

İSTANBUL'DA DEPREM

Atilla M.Ansal ¹

GİRİŞ VE KONU

İnşaat mühendisliğinin temel amaçlarından biri insanların içinde yaşadıkları mekanları daha güvenli, daha dayanıklı ve uzun ömürlü olacak şekilde tasarlamak ve inşa etmektir. Bunun yanı sıra gelişen teknoloji ile birlikte mevcut koşulların sürekli olarak irdelenmesi, geliştirilmesi ve daha elverişli hale getirilmesi için çaba sarfedilmesi gerekir. Deprem olayında da benzer bir bakış açısı benimsemek doğru bir yaklaşımdır. Yanlız bütün doğal afetlerde olduğu gibi depremlerin de ne zaman, nerede ve ne şiddette olacağı konusunda bir belirsizlik bulunur. Mühendislik uygulaması açısından bu tür bir belirsizlik, tasarıma ve inşaata yönelik kararları olumsuz bir şekilde etkileyebilir. Bu açıdan gerekli inceleme ve araştırmaların yapılarak belirsizliklerin mümkün olduğunca en aza indirilmesi ve istatistiksel bir yaklaşım izlenerek olasılık ve risk ilişkilerinin bulunması tercih edilmelidir.

Bu çalışmada amaç, konu İstanbul'da deprem olduğuna göre, bu açıdan İstanbul'da olabilecek bir depremin etkileri üzerinde durmak, ne tür çalışmaların yapılması gerektiği konusunda öneriler üretmektir. İstanbul, ekonomik ve sanayi yapılaşma açısından olduğu kadar nüfus yoğunluğu bakımından da Türkiye için hayati öneme sahip büyük bir megapol durumundadır. İstanbul'da meydana gelebilecek büyük bir deprem sadece İstanbul'da büyük bir hasara yol açmayacak aynı zamanda zaten oldukça zor bir dönem geçirmekte olan ülke ekonomik yapısına da ağır bir darbe indirebilecektir. Bu açıdan İstanbul'da olabilecek bir depreme karşı en kısa zamanda gerekli çalışmalar başlatılmalı ve zaman geçirmeden bu araştırmalardan elde olunan bulgular yönetmelikler ve kararnameler vasıtasıyla uygulamaya geçirilmelidir.

Bütün bunların yapılabilmesi için gerekli fonların bu alanlara yönlendirilmesi, devlet ve yerel idareler eliyle deprem riskinin yüksek olduğu bölgeler için detaylı incelemelerin yaptırılması zorunlu olmaktadır. Bu çalışmalara gerekli önem verilmeli ve çeşitli kaynaklar yaratılarak üniversiteler, resmi ve özel kuruluşlarca bu konuda yapılabilir araştırmalar desteklenmelidir. Hükümetlerin, yerel yönetimlerin ve özel teşebbüsün bu araştırmaları desteklemesini sağlamak amacıyla bu konunun önemi anlatılmalı ve bu alanda çalışmalar yapan kurumlar ve araştırma merkezlerinde, deprem

¹ Prof.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Maslak

mühendisliği konusunda ihtisas yapmış kadrolar oluşturulmalı, gerekli teçhizat, alet ve deney sistemleri alınması için ödenek verilmelidir. İstanbul gibi devasa bir metropol için yapılması gereken çalışmalar da o derecede geniş kapsamlı ve büyük hacimli olmak zorundadır. Uzun bir süre gerektiren bu çalışmalara zaman geçirmeden başlanabilmesi için kısa ve uzun dönem programları hazırlanmalı ve bunların uygulanmasına geçilmelidir.

Günümüzde deprem hasarını etkileyen önemli parametreler bilinmekte, bu bağlamda hem güvenli hem ekonomik olarak afetin etkilerini azaltmak ve önlemek mümkün olabilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde sınırlı ekonomik kaynaklar nedeniyle, bu kaynakların depreme dayanıklı yapı üretiminde en etkin şekilde kullanımı gerekmektedir. Depreme dayanıklı yapı üretiminde, maliyeti arttırıcı önlemler yerine, araştırmalara dayalı daha uygun alanlar ve tasarım ilkeleri belirlenmeli, yerleşim politikaları ve imar planları ile gelişmelerin yönlendirilmesi olabilecek bir depremin etkisini önleme ve azaltmada tercih edilmelidir. Problemin çözümü sadece depreme dayanıklı yapı üretiminde aramak gerçekçi bir yaklaşım olmayacaktır. Depreme dayanıklı yapı yapabilmek yalnızca teknik bir sorun olmaktan öte sosyal ve ekonomik faktörlere de bağlıdır. Bu nedenle amaç, daha az tehlikeli alanların belirlenmesi ile ilave maliyetlerin azaltılması, böylece hem ülke ekonomisi açısından kaynakların akılcı kullanımını, hem de deprem hasarının en aza indirilmesini sağlamaktır. Bu amacın gerçekleştirilmesi için, ülke genelinde sosyo-ekonomik yapı bağlamında kabul edilebilir risk düzeyi belirlenmeli ve deprem tehlike ve mikrobölge haritaları yaptırılmalı ve bunların uygulanması sağlanmalıdır.

Gelişmekte olan ülkelerde üretken yatırımlara öncelik verilmesi, konut yatırımlarına daha az kaynak ayrılmasına yol açmaktadır. Bu nedenle yapı üretimine ayrılan sınırlı kaynakların en optimum şekilde kullanılması gerekmektedir. Ayrıca gelir dağılımındaki dengesizlik nedeniyle, kullanıcıların büyük çoğunluğunun nitelikli ve depreme dayanıklı bir konutun gerektirdiği kaynak tasarrufunda bulunamadığı bilinmektedir. Bu nedenle mevcut sınırlı kaynakla depreme dayanıklı olarak en çok konutun elde edilmesi amaçlanarak, çeşitli bilim dallarını kapsayan bir çalışma ile kriterler saptanmalı bu bağlamda politika ve stratejiler geliştirilmelidir.

GÜVENLİK KAVRAMI VE KABUL EDİLEBİLİR RİSK

Herhangi bir konuda güvenliği değerlendirebilmek için sayısal değere sahip bir parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak inşaat mühendisliğinde risk yapılarında hasar görülebilirlik olasılığı olarak düşünülebilir. Doğal olarak riskin bu şekilde tanımlanması risk ile hasar mertebeleri arasında bir ilişkinin bulunmasını da içerir. Bir mühendislik yapısında riskin tamamen ortadan kaldırılmasının mümkün olmadığını veya ekonomik olarak bir noktadan sonra aşırı maliyet arttırıcı olacağını düşünürsek bir risk sınırı tanımlamak gereği ortaya

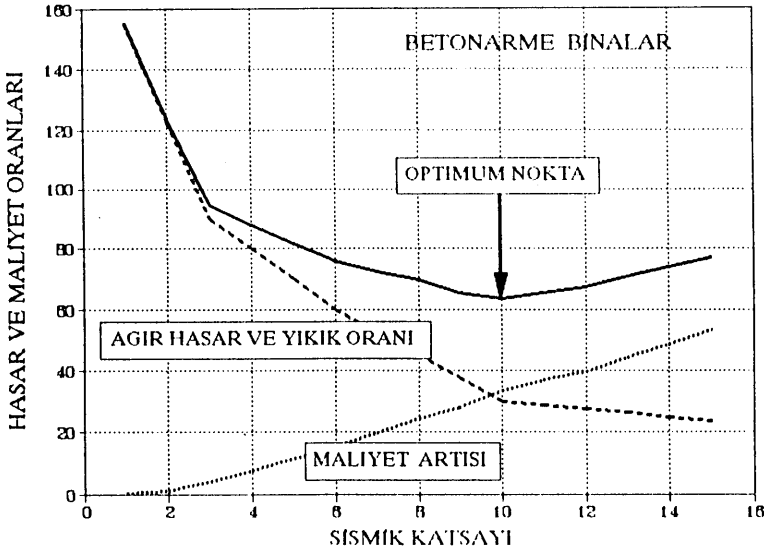
çıkar. Bu sınıra kabul edilebilir risk denilebilir. Bu şekilde tanımlanabilen risk sınırı hasar olasılığı ile bağıntılı olmakla birlikte, toplumların ekonomik yapısına, sosyal alışkanlıklarına ve teknik seviyesine bağlı olarak bir ülkeden diğerine farklılıklar gösterebileceği gibi aynı ülke içinde de bir yöreden diğerine farklılıklar gösterebilir[5].

