

FOR REFERENCE

NOT TO BE TAKEN FROM THIS ROOM

**ZEMİN - YAPI İLİŞKİLERİNİN
PARAMETRİK İNCELENMESİ**

Dr. Selçuk M. Erden
Boğaziçi Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bogazici University Library



39001100543795

14

Doçentlik Tezi
Eylül 1978

ÖZET

ZEMİN-YAPI İLİSKİLERİNİN PARAMETRİK İNCELENMESİ

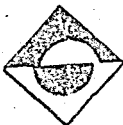
Zeminden gelen deprem titreşimleri veya üstyapıdan gelen zorlanmış titreşimler dinamik yapı davranışına neden olan iki ana enerji kaynağıdır. Her iki durumda da yapıların tepkileri sistemi oluşturan tüm unsurların özelliklerine dayanmaktadır. Bu çalışmada deprem titreşimleri altında zemin-temel-yapı sisteminin davranışı ele alınmıştır.

Genel bir zemin temel-yapı sisteminin davranışını dört gurup parametre etkilemektedir. Bunlar yapı, temel, zemin ve deprem dalgası ile ilgili parametrelerdir. Çalışmada, yapı ile ilgili olarak yapı doğal periyodu, temel ile ilgili olarak temel boyutları, kütlesi ve derinliği, zemin ile ilgili olarak çeşitli zemin türleri, deprem ile ilgili olarak ise doğal titreşim periyodu ve süresi incelenmiştir. Analiz yöntemi olarak sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır.

Kullanılan her bir parametre ile ilgili olarak tipik değerler seçilmiş ve bu parametrelerin zemin-temel-yapı davranışı üzerindeki teker teker veya guruplar hâlindeki etkileri sistematik olarak ele alınmıştır. Zemin türü ve deprem dalgası ile ilgili olarak kullanılan parametreler bütün analizlere dahil edilmiştir. Böylece, ayrı ayrı ele alınan zemin-temel ve zemin-temel-yapı davranışlarının, değişik parametrelerin etkileri altında gösterdiği eğilimler tespit edilmiştir.

Çalışmanın diğer bir yönü analiz boyutlarıyla ilgili olmuş ve belirli parametrelerin etkileri gerek 2-boyutlu gerekse 3-boyutlu olarak incelenmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Analizler yer değiştirme miktarlarının hesaplanması şeklinde yapılmış ve sonuçlar bu yönden tanımlanmıştır. Ayrıca çeşitli oranlar kullanılarak parametrik etkiler boyutsuz olarak belirtilmiştir. Sonuçlar pratikte kullanılabilecek şekiller hâlinde verilmiştir.



İÇİNDEKİLER

	sahife
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	xi
SEMBOLLER LİSTESİ	xiii
BÖLÜM I: GİRİŞ	1
1.1. GENEL	1
1.2. DEPREM TİTREŞİMLERİ ALTINDA ZEMİN-YAPI İLİŞKİLERİ	2
A. Mevcut Araştırmalar	5
B. Depremsel Zararları Parametrik Olarak İnceleyen Araştırmalar	5
C. Zemin-Yapı İlişkilerini Parametrik Olarak İnceleyen Araştırmalar	9
1.3. ZORLANMIŞ TİTREŞİMLER ALTINDA ZEMİN-TEMEL İLİŞKİLERİ	14
A. Mevcut Araştırmalar	16
B. Teorik Çalışmalar: Yüzeysel Temelleri İçeren Zemin-Temel Sistemleri	17
C. Teorik Çalışmalar: Gömülü Temelleri İçeren Zemin-Temel Sistemleri	21
D. Deneysel Araştırmalar: Yüzeysel Temelleri İçeren Zemin-Temel Sistemleri	26
E. Deneysel Araştırmalar: Gömülü Temelleri İçeren Zemin-Temel Sistemleri	32
1.4. SONUÇ	

BÖLÜM	2:	AMAC VE KAPSAM	38
	2.1	AMAÇ	38
	2.2	SONLU ELEMANLAR METODU	39
	2.3	DİNAMİK ANALİZ	41
	2.4	İNCELENEN PARAMETRELER	47
		A. Deprem Dalgası ile İlgili Parametreler	48
		B. Zemin ile İlgili Parametreler	49
		C. Temel ile İlgili Parametreler	54
		D. Yapı ile İlgili Parametreler	56
	2.5	ÖZET	57
BÖLÜM	3:	KULLANILAN MATEMATİKSEL MODELLER	58
	3.1	GENEL	58
	3.2	YÜZEYSEL TEMELLİ ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİ İÇİN İKİ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI	59
	3.3	GÖMÜLÜ TEMELLİ ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİ İÇİN İKİ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI	62
	3.4	YAPIYI İÇEREN SİSTEMLER İÇİN KULLANILAN İKİ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI	65
	3.5	ÜÇ BOYUTLU SİSTEMLER İÇİN KULLANILAN SONLU ELEMANLAR AĞI	69
	3.6	ANALİZLERDE TAKİP EDİLEN YOL	72
BÖLÜM	4:	TEMEL BOYUTLARININ DAVRANIŞA ETKİSİ	80
	4.1	GENEL	80
	4.2	YER DEĞİŞTİRME MİKTARLARI	81
		A. Zemin-Temel Sistemleri	81
		B. Rijid Tabanlı Temeller	86
	4.3	YER DEĞİŞTİRME ORANLARI	91
	4.4	PERYOD ORANI ETKİLERİ	95
	4.5	SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ	100
	4.6	SONUÇLAR	105

BÖLÜM	5:	TEMEL BOYUTLARI ETKİSİNİN ÜÇ BOYUTLU ANALİZLE İNCELENMESİ	108
	5.1	GENEL	108
	5.2	YER DEĞİŞTİRMELER	110
		A. Zemin-Temel Sistemleri	110
		B. Rijid Tabanlı Temeller	112
	5.3	YER DEĞİŞTİRME ORANLARI	114
	5.4	PERYOD ORANI ETKİLERİ	116
	5.5	SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ	120
	5.6	SONUÇLAR	125
BÖLÜM	6:	TEMEL KÜTLESİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ	128
	6.1	GENEL	128
	6.2	YER DEĞİŞTİRME MİKTARLARI	131
		A. Kütle Oranı, $B_z = 0.5$	131
		B. Kütle Oranı, $B_z = 1.0$	135
		C. Kütle Oranı, $B_z = 1.5$	138
	6.3	SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ	141
	6.4	SONUÇLAR	147
BÖLÜM	7:	TEMEL DERİNLİĞİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ	149
	7.1	GENEL	149
	7.2	YER DEĞİŞTİRME MİKTARLARI	152
		A. Kütle Oranı, $B_z = 1.0$	152
		B. Kütle Oranı, $B_z = 1.5$	156
	7.3	SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ	159
	7.4	SİSTEM YER DEĞİŞTİRME ORANI ETKİSİ	160
	7.5	SONUÇLAR	168

BÖLÜM	8:	YAPI DOĞAL TİTREŞİM PERİYODUNUN DAVRANIŞA ETKİSİ	....	171
	8.1	GENEL	.....	171
	8.2	YAPI ÜST DÜĞÜMLERİ YER DEĞİŞTİRME MİKTARLARI	..	172
		A. Yatay Yer Değişirme	.....	172
		B. Düşey Yer Değişirme	.....	177
	8.3	YAPI ALT DÜĞÜMLERİ YER DEĞİŞTİRME MİKTARLARI	..	180
		A. Yatay Yer Değişirme	.....	180
		B. Düşey Yer Değişirme	.....	183
	8.4	SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ	.....	187
		A. Yapı Üst Düğümleri	.....	187
		B. Yapı Alt Düğümleri	.....	193
	8.5	RİJİD TABANLI SİSTEMLERLE KARŞILAŞTIRMA	.....	196
		A. Yapı Üst Düğümleri	.....	199
		B. Yapı Alt Düğümleri	.....	203
	8.6	SONUÇLAR	.....	206
BÖLÜM	9:	ÖZET VE SONUÇLAR	.....	210
	9.1	ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI	.....	210
	9.2	TEMEL BOYUTLARININ DAVRANIŞA ETKİSİ	.....	212
	9.3	TABAN BOYUTLARI ETKİSİNİN ÜÇ BOYUTLU ANALİZLE İNCELENMESİ	.....	214
	9.4	TEMEL KÜTLESİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ	.....	215
	9.5	TEMEL DERİNLİĞİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ	.....	217
	9.6	YAPI DOĞAL TİTREŞİM PERİYODUNUN DAVRANIŞA ETKİSİ	.....	219
	9.7	GENEL DEĞERLENDİRME	.....	221
REFERANSLAR			.....	223

EKLER	235
EK 1: SONLU ELEMANLAR RİJİDLİK MATRİSLERİ	236
EK 2: BİLGİSAYAR PROGRAMI DATA GİRİŞİ	244
EK 3: SONLU ELEMANLAR İÇİN KULLANILAN KAYMA VE ELASTİK MODÜL DEĞERLERİ	256
EK 4: ZEMİN BÜYÜTME KATSAYILARI	268
EK 5: KULLANILAN TEMELLERİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİ	270

SEKİLLER LİSTESİ

			sahife
ŞEKİL	1.1	Deprem Titreşimleri Altında Zemin-Yapı İlişkilerini Etkileyen Parametreler	4
ŞEKİL	1.2	Zorlanmış Titreşimler Altında Zemin-Temel İlişkilerini Etkileyen Parametreler	15
ŞEKİL	2.1	Kullanılan Sonlu Eleman Türleri	42
ŞEKİL	2.2	Kullanılan Deprem Titreşimleri Türleri	50
ŞEKİL	2.3	Tipik bir " $\bar{\sigma}_0$ - derinlik" Eğrisi	52
ŞEKİL	3.1	Zemin için Kullanılan 2-Boyutlu Sonlu Elemanlar Ağı	60
ŞEKİL	3.2	Zemin-Temel Sistemi için Kullanılan Tipik bir 2-Boyutlu Sonlu Elemanlar Ağı (yüzeysel temelli sistemler)	61
ŞEKİL	3.3	Zemin-Temel Sistemindeki Eleman Özelliklerinin (Malzeme Türlerinin) Dağılımı (yüzeysel temelli sistemler)	63
ŞEKİL	3.4	Zemin-Temel Sistemi için Kullanılan Tipik bir 2-Boyutlu Sonlu Elemanlar Ağı (gömülü temelli sistemler)	64
ŞEKİL	3.5	Zemin-Temel Sistemindeki Eleman Özelliklerinin (Malzeme Türlerinin) Dağılımı (gömülü temelli sistemler)	66
ŞEKİL	3.6	Zemin-Temel-Yapı Sistemi için Kullanılan Tipik bir 2-Boyutlu Sonlu Elemanlar Ağı	67
ŞEKİL	3.7	Üç Boyutlu Analizlerde Kullanılan Tipik bir Sonlu Elemanlar Ağı	70
ŞEKİL	3.8	Üç Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerindeki Eleman Özelliklerinin (Malzeme Türlerinin) Dağılımı - Şekil 3.7'deki A-A kesitine göre	71

ŞEKİL	3.9	Çalışmada Takip Edilen Yol	75
ŞEKİL	4.1	Değişik Temel Taban Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Temel Üst Düğümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri	83
ŞEKİL	4.2	Değişik Temel Taban Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Temel Üst Düğümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri	84
ŞEKİL	4.3	Rijid Tabanlı Temellerde Üst Düğümlerin Yatay Yer Değiştirmeleri	88
ŞEKİL	4.4	Rijid Tabanlı Temellerde Üst Kenar Düğümlerin Düşey Yer Değiştirmeleri	89
ŞEKİL	4.5	Temel Taban Boyutlarının Zemin-Temel Sistemi Davranışına Etkileri - Yatay Yer Değiştirme	93
ŞEKİL	4.6	Temel Taban Boyutlarının Zemin-Temel Sistemi Davranışına Etkileri - Düşey Yer Değiştirme	94
ŞEKİL	4.7	Değişik Taban Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkileri - Yatay Yer Değiştirme	98
ŞEKİL	4.8	Değişik Taban Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkileri - Düşey Yer Değiştirme	99
ŞEKİL	4.9	Değişik Taban Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Birinci Mod Sistem Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkileri - Yatay Yer Değiştirme	103
ŞEKİL	4.10	Değişik Taban Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Birinci Mod Sistem Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkileri - Düşey Yer Değiştirme	104
ŞEKİL	5.1	Üç Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Temel Üst Kenar Düğümlerinin Yer Değiştirmeleri	111
ŞEKİL	5.2	Rijid Tabanlı Üç Boyutlu Temellerde Üst Kenar Düğümlerin Yer Değiştirmeleri	113
ŞEKİL	5.3	Üç Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Temel Taban Boyutlarının Sistem Davranışına Etkileri	115
ŞEKİL	5.4	Üç Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkileri	119

ŞEKİL	5.5	Üç Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Birinci Mod Sistem Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkileri - Yatay Yer Değiştirme	122
ŞEKİL	5.6	Üç Boyutlu Zemin-Temel Sistemlerinde Birinci Mod Sistem Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkileri - Düşey Yer Değiştirme	123
ŞEKİL	6.1	Değişik Zemin Şartlarında Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Dügümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri ($B_z = 0.5$)	132
ŞEKİL	6.2	Değişik Zemin Şartlarında Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Kenar Dügümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri ($B_z = 0.5$)	133
ŞEKİL	6.3	Değişik Zemin Şartlarında Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Dügümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri ($B_z = 1.0$)	136
ŞEKİL	6.4	Değişik Zemin Şartlarında Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Kenar Dügümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri ($B_z = 1.0$)	137
ŞEKİL	6.5	Değişik Zemin Şartlarında Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Dügümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri ($B_z = 1.5$)	139
ŞEKİL	6.6	Değişik Zemin Şartlarında Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Kenar Dügümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri ($B_z = 1.5$)	140
ŞEKİL	6.7	Değişik Zemin Türleri İçin Temel Kütle Oranının Zemin-Temel Sistemi Davranışına Etkileri - Yatay Yer Değiştirme (<i>yüzeysel temelli sistemler</i>).	145
ŞEKİL	6.8	Değişik Zemin Türleri İçin Temel Kütle Oranının Zemin-Temel Sistemi Davranışına Etkileri - Düşey Yer Değiştirme (<i>yüzeysel temelli sistemler</i>).	146
ŞEKİL	7.1	Değişik Zemin Şartları ve Temelin Gömülü Olması Durumunda Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Dügümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri ($B_z = 1.0$)	153
ŞEKİL	7.2	Değişik Zemin Şartları ve Temelin Gömülü Olması Durumunda Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Dügümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri ($B_z = 1.0$)	154
ŞEKİL	7.3	Değişik Zemin Şartları ve Temelin Gömülü Olması Durumunda Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Dügümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri ($B_z = 1.5$)	157

ŞEKİL	7.4	Değişik Zemin Şartları ve Temelin Gömülü Olması Durumunda Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Düğümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri ($B_z = 1.5$)	158
ŞEKİL	7.5	Değişik Zemin Türleri İçin Temel Kütle Oranının Zemin-Temel Sistemi Davranışına Etkileri - Yatay Yer Değiştirme (gömülü temelli sistemler).	162
ŞEKİL	7.6	Değişik Zemin Türleri İçin Temel Kütle Oranının Zemin-Temel Sistemi Davranışına Etkileri - Düşey Yer Değiştirme (gömülü temelli sistemler).	163
ŞEKİL	7.7	Temel Derinliğinin Zemin-Temel Sistemi Davranışına Etkileri - Yatay Yer Değiştirme	165
ŞEKİL	7.8	Temel Derinliğinin Zemin-Temel Sistemi Davranışına Etkileri - Düşey Yer Değiştirme	166
ŞEKİL	8.1	Zemin-Temel-Yapı Sistemi İçin Kullanılan Parametreler	173
ŞEKİL	8.2	Zemin-Temel-Yapı Sistemi Yapı Üst Düğümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri (gevşek zemin)	174
ŞEKİL	8.3	Zemin-Temel-Yapı Sistemi Yapı Üst Düğümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri (sıkı zemin)	175
ŞEKİL	8.4	Zemin-Temel-Yapı Sistemi Yapı Üst Düğümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri (gevşek zemin)	178
ŞEKİL	8.5	Zemin-Temel-Yapı Sistemi Yapı Üst Düğümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri (sıkı zemin)	179
ŞEKİL	8.6	Zemin-Temel-Yapı Sistemi Yapı Alt (Temel Üst) Düğümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri (gevşek zemin)	181
ŞEKİL	8.7	Zemin-Temel-Yapı Sistemi Yapı Alt (Temel Üst) Düğümlerinin Yatay Yer Değiştirmeleri (sıkı zemin)	182
ŞEKİL	8.8	Zemin-Temel-Yapı Sistemi Yapı Alt (Temel Üst) Düğümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri (gevşek zemin)	184

ŞEKİL	8.9	Zemin-Temel-Yapı Sistemi Yapı Alt (Temel Üst) Düğümlerinin Düşey Yer Değiştirmeleri (sıkı zemin)	185
ŞEKİL	8.10a	Değişik Yapı Doğal Peryodlu Zemin-Temel-Yapı Sistemlerinde Birinci Mod Sistem Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkisi-Yapı Üst Düğümleri Yatay Yer Değiştirmeleri (gevşek zemin)	190
ŞEKİL	8.10b	Değişik Yapı Doğal Peryodlu Zemin-Temel-Yapı Sistemlerinde Birinci Mod Sistem Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkisi - Yapı Üst Düğümleri Yatay Yer Değiştirmeleri (sıkı zemin)	191
ŞEKİL	8.11	Değişik Yapı Doğal Peryodlu Zemin-Temel-Yapı Sistemlerinde Birinci Mod Sistem Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkisi - Yapı Üst Düğümleri Düşey Yer Değiştirmeleri	192
ŞEKİL	8.12	Değişik Yapı Doğal Peryodlu Zemin-Temel-Yapı Sistemlerinde Birinci Mod Sistem Peryod Oranının Sistem Davranışına Etkisi - Yapı Alt (Temel Üst) Düğümleri Yatay Yer Değiştirmeleri	194
ŞEKİL	8.13	Değişik Yapı Doğal Peryodlu Zemin-Temel-Yapı Sistemlerinde Birinci Mod Sistem Peryod Oranın Sistem Davranışına Etkisi - Yapı Alt (Temel Üst) Düğümleri Düşey Yer Değiştirmeleri	195
ŞEKİL	8.14	Birinci Mod Peryod Oranının Zemin-Temel-Yapı Sistemi Davranışına Etkisi - Yapı Üst Düğümleri Yatay Yer Değiştirmeleri	200
ŞEKİL	8.15	Birinci Mod Peryod Oranının Zemin-Temel-Yapı Sistemi Davranışına Etkisi - Yapı Üst Düğümleri Düşey Yer Değiştirmeleri	201
ŞEKİL	8.16	Birinci Mod Peryod Oranının Zemin-Temel-Yapı Sistemi Davranışına Etkisi - Yapı Alt (Temel Üst) Düğümleri Yatay Yer Değiştirmeleri	204
ŞEKİL	8.17	Birinci Mod Peryod Oranının Zemin-Temel-Yapı Sistemi Davranışına Etkisi - Yapı Alt (Temel Üst) Düğümleri Düşey Yer Değiştirmeleri	205

TABLOLAR LISTESİ

			sahife
TABLO	3.1	Yapılan Etüdler	76
TABLO	4.1	Çalışmada Kullanılan Temel Türleri	82
TABLO	4.2	Temel Betonuna Ana Özellikleri	82
TABLO	4.3	Değişik Taban Şekilli Zemin-Temel Sistemleri için Peryod Oranı, \bar{P}_j , Değerleri	96
TABLO	4.4	Değişik Taban Şekilli Zemin-Temel Sistemleri için Sistem Peryod Oranı, \bar{S}_{ij} , Değerleri	101
TABLO	5.1	Üç Boyutlu Analizlerde Kullanılan Temel Türleri	109
TABLO	5.2	Üç Boyutlu Zemin-Temel Sistemleri için Peryod Oranı, \bar{P}_j , Değerleri	118
TABLO	5.3	Üç Boyutlu Zemin-Temel Sistemleri için Sistem Peryod Oranı, \bar{S}_{ij} , Değerleri	121
TABLO	6.1	Kullanılan Temel Özellikleri (yüzeysel temeller)	130
TABLO	6.2	Değişik Temel Kütleli Zemin-Temel Sistemleri için Sistem Peryod Oranı, \bar{S}_{ij} , Değerleri	143
TABLO	7.1	Kullanılan Temel Özellikleri (gömülü temeller)	150
TABLO	7.2	Gömülü Temelleri İçeren Zemin-Temel Sistemleri için Sistem Peryod Oranı, \bar{S}_{ij} , Değerleri	161

TABLO	8.1	Zemin-Temel-Yapı Sistemleri İçin Birinci Mod Sistem Peryod Oranı, \bar{S}_{ij} , Değerleri	188
TABLO	8.2	Zemin-Temel-Yapı Sistemleri İçin Birinci Mod Peryod Oranı, \bar{P}_{ij} , Değerleri	198

SEMBOLLER LİSTESİ

- A = Zemin büyütme katsayısı
a = Dikdörtgen taban kısa boyutu
 A_n = n modu genliği
{ a_n } = n modu için yer değiştirme vektörü
 B_z = Temel kütle oranı
b = Dikdörtgen taban uzun boyutu
[C] = Sönüm matrisi
 c_n = n modu için sönüm oranı
d = Gömülme oranı (= h/r_0)
d' = Gömülme yüzdesi (= h/l)
E = Elâstisite modülü
e = Boşluk oranı
{F} = Dinamik yük vektörü
G = Kayma modülü
g = Yer çekimi ivmesi
H = Kiriş elemanları uzunluğu
h = Temelin zemine gömülme derinliği
I = Atalet momenti
[K] = Rijidlik matrisi
L = Temel tabanı uzunluk/genişlik oranı
l = Temel yükseklik boyutu
[M] = Kütle matrisi
m = Temel kütlesi
n = Mod no.
P = Yapı doğal titreşim periyodu
 \bar{P}_j = j modu için periyod oranı (zemin-temel sistemleri)
 \bar{P}_{ij} = i zemini ve j modu için periyod oranı (zemin-temel-yapı sistemleri)

- r_0 = temel taban yarı çapı
 \bar{S}_{ij} = i temeli ve j modu için sistem periyod oranı (zemin-temel sistemleri)
 \bar{S}_{ij} = i zemini ve j yapı sistemi için sistem periyod oranı (zemin-temel-yapı sistemleri)
 \bar{S}_d = Sistem düşey yer değiştirme oranı
 \bar{S}_y = Sistem yatay yer değiştirme oranı
 T = Deprem doğal titreşim periyodu
 T'_n = n modu katılma katsayısı
 t = Zaman boyutu
 $\{u\}$ = Yer değiştirme vektörü
 $\{u_d\}$ = Dayanak ortamı yer değiştirme vektörü
 $\{u_n^0\}$ = w_n frekanslı ve tek serbest dereceli sistemin n yer değiştirmesi
 $\{\dot{u}\}$ = Hız vektörü
 $\{\ddot{u}\}$ = İvme vektörü
 $\{w_n\}$ = Frekans vektörü
 $\{w_n\}$ = Özel değer vektörü
 \bar{Y}_d = Yatay yer değiştirme oranı
 \bar{Y}_y = Düşey yer değiştirme oranı

 γ = Birim ağırlık
 $\{\delta\}$ = Yer değiştirme vektörü
 ν = Poisson oranı
 $[\phi']$ = Özel vektör matrisi
 $\{\phi'_n\}$ = n modu için normalize edilmiş yer değiştirme vektörü
 ρ = Kütle yoğunluğu
 $\bar{\sigma}_0$ = Efektif çevre basıncı

1. GİRİŞ

1.1. GENEL

Dinamik yapı davranışına neden olan iki ana enerji kaynağı zeminden gelen deprem hareketleri ve üstyapıdan gelen zorlanmış titreşimlerdir. Her iki durumda da yapıların tepkileri sadece yapı özelliklerine değil sistemi oluşturan diğer ortamların özelliklerine de dayanmaktadır. Böylece bir yapı titreşimlere maruz kaldığı zaman yapı ile zemin arasında dinamik ilişkiler ve karşılıklı etkileşimler başlamaktadır ki bu olay genellikle zemin-yapı ilişkileri veya zemin-yapı etkileşimi olarak adlandırılmaktadır. Bu ilişkilerdeki en önemli etken de zemin ile yapı ortamları arasındaki enerji alış-veriş mekanizmasıdır.

Bir yapının temel ve üstyapı olarak iki ana kısımdan oluştuğu düşünülür ve üstyapı yapı olarak adlandırılırsa, zemin-yapı ilişkilerini bir adım daha ileriye giderek zemin-temel-yapı ilişkileri diye genişletmek de mümkün olabilir. Böylece temel, zemin ve yapı ortamlarını birleştiren bir unsur olarak sisteme girmektedir.

Zemin, temel ve yapı davranışlarını tek tek veya bir sistem olarak etkileyen çeşitli parametreler vardır. Yapıların depreme karşı dayanıklı olma niteliğini tayin edebilmek

ve gayri ekonomik veya sürpriz davranışlara engel olabilmek için dinamik yapı davranışı analizlerinde bu parametreleri ve parametrelerin dinamik davranışa olan tesirlerini gözönünde bulundurmak gerekmektedir.

Bu çalışmada zemin-temel ve zemin-temel-yapı sistemlerinin davranışları ayrı ayrı ele alınmış ve ilgili parametrelerin sisteme olan tesirleri ile birbirleriyle olan ilişkileri incelenmiştir.

1.2. DEPREM TITREŞİMLERİ ALTINDA ZEMİN-YAPI İLİŞKİLERİ

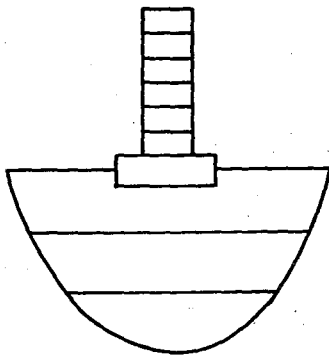
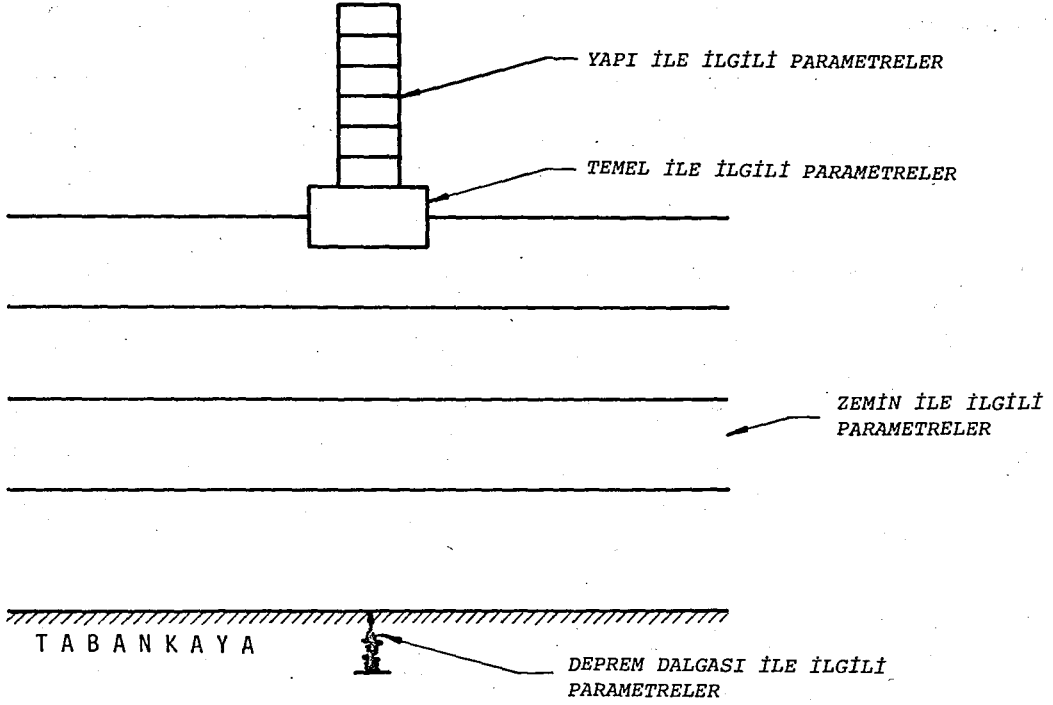
Depremlerin yapılara etkilerini inceleyen analizler genellikle yer hareketine ve yapıların dinamik özelliklerine dayanmaktadır. Yapılar ise genellikle rijid bir tabakaya veya yaylara oturtulmuş olarak kabul edilmektedirler. Ancak diğer bazı unsurlar, örneğin zemin türü, altyapıyı oluşturan temelin özellikleri, deprem dalgasının özellikleri, yapıların dinamik davranışlarını önemli şekilde etkilemektedirler. Bu nedenlerle dinamik analizlerde rijid tabanlı veya yaylara oturtulmuş yapı yerine bir zemin-temel-yapı sistemini ele alıp incelemek mevcut şartlara daha uyumlu neticelere verecektir.

Genel bir zemin-temel-yapı sistemi incelendiğinde dört grup parametrenin sistemin dinamik davranışını etkilediği dü-

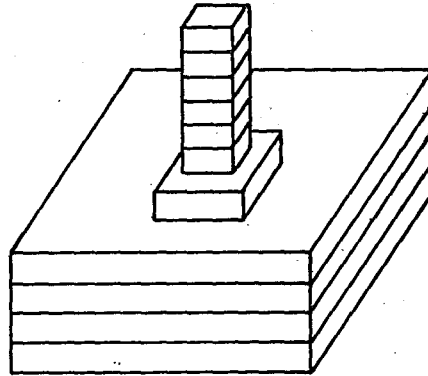
sünülebilir. Bu parametreler, Şekil 1.1'de de görüldüğü gibi, sırasıyla, yapı ile ilgili parametreler, temel ile ilgili parametreler, zemin ile ilgili parametreler ve deprem dalgası ile ilgili parametrelerdir.

Yapı ile ilgili en önemli parametre yapının yüksekliği, rijiditesi, veya diğer bir deyişle, yapının doğal periyodudur. Temel ile ilgili önemli parametreler arasında temel boyutları, kütlesi ve temelin zemine gömülme oranı sayılabilir. Zemin ile ilgili parametreler ise değişik tabakaların özellikleri ve bu özelliklerin oluşturduğu o tabakaya ait zemin kayma modülü değerleridir. Deprem dalgası ile ilgili parametreler arasında ise depremin frekans muhtevası, maksimum ivmesi, süresi ve deprem zarfının şekli sayılabilir. Bütün bu parametreler dinamik yapı davranışını değişik seviyelerde etkilemektedir.

Bu etkileri incelemek üzere ele alınan zemin-temel-yapı sistemleri Şekil 1.1'de belirtildiği gibi iki ayrı boyutta incelenebilir. Düzlem şekil değiştirme veya düzlem gerilme halleri için iki boyutlu analizler yeterli olmaktadır. Diğer taraftan hakiki şartlara uyumluluk üç boyutlu uzay analizleri ile daha sıhhatli olarak sağlanabilir. Ancak üç boyutlu analizler, işlem zamanı olarak bilgisayarda uzun vakitler aldığından genellikle iki boyutlu analizler daha yaygın olarak kullanılmaktadır.



2-BOYUTLU ANALİZ



3-BOYUTLU ANALİZ

Şekil 1.1 DEPREM TİTRESİMLERİ ALTINDA ZEMİN-YAPI İLİŞKİLERİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER.

A. Mevcut Araştırmalar

Kuvvetli depremlere maruz kalmış yapıların dinamik davranışları incelendiğinde zemin-yapı ilişkilerinin önemi anlaşılmış ve çeşitli araştırmalar bu ilişkilerin belirli yönlerini incelemişlerdir. Bu araştırmaları iki ana grupta toplamak mümkündür. İlk grup, depremden zarar görmüş yapıları ve yerel deprem ve zemin şartlarını inceleyerek mevcut şartlarla yapısal zararlar arasında ilişkiler kurmaya çalışmış olan araştırmalardan, ikinci grup ise değişik parametrelerin dinamik zemin-yapı davranışına etkilerini inceleyen araştırmalardan oluşmaktadır.

B. Depremisel Zararları Parametrik Olarak Inceleyen Araştırmalar

Depremlerin yapılara verdiği zararları inceleyen ve bu zararlarla yerel zemin şartları ve deprem dalgaları doğal titreşim periyodları arasında ilişkiler kuran çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar arasında gerek dünyadaki gerek Türkiye'deki nispeten önemli depremleri kapsayan bazı araştırmalar bu bölümde ele alınmıştır.

Deprem titreşimleri altındaki zemin-yapı ilişkilerinin önemi ilk olarak Wood (1908) tarafından belirtildikten sonra, konuyu geniş olarak ilk ele alan çalışma Duke (1958) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada 1692 - 1957 yılları arasında meydana gelmiş 36 adet kuvvetli depremin neden olduğu zararların genellikle "sert" zemin üzerindeki yapılarda en

düşük, "yumuşak" zemin üzerindeki yapılarda ise en yüksek seviyelerde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca zemin şartları, taban kayasının yapısı ve derinliği, temel türü ve derinliği ve yüzeysel topografinin depremsel zararları etkileyen önemli unsurlar olduğundan bahsedilmiştir.

Ohsaki (1969) yapısal zararlarla depremlerin frekans muhtevaları, kuvvetleri ve yerel zemin şartları arasındaki ilişkileri incelemiş ve değişik tür zeminlerde değişik tür yapıların zarar gördüğünü bu zararların sadece zemin şartları ile izah edilemeyeceğini belirtmiştir.

Seed ve Idriss (1969), dört ayrı depremle ilgili sonuçları karşılaştırarak yapısal analizlerde zemin şartlarının önemini vurgulamışlardır. Alaska, 1964, Meksika, 1962, ve San Fransisko (iki ayrı mahal), 1957, depremleri ile ilgili sonuçlarda zemin büyütme faktörünün 0.8 - 4 arasında değiştiğini belirten yazarlar, bu değişimin zemin özelliklerine bağlı olduğunu ve yapısal zararlarla ilgili önkestimlerde bu özelliklerin değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Seed ve diğerleri (1972), 29 Temmuz 1967 Karakas, Venezuela depremi ile ilgili görüşlerinde hasarın yüksek olduğu yerlerde zemin şartlarının ve yapı özelliklerinin uyumsuz olduğunu, zemin derinliğinin yüksek olduğu yerlerde zemin büyütme katsayısının 7'ye ulaştığını ve zemin ile yapı periyodlarının rezonans durumu yarattığından bahsetmektedir.

ler. Yeni gelişen analiz teknikleriyle zararların önlenebileceği ve zemin şartlarının yapıların davranışına olabilecek tesirlerinin gözönüne alınması gerektiği ayrıca belirtilmektedir. Romani (1973), 31 Mayıs 1979 Peru depremi ile ilgili olarak yaklaşık aynı görüşlerde bulunmakta, zemin şartlarının önemini vurgulamakta ve rezonans durumundan dolayı hasarın büyük olduğunu belirtmektedir.

Türkiye'deki bazı önemli depremlerden sonra yerinde yapılan çalışmalar da aynı tür görüşleri ortaya koymaktadır. Yarar ve Tezcan (1969), 22 Haziran 1967 Adapazarı depremiyle ilgili olarak uyumsuz zemin şartlarının rezonans durumu yarattığından bahsetmektedirler. Tezcan ve diğerleri (1977), 28 Mart 1970 Gediz depremi sonrası deprem merkezinden 85 km uzaklıktaki bir binada meydana gelen hasarı incelemişler ve hasar nedeninin zemin şartları yüzünden oluşan rezonans durumu olduğunu belirtmişlerdir. Bu son çalışmada taban kayası ivmesinin zemin şartlarından dolayı yüzeyde yaklaşık % 150 - % 360 bir büyültmeye neden olduğu görülmüştür. Araştırmacılar yüzeyde meydana gelebilecek hasarların standart metodlarla değil ancak zemin şartlarını da içine alan analizlerle önkestirilebileceğini ayrıca belirtmektedirler.

Zemin ortamının dinamik yapı davranışına olan etkilerini analizlere dahil edebilmek için Tezcan (1971) zemin doğal periyodunu, yapı kırılma oranını ve sönme oranını da içine alan bir yaklaşımı önermiştir. Diğer bir yaklaşım,

Ambraseys (1973) tarafından yapılmış ve deprem dalgalarının maksimum ivmesinden ziyade toplam enerjisinin önemi ile çok kuvvetli depremlerde merkez civarında şiddet, mesafe ve ivme arasında bir ilişki olmadığı belirtilmiştir.

Yine aynı nedenlerle zemin ortamının sismik davranışları üzerinde de çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Örneğin Idriss ve Seed (1968) yatay zemin tabakalarının sismik davranışlarını, Seed ve Silver (1972) kuru kum tabakalarının deprem yükleri altında çökmelerini, Papadakis, Streeter ve Wylie (1974) zemin yüzeyindeki titreşimlerden taban kayası hareketlerinin hesaplanmasını, Özkan, Soydemir ve Gürpınar (1977) ise deprem hareketi ile dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

Zemin yapısı ile deprem hareketi arasındaki ilişkiler konusunda Soydemir, Gürpınar ve Özgür (1974) geniş bir literatür araştırması yapmışlardır. Bu çalışmada deprem hareketinin analizinde kullanılan metodlardan ve yerel zemin şartlarının dinamik yapı davranışına olan etkilerini inceleyen çeşitli araştırmalardan bahsedilmektedir. İncelenen tüm araştırmalar zemin şartlarının önemini vurgulamaktadırlar.

Sonuç olarak yapıların deprem yükleri altındaki davranışlarını ve meydana gelen hasarları inceleyen araştırmalar zemin şartlarının önemini belirtmişler ve dinamik davra-

nış analizlerinde zemin-yapı sisteminin bir bütün olarak ele alınması gerektiği üzerinde önemle durmuşlardır.

C. Zemin-Yapı İlişkilerini Parametrik Olarak İnceleyen Araştırmalar

Zemin-yapı ilişkileri üzerinde ilk teorik çalışma Jacobsen (1939) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada çok katlı bir bina elâstik bir zemin üzerinde duran bir kiriş olarak simgelenmiş ve kiriş ile zemin arasındaki ilişkiler tanımlanmaya çalışılmıştır. Daha sonraları çeşitli araştırmacılar değişik matematiksel modellerle bu ilişkileri ele almışlardır. Bunlar arasında Merritt ve Housner (1954) çok katlı binaların kuvvetli depremler altındaki periyodunu ele almışlar ve burulmalı titreşimler için taban boyutlarını ve zemin için bir elâstik katsayıyı içeren rijidite katsayısı önermişlerdir. Lycan ve Newmark (1961) tepki spektrumu metodu ile değişik bina modellerini incelemişler, bir efektif zemin kütlesi ve yatay yer değiştirmeler için bir sönme elemanı tanımlamışlardır. Salvadori ve Heer (1962) temellerin sallanma ve ötelenme durumlarındaki yer değiştirmeleri için rijidite katsayıları tanımlamaya çalışmışlardır. Parmelee (1967) ise zemin-yapı sistemini elâstik şartlar altında incelemiş ve yatay yüklemeler için matematiksel bir yaklaşımda bulunmuştur. Dinamik ilişkilerde en önemli unsurun zemin kayma dalgası hızı olduğunu belirten Parmelee yumuşak zeminlerde zemin-yapı ilişkilerinin daha çok önem kazandığını not

etmiş, rijit tabanlı yapı ile yapılan analizlerin hakiki yapı davranışını öngöremeyeceğini, zemin rijiditesinin önemli olduğunu ve analizlerde kullanılması gerektiğini belirtmiştir.

Zemin-yapı ilişkilerini parametrik olarak inceleyen en detaylı çalışmalar, Fleming, Screwvala ve Kondner (1965), Khanna (1969) ve Finn ve Reimer (1970) tarafından yapılmıştır.

Fleming, Screwvala ve Kondner (1965) zemin sertliğini içeren ve zemin davranışını doğrusal elâstik varsayan matematiksel bir metod kullanmışlar, değerleri çok esnekten çok rijide değişen üç zemin sertlik değeri ile çözümler almışlardır. Çok esnek zeminde dip kayasına göre yer değiştirme halinin tüm sistem için rijid taban hareketine tekabül ettiği, çok sert zeminde ise dip kayasına göre zeminde yer değiştirme hali olmadığı fakat yapı ile zemin arasındaki hareketlerin önemli derecede yüksek olduğu sonuçlarına varılmıştır. Orta sertlikteki zeminde zemin ile dip kayası arasındaki yer değiştirmenin çok yüksek olduğu, bunun nedeninin ise zemin-yapı sisteminin doğal periyodu ile dip kayasına tatbik edilen deprem periyodunun birbirlerine çok yaklaşık değerlerde olduğu (sırasıyla 0.14 ve 0.16 san) belirtilmiştir. Sonuç olarak zemin sertliğinin ve zemin ile yapı sertliklerinin arasındaki ilişkinin önemi üzerinde durulmuştur.

Khanna (1969), iki boyutlu sonlu elemanlar metodu ile zemin yüzeyine yakın ve derin iki tür temeli elâstik zemin davranışı varsayımı ile iki ayrı zemin şartı (sert ve yumuşak) ve iki ayrı deprem yükü (El Centro ve Alameda Park depremleri) altında incelemiştir. Genel sonuçları, yapı doğal periyodunun zemin tarafından etkilenmediği, sert zeminlerde zeminin dinamik yapı davranışına önemli etkilerde bulunmadığı ve zemin elâstik modülü azaldıkça ve zemin derinliği arttıkça ikinci ve daha yüksek modların zemin şartları tarafından etkilendiği şeklinde özetlenebilir.

Finn ve Reimer (1970), bir zemin-baraj sistemi ve bir zemin-bina sistemlerini iki boyutlu sonlu elemanlar metodu ile incelemiştirlerdir. Zemin ve baraj için eşit veya eşit olmayan elâstik modül ve sönüm değerleri kabul edilmiş, zemin-baraj sistemi ile zemin-bina sisteminin deprem yükü altında ivmeleri hesaplanmıştır. Gerek baraj gerekse bina rijid tabanlı kabul edilerek tekrar depreme tâbi tutulmuşlar ve böyle elde edilen ivme değerleri ile zeminle birlikte elde edilen ivme değerleri karşılaştırılmışlardır. Finn ve Reimer sonuç olarak zemin-yapı sisteminin birlikte incelenmesi gerektiğini, bunun için de ya dipten zemine bir deprem hareketi verilmesi, ya da yapıya zemin yüzeyine tekabül eden bir hareket verilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Zemin-baraj sistemi Chopra ve Perumalswami (1969) tarafından da iki boyutlu sonlu elemanlar metodu ile incelen-

miştir. Bu çalışmada barajın doğal frekansı ve mod şekilleri hesaplanmış ve zemin elâstisitesinin bu değerleri önemli şekilde etkilediği belirtilmiştir.

Seed ve Idriss (1973), sonlu elemanlar metodunu ve kütle-yay modelini kullanarak iki ayrı yönden bazı parametrelerin dinamik davranışa etkilerini incelemişler ancak kesin sonuçlar elde edememişlerdir. Örneğin zemine gömülü yapılarında gömülü kısım etrafındaki ve altındaki zeminin rijiditesindeki değişikliklerin meydana gelen ivmeler üstünde önemli tesiri olmadığı, gömülü kısmın hendek içinde olmasının (zeminle olan yan irtibatların ortadan kaldırılmasının) önemli bir etki yapmadığı, gömülme derinliğinin azalmasıyla tabanda meydana gelebilecek ivmelerin de azalabileceği, zemin derinliğinin (yüzey ile taban kayası arasındaki mesafenin) yapısal davranışa önemli şekilde tesir etmediği, ancak artan derinlikle beraber yapının tepkisinin de artabileceği belirtilmiştir. Ayrıca parametrik incelemeler için kütle-yay modelinden ziyade sonlu elemanlar metodunun kullanılması gerektiğini önermişlerdir. Aynı şekilde, Kinoşita ve Kushida (1973), gömülü temeller üzerindeki çalışmalarında yerinde yapılan ölçümlerin sonlu elemanlar metodu ile daha iyi önges-tirilebileceğini, kütle-yay modeli sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında yeterli uyum olmadığını belirtmişlerdir.

Osawa, Kitagawa ve Ishida (1973) yapı sistemiyle ilgili bazı parametreleri ele almışlar, yapının sönüm oranı-

nın, kütlelerinin, yükseklik/genişlik oranının ve rijidite oranının dinamik davranışa olan tesirlerini incelemişlerdir. Genel sonuçlar, sönüm oranının büyütme oranını direkt olarak etkilediği, yükseklik/genişlik oranının sallanma titreşimlerine ve büyütme oranına tesir ettiği, yapı kütlelerinin ise dinamik davranışı nispeten daha az etkilediği şeklinde belirtilmiştir.

Kitagawa ve diğerleri (1973), büyük modeller kullanarak zemin-yapı ilişkilerini incelemişler ve yer değiştirme değerlerinin bazı durumlarda 100 misli arttığını not etmişlerdir.

Son olarak Lefebvre ve Duncan (1971) tarafından yapılan ve değişik eğimli V-şekilli vadilere yapılmış barajları iki ve üç boyutlu analizlerle inceleyerek karşılaştırmalar yapan araştırmadan bahsetmekte yarar görülmektedir. Yamaç eğimleri 1:1, 3:1 ve 6:1 olan üç ayrı tip vadi içinde kurulmuş barajlar düzlem şekil değiştirme, düzlem gerilme ve uzay hallerinde incelenmişlerdir. Baraj kısa kesiti için yamaç eğimi 3:1 veya daha düşük olan durumlarda düzlem şekil değiştirme hali ve uzay analizleri ile birbirlerine yaklaşık gerilme ve yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Daha dik yamaçlı vadiler için hesaplanan değerlerde bu uyum görülmemiştir. Baraj uzun kesiti için ise bütün yamaç eğimlerinde düzlem şekil değiştirme ve uzay analizleri birbirlerine yaklaşık gerilme ve yer değiştirme değerleri vermişlerdir. Düz-

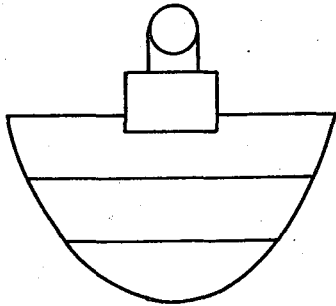
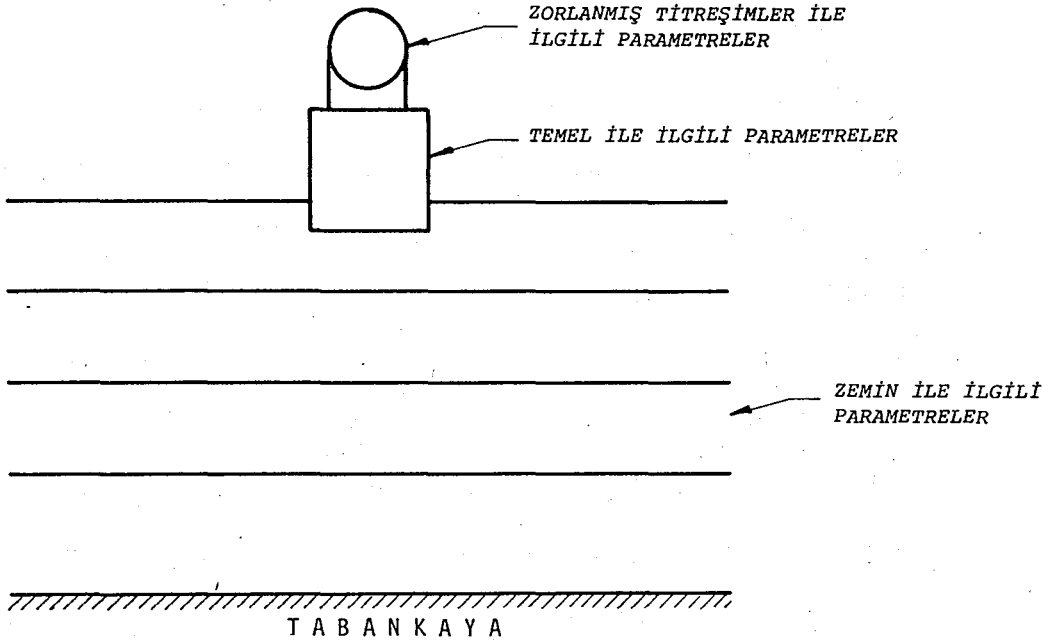
lem gerilme hali ile elde edilen değerler ile diğer analizlerle elde edilen değerler arasında pek uyum görülmemiştir.

Sonuç olarak, zemin-yapı ilişkilerini inceleyen parametrik araştırmalarda genellikle sadece zemin özelliklerinin ele alındığı söylenebilir. Ayrıca değişik boyutlu analizleri içeren bir araştırmada düzlem Şekil değiştirme ve uzay hallerinin birbirlerine yaklaşık sonuçlar verdiği görülmüştür.

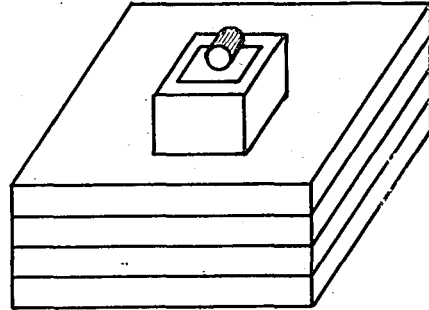
1.3. ZORLANMIş TITREŞİMLER ALTINDA ZEMİN-TEMEL İLİŞKİLERİ

styapıdan gelen titreşimler altındaki dinamik temel davranışı ile ilgili teorilerde zemin-temel sistemi genellikle elstik-yarı-uzay üzerinde duran rijid ve dairesel tabanlı bir dik silindir ile simgelenmektedir. Böyle simgelenmiş bir sistemle hakiki zemin-temel sistemleri arasındaki farklar barizdir. Örneğin, temellerin çoğu dairesel tabanlı olmayıp dikdörtgen tabanlı olmakta, zemin elstik-yarı-uzay teorisinin kabul ettiği gibi homojen, isotropik, elstik ve yarı-sonsuz olmamakta ve temeller genellikle zemin yüzeyinde değil belirli bir derinliğe gömülü olarak inşa edilmektedirler. Bu nedenlerle dinamik analizlerde idealleştirilmiş Şartlar yerine hakiki Şartlara uygun zemin-temel sistemlerini ele alıp incelemek gerekmektedir.

Zorlanmış titreşimler altındaki genel bir zemin-temel sistemi incelendiğinde  grup parametrenin sistemin davranışını etkilediği düşünülebilir. Şekil 1.2'de belirtildiği



2-BOYUTLU ANALİZ



3-BOYUTLU ANALİZ

Şekil 1.2. ZORLANMIŞ TITREŞİMLER ALTINDA ZEMİN-TEMEL İLİŞKİLERİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER.

gibi, bu gruplar, sırasıyla, üstyapıdan gelen titreşim türüyle ilgili parametreler, temel ile ilgili parametreler ve zemin ile ilgili parametrelerdir.

Titreşim türüyle ilgili olarak titreşim modu, örneğin düşey, yatay veya burulmalı olması, modların bireysel veya birleşik olmaları, titreşimlerin âni ve devamlı olmaları ve titreşim genliği sayılabilir. Temel ile ilgili olarak temel boyutları, kütlesi ve zemine gömülme oranı dinamik davranışı etkileyebilir. Zemin ile ilgili olarak ise değişik tabakaların özellikleri ve bu tabakalara ait kayma modülü değerleri önemlidir. Ayrıca bütün bu parametrelerin etkileri iki veya üç boyutlu olarak incelenebilir.

A. Mevcut Araştırmalar

Yapılan çalışmalar, makina, rüzgâr, trafik gibi küçük genlikli titreşimler için elâstik-yarı-uzay teorisinin dinamik zemin davranışını oldukça yaklaşık bir şekilde önkestirebildiğini göstermektedir. Bu nedenle, bilhassa son on yıl içinde yapılan araştırmalarda, zeminle ilgili parametreler üzerinde durulmamış, ancak titreşim türü ve temel ile ilgili parametreler incelenmiştir. Titreşim türü olarak en çok düşey titreşimler en az ise burulmalı titreşimler araştırılmıştır. Birkaç araştırmacı temel ile ilgili parametreleri de ele almış ve temel taban şekli ile gömülme oranının dinamik davranışa olan etkilerini incelemiştir.

Yapılan çalışmalarını teorik ve deneysel olarak iki ana grupta toplamak mümkündür. Her iki yaklaşım tarzıyla da zemin-temel ilişkilerini parametrik olarak inceleyen önemli araştırmalar aşağıda özetlenmiştir:

B. Teorik Çalışmalar: Yüzeysel Temelleri İçeren Zemin-Temel Sistemleri

Zemin yüzeyine yerleştirilmiş temellerin dinamik davranışları ile ilgili teoriler Richart, Hall ve Woods (1970) tarafından detaylı olarak anlatılmıştır. Bu teorilerde kullanılan önemli parametreler, zemin ile ilgili olarak birim ağırlık, Poisson oranı ve kayma modülü, temel ile ilgili olarak temel kütlesi ve boyutlarıdır. Elâstik yarı-uzay üzerine yerleştirilmiş rijid silindirlerin düşey, yatay, burulma, sallanma ve birleşik sallanma-ötelenme titreşimleri altındaki davranışlarını analiz etmek üzere kullanılan metodlar açıklanmıştır. Richart, Hall ve Woods'da kapsanmayan diğer bazı teorik çalışmalar şöyle özetlenebilir:

Awojobi ve Grootenhuis (1965), elâstik yarı-uzay üzerindeki dairesel ve dikdörtgen tabanlı rijid temellerin düşey, burulmalı ve sallanmalı titreşimler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Genellikle dairesel taban şekline ve düşey titreşimlere ağırlık veren bu çalışmada rezonans genliği ile temel kütlesi ve Poisson oranı arasındaki ilişkiler belirtilmiştir.

Funston ve Hall (1967), dairesel tabanlı rijid temellerin düşey, yatay, burulma ve sallanma titreşimleri altındaki davranışlarını doğrusal ve doğrusal olmayan zemin davranışlarına göre incelemişlerdir. Yerinde yapılan deney sonuçlarıyla teorik çözümler karşılaştırıldığında, doğrusal olmayan zemin davranışının hakiki temel davranışını daha iyi öngöstirebildiği görülmüştür.

Awojobi (1969), burulmalı titreşimler altında dairesel tabanlı rijid temelleri incelemiş ve zemin derinliğinin taban yarıçapının beş misli veya daha yüksek olduğu durumlarda, zemin davranışının yarısonsuz elâstik bir ortamın davranışına yaklaşık eşit olduğunu belirtmiştir.

Grootenhuis (1970), dairesel ve dikdörtgen tabanlı rijid temellerin düşey, burulmalı ve sallanmalı titreşimler altındaki davranışları ile ilgili çalışmasında, temel davranışını öngörebilmek için beklenen frekans ve genlik değerleri için zemin elâstik özelliklerinin bilinmesi gerektiğini savunmuştur.

Courbon (1971), iki ayrı zemin-temel sistemini incelemiş ve her iki sistem için de doğal ve zorlanmış titreşimlerle ilgili çözümler önermiştir. İncelenen sistemlerin ilki zemine elâstik olarak ilâstirilmiş rijid bir temel, ikincisi ise zemine bağlı rijid bir ortama elâstik olarak ilâstirilmiş rijid bir temeldir.

Luco ve Westmann (1971), değişik frekans, yarıçap ve zemin kayma dalgası hızları ile Poisson oranları için dairesel tabanlı rijid temellerin düşey, yatay, burulmalı, sallanmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altındaki davranışlarını incelemiş, temel altındaki gerilmeler ve temel yer değiştirmelerini içeren nümerik sonuçlar çıkartmıştır.

Ratay (1971), birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altında dairesel tabanlı rijid bir temelin davranışlarını ele almıştır. Önemli sonuçları (i) birleşik titreşimlerin rezonans durumunda frekans değerini azalttığı, yatay yer değiştirme değerini yükselttiği ve dönme değerini azalttığı; (ii) genellikle sadece tek bir rezonans frekansının görüldüğü; ve (iii) temel ağırlık merkezinin zeminden uzaklaşması veya temel kütesinin artmasıyla rezonans genliğinin arttığı, rezonans frekansının ise azaldığı şeklinde özetlenebilir.

Veletsos ve Wei (1971), rijid fakat kütesiz bir diskin birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altındaki davranışını incelemişler ve değişik frekans, yarıçap, zemin kayma dalgası hızı ve Poisson oranları için rijidite ve sönüm katsayıları ile ilgili nümerik sonuçlar sunmuşlardır. Veletsos ve Wei, ayrıca diskin yer değiştirme ve dönme değerlerini ve disk altındaki gerilme dağılımını hesaplamışlar, malzeme sönüm oranının önemini belirtmişlerdir.

Weissman (1971), burulmalı titreşimler altında dairesel ve rijid bir plâkanın davranışını ele almış, plâka ile zemin arasında kayma olabileceği varsayımı ile daneli ve kohesiv zeminler üzerindeki temeller için rezonans frekansını ve genliğini belirten denklemler önermişlerdir. Teorik sonuçların yerinde yapılan deneylerle uyumlu olduğunu belirten araştırmacılar önerdikleri teorinin düşey eksen etrafında simetrik olan temeller için geçerli olabileceğine dikkati çekmişlerdir.

Awojobi (1972), dairesel tabanlı rijid temelleri düşey titreşimler altında, dikdörtgen tabanlı rijid temelleri ise sallanmalı titreşimler altında incelemiştir. Zemin derinliği arttıkça rezonans frekansının azaldığı, zemin derinliğinin temel yarıçapının beş misli olduğu durumlarda zemin davranışının yarı-sonsuz elâstik bir ortamın davranışına yaklaşıp eşit olduğu ve homojen ve homojen olmayan yarı-uzay ortamların birbirleriyle ilişkilerinin yüzeyden bir yarıçap derinlikteki kayma modülü değeri ile tanımlanması gerektiği belirtilmiştir.

Özet olarak, yüzeysel temelleri içeren zemin-temel sistemleri üzerinde çeşitli teorik çalışmalar yapıldığı, bunların çoğunda tek modlu titreşimlerin, ve bilhassa düşey titreşimlerin, ele alındığı, temel için dairesel tabanlı rijid bir silindirin, zemin için ise elâstik yarı-uzay bir ortamın kullanıldığı söylenebilir. Bu arada birleşik titreşim-

lerin temel davranışına etkileri de kısmen incelenmiştir.

C. Teorik Araştırmalar: Gömülü Temelleri İçeren Zemin-Temel Sistemleri

Temellerin zemine gömülü olma durumlarında dinamik davranışının değişeceği ve bu konunun incelenmesi gerektiği çeşitli araştırmacılar tarafından bahsedilmişse de ancak son yıllarda bu konunun üzerinde durulmaya başlanmıştır.

Zemine gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemleri ilk olarak Pauw (1953) tarafından ele alınmıştır. Pauw zeminin tepkisini bir seri yayların davranışıyla simgeleyerek düşey, yatay ve sallanmalı titreşimler için zemin-temel sisteminin doğal frekansını hesaplayacak bir yöntem önermiştir.

Baranov (1967) gömülü temel etrafında birbirinden bağımsız ince elâstik tabakalar olduğunu varsayarak, dairesel tabanlı rijid bir temelin düşey, yatay ve sallanmalı titreşimler altındaki davranışını incelemiş, ancak yalnız sallanmalı titreşimler için genel çözümler elde edebilmiştir.

Kaldjian (1969), sonlu elemanlar metodu ile dairesel tabanlı rijid bir temelin düşey titreşimler altındaki davranışını incelemiştir. Gömülme oranı d^1 değerinin 3.6'ya kadar yükseldiği durumları ele alan Kaldjian gömülme

¹ $d =$ gömülme derinliği/tabana yarıçapı

oranı arttıkça zemin statik rijidite katsayısının da arttığını belirtmiştir. Bu çalışmada yerinde gömülme ve hendek içinde gömülme şartları incelenmiştir.

Benzer bir çalışmayı burulmalı titreşimler için yapan Kaldjian (1971), gömülme ile birlikte statik burulma rijiditesi katsayısının arttığını, bu artışın düşey titreşimler için hesaplanan artıştan daha yüksek olduğunu ve düşük gömülme oranları için statik burulma rijiditesi katsayısının derinlik ile birlikte arttığını, gömülme oranı arttıkça rijidite katsayısındaki artışın azaldığını not etmiştir.

Kuhlemeyer (1969), taban şekilleri dairesel veya dikdörtgen olan kaba veya düzgün yüzeyli rijid temelleri ele almış ve bunların tabakalı veya homojen zeminlere gömülü olma halinde düşey titreşimler altındaki davranışlarını sonlu elemanlar metodu ile incelemiştir. Zemin elâstik modülünün derinlikle azaldığı durumlarda düşük frekans değerleri için iyi çözümler elde ettiğini belirten araştırmacı, zemin ile temel yüzeyleri arasındaki sürtünmenin önemli bir etkisi olmadığını da not etmiştir.

Lysmer ve Kuhlemeyer (1969), yine sonlu elemanlar metodu ile ve gömülme oranı, d 'nin 1.0'dan az olduğu durumlar için dairesel tabanlı rijid silindirlerin davranışlarını incelemiştir. Düşey titreşimleri içeren bu çalışmada da temel yüzeyleri ile zemin arasındaki sürtünmenin önemli

olmadığı belirtilmektedir.

Anandakrishnan ve Krishnaswamy (1970, 1973) elâstik yarı-uzay bir ortama gömülü ($d \leq 3$) dairesel tabanlı rijid bir silindirin düşey titreşimler altındaki davranışını incelemişler ve gömülme ile genliğin azaldığını, rezonans frekansının ise yükseldiğini belirterek bu değişiklikleri hesaplamak için eğriler vermişlerdir.

Beredugo (1971), Novak ve Beredugo (1971, 1972) ve Beredugo ve Novak (1972), dairesel tabanlı rijid bir temel için düşey, yatay, sallanmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Değişik gömülme oranları ($d \leq 2.5$) içeren bu çalışmalarda (i) bütün modlar için, gömülme arttıkça rezonans genliğinin azaldığı ve rezonans frekansının arttığı; (ii) dolgu içinde gömülmenin bu etkileri nispeten azalttığı; (iii) artan kütle ile birlikte rezonans genliğinin arttığı ve rezonans frekansının azaldığı; (iv) genlik değerlerinin temel kütlelerinden bağımsız fakat frekans değerlerinin kütleyle bağımlı olduğu; (v) titreşim modlarının birleşmesiyle rezonans frekansının azaldığı, yatay rezonans genliğinin arttığı ve sallanma rezonans genliğinin azaldığı; ve (vi) düşey titreşimler ve $d \leq 0.5$ için elâstik yarı-uzay veya genel bir elâstik ortamın sonuçlara önemli tesir etmediği belirtilmiştir.

Krizek, Gupta ve Parmelee (1971), sonlu elemanlar metodu ile uzunluğu sonsuz olan dikdörtgen ve rijid bir temel birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altındaki davranışını incelemişlerdir. Araştırmacılar doğal frekans değerinin, zemin kayma dalgası hızı, Poisson oranı, gömülme derinliği ve temel yükseklik/genişlik oranına bağlı olduğunu, genliğin ise direkt olarak zorlanmış hareket kuvvetine, ters olarak da zemin kayma dalgası hızının karesine orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Srinivasan ve Pranesh (1972), zemine tam gömülü, dikdörtgen taban şekilli rijid temellerin düşey ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altındaki davranışlarını ele almışlardır. Gerek rezonans frekansının gerek rezonans genliğinin kütleye bağımlı olduğunu not eden araştırmacılar, gömülme ile rezonans frekansının arttığını, rezonans genliğinin ise azaldığını belirtmişlerdir.

Waas (1972) ve Waas ve Lysmer (1972), küçük gömülme oranları için ($d = 0.4$) dairesel tabanlı rijid temellerin düşey ve burulmalı titreşimler altındaki davranışlarını sonlu elemanlar metodu ile incelemişlerdir. Zemin için elâstik ve viskoelâstik ortamlar varsayan araştırmacılar, hem homojen hem tabakalı zeminler için çözümler almışlardır. Düşey titreşimler için derinliği temel yarıçapının 10 misli olan homojen bir ortamla elâstik yarı-uzay bir ortamın arasında önemli farklar olmadığı, ancak zemin derinliği yarıçapın

altı mislinden az olduğu durumlarda dinamik davranışın değiştiği belirtilmiştir. Burulmalı titreşimler için ise derinliği temel yarıçapının dört misli olan homojen bir ortamla elâstik yarı-uzay bir ortamın arasında önemli fark olmadığı, zemin derinliği bir yarıçaptan az olursa dinamik davranışın önemli şekilde değiştiği, derinlikle artan zemin kayma modülü değerinin gömülü temelleri, yüzeysel temellere oranla, daha az etkilediği ve burulmalı titreşimleri içeren dinamik analizlerde yüzeyden bir yarıçap derinlikteki zemin özelliklerinin kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Novak (1973), düşey, burulmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altındaki dairesel tabanlı rijid temeller için frekansdan bağımsız rijidite ve sönme parametreleri tanımlamış ve elde ettiği teorik çözümlerin deneysel sonuçlarla, burulmalı titreşimler hariç, uyumlu olduğunu belirtmiştir.

Novak ve Sachs (1973) ise burulmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli-burulmalı titreşimleri ele almışlar ve dairesel tabanlı rijid temeller için frekansdan bağımsız rijidite ve sönme parametreleri önermişlerdir. Deneysel sonuçlarla yapılan karşılaştırmalarda uyumluluk olduğu, gömülmenin en çok burulmalı titreşimleri etkilediği ve burulmalı titreşimler için zemin derinliği azaldıkça gömülme etkisinin yükseldiği belirtilmiştir. Birleşik titreşimlerde ise ilk rezonansı sallanmalı titreşimlerin, ikinci rezonansı,

burulmalı titreşimlerin, üçüncü rezonansı ise ötelenmeli titreşimlerin etkilediği, ilk iki rezonans için gömülme etkisinin önemli, üçüncü rezonans için ise bu etkinin az olduğu not edilmiştir.

Urlich ve Kuhlemeyer (1973), sonlu elemanlar metoduyla, gömülme oranı, d , 1.0'dan küçük olan durumlar için dairesel tabanlı rijid bir temel in birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altındaki davranışını ele almışlar, yer değiştirme fonksiyonları hesaplamışlar ve titreşim tatbik noktasının değişmesiyle, örneğin temel üstünden veya tabanından olmasıyla, bu fonksiyon değerlerinin değişmeyeceğini belirtmişlerdir.

D. Deneysel Araştırmalar: Yüzeysel Temelleri İçeren Zemin - Temel Sistemleri

Zorlanmış titreşimler altındaki zemin-temel sistemleri kontrollü bir çevre içinde modelleme yöntemine uygun olduklarından, çeşitli araştırmacılar bu yönü seçmişler ve gerek mevcut teorik sonuçlarla karşılaştırma, gerekse değişik parametrelerin etkilerini görebilmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

Yüzeysel temeller üzerinde ilk deneysel araştırmalar Eastwood (1953) ve Pauw (1953) tarafından yapılmıştır. Eastwood laboratuvarında yaklaşık 1.2 x 1.2 x 1.2 m boyutlarındaki bir kum havuzu üzerinde dairesel ve dikdörtgen taban

şekilli çeşitli çelik temel modellerini düşey titreşimler altında test etmiş ve ağır temellerde taban çapının veya genişliğinin azalması veya taban uzunluk/genişlik oranının artmasıyla temel doğal frekansının arttığını gözlemiştir. Ayrıca kum su muhteviyatı arttıkça temel doğal frekansının azaldığını da not etmiştir.

