

# DEPREME DAYANIKLI ÇOK KATLI YAPILARDA TASARIM VE ÜRETİM İLKELERİ

Günay ÖZMEN <sup>1</sup>

## GİRİŞ

Son yıllarda, tüm dünyada, deprem mühendisliği alanında geniş ölçüde araştırmalar yapılmış ve konu oldukça önemli oranda aydınlatılmıştır. Bununla birlikte, depreme dayanıklı yapı tasarımı yine de bilimsel ağırlıklı bir sanat (zanaat) olarak gözönüne alınmalıdır.

Böyle bir tasarımın ana amacı, deprem etkilerine karşı koyabilecek ölçüde mukavemet, rijitlik ve süneklik özellikleri olan bir yapı üretmektir. Genel olarak kabul edilmiş olan tasarım ölçütleri

- a) Sık oluşan küçük depremlerde hiç hasar olmaması,
- b) Orta şiddetteki depremlerde yapısal hasar olmaması,
- c) Şiddetli depremlerde de genel göçmenin önlenmesi olarak özetlenebilir.

Görüldüğü gibi, deprem tasarımının genel ilke ve ölçütleri açıkça belirtilmiş bulunmaktadır. Ancak bunların, ilgili yönetmeliklere ve tasarım yöntemlerine aynı açıklıkla ve somut bir biçimde yansıtılması kolay değildir. Bunun başlıca nedeni de genelde iki bölümde toplanabilecek olan belirsizliklerdir ;

- a) Gelecekte yapıyı etkilemesi muhtemel olan depremlerin özellikleri,
- b) Özellikle elastik olmayan bölgelerde hesap modelinin saptanması.

Yönetmeliklerin ve tasarım yöntemlerinin başlıca işlevleri, bütün bu belirsizliklere karşın, depreme dayanıklı tasarım ilke ve ölçütlerinin, dolaylı yollardan da olsa, sağlanmasını gerçekleştirmek olmalıdır.

Bu çalışmada

- a) Taşıyıcı sistem
- b) Hesap yöntemleri
- c) Yapı deyatları

---

<sup>1</sup> Prof.Dr., Ata İnşaat A.Ş.

d) Malzeme ve işçilik

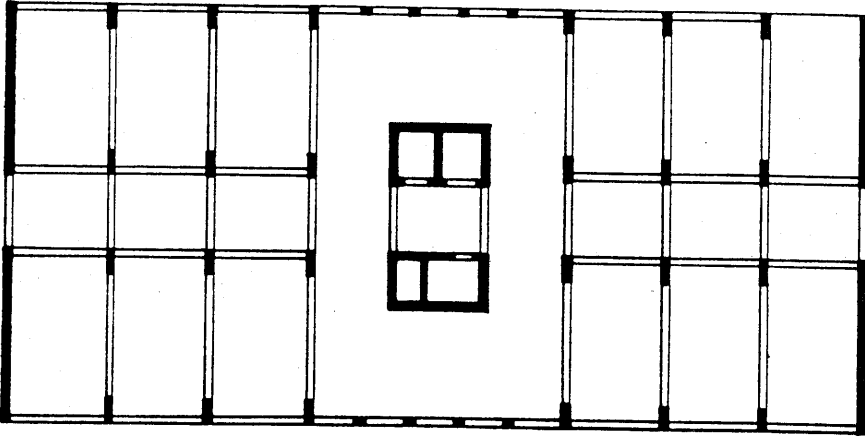
bakımlarından gerekli ilkelere yer verilecek ve gerek tasarımda gerekse üretimde karşılaşılan sorunlar üzerinde durulacaktır.

