

# RİJİTLİK DAĞILIMININ BURULMA DÜZENSİZLİĞİNE ETKİSİ

Prof.Dr. Günay ÖZMEN

## 1. GİRİŞ

Çağdaş deprem yönetmeliklerinde, en çok göz önüne alınan düzensizlik türü, "Planda Burulma Düzensizliği"dir, [1]. Bu yönetmeliklerde, genel olarak benimsenen yol, burulma ile ilgili parametrelerin belirli değerleri aşması halinde "Ek dışmerkezlilik"lerin artırılarak yatay yük analizinin tekrarlanmasıdır. 1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe giren "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"te de aynı yol benimsenmiş bulunmaktadır [2]. Son yıllarda, bu düzensizlik türü ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. Ancak bunların çoğunda, burulma düzensizliği konusu, tek katlı yapılar üzerinde incelenmiş bulunmaktadır. Yazar tarafından yürütülen ve Türkiye Deprem Vakfı tarafından desteklenen bir araştırma projesinde, burulma düzensizliği konusu yapı tipleri açısından kapsamlı bir biçimde ele alınarak uygulama bakımından yararlı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır, [3].

Genel olarak, burulma yapan yapılar 4 sınıfta toplanabilmektedir:

1. Geometrik bakımdan düzensiz olan yapılar,
2. Rijitlik dağılımı bakımından düzensiz olan yapılar,
3. Geometri ve rijitlik dağılımı bakımından düzensiz olan yapılar,
4. Gizli burulma düzensizliği olan yapılar.

Bu konuların tümünü kapsayan söz konusu araştırma projesi tamamlanmış ve elde edilen sonuçlar yayınlanmıştır, [3]. Projede "Geometrik Bakımdan Düzensiz Yapılar" ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar "Türkiye Mühendislik Haberleri"nin önceki sayısında yayınlanmış bulunmaktadır, [4]. Aşağıdaki bölümlerde "Rijitlik Dağılımı Bakımdan Düzensiz Yapılar" ile ilgili bazı örneklerden elde edilen sonuçlar açıklanacaktır.

## 2. YÖNTEM

Rijitlik dağılımı bakımından düzensiz olan yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarını incelemek amacı ile, daha önceki çalışmalarımızda da kullanılan bir "Sayısal Deney" yöntemi kullanılmıştır, [5]. Bunun için, rijitlik dağılımı bakımından düzenli ve düzensiz olan bazı tipik yapılar seçilerek deprem analizi ve boyutlandırma hesapları yapılmaktadır. Analiz ve boyutlandırmaların gerçekleştirilmesi için BİLSAR-YAPI 2000 yazılımı kullanılmıştır. Daha sonra tipik yapıların analiz ve boyutlandırma sonuçları karşılaştırılarak elde edilen bulgular irdelenmektedir.

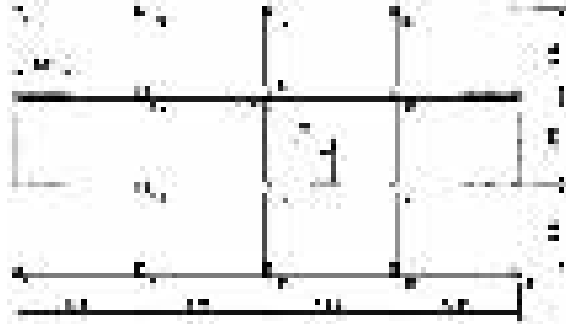
## 3. ÖRNEKLER

Bu bölümde rijitlik dağılımı bakımından düzenli ve düzensiz olan bazı tipik yapılar ele alınarak deprem hesabı

ve boyutlandırma sonuçları irdelenecektir. Gözönüne alınan tüm yapılarda geometrik bakımdan düzensizlik etkisi bulunmamasını sağlamak amacı ile, plan geometrisi dikdörtgen olarak seçilmiş bulunmaktadır. Rijitlik düzensizliği oluşturmak için, elverişsiz konumda bulunan perdeler kullanılmıştır. Perdeler yerleştirilirken X eksenini (yatay eksen) boyunca simetri bozulmamıştır. Bu nedenle, aşağıda sadece Y eksenini doğrultusundaki yüklemeye ait burulma düzensizlikleri incelenecektir. Bu bölümdeki tüm tipik yapılar süneklilik düzeyi bakımından "Karma" sistemler olarak boyutlandırılmış bulunmaktadır. Seçilen tüm tipik yapılar 10 katlı olup, kat yükseklikleri, normal katlarda 3.00m, en alt katta da 4.00m'dir. Böylece toplam yapı yükseklikleri  $H_N=31.00$  m olmaktadır.

