

MEVCUT BETONARME BİNALARIN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

EVALUATION OF SEISMIC CAPACITY OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

Erkan Özer¹, Sumru Pala², Mustafa Karadaş³
Konuralp Girgin⁴ & Engin Orakdoğan⁴

SUMMARY

In this study, the principles of an analytical method for seismic capacity evaluation of existing reinforced concrete buildings are given. The method, which is based on the elastic-plastic analysis of lateral load resisting system, has been applied to the seismic evaluation of an existing building.

Recent earthquakes occurred in our country has demonstrated that most of the buildings in earthquake zones have not been properly designed and constructed. Therefore, even an earthquake with a relatively smaller magnitude can cause significant building collapse and life losses. Based on this experience, it is proposed that, starting from high-risk earthquake zones, the seismic capacity of existing buildings should be evaluated and buildings without sufficient capacity should be strengthened.

In this study, under factored gravity loads, the lateral load carrying capacities of existing and strengthened buildings are determined through elastic-plastic analysis of the complete structure. Neglecting the torsion of building under seismic loads and assuming that the floor slabs are infinitely rigid in their planes, the structural system is modelled by plane frames connected to each other with bars of infinite axial rigidity. The plastic moment capacities of reinforced concrete beams and columns are determined by the ultimate strength theory. The reduction of cross-sectional capacities due to gravity loading is considered in the analysis. The lateral load analysis of the structural system is carried out by means of a computer program developed for the elastic-plastic analysis of plane frames. The computer program considers the shear failure of columns and the effect of in-fill walls on structural behavior.

The application of the proposed method has been illustrated on an existing building that suffered from 1992 Erzincan earthquake. The elastic-plastic lateral load analyses of the existing structural system have been carried out in both

¹ Prof.Dr. İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul

² Doç.Dr. İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul

³ İnş.Müh. İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Maslak, İstanbul

⁴ Araş.Gör. İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul

longitudinal and transverse directions. The numerical results have shown that the seismic safety indexes are 0.49 and 0.66 , respectively. These results indicate that the building has insufficient safety against earthquake and should be strengthened.

The analysis is repeated for the structural system strengthened by shear walls arranged in both directions. The results have shown that the seismic safety indexes in longitudinal and transverse directions are 2.14 and 1.88 , respectively. A significant increase in seismic capacity is accomplished by strengthening.

ÖZET

Yurdumuzda meydana gelen depremlerin. büyüklüklerinin gerektirdiğinden çok daha fazla hasara, can ve mal kaybına neden olmaları dikkat çekicidir. Bu sonuç, deprem bölgelerinde inşa edilen binaların önemli bir bölümünün deprem güvenliklerinin yetersiz olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, mevcut betonarme binaların gerçek deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen bir çalışmanın esasları, 1992 Erzincan depreminde hasar gören bir gerçek yapı üzerindeki sayısal uygulamaları ve sonuçları yer almaktadır.

GİRİŞ

13 Mart 1992 Erzincan depreminde hasar gören yaklaşık 2000 konutun hasar durumlarının incelenerek onarım ve güçlendirme ilkelerinin belirlenmesi amacıyla, İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Uygulama-Araştırma Merkezi tarafından bir proje yürütülmektedir. Bu proje kapsamında olmak üzere, Erzincan depreminde orta derecede hasar gören bir grup yapı tarafımızdan incelenmiştir [8] , [9].

Aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, olası yeni depremlerde benzeri olumsuz sonuçların meydana gelmemesi için acil önlemler alınması gerekmektedir. Bu önlemler iki ana grupta toplanabilir:

a. yeni inşa edilecek olan yapıların projelendirme ve yapım aşamalarında gerekli özeni göstererek, yapıların bilimsel esaslara ve yönetmeliklere uygun olarak yapılmasının sağlanması.[5],[10].

b. özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerden başlayarak, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin sistematik olarak belirlenmesi ve yetersiz olan yapılarda gerekli onarım ve güçlendirme önlemlerinin alınması.