Kabul edilebilir risk değerinin oluşmasına etki eden bir diğer faktör de zaman olmaktadır. Riskin azaltılması için yapılacak çalışmaların mali yükü yapı maliyeti üzerine anında yansımalarına karşın bu çalışmaların getireceği fayda uzun bir zaman dilimi içinde veya hiç bir zaman belirgin olarak açığa çıkmayabilir. Her iki durumda da yapılacak bu ek masrafların, insanlara veya kurumlara kabul ettirilmesi zorlaşır. Mevcut kaynakların sınırlı olması nedeniyle güvenliği arttırıcı ve riski azaltıcı çalışmalar için yapılacak yatırımların diğer ihtiyaçları sağlamak için yapılacak yatırımları azaltacak olması bir sorun yaratır. Bu durumda bir öncelik sıralaması yapılması zorunludur. Burada hemen belirtilmesi gereken bir konu da bir yapının ilk proje ve inşaatı aşamasında güvenliğin arttırılması için yapılacak yatırımın, aynı yapının daha sonradan güvenliğini arttırmak için yapılacak yatırımdan bir kaç kat daha az olduğudur. Olaya bu açıdan bakınca bir yapının baştan güvenli olarak yapılması her zaman tercih edilmelidir. Aksi takdirde mali imkansızlıklar nedeniyle yeterli güvenlik önlemleri alınmadan yapılan yapıların daha sonradan güvenliklerini arttıracak şekilde onarılmaları, aşırı bir harcama gerektireceğinden, ekonomik koşullar düzelmiş olsa bile mümkün olmayabilir.

Riskin tanımlanmasına giren en önemli faktörlerden biride insan faktörüdür. Bir riske maruz insanların sayısı arttıkça, o risk için kabul edilebilirlik sınırı da azalmalıdır. Diğer yandan kabul edilebilir risk elde olunacak faydaya bağlıdır. Bu açıdan önerilen yaklaşımlardan biri de güvenliği arttırmak için yapılacak ek yatırımların mertebesinin bulunmasında, verimliliğin bir kriter olarak kullanılmasıdır. Çoğu kez ilk aşamada yapılacak çok sınırlı harcamalar güvenlikte önemli artışlara yol açar fakat bir noktadan sonra yapılacak ek yatırımların getireceği güvenlik artışları sınırlı kalabilir [47]. Şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiş olduğu gibi yapı maliyeti artış oranı ile hasar maliyet oranının deprem katsayısına göre değişimi birlikte değerlendirildiği zaman optimum durumu veren nokta mühendislik uygulamasında en uygun çözüm olarak nitelenebilir. Bu durumda optimum deprem katsayısına karşı gelen risk değerinin kabul edilebilir risk olarak seçilmesi düşünülebilir.

Herhangi bir konuda bir riskten söz ediliyorsa bu bir olasılık problemi olarak ele alınabilir. Ama uygulamada en önemli sorun kabul edilebilir risk mertebesinin seçilmesidir. Bir yaklaşıma göre toplum hayatında irademiz dışında karşılaştığımız farklı alanlardaki risk seviyeleri arasında bir benzerliğin bulunabileceği varsayılır. Dolayısıyla insan yaşamı ve malı söz konusu olduğuna göre örneğin trafik kazası geçirme riski ile yaşadığımız evin bir depremde yıkılma

riskinin yakın olması istenebilir. Risk mertebeleri arasında böyle yaklaşık bir eşitlik, kabul edilebilir riski tanımlamak için uygun olabilir.



Şekil 1. Yapı ve Hasar Maliyetlerinin Deprem Katsayısına Göre Değişiminin Şematik Olarak Gösterilmesi

Bir örnek teşkil etmesi açısından trafik kazalarındaki risk ele alındığında, 1987 yılı mevcut kayıtlı araç ve o yıl içinde meydana gelen kaza sayılarına dayanarak motorlu taşıtı olan bir kişinin Türkiye ortalamasına göre kaza yapma olasılığı (veya kaza riski) yaklaşık % 4.9 civarında iken bu değer İstanbul için % 7.3 mertebesine çıktığı görülmektedir. Bu şartlar altında inşaat mühendisliğinde kabul edilebilir risk mertebesinin en azından her gün karşılaştığımız trafik riski mertebesinde olması istenebilir. Ancak ülkemizde inşaat sektöründe depreme karşı kabaca hesaplarla bulunan risk mertebeleri bu değerlerin çok üstünde kalmaktadır [5].

İçinde tek bir kurşun olan bir altıpatlar tabanca ile Rus ruleti oynamak teklif edilse normal şartlar altında kimse buna yanaşmayacaktır. Böyle bir durumda ilk denemede tabancanın ateş alma riski %16 civarındadır. Ama gelin görün ki, deprem gibi doğal sayılan afetler karşısında, bu mertebelerde riskleri almak ülkemizde doğal karşılanabilmektedir. Ama böyle düşünen bir kişi bile Rus ruleti oynamayı kabul etmeyecektir. Halbuki, gerekli incelemeler yapılır, yapının tasarımı ve inşaatı buna uygun bir biçimde yürütülürse bu tür riskleri almağa hiç gerek kalmayabilir [13].

YEREL ZEMİN VE JEOLJİK KOŞULLARIN ÖNEMİ

Depreme dayanıklı yapıların yapılması için izlenen yaklaşımda yakın zamana kadar bölgenin sismisitesi ve kabaca sınıflandırılmış zemin cinsi ile yapıya ait bazı özelliklerin bilinmesi yeterli olarak görülmekte idi. Oysa son onbeş yirmi yıl içinde karşılaşılmış ve yorumlanabilmiş hasar tipleri daha detaylı çalışmalar yapılması gereğini ortaya çıkarmıştır [14, 20, 23, 26]. Depremden sonraki hasar esas alınarak bir şehri bölgelere ayırmak yeniden yapılaşmanın en iyi kılavuzu olacaktır. Fakat hasar kayıtlarının seçilen bölgenin tümü için yeterli olmadığı yada hızlı yapılaşmaya maruz kalan bölgelerde yapılaşmanın şeklini tayin etmek için yıkıcı bir depremin olmasını beklemek yerine böyle bir durumun mevcut verilere dayanarak geliştirilmiş değişik yöntemlerle incelenmesinin yararı açıktır.

Bu açıdan olaya yaklaşıldığında, bir ülkeyi birkaç ayrı bölgeye ayıran sismik (makro) bölgelemeden çok daha detaylı ve mühendislik uygulamasına yönelik çalışmaların yapılması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşımda seçilen bir bölgede olması beklenen depremin özellikleri çeşitli yöntemlerle belirlendikten sonra, yerel zemin koşullarına bağlı olarak farklı alanlarda yapılacak yapılarda uyulması gerekli tasarım kuralları ve buna bağlı olarak yapılaşmanın şekline yön veren haritaların oluşturulmasına mikrobölgeleme adı verilmektedir. Bu da yeni yerleşim alanlarının depremlerden en az hasar görecektir şekilde seçilmesini ve en uygun yapı tipinin belirlenmesini sağlar. Bir mikrobölgeleme çalışması ile değişik yerleşim bölgelerinde özellikleri belli bir deprem sonucu hangi tip yapıların ne derece hasar görebileceği de tahmin edilebilir. Böyle bir çalışmanın acil yardım bölgelerini ortaya çıkarması yanı sıra ulaşım, haberleşme, itfaiye, hastahane gibi önemli yapıların planlanmasında da gerekli olmaktadır. Ülkemizde Özellikle İstanbul gibi büyük bir metropolde yer alan yoğun sanayi tesislerinin deprem riskinin çok yüksek olduğu bölgeler içinde kalması, buralarda kısa zamanda mikrobölgeleme çalışmalarının yapılmasını zorunlu hale getirmektedir.

Depremlerde yapısal hasara etki eden faktörler üç grup altında; deprem, yerel zemin ve yapı özellikleri olarak tanımlanabilir. Zemin tabakalarının cins, kalınlık, yeraltı su seviyesi gibi özelliklerinin kısa mesafeler içinde çok değişebilmesi, farklı bölgelerde inşa edilmiş aynı tip yapılarda farklı deprem hasarlarına sebep olabilmektedir [18]. Geçmiş depremlere ait ivme ve hasar kayıtları incelendiğinde de bu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla hasarın azaltılması ve yıkılabilirlik analizlerinde, deprem esnasında farklı davranış gösterecek bölgelerin belirlenmesi gerekli olur [12].