## YAPI SİSTEMLERİ

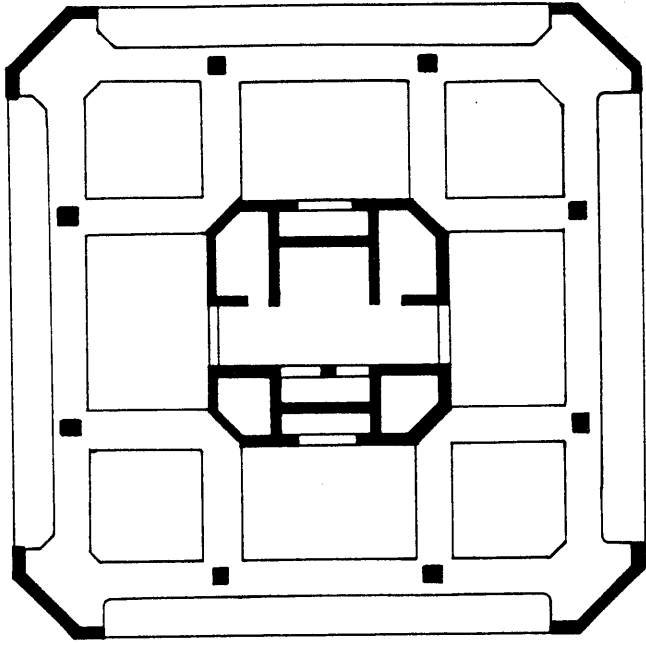
Çok katlı yapıların hem ekonomik hem de depreme dayanıklı olarak üretilebilmesi için geçerli olan taşıyıcı sistemlerin ana ilkeleri saptanmış olup uzun süredir uygulanmaktadır [1,2,3]. Bazı yönetmeliklere de girmiş bulunan belli başlı yapı sistemleri şunlardır:

- a) Çerçevesizden oluşan sistemler
- b) Perde veya kutu sistemler
- c) Perde ve çerçevelerden oluşan sistemler
- d) Tüp sistemler
- e) Tüp, perde ve çerçevelerden oluşan sistemler.

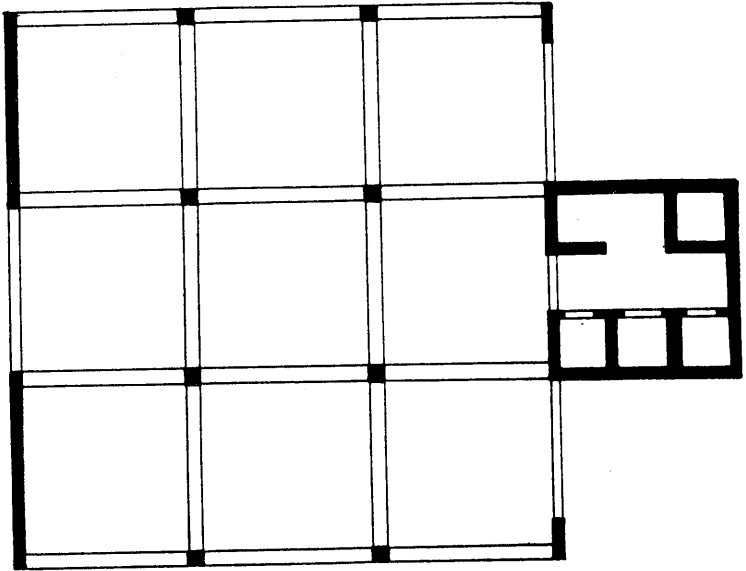
Yurdumuzda ve dünyada, çok katlı yapı tasarımında en çok kullanılan taşıyıcı sistem, perde (çekirdek) ve çerçevelerden oluşan sistemlerdir, Şekil 1, 2, 3. Bu tür sistemler bir yandan mimari işlevlerle uyum içinde olup bu bakımdan önemli sakıncalar doğurmazlar, diğer yandan gerekli rijitlik ve sünekliği sağlayarak deprem etkilerine başarı ile karşı koyabilirler. Bu tür yapılarda, gerekli rijitlik öncelikle perde ve çekirdekler tarafından sağlanmaktadır. Bunların zorlanması neden olabilecek kadar şiddetli depremlerde ise sünek çerçeveler devreye girerek göçmeyi önlemektedir.