Pauw (1953) ise, kum üzerinde bulunan dikdörtgen taban şekilli beton bir temelin üzerinde yerinde yaptığı düşey ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimleri içeren deneylerde artan frekans ve genlik miktarlarıyla rijidite katsayılarının azaldığını belirtmiştir.

Novak (1960, 1970), killi zemin üzerinde değişik boyutlardaki kare taban şekilli çelik temelleri yerinde düşey titreşimlere tâbi tutmuştur. Novak, sönüm katsayısının temel boyutlarıyla birlikte arttığını, zemin elâstisitesinin temel boyutları tarafından önemli şekilde etkilenmediğini, zeminin doğrusal olmayan davranışının gözönünde bulundurulması gerektiğini, ancak bunun kumlu zeminler için pek önemli olmadığını belirtmiştir.

Barkan (1962), kumla kil arasında değişen çeşitli zemin türleri üzerindeki değişik boyutlu, kare taban şekilli beton temelleri yerinde düşey ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altında test etmiş, sonuç olarak hesaplanan ve ölçülen doğal frekansların uyum içinde oldukları-

nı, sönüm katsayısının killi zeminlere nazaran kumlu zeminlerde daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

Fry (1963), çeşitli yarıçapları içeren dairesel taban şekilli beton temelleri, kum üzerinde düşey, burulmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altında test etmiş ve burulmalı titreşimler haricindeki titreşim türleri için hesaplanan ve ölçülen değerlerin uyum içinde olduklarını belirtmiştir.

Chae (1964) ve Chae, Hall ve Richart (1965), laboratuvarında yaklaşık $1.5 \times 1.5 \times 1.2$ m boyutlarındaki bir kum havuzu üzerinde değişik boyutlarda dairesel taban şekilli çelik modelleri düşey titreşimleri içeren deneylere tâbi tutmuş ve temel tabanında yapılan ölçümlerden, zemin reaksiyonu sabit kaldıkça, artan frekans ile birlikte taban basınç dağılımının parabolik dağılımdan rijid-taban dağılımına doğru değiştiğini bildirmişlerdir. Daha sonraları Chae (1969), değişik taban şekilleri ile de deneyler yapmış ve temel kütlesindeki değişikliklerin dikdörtgen taban şekilli temellerin rezonans frekanslarını, dairesel tabanlı temellere oranla daha fazla etkilediğini, maksimum yer değiştirmelerde ise kütle nin tam tersine bir etki gösterdiğini, rezonans frekans hesaplarında dairesel olmayan temeller için eşit-alan prensibiyle eşdeğer yarıçap hesaplanıp kullanılabilineceğini, maksimum yer değiştirme hesaplarında ise eşit-alan prensibiyle hesaplanan eşdeğer yarıçapın sadece kare taban şekli için

geçerli olduğunu, diğer dikdörtgen şekiller için esdeğer yarıçapın daha değişik yöntemlerle hesaplanması gerektiğini belirtmiştir.

Kondner (1964, 1965), siltli kil üzerinde değişik boyutlu ve dairesel taban şekilli beton temeller üzerinde yerinde deneyler yapmıştır. Düşey titreşimleri içeren bu deneyler sonunda statik gerilme seviyesinin dinamik temel davranışını etkilemediği, dinamik gerilme seviyesinin yer değiştirme miktarlarını etkilediği ve sabit dinamik kuvvetler altında en büyük boyutlu temellerde en fazla yer değiştirmenin yer aldığı bildirilmiştir.

Drnevich ve Hall (1966), laboratuarda yaklaşık 1.5 x 1.5 x 1.2 m boyutlarındaki bir kum havuzu içinde Ottawa kumu üzerine yerleştirilmiş değişik ağırlıklardaki dairesel taban şekilli çelik temel modelleri üzerinde düşey titreşimleri içeren deneyler yapmışlardır. Temel çevresi altındaki minimum efektif düşey basınç kullanılarak hesaplanan kayma modülü değerleriyle yapılan teorik analizler ile deney sonuçları arasında çok iyi uyumluluk olduğu belirtilmiştir.

Grootenhuis ve Awojobi (1966), kumlu kil üzerinde dairesel taban şekilli çelik bir temeli düşey titreşimler altında yerinde test etmişler ve ölçülen değerlerle hesaplanan değerler arasında uyumluluk olduğunu bildirmişlerdir.

Reddy, Srinivasan ve Nambiar (1970), laboratuarda yaptıkları deneylerde, düşey titreşimler altında rezonans frekansı ve genliğinin ve sönüm katsayısının yükselen su seviyesi ile birlikte azaldığını bildirmişlerdir.

Moore (1971), dairesel tabanlı çelik temelleri değişik zemin türleri üzerinde düşey titreşimlere tâbi tutmuş ve kumlu zeminleri içeren zemin-temel sistemlerinde temel kütlesi arttıkça taban basınç dağılımının parabolik dağılımdan rijid-taban dağılımına doğru değiştiğini belirtmiştir. Moore, ayrıca kare taban şekilli beton temellerin kum üzerinde düşey ve yatay titreşimler altında davranışlarını ölçmüş ve ölçülen değerlerle hesaplanan değerlerin uyum içinde olduklarını bildirmiştir.

Stokoe (1972), laboratuarda çapı yaklaşık 6.7 m derinliği yaklaşık 1.8 m olan bir kum havuzunda değişik ebadlı dairesel taban şekilli beton temel modellerini düşey, burulmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altında test etmiştir. Yüzeysel temel davranışlarından zemin efektif kayma modülünün hesaplanabileceğini belirten Stokoe ayrıca hesaplanan ve ölçülen frekanslar ve sönüm oranlarının uyum içinde olduklarını, ancak burulmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler için malzeme sönüm oranının gözönünde tutulması gerektiğini de bildirmiştir. Zemin efektif kayma modülünün temel çevresi altındaki minimum efektif düşey basınç kullanılarak hesaplanabileceği, ancak

iyi sonuçlar almak için temellerin yerinde dökülmesi-gerektiği de ayrıca belirtilmiştir.

Stokoe ve Erden (1974), laboratuarda yaklaşık 4 m çapında ve 1.8 m derinliğindeki bir kum havuzu üzerinde değişik taban şekilli ve ağırlıklı betonarme temelleri düşey, burulmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altında test etmişlerdir. Dairesel ve uzunluk/genişlik oranları 1 ile 6 arasında değişen dikdörtgen taban şekilleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda temel taban şeklinin frekans üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, sönüm oranı üzerinde ise sadece burulmalı titreşimlerde önemli etkisi olduğu, malzeme sönüm oranının burulmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimlerde önemli rol oynadığı, yerinde dökülmüş temeller ile örselenmiş temellerin dinamik davranışlarının değişik olduğu, örselenmenin frekans değerini ve sönüm oranını azalttığı, örselenmenin en az birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimlerde önemli olduğu, teorik analizlerle deneysel sonuçların uyum içinde oldukları, ancak bu uyumun yerinde dökülmüş temeller için geçerli olduğu belirtilmiştir.

Görüldüğü gibi, yüzeysel temelleri içeren zemin-temel sistemleri üzerindeki deneysel araştırmalar genellikle düşey titreşimleri, dairese taban şekilli temelleri ve kumlu zeminleri kapsamış, diğer tür titreşimler, taban şekilleri ve zemin türleri ise nispeten daha az incelenmiştir.

E. Deneysel Araştırmalar: Gömülü Temelleri İçeren
Zemin - Temel Sistemleri

Gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemleri üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Sistem davranışını etkileyen parametrelerin ve deney Şartlarının detaylı olarak izah edildiği önemli çalışmalar bu bölümde ele alınmıştır.

İlk önemli alışma Pauw (1953) tarafından yapılmış ve dikdörtgen taban Şekilli beton temellerin düşey ve birleşik sallanmalı-telenmeli titreşimler altındaki davranışları incelenerek, gömülme ile birlikte rezonans frekansının ve sönüm oranının arttığı belirtilmiştir.

Novak (1960, 1963, 1970) yaklaşık 1.0 x 1.0 m taban boyutlu beton bir temeli yerinde değişik gömülme derinliklerinde düşey ve birleşik sallanmalı-telenmeli titreşimlere tbi tutmuştur. Gömülme ile birlikte rezonans frekansının arttığı, genliğin ise azaldığı, gömülmenin en fazla yerinde dökülmüş temelleri en az ise hndek içindeki temelleri etkilediği, temel çevresinde dolgu malzemesi olan durumlarda malzemenin yoğunluğu ve derinliği yükseldikçe gömülme etkilerinin tekrar önem kazandığı ve düşey titreşimlere oranla birleşik sallanmalı-telenmeli titreşimlerin gömülmeden daha çok etkilendiği bildirilmiştir.

Barkan (1962), değişik ağırlıklardaki kare taban Şekilli beton temellerin düşey titreşimler altındaki davranışlarını ölçmüş ve temel çevresine yerleştirilen dolgunun re-

sonans genliğini azalttığını sönüm oranını ise yükselttiğini belirtmiştir.

Fry (1963), kare tabanlı beton temellerle yaptığı deneylerde düşey titreşimler için artan gömülme derinliği ile birlikte resonans frekansının arttığını, genliğin ise azaldığını belirtmiştir.

Anandhrishnan ve Krishnaswamy (1970, 1973) dairesel ve kare taban şekilli temellerinde düşey titreşimler altındaki davranışlarını test etmişlerdir. Gömülme oranı, $d \leq 2.5$ değerleri için yapılan deneylerde resonans frekansının arttığı, genliğin ise azaldığı bildirilmiştir.

Girard ve Picard (1970) kare tabanlı beton temelleri düşey titreşimlere tâbi tutmuşlar ve zemin ile temel arasındaki irtibat alanının önemli olduğunu belirterek bu alana bağlı olarak yüzeysel ve gömülü temellerle ilgili rijidite katsayıları ve sönüm oranları tanımlamışlardır.

Beredugo (1971), Novak ve Beredugo (1971, 1972) ve Beredugo ve Novak (1972), kare ve dikdörtgen taban şekilli beton temellerin düşey ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altındaki davranışlarını incelemiştir. Gömülme oranı, $d \leq 2.4$ değerleri için artan gömülme oranı ile birlikte resonans frekansının arttığı, genliğin ise azaldığı, dolgu içinde gömülmenin, yerinde gömülmeye oranla daha az etkili olduğu, düşey titreşimler için kare taban şekilli temelin

daha düşük rezonans frekansı ve daha yüksek genlik değerleri verdiği ve birlesik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler için artan temel kütlesi ile birlikte rezonans frekansının azaldığı, genliğin ise arttığı bildirilmiştir.

Chae (1971), laboratuarda yaklaşık 1.5 x 1.5 x 1.2 m boyutlarındaki bir kum havuzu içinde dairesel, kare ve dikdörtgen taban şekilli çelik temel modelleri ve düşey titreşimleri içeren deneylerde ($d \leq 1.5$) gömülmenin rezonans frekansını önemli derecede etkilemediğini, taban şeklinin dinamik davranışa önemli bir etkide bulunmadığını, temel kütlesinin maksimum genliği etkilediğini ancak artan gömülme oranı ile birlikte bu tesirin azaldığını gözlemiştir.

Gupta (1972), laboratuarda yaklaşık 0.8 x 0.8 x 0.8 m boyutlarındaki bir kum havuzunda dairesel, üçgen, kare ve dikdörtgen taban şekilli tahta temel modelleri ile deneyler yapmıştır. Düşey titreşimleri içeren bu deneyler sonunda artan gömülme ile birlikte rezonans frekansının arttığı, genliğin azaldığı, sönümün arttığı ve herhangi bir taban şekli etkisi görülmediği bildirilmiştir.

Stokoe (1972), laboratuarda yaklaşık 6.7 m çapında ve 1.8 m derinliğindeki bir kum havuzunda dairesel taban şekilli beton temel modellerini düşey, burulmalı ve birlesik sallanmalı-ötelenmeli titreşimlere tâbi tutmuş ($d \leq 1.6$) ve gömülme ile birlikte frekans ve sönüm oranı değerlerinin

arttığını, gömülmenin en fazla sallanmalı-ötelenmeli titreşimleri, en az ise düşey titreşimleri etkilediğini, burulmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler için hendek içinde gömülmenin gömülme etkilerini azalttığını, düşey titreşimler için ise hendek içinde gömülmenin frekans üzerinde pek etkisi olmadığını ancak sönüm oranını, yerinde gömülmeye oranla, azalttığını belirtmiştir.

Tiedemann (1972), değişik tip beton ve çelik temelleri kumlu ve killi zeminler içinde düşey titreşimler altında test etmiş ve şekilleri değişik olan temeller için prototip modeller üzerinde deneyler yapılması gerektiğini önermiştir.

Erden ve Stokoe (1974, 1975) ve Stokoe ve Erden (1974) laboratuvarında yaklaşık 4 m çapında ve 1.8 m derinliğindeki bir kum havuzu içinde taban şekilleri dairesel, kare ve dikdörtgen (taban uzunluk/genişlik oranı = 2-4) olan değişik ağırlıklardaki betonarme temel modellerini düşey, burulmalı ve birleşik sallanmalı-ötelenmeli titreşimler altında deneylere tâbi tutmuşlardır. Gömülme oranı, $d \leq 1.25$ için elde edilen sonuçlar artan gömülme ile birlikte sistem doğal frekansının ve sönüm oranının arttığı, gömülmenin sisteme olan tesirlerinin en fazla yerinde gömülme durumunda, en az ise hendek içinde gömülme durumunda olduğu, dolgu içinde gömülmenin ise yerinde gömülme durumuna yaklaşık fakat daha az etkili olduğu, düşey ve burulmalı titreşimler için dina-

mik davranışın temel taban şekli tarafından önemli şekilde etkilenmediği ancak temel kütlesi tarafından etkilendiği, sallanmalı-ötelenmeli titreşimler için ise taban şeklinin dinamik davranışı etkilediği, temel kütlesinden ise etkilenmediği şeklinde özetlenmiştir.

Sonuç olarak, gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemlerinin en çok düşey en az ise burulmalı titreşimler altındaki davranışlarının incelendiği, çalışmaların daha çok dairesel taban şekilli temelleri ve kumlu zeminleri kapsadığı, ancak diğer taban şekillerinin de çeşitli araştırmacılar tarafından ele alındığı, zemin ile temel arasındaki bağlantının önemli olduğu, bu nedenle gömülme etkilerinin en fazla yerinde gömülü, en az ise hendek içinde gömülü temelleri içeren sistemlerde görüldüğü söylenebilir.

1.4 SONUÇ

Bu bölümde genel zemin-yapı ilişkilerinin önemi belirtildikten sonra deprem titreşimleri ve zorlanmış titreşimler altındaki zemin-yapı davranışlarını etkileyen parametreler sıralanmış ve bu konularda yapılan araştırmalardan bahsedilmiştir.

Yapı, temel, zemin ve deprem dalgası ile ilgili parametrelerin zemin-yapı ilişkilerine etkileri halen yeterince incelenmemiştir. Diğer taraftan zorlanmış titreşimler altın-

daki zemin-temel ilişkileri ve ilgili parametrelerin etkileri üzerinde nispeten daha detaylı çalışmalar yapılmıştır. Bu nedenlerle bu çalışmada zemin-temel ve zemin-temel-yapı sistemlerinin deprem titreşimleri altındaki davranışları ele alınmış ve ilgili parametrelerin genel sisteme olan etkileri ve birbirleri ile olan ilişkileri incelenmiştir.

2. AMAÇ VE KAPSAM

2.1. AMAÇ

Genel bir zemin-temel-yapı sistemi ele alındığında, dört grup parametrenin sistem davranışını etkilediği görülmektedir. Yapı, temel, zemin ve deprem dalgası ile ilgili bu gruplar sistemin davranışını tek tek etkileyebildiği gibi değişik parametrik birleşimlerin etkileri bireysel etkilerle aynı olmayabilmektedir. Yapıların deprem titreşimleri altındaki davranışlarını hakiki şartlara uygun olarak önkestirebilmek için bu parametrelerin zemin-temel-yapı sistemine etkilerini tek tek ele almak, ayrıca parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini de gözönünde tutmak gerekmektedir.

Yapı ile ilgili olarak yapı doğal periyodu, temel ile ilgili olarak temel boyutları, kütlesi ve zemine gömülme oranı, zemin ile ilgili olarak değişik türlerin özellikleri, deprem dalgası ile ilgili olarak ise depremin frekans muhtevası, maksimum ivmesi ve süresi zemin-temel-yapı sistemlerini etkileyen en önemli parametreler arasında sayılabilir. Bu parametrelerin etkilerini iki veya üç boyutlu analizlerle incelemek mümkündür. Ancak üç boyutlu analizler çok uzun vakit aldığından genellikle iki boyutlu analizler tercih edilen yöntem olmaktadır.

Bahsedilen parametrelerin zemin-temel-yapı ilişkilerine etkilerini incelemek amacıyla bu çalışma ele alınmıştır. Çalışma türü nedeniyle analiz yöntemi olarak sonlu elemanlar metodu seçilmiştir. Bu metod kullanılarak çeşitli parametrelerin zemin-temel-yapı sistemlerinin davranışlarına etkileri iki boyutlu analizlerle elde edilmiştir. İki boyutlu analizler için düzlem şekil değiştirme hali uygulanmıştır.

Ayrıca, analiz boyutunun etkisini inceleyebilmek amacıyla, belirli zemin-temel-yapı sistemlerinin davranışları üç boyutlu analizlerle de incelenmiştir.

Parametrik etkileri incelemek amacıyla kullanılan metod, analiz yöntemi ve çalışma kapsamına alınan parametreler bu bölümde açıklanmaktadır.

2.2. SONLU ELEMANLAR METODU

Sonlu elemanlar metodunun ana prensibi sonsuz bir ortamı belirli sayıda ve şekilde elemanlara bölmek ve elemanların birbirleriyle ilişkilerini belirli sayıda düğümlerle sağlayarak sonsuz bir ortamı nümerik çözümler alınabilecek bir ortam haline getirmektir.

Bu amaçla ilk olarak ortam hayali çizgi veya yüzeylerle bir dizi sonlu elemanlara bölünür. Elemanlar arasındaki bağlar her elemanı sınırlayan çizgi veya yüzey üzerindeki belirli düğümler vasıtasıyla sağlanmaktadır. Bu düğümlerin yer

değiştirmeleri problemin ana bilinmeyenlerini oluşturmaktadır. Bu dögümlerin yer değiştirmelerini içeren fonksiyonlar sayesinde her elemanın yer değiştirme durumu tanımlanabilmektedir. Bu yer değiştirme değerleri, eleman özellikleri ile birlikte ele alındığında elemanın içindeki ve kenarlarındaki gerilme değerleri de hesaplanabilmektedir. Böylece dögümlerden tatbik edilen ve eleman kenarlarındaki gerilmeler ile mevcut olabilecek diğer yük dağılımlarını dengeleyen bir yük sistemi, Denklem (2.1) tipinde tanımlanabilecek rijidite ilişkileri şeklinde oluşabilmektedir.

$$\{F\}^a = [K]^a \{\delta\}^a + \{F\}_p^a + \{F\}_{\epsilon_0}^a \quad (2.1)$$

Burada, $\{F\}^a$ = a elemanın bütün dögümlerindeki yükleri içeren yük vektörü; $[K]^a$ = a elemanın rijidlik matrisi; $\{\delta\}^a$ = a elemanın dögümlerindeki yer değiştirmeleri içeren yer değiştirme vektörü; $\{F\}_p^a$ = a elemanı üzerine tatbik edilmiş yük dağılımlarını dengeleyen ve a elemanın dögümlerine tatbik edilen yük vektörü; ve $\{F\}_{\epsilon_0}^a$ = a elemana başlangıçta tatbik edilmiş olan yer değiştirmeleri, örneğin ısı değişikliğinden doğabilecek yer değiştirmeleri, dengeleyen ve a elemanın dögümlerine tatbik edilen yük vektörüdür. Bu etaptan sonra normal çözüm metodlarına geçilebilmektedir.

Sonlu elemanlar metodunda kullanılabilecek elemanlar düzlem veya uzay elemanları olabilmektedir. Bu çalışmada her

iki tür eleman da kullanılmıştır.

İki boyutlu analizlerde zemin ve temel için düzlem şekil değiştirme hali elemanları, yapı için ise kiriş elemanları, üç boyutlu analizlerde ise sekiz düğümlü kübik uzay elemanları kullanılmıştır. Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilen bu elemanların rijidlik matrisleri Ek 1'de verilmiştir.

Sonlu elemanlar metodunu bilgisayara uygulayabilmek için SAP-IV Programından hareketle Boğaziçi Üniversitesinde geliştirilmiş olan P 2001 programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile dinamik analiz yapan bu program için gerekli girdiler Ek 2'de özetlenmiştir.

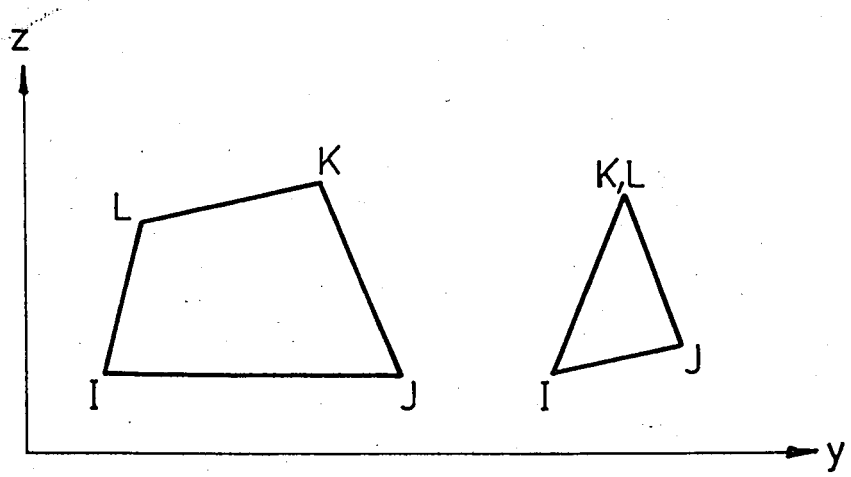
2.3. DİNAMİK ANALİZ

Dinamik yüklere maruz kalan ve sönümü olmayan bir ortamın genel hareketi Denklem (2.2) ile ifade edilmektedir.

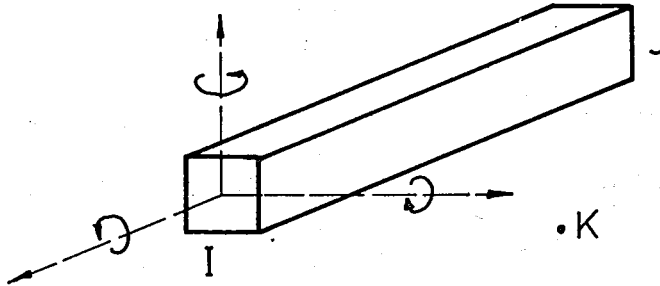
$$[M] \{\ddot{u}\} + [K] \{u\} = \{F(t)\} \quad (2.2)$$

Burada $[M]$ = kütle matrisi, $[K]$ = rijidlik matrisi, $\{\ddot{u}\}$ = ivme vektörü, $\{u\}$ = yer değiştirme vektörü ve $\{F(t)\}$ = tatbik edilen dinamik yük vektörüdür. Doğal titreşimler altında,

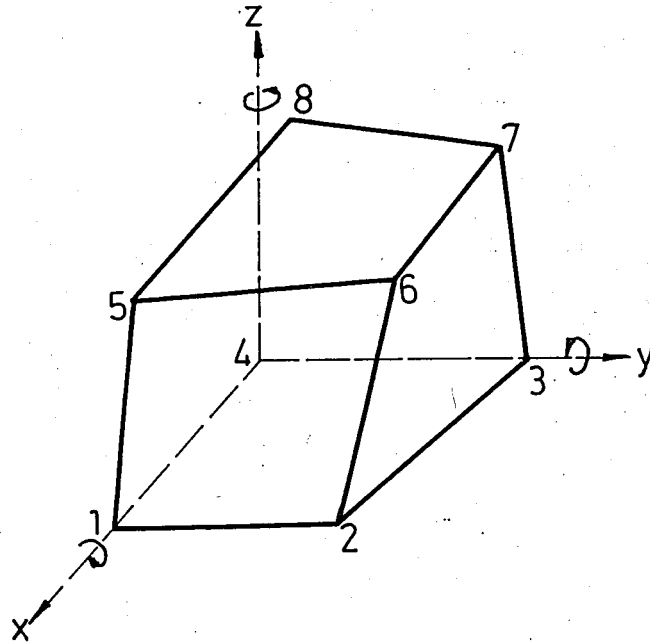
$$\{u\} = \{a\}_n \sin w_n t \quad (2.3a)$$



a) Düzlem Şekil Değişirme Hâli Elemanları



b) Kiriş Elemanları



c) Üç Boyutlu Uzay Elemanları

$$\{\ddot{u}\} = -w_n^2 \{a_n\} \sin w_n t \quad (2.3b)$$

$$\{F(t)\} = 0 \quad (2.3c)$$

olduğundan n modu için Denklem (2.4) elde edilmektedir.

$$([K] - w_n^2 [M]) \{a_n\} = 0 \quad (2.4)$$

Bu denklemde $\{a_n\}$ n modu ile ilgili yer değıştirmeler vektörüdür. Bu değıer sıfır olamayacağından Denklem (2.5) yazılabilmektedir.

$$|[K] - w_n^2 [M]| = 0 \quad (2.5)$$

Bu denklemin kökleri, karesi mod doğal frekansları olan özel değıerler olmaktadır. Her kök için tanımlanan $\{a_n\}$ özel vektör çözümü ilgili modun şeklini tanımlamaktadır.

İki ayrı n ve m modlarına tekabül eden herhangi bir kök için Denklem (2.4) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$w_n^2 [M] \{a_n\} = [K] \{a_n\} \quad (2.6a)$$

$$w_m^2 [M] \{a_m\} = [K] \{a_m\} \quad (2.6b)$$

Bu denklemleri, Denklem (2.7) şekline indirmek ve $w_n \neq w_m$

olduğuna göre, Denklem (2.8)'i yazarak ortogonalite şartının sağlandığını göstermek mümkündür.

$$(w_n^2 - w_m^2) \{a_n\}^T [M] \{a_m\} = 0 \quad (2.7)$$

$$\{a_n\}^T [M] \{a_m\} = 0 \quad (2.8)$$

Burada $\{a_n\}^T$ vektörü, $\{a_n\}$ vektörünün transpozudur.

Mod ile ilgili yer değiştirmeler herhangi bir değer alabileceğine göre, Denklem (2.9)'u tatmin edecek şekilde, $\{a_n\}$ yerine $\{\phi_n'\}$ kullanarak özel vektörü normalize etmek mümkündür.

$$\{\phi_n'\} [M] \{\phi_n'\} = 1 \quad (2.9)$$

Burada $n = m$ kabul edildiğinden, bu nedenle $w_n^2 - w_m^2 = 0$ olacağından kalan terimler için herhangi bir değer kullanmanın sakıncası olmamaktadır. Böylece n modu için Denklem (2.4) aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir.

$$[K] \{\phi_n'\} = w_n^2 [M] \{\phi_n'\} \quad (2.10)$$

Normalize olmuş bütün özel vektörleri içeren $[\Phi']$ matrisi tanımlanarak, bütün modları içeren Denklem (2.11) yazılabılır.

$$[K][\Phi'] = [M][\Phi'] \cdot [w_n^2] \quad (2.11)$$

Burada $[w_n^2]$ bütün özel değerleri içeren bir matristir. Denklem (2.11)'in her iki tarafını da $[\Phi']$ matrisinin transpozu ile çarparak ve $[\Phi']^T [M] [\Phi']$ birleşiminin birim diagonal matris olduğunu bilerek Denklem (2.12)'i yazmak mümkündür:

$$[\Phi']^T [K] [\Phi'] = [w_n^2] \quad (2.12)$$

Denklem (2.2)'de kullanılan $\{\ddot{u}\}$ ve $\{u\}$ vektörlerini aşağıdaki gibi tanımlamak mümkündür:

$$\{\ddot{u}\} = [\Phi'] \cdot \{\ddot{A}_n\} \quad (2.13a)$$

$$\{u\} = [\Phi'] \cdot \{A_n\} \quad (2.13b)$$

Burada A_n mod genliği olup, Denklem (2.13) hakiki mod yer değiştirmelerinin özel yer değiştirme matrisi ile mod genliğinin çarpımına eşit olduğunu ifade etmektedir. Mod genliği tepki çözümleriyle elde edilebilmektedir. Bir dizi değiştirmeler sonucu mod hareketleri için Denklem (2.14) elde edilebilmektedir.

$$\{\ddot{A}_n\} + [w_n^2] \{A_n\} = [\Phi']^T \{F(t)\} \quad (2.14)$$

Modların üst üste birleştirilmesiyle de hakiki yer

değiştirme Denklem (2.15)'deki şekilde bulunabilmektedir.

$$\{u(t)\} = [\Phi'] \{A_n(t)\} \quad (2.15)$$

Sistemde sönüm olduğu zaman sönüm matrisi [C] ve hız vektörü $\{\dot{u}\}$ ilâvesiyle genel hareket denklemi aşağıdaki şekli almaktadır.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (2.16)$$

Hız vektörü $\{\dot{u}\}$, Denklem (2.17)'deki gibi tanımlanıp aynı dizi işlemlerden geçilirse mod hareketleri Denklem (2.18) şeklini almaktadır.

$$\{\dot{u}\} = [\Phi'] \{\dot{A}_n\} \quad (2.17)$$

$$\{\ddot{A}_n\} + [\Phi']^T [C] [\Phi'] \{\dot{A}_n\} + [w_n^2] \{A_n\} = [\Phi']^T \{F(t)\} \quad (2.18)$$

Burada $A_n = 2w_n c_n$, c_n ise n modu için hakiki sönümün kritik sönüme olan oranı olmaktadır. Böylece tüm sönüm katsayıları Denklem (2.19) ile tanımlanabilmektedir.

$$[\Phi']^T [C] [\Phi'] = [2w_n c_n] \quad (2.19)$$

Deprem anında olduğu gibi sistemin dayanak ortamı hareket ettiğinde genel mod denklemi, $\{F(t)\}$ yerine $-\ddot{u}_d(t)\{M\}$

kullanılarak tanımlanabilmektedir.

$$\{\ddot{A}_n\} + [2w_n c_n] \{\dot{A}_n\} + [w_n^2] \{A_n\} = -\ddot{u}_d(t) [\Phi']^T \{M\} \quad (2.20)$$

Burada \ddot{u}_d dayanak ortamının ivmesi, A_n ise sistemin dayanağa göre relatif hareketidir. Relatif yer değiştirme ise Denklem (2.21) ile tanımlanabilmektedir.

$$\{u_r(t)\} = [\Phi'] \{T_n' u_n^0(t)\} \quad (2.21)$$

Burada u_r = relatif yer değiştirme, T_n' = mod katılma katsayısı ve u_n^0 = frekansı w_n olan tek dereceli bir sistemin tepkisidir.

Dinamik analizleri yapmak için kullanılan P 2001 sonlu elemanlar metodu bilgisayar programında önce sistemin mod şekilleri ve her mod için doğal perdoylar hesaplanmakta, sonra dinamik hareket denklemleri çözülerek her düğümün zaman içinde yer değiştirme değerleri bulunmaktadır.

2.4. INCELENEN PARAMETRELER

Dinamik zemin-yapı ilişkilerini etkileyen dört ana grup parametreden ve bu parametrelerin önemlerinden daha önce bahsedilmişti. Yapı, temel, zemin ve deprem dalgası ile ilgili bu grupları oluşturan parametrelerin ne şekilde çalışmaya

dahil edildiği bu kısımda ele alınmıştır.

A. Deprem Dalgası ile ilgili Parametreler

Genel bir deprem hareketi dört büyük özellikten oluşmaktadır. Bunlar;

- (a) maksimum ivme
- (b) frekans muhtevası
- (c) deprem süresi
- (d) hareket zarfının şekli

olarak tanımlanabilir. Bu özelliklerden relatif önemi en yüksek olan frekans muhtevasıdır. Titreşimlerin doğal periyodunu içeren frekans muhtevası tabankayası üzerindeki zeminin ve dolayısıyla zemin-temel-yapı sisteminin hareketlerini önemli şekilde etkilemektedir. Bu nedenle deprem hareketiyle ilgili en önemli parametre olarak deprem titreşimleri doğal periyodu çalışma kapsamı içine alınmıştır.

Doğal periyodun etkisini incelemek üzere kayıtları mevcut bir deprem yüklemesi kullanmaktansa periyodları değiştirelebilinecek sinusoidal bir hareket vermek parametrik analiz açısından daha yararlı görülmüştür. Bu nedenle aşağıda belirtilen üç tipik değer seçilmiştir:

<u>Deprem Türü</u>	<u>Deprem Titreşimleri Doğal Peryodu (sn)</u>
A	0.2
B	0.6
C	1.2

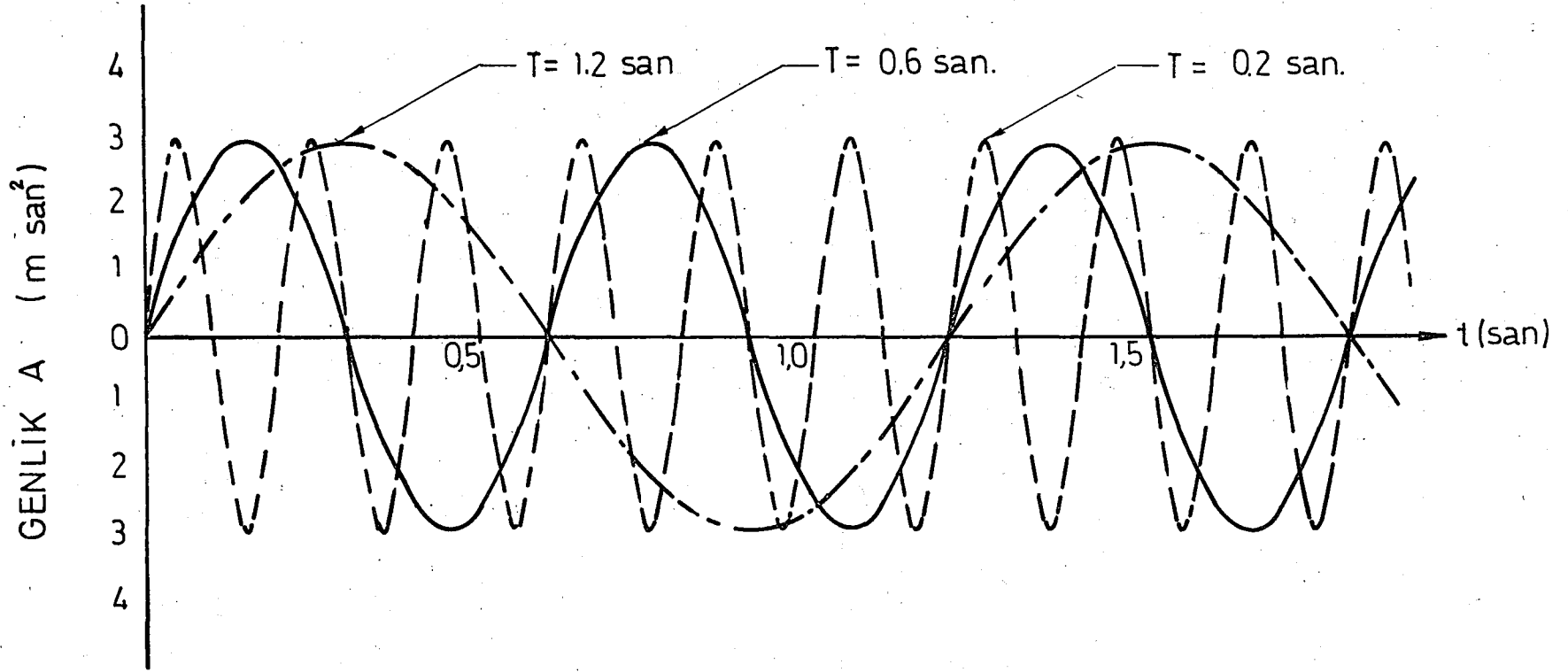
Belirtilen periyodlu sinosoidal hareket süresinin etkisini incelemek üzere deprem süreleri, periyodun 5, 10 ve 15 katı olarak alınmış ve her süre için hesaplanan tepkiler karşılaştırılmıştır. Maksimum ivme olarak ise 0.3 g (g= yer çekimi ivmesi) değeri kabul edilmiştir.

Parametrik analiz açısından sabit genlikli sinosoidal bir hareket seçildiğinden, hareket zarfını oluşturan hareketlerin yükselme süresi, maksimum ivmenin etkili olduğu süre ve hareketlerin sönüm süresi ortadan kaybolmuş, seçilen maksimum ivme değeri deprem süresince hareket zarfını oluşturmuştur (Şekil 2.2).

Deprem hareketi tabankayasına yatay olarak verilmiştir.

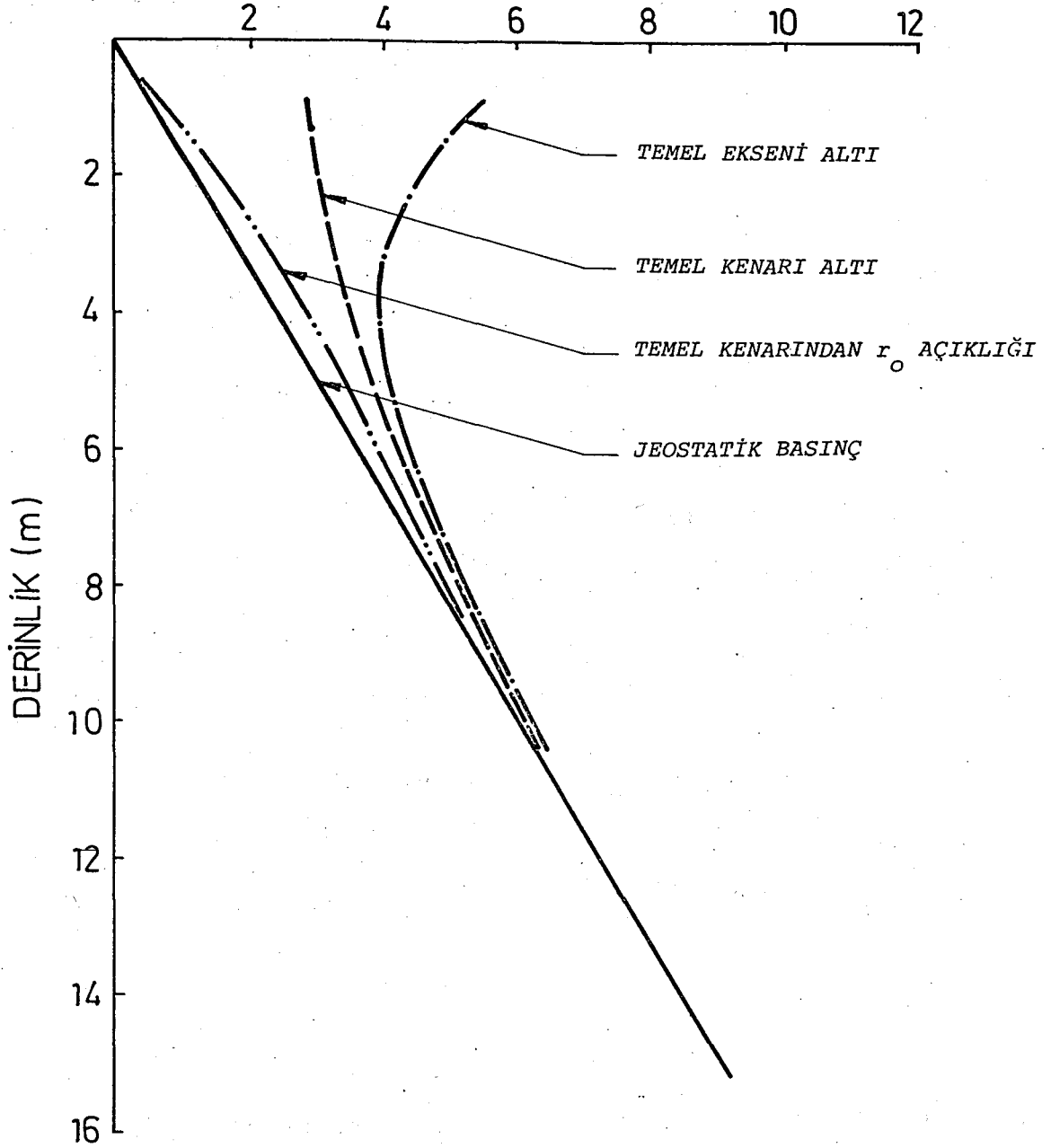
B. Zemin İle İlgili Parametreler

Dinamik zemin davranışını etkileyen en önemli parametreye zemin kayma modülüdür. Zemin kayma modülü ise çeşitli parametreler tarafından etkilenmektedir. Bunlar arasında zemin birim ağırlığı, boşluk oranı ve efektif çevre basıncı, suya doygunluk derecesi, gerilme ve titreşim geçmişi, dane özel-



Şekil 2.2 KULLANILAN DEPREM TİTREŞİMLERİ TÖRLERİ.

EFEKTİF ÇEVRE BASINCI, $\bar{\sigma}_o$ (t/m²)



Şekil 2.3 TİPİK BİR " $\bar{\sigma}_o$ - derinlik" EĞRİSİ.

Değişik niteliklerdeki kumlu ve killi zeminleri simgelemek üzere üç ayrı zemin türü seçilmiştir. Ana özellikleri aşağıda özetlenen bu türlerden A türü gevşek kumlu veya orta

ZEMİN TÜRÜ	Birim Ağırlık γ (t/m ²)	Poisson Oranı ν	Boşluk Oranı e
A	1.6	0.48	1.00
B	1.9	0.40	0.75
C	2.2	0.30	0.50

sertlikte killi bir zemini, B türü orta sıklıkta kumlu veya sert killi bir zemini, C türü ise sıkı kumlu bir zemini simgelemektedirler. Zemin türleriyle ilgili sonuçların takdiminde niteliksel özellikleri vurgulayabilmek amacıyla;

- A türü zemin için "Gevşek Zemin"
- B türü zemin için "Orta Zemin"
- C türü zemin için ise "Sıkı Zemin"

tâbirleri kullanılmıştır.

Her üç zemin türü için derinlikle değişen tabakaların gerekli özellikleri, örneğin kayma ve elâstik modül değerleri hesaplanmış ve çalışmaya hakikî şartlara uygun şekilde dahil edilmişlerdir.

C. Temel ile ilgili Parametreler

Dinamik temel davranışını etkileyen önemli parametreler

- (a) Temel Boyutları
- (b) Temel Kütlesi
- (c) Temelin Zemine Gömülme Derinliği

şeklinde sıralanabilir. Bu parametrelerin her üçü de çalışma kapsamına alınmıştır.

Temel boyutları olarak ele alınan parametre temel taban şekli olmuştur. Pratikte en çok kullanılan taban şekli dikdörtgen şekil olduğundan, çalışmada bu şekil kullanılmış ancak dikdörtgenin uzunluk/genişlik oranları, alan eşit kalmak suretiyle, değiştirilmiştir. Kullanılan uzunluk/genişlik oranları aşağıda sıralanmıştır.

<u>Taban Türü</u>	<u>Uzunluk/Genişlik Oranı</u>
A	1
B	2
C	4
D	8

Çalışma kapsamına alınacak temel kütlelerini tayin edebilmek amacıyla Lysmer (1965) tarafından düşey titreşimler için önerilen ve o zamandan beri temelleri niteliyen boyutsuz bir parametre olarak başarıyla kullanılan temel kütle

oranı, B_z , parametresinin kullanılması faydalı görülmüştür. Düşey titreşimler için boyutsuz kütle oranı, B_z , Denklem (2.24) ile tanımlanmaktadır.

$$B_z = \frac{1 - \nu}{4} \frac{m}{\rho r_0^3} \quad (2.24)$$

Burada ν = Zemin Poisson oranı, m = temel kütlesi, ρ = zemin kütle yoğunluğu ve r_0 = temel yarıçapıdır. Taban şekli dik-dörtgen olan temelleri düşey ve yatay titreşimler için eşdeğer dairesel tabanlı temel haline dönüştürebilmek için eşit-taban-alanı prensibinden hareketle Denklem (2.25) kullanılmaktadır.

$$r_0 = \sqrt{\frac{ab}{\pi}} \quad (2.25)$$

Burada a = taban uzunluğu ve b = taban genişliğidir. Bu çalışmada $r_0 = 2$ m olarak alınmış ve kullanılan taban uzunluk/genişlik oranları için a ve b boyutları hesaplanmıştır. Temel kütle oranı, B_z , değerleri ise aşağıdaki şekilde seçilmiştir.

<u>Kütle Türü</u>	<u>Kütle Oranı, B_z</u>
A	0.5
B	1.0
C	1.5

Temelin zemine gömülme derinliği de sistemin dinamik davranışını etkileyen önemli bir parametredir. Gömülme derinliğini boyutsuz bir şekilde tanımlamak amacıyla Denklem (2.26) ile verilen gömülme oranı, d , parametresi kullanılmıştır.

$$d = h/r_0 \quad (2.26)$$

Burada h = temelin zemine gömülme derinliğidir.

Çalışma kapsamına alınan zemin-temel sistemleri için $d = 0.0$ (yüzeysel temelli sistemler) ve $d = 1.0$ (gömülü temelli sistemler) değerleri kullanılmış ve böylece gömülmenin etkisi incelenmiştir.

D. Yapı ile İlgili Parametreler

Yapı özelliklerinin dinamik zemin-yapı ilişkilerine etkilerini incelemek üzere kullanılacak parametre olarak yapı doğal titreşim periyodu seçilmiştir. Çeşitli yapı yüksekliklerini simgelemek amacıyla üç ayrı doğal periyod değeri seçilmiştir. Kapsama alınan ve alçak, orta ve yüksek yapıları simgeleyen doğal periyod değerleri aşağıda verilmiştir:

<u>Yapı Türü</u>	<u>Yapı Doğal Titreşim Periyodu (san)</u>
A	0.1
B	0.6
C	1.5

2.5. ÖZET

Çalışmanın başlıca amacı, zemin-temel-yapı ilişkilerinde çeşitli parametrelerin etkilerini incelemek olmuştur. Ayrıca analiz boyutlarının etkilerini de incelemek amacıyla iki ve üç boyutlu analiz yöntemleri kullanılmıştır. Dinamik analizler sonlu elemanlar metodu ile yapılmıştır.

Ele alınan parametreler, deprem hareketi ile ilgili olarak titreşimlerin doğal periyodu ve deprem süresi, zemin ile ilgili olarak çeşitli zemin türleri ve derinlikle değişen özellikleri, temel ile ilgili olarak taban uzunluk/genişlik oranı, kütle ve zemine gömülme oranı, yapı ile ilgili olarak ise yapı doğal periyodu olmuştur.

3. KULLANILAN MATEMATİKSEL MODELLER

3.1. GENEL

Zemin, temel ve yapı ortamlarını hakiki şartlara uygun şekilde tanımlayabilmek amacıyla, kullanılan sonlu elemanlar ağının değişik ortam özelliklerini içerebilecek biçimde olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca değişik boyutlardaki temelleri içeren sistemlerde sonlu elemanlar ağlarının her tür temel için eşdeğer orantılarda olmasına önem verilmiştir. Bu amaçla gerek yüzeysel gerekse gömülü temelleri içeren zemin-temel-yapı sistemleri ağları için eşdeğer yarıçap, r_0 , esas alınmış ve zemin sonlu elemanlar ağı boyutları bu esasa tasarlanmıştır.

Dairesel bir temelin zemin içindeki etki sahasının düşey olarak $4r_0$ derinliğine, yatay olarak ise temel kenarlarından r_0 açıklığına kadar uzandığı genellikle kabul edilmektedir. Ancak bu çalışmada sınır şartlarının etkilerinden kaçınmak için bu boyutlar genişletilmiş ve zemin için kullanılan sonlu elemanlar ağı düşey olarak $10r_0$ derinliğe, yatay olarak ise temel kenarından en az $6r_0$ uzaklığa kadar uzatılmıştır.

Çalışma kapsamındaki zemin-temel-yapı sistemleri için kullanılan sonlu elemanlar ağları bu bölümde anlatılmaktadır.

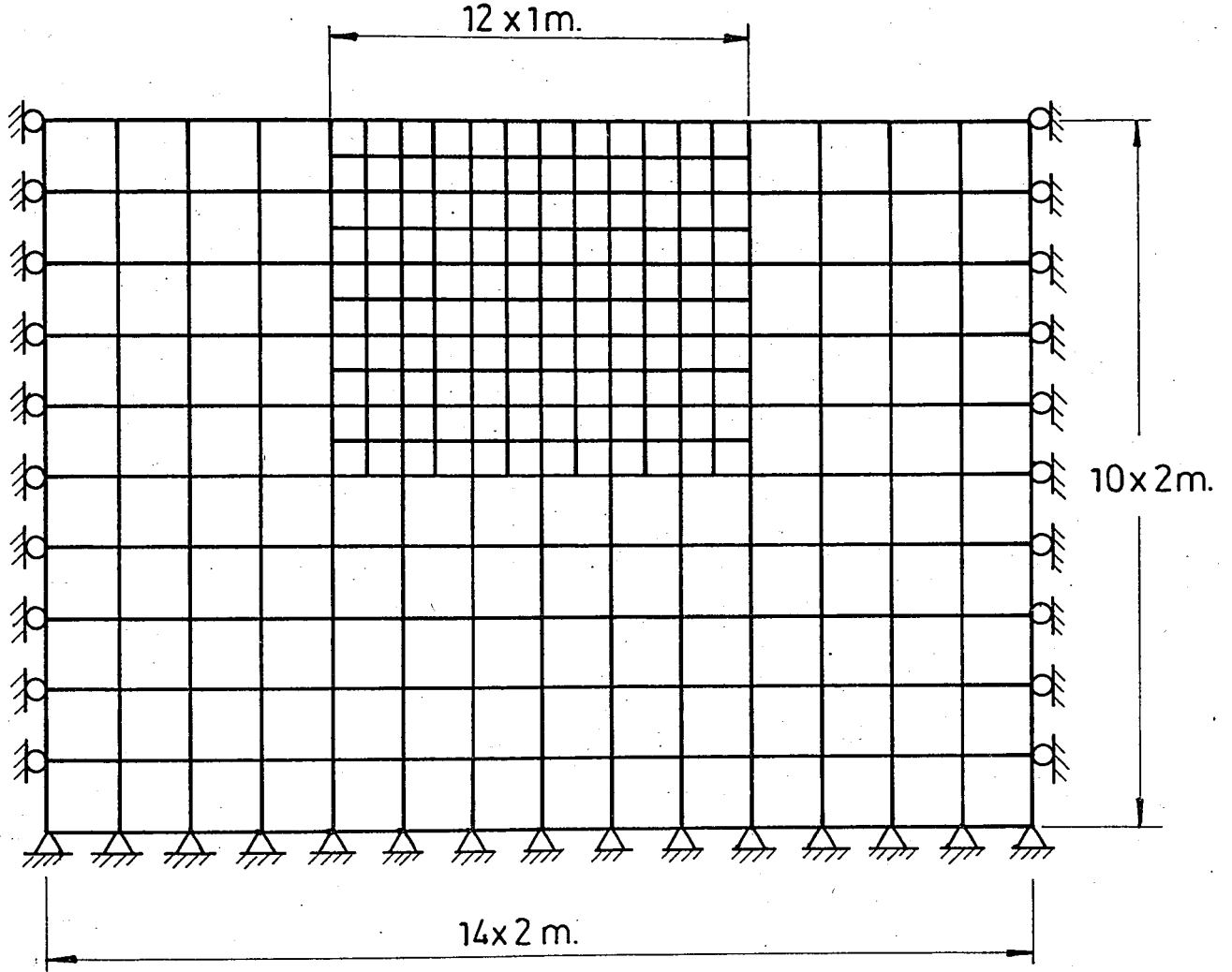
3.2. YOZEYSEL TEMELLİ ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİ İÇİN İKİ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI

İki boyutlu sonlu elemanlar ağı düzlem şekil değiştirme hâli elemanları kullanılarak oluşturulmuştur. Eleman şekli genellikle kare olmuş, ancak bazı özel durumlarda birkaç tane üçgen ve dikdörtgen eleman da kullanılmıştır.

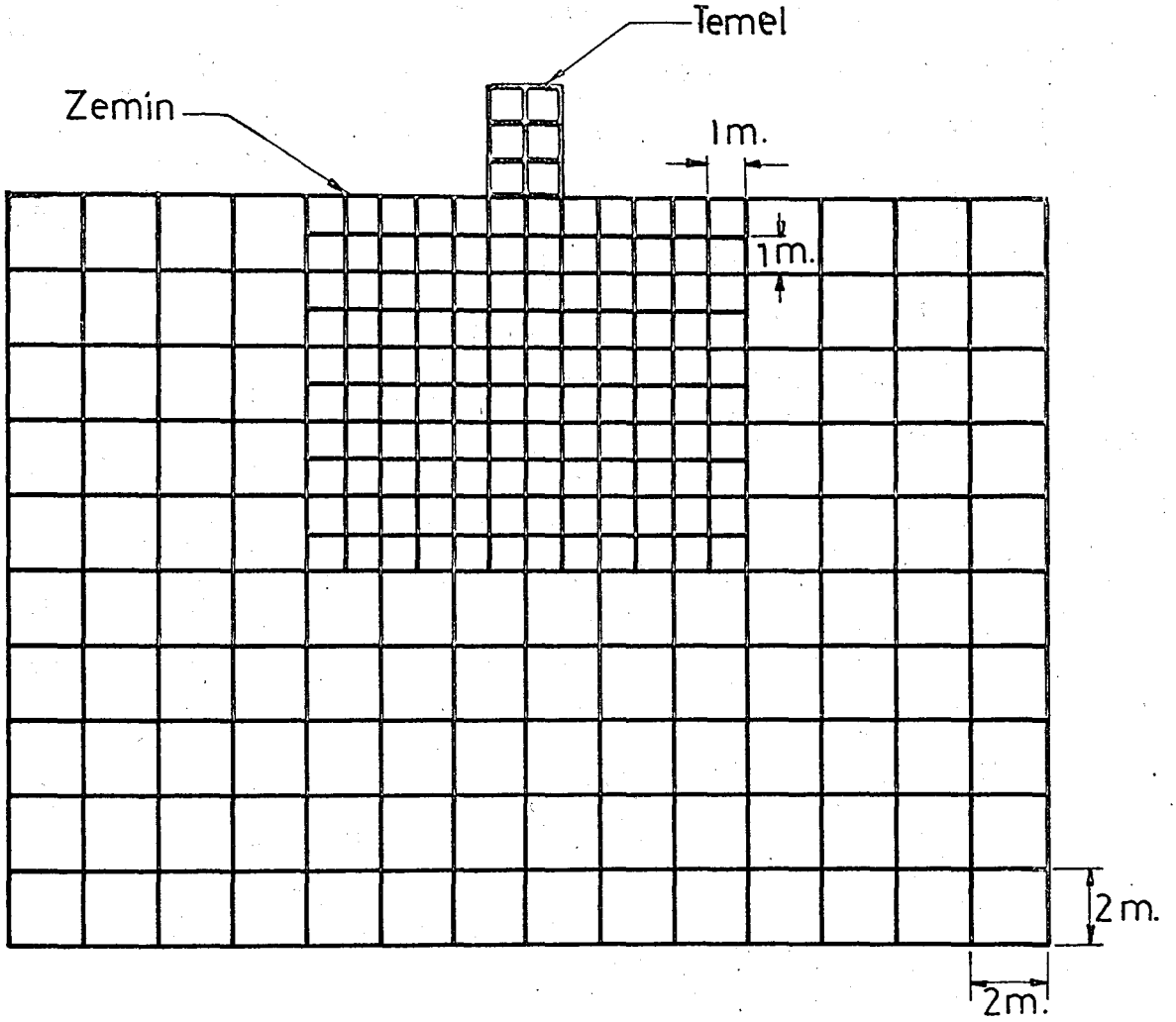
Kapsamdaki en geniş temel taban boyutları için bir önceki kısımda bahsedilen prensiple hesaplanan zemin ağı boyutları temel genişliği azaldıkça değiştirilmemiş ve böylece zemin ağı, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, tüm temel türleri için emniyetli bir şekilde $14r_0$ genişliğinde, $10r_0$ derinliğinde alınmıştır.

Temel etki sahasından uzak olan yerlerde sonlu eleman boyutları kenarı r_0 olan kare şeklinde alınmış, temelden dolayı zeminde meydana gelen gerilmelerin yoğunlaştığı ve daha hassas analizlerin gerektiği alanlarda ise sonlu eleman boyutları yarıyarıya küçültülmüş ve temel etki sahası daha detaylı bir analize tâbi tutulmuştur.

Temeller için kullanılan sonlu elemanlar ağının da mümkün olduğu kadar kareye yakın dikdörtgenlerden oluşmasına dikkat edilmiştir. Temel ağı zemin ağının üstüne yerleştirilirken temel eksenini ile zemin eksenini çakıştırılmıştır. Tipik bir zemin-temel sistemi Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 ZEMİN İÇİN KULLANILAN 2-BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI.



Şekil 3.2 ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ İÇİN KULLANILAN TİPİK BİR 2-BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI (yüzeysel temelli sistemler).

Sonlu elemanlar metodunun avantajlarından biri de her eleman için ayrı malzeme özellikleri tanımlanabilmesindedir. Çalışmada kullanılan zemin-temel sistemlerinde malzeme özelliklerinin hakiki şartlara uygun olmasına özen gösterilmiş ve bu amaçla 42 adet malzeme tanımı yapılmıştır. Bunlardan 41'i zemin, biri ise temel betonu için kullanılmıştır. Her bir malzeme birim ağırlık, γ , elâstik modül, E , kayma modülü, G , ve Poisson oranı, ν , ile tanımlanmaktadır. Şekil 3.3'de yüzey temelleri içeren zemin-temel sistemleri için kullanılan ağda değişen eleman özelliklerinin (malzeme türlerinin) dağılımı gösterilmektedir. Eleman özellikleri kapsama alınan her üç zemin türü için ayrı ayrı hesaplanmış ve bulunan değerler ilgili sistemlerde kullanılmıştır. Bu değerlerin listesi Ek 3'de verilmiştir.

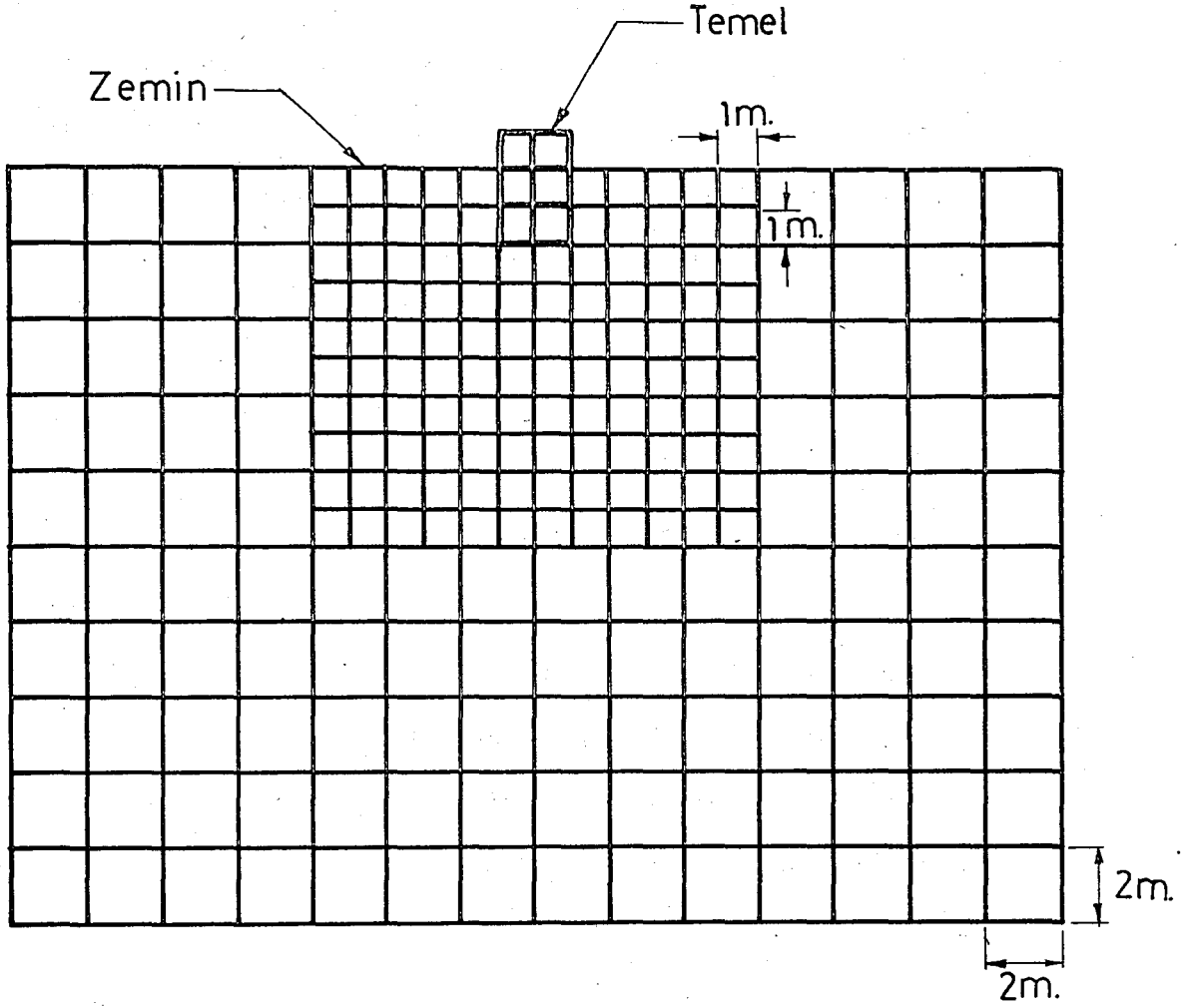
3.3 GÖMÜLÜ TEMELLİ ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİ İÇİN İKİ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI

Yüzeysel temelleri içeren zemin-temel ilişkileri analizleri ile gömülü temelleri içeren zemin-temel ilişkileri analizleri arasında uyumluluk sağlamak amacıyla Şekil 3.1'de gösterilen zemin ağı, gömülü temelli sistemler için de kullanılmıştır. Düzlem şekil değiştirme hâli elemanları kullanılarak oluşturulan tipik bir zemin-temel sistemi ağı Şekil 3.4'de gösterilmektedir.

				42				
10	20	35	28	35	20			10
	19	41	34	27	34	41	19	
9	18	40	33	26	33	40	18	9
	17	39	32	25	32	39	17	
8	16	38	31	24	31	38	16	8
	15	37	30	23	30	37	15	
7	14	36	29	22	29	36	14	7
	13			21			13	
6				12				6
				11				
				5				
				4				
				3				
				2				
				1				

Not: Rakkamlar ilgili bölgedeki elemanların malzeme türlerini tanımlamaktadır.

Şekil 3.3 ZEMİN-TEMEL SİSTEMİNDEKİ ELEMAN ÖZELLİKLERİNİN (MALZEME TÜRLERİNİN) DAĞILIMI (yüzeysel temelli sistemler).



Şekil 3.4 ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ İÇİN KULLANILAN TİPİK BİR 2-BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI (gömülü temelli sistemler).

Zemin özelliklerini hakiki şartlara uygun olarak tanımlayabilmek için zemin elemanları derinlikle ve temel kenarından yatay olarak uzaklaştıkça değişen 35 ayrı malzeme türüne ayrılmıştır. Gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemleri için kullanılan ağda değişen eleman özelliklerinin dağılımı Şekil 3.5'de verilmiştir. Her üç zemin türü için hesaplanan eleman özellikleri ise Ek 3'de listelenmiştir.

3.4. YAPIYI İÇEREN SİSTEMLER İÇİN KULLANILAN İKİ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI

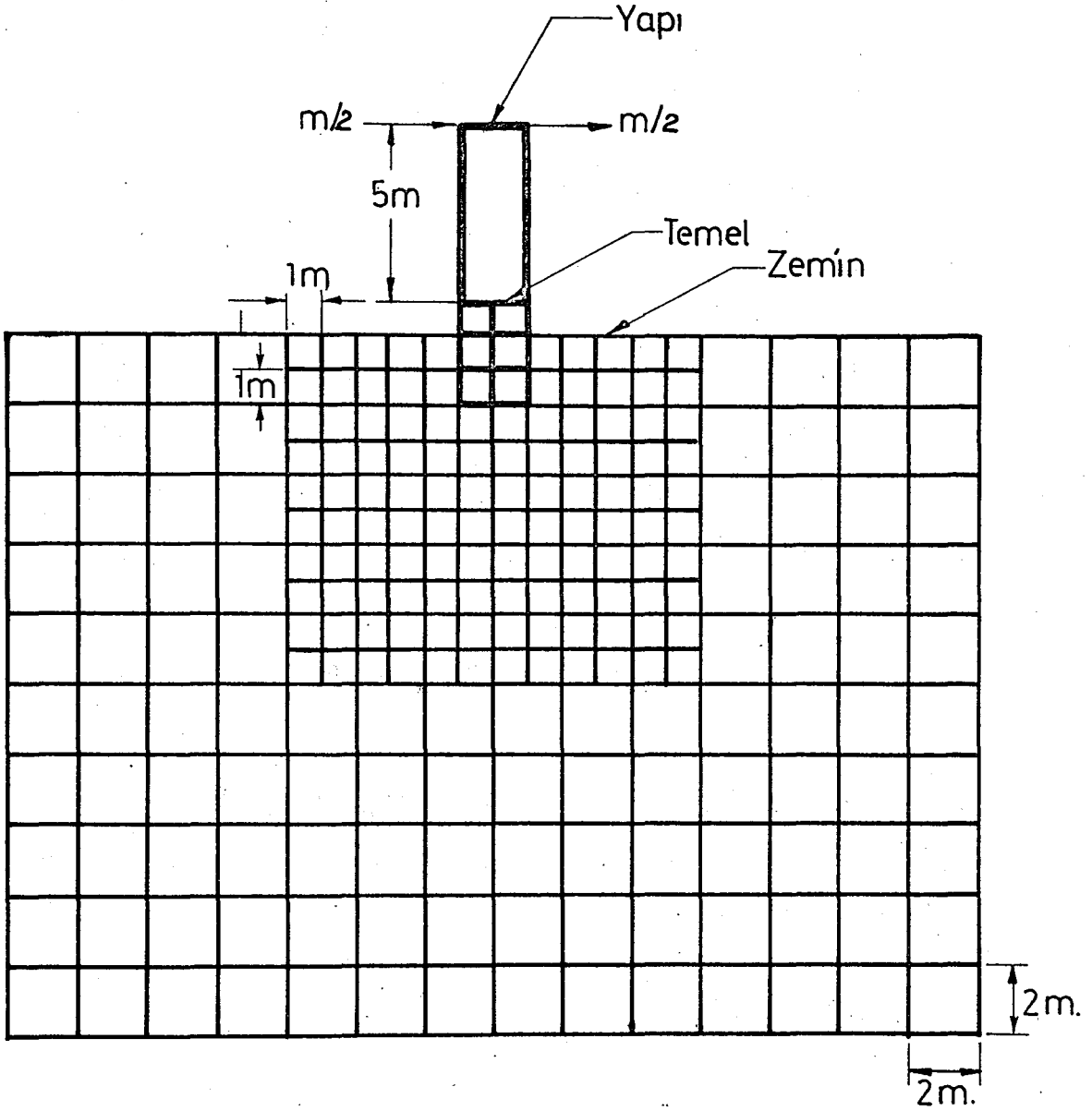
Yapı sistemi kiriş sonlu elemanları ile oluşturulmuştur. Temele iliştirilmiş iki adet düşey kiriş elemanı ve bu düşey kirişlerin üstüne iliştirilmiş bir adet yatay kiriş elemanı yapı-temel sistemini oluşturmuştur. Bu sistemin zemin ağı ile birleşmesinden de zemin-temel-yapı sistemi sonlu elemanlar ağı, Şekil 3.6'da gösterildiği şekilde, ortaya çıkmıştır.