Zemin tabakaları, içinden geçen deprem dalgalarının özelliklerini etkilediği kadar, deprem dalgaları, örneğin sıvılaşma ve şev kaymalarında gözleendiği gibi, zemin tabakalarının mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerini de etkiler [9, 11, 22, 42, 49]. Böyle durumlarda bu tabakalar üzerinde yer alan yapılar sadece zemin özelliklerinin değişmesi sonucu büyük hasar görebilirler. Bu nedenle bu tür

potansiyele sahip bölgelerin belirlenmesi ve detaylı incelenmesi olabilecek hasarın azaltılması açısından gerekli olur [3, 25, 38].

Böyle bir çalışmanın ilk aşamasında kaya ve zemin tabakalaşması, bu tabakaların özellikleri, bölgenin sismolojik ve tektonik yapısı detaylı bir şekilde arazi ve laboratuvar deneylerine dayanarak incelenmelidir [28, 30, 31, 39, 41, 48]. Ortaya çıkan verilere dayanarak, bir deprem sırasında zemin tabakalarının ve bu tabakaların üzerine oturan yapıların, nasıl bir davranış gösterecekleri deneysel, amprik ve matematiksel modeller yardımıyla belirlenebilir.

Burada, deprem esnasında yer hareketlerinin büyük bir kısmının anakayadan yeryüzüne doğru yayılan kayma dalgalarının etkisiyle olduğu kabulüne dayanılmaktadır. Zeminlerin lineer olmayan davranışını gözönüne alan sayısal analiz yöntemlerinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir [4, 21]. Gerilme ve deformasyon sınır şartlarına uygun sayısal analiz yönteminin seçilmesinden sonra incelenen bölgede olması muhtemel yer hareketinin özellikleri (en büyük ivme, hakim periyot, etkiye süresi) belirlenir ve bu özelliklere uygun bir ivme kaydı seçilir veya üretilir. Bu aşamada zemin tabakalarının dinamik özellikleri (dinamik kayma modülü ve sönüm oranının birim kayma seviyesi ile değişimi ya deneysel olarak ya da deneysel bağıntılar vasıtasıyla) bulunur [8, 19, 29]. Zemin tabakalarının depremler sırasındaki davranışının sayısal analiz yöntemleri ile incelenmesinde en önemli adım zemin tabakalarının jeoteknik, jeolojik ve jeofizik özelliklerine ait gerek laboratuvar gerekse arazi deneylerinden elde edilen verilerin güvenilir olmasıdır [24].

Bir bölgede depremlerin etkisini incelerken, öncelikle zemin tabakalarında deprem yükleri nedeniyle, oturmaların, sıvılaşmanın, yamaç ve şevlerde kaymaların olabileceği bölgeler uygun analiz yöntemleri ile değerlendirilmelidir [7, 10, 15, 17]. Buna ek olarak, mikrobölgeleme çalışmaları, incelenen bölgedeki zemin tabakalarının deprem özellikleri üzerindeki etkisi farklı yöntemlere göre bulunabilir. Yerel zemin koşullarının yapılarda hasar oluşturacak etkilerini başlıca şu şekilde sınıflandırabiliriz.

- 1.Zemin koşullarının deprem özelliklerine etkisi [2],
- 2.Zemin tabakalarında oturmalar [16] ,
- 3.Zemin tabakalarının sıvılaşması [27],
- 4.Yamaçlarda stabilitenin bozulması.

Bütün bu konuların ayrı ayrı incelenmesi ve elde olunan bulgulara göre mikrobölgeleme yapılması tercih edilir. Depremler esnasında belirli bir bölgedeki yer hareketi buna sebep olan enerji boşalmasının şekli ve oluşan dalgaların içinde yayıldığı ortamın özelliklerinden etkilenmektedir [2, 43]. Bölgesel jeoloji ve topografik şartlar deprem dalgalarının özelliklerini şaşılabacak derecede değiştirerek aynı sismik hareketlere maruz, birbirine yakın bölgelerde aynı tip

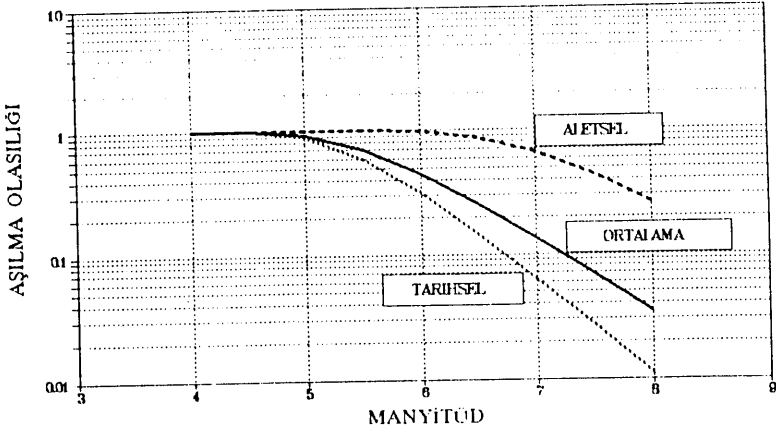
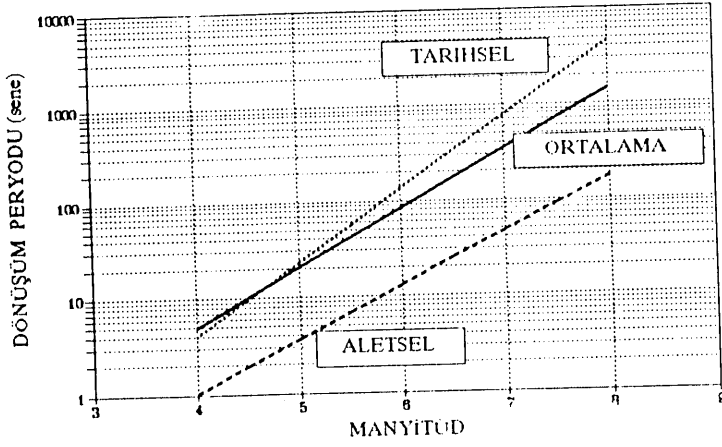
yapılarda farklı mertebelerde hasara neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra deprem dalgaları zeminlerin davranış özelliklerinin değişmesine ve yine yakın mesafelerde farklı hasarların oluşmasına yol açabilir.

Depremlerin yol açtığı hasarlar dolaylı ve dolaysız olarak ikiye ayrılabilir. Bu durumda dolaysız zararlar deprem sarsıntılarının doğrudan neden olduğu, dolaylı zararlar ise depremlerden sonra çıkan yangın, su baskınları, ulaşımın aksaması gibi olayların neden olduğu zararlardır. Birinci tip zararların azaltılması için yürütülen çalışmalar mevcut yapıların üzerinde olası depremlerin etkisinin önceden incelenerek gereken önlemlerin ve sağlamlaştırılmaların yapılmasını ve yeni yapılacak yapıların deprem kuvvetlerine dayanıklı olacak şekilde tasarlanmalarını içerecek şekilde düşünülmelidir. Mikrobölgelemede sadece zeminin davranışı değil, zemin-yapı etkileşiminin göz önüne alınması esas olmalıdır. Mikrobölgeleme çalışmalarına bağlı olarak ilgili bölgede özellikleri belli bir deprem sonucu hangi tip yapıların ne derece hasar görebileceği hakkında bir tahmin yapılabilir. Bu veriler deprem sonrası acil yardım, ulaşım, itfaiye, ve hastahane ağlarının planlanmasında kullanılabileceği gibi yeni yerleşim alanlarının depremlerden en az hasar görecektir şekilde seçilmesinde de kullanılır.

İSTANBUL'UN DEPREMSELLİĞİ

1960'lı yıllarda düzenlenmiş Türkiye Deprem Haritasına göre İstanbul ikinci derece deprem bölgesi içindedir. Aradan geçen sürede, yeni araştırmalara ve bulgulara bağlı olarak İstanbul'un depremselliği ile ilgili farklı görüş ve uygulamalar ortaya çıkmıştır.

