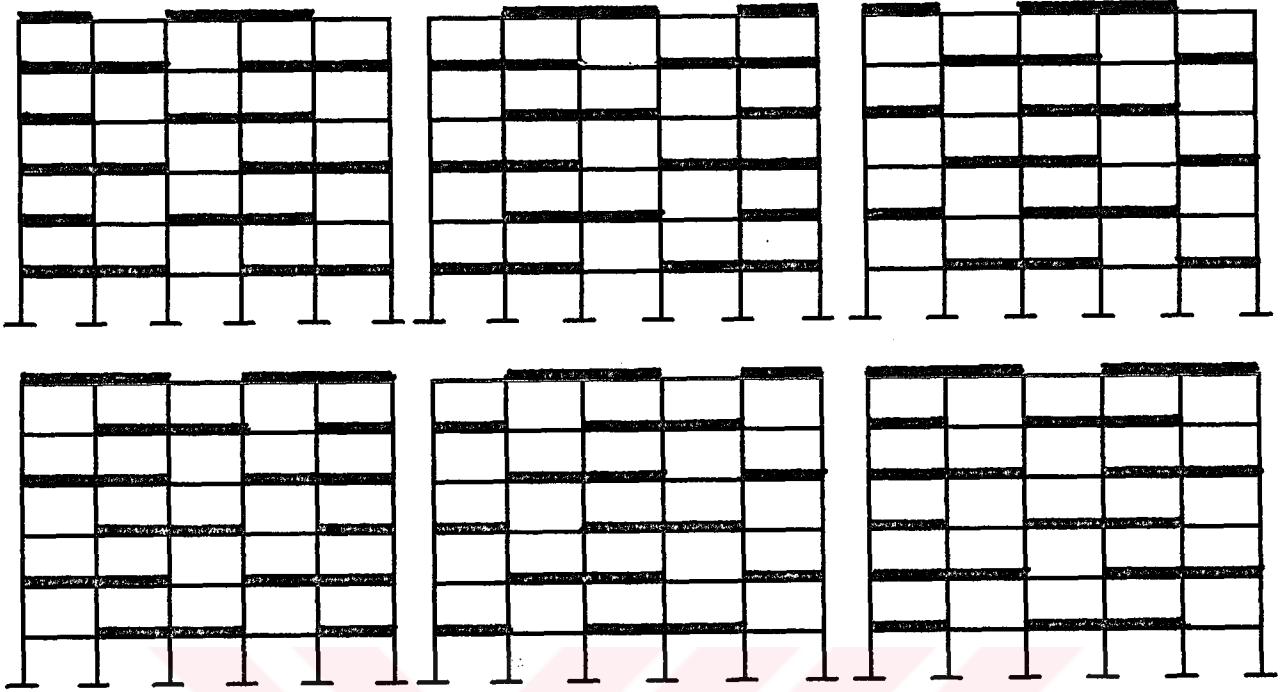
Şekil 4.10 : Furlong yöntemine göre örnek çerçevede maksimum kiriş mesnet momentlerini veren yükleme durumu



Şekil 4.11 : Ersoy yöntemi'ne göre örnek çerçevede maksimum kiriş mesnet momentlerini veren yükleme durumu



Şekil 4.12 : Altın, Ertutar, Abraşoğlu yöntemine göre örnek çerçevede maksimum kiriş mesnet momentlerini veren yükleme durumu