Düşey kirişlerin atalet momentleri kullanılan üç ayrı doğal yapı periyoduna tekabül edecek şekilde hesaplanmış, yatay kirişin atalet momenti ise rijitliği sağlamak amacıyla, düşey kirişlerin beş katı olarak alınmıştır. Kullanılan periyodlara tekabül eden atalet momentleri Denklem (3.1) ile hesaplanmıştır:

10	20		36	20		10	
	19			19			
9	18	31	26	31	18	9	
	17	35	30	25	30		35	17
8	16	34	29	24	29	31	16
	15	33	28	23	28	33	15
7	14	32	27	22	27	32	14
	13		21	13		7	
6			12				6
			11				
5							
4							
3							
2							
1							

Not: Rakkamlar ilgili bölgedeki elemanların malzeme türlerini tanımlamaktadır.

Şekil 3.5 ZEMİN-TEMEL SİSTEMİNDEKİ ELEMAN ÖZELLİKLERİNİN (MALZEME TÜRLERİNİN) DAĞILIMI (gömülü temelli sistemler).



Şekil 3.6 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ İÇİN KULLANILAN TİPİK BİR 2-BOYUTLU SONLU ELEMANLAR AĞI.

$$T = 2\pi/w \quad (3.1a)$$

$$T = 2\pi\sqrt{m/k} \quad (3.1b)$$

$$T = 2\sqrt{\frac{m}{(2)\left(\frac{12E}{H^3}\right)(I)}} \quad (3.1c)$$

$$I = \frac{mH^3 \pi^2}{6ET^2} \quad (3.1d)$$

Burada, T= peryod, m= yapı kütlesi; k= rijidlik katsayısı; E= elâstik modül; H= yükseklik; ve I= atalet momentidir. Böylece önce T= 0.1, 0.6 ve 1.5 değerleri için m ve H cinsinden I tanımlanmış, sonra belirli m ve H değerleri varsayılarak I değeri hesaplanmıştır. Düşey kiriş elemanları için varsayılan ve hesaplanan değerler şöyledir:

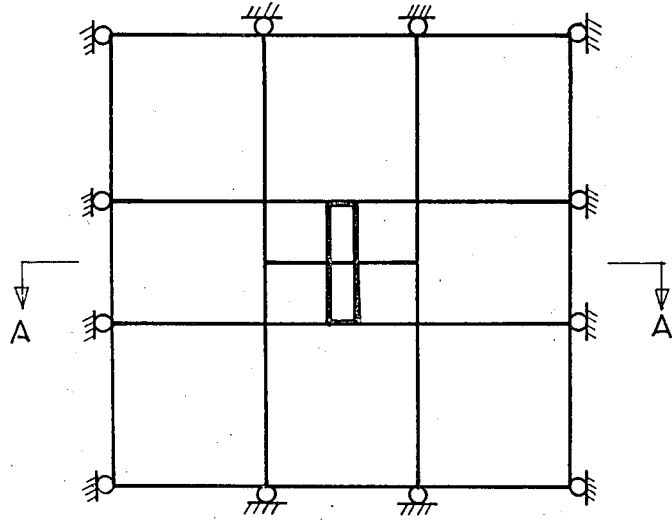
Yapı Doğal Peryodu, T (san)	Yükseklik H (m)	Kütle, m (t-san ² (m))	Elâstik Modül, E (t/m ²)	Atalet Momenti, I (m ⁴)
0.1	5.0	10.0	2.1x10 ⁶	0.0979
0.6	5.0	10.0	2.1x10 ⁶	0.00272
1.5	5.0	10.0	2.1x10 ⁶	0.000435

Yapıyı oluşturan kiriş elemanları ağırlıksız olarak alınmış, istenilen doğal yapı peryodunu sağlayan kütle miktarı, m, ise, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, yapı elemanlarının üst düğümlerine tatbik edilmiştir.

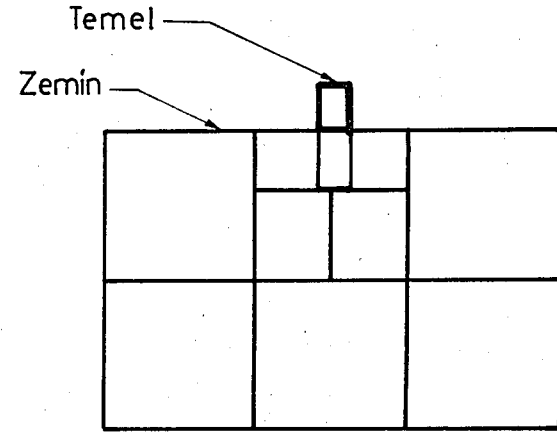
3.5. ÜÇ BOYUTLU SİSTEMLER İÇİN KULLANILAN SONLU ELEMANLAR AĞI

Üç boyutlu analizler bilgisayarda çok uzun hesaplama zamanı almaktadırlar. Eleman ve düğüm adedinin artması ile hesaplama zamanı geometrik olarak artmakta, örneğin sonlu elemanlar ağına birkaç elemanın ilâvesi hesaplama zamanını 10'lar mertebesinde çoğaltmaktadır. Bu nedenle iki boyutlu analizlerde kullanılan eleman boyutlarının büyütülmesi ve böylece eleman ve düğüm adedinin azaltılması gerekmiştir. Ancak iki boyutlu analizlerde kullanılan genel ağ boyutları önemli şekilde değiştirilmemiştir. Zemin için kullanılan sonlu elemanlar ağının genişliği $15r_0$, derinliği ise $10r_0$ olarak, temeller için kullanılan sonlu elemanlar ağının boyutları ise iki boyutlu analizlerdeki boyutlara eşit olarak alınmıştır. Her ne kadar eleman boyutlarının büyüklüğü iki boyutlu analizlerde elde edilen hassasiyeti biraz önlemişse de, karşılaştırmalar relatif olarak yapıldığından bu problem ortadan kalkmıştır.

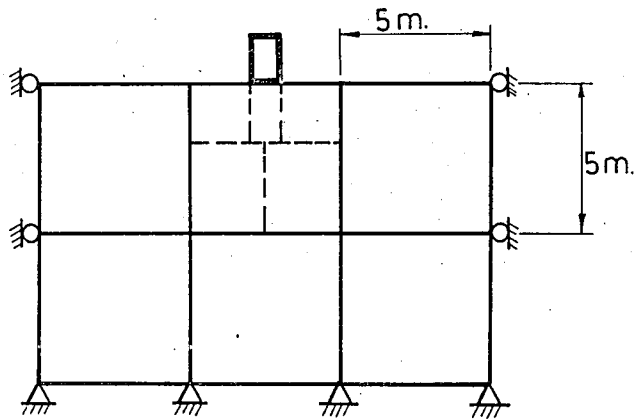
Üç boyutlu analizlerde kullanılan tipik bir sonlu elemanlar ağı Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Zemin özelliklerini hakiki şartlara uygun şekilde tanımlayabilmek için temel tabanından yatay ve düşey uzaklıkla değişen beş ayrı eleman özelliği kullanılmıştır. Eleman özelliklerinin dağılımı Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Her zemin türü için hesaplanan ve modelde kullanılan özellikler ise Ek 3'de verilmiştir.



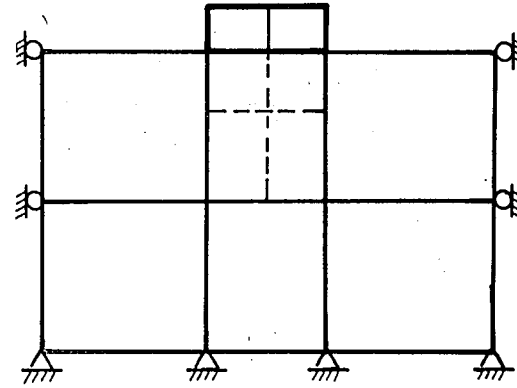
ÜST GÖRÜNÜŞ



A-A KESİTİ

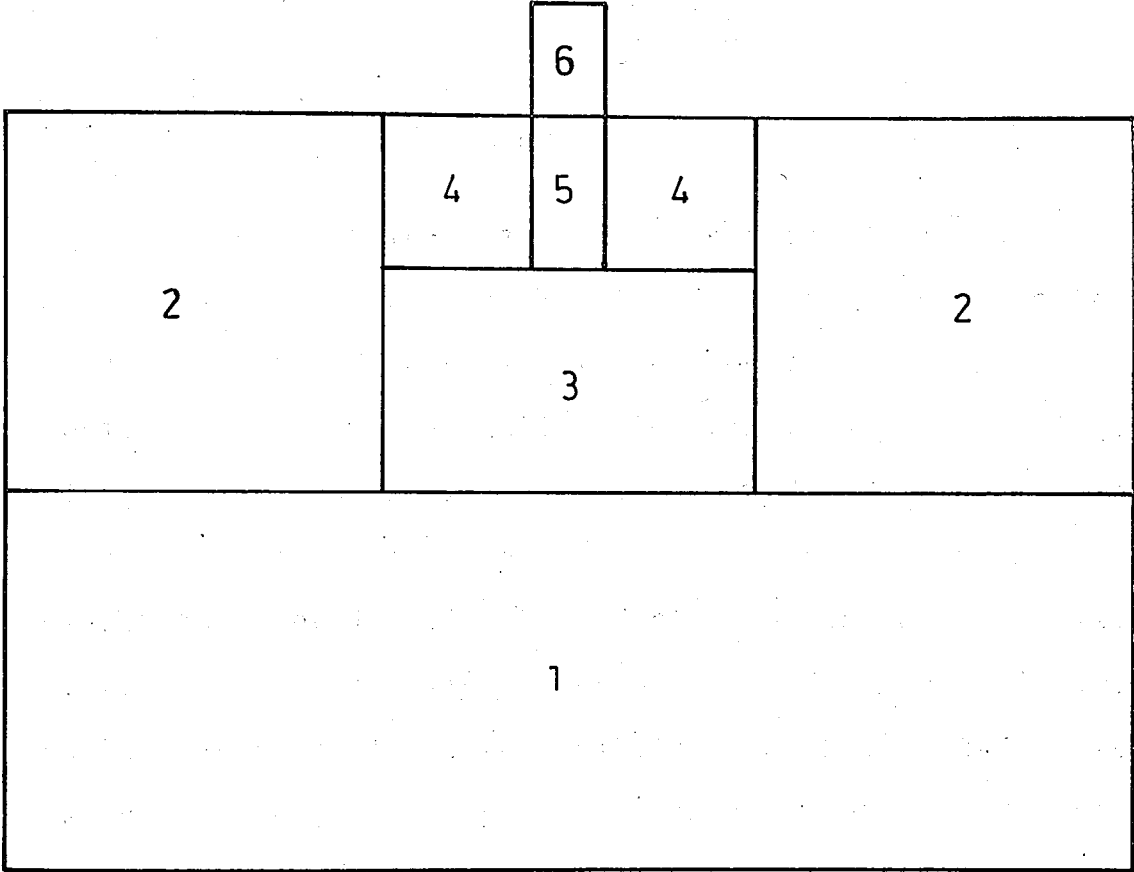


ÖN GÖRÜNÜŞ



YAN GÖRÜNÜŞ

Şekil 3.7 OÇ BOYUTLU ANALİZLERDE KULLANILAN TİPİK BİR SONLU ELEMANLAR AĞI.



Not: Rakamlar ilgili bölgedeki elemanların malzeme türlerini tanımlamaktadır.

Şekil 3.8 ÜÇ BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDEKİ ELEMAN ÖZELLİKLERİNİN (MALZEME TÜRLERİNİN) DAĞILIMI - Şekil 3.7'deki A-A kesitine göre.

Sekiz düğümlü kübik uzay elemanları kullanarak yapılan üç boyutlu analizler yüzeysel temelleri içeren zemin-temel sistemleri için elde edilmiş ve sonuçlar iki boyutlu analizlerle elde edilen çözümlerle karşılaştırılarak analiz boyutunun etkisi incelenmiştir.

3.6. ANALİZLERDE TAKIP EDİLEN YOL

Dinamik zemin-temel-yapı ilişkilerinde etken olan parametrelerin dört ayrı gruptan oluştuğundan ve bunların tek tek ve gruplar halinde etkilerinin incelendiğinden daha önce bahsedilmişti. Deprem hareketi, zemin, temel ve yapı ile ilgili olarak tanımlanan bu parametrik gruplardan ilk ikisi, deprem hareketi ve zemin ile ilgili parametreler, ana parametreler olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle yapılan bütün analizlere deprem ve zemin ile ilgili parametreler dahil edilmiştir. Bunlara ilâveten temel ve yapı ile ilgili parametreler tek tek ele alınmış ve deprem-zemin-temel taban boyutları parametreleri birinci grup olarak, deprem-zemin-temel kütlesi parametreleri ikinci grup olarak, deprem-zemin-temel gömülme oranları parametreleri üçüncü grup olarak ve deprem-zemin-yapı parametreleri ve dördüncü grup olarak incelenmiştir.

Zemin-temel ve zemin-temel-yapı ilişkilerini görebilmek amacıyla rijid tabanlı temeller ve temel-yapı sistemleri eşdeğer titreşimlere tâbi tutulmuşlar, elde edilen sonuçlar, sırayla, zemin-temel ve zemin-temel-yapı sistemlerinin davra-

nırlarıyla karşılaştırılmışlardır. Zemin yüzeyine tekabül eden titreşim için büyütme katsayısı, A, aşağıda izah edilen yöntemle hesaplanmıştır:

$$A = 2/d_1 \quad (3.2a)$$

$$d_1^2 = c_1^2 + \lambda_2^2 s_1^2 \quad (3.2b)$$

$$c_1 = \cos p_1 h_1 \quad (3.2c)$$

$$s_1 = \sin p_1 h_1 \quad (3.2d)$$

$$p_1 = w \sqrt{\rho_1 / G_1} \quad (3.2e)$$

$$\lambda_2^2 = \frac{\rho_1 G_1}{\rho_2 G_2} \quad (3.2f)$$

$$w = 2\pi/T \quad (3.2g)$$

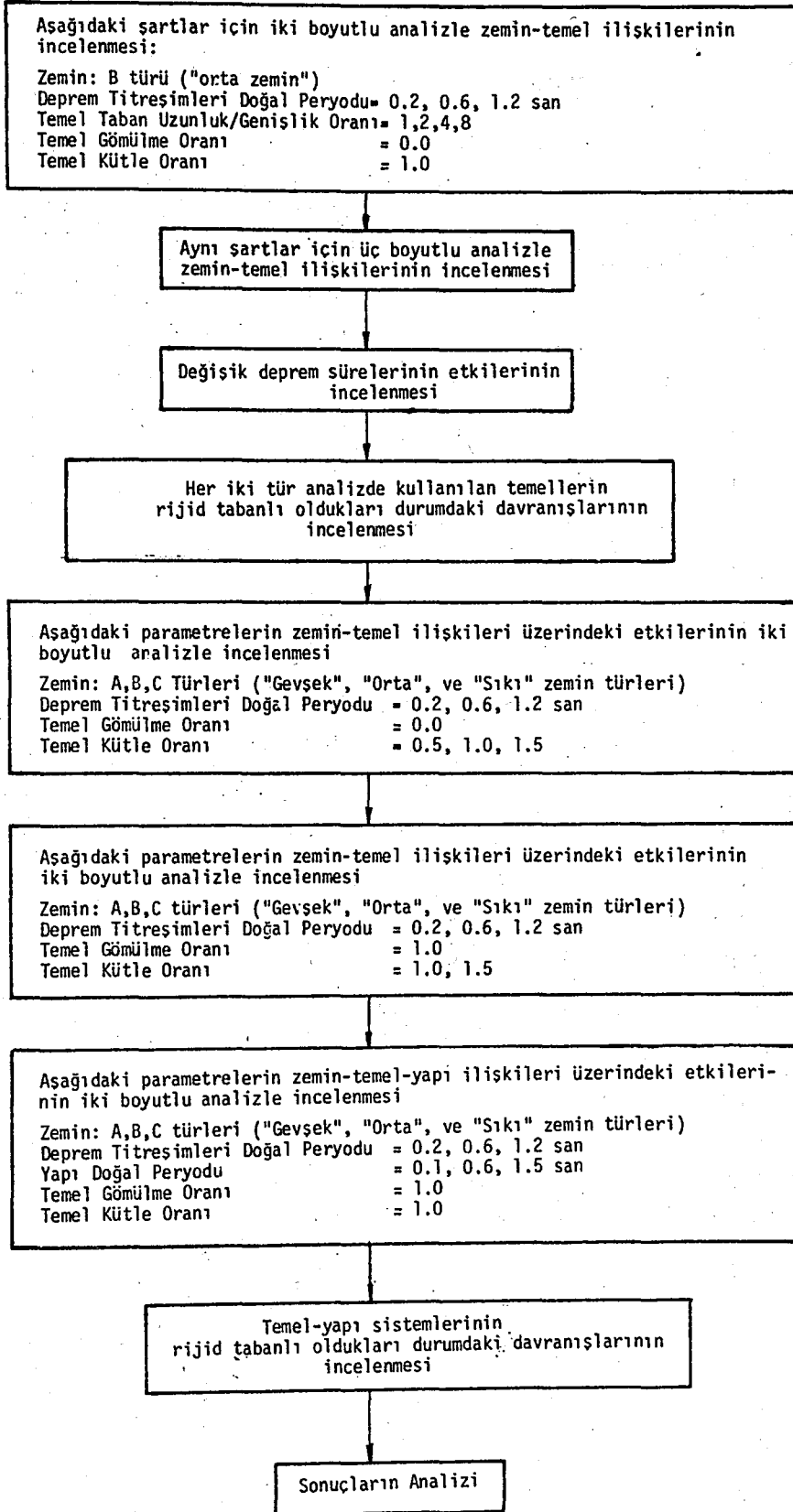
Denklem (3.2)'de 1 altsimgesi zemin ortamı, 2 altsimgesi ise tabankayası için kullanılmaktadır. Bilinmesi gereken değerler, h_1 = zemin derinliği, ρ_1 = zemin kütle yoğunluğu, ρ_2 = kaya kütle yoğunluğu, G_1 = zemin kayma modülü ve G_2 = kaya kayma modülüdür. Denklem (3.2) ile kullanılan zemin türleri için hesaplanan A değerleri Ek 4'de verilmiştir.

İlk olarak zemin-temel ilişkileri üzerindeki temel boyutlarıyla ilgili parametrelerin etkileri iki ve üç boyutlu olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Bu inceleme sonucu ileriki

analizlerde kullanılacak temel taban boyutları tespit edilmiştir.

Önceki kısımlardaki sonlu elemanlar ağlarında da belirtildiği gibi, zemin-temel ve zemin-temel-yapı sistemlerinde zemin ağı dipteki tabankayasına rijid olarak bağlı kabul edilmiş, kenarları ise yatay yönde rijid düşey yönde esnek olarak alınmıştır. Ayrıca bütün düğümlerde dönme önlenmiş sadece yer değiştirme serbest bırakılmıştır.

Takip edilen yol ile ilgili akış şeması Şekil 3.9'da verilmiş, yapılan etüdler ise Tablo 3.1'de sıralanmıştır.



Şekil 3.9- Çalışmada Takip Edilen Yol

TABLO 3.1 - Yapılan Etüdler

Sıra No.	Analiz Türü	Taban Uzunluk/ Genişlik Oranı	Temel Kütle Oranı	Zemin Birim Ağırlığı (t/m ³)	Gömülme Oranı	Deprem Titreşimleri Doğal Peryodu (sn)	Yapı Doğal Peryodu (sn)
1	3-Boyutlu	4	1.0	1.9	0	0.2	-
2	"	4	1.0	1.9	0	0.6	-
3	"	4	1.0	1.9	0	1.2	-
4	"	2	1.0	1.9	0	0.2	-
5	"	2	1.0	1.9	0	0.6	-
6	"	2	1.0	1.9	0	1.2	-
7	"	4	1.0	-	-	0.2	-
8	"	4	1.0	-	-	0.6	-
9	"	4	1.0	-	-	1.2	-
10	"	2	1.0	-	-	0.2	-
11	"	2	1.0	-	-	0.6	-
12	"	2	1.0	-	-	1.2	-
13	2-Boyutlu	4	1.0	1.9	0	0.2	-
14	"	4	1.0	1.9	0	0.6	-
15	"	4	1.0	1.9	0	1.2	-
16	"	2	1.0	1.9	0	0.2	-
17	"	2	1.0	1.9	0	0.6	-
18	"	2	1.0	1.9	0	1.2	-
19	"	1	1.0	1.9	0	0.2	-
20	"	1	1.0	1.9	0	0.6	-
21	"	1	1.0	1.9	0	1.2	-
22	"	8	1.0	1.9	0	0.2	-
23	"	8	1.0	1.9	0	0.6	-
24	"	8	1.0	1.9	0	1.2	-
25	"	1	1.0	-	-	0.2	-
26	"	1	1.0	-	-	0.6	-
27	"	1	1.0	-	-	1.2	-
28	"	2	1.0	-	-	0.2	-
29	"	2	1.0	-	-	0.6	-
30	"	2	1.0	-	-	1.2	-

TABLO 3.1 (Devam)

Sıra No.	Analiz Türü	Taban Uzunluk/Genişlik Oranı	Temel Kütle Oranı	Zemin Birim Ağırlığı (t/m ³)	Gömülme Oranı	Deprem Titreşimleri Doğal Peryodu (san)	Yapı Doğal Peryodu (san)
31	2-Boyutlu	4	1.0	-	-	0.2	-
32	"	4	1.0	-	-	0.6	-
33	"	4	1.0	-	-	1.2	-
34	"	8	1.0	-	-	0.2	-
35	"	8	1.0	-	-	0.6	-
36	"	8	1.0	-	-	1.2	-
37	"	4	0.5	1.6	0	0.2	-
38	"	4	0.5	1.6	0	0.6	-
39	"	4	0.5	1.6	0	1.2	-
40	"	4	0.5	1.9	0	0.2	-
41	"	4	0.5	1.9	0	0.6	-
42	"	4	0.5	1.9	0	1.2	-
43	"	4	0.5	2.2	0	0.2	-
44	"	4	0.5	2.2	0	0.6	-
45	"	4	0.5	2.2	0	1.2	-
46	"	4	1.5	1.6	0	0.2	-
47	"	4	1.5	1.6	0	0.6	-
48	"	4	1.5	1.6	0	1.2	-
49	"	4	1.5	1.9	0	0.2	-
50	"	4	1.5	1.9	0	0.6	-
51	"	4	1.5	1.9	0	1.2	-
52	"	4	1.5	2.2	0	0.2	-
53	"	4	1.5	2.2	0	0.6	-
54	"	4	1.5	2.2	0	1.2	-
55	"	4	1.0	1.6	1	0.2	-
56	"	4	1.0	1.6	1	0.6	-
57	"	4	1.0	1.6	1	1.2	-
58	"	4	1.0	2.2	1	0.2	-
59	"	4	1.0	2.2	1	0.6	-
60	"	4	1.0	2.2	1	1.2	-

TABLO 3.1 (Devam)

Sıra No	Analiz Türü	Taban Uzunluk/Genişlik Oranı	Temel Kütle Oranı	Zemin Birim Ağırlığı (t/m ³)	Gömülme Oranı	Deprem Titreşimleri Doğal Peryodu (san)	Yapı Doğal Peryodu (san)
61	2-Boyutlu	4	1.5	1.6	1	0.2	-
62	"	4	1.5	1.6	1	0.6	-
63	"	4	1.5	1.6	1	1.2	-
64	"	4	1.5	2.2	1	0.2	-
65	"	4	1.5	2.2	1	0.6	-
66	"	4	1.5	2.2	1	1.2	-
67	"	4	1.0	1.6	1	0.2	0.1
68	"	4	1.0	1.6	1	0.6	0.1
69	"	4	1.0	1.6	1	1.2	0.1
70	"	4	1.0	2.2	1	0.2	0.1
71	"	4	1.0	2.2	1	0.6	0.1
72	"	4	1.0	2.2	1	1.2	0.1
73	"	4	1.0	1.6	1	0.2	0.6
74	"	4	1.0	1.6	1	0.6	0.6
75	"	4	1.0	1.6	1	1.2	0.6
76	"	4	1.0	2.2	1	0.2	0.6
77	"	4	1.0	2.2	1	0.6	0.6
78	"	4	1.0	2.2	1	1.2	0.6
79	"	4	1.0	1.6	1	0.2	1.5
80	"	4	1.0	1.6	1	0.6	1.5
81	"	4	1.0	1.6	1	1.2	1.5
82	"	4	1.0	2.2	1	0.2	1.5
83	"	4	1.0	2.2	1	0.6	1.5
84	"	4	1.0	2.2	1	1.2	1.5
85	"	4	1.0	-	-	0.2	0.1
86	"	4	1.0	-	-	0.6	0.1
87	"	4	1.0	-	-	1.2	0.1
88	"	4	1.0	-	-	0.2	0.6
89	"	4	1.0	-	-	0.6	0.6

TABLO 3.1 (Devam)

Sıra No	Analiz Türü	Taban Uzunluk/Genişlik Oranı	Temel Kütle Oranı	Zemin Birim Ağırlığı (t/m ³)	Gömülme Oranı	Deprem Titreşimleri Doğal Peryodu (san)	Yapı Doğal Peryodu (san)
90	2-Boyutlu	4	1.0	-	-	1.2	0.6
91	"	4	1.0	-	-	0.2	1.5
92	"	4	1.0	-	-	0.6	1.5
93	"	4	1.0	-	-	1.2	1.5

4. TEMEL BOYUTLARININ DAVRANIŞA ETKİSİ

4.1. GENEL

Temel boyutları olarak tanımlanan parametreler temel in taban boyutları ve yüksekliğidir. Taban boyutları üzerinde karar verebilmek için önce taban şeklinin seçimini yapmak gerekmektedir. Pratikte en çok rastlanan taban şekli dikdörtgendir. Bu nedenle çalışma kapsamına dikdörtgen şekil alınmıştır. Ancak dikdörtgen boyutları için belirli değerler kabul etmektense, taban şeklini boyutsuz olarak tanımlamak, bu nedenle de değişik taban uzunluk/genişlik oranı, L , değerleri kullanmak yoluna gidilmiştir. Bağlayıcı unsur olarak da kapsama alınan taban alanlarının eşit olması öngörülmüştür.

Taban alanları eşit olan temellerin yüksekliği temel kütlesi tarafından kontrol edilen bir parametre olarak tanımlanabilir. Bu nedenle temel yüksekliği bir sonraki bölümde ele alınan temel kütlesinin etkileri ile ilgili olmakta ve bu bölümde yükseklik bir temel boyutu olarak kullanılmaktadır. Ancak, değişik taban boyutlu temellerin dinamik davranışları incelenirken, temellerin fiziksel özelliklerinin eşdeğerde olmalarına dikkat edilmiş, bu nedenle de Bölüm 2'de Denklem (2.24) ile tanımlanan kütle oranı, B_z , değeri bütün temeller için 1.0 olarak kabul edilmiştir. Yine aynı bölümde bahsedil-

diği gibi eşdeğer yarıçap, $r_0 = 2.0$ m olarak alınmış, böylece temellerin yüksekliklerini hesaplamak mümkün olmuştur.

Zemin-temel ilişkilerine etkilerini incelemek üzere ele alınan temel taban uzunluk/genişlik oranları ve temel boyutlarının değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Temel malzemesi olarak kullanılan beton özellikleri Tablo 4.2'de özetlenmiştir. Kullanılan temellerin çeşitli dinamik özellikleri ise Ek 5'de verilmiştir.

Parametrelerin zemin-temel sisteminin davranışına etkileri sistemin yer değiştirmesi yönünden ele alınmıştır. Zemin-temel sistemlerinde kritik noktalar temelin üst noktaları (sonlu elemanlar ağında temel üst düğümleri) olarak kabul edilmiş ve parametrik etkiler bu düğümlerin maksimum yatay ve düşey yer değiştirme değerleri cinsinden tanımlanmıştır.

4.2. YER DEĞİŞTİRME MİKTARLARI

A. Zemin - Temel Sistemleri

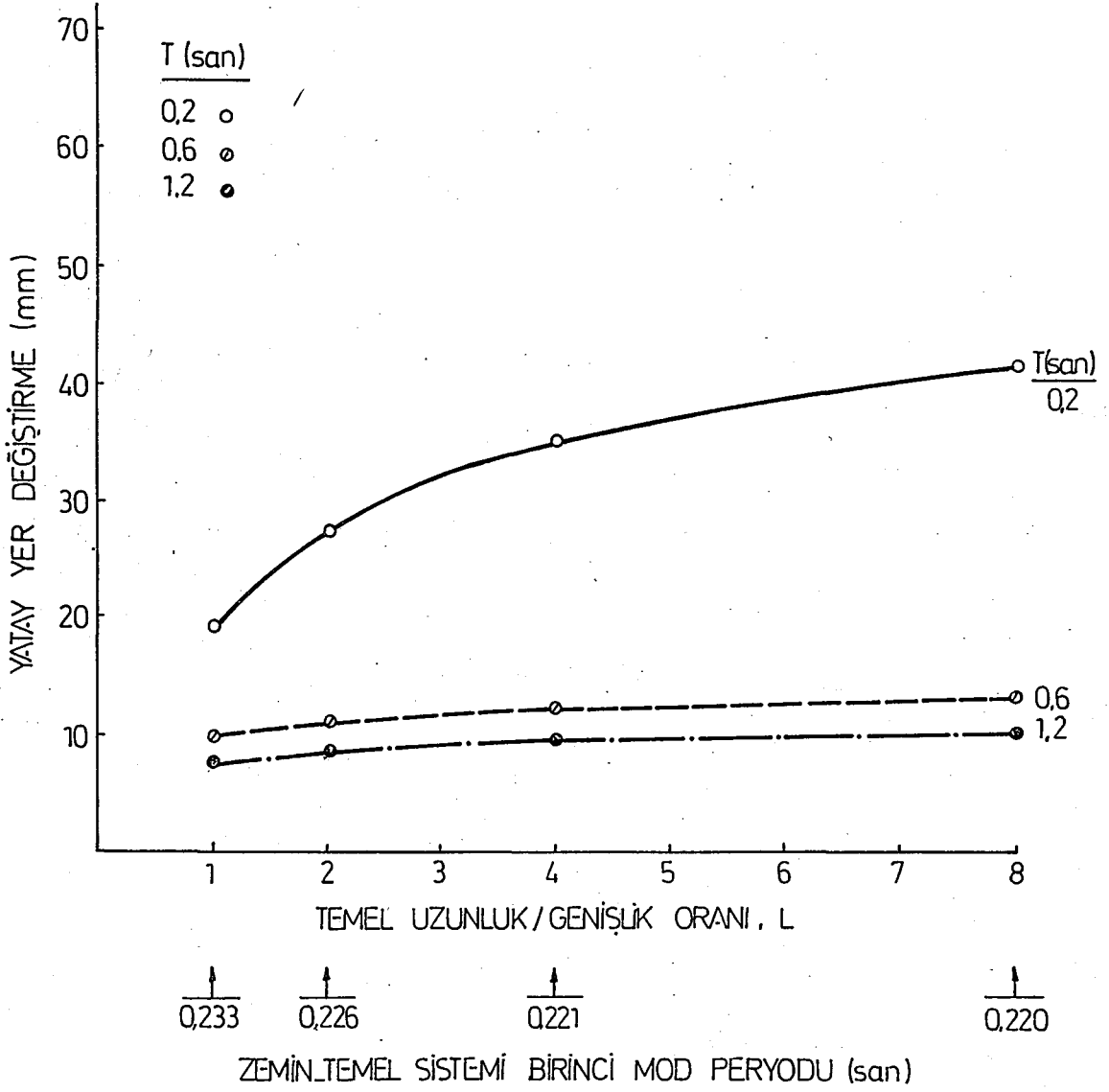
Temel üst düğümleri için elde edilen maksimum yatay ve düşey yer değiştirme değerleri sırasıyla Şekil 4.1 ve 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1- Çalışmada Kullanılan Temel Türleri

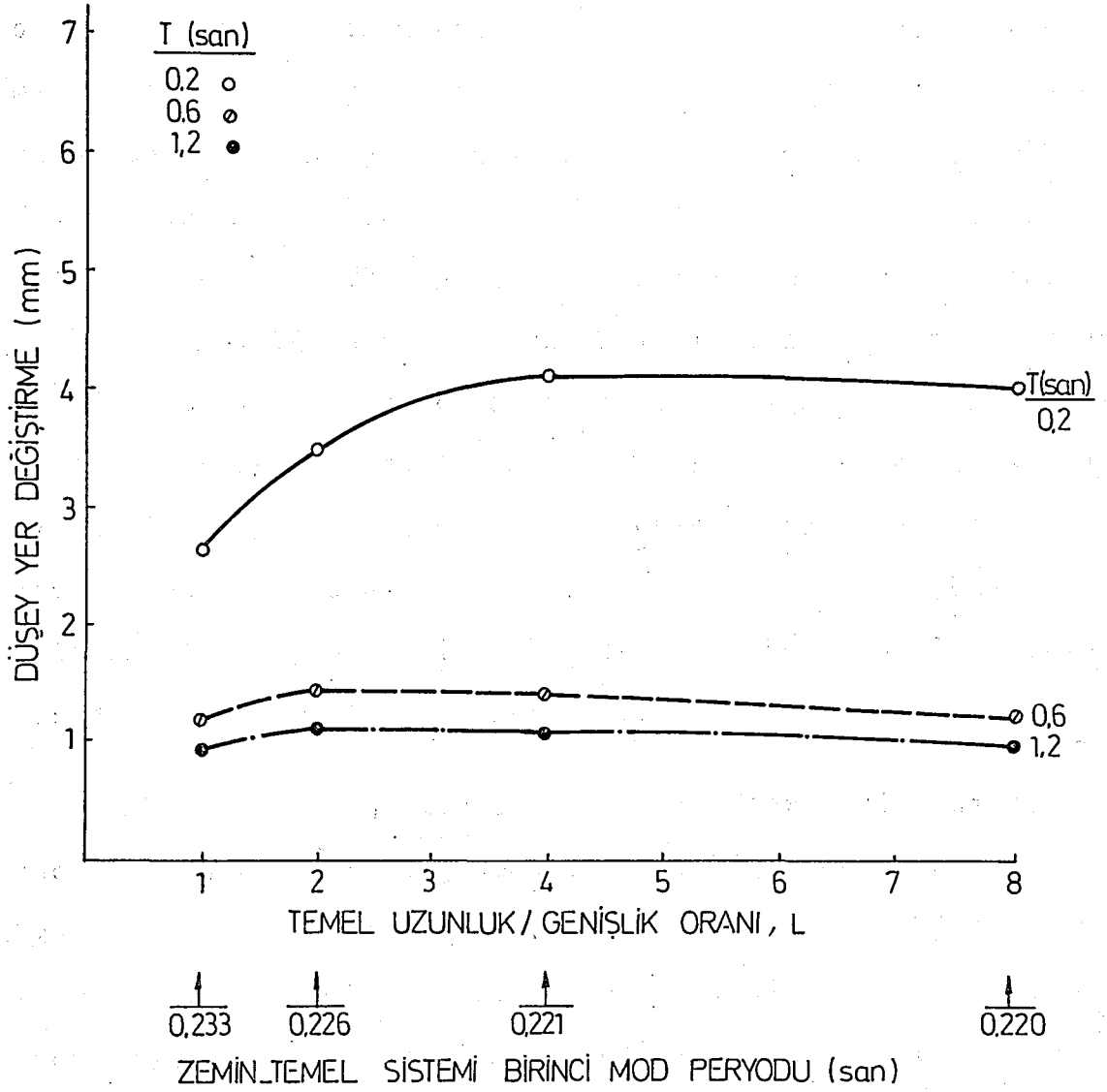
Temel Türü	T a b a n			Yükseklik (m)
	Uzunluk/Genişlik Oranı, L	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	
A	1	3.54	3.54	3.32
B	2	5.00	2.50	3.32
C	4	7.10	1.76	3.32
D	8	10.00	1.25	3.32

Tablo 4.2- Temel Betonu Ana Özellikleri

Birim Ağırlık γ (t/m ³)	Poisson Oranı ν	Elâstik Modül E(t/m ²)
2.4	0.20	2.1×10^6



Şekil 4.1 DEĞİŞİK TEMELE TABAN BOYUTLU ZEMİN-TEMELE SİSTEMLERİNDE TEMELE OST DOĞUMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ.



Şekil 4.2 DEĞİŞİK TEMEL TABAN BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDE TEMEL ÖST DÜĞÖMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ.

Şekil 4.1'de zemin-temel sistemlerinde temel üst düğümleri için değişik titreşim doğal periyodlarında hesaplanan maksimum yatay yer değiştirme değerlerinin temel taban uzunluk/genişlik oranına, L , göre değişimleri görülmektedir. Yatay yer değiştirme miktarı en düşük olarak $L = 1$ olan kare taban şekilli temel için, en yüksek olarak ise $L = 8$ olan dikdörtgen taban şekilli temel için hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi uzunluk/genişlik oranı arttıkça yatay yer değiştirme miktarı da artmaktadır. Kullanılan temel türleri için uzunluk/genişlik oranının artması taban genişliğinin azalması yönünde olmaktadır. Böylece, tabankayadan temel kısa eksenine paralel olarak tatbik edilen deprem yükleri altında, taban genişliği azaldıkça temel üst düğümleri yatay yer değiştirme miktarları artmaktadır.

Yatay yer değiştirme miktarları deprem titreşimleri doğal periyodu ile de değişmektedir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere doğal periyod arttıkça yatay yer değiştirme miktarı azalmaktadır. Bu etkileşimde zemin-temel sisteminin doğal periyodu önemli olmaktadır. Zemin-temel sistemi birinci mod periyodu için hesaplanan değerler Şekil 4.1'de ayrıca belirtilmiştir. Bu değerler 0.23 san ile 0.22 san arasında değişmekte ve taban uzunluk/genişlik oranı arttıkça azalmaktadır. Deprem periyodunun 0.2 san olduğu durumda yatay yer değiştirmelerin yüksek olmaları deprem doğal periyodu ile sistem doğal periyodu değerlerinin birbirlerine çok yaklaşıp olmaları

rındandır. Deprem titreşimleri doğal periyodu ile sistem doğal periyodu arasındaki ilişkinin zemin-temel sistemi davranışına etkisi ileride ele alınmıştır.

Aynı şartlar altında maksimum düşey yer değiştirmeler için hesaplanan değerler Şekil 4.2'de özetlenmiştir. Bu şekilde sadece temel üst kenar düğümlerinin düşey yer değiştirmeleri dahil edilmişlerdir. Buna neden temel orta düğümü için hesaplanan maksimum değer çok küçük (kenar düğümlerine göre 10^{-2} mertebesinde) olmasıdır. Yatay yer değiştirmelerde görülen eğilimler düşey yer değiştirmeler için de geçerlidir. Ancak düşey yer değiştirme değerleri yatay yer değiştirme değerlerine göre çok daha küçüktür.

Bir diğer husus da düşey yer değiştirme miktarının uzunluk/genişlik oranı büyüdükçe hızla arttığı ve sabitleştiği hatta çok büyük uzunluk/genişlik oranları için az da olsa bir düşme gösterdiğiidir. Yatay yer değiştirmelerdeki temel uzunluk/genişlik oranına göre artış hızı ise daha yavaş olmakta ve araştırma kapsamındaki uzunluk/genişlik oranları için, yatay yer değiştirme değerleri sabitleşmemektedirler.

B. Rijid Tabanlı Temeller

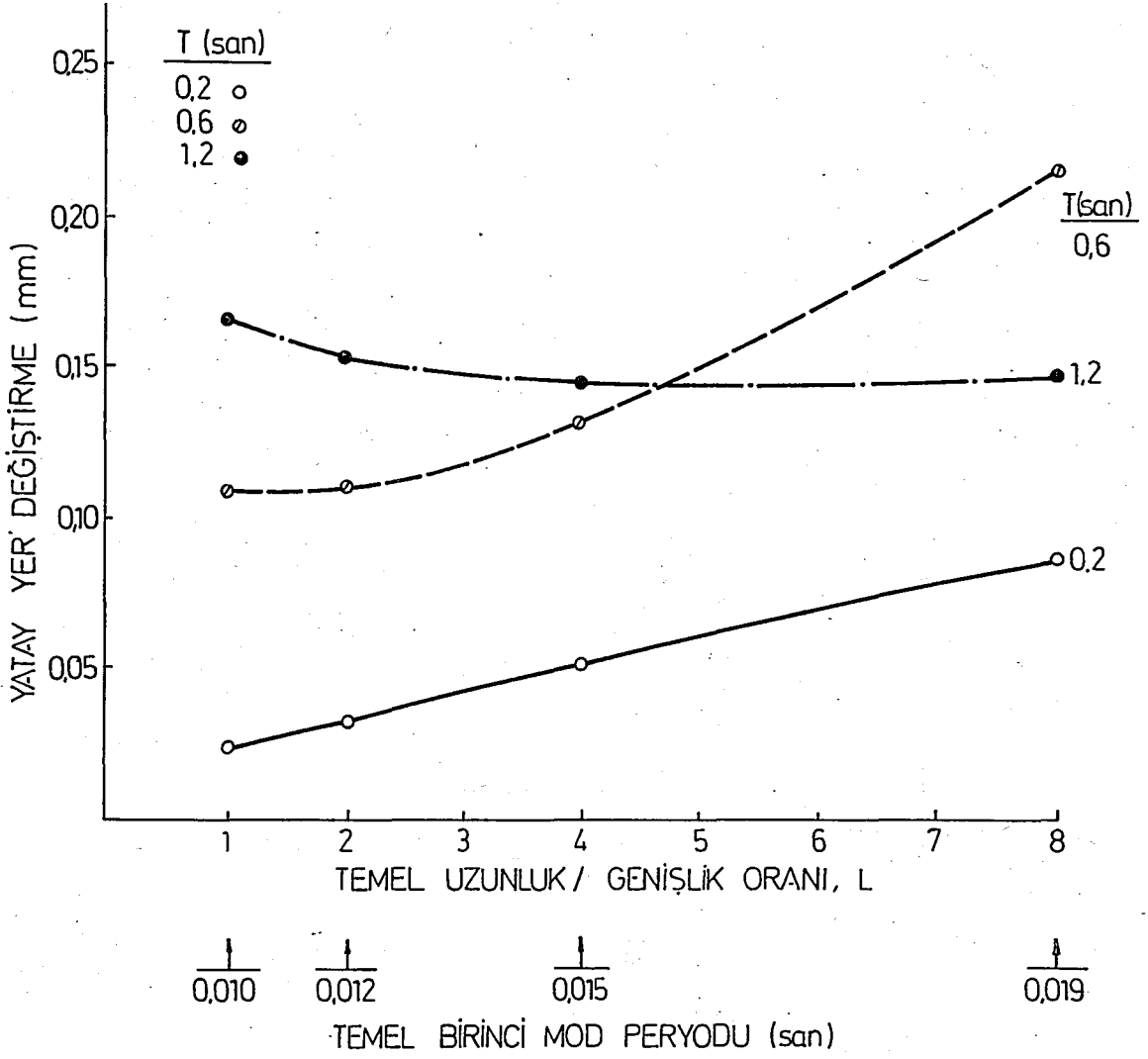
Dinamik zemin-temel davranışında zeminin katkısını görebilmek ve zemin-temel ilişkilerini inceleyebilmek için, kullanılan temel türleri rijid tabanlı olarak eşdeğer deprem titreşimlerine tâbi tutulmuşlar ve bu şekilde hesaplanan

yer değiştirme değerleri ile zemin-temel sistemleri için hesaplanan yer değiştirme değerleri karşılaştırılmışlardır.

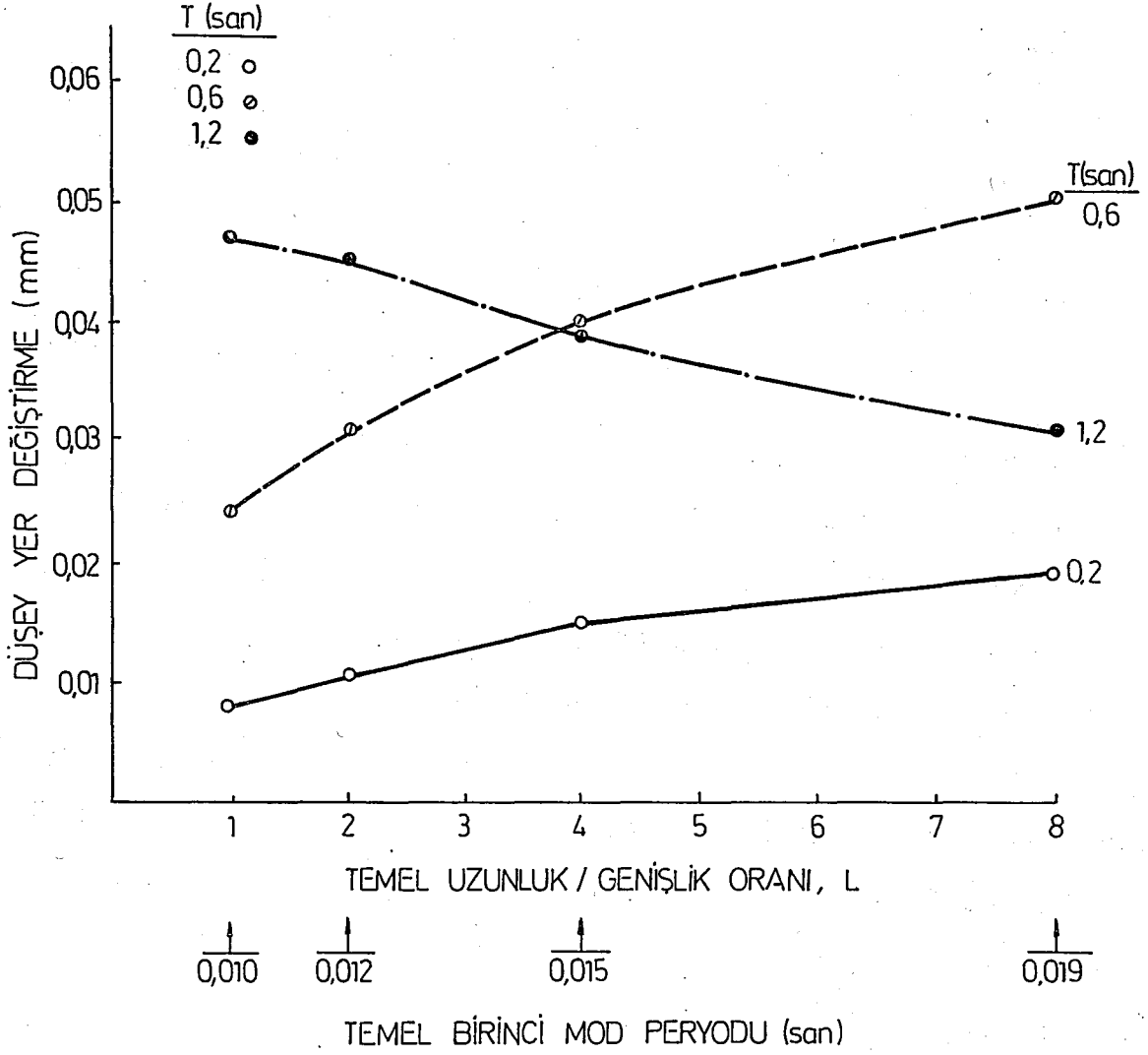
Rijid tabanlı temeller için hesaplanan maksimum yatay yer deęiřtirme deęerleri Őekil 4.3'de maksimum dūsey yer deęiřtirme deęerleri ise Őekil 4.4'de gōsterilmektedir.

Őekil 4.3'de temel ūst dūęūmleri için deęiřik titreřim doęal peryodlarında hesaplanan maksimum yatay yer deęiřtirme miktarlarının temel taban uzunluk/geniřlik oranına gōre deęiřimleri gōrūlmektedir. Bu Őekildeki eęriler Őekil 4.1'de zemin-temel sistemleri için verilen eęrilerle karřılařtırıldığında farklar ortaya çıkmaktadır.

Rijid tabanlı temellerde ūst dūęūmlerin yatay yer deęiřtirmeleri, doęal peryodları 0.2 ve 0.6 san olan deprem yūkleri altında, taban uzunluk/geniřlik oranı ile birlikte artmakta, doęal peryodu 1.2 san olan deprem yūkū altında ise taban uzunluk/geniřlik oranı ile azalmakta ve sabitleřmektedir. Taban uzunluk/geniřlik oranı 4 veya daha kūūk olan temellerde deprem doęal peryodu arttııka yatay yer deęiřtirme miktarı da artmaktadır. Taban uzunluk/geniřlik oranı 4'den yūksek olan temellerde ise bōyle bir eęilim gōrūlmemektedir. Ancak rijid tabanlı temellerin yatay yer deęiřtirme miktarları zemin-temel sistemlerinininkine gōre çok daha kūūktūr.



Şekil 4.3 RİJİD TABANLI TEMELLERDE ÖST DÜĞÜMLERİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ.



Şekil 4.4 RİJİD TABANLI TEMELLERDE ÜST KENAR DOĞUMLERİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ.

Diğer bir husus da, temel doğal periyoduyla ilgilidir. Şekil 4.3'e temeller için hesaplanan birinci mod periyodları da dahil edilmiştir. Görüldüğü gibi temel taban uzunluk/genişlik oranı arttıkça veya taban genişliği azaldıkça, temel birinci mod periyodu da artmaktadır. Zemin-temel sistemlerindeki eğilim ise bunun tam tersidir. Rijid tabanlı temellerin doğal periyodları ile zemin-temel sistemlerinin doğal periyodları arasındaki ilişkinin yatay yer değiştirmelere etkileri ileride ele alınmıştır.

Rijid tabanlı temel üst düğümlerinin maksimum düşey yer değiştirmeleri değişik temel uzunluk/genişlik oranlarına göre Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Yatay yer değiştirmelere göre nispeten daha küçük olan düşey yer değiştirmeler de tatbik edilen deprem periyoduna göre değişik değerler almaktadır. Periyodu 0.2 ve 0.6 san olan deprem yükleri altında, temel üst düğümleri düşey yer değiştirme miktarları taban uzunluk/genişlik oranı ile birlikte artmakta, periyodu 1.2 san olan deprem yükü altında ise azalmaktadır. Yatay yer değiştirmelerde görülen eğilimler düşey yer değiştirmelerde de görülmektedir. Taban uzunluk/genişlik oranı 4 veya daha küçük olan temellerde doğal titreşim periyodu arttıkça düşey yer değiştirme miktarı da artmakta, taban uzunluk/genişlik oranı 4'den yüksek olan temellerde bu eğilim ortadan kaybolmaktadır. Ancak rijid tabanlı temellerin düşey yer değiştirme miktarları zemin-temel sistemlerinininkine göre çok daha küçüktür.

Şekil 4.4'de belirtilen rijid tabanlı temellerin birinci mod periyodları ile zemin-temel sistemlerinin tekabül eden periyodları arasındaki ilişkinin düşey yer değiştirmede etkileri ileride ele alınmıştır.

Yer değiştirme hesapları sırasında incelenen diğer bir husus da deprem süresi olmuştur. Kullanılan sinosoidal titreşimlerin süresi titreşim doğal periyodunun 5, 10 ve 15 misli olarak değiştirilmiş, ancak deprem süresindeki bu değişikliğin hesaplanan yer değiştirme değerleri üzerinde bir etkisi görülmemiştir.

4.3. YER DEĞİŞTİRME ORANLARI

Zemin ortamının zemin-temel sisteminin yer değiştirmesine etkilerini inceleyebilmek için sistem için hesaplanan yer değiştirme miktarları ile rijid tabanlı temeller için hesaplanan yer değiştirme miktarlarının oranı ele alınmıştır. Yatay hareketler için Yatay Yer Değiştirme Oranı, γ_y , Denklem (4.1) ile, düşey hareketler için Düşey Yer Değiştirme Oranı, γ_d , ise Denklem (4.2) ile tanımlanmıştır.

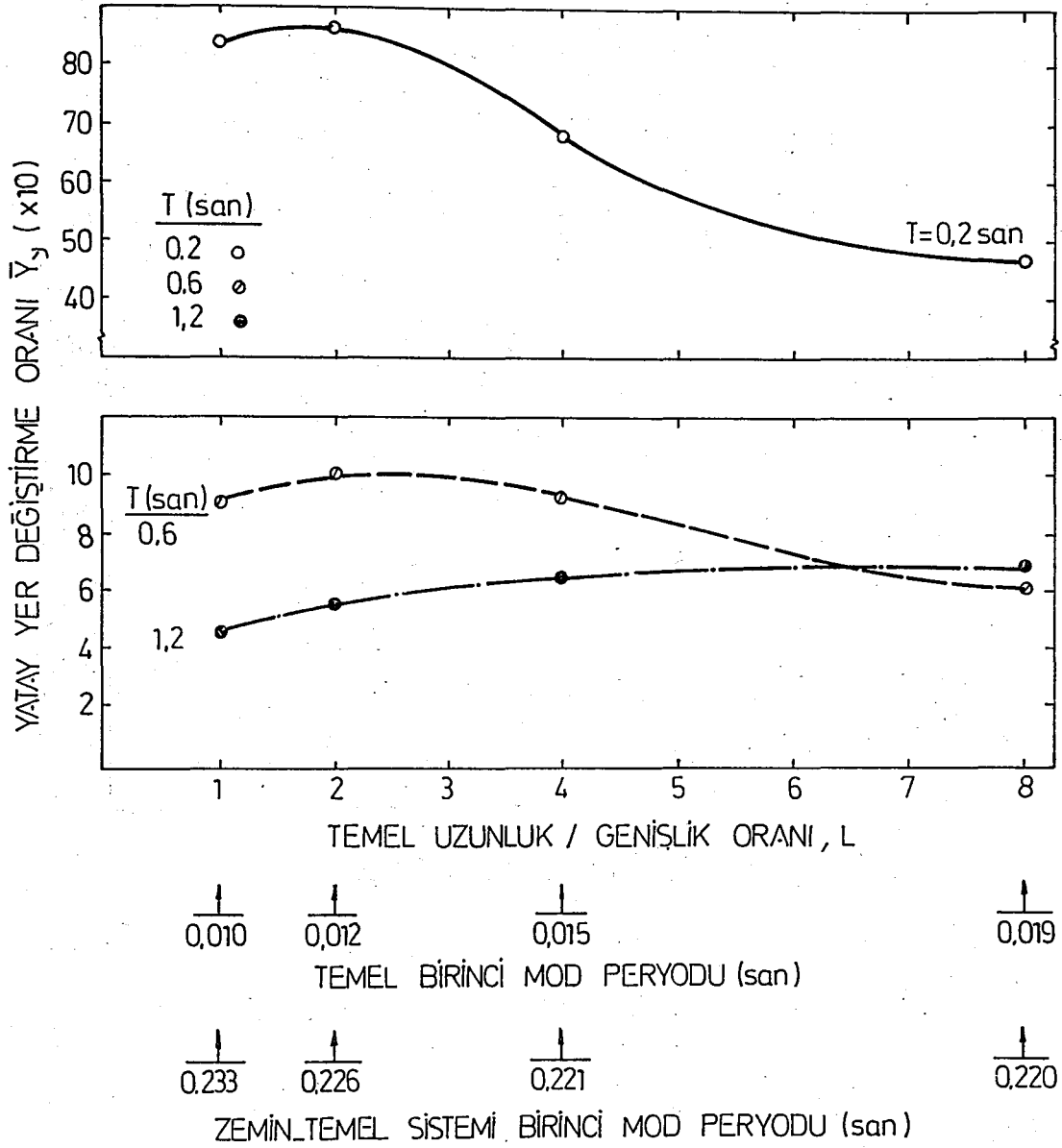
$$\gamma_y = \frac{\text{Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Düzümleri Maksimum Yatay Yer Değiştirme Miktarı}}{\text{Rijid Tabanlı Temel Üst Düzümleri Maksimum Yatay Yer Değiştirme Miktarı}} \quad (4.1)$$

$$\gamma_d = \frac{\text{Zemin-Temel Sistemi Temel Üst Düzümleri Maksimum Düşey Yer Değiştirme Miktarı}}{\text{Rijid Tabanlı Temel Üst Düzümleri Maksimum Düşey Yer Değiştirme Miktarı}} \quad (4.2)$$

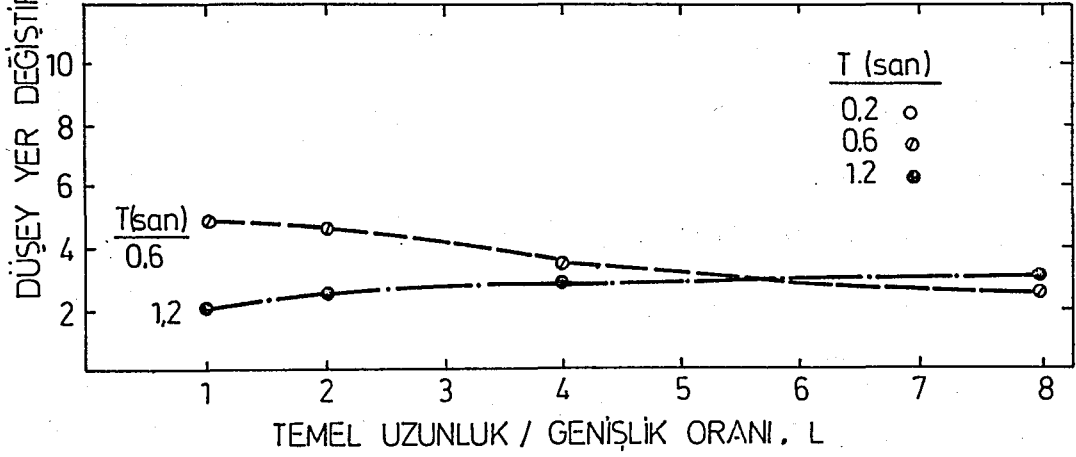
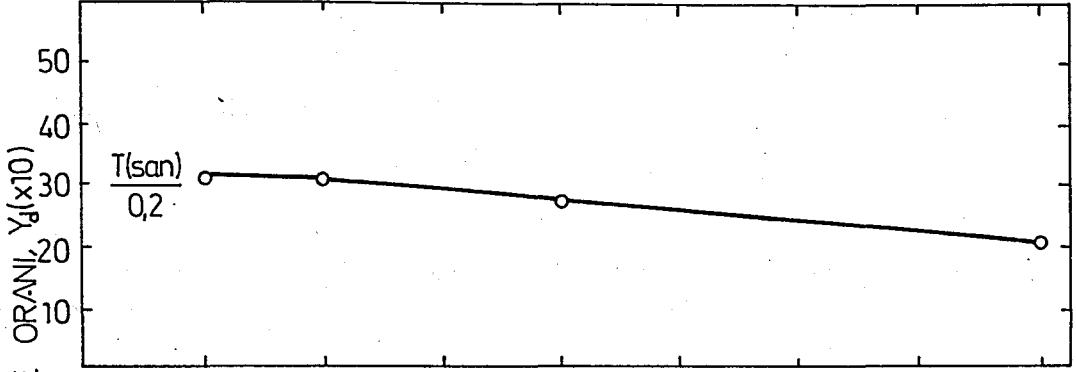
Böylece aynı tür temeller için zemin ile birlikte bir sistem halindeyken ve zemin olmadan rijid tabanlı bir temel iken hesaplanan maksimum yer değiştirme miktarlarından \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri hesaplanmış, sırasıyla Şekil 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir.

Her iki oran da yaklaşık aynı eğilimleri göstermektedir. Doğal periyodu 0.2 san olan titreşimlerde gerek \bar{Y}_y gerekse \bar{Y}_d çok yüksek değerlere çıkmakta, diğer periyodlu titreşimlerde ise yatay yer değiştirmeler için \bar{Y}_y yaklaşık 70, dikey yer değiştirmeler için \bar{Y}_d yaklaşık 30 seviyesinde kalmaktadır. Doğal periyodu 0.2 san olan titreşimler için ise yüksek \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin bulunması normaldir. Her iki şekilde de gösterildiği gibi zemin-temel sisteminin birinci mod periyodu yaklaşık 0.2 san olduğundan rezonans durumu ortaya çıkmakta ve bu sistemler için çok yüksek yer değiştirme miktarları hesap edilmektedir. Diğer taraftan, rijid tabanlı temellerde rezonans durumuna rastlanmadığından bu temellerin yer değiştirme miktarları düşük kalmakta, dolayısıyla da \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d yüksek değerlere çıkmaktadır.

Diğer bir husus, taban uzunluk/genişlik oranı, L , ile \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d 'nin değişimidir. Doğal periyodu 0.2 ve 0.6 san olan titreşimlerde L değeri arttıkça \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri azalmaktadır. Doğal periyodu 1.2 san olan titreşim için ise L miktarı arttıkça \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d miktarları da artmaktadır. Bu artış ve düşüşler yatay yer değiştirmelerde daha belirli olarak hissedil-



Sekil 4.5 TEMEL TABAN BOYUTLARININ ZEMİN-TEMELE SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİLERİ - YATAY YER DEĞİŞTİRME.



$\frac{0,010}{\uparrow}$ $\frac{0,012}{\uparrow}$ $\frac{0,015}{\uparrow}$ $\frac{0,019}{\uparrow}$
 TEMELE BİRİNCİ MOD PERİYODU (san)

$\frac{0,233}{\uparrow}$ $\frac{0,226}{\uparrow}$ $\frac{0,221}{\uparrow}$ $\frac{0,220}{\uparrow}$
 ZEMİN-TEMELE SİSTEMİ BİRİNCİ MOD PERİYODU (san)

Şekil 4.6 TEMELE TABAN BOYUTLARININ ZEMİN-TEMELE SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİLERİ - DÜŞEY YER DEĞİŞTİRME.

mektedir. Düşey yer değiştirmelerde taban uzunluk/genişlik oranının etkisi nispeten daha azdır.

4.4. PERYOD ORANI ETKİLERİ

Zemin-temel sistemleri ve rijid tabanlı temeller için hesaplanan yer değiştirme miktarlarının ve yer değiştirme oranlarının taban uzunluk/genişlik oranı, L , ile değişimi ele alındığında, zemin-temel ilişkilerini sadece L ile izah etmenin sakıncalı olduğu, gerek incelenen ortamların gerekse deprem titreşimlerinin doğal periyodlarının ve bu periyodların birbirleriyle olan ilişkilerinin önemli olduğu görülmüştür. Bu nedenle değişik periyod değerlerini içeren iki ayrı oran tanımlanmıştır. Periyod oranı, P_j , ve Sistem Periyod Oranı, S_{ij} , olarak adlandırılan bu oranlardan Periyod Oranı bu kısımda ele alınmıştır.

Zemin-temel sistemi doğal periyodu ile rijid tabanlı temel doğal periyodunun birbirine oranı Periyod Oranı, P_j , olarak tanımlanıp Denklem (4.3) ile hesaplanmıştır.

$$P_j = \frac{\text{Zemin-Temel Sistemi } j \text{ Modu Periyodu}}{\text{Rijid Tabanlı Temel } j \text{ Modu Periyodu}} \quad (4.3)$$

İlk üç mod için hesaplanan P_j değerleri Tablo 4.3'de sıralanmıştır. Görüldüğü gibi, zeminli ve zeminsiz sistemlerin periyodları en fazla ikinci modda en az ise birinci modda

Tablo 4.3- Değişik Taban Şekli Zemin-Temel Sistemleri için Peryod Oranı, \bar{P}_j , Değerleri

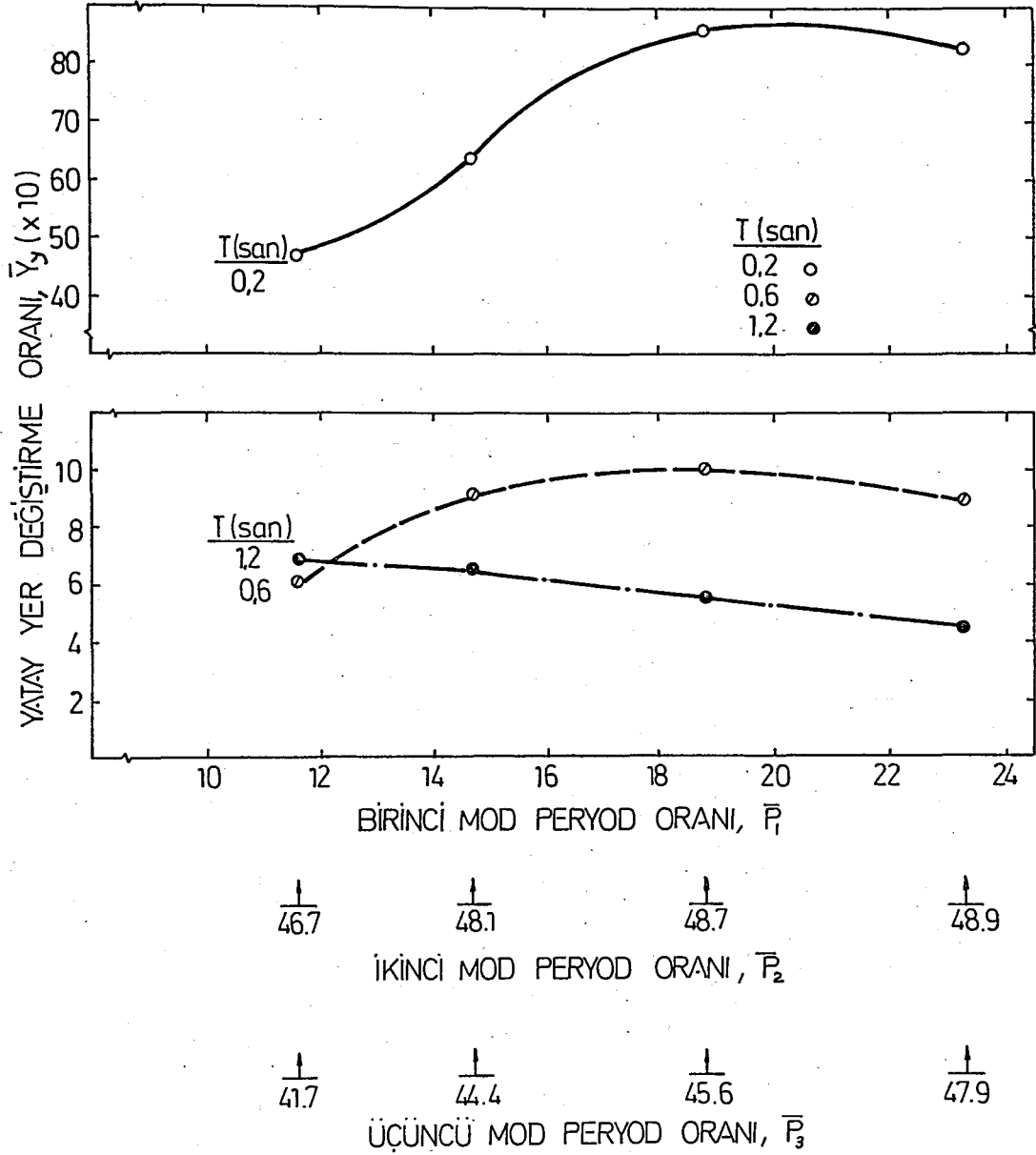
MOD NO. (j)	PERYOD ORANI ENDİSİ (\bar{P}_j)	PERYOD ORANI \bar{P}_j			
		TEMEL TABANI UZUNLUK / GENİŞLİK ORANI			
		1	2	4	8
1	\bar{P}_1	23.3	18.8	14.7	11.6
2	\bar{P}_2	48.9	48.7	48.1	46.7
3	\bar{P}_3	47.9	45.6	44.4	41.7

farketmektedir. Üçüncü mod için hesaplanan periyod oranları ise ikinci mod değerlerine yakın fakat altındadır. Diğer bir değişim de temel taban uzunluk/genişlik oranı ile olmaktadır. Uzunluk/genişlik oranı arttıkça periyod oranı değeri azalmaktadır. Diğer bir deyişle, uzunluk/genişlik oranı küçüldükçe, veya temel genişliği azaldıkça, zemin ortamının sistem periyoduna katkısı azalmakta ve zemin-temel sistemi için hesaplanan periyod ile aynı tür fakat rijid tabanlı bir temel için hesaplanan periyod değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır. Bu husus bilhassa birinci mod periyodları için çok daha süratli olmaktadır.