İstanbul kentinin depremselliği üzerine günümüze kadar bir çok araştırma yapılmıştır ve bütün bu çalışmaların hemen hemen aynı sonuçlara ulaşmış olması dikkat çekicidir. Halbuki bu incelemeleri yapanlar hem disiplin hem de kullandıkları metodlar açısından geniş bir spektrum içinde yer almaktadırlar. Örneğin Tezcan, Acar ve Çivi [45] yaklaşık 100 yıllık bir süre içinde meydana gelebilecek bir depremin en büyük manyitüdünün $M=7.8$, Üçer, Ayhan ve Alsan [46], ise yapı ömrü olarak 50 yıllık bir süre esas alındığında manyitüdü $M=6.5$ olan bir depremin aşılma olasılığını yine %70 olarak bulmuşlardır. Işıkkara [40, 41] IX şiddetindeki bir depremin ortalama tekrarlama periyodunun 118 yıl ve bu yüzyılda böyle bir deprem olasılığının % 30 civarında olduğunu ama bu olasılığın gelecek yüzyılın ilk yarısında %85'e çıkacağını göstermiştir. Erdik, Doyuran, Gülkan ve Akkaş [34] ise 225 yıllık bir dönüşüm periyoduna İstanbul'da $M=7.5$ manyitüdünde bir depremin karşı geldiğini bulmuşlardır. Sipahioğlu [44] tarihi dönemi esas alarak, İstanbul'u geçmişte etkileyen depremlerin en çok 20 en fazla 113 sene ara ile meydana geldiklerini göstermiştir.



Şekil 2. İstanbul Kenti için Dönüşüm Süreleri ve Aşılma olasılığı Manyitüd İlişkisi

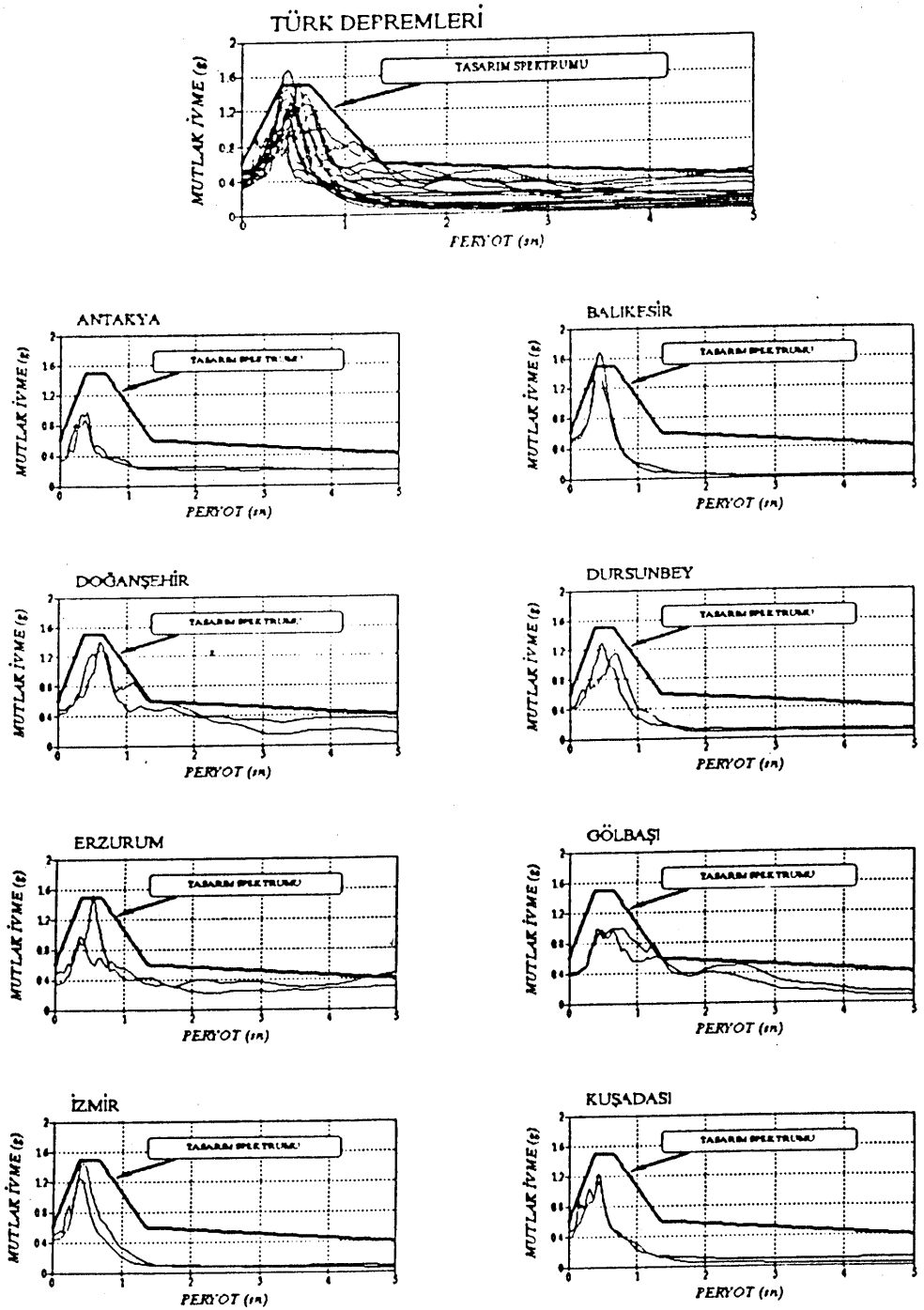
Ülkemizde deprem ve deprem mühendisliği konuları üzerinde ciddi çalışmaları ile tanınan araştırmacılar tarafından yürütülmüş bütün bu çalışmalar, İstanbul'un gerçekte birinci derece deprem bölgesi içinde olduğunu vurgulamaktadır.

İstanbul'u etkileyebilecek bir depremin yaklaşık 100 km çapında bir alan içinde olacağını varsayar ve bu alan içinde hem tarihsel ve

hem de aletsel dönem depremlerini belirlersek, tarihsel dönemde şiddeti VI veya daha büyük 114 adet deprem olduğunu buluruz. Diğer yandan aletsel dönemde manyitüdü 5.5 veya daha büyük sadece 7 adet deprem kaydı ile karşılaşılmaktadır [1, 32, 35, 36, 37, 44]. İstanbul'un depremselliğini incelerken, yaklaşık 1700 yıllık bir dönemi kapsayan tarihsel deprem kayıtları ile daha güvenilir ama daha kısa aletsel döneme ait kayıtların, ağırlıklı ortalalama esasına göre, birlikte değerlendirilmeleri gerçekçi olur. Şekil 2'de bu tür bir yaklaşım benimsendiği zaman elde olunan dönüşüm periyotlarının aşılma olasılıklarının deprem manyitüdüne göre değişimi verilmiştir. Buradan görülebileceği gibi $M=7.5$ manyitüdünde bir depremin yapı ömrü 50 yıl içinde aşılma olasılığı yaklaşık % 16 olmaktadır. Bu da Rus ruletindeki riskle aynıdır.

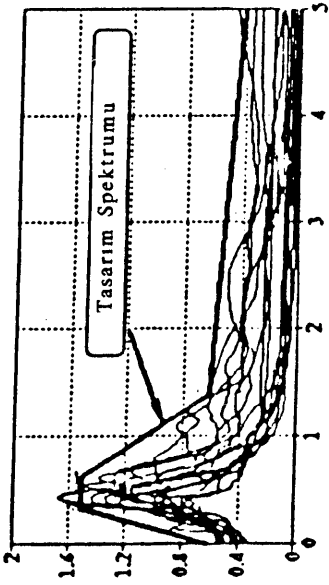
Halbuki İstanbul hali hazırda 2.deprem bölgesi içinde kabul edilmektedir. Bu da İstanbul'da yapılan yapılarda eğer gerekli özen gösterildiğini varsayarsak yapıların $M=6$ manyitüdünde bir depreme dayanıklı olacak şekilde yapıldıklarını gösterir. Yapılan depremsellik hesaplarından bu manyitüdden büyük bir deprem olması olasılığının % 50 mertebelerine çıkacağı anlaşılmaktadır. Diğer bir değişle yapıların manyitüdü $M>6$ olacak bir depremde hasar görme riski %50 mertebesinde. Bu da hiç te kabul edilebilir bir risk mertebesi değildir.