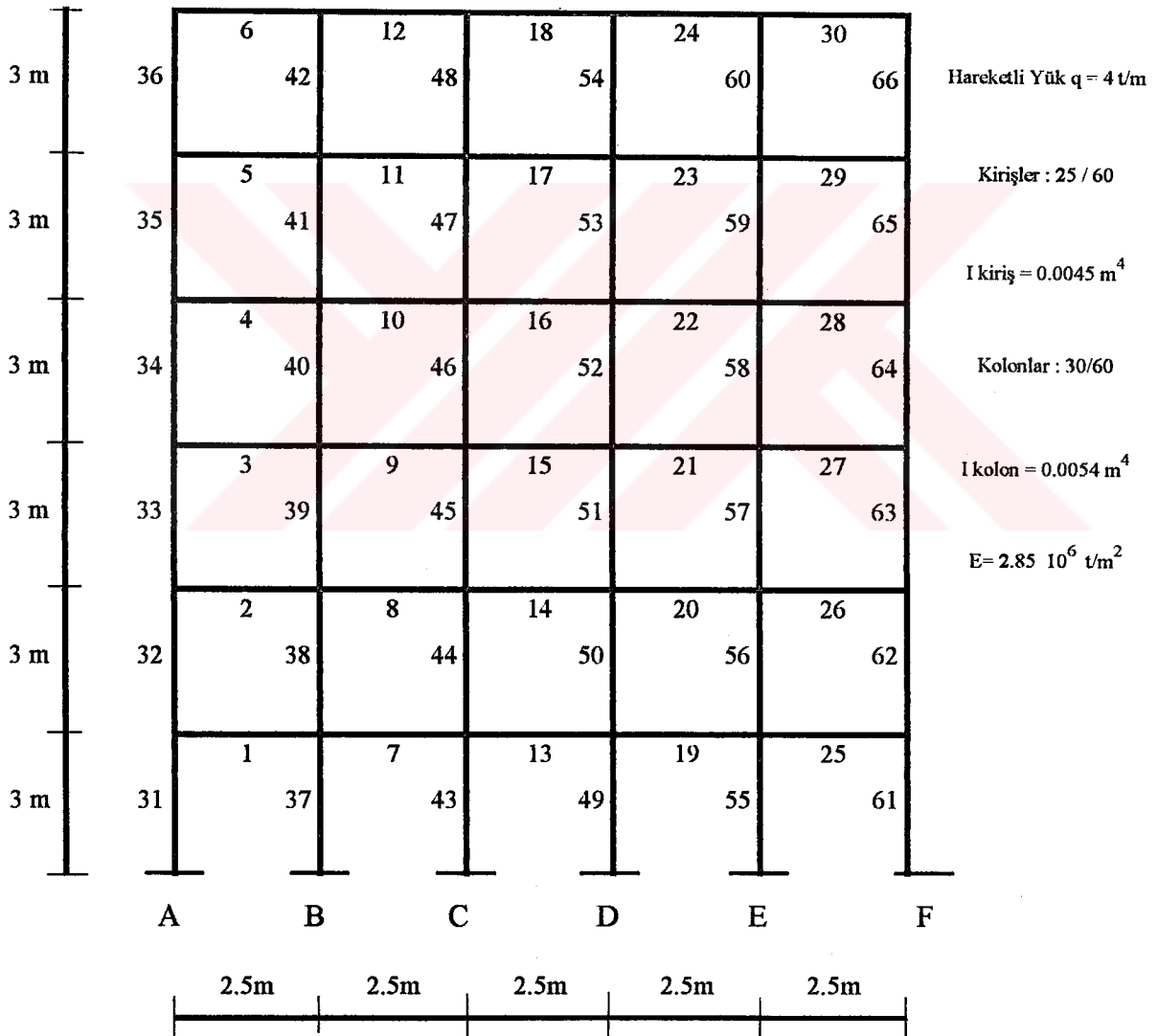
Şekil 4.13 : Ünlüoğlu ve Kıraç Yöntemi'ne göre örnek çerçevede maksimum kiriş mesnet momentlerini veren yükleme durumu

Önerilen yöntem ve diğer araştırmaların bulunduğu yöntemlerden elde edilen sonuçların, gerçek maksimum değerleri ile karşılaştırmaları yapılarak bir sonuca gitmek gerekmektedir. Çerçeve kirişlerine ait gerçek maksimum değerlerinin bulabilmesi için çerçeve açıklıklarından bir tanesi hareketli yükü yüklenerek çerçevenin statik hesabı yapılır ve her kiriş mesnetinde meydana getirdiği uç momentleri bulunur. Bu işlem, çerçeve açıklıklarının her birine tek tek uygulanarak, elde edilen kiriş uç momentleri işaretlerine göre toplanırsa her kirişe ait maksimum mesnet momentlerinin değerleri elde edilir. Burada ki hesaplar sonucunda görülmüştür ki, maksimum momenti aranan kesitin bulunduğu açıklıktan uzakta bulunan açıklıkların etkileri çok azdır ya da yoktur.