### 3.1 Örnek 1: Düzenli Yapı

Düşey taşıyıcı elemanları kolon ve perdelerden oluşan ve DKP1 olarak nitelendirilen simetrik tipik yapının kat kalıp planı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: DKP1 Tipi Yapı Kalıp Planı

Tüm katlardaki kirişler 25x50 cm<sup>2</sup> boyutundadır. Süneklilik düzeyi bakımından "Karma" olarak boyutlandırılmış olan yapının kolon kesitleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Kat	K1	K2	K3	K4
10	25x50	25x50	25x50	25x50
9	25x50	25x50	25x50	25x50
8	25x50	25x50	25x50	25x50
7	25x50	25x50	25x50	25x50
6	25x50	25x50	25x50	25x50
5	25x50	25x50	25x50	25x50
4	25x50	25x50	25x50	25x50
3	25x50	25x50	25x50	25x50
2	25x50	25x50	25x50	25x50
1	25x50	25x50	25x50	25x50

Tablo 1: DKP1 Tipi Yapı Kolon Kesitleri (cmxcm)

Kat ağırlıkları en üst kat, normal katlar ve en alt katta, sırası ile, 165 t, 238 t ve 291 t'dur. Toplam yapı ağırlığı  $W = 2360$  t olmaktadır. Deprem hesaplarında, Etkin Yer İvmesi Katsayısı  $A_0 = 0.30$ , Karakteristik Zemin Periyodu  $T_B = 0.40$ , Bina Önem Katsayısı  $I = 1$  olarak alınmıştır. Analiz ve boyutlandırma hesaplarının ayrıntıları burada gösterilmemiştir. X ve Y doğrultularındaki minimum, ortalama ve maksimum relatif kat yerdeğiştirmeleri ( $\Delta_{min}$ ,  $\Delta_{ort}$ ,  $\Delta_{max}$ ) ile  $\eta_p = \Delta_{max}/\Delta_{ort}$  burulma düzensizliği oranları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Relatif Yerdeğiştirmeler ve Burulma Düzensizliği Katsayıları

Tablonun incelenmesinden görüleceği gibi, bu örnek için, her iki doğrultuda ve tüm katlarda,  $\eta_b$  burulma düzensizliği katsayıları 1.20 sınır değerinin altındadır. Kenar akslardaki perdelerin varlığı nedeniyle,  $\eta_b$  katsayıları çok küçük mertebelerde kalmaktadır.

Boyutlandırma hesapları sonunda, tüm kolonlarda minimum donatının yeterli olduğu görülmüştür. Perde donatılarında, kritik perde yüksekliği boyunca, bir miktar artım olduğu saptanmıştır. En yüksek perde donatı oranı % 1.65 olarak hesaplanmıştır.

### 3.2 Örnek 2: Rijitlik Dağılımı Bakımından Düzensiz Yapı

Düşey taşıyıcı elemanları perde ve kolonlardan oluşan ve DKP2 olarak nitelendirilen 10 katlı düzensiz tipik yapının kat kalıp planı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: DKP2 Tipi Yapı Kalıp Planı

Şekilde görüldüğü gibi, seçilen yapının burulma bakımından elverişsiz nitelikte olabilmesi için, Y doğrultusundaki perdeler 1 kenar aksına yerleştirilmiştir. Yapının, Tip DKP1’e benzer olarak seçilmiş olan kolon kesitleri Tablo 3’te gösterilmiştir. Perde kalınlıkları 25 cm.dir.