İstanbul tarihinde birçok büyük deprem yaşamış ve ağır hasar görmüş olmasına rağmen, geçen yüzyıl içinde göreceli olarak sakin bir dönem geçirmiş olması nedeniyle detaylı dinamik analizlerde kullanılabilecek bu bölgeye ait gerçek bir ivme zaman kaydı bulunmamaktadır. Geçmiş depremler ile ilgili gözlemler ve deneyimler, bölgesel farklılıklardan dolayı her depremin, yerel tektonik yapıya ve deprem kaynak mekanizmasına bağlı olarak, hatta odak noktaları birbirine yakın ve aynı fay bölgesinde meydana gelen depremlerin bile önemli farklılıklara sahip olabileceğini göstermiştir. Bu yüzden problemin bu yönünü istatistiksel olarak değerlendirmek, bir olasılık tanımlaması yaparak tasarım depreminin seçiminde daha iyi tanımlanmış risk seviyelerini bir kriter olarak kullanmak daha güvenli ve ekonomik çözümler bulunmasına imkan yaratacaktır. Farklı depremlerin etkilerini saptayabilmek için Türkiye'de kaydedilmiş olan kuvvetli yer hareketi kayıtları ve İstanbul Aksaray civarında yapılmış bir sondajdan belirlenen zemin tabakaları ile ilgili veriler kullanılarak yapılan böyle bir çalışmadan [3, 5, 52] elde edilen bir sonuç Şekil 3'te gösterilmiştir. Burada deprem kayıtlarının en büyük ivme değeri 0.30 g olacak şekilde ölçekleri değiştirilmiştir. Bu durumda deprem özelliklerindeki olası bütün farklılıklara karşı, yapıların tasarımı ve inşaatında yeterli güvenliğin sağlanmasına yönelik bir seçenek, tasarım spektrumunu olarak çizilen dış zarfı kabul etmektir. Şekil 4'te İstanbul içinde 4 farklı zemin profili için aynı şekilde yapılan hesaplardan bulunan ivme davranış spektrumları ve tasarım spektrumu verilmiştir. Buradan da tasarım spektrumu özelliklerinin deprem özelliklerine ve zemin koşullarına ne kadar bağımlı olduğu açıkça görülebilmektedir.



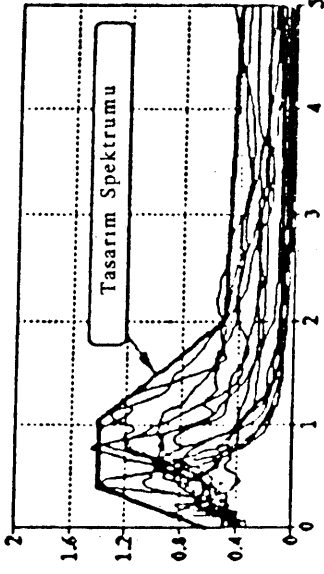
Şekil 3. Aksaray'da bir zemin kesitinde $a_p=0.30$ g için ivme davranış spektrumları

ZEMİN KESİTİ S1-AKSARAY



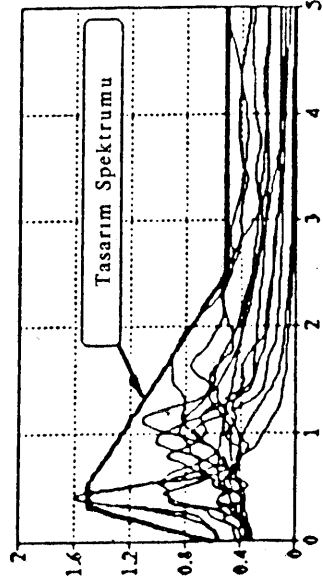
Peryot (saniye)

ZEMİN KESİTİ S2-KARAKÖY



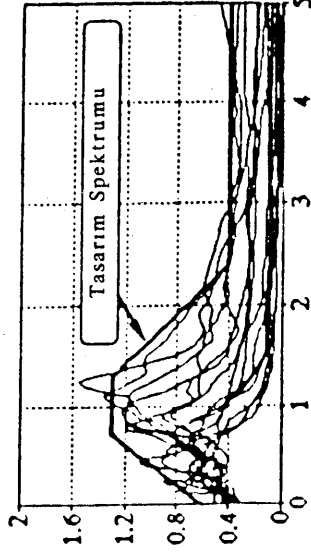
Peryot (saniye)

ZEMİN KESİTİ S3-EMİNÖNÜ



Peryot (saniye)

ZEMİN KESİTİ S4-LALELİ



Peryot (saniye)

Şekil 4. İstanbul'da 4 noktada ivme davranış spektrumları

Depremler esnasında oluşan gerilmelerin yol açtığı deformasyonların zemin özelliklerine bağlı olarak farklı viskoplastik davranışlara yol açması, zemin tabakalarının ivme davranış spektrumları cinsinden hesaplanan spektral büyütme ve hakim zemin periyodlarında büyük farklılıklar meydana getirmektedir.

İSTANBUL'DA GEÇMİŞTE YAŞANMIŞ BÜYÜK DEPREMLER

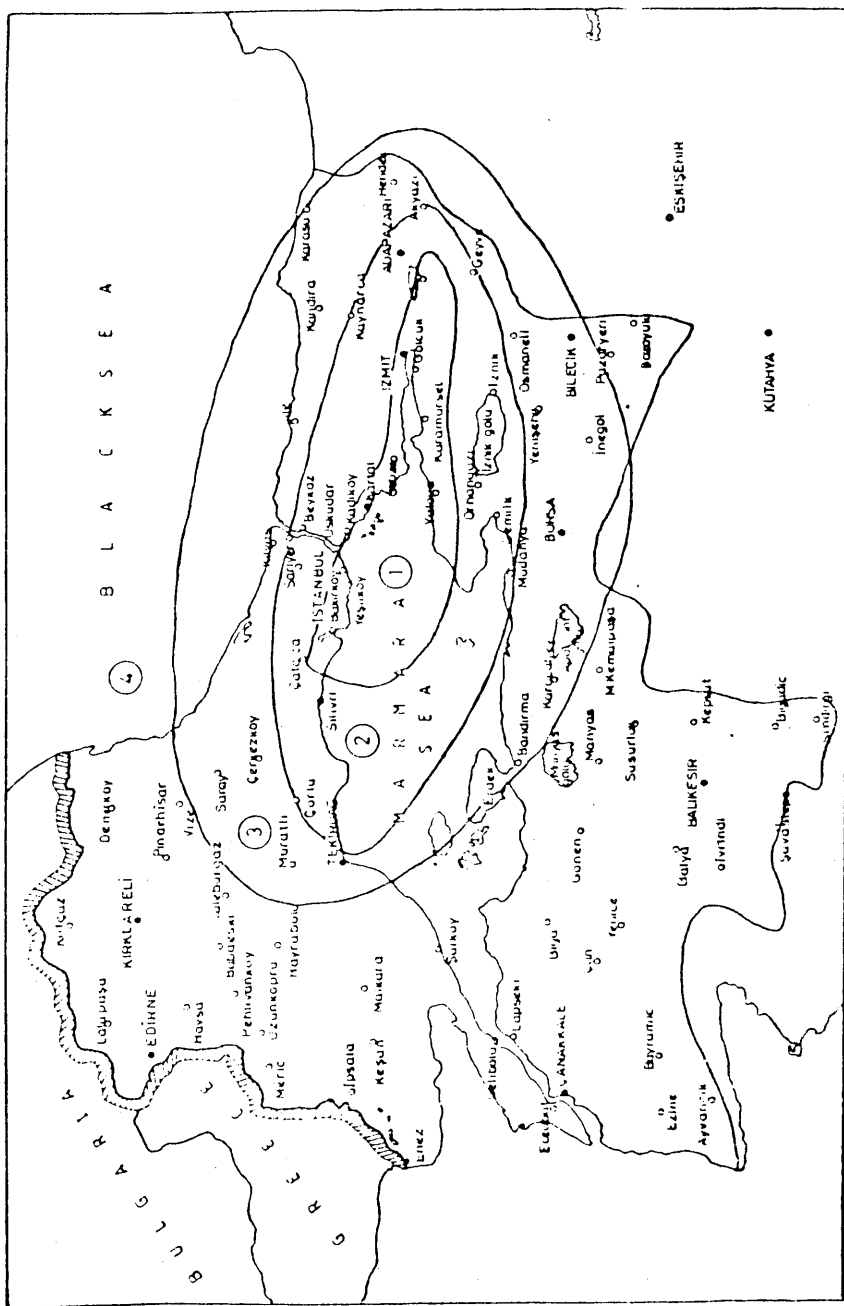
Diğer yandan daha somut örneklerle, geçmişteki depremlerde İstanbul'da meydana gelen hasarlardan söz etmek, olayın önemini vurgulamak için yararlı olabilir. Örneğin küçük kıyamet olarak tanımlanan 1509 depremi hakkında yazılanlara göre, İstanbul'da 109 mescit ve 1070 binanın yıkıldığı ve şehir içinde sağlam minare kalmadığı belirtilmektedir. Bunun yanı sıra 5000 kişinin öldüğü, Topkapı Sarayının büyük hasar gördüğü, devrin padişahının bir süre için İstanbul'dan ayrılıp Edirne'de yaşadığından ve depremde İstanbul'da meydana gelen hasarları onarmak için de 3000 usta ve 66000 amelenin çalışmış olduğundan söz edilmektedir [33].

