



# Paket Program Kullanılarak Gerçekleştirilen Yapısal Analiz Üzerine İrdemeler

## Reviews On Structural Analysis Using The Packaged Program

Hikmet Hüseyin Çatal <sup>1\*</sup>, Salih Zafer Dicle <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author\*: huseyin.catal@deu.edu.tr

### Öz

Yapıların taşıyıcı sistemlerinin tasarımında esas alınan deprem yönetmeliği ve standartların oldukça detaylı olması, dış yükler altında taşıyıcı sistemlerin davranışını gerçeğe daha yakın temsil eden üç boyutlu hesap modelleri kullanılması nedenleri ile taşıyıcı sistemlerin tasarımında, yönetmeliklere göre hazırlanmış paket programların kullanılması neredeyse zorunluluk haline gelmiştir. Taşıyıcı sistemlerin tasarımında paket programların kullanılması, tasarımı gerçekleştiren mühendise hesap kolaylığı sağlamak ve sistem hesap modelinin kolaylıkla değiştirilerek optimum kesit boyutlarının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Ancak paket program kullanılarak gerçekleştirilen yapısal analizi sırasında, programlara veri girilmek suretiyle teşkil edilen hesap modelinin yapı davranışını doğru temsil etmesi, elde edilecek çıktılarının doğruluğu için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, paket program kullanılarak gerçekleştirilen yapısal analizde, hesap modelinin teşkil edilmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapısal analiz, Matris-deplasman yöntemi, Rijitlik matrisi.

### Abstract

In the design of structural systems, it has become almost a necessity to use packaged softwares prepared according to regulations. The reason for this is that the earthquake regulations and standards, which are used for the design of the structural systems of the buildings, are quite detailed, and three-dimensional calculation models are used that more closely represent the behaviour of the structural systems under external loads. The use of packaged software in the design of structural systems provides ease of calculation to the engineer who performs the design and allows the determination of optimum cross-sectional dimensions by easily changing the system mathematical model. However, during the structural analysis carried out using the packaged software, it is very important for the accuracy of the outputs to be obtained from the mathematical model, which is formed by entering data into the software, accurately represents the structural behaviour. In this study, the issues that should be considered in the construction of the mathematical model in the structural analysis carried out using the packaged software were examined.

**Keywords:** Structural analysis, Matrix-displacement method, Stiffness matrix

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

At the present time, package programs are widely used in structural design of beams, plane truss and frame, three-dimensional truss and frame.

Since package programs accelerate the structural design of beam, plane truss and frame, three-dimensional truss and frame, it is easy to obtain the optimum solution of these systems.

#### Materials and Methods

The matrix-displacement method is used in the algorithm of structural analysis package programs. In the method, the displacements of the joints of the structural systems in the global directions are obtained by multiplying the vector of external forces acting on joints of the system in global directions by inverse of the global system stiffness matrix. Then, end forces of the element of structural system are obtained by using the global

displacement of joints and the the element global stiffness matrices. The solution algorithm for the indeterminate and determinate systems is same.

The size of the global system stiffness matrix of the mathematical model of three-dimensional frame and truss system and plane frame system are  $(6n) \times (6n)$ ,  $(3n) \times (3n)$ ,  $(3n \times 3n)$  respectively. Additionally, these matrices are symmetric, square and band matrix.

Since the dimensions of the global stiffness matrix of the mathematical model of the three-dimensional structural system created by coding method are very large, the time to obtain the inverse of this matrix is quite long. By using the symmetry feature and half-bandwidth of the global system stiffness matrix, the time to obtain the inverse of this matrix can be reduced.