Tablo 3: DKP2 Tipi Yapı Kolon Kesitleri (cm²)

Tüm katlardaki kirişler 25x50 cm<sup>2</sup> boyutundadır. Sadece 1 aksındaki perdelerle sapslanan kirişlerin kesitleri 25x80 cm<sup>2</sup> olarak seçilmiştir. Kat ağırlıkları en üst kat, normal katlar ve en alt katta, sırası ile, 163 t, 231 t ve 276 t’dir. Toplam yapı ağırlığı W = 2287 t olmaktadır.

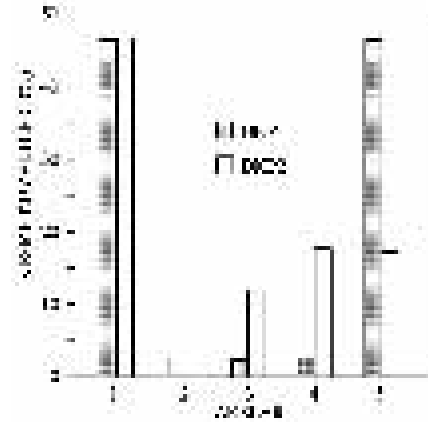
Kat ağırlık merkezleri Şekil 2’deki X ve Y eksenlerinin kesiştiği noktadır. Bu yapının Y doğrultusunda yapılan deprem hesabı sonunda, beklendiği gibi, en büyük burulma düzensizliklerinin +0.05 dışmerkezlikli yüklemelerde olduğu görülmüştür. Bu yüklemeye ait burulma düzensizliği katsayıları Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4: Yapı Tip DKP2 Burulma Düzensizliği Katsayıları

Tabloda görüldüğü gibi, Y doğrultusundaki tüm  $\eta_b$  burulma düzensizliği katsayıları 1.20 sınır değerinden büyüktür. Max  $\eta_b = 1.915$  olarak bulunmaktadır. Rijitlik dağılımı bakımından bu kadar elverişsiz olan bu yapıda, bu durum doğal karşılanmalıdır. Bu yapıya ait burulma düzensizliği katsayılarının, Kaynak [4]’te ele alınan, geometrik bakımdan düzensiz yapılarınkilere oranla, çok yüksek oldukları görülmektedir. Böylece rijitlik dağılımı düzensizliğinin, geometrik düzensizlikten çok daha etkili olduğu sonucuna varılmaktadır. Bir başka ilgi çekici olan husus, burulma bakımından bu kadar elverişsiz olan bu yapıda bile,  $\eta_b$  burulma düzensizliği katsayılarının, ABYYHY’te eşdeğer deprem yükü uygulaması için sınır değer olarak belirtilen 2.00 değerinin altında olmalarıdır.

#### 3.2.1 Yapı Tip DKP1 ile Karşılaştırma

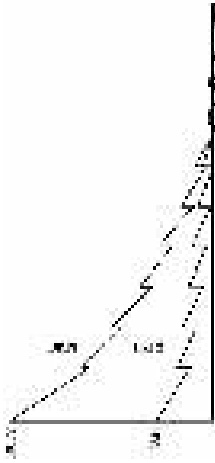
Yapı Tip DKP2 ile DKP1’in analiz ve boyutlandırılmalarının karşılaştırılmasından ilginç sonuçlar elde edilmektedir. Örneğin, iki tip yapının 1. kattaki kesme kuvvetleri dağılımları, Şekil 3’te gösterildiği gibi, karşılaştırılmıştır.



Şekil 3: DKP1 ve DKP2 Tipi Yapıların 1. Katlarında Kesme Kuvvetleri Dağılımı

Şekilde her iki yapının, Y doğrultusundaki 1. kat kolon kesme kuvvetlerinin akslar boyunca toplamlarının toplam kat kesme kuvvetine oranları gösterilmiş bulunmaktadır. Görüldüğü gibi DKP1 tipi yapıda, kat kesme kuvvetinin çok büyük bir yüzdesi 1 ve 5 akslarındaki perdeler tarafından karşılanmaktadır. Buna karşılık DKP2 tipi yapıda 1 aksındaki perdelerin karşıladığı kat kesme kuvveti oranı oldukça düşüktür. Kolonlu aksların karşıladıkları kesme kuvvetlerinin oldukça yüksek olduğu ve değerlerinin zayıf tarafa doğru arttığı gözlenmektedir. Rijitlik merkezine yakın olan perdeler burulmadan fazla etkilenmemekte, Buna karşılık, zayıf tarafa yakın olan kolonlar burulmadan daha çok etkilenmektedirler.