Şekil 1



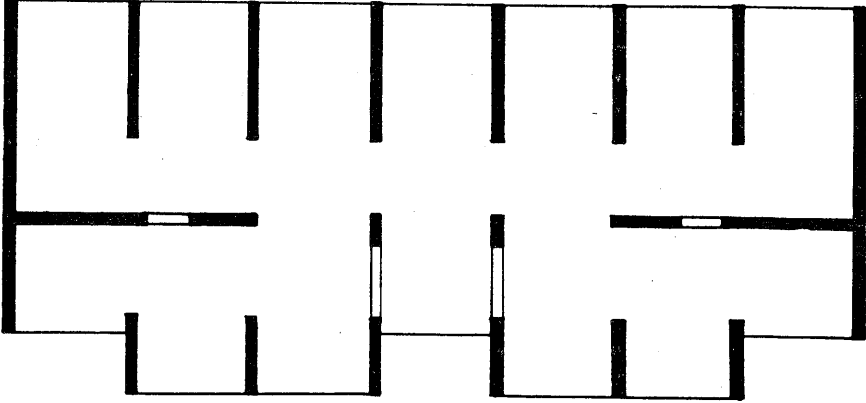
Şekil 2



Şekil 3

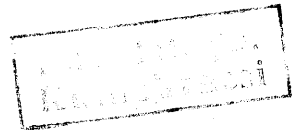
Yapı sisteminin seçimi açısından sünekliği sağlayan başlıca faktör, yapının çeşitli taşıyıcı elemanlarının yatay yükleri paylaşabilme özelliği yani bir çeşit global hiperstatikliklerdir. Bu özellikleri olmayan veya kısıtlı bulunan yapılar, örneğin yatay yükleri sadece çekirdek veya perdelerle düşey yükleri de (çoğunlukla çelik) kolonlarla taşıyan yapılar depreme dayanıklılık açısından yeterli süneklikleri olmayan yapılardır.

Son yıllarda, sadece perdelerden oluşan kutu sistemlerin de çok katlı yapı üretiminde sıkça kullanıldıkları gözlenmektedir, Şekil 4. Yapılan son araştırmalar, bu tür sistemlerin de belli oranda sünekliklerinin bulunduğunu kanıtlamış bulunmaktadır, [6]. Bu süneklik, geniş ölçüde, perdeleri birleştiren bağ kirişlerinin yarattığı hiperstatiklikten kaynaklanmaktadır. Gerçekten de, Şekil 5 de görüldüğü gibi, kirişlerle birleştirilmiş perdelerde, yerdeğiştirme ve eğilme momenti diyagramlarında önemli ölçüde azalmalar olmakta ve bunların davranışlarının perde-çerçeve sistemlere yakın olduğu gözlenmektedir. Bu tür sistemlerde bağ kirişlerinin fiktif çerçeveler gibi davrandıkları bilinmektedir [5]. Perdeler arasında bağ kirişlerinin bulunmaması halinde bile, döşemelerin belirli bölümleri kiriş gibi çalışarak benzer bir davranış oluşturabilmektedir. Böylece, gerekli donatı önlemlerinin alınması koşuluyla, sadece perdelerden oluşan sistemlerin de, depreme dayanıklı yapı tasarımında güvenle kullanılacakları sonucu ortaya çıkmaktadır.