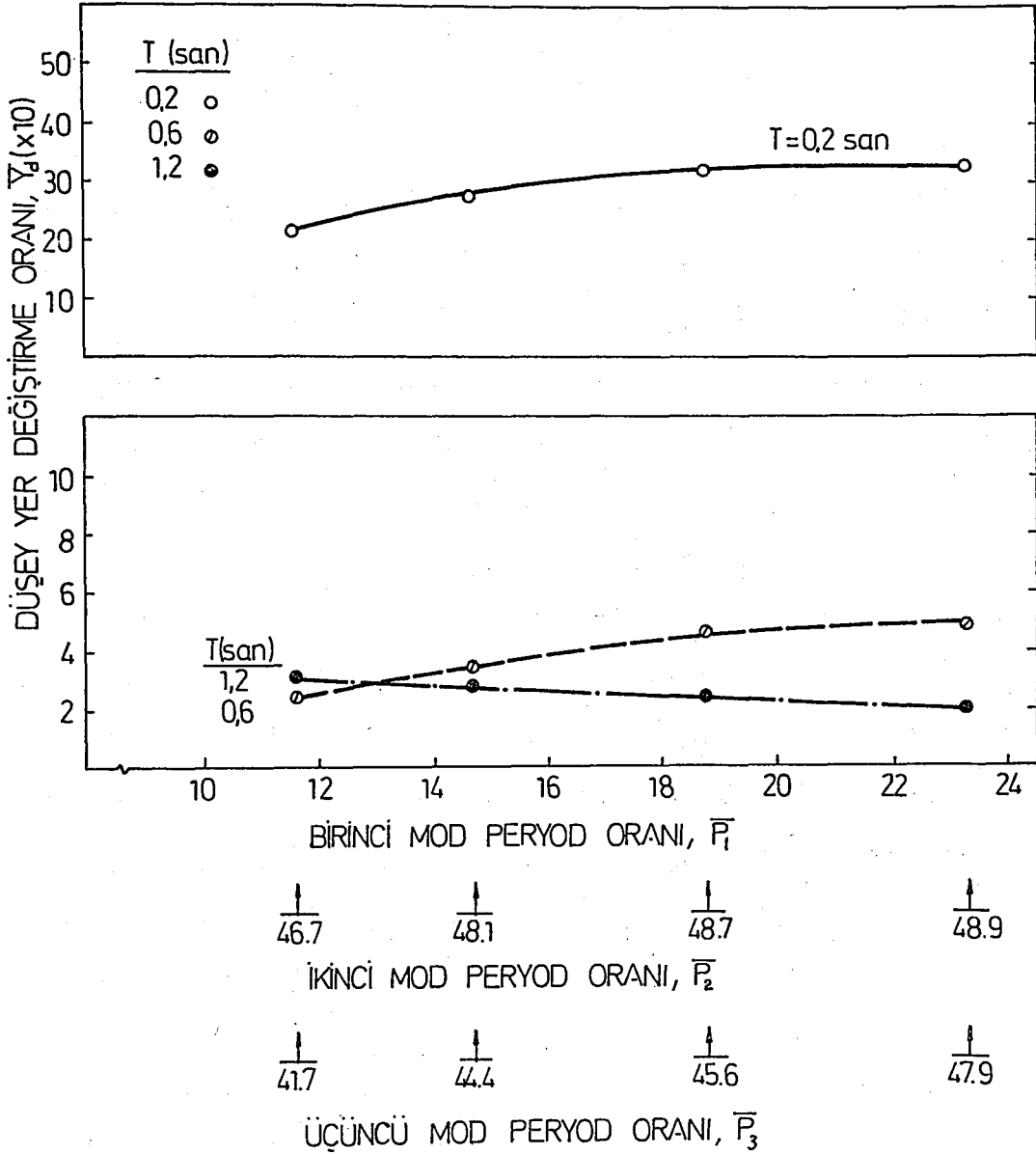
Periyod Oranı, \bar{P}_j , ile Yatay ve Düşey Yer Değiştirme Oranlarının, sırasıyla, \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d , birbirleriyle ilişkileri Şekil 4.7 ve 4.8'de gösterilmektedir. Her iki şekilde de \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri Birinci Mod Periyod Oranına, \bar{P}_1 , göre çizilmiş, ancak şekil üzerinde ikinci ve üçüncü modlara tekabül eden periyod oranları, \bar{P}_2 ve \bar{P}_3 , değerleri belirtilmiştir.

Titreşim doğal periyodu 0.2 ve 0.6 san. olan deprem hareketlerinde periyod oranı yükseldikçe \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri de artmakta, doğal periyodu 1.2 san olan titreşimlerde ise periyod oranı arttıkça \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri azalmaktadır. Bu azalma ve artışlar yatay yer değiştirmelerde daha belirli olmaktadır.

Doğal periyodu 0.2 san olan titreşimlerde elde edilen



Şekil 4.7 DEĞİŞİK TABAN BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDE PERYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ - YATAY YER DEĞİŞTİRME.



Şekil 4.8 DEĞİŞİK TABAN BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDE PERİYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ - DÜŞEY YER DEĞİŞTİRME.

rezonans durumu haricinde, periyod oranı küçüldükçe titreşim doğal periyodu etkisinin azaldığı, çalışma kapsamı içindeki sistemler için elde edilen eğrilerin birbirlerine yaklaştıkları görülmektedir.

Şekil 4.7 ve 4.8'deki eğrilerin sırasıyla Şekil 4.5 ve 4.6'daki eğrilerin yaklaşık tam tersi olduğunu not etmek gerekmektedir. Ancak Periyod Oranı, P_j , ile tanımlanan ilişkiler daha genel bir anlam taşımakta ve kullanıcıya daha geniş bir kullanım alanı yaratmaktadır.

4.5. SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ

Önceki kısımlarda da bahsedildiği gibi zemin-temel sistemi doğal periyodu ile deprem titreşimleri doğal periyodu arasındaki ilişki sistem davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu ilişkinin etkilerini görebilmek amacıyla Denklem (4.4) ile tanımlanan Sistem Periyod Oranı, \bar{S}_{ij} , değerleri kullanılmıştır.

$$\bar{S}_{ij} = \frac{i \text{ Türü Temeli İçeren Zemin-Temel Sisteminin } j \text{ Modu Periyodu}}{\text{Deprem Titreşimleri Doğal Periyodu}} \quad (4.4)$$

Hesaplanan \bar{S}_{ij} değerleri Tablo 4.4'de sıralanmıştır. Görüldüğü gibi doğal periyodu 0.2 san olan titreşimler için \bar{S}_{ij} değerleri yaklaşık 1.0 olmakta, diğer titreşimler için ise \bar{S}_{ij} değerleri rezonans olayı yaratmayacak derecede $\bar{S}_{ij} = 1.0$ 'dan uzaklaşmaktadırlar.

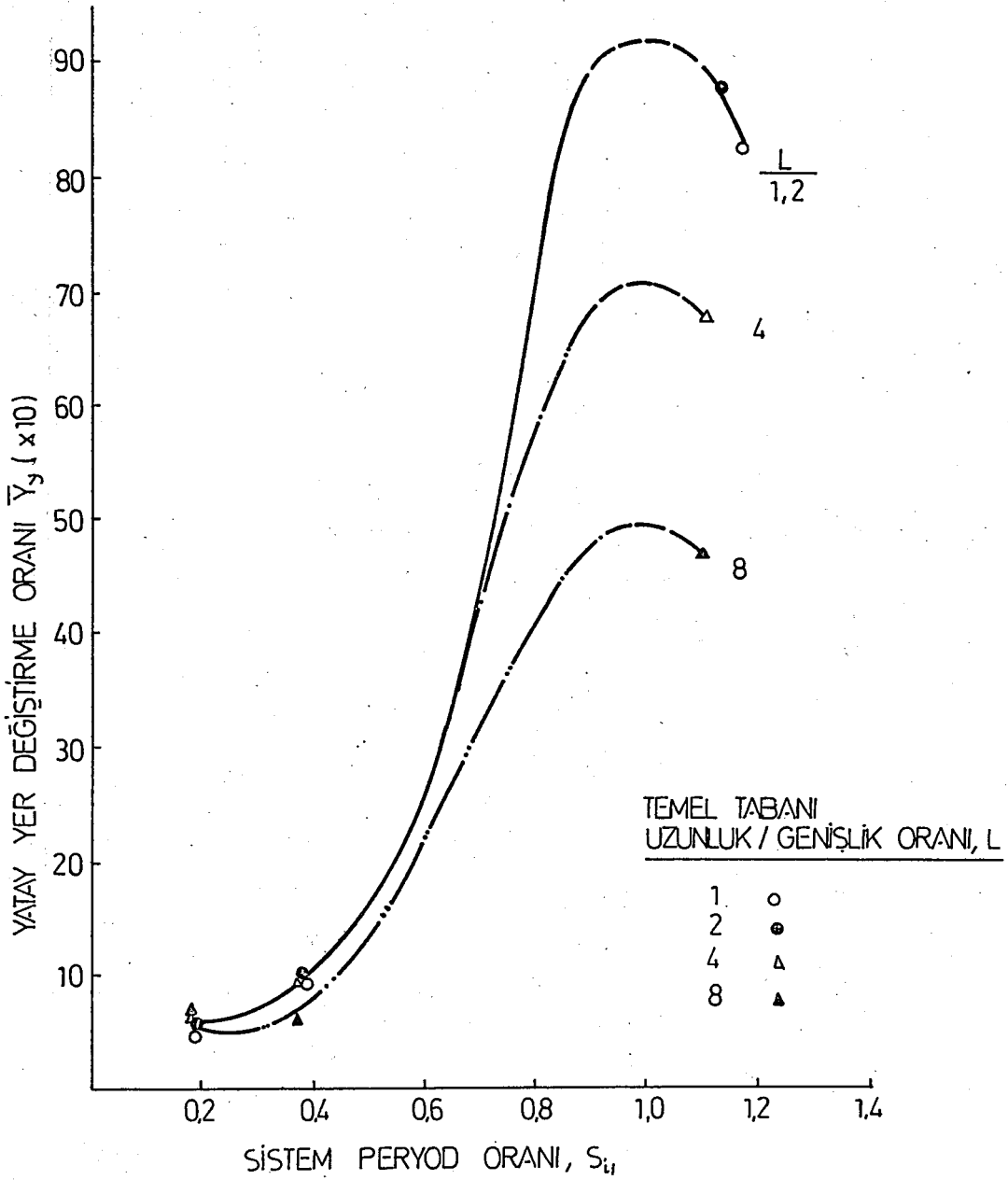
Tablo 4.4- Değişik Taban Şekli Zemin-Temel Sistemleri İçin Periyot Oranı, \bar{T}_{ij} , Değerleri.

TEMEL TABAN UZ/GEN ORANI, L (i)	SİSTEM MOD NO. (j)	SİSTEM DOĞAL PERİYODU (san)	PERİYOD ORANI ENDİSİ (\bar{T}_{ij})	SİSTEM PERİYOD ORANI \bar{T}_{ij}		
				DEPREM TİTREŞİMLERİ DOĞAL PERİYODU, T (san)		
				0.2	0.6	1.2
1	1	0.233	\bar{T}_{11}	1.165	0.39	0.19
	2	0.218	\bar{T}_{12}	1.09	0.36	0.18
	3	0.195	\bar{T}_{13}	0.975	0.325	0.16
2	1	0.226	\bar{T}_{21}	1.13	0.38	0.19
	2	0.217	\bar{T}_{22}	1.085	0.36	0.18
	3	0.190	\bar{T}_{23}	0.95	0.32	0.16
4	1	0.221	\bar{T}_{41}	1.105	0.37	0.18
	2	0.214	\bar{T}_{42}	1.07	0.36	0.18
	3	0.187	\bar{T}_{43}	0.935	0.31	0.16
8	1	0.220	\bar{T}_{81}	1.10	0.37	0.18
	2	0.210	\bar{T}_{82}	1.05	0.35	0.175
	3	0.185	\bar{T}_{83}	0.925	0.31	0.15

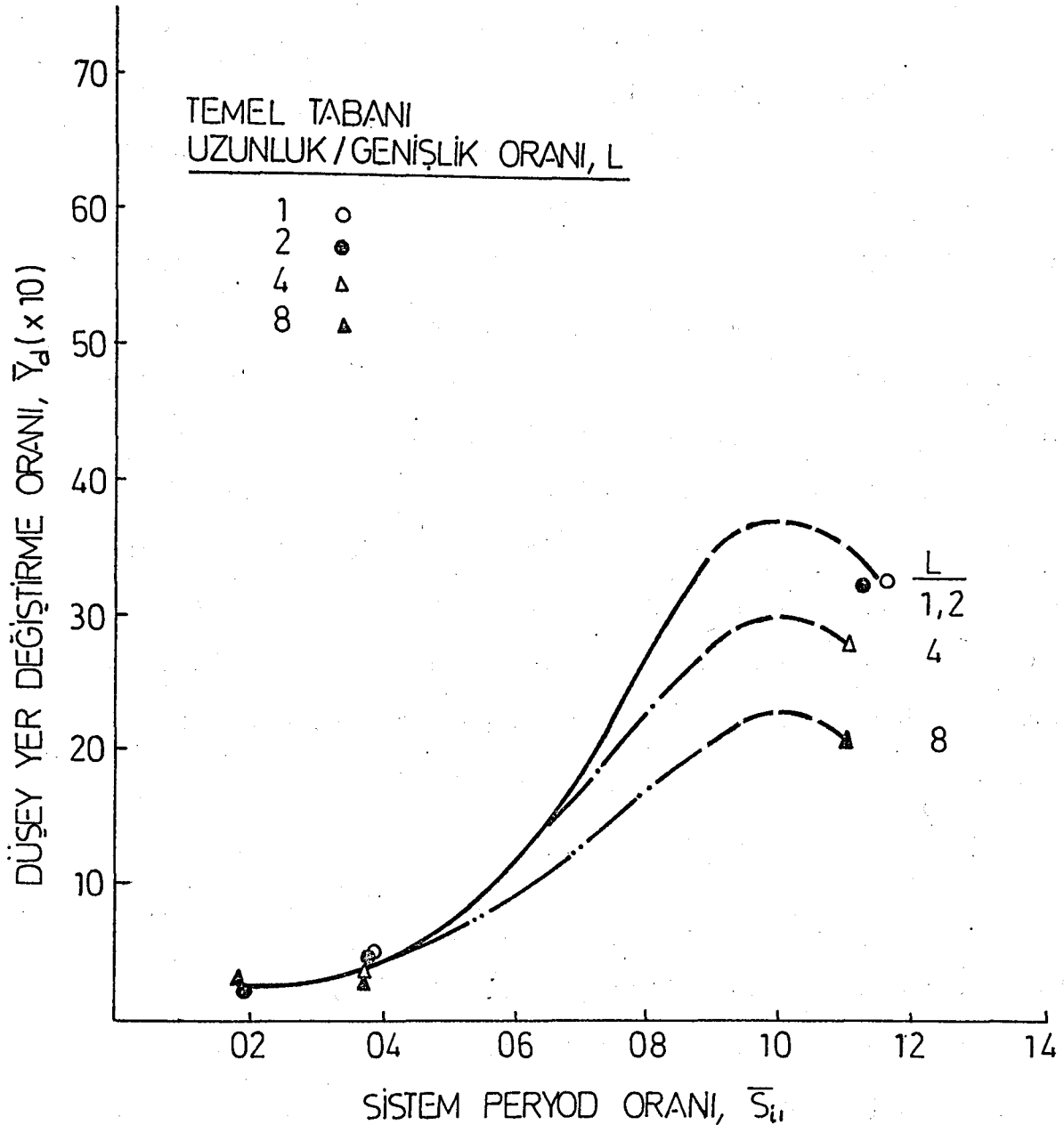
Birinci Mod Sistem Peryod Oranının, \bar{S}_{ij} , yatay ve düşey yer değiştirme oranları ile olan ilişkileri sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Görüldüğü ve beklendiği gibi her iki yer değiştirme oranı da sistem periyod oranı ile birlikte artmakta ve $\bar{S}_{ij} = 1$ civarında en yüksek değerlerine varmaktadırlar. Bu arada temel taban uzunluk/genişlik oranının da etkisi de daha iyi belirlenmektedir.

Yatay yer değiştirmeler için zemin-temel etkileşimi, Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, artan temel tabanı uzunluk/genişlik oranı ile azalmaktadır. Taban uzunluk/genişlik oranı, $L = 1,2$ durumunda zeminin etkisi oldukça fazla olmakta ve bu L değerleri için en yüksek \bar{Y}_y değerleri elde edilmektedir. Ayrıca bu iki L değerinin zemin-temel ilişkilerine etkisi yaklaşık aynıdır. Taban uzunluk/genişlik oranı arttıkça zeminin etkisi azalmakta, örneğin $L = 8$ durumunda kapsamdaki en küçük \bar{Y}_y değerleri elde edilmektedir.

Not edilmesi gereken bir diğer husus, çok küçük \bar{S}_{ij} değerlerinde taban uzunluk/genişlik oranı etkisinin ortadan kalktığı ve kullanılan temel türlerinin sistemi aynı şekilde etkilediğidir. Birinci mod sistem periyod oranı, $\bar{S}_{11} \leq 0.2$ durumunda tüm temel türleri yaklaşık aynı \bar{Y}_y değerini vermekte, \bar{S}_{11} değeri büyüdükçe temel tabanı uzunluk/genişlik oranının etkisi belirlenmeye başlamaktadır.



Sekil 4.9 DEĞİŞİK TABAN BOYUTLU ZEMEN-TEMEL SİSTEMLERİNDE BİRİNCİ MOD SİSTEM PERİYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ - YATAY YER DEĞİŞTİRME.



Şekil 4.10 DEĞİŞİK TABAN BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDE BİRİNCİ MOD SİSTEM PERİYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ - DÜŞEY YER DEĞİŞTİRME.

Düsey Yer Değiştirme Oranı, \bar{Y}_d , ile Sistem Peryod Oranının \bar{S}_{ij} , ilişkisi Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Yatay hareketlerde olduğu gibi düsey hareketlerde de zemin-temel etkileşimi artan temel tabanı uzunluk/genişlik oranı, L , ile birlikte azalmaktadır. Yatay hareket için görülen bütün eğilimler düsey hareket için de görülmektedir. Temel tabanı uzunluk/genişlik oranı, $L = 1,2$ olan temeller yaklaşık aynı şekilde davranmakta, L değeri büyüdükçe \bar{Y}_d değeri azalmakta veya diğer bir deyişle zeminin etkisi artan L değeri ile birlikte azalmaktadır. Küçük \bar{S}_{ij} değerlerinde ($\bar{S}_{ij} \leq 0,4$) taban uzunluk/genişlik oranının etkisi hemen hemen kalmamaktadır. Bir diğer husus da temel tabanı uzunluk/genişlik oranı etkisinin düsey yer değiştirmelerde, yatay yer değiştirmelere nazaran, daha az olduğudur.

4.6. SONUÇLAR

Temel tabanı uzunluk/genişlik oranının zemin-temel ilişkileri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla taban alanları ve kütleleri eşit olan, uzunluk/genişlik oranı, $L = 1,2, 4$ ve 8 olan temel türleri kullanılmıştır.

Değişik doğal periyodlu deprem titreşimlerine tâbi tutulan zemin-temel sistemlerinde temel üst düğümlerinin yatay ve düsey yer değiştirmeleri hesaplanmış, bulunan maksimum değerler aynı tür titreşimlere tabi tutulmuş, rijid ta-

banlı temeller için hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bu şekilde hesaplanan yatay ve düşey yer değiştirme oranları, sırasıyla \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d , cinsinden tanımlanmıştır. Genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

(a) Gerek yatay gerek düşey yer değiştirmeler için \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin genellikle yüksek olduğu, bilhassa rezonans durumunda bu değerlerin çok yüksek mertebelere çıktığı görülmüştür.

(b) Temel tabanı uzunluk/genişlik oranı yükseldikçe \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinde genellikle bir azalma görülmüştür.

(c) Rezonans durumu haricinde, artan taban uzunluk/genişlik oranı ile birlikte deprem titreşimleri doğal periyodunun etkisi azalmaktadır.

(d) Zemin-temel sistemi doğal periyodunun rijid tabanlı temel doğal periyoduna oranı, \bar{P}_j , azaldıkça deprem titreşimleri doğal periyodunun etkisi, rezonans durumu haricinde, azalmaktadır.

(e) Zemin-temel sistemi doğal periyodunun deprem titreşimleri doğal periyoduna oranınının, \bar{S}_{ij} , yatay yer değiştirmeler için yaklaşık 0.2 veya daha küçük, düşey yer değiştirmeler için ise yaklaşık 0.4 veya daha küçük olduğu durumlarda, taban uzunluk/genişlik oranınının zemin-temel ilişkilerine

etkisi kaybolmaktadır.

(f) Zemin-temel ilişkilerinde zeminin önemi artan taban uzunluk/genişlik oranı, L , ile birlikte azalmaktadır. Zemin-temel etkileşimi en fazla olarak kullanılan en düşük L değerlerinde görülmüştür.

(g) Yatay yer değiştirmeler düşey yer değiştirmelerden daha kritik olmaktadır. Bütün sistemlerde hesaplanan \bar{Y}_y değerleri, \bar{Y}_d değerlerinden yüksek olarak bulunmuştur.

5. TEMEL BOYUTLARI ETKİSİNİN ÜÇ BOYUTLU ANALİZLE İNCELENMESİ

5.1. GENEL

Bir önceki bölümde iki boyutlu olarak incelenen temel boyutlarının zemin-temel ilişkilerine etkisi, bu kez üç boyutlu olarak ele alınmıştır. Ancak, hesapların bilgisayarda uzun vakit alması ve amacın temel boyutlarından ziyade iki ve üç boyutlu analizlerin etkisinin incelenmesi olduğundan, bu bölümde iki değişik boyutlu temel ve bu temelleri içeren zemin-temel sistemleri ele alınmıştır. Taban alanları ve kütleleri eşit olan bu temellerin ana fiziksel özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi bu temeller, Bölüm 4'de iki boyutlu analizle incelenen ve Tablo 4.1'de verilen B ve C türü temellere tekabül etmektedir.

Temel malzemesi olarak kullanılan beton özellikleri Tablo 4.2'deki özellikler ile aynıdır.

Parametrik etkileri incelemek üzere yine temel üst düğümlerinin maksimum yatay ve düşey yer değiştirme değerleri kullanılmıştır. İki boyutlu analiz sonuçlarıyla karşılaştırma yapabilmek amacıyla, deprem hareketi taban kayasına temel kısa eksenine paralel olarak tatbik edilmiş ve temel

Tablo 5.1- Üç Boyutlu Analizlerde Kullanılan Temel Türleri

<u>Temel Türü</u>	<u>Taban Uzunluk/Genişlik Oranı, L</u>	<u>Uzunluk (m)</u>	<u>Genişlik (m)</u>	<u>Yükseklik (m)</u>
A	2	5.00	2.50	3.32
B	4	7.10	1.76	3.32

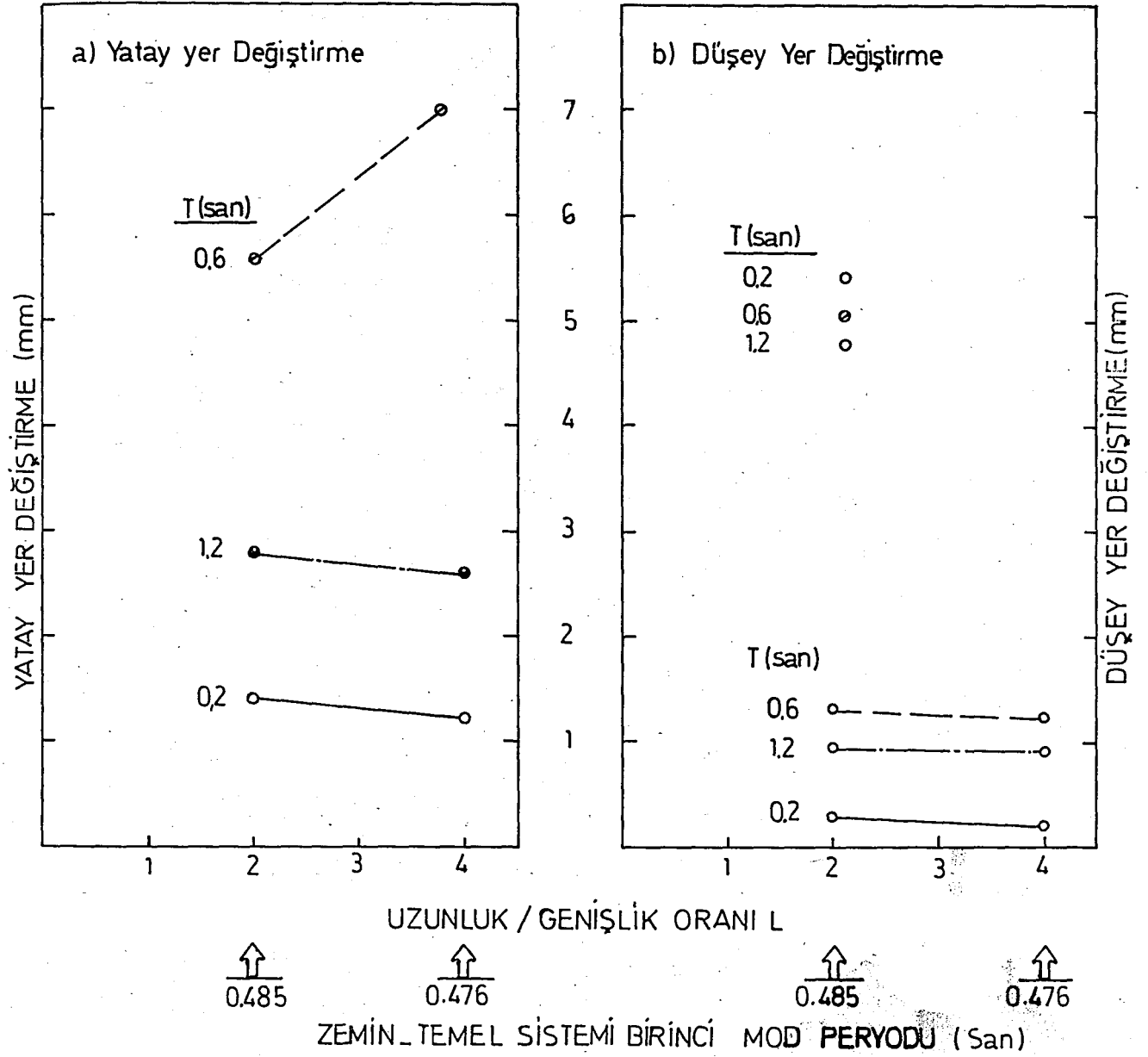
kısa eksen yönündeki yer değiştirmeler hesap edilmiştir. Böylece iki boyutlu analizle uyum sağlanmıştır.

5.2. YER DEğİŞTİRMELER

A. Zemin - Temel Sistemleri

Temel üst düğümleri için hesaplanan maksimum yatay ve düşey yer değiştirme değerleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Her iki taban uzunluk/genişlik oranı, L , için de yaklaşık eşit yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Ancak L değeri arttıkça, yer değiştirme değerlerinde genellikle bir azalma eğilimi de görölmektedir. Bu genel durum, doğal peryodu 0.6 san olan deprem titreşimleri sonucu hesaplanan yatay yer değiştirme değerleri için geçerli olmamaktadır. Bu tür titreşim altında L büyödükçe, yatay yer değiştirme miktarı da büyömektedir.

Diğer bir husus, doğal peryodu 0.6 san olan titreşimlerin en yüksek yatay ve düşey yer değiştirmelere neden olduğudur. Bunun sebebini zemin-temel sisteminin doğal peryodunda aramak gerekmektedir. Şekil 5.1'de sistemin birinci mod peryodu için hesaplanan değerler gösterilmiştir. Yaklaşık 0.5 san olan bu değer ile doğal peryodu 0.6 san olan titreşimler yaklaşık bir rezonans durumu yaratmakta, bu nedenle de bu deprem türü için en yüksek yer değiştirme miktarları hesaplanmaktadır.



ŞEKİL 5.1 00 BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDE TEMEL ÜST KENAR DÜĞÜMLERİNİN YER DEĞİŞTİRMELERİ.

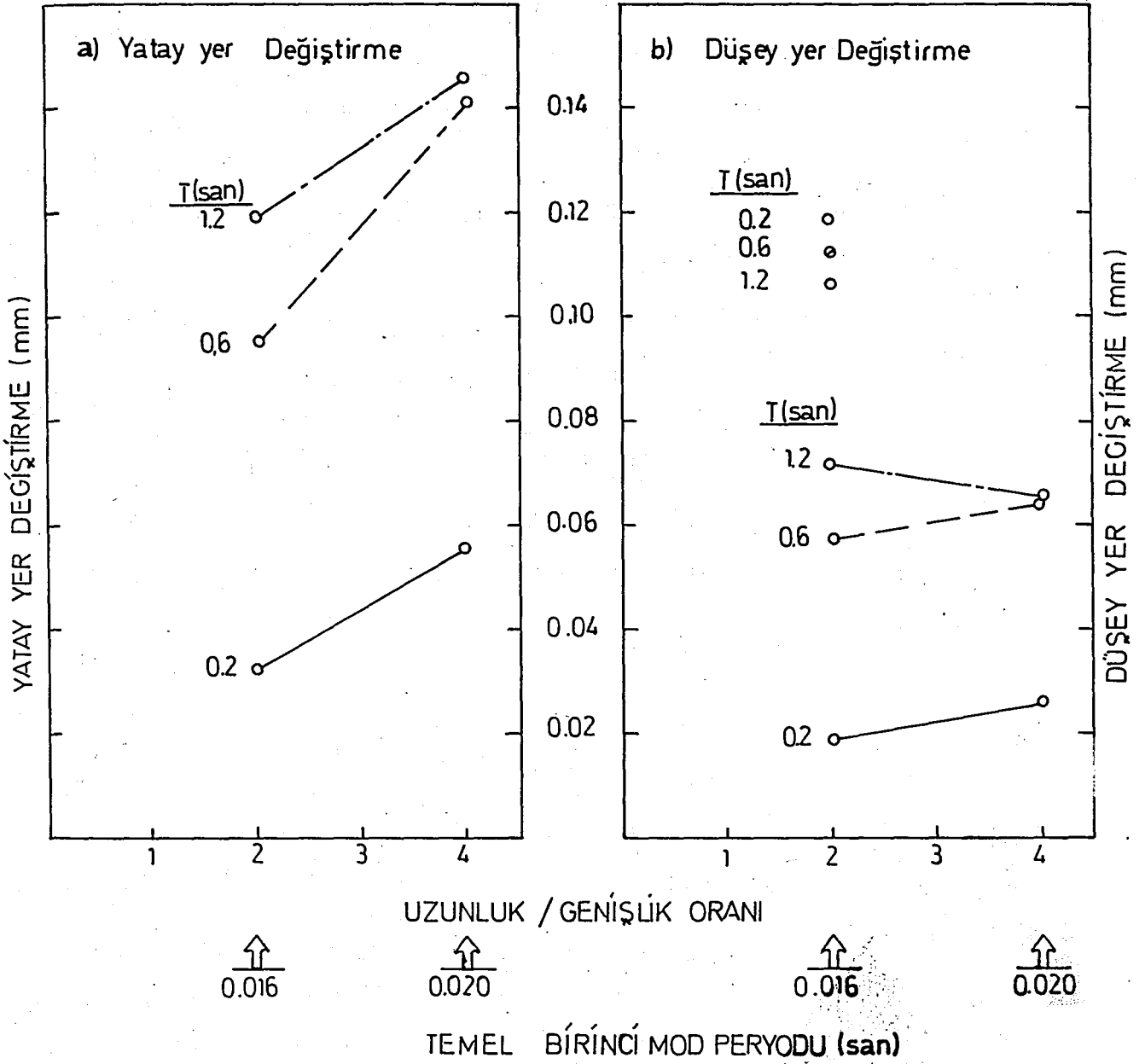
Yatay yer deęiřtirme miktarlarının dūsey yer deęiřtirme miktarlarından yūksek olduęunu da not etmek gerekmektedir.

B. Rijid Tabanlı Temeller

Zemin-temel iliřkilerini inceleyebilmek için, kullanılan temel tūrleri rijid tabanlı olarak, Bōlūm 3'de açıklandığı Őekilde, eřdeęer deprem titreřimlerine tābi tutulmuřlardır. Bu Őekilde hesaplanan yer deęiřtirme deęerleri ile zemin-temel sistemleri için hesaplanan yer deęiřtirme deęerleri karřılařtırılarak zemin-temel sistemlerinde zeminin etkisini incelemek mūmkūn olmuřtur.

Rijid tabanlı temeller için hesaplanan maksimum yer değiştirme miktarları Şekil 5.2'de gōsterilmiřtir. Bunlar Şekil 5.1 ile karşılaştırıldığında, bazı davranış farkları ortaya çıkmaktadır.

Temel taban uzunluk/geniřlik oranının, L , etkisi rijid tabanlı temellerde, zemin-temel sistemlerine gōre, daha belirlidir. Bu oranın artmasıyla yer deęiřtirme miktarlarında da bir artıř gōzūkmektedir. Bir tek doęal peryodu 1.2 san olan titreřimler sonucu hesap edilen maksimum dūsey yer deęiřtirmelerde bōyle bir artıř gōrūlmemiř, aksine L arttıķa dūsey yer deęiřtirme miktarı azalmıřtır.



SEKİL 5.2 RIJİD TABANLI ÖÇ BOYUTLU TEMELERDE ÖST KENAR DOĞUMLERİN YER DEĞİŞTİRMELERİ.

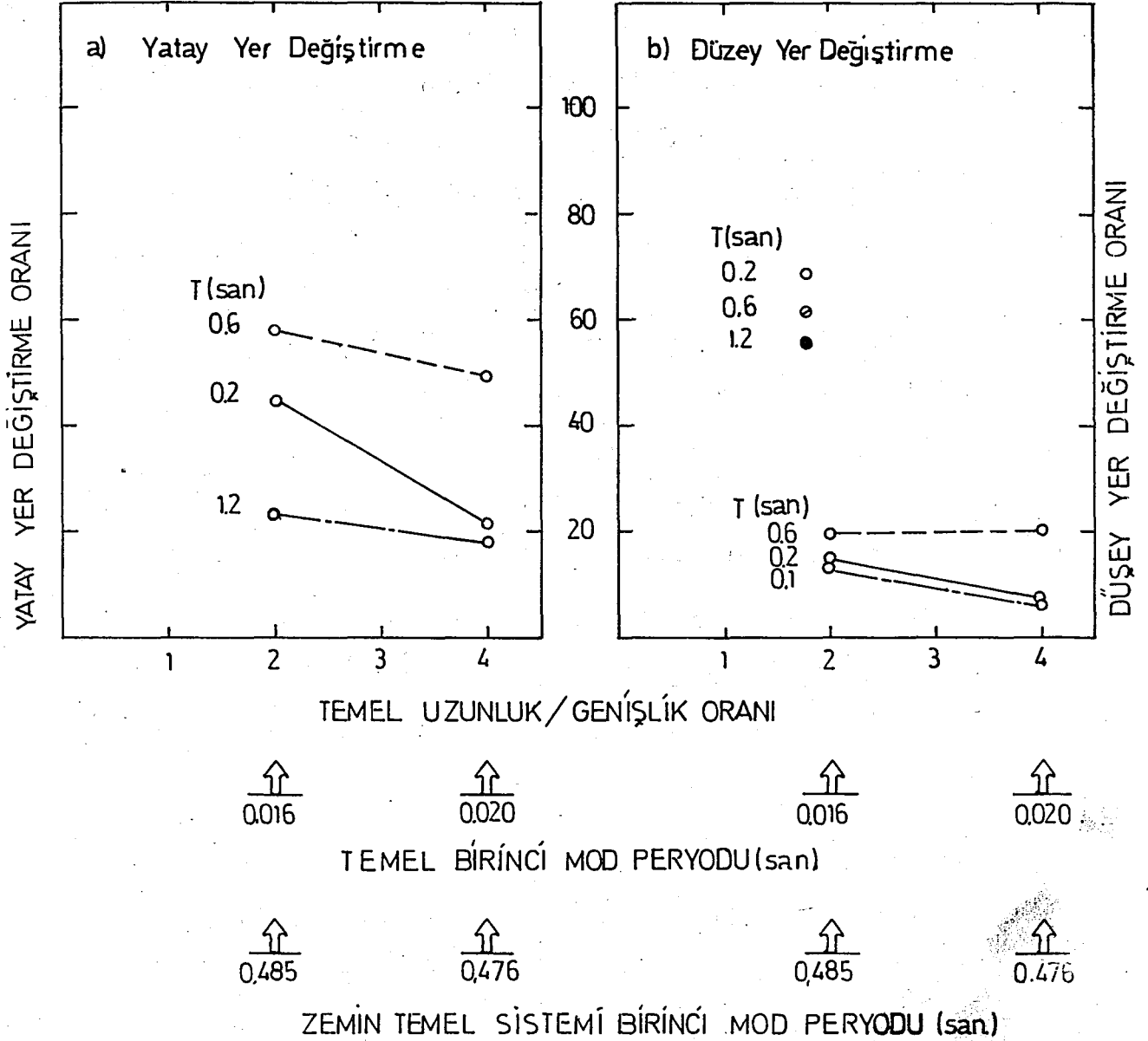
Diğer genel bir fark hesaplanan yer değiştirme miktarlarının değerlerindedir. Rijid tabanlı temeller için hesaplanan değerler zemin-temel sistemi için hesaplanan değerlerin çok altındadır. Ayrıca, zemin-temel sistemlerinde rastlanan yaklaşık rezonans durumu rijid tabanlı temel davranışında rastlanmamıştır. Şekil 5.2'de belirtildiği gibi, temellerin birinci mod periyod değerleri tatbik edilen deprem titreşimlerinin doğal periyodlarının oldukça altındadır.

Rijid tabanlı temel davranışında görülen genel husus, deprem titreşimleri doğal periyodu yükseldikçe tekabül eden maksimum yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının da arttığıdır.

5.3. YER DEĞİŞTİRME ORANLARI

Zemin ortamının zemin-temel sisteminin yer değiştirmesi üzerindeki etkilerini inceleyebilmek amacıyla sistem için hesaplanan yer değiştirme miktarları ile rijid tabanlı temeller için hesaplanan yer değiştirme miktarlarının oranları ele alınmış, Bölüm 4'de verilen Denklem (4.1) ve (4.2) kullanılarak yatay ve düşey yer değiştirme oranları, sırasıyla \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d , hesaplanmıştır. Bu oranların temel tabanı uzunluk/genişlik oranı ile değişimi Şekil 5.3'de belirtilmiştir.

Her iki oran da yaklaşık aynı eğilimleri göstermektedir. Taban uzunluk/genişlik oranı, L , arttıkça, \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d de-



SEKİL 5.3 ÜÇ BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDE TEMEL TABAN BOYUTLARININ SİSTEM DAVRANISINA ETKİLERİ.

gerleri azalmaktadır. Yalnız doğal periyodu 0.6 san olan titreşimler altında Düşey Yer Değiştirme Oranı, \bar{Y}_d , taban uzunluk/genişlik oranı, L , ile önemli şekilde etkilenmemekte ve kullanılan her iki L değerinde de \bar{Y}_d değeri yaklaşık sabit kalmaktadır.

Doğal periyodu 0.6 san olan titreşimler altında \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin en yüksek mertebelerde olması, önceden de izah edildiği gibi, bu titreşimlerin zemin-temel sistemi ile yaklaşık rezonans durumu içinde olmasındandır. Diğer periyodlu titreşimler için görülen genel husus titreşim doğal periyodu yükseldikçe \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin azaldığıdır. Genel olarak, rezonans durumu haricinde, titreşim doğal periyodunun etkisi artan taban uzunluk/genişlik oranı ile birlikte azalmaktadır.

Üç boyutlu analizlerde görülen bu noktalar iki boyutlu analizlerdeki sonuçlarla uyum içindedir. İki analiz türü arasındaki tek not edilmesi gereken fark, üç boyutlu analizle hesaplanan \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin, iki boyutlu analizle hesaplanan değerlerden daha küçük olmasıdır.

5.4. PERİYOD ORANI ETKİLERİ

İki boyutlu analizlerde yapıldığı gibi üç boyutlu analizlerde de zemin-temel ilişkilerini sadece taban uzunluk/genişlik oranı ile değil de değişik periyod oranları ile de

tanımlamanın gerekli olduğu görülmüştür.

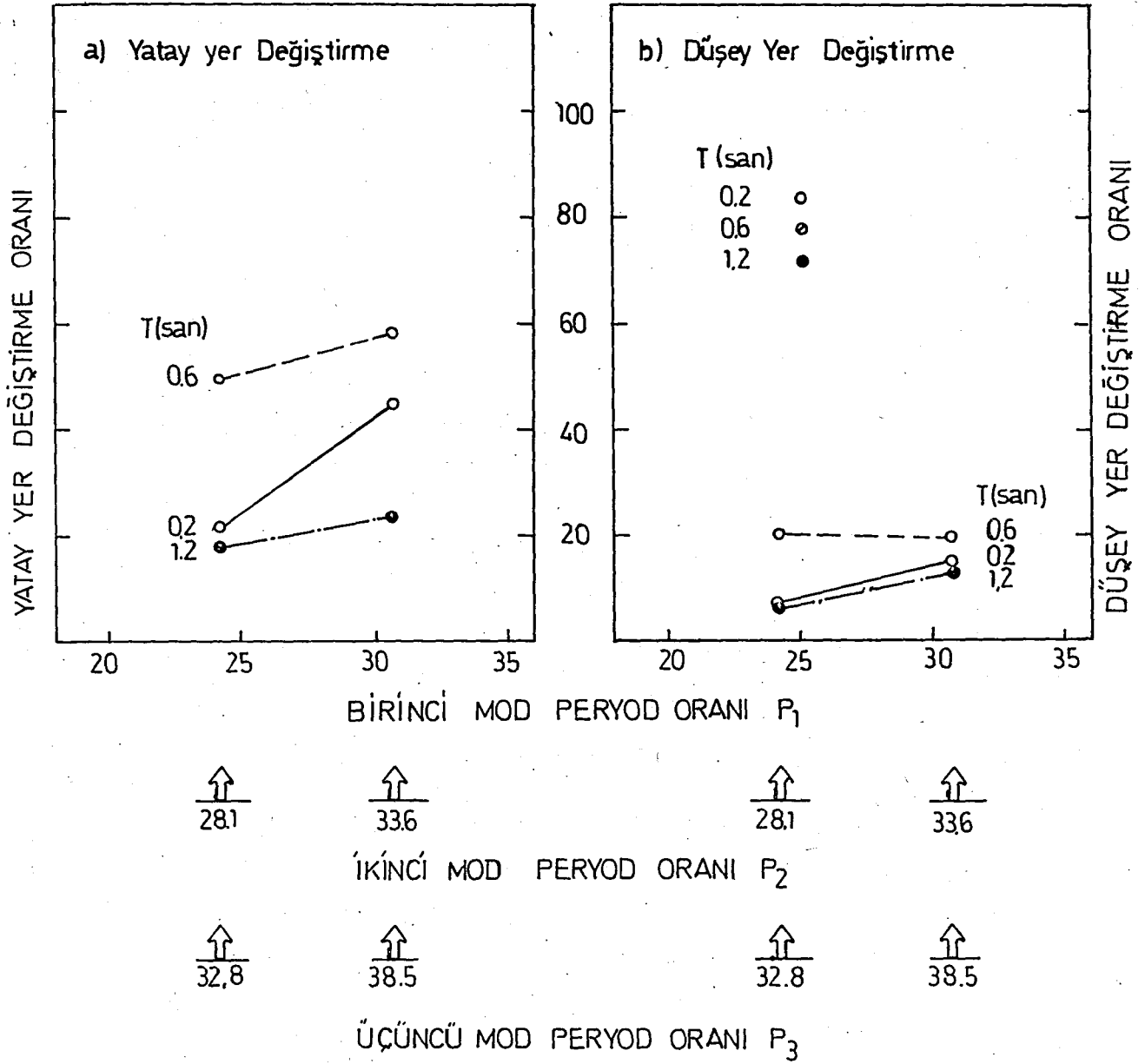
Zemin-temel sistemi doğal periyodu ile rijid tabanlı temel doğal periyodunun birbirine oranları olarak tanımlanan Periyod Oranı, \bar{P}_j , değerleri Bölüm 4'te verilen Denklem (4.3) ile hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5.2'de sıralanmıştır. İki boyutlu analizlerde de görüldüğü gibi, taban uzunluk/genişlik oranı arttıkça \bar{P}_j değeri azalmaktadır.

Yatay ve Düşey Yer Değiştirme Oranlarının, Periyod Oranı ile değişimi Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Bu şekilde \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri Birinci Mod Periyod Oranına, \bar{P}_1 , göre çizilmiş, ikinci ve üçüncü modlara tekabül eden \bar{P}_2 ve \bar{P}_3 değerleri de aynı şekil üzerinde gösterilmiştir.

Taban uzunluk/genişlik oranı, L, arttıkça, periyod oranı, \bar{P}_j , azaldığından, Şekil 5.3'de görülen eğriler, Şekil 5.2'de verilmiş olan eğrilerin yaklaşık tam tersi olmaktadır. Görüldüğü gibi periyod oranı yükseldikçe gerek yatay gerekse düşey yer değiştirme oranları da yükselmekte, diğer bir deyişle, zemin ortamının zemin-temel sistemine katkısı fazlalaşmaktadır. Ancak, doğal periyodu 0.6 san olan titreşimler altında hesaplanan düşey yer değiştirme oranında böyle bir eğilim görülmemekte, değişik periyod oranlarında, \bar{Y}_d değeri yaklaşık sabit kalmaktadır.

Tablo 5.2- 0ç Boyutlu Zemin-Temel Sistemleri için Peryod Oranı, P_j , Değerleri

MOD NO. (j)	PERYOD ORANI ENDİSİ (P_j)	PERYOD ORANI P_j	
		TEMEL TABANI UZUNLUK/GENİŞLİK ORANI	
		2	4
1	P_1	30.7	24.2
2	P_2	33.6	28.1
3	P_3	38.5	32.8



SEKİL 5.4 ÜÇ BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDE PERYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ.

Diğer bir husus da, rezonans durumu haricinde, \bar{P}_j değeri azaldıkça deprem titreşimleri doğal periyodunun etkisinin de azaldığıdır.

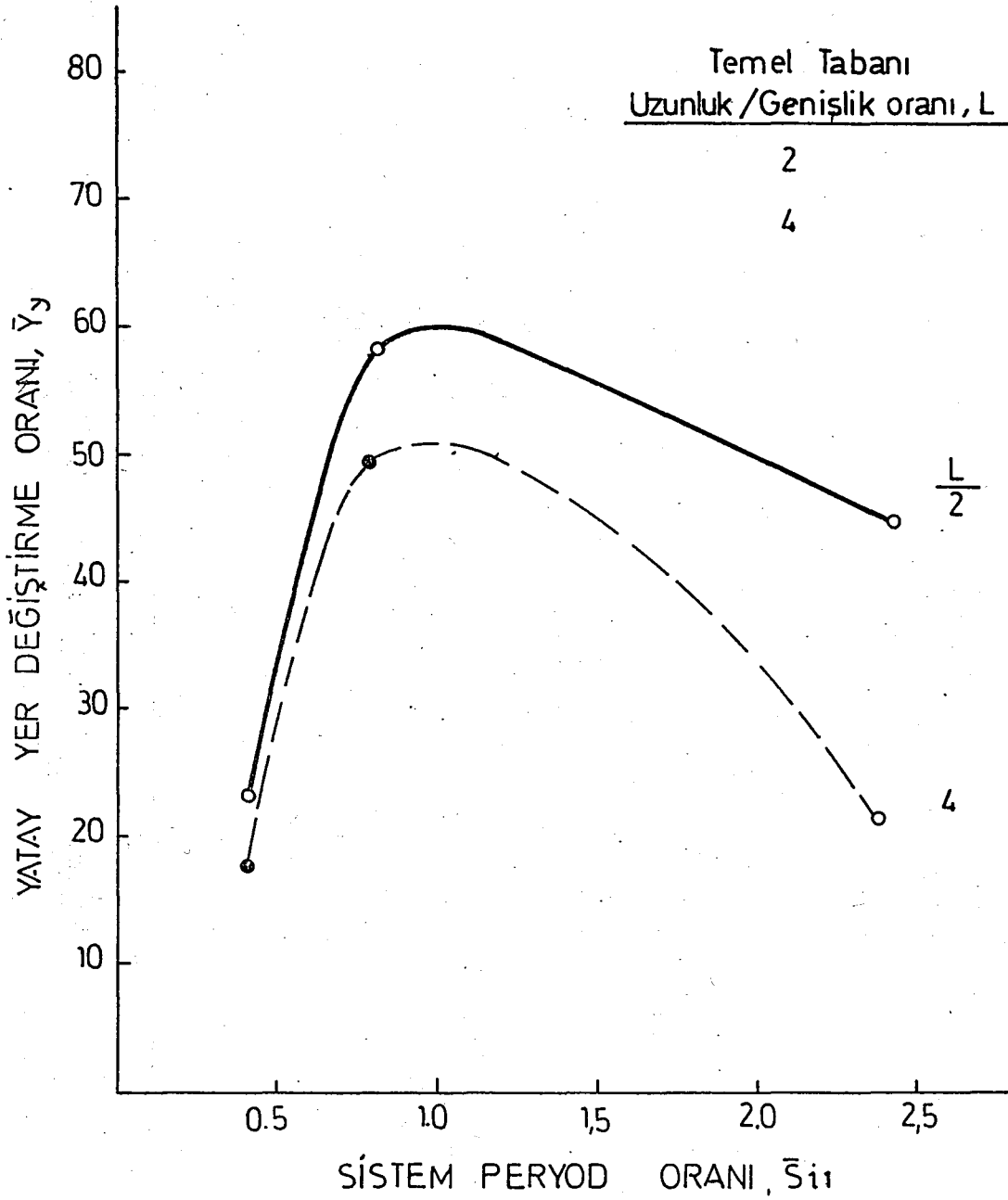
5.5. SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ

Zemin-temel sistemi doğal periyodu ile deprem titreşimleri doğal periyodu arasındaki ilişki sistem davranışını etkileyen çok önemli bir unsurdur. Bu nedenle, bu iki periyodun birbirine oranı olarak Bölüm 4'de Denklem (4.4) ile tanımlanan Sistem Periyod Oranı, \bar{S}_{ij} , değerleri üç boyutlu sistemler için de hesaplanmış ve Tablo 5.3'de sonuçlar sıralanmıştır. Görüldüğü gibi, doğal periyodu 0.6 san olan titreşimler için \bar{S}_{ij} değerleri birinci mod için yaklaşık 0.80 olmakta, diğer modlar için biraz daha azalmaktadır. Bu nedenle bu tür titreşimler altında en yüksek yer değiştirme oranları hesap edilmiştir. Diğer periyodlu titreşimler için ise \bar{S}_{ij} değerleri rezonans olayı yaratmayacak derecede $\bar{S}_{ij} = 1.0$ değerinden uzaklaşmaktadırlar.

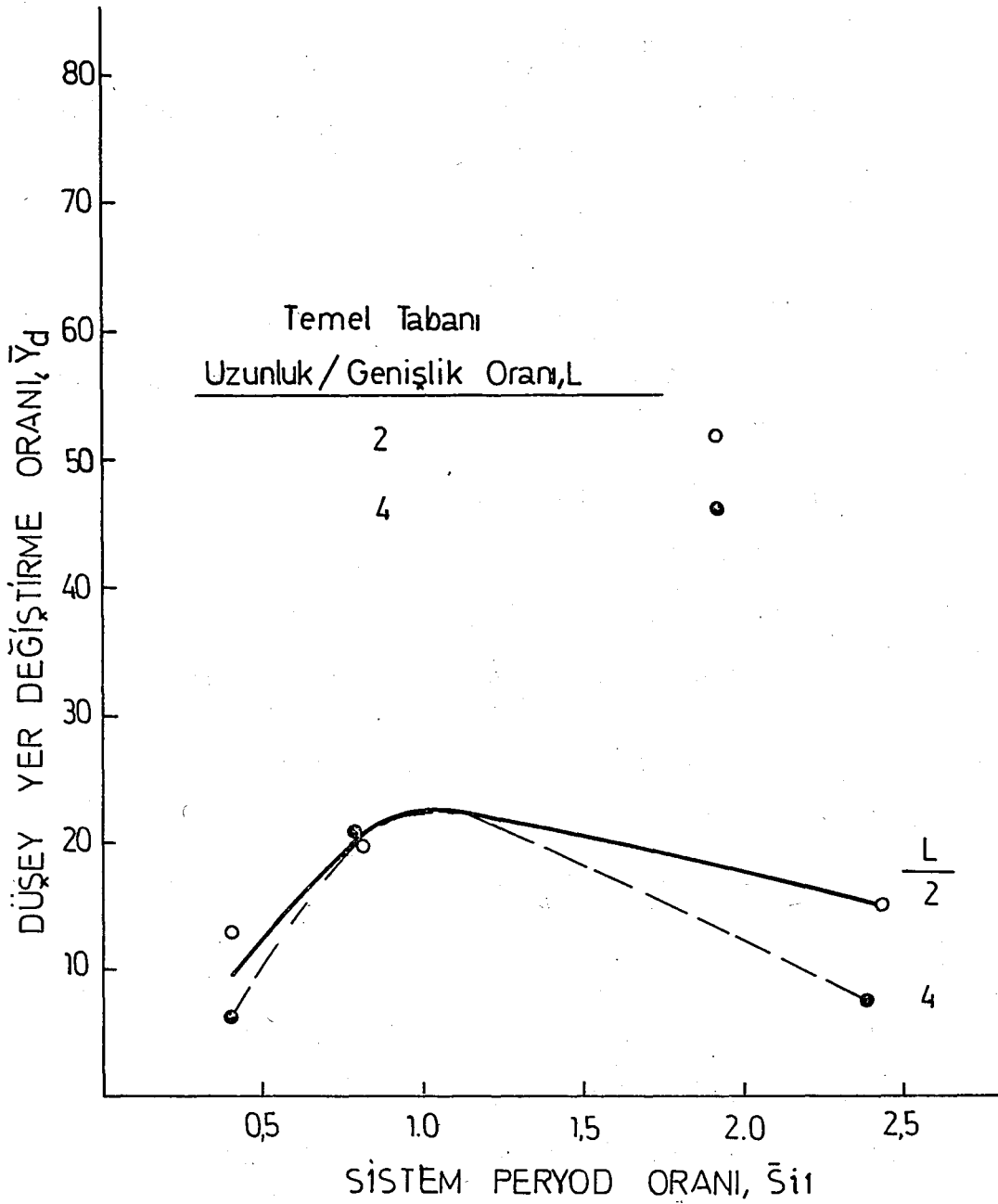
Birinci Mod Sistem Periyod Oranının, \bar{S}_{i1} , yatay ve düşey yer değiştirme oranları, \bar{V}_y ve \bar{V}_d , ile ilişkileri Şekil 5.5 ve 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.3- 0ç Boyutlu Zemin-Temel Sistemleri için Sistem Peryod Oranı, \bar{S}_{ij} , Değerleri

TEMEL TABANI UZ / GEN ORANI, L (i)	SİSTEM MOD NO. (j)	SİSTEM DOĞAL PERİYODU (san)	PERİYOD ORANI ENDİSİ (\bar{S}_{ij})	SİSTEM PERİYOD ORANI, \bar{S}_{ij}		
				DEPREM TİRŞEMİLERİ DOĞAL PERİYODU, T (san)		
				0.2	0.6	1.2
2	1	0.485	\bar{S}_{21}	2.43	0.81	0.40
	2	0.418	\bar{S}_{22}	2.09	0.70	0.35
	3	0.405	\bar{S}_{23}	2.03	0.68	0.34
4	1	0.476	\bar{S}_{41}	2.38	0.79	0.40
	2	0.461	\bar{S}_{42}	2.31	0.77	0.38
	3	0.402	\bar{S}_{43}	2.01	0.67	0.34



Sekil 5.5 0Ç BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDE BİRİNCİ MOD SİSTEM PERİYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ - YATAY YER DEĞİŞTİRME.



Şekil 5.6 0Ç BOYUTLU ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİNDE BİRİNCİ MOD SİSTEM PERYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ - DÜŞEY YER DEĞİŞTİRME.

Görüldüğü gibi her iki yer değiştirme oranı da $\bar{S}_{i1} = 1.0$ civarında maksimum mertebelerine erişmekte, diğer \bar{S}_{i1} değerlerinde ise \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d miktarları azalmaktadır. Bu arada taban uzunluk/genişlik oranının etkisi daha açık şekilde belirlenmektedir.

Temel tabanı uzunluk/genişlik oranının etkisi yatay yer değiştirmelerde, düşey yer değiştirmelere nazaran, daha belirli olmaktadır. Taban uzunluk/genişlik oranı arttıkça, yatay yer değiştirme oranı azalmaktadır. Düşey yer değiştirmeler için de aynı eğilim görülmekte, ancak taban uzunluk/genişlik oranının etkisi bilhassa rezonans durumundan büyük \bar{S}_{i1} değerlerinde kendini belli etmektedir.

Bir diğer husus, zemin-temel etkileşiminin yatay yer değiştirmeler için daha kritik olduğudur. Görüldüğü gibi \bar{Y}_y değerleri genellikle \bar{Y}_d değerlerinden daha büyük olmaktadır.

Son olarak sistem periyod oranı ile yatay ve düşey yer değiştirme oranları arasındaki ilişkilerin ve taban uzunluk/genişlik oranının bu ilişkilere etkilerinin iki boyutlu analizler sonucu elde edilen eğilimlerle uyum içinde olduğunu, ancak üç boyutlu analizlerde elde edilen maksimum \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin iki boyutlu analizlerdekinin yaklaşık % 70'i civarında olduğunu not etmek gerekmektedir.

5.6. SONUÇLAR

Temel tabanı uzunluk/genişlik oranının zemin-temel ilişkilerine etkisi üç boyutlu analizlerle incelenmiştir. Amaç üç boyutlu analizler sonucu elde edilen sonuçlarla iki boyutlu analiz sonuçlarını karşılaştırmak ve analiz boyutlarının zemin-temel davranışı ile ilgili olarak önemli bir etkisi olup olmadığını incelemek olmuştur. Bu nedenle kütleleri ve taban alanları eşit olan, taban uzunluk/genişlik oranları ise 2 ve 4 olan iki temel türü ele alınmıştır.

Bu temelleri içeren zemin-temel sistemleri değişik doğal periyotlu deprem titreşimlerine tâbi tutulmuş ve temel üst düğümlerinin yatay ve düşey yer değiştirme miktarları hesap edilmiştir. Temeller ayrıca rijid tabanlı olarak da aynı titreşimlere tâbi tutulmuşlar ve bu durum için de kabul eden yatay ve düşey yer değiştirme miktarları hesaplanmıştır. Sonuçlar, bu iki durum altında elde edilen maksimum yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının oranları, sırasıyla \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d , cinsinden tanımlanmıştır. Genel sonuçlar şöyle özetlenebilir:

(a) Gerek yatay gerekse düşey yer değiştirmeler için \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin yüksek olduğu, bilhassa rezonans durumunda bu değerlerin daha da fazlalığı görülmüştür. Ancak üç boyutlu analizlerde elde edilen \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri iki boyutlu analizlerle elde edilen değerlerin altındadır.

(b) Temel taban uzunluk/genişlik oranı arttıkça \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinde azalma görülmüştür.

(c) Resonans durumu haricinde, artan taban uzunluk/genişlik oranı ile birlikte deprem titreşimleri doğal periyodunun etkisi azalmaktadır.

(d) Resonans durumu haricinde, zemin-temel sistemi doğal periyodunun rijid tabanlı temel doğal periyoduna oranı \bar{P}_j , azaldıkça deprem titreşimleri doğal periyodunun etkisi de azalmaktadır.

(e) Zemin-temel sistemi doğal periyodunun deprem titreşimleri doğal periyoduna oranı, \bar{S}_{ij} , değeri, resonans durumunun altında iken ($\bar{S}_{ij} < 1$) taban uzunluk/genişlik oranının etkisi önemli olmamakta, resonans durumunun üstünde ise ($\bar{S}_{ij} > 1$) taban uzunluk/genişlik oranının etkisi görülmektedir.

(f) Zemin-temel ilişkilerinde zeminin önemi artan taban uzunluk/genişlik oranı, L , ile birlikte azalmaktadır. Zemin-temel etkileşimi en fazla olarak kullanılan en küçük L değeri için görülmüştür.

(g) Yatay yer değiştirmeler düşey yer değiştirmelerden daha kritik olmaktadır.

(h) Sistem periyod oranı, \bar{S}_{ij} , ile yatay ve düşey yer değiştirme oranlarının, \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d , ilişkileri analiz boyutları yönünden incelendiğinde, üç boyutlu analizlerde elde edilen maksimum \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin iki boyutlu analizlerde elde edilenlerin yaklaşık % 70'i olduğu görülmüştür.

(i) Genellikle iki ve üç boyutlu analiz sonuçlarının taban uzunluk/genişlik oranı, $L = 4$ olan temel türü için, $L = 2$ temel türüne göre, daha iyi uyum içinde olduğu görülmüş, Bu nedenle bundan sonraki iki boyutlu analizlerde $L = 4$ taban boyutlu temel türünün kullanılmasına karar verilmiştir.

6. TEMEL KÜTLESİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ

6.1. GENEL

Lysmer (1965) tarafından düşey titreşimler için önerilen temel kütle oranları o zamandan beri temelleri niteliyen boyutsuz bir parametre olarak başarıyla kullanılmaktadır. Düşey titreşimler için boyutsuz kütle oranı, B_z , değerinin tanımı aşağıda tekrarlanmıştır:

$$B_z = \frac{1 - \nu}{4} \frac{m}{\rho r_0^3} \quad (6.1)$$

Burada, ν = zemin Poisson oranı, m = temel kütlesi, ρ = zemin kütle yoğunluğu ve r_0 = temel yarıçapıdır. Temel taban şekli dairesel olmayan temeller için eşdeğer yarıçap eşit-taban alanı prensibinden hareketle Denklem (6.2) ile hesap edilmektedir.

$$r_0 = \sqrt{\frac{ab}{\pi}} \quad (6.2)$$

Burada, a = taban uzunluğu ve b = taban genişliğidir. Taban şekli dikdörtgen olmayan temeller için ise " ab " değeri yerine taban alanının değeri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada r_0 değeri olarak 2 m, B_z olarak ise 0.5, 1.0 ve 1.5 değerleri ele alınmış ve bu değerleri sağlayan temel boyutları bulunmuştur. Bu temeller zemin yüzeyine yerleştirilerek zemin-temel sistemleri elde edilmiştir. Temel kütlelerinin davranışa etkilerini incelemek üzere kullanılan temel özellikleri Tablo 6.1'de özetlenmiştir. Aynı temel türünün diğer önemli dinamik özellikleri ve bu arada değişik tür titreşimler altındaki kütle oranları, Ek.5'de verilmiştir. Temel için kullanılan malzeme ise, özellikleri Bölüm 4, Tablo 4.2'de özetlenen beton olmuştur.

Kütle oranından başka zemin türü ve titreşimlerin doğal periyodları da ayrı parametreler olarak çalışmaya katılmışlardır.

Zemin türü olarak, ayrıntıları Bölüm 2'de verilen "Gevşek", "Orta" ve "Sıkı" zemin türleri ele alınmıştır. "Gevşek" tür gevşek kumlu veya orta sertlikte killi bir zemini, "Orta" tür orta sıklıkta kumlu veya sert killi bir zemini, "Sıkı" tür ise sıkı kumlu bir zemini simgelemektedirler.

Deprem titreşimleri olarak ise yine ayrıntıları Bölüm 2'de verilen ve titreşim doğal periyodu 0.2, 0.6 ve 1.2 san olan hareketler çalışmaya dahil edilmiştir.

Temel kütlelerinin zemin-temel ilişkilerine etkileri incelenirken, temel taban alanı sabit tutulduğundan, temel

Tablo 6.1- Kullanılan Temel Özellikleri
(yüzeysel temeller)

Boyutlar	Kütle Oranı, B_z		
	0.5	1.0	1.5
Uzunluk (m)	7.10	7.10	7.10
Genişlik (m)	1.76	1.76	1.76
Yükseklik (m)	1.66	3.32	4.98
Ağırlık (t)	50	100	150

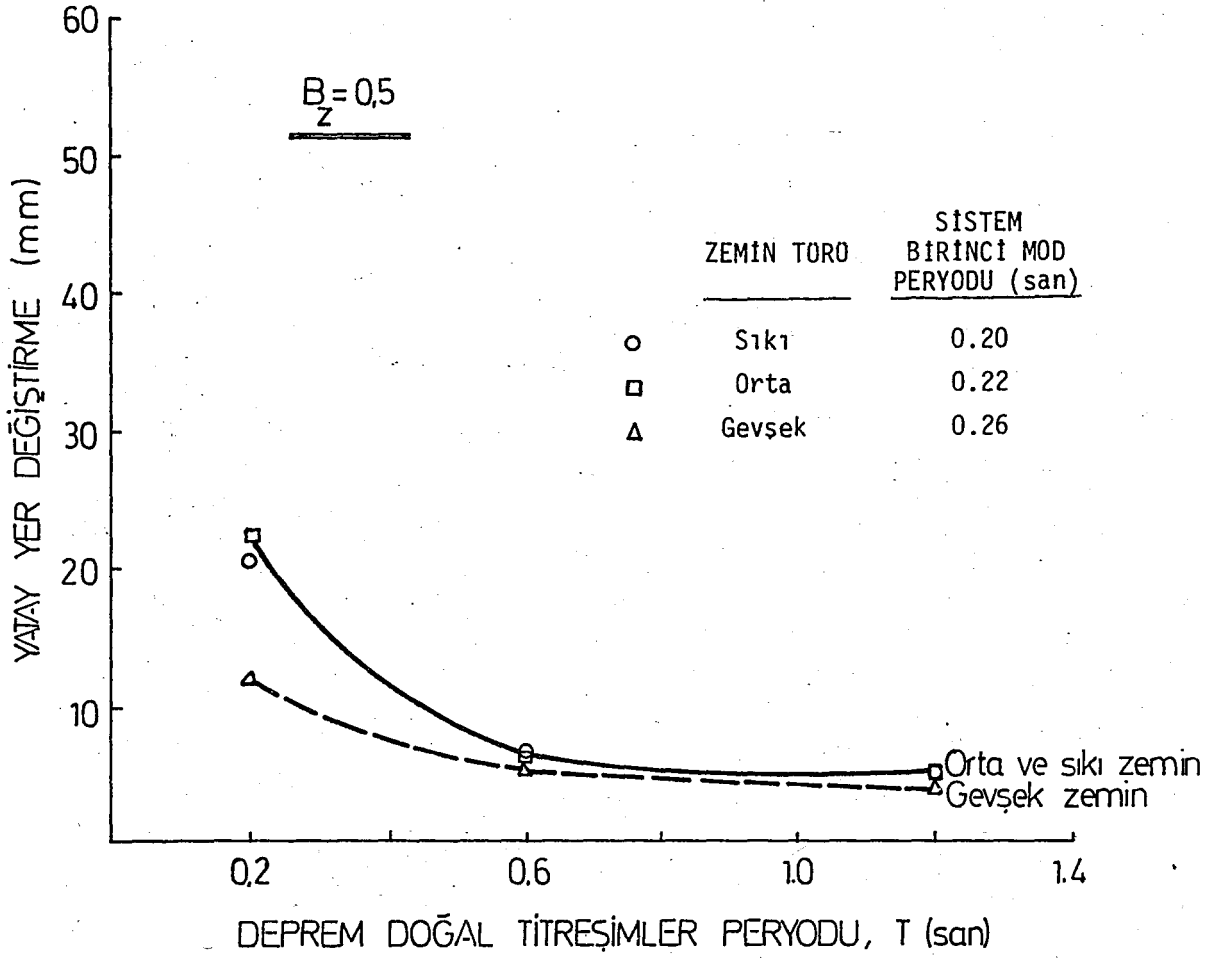
yüksekliğinin dinamik davranışa etkisi de incelenmiş olmaktadır. Bu parametrelerin etkileri zemin-temel sisteminin değişik zemin türleri ve deprem titreşimleri altında yer değiştirmeleri yönünden ele alınmış ve temel üst noktalarının (sonlu elemanlar ağında temel üst düğümlerinin) maksimum yatay ve düşey yer değiştirme değerleri cinsinden tanımlanmıştır.