The elements and joints of the structural systems of mathematical models are numbered. The difference between the initial and the terminal end numbers of the elements of the systems affects the half-bandwidth of the global system stiffness matrix. As this difference becomes smaller, the half-bandwidth of the global system stiffness matrix also decreases and the time to obtain the inverse of the global system stiffness matrix decreases. Where IN and TN are numbers of the initial and the terminal ends of the element respectively, the half-bandwidth of global system stiffness matrix of the plane truss system, the three-dimensional truss, the plane frame system, the three-dimensional frame are  $(|IN-TN|) \times 2$ ,  $(|IN-TN|) \times 3$ ,  $(|IN-TN|) \times 3$ ,  $(|IN-TN|) \times 6$  respectively.

The accuracy of structural analysis results also depends on the correct definition of the structural system data in package programs. If the number of elements of the structural system is

missing or the support condition are defined incorrectly, the end displacements and forces of the element can not be calculated since the structural system will be unstable. The mathematical model of the structural system foundations resting on ground that is assumed to behave elastically can be modeled using elastic springs in accordance with the Winkler Hypothesis. Similarly the joints of the frames that behave semi-rigid can be defined using elastic spring.

Shear-walls are used to absorb horizontal loads in reinforced concrete multi-bay, multi storey structures. Different methods are used to define mathematical models of shear-walls into package programs. One of these methods is the equivalent frame method. In this model, the beam part inside the shear-wall is considered as an element with infinite stiffness.

## 1. Giriş

Yapıların taşıyıcı sistemlerinin tasarlanmasında, paket programlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıların taşıyıcı sistemlerinin hesap modeli teşkil edildikten sonra, seçilen genel koordinat takımına göre taşıyıcı sistem elemanlarının başlangıç ve bitiş uçlarının koordinatları programa veri olarak girilerek elemanların konumları paket programa tanıtılmaktadır. Taşıyıcı sistemin eleman açıklıklarına ve düğüm noktalarına etkiyen dış yükler, sistemin imal edileceği malzemeye ait, elastisite modülü, kayma modülü gibi değişkenler de programa veri olarak tanımlanmaktadır. Taşıyıcı sistemin yapısal analiz gerçekleştirildiği paket programların hesap algoritmaları, taşıyıcı sistemin hiperstatik veya izostatik olması durumuna göre hesaplama yöntemi değişmeyen matris-deplasman yöntemi esas alınarak oluşturulmaktadır. Yöntemde, taşıyıcı sistemin etkiyen zati, hareketli ve dinamik dış yükler altında, taşıyıcı sistemin düğüm noktalarının yer değiştirme ve dönme değerleri hesaplanmakta, yer değiştirme ve dönme değerleri kullanılarak taşıyıcı sistemlerin iç tesirleri belirlenmektedir.

## 2. Matris-Deplasman Yöntemi

Matris-deplasman yönteminde, malzemenin doğrusal elastik davranması kabulü ile, taşıyıcı sistemin düğüm noktalarının yer değiştirmesi ve dönmeleri, sistemin düğüm noktalarına etkiyen dış yükler ve sistem elemanları üzerindeki dış yüklerin oluşturduğu ankastrelik kuvvet ve momentleri vektörünün, taşıyıcı sistemin malzeme, eleman kesit özellikleri ve açıklıklarına bağlı olarak teşkil edilen, sistem rijitlik matrisinin çarpılması suretiyle aşağıdaki gibi hesaplanır [1, 2, 3].

$$(\delta) = [K]^{-1}\{(P) - (P^A)\} \quad (1)$$

Burada  $(P)$ , taşıyıcı sistemin düğüm noktalarına serbestlik dereceleri doğrultusunda etkiyen dış yük ve moment vektörünü,  $(P^A)$ , çubuk açıklığındaki dış yük ve momentler nedeniyle çubuk uçlarında oluşan ankastrelik kuvvet ve moment vektörünü,  $[K]$ , kodlama yöntemiyle oluşturulan, sistem global

rijitlik matrisini,  $(\delta)$ , taşıyıcı sistemin düğüm noktalarının global doğrultulardaki yer değiştirme vektörünü tanımlamaktadır.