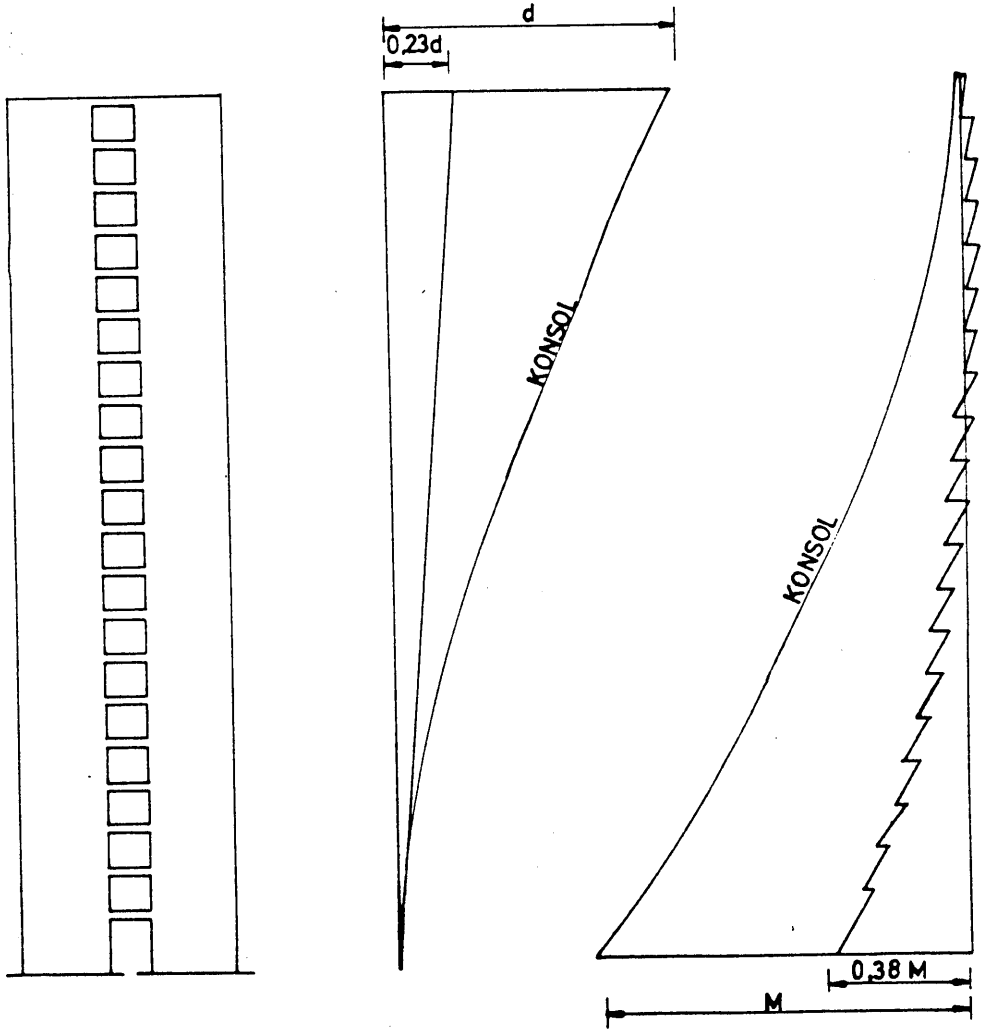


Şekil 4

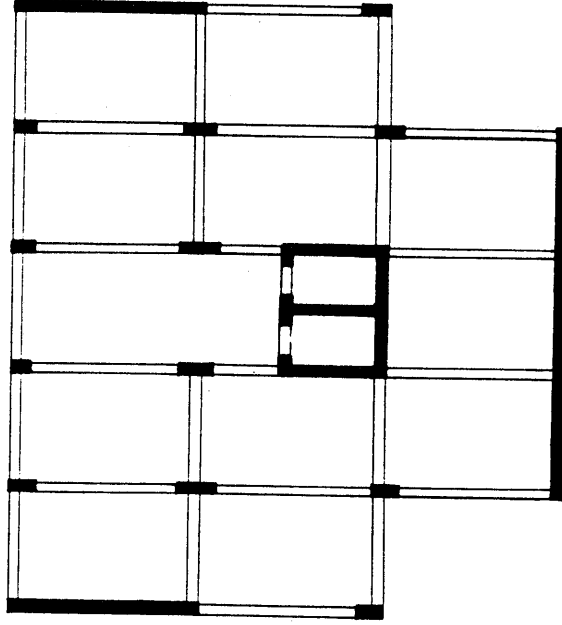
Önemle üzerinde durulması gereken bir başka nokta da, seçilecek yapı sisteminin olabildiğince basit ve üretim ile ilgili herkes tarafından kolay anlaşılabilir bir sistem olmasıdır. Deprem sonrası incelemeler, defalarca, taşıyıcı sistemleri basit olan yapıların ayakta kalma şanslarının, karmaşık olanlara oranla çok daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bunun başlıca nedeni, basit taşıyıcı sistemli yapılarda, tasarımcının yapısal davranışı anlama ve tasarıma yansıtma olasılığının çok daha fazla olmasıdır. Planda iki simetri eksenine sahip yapılar



özellikle depremin burulma etkileri bakımından çok uygundur. Ancak yük merkezine uzak olan rijit elemanlar kullanıldığı takdirde, bazı simetrik olmayan yapıların da kolayca ve başarı ile depreme dayanıklı olarak projelendirilebilecekleri unutulmamalıdır, Şekil 6.



