

YAKIN FAY YER HAREKETLERİNİN YÖN ETKİSİ

Necmettin GÜNEŞ^{1*}, Zülfü Çınar ULUCAN², Ali Sayıl ERDOĞAN³

¹ Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bingöl Üniversitesi, Bingöl

ÖZET

Performansa dayalı tasarımın temel amacı yer hareketine maruz yapılarda yapısal talebin belirlenebilmesidir. Yapısal talebin doğru belirlenebilmesi, yer hareketi özelliklerinin ve bunlarla yapısal talep arasındaki ilişkinin doğru tanımlanabilmesini gerektirmektedir. Son yıllarda faylara yakın bölgelerde elde edilen kayıtların diğer kayıtlara göre önemli farklılıklar içerdiği görülmüştür. İleri doğrultu ve ötelenme etkileri bu yer hareketlerini farklılaştıran ve hasar potansiyellerini arttıran temel özelliklerdir.

İleri doğrultu etkisi fayın kırılma yüzeyine dik yönde meydana gelir ve bu yer hareketlerinin hasar potansiyelleri artırır. Ancak her kayıttın faya dik ve paralel yönlerini belirleyebilmek, fiziki imkansızlıklar nedeniyle, mümkün olmamaktadır. Bu nedenle etkili yönlerin belirlenebilmesi önemlidir. Literatürde maksimum hız yönü önerilen etkili yönlerden biridir. Bu çalışmada göreceli kat ötelenmesi spektrum şiddeti ve spektral hızın maksimum yönlerinin de etkili yönlerden olduğu tespit edilmiştir.

Maksimum hız yönünün etkinliği yer hareketinin atım periyodunun yapı periyodu oranına bağlı olduğu, bu oranın büyük olduğu durumlarda maksimum ivme yönü hasar potansiyelinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yakın Fay, yer hareketleri, ileri doğrultu etkisi, yön etkisi

DIRECTION EFFECT OF NEAR FAULT GROUND MOTIONS

ABSTRACT

The main objective of Performance Based Design is determining the structural demands for earthquake loadings. For a good estimation of structural demands, the relation between ground motion parameters and structural demands must be known. Near fault ground motions are significantly different from far field ground motions. Depending on the fault mechanism, ground motions may contain distinct pulse in velocity and permanent displacement in displacement records. These are increase the near fault ground motions damage potential.

Forward directivity occurs in faults normal direction and damage potential of this ground motions are high. But for all records, practically, it is not possible to determine the fault-normal and fault-parallel directions. In literature, to overcome this complexity the maximum velocity direction has been proposed. In this study in addition to maximum velocity direction two new directions, maximum drift spectrum intensity and maximum spectral velocity, were determined which are very effective as fault-normal direction.

The efficiency of maximum velocity direction depends on ratio of pulse period to structural period. In the case of high value of this ratio, the maximum acceleration ratio is more destructive.

Keywords: Near Fault, ground motions, directivity effect, direction effect

* Corresponding author.

E-mail: necmettin_gunes@yahoo.com

1. GİRİŞ

Northridge (1995) ve Kobe (1994) depremlerinin, faylara yakın bölgelerde, meydana getirdiği hasar düzeyleri beklenilen üzerinde olmuş ve bu nedenle yakın fay yer hareketleri birçok araştırmanın konusu olmuştur. Elde edilen yakın fay yer hareketleri incelendiğinde yüksek hız değerleri, içerdikleri atımlar ve fayın statik deplasmanı nedeniyle uzak mesafe yer hareketlerinden farklı oldukları anlaşılmıştır.

Faylara yakın bölgelerde yer hareketleri fayın kırılma mekanizması, kırılmanın yayılma yönü ve fayın kaymasıyla meydana gelebilecek tektonik ötelenmeden etkilenmektedir [1]. İlk iki etki nedeniyle faylara dik doğrultuda ileri doğrultu etkisi ve son etki nedeniyle de paralel doğrultuda büyük statik deplasman oluşturan ötelenme etkisi meydana gelir.

Kırılmanın bir bölgeye doğru kayma dalgası hızına yakın bir hız ile yayılması sonucunda ileri doğrultu etkisi meydana gelir [2]. Bu durumda elastik enerjinin büyük bir bölümü yer hareketinin başlangıcında bulunan atım içerisinde yayılır. İleri doğrultu etkisinin meydana gelebilmesi için kırılmanın bölgeye doğru yayılması ve fay üzerindeki kayma yönünün bölge ile aynı yönde olması gerekmektedir.

Doğrultu atımlı faylarda ileri doğrultu etkisi fayın kırılma yüzeyine dik doğrultuda, ötelenme etkisi ise faya paralel doğrultuda meydana gelir. Düşey atımlı faylarda ise fay yüzeyine yakın bölgelerde ileri doğrultu etkisi meydana gelir.

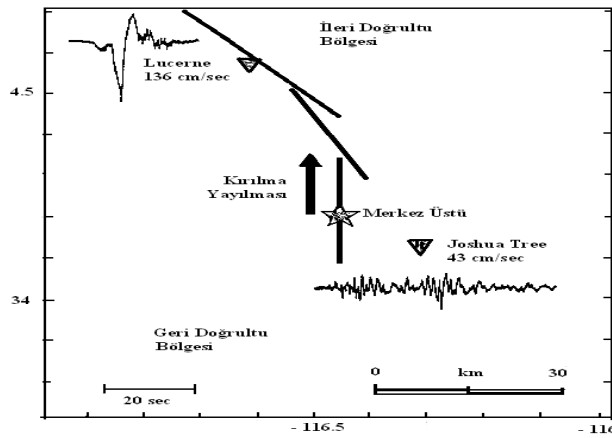
Gülkan [3] yer hareketlerinin faya normal yönlerinin çoğu zaman belirlenememesi nedeniyle maksimum hız yön bileşeninin (MVD) kullanılabilceğini göstermektedir. Bu çalışmada ayrıca maksimum hız yönü bileşeninin doğrultu etkili yön bileşeni kadar kritik olduğu belirtilmektedir. Ghayamghamian [4] Changurech-Avaj depreminde çevre köylerde tespit edilen kerpiç çitlerin önemli bir kısmının doğrultu etkisi yönünde hasar gördüğü, Shabestari ve Yamazaki [5] ChiChi (2003) depreminde Chelungpu fayının çevresinde kayıt istasyonlarında maksimum hız yönlerinin genellikle fayın normal yönünde olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada 43 adet yakın fay yer hareketi, tek serbestlik dereceli sistemlere maruz bırakılarak, yön etkileri belirlenmiştir. Talep parametreleri olarak spektral deplasman ve histeretik enerji kullanılmaktadır.