Taşıyıcı sistemin düğüm noktalarının global doğrultulardaki yer değiştirme vektörü  $(\delta)$  kullanılarak, taşıyıcı sistemi teşkil eden çubuk uçlarının kuvvet ve momentleri aşağıdaki gibi hesaplanır [1, 2, 3].

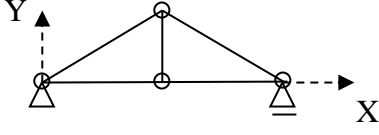
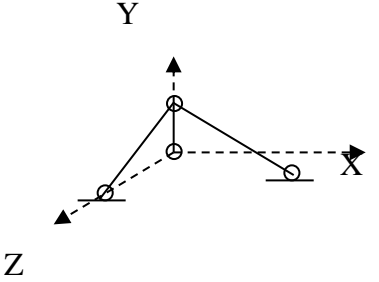
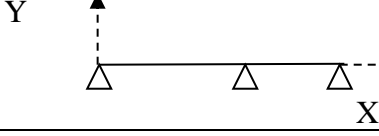
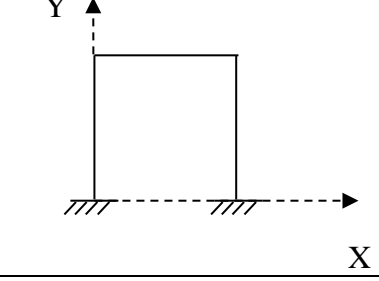
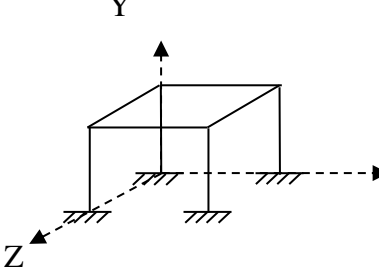
$$(P_{el}) = [K_{el}](\delta_{el}) + (P_{el}^A) \quad (2)$$

Burada,  $(P_{el})$ , çubuk elemanın uç kuvvet ve moment vektörünü,  $[K_{el}]$ , çubuk elemanın global doğrultulardaki rijitlik matrisini,  $(P_{el}^A)$ , çubuk açıklığındaki dış yük ve momentler nedeniyle çubuk uçlarında oluşan ankastrelik kuvvet ve moment vektörünü tanımlamaktadır.

Taşıyıcı sistemin global doğrultulardaki rijitlik matrisinin boyutu büyüdükçe yapısal analiz gerçekleştirildiği paket programlarda çözüm süresi artmaktadır. Üç boyutlu taşıyıcı sistemlerin hesap modelinde her bir düğüm noktasında 3 adet yer değiştirme, 3 adet kesit dönmesi olmak üzere 6 serbestlik derecesi bulunmaktadır. Taşıyıcı sistemde  $(n)$  adet düğüm noktası bulunması halinde global sistem rijitlik matrisinin boyutu  $6n \times 6n$  mertebesinde, taşıyıcı sistemin düzlem çerçeve olması halinde global sistem rijitlik matrisinin boyutu  $3n \times 3n$  mertebesinde, taşıyıcı sistemin düzlem kafes olması halinde global sistem rijitlik matrisinin boyutları  $2n \times 2n$ , taşıyıcı sistemin 3 boyutlu kafes olması halinde ise, global sistem rijitlik matrisinin boyutları  $3n \times 3n$  mertebesinde. Taşıyıcı sistem türüne göre global sistem rijitlik matrisinin yarı band genişlikleri, çizelge-1'de sunulmuştur [1, 2].

Global doğrultudaki sistem rijitlik matrisi simetrik, pozitif tanımlı band matristir. Bu nedenle global sistem rijitlik matrisinin yarı band genişliğindeki terimleri dikkate alınarak, global sistem rijitlik matrisinin tersinin elde edilme süresi azalmaktadır. Ancak global sistem rijitlik matrisinin yarı band genişliğindeki terimler dikkate alınsa dahi, global sistem rijitlik matrisinin yarı band genişliği arttıkça, global sistem rijitlik matrisinin tersinin elde edilme süresi artmaktadır.

