

HAL YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞLARININ PERFORMANSA BAĞLI ANALİZLERLE BELİRLENMESİ

Zeki AY¹, Armağan KORKMAZ¹

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Çünür, Isparta.

YAYIN KODU: 2008-10A

Özet

Deprem etkisi, yapıları alışılmış yüklerin üzerinde zorlayarak, yapının doğrusal olmayan davranışına neden olur. Bu nedenle, bütün yapılarda olduğu gibi, çelik uzay çatılı hal yapılarının da depremden zarar görmeyecek veya daha az zarar görecektir şekilde tasarlanması oldukça önemlidir. Çelik uzay çatı sistemli hal yapılarında genel olarak alttaki taşıyıcı sistem betonarme çerçeveler veya perdeli çerçeveli sistemlerden oluştuğu için, taşıyıcı sistemin rijitliği çelik çatı sistemine göre oldukça yüksektir. Özellikle deprem gibi büyük doğal afetlerde, en azından bu tip yapıların depremden zarar görmemesi gerekir. Çünkü, geniş açıklıklı bu tip yapılar, deprem sonrası geçici barınma yeri, hastane vb. amaçlarla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, rijitliği birbirinden farklı ve beraber çalışmak zorunda olan iki sistemin deprem davranışlarını incelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada, çelik uzay çatı sistemli üç hal yapısı modeli ele alınmış, bu üç modelin, doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve performansa bağlı analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Yapıların 1998 Türk Deprem Yönetmeliği çerçevesinde davranışı incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Çelik Uzay Kafes Çatı, Hal Yapılarının Deprem Davranışları, Doğrusal olmayan analizler, Performans analizleri

DETERMINATION OF EARTHQUAKE BEHAVIOR OF HALL STRUCTURES USING PERFORMANCE BASED ANALYSES

Abstract

Earthquake effect plays an important role on structural behavior by forcing structures over limits. Likelihood the all other structures, the earthquake design of steel space framed hall structures is very important issue. These structures are candidate for just after earthquake shelters for people suffering from the earthquake. In general construction, steel space frames are build on reinforced concrete frame or wall structure above the bottom side. For this reason, bottom side has higher rigidity comparing to upper side. In this current research work, hall structures involving two different rigidity parts are taken into consideration regarding with earthquake behavior. In application, 3 different hall structures are modeled in the analyses. These models are analyzed nonlinearly. For each model, performance based analysis results are evaluated and compared. The results are also compared according to 1998 Turkish Design Code.

Key Words: *Hall structures, earthquake behavior, performance based analysis, nonlinear analysis*

GİRİŞ

Yer değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme yöntemleri, son yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Amerika Birleşik Devletlerinin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, yer değiştirmelere ve şekil değiştirmelere bağlı olarak tanımlanan daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini doğurmuştur. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla, Applied Technology Council (ATC) tarafından ve Federal Emergency Manegament Agency (FEMA) tarafından çeşitli raporlar yayınlamıştır [1-3].

Türkiye'deki mevcut yapıların büyük bir kısmı deprem kuşağı içerisinde yer almaktadır. Yakın zamanda meydana gelen Marmara 17 Ağustos 1999 (M: 7,4) , Düzce 12 Kasım 1999 (M: 7,2) , Afyon-Sultandağı 3 Şubat 2002 (M: 6,8) , Bingöl 1 Mayıs 2003 (M: 6,3) depremleri özellikle kamu binalarının önemli bir kısmının deprem yönünden risk altında olduğunu göstermiştir. Bu nedenle mevcut kamu binalarının deprem güvenlik durumlarının incelenmesi ve gerekli görülenlerin güçlendirilmesi konusunda yoğun olarak çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'de halen yapılmakta olan tip spor salonlarının deprem davranışlarının incelenmesi esas alınmıştır. Böylece, bu yapıların yapı tiplerine göre deprem yönünden alınacak tedbirlerin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, 750, 1500 ve 2500 kişilik karma tip spor salonu projeleri bilgisayar ortamına aktararak, üzerlerine kırık, tonoz ve tek eğimli uzay çatı tipleri yerleştirilmiştir. Daha sonra, oluşturulan bu modellerin doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilerek performansa bağlı analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca 1998 Türk Deprem Yönetmeliği çerçevesinde modellerin deprem davranışı incelendi. Çalışmada, SAP2000 bilgisayar programı kullanılmıştır [4].