6.2. YER DEĞİŞTİRME MİKTARLARI

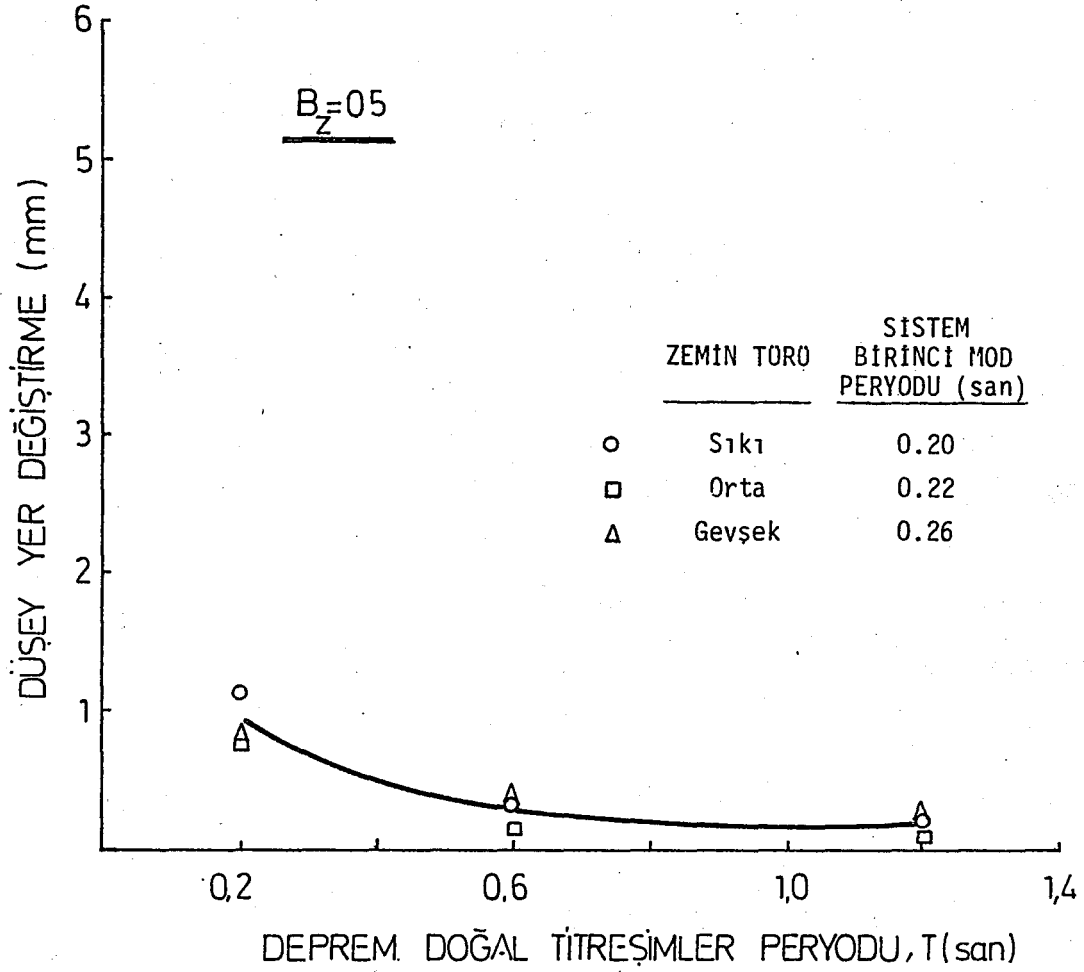
A. Kütle Oranı, $B_z = 0.5$

Kullanılan en küçük kütle oranına, $B_z = 0.5$, sahip temellerin üst düğümleri için elde edilen maksimum yatay ve düşey yer değiştirme değerleri Şekil 6.1 ve 6.2'de gösterilmiştir.

Değişik zemin türlerini içeren zemin-temel sistemlerinin değişik doğal periyodlu titreşimler altında davranışı sonucu elde edilen yatay yer değiştirme miktarlarını gösteren Şekil 6.1 incelendiğinde, deprem titreşimleri doğal periyodu yükseldikçe yatay yer değiştirme miktarlarının azaldığı göze çarpmaktadır. En yüksek yatay yer değiştirme miktarı kullanılan en düşük doğal periyodlu titreşimler için elde edilmiş, tatbik edilen daha yüksek doğal periyodlu titreşimler altında ise yatay yer değiştirme miktarı azalmış ve titreşim doğal periyoduyla değişmeyen yaklaşık sabit bir değer almıştır. Bu



Şekil 6.1 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARINDA ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ TEMEL ÖST DÜĞÜMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 0.5$).



Şekil 6.2 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARINDA ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ TEMİL ÜST KENAR DÜĞÜMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 0.5$).

davranıştaki ana etken zemin-temel sistemi doğal periyodu olmaktadır. Şekil 6.1'de not edildiği üzere, sıkı ve orta tür zeminleri içeren zemin-temel sistemlerinin birinci mod periyodları yaklaşık 0.2 san. dir. ki bu değer tatbik edilen en küçük periyodlu titreşimlerin doğal periyoduna eşit olmaktadır. Böylece rezonans durum ortaya çıkmakta ve bu sistemler için hesap edilen yer değiştirme miktarları büyük olmaktadır. Deprem titreşimleri doğal periyodu büyüdükçe zemin türünün zemin-temel sistemine etkisi azalmaktadır.

Aynı ilişkileri düşey yer değiştirmeler cinsinden gösteren Şekil 6.2 incelendiğinde ise zemin türü farkının yaklaşık ortadan kalktığı görülmektedir. Şekilde belirtilen maksimum düşey yer değiştirme miktarları temel in üst kenar (köşe) düğümleri için hesaplanan değerlerdir. Temel üstünün orta düğümü için hesaplanan düşey yer değiştirme miktarı çok küçük olduğundan analizlere dahil edilmemiştir.

Deprem titreşimleri doğal periyodu büyüdükçe düşey yer değiştirme miktarları azalmaktadır. Rezonans durumundan dolayı, doğal periyodu 0.2 san. olan titreşimler altında en yüksek yer değiştirme miktarları elde edilmiştir.

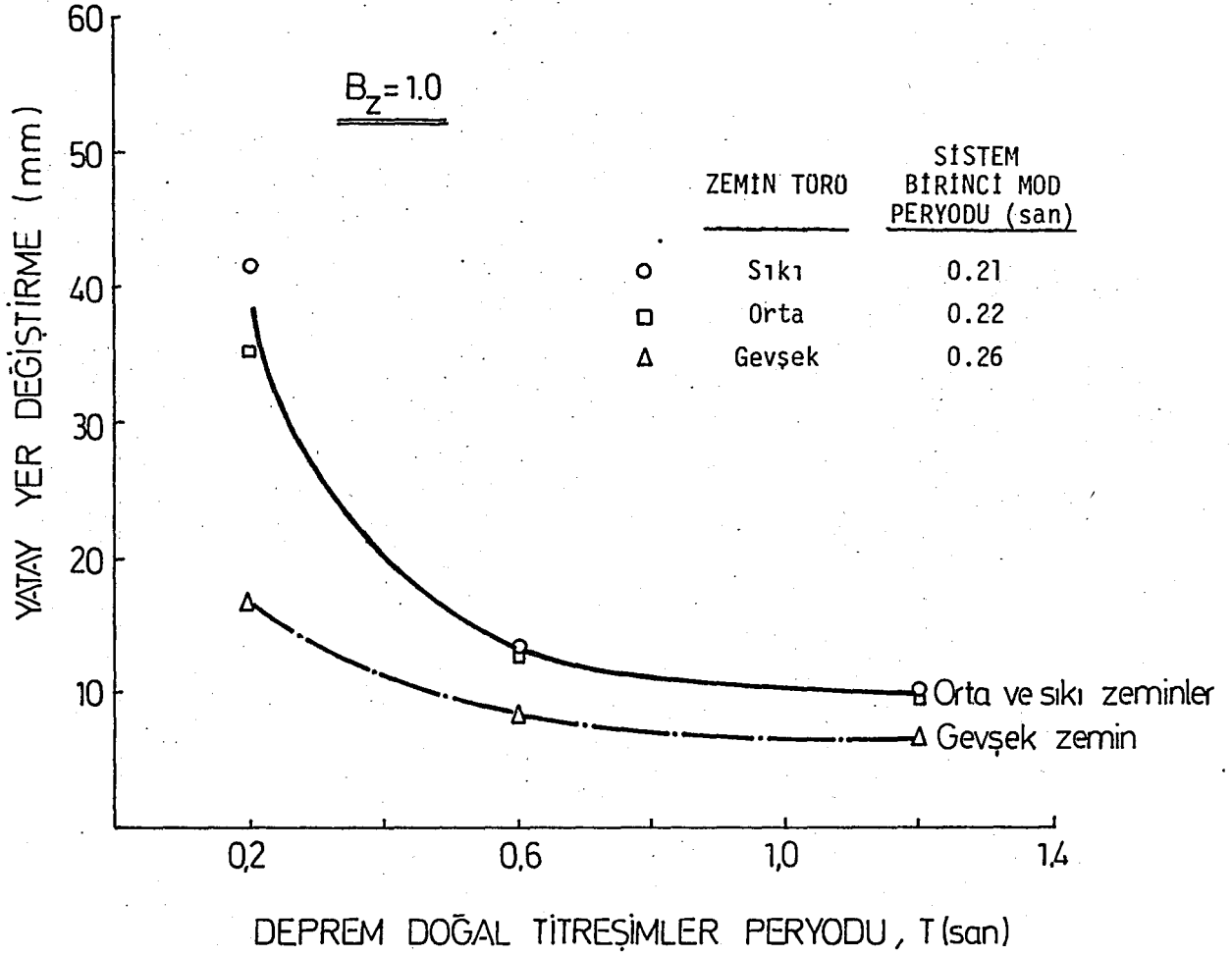
Not edilmesi gereken diğer bir husus da düşey yer değiştirme miktarlarının yatay yer değiştirme miktarlarından yaklaşık 10 mertebesinde küçük olduğudur.

B. Kütle Oranı, $B_z = 1.0$

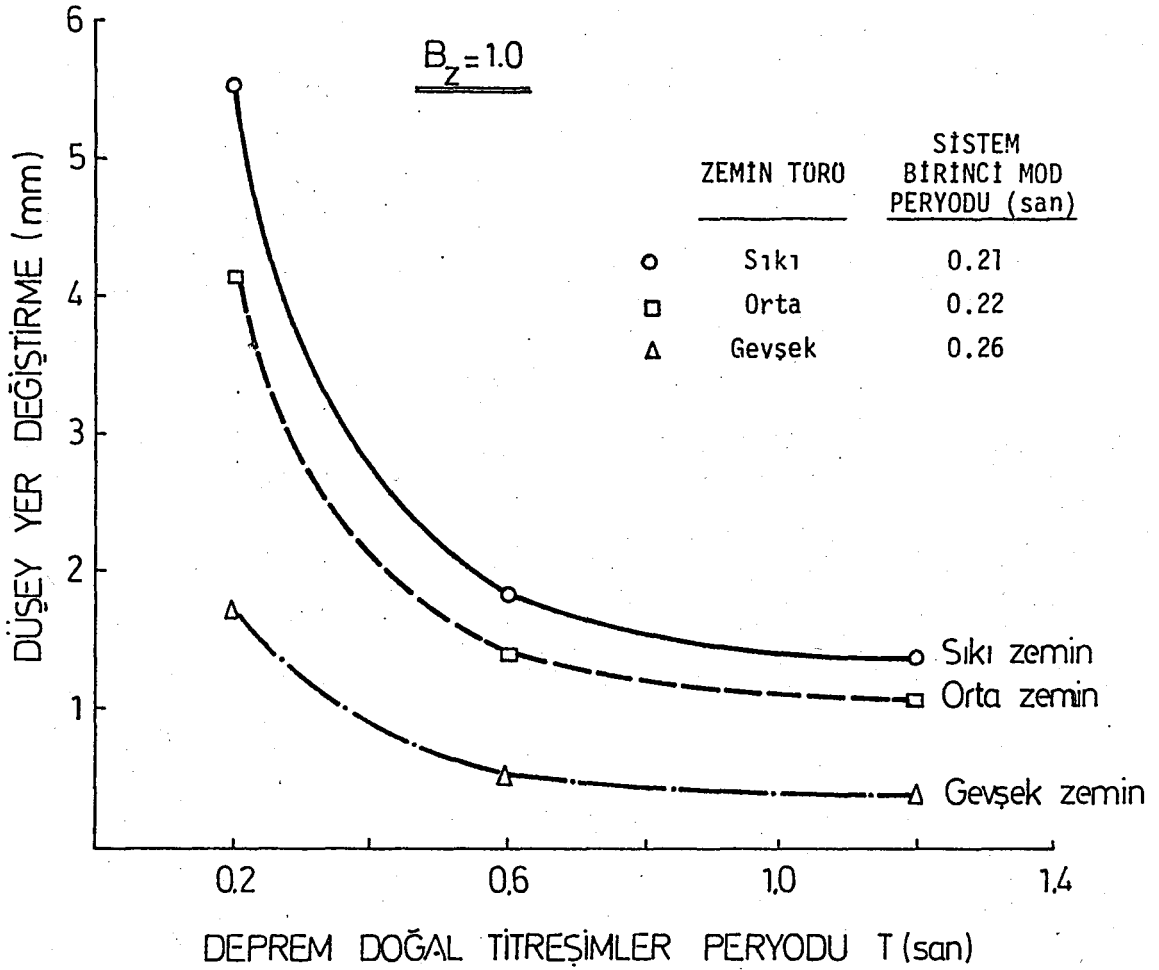
Kütle oranı, $B_z = 1.0$ olan temelleri içeren zemin-temel sistemlerinin davranışları, Şekil 6.3 ve 6.4'de gösterilmiştir.

Temel üst düğümleri için hesap edilen maksimum yatay yer değiştirmeleri gösteren Şekil 6.3 incelendiğinde, bundan önceki kütle oranı, $B_z = 0.5$ için elde edilen davranışlara paralel eğilimler görülmektedir. Orta ve sıkı zeminler için elde edilen değerler, gevşek zemin için elde edilen değerlerden yüksek olmaktadır. Zemin türleri arasındaki bu fark $B_z = 1.0$ durumunda, $B_z = 0.5$ durumuna göre, daha belirli olarak göze çarpmaktadır.

Doğal periyodu 0.2 olan titreşimler altında yatay yer değiştirmeler için en yüksek değerlerin elde edilmesi yine rezonans olayından dolayıdır. Şekilde zemin-temel sistemi birinci mod periyodu belirtilmiştir. Bu değerler, $B_z = 0.5$ için hesaplanan değerlerle yaklaşık aynıdır. Orta ve sıkı zeminler için zemin-temel sistemi doğal periyodunun tatbik edilen titreşimlerin doğal periyoduna çok yakın olması, yüksek yatay yer değiştirmelerin oluşmasına neden olmuştur. Görüldüğü gibi titreşim doğal periyodu büyüdükçe, veya diğer bir deyişle, titreşim doğal periyodu ile sistem doğal periyodu arasındaki fark fazlalaştıkça, yatay yer değiştirme miktarları azalmaktadır.



Şekil 6.3 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARINDA ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ TEMEL ÖST DÜĞÖMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 1.0$).

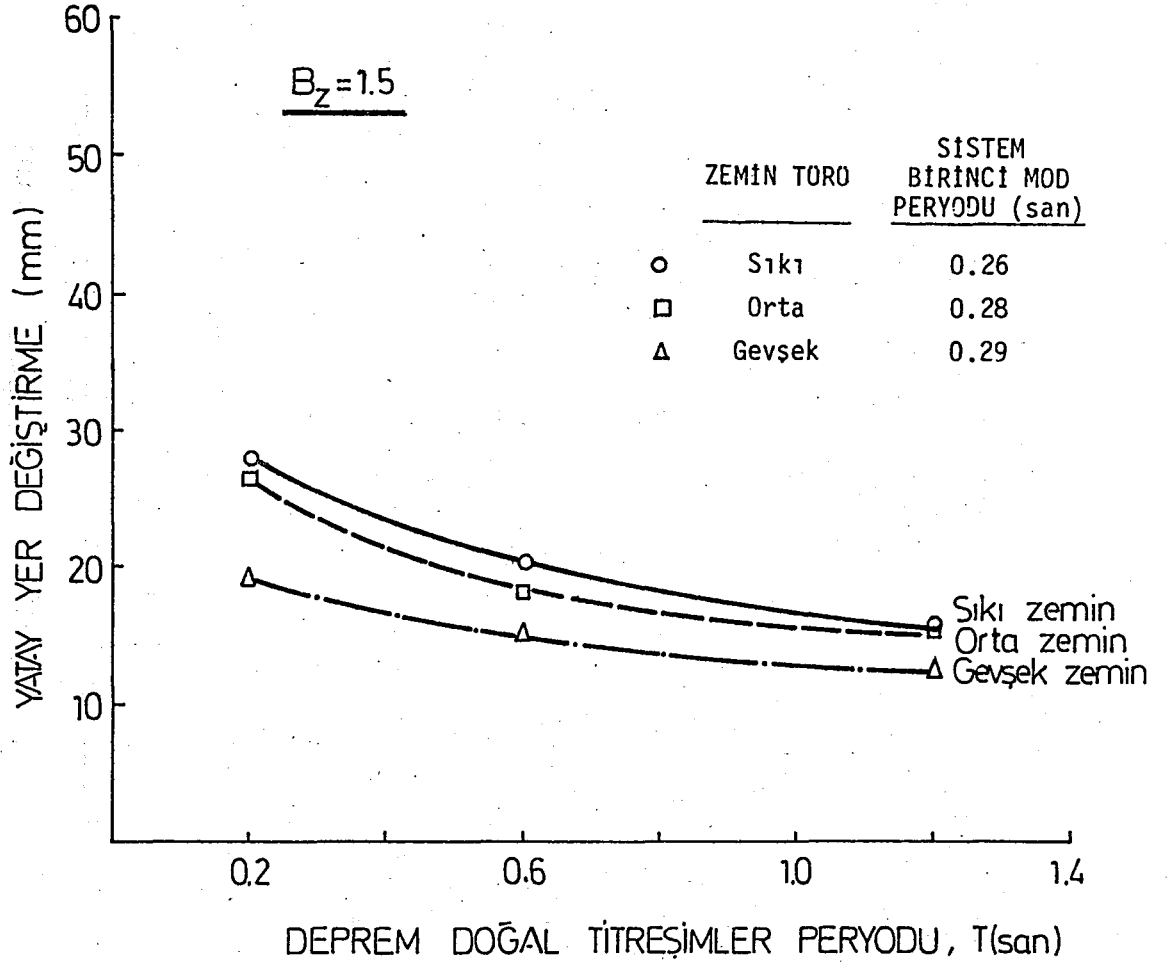


Şekil 6.4 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARINDA ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ TEMEL ÜST KENAR DOĞOMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 1.0$).

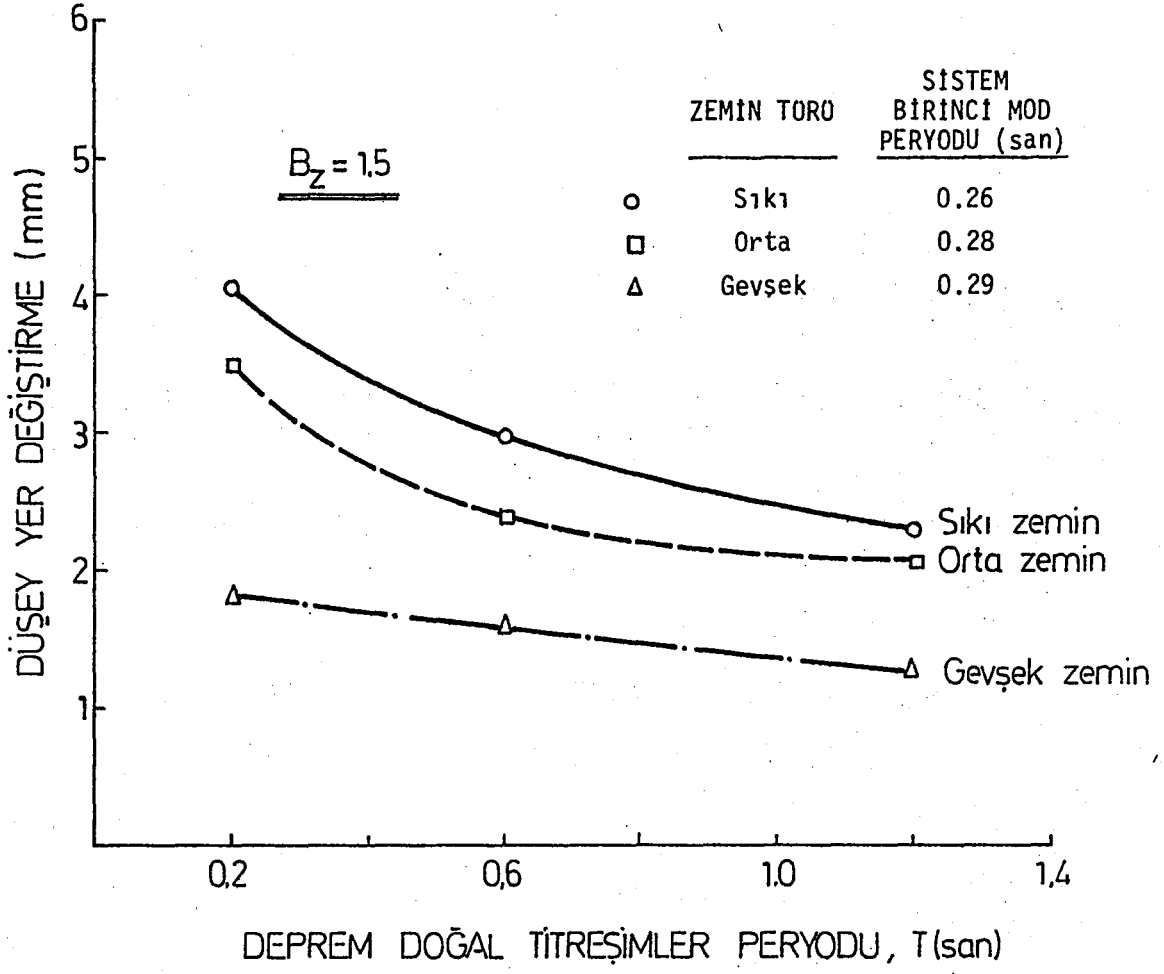
Aynı şartlar altında hesaplanan maksimum düşey yer değiştirme değerlerini gösteren Şekil 6.4'de de aynı eğilimler göze çarpmaktadır. Resonans olayından dolayı en yüksek düşey yer değiştirmeler doğal periyodu 0.2 san olan titreşimler altında meydana gelmekte, titreşim doğal periyodu bu değerden uzaklaştıkça yer değiştirme miktarları küçülmektedir. Bu kütle oranı değeri için, bundan önceki $B_z = 0.5$ durumunun aksine, zeminin etkisi düşey yer değiştirmelerde de belli olmaktadır. Aynı deprem yükü altında temel üst kenar düğümleri gevşek zeminli sistemlerde, sıkı zeminli sistemlere göre, daha az düşey yer değiştirme göstermektedirler. Ancak düşey yer değiştirme miktarları genellikle küçük miktarlardır. Özellikle yatay yer değiştirme değerleriyle karşılaştırıldığında düşey yer değiştirme miktarlarının yatay yer değiştirme miktarlarından yaklaşık 10 mertebesinde küçük olduğu görülmektedir.

C. Kütle Oranı, $B_z = 1.5$

Kütle Oranı, $B_z = 1.5$ olan temelleri içeren zemin-temel sistemlerinde temel üst düğümleri için hesaplanan maksimum yatay yer değiştirme değerleri Şekil 6.5'de, maksimum düşey yer değiştirme değerleri ise Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Her iki şekilde de görülen genel hususlar, bundan önceki daha küçük kütle oranları için görülen hususlarla yaklaşık aynıdır.



Sekil 6.5 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARINDA ZEMİN-TEMEİ SİSTEMİ TEMEL ÜST DOĞOMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 1.5$).



Şekil 6.6 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARINDA ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ TEMEL ÜST KENAR DÜĞÜMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 1.5$).

Kütle oranı, $B_z = 1.5$ olan temelleri içeren sistemlerin birinci mod periyodları her iki şekilde de belirtilmiştir. Bu değerler bundan önceki kütle oranları ile ilgili birinci mod periyodlarından az da olsa daha yüksektir. Ayrıca bu kütle oranı için, değişik zemin türleri sistem birinci mod periyodunu pek etkilememektedirler.

Doğal periyodu 0.2 olan titreşimler altında, yaklaşık rezonans olayı olduğundan, yüksek yer değiştirme miktarları elde edilmekte, titreşim doğal periyodu büyüdükçe, yer değiştirme miktarları azalmaktadır. Ayrıca en küçük yer değiştirme miktarları gevşek zeminli sistemlerde, en büyük miktarlar ise sıkı zeminli sistemlerde elde edilmiştir.

Bu hususlar gerek yatay gerekse dikey yer değiştirmeler için geçerlidir. Ancak yatay yer değiştirme miktarları dikey yer değiştirme miktarlarından yaklaşık 10 mertebesinde daha büyüktürler.

6.3. SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ

Değişik kütleli temelleri içeren zemin-temel sistemleri üzerinde zemin türü ve deprem titreşimleri doğal periyodunun etkileri ayrı ayrı bir önceki kısımda incelenmişti. Bu inceleme sırasında zemin-temel sistemlerinin doğal periyodları ve bu periyod değerleriyle maruz kalınan titreşimlerin doğal periyod değerleri arasındaki ilişkinin önemi de ortaya

konmuştu. Gerek bu ilişkinin etkisini daha iyi inceleyebilmek, gerekse aynı tür zemin üzerinde değişik kütle oranlarının etkisini görebilmek amacıyla yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının Sistem Peryod Oranıyla değişimi ele alınmıştır. Zemin-temel sistemi doğal periyodu ile deprem titreşimleri doğal periyodunun oranı olan Sistem Peryod Oranı, \bar{S}_{ij} , Bölüm 4'de Denklem (4.4) ile tanımlanmıştır. Bu denklem kullanılarak hesaplanan \bar{S}_{ij} değerleri Tablo 6.2'de sıralanmıştır.

Değişik kütleli temelleri içeren zemin-temel sistemleri için hesaplanan yatay ve düşey yer değiştirme miktarları, sırasıyla Şekil 6.7 ve 6.8'de, her zemin türü için ayrı ayrı gruplandırılmak suretiyle gösterilmiştir.

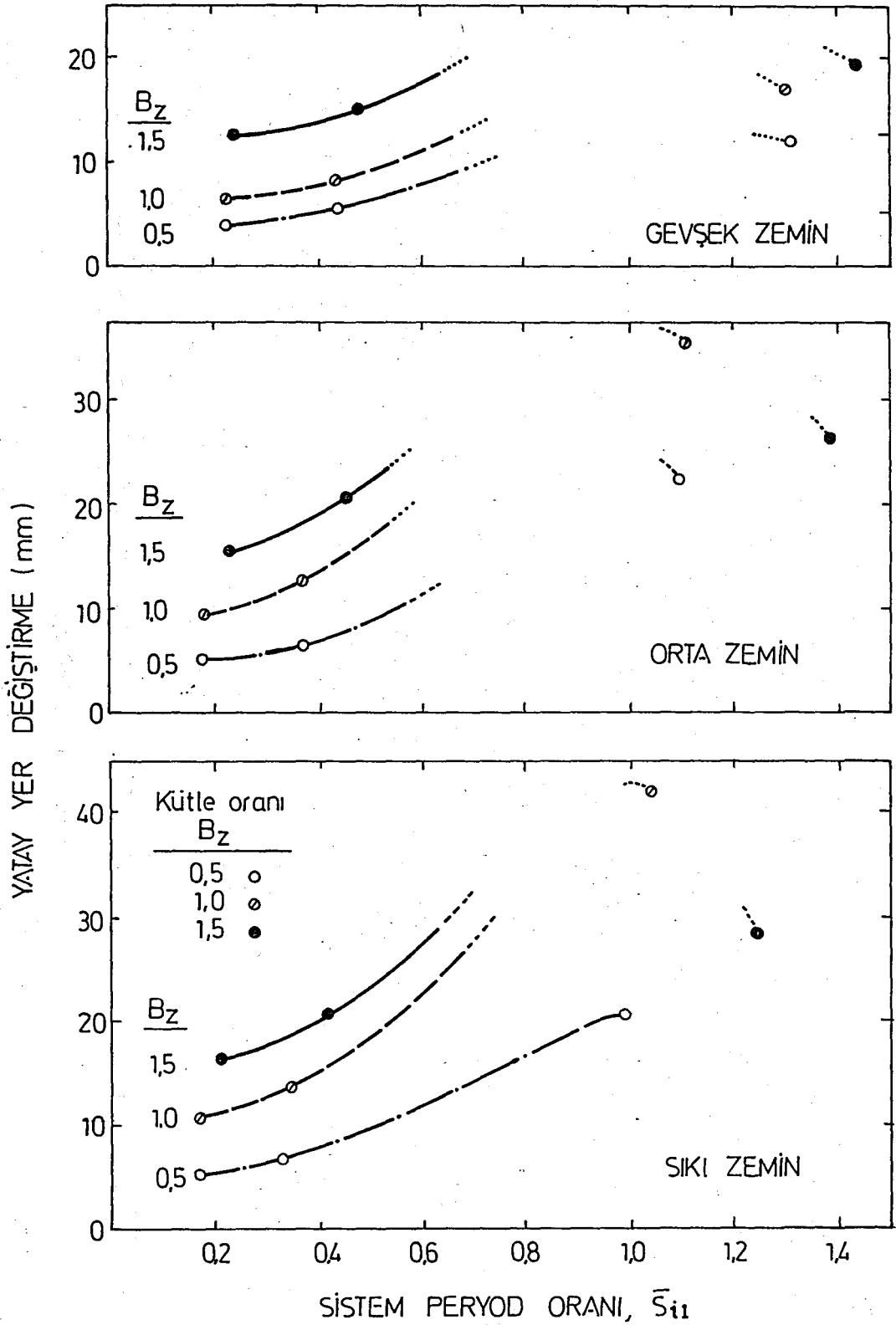
Gerek yatay gerek düşey yer değiştirmeler için, zemin türü sabit kaldığı süre, artan kütle oranları ile birlikte yer değiştirme miktarlarının da arttığı görülmektedir. En büyük yer değiştirme değerleri $B_z = 1.5$ durumunda, en küçük değerler ise $B_z = 0.5$ durumunda elde edilmiştir. Kütle oranının artması, kullanılan sistemler için, temel yüksekliğinin artması şeklinde olduğundan, daha yüksek temellerde daha büyük yer değiştirme miktarları elde edilmektedir ki, bu da beklenen bir neticedir.

Tablo 6.2- Değişik Temel Kütleli Zemin-Temel Sistemleri İçin Sistem Periyod Oranı, \bar{S}_{ij} , Değerleri

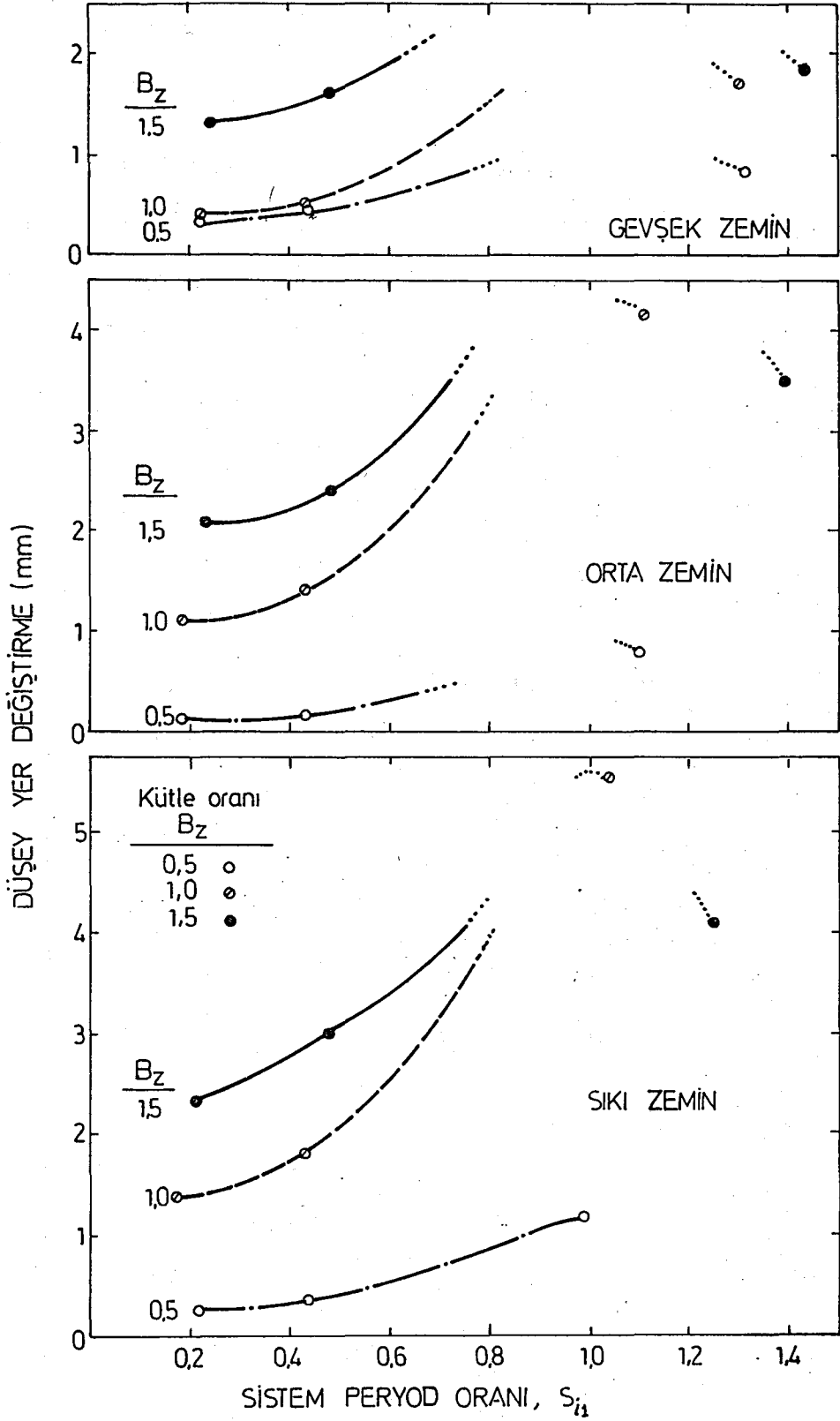
TEMEL KÜTLE ORANI	ZEMİN TORO (i)	SİSTEM MOD NO. (j)	PERYOD ORANI ENDİSİ (\bar{S}_{ij})	SİSTEM DOĞAL PERİYODU (san)	SİSTEM PERİYOD ORANI \bar{S}_{ij}		
					DEPREM TİTREŞİMLERİ DOĞAL PERİYODU, T (san)		
					0.2	0.6	1.2
0.5	Gevşek	1	\bar{S}_{11}	0.261	1.31	0.44	0.22
		2	\bar{S}_{12}	0.210	1.05	0.35	0.18
		3	\bar{S}_{13}	0.196	0.98	0.33	0.16
	Orta	1	\bar{S}_{21}	0.219	1.10	0.37	0.18
		2	\bar{S}_{22}	0.199	1.00	0.33	0.17
		3	\bar{S}_{23}	0.184	0.92	0.31	0.15
	Sıkı	1	\bar{S}_{31}	0.198	0.99	0.33	0.17
		2	\bar{S}_{32}	0.197	0.99	0.33	0.16
		3	\bar{S}_{33}	0.179	0.90	0.30	0.15
1.0	Gevşek	1	\bar{S}_{11}	0.260	1.30	0.43	0.22
		2	\bar{S}_{12}	0.229	1.15	0.38	0.24
		3	\bar{S}_{13}	0.199	1.00	0.33	0.17
	Orta	1	\bar{S}_{21}	0.221	1.11	0.37	0.18
		2	\bar{S}_{22}	0.214	1.07	0.36	0.18
		3	\bar{S}_{23}	0.187	0.94	0.31	0.16
	Sıkı	1	\bar{S}_{31}	0.208	1.04	0.35	0.17
		2	\bar{S}_{32}	0.199	1.00	0.33	0.17
		3	\bar{S}_{33}	0.182	0.91	0.30	0.15

Tablo 6.2 (Devam)

TEMEL KÖTLE ORANI	ZEMİN TÜRÜ (i)	SİSTEM MOD NO. (j)	PERYÖD ORANI ENDİSİ (\bar{S}_{ij})	SİSTEM DOĞAL PERİYODU (san)	SİSTEM PERİYOD ORANI \bar{S}_{ij}		
					DEPREM TİTREŞİMLERİ DOĞAL PERİYODU, T (san)		
					0.2	0.6	1.2
1.5	Gevşek	1	\bar{S}_{11}	0.285	1.43	0.48	0.24
		2	\bar{S}_{12}	0.260	1.30	0.43	0.22
		3	\bar{S}_{13}	0.202	1.01	0.34	0.17
	Orta	1	\bar{S}_{21}	0.278	1.39	0.46	0.23
		2	\bar{S}_{22}	0.218	1.09	0.36	0.18
		3	\bar{S}_{23}	0.190	0.95	0.32	0.16
	Sıkı	1	\bar{S}_{31}	0.255	1.25	0.42	0.21
		2	\bar{S}_{32}	0.200	1.00	0.33	0.17
		3	\bar{S}_{33}	0.187	0.94	0.31	0.16



Sekil 6.7 DEĞİŞİK ZEMİN TURLERİ İÇİN TEMEL KÜTLE ORANININ ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİLERİ - YATAY YER DEĞİŞTİRME (yüzeysel temelli sistemler).



Şekil 6.8 DEĞİŞİK ZEMİN TÖRLERİ İÇİN TEMEL KOTLE ORANININ ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİLERİ - DÜŞEY YER DEĞİŞTİRME (yüzeysel temelli sistemler).

6.4. SONUÇLAR

Bu bölümde temel kütlelesinin değişik zemin şartları altında zemin-temel ilişkilerine etkisi incelenmiştir. Temel kütlelesı oranı, B_z , olarak $B_z = 0.5, 1.0$ ve 1.5 değerleri alınmış, temel tabanı alanı sabit tutulmuş, yüksekliği istenen kütle oranını elde edecek şekilde değiştirilmiştir. Değişik kütle oranı olan temellerde "gevşek", "orta" ve "sıkı" zemin özelliklerinden oluşan zemin türleri birleştirilerek çeşitli zemin-temel sistemleri elde edilmiş, bu sistemler doğal periyodu $0.2, 0.6$ ve 1.2 san olan deprem titreşimlerine tâbi tutulmuşlardır. Sonuçlar temel üst düğümlerinin maksimum yatay ve düşey yer değiştirmeleri cinsinden tanımlanmıştır. Genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır. Bu bölümde ele alınan zemin-temel sistemleri yüzeysel temelleri içermektedir. Kütle oranının gömülü temelleri içeren sistemler üzerindeki etkisi bir sonraki bölümde incelenmiştir.

(a) Temel kütle oranı yükseldikçe yatay ve düşey yer değiştirme miktarları da büyümektedir.

(b) Gevşek zemin içinde elde edilen yer değiştirme miktarları diğer zemin türlerine göre en küçük, sıkı zemin için elde edilen miktarlar ise en büyük değerleri almışlardır.

(c) Zemin özelliklerinin etkisi en az, kütle oranı en düşük olan temeli içeren zemin-temel sistemlerinde, en çok ise kütle oranı en yüksek olan temeli içeren zemin-temel sistemlerinde görülmüştür.

(d) En yüksek yer değiştirme miktarları kullanılan en küçük doğal periyodlu titreşimler altında ölçülmüş, doğal titreşim periyodunun artmasıyla yer değiştirme miktarları küçülmüş ve yaklaşık sabit kalmışlardır. En küçük doğal periyodlu titreşimler için büyük yer değiştirme miktarları hesap edilmesine rezonans olayı neden olmuştur.

(e) Rezonans olayı haricinde, deprem titreşimleri doğal periyod değerinin zemin-temel ilişkileri üzerinde önemli bir etkisi görülmemiştir.

7. TEMEL DERİNLİĞİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ

7.1. GENEL

Dinamik temel davranışını inceleyen teorilerin çoğu temel zemin yüzeyine yerleştirilmiş olarak kabul etmektedir. Ancak hakiki şartlarda temeller kısmen veya tamamen gömülü olarak inşa edilmektedirler. Gömülü temellerin davranışı ise yüzeysel temellerden değişik olmaktadır. Bu nedenle gömülme derinliğinin zemin-temel ilişkilerine etkisi incelenmiştir. Gömülme derinliğini boyutsuz bir şekilde tanımlamak amacıyla Bölüm 2'de Denklem (2.26) ile veril n gömülme oranı, d , parametresi kullanılmıştır.

Gömülme oranı değeri olarak $d = 1.0$ alınmıştır. Böylece temellerin gömülme derinliği 2 m olmaktadır. Bu derinliğe gömülerek davranışları incelenen temel türleri Tablo 7.1'de özetlenmiştir. Görüldüğü gibi aynı tür temeller bir önceki bölümdeki zemin-temel sistemlerini oluşturan temellerdir. Bölüm 6'da zemin yüzeyine yerleştirilerek incelemeye tâbi tutulan bu temeller bu bölümde belirli bir derinliğe gömülü olarak incelemeye tâbi tutulmuşlardır. Böylece bir yandan temel derinliğinin zemin-temel ilişkilerine etkisi ele alınırken bir yandan da gömülü temeller üzerinde temel kütlelerinin etkisi incelenmiştir.

Tablo 7.1- Kullanılan Temel Özellikleri
(gömülü temeller)

Boyutlar	Kütle Oranı, B_z	
	1.0	1.5
Uzunluk (m)	7.10	7.10
Genişlik (m)	1.76	1.76
Yükseklik (m)	3.32	4.98
Ağırlık (m)	100	150
Gömülme Derinliği (m)	2.00	2.00

Kullanılan temellerin zemine gömülme yüzdesi, d , gömülme derinliğinin, h , temel yüksekliğine, l , oranı olarak Denklem (7.1)'deki gibi hesaplanırsa, kütle oranı 1.0 olan temel için gömülme yüzdesi % 60, kütle oranı 1.5 olan temel için ise % 40 olarak bulunur.

$$d' = h/l \quad (7.1)$$

Görüldüğü gibi bu değerler zemine kısmen çok ve kısmen az gömülü iki ayrı temel türünü simgelemektedir.

Gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemlerinde zemin ortamının özellikleri değiştirilmiştir. Bölüm 2'de "gevşek" ve "sıkı" zemin olarak tanımlanan zemin türleri bu bölümde ele alınmış, böylece zemin-temel sistemlerinde gerek temel kütle oranları gerekse zemin ortamları ayrı ayrı parametreler olarak incelenmişlerdir.

Bu şekilde oluşturulan zemin-temel sistemleri doğal periyodları 0.2, 0.6 ve 1.2 san olan üç ayrı titreşim türüne tâbi tutulmuşlardır. Bu titreşimler altında temel üst noktalarının (sonlu elemanlar ağında temel üst düğümleri) yatay ve düşey yer değiştirme miktarları hesaplanmış, parametrik etkiler bu düğümlerin maksimum yatay ve düşey yer değiştirme değerleri cinsinden tanımlanmıştır.

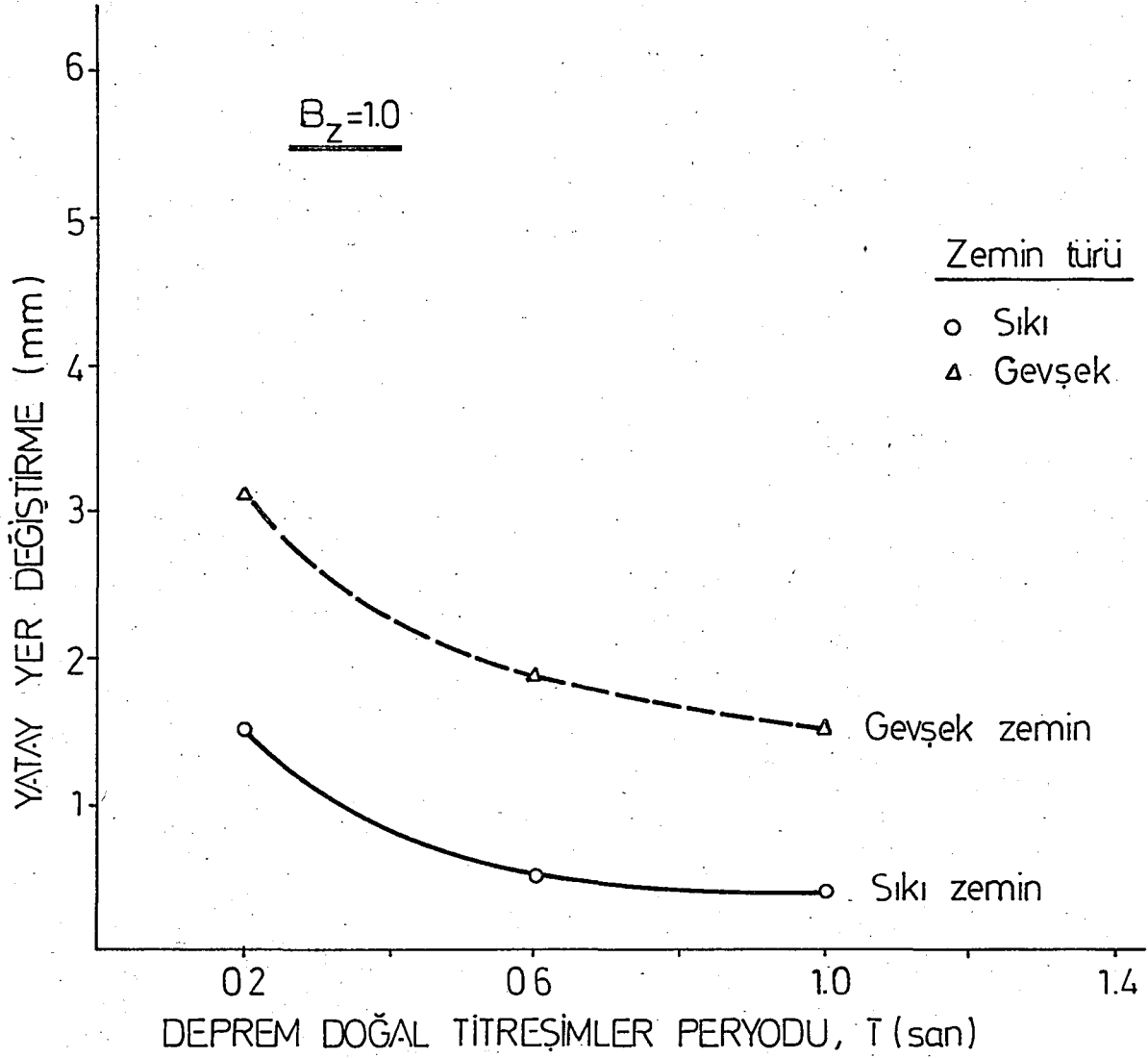
7.2. YER DEĞİŞTİRME MİKTARLARI

A. Kütle Oranı, $B_z = 1.0$

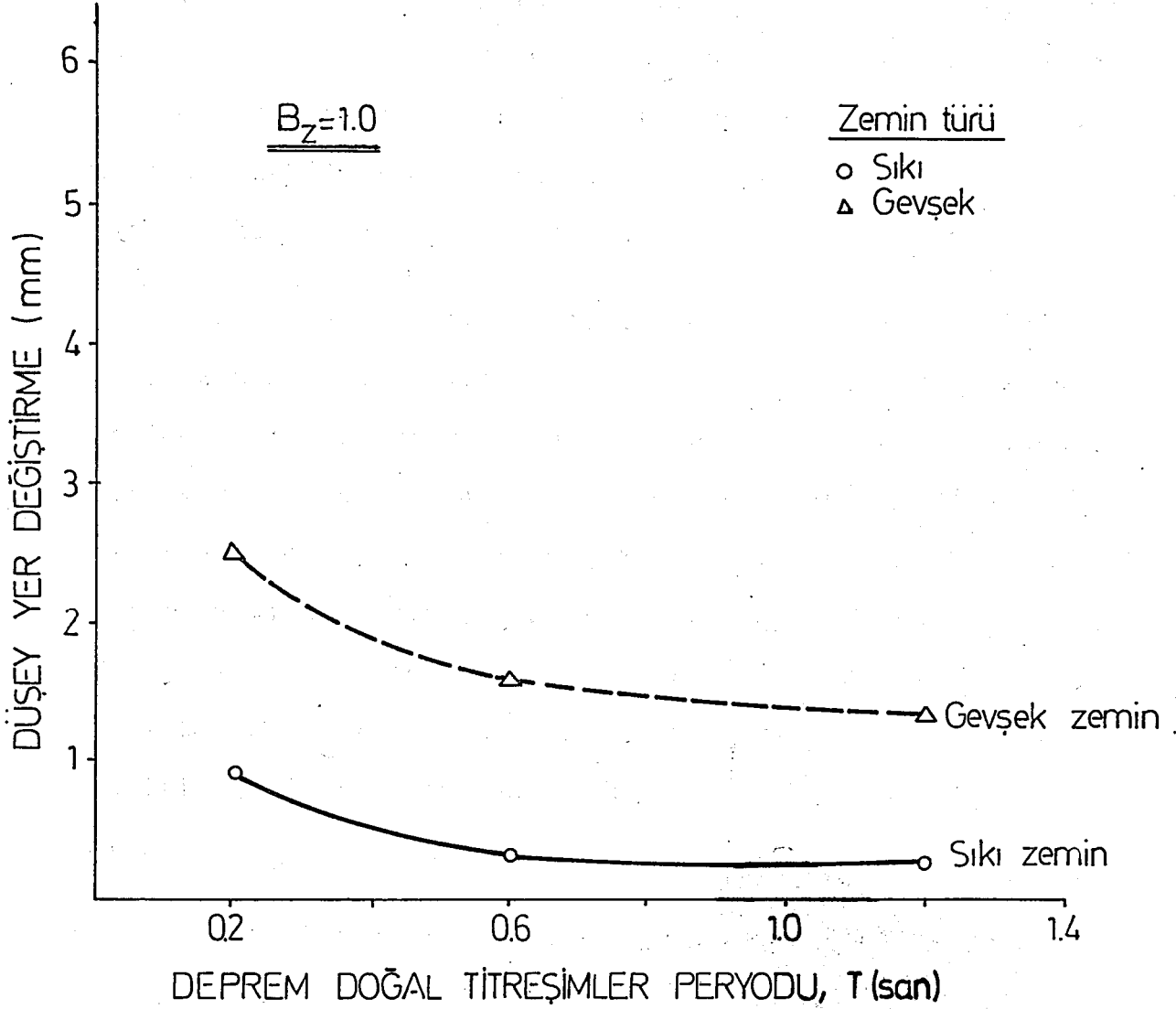
Kütle oranı 1.0 olan temeli içeren zemin-temel sistemlerinde, değişik doğal periyodlu titreşimler altında, temel üstü için hesap edilen maksimum yatay yer değiştirme miktarları Şekil 7.1'de, maksimum düşey yer değiştirme miktarları ise Şekil 7.2'de gösterilmiştir.

Her iki yöndeki yer değiştirme miktarları, aynı tür zemin için, yaklaşık birbirlerine eşittir. Ancak düşey yer değiştirme miktarlarının yatay yer değiştirme miktarlarından çok az da olsa küçük olduğu görülmektedir. En büyük yer değiştirme miktarları kullanılan en küçük periyodlu titreşimler altında elde edilmiştir. Ancak bunda zemin-temel sisteminin etkisi önemlidir. Her iki şekilde de not edildiği gibi, zemin-temel sistemi birinci mod periyodu sıkı zeminli sistemlerde 0.20 san, gevşek zeminli sistemlerde ise 0.25 san'dir ki, bu değerler kullanılan en küçük doğal periyodlu titreşimlerin periyoduna (0.20 san) yaklaşık eşittir. Böylece rezonans durumu ortaya çıkmakta ve yer değiştirme miktarları büyümektedir. Titreşim doğal periyodu rezonans yaratacak değerden uzaklaştıkça yer değiştirme miktarları da küçülmektedir.

Diğer bir husus zemin türüyle ilgilidir. Elde edilen yer değiştirme miktarları gevşek zemin şartları altında yüksek, sıkı zemin şartları altında ise ufak olmuştur. Rezonans



Şekil 7.1 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARI VE TEMELİN GÖMÜLÜ OLMASI DURUMUNDA ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ TEMEL ÜST DÜĞÜMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 1.0$).



Şekil 7.2 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARI VE TEMELİN GÖMÜLÜ OLMASI DURUMUNDA ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ TEMEL ÜST DÜĞÜMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 1.0$).

durumunda da aynı eğilimin devam etmesi ilginçtir. Görüldüğü gibi sıkı zeminden oluşan zemin-temel sisteminin birinci mod periyodu tatbik edilen titreşimlerin doğal periyoduna eşittir. Diğer taraftan, gevşek zeminden oluşan zemin-temel sisteminin birinci mod periyodu (0.25 san) rezonans durumu yaratan titreşimlerin doğal periyodundan (0.20 san) az da olsa farklı olmasına rağmen, yine de bu zemin-temel sisteminde daha yüksek yer değiştirme miktarları elde edilmiştir.

Aynı temel kütle oranına sahip yüzeysel temelleri içeren zemin-temel sistemleri ile gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemlerinin davranışları arasında iki önemli fark vardır. Bunlardan ilki zemin türünün etkisidir. Gömülü temelleri içeren sistemlerde gevşek zemin en yüksek yer değiştirme miktarlarına, yüzeysel temelleri içeren sistemlerde ise gevşek zemin en küçük yer değiştirme miktarlarına neden olmaktadır. Böylece zemin ortamının zemin-temel davranışına etkisi temelin yüzeysel veya gömülü olmasına göre değişmektedir.

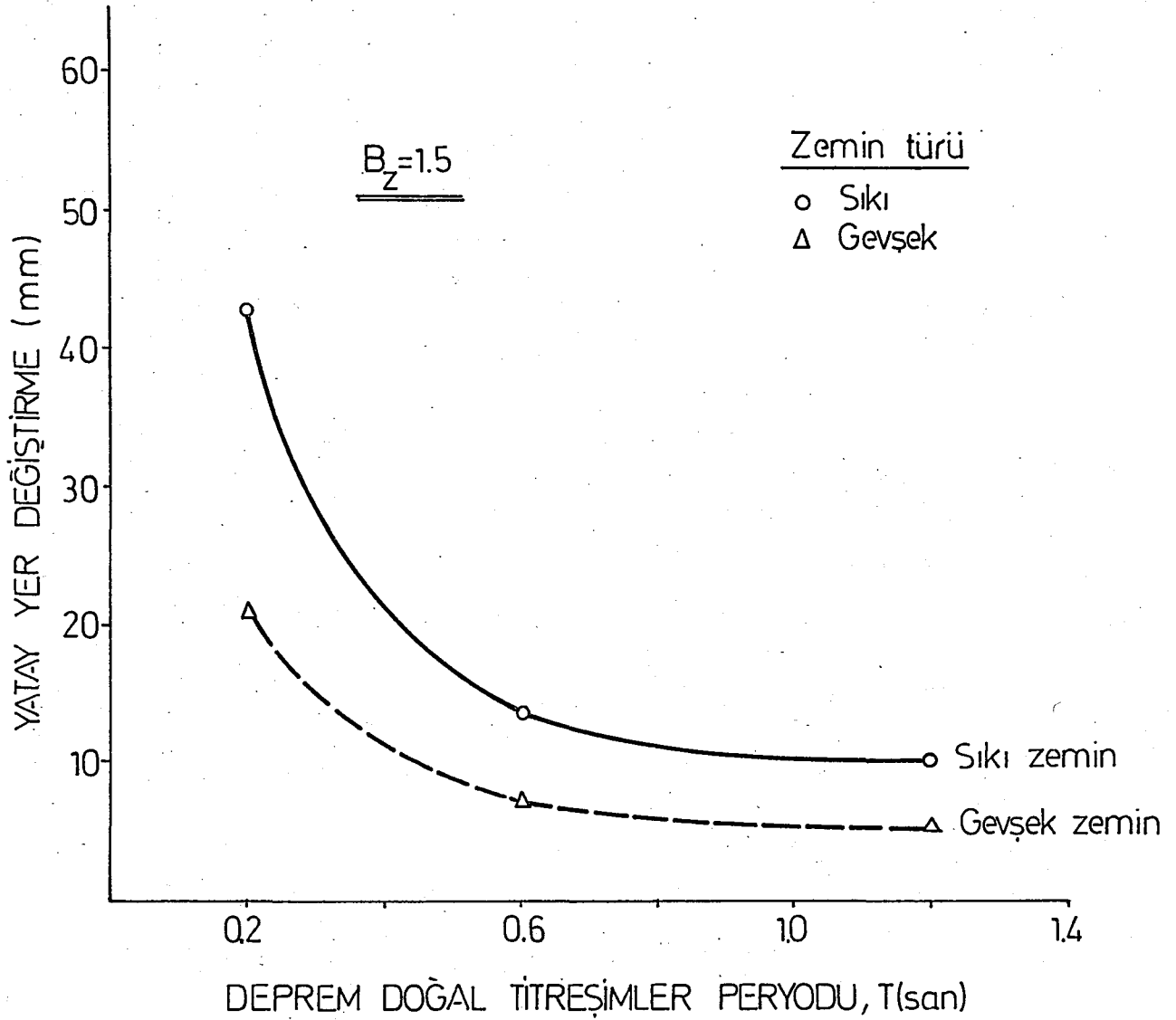
İkinci fark ise yatay ve dikey yer değiştirme değerlerinin birbirleriyle olan mertebe farklarındandır. Yüzeysel temelleri içeren sistemlerde yatay yer değiştirme miktarları, dikey yer değiştirme miktarlarından yaklaşık 10 misli büyük olarak elde edilmişti. Gömülü temelleri içeren sistemler için ise yatay ve dikey yer değiştirme miktarları arasında önemli bir fark görülmemiştir.

B. Kütle Oranı, $B_z = 1.5$

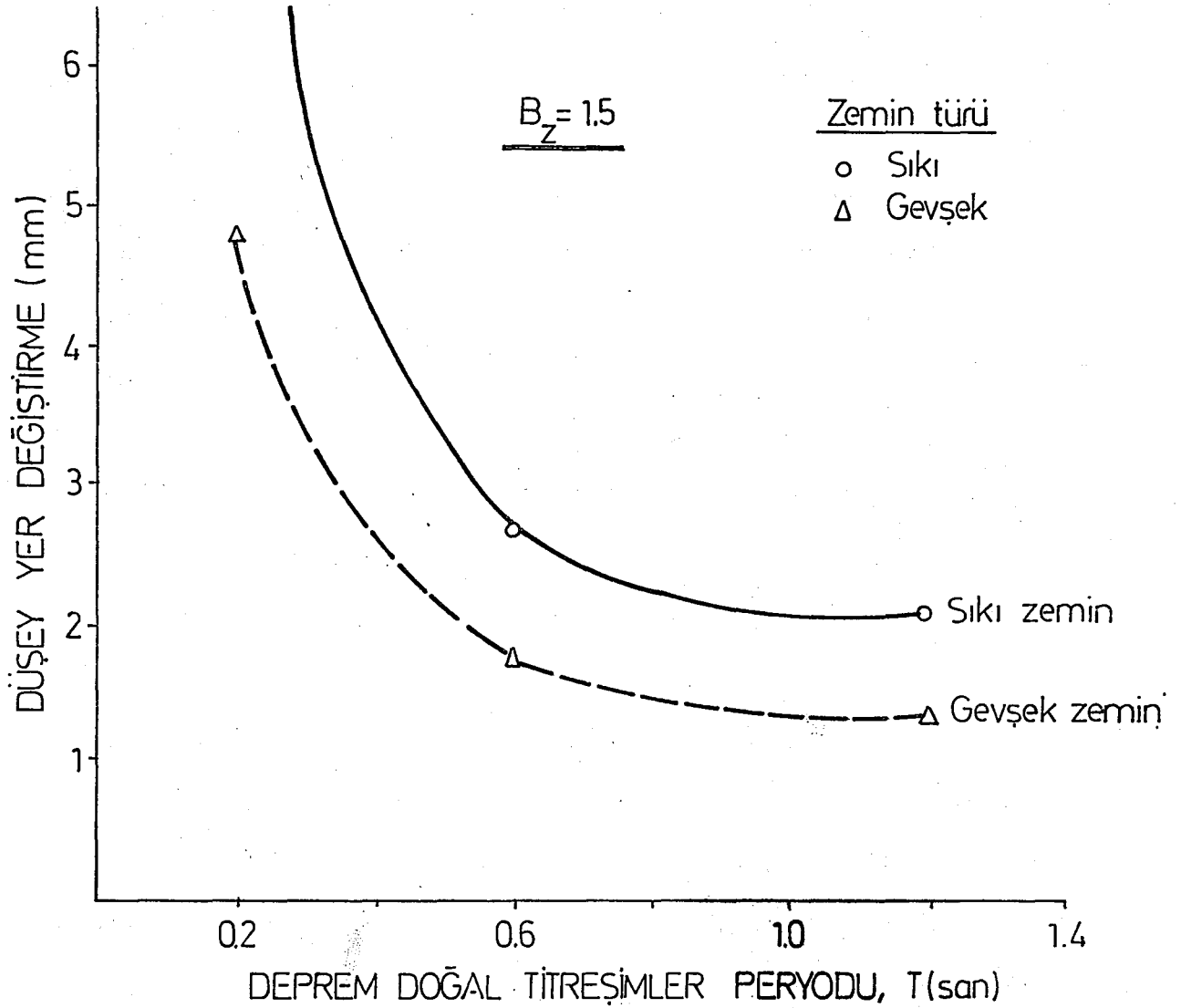
Kütle oranı 1.5 olan temeli içeren zemin-temel sistemlerinde, değişik doğal periyodlu titreşimler altında, temel üst düğümleri için hesaplanan maksimum yatay yer değiştirme değerleri Şekil 7.3'de, maksimum düşey yer değiştirme değerleri ise Şekil 7.4'de gösterilmiştir. Şekil 7.4'de, sıkı zemin şartlarında, deprem doğal titreşimler periyodu = 0.2 san için düşey yer değiştirme miktarı hesaplanmış, ancak diğerlerine göre yüksek olan bu değer (8.6 mm), diğer değerlerin hassasiyetle gösterilmesini sağlamak amacıyla şekle dahil edilmemiş, ilgili eğri ise bu değer gözönünde bulundurularak çizilmiştir.

Bu kütle oranı için, aynı zemin şartlarında, her iki yöndeki yer değiştirme miktarlarının, bir önceki kütle oranında olduğu gibi, birbirlerine yaklaşık eşit olma durumları görülmemektedir. Düşey yer değiştirme miktarları yatay yer değiştirme miktarlarından oldukça küçüktür. Ancak aradaki mertebe farkı, yüzeysel temelli sistemlerde olduğu gibi 10 değil, yaklaşık 4 civarındadır.

En büyük yer değiştirme miktarları yine sistem birinci mod periyoduna en yakın doğal periyodlu olan titreşimler altında elde edilmiştir. Önceden de izah edildiği gibi bu netice rezonans olayından doğmaktadır. Titreşim doğal periyodu rezonans yaratacak değerden uzaklaştıkça yer değiştirme miktarları da küçülmektedir.



Şekil 7.3 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARI VE TEMELİN GÖMÜLÜ OLMASI DURUMUNDA ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ TEMEL ÜST DÜĞÜMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 1.5$).



Şekil 7.4 DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARI VE TEMELİN GÖMÜLÜ OLMASI DURUMUNDA ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ TEMEL ÜST DÜĞÜMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ ($B_z = 1.5$).

Bir diğer husus zemin türüyle ilgilidir. Hesaplanan yer değiştirme miktarları sıkı zemin şartlarında, gevşek zemin şartlarındakilere göre, daha yüksek olmuştur. Bu durum, bir önceki kütle oranı için görülen eğilimin tam tersi, ancak yüzeysel temelli sistemler için elde edilen eğilimlerle uyum içinde olmaktadır. Böylece temel derinliğinin, veya gömülme yüzdesinin, önemi ortaya çıkmaktadır. Gömülme yüzdesi yaklaşık % 50'nin altında olan temelleri içeren zemin-temel sistemleri üzerindeki zemin türü etkileri, yüzeysel temelleri içeren zemin-temel sistemleri üzerindeki zemin türü etkileriyle aynı eğilimde olmaktadır. Diğer taraftan, gömülme yüzdesi yaklaşık % 50'nin üstünde olan temelleri içeren zemin-temel sistemleri üzerindeki zemin türü etkileri ise değişik olmaktadır.

7.3. SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ

Zemin-temel sistemi doğal periyodu ile tatbik edilen deprem titreşimlerinin doğal periyodu arasındaki ilişkinin zemin-temel davranışı üzerinde önemli etkisi vardır. Gerek bu ilişkinin etkilerini incelemek, gerekse aynı tür zemin üzerinde değişik kütle oranlarının, dolayısıyla değişik gömülme yüzdelерinin etkisini görebilmek amacıyla yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının Sistem Periyod Oranıyla değişimi ele alınmıştır. Bölüm 4'de Denklem (4.4) ile tanımlanan Sistem Periyod Oranı, \bar{S}_{ij} , zemin-temel sistemi doğal per-

yodu ile deprem titreşimleri doğal periyodunun oranıdır. Denklem (4.4) kullanılarak hesaplanan \bar{S}_{ij} değerleri Tablo 7.2'de sıralanmıştır.