4.3. Örnekler

4.3.1. Şekil 4.14'de verilen 6 katlı ve 5 açıklıklı çerçeve üzerinde uygulanacak önerilen yöntemde belirtilen hareketli yük düzenlemesi ile elde edilecek maksimum kiriş

mesnet momentlerine ait sonuçlar, gerçek maksimum değerleri ve diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sistem ilk önce “k” rijitlik değerlerinin kolon ve kirişlerde aynı olması durumuna göre sonra da farklı olması durumuna göre çözülmüştür. Örnek çerçeve betonarme bir çerçeve olup, bütün kirişleri 25 x 60 cm, kolonları ise 30 x 60 cm boyutunda, çerçeve kirişlerine uygulanan hareketli yük $q = 4 \text{ t/m}$, elastisite modülü ise $E=2,85 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$ olarak alınmıştır.



Şekil 4.14 : Örnek Çerçeve

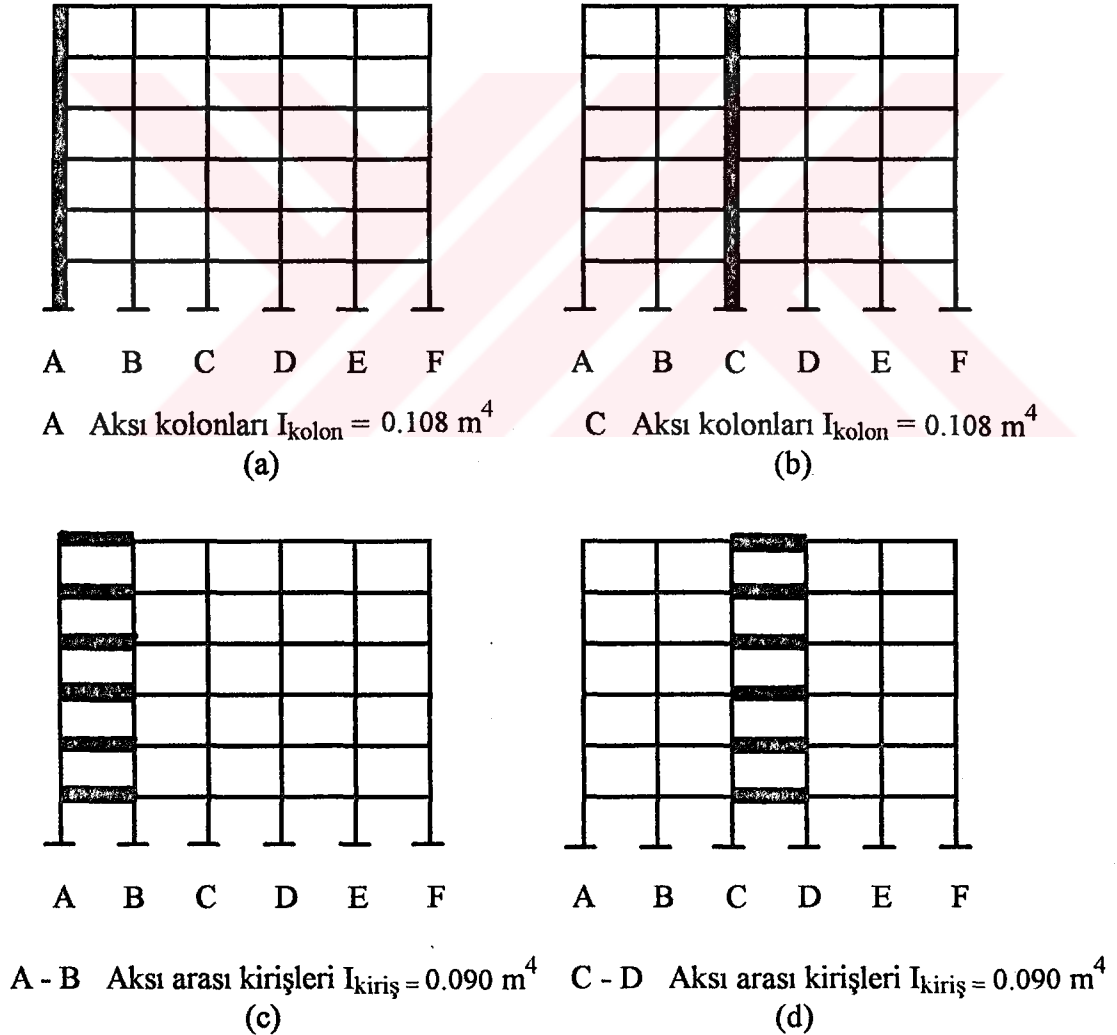
Örnek çerçevenin analizleri, sonlu elemanlar metodu ile düzlem çubuk sistemlerin çözümüne ait bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Burada önerdiğimiz yöntem ile maksimum kiriş momentlerini bulunabilmesi için şekil 4.8’de verilen model yük seçilmiştir. Bu modelin 6 katlı 5 açıklıklı çerçeveye uygulanış düzeni şekil 4.9’da görüldüğü gibi olacaktır. Yalnız burada çerçevenin tamamıyla simetrik olmasından faydalanarak 10 tür yükleme yerine çerçevenin yarısına yani 5 tür yükleme yapmak yeterli olacaktır. Buradan önerilen yükleme düzeni ile elde edilen kiriş maksimum mesnet momentlerine ait sonuçların, diğer araştırmalardan elde edilen sonuçlarla ve bu kirişlere ait gerçek maksimum değerlerle karşılaştırılmaları yapılmıştır. Bu değerler Tablo - 1’de verilmiştir.

