

BETONARME ÇERÇEVELERİN DEPREM HESABINDA TASARIM İVME SPEKTRUMU UYUMLU DİNAMİK YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

O. Merter¹ ve T. Uçar²

¹ Araştırma Görevlisi Doktor, İnşaat Mühendisli i Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

² Yardımcı Doçent Doktor, Mimarlık Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Email: onur.merter@deu.edu.tr

ÖZET:

Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi tüm deprem bölgelerindeki bina ve bina türü yapıların deprem hesabında herhangi bir yapısal düzensizlik ve yükseklik sınırı gibi belirli kısıtlamalar dikkate alınmaksızın kullanılabilir. Bu iki yöntemden Mod Birleştirme Yöntemi'nde, elastik tasarım ivme spektrumu ordinatları belli bir deprem yükü azaltma katsayısına bağlı olarak azaltılarak analize dahil edilmektedir. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'nde ise, kullanılacak deprem kayıtlarının süre ve bu kayıtlara ait tepki spektrumlarının genlik bakımından belli koşulları sağlaması gerekmektedir. Kullanılan deprem kayıtlarının %5 sönüm oranı için oluşturulan elastik tepki ivme spektrumlarının, yönetmelikte farklı zemin koşulları için tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olması durumunda; dinamik esaslı her iki yöntemden elde edilen çeşitli yapısal büyüklüklerin birbirinden çok farklı olmaması beklenebilir. Bu çalışmada, çok katlı betonarme çerçeve yapılar Türk Deprem Yönetmeli i ve TS500 koşullarına göre boyutlandırılmıştır. Bu yapıların belirli bir zemin sınıfı için Türk Deprem Yönetmeli i'nde verilen elastik tasarım ivme spektrumu altında yeterli sayıda doğal titreşim modlarının katkısı dikkate alınarak Mod Birleştirme Yöntemi ile spektral analizi gerçekleştirilmiştir. Aynı yapıların, aynı zemin sınıfına ait tasarım ivme spektrumuna uyumlu ve yönetmelik koşullarını sağlayacak şekilde zaman tanım alanında ölçeklenen gerçek deprem kayıtlarının kullanılması ile dolasal dinamik analizi yapılmıştır. Her iki analizden elde edilen taban kesme kuvveti ve göreceli kat ötelemesi değerleri karşılaştırılarak, elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Betonarme çerçeveler, Mod Birleştirme Yöntemi, zaman tanım alanında dolasal elastik analiz, ölçeklenmiş gerçek deprem kayıtları, göreceli kat ötelemesi, taban kesme kuvveti.

1. GİRİŞ

Yapı mühendisli i alanında, yapıların deprem hesabında kullanılan statik, dinamik ve yarı dinamik farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden zaman tanım alanında dinamik hesap kesin bir yöntem olup, deprem kayıtları altında yapıların dinamik hareket denkleminin çözülmesine dayanmaktadır. Diğer Statik Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi ise yaklaşık hesap yöntemlerinden olup, belirli kabuller içermektedir. Mod Birleştirme Yöntemi'nde, elastik deprem yüklerinin belirlenmesinde farklı depremlere ve zemin sınıflarına göre değişkenlik gösterecek olan ivme spektrumları kullanılmaktadır. Birçok deprem yönetmeliğinde ivme spektrumları, istatistiksel çalışmaların bir sonucu olarak standart hale getirilmiş ve spektral ivmeler tasarım ivme spektrumlarında analitik olarak tanımlanmıştır. Tasarım spektrumları, herhangi bir zemin üzerinde yeni tasarlanan yapılara gelecekte etkiyecek deprem yüklerinin tahmin edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Deprem ivme kayıtlarının, yapısal analizlerde kullanılması amacı ile uygun bir biçimde seçilmesi deprem mühendisli inin önemli ve güncel çalışma konuları arasındadır. Dinamik bir hesap yöntemi olan zaman tanım

alanında analizlerde, belirli koullara göre seçilen deprem ivme kayıtları genellikle bir tasarım spektrumuna uyması açısından ölçeklenmektedir. Ölçekleme işlemi zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında gerçekleştirilebilmektedir ve her iki yöntemin de kendine özgü farklı işlem prosedürü mevcuttur (Fahjan, 2008; Fahjan ve Ozdemir, 2008). Bir tasarım spektrumuna göre ölçeklenmiş ivme kayıtları ile gerçekleştirilen zaman tanım alanında dinamik analizler sonucunda elde edilen bir takım yapısal büyüklüklerin, aynı tasarım spektrumunun doğrudan kullanılması ile gerçekleştirilen Mod Birleştirme Yöntemi'nin sonuçları ile yakın olacaktır. Zaman tanım alanında dinamik analizlerde, tasarım spektrumuna göre ölçekli ivme kayıtlarının kullanılması ile ilgili tasarım spektrumu analizlerde dolaylı olarak dikkate alınmaktadır.