Şekil 4'te her iki tip yapının 1 aksındaki perdelerle ait eğilme momenti diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 4: DKP1 ve DKP2 Tipi Yapıların 1 Akslarında Perde Eğilme Momentleri (kNm)

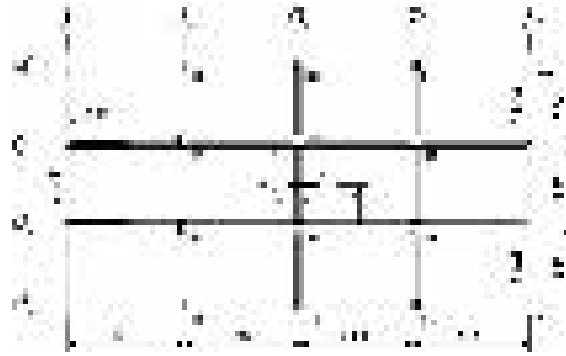
Görüldüğü gibi, DKP1 tipi yapıda perde taban momenti, DKP2 tipi yapınının 3 katından fazladır.

Yapıların davranışlarındaki bu farklılık boyutlandırma da bir miktar etkili olmaktadır. Nitekim, yukarıda belirtildiği gibi, DKP1 tipi yapının perdelerinin alt bölümlerinde % 1.65 oranında donatı hesaplanmıştır. Buna karşılık DKP2 tipi yapıda perde donatı oranı en çok % 1.27 olarak bulunmuştur. Yukarıda belirtildiği gibi, DKP1 tipi yapıda tüm kolonlar için, minimum donatı yeterli olmaktadır. Bu durum DKP2 tipi yapı için de geçerlidir. Sadece S2 köşe kolonları için, 1. katta % 1.62 donatı oranı hesaplanmıştır.

Bu kadar aşırı oranda burulma yapan bir yapının boyutlandırılmasında, simetrik yapılardan daha fazla donatı bulunmamış olması ilgi çekici bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır.

### 3.3 Örnek 3: Rijitlik Dağılımı Düzeltilmiş Yapı

Aşırı burulma düzensizliği olan Yapı Tip DKP2'nin davranışını düzeltmek amacı ile bazı önlemler alınmış ve kalıp planı Şekil 5'te gösterilen Yapı Tip DKP3 elde edilmiştir.



Şekil 5: DKP3 Tipi Yapı Kalıp Planı

Şekilde görüldüğü gibi, 1 aksındaki perdeleri dengelemek amacı ile, 5 aksına tek bir perde yerleştirilmiştir. Ayrıca 5 aksındaki kiriş kesitleri 25x70 cm<sup>2</sup> olarak büyütülmüştür. Diğer tüm kiriş kesitleri 25x50 cm<sup>2</sup> dir. Kolon kesitleri Tablo 3'te gösterildiği gibidir. Sadece S4 kolonları bulunmamaktadır. Perde kalınlıkları yine 25 cm.dir. Kat ağırlıkları en üst kat, normal katlar ve en alt katta, sırası ile, 167 t, 238 t ve 287 t'dur. Toplam yapı ağırlığı W = 2358 t olmaktadır. Bu yapının Y doğrultusunda, +0.05 dışmerkezlikli yüklemeye için, deprem analizi yapılmış ve elde edilen burulma düzensizliği katsayıları Tablo 5'te gösterilmiştir.