2. DOĞRULTU ve ÖTELENME ETKİLERİ

Doğrultu etkisi ileri doğrultu ve geri doğrultu etkisi olmak üzere iki farklı şekilde oluşmaktadır. Doğrultu atımlı faylarda ileri doğrultu etkisi, fayın kırılma doğrultusunun o bölgeye doğru olması, deprem merkez üssüne uzak, fayın kırılma yüzeyine yakın olması durumunda meydana gelmektedir. Fay kırığına ve merkez üssüne yakın olan bölgelerde ise geri doğrultu etkisi meydana gelir [1].

Şekil 1'de Lander (1992) depreminin fay kırığı ile Lucerne ve Joshua Tree istasyonlarında elde edilen hız kayıtları verilmektedir. Görüldüğü gibi Lucerne kaydında yüksek hız değeri ve uzun süreli bir atım bulunmaktadır. Ayrıca yer hareketi süresi ise kısadır. Buna karşın Joshua Tree kayıt istasyonunda uzun süreli düşük hız değerleri kaydedilmiştir. Lucerne ve Joshua Tree kayıt istasyonları sırasıyla ileri ve geri doğrultu etkileri içermektedir.

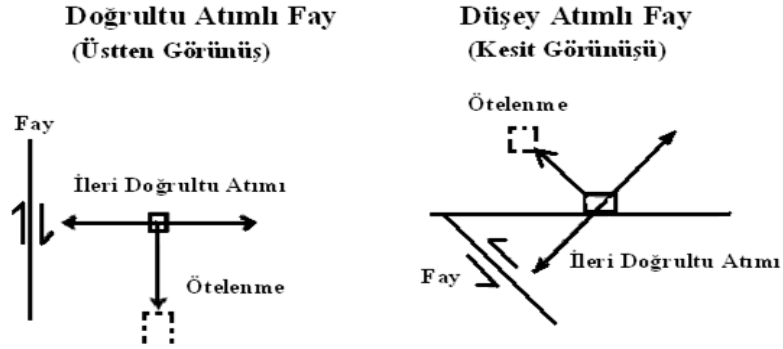


Şekil 1. Lander (1992) depremi ileri ve geri doğrultu etkileri [6]

İleri doğrultu etkisi fayın kırılma hızının kayma dalgasının yayılma hızından düşük olması nedeniyle meydana gelmektedir [7]. Fayın kırılma hızı, kayma dalgasının yayılma hızının yaklaşık % 80 oranındadır. Ancak bazı depremlerde fayın kırılma hızı kayma dalgası hızından yüksek olmaktadır. Kocaeli (1999) ve Düzce (1999) depremlerinde fayın kırılma hızı kayma dalgası hızının $\sqrt{2}$ katı olduğu tespit edilmiştir [8]. Bu duruma süper kayma kırılması denilmekte ve bu kırılma türü faylara paralel ve tek yönde hız atımı oluşturmaktadır [6].

İleri doğrultu etkisi doğrultu atımlı faylarda fay kırığına dik doğrultuda ve düşey atımlı faylarda ise fay düzleminin düşey yöndeki izdüşümüne yakın bölgelerde, fay düzlemine dik doğrultuda, meydana gelir [1, 7, 9]. Şekil 2'de verildiği gibi faylarda meydana gelen tektonik deformasyondan dolayı ötelenme etkisi meydana gelir.

İleri, geri doğrultu ve ötelenme etkileri arasında ileri doğrultu etkisi yakın fay yer hareketlerinin en yüksek hasar potansiyeline sahip özelliğidir. İleri doğrultu etkisi nedeniyle yer hareketi kayıtlarında meydana gelen atımlar ve yüksek hız değerleri, yakın fay yer hareketlerinin mühendislik özelliklerini belirleyen en temel parametrelerdir.



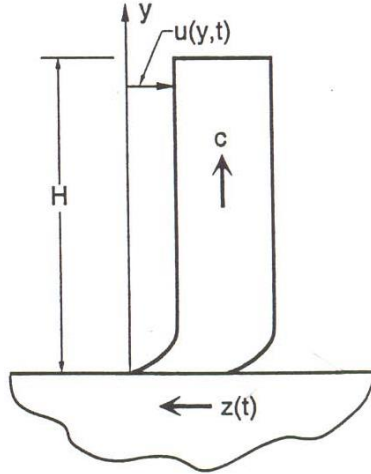
Şekil 2. Yatay ve düşey atımlı faylarda ileri doğrultu ve ötelenme etkisi yönleri

3. GÖRELİ KAT ÖTELENMESİ DEPLASMAN SPEKTRUMU

Tepki spektrumu, deprem yer hareketlerinin farklı periyotlu yapılar üzerindeki etkilerini basit bir şekilde gösteren önemli bir göstergedir. Housner tarafından 1950'li yıllarda önerilmiş olan tepki spektrumu tek serbestlik dereceli sistemler üzerinde deprem talebini temel mod esaslı belirlemektedir. Ancak yüksek katlı yapıların, atım içeren yer hareketleri etkisi altında, tepkileri dalga benzeri olmaktadır. Bu nedenle lokal deformasyonlar önemli olmaktadır. Temel mod esaslı tepki spektrumu bu lokal deformasyonları kestirmede yeterli olmamaktadır [3, 9, 11].