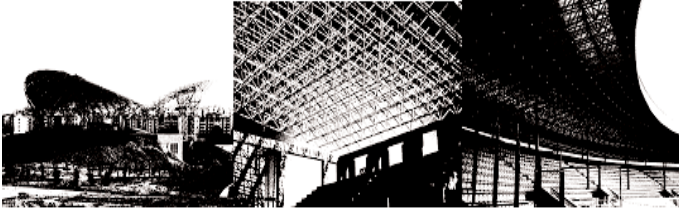
1. Çelik Uzay Kafes Sistem Uygulamaları

Günümüzde, geniş açıklıklı mekanların örtülmesi genellikle uzay kafes sistemlerle gerçekleştirilmektedir. Uzay kafes inşaatında, ekonomik, hızlı, estetik ve

güvenli çözümler ise prefabrike çelik uzay sistemlerle mümkün olmaktadır. Böylece, prefabrike çelik uzay sistemlerle, çağdaş teknoloji, mimarinin hizmetine sunulmaktadır. Uzay kafes sistemlerde her düğüm noktası üç doğrultuda gelen çubuklarla tutulmaktadır. Bu nedenle, düğüm noktaları yüksek hiperstatiklik derecesine sahip oldukları için mafsalı kabul edilmeleri doğru bir yaklaşım olmaktadır. Büyük açıklıkların geçilmesinde geleneksel çelik çatı konstrüksiyonları günümüzde yerini prefabrike çelik uzay sistemlere bırakmıştır.

Uzay sistemlerin bir çok uygulama kolaylığı mevcuttur. Bu yapıların içinden klima kanalları, tesisat ve elektrik boruları rahatlıkla geçebilir. Doğal aydınlatma sağlanabilir. Üzerine her türlü çatı kaplaması uygulanabilir ve iç mekanda asma tavan rahatlıkla düzenlenebilir. Isı değişimi yönünden diğer sistemlere göre daha esnek bir yapıya sahiptir. Çubuk boyları birbirine yakın olduğu için düğüm deplasmanları çok küçük olmaktadır. İmalatlar prefabrike olduğu için demonte yapılarak, kolaylıkla yapının yerini değiştirmek mümkündür. Montajı yerde olabildiği gibi yerinde örülerek de yapılabilir. Farklı inşaat koşullarına uygunluğu açısından bu önemli bir kıstastır. İmalat ve montaj süreleri çok kısaldığı için zamanla meydana gelen fiyat artışlarının önüne geçilmektedir. Ayrıca, klasik sistemlerdeki çatılara göre iskele, kalıp, tabliye betonu, ahşap çatı konstrüksiyonu, kaplama tahtası ve kiremit örtü maliyetini de ortadan kaldırdığı için ekonomik olma düzeyi yüksektir. Tesisin daha kısa sürede işletmeye alınması gerek yatırımcılara, gerekse ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır.

Prefabrike çelik uzay kafes sistemler, stabilitesi oldukça yüksek yapılar olup, çeşitli geometrilerdeki geniş açıklıkların kolonsuz geçilerek kapalı mekan olarak kullanılmasında oldukça ekonomik çözümler sağlarlar. Ayrıca, bu sistemler, prefabrike standart elemanlardan meydana geldiği için, dizayn, imalat ve montaj süreleri çok kısa olmakta ve özellikle işçilik hatalarından kaynaklanan problemler en aza inmektedir. Uzay sistem bir yapı, kendisine gelecek yatay ve düşey etkileri her üç doğrultuda da dağıttıkları için stabilitesi oldukça yüksek yapılardır. Çeşitli geometrilerdeki geniş açıklıkların kolonsuz geçilerek kapalı mekan olarak kullanılmasın da oldukça ekonomik çözümler sağlarlar.



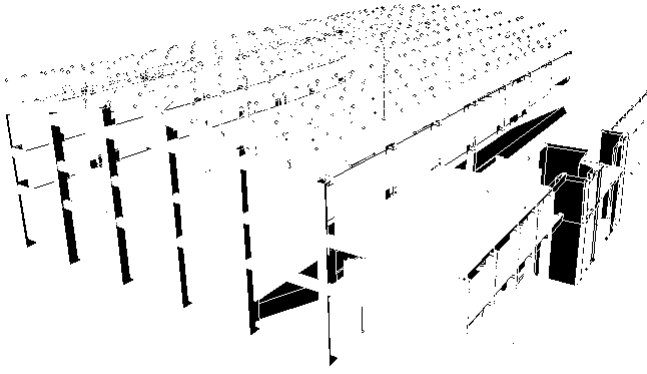
Şekil 1. Prefabrike Çelik Uzay Kafes Sistemlerden Örnekler

2. Modellenen Hal Yapıları ve Özellikleri

Çalışmaya esas yapılar geometri ve tip bakımından aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır. Malzeme özelliği olarak; beton C20 sınıfı, donatı çeliği BÇ3 (S420), çelik uzay kafes profilleri ST37 çeliği alınmıştır. Bütün modellerin kiriş, kolon, perde ve döşeme taşıyıcı elemanları statik projelerine esas olarak boyutlandırılmıştır [5-7].