**Tablo 1.** Taşıyıcı sistemin global doğrultulardaki sistem rijitlik matrisinin boyutları**Table 1.** Dimensions of the system stiffness matrix in the structural system global directions,

TAŞIYICI SİSTEM	TAŞIYICI SİSTEM ŞEKLİ	GLOBAL DOĞRULTULARDA SİSTEM RİJİTLİK MATRİSİ BOYUTU
Düzlem Kafes		$(2n*2n)$
Uzaysal Kafes		$(3n*3n)$
Kiriş		$(2n*2n)$
Düzlem Çerçeve		$(3n*3n)$
Uzaysal Çerçeve		$(6n*6n)$

Band matrisin genişliği, taşıyıcı sistem türüne ve taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların başlangıç ve bitiş ucundaki düğüm noktaları değerleri arasındaki farkın sayısal değerine bağlı olmaktadır. Taşıyıcı sistemi teşkil eden çubukların başlangıç ve bitiş uçlarındaki düğüm nokta numaraları birbirine ne kadar yakın olur ise, band matris ve yarı band matris genişliği o kadar küçük olacaktır [1].

Taşıyıcı sistem türüne göre, Taşıyıcı sistemi teşkil eden çubuk uçlarının başlangıç ve bitiş nokta değerleri arasındaki farkın en büyük olduğu değere göre yarı band genişlikleri çizelge-2'de sunulmuştur [1].

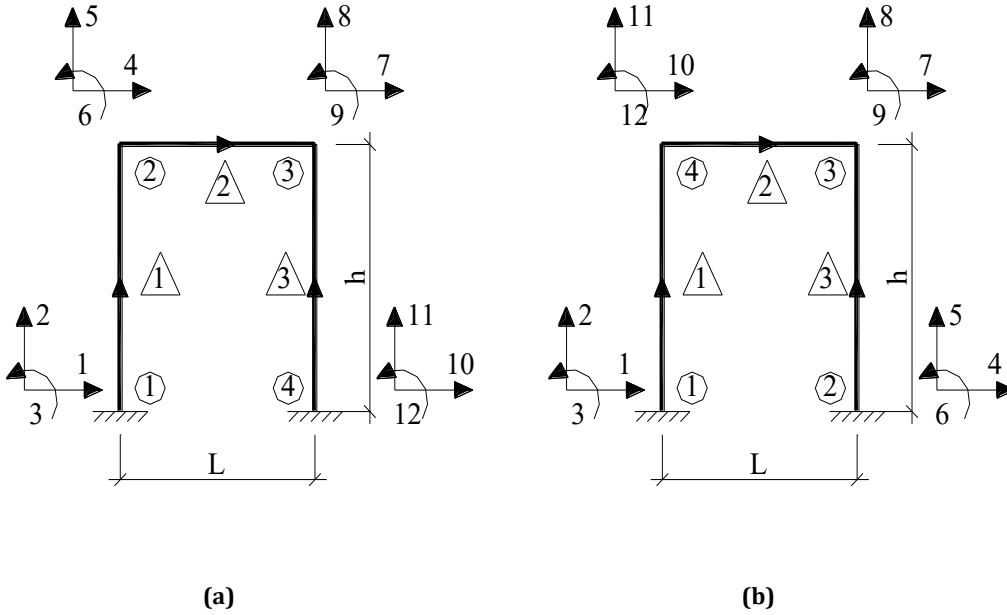
**Tablo 2.** Taşıyıcı sistemin türüne göre yarı band genişlikleri**Table 2.** Half-bandwidths according to type of structural system

TAŞIYICI SİSTEM	TAŞIYICI SİSTEM ŞEKLİ	YARI BAND GENİŞLİĞİ
Düzlem Kafes		$( IN-TN +1) * 2$
Uzaysal Kafes		$( IN-TN +1) * 3$
Kiriş		$( IN-TN +1) * 2$
Düzlem Çerçeve		$( IN-TN +1) * 3$
Uzaysal Çerçeve		$( IN-TN +1) * 6$

Burada; IN, elemanın başlangıç ucunun numara değerini, TN, elemanın bitiş ucunun numara değerini göstermektedir.