Bu çalışmada betonarme binaların göçme güvenliklerinin belirlenmesi için bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntem 1992 Erzincan depreminde hasar gören bir yapı grubuna uygulanmıştır. İncelenen binaların deprem öncesi göçme güvenliklerinin ve depremden sonra oluşan yapısal hasarların birlikte değerlendirilmesi sonucunda önerilen güçlendirme sistemi ve bunun mevcut yapının davranışını ve deprem güvenliğini nasıl etkileyeceği de bu çalışmada tartışılmaktadır.

Yapıların deprem öncesi göçme güvenliklerini belirlemek için çeşitli amaçlara yönelik değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler üç grupta toplanabilir. [7],[11]:

1. sismik indeks belirleme yöntemleri.
2. deneysel yöntemler.
3. analitik yöntemler.

Bu çalışmada mevcut binaların göçme güvenliklerinin belirlenmesi için bir analitik yöntem önerilmektedir. Analitik yöntemler başlıca iki grupta toplanabilirler:

1. kat mekanizmasını esas alan yöntemler.
2. tüm yapının davranışını esas alan yöntemler.

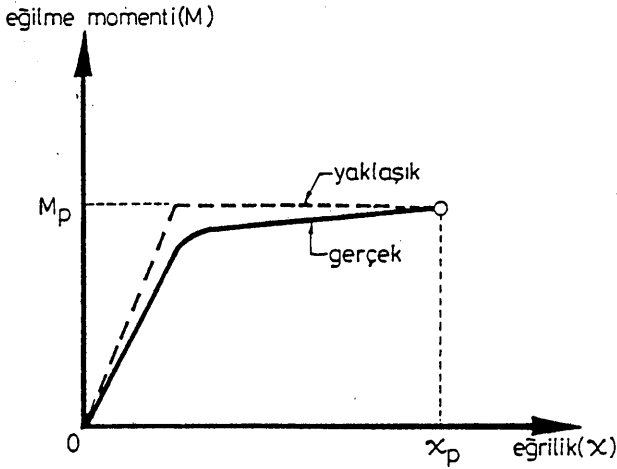
Hesaplanan deprem güvenliğinin gerçekçi olabilmesi için mevcut bina üzerinde gözlemler, ölçmeler ve deneyler yapılması da ayrıca gereklidir. Bu ölçmeler ve deneyler ile saptanan eleman boyutları, donatı miktarları ve malzeme karakteristikleri sistem ve kesit hesaplarında esas alınmalıdır.

MEVCUT BETONARME BINALARIN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN BİR YÖNTEM

Bu bölümde, eşdeğer statik yüklerle temsil edilen deprem etkilerine karşı, mevcut betonarme binaların göçme güvenliklerinin belirlenmesini amaçlayan bir yöntemin esasları açıklanacaktır. Önerilen yöntemde, düşey yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı altında, orantılı olarak artan deprem kuvvetleri için yapı sisteminin elastoplastik hesabı yapılarak göçme yükü bulunmaktadır. Göçmeye karşı gelen yatay yük parametresi, diğer bir deyişle yatay göçme yükünün deprem işletme yüklerine oranı yapının deprem güvenliğini verir. Bilindiği gibi, TS 500 yönetmeliği deprem güvenliğinin en az 1.00 olmasını öngörmektedir.

Donatı yüzdesi belirli sınır değerleri aşmayan betonarme kirişler ile normal kuvvet oranının büyük olmadığı simetrik donatılı betonarme kolonlarda, eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 1 de gösterildiği gibi idealleştirilebilir. [1].