Görelî kat ötelenmesi deplasman spektrumu, temel mod esaslı tepki spektrumundan farklı olarak, yüksek modların etkilerini içermek amacıyla sürekli kayma kirişi modeli esas alınarak geliştirilmiştir [10]. Şekil 3'de verildiği gibi yüksekliği H , kat adedi N , temel periyodu T ve ilk modun sönüm oranı ζ , c dalga hızı ve yatay yönde $z(t)$ yer hareketine maruz olan bir yapının görelî kat ötelenmesi deplasman spektrumu, bir boyutlu ortamda sürekli dalga teorisi kullanılarak denklem 1'de verildiği gibi elde edilir [10].

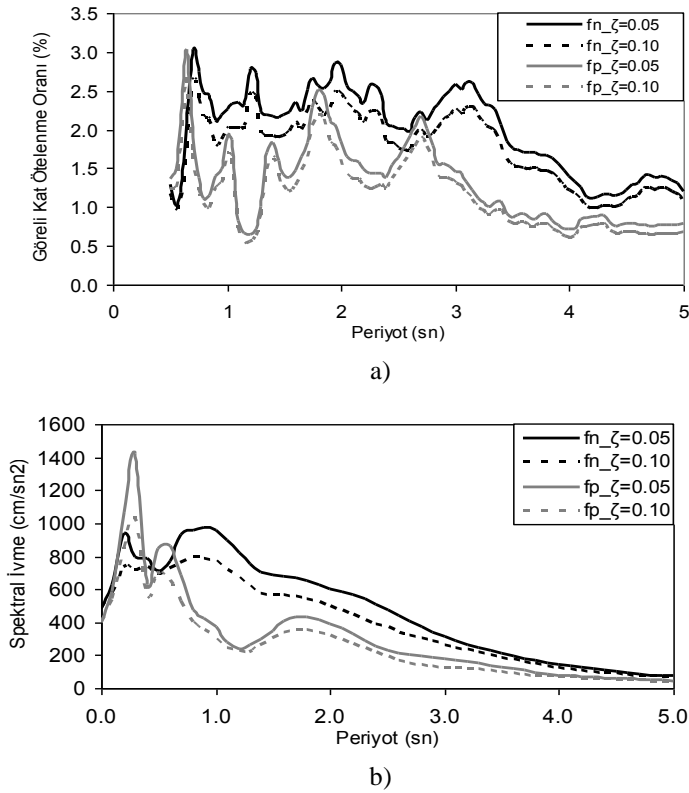
$$D(T, \zeta) = \max \frac{T}{4H} \left| v(t) + 2 \sum_{n=1}^{N=2t/T} (-1)^n e^{n\pi\zeta} v(t - nT/2) \right| \quad (1)$$



Şekil 3. Sürekli kayma kirişi modeli [10]

Erzincan depremi, Erzincan kayıt istasyonu faya dik (f_n) ve faya paralel (f_p) yönlerinin görelî kat ötelenmesi deplasman ve ivme spektrumları % 5 ve % 10 sönüm (ζ) oranlı olarak Şekil 4'de verilmektedir. Faya dik bileşenin ivme spektrumu 1 sn periyottan sonra azalmaktadır. Ancak aynı yer hareketinin 0.5-3sn aralığında büyük görelî kat ötelenmesi talebi oluşturduğu görülmektedir.

Görelî kat ötelenmesi deplasman spektrumu, yer hareketinin, lokal deformasyon taleplerini belirlerken tepki spektrumu global deformasyon taleplerini belirlemektedir. Bu nedenle tepki spektrumu ile görelî kat ötelenmesi spektrumu birbirini tamamlayıcı özelliklere sahiptirler [10].



Şekil 4. Erzincan faya normal ve faya paralel yönlerin a) görelî kat ötelenmesi spektrumu b) ivme spektrumu grafikleri

3.1 Görelî Kat Ötelenmesi Spektrum Şiddeti

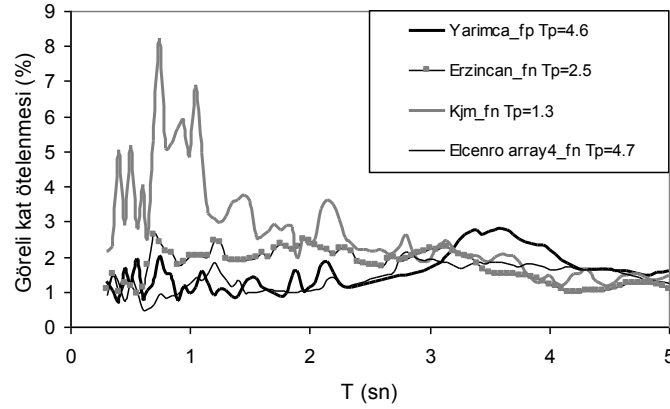
Akkar [12] yakın fay yer hareketleri için görelî kat ötelenmesi spektrum şiddetini, PGV (en büyük hız) değeri paralelinde bir parametre olarak vermekte ve görelî kat ötelenmesi spektrumunun 0.3–3.0 sn periyotları arasında kapladığı alan olarak tanımlanmaktadır.

Büyük depremler büyük atımlı yer hareketleri meydana getirmektedir. Şekil 5'de görüldüğü gibi Kocaeli Yarımca ve Elcentro Array4 kayıtlarının maksimum görelî kat ötelenme oranları 3 sn periyottan daha büyük periyotlarda meydana gelmektedir.

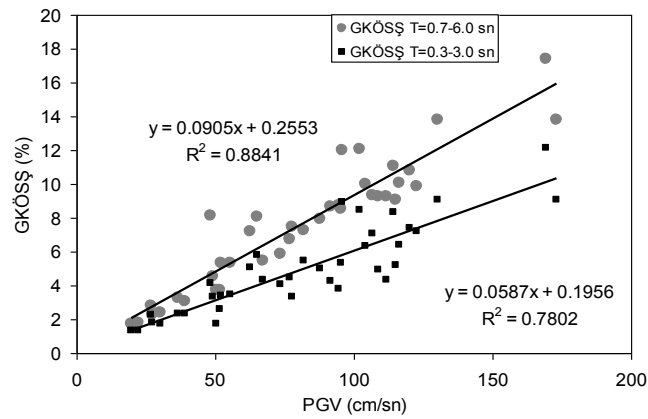
Bu çalışmada yüksek atım periyodu etkilerinin de görülebilmesi için görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti sınır değerleri değiştirilerek denklem 2'de verilmektedir.

$$I_{Ds} = \int_{0.7}^{6.0} Ds dT \quad (2)$$

Burada Ds ve T sırasıyla görelî kat ötelenmesi spektrumu ve spektral periyottur.