“k” rijitlik değerlerinin eşit olması durumuna göre çözülen örnek çerçevenin kirişlerine ait maksimum mesnet momentlerine ait önerilen yöntem ve diğer yöntemlerle elde edilen değerlere ait sonuçlar Tablo - 1’de gösterilmiştir. Bu araştırmada önerilen ve daha önceki önerilerden elde edilen sonuçları gerçek maksimum değerlere oranladığımız zaman en küçük hataların bu yöntemde ve Altın ile Kıraç yöntemlerinde meydana geldiğini görebiliriz. Oranların ortalamasında da görüldüğü gibi bu üç yöntemin sonuçları birbirinden çok fazla farklı değildir. Tam yüklü hali olma durumunun sonuçlarını incelediğimizde maksimum kiriş mesnet momentlerini elde edebilmek için hareketli yük düzenlemesi yapmanın ne kadar gerekli olduğunu görebiliriz. Burada önerilen yöntemin diğer yöntemlere göre bir avantajı, çerçevenin belirli bir kesitine ait maksimum momentinin değeri istenildiği zaman daha az yükleme ile sonuçların gerçeğe yakın bir biçimde elde edilebilmesidir.

KIRIŞ NO	MAX M	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	
														TAM YÜKLÜ HALİ
1	173	167	150	163	156	167	167	1.036	1.153	1.061	1.109	1.036	1.036	
2	183	177	160	172	167	178	178	1.034	1.144	1.064	1.096	1.028	1.028	
3	184	176	158	170	167	177	177	1.045	1.165	1.082	1.102	1.040	1.040	
4	185	174	157	169	166	176	176	1.063	1.178	1.095	1.114	1.051	1.051	
5	189	181	165	176	169	183	183	1.044	1.145	1.074	1.118	1.033	1.033	
6	145	137	120	132	140	137	137	1.058	1.208	1.098	1.036	1.058	1.058	
1-7	253	250	232	240	249	249	249	1.012	1.091	1.054	1.016	1.016	1.016	
2-8	260	256	229	236	243	259	259	1.016	1.135	1.102	1.070	1.004	1.004	
3-9	262	257	229	236	242	260	260	1.019	1.144	1.110	1.083	1.008	1.008	
4-10	263	258	229	237	242	260	260	1.019	1.148	1.110	1.087	1.012	1.012	
5-11	265	260	228	235	244	263	263	1.019	1.162	1.128	1.086	1.008	1.008	
6-12	272	268	241	253	269	268	268	1.015	1.129	1.075	1.011	1.015	1.015	
7-13	252	250	208	232	243	244	250	1.008	1.212	1.086	1.037	1.033	1.008	
8-14	261	259	208	229	244	254	259	1.008	1.255	1.140	1.070	1.028	1.008	
9-15	262	260	208	229	245	256	260	1.008	1.260	1.144	1.069	1.023	1.008	
10-16	262	260	208	230	245	256	260	1.008	1.260	1.139	1.069	1.023	1.008	
11-17	264	263	208	228	245	259	263	1.004	1.269	1.158	1.078	1.019	1.004	
12-18	268	267	207	241	267	260	267	1.004	1.295	1.112	1.004	1.031	1.004	
ORAN:								1.023	1.185	1.102	1.070	1.026	1.019	