Bu idealleştirmeye göre eğilme momentinin $M < M_p$ değerleri için kesitlerin lineer-elastik davrandığı, buna karşılık plastik şekildeğiştirmelerin $M = M_p$ olan kesitlerde toplandığı kabul edilir. Kesitin taşıma gücünü ifade eden M_p momentine *plastik moment*, plastik şekildeğiştirmelerin toplandığı kesitlere *plastik mafsalsal* adı verilir. Bilindiği gibi, bu hipoteze *plastik mafsalsal hipotezi* denilmektedir. Sünekliği çok büyük olan çelik yapıların aksine, betonarme sistemlerde plastik mafsalsal hipotezi sınırlı olarak uygulanabilmekte ve plastik mafsallardaki dönmelerin *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere erişmesi halinde kesitin kırıldığı kabul edilmektedir. Plastik mafsalsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin teorik olarak taşıyabileceği en büyük yüke *limit yük* adı verilir. Yükler artarak limit yüke eşit olunca, oluşan plastik mafsallar nedeniyle kısmen veya tamamen mekanizma durumuna gelen sistem göçer. Bazı hallerde kırılma, burkulma, büyük yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeler ve betonarme yapılarda büyük çatlaklar gibi nedenlerle limit yükten önce göçme meydana gelebilir.



Şekil 1. Betonarme kesitlerde eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

Bu çalışmada, limit yükün hesabı için yük artımı yönteminden yararlanılmaktadır. Alt sınır teoremine dayanan bu yöntemde sistemin artan yükler altındaki davranışı adım adım izlenerek limit yük elde edilir. Yük parametresinin küçük değerleri için bütün kesitlerde $M < M_p$ olduğu için sistem lineer-elastik olarak davranır. Artan yüklerle birlikte eğilme momentleri de artarak kritik bir kesitte M_p değerine ulaşınca o kesitte plastik mafsallık meydana gelir. Yük parametresinin daha büyük değerleri için sistemin davranışı plastik mafsallık yerine gerçek bir mafsallık koymak ve plastik moment bu mafsalla dış yük olarak etkilemek suretiyle tanımlanan sistemin davranışına eşdeğerdir. Oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin bir bölümünün veya tümünün mekanizma durumuna gelmesi limit yüke erişildiğini ifade eder.

Betonarme yapı sistemini oluşturan kiriş ve kolonların moment taşıma kapasiteleri (plastik momentleri) enkesit boyutlarına ve donatı oranına bağlı olarak taşıma gücü teorisi ile hesaplanmaktadır. [10]. Bu çalışmada kirişler için [3] de, kolonlar için [2] de verilen taşıma gücü formüllerinden yararlanılmıştır. Bazı hallerde kolon uç momentleri M_p sınır değerine erişmeden önce kesme kuvveti taşıma kapasitesinin aşılması nedeniyle kolonların taşıma güçleri sona erebilmektedir. Bu durumu gözönüne alabilmek amacıyla kolon kesme kuvveti taşıma kapasiteleri TS 500 yönetmeliğine uygun olarak hesaplanmıştır.

DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE İZLENEN YOL

Mevcut betonarme binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla, bu çalışmada önerilen yol şu adımlardan oluşmaktadır:

1. Proje üzerindeki inceleme ve çalışmalar

Binanın statik-betonarme projeleri üzerinde yapılan incelemeler ile yapının taşıyıcı sistemi, elemanların enkesit boyutları, donatıları belirlenir ve düşey yük analizleri yapılır. Bölgenin sismik özelliklerine, yapının ve zeminin dinamik

özelliklerine bağlı olarak deprem yükleri hesaplanır. Yapının deprem güvenliğini etkileyen, taşıyıcı sistemin kuruluşu, kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki dışmerkezlilik, dolgu duvarlarının yapı davranışına olumlu veya olumsuz etkileri ve yapı sisteminin sünekliği gibi diğer etkenler de bu aşamada incelenmelidir.

2. Mevcut bina üzerindeki incelemeler

Bu adımda yapı sisteminin, enkesit boyutlarının, malzeme dayanımlarının ve zeminin özelliklerinin projeye uygunluğu araştırılır. Projeye uygun olmayan tüm bulgular sonraki adımlarda yapılacak sistem ve enkesit hesaplarında esas alınır.