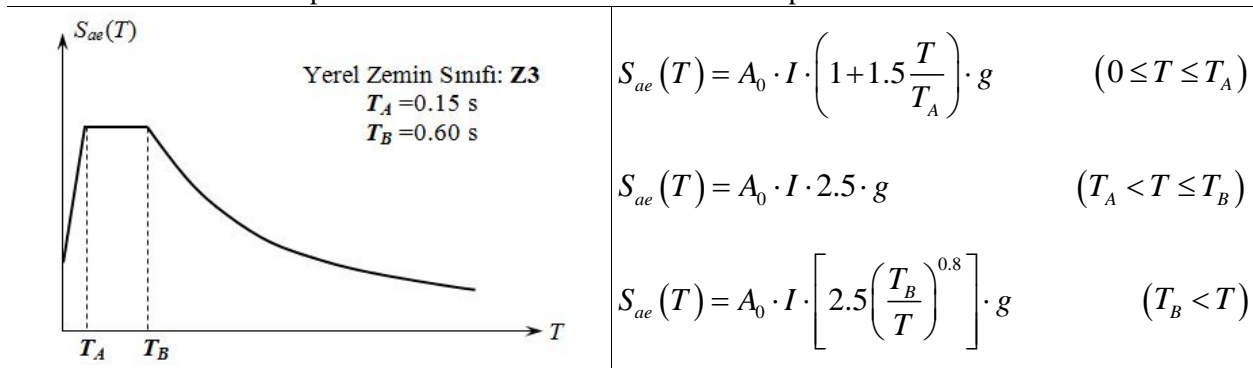
Çalışmada yönetmelik koullarına uygun olarak seçilen yedi adet gerçek deprem ivme kaydı kullanılarak, üç, dört ve beş katlı betonarme çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan ivme kayıtları, zaman tanım alanında doğrusal yöntemin kullanılması ile Z3 tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiştir. Aynı çerçevelere, Z3 tasarım ivme spektrumunun kullanılması ile Mod Birleştirme Yöntemi uygulanmıştır. Farklı iki doğrusal elastik, dinamik analizlerden elde edilen taban kesme kuvveti sonuçları ve göreceli kat öteleme oranları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tablo ve grafik halinde verilmiştir.

2. MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ

Mod Birleştirme Yöntemi, yapıların deprem analizinde kullanılan ve Spektrum Analizi (Spektral Analiz) olarak da adlandırılan doğrusal dinamik bir hesap yöntemidir. Yöntemde, deprem etkisindeki yapı sistemlerinin dinamik hareket denklemleri modal yer deprem hareketleri cinsinden ifade edilmekte ve mod katkıları uygun bir istatistiksel yöntemle birleştirilerek gerçek yer deprem hareketleri elde edilmektedir. Mod katkılarının birleştirilmesinde Tam Karesel Birleştirme ve Karelerin Toplamının Karekökü yöntemleri kullanılmaktadır (TDY, 2007).

Spektral analiz ile elastik deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılan elastik ivme spektrumunun ordinatı olan elastik spektral ivme $S_{ae}(T)$ (TDY, 2007), yerel zemin sınıflarına göre Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlı olan T_A ve T_B karakteristik periyotları için Tablo 1'deki gibi hesaplanır. Burada; A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı, I : Bina önem katsayısı ve g : Yer çekimi ivmesidir. Çalışmada, Z3 yerel zemin sınıfı esas alınmaktadır.

Tablo 1. Spektral analizde kullanılan elastik ivme spektrumunun özellikleri



3. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL ELASTİK HESAP

Yapıların deprem hesabında kullanılan zaman tanım alanında doğrusal elastik yöntemde, iç kuvvet-ekil deprem hareketlerinin doğrusal ileri dikkate alınması ile belirli bir sönüm oranına sahip yapı sistemlerinin dinamik hareket denklemleri çeşitli yöntemlerle çözülmektedir (Chopra, 1995). Zaman tanım alanında analizlerde

dinamik yatay yük olarak gerçek deprem ivme kayıtları, benze tirilmi veya yapay olarak üretilmi deprem ivme kayıtları kullanılabilir. Deprem ivme kayıtlarının seçimi zaman tanım alanında analizler için en kritik konudur. Deprem büyüklü ü, en büyük yer ivmesi, faylanma tipi, faya olan mesafe ve zemin ko ulları gibi parametreler dinamik analizlerde göz önüne alınmalıdır. Analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının sa laması gereken çe itli ko ullar yönetmeliklerde mevcuttur (TDY, 2007). Kullanılacak deprem kayıtlarının belirli bir tasarım spektrumuna uygun olarak ölçeklendirilmesi de, zaman tanım alanında analizlerde dikkate alınması gereken bir di er önemli durumdur.

3.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Dinamik analizlerde kullanılacak deprem ivme kayıtlarının belirlenmesi, deprem mühendisli inin önemli konuları arasındadır. Türk Deprem Yönetmeli i'ne (2007) göre; bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında do rusal elastik ya da do rusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmi veya benze tirilmi deprem yer hareketleri kullanılabilir. Her durum için a a ıdaki özellikleri ta rıyan en az üç deprem yer hareketi üretilecektir.

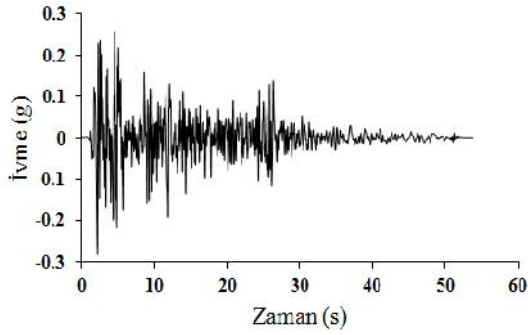
- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci do al titre im periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme de erlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır.
- Üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme de erlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem do rultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, dikkate alınan elastik ivme spektrumundaki $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

Çalı mada, dinamik analizlerde kullanılacak gerçek deprem ivme kayıtlarının seçiminde Türk Deprem Yönetmeli i (2007) ko ullarına uyulmu tur. Kayıtlar, Pasifik Deprem Mühendisli i Ara tırma Merkezi'nin (PEER, 2015) veri tabanından elde edilmi tir. Z3 yerel zemin sınıfına uygun kayıtlar seçilmi tir. Seçilen gerçek ivme kayıtlarına ait özellikler Tablo 1'de verilmi tir.