Şekil 5

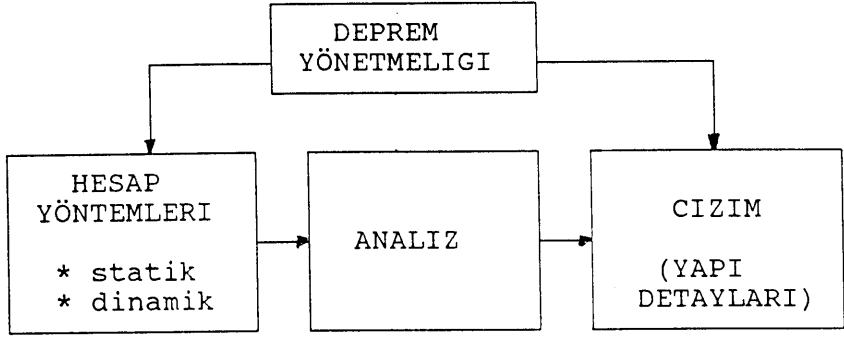


Şekil 6

## HESAP YÖNTEMLERİ

Konu ile ilgili tüm belirsizliklere karşın, depreme dayanıklı yapı tasarımı kapsamına giren "Hesap Yöntemleri" oldukça yeterli bir açıklıkla ve ayrıntılı olarak tanımlanmıştır ve uzun zamandan beri uygulanmaktadır. "Deprem Yönetmelikleri"nde, hesapta kullanılacak çeşitli katsayılar, hesap türlerinin seçimi, yükler v.b. hesap esasları ile birlikte detayların düzenlenmesi ve donatı düzeni ile ilgili çeşitli koşullar belirtilmiş bulunmaktadır, Şekil 7. Son yıllarda, yönetmeliklerde gerek hesap esasları gerekse donatı düzenlenmesi ile ilgili olarak, olabildiğince fazla ayrıntı belirleme ve karmaşık maddeler düzenleme eğiliminin arttığı gözlenmektedir. Deprem mühendisliği alanındaki son gelişmelerin yönetmeliklere aktarılması ve yönetmeliklerin zaman zaman güncelleştirilmeleri, kesinlikle gereklidir. Ancak yönetmeliklerin çağdaş gelişmelere uydurulmasında, çok geniş kapsamlı değişiklikler, her zaman amaçlanan yararı sağlamayabilir. Her ülkede, yönetmeliklerin o ülkenin koşullarını gözönüne alarak düzenlenmesi gerektiğinin ve ülkeye özgü gelenek ve kısıtlamaların kısa sürede yok edilemeyeceğinin bilinmesi şarttır. Genellikle, yapıların büyük çoğunluğu üstün vasıflı mühendisler ve diğer teknik elemanlar tarafından değil, ortalama kalitedeki kişiler tarafından tasarlanmakta ve üretilmektedir. Bu kişiler tarafından kullanılan yönetmeliklerin uzun, ayrıntılı ve karmaşık maddelerden oluşmaları

bunların uygulanabilme özelliklerini azaltır. Böylece, karmaşık yönetmelik maddeleri ile amaçlananın tam tersi, yani bu maddelerin hiç uygulanmaması olasılığı ortaya çıkar. Yönetmelikler düzenlenirken, bunların depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç değil araç oldukları her zaman gözönünde tutulmalıdır.



Şekil 7

Hesap yöntemleri 2 ana bölüm altında toplanabilir:

- a) Dinamik yöntemler
- b) Statik yöntemler

Dinamik yöntemlerden "Zaman Artımı Yöntemi"nde belirli bir deprem kaydına bağlı olarak küçük zaman aralıklarında integrasyon yapıp gerekli büyüklükler elde edilmektedir. Malzeme ve geometri bakımından lineer olmama hallerini de kapsayarak gerçeğe en yakın sonuçları veren bu yöntem, henüz sadece araştırma düzeyinde kullanılmaktadır. "Mod Superpozisyonu" yönteminde ise, yapının ilk birkaç özel titreşim modu incelenerek deprem sırasındaki davranışın bunların superpozisyonu ile elde edilebileceği varsayılır. Son yıllarda gittikçe daha ayrıntılı olarak yönetmeliklere girmeye başlayan bu yöntemin, yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarını oldukça gerçekçi bir biçimde yansıttığı söylenebilir.