Yarı band genişliğinin hesabına örnek teşkil edecek, 3 çubuklu tek açıklıklı düzlem çerçevenin düğüm noktalarının numaraları Şekil-1a ve Şekil-1b'de görüldüğü gibi 2 farklı şekilde oluşturulmuştur [3]. Şekil-1a'daki, çerçevenin düğüm nokta numaraları arasındaki fark, 1 numaralı çubuk için  $IN=1$ ,  $TN=2$ ,  $|1-2|=1$ , 2 numaralı çubuk için  $IN=2$ ,  $TN=3$ ,  $|2-3|=1$ , 3 numaralı çubuk için  $IN=4$ ,  $TN=3$ ,  $|4-3|=1$  olup, tüm çubuklar dikkate alındığında çubuk uç numaraları arasındaki en büyük fark 1'dir. Çizelge-2'ye göre, Şekil-1a'daki düzlem çerçevenin yarı band genişliği,  $(1+1)*3=6$  olacaktır. Şekil-1b'deki, çerçevenin düğüm nokta numaraları arasındaki fark, 1 numaralı çubuk için

$IN=1$ ,  $TN=4$ ,  $|1-4|=3$ , 2 numaralı çubuk için  $IN=4$ ,  $TN=3$ ,  $|4-3|=1$ , 3 numaralı çubuk için  $IN=2$ , Şekil-1b'deki, çerçevenin düğüm nokta numaraları arasındaki fark, 1 numaralı çubuk için  $IN=1$ ,  $TN=4$ ,  $|1-4|=3$ , 2 numaralı Şekil-1b'deki, çerçevenin düğüm nokta numaraları arasındaki fark, 1 numaralı çubuk için  $IN=1$ ,  $TN=4$ ,  $|1-4|=3$ , 2 numaralı çubuk için  $IN=4$ ,  $TN=3$ ,  $|4-3|=1$ , 3 numaralı çubuk için  $IN=2$ ,  $TN=3$ ,  $|2-3|=1$  olup, tüm çubuklar dikkate alındığında çubuk uç numaraları arasındaki en büyük fark 3'dir. Çizelge-2'ye göre, Şekil-1b'deki düzlem çerçevenin yarı band genişliği,  $(3+1)*3=12$  olacaktır.



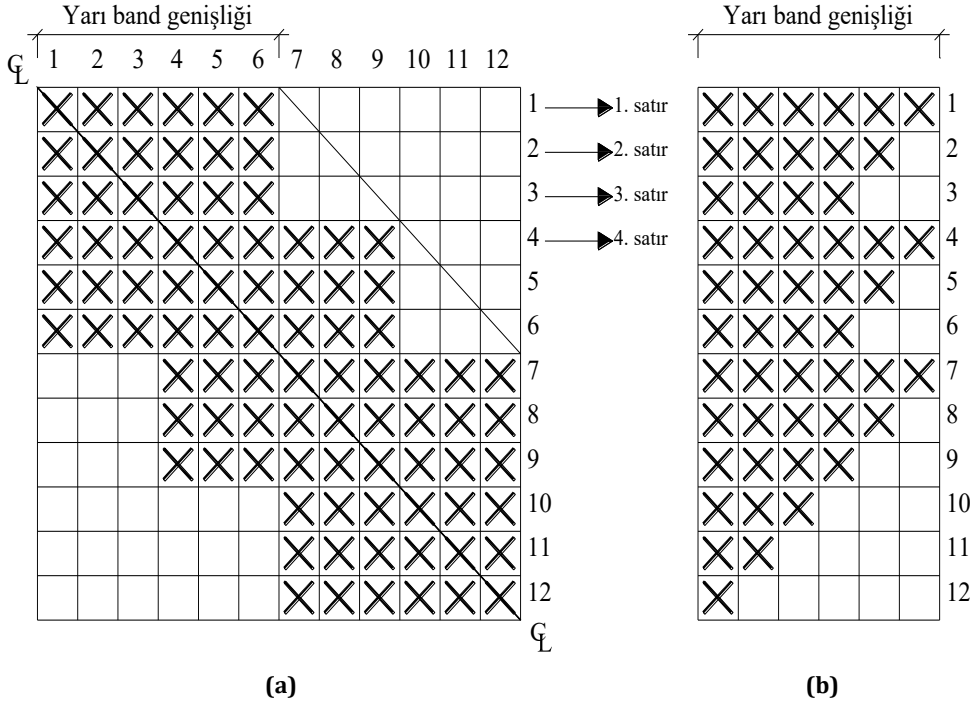
**Şekil 1(a)** Düğüm noktalarının düğüm numaraları birbirine yakın çerçeve; **(b)** Düğüm noktalarının düğüm numaraları birbirinde uzak çerçeve

