

MEVCUT BETONARME YAPILARIN DEĞERLENDİRİLMESİNDE İTME ANALİZİ İLE JAPON SİSMİK İNDEKS YÖNTEMİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Ali ERGÜN¹, Veli BAŞARAN²

ÖZET : Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremler sonrası, mevcut betonarme yapıların deprem güvenliği açısından yeniden değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. İncelenecek yapı stokunun çok fazla olması, detaylı yapısal analizler yerine hızlı hesaplamalar içeren analiz tekniklerinin kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu çalışmada, hızlı değerlendirme yöntemlerinden olan “Japon Sismik İndeks” yöntemi ele alınmıştır. Bu yöntem kullanılarak yapılan değerlendirme sonuçlarının detaylı hesap teknikleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Değerlendirme kapsamında, konut olarak kullanılan 3 farklı tipte ve her biri 3 farklı deprem tasarım yük etkisinde projelendirilmiş betonarme binalar incelenmiştir. DBYBHY-2007’de öngörülen tasarım deprem yüklerine göre SAP2000 programı ile itme analizi yapılarak performans seviyeleri bulunmuş ve Japon Sismik İndeks yöntemi ile belirlenen değerlendirme sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Betonarme Binalar, İtme Analizi, Japon Sismik İndeks Yöntemi, SAP2000.

THE COMPARISON OF JAPANESE SEISMIC INDEX METHOD WITH PUSHOVER ANALYSIS IN EVALUATION OF EXISTING RC BUILDINGS

ABSTRACT : After recent earthquakes in Turkey, re-evaluation of existing reinforced concrete (RC) structures for seismic safety requirement has occurred. As the building stock that will be examined is excessive, the usage of analysis techniques including quick evaluation instead of detailed structural analysis is inevitable. In this study, “Japanese Seismic Index Method” that is one of the quick evaluation methods is discussed. Evaluation results of this method and detailed analysis techniques were compared. In this study, three different type RC residential buildings designed under three different seismic design loads were examined. In evaluation of investigated buildings, the seismic design loads given in Turkish Earthquake Resistant Design Code (2007) were used for pushover analysis with SAP 2000 to find performance levels, then they compared with the results of Japanese Seismic Index Method.

KEYWORDS : Reinforced Concrete Buildings, Pushover Analysis, Japanese Seismic Index Method, SAP2000.

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 03200, AFYONKARAHİSAR

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 03200, AFYONKARAHİSAR

I. GİRİŞ

Ülkemizde meydana gelen son depremler sonrası meydana gelen can kaybı ve yapısal hasarlar, yeni yapıların depreme dayanıklı tasarımı yanında mevcut betonarme yapıların deprem performansının ve riskinin önemini artırmıştır. Aynı zamanda, depremler sonucu oluşan yapısal hasarlar, mevcut yapıların çoğunun istenilen düzeyde deprem güvenliğine sahip olmadığı gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Mevcut yapılarda deprem güvenliğinin istenilen düzeyin altında olmasının başlıca nedenleri arasında, malzeme ve işçilik kalitesinin yetersiz olması, taşıyıcı sistem elemanlarının hatalı düzenlenmesi, konstrüktif detayların uygulanmaması ve hesaplamalarda tasarım deprem yükünün yapı davranışına, zemin özelliklerine ve bölgenin depremselliğine uygun alınmaması yer almaktadır [1]. Burada sıralanan yetersizliklerin hemen hemen benzerleri, son depremler sonrası hasar gören tüm yapılarda gözlemlenmiş ve tespit edilmiştir. Bu durum aynı zamanda, deprem riski bulunan bölgelerdeki mevcut yapıların büyük çoğunluğunun olası deprem etkisi altında, yapı güvenliği açısından yetersiz olduğunu da göz önüne sermektedir [2].

Mevcut yapılarda, depremlerde meydana gelecek olası hasar ve kayıpların tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak yapı envanterinin çıkartılması, kayıpları azaltmak amacıyla alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından gereklidir [3]. Mevcut yapıların deprem güvenliği açısından stok belirleme çalışmalarında, deprem yükleri altında performanslarının hesaplanmasında detaylı hesap tekniklerinin kullanılarak yapısal analizlerinin yapılması pratikte mümkün değildir. Bu durumda, yapı stokunun deprem güvenliği açısından belirlenmesinde hızlı değerlendirme yöntemlerinin kullanılması gerekli olmaktadır. Ülkemiz açısından deprem gerçeğinin farkında olan ve biran önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi gerekliliğine inanan mahalli idareler, yapı stokunun tespitinde bölgesel çalışmaları başlatmışlardır. Bu çalışmaların ilkinin İstanbul Büyükşehir Belediyesi yapmış ve İstanbul için deprem master planı (İDMP) hazırlamıştır [4]. Bu çalışmalarda, mevcut yapıların birçoğu için detaylı yapısal çözümleme yapmadan hızlı değerlendirme ile binaların deprem güvenliğinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

“Japon Sismik İndeks” yöntemi, mevcut yapıların deprem güvenliğinin hızlı değerlendirilmesi konusunda geliştirilmiş inceleme tekniklerinden birisidir. Bu yöntem, İTÜ tarafından Türkiye için adapte edilerek, İDMP master planında kullanılmıştır. Japon Sismik İndeks yöntemine göre değerlendirmede, yapının her katında iki eksen doğrultusu için bazı yapısal parametrelere bağlı hesaplanan sismik performans indeksi “ I_s ” ve sismik karar indeksi “ I_{SO} ” kullanılmaktadır. Bu indeksler karşılaştırılarak yapıların sismik performansı hakkında değerlendirme yapılabilmektedir. Türkiye şartlarına göre uyarlanması yapılan Japon Sismik İndeks yönteminin, ülkedeki tipik konut binalarının değerlendirilmesinde ne kadar gerçekçi sonuçlar verdiğinin test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, incelemeye alınacak binaların öncelikle DBYBHY 2007’de [5] öngörülen tasarım deprem yüklerine göre itme analizi (pushover analizi)

yapılarak performans seviyelerinin belirlenmesi ve Japon Sismik İndeks yöntemi ile bulunacak sismik performanslarının bulunması ve iki farklı hesaplama yönteminin karşılaştırılmasıdır. Karşılaştırma sonrası yöntemlerin yakınsaklığı incelenerek, gerekli görüldüğünde Japon Sismik İndeks yöntemindeki yapısal parametreler ve/veya indeks oranlarının kalibrasyonunun yapılmasıdır.

Bu amaçla, değişken olarak seçilen deprem tasarım yüklerine bağlı olarak 3 farklı tipte betonarme konut binası modeli oluşturulmuştur. Her bir betonarme yapı tipi için 1975 deprem yönetmeliğine [6] göre deprem yükleri dikkate alınmadan projelendirilmiş, 1975 ve 1998 deprem yönetmeliğine [7] göre tasarım deprem yükleri dikkate alınarak projelendirilmiş taşıyıcı eleman boyutları ve donatıları kullanılmıştır. Ayrıca modellemede kullanılan taşıyıcı elemanların malzeme seçiminde ve tasarım hesaplarında, alınan deprem yüklerinin yürürlükte olduğu zamanda geçerli olan standartlar dikkate alınmıştır. Bu bina modelleri, DBYBHY-07’de öngörülen tasarım depremi yüklerine göre SAP2000 [8] programı ile itme (pushover) analizi yapılarak, taban kesme kuvveti (V_T) – tepe yer değiştirmesi (Δ_{maks}) ilişkisi bulunmuş, FEMA 356’a [9] göre performans düzeyleri belirlenmiş ve üç aşamadan oluşan Japon Sismik İndeks Yönteminin birinci aşaması olan hızlı değerlendirme sonuçlarına göre ortaya çıkan sismik performans seviyeleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

II. GENEL BİLGİLER

II.1. Japon Sismik İndeks Yöntemi

Japon Sismik İndeks yöntemi mevcut betonarme yapıların sismik performansının ön değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntem mevcut binalar üzerinde herhangi bir ön inceleme gerektiğinde incelenen binalar arasında olumlu veya olumsuz birbirinden ayırma amacı taşımaktadır. Bu yöntem kullanılarak yapı hakkında elde edilen sonuç, yapının sismik performansının derecesini ve seviyesini göstermez, sadece bir deprem tehlikesine karşı yapının muhtemel sismik performansının nitelik olarak tespitini sağlar [10]. Bu yöntem kat sayısı 6’dan az betonarme çerçeve, perde-çerçeve veya sadece perdelerden oluşan taşıyıcı sisteme sahip bina türü yapılarda uygulanabilmektedir. Alışılmamış taşıyıcı sisteme sahip yapılar, malzeme dayanımı düşük olan yapılar, 30 yılın üzerinde yaşı olan ve şiddetli derecede bozulmaya sahip çok eski yapılar ile yangın geçirmiş yapılar için kullanılması önerilmemektedir. Yöntem, daha gerçekçi sonuç veren ve daha çok zaman alan kademeli üç farklı aşamadan oluşmaktadır. İncelemenin ilk aşaması yapının taşıyıcı sisteminin, yaşının ve fiziksel durumunun incelenmesini içerir. Üç farklı aşamaların her birinde de (1) ve (2) bağıntılarında gösterilen I_S ve I_{S0} indeksleri bulunarak karşılaştırma yapılır ve yapının deprem güvenliği tahmin edilir. Burada deprem güvenliği yapının hasar görmeyeceği anlamında değil, toptan göçmenin oluşmayacağı anlamında kullanılmaktadır [11].

$$I_s = E_0 \times S_D \times T \quad (1)$$

$$I_{SO} = E_S \times Z \times G \times U \quad (2)$$

Burada, I_s yapı sismik performans indeksini ve I_{SO} yapı sismik karar indeksini ifade etmektedir. E_0 temel yapısal performans indeksi, yapıda kısa kolon bulunması veya bulunmaması durumlarında farklılık göstermektedir. E_0 indeksi yapıda kısa kolon bulunmaması durumunda (3) bağıntısı ile bulunması durumunda ise (4) bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda n , bodrum kat hariç olmak üzere toplam kat adedini, i göz önüne alınan katı, C_w perdelerin taşıma gücünü, C_C kolonların taşıma gücünü, F_w perde sünekliğine bağlı katsayıyı ifade etmekte olup bu bağıntıda (1,0) olarak göz önüne alınabilir. a_1 , yer değiştirme uyum katsayısını belirtmekte olup genelde 0,7 alınır, ancak $C_w=0$ ise a_1 (1,0) alınmalıdır. C_{SC} kısa kolonların taşıma gücünü, F_{SC} kısa kolon sünekliğine bağlı katsayıyı ifade etmekte olup (0,8) olarak alınabilir. a_2 ve a_3 kısa kolon bulunması durumunda sırası ile perdeler ve kolonlar için yer değiştirme uyum katsayılarını belirtmekte olup, $a_2=0,70$ ve $a_3=0,50$ alınabilir [11].

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} \times (C_w + a_1 C_C) \times F_w \quad (3)$$

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} \times (C_{SC} + a_2 C_w + a_3 C_C) \times F_{SC} \quad (4)$$

Perdelerin taşıma gücü C_w (5) bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıda A_{w1} iki tarafından başlıklı perdelerin toplam enkesit alanını (cm^2), A_{w2} bir taraftan başlıklı perdelerin toplam enkesit alanını (cm^2), A_{w3} başlıksız perdelerin toplam enkesit alanını (cm^2), f_{cd} beton basınç dayanımını (kgf/cm^2), W göz önüne alınan kat üzerindeki bina ağırlığını (kgf) ifade etmektedir. Kolonların taşıma gücü (6) bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıda A_{c1} eleman temiz yüksekliği/kesit derinliği < 6 olan kolonların toplam enkesit alanını (cm^2), A_{c2} ise eleman temiz yüksekliği/kesit derinliği ≥ 6 olan kolonların toplam enkesit alanını (cm^2) göstermektedir. Kısa kolonların taşıma gücü ise (7) bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıda A_{sc} kısa kolonların toplam enkesit alanını (cm^2) ifade eder [11].

$$C_w = \frac{f_{cd}}{200W} (30A_{w1} + 20A_{w2} + 10A_{w3}) \quad (5)$$

$$C_C = \frac{f_{cd}}{200W} (10A_{c1} + 7A_{c2}) \quad (6)$$

$$C_{SC} = \frac{f_{cd}}{200W} (15A_{sc}) \quad (7)$$

Yapı taşıyıcı sistem tasarım ve boyutlama indeksi S_D (8) bağıntısı kullanılarak hesaplanacaktır. Bu bağıntılarda, incelenen parametrelerin değer karşılığı G_i ve sismik performansla incelenen parametrelerin etki derecesi R_i değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelgede, a_1 , yaklaşık olarak simetrik düzenli yapıları (simetriden ayrılma toplam kat alanının % 10’undan daha küçük), a_2 L, T veya U şeklinde planlı yapıları (simetriden ayrılma toplam kat alanının % 30’undan daha küçük) ve a_3 a_2 ’de tanımlanandan daha karışık planlı yapıları izah etmektedir.

$$S_D = q_{1a} \times q_{1b} \times \dots \times q_{1f}$$

$$q_{1i} = (1,0 - (1,0 - G_i) R_i) \quad i = a, b, c, d, f \quad (8)$$

$$q_{1i} = (1,2 - (2,0 - G_i) R_i) \quad i = e$$

Çizelge 1. S_D İndisinin hesabı için G_i ve R_i değerleri.

	Açıklama	G _i Değeri			R _i Değeri
		1,0	0,9	0,8	R _i
a	Düzensizlik	a_1	a_2	a_3	1,0
b	Binanın plandaki uzun kenarının kısa kenarına oranı	$b < 5$	$5 < b < 8$	$8 < b$	0,5
c	Binanın plandaki genişliklerinden en küçük olanının ana genişliğine oranı	$c > 0,8$	$0,8 > c > 0,5$	$0,5 > c$	0,5
d	Genleşme derzi aralığının katın zeminden yüksekliğine oranı	$d > 1/100$	$1/100 > d > 1/200$	$1/200 > d$	0,5
e	Bodrum katındaki döşeme alanının 1. kattaki döşeme alanına oranı	$e > 1,0$	$1,0 < e < 0,5$	$0,5 > e$	1,0
f	Üst katların kat yüksekliğinin dikkat edilen kat yüksekliğine oranı	$f > 0,8$	$0,8 > f > 0,7$	$0,7 > f$	0,5

Yapının zamana bağlı bozulma indeksi T, binadaki deformasyonlar, perde ve kolonlardaki çatlaklar, sıva ve kaplamalardaki çatlaklar, binanın yaşı ve yangın geçirmiş olup olmadığı gibi etkenler göz önüne alınarak Japan Building Disaster Prevention Association (1990) [12] tarafından tanımlanmış, (0,7) ile (1,0) arasında bir değerdir [11].

ISO yapı sismik karar indeksinin belirlenmesinde kullanılan E_S yapı için ana karar indeksi, inceleme seviyesine göre belirlenen ve birinci inceleme seviyesi için (0,8); ikinci ve üçüncü inceleme seviyeleri

için ise (0,6) dır. Sismik bölge faktör indeksi Z katsayısı deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde genel olarak (1,0) alınmakla birlikte, binanın bulunduğu bölgenin depremselliğine göre azaltılabilir. Zemin türüne göre Z_1 için (0,7), Z_2 için (0,8), Z_3 için (0,9), Z_4 için (1,0) alınabilir. Z indeksi (0,7)'den az (1,0)'dan büyük olamaz. Zemin yapı etkileşim faktörü indeksi G zemin katsayısı, zemin büyütmesi oluşturacak nitelikte zemin durumu ve topoğrafik etkiler için genel olarak (1,0), dik kaya, kısmen tepe, engebeli yüzey tabakası için (1,1) alınır. Yapı kullanımıyla ilgili faktör indeksi U deprem tehlikesine karşı; idare merkezi, tahliye merkezi yada tehlikeli maddeleri depolama merkezi ise değer olarak (1,25), konut ve benzeri yapılarda (1,0) alınması önerilmektedir.

Birinci inceleme seviyesinde çerçevelerin taşıma gücü, kolon, perde gibi düşey taşıyıcı elemanların kesit alanlarından faydalanarak, S_D ve T indeksleri de benzer şekilde basitçe hesaplanır. İkinci inceleme seviyesinde ise kolon ve perdelerin taşıma gücü ve süneklik kapasiteleri taşıma gücü esasları kullanılarak hesap edilir. S_D ve T indeksleri birinci seviyeye göre daha ayrıntılı hesaplarla bulunur. Üçüncü inceleme seviyesinde E_0 ana indeksinin hesabında düşey taşıyıcı elemanların göçme türlerinin yanı sıra kirişlerin davranışı ve perde temelindeki dönme de dahil olmak üzere yapının mümkün olan tüm göçme mekanizmaları göz önüne alınır. İnceleme seviyesi yükseldikçe, mevcut yapıların değerlendirilmesinde daha gerçekçi sonuçlara ulaşılmaktadır.

Bu yöntemde, yapının sismik performansını belirlemek amacı ile hesaplanan I_S "Sismik Performans İndisi" ile I_{S0} "Yapının Sismik Karar İndisi" karşılaştırılır. $I_S > I_{S0}$ durumunda bina öngörülen deprem talebine karşı gerekenden daha fazla sismik performansa sahip olmaktadır. Dolayısıyla, incelenen binaların can güvenliği noktasında göçmenin önlenmesi performansını sağladığı kabul edilmektedir. $I_S < I_{S0}$ durumunda ise öngörülen deprem talebinde binanın sismik performansının güvenli bir şekilde değerlendirilemeyeceği ve kararsız olduğu sonucuna varılır [10-13]. Bu yöntemin 1. seviye incelemesinde, bir binanın son limit taşıma gücü basit bir yolla değerlendirilerek E_0 indeksi, binanın yatay yöndeki taşıma gücüne göre hesaplanır. Binanın yatay yöndeki taşıma gücü de kolon ve perdelerin en kesit alanlarının toplamına ve ortalama birim taşıma kapasitelerine dayanılarak belirlenir. S_D ve T indekslerinin tahmin edilmesi de çok kısa bir sürede gerçekleştirilir [13].

Bu yöntemin Türkiye de kullanılabilirliği ile ilgili Boduroğlu vd.'nin (2004) yapmış olduğu çalışmada, $I_S/I_{S0} \leq 0,40$ olması durumunda yapının deprem güvenliği açısından yetersiz olduğu, $I_S/I_{S0} > 0,40$ olması durumunda ise deprem güvenliği açısından yeterli olduğu sonucuna varılmıştır [14]. Kudak (2005) yapmış olduğu tez çalışmasında seçilen örnek mevcut projelerin ABYYHY-98'in öngördüğü deprem yükleri altında yapısal çözümlemesini yaparak, Japon Sismik İndeks Yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Türkiye'de ABYYHY-98 [7] öncesi projelendirilmiş yapılara ilişkin M_r/M_d (kesit moment taşıma gücü/hesap momenti) ile I_S/I_{S0} oranları karşılaştırıldığında, M_r/M_d oranının 2. inceleme seviyesi sonucunda bulunan I_S/I_{S0} oranıyla birbirine yakın değerler aldığı ortaya konulmuştur. Ayrıca,

çalışma sonrasında Japon Sismik İndeks Yöntemi ile yapılan değerlendirmede I_S/I_{SO} oranının birinci inceleme seviyesinde bırakılması durumunda (0,4), ikinci seviyeye geçilecekse en az (0,6) alınması önerilmiştir [15].

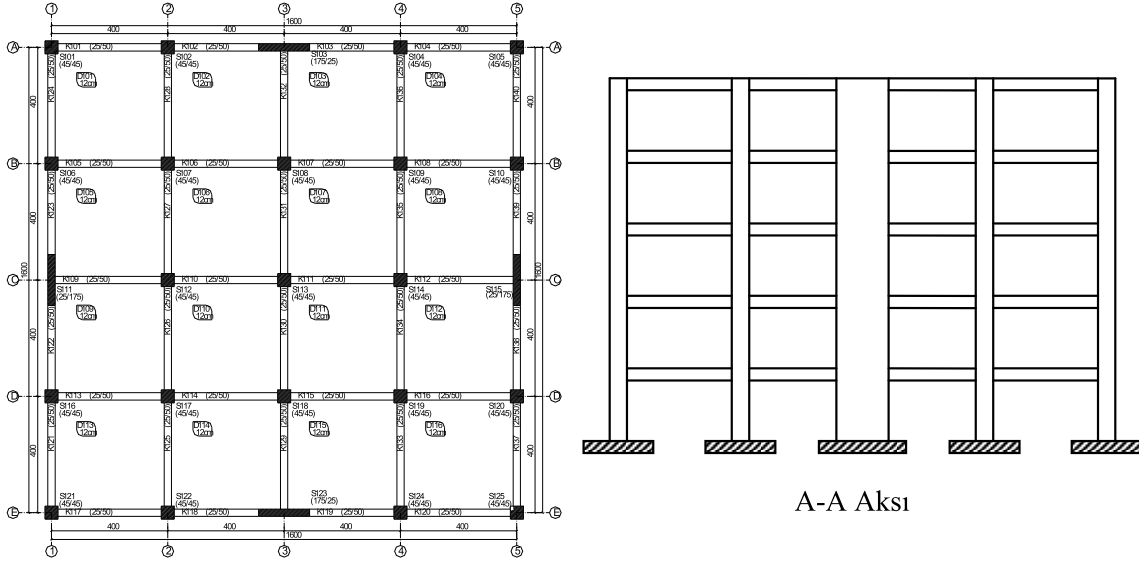
II.2. Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme

Yapıların performans değerlendirmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılmaktadır. Bunlar, normal kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti gibi büyüklükleri esas alan “Kuvvet Kavramına Dayalı Değerlendirme” ve betonun birim kısılması, donatının birim uzama ve kısılması, kesit dönmesi, kat ve bina yatay yerdeğiştirmesi gibi büyüklükleri esas alan “Şekil Değiştirme Kavramına Dayalı Değerlendirme” yöntemleridir [16]. Kuvvet bazlı değerlendirmede yapıya uygulanan yatay deprem yükleri yönetmeliklerde öngörülen seviyeye ulaştığında, iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirme bakımından yapıdan istenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Yer değiştirme ve şekil değiştirme bazlı değerlendirme ise, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için yapıdaki yer değiştirme istemine ulaşıldığında yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir [17].

Yapı performansının değerlendirilmesinde lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanları “Kapasite Spektrum Yöntemi” ve “Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi”dir. Bu çalışmada Kapasite Spektrum Yönteminden yararlanılmıştır.

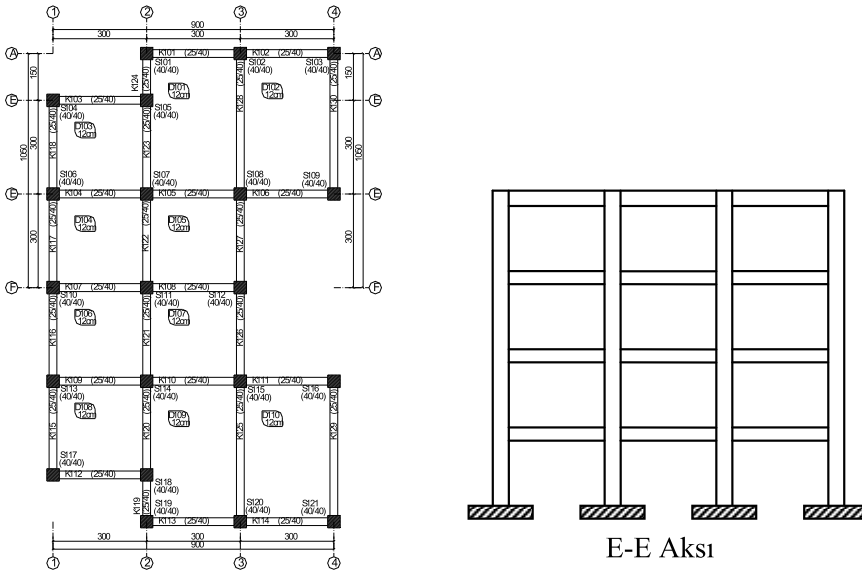
II.2.1. Kapasite Spektrum Yöntemi

Bu yöntemde yapının kapasitesi, yapıdaki deprem talebi ile karşılaştırılmaktadır. Yapının kapasitesi, taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yer değiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilen kapasite eğrisi ile temsil edilmektedir. Kapasite eğrisi Şekil 1’de ifade edildiği gibidir. İtme analizinden elde edilen taban kesme kuvvetleri ve tepe yer değiştirmeleri eşdeğer tek serbestlik dereceli bir sistemin spektral ivmelerine ve spektral yer değiştirmelerine (S_a-S_d) dönüştürülür. Bu değerler, kapasite spektrumunu ifade etmektedir. Deprem talepleri de yüksek sönümlü elastik spektrum ile tanımlanmaktadır. Bu spektrum, spektral ivme-spektral yer değiştirme formatında biçimlenir (Şekil 2). Aynı grafik üzerinde çizilen talep ve kapasite spektrumlarının kesişimi (performans noktası), elastik olmayan dayanım ve yer değiştirme talebini verir [18].



Şekil 4. Pr-2 kat kalıp planı.

Pr-3 tipi binaların ise taşıyıcı sistem planı Şekil 5’de verilmiştir. Pr-3 binaları, x ve y yönünde farklı açıklıklara sahip akslardan oluşan, x eksenine göre simetrik olarak düzenlenmiş, 4 katlı betonarme çerçevesel binalardır.



Şekil 5. Pr-3 kat kalıp planı.

Tüm proje grubundaki binaların STA4-Cad [20] programı ile analizi sonrası elde edilen sonuçları, mevcut proje bilgileri olarak alınarak SAP 2000 [8] programında yeniden modellenmiştir. Modellemede kolon ve kirişlerin eğilme rijitliğinin hesabında DBYBHY 07 [5] esaslarına göre çatlama kesit rijitlikleri kullanılmıştır. Tüm projelerin yapı birinci doğal periyoduna bağlı eşdeğer deprem yükleri hesaplanarak, bu yüklerin katlara dağılımı yapılmıştır. Düşey yüklerle birlikte eşdeğer deprem yükleri alınarak analizlerde, $G+Q+EX$, $G+Q+EY$, $G+Q+EX\%5$, $G+Q+EY\%5$, $(0,9)G+EX$, $(0,9)G+EY$, $(0,9)G+EX\%5$ ve $(0,9)G+EY\%5$ olmak üzere 8 adet yük kombinasyonu kullanılmıştır. İtme analizinde yapının kapasite eğrisini elde etmek amacıyla sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teori esasları kullanılmıştır. Bu hesaplamalarda, plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli bölgelerde toplandığı, bu bölgeler dışındaki kısımlarda malzeme davranışının lineer elastik olduğu kabul edilmiştir. Kolon elemanlarda plastikleşmenin iki eksendeki eğilme momenti ile normal kuvvetin etkileşimi, kirişlerde ise sadece eğilme momentine bağlı meydana geldiği kabulü ile analizler yapılmış, x ve y yönü için, $V_T - \Delta_{maks}$ grafikleri elde edilmiştir. Analiz sonucunda, FEMA 356'da [9] tanımlanan performans düzeylerine göre kolonlar ve kirişler için plastikleşen kesitlerin hasar sınırlarına göre sayıları bulunmuştur.

Japon Sismik İndeks Yöntemi ile yapılan 1. seviye incelemelerde, her bir proje için (1) ve (2) bağıntıları kullanılarak yapıların I_S "Sismik Performans İndisi" ve I_{S0} "Yapının Sismik Karar İndisi" hesaplanmış ve I_S/I_{S0} oranları bulunmuştur. İtme analizi sonucu bulunan performans düzeyi ile 1. seviye incelemeye bağlı I_S/I_{S0} oranlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

IV. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Pr-1, Pr-2 ve Pr-3 tipi ve her birinin (a), (b) ve (c) grubunda bulunan binalar için yapılan itme analizi sonucunda, taban kesme kuvveti(V_T) – tepe yerdeğiştirmesi(Δ_{maks}) ilişkisi bulunmuş ve Çizelge 2'de değerleri verilmiştir. Binaların birinci doğal periyodu (T_1) ve yerel zemin spektrum karakteristik periyotlarına (T_A , T_B) göre belirlenen spektrum katsayısına (S_T) bağlı hesaplanan spektral ivme katsayısı (A_T) ve spektral ivme katsayısının (A_T) taban kesme kuvvetinin bina ağırlığına (V_T/W) oranına bölünmesiyle belirlenen taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R) da Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. Taban kesme kuvveti (V_T) – tepe yerdeğiştirmesi (Δ_{maks}) ilişkisi.

	(x) Yönü		(y) Yönü		W (kN)	V_{Tx}/W	V_{Ty}/W
	V_{Tx} (kN)	Δ_{max} (m)	V_{Ty} (kN)	Δ_{max} (m)			
Pr-1a	880	0,19	880	0,19	12950	0,07	0,07
Pr-1b	1890	0,14	1890	0,14	13290	0,14	0,14
Pr-1c	3040	0,13	3040	0,13	13620	0,22	0,22
Pr-2a	1360	0,13	1360	0,13	13240	0,10	0,10
Pr-2b	2310	0,13	2310	0,13	13490	0,17	0,17
Pr-2c	3480	0,12	3480	0,12	13770	0,25	0,25
Pr-3a	436	0,18	500	0,17	5610	0,08	0,09
Pr-3b	860	0,13	880	0,12	5720	0,15	0,15
Pr-3c	1500	0,10	1580	0,10	6030	0,25	0,26

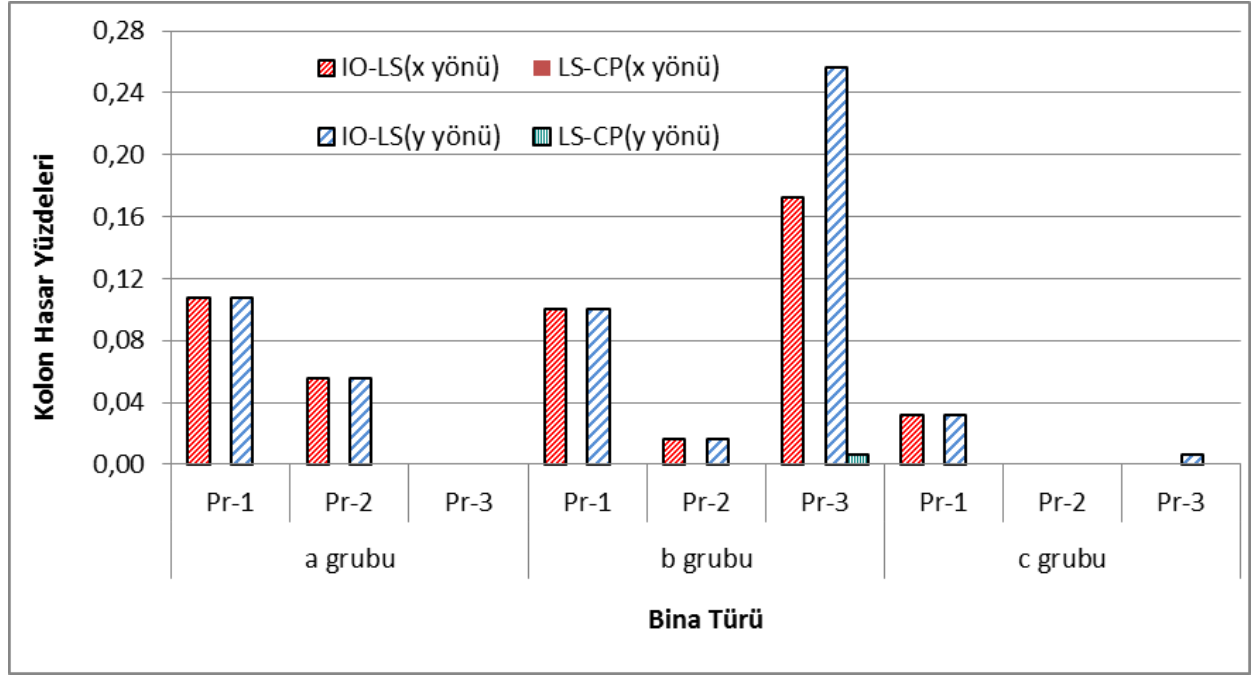
Çizelge 3. Binalara ait deprem yükü karakteristikleri (doğal periyot, spektrum katsayısı, spektrum ivme katsayısı ve taşıyıcı sistem davranış katsayıları).

	T_{1x}	T_{1y}	$S(T_{1x})$	$S(T_{1y})$	$A(T_{1x})$	$A(T_{1y})$	$R_x = \frac{A(T_{1x})}{V_{Tx} / W}$	$R_y = \frac{A(T_{1y})}{V_{Ty} / W}$
Pr-1a	0,79	0,79	2,00	2,00	0,80	0,80	11,76	11,76
Pr-1b	0,71	0,71	2,19	2,19	0,88	0,88	6,16	6,16
Pr-1c	0,65	0,65	2,35	2,35	0,94	0,94	4,20	4,20
Pr-2a	0,65	0,65	2,35	2,35	0,94	0,94	9,14	9,14
Pr-2b	0,60	0,60	2,49	2,49	1,00	1,00	5,83	5,83
Pr-2c	0,57	0,57	2,50	2,50	1,00	1,00	3,96	3,96
Pr-3a	0,85	0,85	1,88	1,90	0,75	0,76	9,70	8,55
Pr-3b	0,70	0,69	2,20	2,23	0,88	0,89	5,87	5,79
Pr-3c	0,55	0,53	2,50	2,50	1,00	1,00	4,02	3,81

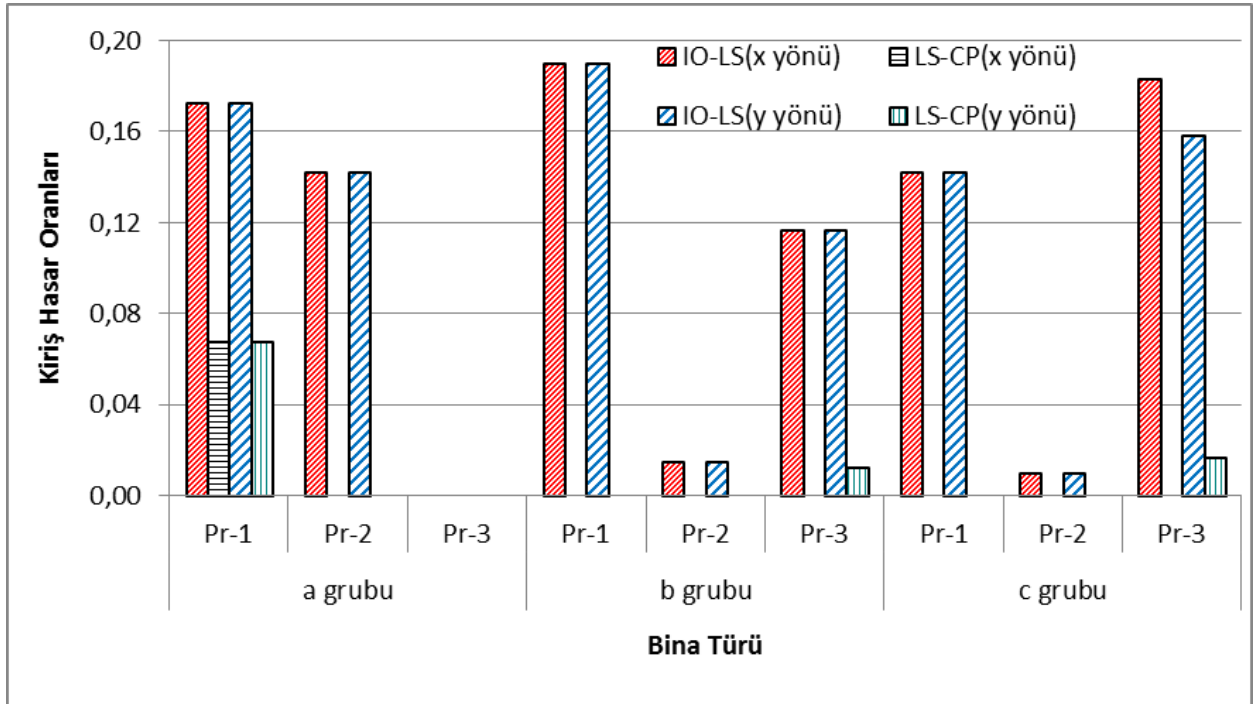
FEMA 356'da [9] tanımlanan performans düzeylerine göre plastikleşen kesit sayıları x ve y yönleri için Çizelge 4'de verilmiştir. Ayrıca, kolonlar ve kirişler için belirgin hasar (IO-LS) ve ileri hasar (LS-CP) bölgesinde bulunan elemanların yüzdelerle dağılımları Şekil 6-7'de verilmiştir.

Çizelge 4. Performans düzeylerine göre plastikleşen kesit sayısı (x ve y yönü).

		(x) yönü				(y) yönü			
		< IO	IO-LS	LS-CP	>CP	< IO	IO-LS	LS-CP	>CP
Pr-1a	Kolonlar	223	27	0	0	223	27	0	0
	Kirişler	304	69	27	0	304	69	27	0
Pr-1b	Kolonlar	225	25	0	0	225	25	0	0
	Kirişler	324	76	0	0	324	76	0	0
Pr-1c	Kolonlar	242	8	0	0	242	8	0	0
	Kirişler	343	57	0	0	343	57	0	0
Pr-2a	Kolonlar	236	14	0	0	236	14	0	0
	Kirişler	359	41	0	0	359	41	0	0
Pr-2b	Kolonlar	246	4	0	0	246	4	0	0
	Kirişler	394	6	0	0	394	6	0	0
Pr-2c	Kolonlar	250	0	0	0	250	0	0	0
	Kirişler	396	4	0	0	396	4	0	0
Pr-3a	Kolonlar	Stabilite yetersizliği göçme				Stabilite yetersizliği göçme			
	Kirişler								
Pr-3b	Kolonlar	139	29	0	0	124	43	1	0
	Kirişler	212	28	0	0	209	28	3	0
Pr-3c	Kolonlar	168	0	0	0	167	1	0	0
	Kirişler	196	44	0	0	198	38	4	0



Şekil 6. Kolon hasar yüzdeleri.



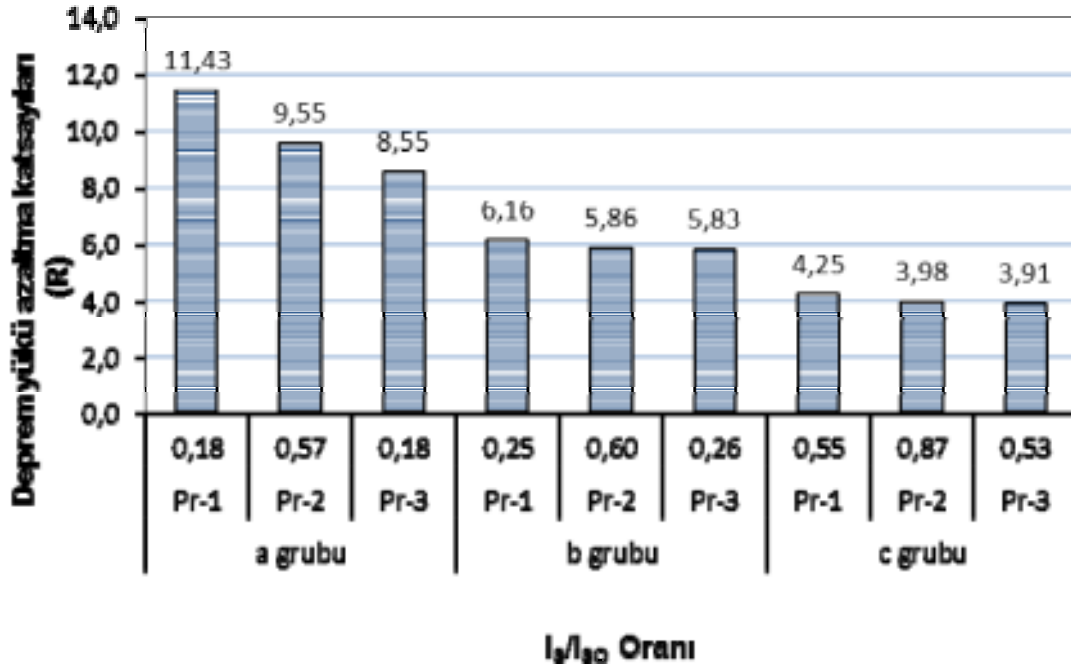
Şekil 7. Kiriş hasar yüzdeleri.

Pr-1, Pr-2 ve Pr-3 tipi binalar için, Japon Sismik İndeks Yöntemine göre I_s , I_{s0} değerleri ve I_s/I_{s0} oranları hesaplanarak, Çizelge 5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Japon Sismik İndeks Yöntemine göre I_s , I_{SO} ve I_s/I_{SO} Değerleri.

	I_s	I_{SO}	I_s/I_{SO}
Pr-1a	0,13	0,72	0,18
Pr-1b	0,18	0,72	0,25
Pr-1c	0,39	0,72	0,55
Pr-2a	0,41	0,72	0,57
Pr-2b	0,43	0,72	0,60
Pr-2c	0,62	0,72	0,87
Pr-3a	0,13	0,72	0,18
Pr-3b	0,18	0,72	0,26
Pr-3c	0,38	0,72	0,53

Japon Sismik İndeks Yöntemine göre belirlenen I_s/I_{SO} oranları ile binaların itme analizi sonucu belirlenen yatay yük katsayısının DBYBHY-07 esaslarına göre belirlenen tasarım deprem yükü için spektral ivme katsayısına oranlanmasıyla hesaplanan ve binada sağlanması gereken taşıyıcı sistem davranış katsayıları (deprem yükü azaltma katsayıları (R)) karşılaştırılmış ve Şekil 8’de gösterilmiştir.

Şekil 8. Proje grubu binalar için I_s/I_{SO} oranları ile R değerlerinin ilişkisi.

“Japon Sismik İndeks” yöntemine göre değerlendirilmede I_S/I_{SO} oranlarının, incelenen tüm binalarda 1’den daha küçük olduğu ortaya çıkmıştır. I_S/I_{SO} oranlarının R katsayısı ile karşılaştırıldığında, binaların sismik performansı açısından yorumlama yapılabileceği görülmektedir [21]. Yatay yük taşıma seviyesi düşük olan bina grubunda, I_S/I_{SO} oranlarının da düşük kalmaktadır. İncelenen (a) grubu binalar için yeterli sismik performansın sağlanabilmesi için gerekli olan taşıyıcı sistem davranış (R) katsayısı (10,0)-(12,0) arasında, (b) grubu binalarda (6,0) ve (c) grubu binalarda ise (4,0) olmaktadır. İnşa edilmiş mevcut yapılarda R katsayısı (4,0) olması beklenebilir. Bu nedenle de yapılar, DBYBHY 07 tanımlanan tasarım deprem yükü etkisinde gerekli can güvenliği performansını sağlayabilir.

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pr-1, Pr-2 ve Pr-3 grubu binalar için yapılan itme analizleri ve Sismik İndeks Yöntemine göre değerlendirme sonrası aşağıda verilen sonuçlar çıkartılabilir.

İtme analizleri sonucunda belirlenen performans noktasında, incelenen proje tiplerinden (a) grubu binalar ağırlığının % 7-10’u, (b) grubu binalar % 14-17’si ve (c) grubu binalar % 22-25’i oranında taban kesme kuvvetine sahiptirler. 1998 deprem yönetmeliğine göre deprem yükleri dikkate alınarak projelendirilmiş (c) grubu binaların, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların yeterli süneklik düzeyinde olması kaydıyla, tasarım deprem yüklerinden daha fazla taban kesme kuvvetlerine dayanabileceği belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan proje grubu binaların “Japon Sismik İndeks” yöntemine göre değerlendirilmesinde I_S/I_{SO} oranlarının taşıyıcı sistemin çerçeve ve perde+çerçeve olarak düzenleniş biçimine göre değişiklik göstermektedir. Taşıyıcı sistem davranış (R) katsayısı (4,0) olan binalarda yeterli sismik performansın varlığı kabul edildiğinde, 1. seviye incelemede, I_S/I_{SO} oranının çerçeve sistemlerde (0,55), perde+çerçeve sistemlerde ise (0,85) olması durumunda binaların deprem güvenliği yönünden yeterli olduğu kabulü uygun olacaktır. R katsayısının (6,0) olduğu binalar yeterli sünekliğin eleman bazında sağlanmasında sıkıntılar olacağından, “Japon Sismik İndeks” yöntemine göre bu tür yapıların değerlendirmesinde ileri inceleme seviyesine gereksinim duyulacaktır. $I_S/I_{SO} > 0,55$ (çerçeve), $I_S/I_{SO} > 0,85$ (perde+çerçeve) olan yapılarda plastikleşen kesit sayıları dikkate alındığında elemanlarda oluşan hasar % 90 mertebesinde IO (hemen kullanım) altında gerçekleşmektedir. Bu durumda kolonlarda oluşan belirgin hasar (IO-LS), yaklaşık olarak yok sayılabilecek kadar azdır. Kirişlerde ise oluşan belirgin hasar (IO-LS) çerçeve sistemlerde % 20 nin altında kaldığından can güvenliği performans seviyesi sağlanmaktadır.

“Japon Sismik İndeks” yönteminin 1. seviye incelemede, çerçeve yapılar için $I_S/I_{SO} = 0,55$ (perde+çerçeve yapılar için $I_S/I_{SO} = 0,85$) ise binaların sismik performansının yeterli, $0,2 < I_S/I_{SO} < 0,55$ (

perde+çerçevesel yapılarda $0,6 \leq I_s/I_{SO} < 0,85$) ise binaların sismik performansı için ileri seviyede inceleme yapılması gerektiğine ve $I_s/I_{SO} < 0,20$ (perde+çerçevesel yapılarda $I_s/I_{SO} < 0,60$) ise binalar için sismik performansın yetersiz olduğuna karar verilebilir.

Bu çalışmada belirlenen oranlar ve bu oranlara bağlı yapılan değerlendirmeler, çalışma kapsamında seçilen proje grubu binalar için geçerlidir. Türkiye şartlarına bağlı Japon Sismik İndeks Yönteminin adaptasyonu açısından çalışmada tespit edilen oranların daha anlamlı hale getirilmesi, çok sayıda bina incelemesine bağlı olacaktır. Yine de, çalışmada seçilen bina türleri ülkemizin büyük bölümünde yapı stokunu oluşturan mevcut binalarla benzerlik göstereceğinden bu oranların çok fazla değişiklik göstermeyeceği düşünülmektedir. Unutulmamalıdır ki Japon Sismik İndeks Yönteminin asıl amacı, yapıların depreme dayanıklılığını ortaya koymaktan ziyade binaların mevcut durumu ile kullanıma devam edilip edilemeyeceği ve hangi binaların detaylı incelemesinin gerektiğini ortaya koymaktır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] Z. Celep ve N. Kumbasar, “*Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*”, İstanbul, 2004.
- [2] A. Ergün, “*Deprem*”, Bölüm 3. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2005.
- [3] A.H. Kayhan ve Ş.M. Şenel, “Tek katlı Prefabrik Sanayi Yapıları İçin Hasar Görebilirlik Eğrileri”, İMO Teknik Dergi, Cilt 21, Sayı 4, ss. 5161-5184, 2004.
- [4] İDMP, “İstanbul İçin Deprem Master Planı”, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Planlama ve İmar Dairesi Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, İstanbul, 2003.
- [5] DBYBHY, 07, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [6] ABYYHY, 75, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1975.
- [7] ABYYHY, 98, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1998.
- [8] SAP 2000 V 14.0, Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc. Berkeley, California, USA, 2009.
- [9] FEMA 356, NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, 2000.

- [10] A. Kasınozade, Z. Karaca ve B. Sönmez, “Ön Sismik Değerlendirmede Japon Sismik İndeks Yönteminin Lise Binalarında Uygulanması Özellikleri”, Deprem Sempozyumu 2005, 23 – 25 Mart 2005, Kocaeli, ss. 464-473.
- [11] A. İlki, H. Boduroğlu, P. Özdemir, F. Baysan, C. Demir ve S. Şirin, “Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapılar için Sismik İndeks Yöntemi ve Yapısal Çözümlene Sonuçlarının Karşılaştırılması”, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, CD-ROM, AT 119, ss. 61-62.
- [12] “Standard for Evaluation of Seismic Capacity of Existing Reinforced Concrete Buildings”, Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo 1990.
- [13] G. Kürklü, “Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Güvenliğinin İncelenmesindeki Teknikler ve Beton Dayanımının Belirlenmesi”, AKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, 2005.
- [14] H. Boduroğlu, P. Özdemir, A. İlki, S. Şirin, C. Demir ve F. Baysan, “Towards a Modified Rapid Screening Method for Existing Medium Rise RC Buildings in Turkey”, 13. World Conference On Earthquake Engineering, Canada, 2004, pp. 1-15.
- [15] E. Kudak, “Yapıların Japon Sismik İndeks Yöntemi ile İncelenip Betonarme Yapısal Çözümleme Sonuçlarının Karşılaştırılması”, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2005.
- [16] Z. Celep, “Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme”, Beta Dağıtım, İstanbul, 2007.
- [17] E. Özer, “Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi”, [http:// www.ins.itu.edu.tr/eozer /ysloa.htm](http://www.ins.itu.edu.tr/eozer/ysloa.htm), 2005.
- [18] E. İrtem, K. Türker ve U. Hasgöl, “Türk Deprem Yönetmeliđinin Performans Hedeflerinin Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri ile Değerlendirilmesi”, XVII. Teknik Kongre ve Sergisi, İMO. YTÜ, 15-17 Nisan 2004, İstanbul, CD-ROM, 01-0038, ss. 1-13.
- [19] TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [20] STA4 CAD V13, Structural Analysis for Computer Aided Design Program, İstanbul, 2010.
- [21] N. Bayülke, F. Kuran, A. Dođan, C. Kocaman, H. Memiş ve L. Soyal, "Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan İtme Analizleri ve Deprem Hasarının Karşılaştırılması", Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, CD-ROM, AT 108, ss. 1-10.