1894 Depremine Ait Hasar Kayıtları

İstanbul şehrinde büyük hasara sebep olmuş en son deprem kayıtlarda 10 Temmuz 1894 tarihi ile mevcut olanıdır. Episentirin 40.8 gözlemsel enlem ve 29.0 merkez boylam olduğu ve şiddetinin X olduğu kaydedilmektedir. Bu depreme ait Atina Rasathanesi Müdürü tarafından hazırlanmış hasar halkaları Şekil 5'te verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi birinci derecede ağır hasar gören bölge içinde bugün çok önemli yapılar ve sanayi tesisleri yer almaktadır. Marmara denizinde meydana gelen deprem dalgaları (tsunami) kıyılarda büyük hasara sebep olmuştur. Bu depreme ait eldeki sınırlı sayıdaki hasara ait veriler kullanılarak Şekil 6'te hasar gören ve görmeyen bölgeler işaretlenmiştir.

Bunlardan Nurosmaniye Camii'nin 1894 depreminde sadece giriş kısmı yıkılmıştır. 1766'da 9 ve 7 şiddetindeki iki deprem Fatih Camii ve Kapalı Çarşı'da yaklaşık aynı şekilde hasar verirken Nurosmaniye Camii hiç hasar görmeyen yapılar arasına sokulmuştur. 1766 depreminde de hasar görmeyen yapılar Şekil 6'tekilerle uyuşmaktadır. Bu yüzden temel sistemi ve zemin profili bilinen bu cami hasar görmeyen yapılar arasındadır. Yüzeysel temellere oturan Kapalı Çarşı 1894 yılında ağır hasara uğramıştır. Bundan başka 1766, 1802 depremlerinde de büyük hasar görmüştür. Beyazıt Camii'nin 1894'deki depremde adı geçmemekle beraber çeşitli yıllardaki depremlerde (1509, 1754, 1766) kubbe ve medresesi yıkılarak hasar görmüştür.

Benzer zemin kesitini paylaşan Uzunçarşı, Tahtakale, Kutucular ve Kantarcılar baştanbaşa harabe olurken Zindankapı'da Hacı Mustafa Camii yıkılmış ve Ahi Çelebi Camii hasar görmüştür.



sayısının yaklaşık 40 000, yaralı sayısının 100 000, evsiz kalacak kişi sayısının da 3 milyon mertebesine çıkabileceği görülür.

Bu durumda bir risk değerlendirmesi yapılırsa İstanbul'da yaşayan insanlar için bir depremde genel olarak sokakta kalma riski %50 yaralanma riski ise % 1.6 mertebesinde olacaktır. Yanlız hemen şunu da belirtmek gerekirkı bu rakkamlar ortalama değerler olmaktadır. Bazı bölgelerde yapı tipleri, nüfus yoğunluğu ve zemin tabakalarının özelliklerinden ötürü bu risk mertebeleri çok daha fazla artacaktır. Özellikle yaralı ve ölü sayılarını bulmak için Türkiye'de kırsal bölgelerde olmuş depremlerdeki istatistiksel bilgiler kullanılmış olması nedeniyle İstanbul için bu sayıların çok daha büyük değerlere çıkması beklenmelidir.

Bütün bu veriler İstanbul'un depremselliği konusunda çok dikkatli davranılması gerektiğini göstermektedir. Bunları küçümsemek ve hala İstanbul'un 2.derece deprem bölgesi içinde olduğunu varsaymak çok büyük bir hata olur.

Ülkenin en önemli metropolü olan, ülke nüfusunun % 13'ünü barındıran ve 2.derece deprem bölgesinde yer alan İstanbul metropolünde çeşitli kabul edilebilir risk düzeylerine göre betonarme yapılarda olabilecek hasarların ortaya konması, kabul edilebilir risk düzeyinin ne olması gerektiği hakkında bir fikir verebilir.

Türkiye'deki yapılar için kabul edilen risk düzeyinin % 15, ABD'de bu oranın % 10, önemli yapılar için alınan oranın % 5 olarak alındığı bilinmektedir. Anılan metropollerin ülke ekonomisi içindeki önemi, yapı stoklarının büyüklüğü düşünüldüğünde, kabul edilebilir risk düzeylerinin küçük tutulması çok akılcı bir yaklaşım olmaktadır. Bu metropollerde seçilen kabul edilebilir risk düzeyine göre olabilecek hasarların tahmin edilmesi ve bu hasarların ülke büyüme hızına getireceği engellerin bugünden sorgulanması, bu bağlamda stratejilerin saptanması gereklidir. Bu nedenle aşağıda açıklanan yaklaşım ve kabullerle, yönetmeliğe uygun betonarme yapılarda seçilen kabul edilebilir risk düzeylerine göre olabilecek hasarların belirlenmesine, bu bağlamda kentin büyüklüğüne bağlı olarak kabul edilebilir riskin farklılaşması gerektiği sorgulanmaktadır.

İstanbul metropolünde % 40 kabul edilebilirlik düzeyi yaklaşık 5.8 manyitüdünde (7 şiddetinde), %25 kabul edilebilirlik düzeyi 6.5 manyitüdünde (8 şiddetinde), % 10 kabul edilebilirlik düzeyi ise 9 şiddetinde bir depreme karşı gelmektedir.

Çeşitli kabul edilebilirlik düzeylerinde belirlenen, tasarım depremlerine göre yapılar inşa edildiğinde ağır ve yıkık hasar oranları arasındaki fark % 10 ve % 40'lık kabul edilebilirlik risk düzeylerinde % 7'dir. İstanbul metropolünde 1985 yılı itibariyle 510,000 yapı bulunmaktadır ve bu yapıların % 55'ini (281,480) betonarme yapılar oluşturmaktadır. 1988 yılı inşaat istatistiklerine göre de anılan yıl içerisinde 4014 yapıya kullanma izni verildiği ve bu yapıların % 99'unun (3949) betonarme olarak inşa edildiği izlenmektedir. Buradan

günümüzde İstanbul metropolünde 300,000'den fazla betonarme yapı bulunduğu tahmin edilebilmektedir. Deprem yönetmeliklerine uygun yapıldığı takdirde hasar görülebilirlik oranlarına göre 9 şiddetinde bir depremde; % 40 kabul edilebilirlik düzeyine göre 39000 yapının, % 10 kabul edilebilirlik düzeyine göre 18000 yapının ağır ve yıkık hasar göreceği beklenebilir. Diğer bir deyişle kabul edilebilirlik düzeyinin küçük tutulması ile 21,000 yapının yıkılması önlenmektedir. İstanbul metropolünde çok katlı yapıların çoğunlukta olduğu düşünüldüğünde ölüm oranlarının artma olasılığı da büyüyecektir. Üsküp depreminde 100 ağır ve yıkık yapı başına 1 ölü düştüğü bulunabilmektedir. Ülkemizde ise depremler genellikle kırsal alanlarda olduğu için yapı başına düşen ölü sayısı hem çok büyük olmakta, hem de çok farklılıklar göstermektedir. Bununla birlikte Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi'nce kentlerde 100 ağır ve yıkık yapı başına 10 ölü olacağının varsayıldığı anlaşılmaktadır (7). Buradan en az 21 000, en fazla 210,000 hayat kurtarılmaktadır

Yapı maliyeti olarak ortalama 5 kat baz alındığında, %40 ile % 10 kabul edilebilirlik düzeyleri arasında % 9'luk bir maliyet farkı bulunmaktadır. Dolayısı ile %10 risk mertebesine göre yapılabilecek 300,000 yapı yerine, %40 risk mertebesinde 327,000 yapı yapılabilmektedir. Maliyet açısından ilave risk mertebesindeki artış 27000 ek yapıya karşı gelirken, 21000 yapının ağır ve yıkık hasar görmesi yanında daha fazla sayıda yapısında orta ve az hasarı önlenmiş olmaktadır. Buna ek olarak, böyle bir durumda kurtarılan hayatlar ve birincil ve ikincil ekonomik kayıpların azaltılması, risk mertebesinin küçük alınmasında sağlanan faydayı birkaç kat daha arttırmaktadır. Yukarıdaki hesaplar çeşitli deprem katsayılarına göre depreme dayanıklı yapı yapıldığı takdirde olabilecek hasarları ifade etmektedir. En küçük katsayıya göre dahi betonarme yapı inşa edilse, hasarların aşırı büyümeyeceği görülmektedir. Ancak geçmiş tecrübelerden elde edilen betonarme yapılara ait hasar dağılımları yapıların yönetmeliğe uygun yapılmadığını ortaya koymaktadır. Bu veriler kullanılarak geliştirilen modele göre 9 şiddetinde bir depreme maruz kaldığında, betonarme yapılarda % 45 ortalama hasara, % 30 yapının da ağır ve yıkık hasara uğrayacağı tahmin edilmektedir. Bu oranlara göre İstanbul'da 90,000 betonarme yapının ağır hasar görmesi olasıdır.