Değişik kütleli gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemleri için hesaplanan yatay ve düşey yer değiştirme miktarları, değişik zemin türleri için ayrı ayrı gruplandırılarak Şekil 7.5 ve 7.6'da gösterilmiştir.

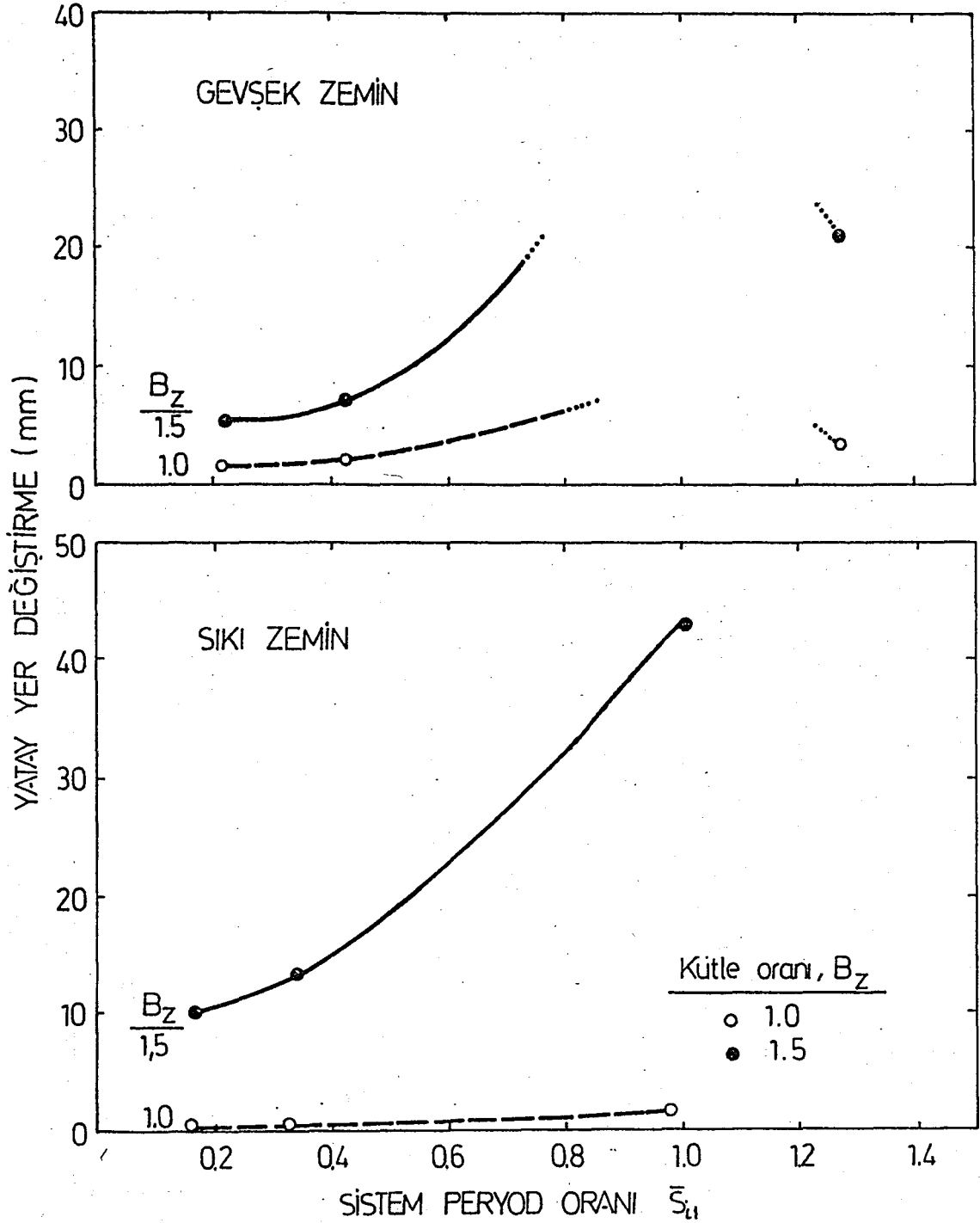
Gerek yatay gerek düşey yer değiştirmeler için, aynı zemin şartları içinde, artan kütle oranları ile birlikte yer değiştirme miktarlarının da arttığı görülmektedir. Kullanılan temel türleri için, kütle oranının artması, temel yüksekliğinin artması veya temel gömülme yüzdesinin azalması manasına gelmektedir. Böylece, aynı zemin şartları için, temel gömülme yüzdesi azaldıkça gerek yatay gerek düşey yer değiştirme miktarları büyümektedir. Gömülme yüzdesinin azalması yüzeysel temel sistemlerine yaklaşım gösterir ki, bahsedilen eğilim yüzeysel temelli sistemler için görülen eğilimle uyum içindedir.

7.4. SİSTEM YER DEĞİŞTİRME ORANI ETKİSİ

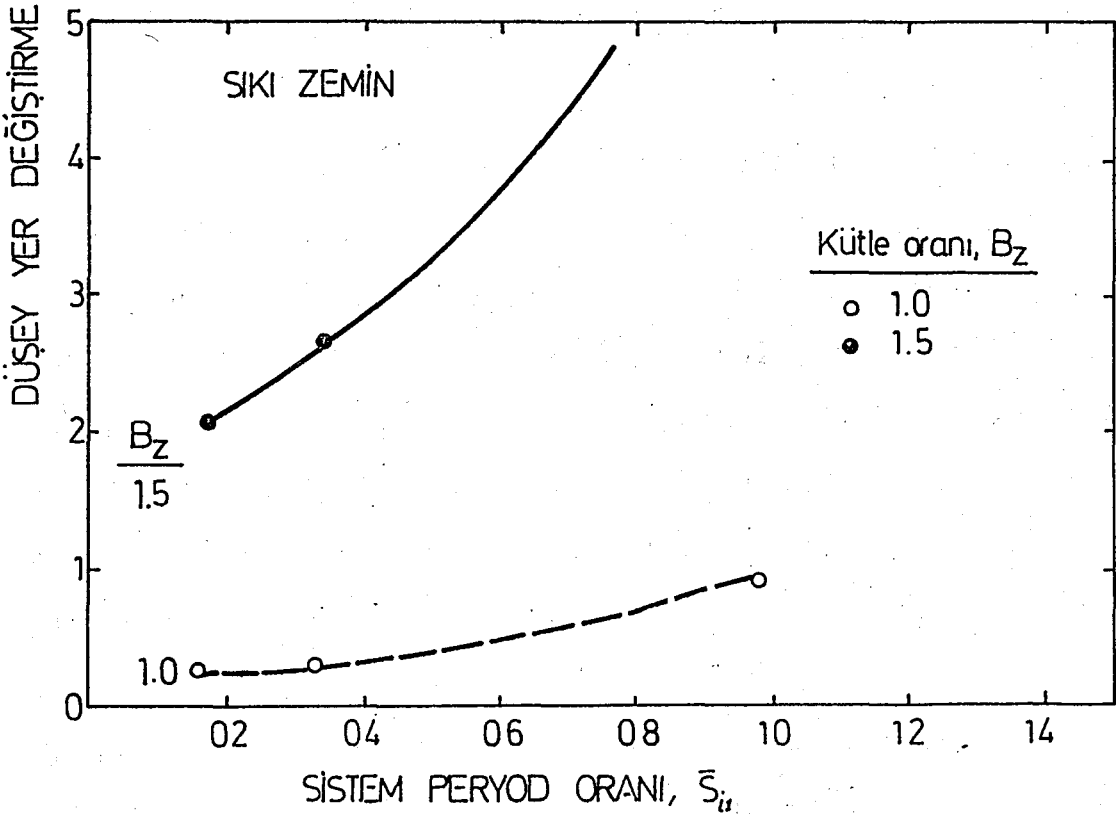
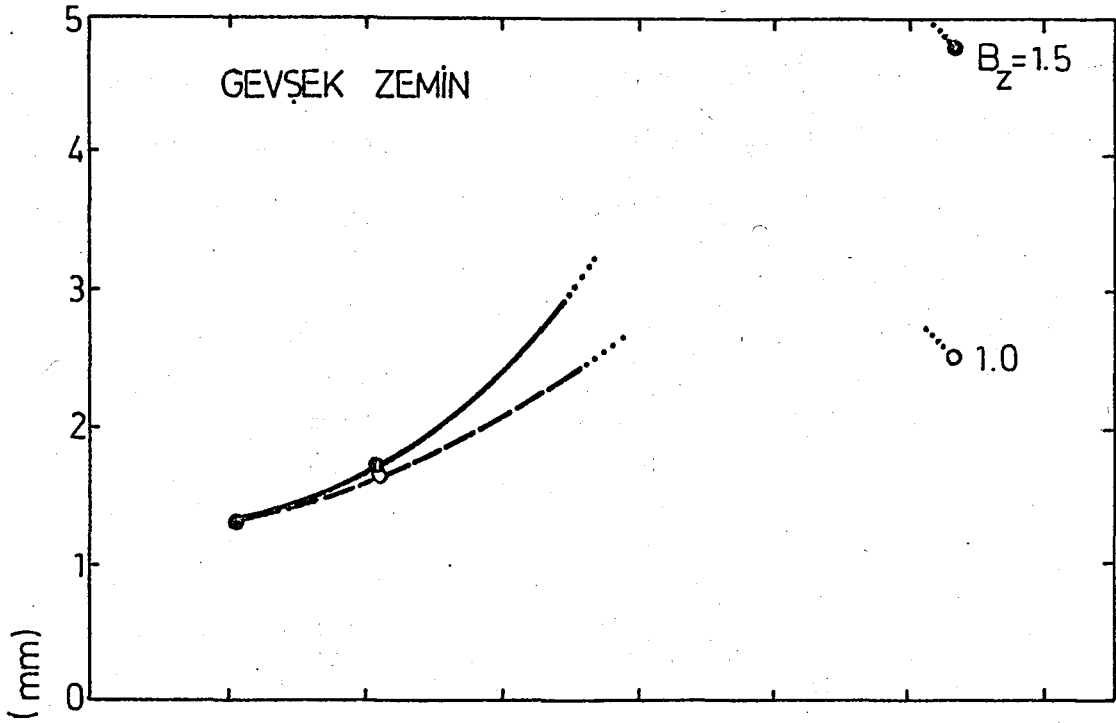
Temel derinliğinin veya gömülme yüzdesinin etkisini inceleyebilmek için aynı kütle oranlarını içeren gömülü ve yüzeysel temelli zemin-temel sistemleri için hesap edilen yer değiştirme miktarlarının oranlarını ele almak gerekmektedir.

Tablo 7.2- Gömülü Temelleri İçeren Zemin-Temel Sistemleri İçin Sistem Periyod Oranı, \bar{S}_{ij} , Değerleri

TEMEL KOTLE ORANI	ZEMİN TÜRÜ (i)	SİSTEM MOD NO. (j)	PERYOD ORANI ENDİSİ (\bar{S}_{ij})	SİSTEM DOĞAL PERİYODU (san)	SİSTEM PERİYOD ORANI, \bar{S}_{ij}		
					DEPREM TİTREŞİMLERİ DOĞAL PERİYODU, T (san)		
					0.2	0.6	1.2
1.0	Gevşek	1	\bar{S}_{11}	0.253	1.27	0.42	0.21
		2	\bar{S}_{12}	0.177	0.89	0.30	0.15
		3	\bar{S}_{13}	0.150	0.75	0.25	0.13
	Sıkı	1	\bar{S}_{31}	0.195	0.98	0.33	0.16
		2	\bar{S}_{32}	0.189	0.95	0.32	0.16
		3	\bar{S}_{33}	0.182	0.91	0.30	0.15
1.5	Gevşek	1	\bar{S}_{11}	0.253	1.27	0.42	0.21
		2	\bar{S}_{12}	0.193	0.97	0.32	0.16
		3	\bar{S}_{13}	0.164	0.82	0.27	0.14
	Sıkı	1	\bar{S}_{31}	0.201	1.01	0.34	0.17
		2	\bar{S}_{32}	0.195	0.98	0.33	0.16
		3	\bar{S}_{33}	0.185	0.93	0.31	0.15



Şekil 7.5 DEĞİŞİK ZEMİN TURLERİ İÇİN TEMEL KÜTLE ORANININ ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİLERİ - YATAY YER DEĞİŞTİRME (gömülü temelli sistemler).



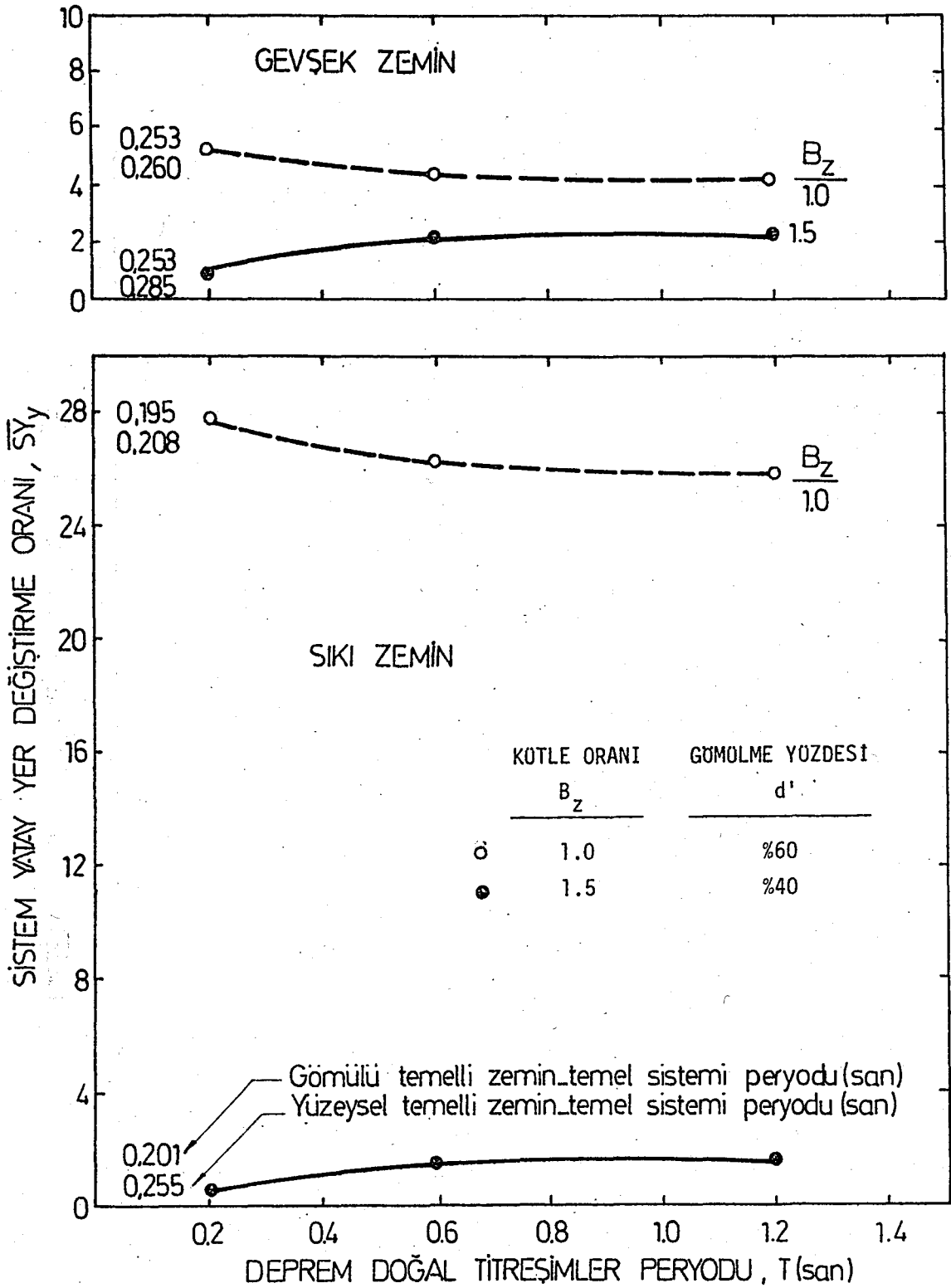
Şekil 7.6 DEĞİŞİK ZEMİN TÜRLERİ İÇİN TEMEL KÜTLE ORANININ ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİLERİ - DÜŞEY YER DEĞİŞTİRME (gömülü temelli sistemler).

Bu oranı hesaplamak üzere Denklem (7.2) ile tanımlanan Sistem Yatay Yer Değiştirme Oranı, \overline{SY}_y , ve Denklem (7.3) ile tanımlanan Sistem Düşey Yer Değiştirme Oranı, \overline{SY}_d , kullanılmıştır.

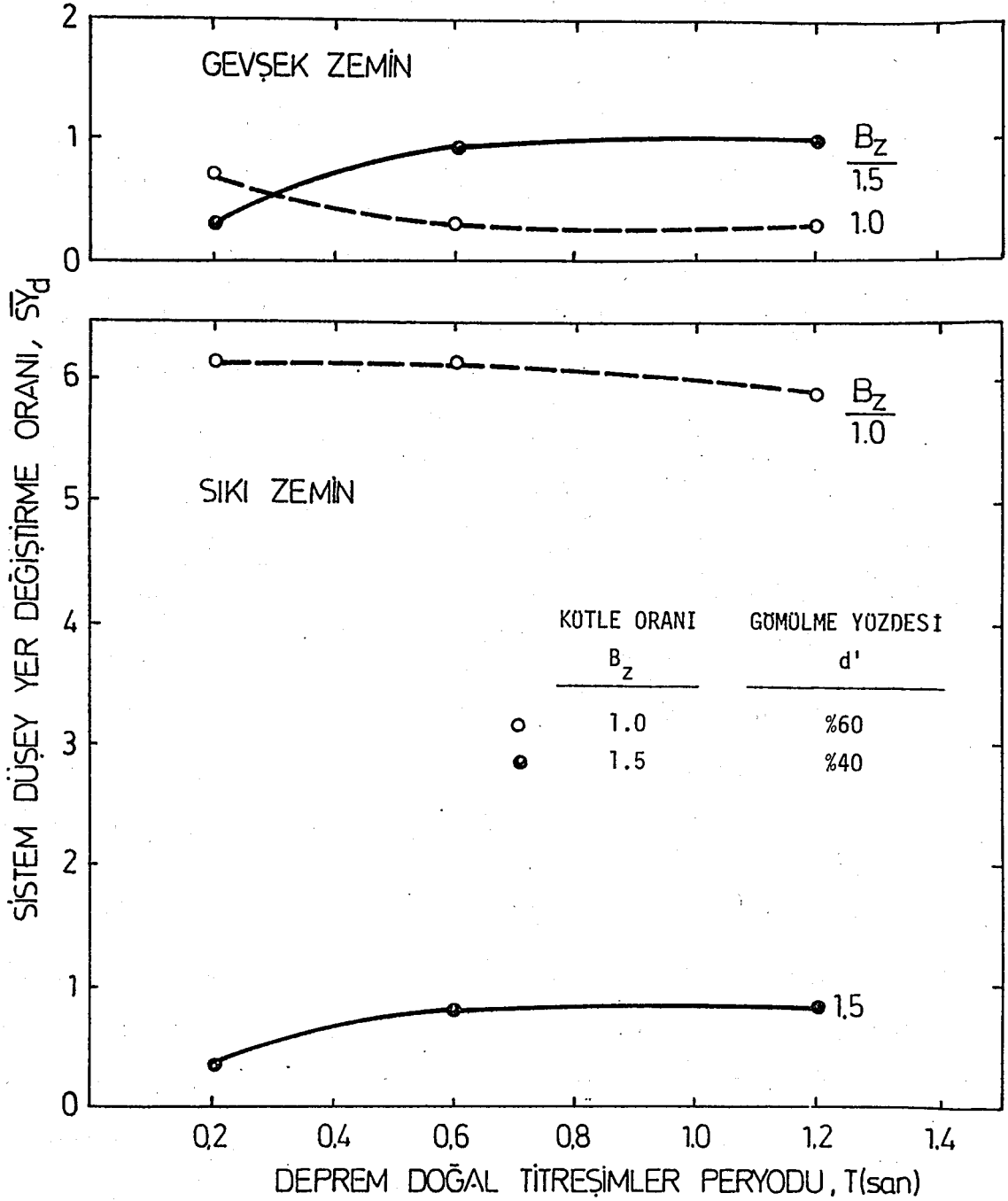
$$\overline{SY}_y = \frac{\text{Yüzeysel Temeli İçeren Zemin-Temel Sisteminde Temel Üst Düşümleri Maksimum Yatay Yer Değiştirme Miktarı}}{\text{Gömülü Temeli İçeren Zemin-Temel Sisteminde Temel Üst Düşümleri Maksimum Yatay Yer Değiştirme Miktarı}} \quad (7.2)$$

$$\overline{SY}_d = \frac{\text{Yüzeysel Temeli İçeren Zemin-Temel Sisteminde Temel Üst Düşümleri Maksimum Düşey Yer Değiştirme Miktarı}}{\text{Gömülü Temeli İçeren Zemin-Temel Sisteminde Temel Üst Düşümleri Maksimum Düşey Yer Değiştirme Miktarı}} \quad (7.3)$$

Çalışmada kullanılan değişik doğal periyodlu titreşimlere tekabül eden \overline{SY}_y ve \overline{SY}_d değerleri her kütle oranı için hesaplanmış ve sırasıyla, Şekil 7.7 ve 7.8'de gösterilmiştir. Şekil 7.7 üzerinde ayrıca gömülü ve yüzeysel temelleri içeren zemin-temel sistemlerinin birinci mod periyodları da not edilmiştir. Şekil 7.8'de de aynı eğriler için aynı değerler geçerlidir. Bu değerleri not etmekteki amaç, yapılan karşılaştırmanın aynı periyodlu sistemler için yapılmadığını vurgulamak, temelin yüzeysel veya gömülü olmasıyla sistem periyodunun değiştiğini göstermek ve yüzeysel temelli sistemlerin daha yüksek birinci mod periyodlarına sahip olduklarını belirlemektir. Ancak, her iki tür zemin-temel sistemlerinin birinci mod periyodları arasında önemli farklar görülmemektedir.



Şekil 7.7 TEMEL DERİNLİĞİNİN ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİLERİ - YATAY YER DEĞİŞTİRME.



Şekil 7.8 TEMEL DERİNLİĞİNİN ZEMİN-TEMEL SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİLERİ - DÜŞEY YER DEĞİŞTİRME.

Şekil 7.7 ve 7.8'de görülen genel durum, kütle oranı yüksek olan temelleri içeren sistemlerde temel derinliğinin veya gömülme yüzdesinin etkisinin azaldığı, kütle oranı küçük olan temelleri içeren sistemlerde ise gömülme yüzdesinin sistem davranışını önemli şekilde etkilediğidir.

Yatay yer değiştirmeler ele alındığında, gerek sıkı gerek gevşek zemin şartlarında $B_z = 1.5$ durumu devamlı küçük \overline{SY}_y değerlerine neden olmuştur. Diğer bir deyişle, yüzeysel ve gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemleri $B_z = 1.5$ durumunda birbirlerine yaklaşık davranışlar göstermişlerdir. Diğer taraftan $B_z = 1.0$ durumunda gömülmenin etkisi daima önemli olmuştur. Bu kütle oranı ve sıkı zemin şartları için yüzeysel temelli sistemler, gömülü temelli sistemlere nazaran, çok yüksek yatay yer değiştirme miktarlarına neden olmuşlardır. Gevşek zeminli sistemlerde ise kütle oranının tesiri nispeten azalmaktadır.

Düşey yer değiştirmeler ele alındığında da aynı eğilimler görülmektedir. Ancak \overline{SY}_d değerlerinin, bilhassa sıkı zemin şartlarında, \overline{SY}_y değerlerinden çok küçük olduklarını not etmek gerekmektedir. Böylece gömülmenin etkisi yatay yer değiştirme miktarlarında daha etkin olarak ortaya çıkmaktadır. Düşey yer değiştirme miktarlarının ise gömülme ile birlikte genellikle ya arttığı ya da değişmediği görülmektedir. Bu genel eğilime istisna olarak bir tek sıkı zemin şartlarında $B_z = 1.0$ olan temeli içeren zemin-temel davranışında görülmekte-

dir. Bu şartlar altında gömülme ile birlikte düşey yer değiştirme miktarları önemli sayılacak şekilde azalmıştır. Diğer bir deyişle bu şartlar için nispeten büyük \overline{SY}_d değerleri hesap edilmiştir.

Deprem titreşimleri doğal periyodunun değeri ise, önceden de bahsedildiği gibi, rezonans durumu haricinde, önemli bir etkide bulunmamaktadır. Rezonans durumu yaratan doğal periyod değeri haricindeki titreşimlerde \overline{SY}_y ve \overline{SY}_d değerleri yaklaşık sabit kalmışlardır.

7.5. SONUÇLAR

Temellerin zemine gömülü olmaları halinde zemin-temel ilişkilerini incelemek amacıyla değişik kütleli temelleri ve değişik zemin türlerini içeren zemin-temel sistemleri değişik doğal periyodlu titreşimlere tâbi tutulmuşlardır. Temel kütle oranları değiştirilirken taban alanı sabit tutulmuş, temel yüksekliği değiştirilerek istenilen kütle oranları elde edilmiştir.

İncelenen zemin-temel sistemlerinde temel derinliği, gömülme oranı değeri 1.0 olacak şekilde alınmıştır. Bu değer sonucu gömülme yüzdesi kütle oranı 1.0 olan temelerde % 60, kütle oranı 1.5 olan temelerde ise % 40 olmuştur.

Sonuçlar temel üst düğümlerinin yatay ve düşey yer değiştirme miktarları cinsinden tanımlanmıştır. Genel sonuçlar

aşağıda sıralanmıştır:

(a) Gömülme ile birlikte yatay yer değiştirme miktarları azalmaktadır.

(b) Düşey yer değiştirme miktarları ise gömülme yüzdesine ve zemin şartlarına göre değişik eğilimler göstermektedir.

(c) Gömülme yüzdesi yaklaşık % 50'den az olan temeller için düşey yer değiştirme miktarları, rezonans durumu haricinde, gömülme ile önemli şekilde etkilenmemektedir.

(d) Gömülme yüzdesi yaklaşık % 50'den büyük olan temeller için ise düşey yer değiştirme miktarlarının sıkı zemin şartlarında gömülme ile azaldığı, gevşek zemin şartlarında ise gömülme ile arttığı görülmüştür.

(e) Deprem titreşimleri doğal periyodunun gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemleri üzerindeki etkisi, rezonans durumu haricinde, önemli olmamaktadır.

(f) Gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemlerinde temel kütle oranı arttıkça yatay ve düşey yer değiştirme miktarları da artmaktadır.

(g) Kütle oranı nispeten küçük ($B_z \leq 1.0$) olan temelleri içeren zemin-temel sistemleri için gevşek zemin şartları, sıkı zemin şartlarına göre, daha büyük yer değiştirme miktar-

larına neden olmaktadır. Kütle oranı nispeten büyük ($B_z \geq 1.5$) olan temelleri içeren zemin-temel sistemlerinde ise bu etki ters yönde görülmüştür.

8. YAPI DOĞAL TİTREŞİM PERİYODUNUN DAVRANIŞA ETKİSİ

8.1. GENEL

Deprem hareketi altında zemin-temel-yapı davranışını etkileyen en önemli parametrelerden biri yapı doğal titreşim periyodudur. Bu nedenle değişik yapı yüksekliklerini simgeleyen yapı doğal titreşim periyodu değerleri seçilmiştir. Geniş bir alanı kapsamak amacıyla bu değerler 0.1, 0.6 ve 1.5 san olarak alınmıştır. Bu değerlerin yaklaşık 1,5 ve 10 katlı binalara tekabül ettiği düşünülebilir.

Böylece elde edilen yapı sistemleri kütle oranı, $B_z = 1.0$ ve gömülme oranı, $d = 1.0$ olan temellerin üzerine yerleştirilmiştir. Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi bu temellerin gömülme yüzdesi, d' ($d' =$ temel derinliği/temel yüksekliği), değeri % 60 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen temel-yapı sistemleri gevşek ve sıkı zemin şartları altında doğal periyodları 0.2, 0.6 ve 1.2 san olan üç değişik deprem titreşimine tâbi tutulmuşlardır.

Özet olarak, yapı doğal titreşim periyodu olarak üç ayrı değer, temel kütle oranı ve gömülme oranı olarak tek değer, zemin özellikleri olarak iki ayrı zemin türü ve deprem titreşimleri doğal periyodları olarak da üç ayrı değer kapsama dahil edilmişlerdir. Sistem için kullanılan matematik-

sel model Bölüm 3, Şekil 3.6'da verilmişti. Kullanılan parametreler ve değerleri ise Şekil 8.1'de gösterilmiştir.

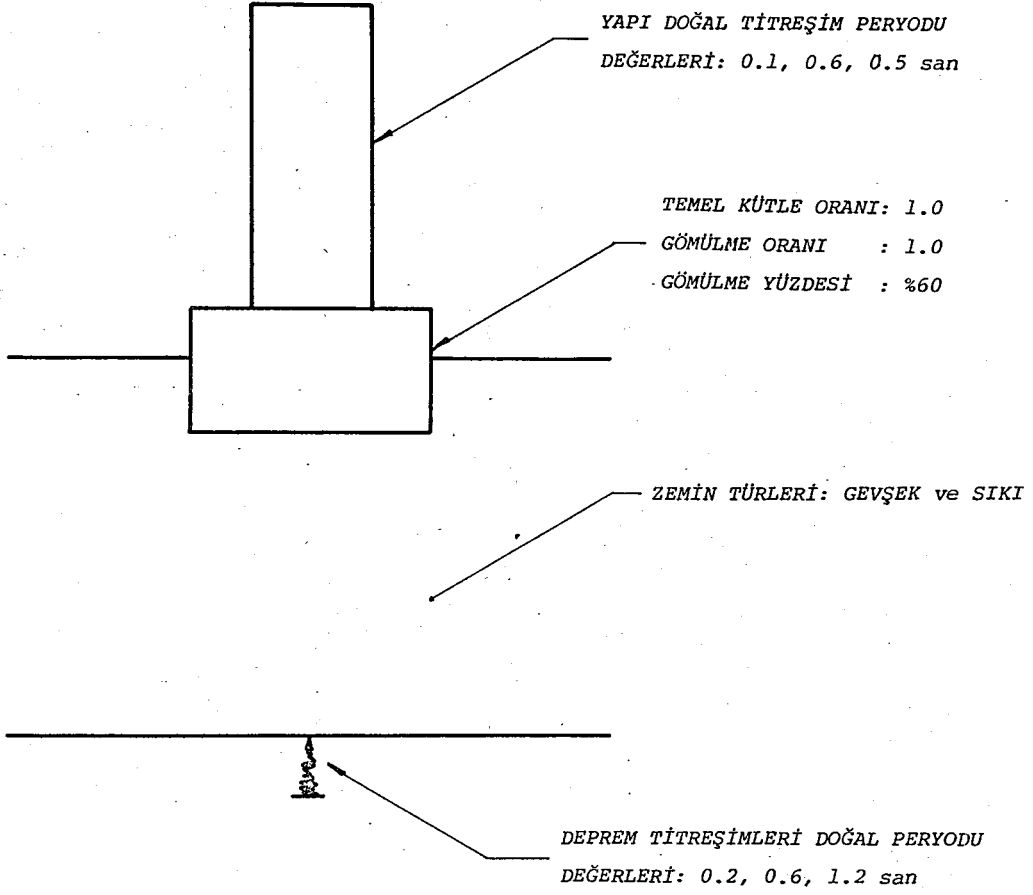
Parametrelerin zemin-temel-yapı sisteminin davranışına etkileri sistemin yer değiştirmesi yönünden ele alınmıştır. Kritik noktalar olarak yapı üst noktaları (sonlu elemanlar ağında yapı üst düğümleri) ve temel üst noktaları (sonlu elemanlar ağında temel üst düğümleri) alınmıştır. Temel üst düğümleri aynı zamanda yapı alt düğümlerine de tekabül etmektedir. Parametrik etkiler bu düğümlerin maksimum yatay ve dikey yer değiştirmeleri cinsinden tanımlanmıştır.

8.2. YAPI ÜST DOĞUMLARI YER DEĞİŞTİRME MİKTARLARI

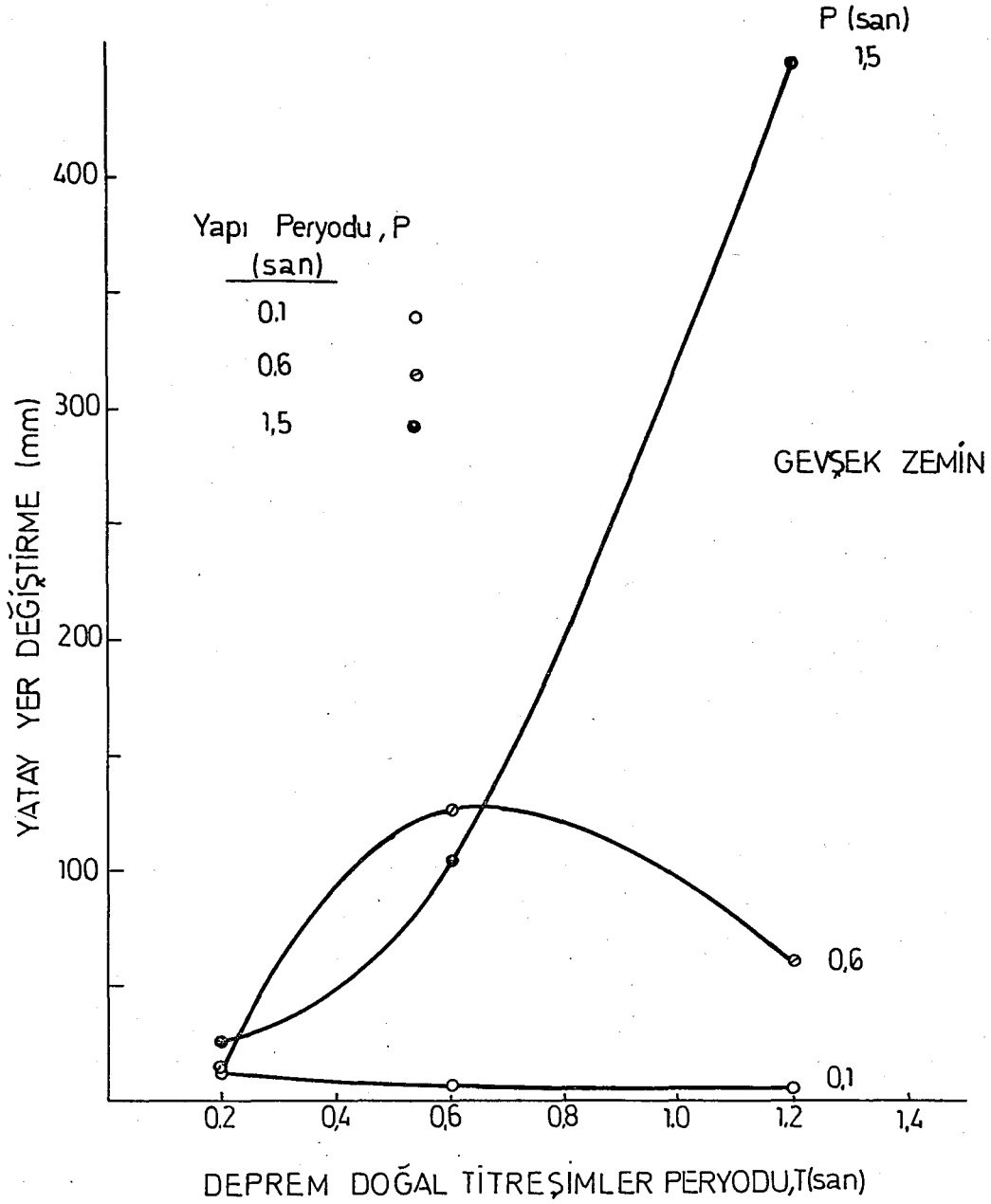
A. Yatay Yer Değiştirme

Yapı üst düğümleri için gevşek ve sıkı zemin şartları altında hesaplanan yatay yer değiştirme miktarları, sırasıyla, Şekil 8.2 ve 8.3'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her iki zemin şartlarında da sistem davranışı yaklaşık eşit olmuştur. Ancak gevşek zemin türünü içeren sistemler için hesap edilen yatay yer değiştirme miktarları, sıkı zemin türünü içeren sistemlerdekine göre, çok az da olsa daha yüksek olmuştur.

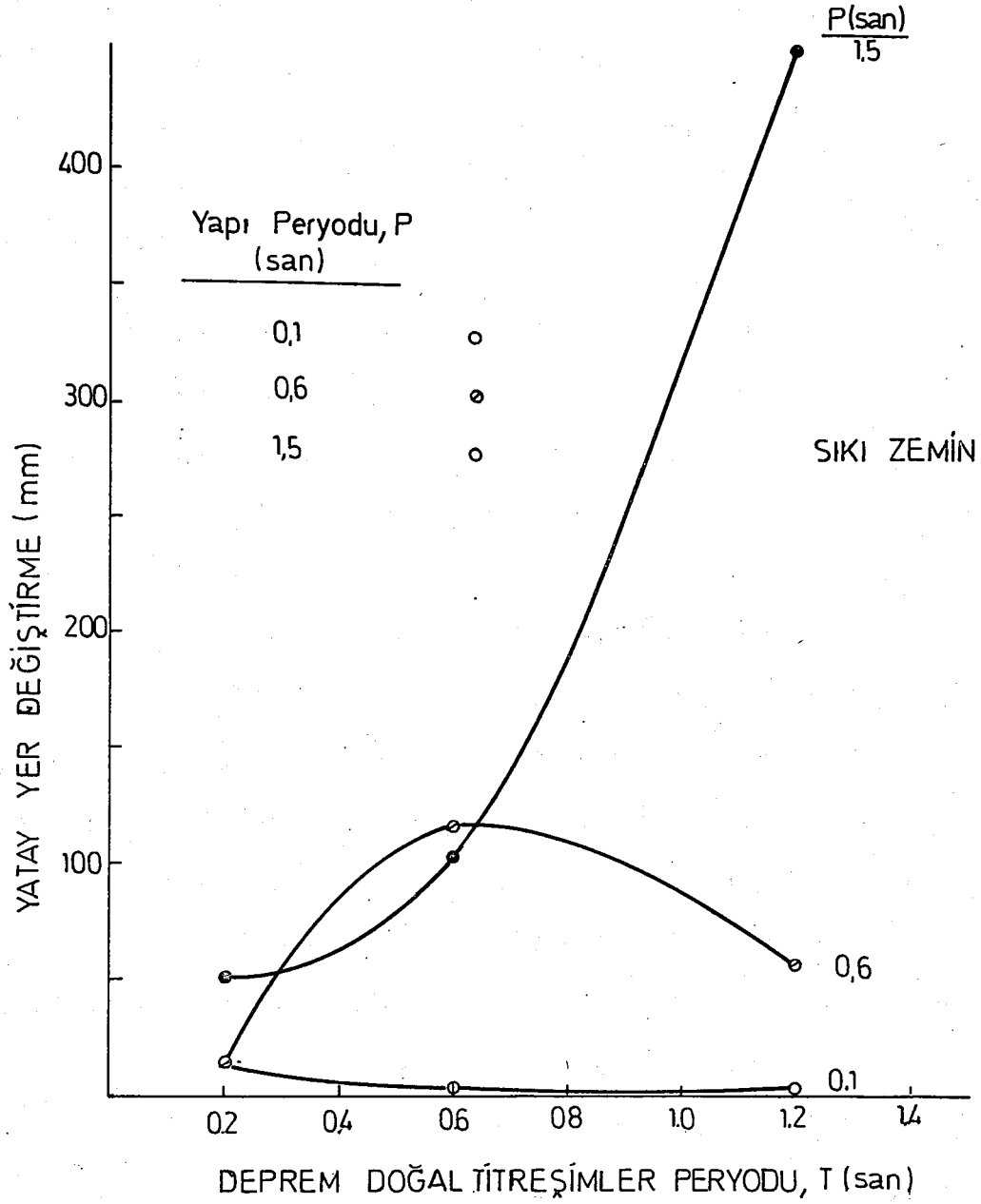
Her yapı doğal periyodu için ayrı ayrı verilen eğrilerin şekilleri rezonans olayı ile etkilenmektedir. Rezonans durumu açık olarak yapı ve titreşim doğal periyodlarının 0.6



Şekil 8.1 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ İÇİN KULLANILAN PARAMETRELER.



Şekil 8.2 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ YAPI ÜST DÜĞÜMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ (gevşek zemin).



Şekil 8.3 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ YAPI ÜST DÜĞÜMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ (sıkı zemin).

san olduğu durumda gözükmeKtedir. Yapı doğal peryodu, $P = 0.6$ san olan sistem için en yüksek değerler doğal peryodu 0.6 san olan titreşimler altında hesap edilmiş, doğal peryodu 0.2 ve 1.2 san. olan titreşimler altında ise yatay yer değiştirme miktarları azalmıştır.

Benzer eğilimler yapı doğal peryodu, $P = 0.1$ ve 1.5 san olan sistemlerde de görülmektedir. Ancak bu sistemlerin resonans halindeki yer değiştirme miktarları, tam resonans sağlayacak doğal peryodlu titreşimler kullanılmadığından, kesin olarak elde edilmemiştir. Ancak $P = 0.1$ san sistemi için en büyük yer değiştirme miktarları doğal peryodu 0.2 san olan titreşimler altında elde edilmiş, titreşim doğal peryodu büyüdükçe yatay yer değiştirme miktarı azalmıştır. Diğer taraftan, $P = 1.5$ san sistemi için en büyük yer değiştirme miktarları doğal peryodu 1.2 san olan titreşimler altında elde edilmiş, titreşim doğal peryodu azaldıkça yatay yer değiştirme miktarı da küçülmüştür. Doğal titreşim peryodu olarak 0.1 ve 1.5 san değerleri de kapsama alınmış olaydı, sırasıyla, $P = 0.1$ ve 1.5 san titreşimleri için bu titreşimlerde resonans durumunun ortaya çıkacağı açıktır. Ancak relatif parametrik etkiler incelendiğinden ve tipik deprem titreşimleri doğal peryodu değerleri olarak 0.2, 0.6 ve 1.2 san kapsama alındığından, $P = 0.1$ ve 1.5 san sistemlerinde kesin resonans elde edilmemesi önemli olmamıştır.

Diğer genel bir husus, yapı doğal periyod, P , değeri büyüdükçe yatay yer değiştirmelerin de arttığıdır. Resonans durumu sırasındaki yaklaşık değerlerden de görüleceği üzere, en küçük yatay yer değiştirme miktarları doğal periyodu en küçük olan yapıları içeren sistemlerde, en büyük yatay yer değiştirme miktarları ise doğal periyodu en büyük olan sistemlerde elde edilmiştir.

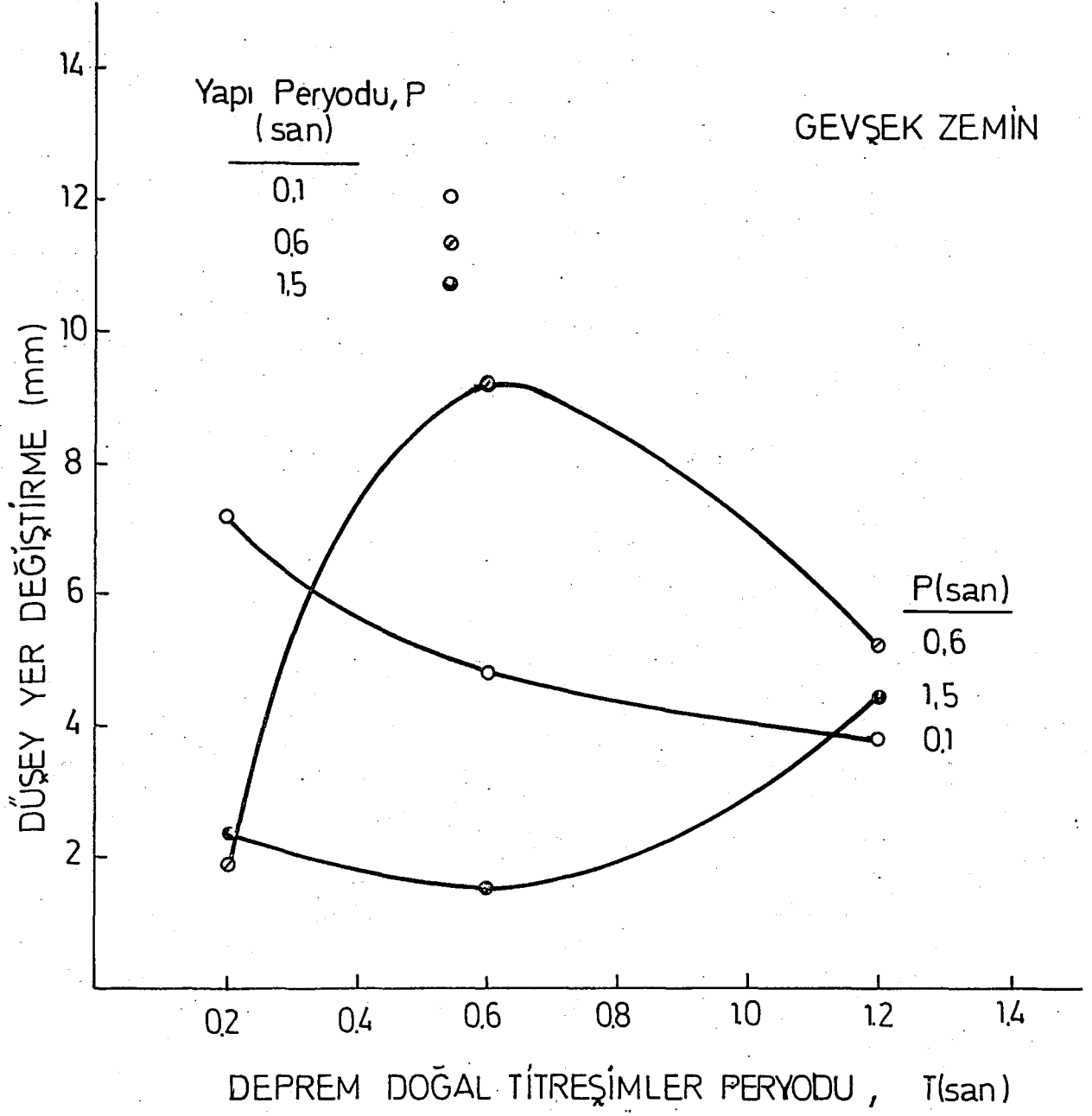
B. Düşey Yer Değiştirme

Yapı üst düğümleri için gevşek ve sıkı zemin şartları altında hesaplanan düşey yer değiştirme miktarları, sırasıyla Şekil 8.4 ve 8.5'de gösterilmiştir.

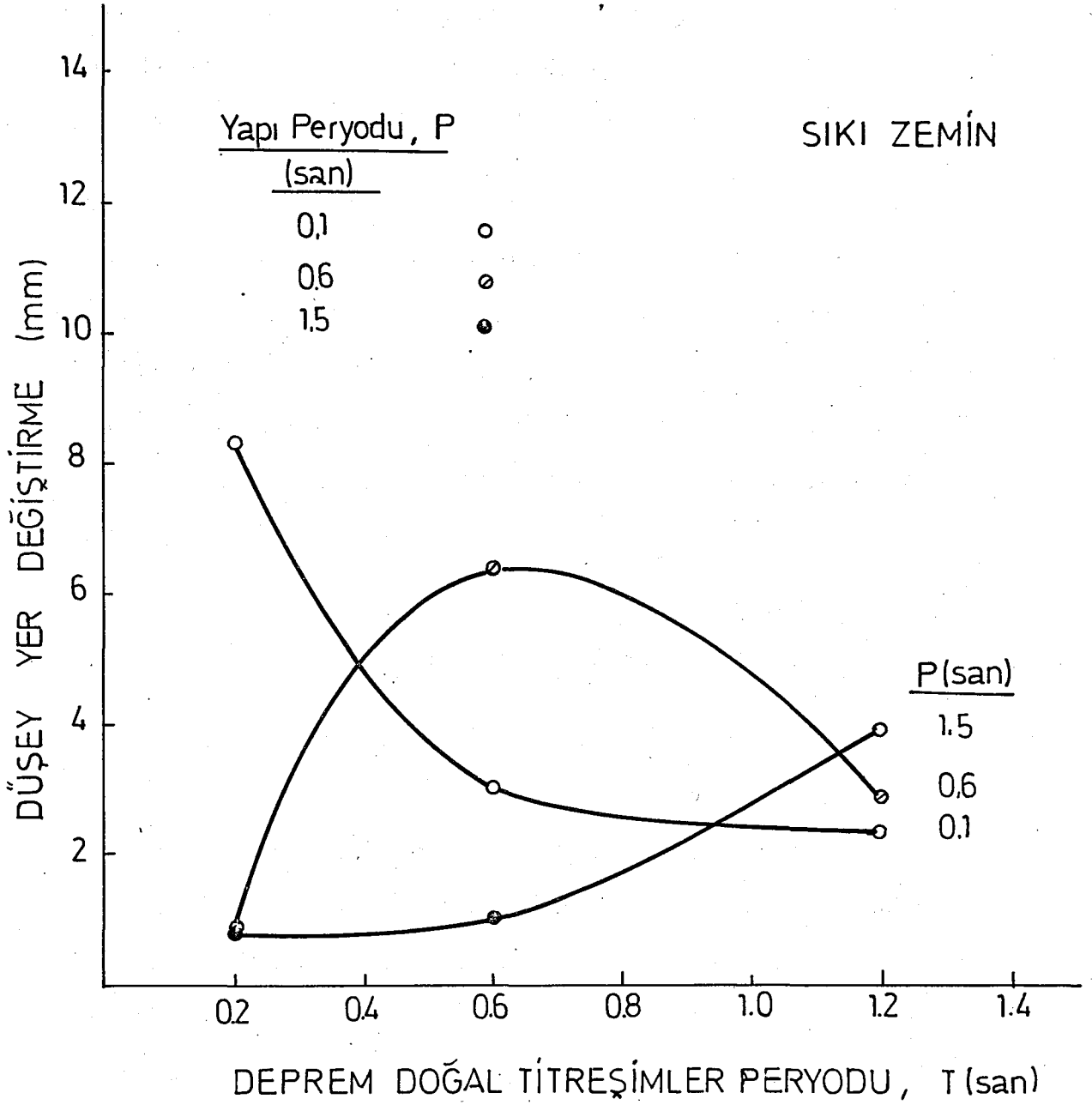
Her iki zemin şartları altında da sistem davranışı benzer oranlarda olmuştur. Ancak gevşek zemin türünü içeren zemin-temel-yapı sistemleri için hesap edilen değerler biraz daha yüksektir.

Her yapı doğal periyodu, P , için ayrı ayrı verilen eğrilerin şekilleri resonans olayı ile etkilenmektedir. Önceden de bahsedildiği gibi, resonans olayı, $P = 0.6$ san sistemi için açık olarak, $P = 0.1$ ve 1.5 san sistemleri için ise eğilim olarak görülmektedir.

Hesaplanan düşey yer değiştirmelerle yatay yer değiştirmeler arasında başlıca iki farklılık görülmektedir. Bunlardan ilki yer değiştirme değerleri ile ilgilidir. Yatay ve



Şekil 8.4 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ YAPI ÜST DÜĞÜMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ (gevşek zemin).



Şekil 8.5 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ YAPI ÜST DÜĞÜMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ (sıkı zemin).

düsey yer değiştirme miktarları karşılaştırıldığında, yatay yer değiştirme miktarlarının düsey yer değiştirme miktarlarından yaklaşık 100 mertebesinde büyük olduğu görölmektedir.

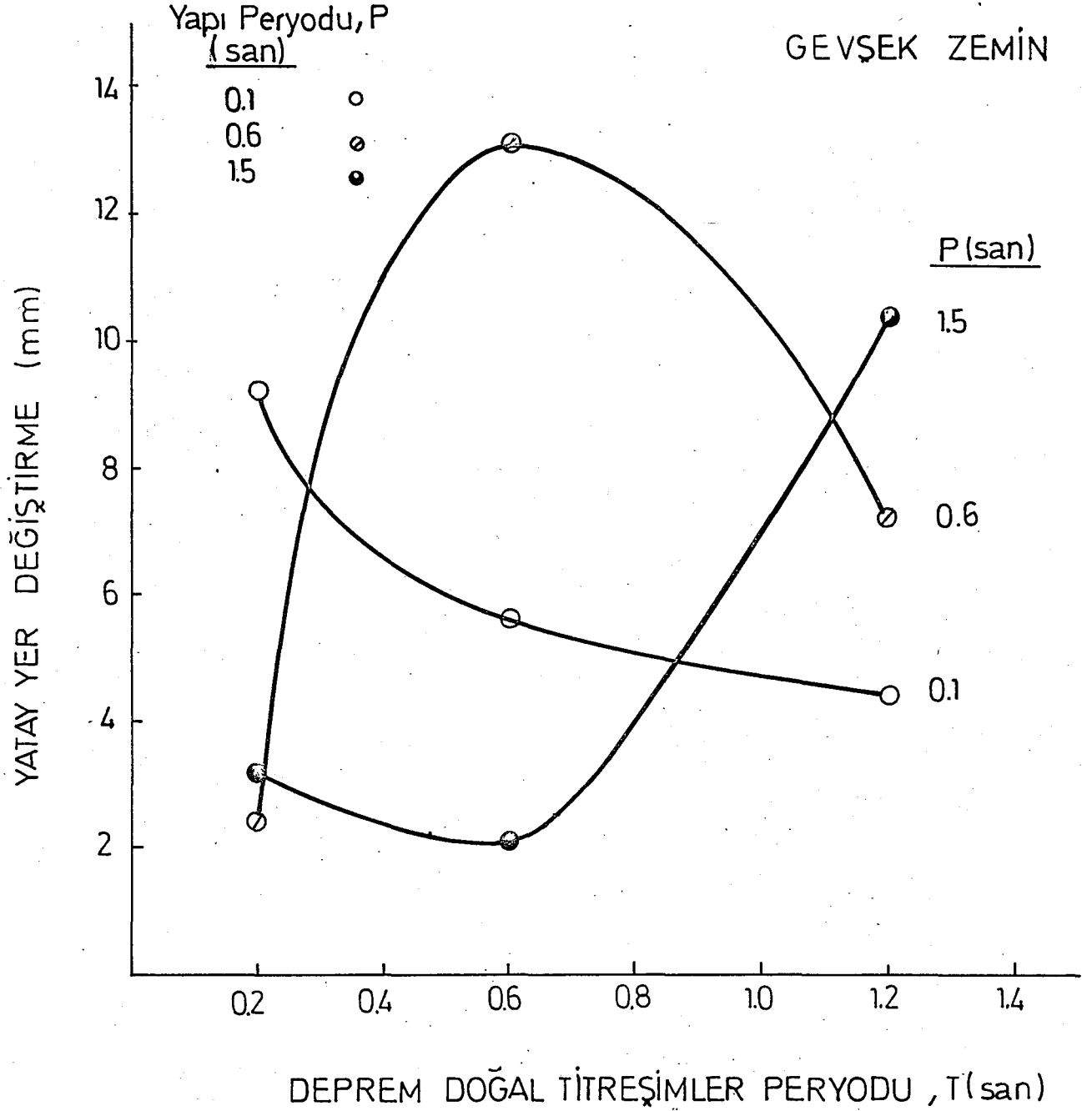
İkinci husus ise yapı doğal periyod, P , değerinin yer değiştirme miktarı üzerindeki etkisidir. Resonans sırasındaki yaklaşık değerlerden göröleceği üzere, en büyük düsey yer değiştirme miktarları en küçük P değeri, en küçük düsey yer değiştirme miktarları ise en büyük P değeri için elde edilmiştir. Bu durum yatay yer değiştirmelerde görölen eğilimin tam tersi yönündedir.

8.3. YAPI ALT DÜĞÜMLERİ YER DEğİşTİRME MİKTARLARI

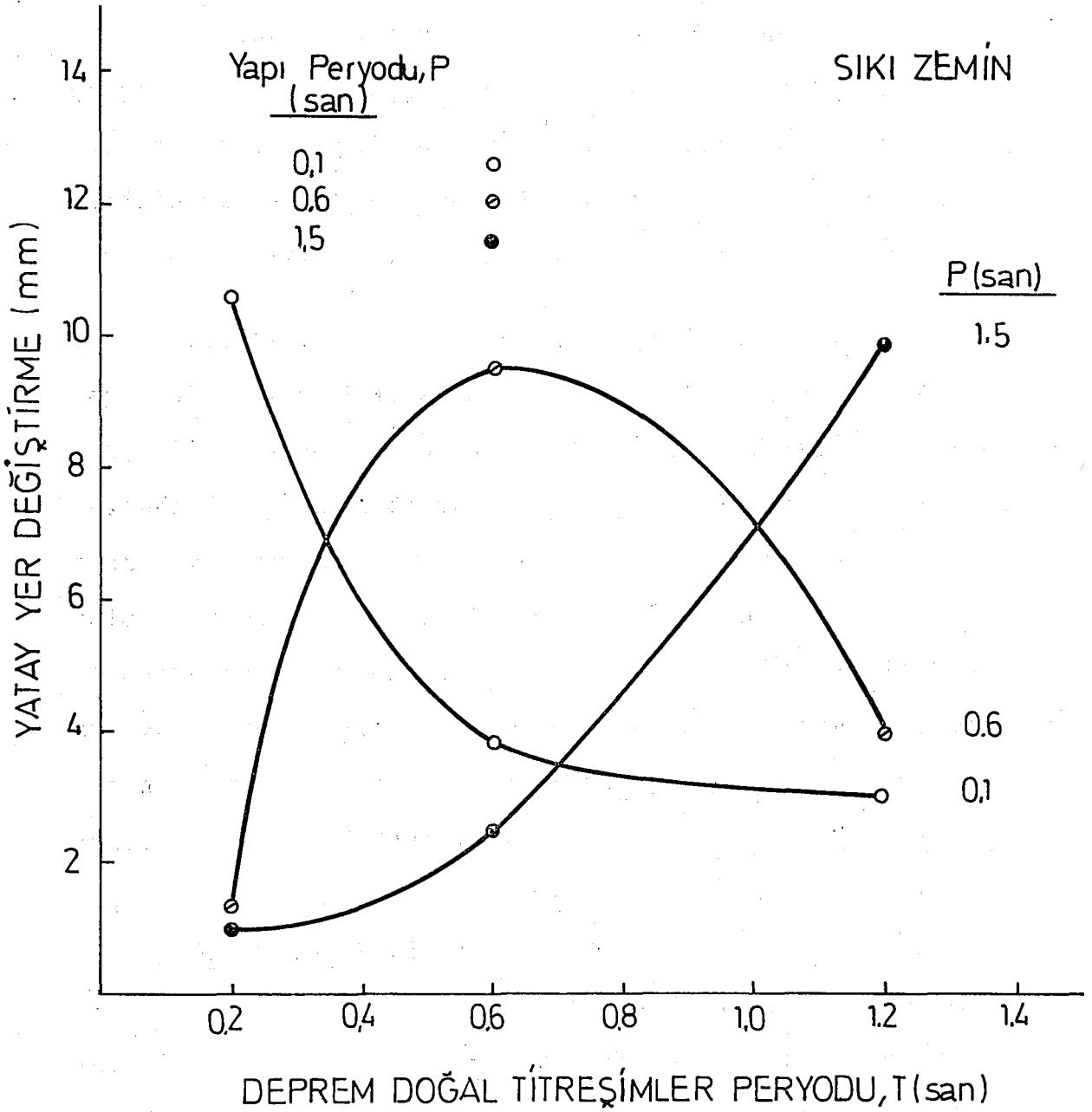
A. Yatay Yer Değiştirme

Yapı alt düğümleri için gevsek ve sıkı zemin şartları altında hesaplanan yatay yer değiştirme miktarları, sırasıyla, Şekil 8.6 ve 8.7'de gösterilmiştir. Yapı alt düğümleri ile temel üst düğümleri matematiksel modelde aynı düğümler olarak alındığından, bu eğriler aynı zamanda temel üst düğümleri için hesaplanan yatay yer değiştirme miktarlarını da göstermektedirler.

Her iki zemin şartları için de sistem davranışları benzer şekillerde olmuştur. Ancak, önemli bir mertebe farkı olmamasına rağmen, gevsek zemin şartlarında elde edilen yatay yer değiştirme miktarları, sıkı zemin şartları altında elde edilen değerlerden daha yüksek olmaktadır.



Şekil 8.6 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ YAPI ALT (TEMEL ÜST) DÜĞÜMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ (gevşek zemin).



Şekil 8.7 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ YAPI ALT (TEMEL ÜST) DÜĞÜMLERİNİN YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ (sıkı zemin).

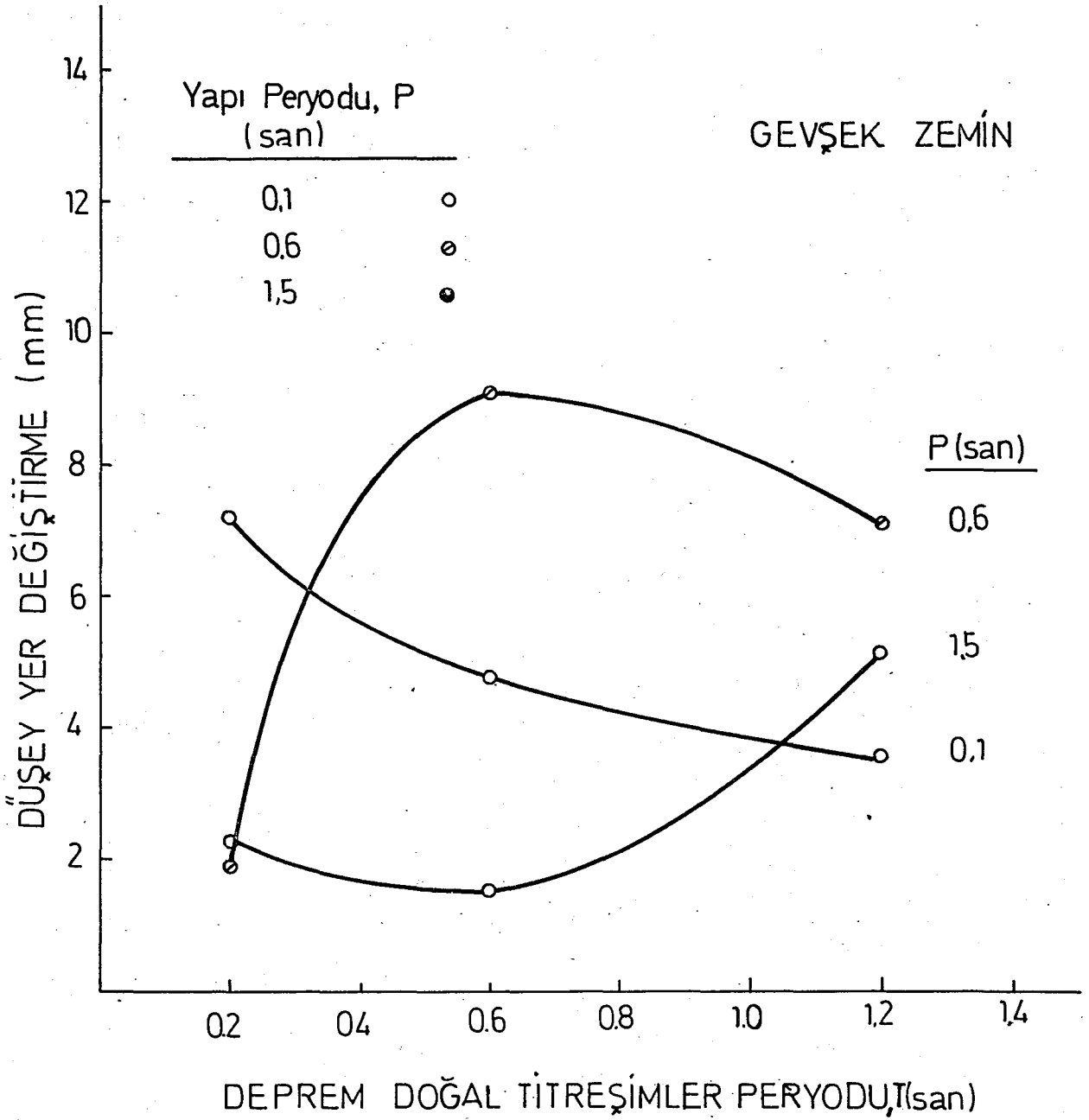
Resonans olayının etkisi, yapı üst düğümlerinde olduğu gibi, yapı alt düğümleri için de görülmektedir. Bu durum bilhassa yapı doğal periyodu, $P = 0.6$ san için açık olarak belirlenmektedir. Diğer P değerleri için ise resonans eğilimleri eğrilerden anlaşılmaktadır.

Gevşek zemin şartları için görülen genel bir husus, yapı doğal periyod değerinin büyümesiyle yatay yer değiştirme miktarlarının da büyüdüğüdür. Bu durum bilhassa resonans sırasındaki yaklaşık değerlerin birbirlerine oranından görülmektedir. Sıkı zemin şartları için ise benzer bir eğilim görülmemiştir. Bu durumda $P = 0.1$ ve 1.5 san sistemleri için resonans durumuna yaklaşık titreşimlerde hesap edilen maksimum yatay yer değiştirme miktarları, $P = 0.6$ san sistemi için resonans sırasında hesaplanan yatay yer değiştirme miktarından yüksek olarak elde edilmiştir.

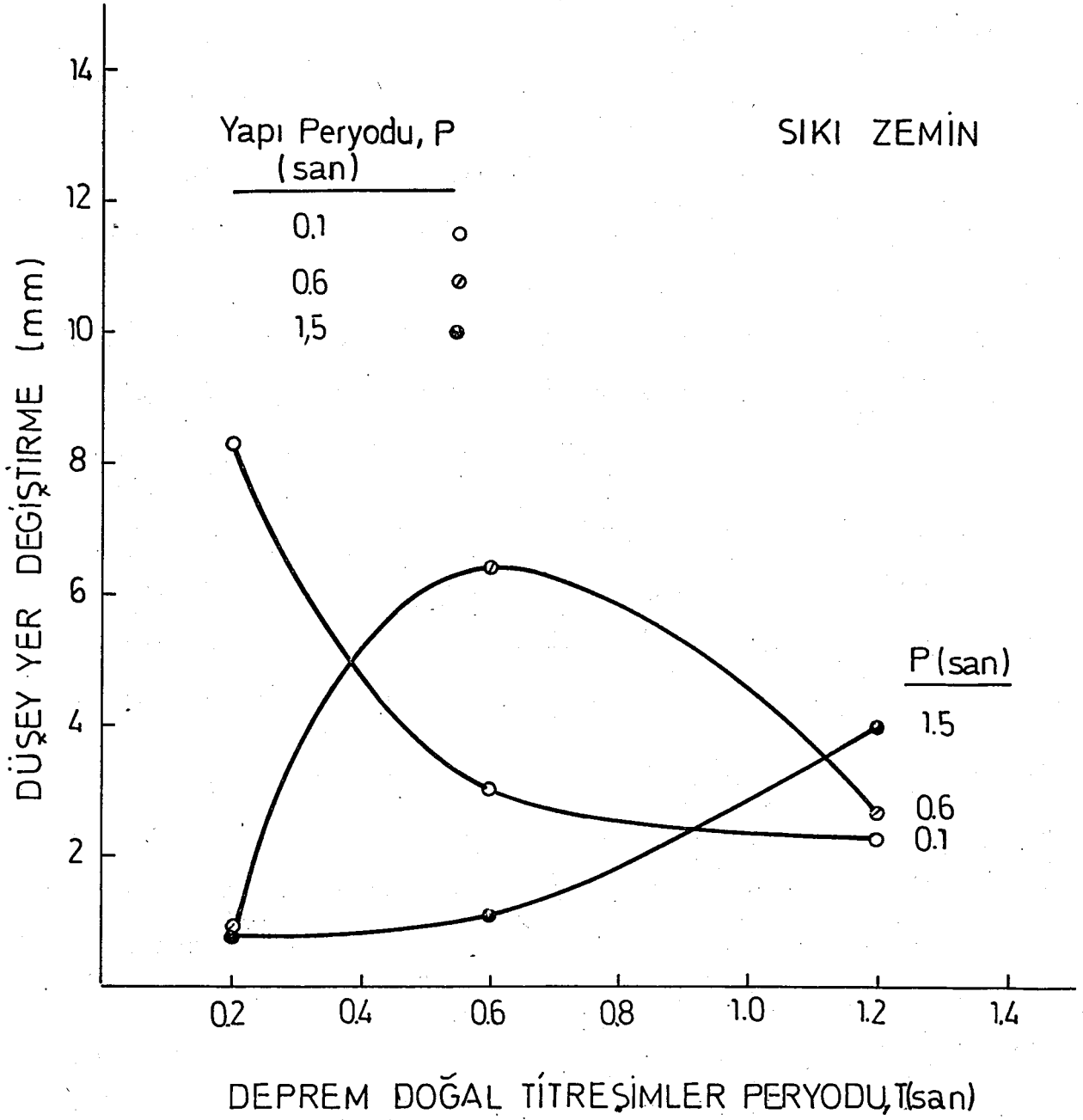
B. Düşey Yer Değiştirme

Yapı alt düğümleri, dolayısıyla temel üst düğümleri, için gevşek ve sıkı zemin şartları altında hesaplanan düşey yer değiştirme miktarları, sırasıyla, Şekil 8.8 ve 8.9'da gösterilmiştir.