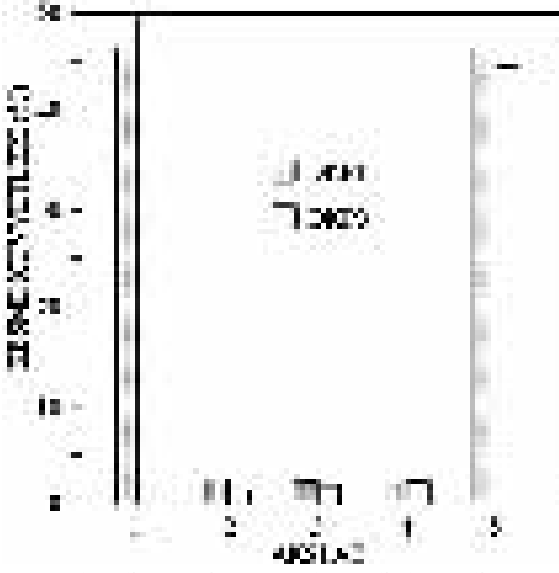
Kat	Yapı Tipi	Burulma Düzensizliği Katsayısı
1	DKP1	1.509
2	DKP1	1.20
3	DKP1	1.20
4	DKP1	1.20
5	DKP1	1.20
6	DKP1	1.20
7	DKP1	1.20
8	DKP1	1.20
9	DKP1	1.20
10	DKP1	1.20
11	DKP1	1.20
12	DKP1	1.20
13	DKP1	1.20
14	DKP1	1.20
15	DKP1	1.20
16	DKP1	1.20
17	DKP1	1.20
18	DKP1	1.20
19	DKP1	1.20
20	DKP1	1.20
21	DKP1	1.20
22	DKP1	1.20
23	DKP1	1.20
24	DKP1	1.20
25	DKP1	1.20
26	DKP1	1.20
27	DKP1	1.20
28	DKP1	1.20
29	DKP1	1.20
30	DKP1	1.20
31	DKP1	1.20
32	DKP1	1.20
33	DKP1	1.20
34	DKP1	1.20
35	DKP1	1.20
36	DKP1	1.20
37	DKP1	1.20
38	DKP1	1.20
39	DKP1	1.20
40	DKP1	1.20
41	DKP1	1.20
42	DKP1	1.20
43	DKP1	1.20
44	DKP1	1.20
45	DKP1	1.20
46	DKP1	1.20
47	DKP1	1.20
48	DKP1	1.20
49	DKP1	1.20
50	DKP1	1.20
51	DKP1	1.20
52	DKP1	1.20
53	DKP1	1.20
54	DKP1	1.20
55	DKP1	1.20
56	DKP1	1.20
57	DKP1	1.20
58	DKP1	1.20
59	DKP1	1.20
60	DKP1	1.20
61	DKP1	1.20
62	DKP1	1.20
63	DKP1	1.20
64	DKP1	1.20
65	DKP1	1.20
66	DKP1	1.20
67	DKP1	1.20
68	DKP1	1.20
69	DKP1	1.20
70	DKP1	1.20
71	DKP1	1.20
72	DKP1	1.20
73	DKP1	1.20
74	DKP1	1.20
75	DKP1	1.20
76	DKP1	1.20
77	DKP1	1.20
78	DKP1	1.20
79	DKP1	1.20
80	DKP1	1.20
81	DKP1	1.20
82	DKP1	1.20
83	DKP1	1.20
84	DKP1	1.20
85	DKP1	1.20
86	DKP1	1.20
87	DKP1	1.20
88	DKP1	1.20
89	DKP1	1.20
90	DKP1	1.20
91	DKP1	1.20
92	DKP1	1.20
93	DKP1	1.20
94	DKP1	1.20
95	DKP1	1.20
96	DKP1	1.20
97	DKP1	1.20
98	DKP1	1.20
99	DKP1	1.20
100	DKP1	1.20

Tablo 5: Yapı Tipi DKP3 Burulma Düzensizliği Katsayıları

Uygulanan yapısal değişiklikler sonucunda, burulmaların önemli oranda azaldıkları görülmektedir. Tabloda görüldüğü gibi bu yapı için de, Y doğrultusundaki tüm  $\eta_b$  burulma düzensizliği katsayıları 1.20 sınır değerinden büyüktür. Ancak bu değerler Yapı Tipi DKP2 için elde edilenlerden önemli oranda düşük olup  $\eta_b = 1.509$  olarak bulunmaktadır.