Tablo 1 : "K" rijitliklerinin aynı olması durumunda kiriş mesnet momentleri [tcm]

4.3.2. Çok katlı çerçevenin kolon ve kiriş elemanlarının rijitlik değerlerinin farklı olacağı göz önünde bulundurularak önerilen yükleme düzeninden elde edilen değerlerin gerçek maksimum değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu sebeple önerilen yöntem, çok katlı çerçevelerde “k” rijitlik değerlerinin farklı olması durumuna göre de araştırılmıştır. Şekil 4.14’te verilen örnek çerçevenin A ve C akslarındaki kolonların, A - B aksı arası ve C - D aksı arasında ki kirişlerin tek tek rijitlikleri arttırılarak dört ayrı durum için analizi yapılmıştır. Bu kolon ve kiriş elemanlarının atalet momentleri 20 kat arttırılarak k rijitliklerinin farklı olması sağlanmış ve buna göre çözüm yapılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 “k” rijitlik değerleri farklı örnek çerçeve

Burada k rijitlik değerlerin farklı olmasından dolayı sistemin simetrikliği ortadan kalkmış ve önerilen model yükün çerçeveye uygulanması şekil 4.9'da görüldüğü gibi 10 tür yüklemekten oluşmaktadır. Uygulanan hareketli yük düzenlemelerinden elde edilen kiriş maksimum mesnet momentlerine ait sonuçlar ve bu sonuçların gerçek maksimum değerlerle karşılaştırılması Tablo - 2'de gösterilmiştir.

Tablo - 2'ye göre;

- (a) A aksı kolonları atalet momentlerinin büyük olması halinde,
- (b) C aksı kolonları atalet momentlerinin büyük olması halinde ,
- (c) A - B aksı arası kirişlerin atalet momentlerinin büyük olması halinde,
- (d) C - D aksı arası kirişlerin atalet momentlerinin büyük olması halinde,

yapılan araştırmanın sonuçlarını gösterir.

Tablo - 2'yi incelediğimizde; A aksı kolonlarının rijit olması halinde gerçek maksimum momentlerle önerilen yöntemden elde edilen momentler arasındaki en büyük oranların, çerçevenin en sağdaki kirişlerine ait mesnet momentlerinde farklılık olduğu görülür. Bu oran ise % 12 ile % 16 arasında değişmektedir. C aksı kolonlarının rijit olması halinde ise çerçevenin en sol ve en sağındaki kirişlere ait mesnet momentleri arasındaki oranın % 6 ile % 13 arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

Kirişlerin rijit olması halinde ise A - B aksı arası kirişlerin rijit olması halinde en büyük oranın en soldaki kiriş mesnet momentlerinde ve % 26 ile % 38 arasında değişmekte olduğu, C - D aksı arası kirişlerin rijit olması durumunda ise en sol ve en sağdaki kiriş mesnet momentleri arasındaki oranın % 10 ile % 13 arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

