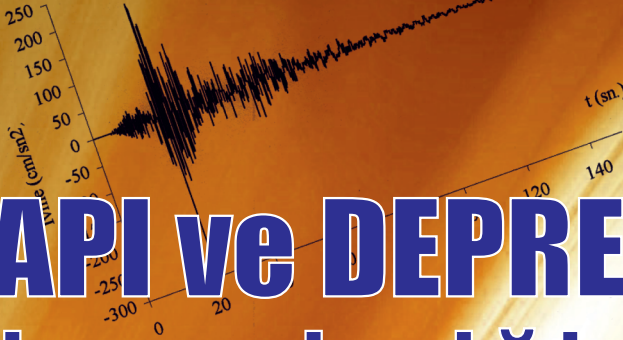




DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ YAYINLARI NO:294



YAPI ve DEPREM MÜHENDİSLİĞİNDE MATRİS YÖNTEMLER

(III. Baskı)

$$\left[K_f^t \right] = \begin{bmatrix} \frac{4EI_x}{L_i} & \frac{2EI_x}{L_i} & 0 \\ \frac{2EI_x}{L_i} & \frac{4EI_x}{L_i} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{AE}{L_i} \end{bmatrix} \quad [[K] - w^2[M]]\{a\} = \{0\}$$

Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL

İZMİR 2014

BİRİNCİ BASKI İÇİN ÖNSÖZ

Yapı mühendisliğinde, çubuk sistemlerden oluşan taşıyıcı sistemlerin kesit tesirlerinin ve deplasmanlarının hesabında kullanılan pek çok paket program algoritması matris yöntemler üzerine kurulmuştur. Özellikle kişisel bilgisayar kullanımının artması bu yöntemi yaygın hale getirmiştir. Öte yandan ülkemizin büyük bir bölümünün aktif deprem kuşağı altında olması, yapıların depreme dayanıklı projelendirilmesini ve uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Kitapta bu amaçlara uygun olarak yapı ve deprem mühendisliğinde matris yöntemlerin uygulanması anlatılmaktadır.

Kitabın 1. bölümünde, taşıyıcı sistemi çubuklardan oluşan düzlemsel kafes, düzlemsel kiriş, düzlemsel çerçeve, uzaysal kafes ve uzaysal çerçeveler yarı-rijit bağlantılı düzlemsel çerçeve, uzaysal kafes ve uzaysal çerçevelerin kesit tesirlerinin ve deplasmanlarının matris-deplasman yöntemi kullanılarak hesaplanması anlatılmıştır.

Kitabın 2. bölümünde , izostatik ve hiperstatik düzlem kafes sistemlerin çubuk kuvvetlerinin ve deplasmanlarının matris-kuvvet yöntemi kullanılarak hesaplanması anlatılmıştır.

Kitabın 3. bölümünde , elastik birleşimli düzlemsel çerçevelerin; 4. bölümünde, düzlemsel perde-çerçeve taşıyıcı sistemlerin kesit tesirlerinin ve deplasmanlarının matris-deplasman yöntemi kullanılarak hesaplanması anlatılmıştır.

Kitabın 5. bölümünde , matris-deplasman yönteminin hesap algoritması verilmiştir.

Kitabın 6. bölümünde , kesme tipi çok serbestlik dereceli çerçevelerin; 7. bölümünde ise elastik düzlem taşıyıcı çok serbestlik dereceli çerçevelerin matris dinamik hesabı anlatılmıştır.

Kitapta her konu sonunda sayısal bir uygulama verilerek, konunun pekiştirilmesi amaçlanmıştır.

Kitap metninin bilgisayarda hazırlanması sırasında emeği geçen İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim dalı Araştırma Görevlileri İnş.Yük.Müh. Oktay Demirdağ, İnş.Yük.Müh. Mert Y. Yardımcı ve İnş.Yük.Müh. Nuriye Y. Kıvılcım'a; kitaptaki çizimlerin bilgisayar ortamında çizilmesinde emeği geçen Yavuz Selim Çetin'e; kitabın basımında emeği geçen Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Matbaası çalışanlarına, manevi desteği için eşim Seval Çatal'a teşekkür eder, kitabın inşaat mühendisliği öğrencilerine ve meslektaşlarıma yararlı olmasını dilerim 2002.

İKİNCİ BASKI İÇİN ÖNSÖZ

Paket bilgisayar programları, yapıların projelendirilmesi aşamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çubuk taşıyıcı sistemlerin, çubuk uç kuvvet ve deplasmanlarının matris-deplasman yöntemi kullanılarak hesaplanmasında, sistemin hiperstatik yada izostatik olması, çözüm yöntemini değiştirmedığı için pek çok yapısal paket programının hesap algoritması, matris-deplasman yöntemi üzerine kurulmuştur.