Şekil 5. Kocaeli depremi Yarımca faya paralel, Erzincan depremi Erzincan faya normal, Kobe depremi Kjm faya normal ve Imperial Valley depremi Elcentro array 4 faya normal kayıtları görelî kat ötelenmesi spektrumları ($\zeta = 0.05$)



Şekil 6. Farklı sınır değerlerine sahip GKÖŞŞ ile PGV ilişkisi

Tablo 1'de verilen 43 adet yer hareketinin GKÖŞŞ değerleri $T=0.3-3.0$ sn ve $T=0.7-6$ sn periyot aralıkları için ayrı ayrı elde edilmiş ve elde edilen değerler PGV değeri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6'de görüldüğü gibi sınır değerleri değiştirilen GKÖŞŞ ile PGV arasındaki korelasyon %13.3 oranında yükselmiştir.

Tablo 1. Yön etkilerinin belirlenmesinde kullanılan yer hareketlerinin fayı dik ve paralel kayıtları

No	Deprem Adı	Moment B.	Yer	Kayıt	d (km)	Faya Normal Yön			Faya Paralel Yön		
						PGA (cm/sn ²)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)	PGA (cm/sn ²)	PGV (cm/sn)	PGD (cm)
1	1966 Parkfield	6.4	Temblor	pk66tmb	6.5	364	22.4	4.6	243	12.3	3.1
2	1971 San Fernando	6.6	Pacoima Dam	st71pcd	3	1443	114.3	29.6	770	38	20.1
3	1976 Gazli	6.7	Karakyr Point	gz76kar	3	622	62.5	13.7	638	59.9	33
4	1979 Coyota Lake	5.6	Gilroy Array 6	cy79g06	1.2	443	51.5	7.1	327	27.1	4.5
5	1979 Imperial Valley	6.5	El Centro Array 4	iv79e04	6	350	77.8	58.7	466	40.1	20.7
6	1979 Imperial Valley	6.5	El Centro Array 5	iv79e05	2.7	368	91.5	61.9	516	49	37.3
7	1979 Imperial Valley	6.5	El Centro Array 6	iv79e06	0.3	433	111.8	66.5	392	64.7	24.8
8	1979 Imperial Valley	6.5	El Centro Array 7	iv79e07	1.8	453	108.8	45.5	329	44.5	24
9	1979 Imperial Valley	6.5	Meloland Route Overpass	iv79emo	1.2	371	115	40.2	261	27.3	14.5
10	1984 Morgan Hills	6.2	Anderson Dam	mh84and	2.6	430	27.3	4.3	277	28.6	6.4
11	1984 Morgan Hills	6.2	Halls Valley	mh84hvr	2	300	38.9	7.6	161	14.1	1.7
12	1984 Morgan Hills	6.2	Coyote Lake Dam	mh84cyc	0.1	849	67.2	9.8	981	68.7	14.1
13	1984 Morgan Hills	6.2	Gilroy Array 6	mh84g06	?	245	36.5	6.6	305	10.7	1.8
14	1986 N. Palm Springs	6.1	Desert Hot Springs	ps86dsp	6.4	323	26.9	5.7	285	20	4.8
15	1986 N. Palm Springs	6.1	North Palm Springs Post Off.	ps86nps	4	657	73.5	11.9	604	29.2	3.5
16	1987 Superstition Hills	6.6	El Centro	sh87icc	13.6	302	51.9	22.2	219	36.1	10.6
17	1987 Whittier Narrows	6	Downey, County Main. Bldg.	wn87dwn	16.4	230	30.4	4.1	122	9.4	1.2
18	1987 Whittier Narrows	6	Norwalk 12400 Imperial Hwy	wn87nor	15.7	231	19.8	3.9	126	11	2.1
19	1989 Loma Prieta	6.9	Gilroy Array 3	lp89g03	?	523	49.3	11	447	37	16.8
20	1989 Loma Prieta	6.9	Saratoga-Aloha Ave	lp89sg	8.3	356	55.5	29.4	369	43.3	15.8
21	1989 Loma Prieta	6.9	Los Gatos Pres. Center	lp89lgp	3	636	102.3	37.2	431	57.1	20.2
22	1992 Cape Men.	6.9	Petrolia	cm92pet	8.9	603	81.8	25.5	617	60.4	26
23	1992 Erzincaan	6.9	Erzincaan	ez92erz	2	479	95.5	32.1	401	45.9	16.9
24	1992 Landers	7.3	Lucerne Valley	ln92lcn	1.1	739	94.7	67.9	746	44	22.4
25	1994 Northridge	6.7	Jensen Filtration Plant	nr94jen	5.2	385	104.3	45.2	604	94.1	27.4
26	1994 Northridge	6.7	LA Dam	nr94ldm	5.6	565	77.1	20.1	407	40.7	16
27	1994 Northridge	6.7	Newhall Fire Station	nr94nwh	6.5	710	120	35.1	638	49.9	16.2
28	1994 Northridge	6.7	Rinaldi Receiving Station	nr94rrs	6	869	173	31.1	382	61.5	17.9
29	1994 Northridge	6.7	Sylmar Converter St. East	nr94sce	5	822	116.4	39.4	486	78.3	29.3
30	1994 Northridge	6.7	Sylmar Converter Station	nr94scs	5.1	583	130.2	54	780	93.3	53.3

Tablo 1'in devamı.