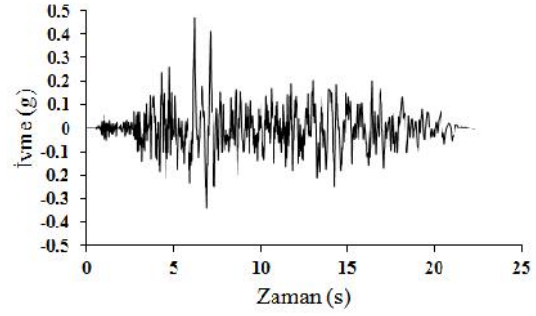
Tablo 1. Seçilen deprem kayıtlarına ait özellikler

Kayıt	Deprem	stasyon	M_w	R_{JB} (km)	V_{S30} (m/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
IMPVALL_I-ELC180	Imperial Valley-02, 1940	El Centro Array #9	6.95	6.09	213.44	0.281	30.93	8.66
SUPER.B_B-POE270	Superstition Hills-02, 1978	Poe Road	6.54	11.16	316.64	0.475	41.18	7.75
LANDERS_YER360	Landers, 1992	Yermo Fire Station	7.28	23.62	353.63	0.152	29.60	24.83
KOBE_KAK000	Kobe, 1995	Kakogawa	6.9	22.5	312	0.240	20.80	6.39
KOCAELI_DZC180	Kocaeli, 1999	Duzce	7.51	13.60	281.86	0.312	58.85	44.05
DUZCE_DZC180	Düzce, 1999	Düzce	7.14	0	281.86	0.404	71.17	49.70
SIERRA.MEX_GEO090	El Mayor-Cucapah, 2010	Cerro Prieto Geothermal	7.20	8.88	242.05	0.288	49.54	40.31

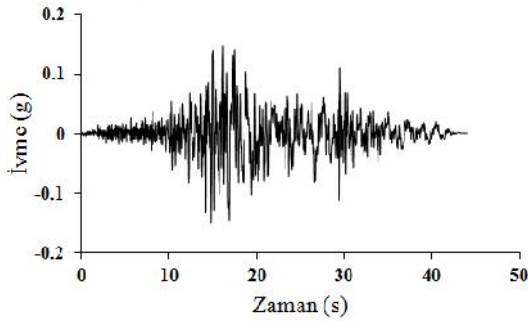
M_w : Deprem moment büyüklü ü, R_{JB} : Joyner-Boore mesafesi, V_{S30} : İlk 30 metre derinlikteki kayma dalgası hızı, PGA, PGV ve PGD sırası ile: En büyük yer ivmesi, yer hızı ve deplasmanı de erleridir. Tablo 1'deki depremlere ait ivme kayıtları ekil 1'de verilmektedir.