Zemin türünün etkisi bu yer değiştirme miktarları için de önemli olmamıştır. Görüldüğü gibi, her iki zemin şartı altında da, yaklaşık eşit düşey yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Ancak gevşek zemin şartları altında hesaplanan de-



Şekil 8.8 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ YAPI ALT (TEMEL ÜST) DÜĞÖMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ (gevşek zemin).



Şekil 8.9 ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ YAPI ALT (TEMEL ÜST) DÜĞÜMLERİNİN DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ (sıkı zemin).

gerlerin, sıkı zemin şartlarına göre biraz daha yüksek olduğunu belirtmek gerekmektedir.

Her yapı doğal periyodu, P , için ayrı ayrı verilen eğrilerin şekilleri rezonans olayı ile etkilenmektedir. Önceki sistemlerde de olduğu gibi, $P = 0.6$ san sisteminin davranışı rezonans durumunu içine almakta, $P = 0.1$ ve 1.5 san sistemleri ise, kullanılan doğal titreşim periyodlarından ötürü, rezonans durumuna yaklaşmaktadırlar.

Düşey titreşimler için görülen genel eğilim, yapı doğal periyodunun artmasıyla düşey yer değiştirme miktarlarının azaldığıdır. Bu eğilim, yapı üst noktaları için görülen eğilimle uyum içindedir.

Diğer bir husus, temel üst düğümleri için hesaplanan yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının birbirlerine oranıdır. Hesaplanan değerler her iki yöndeki yer değiştirmeler için aynı mertebelerde olmuştur. Bu bölümde zemin-temel-yapı sistemi için kullanılan temel türü Bölüm 7'de incelenen zemin-temel sistemleri içinde de incelenmiş ve aynı eğilim orada da görülmüştü. Ancak, Bölüm 7'deki sonuçlarla bir karşılaştırma yapıldığında (Şekil 7.1 ve 7.2), temel üzerine yapının illeştirilmesiyle, temel üst düğümlerinin gerek yatay gerekse düşey yer değiştirme miktarlarının arttığıdır.

8.4. SİSTEM DOĞAL PERİYODUNUN ETKİLERİ

Zemin-temel-yapı sisteminin doğal periyodu ile deprem titreşimleri doğal periyodu arasındaki ilişki sistem davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu ilişkinin etkilerini inceleyebilmek amacıyla Denklem (4.4) tarzında bir periyod oranı tanımlanmıştır. Denklem (8.1) ile verilen ve Sistem Periyod Oranı, \bar{S}_{ij} , olarak adlandırılan bu oranla yalnız birinci mod için hesap edilen değerler Tablo 8.1'de sıralanmıştır.

$$\bar{S}_{ij} = \frac{\text{i Zemin Türünü ve j Yapı Sistemini İçeren Zemin-Temel-Yapı Sisteminin Birinci Mod Periyodu}}{\text{Deprem Titreşimleri Doğal Periyodu}} \quad (8.1)$$

Yapı üst ve alt düğümleri için elde edilen yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının \bar{S}_{ij} değerleri ile değişimi bu kısımda ele alınmıştır.

A. Yapı Üst Düğümleri

Zemin-temel-yapı sisteminde, çeşitli zemin türleri ve yapı doğal periyod değerleri ile değişik doğal periyodlu titreşimler altında yapı üst düğümleri için hesaplanan yer değiştirme miktarlarının Sistem Periyod Oranı, \bar{S}_{ij} , ile değişimi Şekil 8.10 ve 8.11'de gösterilmiştir.

Tablo 8.1- Zemin-Temel-Yapı Sistemleri İçin Birinci Mod Sistem Peryod Oranı, \bar{T}_{ij} , Değerleri

ZEMİN TORO (i)	YAPI DOĞAL PERYODU P (san)	SİSTEM DOĞAL PERYODU (san)	SİSTEM PERYOD ORANI ENDİSİ (\bar{T}_{ij})	SİSTEM PERYOD ORANI, \bar{T}_{ij}		
				DEPREM TİTREŞİMLERİ DOĞAL PERYODU, T (san)		
				0.2	0.6	1.2
Gevsek	0.1	0.260	\bar{T}_{11}	1.30	0.43	0.22
	0.6	0.639	\bar{T}_{12}	3.20	1.07	0.53
	1.5	1.525	\bar{T}_{13}	7.63	2.54	1.27
Sıkı	0.1	0.216	\bar{T}_{31}	1.08	0.36	0.18
	0.6	0.629	\bar{T}_{32}	3.15	1.05	0.52
	1.5	1.522	\bar{T}_{33}	7.61	2.54	1.27

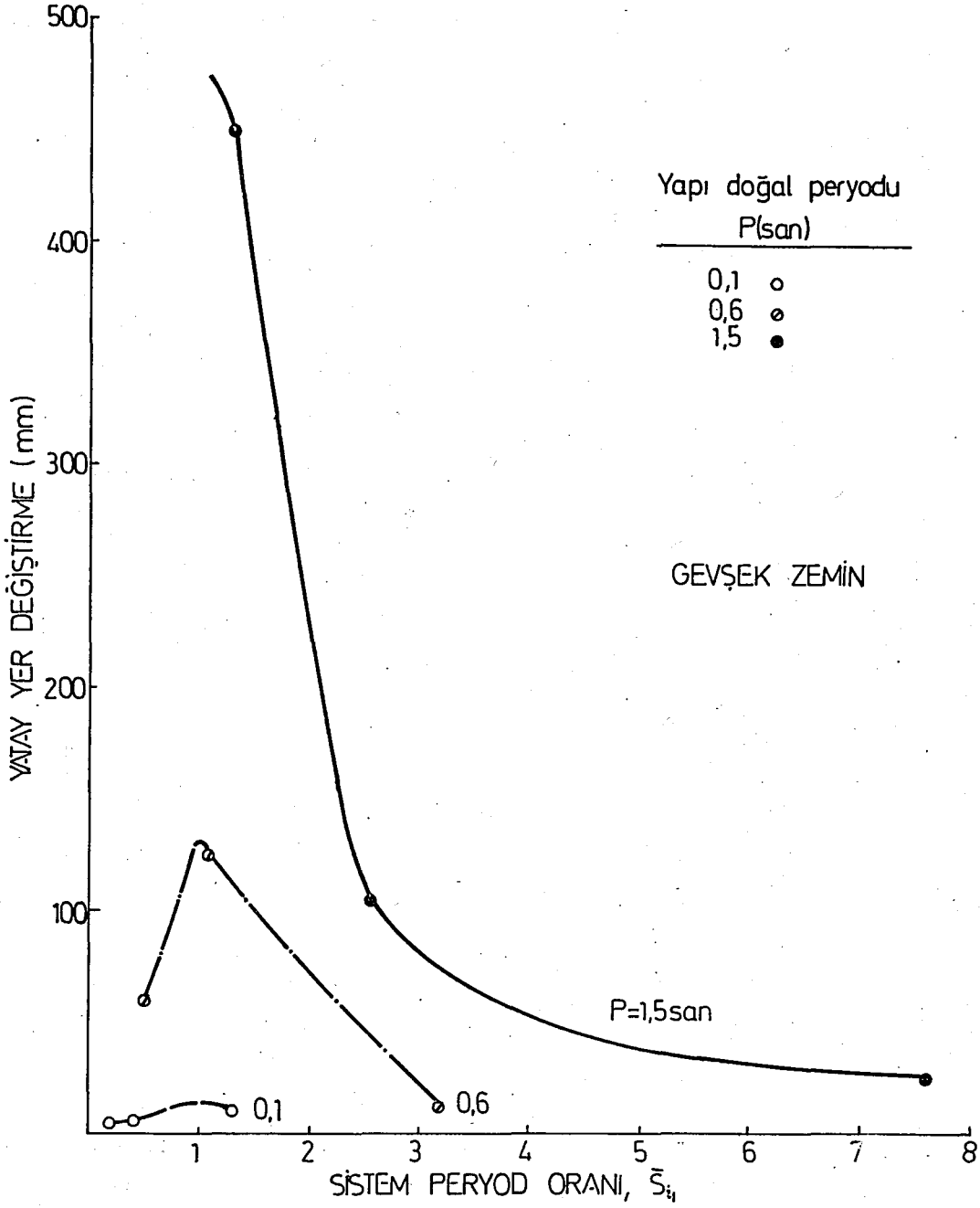
Yatay yer değiştirme miktarlarının birinci mod sistem periyod oranı, \bar{S}_{ij} , ile gevşek zemin şartları altında değişimi Şekil 8.10a'da, sıkı zemin şartları altında değişimi ise Şekil 8.10b'de verilmektedir. Görüldüğü gibi her iki zemin türü için de yaklaşık eşit davranışlar elde edilmiştir. Böylece bu düğümlerin yatay yer değiştirmeleri üzerinde zemin türünün bir etkisi olmadığı söylenebilir.

Sistem Periyod Oranı, $\bar{S}_{ij} = 1.0$ durumunda sistem doğal periyodu ile tatbik edilen titreşimlerin doğal periyodu eşit olmakta, böylece rezonans olayı doğmaktadır. Bu nedenle en yüksek değerler, $\bar{S}_{ij} = 1.0$ durumunda elde edilmektedir. Şekil 8.10'da bu durum açıkça görülmektedir.

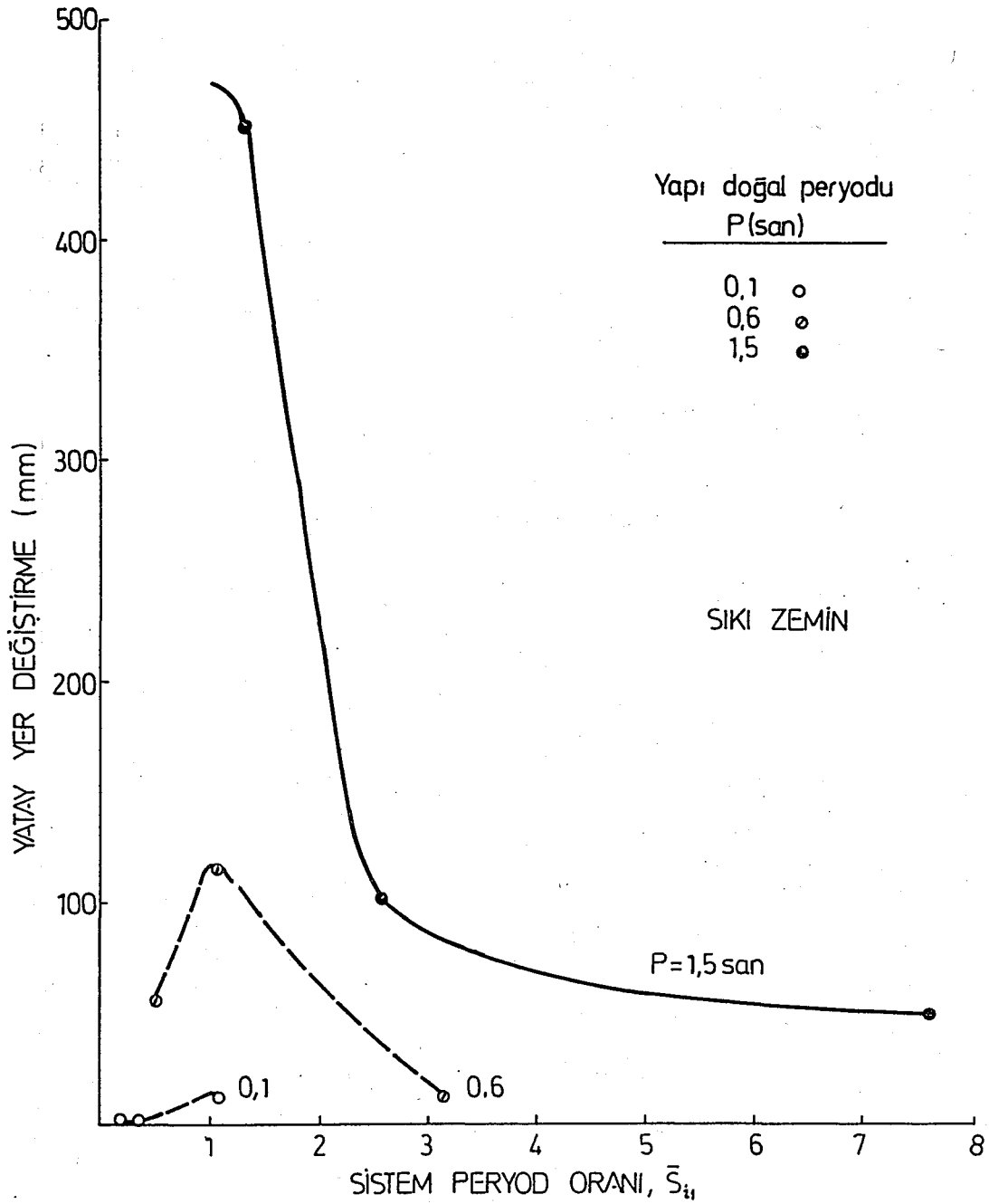
Diğer bir husus, yapı doğal periyodu, P , ile ilgilidir. Bu değer yükseldikçe elde edilen yatay yer değiştirme miktarlarının da arttığı görülmektedir. En küçük yatay yer değiştirme değerleri $P = 0.1$ san, en büyük yatay yer değiştirme değerleri ise $P = 1.5$ san için hesaplanmıştır.

Düşey yer değiştirmeler için de benzer durumlar görülmektedir. Bu tür yer değiştirmeler için de zemin türünün etkisi önemsiz olmaktadır. Diğer taraftan yapı doğal periyodunun etkisi düşey yer değiştirmelerde değişik olmaktadır.

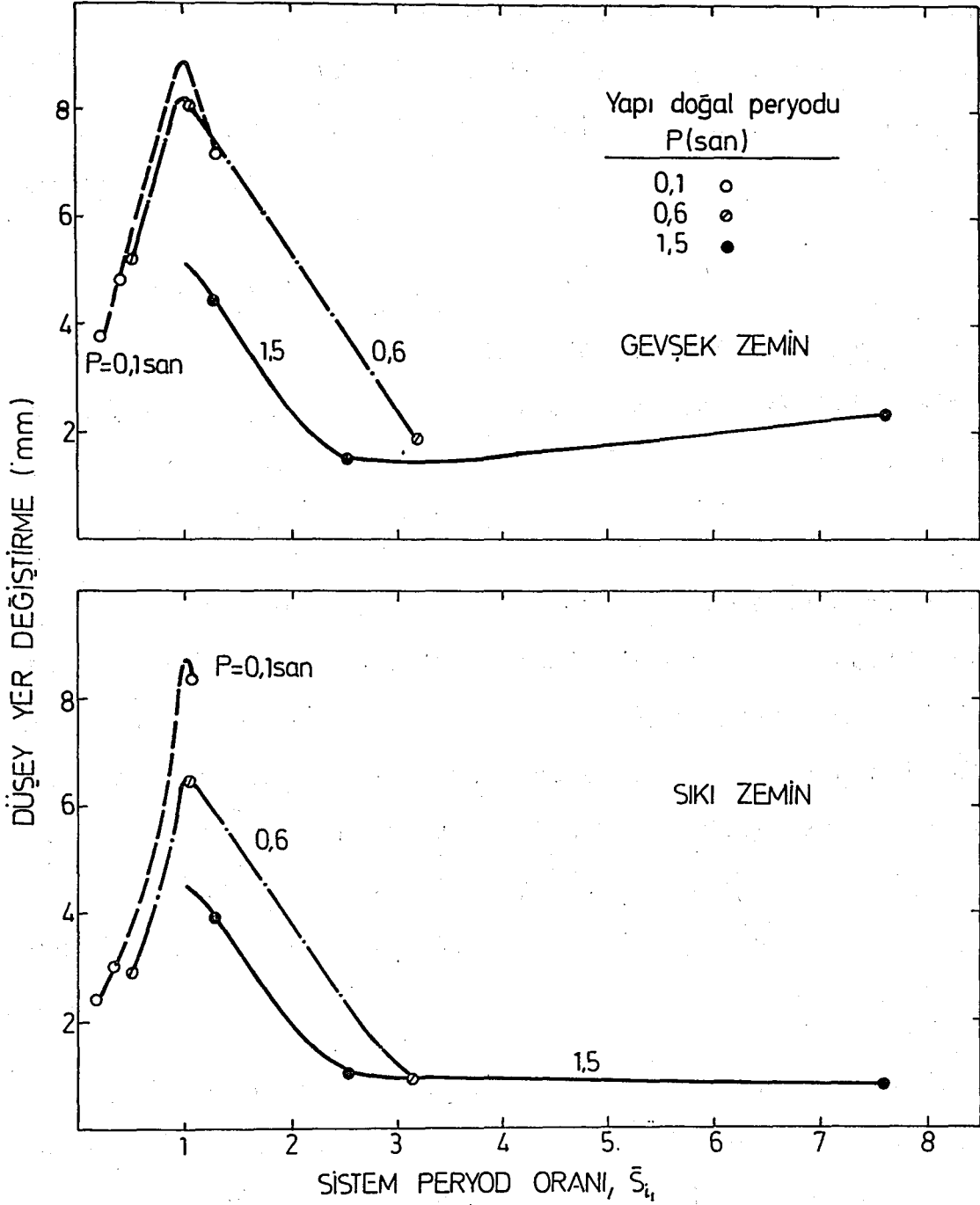
Şekil 8.11'den görüleceği üzere, yapı doğal periyodu, P , değeri küçüldükçe hesaplanan düşey yer değiştirme miktarları artmaktadır. Yatay yer değiştirmelerin aksine, düşey yer



Şekil 8.10a DEĞİŞİK YAPI DOĞAL PERİYODLU ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMLERİNDE BİRİNCİ MOD SİSTEM PERİYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ - YAPI ÜST DÜĞÜMLERİ YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ (gevşek zemin).



Şekil 8.10b DEĞİŞİK YAPI DOĞAL PERYODLU ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMLERİNDE BİRİNCİ MOD SİSTEM PERYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ - YAPI ÜST DÜĞÜMLERİ YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ (sıkı zemin).



Şekil 8.11 DEĞİŞİK YAPI DOĞAL PERİYODLU ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMLERİNDE BİRİNCİ MOD SİSTEM PERİYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ - YAPI ÜST DÜĞÜMLERİ DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ

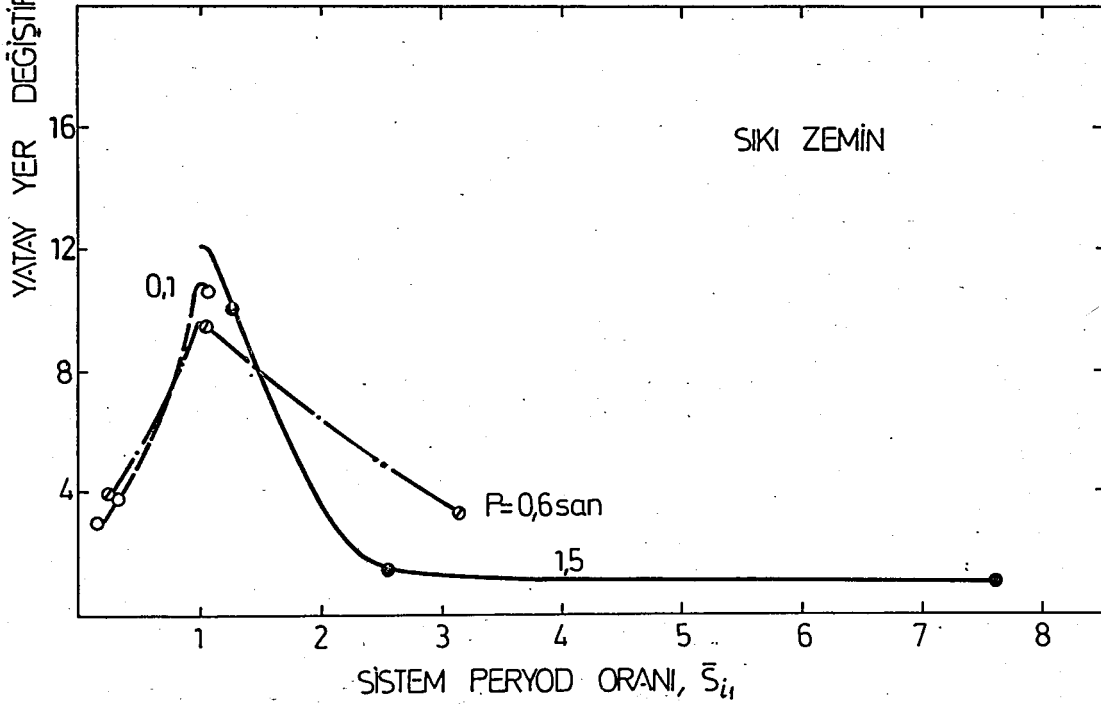
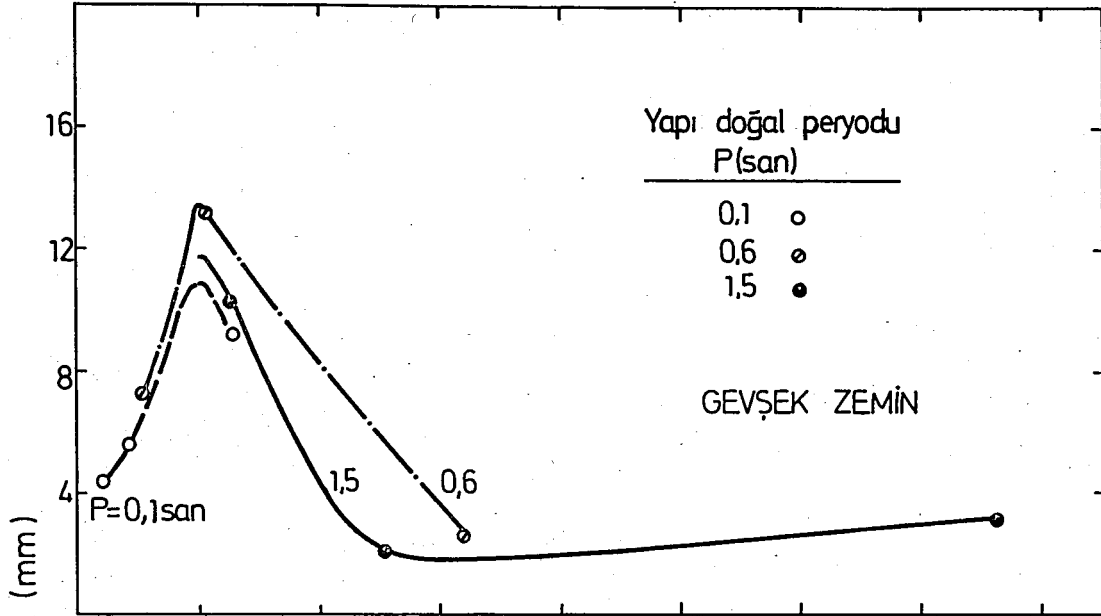
değiřtirmelerde en büyük deęerler $P = 0.1$ san, en küçük deęerler ise $P = 1.5$ san için elde edilmiřtir. Ancak, deęiřik P deęerleri için hesaplanan dūsey yer deęiřtirme miktarları arasındaki farklar, yatay yer deęiřtirmelerde olduęu kadar büyük deęildir.

B. Yapı Alt Dūęümleri

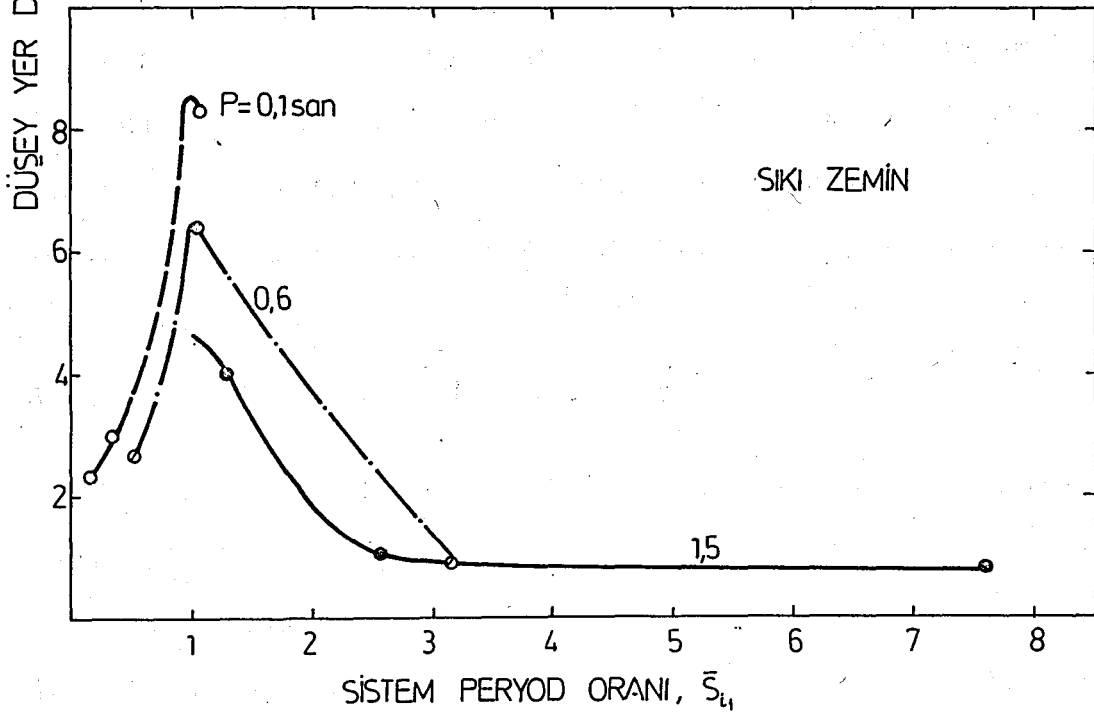
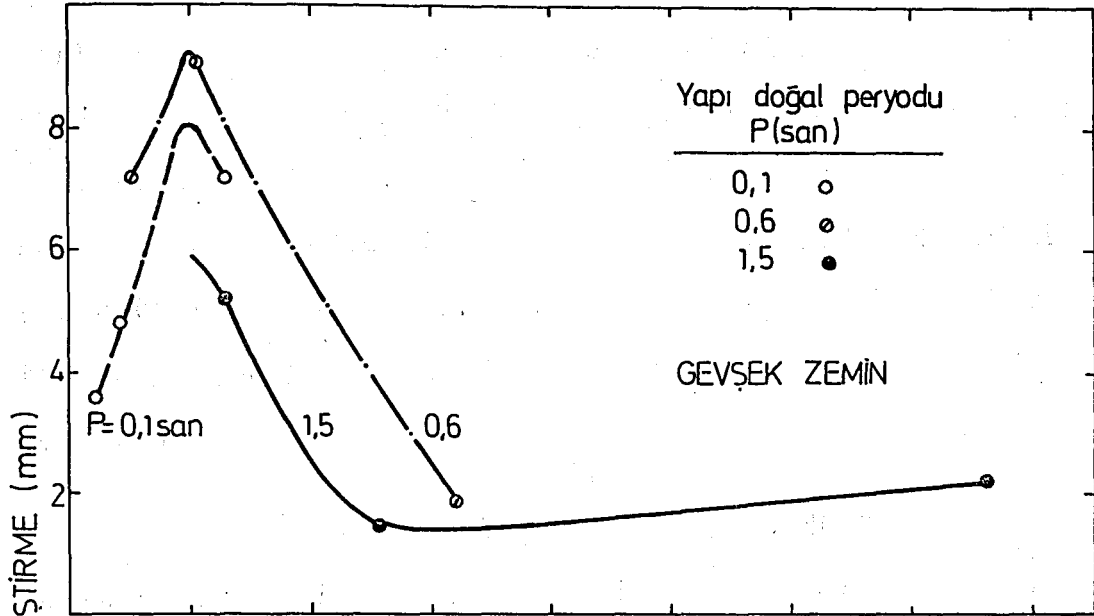
Yapı alt veya temel üst dūęümleri için hesaplanan yatay ve dūsey yer deęiřtirme miktarlarının, çeřiřli zemin şartları altında, Sistem Peryod Oranı, \bar{S}_{ij} , ile deęiřimi Őekil 8.12 ve 8.13'de verilmiřtir.

Yatay yer değiştirme miktarlarının birinci mod sistem periyod oranı, \bar{S}_{ij} , ile değişimini gösteren Şekil 8.12 incelendiğinde, göze çarpan önemli hususlar gerek zemin türünün gerekse yapı doğal periyodunun genel eğilimlerde önemli etkileri olmadığıdır. Yatay yer değiştirme miktarlarının mertebeleri her iki zemin türü için yaklaşık aynıdır. Resonans durumunda ise ($\bar{S}_{ij} = 1.0$) değişik doğal periyodlu yapıları içeren sistemler yaklaşık aynı değerlere erişmektedir.

Dūsey yer değiştirmeler için durum biraz değişiktir. Őekil 8.13 incelendiğinde, zemin türünün dūsey yer değiştirme miktarları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, ancak yapı doğal periyodunun sistemi etkilemesi açısından zemin türünün önemli olduğu görölmektedir. Gevřek zemin şartları altında, yapı doğal periyodunun, P , etkileri karışık olmuş, en yüksek



Şekil 8.12 DEĞİŞİK YAPI DOĞAL PERYODLU ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMLERİNDE BİRİNCİ MOD SİSTEM PERYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ - YAPI ALT (TEMEL ÜST) DOĞUMLARI YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ.



Şekil 8.13 DEĞİŞİK YAPI DOĞAL PERYODLU ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMLERİNDE BİRİNCİ MOD SİSTEM PERYOD ORANININ SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİSİ - YAPI ALT (TEMEL ÜST) DOĞUMLARI DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ.

düsey yer değiştirme miktarları $P = 0.6$ san, en küçük miktarları ise $P = 1.5$ san için ölçülmüştür. Sıkı zemin şartlarında ise P değeri küçüldükçe hesaplanan düsey yer değiştirme miktarı artmaktadır. Ancak gerek gevşek gerekse sıkı zemin şartları altında değişik P değerleri için elde edilen düsey yer değiştirme miktarları arasında önemli farklılıklar yoktur. Bu durum yatay yer değiştirmelerde görülen eğilimle uyum içindedir.

Özet olarak, temel üst (yapı alt) düğümleri için hesaplanan yatay ve düsey yer değiştirme miktarları üzerinde zemin türünün ve yapı doğal peryodunun önemli etkileri olmadığı, ancak sistem doğal peryodunun zemin-temel-yapı sisteminin davranışını önemli şekilde etkilediği söylenebilir. Bu arada zemin türünün ve yapı doğal peryodunun etkileri bu parametrelerin sistem doğal peryoduna katkıları ile oluşmaktadır.

8.5. RİJİD TABANLI SİSTEMLERLE KARŞILAŞTIRMA

Zemin-temel-yapı sistemlerinin dinamik davranışında zeminin katkısını görebilmek amacıyla, çalışmada içerilen temel-yapı sistemleri rijid tabanlı olarak eşdeğer titreşimlere tâbi tutulmuşlardır. Bu şekilde elde edilen değerler, zemin-temel-yapı sistemleri için hesaplanan değerlerle karşılaştırılmışlardır.

Bu karşılaştırmayı yapmak için Denklem (8.2) ve (8.3) ile tanımlanan Yatay ve Düşey Yer Değiştirme Oranları, sırasıyla \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d , kullanılmıştır.

$$\bar{Y}_y = \frac{\text{Zemin-Temel-Yapı Sisteminde Seçilen Düğüm İçin Hesaplanan Yatay Yer Değiştirme Miktarı}}{\text{Rijid Tabanlı Temel-Yapı Sisteminde Aynı Düğüm İçin Hesaplanan Yatay Yer Değiştirme Miktarı}} \quad (8.2)$$

$$\bar{Y}_d = \frac{\text{Zemin-Temel-Yapı Sisteminde Seçilen Düğüm İçin Hesaplanan Düşey Yer Değiştirme Miktarı}}{\text{Rijid Tabanlı Temel-Yapı Sisteminde Aynı Düğüm İçin Hesaplanan Düşey Yer Değiştirme Miktarı}} \quad (8.3)$$

Bu denklemler kullanılarak yapı üst ve alt düğümleri için hesaplanan \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerini topluca sunmadan önce bir oranın daha tanımlanmasında yarar görülmüştür. Denklem (8.4) ile verilen Peryod Oranı, \bar{P}_{ij} , zemin-temel-yapı sistemi ile rijid tabanlı temel-yapı sistemi doğal periyodlarının oranıdır.

$$\bar{P}_{ij} = \frac{\text{i Türü Zemini İçeren Zemin-Temel-Yapı Sistemi j Modu Peryodu}}{\text{Rijid Tabanlı Temel-Yapı Sistemi j Modu Peryodu}} \quad (8.4)$$

Birinci mod periyodlar için hesaplanan \bar{P}_{ij} değerleri Tablo 8.2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi yapı doğal titreşim

Tablo 8.2- Zemin-Temel-Yapı Sistemleri İçin Birinci Mod Peryod Oranı, \bar{P}_{ij} , Değerleri

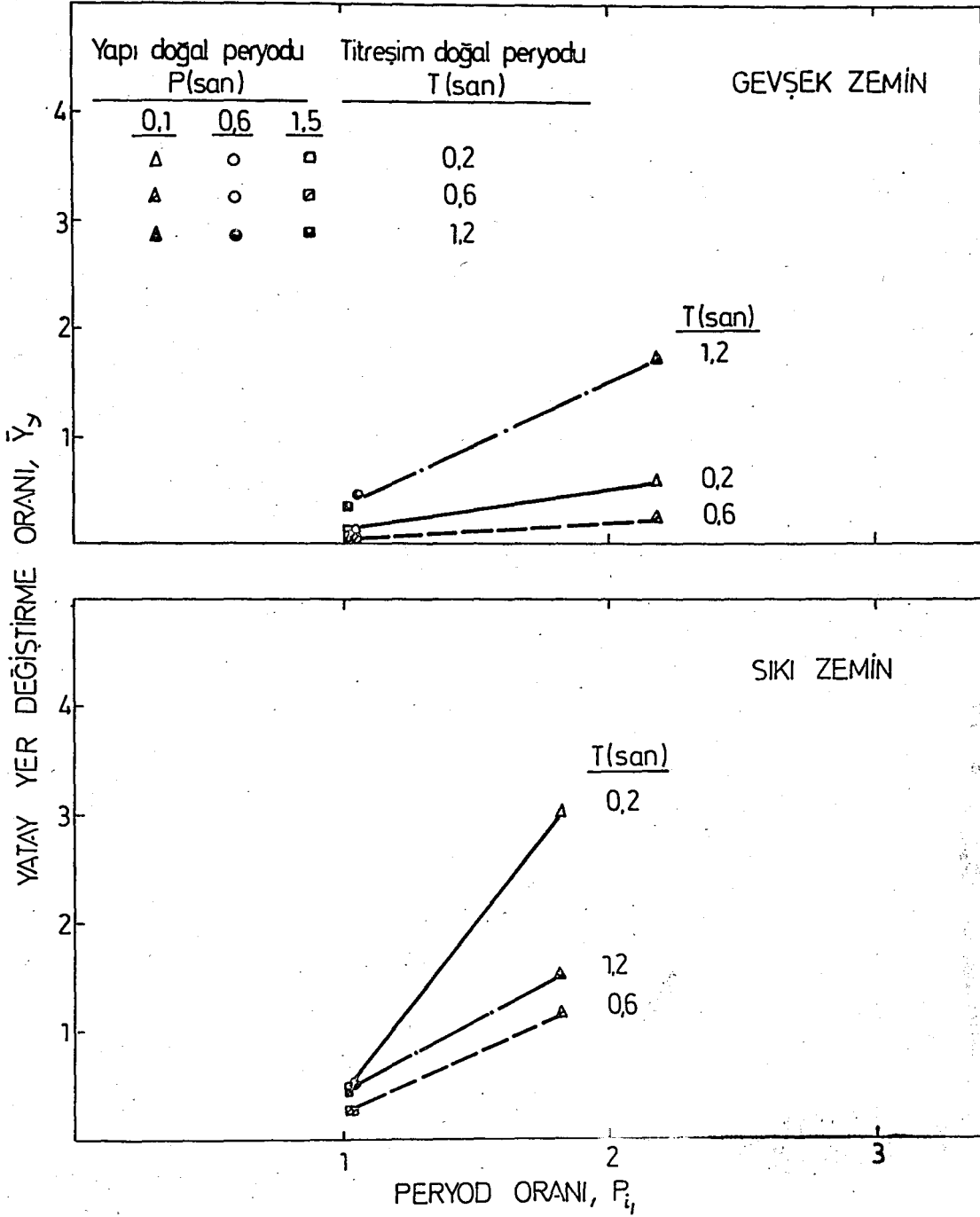
ZEMİN TÜRÜ (i)	PERYOD ORANI ENDİSİ (\bar{P}_{ij})	PERYOD ORANI, \bar{P}_{ij}		
		YAPI DOĞAL TİTREŞİM PERYODU (san)		
		0.1	0.6	1.5
GEVŞEK	\bar{P}_{11}	2.18	1.05	1.01
SIKI	\bar{P}_{21}	1.81	1.03	1.01

periyodu, $P = 0.6$ ve 1.5 san olan durumlarda zemin-temel-yapı sistemi ile rijid tabanlı temel-yapı sisteminin birinci mod periyodları yaklaşık aynıdır. Bu sistemler için \bar{P}_{ij} değerleri 1.01 ile 1.05 arasında değişmektedir. Buna neden yapı doğal periyodunun genel sistem üzerinde hâkim olmasından, zemin ortamı doğal periyodunun etkisinin azaldığından dolayıdır. Diğer taraftan $P = 0.1$ san için \bar{P}_{ij} değerleri gevşek zeminli durumlarda 2.18 , sıkı zeminli durumlarda ise 1.81 olarak bulunmuştur. Rijid tabanlı temel-yapı sisteminin doğal periyodu yapı doğal periyoduna yaklaşık eşit olmakta, zemin-temel-yapı sisteminin periyodu ise bu değer yaklaşık iki katı olmaktadır. Buna neden zemin ortamı doğal periyodunun, $P = 0.1$ san durumunda, genel sistem üzerinde hakim olmasından dolayıdır. Zemin ortamı doğal periyodu yaklaşık 0.2 san civarındadır.

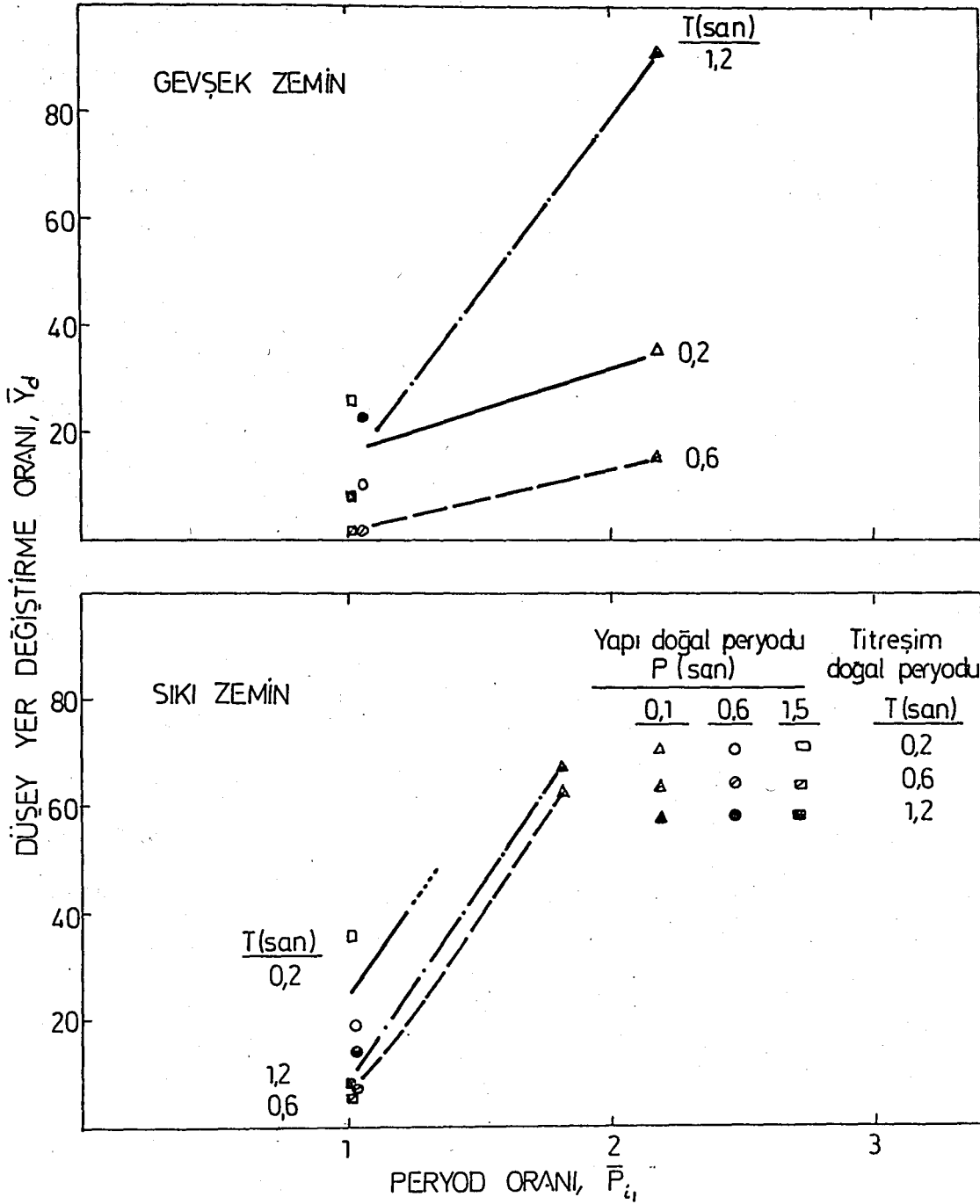
Zemin-temel-yapı sistemi davranışları ile rijid tabanlı yapı-temel sistemi davranışlarının karşılaştırılmaları aşağıda yapılmıştır.

A. Yapı Üst Düzümleri

Yapı üst düğümleri, değişik zemin şartları altında hesaplanan \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri ve bu değerlerin \bar{P}_{ij} ile değişimi, sırasıyla, Şekil 8.14 ve 8.15'de gösterilmiştir. Aynı şekillerde titreşim doğal periyodunun etkileri de belirtilmiştir.



Sekil 8.14 BİRİNCİ MOD PERİYOD ORANININ ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİSİ - YAPI ÜST DOĞUMLARI YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ.



ŞEKİL 8.15 BİRİNCİ MOD PERYOD ORANININ ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİSİ - YAPI ÖST DOĞUMLARI DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ.

Gerek yatay yer değiştirmeler gerekse dūsey yer değiştirmeler için bazı genel eğilimler gōze çarpmaktadır. Her iki durumda da gevşek zemin şartları altında doğal peryodu, $T = 1.2$ san olan titreşimlerdeki \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri, diğer T değerlerine gōre daha bŸyŸk olmaktadırlar. Genel eğilim, T değeri azaldıkça, \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin de azaldığıdır. Ancak $T = 0.6$ san için en kŸŸk \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri elde edilmiştir. Buna neden olarak, rijid tabanlı temel-yapı sistemlerinde en belirgin rezonans olayının $T = 0.6$ san durumunda elde edilmiş olduğu bu nedenle bu sistemlerde en bŸyŸk yer değiştirme miktarlarının bu T değeri altında hesab edilmiş olduğu sōylenebilir.

Bir diğer genel husus da sıkı zemin şartlarında gōze çarpmaktadır. Bu şartlar altında, \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri, en yŸksek olarak $T = 0.2$ san için elde edilmekte ve T değeri artıkça, \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri de genel bir dŸřŸř gōstermektedir. Ancak yine en kŸŸk \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri, $T = 0.6$ san için elde edilmiştir.

Yatay ve dŸsey yer değiştirmeler arasındaki ōnemli bir fark \bar{Y}_d değerlerinin \bar{Y}_y değerlerine gōre çok daha yŸksek olmalarıdır. Bōylece zemin ortamının varlığının dŸsey yer değiştirmeleri çok daha fazla etkilediği anlaşılmaktadır.

Diğer ilginç bir durum, \bar{P}_{ij} değerinin yaklaşık 1.0 olduğu zamanlarda yatay yer değiştirmeler için gōrŸlmektedir.

Gerek gevşek gerek sıkı zemin şartlarında bu \bar{P}_{ij} değerlerinde \bar{Y}_y miktarları 1.0'dan küçük olmaktadır. Bunun anlamı, zemin-temel-yapı sistemleri için hesaplanan yatay yer değiştirme miktarlarının rijid tabanlı temel-yapı sistemleri için hesaplanan miktarlardan küçük olduğudur. Böylece, bu durumlarda, rijid tabanlı temel-yapı analizi konservatif kalmaktadır.

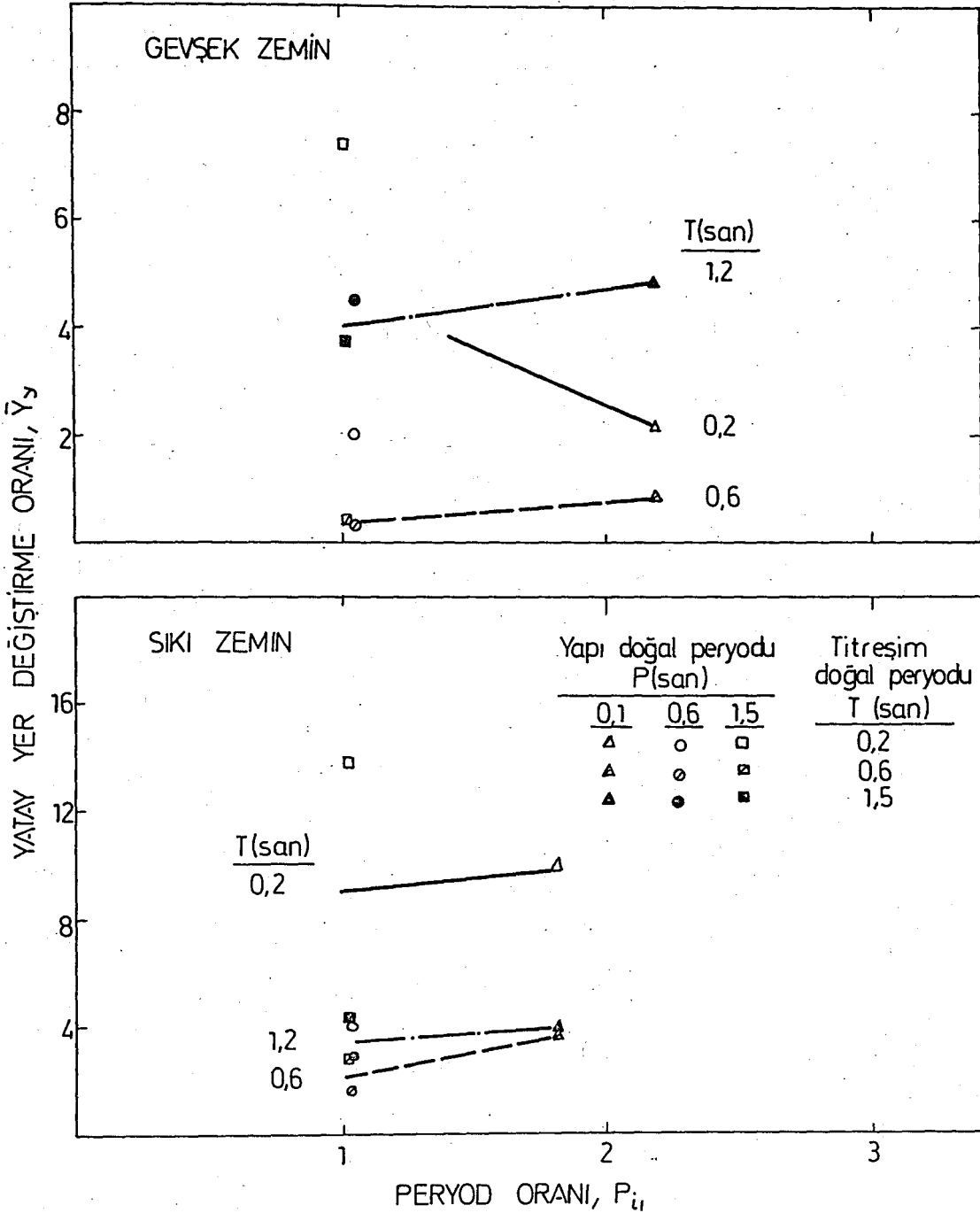
B. Yapı Alt Düğümleri

Yapı alt veya temel üst düğümleri için değişik zemin şartlarında hazırlanan aynı tür eğriler, yatay yer değiştirmeler için Şekil 8.16'da, düşey yer değiştirmeler için ise Şekil 8.17'de verilmiştir.

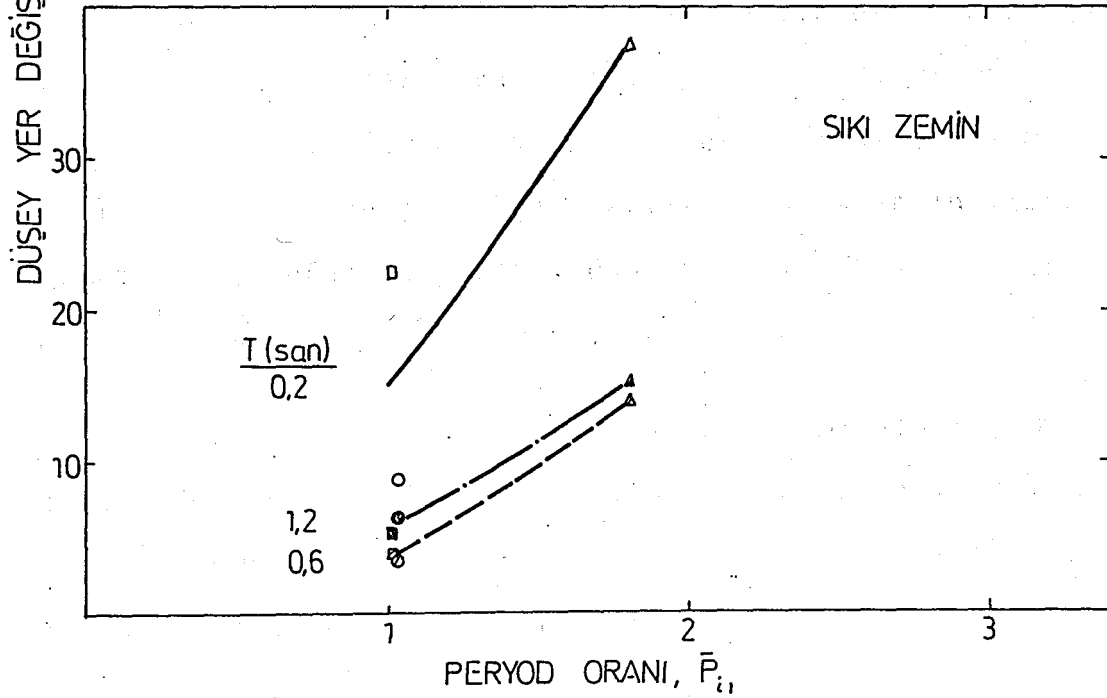
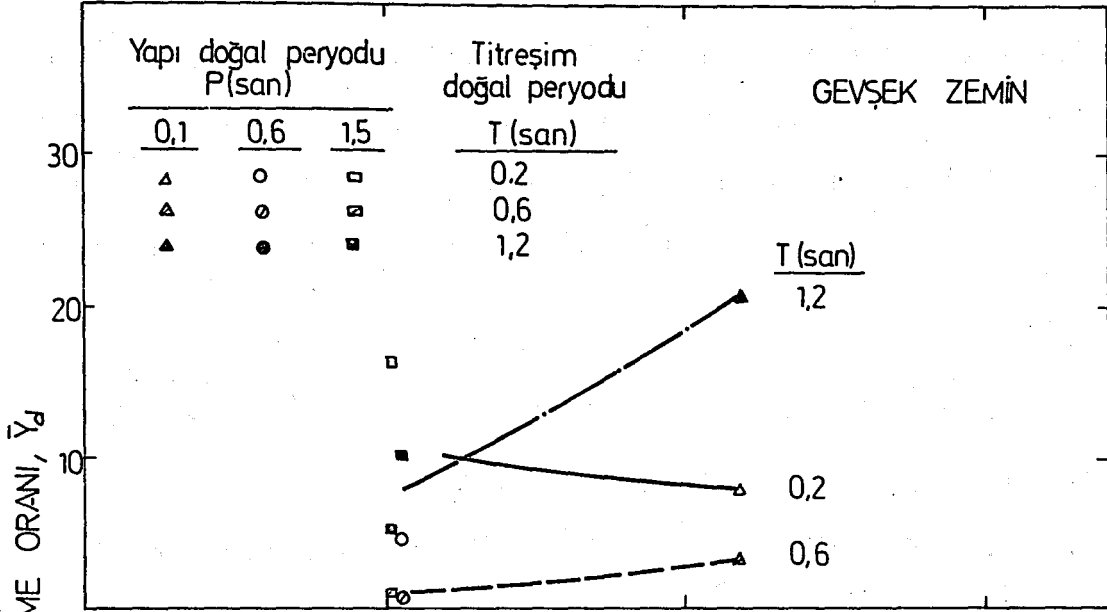
Bu düğümlerde görülen genel eğilimler yapı üst düğümlerinde görülen eğilimlerle uyum içindedir. Yine gevşek zemin şartlarında, doğal periyodu, $T = 1.2$ san olan titreşimlerdeki \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri, sıkı zemin şartlarında ise $T = 0.2$ san olan titreşimlerdeki \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri genellikle yüksek olmaktadır.

Bir diğer genel husus, yapı alt düğümleri için de $T = 0.6$ san olan titreşimlerin en küçük \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerine neden olduklarıdır.

Bu arada, yapı alt düğümleri için hesaplanan \bar{Y}_y değerlerinin, üst düğümler için hesaplanan değerlerden daha büyük olduğu, yapı alt düğümleri için hesaplanan \bar{Y}_d değerlerinin



Şekil 8.16 BİRİNCİ MOD PERİYOD ORANININ ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİSİ - YAPI ALT (TEMEL ÜST) DÜĞÜMLERİ YATAY YER DEĞİŞTİRMELERİ.



Şekil 8.17 BİRİNCİ MOD PERİYOD ORANININ ZEMİN-TEMEL-YAPI SİSTEMİ DAVRANIŞINA ETKİSİ - YAPI ALT (TEMEL ÜST) DOĞUMLARI DÜŞEY YER DEĞİŞTİRMELERİ.

ise üst düğümler için hesaplanan değerlerden küçük olduğunu belirtmek gerekmektedir. Ayrıca, yapı alt düğümleri için \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri, yapı üst düğümlerinde kısmen karşılaşıldığı gibi, 1.0'dan aşağı düşmemişlerdir. Diğer bir deyişle, zemin ortamının varlığı, yapı alt düğümlerinin yer değiştirme miktarlarının artmasına neden olmuştur.

8.6. SONUÇLAR

Zemin-temel-yapı sistemlerinin davranışı üzerinde çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiştir. Ele alınan parametreler zemin türü, yapı doğal periyodu ve deprem titreşimleri doğal periyodu olmuştur. Zemin özellikleri olarak gevşek ve sıkı zemin türleri, yapı doğal periyodu, P , olarak ise, değişik yüksekliklerdeki yapılara tekabül eden, $P = 0.1, 0.6$ ve 1.5 san değerleri kullanılmıştır. Oluşan zemin-temel-yapı sistemleri, doğal periyodları $0.2, 0.6$ ve 1.2 san olan titreşimlere tâbi tutulmuşlardır.

Ayrıca, zemin ortamının dinamik zemin-temel-yapı ilişkilerindeki etkisini inceleyebilmek için bu sistemlerde kullanılan temel-yapı sistemleri rijid tabanlı olarak da aynı tür titreşimlere tâbi tutulmuşlardır.

Parametrik etkiler, yapı üst ve alt düğümleri için hesaplanan maksimum yatay ve düşey yer değiştirmeler cinsinden tanımlanmıştır. Ayrıca, sonuçları inceleyebilmek maks-

diyla çeşitli oranlar tanımlanmıştır. Bunlar, özetle, sistem doğal periyodu ile titreşimler doğal periyodunun oranı olan Sistem Periyod Oranı, \bar{S}_{ij} , zemin-temel-yapı sistemi doğal periyodu ile rijid tabanlı temel-yapı sistemi doğal periyodunun oranı olan Periyod Oranı, \bar{P}_{ij} , ve zemin-temel-yapı sistemi için hesaplanan yer değiştirme miktarlarıyla rijid tabanlı temel-yapı sistemleri için hesaplanan yer değiştirme miktarlarının oranı olan, Yatay Yer Değiştirme Oranı, \bar{Y}_y ile, Düşey Yer Değiştirme Oranı, \bar{Y}_d 'dir.

Genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

(a) Zemin türünün, gerek yapı üst düğümleri gerekse yapı alt düğümlerinin yer değiştirmelerinde etkisi önemli olmamaktadır.

(b) Yapı üst düğümleri yatay yer değiştirme miktarları, artan yapı doğal periyodu ile birlikte büyümektedir.

(c) Yapı üst düğümleri düşey yer değiştirme miktarları ise artan yapı doğal periyodu ile birlikte azalmaktadır.

(d) Yapı alt düğümleri yatay ve düşey yer değiştirmeleri üzerinde yapı doğal periyodu ile değişen belirli bir eğilim görülmemiştir.

(e) En yüksek yer değiştirme miktarları yapı üst düğümlerinin yatay yer değiştirmelerinde elde edilmiştir. Gerek yapı üst düğümlerinin düşey yer değiştirme miktarları, gerek-

se yapı alt düğümlerinin yatay ve düşey yer değiştirme miktarları yaklaşık aynı mertebelerde olmuştur.

(f) Gerek yapı üst düğümleri gerekse yapı alt düğümleri için hesaplanan düşey yer değiştirme oranı, \bar{Y}_d , değerleri, yatay yer değiştirme oranı, \bar{Y}_y , değerlerinden yüksek olmuştur. En büyük \bar{Y}_d değerleri ile en küçük \bar{Y}_y değerleri yapı üst düğümleri için elde edilmiştir.

(g) Gevşek zemin şartlarında, gerek yapı üst gerekse yapı alt düğümleri için en yüksek \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri, tatbik edilen titreşimlerden doğal peryodu en yüksek olanı ($T = 1.2$ san) altında elde edilmiştir. Genel eğilim, titreşim doğal peryodunun azalmasıyla \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin küçülmesi şeklinde olmuştur.

(h) Sıkı zemin şartlarında, yapı alt ve üst düğümleri için en yüksek \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri, tatbik edilen en küçük doğal peryodlu titreşimler altında elde edilmiştir. Genel eğilim, titreşim doğal peryodunun artmasıyla \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin azalması şeklinde olmuştur.

(i) Genellikle, zemin-temel-yapı sistemleri için hesaplanan yatay ve düşey yer değiştirme miktarları, rijid tabanlı sistemler için hesaplanan değerlerden büyük olmuşturlardır. Ancak bazı sistemlerde, özellikle yapı üst düğümlerinin yatay yer değiştirmelerinde, bu eğilimin tersi de görülmüştür.

(j) Zemin-temel-yapı sistemlerinin davranışında en önemli unsur, sistem doğal periyodu ile titreşim doğal periyodunur arasındaki ilişki olmaktadır.

9. ÖZET VE SONUÇLAR

9.1. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Dinamik yapı davranışına neden olan iki ana enerji kaynağı zeminden gelen deprem hareketleri ile üstyapıdan gelen zorlanmış titreşimlerdir. Her iki durumda da yapıların tepkileri sistemi oluşturan tüm unsurların özelliklerine dayanmaktadır. Böylece incelenmesi gereken ortam zemin-temel-yapı sistemi olmaktadır.

Yapılan araştırmalar da böyle bir sistemin davranışını etkileyen parametrelerin incelenmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır. Parametrik çalışmalar genellikle zorlanmış titreşimler altındaki zemin-temel davranışı üzerinde yoğunlaşmış, deprem hareketleri altındaki zemin-temel-yapı davranışları parametrik olarak nispeten az incelenmiştir.

Genel bir zemin-temel-yapı sistemi ele alındığında dört grup parametrenin sistem davranışını etkilediği görülmektedir. Bunlar, yapı, temel, zemin ve deprem dalgası ile ilgili parametrelerdir. Yapı ile ilgili olarak yapı doğal periyodu, temel ile ilgili olarak temel boyutları, kütlesi ve zemine gömülme derinliği, zemin ile ilgili olarak değişik türlerin özellikleri, deprem dalgası ile ilgili olarak ise frekans muhtevası, maksimum ivmesi ve süresi zemin-temel-yapı

sistemlerini etkileyen en önemli parametreler arasında sayılabilir.

Bu parametrelerin zemin-temel-yapı davranışına etkilerini incelemek amacıyla bu çalışma ele alınmıştır. Çalışmada ayrıca belirli sistemler iki ve üç boyutlu analizlerle incelenerek analiz boyutunun etkisi de değerlendirilmiştir.

Analiz yöntemi olarak sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Sonlu elemanlar ağının değişik ortam özelliklerini içerebilecek biçimde olmasına bilhassa dikkat edilmiştir. İki boyutlu analizlerde zemin ve temel için düzlem şekil değiştirme hâli elemanları, yapı için giriş elemanları, üç boyutlu analizlerde ise sekiz köşeli kübik uzay elemanları kullanılmıştır.

İlk olarak temel boyutlarıyla ilgili parametrelerin etkileri iki ve üç boyutlu olarak incelenmiş ve ilerki analizlerde kullanılacak temel taban boyutları tespit edilmiştir. Üç boyutlu analizler bilgisayarda uzun vakit aldığından, bundan sonraki analizlere iki boyutlu olarak devam edilmiştir.

Parametrik sonuçlar, zemin-temel sistemlerinde temel üst düğümlerinin, zemin-temel-yapı sistemlerinde ise yapı üst ve alt düğümlerinin yatay ve düşey yer değiştirmeleri açısından tanımlanmıştır. Elde edilen genel sonuçlar bu bölümde özetlenmektedir.

9.2. TEMEL BOYUTLARININ DAVRANIŞA ETKİSİ

Taban alanları ve yükseklikleri eşit, taban uzunluk/genişlik oranları ise 1, 2, 4 ve 8 olan temel türlerini içeren zemin-temel sistemleri değişik doğal periyodlu sinüsoidal deprem titreşimlerine tâbi tutulmuşlardır. Analizlerde zemin türü sabit tutulmuştur.

Temel üst düğümleri için elde edilen maksimum yatay ve düşey yer değiştirme miktarları, aynı tür titreşimlere tâbi tutulmuş rijid tabanlı temeller için hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Böylece yatay ve düşey yer değiştirme oranları elde edilmiş sonuçlar bu oranlar cinsinden tanımlanmıştır. Genel sonuçlar şöyle özetlenebilir:

(a) Gerek yatay gerekse düşey yer değiştirme oranları genellikle büyük olmuş, bilhassa rezonans durumlarında bu değerler çok yüksek mertebelere çıkmıştır.

(b) Temel taban uzunluk/genişlik oranı büyüdükçe yatay ve düşey yer değiştirme oranlarında genellikle bir azalma olmuştur.

(c) Rezonans durumu haricinde, artan taban uzunluk/genişlik oranı ile birlikte deprem titreşimleri doğal periyodunun etkisi azalmaktadır.

(d) Zemin-temel sistemi doğal periyodunun rijid tabanlı temel doğal periyoduna olan oranı azaldıkça deprem titreşimleri doğal periyodunun etkisi de, rezonans durumu haricinde, azalmaktadır.

(e) Zemin-temel sistemi doğal periyodunun deprem titreşimleri doğal periyoduna olan oranının, yatay yer değiştirmeler için yaklaşık 0.2 veya daha küçük, düşey yer değiştirmeler için ise yaklaşık 0.4 veya daha küçük olduğu durumlarda, taban uzunluk/genişlik oranının zemin-temel davranışına etkisi kaybolmaktadır.

(f) Zemin-temel ilişkilerinde zemin ortamının öneminin artan taban uzunluk/genişlik oranı ile birlikte azaldığı görülmüştür.

(g) Genellikle bütün sistemlerde, hesaplanan yatay yer değiştirme oranları, düşey yer değiştirme oranlarından büyük olmaktadır.

(h) Deprem süresinin yer değiştirme miktarları üzerinde bir etkisi görülmemiştir.

9.3. TEMEL BOYUTLARI ETKİSİNİN ÜÇ BOYUTLU ANALİZLE İNCELENMESİ

İki boyutlu analizle incelenen temel türlerinden tipik iki tanesi üç boyutlu analizle de aynı tarzda incelenmiş ve aşağıdaki genel sonuçlar bulunmuştur:

(a) Gerek yatay gerekse düşey yer değiştirme oranlarının değerleri genellikle yüksek olmaktadır. Ancak bu değerler, iki boyutlu analizlerde benzer temeller için elde edilen oranların yaklaşık % 70'i kadardır.

(b) Temel tabanı uzunluk/genişlik oranı arttıkça yatay ve düşey yer değiştirme oranlarında azalma görülmüştür.

(c) Resonans durumu haricinde, artan taban uzunluk/genişlik oranı ile deprem titreşimleri doğal periyodunun etkisi de azalmaktadır.

(d) Zemin-temel sistemi doğal periyodunun rijid tabanlı temel doğal periyoduna olan oranı azaldıkça, deprem titreşimleri doğal periyodunun sistem davranışı üzerindeki etkisi de, resonans durumu haricinde, azalmaktadır.

(e) Zemin-temel sistemi doğal periyodu ile deprem titreşimleri doğal periyodu oranının 1.0'den küçük olduğu durumlarda, taban uzunluk/genişlik oranı etkisinin önemli olma-

dığı, bu oranın 1.0'den büyük olması halinde ise taban uzunluk/genişlik oranı etkisinin önemli olduğu görülmüştür.