3. Kiriş ve kolonların taşıma kapasitelerinin hesabı

Proje ve mevcut bina üzerinde yapılan incelemeler sonucunda elde edilen kiriş ve kolon enkesitleri, donatıları ve malzeme özellikleri gözönüne alınarak [1],[2],[3],[10] da verilen bağıntılar ve esaslar yardımı ile kiriş ve kolonların moment taşıma kapasiteleri ile kolonların kesme kuvveti taşıma kapasiteleri hesaplanır.

4. Kesit zorlarının hesabı

Yapı sistemi düşey işletme yükleri altında hesaplanarak kesit zorları bulunur. Bu değerler yatay yük hesaplarında esas alınacak olan kiriş ve kolon taşıma kapasitelerinin hesabında kullanılır.

5. Deprem hesaplarında kullanılacak taşıma kapasitelerinin bulunması

Yapının deprem hesaplarında kullanılacak taşıma kapasiteleri, kesitlerin taşıma kapasitelerinden ve düşey yüklerden oluşan kesit zorlarından yararlanılarak süperpozisyonla elde edilir. Bu süperpozisyonla depremin her iki yönde (soldan sağa ve sağdan sola doğru) etkimesi durumları gözönünde tutulur.

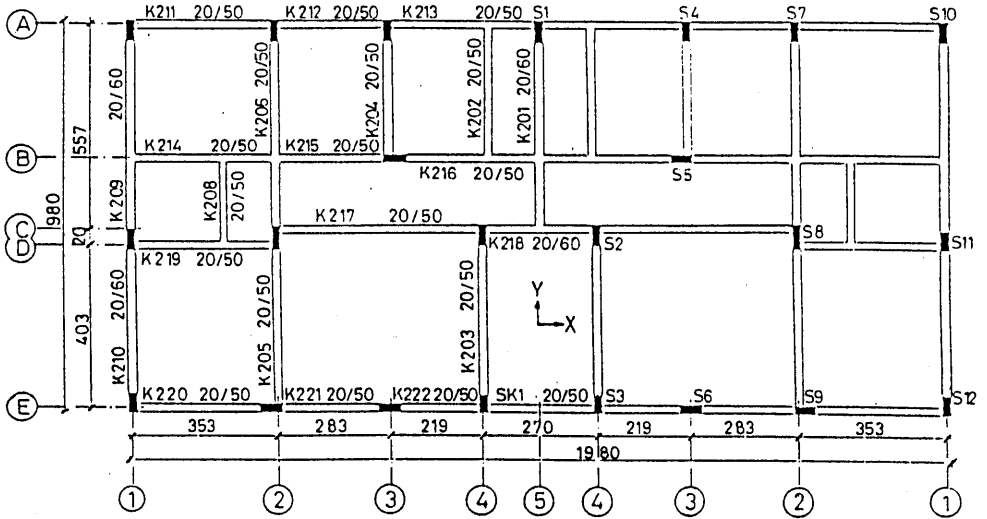
6. Yapı sisteminin deprem yükleri altında elastoplastik hesabı

Binanın deprem güvenliğini belirlemek amacıyla, her iki doğrultuda ve her iki yönde, yapı sisteminin plastik mafsallı teorisine göre hesabı yapılarak limit yükü bulunur. Limit yükün deprem işletme yüklerine oranı yapının deprem güvenliğini vermektedir. Yapının burulmasının terkedilmesi ve kat döşemelerinin düzlemleri içinde sonsuz rijit kabul edilmesi halinde yapı sisteminin hesap modeli sonsuz uzama rijitlikli çubuklarla birbirine bağlanan düzlem çerçevelerden oluşmaktadır. Yatay yükler artarak limit yüke eriştiğinde, yapının bir bölümünde veya tümünde kat mekanizması oluşarak göçme meydana gelir. Kat mekanizmasının oluşması, sistem rijitlik matrisinin determinant değerinin sıfır ($\Delta = 0$) olması veya pratik olarak çok küçük değer alması şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Limit yükün hesabında, düzlem sistemlerin birinci mertbe limit yüklerinin hesabı için geliştirilen bir bilgisayar programı kullanılmıştır. [4]. Program, yük artımı yönteminden yararlanarak hesap yapmaktadır. Yük artımının her adımında, üzerinde plastik mafsallar bulunan sistem Matris Deplasman Yöntemi ile hesaplanır. Sistemin bir bölümünün veya tümünün mekanizma durumuna gelmesi suretiyle göçmesi halinde program akışı sona ermekte ve limit yük parametresi ile buna karşı gelen iç kuvvet ve yer değiştirmeler basılmaktadır. Bilgisayar programında ayrıca kolonların kesme kuvveti nedeniyle plastikleşmesi ve dolgu duvarlarının sistem davranışına etkisi de gözönüne alınabilmektedir.

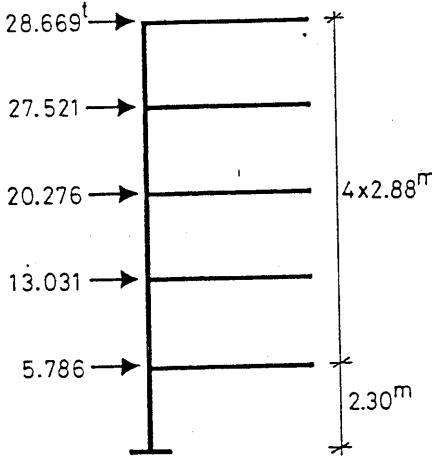
MEVCUT BİR YAPI ÜZERİNDE UYGULAMA

Açıklanan yöntemin sayısal uygulamaları için 13 Mart 1992 Erzincan depreminde hasar gören S.S. Şeker Memur Yapı Kooperatifine ait binalar ele alınmıştır. Bu binalar üzerinde yapılan gözlem, ölçme ve deney sonuçları [8] de ayrıntılı olarak verilmiştir. Sözkonusu binalar sekiz bloktan oluşmaktadır. Bu bloklardan iki tanesinde deprem sonrası ağır hasar tespit edilmiş ve bloklar yıktırılarak enkazları kaldırılmıştır. Bloklar bodrum kat, zemin kat ve üç normal kattan oluşmaktadır. Yapının normal kat kalıp planı Şekil 2 de verilmiştir. Mevcut yapıda yapılan malzeme deneylerine dayanarak beton karakteristik basınç dayanımı $f_{ck}=100 \text{ kg/cm}^2$ alınmıştır. Kiriş ve kolonlarda donatı ölçümleri yapılmış ve donatı gerçekleşme oranları, kolonlarda %94, kiriş mesnetlerinde %80 olarak hesaplanmıştır. Donatı çeliği sınıfı BÇI ve akma gerilmesi $f_{yk}=2200 \text{ kg/cm}^2$ dir. Mevcut proje verilerine ve binalar üzerinde yapılan gözlemlere dayanarak düşey yük analizleri yapılmış, toplam döşeme yükü, çatı döşemesi için $q=0.525 \text{ t/m}^2$, normal kat döşemesi için $q=0.600 \text{ t/m}^2$ olarak bulunmuştur. Sözkonusu yükler için yapının düşey yük hesapları yapılarak tüm kesit zorları elde edilmiştir.



Şekil 2. Normal kat kalıp planı

Deprem katsayısı, deprem bölge katsayısına ve yapının özelliklerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Deprem katsayısı ve bu deprem katsayısına karşı gelen deprem yükleri Şekil 3 de verilmiştir.



$$C = C_0 \times K \times S \times I$$

$$C = 0.10 \times 0.8 \times 1 \times 1 = 0.08$$

Şekil 3. Deprem katsayısı ve yapıya etkiyen deprem yükleri

Yapı sisteminin yatay yükler etkisi altındaki elastoplastik hesabında gözönüne alınacak olan kiriş ve kolon eğilme momenti taşıma kapasiteleri.

pozitif eğilme momenti için : $|M_p^+| = |M_t^+| - M_d$

negatif eğilme momenti için : $|M_p^-| = |M_t^-| + M_d$

bağıntıları ile hesaplanmışlardır. Burada,

$|M_p^+|$. $|M_p^-|$: yatay yük hesaplarında esas alınacak pozitif ve negatif eğilme momenti taşıma kapasitelerinin mutlak değerlerini,

$|M_t^+|$. $|M_t^-|$: kiriş ve kolon enkesitlerinin pozitif ve negatif eğilme momenti taşıma güçlerinin mutlak değerlerini,

M_d : cebrik değeri ile kullanılmak üzere düşey yük eğilme momentini göstermektedir.

Kolonlarda M_t^+ ve M_t^- taşıma güçlerinin hesabında düşey yüklerden oluşan normal kuvvetler ve gözönüne alınan eksene dik eksen etrafındaki düşey yük eğilme momenti hesaba katılmaktadır.

Bu taşıma kapasiteleri kirişlerin her iki mesnedinde, kolonlarda ise her iki uçta ve her iki doğrultuda ayrı ayrı elde edilmişlerdir.

Kolonların kesme kuvveti taşıma kapasiteleri, TS 500 yönetmeliğine [10] uygun olarak V_{cr} veya V_v kesme kuvveti değerlerinden büyüğüne eşit olarak hesaplanmıştır.

Mevcut Yapının Deprem Güvenliğinin Hesabı

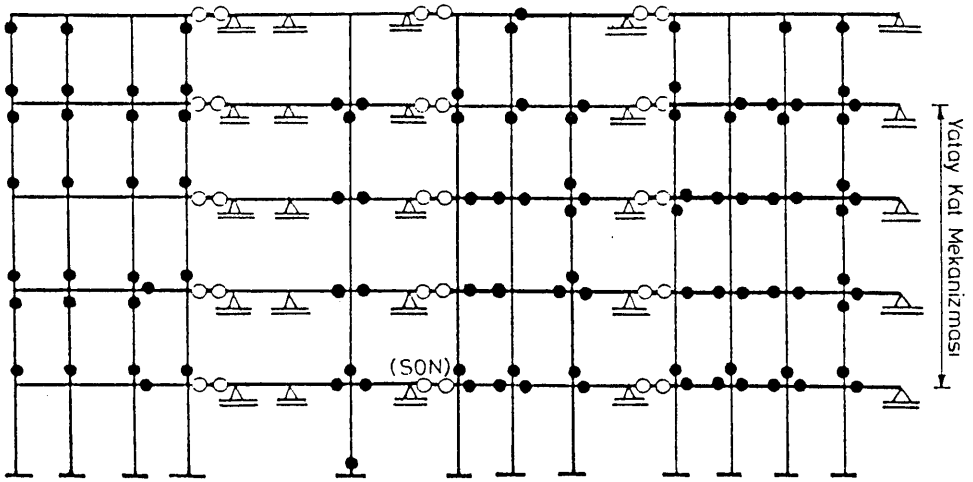
Mevcut yapının X (A eksenine paralel) ve Y (1 eksenine paralel) doğrultularındaki hesap modelleri sırası ile Şekil 4 ve Şekil 5 den görülmektedir.

Yapı sisteminin her iki doğrultuda ve her doğrultu için her iki yönde elastoplastik hesabı yapılarak birinci mertbe limit yüke karşı gelen yatay yük parametreleri (YYP) belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 1 de toplu olarak görülmektedir.

Tablo 1. Mevcut yapının yatay yük parametreleri

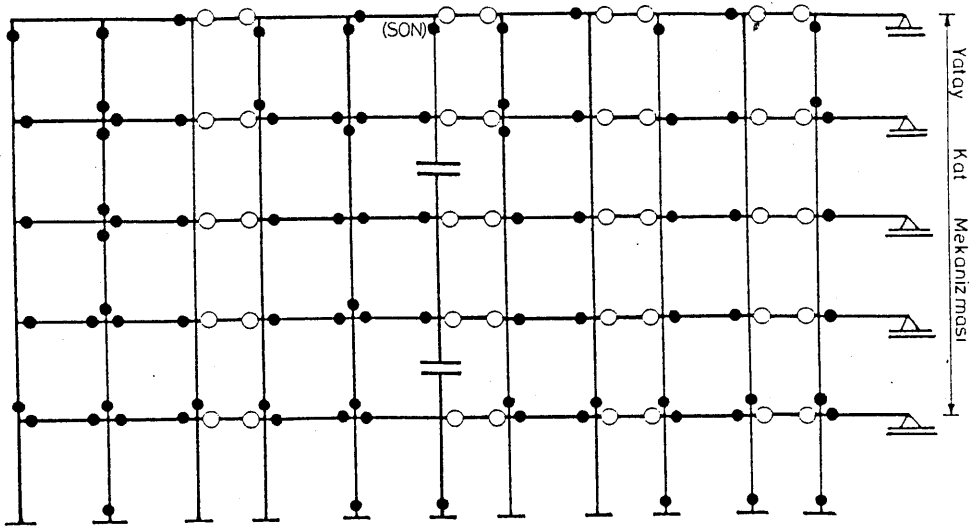
Deprem doğrultusu ve yönü	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\uparrow Y$	$\downarrow Y$
Yatay yük parametreleri (YYP)	0.49	0.49	0.71	0.66

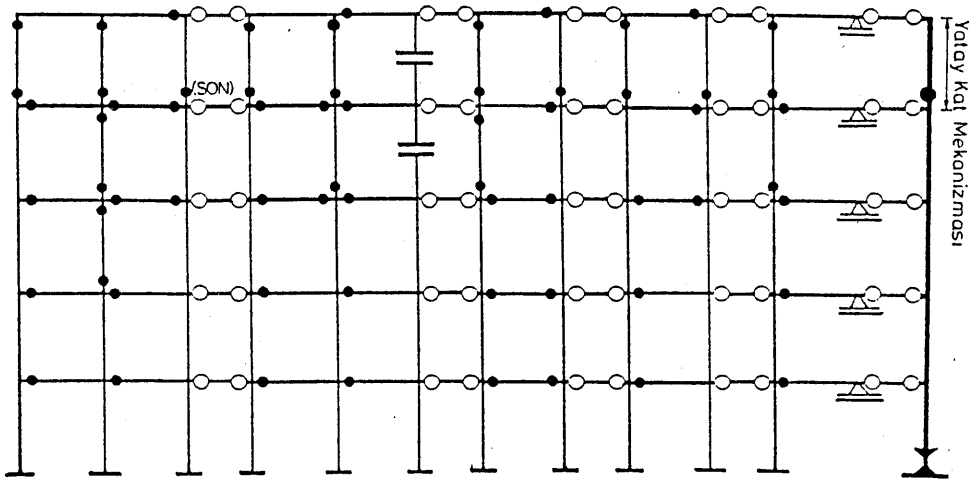
Tablodan görüldüğü gibi X ve Y doğrultularındaki minimum deprem güvenlikleri sırasıyla 0.49 ve 0.66 değerlerini almaktadır. Bu değerlerin 1.00 den küçük olması sistemin $C=0.08$ deprem katsayısına göre hesaplanan deprem kuvvetlerini yeter güvenlikle taşıyamadığını ifade etmektedir. X ve Y doğrultuları için hesapta, limit yüke karşı gelen plastik mafsallar, son plastik mafsalın yeri ve oluşan kat mekanizmaları Şekil 4 ve 5 de verilmişlerdir. Şekil 5 de zemin kat ve 2. kat kolonlarında işaretlenen çift yatay çizgi sözkonusu kolonların kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin sona erdiğini belirtmektedir.



Şekil 4. Mevcut yapı (X doğrultusu, YYP=0.49)

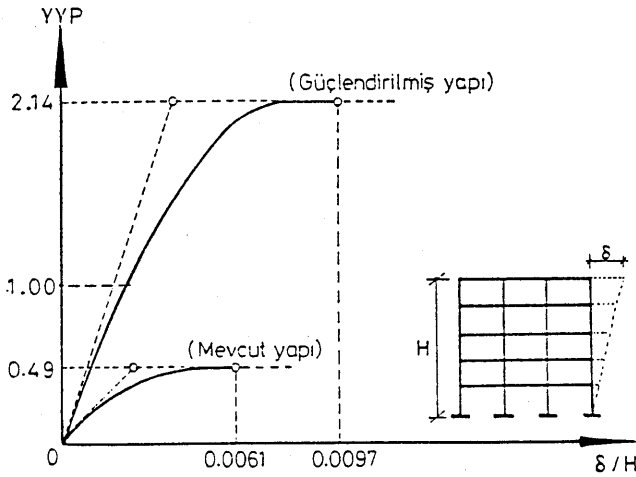
Bodrum kattaki briket dolgu duvarların sistemin davranışına etkisini incelemek amacıyla, çevre duvarları eşdeğer basınç çubukları ile temsil edilerek hesap tekrarlanmıştır. Dolgu duvarların etkisi gözönüne alındığında yerdeğiştirmelerin azaldığı görülmüş, ancak kat mekanizmalarının bodrum kat üzerinde oluşması nedeniyle yatay yük parametreleri değişmemiştir.





Şekil 8. Güçlendirilmiş yapı (Y doğrultusu, YYP=1.88)

İncelenen yapının mevcut ve güçlendirilmiş durumlarına ait yatay yük parametresi-yatay yerdeğiştirme bağıntıları X doğrultusu için karşılaştırmalı olarak Şekil 9 da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, eklenen güçlendirme perdeleri ile deprem güvenliği önemli ölçüde arttığı gibi yapının sünekliği de artmaktadır.



Şekil 9. Yatay yük parametresi-yerdeğiştirme eğrileri

KAYNAKLAR/

1. Çakıroğlu, A., Özer, E., (1980) Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yayını.
2. Çakıroğlu, A., Özer, E., (1983) Eğik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Dikdörtgen Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri, Yesa Yayınları No.1.
3. Çakıroğlu, A., (1986) Dikdörtgen ve Tablalı Betonarme Kesitlerin Taşıma Gücüne Göre Hesabı İçin Bir Abak, Yesa Yayınları No.2.
4. Girgin, K., Düzlem Sistemlerin Plastik Mafsallı Teorisine Göre Hesabı İçin Bir Bilgisayar Programı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, (Yayınlanmamış).
5. İmar ve İskan Bakanlığı, (1975) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.
6. Karadaş, M., (1993) Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, Yapı Sistemlerinin Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. Ohkubo, M., (1991) Current Japanese System on Seismic Capacity and Retrofit Techniques for Existing Reinforced Concrete Buildings and Post-Earthquake Damage Inspection and Restoration Techniques, University of California, San Diego.
8. Özer, E., Pala, S., Orakdoğan, E., (1992) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Hasar Gören S.S. Şeker Memur Yapı Kooperatifine Ait Binalarda Yapısal Hasarların İncelenmesi ve Yeterli Deprem Güvenliğinin Sağlanması Hakkında Teknik Rapor, İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Uygulama-Araştırma Merkezi.
9. Özer, E., Pala, S., Orakdoğan, E., (1992) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Hasar Gören S.S. Yeşil Vadi Yapı Kooperatifine Ait Binalarda Yapısal Hasarların İncelenmesi ve Yeterli Deprem Güvenliğinin Sağlanması Hakkında Teknik Rapor, İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Uygulama-Araştırma Merkezi.
10. Türk Standardları Enstitüsü , (1984) TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları.
11. UNDP/UNIDO, (1985) Post-Earthquake Damage Evaluation and Strength Assessment of Buildings Under Seismic Conditions, Vol. 4, Vienna.