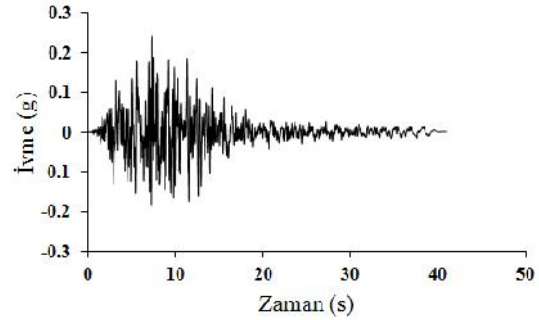
a) IMPVALL.I_I-ELC180



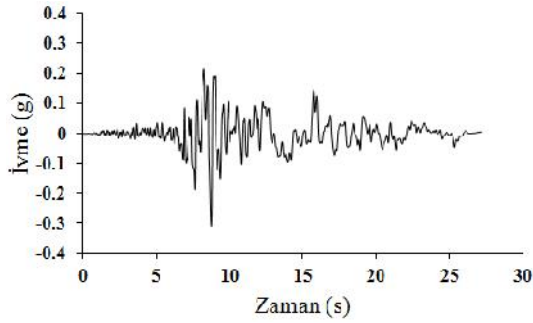
b) SUPER.B_B-POE270



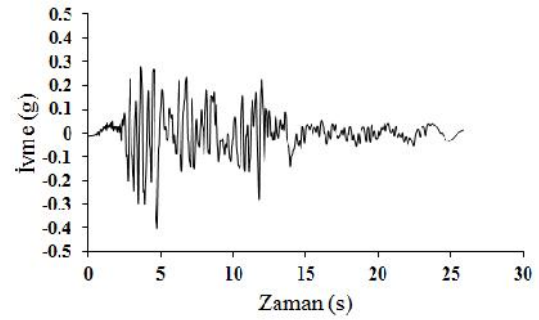
c) LANDERS_YER360



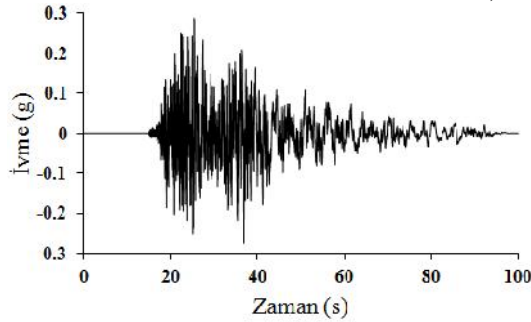
d) KOBE_KAK000



e) KOCAELI_DZC180



f) DUZCE_DZC180



g) SIERRA.MEX_GEO090

ekil 1. Depremlerin ivme kayıtları

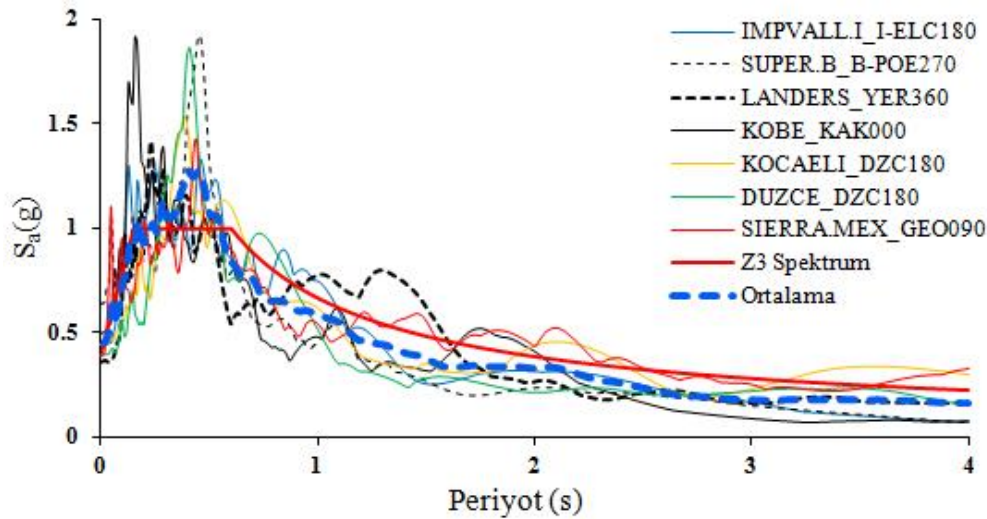
3.2. Deprem Kayıtlarının Ölçeklenmesi

Çalışmada seçilen ve Tablo 1'de verilen deprem ivme kayıtları, zaman tanım alanında do rusal ölçekleme yönteminin kullanılması ile Z3 tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiştir. Yöntemde, ivme kayıtları belirlenmiş sabit bir katsayı ile çarpılarak, aşağı ya da yukarı yönde hedeflenen tasarım spektrumuna

yaklaşık olarak tirilmektedir. Kayıtların frekans içerikleri de tirilmemektedir. Zaman tanım alanında ölçekleme işleminde, deprem spektrumları ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanan en küçük kareler tekniği kullanılmaktadır (Fahjan, 2008). Ölçekli kayıtlara ait özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de; depremlere ait kayıt süresi, anlamlı süre, zarf süresi, zaman tanım alanında ölçekleme katsayısı (r_{ST}), OGH: Doğrusal ölçeklemedeki oransal göreceli hata değerleri (Fahjan, 2008) ve $S_{ae}(T_0)$: Sıfır periyoda karşılık gelen spektral ivme değerleri yer almaktadır. Çalışmada ele alınan yapıların (BAÇ_3, BAÇ_4 ve BAÇ_5) dinamik analizi sonucu T_1 periyotları belirlenerek, $0.2T_1-2T_1$ aralığındaki ortalama spektral ivme değerleri hesaplanmış ve tabloda belirtilmiştir. Yapıların doğrusal elastik analizlerinde en çok “4” olarak önerilen ölçekleme katsayısı, her bir deprem için 4’den küçük elde edilmiştir. Ölçeklenmiş kayıtlara ait ivme spektrumları, çalışmada esas alınan Z3 tasarım ivme spektrumu ile birlikte Eki 2’de verilmiştir. Sönüm oranı %5 olarak alınmıştır.

Tablo 2. Ölçekli kayıtlara ait özellikler

Kayıt	Kayıt Süresi (s)	Anlamlı Süre (s)	Zarf Süre (s)	r_{ST}	OGH (%)	$S_{ae}(T_0)$ (g)	0.2T ₁ -2T ₁ aralığında ortalama S _{ae} (T) (g)		
							BAÇ_3	BAÇ_4	BAÇ_5
IMPVALL_I_I-ELC180	53.710	24.190	30.160	1.58	30.28	0.4449	1.000	0.966	0.930
SUPER.B_B-POE270	22.290	13.690	20.020	1.34	41.07	0.6355	0.975	0.876	0.836
LANDERS_YER360	43.980	18.860	31.500	2.38	27.50	0.3606	0.873	0.848	0.838
KOBE_KAK000	40.950	13.160	25.710	2.02	40.31	0.4845	0.969	0.853	0.819
KOCAELI_DZC180	27.180	11.790	19.920	1.41	23.21	0.4404	0.944	0.886	0.850
DUZCE_DZC180	25.880	11.065	20.805	0.97	27.91	0.3921	0.978	0.927	0.869
SIERRA.MEX_GEO090	99.995	37.685	53.515	1.35	14.95	0.3892	0.903	0.825	0.788



Eki 2. Ölçeklenmiş kayıtlara ait elastik ivme spektrumları

Ölçeksiz ve ölçekli kayıtlara ait elastik ivme spektrumlarının elde edilmesinde SeismoSpect v2.1.2 (2015) programı kullanılmıştır.