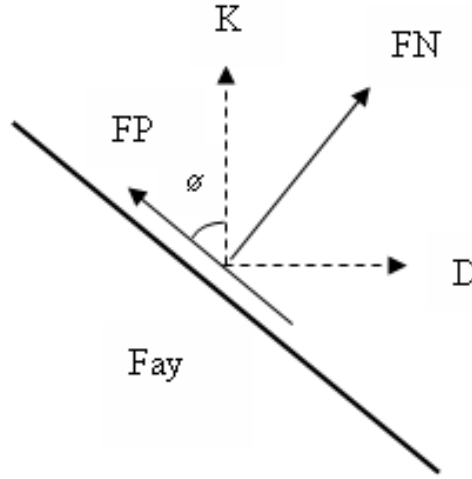
31	1994 Northridge	6.7	Sepulveda	nr94spv	8	708	65	21.1	742	72.7	10.4
32	1994 Northridge	6.7	Olive View Hospital	nr94syl	5.5	718	122.7	31.8	584	54.4	10.8
33	1994 Northridge	6.7	Newhall; Pico Canyon	nr94wpi	5.3	417	87.7	55.1	274	74.7	21.8
34	1994 Northridge	6.7	Pacoima Dam Upper Left A.	nr94pul	7.2	1350	106.9	23	1437	46.5	7
35	1995 Kobe	6.9	JMA	kb95kjm	0.4	838	95.7	24.5	538	53.4	10.3
36	1995 Kobe	6.9	Takatori	kb95tak	1.1	669	169.5	45	593	62.8	22.9
37	1999 Chi Chi	7.6	TCU052	cc99t052	0.8	230	79.9	102.4	477	176.7	297.2
38	1999 Chi Chi	7.6	TCU068	cc99t068	0.2	487	121.7	196.7	552	274.5	449.9
39	1999 Chi Chi	7.6	TCU075	cc99t075	0.6	278	51.7	49.6	299	73.2	71.4
40	1999 Chi Chi	7.6	TCU076	cc99t076	2.3	353	39.4	19.8	351	88.3	40.8
41	1999 Chi Chi	7.6	TCU129	cc99t129	1.5	744	36.6	29.8	874	57.7	52.8
42	1999 Kocaeli	7.4	Yarimca Parkim	iz99ypt	2.6	273	48.2	43.2	307	72.9	56.1
43	1999 Kocaeli	7.4	Gebze	iz99gbz	11	239	50.3	42.7	135	29.7	27.5

4. ETKİLİ YÖNLERİN BELİRLENMESİ ve HASAR POTANSİYELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yakın fay yer hareketlerinde hız ve deplasman yönleri fayın geometrisi tarafından kontrol edilmektedir. Bu nedenle yer hareketleri bir vektör olarak işlenebilir [13, 15]. Şekil 7’de verilen kuzey-güney ve doğu batı yönünde kaydedilen yer hareketi faya dik (FN) ve paralel (FP) yönlere;

$$FP = N \cos(\varnothing) - E \sin(\varnothing) ; \quad FN = N \cos(\varnothing) + E \sin(\varnothing) \quad (3)$$

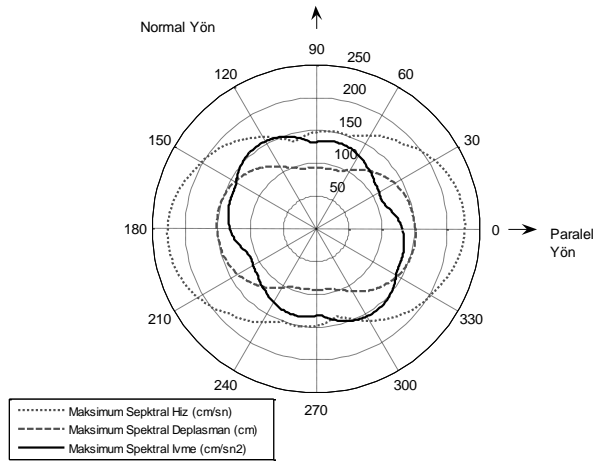
ifadesiyle dönüştürülebilir.



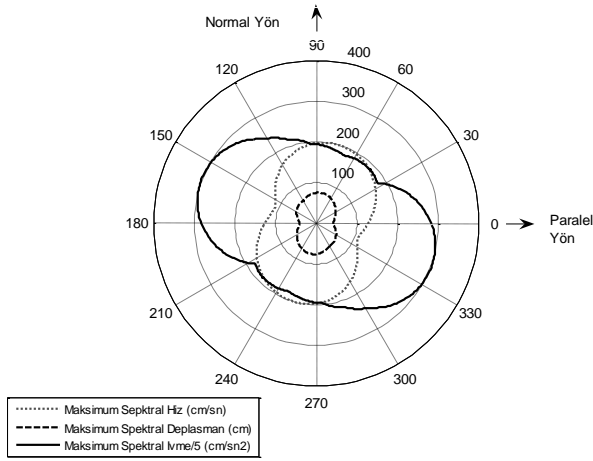
Şekil 7. İki bileşenli kaydın faya normal ve paralel yöne çevrilmesi [13].

Yakın fay kayıtlarında faya dik yönün sürekli doğru tespiti fiziki imkânsızlıklar nedeniyle mümkün olmamaktadır. Ancak azalım ilişkileri, tasarım spektrumu v.b. parametrelerin elde edilebilmesi için en etkili yönün belirlenmesi önemlidir.