KIRIŞ NO	(a)			(b)			(c)			(d)		
	(1)	(2)		(3)	(4)		(5)	(6)		(7)	(8)	
	MAX M	ÖNERİ	1/2	MAX M	ÖNERİ	3/4	MAX M	ÖNERİ	5/6	MAX M	ÖNERİ	7/8
1 Sol	238	227	1.05	174	161	1.08	59	44	1.34	178	162	1.10
2 Sol	244	232	1.05	186	172	1.08	70	55	1.27	189	169	1.12
3 Sol	245	232	1.06	188	170	1.11	69	54	1.28	189	168	1.13
4 Sol	245	232	1.06	188	168	1.12	68	54	1.26	189	167	1.13
5 Sol	248	237	1.05	194	180	1.08	72	56	1.29	195	174	1.12
6 Sol	240	229	1.05	144	128	1.13	40	29	1.38	148	131	1.13
1-7	243	242	1.00	245	241	1.02	251	247	1.02	249	248	1.00
2-8	258	256	1.01	251	247	1.02	265	260	1.02	252	251	1.00
3-9	258	257	1.00	252	248	1.02	266	260	1.02	252	251	1.00
4-10	257	255	1.01	252	248	1.02	267	261	1.02	252	250	1.01
5-11	261	259	1.01	257	253	1.02	268	263	1.02	252	251	1.00
6-12	255	251	1.02	256	252	1.02	269	261	1.03	258	257	1.00
7-13	251	248	1.01	251	242	1.04	248	247	1.00	258	255	1.01
8-14	264	261	1.01	259	251	1.03	254	253	1.00	274	269	1.02
9-15	265	261	1.02	260	252	1.03	254	253	1.00	275	269	1.02
10-16	265	260	1.02	260	252	1.03	254	253	1.00	275	269	1.02
11-17	268	266	1.01	263	258	1.02	256	255	1.00	277	270	1.03
12-18	266	264	1.01	267	256	1.04	256	255	1.00	272	269	1.01
13-19	259	253	1.02	241	237	1.02	248	247	1.00	258	255	1.01
14-20	271	263	1.03	252	248	1.02	260	260	1.00	274	269	1.02
15-21	273	264	1.03	254	248	1.02	262	260	1.01	275	269	1.02
16-22	272	264	1.03	254	248	1.02	262	260	1.01	275	269	1.02
17-23	274	265	1.03	260	255	1.02	265	265	1.00	277	270	1.03
18-24	273	270	1.01	255	250	1.02	263	261	1.01	272	269	1.01
19-25	258	252	1.02	255	247	1.03	259	250	1.04	249	248	1.00
20-26	271	260	1.04	264	251	1.05	265	256	1.04	252	251	1.00
21-27	271	261	1.04	265	252	1.05	266	257	1.04	252	251	1.00
22-28	272	260	1.04	266	253	1.05	266	257	1.04	252	250	1.01
23-29	275	261	1.05	268	256	1.05	268	259	1.03	252	251	1.00
24-30	275	268	1.03	275	265	1.04	275	268	1.03	258	257	1.00
25-Sağ	184	165	1.12	182	172	1.06	170	167	1.02	178	162	1.10
26-Sağ	198	172	1.15	195	181	1.08	180	177	1.02	189	169	1.12
27-Sağ	198	171	1.16	197	180	1.09	181	176	1.03	189	168	1.13
28-Sağ	197	170	1.16	197	179	1.09	182	175	1.04	189	167	1.13
29-Sağ	202	179	1.13	204	185	1.10	184	182	1.01	195	174	1.12
30-Sağ	155	137	1.13	149	144	1.03	142	137	1.04	148	131	1.13
		ORAN	1.05		ORAN	1.05		ORAN	1.07		ORAN	1.05

Tablo 2 : "k" rijitliklerinin farklı olması durumunda kiriş mesnet momentleri [tcm]

Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi çerçeve kolon ve kiriş elemanlarının katlar boyunca rijitlikleri artırılması durumunda önerilen yöntem ile gerçek maksimum momentleri arasındaki farklılıkların en çok kenar kirişlerin mesnet momentlerinde meydana geldiği görülmektedir. Genel olarak oranların ortalamasına baktığımızda bu oran % 5 olarak bulunmuştur.