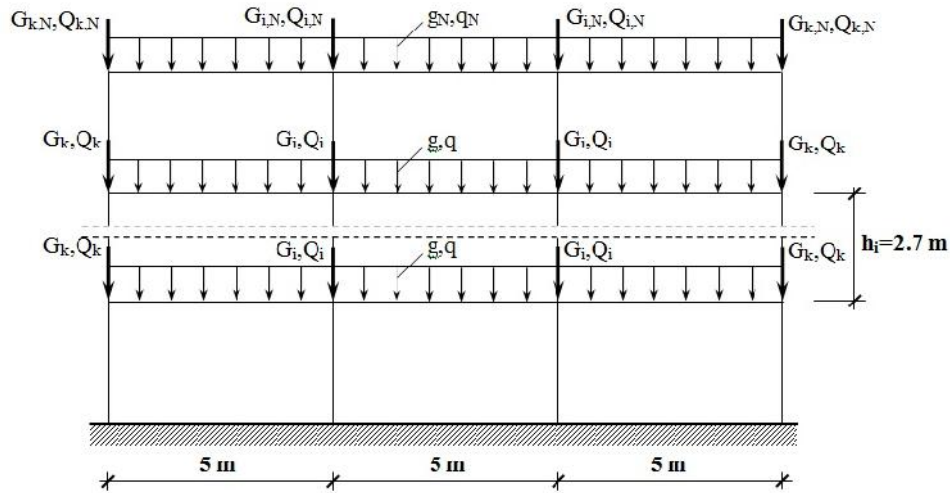
4. SAYISAL UYGULAMA

Çalışmada Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi’nin uygulanması amacıyla, kat sayıları farklı üç adet betonarme çerçeve kullanılmıştır. Çerçeveler planda her iki

do rultuda 5 m'lik üç açıklı a sahip üç boyutlu bir yapının iç akslarından çıkarılmıştır. Kat sayıları 3, 4 ve 5 olarak belirlenen çerçeveler çalı ma kapsamında BAÇ_3, BAÇ_4 ve BAÇ_5 olarak isimlendirilmiştir. Beton sınıfı C20, enine ve boyuna donatı ise S420 olarak öngörölmü tür.

4.1. Betonarme Çerçevelerin Boyutlandırılması

Seçilen düzlem çerçeveler TS500 (2000) ve TDY (2007) ko ullarını sa layacak ekilde boyutlandırılmıştır. Dü ey yükler üç boyutlu yapı üzerinden hesaplanmış ve çerçevelere paylaştırılmıştır. Boyutlandırmada esas alınan dü ey yükler tipik bir çerçeve üzerinde ekil 3'de gösterilmiştir. Kiri ler üzerindeki düzgün yayılı yükler g ve q olarak belirtilmiştir. Çerçeveye dik do rultudaki kiri lardan dikkate alınan çerçeve kolonlarına aktarılan sabit ve hareketli tekil yükler ise kenar kolonlar için G_k , Q_k ve iç kolonlar için ise G_i , Q_i olarak gösterilmiştir. Aynı yüklerin son kat (N) için azaltılmış de erleri dikkate alınmıştır ($G_{k,N}$, $Q_{k,N}$ ve $G_{i,N}$, $Q_{i,N}$). Düzgün yayılı ve tekil yüklerin sayısal de erleri Tablo 3'de verilmiştir.



ekil 3. Çerçevelerin geometrik özellikleri ve dü ey yükleri

Tablo 3. Boyutlandırmada esas alınan dü ey yükler

Düzgün Yayılı Yükler (kN/m)							
g		q		g _N		q _N	
20.50		6.67		15.50		5.00	
Tekil Yükler (kN)							
G _k	Q _k	G _i	Q _i	G _{k,N}	Q _{k,N}	G _{i,N}	Q _{i,N}
71.00	16.65	102.63	33.33	52.50	12.50	77.45	25.00

Yapı önem katsayısı $I=1.0$ olarak belirlenen çerçevelerin birinci derece deprem bölgesinde bulundu u (etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.40$), zemin sınıfının Z3 (spektrum karakteristik periyotları $T_A=0.15$ saniye ve $T_B=0.60$ saniye) oldu u ve yüksek süneklik düzeyine sahip oldu u (ta ıyıcı sistem davranı ma katsayısı $R=8$) kabul edilmiştir. Tipik kat yüksekli $h_i=2.70$ m olarak alınmıştır. Çerçevelerin kat kütleleri ölü yükler ile hareketli yüklerin %30'unun (hareketli yük katılım katsayısı, $n=0.30$) toplamından hesaplanmıştır. Çerçevelerin boyutlandırılması a masında do rusal elastik deprem hesabı E de er Deprem Yüğü Yöntemi (TDY, 2007) kullanılarak yapılmıştır.

Çerçevelerin do rusal elastik hesap modelleri SAP2000 (CSI, 2014) yapısal analiz programında olu turulmuş ve TS500 (2000)'de verilen farklı yük birle imleri dikkate alınarak boyutlandırılması gerçekte tirilmiştir. Boyutlandırma sonucunda çerçevelerdeki tüm kiri ler 25x50 cm olarak belirlenmiştir. Kare olarak tasarlanan

kolon kesitlerinin boyutları BAÇ_3'de 40x40 cm, BAÇ_4'de 45x45 cm ve BAÇ_5'de 50x50 cm olarak belirlenmiştir.