Yaklaşık olmasına karşın uygulamada en çok kullanılmakta olan yöntem, "Statik Eşdeğer Yükler Yöntemi"dir. Bilindiği gibi, bu yöntemde, bölgenin, yapının ve zeminin belirli özellikleri gözönünde tutularak fiktif statik yatay yükler hesaplanır ve bunların deprem etkilerini temsil ettikleri varsayılır. Bu yöntem, gerçekte mod superpozisyonunun basitleştirilmiş bir biçimi olup hemen tüm yönetmeliklerde temel hesap yöntemi olarak verilmektedir. Depreme dayanıklı yapıların % 90-95 inin tasarımında bu yöntemin kullanıldığını söylemek pek yanlış olmaz.

Daha "kesin" oldukları varsayılan dinamik yöntemlerin de, özellikle söz konusu yapıyı gelecekte etkilemesi muhtemel olan

depremlerin özellikleri bakımından, ne kadar büyük bir belirsizlikle uygulandıkları düşünülürse, çok yüksek ya da çok özel olmayan yapılar için, statik eşdeğer kuvvetlerin yeterli bir yaklaşım sağladığı ileri sürülebilir.

Son yıllarda, özellikle deprem hesabının analiz aşamasında, bilgisayar kullanımının yaygınlaştığı ve etkinleştiği gözlenmektedir. Bu da bir yandan yapının matematik modelinin daha ayrıntılı ve gerçekçi olarak saptanabilmesine, diğer yandan hesapta "dinamik" özelliklerin daha ağırlıklı olarak kullanılabilmesine yol açmaktadır. Böylece, deprem hesaplarının kalitesi zaman içindeki yükselmesini sürdürmektedir. Ancak, depreme dayanıklı yapı tasarım ve üretiminin bir bütün olduğu ve mükemmel bir bilgisayar destekli analiz, taşıyıcı sistemi kötü seçilmiş, kötü detaylandırılmış ve kötü malzeme ve işçilikle üretilmiş bir yapıyı depreme karşı koruyamayacağı gözden uzak tutulmamalıdır.

## YAPI DETAYLARI

Depreme dayanıklı tasarım ile ilgili hesapların üretime yansıtılması "Çizimler" aracılığı ile yapılır. Deprem sonrası incelemeleri, bu aşamadaki en önemli faktörlerden birinin "Detaylar" olduğunu göstermiştir. Her yapı, kendisini oluşturan elemanların bünyesine ve bunların birleştirilme biçimine bağlı olan özel bir davranış biçimine sahiptir ve deprem sırasında bu davranış biçimi yapının kaderini tayin edebilir.

Detayların düzenlenmesinde en önemli noktalardan biri, özellikle donatı düzeni ile ilgili olarak, sünekliği artırıcı koşulların sağlanmasıdır. Betonarme yapılarda kolon ve kirişlerin mesnetlere yakın bölgelerindeki etriyelerin sıklaştırılması ve çekme donatısının belirli sınırları aşmaması gibi önlemlerin birçok yapıyı genel göçme tehlikesinden kurtardığı gözlenmiştir.

Yapının belirli bölgelerinde, tasarımcının kesit zorlarına bağımlılıktan sıyrılıp, kuvvet ve gerilme akışının yerel olarak izlemesi zorunludur. Kolon-kiriş birleşimleri, perde boşluklarının etrafı, kirişlerin (döşemelerin) perdelerle saptandıkları bölgeler, kolon ve perdelerin radyelere birleştikleri bölgeler ve tüm diğer süreksizlik bölgeleri özel olarak incelenmesi ve detaylandırılması gerekli olan bölümlerin başında gelir.