**Figure 1(a)** Frame with node numbers close to each other; **(b)** The node numbers of the nodes are distant frames from each other.

Düğüm noktalarının düğüm nokta numaraları birbirine yakın olan Şekil-1a'daki çerçevenin yarı band genişliği 6; düğüm nokta numaraları birbirinden uzak olan Şekil-1b'deki çerçevenin yarı band genişliği ise 12 olmaktadır. Her iki düzlem çerçevenin uzunluğu ise 4 düğüm noktası\*3 serbestlik derecesi =12 olacaktır. Şekil-1a'daki çerçevenin sistem global rijitlik matrisinin terimlerinin yerleri ile yarı band genişlikli global rijitlik matrisinin terimlerinin yerleri sırasıyla Şekil-2a ve Şekil-2b'de, Şekil-1a'daki çerçevenin sistem global rijitlik matrisinin terimlerinin yerleri ile yarı band genişlikli global rijitlik matrisinin terimlerinin yerleri ise sırasıyla Şekil-3a ve Şekil-3b'de sunulmuştur [1].

Tek katlı, tek açıklıklı düzlem çerçevenin Şekil-1a'da görüldüğü gibi, düğüm nokta numaralarının birbirine yakın olarak

belirlenmesi halinde yarı band genişliği 6 iken, Şekil-1b'deki düğüm nokta numaraları birbirinden uzak belirlenen aynı çerçevenin yarı band genişliği ise 12 olacaktır. Bu durum 3 boyutlu ve düğüm nokta numaraları arasındaki en büyük fark değeri arttıkça paket programdaki yapısal analiz süresini artıracak açıktır. Bazı paket programlar ise, tasarımcı tarafından taşıyıcı sistemin hesap modelinde düğüm nokta numaralarını en küçük kılacak şekilde düzenleme yapılması bile, paket program algoritması, düğüm nokta numaraları arasındaki farkı en küçük kılacak şekilde yeniden numaralandırma yapmakta, hesaplama çıktılarını ise, tasarımcının belirlediği düğüm noktalarına uygun olacak şekilde sunmaktadır [4].