Paket programlarda verilerin doğru girilmesi, hesap modelinin doğru kurulması, çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi, sağlıklı projelendirme için zorunludur.

Kitapta, statik ve dinamik yükler altındaki, çubuklardan oluşan yapı sistemlerinin, çubuk uç kuvvetlerinin ve deplasmanlarının matris-deplasman yöntemi kullanılarak hesaplanması, sistemlerin modellenmesi anlatılmakta, konuların sonunda çözümlü sayısal uygulamalara yer verilmektedir.

İkinci baskıda yazım hatalarının düzeltilmesinde emeği geçen İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim dalı Araştırma Görevlileri İnş.Yük.Müh. Oktay Demirdağ, İnş.Yük.Müh. Yusuf Yeşilce ve İnş.Yük.Müh. Nuriye Y. Kıvılcım'a; kitaptaki çizimlerin bilgisayar ortamında çizilmesinde emeği geçen Yavuz Selim Çetin'e; kitabın basımında emeği geçen Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Matbaası çalışanlarına, manevi desteği için eşim Seval Çatal'a teşekkür ederim 15.6.2005.

ÜÇÜNCÜ BASKI İÇİN ÖNSÖZ

Yapı Mühendisliğinde yaygın olarak, yapıların tasarım aşamasında, taşıyıcı sistemin matematiksel hesap modelinin kurulmakta, hesap modeli paket bilgisayar programlara tanıtılmak suretiyle statik yükler yada dinamik etkiler altında çubuk uç kuvvetleri ve deplasmanları hesaplanabilmektedir. Taşıyıcı sistemin Paket programlara doğru tanımlanması, matematiksel hesap modelinin yapısal davranışa uygun olarak teşkil edilmesi, elde edilecek sonuçların güvenilirliği için önem taşımaktadır.

Çubuklardan oluşan yapı sistemlerinin matematik hesap modellerinin kurulması ve matris yöntemler kullanılarak çubuk uç kuvvet ve deplasmanlarının hesaplanmasının anlatıldığı bu kitapta, konuların pekişmesini sağlamak amacıyla her konunun sonunda çözümlü sayısal uygulamalara yer verilmiştir.

Üçüncü baskıda bazı yazım hataları düzeltilmiş olup, kitabın basımında emeği geçen Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Matbaası çalışanlarına, şekil düzenlemesi için teknik ressam Mustafa Periz'e, manevi desteği için eşim Seval Çatal'a teşekkür ederim 20.6.2014.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
1. MATRİS-DEPLASMAN YÖNTEMİ	1
1.1. Düzlem Kafes Sistemlerin Matris-Deplasman Yöntemi İle Çözümü	1
1.1.1. Düzlem Kafes Elemanın Temel Kuvvet ve Temel Deplasmanı	2
1.1.2. Düzlem Kafes Elemanın Lokal Kuvvet ve Lokal Deplasmanları	2
1.1.3. Düzlem Kafes Elemanın Global Kuvvet ve Global Deplasmanları	3
1.1.4. Temel Kuvvetler İle Lokal Kuvvetler Arasındaki İlişki	4
1.1.5. Temel Deplasmanlar İle Lokal Deplasmanlar Arasındaki İlişki	4
1.1.6. Lokal Kuvvetler İle Global Kuvvetler ve Lokal Deplasmanlar İle Global Deplasmanlar Arasındaki İlişki	4
1.1.7. Global Kuvvetler İle Temel Kuvvetler Arasındaki İlişki	5
1.1.8. Düzlem Kafes Elemanın Global Rijitlik Matrisi	6
1.1.9. Düzlem Kafes Sistemin Global Rijitlik Matrisi	8
1.1.10. Düğüm Noktalarının Global Deplasmanlarının Hesabı	11
1.1.11. Global, Lokal Eleman Uç Kuvvetleri ve Temel Kuvvetlerinin Hesabı	11
1.1.12. Sayısal Uygulama	12
1.2. Uzaysal Kafes Sistemlerin Matris-Deplasman Yöntemi İle Çözümü	20
1.2.1. Uzaysal Kafes Elemanın Temel Kuvvet ve Temel Deplasmanı	20
1.2.2. Uzaysal Kafes Elemanın Lokal Kuvvet ve Lokal Deplasmanları	20
1.2.3. Uzaysal Kafes Elemanın Global Kuvvet ve Global Deplasmanları	21
1.2.4. Temel Kuvvetler İle Lokal Kuvvetler Arasındaki İlişki	22
1.2.5. Temel Deplasmanlar İle Lokal Deplasmanlar Arasındaki İlişki	22
1.2.6. Lokal Kuvvetler İle Global Kuvvetler ve Lokal Deplasmanlar İle Global Deplasmanlar Arasındaki İlişki	23
1.2.7. Global Kuvvetler İle Temel Kuvvetler Arasındaki İlişki	24