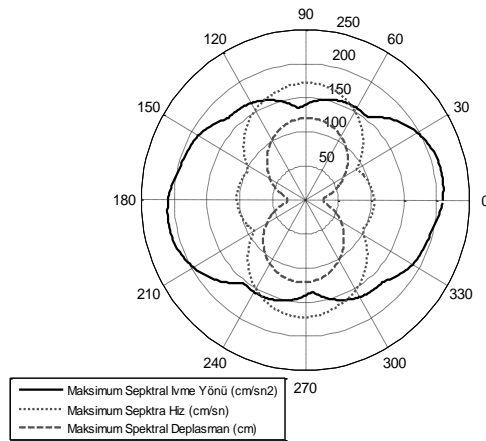
Şekil 8’de sırasıyla Kocaeli (1999) depremi Yarımca, Erzincan (1992) depremi Erzincan, Imperial Valley (1979) depremi Elcentro Array4 kayıtları spektral ivme, hız ve deplasman polar değerleri verilmektedir. Görüldüğü gibi maksimum spektral hız değerleri sürekli faya dik yönde meydana gelmemektedir. Şekil 8.a’da verilen Yarımca kaydının polar spektral hız değerleri faya paralel yönde daha büyüktür. Bu farklılık fayın tek tarafında hız atımlarının meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır [8]. Erzincan ve Elcentro Array 4 kayıtlarında maksimum spektral hız ve deplasman değerleri faya dik yönde meydana gelmektedir. Spektral ivme, hız ve deplasman polar değerlerinden görüldüğü gibi kayıtların maksimum ve minimum değerleri arasındaki oran oldukça yüksektir. Bu farklılık yer hareketlerinin spektral taleplerinde de görülmektedir. Kocaeli depremi Yarımca kaydının iki bileşeni kayıt noktası etrafında 1⁰ artımlarla toplam 360⁰ döndürülmüş ve bir bileşenin ivme, hız, deplasman ve göreceli kat ötelenme oranı spektrumları elde edilmiştir. Elde edilen 360 farklı spektrum Şekil 9’da verilmektedir. Spektral taleplerin özellikle atım süresine yakın periyotlarda büyük farklılık gösterdiği görülmektedir.



a)

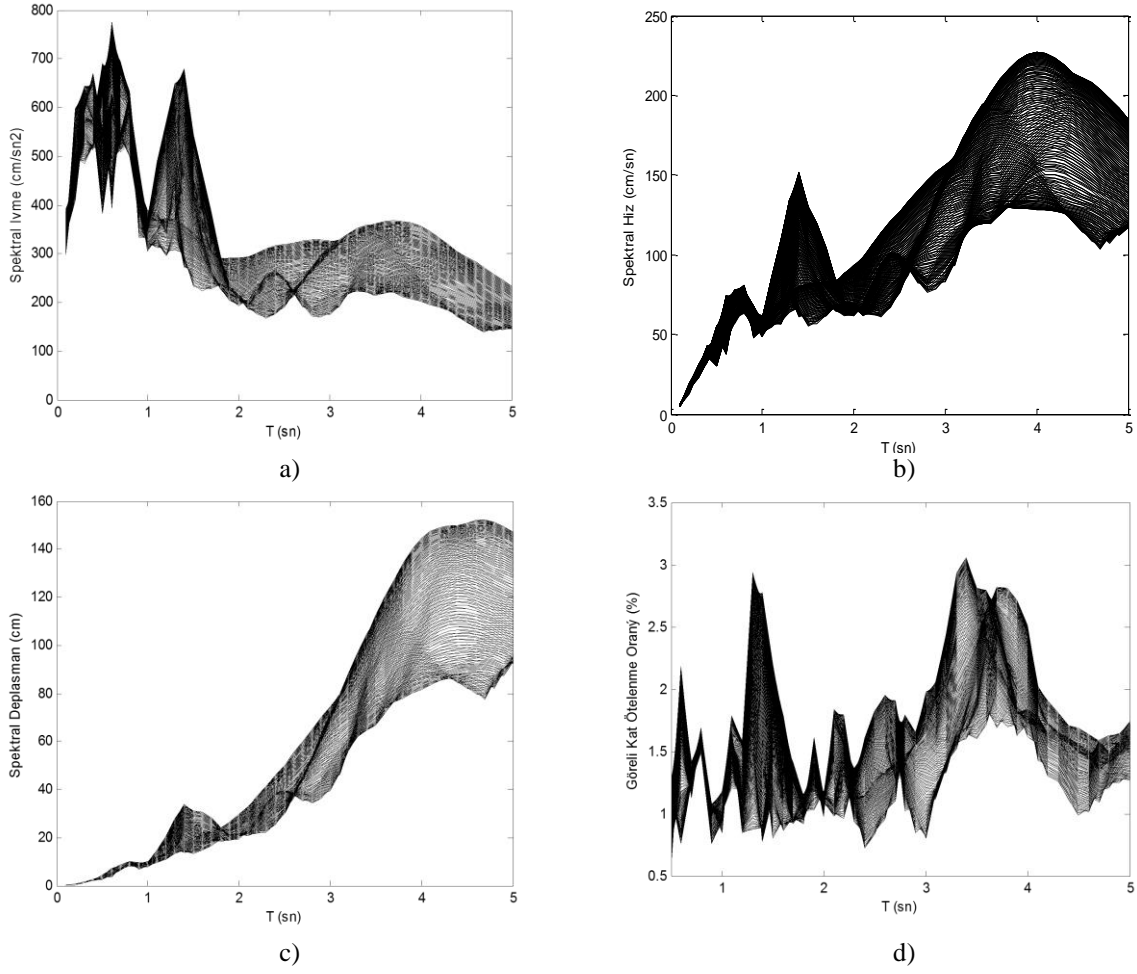


b)

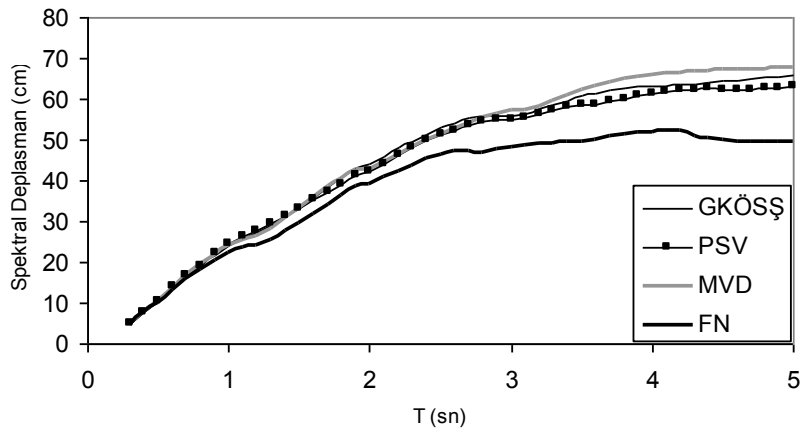


c)