4.2. Dinamik Analizlerin Sonuçları

Analizlerde kullanılan 3, 4 ve 5 katlı betonarme çerçevelerin Mod Birleştirme Yöntemi ile analizinde dikkate alınan titreşim modu sayısı (n), bu modlara ait doğal titreşim periyotları (T_{xn}), her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütesine oranları ($\sum U_{xn}$) ve toplam kütleler ($\sum_{i=1}^N m_i$) Tablo 4'de verilmiştir.

Çalışmada, çerçevelerin Mod Birleştirme Yöntemi ile analizinde hesaba katılacak yeterli titreşim modu sayısı, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir titreşim modu için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütesinin en az %90'ı olacak şekilde, (1) nolu denklemde ifade edildiği gibi belirlenmiştir (TDY, 2007; Uçar ve Merter, 2012). Söz konusu koşul tüm çerçeveler için ilk iki titreşim modu dikkate alındığında sağlanmaktadır.

Tablo 4. Çerçevelerin dinamik özellikleri

Çerçeve	$\sum_{i=1}^N m_i$ (ton)	Mod (n)	T_{xn} (s)	U_{xn} (%)	$\sum U_{xn}$ (%)
BAÇ_3	200.50	1	0.394	87.87	87.87
		2	0.122	9.92	97.78 > 90.00
BAÇ_4	273.36	1	0.479	84.62	84.62
		2	0.146	10.69	95.31 > 90.00
BAÇ_5	346.22	1	0.562	82.47	82.47
		2	0.171	10.87	93.34 > 90.00

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \cdot \sum_{i=1}^N m_i \quad (1)$$

(1) nolu eşitlikte; Y : hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, N : binanın toplam kat sayısı, M_{xn} : göz önüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n 'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle, M_n : n 'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle ve m_i : binanın i 'inci katının kütesidir. L_{xn} kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için:

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \cdot \Phi_{xin} \quad (2)$$

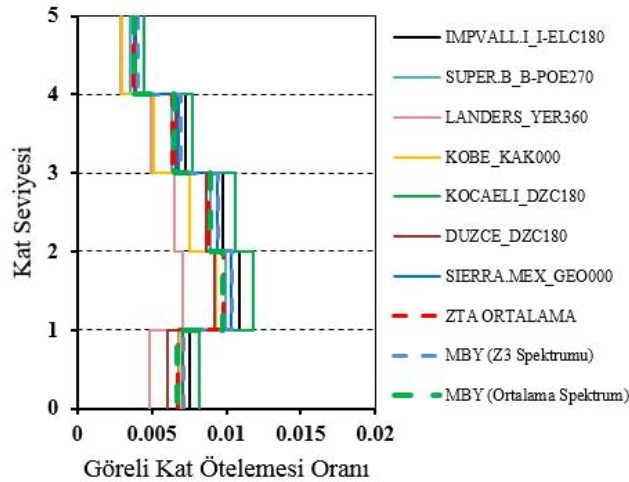
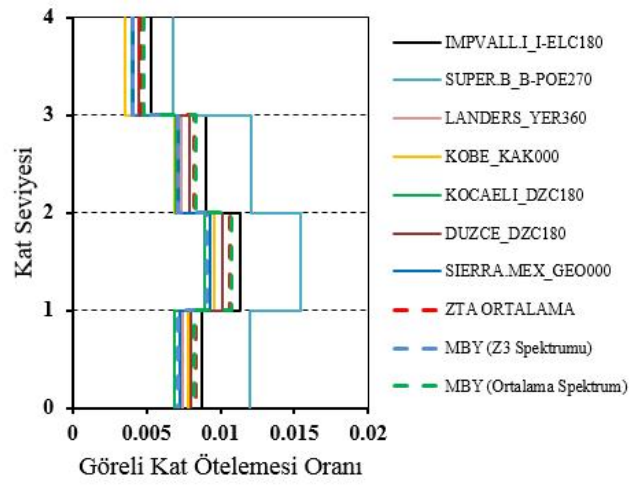
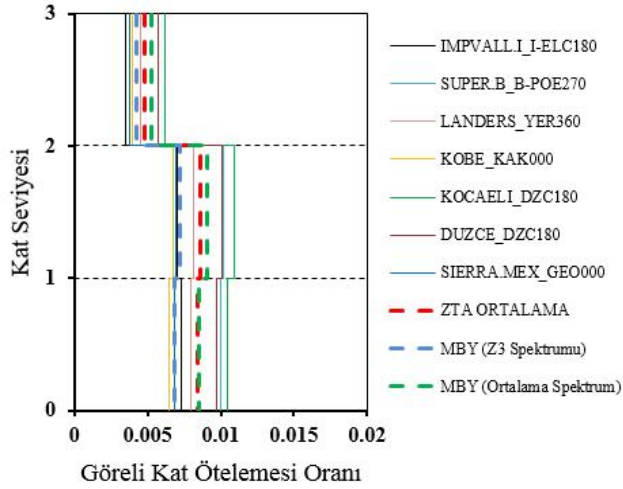
eşitlikte ifade edilir. W_{xin} : n 'inci mod şeklinin i . katta x eksenine göre doğrultusundaki yatay bileşendir (TDY, 2007).