1.2.8.	Uzaysal Kafes Elemanın Global Rijitlik Matrisi	24
1.2.9.	Uzaysal Kafes Sistemin Global Rijitlik Matrisi	26
1.2.10.	Düğüm Noktalarının Global Deplasmanlarının Hesabı	26
1.2.11.	Sayısal Uygulama	27
1.3.	Kirişlerin Matris-Deplasman Yöntemi İle Çözümü	36
1.3.1.	Kiriş Elemanın Temel Kuvvet ve Temel Deplasmanları	36
1.3.2.	Kiriş Elemanın Global Kuvvet ve Global Deplasmanları	36
1.3.3.	Kiriş Elemanın Temel Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi	37
1.3.4.	Global Kuvvetler İle Temel Kuvvetler Arasındaki İlişki	39
1.3.5.	Global Deplasmanlar İle Temel Deplasmanlar Arasındaki İlişki	39
1.3.6.	Global Kuvvetler İle Global Deplasmanlar Arasındaki İlişki	40
1.3.7.	Kiriş Sistemin Global Rijitlik Matrisi	41
1.3.8.	Düğüm Noktalarının Global Deplasmanlarının Hesabı	41
1.3.9.	Sayısal Uygulama	42
1.4.	Düzlem Çerçeve Sistemlerin Matris-Deplasman Yöntemi İle Çözümü	49
1.4.1.	Düzlem Çerçeve Elemanın Temel Kuvvetleri ve Temel Deplasmanları	49
1.4.2.	Düzlem Çerçeve Elemanın Lokal Kuvvet ve Lokal Deplasmanları	50
1.4.3.	Düzlem Çerçeve Elemanın Global Kuvvet ve Global Deplasmanları	51
1.4.4.	Temel Kuvvetler İle Lokal Kuvvetler Arasındaki İlişki	52
1.4.5.	Temel Deplasmanlar İle Lokal Deplasmanlar arasındaki İlişki	52
1.4.6.	Lokal Kuvvetler İle Global Kuvvetler ve Lokal Deplasmanlar İle Global Deplasmanlar Arasındaki İlişki	53
1.4.7.	Global Kuvvetler İle Temel Kuvvetler Arasındaki İlişki	54
1.4.8.	Düzlem Çerçeve Elemanın Global Rijitlik Matrisi	54
1.4.9.	Düzlem Çerçeve Sistemin Global Rijitlik Matrisi	59
1.4.10.	Düğüm Noktalarının Global Deplasmanlarının Hesabı	59
1.4.11.	Sayısal Uygulama	60
1.5.	Uzaysal Çerçevelerin Matris-Deplasman Yöntemi İle Çözümü	68
1.5.1.	Uzaysal Çerçeve Elemanın Temel Kuvvetleri ve Temel Deplasmanları	68
1.5.2.	Uzaysal Çerçeve Elemanın Lokal Kuvvetleri ve Lokal Deplasmanları	69
1.5.3.	Uzaysal Çerçeve Elemanın Global Kuvvetleri ve Global Deplasmanları	70