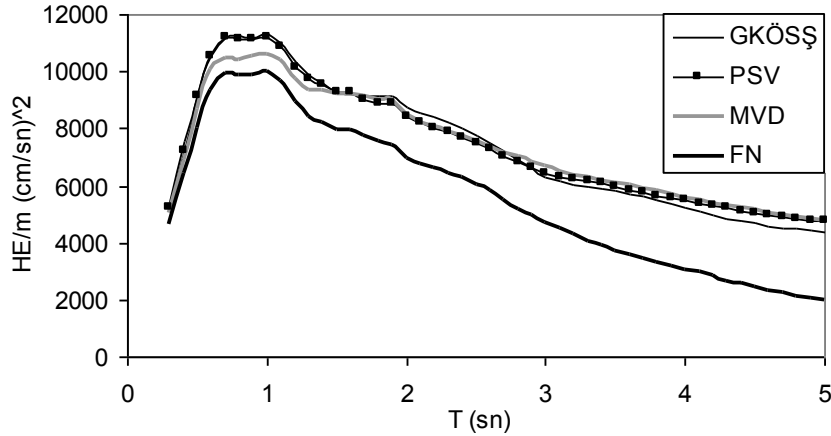
Şekil 8. (a) Kocaeli depremi Yarımca (b) Erzincan depremi (Erzincan) (c) Imperial Valley depremi Elcentro array 4 kayıtları spektral ivme, hız ve deplasman polar değerleri



Şekil 9. Kocaeli depremi Yarımca kayıt istasyonu (a) spektral ivme,(b) spektral hız aralıkları (c) spektral deplasman ve (d) Göreli kat ötelenmesi aralıkları



Şekil 10. Maksimum göreli kat ötelenmesi spektrum şiddeti (GKÖSS), maksimum spektral hız, maksimum hız ve faya normal yönlerin ortalama deplasman spektrumu ($\mu=6$ için)

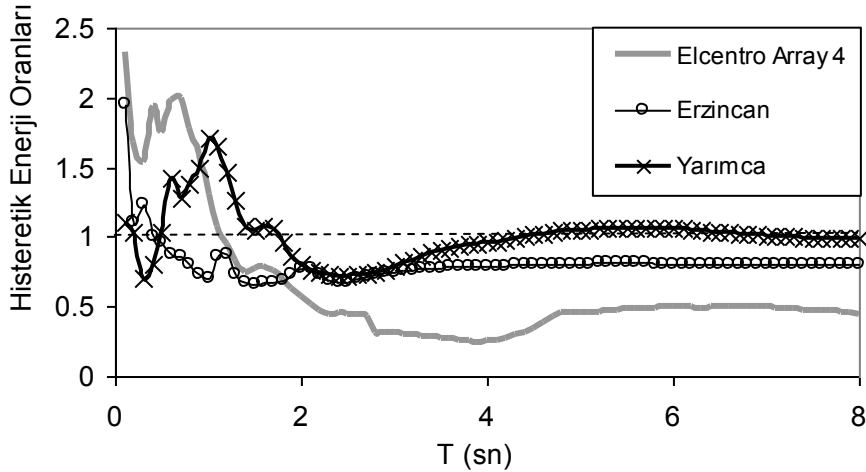


Şekil 11. Maksimum Görelî kat ötelenmesi spektrum şiddeti (GKÖŞŞ), spektral hız, maksimum hız ve faya normal yönlerin ortalama birim kütle histeretik enerji spektrumu ($\mu=6$ için)

Şekil 10 ve 11'de görüldüğü gibi GKÖŞŞ, PSV ve maksimum hız yönlerinin spektral deplasman ve histeretik enerji talepleri birbirine çok yakındır. GKÖŞŞ sınır değerleri denklem 2'de verildiği gibi 0.7-6.0 sn olarak kullanılmıştır. Bu parametre ile PGV, Şekil 6'da verildiği gibi, birbirine çok yakındır. Spektral hız (PSV) ile PGV birbirine çok yakın yönlerde maksimum olmaktadır. Bu nedenle Şekil 10 ve 11'de de görüldüğü gibi üç parametrenin spektral talepleri birbirine çok yakındır.

En büyük ivme (PGA), en büyük hız (PGV) ve en büyük deplasman (PGD) parametreleri sırasıyla küçük, orta ve büyük periyotlu yapılar üzerinde daha etkilidir [16,17]. Birçok çalışmada ileri doğrultu etkisi içeren faya dik yönün yakın fay yer hareketlerinin en etkili yönü olduğunu belirtilmektedir [9, 15]. Ancak küçük periyotlu yapıların hasar düzeyi üzerinde PGA değeri daha etkilidir.

Yakın fay yer hareketlerinin ivme tesirli bölgeleri, diğer yer hareketlerine oranla daha uzundur [16,18]. Bu nedenle, efektif periyotları yer hareketlerinin ivme tesirli bölgelerinde kalan, yapılar için maksimum PGA yönü maksimum PGV yönünden daha etkili olmaktadır.



Şekil 12. Yarımcı (Kocaeli) ve Erzincan (Erzincan), Elcentro array 4 (Imperial Valley), kayıtları maksimum ivme ve maksimum hız yönlerinin ($\mu=8$ için) histeretik enerji oranları

Atım periyotları birbirinden farklı dört yakın fay kaydının maksimum PGA ve maksimum PGV yön bileşenleri $T=0.1-8.0$ sn periyotları aralığında 80 adet TSD sisteme maruz bırakılmıştır. Bu yönlerin $\mu=8$

süneklilik düzeyi için histeretik enerji oranları Şekil 12'de verilmektedir. Görüldüğü gibi küçük periyotlarda maksimum PGA yönünün histeretik enerji talebi daha büyüktür.