Detaylandırmada dikkat edilmesi gereken bir başka nokta da tasarımcının amaçladığı yapıyı çizimlere olduğu gibi yansıtması gereğidir. Herhangi bir nokta veya detay, yüklenicinin veya şantiyedeki ustabaşının sorumluluğuna veya şansa bırakılmamalıdır. Detaylar açık, sade ve gerçekçi olarak düzenlenmeli ve tasarımın tümünde üretimin ülkede mevcut malzeme ile ve o ülkenin işçileri tarafından gerçekleştirileceği gözönünde tutulmalıdır.



## MALZEME VE İŞÇİLİK

Depreme dayanıklı çok katlı yapı üretiminde uzun yıllardan beri ençok kullanılan malzemeler beton ve çeliktir. Yurdumuzda daha çok kullanılan beton (betonarme), çeliğe oranla özellikleri daha az belirgin ve üretimi daha az kontrol altında olan bir malzemedir. Bununla birlikte, belirli minimum koşulların sağlanması halinde, betonarmenin de depreme dayanıklı yapıların üretiminde güvenilirliği kanıtlanmış bir malzeme olduğu söylenebilir.

Son yıllarda geliştiği gözlenen belirli iki faktör, dolaylı yoldan da olsa, malzeme ve işçilik kalitesinin yükselmesine yol açmıştır. Bunlar

a) Hazır beton

b) Modern kalıp sistemleri

olarak özetlenebilir. Bunların yapı üretiminde gittikçe daha yaygın olarak kullanılmakta olması, genel kalitenin yükselmesine yol açmaktadır. Günümüzde, özellikle yurt dışındaki uygulamalarda gözlenen bir başka husus, yapı üretiminde kullanılan betonların dayanımlarındaki önemli yükselmedir. Bu nedenle, birkaç yıl öncesine kadar çelikten başka bir malzeme ile yapılabilmeleri söz konusu olmayan 50-60 hatta daha çok katlı yapılar betonarme olarak üretilebilmektedir [1,7]. Betonarmenin yurdumuzdaki çok katlı yapıların hemen tümünün üretildiği geleneksel bir malzeme olduğu gözönünde tutulursa, bu gelişmenin sevindirici olduğu söylenebilir. Ancak yurdumuzdaki çok katlı yapı üretiminde, proje düzeyindeki denetimin bile kısıtlı olması ve daha sonraki aşamaların, çoğu kez, hiç bir denetim söz konusu olmaksızın gerçekleştirilmesi, bu sevindirici gelişmeye katılmamızı geciktirmektedir.

Ülke genelinde deprem riskinin azaltılabilmesi için, proje düzeyinden başlayarak, üretim aşamalarının tümünde etkin bir denetim uygulamasının başlatılması gereklidir [8].

## KAYNAKLAR

- [1] Fintel, M., "Multistory Structures, Handbook of Concrete Engineering", Van Nostrand Reinhold Co., New York 1974.
- [2] Blume, J.A., Degenkolb, H.J., Fajfar, P., Özmen, G., "State of The Art Report on Earthquake Resistant Design", Proceedings of the 7th WCEE, Istanbul 1980.
- [3] Lin, T.Y., Stotesbury, S.D., "Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers", Van Nostrand Reinhold Co., New York 1988.
- [4] Bertero, V.V., "Seismic Behaviour of R/C Wall Structural Systems", Proceedings of the 7th WCEE, Istanbul 1980.

- [5] Çakıroğlu, A., Özmen, G., " Çerçevesel ve Boşluklu Perdelerden Oluşan Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı", Teknik Rapor No. 16, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi 1973.
- [6] Çakırođlu, A. " Effective Width of Coupling Slabs in Shear Walls Under Lateral Loads", Bulletin of the Technical University of Istanbul, Vol. 40, No.1, 1987.
- [7] Özberki, H., "İnşaatın Vazgeçilmez Malzemesi: Beton, İnşaat Malzemeleri ve Uygulamaları", Aralık 1988.
- [8] Cilason, N., " Beton Kalitesinin ve Denetiminin İyileştirilmesi İçin Öneriler", 1. Ulusal Beton Kongresi Bildirileri, Mayıs 1989.