1.5.4.	Temel Kuvvetler İle Lokal Kuvvetler Arasındaki İlişki	71
1.5.5.	Temel Deplasmanlar İle Lokal Deplasmanlar arasındaki İlişki	72
1.5.6.	Lokal Kuvvetler İle Global Kuvvetler ve Lokal Deplasmanlar İle Global Deplasmanlar Arasındaki İlişki	73
1.5.7.	Global Kuvvetler İle Temel Kuvvetler Arasındaki İlişki	77
1.5.8.	Uzaysal Çerçeve Elemanın Global Rijitlik Matrisi	78
1.5.9.	Uzaysal Çerçeve Sistemin Global Rijitlik Matrisi	87
1.5.10.	Düğüm Noktalarının Global Deplasmanlarının Hesabı	87
1.5.11.	Sayısal Uygulama	88
2.	MATRİS-KUVVET YÖNTEMİ	104
2.1.	İzostatik Kafes Sistemlerin Statik Yöntem İle Çözümü	104
2.1.1.	Sayısal Uygulama	106
2.2.	İzostatik Kafes Sistemlerin Matris-Kuvvet Yöntemi İle Çözümü	110
2.2.1.	Sayısal Uygulama	113
2.3.	Hiperstatik Kafes Sistemlerin Matris-Kuvvet Yöntemi İle Çözümü	115
2.3.1.	Hiperstatik Kafes Sistemin Global Fleksibilite Matrisi	118
2.3.2.	Hiperstatik Kafes Elemanlarının Temel Kuvvetlerinin Hesabı	118
2.3.3.	Sayısal Uygulama	119
3.	ELASTİK BİRLEŞİMLİ DÜZLEM ÇERÇEVELER	126
3.1.	Elastik Birleşimli Düzlem Çerçeve Elemanın Global Doğrultulardaki Uç Kuvvetleri	127
3.2.	Elastik Birleşimli Düzlem Çerçeve Elemanın Global Doğrultulardaki Rijitlik Matrisi	130
3.3.	Elastik Birleşimli Düzlem Çerçeve Elemanın Global Doğrultulardaki Yükleme Vektörü	132
3.4.	Elastik Birleşimli Düzlem Çerçevenin Düğüm Noktalarının Global Doğrultulardaki Deplasmanlarının Hesabı	132
3.5.	Elastik Birleşimli Düzlem Çerçeve Elemanlarının Global Doğrultulardaki Uç Kuvvetlerinin Hesabı	133
3.5.1.	Sayısal Uygulama	134
3.7.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçevesi	147
3.7.1.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçevesinin Matris-Deplasman Yöntemi İle Çubuk Uç Kuvvet ve Deplasmanlarının Hesabı	147

3.7.2.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçeve Elemanın Temel Kuvvet ve Deplasmanları	148
3.7.3.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçeve Elemanın Temel Rijitlik Matrisi	149
3.7.3.1.	Her İki Ucu Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçeve Elemanın Rijitlik Matrisi	149
3.7.3.2.	Bir Ucu Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçeve Elemanın Temel Rijitlik Matrisi	151
3.7.4.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçeve Elemanın Global Rijitlik Matrisi	152
3.7.4.1.	Her İki Ucu Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçeve Elemanın Global Rijitlik Matrisi	152
3.7.4.2.	Bir Ucu Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçeve Elemanın Global Rijitlik Matrisi	154
3.7.5.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçeve Eleman Uç Deplasmanlarının Hesabı	155
3.7.6.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçeve Elemanlarda Yükleme Vektörü	156
3.7.6.1.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Elemanın Üzerinde Dikdörtgen Yayılı Yük Bulunması Halinde Ankastrelik Uç Momentleri	157
3.7.6.2.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Elemanın Üzerinde Tekil Yük Bulunması Halinde Ankastrelik Uç Momentleri	160
3.7.7.	Dönmeye Karşı Yarı-Rijit Bağlantılı Düzlem Çerçevelerin Uç Kuvvetlerinin Hesabı	162
3.7.8.	Sayısal Uygulama	163
4.	PERDELİ ÇERÇEVELERİN MATRİS YÖNTEMLERİNE ANALİZİ	185
4.1.	Eşdeğer Çerçeve Analjisi	185
4.1.1.	Perdeye Bağlı Çerçeve Elemanın Her İki Ucunda Perde Olması Halinde, Perdeye Bağlı Elemanın Global Rijitlik Matrisi	186
4.1.2.	Perdeye Bağlı Çerçeve Elemanın Bir Ucunda Perde Olması Halinde, Perdeye Bağlı Elemanın Global Rijitlik Matrisi	192
4.1.3.	Perdeli Çerçevelerin Düğüm Noktalarının Global Doğrultulardaki Deplasmanlarının Hesabı	193
4.1.4.	Perdeli Çerçevelerin Elemanlarının Uç Deplasmanlarının ve Uç Kuvvetlerinin Hesabı	193
4.1.5.	Perdeli Çerçeve Elemanlarda Yükleme Vektörü	194