Deprem yönetmeliklerinin uygulanması için gerekli tedbirlerin alınması zorunludur. Ancak maliyetlerin çok yükselmesi yönetmeliklerin uygulanmasını engelleyici en önemli etkenlerden biri olmaktadır. Öte yandan, kabul edilebilir risk düzeyinin küçük tutulmasına karşın güvenlik artmakta, ancak maliyet de artmaktadır. Bununla birlikte büyük metropollerin geniş alanlara yayıldıkları düşünüldüğünde, olabilecek depremi azalım ilişkileri ve zemin yapısındaki farklılıklar nedeniyle her yerde aynı şiddet etkisini göstermeyecektir. Bu nedenle kentin alt bölgelere ayrılarak azalım ilişkilerinin, zemin yapısının ayrıntılı değerlendirilmesi zemin yapısının şiddeti artırıcı ve azaltıcı etkilerinin saptanması ile hem güvenlik

artışı sağlanırken, hem de daha emniyetli alanlarda gelişmelerin sağlanması ile maliyetler düşürülebilecek, dolayısıyla yönetmeliklerin uygulanması da daha kolaylaşabilecektir. Mikrobölgeleme teriminin ortaya atılmasının nedeni yerel zemin ve jeolojik şartlarının etkisi ile çok kısa mesafeler içinde hasar seviyelerinde büyük farklılıklar oluşmasıdır. Deprem şiddetinin çok kısa uzaklıklarda değişmesi farklı hasarlara yol açmaktadır. Mikrobölgeleme için harcanacak gayretler ve kaynak, sınırlı kaynakların çok daha optimum kullanımına yol açabilecektir.

SONUÇLAR

Depremler sonucunda meydana gelen yapısal hasarı, deprem kaynak özellikleri kadar yerel zemin koşulları da etkilemektedir. Bu nedenle olası depremlere karşı yeni yapılacak yapılarda bölgenin tektonik ve geoteknik özellikleri belirlenmeli ve yapılar buna uygun olarak tasarlanmalıdır. Diğer yandan en önemli sorunlardan biri de mevcut yapıların depremler sırasında gösterecekleri davranışlardır. Böyle bir inceleme için de yerel zemin koşullarının etkisinin belirlenebileceği mikrobölgeleme çalışmaları yapılması gerekmektedir. İstanbul geçmişte büyük depremler yaşamıştır bu tür olayların gelecekte de tekrarlanabileceğini düşünerek gerekli önlemlerin vakit geçirmeden alınması doğru olacaktır. İstanbul gibi deprem riski yüksek olan şehirlerde mikrobölgeleme haritalarının yapılması hem kent ve bölge planlaması hem de olası bir deprem sonrası hazırlıkları için ilk aşamada yapılması zorunlu olan çalışmalar arasında olmaktadır.

KAYNAKLAR

- 1.Alsan,E., Tezuçan,L. ve Bath,M.(1975) An Earthquake Catalogue for Turkey for the Interval 1913-1970, Kandilli Rasathanesi, Sismoloji Bölümü Raporu No.7-75.
- 2.Ambraseys,N.N. ve Jackson,J.A.(1981) "Earthquake Hazard and Vulnerability in the North Eastern Mediterranean: the Corinth Earthquake Sequence of February-March 1981", Disasters, Vol.5, No.4, pp.355-368.
- 3.Ansal,A.M. ve Lav,M.A. (1991) "Effect of Variability of Input Motion Characteristics on Ground Response Spectra", 4th Int. Conf. on Seismic Zonation, Stanford, California, ABD.
- 4.Ansal,A.M. (1991) "Evaluation of Liquefaction Susceptibility", 5th Int.Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Karlsruhe, Almanya.
- 5.Ansal,A.M. ve Lav,M.A. (1991) "Effect of Earthquake Characteristics on Response of Soil Layers",submitted to 5th Int. Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Karlsruhe, Almanya.

6. Ansal, A.M. (1990) "Zemin Yapı İlişkisi ve Yapı Güvenliği", İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi 'Yapılarda Güvenlik' Paneli, 15-16 Kasım, İstanbul.
7. Ansal, A.M. ve Lav, M.A. (1990) "The 1894 Earthquake of Istanbul", Proc. of Third International Workshop on Historical Earthquakes in Europa, Liblice by Prag, Çekoslovakya
8. Ansal, A.M. ve Erken, A. (1990) "Liquefaction Potential of Silty Sand Deposits", 9. Avrupa Deprem Kongresi, Cilt 4-B, ss.71-80, Moskova, SSCB.
9. Ansal, A.M. ve Erken, A. (1989) "Undrained Behavior of a Clay Under Cyclic Shear Stresses." ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol.115, No.7, pp.968-983.
10. Ansal, A.M. ve Yıldırım, H. (1989) "Shear Strength of a Marine Clay Subjected to Cyclic Loading." Proc. of 14th Regional Seminar on Earthquake Engineering, Austria pp.53-62.
11. Ansal, A.M. ve Tuncan, M. (1989) "Consolidation in Clays due to Cyclic Stresses." Proc. of 12th Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, pp.3-6 Rio de Janeiro, Brazil.
12. Ansal, A.M. ve Yıldırım, H. (1989) "Dynamic Shear Strength Properties of Golden Horn Clay." Proc. of Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.121-126, Rio de Janeiro, Brazil.
13. Ansal, A.M. ve Güneş, A.M. (1989) "Hasar Azaltılması ve Yıkılabilirlik Analizlerinde Mikrobölgelemenin Önemi", Türkiye İnşaat Mühendisliği 10. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, ss.345-358.
14. Ansal, A.M. (1988) "Gündemdeki Tehlike: Deprem", Ölçü Gazetesi, Yıl 2, Sayı 15, s.2.
15. Ansal, A.M. ve Erken, A. (1987) "Yerel Zemin Şartlarının Önemi", Türkiye İnşaat Mühendisliği IX. Teknik Kongre, Cilt.1, ss.165-181
16. Ansal, A.M. ve Tuncan, M. (1987) "Killerde Tekrarlı Kayma Gerilmelerinin Yol Açtığı Konsolidasyon Oturmaları", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Ulusal Kongresi, İstanbul, Cilt 1, ss.113-120.
17. Ansal, A.M. ve Tuncan, M. (1987) "Killerde Tekrarlı Kayma Gerilmeleri Sonucu Meydana Gelen Konsolidasyon Oturmaları", 3. Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara.
18. Ansal, A.M. (1986) "Liquefaction and Reliquefaction", Proc. of 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, Vol. 2, pp.5.3/9-15.
19. Ansal, A.M. (1986) "Depremlerde Yerel Zemin Koşullarının Yapısal Hasara Etkisi", Yapı Endüstri Merkezi Deprem Semineri, İstanbul, ss.1-35.