Burada önerilen yöntem, diğer yöntemlere göre daha fazla yükleme düzeni getirmesine rağmen çerçeve açıklıklarına uygulanacak az sayıda yükleme ile çerçeve kirişlerinin mesnetlerinde oluşacak momentin gerçeğe yakın değerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Örneğin 10 katlı 30 açıklıklı bir çerçevenin belirli bir kirişine ait maksimum mesnet momentini bulmak için katlar boyunca hareketli yük düzenlemesi yapmak yeterli olacaktır. Ayrıca simetrik bir sistemde maksimum kesit tesirlerini veren yükleme sayısının çerçeve açıklık sayısına eşit olması yani önerilen yüklemenin azalması da bir avantaj sağlamaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, izostatik ve hiperstatik sistemlerin düşey yükler altında analizi yapılarak, sistemde maksimum ve minimum kesit tesirlerini veren hareketli yük durumlarını elde edebilmek için tesir çizgileri üzerinde araştırma yapılmıştır.

Çok katlı ve çok açıklıklı çerçevelerin düşey yükler altında analizi, en büyük kesit tesirlerini verecek hareketli yük düzenlemesiyle yapılmaktadır. Tesir çizgilerine göre en büyük kesit tesirlerini bulabilmek için yüzlerce düzenleme ve yüzlerce çözümlenme yapmak gerekmektedir. Bu da pratik bir yaklaşım değildir. Bu yüzden kesin sonuca yakın ama daha az sayıda hareketli yük düzenlemesi ile en büyük kiriş mesnet momentlerini veren, belirli bir sistematığe dayanan yeni bir düzenleme yöntemi geliştirilmiştir.

Sunulan yeni yöntemde önerilen yükleme düzeninden elde edilen sonuçların, gerçek maksimum değerlere ve diğer araştırmacıların önerdiği yükleme düzenlerinden elde edilen değerlerle karşılaştırılmaları yapılmıştır. Burada önerilen yöntem diğer yöntemlere göre daha fazla yükleme düzeni gerektirmesine rağmen çerçeve açıklıklarına uygulanacak az sayıda hareketli yükleme ile çerçeve kirişlerinin mesnetlerinde oluşacak maksimum momentlerinin gerçeğe yakın değerleri verdiği görülmüştür. Ayrıca sistemin simetrik olması durumunda yükleme sayısının azalması bir avantaj sağlamaktadır.

Önerilen yöntem maksimum kiriş mesnet momentlerinin elde edilmesinde tasarımcıya doğru sonuçlara yakın pratik bir çözümlenme olanağı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Altın, S., Ertutar, Y., ve Abraşoğlu, N., “Çok Katlı Yapılarda Hareketli Yük Düzenlenmesi”, İMO İzmir Şubesi Haber Bülteni, Sayı49, Ekim. 1993.

Aydın, R., “Yapı Statiği, Hiperstatik Sistemler, Matris Metodlar”, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No:114. 1985.

Aydın, R., “İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Uygulamaları” 1987

Aykurt, V. , “Yapı Statiği”, Eskişehir Devlet Mühendislik Mimarlık Akademisi Yayınları, Cilt 1, 1976.

Çakıroğlu , A., “Hiperstatik Sistemlerin Hesap Metodları”, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 1984.

Çetmeli, E., Çakıroğlu, A., “Yapı Statiği”, Cilt I, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul 1990.

Çetmeli, E., Çakıroğlu, A., “Yapı Statiği”, Cilt II, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 1979.

Ersoy, U., “Çok Katlı Yapıların Çözümünde Hareketli Yük Düzenlenmesi”. İMO Teknik Dergi, Cilt3, Sayı 3, Temmuz 1992

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

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

Mohn, J. , “ Mütetadi Kirişler, Çerçeveler ve Plaklar”, Çeviren Çetmeli,
E., Çağlayan Basımevi, 1972.

Sabis, T. , “ Hiperstatik Sistemler ”, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 1963.

Ünlüoğlu,E., Kırac, N.,“Çok Katlı Yapılarda Hareketli Yük Düzenlenmesi”,
Yapı Mekaniği Semineri 94, Dumlupınar Üniversitesi Yayın No:2, Haziran 1994