BAÇ_3, BAÇ_4 ve BAÇ_5 çerçeveleri için zaman tanım alanında doğrusal elastik hesaptan, Z3 tasarım spektrumunun ve seçilen deprem kayıtlarının ortalama elastik ivme spektrumunun kullanılması ile gerçekleştirilen Mod Birleştirme Yöntemi'nden elde edilen taban kesme kuvveti (V_{tx}) sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. Taban kesme kuvveti değerleri deprem yükü azaltma katsayısı ile azaltılmamış sonuçları yansıtmaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analizlerde en büyük taban kesme kuvveti değeri; 3 katlı BAÇ_3 çerçevesi için DUZCE_DZC180 depreminden elde edilirken, 4 katlı BAÇ_4 çerçevesi için SUPER.B_B-POE270 depreminden ve 5 katlı BAÇ_5 çerçevesi için KOCAELI_DZC180 depreminden elde edilmiştir. Ortalama taban kesme kuvveti değerleri incelendiğinde, 3 ve 4 katlı betonarme çerçevelerde zaman tanım alanında doğrusal dinamik analiz sonucunun Mod Birleştirme Yöntemine göre biraz daha büyük değerde olduğu görülmektedir. BAÇ_5 çerçevesi için her üç analizden elde edilen taban kesme kuvvetlerinin birbirine

oldukça yakın değerlerde olduğu görülmüştür ve 5 katlı çerçevenin en büyük taban kesme kuvveti deeri, Z3 tasarım ivme spektrumu ile gerçekleştirilen Mod Birleştirme Yöntemi'nden elde edilmiştir.

Tablo 5. Taban kesme kuvveti değerleri

ZTA	V_{tx} (kN)		
	BAÇ_3	BAÇ_4	BAÇ_5
IMPVALLI_I-ELC180	1937	2859	3008
SUPER.B_B-POE270	2576	3929	2742
LANDERS_YER360	2073	2395	1960
KOBE_KAK000	1665	2586	2898
KOCAELI_DZC180	2679	2219	3285
DUZCE_DZC180	3125	2602	2403
SIERRA.MEX_GEO090	1768	2383	2792
ZTA ORTALAMA	2260.43	2710.43	2726.86
MBY (Z3 Spektrumu)	1738.50	2288.84	2828.06
MBY (Ortalama Spektrum)	2176.36	2676.64	2667.82



ekil 4. Farklı analizlerden elde edilen görel kat ötelemesi oranları

Dinamik analizlerden elde edilen görelî kat ötelemesi oranları BAÇ_3, BAÇ_4 ve BAÇ_5 çerçeveleri için ekil 4'de verilmi tir. BAÇ_3 çerçevesinde, Z3 tasarım spektrumunun esas alınması ile gerçekleştirilen Mod Birle tirme Yöntemi'nin vermi oldu u görelî kat ötelemesi oranı sonuçlarının, zaman tanım alanında dinamik analizlerin ortalama sonuçlarından bir miktar daha küçük oldu u görülmü tür. 3 katlı çerçevede en büyük görelî kat ötelemesi oranlarını veren analiz, ölçeklenmi deprem kayıtlarının gerçek ortalama ivme spektrumu ile gerçekleştirilen Spektrum Analizi (Mod Birle tirme Yöntemi ile analiz) olmu tur. Ancak; üç katlı çerçevede farklı dinamik analizlerden elde edilen görelî kat ötelemesi oranlarının birbirine oldukça yakın oldu u bulgulanmı tir. BAÇ_4 çerçevesinde de, her üç analizden elde edilen görelî kat ötelemesi oranı sonuçları birbirine çok yakındır. Görelî kat ötelemesi oranları BAÇ_4 çerçevesi için küçükten büyü e do ru sıralandı nda; Z3 tasarım spektrumunun esas alındı ı Mod Birle tirme Yöntemi ile analiz, zaman tanım alanında dinamik analiz (ortalama) ve ortalama gerçek spektrumun esas alındı ı Mod Birle tirme Yöntemi ile analiz gelmektedir. BAÇ_5 çerçevesi için, seçilen deprem kayıtları ile gerçekleştirilen zaman tanım alanında dinamik analizden vermi oldu u ortalama görelî kat ötelemesi oranı sonucu en küçük iken, Z3 tasarım spektrumunun esas alınması ile gerçekleştirilen Mod Birle tirme Yöntemi'nin görelî kat ötelemesi oranı sonuçları en büyüktür. Her üç analizden elde edilen görelî kat ötelemesi oranı de erleri, di er çerçevelerdeki gibi birbirine çok yakın elde edilmi tir. Etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük de erleri, TDY (2007)'deki 0.02 sınırının altında kalmı tur (ekil 4).

5. SONUÇLAR ve ÖNER LER

Bu çalı mada, betonarme çerçeve yapıların do rusal elastik deprem hesabında bir tasarım spektrumunu esas alan ve deprem kayıtlarının yapı sistemine do rudan etkilendi i farklı dinamik yöntemler kar ıla tırmalı olarak incelenmi tir. Türk Deprem Yönetmeli i'nde (TDY, 2007) yer alan Z3 elastik tasarım ivme spektrumunun esas alınması ile üç, dört ve be katlı betonarme çerçeve türü yapıların farklı yöntemlerle dinamik analizleri gerçekleştirilmi tir. Seçilen gerçek ve Z3 spektrumuna göre ölçekli deprem ivme kayıtlarının kullanılması ile zaman tanım alanında do rusal dinamik analizler yapılmı tur. Aynı çerçeve yapıların deprem hesabı, Z3 elastik tasarım ivme spektrumu ve Z3'e göre zaman tanım alanında ölçeklenmi deprem kayıtlarından elde edilen gerçek spektrumların do rudan ortalaması (ortalama spektrum) kullanılarak Mod Birle tirme Yöntemi ile yapılmı tur. Çalı madan elde edilen ba lı ca bulgular u ekildedir:

- Analitik olarak tanımlı olan, sabit bir elastik tasarım ivme spektrumuna göre Mod Birle tirme Yöntemi ile yapılan do rusal elastik deprem hesabında elde edilen görelî kat ötelemesi oranları ve taban kesme kuvveti de erleri, aynı spektruma göre ölçeklendirilmi deprem kayıtlarının esas alınması ile gerçekleştirilen zaman tanım alanında do rusal elastik analizlerin vermi oldu u görelî kat ötelemesi oranları ve taban kesme kuvveti de erleri ile oldukça yakındır.
- Zaman tanım alanında dinamik analizler için seçilen her bir deprem kaydı, analiz sonuçlarına kendi özelli ini yansıtmakta ve her depremden farklı analiz sonuçları elde edilmektedir. Bu nedenle, zaman tanım alanında dinamik analizlerde sonuçlar her bir depremden elde edilen sonuçların ortalaması ekinde sunulmu tur.
- Çerçeve yapılar için, belirli bir tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmi deprem kayıtları ile gerçekleştirilen zaman tanım alanında do rusal dinamik analizlerden (Mod Birle tirme Yöntemi'ne göre) genellikle bir miktar daha büyük taban kesme kuvvetleri elde edilmi tir.
- Çalı mada çerçeve yapılar için elde edilen elastik taban kesme kuvveti de erleri, deprem yükü azaltma katsayısı ile azaltılmamı de erlerdir. Elde edilen bu de erlerin mertebesinin kontrolünde fikir vermesi açısından, Türk Deprem Yönetmeli i'ndeki E de er Deprem Yüğü Yöntemi ile pratik olarak belirlenebilecek elastik taban kesme kuvveti de erleri kullanılabilir.

- Tasarım ivme spektrumu ve ortalama spektrum ile gerçekle tirilen Mod Birle tirme Yöntemi'nde birbirine yakın ancak küçük bir miktar birbirinden farklı görel kat ötelemeleri elde edilmiştir. Ortalama gerçek spektrum ile gerçekle tirilen Mod Birle tirme Yöntemi görel kat ötelemesi sonuçlarının, zaman tanım alanında do rusal dinamik analizlerin ortalama sonuçlarına genellikle daha yakın oldu u görülmü tür. Ancak; Z3 tasarım spektrumu ile Mod Birle tirme Yöntemi'nden elde edilen görel kat ötelemesi sonuçlarının da ortalama spektrum ile gerçekle tirilen Mod Birle tirme Yöntemi'nin kat ötelemesi sonuçlarına oldukça yakın oldu u ve bu nedenle gerçek ortalama ivme spektrumu yerine yönetmelikte tanımlanmış Z3 tasarım ivme spektrumu ile Mod Birle tirme Yöntemi'ni uygulamanın daha pratik oldu u dü ünülmektedir.
- Do rusal dinamik analizlerden elde edilen görel kat ötelemesi oranları 0.004 ile 0.015 aralı nda elde edilmiştir. Türk Deprem Yönetmeli i'ndeki 0.02 sınırı a ılmamıştır.
- Deprem mühendisli inde, deprem ivme kayıtlarının bir tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmesi dinamik analizler açısından oldukça önemli bir konudur. Zaman tanım alanında do rusal dinamik analizlerin belirli bir tasarım spektrumuna uymayan ve birbirinden farklı spektrumlara sahip deprem kayıtları ile gerçekle tirilmesi, Mod Birle tirme Yöntemi ile kar ıla tırılması açısından bir anlam ifade etmemektedir.

Dinamik tabanlı her iki yöntemden elde edilen sonuçların birbirine yakın olmasına rağmen, Mod Birle tirme Yöntemi'nde depremin kayıt süresi analizlere yansımamaktadır. Bu nedenle; kayıt süresinin önemli oldu u analizlerde, Zaman Tanım Alanında Dinamik Hesap Yöntemi'nin esas alınması önemlidir.

KAYNAKLAR

- Chopra, A.K., (1995). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice-Hall, New Jersey.
- Fahjan, Y. (2008). Türkiye Deprem Yönetmeli i (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. *MO Teknik Dergi* **19:3**, 4423-4444.
- Fahjan, Y. ve Ozdemir, N. (2008). Scaling of earthquake accelerograms for non-linear dynamic analyses to match the earthquake design spectra. *14th World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17, Beijing, China.
- Pasifik Deprem Mühendisli i Ara tırma Merkezi (PEER) (2015). PEER Strong Motion Database, <http://ngawest2.berkeley.edu/>.
- SAP2000 (2014). Integrated Structural Analysis and Design Software, Version 16.1.0. Computers and Structures Inc., Berkeley, CA.
- SeismoSpect v2.1.2 (2015). Seismosoft Ltd., talya.
- TDY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve şkan Bakanlığı, Ankara.
- TS500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uçar, T. ve Merter, O. (2012). Binaların deprem hesabında kullanılan do rusal elastik hesap yöntemleriyle ilgili bir irdeleme. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* **2:2**, 15-31.