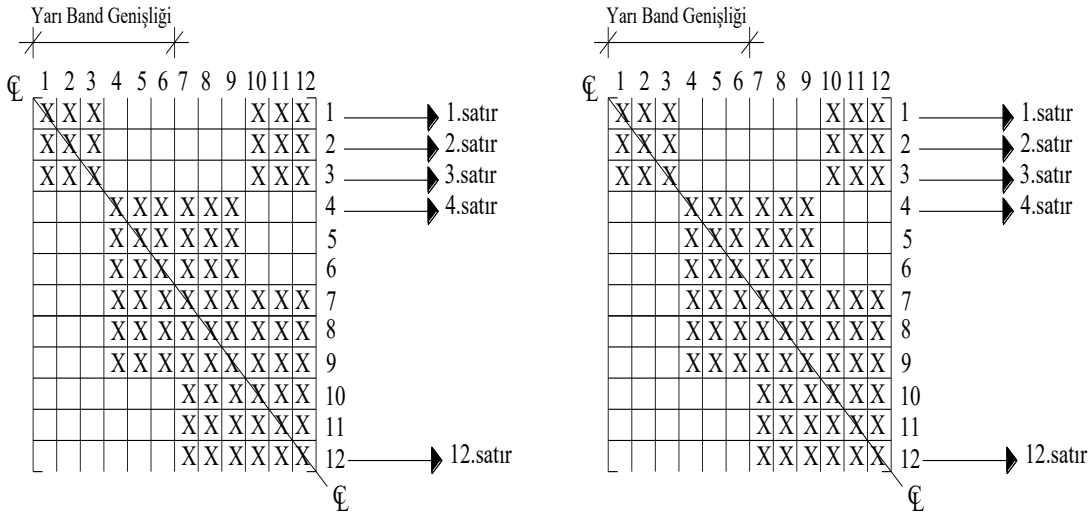


(a)

(b)

**Şekil 2(a)** Şekil 1(a)'da sunulan çerçevenin global rijitlik matrisi terimlerinin yerleri; **(b)** Şekil-1a'da sunulan çerçevenin yarı band genişlikli global rijitlik matrisinin terimlerinin yerleri

**Figure 2(a)** Locations of the terms of the global stiffness matrix of the frame presented in Figure 1(a); **(b)** Locations of the terms of the half-bandwidth global stiffness matrix the frame the presented in Figure 1(a).



(a)

(b)

**Şekil 3(a)** Şekil 1(b)'de sunulan çerçevenin global rijitlik matrisi terimlerinin yerleri; **(b)** Şekil 1(b)'de sunulan çerçevenin yarı band genişlikli global rijitlik matrisinin terimlerinin yerleri

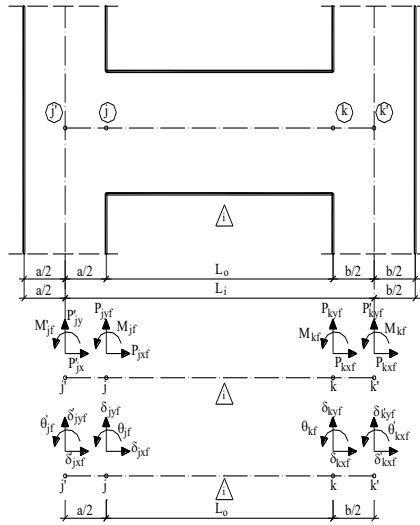
**Figure 3(a)** Locations of the terms of the global stiffness matrix of the frame presented in Figure 1(b); **(b)** Locations of the terms of the half-bandwidth global stiffness matrix the frame the presented in Figure 1(b).

### 3. Perdelerin Modellenmesi

Betonarme taşıyıcı yapılarda perdeler, özellikle sismik yükler altında yatay rijitliği artırarak, yapının yatay deplasmanını sınırlayan taşıyıcı elemanlardır. Perde elemanları, kolonlardan ayıran enkesit ayırtlarının oranı deprem yönetmeliğinde tanımlanmıştır. Perdelerle bağlı olan kirişler, perde eksenlerine kadar rijit perde bölgesi içerisinde kaldığından, bu kısımdaki kirişin, çubuk analogisine uygun hesap algoritmasına sahip olan paket programlarda uygun bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu tür hesap algoritmasına sahip paket programlarda, perdelerle bağlanan kirişler, eşdeğer çerçeve veya geniş kolonlu çerçeve olarak tanımlanmalıdır.