Model 1: 750 Kişilik Tonoz Çelik Uzay Kafes Çatılı Prefabrike Hal Tipi Yapı Modeli

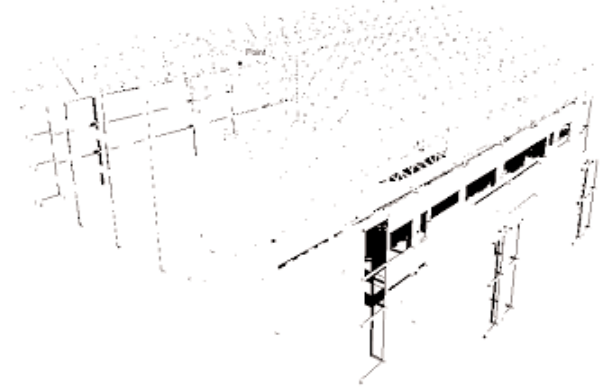
Bu yapı; 48 m x 40,1 m oturma alanlı, 10,5 m yüksekliğinde, x yönünde 7 açıklıklı, y yönünde ise 6 açıklıklı, üzerinde tonoz çelik uzay kafes çatı olan bir yapıdır. Şekil 2’de Model-1’in üç boyutlu görünümü verilmektedir.



Şekil 2. Model-1 Üç Boyutlu Görünümü

Model 2: 1500 Kişilik Kırık Çelik Uzay Kafes Çatılı Prefabrike Hal Tipi Yapı Modeli

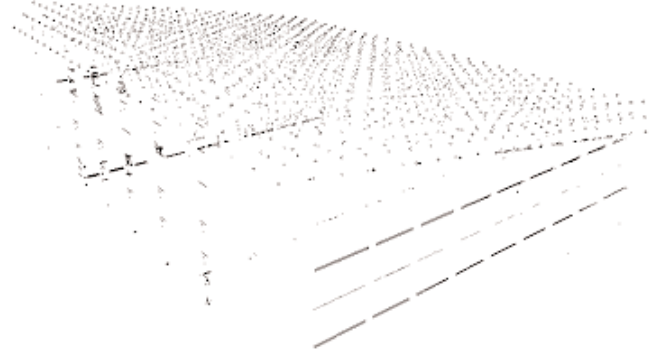
Bu yapı; 44,76 m x 51,13 m oturma alanlı, 10,9 m yüksekliğinde, x ve y yönünde 6 açıklıklı, üzerinde kırık çelik uzay kafes çatı olan bir yapıdır. Şekil 3’de Model-2’in üç boyutlu görünümü verilmektedir.



Şekil 3. Model-2 Üç Boyutlu Görünümü

Model 3: 2500 Kişilik Tek Eğimli Çelik Uzay Kafes Çatılı Tip Prefabrike Hal Tipi Yapı Modeli

Bu yapı; 62,52 m x 45,15 m oturma alanlı, 10 m yüksekliğinde, x yönünde 8 açıklıklı ve y yönünde ise 9 açıklıklı, üzerinde tek eğimli çelik uzay kafes çatı olan bir yapıdır. Şekil 4’de Model-3’ün üç boyutlu görünümü verilmektedir.



Şekil 4. Model-3 Üç Boyutlu Görünümü

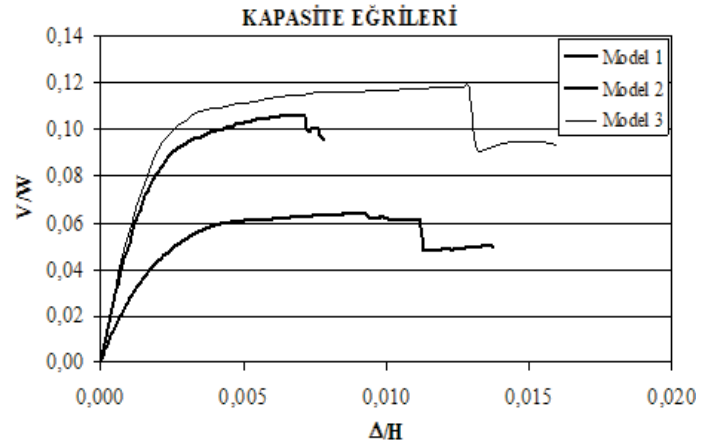
3. Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılan basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri, yapı sistemlerinin yatay kuvvetler altındaki davranışını temsil eden yatay kuvvet- yer değiştirme (P-Delta) ilişkisinin malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bu ilişkinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Kapasite

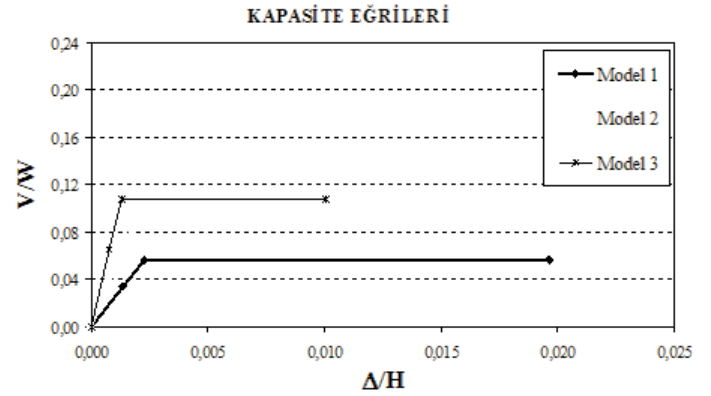
eğrisi adı verilen bu eğriden yararlanılarak, yapının zayıf ve yetersiz elemanları, bunların yerleri ve olası bölgesel veya toptan göçme mekanizmaları belirlenmekte, ayrıca belirli bir deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği kontrol edilebilmektedir.

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri ile yapının performansının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı kriterde yapılabilmektedir. Dayanım bazlı değerlendirmeler adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapıya etkiyen yatay deprem yükleri yönetmeliklerde öngörülen seviyelere ulaştığında, gerek dayanım gerekse de yer değiştirme ve şekil değiştirmeler bakımından yapıdan istenilen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilebilir. Yer değiştirme ve şekil değiştirme bazlı değerlendirmelerin esas alındığı yöntemlerde ise, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için yapıdaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Her yapı sabit ve hareketli yüklerle yüklenmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarının plastik mafsal özellikleri belirlenerek Sap2000 ortamındaki modelde sistem elemanlarına aktarılmıştır. Her bir yapının zayıf yönündeki kapasite eğrisi analiz sonucunda belirlenmiştir. Kapasite eğrileri FEMA'da belirtilen şekilde doğrusallaştırılmıştır [2,3]. Modellenen yapıların doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucu elde edilen doğrusal olmayan artımsal itme eğrileri, performansa bağlı analizlerde kullanılmıştır. Modellenen yapıların doğrusal olmayan davranışını ifade etmek için elde edilen artımsal itme eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 6'da da itme eğrilerinin doğrusallaştırılmış halleri verilmiştir. Tablo 1'de artımsal itme analizi sonucu elde edilen sonuçları sunulmuş ve yapı kapasiteleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Tablo 1'de W binanın sabit ve hareketli yükler için ağırlığı, H bina yüksekliğini, V_y binanın yatay yük taşıma kapasitesini, D_u maksimum yer değiştirme kapasitesini belirtmektedir.



Şekil 5. Modellerin Doğrusal Olmayan Analizleri Sonucu Elde Edilen Kapasite Eğrileri



Şekil 6. Modellerin İdealleştirilmiş Kapasite Eğrileri

Çizelge 1. Yapısal Modellerin Doğrusal Olmayan Analizlerinin Sonuçları

Model	V_y/W	D_u/H
Model 1	0.056	0.0196
Model 2	0.109	0.0159
Model 3	0.175	0.0101

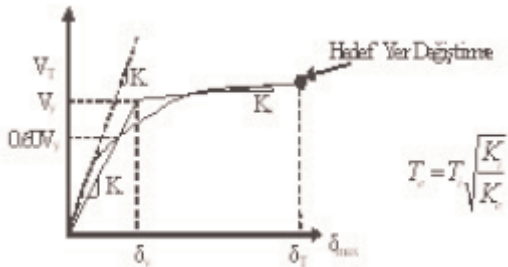
4. Performansa Bağlı Analiz Yöntemleriyle Yapıların Deprem Davranışlarının Değerlendirilmesi

Yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde günümüzde, performansa bağlı analiz yöntemleri etkin olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada performansa bağlı analiz yöntemleriyle hal yapıları üzerinde deprem davranışı belirlenerek, yapıların performansları belirlenmiştir. Performansa bağlı analiz yöntem-

leri FEMA ve ATC ön değerlendirme kaynaklarında kapasite spektrumu ve yer değiştirme katsayısı yöntemi olarak verilmektedir [1-3]. Bu yöntemlerde, yapı kapasitesini belirlemede doğrusal olmayan artımsal itme analizleri kullanılmaktadır. Çalışmada yer değiştirme katsayısı yöntemi kullanılmış ve yapıların deprem davranışları belirlenmiştir.

4.1. Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi

Bu yöntem de kapasite spektrumu yönteminde olduğu gibi, belirli bir yer hareketi için yapıya yüklenen yer değiştirme talebiyle yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Yer değiştirme talebi grafiksel olarak değil doğrudan olarak sayısal bir yöntemle hesaplanmaktadır. Bu yöntem kolay ve hızlı bir yöntem olması nedeniyle avantajlıdır. Ancak bu yöntemde, ikinci merteye etkileri ve çevrimsel davranışı temsil eden katsayıların çeşitli yapılar için araştırılması gerektiği bilinmektedir. Bu yöntem yapının kapasite eğrisinin belirlenmesi, maksimum yer değiştirmenin hesaplanması ve performans seviyesinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Yapıya ait kapasite eğrisi elde edildikten sonra bu eğri, elastik rijitliği ifade eden (K_e) ve elastik sonrası rijitliği ifade eden (K_s) doğru parçalarıyla idealleştirilmektedir. Bu idealleştirme yapılırken K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, K_e ve K_s doğrularının kesim noktasının ordinatının %60'ı ($0.6V_y$) olması sağlanır. Ancak iki doğru parçasının kesişim noktası başlangıçta bilinmediği için bir deneme yanılma yöntemi uygulanmaktadır. Buna göre, bir K_e doğrusu seçilerek V_y değeri belirlenir. K_e doğrusunun kapasite eğrisini kestiği nokta kontrol edilir. Değer $0.60V_y$ 'ye eşit değilse K_e için bir değer seçilerek işlem tekrarlanır.



Şekil 7. Kapasite Eğrisinin İki Doğru Parçasıyla İdealleştirilmesi

Bu grafikte belirtilen T_i , yapının elastik dinamik analizle bulunan birinci doğal periyodu, K_i yapının elastik yanal rijitliği, K_e ise elastik etkin rijitliğidir. Yapının performans kontrolünün yapılacağı talep yer

değiştirmesi (δ) :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1)$$

Burada, C_0 yapının tepe yer değiştirmesinin spektral yer değiştirmeye ilişkilendiren katsayıdır. Bu katsayı birinci moda ait modal katılım çarpanına bağlı olarak hesaplanır veya FEMA 273'de yapı kat adedine bağlı olarak hazırlanan tablolardan alınabilir. C_1 doğrusal-elastik davranış için hesaplanmış yer değiştirmelerle beklenen maksimum elastik olmayan yer değiştirmeleri ilişkilendiren katsayı olup, şu bağıntıyla hesaplanır.

$T_e < T_0$ için, $C_1=1.0$ veya, $T_e > T_0$ için

$$C_1 = 1.0 + \frac{R-1}{\alpha T_e^2} \quad (2)$$

Burada T_0 davranış spektrumunda sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçiş karşılık gelen karakteristik periyot değeri, R elastik olmayan dayanım talebinin akma dayanımına (V_y) oranı olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R = (S_a / g) / [(V_y C_0) / W] \quad (3)$$

V_y akma dayanımı, S_a yapının birinci doğal periyoduna karşılık gelen spektral ivmedir. C_2 çevrimsel şeklin maksimum yer değiştirme davranışı üzerindeki etkisini temsil eden değişiklik katsayısıdır. C_3 2. mertebe etkiler nedeniyle arttırılmış yer değiştirmeleri temsil eden değişiklik katsayısıdır.

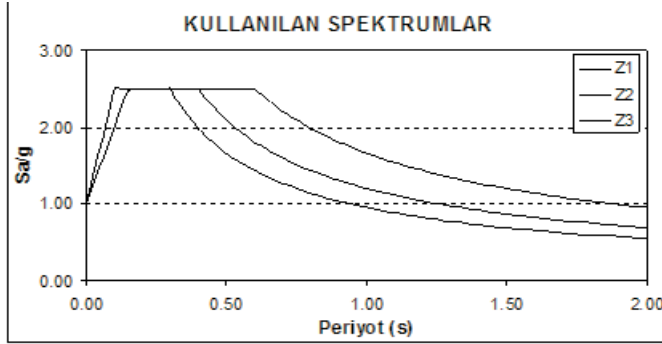
$$C_3 = 1.0 + \frac{\alpha(R-1)}{T_e} \quad (4)$$

Burada, α , elastik sonrası rijitliğin, etkin elastik rijitliğe oranıdır.

4.2. Seçilen Modellerin Performans Analizleri

İncelenen 3 model için FEMA-356 ve FEMA-440'ta tanımlanan deplasman katsayıları yöntemi kullanılarak maksimum deplasman talepleri belirlenmiştir. Bu amaçla, Deprem Yönetmeliği 2007'de 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depreme ait ivme spektrumu kullanılmıştır. Şekil 8'de analizlerde kullanılan kapasite spektrumları verilmiştir. Tablo 2'de de analizler gerçekleştirildikten sonra elde edilen performansa bağlı analiz sonuçları sunulmuştur. Daha önce elde edilen kapasite eğrilerinden yapıların maksimum yer değiştirme kapasiteleri elde edilmiş, talep yer değiştirmeleri, maksimum yer

değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Zemin sınıfı Z1'den Z3'e geçtikçe normal olarak maksimum yer değiştirme talebi artmaktadır.



Şekil 8. Performans Analizlerinde Kullanılan Z1, Z2, Z3 Kapasite Spektrumu Eğrileri

Modeller	Talep-Z1	Talep-Z2	Talep-Z3	Kapasite
	Du/H	Du/H	Du/H	Du/H
Model 1	0.0156	0.0197	0.0272	0.0101
Model 2	0.0235	0.0296	0.0409	0.0196
Model 3	0.0147	0.0185	0.0257	0.0100

Çizelge 2. Modellerin Performansa Bağlı Analiz Sonuçları

SONUÇLAR

Çalışmada, çelik uzay çatı sistemli üç hal yapısı modeli ele alınmış, bu üç modelin, doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve performansa bağlı analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Yapıların 1998 Türk Deprem Yönetmeliği çerçevesinde davranışı incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, her model için, eleman bazında performans kriteri değerlendirmesine gerek bırakmayacak kadar açıktır. Binalar için maksimum yer değiştirme talepleri, kapasitelerin oldukça üzerindedir. Bu durumda binaların "mevcut durumları" ile yetersiz olduğu söylenebilir. Talep yer değiştirmeleri, maksimum yer değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Zemin sınıfı Z1'den Z3'e geçtikçe maksimum yer değiştirme talebi artmaktadır. Dikkati çeken en önemli nokta, tüm talep değerleri, bina kapasitesinden daha büyüktür. Tablo 2'den görüleceği üzere, Z3 sınıfı zeminler için elde edilen yer değiştirme talepleri, yapı kapasitelerinin 2 katından daha fazladır. Bu çalışma göstermiştir ki, modellenen mevcut hal yapılarının deprem performansları olması gerektiği düzeyde değildir. Olası bir deprem sırasında bu yapıların hasar

alması mümkündür. Bu yapıların deprem güvenilirliklerinin artırılması ve yapısal davranışlarının iyileştirilmesi gereklidir. Ülkemizde de mevcut olan yapıların bu şekilde değerlendirilmesi ve deprem performanslarının incelenmesi gereklidir. Deprem performansları yetersiz olan mevcut yapıların da bir an evvel güçlendirilmesi, hal yapısı tipindeki yapıların insan alabilme kapasiteleri göz önüne alınarak öncelikli olarak yapılması gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] ATC (Applied Technology Council) 40, Seismic Evaluation And Retrofit of Concrete Buildings.
- [2] FEMA (Federal Emergency Management Agency) 273 Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings-1997.
- [3] FEMA (Federal Emergency Management Agency) 356 Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings - 2000.
- [4] Wilson, E.L., 2001. Three Dimensional Static And Dynamic Analysis of Structures. Computers and Structures, inc., USA.
- [5] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete 1997, İstanbul.
- [6] TS 648, 1980 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- [7] TS 498, 1987 Yapı Elamanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesabı. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.