(f) Zemin-temel davranışında zeminin önemi artan taban uzunluk/genişlik oranı ile birlikte azalmaktadır.

(g) Genellikle yatay yer değiştirmeler düşey yer değiştirmelerden daha kritik olmaktadır.

(h) İki ve üç boyutlu analiz sonuçlarının genel bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu uyum, taban uzunluk/genişlik oranı, $L = 4$ olan temel türü için, $L = 2$ olan temel türüne göre, daha iyidir. Bu nedenle bundan sonraki iki boyutlu analizlerde kullanılan temel türünün taban uzunluk/genişlik oranı 4 olarak alınmıştır.

9.4. TEMEL KÜTLESİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ

Temel kütlesi olarak üç ayrı değer kullanılmıştır. İstenen kütle oranı taban alanı sabit olan temelin yüksekliği değiştirilerek elde edilmiştir. Bu nedenle temel kütlesinin etkisi incelenirken temel yüksekliğinin etkisi de incelenmiş olmaktadır. Büyük kütleler yüksek temellere tekabül etmektedir. Temel kütlesini tanımlamak üzere boyutsuz kütle oranı değerleri kullanılmıştır. Değişik kütle oranı olan temellerle "gevşek", "orta" ve "sıkı" zemin özelliklerinden

oluşan zemin türleri birleştirilerek çeşitli zemin-temel sistemleri elde edilmiştir. Genel olarak "gevşek" zemin türü gevşek kumlu veya orta sertlikteki killi bir zemine, "orta" zemin türü orta sıkılıkta kumlu veya sert killi bir zemine, "sıkı" zemin türü ise sıkı kumlu bir zemine tekabül etmektedir. Böylece elde edilen zemin-temel sistemleri değişik doğal periyodlu sinosoidal titreşimlere tâbi tutulmuşlardır.

Bu sistemler zemin yüzeyindeki temelleri içermektedir. Daha sonra zemine gömülü temelleri içeren sistemler için de temel kütlelerinin etkileri incelenmiştir. Her iki tür temeller için de genel sonuçlar, temel üst düğümlerinin yatay ve düşey yer değiştirmeleri cinsinden, aşağıda özetlenmiştir:

Yüzeysel Temelleri İçeren Sistemler

(a) Temel kütle oranı arttıkça, yatay ve düşey yer değiştirme miktarları da büyümektedir.

(b) Gevşek zemin için elde edilen yer değiştirme miktarları diğer zemin türlerine göre en küçük, sıkı zemin için elde edilen miktarlar ise en büyük değerleri almışlardır.

(c) Zemin özelliklerinin etkisi en az düşük kütle oranlı temeli içeren zemin-temel sistemlerinde, en çok ise büyük kütle oranlı temeli içeren sistemlerde görülmüştür.

(d) Resonans olayı haricinde, doğal titreşim periyodunun artmasıyla yer değiştirme miktarları azalmıştır.

(e) Resonans olayı haricinde, deprem titreşimleri doğal periyod değerinin zemin-temel ilişkileri üzerinde önemli bir etkisi görülmemiştir.

Gömülü Temelleri İçeren Sistemler

(a) Temel kütle oranı arttıkça, yatay ve düşey yer değiştirme miktarları da artmaktadır. Kullanılan sistemlerde, kütle oranının artması, temelin zemin yüzeyinin üstünde kalan yüksekliğinin artması anlamına gelmektedir.

(b) Kütle oranı nispeten küçük olan temelleri içeren zemin-temel sistemleri için gevşek zemin şartları, sıkı zemin şartlarına göre, daha büyük yer değiştirme miktarlarına neden olmaktadır. Kütle oranları nispeten büyük olan temelleri içeren zemin-temel sistemlerinde ise bu etki ters yönde görülmüştür.

9.5. TEMEL DERİNLİĞİNİN DAVRANIŞA ETKİSİ

Gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemleri, değişik zemin şartları altında değişik doğal periyodlu sinusoidal titreşimlere tâbi tutulmuşlardır. Temel derinliği sabit tutulmuş, ancak temel yüksekliği arttırılarak hem değişik temel

kütle oranları hem de değişik gömülme yüzdeleri (gömülme derinliği/temel yüksekliği) elde edilmiştir.

Sonuçlar, temel üst düğümlerinin yatay ve düşey yer değiştirme miktarları cinsinden aşağıda özetlenmiştir:

(a) Gömülme ile birlikte yatay yer değiştirme miktarları azalmaktadır.

(b) Düşey yer değiştirme miktarları ise, gömülme yüzdesine ve zemin şartlarına göre değişik eğilimler göstermektedir.

(c) Gömülme yüzdesi yaklaşık % 50'den az olan temeller için düşey yer değiştirme miktarları, rezonans durumu haricinde, gömülme ile önemli şekilde etkilenmemektedir.

(d) Gömülme yüzdesi yaklaşık % 50'den büyük olan temeller için ise düşey yer değiştirme miktarlarının sıkı zemin şartlarında gömülme ile azaldığı, gevşek zemin şartlarında ise gömülme ile arttığı görülmüştür.

(e) Genel olarak, gömülme yüzdesi yaklaşık % 50'den büyük olan temelleri içeren zemin-temel sistemleri için gevşek zemin şartları, sıkı zemin şartlarına göre, daha büyük yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarına neden olmaktadır.

Gömülme yüzdesi yaklaşık % 50'den küçük olan temeller için ise bu etki ters yönde görülmüştür.

(f) Deprem titreşimleri doğal periyodunun gömülü temelleri içeren zemin-temel sistemleri üzerindeki etkisi, rezonans durumu haricinde, önemli olmamaktadır.

9.6. YAPI DOĞAL TİTREŞİM PERİYODUNUN DAVRANIŞA ETKİSİ

Zemin-temel-yapı sistemlerinin davranışı üzerindeki etkilerini incelemek üzere zemin türü, yapı doğal periyodu ve deprem titreşimleri doğal periyodu ele alınmıştır. Zemin özellikleri olarak gevşek ve sıkı zemin türleri, yapı doğal periyodu, P , olarak $P = 0.1, 0.6$ ve 1.5 san değerleri, deprem titreşimleri doğal periyodu, T , olarak ise $T = 0.2, 0.6$ ve 1.2 san değerleri kullanılmıştır.

Zemin ortamının dinamik zemin-temel-yapı ilişkilerindeki etkisini inceleyebilmek için bu sistemlerde kullanılan temel-yapı sistemleri ayrıca rijid tabanlı olarak da eşdeğer titreşimlere tâbi tutulmuşlardır.

Genel sonuçlar, yapı üst ve alt düğümlerinin yatay ve düşey yer değiştirmeleri cinsinden aşağıda özetlenmiştir:

(a) Zemin türünün, gerek yapı üst düğümleri gerekse yapı alt düğümlerinin yer değiştirmelerinde etkisi önemli olmamaktadır.

(b) Yapı üst düğümleri yatay yer değiştirme miktarları artan yapı doğal periyodu ile birlikte büyümektedir.

(c) Yapı üst düğümleri düşey yer değiştirme miktarları ise artan yapı doğal periyodu ile birlikte azalmaktadır.

(d) Yapı alt düğümleri yatay ve düşey yer değiştirmeleri üzerinde yapı doğal periyodu ile değişen belirli bir eğilim görülmemiştir.

(e) En yüksek yer değiştirme miktarları yapı üst düğümlerinin yatay yer değiştirmelerinde elde edilmiştir. Gerek yapı üst düğümlerinin düşey yer değiştirme miktarları, gerekse yapı alt düğümlerinin yatay ve düşey yer değiştirme miktarları aynı mertebelerde olmuştur.

(f) Yapı alt ve üst düğümleri için hesaplanan düşey yer değiştirme oranı, \bar{Y}_d (\bar{Y}_d = Zemin-temel-yapı sistemi için hesaplanan düşey yer değiştirme miktarı/rijid tabanlı temel-yapı sistemi için hesaplanan düşey yer değiştirme miktarı), yatay yer değiştirme oranı, \bar{Y}_y (\bar{Y}_y = Zemin-temel-yapı sistemi için hesaplanan yatay yer değiştirme miktarı/rijid tabanlı temel-yapı için hesaplanan yatay yer değiştirme miktarı) değerlerinden yüksek olmuştur. En büyük \bar{Y}_d değerleri ile en küçük \bar{Y}_y değerleri yapı üst düğümleri için elde edilmiştir.

(g) Gevşek zemin şartlarında, gerek yapı üst gerekse yapı alt düğümleri için en yüksek \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri, tatbik edilen en yüksek doğal peryodlu titreşimler altında elde edilmiştir. Genel eğilim, titreşim doğal peryodunun azalmasıyla \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin küçülmesi şeklinde oluşmuştur.

(h) Sıkı zemin şartlarında, yapı alt ve üst düğümleri için, en yüksek \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerleri, tatbik edilen en küçük doğal peryodlu titreşimler altında elde edilmiştir. Genel eğilim, titreşim doğal peryodunun artmasıyla \bar{Y}_y ve \bar{Y}_d değerlerinin azalması şeklinde oluşmuştur.

(i) Genellikle, zemin-temel-yapı sistemleri için hesaplanan yatay ve düşey yer değiştirme miktarları, rijid tabanlı sistemler için hesaplanan değerlerden büyük olmuşlardır. Ancak bazı sistemlerde, özellikle yapı üst düğümlerinin yatay yer değiştirmelerinde, bu eğilimin tersi de görülmüştür.

(j) Zemin-temel-yapı sistemlerinin davranışında en önemli unsur, sistem doğal peryodu ile titreşim doğal peryodunun arasındaki ilişki olmaktadır.

9.7. GENEL DEĞERLENDİRME

Zemin, temel ve yapı ile ilgili olarak ele alınan parametrelerin zemin-temel ve zemin-temel-yapı sistemleri ü-

zerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir. İnceleme sonucu, bu parametrelerin tek tek veya gruplar halinde etkileri eğriler vasıtasıyla sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar kapsam şartları içinde geçerlidir. Ancak çalışmada saltık değerlerden ziyade relatif ilişkiler vurgulandığından, bu nedenle de kapsam geniş tutulduğundan, elde edilen ilişkileri geniş anlamda kullanma imkânı vardır.

Çeşitli parametrelerin etkileri önceki kısımlarda özetlenmiştir. Görüldüğü gibi, yer değiştirme miktarları yönünden en önemli unsur sistem doğal titreşim periyodu ile deprem doğal titreşim periyodu arasındaki oran olmaktadır. İncelenen parametrelerin etkileri ise genel sisteme, dolayısıyla bu orana, olan katkıları ile değişmektedir. Bu nedenle, temellerin veya yapıların dinamik davranışlarını, sadece kendi özelliklerine göre değil, zemin-temel veya zemin-temel-yapı sistemlerinin özelliklerine göre incelemek gerekmektedir.

Çalışmada elde edilen neticeler, sistem davranışının değişik parametrelerin etkileri altında ne gibi eğilimler göstereceği yönünden yararlı olmaktadır.

REFERANSLAR

- Ambraseys, N.N. (1973), "Dynamics and Response of Foundation Materials in Epicentral Regions of Strong Earthquakes," Proc., 5th World Conf. on Earthq. Eng., Rome, Italya.*
- Anandakrishnan, M. ve Krishnaswamy, N.R. (1970), "The Effect of Friction on the Dynamic Response of Soil-Foundation Systems," Proc., 2nd Southeast Asian Con. Soil Eng., Singapore.*
- Anandakrishnan, M. ve Krishnaswamy, N.R. (1973), "Response of Embedded Footings to Vertical Vibrations", Jour. Soil Mech. Found. Div., Proc. ASCE, Vol. 99, No. SM10.*
- Awojobi, A.O., (1969), "Torsional Vibration of a Rigid Circular Body on an Infinite Elastic Stratum," Int. Jour. Solids Struct., Vol. 5.*
- Awojobi, A.O., (1972a), "Vertical Vibration of a Rigid Circular Body and Harmonic Rocking of a Rigid Rectangular Body on an Elastic Stratum," Int. Jour. Solids Struct., Vol.8*
- Awojobi, A.O., (1972b), "Vertical Vibration of a Rigid Circular Foundation on Gibson Soil," Geotechnique, Vol. 22, No. 2*
- Awojobi, A.O. ve Grootenhuis, P., (1965), "Vibrations of Rigid Bodies on Semi-Infinite Elastic Media," Proc., Royal Soc. London, Series A, Vol. 287, No. 1408.*

- Baranov, V.A., (1967), "On the Calculation of Excited Vibrations of on Embedded Foundation," Voprosy Dynamiki: Prochnosti, No. 14, Polytechnical Institute of Riga.
- Barkan, D.D., (1962), Dynamics of Bases and Foundations, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y., ABD.
- Bathe, K.L. ve Wilson, E.L., (1976), Numerical Methods in Finite Element Analysis, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, ABD.
- Bathe, K.L., Wilson, E.L. ve Peterson, F.E. (1974), "SAP IV : A Structural Analysis Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems", Report No. EERC 73-11, College of Engineering, University of California, Berkeley,
- Beredugo, Y.O., (1971), "Vibrations of Embedded Symmetric Footings", Ph.D. Dissertation, Univ. of Western Ontario, London, Kanada.
- Beredugo, Y.O. ve Novak, M., (1972), "Coupled Horizontal and Rocking Vibration of Embedded Footings," Can. Geotech. Jour. Vo. 9, No. 4.
- Chae, Y.S., (1964), "Dynamic Pressure Distribution at the Base of a Rigid Footing Subjected to Vibratory Loads," Ph.D. Dissertation, Univ. of Michigan, Michigan, ABD.
- Chae, Y.S., (1969), "Vibrations of Noncircular Foundations," Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 95, No. SM6.
- Chae, Y.S., (1971), "Dynamic Behavior of Embedded Foundation-Soil Systems," Highway Research Record, No. 323.
- Chae, Y.S., Hall, J.R., Jr., ve Richart, F.E., Jr., (1965), "Dynamic Pressure Distribution Beneath a Vibrating Footing," Proc. 6th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng., Vol. 2.

- Chopra, A.K. ve Perumalswamy, P.R. (1969), "Dam Foundation Interaction During Earthquakes," Proc., 4. World Conf. on Earthq. Eng., Vol. II., Santiago, Şili.*
- Clough, R.W., ve Chopra, A.K. (1966), "Earthquake Stress Analysis in Earth Dams," Journ. of Eng. Mech. Div., ASCE, Vol. 92. No. EM2.*
- Courbon, J., (1971), "Vibrations of Machine Foundations," (In French), Ann. Inst. Tech. Bat. Trav., Publ. 24, No. 285.*
- Drnevich, V.P., ve Hall, J.R., Jr., (1966), "Transient Loading Tests on a Circular Footing," Jour. Soil Mech. Found Div., ASCE, Vol. 92, No. SM6.*
- Drnevich, V.P., Hall, J.R., ve Richart, F.E., Jr., (1966), "Transient Loading Tests on a Rigid Circular Footing," Dept. of Civil Eng., Univ. of Michigan Report to U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Missisipi, ABD.*
- Duke, C.M., (1958), "Effects of Ground on Destructiveness of Large Earthquakes," Journ. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol. 84, No. SM3.*
- Eastwood, W., (1953), "The Factors which Affect the Natural Frequency of Foundations, and the Effect of Vibrations on Bearing Power of Foundations on Sand," Proc., 3rd Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng., Vol. 1.*
- Erden, S.M. ve Stokoe, K.H., II, (1974), "Influence of Embedment on Vertical Foundation Response," Proc., CENTO Symp. on Earthq. Eng. and Eng. Seism., Ankara.*

- Erden, S.M. ve Stokoe, K.H., II, (1975), "Influence of Embedded Shape on Foundation Response," Proc., ASCE Nat. Conv. Denver, Colorado, ABD.
- Elorduy, J., Nieto, J.A., ve Szekely, E.M., (1967), "Dynamic Response of Bases of Arbitrary Shape Subjected to Periodic Vertical Loading," Proc., Int. Symp. Wave Prop. Dyn. Prop. Earth Mat., Albuquerque, New Mexico, ABD.
- Finn, W.D.L., ve Khanna, J. (1966), "Dynamic Response of Earth Dams," Proc., 3rd Earthq. Symp., Roorkee, Hindistan.
- Finn, W.D.L., ve Rainer, R.B. (1970), "Effect of Soil Structure Interaction on Seismic Response," Proc., 3rd European Symp. on Earthq. Eng., Sofya, Bulgaristan.
- Fleming, J.F., Screwvala, F.N., ve Kondner, R.L. (1965), "Foundation Superstructure Interaction Under Earthquake Motion," Proc., 3rd World Conf. on Earthq. Eng., Yeni Zelanda.
- Fry, Z.B., (1963), "Development and Evaluation of Soil Bearing Capacity. Foundations of Structures; Field Vibration Test Data," Technical Report, No. 3-632, Report No. 1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Missisipi, ABD.
- Funston, N.E., ve Hall, W.J., (1967), "Footing Vibration with Non-linear Subgrade Support," Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 93, No. SM5, Part 1.
- Girard, J., ve Picard, J., (1970), "Experimental Study of the Dynamic Behavior of Machine Foundation Blocks: Verification of Laws of Similitude and Influence of the Embedding Depth,"

(Fransızca), Ann. Inst. Techn. Bat Trav., Publ. 23.

Goschy, B. (1978), "Soil-Foundation-Structure Interaction," Journ. of Struct. Div., ASCE, Vol. 104, No. ST5.

Grootenhuis, P., (1970), "The Dynamics of Foundation Block," Proc., Conf. Sec. Earthq. Civil Engng. Dyn., "Dynamic Waves in Civil Eng.," Swansea.

Grootenhuis, P. ve Awojobi, A.O., (1966), "The In Situ Measurement of the Dynamic Properties of Soils," Proc., Vibr. Civil Engrg., Session 5, London, England.

Gupta, B.N., (1972), "Effect of Foundation Embedment on the Dynamic Behavior of the Foundation-Soil System," Geotechnique, Vol. 22, No. 1.

Gutenberg, B. (1957), "The Effects of Ground on Earthquake Motion," Bull. of Seism. Soc. of America, Vol. 47.

Idriss, I.M., ve Seed, H.B. (1968), "Seismic Response of Horizontal Soil Layers," Journ. of Soil Mech. and Found. Eng. Div., ASCE, Vol. 94, No. SM4.

Idriss, I.M., ve Seed, H.B. (1969), "Influence of Geometry and Material Properties on the Seismic Response of Soil Deposits," Proc., 4th World Conf. on Earthq. Eng., Santiago, Şili.

Jacobsen, L.S. (1939), "Natural Periods of Uniform Cantilever Beams," Trans. ASCE, Vol. 104.

Kaldjian, J.M., (1969), Discussion of "Design Procedures for Dynamically Loaded Foundations," by R.V. Whitman and F.E. Richart, Jr., Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 95, No. SML.

- Kaldjian, J.M., (1971), "Torsional Stiffness of Embedded Footings," Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, vol. 97, No. SM7.
- Khanna, J. (1969), "Elastic Soil-Structure Interaction," Proc., 4th World Conf. on Earthq. Eng., Santiago, Şili.
- Kinashita, K. ve Kushida, H. (1973), "Experimental Study on Vibrational Characteristics of the Structures with Embedded Foundations," Proc., 5. World Conf. on Earthq. Eng., Session 7C, Rome, İtalya.
- Kitagawa, Y., Tamura, R., Tanaka, Y. ve Osawa, Y. (1973), "Investigation of Soil Building Interaction System on Large Models with Precast Panel," Proc., 5. World Conf. on Earthq. Eng., Session 5C, Rome, İtalya.
- Kondner, R.L., (1964), "Static Stress Level and Footing Size Influence on Resonant Displacement Response of Cohesive Soil-Foundation Systems" Sols-Soils, No.9, Vol. 3.
- Kondner, R.L., (1965), "Effect of Footing Size, Weight, and Excitation Level on Resonant Frequencies of Foundation Systems on Cohesive Soils", Sols-Soils, No. 12.
- Krizek, R.J. Gupta, D.C. ve Parmelee, R.A. (1972), "Coupled Sliding and Rocking of Embedded Foundations," Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 98, No. SM12.
- Kuhlemeyer, R.L., (1969), "Vertical Vibrations of Footings Embedded in Layered Media," Ph.D. Dissertation, Univ. of California, Berkeley, Kaliforniya, ABD.

- Lefebvre, G. ve Duncan, J.M. (1971), "Three-Dimensional Finite Element Analyses of Dams," Report No. TE-71-5, Institute of Transportation and Traffic Engineering, Dept. of Civil Engineering, Univ. of California, Berkeley, Kalifornia, ABD.
- Luco, L.E., ve Westmann, R.A., (1971), "Dynamic Response of Circular Footings," Jour. Eng., Mech. Div., ASCE, Vol. 87, No. EM5.
- Lycan, D.L., ve Newmark, N.M. (1961), "Effect of Structure and Foundation Interaction," Journ. of Eng. Mech. Div., ASCE, Vol. 87, No. EM5.
- Lysmer, J., (1965), "Vertical Motion of Rigid Footings", Dept. of Civil Eng., Univ. of Michigan Report to U.S. Army Engineer Waterway Experiment Station, Vicksburg, Missisipi, ABD.
- Lysmer, J., ve Kuhlemeyer, R.L. (1969), "Finite Dynamic Model for Infinite Media," Jour. Eng. Mech. Div., ASCE, Vol. 95, No. EM4.
- Lysmer, J., ve Kuhlemeyer, R.L., (1969), Closure to "Finite Dynamic Model for Infinite Media," Jour. Eng. Mech. Div., ASCE, Vol. 97, No. EM1.
- Martin, H.C. ve Carey, G.F. (1973), Introduction to Finite Element Analysis, Theory and Application, Mc-Graw Hill Book Co., New York, ABD.
- Melosh, R.J. (1963), "Structural Analysis of Solids," Journ of Struct. Div., ASCE, Vol. 89, No. ST4, Part 1.
- Menard, L., ve Lambert, P., (1966), "Experiments on a Block Foundation Subjected to Vibrations," (In French) Sols-Soils, No. 17.

- Merritt, R.G., ve Housner, G.W. (1954), "Effect of Foundation Compliance on Earthquake Stresses in Multistory Buildings," Bull. of Seism. Society of America, Vol.44, No. 4.
- Moore, P.J., (1971), "Calculated and Observed Vibration Amplitudes," Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 97, No. SM1.
- Newmark, N.M. ve Rosenblueth, E. (1971), Fundamentals of Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, ABD.
- Novak, M., (1960), "The Vibrations of Massive Foundations on Soil," Int. Assoc. Bridge Struct. Eng., Publ. No. 20.
- Novak, M., (1963), "On Some Dynamical Problems of Turbo-machinery Frame Foundations," Proc. Int. Symp. Meas. Eval. Dyn. Effects Vibr. Constr., RILEM, Budapest, Vol. 1, Macaristan.
- Novak, M., (1970), "Prediction of Footing Vibrations," Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 96, No. SM3.
- Novak, M., (1973), "Vibrations of Embedded Footings and Structures," Preprint 2029, ASCE, Nat. Struct. Eng. Mtg., San Francisco, Kaliforniya.
- Novak, M. ve Beredugo, Y.O., (1972), "Vertical Vibration of Embedded Footings," Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 98, No. SM12.
- Novak, M. ve Sachs, K. (1973), "Torsional and Coupled Vibrations of Embedded Footings," Int. Journ. Earthq. Engng. Struct. Dyn., Vol. 2, No. 1.
- Ohsaki, Y. (1969), "The Effect of Local Soil Conditions Upon Earthquake

Damage, Proc., 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Sp. Session 2, Meksika.

Osawa, Y., Kitagawa, Y. ve Ishida, K. (1973), "Response Analyses of Earthquake Motions Observed In And Around A Reinforced Concrete Building-Subsoil System," Proc., 5. World Conf. on Earthq. Eng., Session 5C, Rome, İtalya.

Özkan, D., Gürpınar, A., ve Soydemir, C. (1977), "Deprem Hareketi ve Dinamik Zemin Parametreleri İlişkisi," Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Yıl 5, Sayı 17, Ankara.

Papadakis, C.N., Streeter, V.L. ve Wylie, E.B. (1974), "Bedrock Motions Computed From Surface Seismograms," Journ. of Geotech. Div., ASCE, Vol. 100, No. GT10.

Parmelee, R.A. (1967), "Building-Foundation Interaction Effects," Journ. of Eng. Mech. Div., ASCE, Vol. 93, No. EM2.

Pauw, A., (1953), "A Dynamic Analogy for Foundation-Soil Systems," Symp. Dyn. Test. Soils, ASTM, STP No. 156.

Ratay, R.T. (1971), "Sliding-Rocking Vibration of Body on Elastic Medium," Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 97, No. SM1.

Reddy, S., Srinivasan, R.J. ve Nambiar, P.N., (1970), "Influence of Groundwater on the Dynamic Characteristics of Footings on Sand," Journ. Inst. Eng., No. 7, Prt. C 14, Hindistan.

Richart, F.E., Jr. (1975), "Some Effects of Dynamic Soil Properties on Soil-Structure Interaction," Journ. of Geotech. Div., ASCE, Vol. 101, No. GT12.

- Richart, F.E., Jr., Hall, J.R., Jr., ve Woods, R.D., (1970), "Vibrations of Soils and Foundations, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.Y., ABD.
- Romani, F. (1973), "Soil-Structure Interaction in the May 31, 1970 Peruvian Earthquake," Proc., 5. World Conf. on Earthq. Eng., Session 7C, Rome, Italya.
- Salvadori, M.G., ve Heer, E. (1962), "Periods of Framed Buildings for Earthquake Analysis," Trans. ASCE, Vol. 127, Part I.
- Seed, H.B. (1969), "The Influence of Local Soil Conditions on Earthquake Damage," Proc., 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Sp. Session 2, Meksika.
- Seed, H.B., ve Idriss, I.M. (1969), "Influence of Soil Conditions on Ground Motions During Earthquakes," Journ. of Soil Mech. and Found. Eng. Div., ASCE, Vol. 95, No. SM1.
- Seed, H.B. ve Idriss, I.M. (1973), "Soil-Structure Interaction of Massive Embedded Structures During Earthquakes," Proc., 5. World Conf. on Earthq. Eng., Session 5C, Rome, Italya.
- Seed, H.B. ve Silver, M.L. (1972), "Settlement of Dry Sands During Earthquakes," Journ. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol. 98, No. SM4.
- Seed, H.B., Whitman, R.V., Dezfulian, H., Dobry, R., ve Idriss, I.M. (1972), "Soil Conditions and Building Damages in 1967 Caracas Earthquake," Journ. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol. 98, No. SM8.

- Soydemir, Ç., Gürpınar, A., ve Özgür, D. (1974), "Zemin Yapısının Deprem Yer Hareketine Etkisi Konusunda Literatür Araştırması," Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Yıl 1, Sayı 4, Ankara.*
- Stokoe, K.H., II, (1972), "Dynamic Response of Embedded Foundations," Ph.D. Dissertation, Univ. of Michigan, ABD.*
- Stokoe, K.H., II ve Erden, S.M., (1974), "Influence of Base Shape on Dynamic Response of Surface Foundations," Proc., ASCE Mtg., Amarillo, Texas, ABD.*
- Stokoe, K.H., II, ve Erden, S.M., (1975), "Influence of Embedment on Torsional Foundation Response," Proc., 5th European Conf. on Earthq. Eng., Istanbul.*
- Svinkin, N. ve Zuckova, J., (1972), "Dynamic Tests of Footings on Collapsible Soil of Type I," (In Russian) Osnov. Fund. Mech. Grunt., 14.*
- Tajimi, H. (1969), "Dynamic Analysis of a Structure Embedded in an Elastic Stratum," Proc., 4th World Conf. Earthq. Engng., Santiago, Şili.*
- Tezcan, S.S. (1971), "Earthquake Design Formula Considering Local Soil Conditions," Journ. of Struct. Div., ASCE, Vol. 97, No. ST9.*
- Tezcan, S.S., Seed, H.B., Whitman, R.V., Serff, N., Christian, J.T., Durgunoğlu, H.T. ve Yegian, M., (1977), "Resonant Period Effects in the Gediz, Turkey Earthquake of 1970," Earthq-Eng. and Struct. Dyn. Journal, Vol. 5, No. 2, John Wiley and Sons, London.*

- Tiedemann, D.A., (1972), "Vertical Dynamic Response of Embedded Footings," Bureau of Recl. Report, REC-ERC-72-34, Eng. Research Center, ABD.
- Urlich, C.M. ve Kuhmeleyer, R.L., (1973), "Coupled Rocking and Lateral Vibration of Footings," Can. Geotech. Jour., Vol. 10, No. 2.
- Veletsos, A.S. ve Wei, Y.T., (1971), "Lateral and Rocking Vibration of Footings," Jour. Soil Mech-Found. Div., ASCE, Vol. 97, No. SM9.
- Waas, G., (1972), "Earth Vibration Effects and Abatement for Military Facilities," Technical Report, S-71-14, Report 3, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, ABD.
- Waas, G. ve Lysmer, J., (1972), "Vibrations of Footings Embedded in Layered Media," Proc., Symp. Appl. Finite El. Meth. Geotech. Engng., U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Missisipi, ABD.
- Weismann, G.F., (1971), "Torsional Vibrations of Circular Foundations," Jour. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 97, No. SM9.
- Wiggins, J.H. (1964), "Effects of Site Conditions on Earthquake Intensity," Journ of Struct. Div., ASCE, Vol. 90.
- Wood, H.D. (1908), "Distribution of Apparent Intensity in San Francisco Earthquake," Carnegie Inst., Washington, D.C., ABD.
- Yarar, R., ve Tezcan, S.S. (1969), "Structural Engineering Aspects of the 1967 Adapazari, Turkey, Earthquake," Proc., 4th World Conf. on Earthq. Eng., Vol. 4, Santiago, Şili.

EKLER

EK 1

SONLU ELEMENLAR
RİJİTLİK MATRİSLERİ

SEMBOLLER

A. DİKDÜRTGEN ELEMAN İÇİN

- ν = Poisson oranı
 β = Eleman boyutları oranı

B. ÜÇGEN ELEMAN İÇİN

- A_{123} = 123 üçgeni alanı
 E = Elâstisite modülü
 t = Plâka kalınlığı
 x_i = i köşesi x -koordinatı
 x_j = j köşesi x -koordinatı
 y_i = i köşesi y -koordinatı
 y_j = j köşesi y -koordinatı
 x_{ij} = $x_i - x_j$
 y_{ij} = $y_i - y_j$

C. KIRLIŞ ELEMAN İÇİN

- A = Alan
 A_{sy} = y -ekseni için kayma alanı
 A_{sz} = z -ekseni için kayma alanı
 G = Kayma modülü
 I_y = y -ekseni etrafında atalet momenti
 I_z = z -ekseni etrafında atalet momenti
 $\phi_y = \frac{12 EI_z}{GA_{sy} l^2}$
 $\phi_z = \frac{12 EI_y}{GA_{sz} l^2}$

SEMBOLLER - (devam ediyor)

D. KÜBİK UZAY ELEMANI İÇİN

2a = x-ekseni yönündeki boyut

2b = y-ekseni yönündeki boyut

2c = z-ekseni yönündeki boyut

$$k = \frac{Et}{12(1 - \nu^2)}$$

1	$\frac{(4 - \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$							
2	$\frac{3(1 + \nu)}{2}$	$\frac{(4 - \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$						
3	$\frac{(2 + \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$	$-\frac{3(1 - 3\nu)}{2}$	$\frac{(4 - \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$					
4	$\frac{3(1 - 3\nu)}{2}$	$-\frac{(4 - \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$	$-\frac{3(1 + \nu)}{2}$	$\frac{(4 - \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$				
5	$-\frac{(2 + \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$	$-\frac{3(1 + \nu)}{2}$	$-\frac{(4 - \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$	$-\frac{3(1 - 3\nu)}{2}$	$\frac{(4 - \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$			
6	$-\frac{3(1 + \nu)}{2}$	$-\frac{(2 + \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$	$\frac{3(1 - 3\nu)}{2}$	$\frac{(2 + \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$	$\frac{3(1 + \nu)}{2}$	$\frac{(4 - \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$		
7	$-\frac{(4 - \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$	$\frac{3(1 - 3\nu)}{2}$	$-\frac{(2 + \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$	$\frac{3(1 + \nu)}{2}$	$\frac{(2 + \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$	$-\frac{3(1 - 3\nu)}{2}$	$\frac{(4 - \nu^2)\beta}{3(1 - \nu)\beta^{-1}}$	
8	$\frac{3(1 - 3\nu)}{2}$	$\frac{(2 + \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$	$\frac{3(1 + \nu)}{2}$	$-\frac{(2 + \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$	$\frac{3(1 - 3\nu)}{2}$	$-\frac{(4 - \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$	$-\frac{3(1 + \nu)}{2}$	$\frac{(4 - \nu^2)\beta^{-1}}{3(1 - \nu)\beta}$
	1	2	3	4	5	6	7	8

A. DİKDÖRTGEN ELEMAN

$$K_{21} = \frac{d_{12}}{12} \begin{bmatrix} -2 & -2 & -1 & -1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & -2 & -2 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & -1 & -1 & -2 & -2 \\ -1 & -1 & -2 & -2 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ -2 & -2 & -1 & -1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & -2 & -2 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & -1 & -1 & -2 & -2 \\ -1 & -1 & -2 & -2 & 1 & 1 & 2 & 2 \end{bmatrix} + \frac{d_{44}^*}{12} \begin{bmatrix} -2 & 2 & 1 & -1 & -2 & 2 & 1 & -1 \\ -2 & 2 & 1 & -1 & -2 & 2 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 2 & -2 & -1 & 1 & 2 & -2 \\ -1 & 1 & 2 & -2 & -1 & 1 & 2 & -2 \\ 2 & -2 & -1 & 1 & 2 & -2 & -1 & 1 \\ 2 & -2 & -1 & 1 & 2 & -2 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -2 & 2 & 1 & -1 & -2 & 2 \\ 1 & -1 & -2 & 2 & 1 & -1 & -2 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} d_{11} &= D_{11} b^2 c^2 \\ d_{22} &= D_{22} a^2 c^2 \\ d_{33} &= D_{33} a^2 b^2 \\ d_{44} &= D_{44} b^2 c^2 \\ d_{55} &= D_{55} a^2 b^2 \\ d_{66} &= D_{66} a^2 b^2 \end{aligned}$$

$$K_{31} = \frac{d_{13}}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 & 2 & -2 & -1 & -1 & -2 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & -1 & -2 & -2 & -1 \\ -1 & -2 & -2 & -1 & 1 & 2 & 2 & 1 \\ -2 & -1 & -1 & -2 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 2 & -2 & -1 & -1 & -2 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & -1 & -2 & -2 & -1 \\ -1 & -2 & -2 & -1 & 1 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & -1 & -1 & -1 & 2 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} + \frac{d_{55}^*}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & -1 & -2 & 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & 2 & -2 & -1 & 1 & 2 & -2 & -1 \\ 1 & 2 & -2 & -1 & 1 & 2 & -2 & -1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 & 2 & 1 & -1 & -2 \\ -2 & -1 & 1 & 2 & -2 & -1 & 1 & 2 \\ -1 & -2 & 2 & 1 & -1 & -2 & 2 & 1 \\ -1 & -2 & 2 & 1 & -1 & -2 & 2 & 1 \\ -2 & -1 & 1 & 2 & -2 & -1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} d_{44}^* &= D_{44} a^2 c^2 \\ d_{55}^* &= D_{55} b^2 c^2 \\ d_{66}^* &= D_{66} a^2 c^2 \\ d_{44}^* &= c D_{44} \\ d_{55}^* &= b D_{55} \\ d_{66}^* &= a D_{66} \end{aligned}$$

$$K_{32} = \frac{d_{23}}{12} \begin{bmatrix} -2 & 2 & 2 & -2 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -2 & 2 & 2 & -2 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 2 & -2 & -2 & 2 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 2 & -2 & -2 & 2 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -2 & 2 & 2 & -2 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & -2 & 2 & 2 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 2 & -2 & -2 & 2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 2 & -2 & -2 & 2 \end{bmatrix} + \frac{d_{66}^*}{12} \begin{bmatrix} -2 & -2 & 2 & 2 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & -2 & -2 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & -2 & -2 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -2 & -2 & 2 & 2 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -2 & -2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 2 & 2 & -2 & -2 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 2 & 2 & -2 & -2 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -2 & -2 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} d_{12} &= c D_{12} \\ d_{13} &= b D_{13} \\ d_{23} &= a D_{23} \end{aligned}$$

D. ÜÇ BOYUTLU ELEMAN (devam)

EK 2

BİLGISAYAR PROGRAMI
DATA GİRİŞİ

1. BAŞLIK KARTI (12 A6)

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
1-72	HED (12)	Çözülen problem ile ilgili olarak basılması istenen başlık yazılır.

2. ANA KONTROL KARTI (8I5)

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	NUMNP	Toplam düğüm sayısı
6-10	NELTYP	Eleman grupları adedi
11-15	LL	Yapı yükleme durumu GE.1; statik analiz EQ.1; dinamik analiz
16-20	NF	Özel değer probleminde çözümü istenen frekans adedi
21-25	NDYN	Analiz tipi kodu; EQ.0; statik analiz EQ.1; özel değer çözümü EQ.2; mod katkısıyla dinamik tepki EQ.3; tepki spektrumu çözümü EQ.4; direkt entegrasyon
26-30	MODEX	EQ.0; problem çözümü EQ.1; yalnız data kontrolü
31-35	NAD	Özel değer çözümünde alt iterasyonlarda kullanılacak vektör adedi EQ.0; $MIN(2*NF, NF+8)$
36-40	KEQB	Beher hafıza bloku için gerekli serbestlik derecesi (denklem sayısı) EQ.0; program kendi hesap eder.

3. DÜĞÜMLERLE İLGİLİ BİLGİ (A1, I4, 6I5, 3F10.0, I5, F10,0)

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
1	C	Koordinat sistemi değişkeni EQ. ; (boş) kartezyen EQ.0; silindirik

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
2-5	N	Düğüm numarası
6-10	IX (N,1)	x- yer değiştirme, sınır kodu
11-15	IX (N,2)	y- yer değiştirme, sınır kodu
16-20	IX (N,3)	z- yer değiştirme, sınır kodu
21-25	IX (N,4)	x- dönme sınır kodu
26-30	IX (N,5)	y- dönme sınır kodu
31-35	IX (N,6)	z- dönme sınır kodu EQ.0; serbest EQ.1; sabit GT,1; ana düğüm numarası
36-45	X(N)	X (veya R) koordinatı
46-55	Y(N)	Y koordinatı
56-65	Z(N)	Z (veya θ) koordinatı
66-70	KN	Düğüm numarası aralığı
71-80	T(N)	Düğüm ısısı

4. ELEMANLARLA İLGİLİ BİLGİ

4.1 DÜZLEM ELEMANLARI (üçgen veya dörtgen)

A. KONTROL KARTI (6I5)

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Eleman türü kodu
6-10	Toplam eleman adedi
11-15	Malzeme türü adedi
16-20	Bir malzeme için verilen maksimum ısı kartı
25	EQ.0; eksen-simetrik analizi EQ.1; düzlem yer değiştirme analizi EQ.2; düzlem gerilme analizi
30	GT,1; uyumsuz düğüm yer değiştirmelerini tutmak için

B. MALZEME ÖZELLİKLERİ

1. Malzeme Özellik Kartı

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Malzeme kodu
6-10	Malzeme Özellikleri verilen değişik ısı adedi
11-20	Malzeme birim ağırlığı
21-30	Kütle yoğunluğu

2. Her ısı derecesi için iki kart: Bu kartlarda eleman eksenlerine göre elâstik modül, kayma modülü, Poisson oranı, hararet ve ısı genişleme katsayısı belirtilir.

C. ELEMAN YOK FAKTÖRLERİ

Dört ayrı yükleme durumu için ısı, basınç ve yer çekimi yükleri oranları verilir.

D. ELEMAN KARTLARI (6I5, 2F10.0, 2I5, F10.0)

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Eleman numarası
6-10	I düğümü
11-15	J düğümü
16-20	K düğümü
21-25	L düğümü (üçgen elemanlarda L=K)
26-30	Malzeme Kodu
31-40	Sıfır gerilme için referans ısı
41-50	I-J kenarındaki normal basınç
51-55	Gerilme hesapları opsiyonu (değişik n'ler değişik noktadaki gerilmeleri hesaplar)
56-60	Eleman oluşturma parametresi
61-70	Eleman kalınlığı (düzlem yer değiştirme hâlinde 1.0)

4.2. KIRIŞ ELEMANLARI

A. KONTROL KARTI (5I5)

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Eleman türü kodu
6-10	Toplam eleman adedi
11-15	Eleman özellikleri kartı adedi
16-20	Sabit düğüm yüklemeleri adedi
21-25	Malzeme özellikleri kartı adedi

B. MALZEME ÖZELLİKLERİ KARTI (I5, 4F10.0)

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Malzeme kodu
6-15	Elâstisite modülü
16-25	Poisson oranı
26-35	Kütle yoğunluğu
36-45	Birim ağırlık

C. ELEMAN ÖZELLİKLERİ KARTI (I5, 6F10.0)

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Geometrik özellik numarası
6-15	Eksen alanı
16-25	2-yönündeki kesme yükleri ile ilgili kesme alanı (uzun eksene (1-yönü) dik)
26-35	3-yönündeki kesme yükleri ile ilgili kesme alanı (uzun eksene ve 2-eksenine dik)
36-45	Burulma ataleti momenti
46-55	Bükülme ataleti momenti (1 ekseni etrafında)
56-65	Bükülme ataleti momenti (2 ekseni etrafında)

D. ELEMAN YÜK FAKTÖRLERİ (4F10.0)

x, y ve z yönündeki yer çekimi ile ilgili oranlar ayrı kartlarda dört eleman yükleme durumu için belirtilen formatta verilir.

E. SABİT DOĞUM YÜKLERİ (I5, 6F10.0/I5, 6F10.0)

Kart 1

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Yükleme kodu
6-15	1-yönündeki (uzun eksen) yükleme, I düğümü
16-25	2-yönündeki yükleme - I düğümü
26-35	3-yönündeki yükleme - I düğümü
36-45	1-yönü etrafındaki moment - I düğümü
46-55	2-yönü etrafındaki moment - I düğümü
56-65	3-yönü etrafındaki moment - I düğümü

Kart 2

Kart 1 gibi; J düğümü için

F. KIRIŞ BİLGİ KARTI (10I5, 2I6, I8)

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Eleman numarası
6-10	I düğümü
11-15	J düğümü
16-20	K düğümü (I-J düzleminde olan kiriş hari- cindeki bir nokta)
21-25	Malzeme özellik kodu
26-30	Eleman özellik kodu
31-35	A
36-40	B
41-45	C
46-50	D
51-56	I düğümü hareket kodu
57-62	J düğümü hareket kodu
63-70	Eleman oluşturma parametresi

4.3 UZAY ELEMANLARI

A. KONTROL KARTI (4I5)

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Eleman türü kodu
6-10	Toplam eleman adedi
11-15	Malzeme türü adedi
16-20	Toplam yük dağılımları adedi

B. MALZEME ÖZELLİKLERİ KARTI (I5, 4F10.0)

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Malzeme kodu
6-15	Elâstisite modülü
16-25	Poisson oranı
26-35	Birim ağırlık
36-45	Isı genişleme katsayısı

C. YÜZEYSEL YÜK DAĞILIMLARI KARTLARI

Her ayrı dizi yük dağılımları ile ilgili bilgiler belirli bir kurala göre verilir.

D. YER ÇEKİMİ İVMESİ KARTI (F10.2)

Yer çekimi ivmesi değeri, kütle matrisi hesapları için, belirtilen formata göre verilir.

E. ELEMAN YÜK DAĞILIM KATSAYILARI

Basınç, cazibe ve ısı yükleri için oranlar verilir.

F. ELEMAN KARTLARI (12I5, 4I2, 2I1, F10.2)

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	Eleman numarası

<u>Kolon</u>	<u>Bilgi</u>
6-10	
11-15	
16-20	
21-25	
26-30	} eleman düğümleri
31-35	
36-40	
41-45	
46-50	Entegrasyon mertebesi
51-55	Malzeme kodu
56-60	Eleman oluşturma parametresi
61-62	
63-64	
65-66	} Yüzeysel yük dağılımı kodu
67-68	
69-70	Gerilme analizi için yüz no.
71-80	Gerilimsiz eleman ısısı

5. KONSANTRE YÜK/KÜTLE ORANI (2I5, 6F10.4)

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	N	Düğüm numarası
6-10	L	Yapı yükleme durumu GE.1; Statik analiz EQ.0; Dinamik analiz
11-20	FX(N,L)	x-yönündeki yük
21-30	FY(N,L)	y-yönündeki yük
31-40	FZ(N,L)	z-yönündeki yük
41-50	MX(N,L)	x-ekseni momenti
51-60	MY(N,L)	y-ekseni momenti
61-70	MZ(N,L)	z-ekseni momenti

6. ELEMAN YÜKLEME KATSAYILARI (4F10.0)

Statik analizler için yüklemelerle ilgili katsayılar verilir.

7. DİNAMİK ANALİZLER

7.1 MOD ŞEKİL ve FREKANSLARI (NDYN.EQ. 1, 2, 3) (3I5, 2F10.0)

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	IFPR	EQ.0; ara matrisleri basma EQ.1; ara matrisleri bas
6-10	IFSS	EQ.0; özel değer kontrolü yap EQ.1; kontrol yapma
11-15	NITEM	Yaklaşım için maksimum iterasyon adedi
16-25	RTOL	Yaklaşım toleransı
26-35	COFQ	Kesme Frekansı
36-40	NFO	Iterasyon başlama frekansı adedi

7.2 TEPKİ ANALİZİ

A. KONTROL KARTI (5I5, 2F10.0)

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	NFN	Değişik zaman fonksiyonları adedi
6-10	NGM	Yer hareketi endikatörü EQ.0; yer hareketi yok EQ.1; yer hareketi kartlarını oku
11-15	NAT	Variş zamanları adedi EQ.0; bütün varişlar t=0 zamanında
16-20	NT	Toplam çözüm zaman etapları
21-25	NOT	Çıktı aralıkları
26-35	DT	Çözüm zaman aralığı
36-45	DAMP	Sönüm oranı (bütün modlar için)

B. ZAMANA BAĞIMLI YOK KARTI (4I5, F10.0)

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	NP	Yük tatbik edilen düğüm
10	IC	Serbestlik derecesi
11-15	IFN	Zaman fonksiyonu no.
16-20	IAT	Varış zamanı no.
21-30	P	Zaman fonksiyonu çarpanı

C. YER HAREKETİ KONTROL KARTI (6I5)

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
1-5	NFNX	x-yönü ivmesini gösteren zaman fonksiyonu no.
6-10	NFNY	y-yönü ivmesini gösteren zaman fonksiyonu no.
11-15	NFNZ	z-yönü ivmesini gösteren zaman fonksiyonu no.
16-20	NATX	x-yönü varış zamanı no
21-25	NATY	y-yönü varış zamanı no
26-30	NATZ	z-yönü varış zamanı no

D. VARİŞ ZAMANI KARTLARI (BF10.0)
(Gerekli sayıda kart kullanılır)

<u>Kolon</u>	<u>Değişken</u>	<u>Bilgi</u>
1-10	AT (1)	1. varış zamanı
11-20	AT (2)	2. varış zamanı
⋮	⋮	⋮
71-80	AT (8)	8. varış zamanı

E. ZAMAN FONKSİYONU TANIMLAMA KARTLARI

1. Kart (I5, F10.0, I2A5)

Kolon	Değişken	Bilgi
1-5	NLP	Fonksiyonu tanımlayan noktaların adedi
6-15	SFTR	Varsa tatbik edilen çarpan
16-75	HED(12)	Fonksiyon başlığı

2. Kart (I2F6.0)

(Gerektiği kadar kart kullanılır)

Kolon	Değişken	Bilgi
1-6	T (1)	1. nokta zamanı
7-12	F (1)	1. nokta fonksiyon değeri
13-18	T (2)	2. nokta zamanı
19-24	F (2)	2. nokta fonksiyon değeri
⋮	⋮	⋮

F. ÇIKTI TANIMLAMA KARTLARI

(i) Yer Değiştirme Çıktıları

Kontrol Kartı (2I5)

Kolon	Değişken	Bilgi
1-5	KKK	Çıktı tipi EQ.1; tüm değerlerin rakkamsal baskısı EQ.2; tüm değerlerin grafiksel baskısı EQ.3; yalnız maksimum değerlerin baskısı
6-10	ISP	Grafik çizimi için aralık

Düğüm Talep Kartı (7I5)

Kolon	Değişken	Bilgi
1-5	NP	Düğüm numarası
6-10	IC (1)	1. talep
11-15	IC (2)	2. talep
⋮	⋮	⋮

(ii) Gerilme Çıktıları

Kontrol Kartı (2I5)

(i)'deki kontrol kartı gibi

Düğüm Talep Kartı (13 I5)

(i)'deki talep kartı gibi; değişik noktalar için belirtilmiş no.'lar kullanılacak.

EK 3

SONLU ELEMANLAR
İÇİN KULLANILAN
KAYMA VE ELÂSTİK MODÜL
DEĞERLERİ

A. YÜZEYSEL TEMELLİ ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİ

(Ref: Şekil 3.3)

TABLO E 3.1 - Temel Kütle Oranı = 0.5 Sistemi

Malzeme No.	KAYMA MODÜLÜ, G (t/m ²)			ELASTİK MODÜL, E (t/m ²)		
	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin
1	4637	8242	13743	13726	23078	35732
2	4386	7796	13000	12983	21829	33800
3	4120	7323	12211	12195	20504	31749
4	3836	6817	11368	11355	19088	29557
5	3528	6271	10457	10443	17559	27188
6	3191	5672	9459	9445	15882	24593
7	2815	5003	8342	8323	14008	21689
8	2379	4228	7050	7042	11838	18330
9	1843	3275	5461	5455	9170	14199
10	1064	1891	3153	3149	5295	8198
11	3283	5845	9735	9718	16366	25311
12	3128	5512	9231	9259	15434	24001
13	2925	5201	8663	8658	14563	22527
14	2712	4821	8038	8028	13499	20899
15	2495	4434	7394	7385	12415	19224
16	2288	4048	6688	6772	11334	17389
17	1990	3702	5898	5890	10366	15335
18	1682	3183	4985	4979	8912	12961
19	1303	2441	3861	3857	6835	10039
20	752	1337	2229	2226	3744	5795
21	3009	5320	8813	8907	14896	22914
22	2864	5003	8267	8477	14008	21494
23	2712	4683	7723	8028	13112	20080
24	2578	4401	7224	7631	12323	18782

TABLO E 3.1 - (devam)

25	2466	4157	6688	7299	11640	17389
26	2437	3974	6256	7214	10127	16266
27	2437	3821	5846	7214	10699	15200
28	2738	3742	5574	8104	10478	14492
29	2789	4928	8191	8255	13798	21297
30	2622	4599	7642	7761	12877	19869
31	2452	4228	7050	7258	11838	18330
32	2257	3860	6355	6681	10808	16523
33	2060	3452	5574	6098	9666	14492
34	1804	2939	4663	5340	8229	12124
35	1551	2348	3525	4591	6574	9165
36	2738	4851	8077	8104	13583	21000
37	2536	4501	7436	7507	12603	19334
38	2318	4085	6780	6861	11438	17628
39	2060	3620	6003	6098	10136	15608
40	1764	3088	5047	5221	8646	13122
41	1335	2379	3861	3952	6661	10039
42		875 000			2 100 000	

TABLO E 3.2 - Temel Kütle Oranı = 1.0 Sistemi

Malzeme No.	KAYMA MODÜLÜ, G (t/m ²)			ELASTİK MODÜL, E (t/m ²)		
	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin
1	4637	8242	13743	13726	23078	35732
2	4386	7796	13000	12983	21829	33800
3	4120	7320	12211	12195	20504	31749
4	3836	3817	11368	11355	19088	29557
5	3528	6271	10457	10443	17559	27188
6	3191	5672	9459	9445	15882	24593
7	2815	5003	8342	8332	14008	21689
8	2379	4228	7050	7042	11838	18330
9	1843	3275	5461	5455	9170	14199
10	1064	1891	3153	3149	5295	8198
11	3290	5858	9760	9738	16402	25376
12	3131	5566	9226	9268	15585	23988
13	2930	5235	8691	8673	14658	22597
14	2712	4821	8038	8028	13499	20899
15	2495	4434	7394	7385	12415	19224
16	2288	4048	6688	6772	11334	17389
17	1990	3702	5898	5890	10366	15335
18	1682	3183	4985	4979	8912	12961
19	1303	2441	3861	3857	6835	10039
20	752	1337	2229	2226	3744	5795
21	3101	5403	8918	9179	15128	23187
22	3009	5178	8489	8907	14498	22071
23	2913	4943	8038	8622	13840	20899
24	2850	4758	7622	8436	13322	19817
25	2889	4664	7352	8551	13059	19115
26	3009	4695	7224	8907	13146	18782
27	3213	4821	7224	9510	13499	18782
28	3568	5178	7394	10561	14498	19224

TABLO 3.2 - (devam)

29	2889	5032	8304	8551	14090	20899
30	2764	4758	7843	8181	13322	20392
31	2633	4468	7267	7794	12510	18894
32	2495	4157	6688	7385	11640	17389
33	2437	3821	6101	7214	10699	15873
34	2193	3662	5346	6491	10254	13900
35	2060	3068	4389	6098	8590	11411
36	2764	4882	8115	8181	13670	15740
37	2578	4534	7560	7631	12695	13517
38	2379	4157	6871	7042	11640	17869
39	2128	3702	6105	6299	10366	15873
40	1843	3183	5199	5450	8912	13517
41	1407	2441	4019	4165	6835	10449
42		875 000			2 100 000	

TABLO E. 3.3 - Temel Kütle Oranı = 1.5 Sistemi

Malzeme No.	KAYMA MODÜLÜ, G (t/m ²)			ELASTİK MODÜL, E (t/m ²)		
	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin
1	4637	8242	13743	13726	23078	35732
2	4386	7796	13000	12983	21829	33800
3	4120	7323	12211	10295	20504	31749
4	3836	6817	11368	11355	19088	29557
5	3528	6271	10457	10443	17559	27188
6	3191	5672	9459	9445	15882	24593
7	2815	5003	8342	8332	14008	21689
8	2379	4228	7050	7042	11838	18330
9	1843	3275	5461	5455	9170	14199
10	1064	1891	3153	3149	5295	8198
11	3315	5870	9802	9813	16436	25485
12	3199	5593	9303	9469	15660	24188
13	2981	5279	8762	8824	14781	22781
14	2712	4821	8038	8028	13499	20899
15	2495	4424	7394	7385	12415	19224
16	2288	4048	6688	6772	11334	17389
17	1990	3702	5898	5890	10366	15335
18	1682	3183	4985	4979	8912	12961
19	1303	2441	3861	3857	6835	10039
20	752	1337	2229	2226	3744	5795
21	3213	5566	9124	9510	15585	23722
22	3147	5348	8706	9315	14974	22636
23	3101	5178	8379	9179	14498	21785
24	3147	5091	8096	9315	14255	21050
25	3268	5120	7961	9673	14336	20699
26	3488	5320	8115	10324	14896	21099
27	3817	5699	8453	11298	15957	21978

TABLO E 3.3 - (Devam)

28	4255	6223	8634	12595	17424	22448
29	2985	5149	8453	8836	14417	21978
30	2889	4912	8038	8551	13754	20899
31	2815	4695	7601	8332	13146	19763
32	2738	4434	7094	8104	12415	18444
33	2633	4193	6547	7794	11740	17022
34	2523	3860	5951	7468	10808	15473
35	2437	3579	5288	7214	10021	13749
36	2815	4912	8153	8332	13754	21198
37	2633	4599	7601	7794	12877	19763
38	2437	4228	6961	7214	11838	18099
39	2193	3782	6256	6491	10590	16266
40	1881	3229	5288	5568	9041	13749
41	1457	2441	4096	4313	6835	10650
42		875 000			2 100 000	

B. GÖMÜLÜ TEMELLİ ZEMİN-TEMEL SİSTEMLERİ

(Ref: Şekil 3.5)

TABLO E 3.4 - Temel Kütle Oranı=1.0 Sistemi

Malzeme No.	KAYMA MODÜLÜ, G (τ/m^2)			ELASTİK MODÜL, E (τ/m^2)		
	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin
1	4637	8242	13743	13726	23078	35732
2	4386	7796	13000	12983	21829	33800
3	4120	7323	12211	12195	20504	31749
4	3836	6817	11368	11355	19088	29557
5	3528	6271	10457	10443	17559	27188
6	3191	5672	9459	9445	15882	24593
7	2815	5003	8342	8332	14008	21689
8	2379	4228	7050	7042	11838	18330
9	1843	3275	5461	5455	9170	14199
10	1064	1891	3153	3149	5295	8598
11	3279	5828	9718	9706	16318	22567
12	3101	5513	9192	9179	15436	23899
13	2913	5178	8634	8622	14498	22448
14	2712	4821	8038	8028	13499	20899
15	2495	4434	7394	7385	12415	19224
16	2257	4011	6688	6681	11231	17389
17	1990	3537	5898	5890	9904	15335
18	1682	2990	4985	4979	8372	12961
19	1843	2316	3861	5455	6485	10039
20	752	1337	2229	2226	3744	5795
21	2961	5178	8934	8765	14498	22488
22	3343	4882	8038	9895	13670	20899
23	2888	4664	7519	8551	13059	19549
24	3009	4695	7224	8907	13146	18782

TABLO E 3.4 - (devam)

25	3191	4851	7224	9445	13583	18782
26	3704	5120	7436	10964	14336	19334
27	2764	4821	8038	8181	13499	20899
28	2606	4434	7394	7714	12415	19224
29	2466	4157	6688	7799	11640	17389
30	2378	3860	6105	7039	10808	15873
31	2288	3558	5517	6772	9962	14344
32	2712	4821	8038	8028	13499	20899
33	2495	4434	7394	7385	12415	19224
34	2257	4011	6688	6681	11231	17389
35	1990	3537	5898	5890	9904	15335
36		875 000			2 100 000	

TABLO E 3.5 - Temel Kütle Oranı = 1.5 Sistemi

Malzeme No.	KAYMA MODÜLÜ, G (t/m ²)			ELASTİK MODÜLÜ, E (t/m ²)		
	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin
1	4637	8242	13743	13726	23078	35732
2	4386	7796	13000	12983	21829	33800
3	4120	7323	12211	12195	20504	31749
4	3836	6817	11368	11355	19088	29557
5	3528	6271	10457	10443	17559	27188
6	3191	5672	9459	9445	15882	24593
7	2815	5003	8342	8332	14008	21689
8	2379	4228	7050	7042	11838	18330
9	1843	3275	5461	5455	9170	14199
10	1064	1891	3153	3149	5295	8198
11	3279	5828	9718	9706	16318	22567
12	3101	5513	9192	9179	15436	23899
13	2913	5178	8634	8622	15498	22448
14	2712	4821	8038	8028	13499	20999
15	2495	4434	7394	7385	12415	19224
16	2257	4011	6688	6681	11231	17389
17	1990	3537	5898	5890	9905	15335
18	1682	2990	4985	4979	8372	12961
19	1843	2316	3861	5455	6485	10039
20	752	1337	2229	2226	3744	5795
21	3101	5235	8634	9179	14658	22448
22	3124	5120	8153	9247	14336	21198
23	3235	5149	7961	9575	14417	20699
24	3488	5320	8077	10324	14896	21000
25	3298	9725	8416	10242	16030	21882

TABLO E 3.5 - (devam)

26	4288	6223	8987	12692	17424	23366
27	2864	4882	8038	8477	13670	20899
28	2764	4664	7478	8181	13059	19443
29	2712	4401	7050	8028	12323	18330
30	2686	4228	6595	7951	11838	17147
31	2659	4048	6105	7871	11334	15873
32	2712	4821	8038	8028	13499	20899
33	2495	4434	7394	7385	12415	19224
34	2257	4011	7688	7681	11231	17389
35	1990	3937	5898	5890	9904	15335
36		875 000			2 100 000	

C. Üç Boyutlu Zemin-Temel Sistemleri

(Ref: Şekil 3.8)

TABLO E 3.6 - Temel Kütle Oranı=1.0 Sistemi

Malzeme No.	KAYMA MODÜLÜ, G (t/m ²)			ELASTİK MODÜL, E (t/m ²)		
	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin	Gevşek Zemin	Orta Zemin	Sıkı Zemin
1	4101	7290	12156	12139	20412	31606
2	2258	4014	6688	6684	11239	17389
3	2727	5294	9008	8072	14832	23421
4	1732	2963	4719	5127	8296	12269
5	3170	4840	7299	9383	13553	18977
6		875 000			2 100 000	

EK 4

ZEMİN
BOYUTME KATSAYILARI

ZEMİN TÜRÜ	DEPREM DOĞAL TİTREŞİM PERİYODU (san)	BÜYÜTME KATSAYISI A
GEVŞEK	0.2	7.92
	0.6	23.8
	1.2	2.72
ORTA	0.2	2.29
	0.6	5.81
	1.2	2.44
SIKI	0.2	2.01
	0.6	3.81
	1.2	2.29

EK 5

KULLANILAN TEMELLERİN
DİNAMİK ÖZELLİKLERİ

SEMBOLLER

- a = Temel kısa eksenine paralel boyut
 b = Temel uzun eksenine paralel boyut
 l = Temel yüksekliği
 r_{ez} = Düşey titreşimler için eşdeğer yarıçap
 r_{ex} = Yatay titreşimler için eşdeğer yarıçap
 $r_{e\theta}$ = Burulmalı titreşimler için eşdeğer yarıçap
 $r_{e\psi_1}$ = Uzun eksen etrafındaki sallanmalı titreşimler için eşdeğer yarıçap
 $r_{e\psi_2}$ = Kısa eksen etrafındaki sallanmalı titreşimler için eşdeğer yarıçap
 I_{θ} = Burulmalı titreşimler için kütle atalet momenti
 I_{ψ_1} = Uzun eksen etrafındaki sallanmalı titreşimler için kütle atalet momenti
 I_{ψ_2} = Kısa eksen etrafındaki sallanmalı titreşimler için kütle atalet momenti
 B_z = Düşey titreşimler için kütle oranı
 B_x = Yatay titreşimler için kütle oranı
 B_{θ} = Burulmalı titreşimler için kütle oranı
 B_{ψ_1} = Uzun eksen etrafındaki sallanmalı titreşimler için kütle oranı
 B_{ψ_2} = Kısa eksen etrafındaki sallanmalı titreşimler için kütle oranı
 m = Temel kütlesi
 ν = Poisson Oranı
 ρ = Zemin kütle yoğunluğu

İLİŞKİLER

$$r_{ez} = r_{ex} = \sqrt{\frac{ab}{\pi}}$$

$$r_{e\theta} = \sqrt[4]{\frac{4ab [(a/2)^2 + (b/2)^2]}{6\pi}}$$

$$r_{e\psi_1} = \sqrt[4]{\frac{16 (b/2) (a/2)^3}{3\pi}}$$

$$r_{e\psi_2} = \sqrt[4]{\frac{16 (a/2) (b/2)^3}{3\pi}}$$

$$I_{\theta} = \frac{m}{12} (a^2 + b^2)$$

$$I_{\psi_1} = \frac{m}{12} (a^2 + l^2)$$

$$I_{\psi_2} = \frac{m}{12} (b^2 + l^2)$$

$$B_z = \frac{1-\nu}{4} \frac{m}{\rho r_{ez}^3}$$

$$B_x = \frac{7-8\nu}{32(1-\nu)} \frac{m}{\rho r_{ex}^3}$$

$$B_{\theta} = \frac{I_{\theta}}{\rho r_{e\theta}^5}$$

$$B_{\psi} = \frac{3(1-\nu)}{8} \frac{I_{\psi}}{\rho r_{e\psi}^5}$$

TABLO E5.1

KULLANILAN TEMELLERİN
DEĞİŞİK TİTREŞİMLERDEKİ EŞDEĞER YARIÇAP
VE
KÜTLE ATALET MOMENTİ DEĞERLERİ

UZUNLUK/ GENİŞLİK ORANI	Ağırlık (t)	r_{ez} (m)	r_{ex} (m)	$r_{e\theta}$ (m)	$r_{e\psi_1}$ (m)	$r_{e\psi_2}$ (m)	I_{θ} (t-m/san ²)	I_{ψ_1} (t-m/san ²)	I_{ψ_2} (t-m/san ²)
1	50	2.00	2.00	2.02	2.02	2.02	10.65	63.70	63.70
	100	2.00	2.00	2.02	2.02	2.02	21.30	196.3	196.3
	150	2.00	2.00	2.02	2.02	2.02	31.96	466.7	466.7
2	50	2.00	2.00	2.13	1.70	2.40	13.25	37.50	115.7
	100	2.00	2.00	2.13	1.70	2.40	26.50	143.5	300.2
	150	2.00	2.00	2.13	1.70	2.40	39.76	388.2	622.5
4	50	2.00	2.00	2.44	1.42	2.86	22.73	24.40	221.5
	100	2.00	2.00	2.44	1.42	2.86	45.46	117.7	511.9
	150	2.00	2.00	2.44	1.42	2.86	68.20	348.8	940.2
8	50	2.00	2.00	2.86	1.20	3.39	43.12	18.00	428.2
	100	2.00	2.00	2.86	1.20	3.39	86.24	104.9	925.2
	150	2.00	2.00	2.86	1.20	3.39	129.4	329.6	1560.

TABLO E5.2

KULLANILAN TEMELLERİN
DEĞİŞİK ZEMİN ŞARTLARINDAKİ
KÜTLE ORANLARI

ZEMİN TÜRÜ	KÜTLE ORANLARI	TEMEL TABANI UZUNLUK/GENİŞLİK ORANI, L											
		1			2			4			8		
		AĞIRLIK (t)			AĞIRLIK (t)			AĞIRLIK (t)			AĞIRLIK (t)		
		50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150
GEVŞEK	B _Z	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
	B _X	0.74	1.5	2.2	0.74	1.5	2.2	0.74	1.5	2.2	0.74	1.5	2.2
	B _θ	1.94	3.88	5.83	1.85	3.71	5.56	1.61	3.22	4.83	1.38	2.76	4.14
	B _{ψ₁}	0.23	0.71	1.69	0.52	1.23	3.84	0.52	2.48	7.36	0.88	5.14	16.1
	B _{ψ₂}	0.23	0.71	1.69	0.18	0.46	0.95	0.14	0.33	0.60	0.12	0.25	0.42
ORTA	B _Z	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
	B _X	0.65	1.3	2.0	0.65	1.3	2.0	0.65	1.3	2.0	0.65	1.3	2.0
	B _θ	1.64	3.27	4.91	1.56	3.12	4.68	1.38	2.71	4.07	1.16	2.33	3.49
	B _{ψ₁}	0.23	0.69	1.65	0.31	1.20	3.24	0.50	2.41	7.15	0.86	4.99	15.7
	B _{ψ₂}	0.23	0.69	1.65	0.17	0.45	0.93	0.14	0.32	0.58	0.11	0.25	0.41
SIKI	B _Z	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
	B _X	0.58	1.2	1.8	0.58	1.2	1.8	0.58	1.2	1.8	0.58	1.2	1.8
	B _θ	1.41	2.82	4.24	1.35	2.70	4.04	1.17	2.34	3.52	1.00	2.01	3.01
	B _{ψ₁}	0.23	0.69	1.65	0.31	1.20	2.80	0.50	2.43	7.21	0.86	5.03	15.8
	B _{ψ₂}	0.23	0.69	1.65	0.17	0.45	0.93	0.14	0.32	0.58	0.11	0.25	0.41