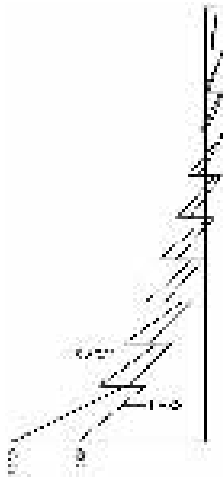
### 3.3.1 Yapı Tipi DKP1 ile Karşılaştırma

Yapı Tipi DKP3 ile DKP1'in 1. kattaki kesme kuvvetleri dağılımlarının karşılaştırılması Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6: DKP1 ve DKP3 Tipi Yapıların 1. Katlarında Kesme Kuvvetleri Dağılımı

İki tip yapıya ait kesme kuvvetleri dağılımının benzerliği ilgi çekicidir. Buradan, 1 aksındaki rijit perdeleri dengelemek üzere, 5 aksına yerleştirilen tek bir perdenin bile yapının davranışını önemli oranda düzelttiği sonucuna varılmaktadır. Yapı Tip DKP3'ün 1 aksındaki tek bir perde ile 5 aksındaki perdeye ait eğilme momenti diyagramları Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7: DKP3 Tipi Yapının 1 ve 5 Akslarında Perde Eğilme Momentleri (kNm)

5 aksındaki perde rijitliğinin 1 aksındaki perdelerinkinden küçük olmasına karşın bu aksdaki perde taban momentinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, epey azalmış olmalarına karşın, yine de önemli mertebelerde olan burulmalardır.

yapının boyutlandırılması sonunda, tüm kolonlarda

minimum donatının yeterli olduğu ve en yüksek perde donatı oranının da % 1.26 olarak hesaplandığı görülmüştür. Bu yapının donatı bakımından, DKP1 tipi yapıdan da daha elverişli durumda bulunması, toplam perde alanının daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Yukarıda ele alınan yapıların yatay yükler altındaki davranışlarının incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Rijitlik dağılımı bakımından düzensiz olan yapılarda, burulma düzensizliği çok yüksek düzeylerde olabilmektedir.

2. Burulma bakımından en elverişsiz nitelikteki yapılarda bile  $\eta_b$  burulma düzensizliği katsayıları, ABYYHY'te eşdeğer deprem yükü uygulaması için sınır değeri olarak belirtilen 2.00 değerinin altında kalmaktadır.

3. Bu tür yapıların "Zayıf" akslarındaki taşıyıcı elemanlarda yapılacak düzenlemelerle burulma düzensizliği geniş ölçüde giderilebilmektedir.

4. Burulma düzensizliğini azaltmak için en etkili önlem zayıf akslara, kısıtlı sayı ve boyutta da olsa, perde(ler) yerleştirilmesidir.

5. Zayıf akslardaki kolon ve/veya giriş boyutlarının artırılması da burulma düzensizliğini azaltma yönünde bir miktar yararlı olmaktadır.

6. Yüksek oranda burulma düzensizliği olan yapılarda bile, boyutlandırma bakımından önemli bir olumsuzlukla karşılaşmamaktadır. Yönetmeliklerde burulma düzensizliği için öngörülen önlemlerde değişiklik(ler) yapılmasının gerektiği ileri sürülebilir.

#### 5. KAYNAKLAR

- [1] Earthquake Resistant Regulations - A World List, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo 1996.
- [2] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Ağustos 1997.
- [3] G.Özmen, Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliği, Teknik Rapor No: TDV/TR 036-61, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, Ocak 2001.
- [4] G.Özmen, Plan Geometrisinin Burulma Düzensizliğine Etkisi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl: 46/2001 - SAYI: 410, Ankara, Nisan 2001.
- [5] G. Özmen, S. Pala, G. Gülay, E. Orakdoğen, Çok Katlı Yapılarda Yapısal Düzensizliklerin Deprem Hesabına Etkisi, Teknik Rapor No: TDV/TR 017-28, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, Kasım 1998, (TÜBİTAK - INTAG 546 No.lu araştırmanın kesin raporu).