Yapı periyotlarının, kayıtlardaki atım periyotlarına yakın olması hasar düzeyini artırmaktadır. Küçük atımlı yer hareketlerinde bulunan atımlar, maksimum hız yönü bileşeninin, küçük periyotlu yapılar üzerinde de en etkili yönlerden biri olmasını sağlamaktadır. Ancak küçük periyotlu yapıların, büyük atımlı yer hareketlerinin ivme tesirli bölgelerinde kalması durumunda maksimum PGA yönü, maksimum PGV yönünden daha etkili olmaktadır. Şekil 8'de polar değerleri verilen yer hareketlerinin ($\mu=8$ için) maksimum ivme ile maksimum hız yönü histeretik enerji oranları spektral olarak Şekil 12'de verilmektedir. Görüldüğü gibi her üç yer hareketinin de maksimum ivme yönü histeretik enerjileri küçük periyotlarda daha büyüktür. Ancak periyodun büyümesi ile maksimum hız yönü daha etkili olmaktadır.

5. SONUÇLAR

Yakın fay yer hareketlerinde ileri doğrultu etkisi fayın kırılma yüzeyine dik yönde meydana gelir. Fiziki nedenlerle bazı kayıt istasyonlarının faya dik ve paralel yönlerinin belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu durumda yer hareketinin en etkili yönlerinin tespit edilmesi önem kazanmaktadır.

Maksimum PSV ve GKÖŞŞ yönleri maksimum hız yönüne çok yakın olmakta ve benzer spektral talepler oluşturmaktadır. Ancak küçük periyotlu yapıların büyük atımlı yer hareketlerine maruz kalması durumunda maksimum ivme yönü daha etkili olmaktadır. Bu etkinliğin genişliği atım periyoduna bağlı olarak artmakta veya azalmaktadır. İleri doğrultu etkisi 0.7 sn ve daha büyük periyotlarda görüldüğü için küçük atım periyotlu yer hareketlerinde bu farklılık önemli olmamaktadır. Ancak büyük atım periyotlu yer hareketlerinde bu farklılık daha büyük histeretik enerji talebi oluşturmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- [1] STEWART, J.P., CHOU, S., BRAY, J.D., GRAVES, R.W., SOMERVILLE, P.G., and ABRAHAMSON, N.A., Ground Motion Evaluation Procedures for Performance Based Design, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Peer Report, University of California, Berkeley, 2001.
- [2] MAVROEIDIS, G.P., PAPAGEORGIOU, A.S., "A Mathematical Representation of Near-Fault Ground Motions", Bulletin of Seismological Society of America, 93(3), 2003.
- [3] GÜLKAN, P., AKKAR, S., "Demand and Capacity Requirement Implication from Near-Fault Ground Motions", 5th National Conference on Earthquake Engineering, İstanbul, Turkey, 26-30, May 2003.
- [4] GHAYAMGHAMIN, M.R., "Directional Damage Due to Near-Fault and Site Effects in the M6.4 Changureh-Ajav Earthquake of 22 June 2002", Journal of Seismology, 11, 39-57, 2007.
- [5] SHABESTARI, K.T., YAMAZAKI, F., "Near-Fault Spatial Variation in Strong Ground Motion due to Rupture Directivity and Hanging Wall Effects from the Chi-Chi, Taiwan Earthquake", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 2197-2219, 2003.
- [6] ABRAHAMSON, N., Near Fault Ground Motions, University at Buffalo Earthquake Engineering Research Institute Student Chapter, Buffalo, USA, 2001.
- [7] BRAY, D.J., "Characterization of Forward-Directivity Ground Motions in the Near-Fault Region", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 815-824, 2004.
- [8] BOUCHON, M., BOUIN, M.P., KARABULUT, H., TOKSÖZ, M.N., DIETRICH, M., and ROSAKIS, A.J., "How Fast is Rupture During an Earthquake? New Insights from the 1999 Turkey Earthquakes, Geophysical Research Letters, 28, 2723-2726, 2001.
- [9] SOMERVILLE, P.G., SMITH, N.F., "Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity", Seismological Research Letters, 68, 199-222, 1997.
- [10] IWAN, W.D., "Drift Spectrum: Measure of Demand for Earthquake Ground Motions", Journal of Structural Engineering, 397-404, 1997.
- [11] HOUNG, C.T., CHENG, S.S., "Near-Field Characteristics and Engineering Implication of the 1999 Chi-Chi Earthquake", Earthquake Engineering and Engineering Seismology, 2 (1), 23-41, 2000.

- [12] AKKAR, S., GÜLKAN,P., "Comparative Performance Evaluation of Displacement Based Design Procedures for Near Field Earthquakes", 12th World Earthquake Engineering Conference, Auckland, New Zealand, 2000.
- [13] SOMERVILLE , P., "Characterizing Near Fault Ground Motion for the Design and Evaluation of Bridges, 4th National Seismic Conference & Workshop on Bridge & Highways, Portland , Oregon, USA, 2002.
- [14] CHOPRA, A.K., and CHINTANAPAKDEE, C., Inelastic deformation ratios for design and evaluation of structures : Single degree of freedom bilinear systems, Earthquake Engineering Research Centers Report, Reports No:2003-09, University of California, Berkeley, USA, 2003.
- [15] SOMERVILLE, P., "Characterization of Near-Fault Ground Motion", U.S.-Japan Workshop on the Effects of Near-Field Earthquake Shaking, San Francisco, California, USA, 2000.
- [16] GÜNEŞ, N., Yakın Fay Yer Hareketleri ve Performansa Dayalı Tasarıma Uyarlanmaları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2009.
- [17] MOLAS, G. L., F. YAMAZAKI, "Neural Networks for Quick Earthquake Damage Estimation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 24, 1995.
- [18] CHOPRA, A.K., CHINTANAPAKDEE, C., "Comparing Response of SDF Systems to Near-Fault and Far-Fault Earthquake Motions in the Context of Spectral Regions", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30, 2001.