20. Ansal, A.M. ve Yıldırım H. (1986) "Killerin Dinamik Mukavemet ve Şekil Değiştirme Özellikleri", Deprem Araştırma Bülteni, Yıl 13, Sayı 53, ss.49-78.
21. Ansal, A.M. (1985) "The Effects of Local Soil Conditions During Earthquakes", Proc. of 12th Regional Seminar on Earthquake Engineering, Halkidiki, Greece, 35 p.
22. Ansal, A.M. (1985) "An Endochronic Model For Cyclic Behavior", Special Volume on Constitutive Models for Soils, Proc. of 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, pp.123-127.
23. Ansal, A.M. ve Erken, A. (1985) "Killerin Tekrarlı Gerilmeler Altında Davranışı", Deprem Araştırma Bülteni, Yıl 12, No.48, ss.5-81.
24. Ansal, A.M. ve Ülker, R. (1984) "Zemin Koşullarının Yapısal Hasara Etkisi, Erzurum-Kars Depreminden Bazı Gözlemler", Erzurum-Kars ve Erzincan Depremleri Simpozyumu, Deprem Araştırma Enstitüsü, Ankara.
25. Ansal, A.M. (1984) Standarization of Dynamic Soil Testing Procedures, Task Group Report for Undp/Unesco Project on Earthquake Risk Reduction in the Balkan Region, Turkish National Committee of Earthquake Engineering, Istanbul.
26. Ansal, A.M., Erken, A. ve Yıldırım, H. (1984) "Zeminlerin Deprem Yükleri Altında Davranışlarının İncelenmesi", Türkiye'de İnşaat Mühendisliği Alanındaki Gelişmeler Kongresi, İstanbul, Cilt 2, ss.75-86.
27. Ansal, A.M., Erken, A. ve Yıldırım, H. (1984) "Depremlerde Zemin Tabakalarının Davranışlarına Dinamik Zemin Özelliklerinin Etkisi", 1. Kuzeydoğu Anadolu Deprem Simpozyumu, Erzurum, ss.1-16.
28. Ansal, A.M. (1982) "Kumlu Zemin Tabakalarında Sıvılaşma", Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Cilt 9, Sayı 37, ss.21-102.
29. Ansal, A.M. ve Erken, A. (1982) "Rate Dependent Behavior of a Normally Consolidated Clay", Proc. of 7th European Conf. on Earthquake Engineering, Athens, Vol.2, pp.329-336.
30. Ansal, A.M. (1982) "Kumların Tekrarlı Yükler Altında Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları", Zemin, Türkiye Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Milli Komitesi Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, ss.7-18.
31. Ansal, A.M. ve Ögünç, G. (1981) "Dinamik Üç Eksenli Sıvılaşma Deneyleri ve Tekrar Sıvılaşma" Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Cilt 8, Sayı 35, ss.61-82.
32. Ansal, A.M. (1981) Zeminlerin Dinamik Kayma Gerilmeleri Altında Davranışları, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. Maçka Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 143 s.
33. Ayhan, E. ve Sancaklı, N. (1983) "1971-1975 Yıllarında Batı Türkiye Deprem Etkinliği", Deprem Araştırma Bülteni, Yıl 10, Sayı 42, ss.48-128.

- 34.Cezar,M., "Osmanlı Devrinde İstanbul'da Tahribat Yapan Yangınlar ve Afetler", Türk Sanatı Tarihi Araştırma ve İncelemeleri, 1963, Sayı 1.
- 35.Çorbacioğlu,M. (1976) ,"1894 Depremi Hakkında Rapor" Hayat Tarih Mecmuası, Sene 2, Cilt 2, No. 9, ss.58-62, Dogan Kardes Matbaası.
- 36.Eginitis,D.(1894), 1894 Depremi Raporu, Başbakanlık Arşivi, No.626.
- 37.Erdik,M., Doyuran,V., Gülkan,P. ve Akkaş,N. (1985)"Türkiye'de Deprem Tehlikesinin İstatistiki Açından Değerlendirilmesi" ODTÜ, Deprem Araştırma Merkezi Yayını, Ankara
- 38.Erdik,M. ve Özselçuk,A.(1978) Türkiye Deprem Kataloglarının Bölgesel Düzenlenmesi, ODTÜ, Deprem Araştırma Merkezi Yayını, Ankara
- 39.Ergin,K, Güçlü,U. ve Us,Z.(1967) Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu M.S.11 yılından 1964 sonuna kadar, İ.T.Ü.Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayını, No.28
- 40.Ergin,K, Güçlü,U. ve Aksay,G..(1971) Türkiye ve Dolaylarının Deprem Kataloğu 1965-1970, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Arz Fiziği Enstitüsü Yayını, No.28
- 41.Erken,A ve Ansal A.M.(1989) "Tabii Zemin Tabakalarının Sıvılaşması", Türkiye İnşaat Mühendisliği 10. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, ss.317-330.
- 42.Erken,A ve Ansal A.M.(1985) "Killerin Dinamik Özellikleri Üzerine Frekansın Etkisi", II.Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara, ss.315-328.
- 43.Faccioli,E., C.Battistella, P.Alemanı, D.Lo Presti, and A.Tibaldi,"Seismic Microzoning and Soil Dynamics Studies in San Salvador," Infuence of Local Soil Conditions on Seismic Response, 12th ISMFE Conf., Rio de Jenerio, Brazil, 21-36 198.
- 44.Işıkara,A.M. (1984)"İstanbul için Deprem Olma Olasılığının Weibull Dağılımından Yararlanarak Elde Edilmesi",Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni,Yıl:11,Sayı:46.
- 45.Işıkara,A.M. (1991)"Marmara Bölgesinin Sismik Tehlikesi" Zemin Mühendisliği, Türkiye Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Milli Komitesi Dergisi, No.1991/1, ss.21-33.
- 46.Idriss,I.M. and Seed,H.B. An Analysis of Ground Motion During the 1957 San Francisco Earthquake, Bull.Seismological Soc. America, Vol.58(6), pp.2013-2032, 1969.
- 47.İyisan,R. ve Ansal A.M.(1991) "Kayma Dalgası Hızlarının Arazide Bulunması", Türkiye İnşaat Mühendisliği 11.Teknik Kongresi,İstanbul.
- 48.Kara,B. ve Ansal,A.M. (1988) "Normal Konsolide Killerin Dinamik Mukavemet Özellikleri Üzerine Bir Çalışma", 5.Mühendislik Haftası, Akdeniz Üniversitesi, İsparta Mühendislik Fakültesi.
- 49.Katayama,I., Iwasaki,T., and Seaiki,M. (1978) "Statistical analysis of earthquake acceleration response spectra, Trans. Japanese Soc.Civ.Eng., Vol.10, pp.311-313.

- 50.Kiremidjian,a. and H.C.Shah,"Probability Site-Dependent Response Spectra, "ASCE, J.Struc.Div.,106(ST1):69-86 1980.
- 51.Koçu, R. E. (1960), İstanbul Ansiklopedisi, Cilt. 6, ss.4466-4470.
- 52.Lav,A.M. ve Ansal,A.M.(1991) "Deprem Kaydının Özelliklerindeki Değişkenliğin Zemin Davranış Spektrumları Üzerindeki Etkisi", Türkiye İnşaat Mühendisliği 11. Teknik Kongresi, İstanbul.
- 53.Sipahioğlu (1984)"Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Çevresinin Deprem Etkinliğinin İncelenmesi",Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni,Yıl:11,Sayı:45.
- 54.Tezcan,Acar, ve Çivi(1979),"İstanbul için Deprem Riski Analizi",Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni,Yıl:7,Sayı:26.
- 55.Üçer,S.B., Ayhan,E. ve Alsan,E. (1977) "Türkiye'nin Deprem Bölgelerinin Belirlenmesinde Bazı İstatistiki Yaklaşımlar" ,Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni,Yıl:5,Sayı:19.
- 56.Schnabel,P.B., J.Lysmer, and H.B.Seed, Shake-A Computer Program for Earthquake Analysis of Horizontally Layered Sites, EERC Report No.72-12,Uni.of Cal.,Berkeley,CAL,1972.
- 57.Şengezer,B.S. ve Ansal A.M.(1991) "Mikro Bölgeleme İncelemelerinde Kabul Edilebilir Risk", Türkiye İnşaat Mühendisliği 10. Teknik Kongresi,İstanbul.
- 58.Valera,J.E. and Donovan,N.C. Incorporation of uncertainties in seismic response of soils, Proc.5th World Conf. Earthquake Engng., Rome, Vol.1, pp370-379, 1973.
- 59.F.Vinale,"Microzonazione Sismica di Un'Area Campione di Napoli,"Rivista Italiani di Geotechnica, Organo della Associazione Geotecnica Italiana, XXII (3): 141-162, 1989.
- 60.Yıldırım,H ve Ansal, A.M. (1987) "Tekrarlı Gerilme Genlik ve Frekanslarının Killerin Davranışlarına Etkisi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Ulusal Kongresi,İstanbul, Cilt 1, ss.255-271.
- 61.Yıldırım,H ve Ansal, A.M. (1985) "Killerin Tekrarlı Yükler Altında Kayma Mukavemeti", 11.Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara, ss.329-342.
- 62.Whitman, R.V., Biggs, J.M., Brennan, J., Cornell, C.A., Neufville, R.de ve Vanmarcke, E.H. (1974) "Seismic Design Analysis", Structures Publications No.381, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA.