

KÖPRÜLERİN DİNAMİK ANALİZLERİNDE ÖLÇEKLENDİRİLMİŞ DEPREM KAYITLARININ KULLANIMI

¹Mustafa ERGÜN, ²Şevket ATEŞ

¹İnşaat Müh. Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon
E-mail: mergun@ktu.edu.tr Tel: 462-3774388

²İnşaat Müh. Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon
E-mail: sates@ktu.edu.tr Tel: 462-3772703

Özet

Son yıllarda yapısal analizde ve teknolojiye meydana gelen gelişmeler sayesinde, zaman tanım alanında hesap yöntemi, köprülerin tasarımında ve dinamik analizlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür analizlerin gerçekleştirilmesindeki en önemli konu dikkate alınan bölgeye ait tasarım ivme spektrumu ile uyumlu kayıtların seçilmesi ve bu kayıtların ölçeklendirilmesidir. Bu çalışmada, onar adet yakın fay ve uzak fay yer hareket kayıtları bir takım kriterler dikkate alınarak seçilmiş ve zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak Eurocode 8 yönetmelik tasarım ivme spektrumuna, Selection and Scaling Program (SESCAP) kullanılarak ölçeklendirilmiştir. Programdan elde edilen veriler, SAP2000 programında modeli oluşturulan izolasyonlu verev bir köprü modelinin zaman tanım alanında dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Köprü tabliyesi ile köprü orta ayağı eğilme momenti değerleri her bir yer hareketinin ölçekli ya da ölçeksiz olması durumlarına göre elde edilmiştir. Ayrıca, yakın fay yer hareketleri ile uzak fay yer hareketlerinin yapısal davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar tablolar ve grafiklerle karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Giriş

Depremlerin neden oldukları can ve mal kayıplarını önlemek ve en aza indirmek amacıyla mühendislik alanında ve teknolojisinde çok sayıda gelişmeler kaydedilmiştir. Yapılan gelişmelerden biri de yapıların olmuş ve olabilecek depremlere karşı analizlerinin ve tasarımlarının yapılmasıdır. Geleneksel olarak, yapılara etkiyen deprem yüklerinin hesabında; eşdeğer statik deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi kullanılmaktadır. Fakat son yıllarda yapısal analizde ve teknolojiye sağlanan gelişmelerle birlikte zaman tanım alanında hesap yöntemi yapıların tasarımında ve analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıların deprem analizlerinde, zaman tanım alanında hesap yöntemi; zaman tanım alanında doğrusal elastik veya zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz şeklinde iki türlü kullanılabilir.

Son yıllarda hem teknolojiye meydana gelen gelişmeler hem de bu kayıtların elde edilebileceği veri bankalarının yaygınlaşması, gerçek deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesiyle ilgili yapılan çalışmalara büyük hız kazandırmıştır.

Genel olarak, ivme kayıtları ya tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde yapay yollar, ya sismik kaynak ve dalga yayılım özellikleri dikkate alınarak benzetim yolu ile ya da gerçek depremlerden elde edilmektedir (Abrahamson, 1993), (Bommer ve Acevedo, 2004). Doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin gerçekleştirilebilmesi için uygun deprem kayıtlarının seçilmesi önemli bir konudur. Araştırmacıların üzerinde ortak bir kaniya sahip oldukları bir metodun geliştirilememesi nedeniyle, yönetmeliklere dayanan çeşitli metotlar deprem kayıtlarının seçilmesinde kullanılmaktadır. Örneğin; Eurocode 8, gerçek deprem kayıtlarının dinamik analizlerde bir girdi olarak kullanımına izin vermektedir (Iervolino ve diğ., 2009). (Hachem ve diğ., 2010), Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Avrupa Birliği Ülkeleri, Yeni Zelanda ve Tayvan gibi ülkelerde deprem yer hareket kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konusunda kullanılan yöntemler ve yönetmelik şartlarını inceleyerek aralarındaki farklılıklar ve benzerlikleri ortaya koymuşlardır.

Uygun deprem kayıtlarının seçilmesinden sonra, bu kayıtların yönetmelik tasarım spektrumlarına ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Zaman tanım alanında ölçeklendirme, frekans tanım alanında ölçeklendirme, dalgalarla spektral eşleştirme ve spektrum uyumlu yapay kayıt üretimi gibi farklı metotlar deprem kayıtlarına ait tepki spektrumu ile tasarım spektrumu arasındaki var olan farklılıkları azaltmak için kullanılan yöntemlerdir (Fahjan, 2010). Genel olarak, deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde iki metot yaygın olarak kullanılmaktadır; zaman tanım alanında ölçeklendirme (Fahjan, 2008), (Iervolino ve diğ., 2009), (Kayhan ve diğ., 2011) ve frekans tanım alanında ölçeklendirme (Bolt ve Gregor, 1993).

Yakın fay yer hareketleri, yüksek hızlı darbe içeren büyük kinetik enerji girişi ile yapıyı karşı karşıya bırakan hareket olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, yakın fay bölgelerinde yer alan yapıların emniyetini sağlayabilmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. (Alavi ve Krawinkler, 2000) çalışmalarında yakın fay yer hareketlerine maruz tek ve çok serbestlik dereceli sistemlerin elastik ve elastik olmayan davranışlarını incelemişlerdir. (Lio ve diğ., 2004) uzak fay ve yakın fay yer hareketlerine maruz izolasyonlu ve izolasyonsuz sürekli kirişli köprülerin dinamik davranışlarını karşılaştırmışlardır. (Dicleli ve Buddaram, 2007) yakın fay yer hareketlerine maruz sismik izolasyonlu köprülerin tasarımları için Eşdeğer Lineer (EL) analiz metodundan bahsetmişlerdir.

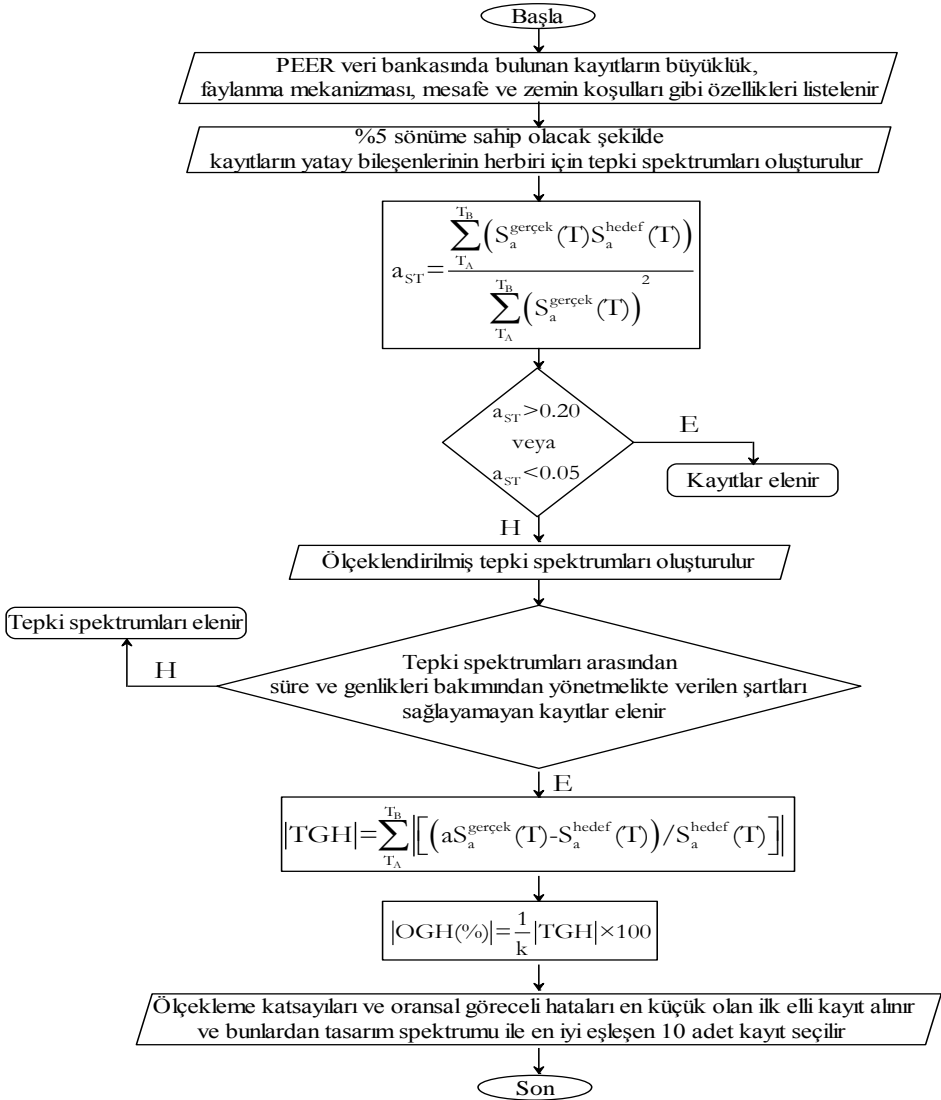
Günümüzdeki deprem yönetmelikleri, deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konusunu gerekenden çok daha basit bir şekilde ele almaktadır. Deprem yönetmeliklerinin, sıradan yapıların dinamik analizleri için yeterli oldukları fakat sismik girdilerin belirlenmesi, uygun bir yapısal modelin kurulması ve güçlü mühendislik hükümlerinin gerekli olduğu köprü gibi daha karmaşık yapıların sismik analizleri için yetersiz kaldıkları görülmektedir (Katsanos ve diğ., 2010). Oysaki deprem mühendisliği açısından çok önemli bir konu olan yer hareketlerinin seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konusu yönetmeliklerde daha çok yer bulmalıdır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde köprülerin tasarımında ve analizinde yaygın olarak kullanılan zaman tanım alanında analiz yöntemi ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Bu analizlerin gerçekleştirilmesinde kullanılması gereken deprem kayıtlarının elde edilebileceği kaynaklardan ve bu kayıtların seçilmesinde dikkate alınacak parametrelerden bahsedilmiştir. İkinci bölümde zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi dikkate alınarak MATLAB GUI ara yüz programı ile oluşturulan SESCAP programından bahsedilmiştir. SESCAP kullanılarak her bir deprem kaydı tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirilmiştir. Üçüncü bölümde SAP2000 programında modeli oluşturulan verev köprünün analitik modeli hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde yer hareket kayıtları kullanılarak mevcut köprünün deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Köprü tabliyesi kesit etkileri ile köprü orta ayağı eğilme momenti değerleri her bir yer hareketinin ölçekli ya da ölçeksiz olması durumlarına göre çizilmiş ve karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen tüm sonuçlar değerlendirilerek gerçek deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş hallerinin bir köprünün dinamik davranışını gerçekçi bir şekilde belirlemedeki etkileri karşılaştırılarak sunulmuştur. Ayrıca yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin yapısal davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Zaman Tanım Alanında Ölçeklendirme Yöntemi

Zaman tanım alanında ölçeklendirme yönteminin hesap adımları (Fahjan, 2008) Şekil 1'de akış diyagramı yardımıyla gösterilmiştir.



Şekil 1. Zaman Tanım Alanında Ölçeklendirme Yönteminin Hesap Adımlarının Akış Diyagramı Yardımıyla Gösterimi.

Deprem Kayıtlarının SESCAP İle Ölçeklendirilmesi

SESCAP bilgisayar programı yardımıyla Tablo 1-2'de verilen deprem kayıtları Eurocode 8 yönetmelik tasarım spektrumuna ölçeklendirilmiştir.

Tablo 1. Ölçeklendirme İşlemi İçin Seçilen Yakın Fay Yer Hareketleri.

Kayıt No	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Mw ¹	r ² (km)	Zemin ³
P0006	Imperial Valley	19.05.1940	El Centro Array #9	7.0	8.3	C
P0031	Parkfield	28.06.1966	Cholame #5	6.1	5.3	C
P0032	Parkfield	28.06.1966	Cholame #8	6.1	9.2	C
P0099	Hollister	28.11.1974	Hollister City Hall	5.2	10.0	C
P0148	Coyote Lake	06.08.1979	Gilroy Array #2	5.7	7.5	C
P0150	Coyote Lake	06.08.1979	Gilray Array #4	5.7	4.5	C
P0161	Imperial Valley	15.10.1979	Bonds Comer	6.5	2.1	C
P0180	Imperial Valley	15.10.1979	El Centro Array #8	6.5	3.8	C
P0224	Livermore	27.01.1980	Livermore-Fagundas Ranch	5.4	3.6	C
P0454	Morgan Hill	24.04.1984	Halls Valley	6.2	3.4	C

Tablo 2. Ölçeklendirme İşlemi İçin Seçilen Uzak Fay Yer Hareketleri.

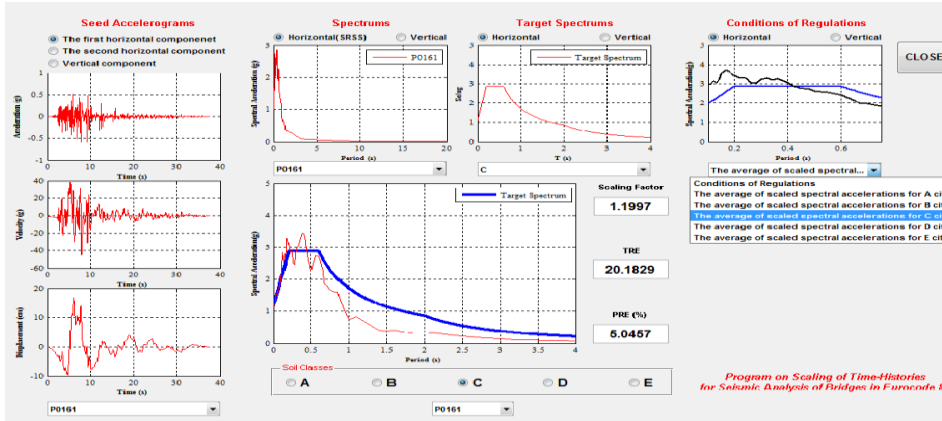
Kayıt No	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Mw ¹	r ² (km)	Zemin ³
P0037	Borrego Mtn	09.04.1968	El Centro Array #9	6.8	46	C
P0039	Borrego Mtn	09.04.1968	Terminal Island	6.8	195	C
P0170	Imperial Valley	15.10.1979	Delta	6.5	43.6	C
P0215	Livermore	24.01.1980	San Ramon Fire Station	5.8	21.7	C
P0267	Victoria, Mexico	09.06.1980	Chihuahua	-	-	C
P0319	Westmorland	26.04.1981	Westmorland Fire Station	5.8	-	C
P0447	Morgan Hill	24.04.1984	Hollister City Hall	6.2	32.5	C
P0725	Superstin Hills(B)	24.11.1987	El Centro Imp. Co. Cent	6.7	13.9	C
P0813	Landers	28.06.1992	Hemet Fire Station	7.3	69.5	C
P0870	Landers	28.06.1992	LA-E Vemon AV	7.3	157.7	C

¹Deprem büyüklüğü, ²Faya en yakın mesafe, ³Zemin sınıfı



Şekil 2. SESCAP Programının Ana Penceresi Ekran Görüntüsü.

Programın ana penceresinde yer alan Buildings ve Bridges menüleri vasıtasıyla, binaların ve köprülerin zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri için gerekli olan ölçeklendirme işlemlerinin gerçekleştirildiği alt pencerelere ulaşılmaktadır.



Şekil 3. P0161 Kayıt Nolu, Bonds Comer İstasyon Kaydı, Imperial Valley Depremine Ait Ölçeklendirme İşlemi Ekran Görüntüsü.

Tablo 3. Yakın Fay Yer Hareketlerine Ait Ölçeklendirme Sonuçları.

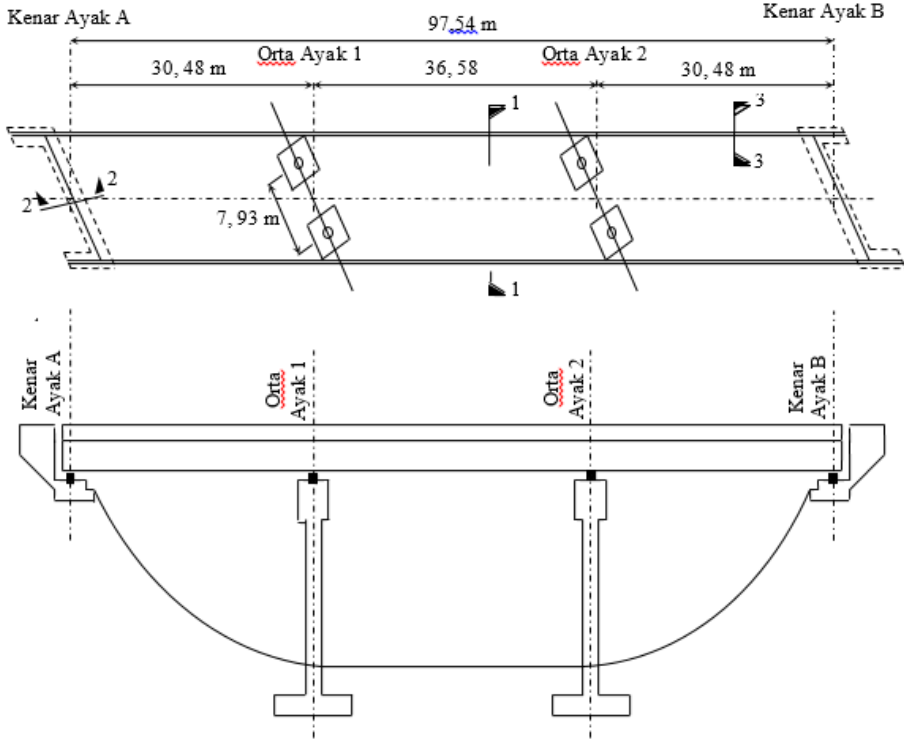
Kayıt No	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Ölçeklendirme Katsayısı	Hata (%)
P0006	Imperial Valley	19.05.1940	El Centro Array #9	3,1172	2,5615
P0031	Parkfield	28.06.1966	Cholame #5	2,4110	6,2523
P0032	Parkfield	28.06.1966	Cholame #8	3,4573	8,3269
P0099	Hollister	28.11.1974	Hollister City Hall	5,6545	7,9313
P0148	Coyote Lake	06.08.1979	Gilroy Array #2	3,0626	6,3826
P0150	Coyote Lake	06.08.1979	Gilray Array #4	3,5655	4,5214
P0161	Imperial Valley	15.10.1979	Bonds Comer	1,1997	5,0457
P0180	Imperial Valley	15.10.1979	El Centro Array #8	1,8208	6,0399
P0224	Livermore	27.01.1980	Livermore-Fagundas Ranch	3,8146	8,0282
P0454	Morgan Hill	24.04.1984	Halls Valley	3,5644	4,2277

Tablo 4. Uzak Fay Yer Hareketlerine Ait Ölçeklendirme Sonuçları.

Kayıt No	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Ölçeklendirme Katsayısı	Hata (%)
P0037	Borrego Mtn	09.04.1968	El Centro Array #9	9,6096	8,7993
P0039	Borrego Mtn	09.04.1968	Terminal Island	78,0157	11,6855
P0170	Imperial Valley	15.10.1979	Delta	2,7728	3,7100
P0215	Livermore	24.01.1980	San Ramon Fire Station	17,4948	2,5065
P0267	Victoria, Mexico	09.06.1980	Chihuahua	6,3547	5,6676
P0319	Westmorland	26.04.1981	Westmorland Fire Station	2,0744	3,5725
P0447	Morgan Hill	24.04.1984	Hollister City Hall	10,6457	5,9189
P0725	Superstin Hills(B)	24.11.1987	El Centro Imp. Co. Cent.	3,1427	3,7881
P0813	Landers	28.06.1992	Hemet Fire Station	9,9571	6,4432
P0870	Landers	28.06.1992	LA-E Vernon AV	19,9424	12,7182

Köprü Modeli

Berger/Abam mühendislik firması tarafından hazırlanan köprü, Amerika Birleşik Devletleri Federal Karayolu İdaresi Sismik Tasarım Kursunda tasarım örneği olarak kullanılmıştır (Berger/Abam mühendislik firması, 1996). Köprünün planı ve boy kesiti Şekil 4'de görülmektedir.



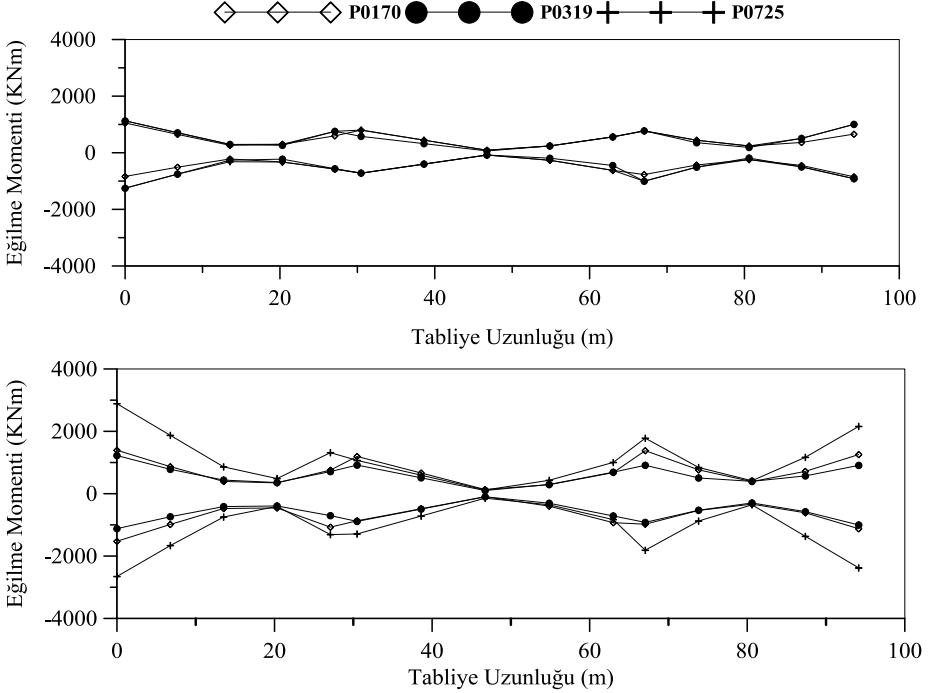
Şekil 4. Köprü Planı ve Boy Kesiti

Tablisesi yerinde dökme öngermeli, kutu kesitli ve 30° eğrilikli kirişlerden oluşan köprü; 36,58 m uzunluğunda bir adet orta açıklık ve 30,48 m uzunluğunda iki adet kenar açıklıktan oluşmakta olup toplamda 97,54 m uzunluğundadır. Dairesel kesitlerden oluşan orta ayaklar her bir ara aksta ikişer adet olmak üzere toplam dört adettir. Ayrıca, her bir ara aksta orta ayaklar başlık kirişleri ile birbirlerine bağlanmıştır. Köprünün geometrisi, kesit ve temel özellikleri Amerika Birleşik Devletleri Federal Karayolu İdaresi tarafından sunulan tasarım örneği ile tamamen aynıdır.

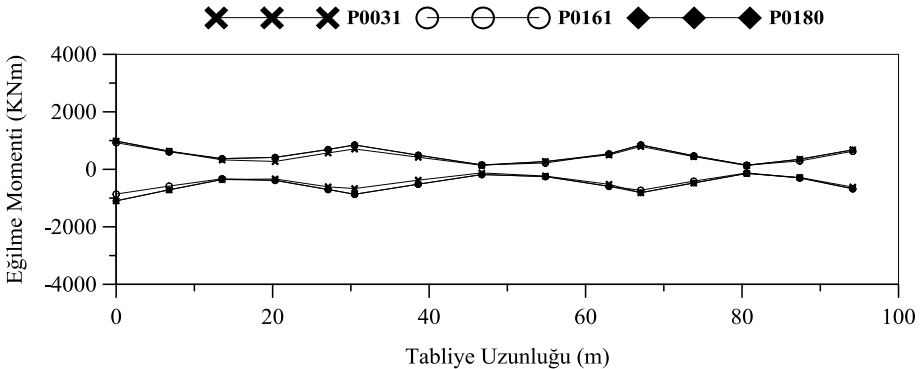
Verev köprünün, deprem ivmeleri altındaki davranışı gelişmiş bir sonlu elamanlar yazılımı olan SAP2000 paket programı kullanılarak incelenmiştir. Köprünün sonlu elamanlar modelinde, üst yapı ve ayaklar çubuk elamanlardan oluşturulmuştur. Köprü üç şeritli araç trafiğine hizmet etmektedir.

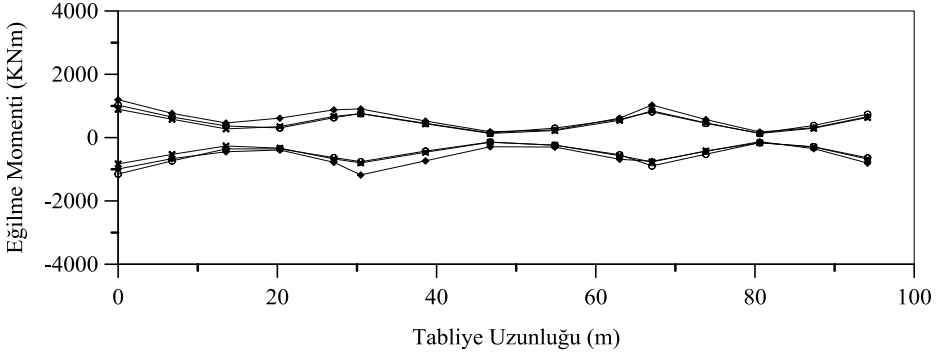
Bulgular ve İrdelemeler

Deprem analizleri sonucunda köprü tabliyesi ve köprü orta ayağı boyunca meydana gelen eğilme momenti değerleri uzak fay ve yakın fay yer hareketlerinin ölçeklendirilmemiş ve ölçeklendirilmiş durumları dikkate alınarak çizilmiş ve karşılaştırılmalı olarak sırasıyla Şekil 5-6 ve Şekil 7-8'de görülen grafiklerle sunulmuştur.

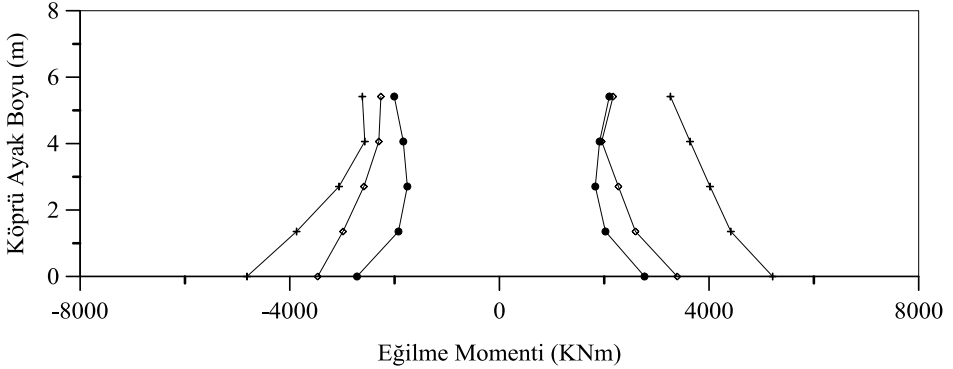
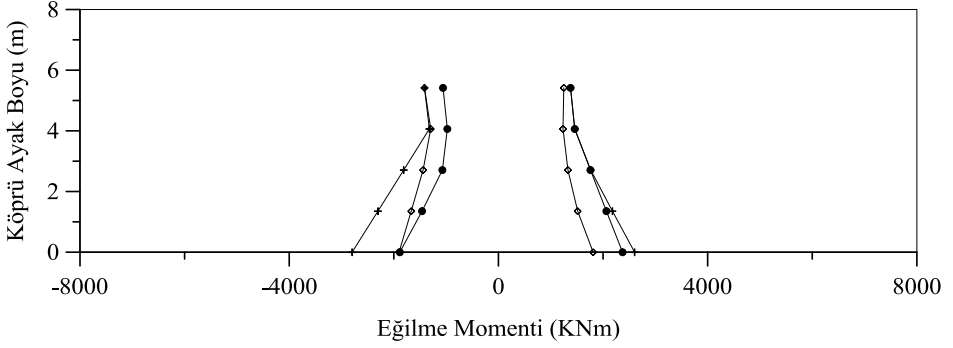