4.1.5.1.	Perdeye Bağlı Çerçeve Elemanın Her İki Ucunda Perde Olması Halinde, Çerçeve Elemanın Yükleme Vektörü	195
4.1.5.2.	Perdeye Bağlı Çerçeve Elemanın Bir Ucunda Perde Olması Halinde, Çerçeve Elemanın Yükleme Vektörü	197
4.2.	Geniş Kolonlu Çerçeve Analogisi	198
4.3.	Sayısal Uygulama	199
5.	MATRİS-DEPLASMAN YÖNTEMİ İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI ALGORİTMASI	219
5.1.	Global Doğrultulardaki Sistem Rijitlik Matrisinin Band Matrise Dönüştürülmesi	219
5.2.	Matris-Deplasman Yöntemi İçin Bilgisayar Algoritması	226
6.	KESME TİPİ ELASTİK DÜZLEM ÇERÇEVELERİN DİNAMİK ANALİZİ	229
6.1.	Tek Serbestlik Dereceli Elastik Çerçevelerin Hareket Denklemi	231
6.1.1.	Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçevelerin Kolon Yatay Rijitliğinin Hesabı	233
6.1.2.	Tek Serbestlik Dereceli Elastik Çerçevelerin Hareket Denklemine Çözümü	238
6.1.2.1.	Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sisteme Ani Serbest Kuvvetin Etkimesi Durumu	240
6.1.2.2.	Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sisteme Ani Üçgen Kuvvetin Etkimesi Durumu	241
6.1.2.3.	Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sisteme Ani Dikdörtgen Kuvvetin Etkimesi Durumu	242
6.2.	Çok Serbestlik Dereceli Elastik Çerçevelerin Hareket Denklemi	243
6.2.1.	Çok Serbestlik Dereceli Elastik Çerçevelerin Sönümsüz Serbest Titreşiminin Hareket Denklemine Çözümü	249
6.2.1.1.	Sayısal Uygulama	251
6.2.2.	Çok Serbestlik Dereceli Elastik Çerçevelerin Sönümsüz Zorlanmış Hareket Denklemine Çözümü	256
6.2.2.1.	Modların Birleştirilmesi Yöntemi	257
6.2.2.2.	Sayısal Uygulama	266
6.2.3.	Çok Serbestlik Dereceli Elastik Çerçevelerin Sönümlü Zorlanmış Hareket Denklemine Çözümü	287
6.2.4.	Güçlü Yer İvmeleri Etkisindeki Yapıların Tepki Spektrumlarının Modların Birleştirilmesi Yönteminde Kullanılması	292

6.2.4.1.	Sayısal Uygulama	295
7.	ELASTİK DÜZLEM TAŞIYICI SİSTEMLERİN DİNAMİK ANALİZİ	302
7.1.	Kiriş Elemanın Uç Birim Deplasmanlarına Göre Elastik Eğri Denklemi	302
7.1.2.	Kiriş Elemanın Çubuk Uçlarındaki Birim İvmeler Nedeni İle Oluşan Eylemsizlik Kuvvetleri	307
7.1.3.	Kiriş Taşıyıcı Sistemin Titreşim Hareketi Denklemi	320
7.1.3.1.	Kiriş Sistemin İndirgenmiş Hareket Denklemi	329
7.1.3.1.1.	Sistem Rijitlik Matrisinin İndirgenmesi	330
7.1.3.1.2.	Sistem Kütle Matrisinin İndirgenmesi	333
7.1.3.1.3.	Sistem Sönüm Matrisinin İndirgenmesi	334
7.1.3.2.	İndirgenmiş Hareket Denkleminin Ayrık Hareket Denklemlerine Dönüştürülmesi	334
7.1.3.3.	Sayısal Uygulama	335
7.2.	Düzlem Kafes Elemanın Uçlarındaki Lokal Doğrultulardaki Birim Deplasmanlar Nedeni İle Oluşan Yerdeğiştirme Fonksiyonu	347
7.2.1.	Kafes Elemanın Çubuk Uçlarındaki Birim İvmeler Nedeni İle Oluşan Lokal Doğrultulardaki Eylemsizlik Kuvvetleri	350
7.2.2.	Kafes Elemanın Global Doğrultulardaki Kütle Tesir Katsayıları Matrisi	354
7.2.3.	Kafes Taşıyıcı Sistemin Titreşim Hareketi Denklemi	356
7.2.3.1.	Kafes Taşıyıcı Sistemin İndirgenmiş Titreşim Hareketi Denklemi	357
7.2.4.	Sayısal Uygulama	363
7.3.	Düzlem Çerçeve Elemanın Uçlarındaki Birim İvmeler Nedeni İle Oluşan Lokal Doğrultulardaki Eylemsizlik Kuvvetleri	375
7.3.1.	Düzlem Çerçeve Elemanın Global Doğrultulardaki Kütle Tesir Katsayıları Matrisi	378
7.3.2.	Düzlem Çerçeve Sistemin Titreşim Hareketi Denklemi	379
7.3.2.1.	Düzlem Çerçeve Sistemin İndirgenmiş Titreşim Hareketi Denklemi	380
7.3.3.	Sayısal Uygulama	386
I.	SEMBOL LİSTESİ	402
II.	FAYDALANILAN KAYNAKLAR	422
III.	EK-1:17 Ağustos 1999 İzmit Depremi İvme Değerleri	425