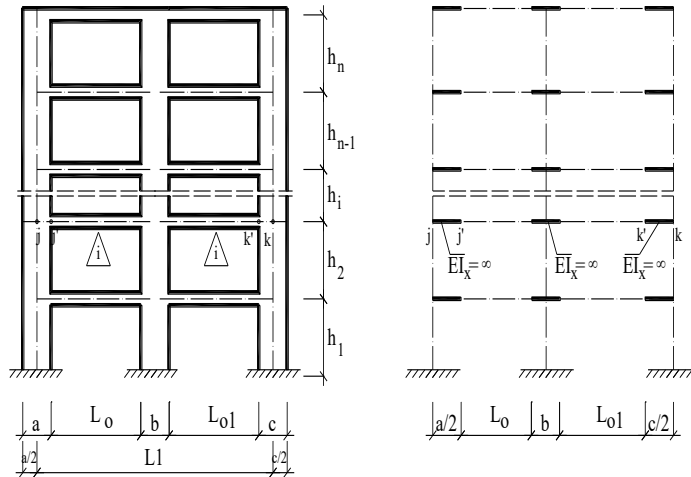
Perdelere bağlı olan kirişlerin eşdeğer çerçeve olarak tanımlanmasında, perde kenarından perde eksenine kadar olan kısımda kalan kiriş parçaları Şekil-4'de görüldüğü gibi (j') - (j) numaralı ve (k) -(k') numaralı kiriş parçaları olarak tanımlanmalıdır. Kirişin (j')-(j) ve (k)-(k') parçalarının uçlarında oluşan deplasmanlar ve iç tesirler Şekil-4'de sunulmuştur [1].

Perdelere bağlı olan kirişlerin geniş kolonlu çerçeve olarak tanımlanmasında ise perde kenarından perde eksenine kadar olan kısımda kalan kiriş parçaları Şekil-5'de görüldüğü gibi (j') - (j) numaralı ve (k) -(k') numaralı sonsuz rijit kiriş parçaları olarak tanımlanmalıdır [1].



Şekil 4. Perdeye bağlı kirişlerin eşdeğer

Figure 4. Equivalent frame model of beams connected to shear-wall.



Şekil 5. Perdeye bağlı kirişlerin geniş kolonlu çerçeve modeli.

Figure 5. Wide column frame model of beams connected to shear wall.

### 4. Sonuçlar

Paket program kullanılarak, yapısal analiz gerçekleştirilmesi, tasarımcıya kısa sürede, farklı hesap modelleri ile optimum

çözümlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Taşıyıcı sistemlerin hesap modellerinin dış yükler altında, yapısal davranışını gerçeğe yakın olarak tanımlanması, elde edilen çıktıların doğruluğu üzerinde etkilidir.

### **Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı**

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır

### **Yazar katkılarının beyanı**

Bir numaralı, sorumlu yazarın çalışmaya sağladığı katkı oranı %70'dir. Bir numaralı yazar, makalenin konusunu oluşturma, değerlendirmeler, şekil ve grafiklerin oluşturulması konularında katkı koymuştur. İki numaralı yazarın çalışmaya sağladığı katkı oranı %30'dur. İki numaralı yazar, makalenin formatına uygun olarak yazılmasına ve çalışmanın değerlendirilmesi kısımlarına katkı gerçekleştirmiştir.

### **Kaynaklar**

- [1] Çatal, H.H. 2022. Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Matris Yöntemler, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No: 294, 4. Baskı, İzmir,434s.
- [2] Çatal, H.H. 2019. Yapı Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı", 2 nd International Instructional Technologies in Engineering Education Conference, Ege Üniversitesi, 29 Mart 2019, İzmir.
- [3] Çakıroğlu,A., Özden E., Özmen ,G. 1992. Yapı sistemlerinin Hesabı İçin Matris metotları ve elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İstanbul Teknik üniversitesi Matbaası, İstanbul, 408s.
- [4] Sap2000, Structural Analysis Program; www.csiberkeley.com.