Şekil 5. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt Numaralı Uzak Fay Yer Hareketlerinin Yatay Bileşenine Maruz Köprü Tabliyesi Eğilme Momentleri Sınır Değerlerinin Tabliye Boyunca eğişimi.

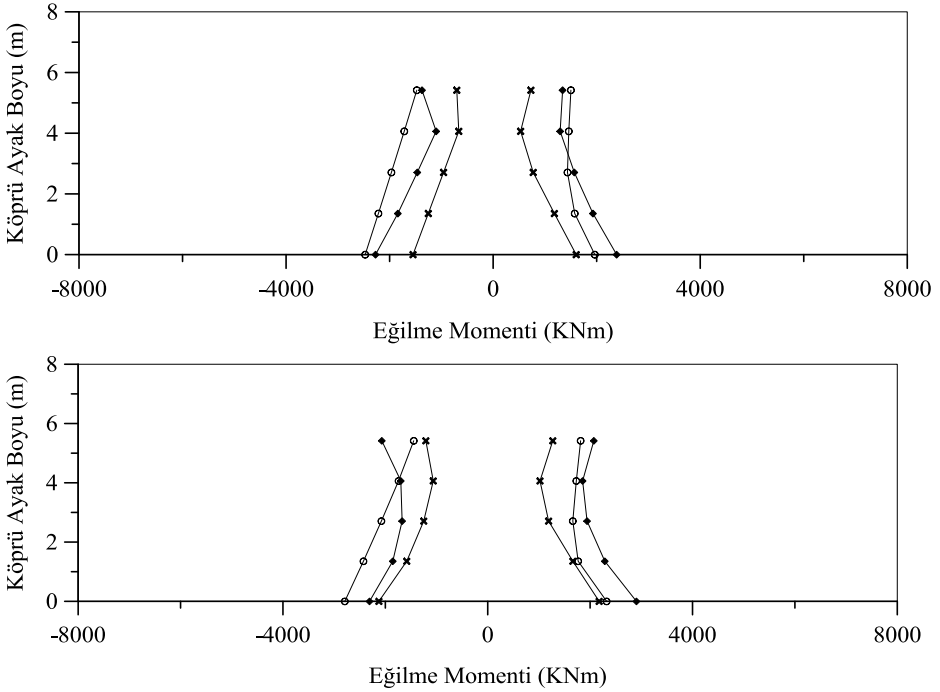




Şekil 6. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt Numaralı Yakın Fay Yer Hareketlerinin Yatay Bileşenine Maruz Köprü Tabliyesi Eğilme Momentleri Sınır Değerlerinin Tabliye Boyunca Değişimi.



Şekil 7. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt Numaralı Uzak Fay Yer Hareketlerinin Yatay Bileşenine Maruz Köprü Ayağı Eğilme Momentleri Sınır Değerlerinin Tabliye Boyunca Değişimi.



Şekil 8. P0180, P0161 ve P0031 Kayıt Numaralı Yakın Fay Yer Hareketlerinin Yatay Bileşenine Maruz Köprü Ayağı Eğilme Momentleri Sınır Değerlerinin Tabliye Boyunca Değişimi.

Sonuçlar

Bu çalışmada, gerçek deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş durumlarının bir köprünün dinamik davranışını gerçekçi bir şekilde belirlemedeki etkileri bir köprü modeli üzerinde incelenmiştir. Elde edilen verilerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

**Analizlerde dikkate alınan kayıtlara ait ölçeklendirme katsayısı ve oransal göreceli hata gibi ölçeklendirme parametrelerinin diğer kayıtlara göre daha küçük olma nedeni, bu kayıtlara ait ivme davranış spektrumları ile tasarım ivme spektrumu arasındaki genlik farkının küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu farkın küçük olması, bu kayıtların tasarım ivme spektrumu ile iyi bir uyum içinde olduklarını ve analizlerde kullanılmalı gerekliliğini göstermektedir.

**Bu çalışmada köprü tabliyesi ve ayağına ait kesit etkisi değerlerinin küçük değerlerde olması, yapıya yerleştirilen izolatörlerin yapıya etkileyen deprem yüklerinin azaltılmasında etkili olduğunu göstermektedir.

**Dinamik analizler sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde, yakın fay yer hareketleri köprü tabliyesi ve ayağı boyunca uzak fay yer hareketlerine göre daha büyük kesit etkileri oluşturmaktadır. Ancak, deprem mühendisliği açısından bu kadar önemli olmasına rağmen, yakın fay yer hareketleri ile alakalı yönetmeliklerde yeterince bilgi yoktur.

Oysaki yakın fay etkisinin yönetmeliklerde yer alması, faya yakın bölgelerde büyük can ve mal kayıplarını önleyeceği gibi deprem sonrasında çıkabilecek büyük sorunları da azaltacaktır.

- Herhangi bir yapının dinamik analizini gerçekleştirirken tek bir deprem kaydının kullanılması durumunda yapısal davranışın, o bölgenin deprem karakteristiğini değil sadece tek bir yer hareketinin etkilerini yansıtmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, daha gerçekçi ve daha doğru sonuçların elde edilebilmesi için en az üç adet deprem kaydının dinamik analizlerde kullanılması gerekliliğini ifade etmektedir.

- Yer hareketi etkisi altında elde edilen sonuçların birbirleriyle karşılaştırılabilmesi, yönetmelik tasarım ivme spektrumu ile karşılaştırılabilmesi ve dinamik analizlerde yol gösterici olabilmeleri için ölçeklendirilmeleri gerekliliği görülmektedir. Bu şekilde yer hareketleri arasındaki genlik farklılıklarının azaltılmasıyla yapısal davranış üzerinde oluşturdukları etki farklılıkları minimize edilebilmektedir.

Kaynaklar

1. Abrahamson, N.A., (1993). "Non-Stationary Spectral Matching Program RSPMATCH", User Manual.
2. Alavi, B. ve Krawinkler, H., (2000). "Consideration of Near-Fault Ground Motion Effects in Seismic Design", 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
3. Bolt, B. A. ve Gregor, N. J., (1993). "Synthesized Strong Ground Motions for the Seismic Condition Assessment of the Eastern Portion of the San Francisco Bay Bridge", Report UCB/EERC-93/12, University of California, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA.
4. Bommer, J.J. ve Acevedo, A., (2004). "The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis", Journal of Earthquake Engineering. 8(1):43-91.
5. CEN. Eurocode 8, 2003. "Design of Structures for Earthquake Resistance". Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. Final Draft prEN 1998, European Committee for Standardization, Brussels.
6. CEN. Eurocode 8, 2003. "Design of Structures for Earthquake Resistance". Part 2: Bridges. Final Draft prEN 1998, European Committee for Standardization, Brussels.
7. Dicleli, M. ve Buddaram, S., (2007). "Equivalent Linear Analysis of Seismic-Isolated Bridges Subjected to Near-Fault Ground Motions with Forward Rupture Directivity Effect", Engineering Structures, 29, 1, 21-32.
8. Fahjan, Y.M., (2008). "Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi", İMO Teknik Dergi, 4423-4444, Yazı 292.
9. Fahjan, Y.M., (2010). "Selection, Scaling and Simulation of Input Ground Motion for Time History Analysis of Structures", Seminar and Lunch on Earthquake Engineering and Historic Masonry.
10. Hachem, M.M., Mathias, N.J., Wang, Y.Y., Fajfar, P., Tsai, K-C., Ingham, J.M., Oyarzo-Vera, C.A. ve Lee, S., (2010). "An International Comparison of Ground Motion

- Selection Criteria for Seismic Design", Joint IABSE–fib Conference, May 3-5, Dubrovnik, Croatia.
11. Iervolino, I., Cosenza, E.ve Galasso, C., (2009). "Shedding Some Light on Seismic Input Selection in Eurocode 8", Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, 3-12, Doppiavoce, Napoli, Italy.
 12. Katsanos, E.I., Sextos, A.G. ve Manolis, G.D., (2010). "Selection of Earthquake Ground Motion Records: A State-of-the-Art Review from a Structural Engineering Perspective", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 30, 4, 157-169.
 13. Kayhan, A.H., (2011). "Eurocode-8 ile Uyumlu Ölçeklendirilmemiş İvme Kaydı Setlerinin Armoni Araştırması Tekniği ile Elde Edilmesi", Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim, ODTÜ, Ankara.
 14. Liao, W-I., Loh, C-H., Lee, B-H., (2004). "Comparison of Dynamic Response of Isolated and Non-Isolated Continuous Girder Bridges Subjected to Near-Fault Ground Motions", Engineering Structures, 26, 14, 2173-2183.
 15. MathWorks, (2010). "MATLAB, The Language of Technical Computing", Versiyon 7.10.0.499 (R2010a).
 16. SAP2000, (2008). "Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.
 17. URL-1, <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html> Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER).

Anahtar Sözcükler: Zaman tanım alanında analiz, Deprem kayıtlarının seçilmesi, Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi, Zaman tanım alanında ölçeklendirme, SESCAP.