

# MÜHENDİSLİK TASARIMINDA DEPREMSELLİK

**Prof. Dr. Atilla M. ANSAL**  
İ.T.Ü. İnş. Fak. Öğretim Üyesi

Depremler sırasında yapı davranışlarını kontrol eden üç ana faktör; deprem özellikleri, yerel zemin koşulları ve yapısal özellikler olarak sıralanabilir.

Kabaca depremin manyitüdü, süresi, ve deprem merkezine uzaklık olarak tanımlanabilecek deprem özelliklerinin yapısal hasarın oluşmasında önemli rol oynadığı açıktır. Deprem manyitüdü ve deprem merkezine yakınlık ile hasar arasında artan bir ilişki olduğu kabul edilebilir. Depremler sonrasında yapılan değerlendirmeler yapısal hasar ile deprem özellikleri arasında yaklaşık ilişkiler bulunduğunu göstermiştir. Bu anlamda deprem özellikleri olarak deprem manyitüdü ve deprem merkez uzaklığı cinsinden geliştirilmiş hasar bağıntıları ile yaklaşık bazı tahminlerde bulunmak mümkündür. Bu yaklaşımlar daha çok ampirik ve makro ölçekli değerlendirmelerdir. Özellikle son yıllarda olmuş depremlerde gözlenmiş bölgesel hasar dağılımları bu tür bir yaklaşım ile açıklanamamaktadır.

Yapısal hasara yol açan ikinci önemli etken yapıların yer aldığı bölgedeki topoğrafik, jeolojik ve zemin koşullarıdır. Bu koşulların kısa mesafeler içinde büyük değişiklikler göstermesi hasar dağılımları üzerinde belirleyici bir etki yapabilmektedir. Mühendislik tasarımında göz önüne alınmama olasılığı yüksek olan bu faktörlerin, son yıllarda meydana gelmiş Ermenistan, Loma Prieta, Luzon, Northridge, Kobe gibi büyük hasarlara yol açan depremlerde çok önemli olduğu açıkça ortaya çıkmıştır.

Diğer yandan örneğin 1990 Ermenistan ve 1992 Erzincan depremlerinde gözlenmiş olduğu gibi (2,3), yapı kalitesi açısından binalar arasında önemli farklar olmamasına rağmen bölgelere göre hasar oranları çok farklı olabilmektedir. Bu duruma örnek olarak Erzincan depreminde betonarme bina hasarlarının mahallelere göre dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. farklılaşmanın bir nedeni yerel zemin koşullarının etkisi olabilir(2).

Depremlerde yapısal hasara yol açan en önemli faktör olduğu düşünülen faktör, yapısal özelliklerdir. Bunda bir inşaat mühendisi olarak, büyük bir haklılık payı olduğu kabul edilebilir. Nitekim özellikle ülkemizde depremlerde oluşan yapısal hasarlara bakıldığı zaman, çoğu kez çok açık bir şekilde tasarım ve inşaat hataları öne çıkmaktadır. Tabi ki eğer yapılar yeterince hatasız yapılabilsede depremlerden az etkileneceklerdir. Ama burada kritik soru yeterince hatasız ifadesinin ne anlama geldiğidir. Bu yeterincenin mertebesine bir mühendis olarak karar verebilmek için sayısal verilere ihtiyaç vardır. Bu sayısal veriler, depremselliğin değerlendirilmesi sonucunda bulunan deprem özellikleri-aşılma olasılığı ve hasar görülebilirlik tahminleri olabilir.

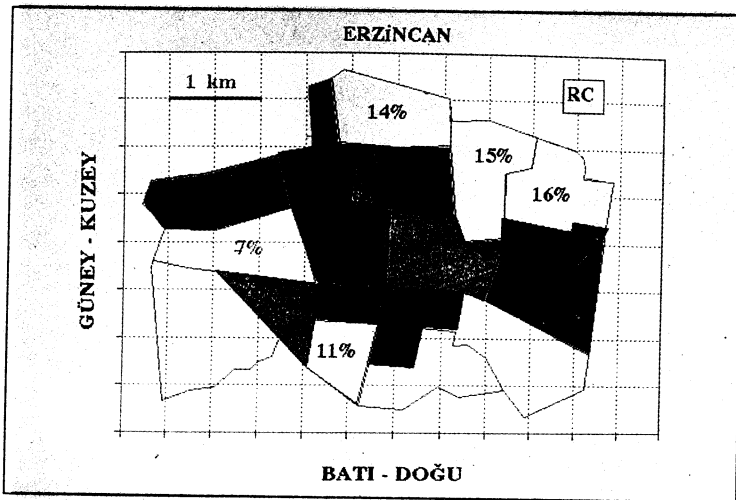
Ülkemizde genel olarak izlenen yaklaşım, sismik risk konusunda olsa olsa yöntemiyle bir varsayım yapılması, yerel koşulların etkisini göz önüne alınmadan ve hiç bir sayısal kritere dayanmadan, tasarım için deprem parametrelerinin seçilmesidir. Bir yapının tasarlanması, sadece bir üst yapı projesi yapılması olarak algılanmaktadır. Bu yaklaşımın nedeninin mali olduğu ileri sürülse de bu pek doğru olamaz. Ülkemizde mühendislik hizmetlerine önem ve değer verilmemesi, toplumumuzda bu konuda yeterli bir bilinç gelişmemiş olmasında yatmaktadır. Gelişmiş ülkelerde mühendislik tasarım giderlerinin toplam maliyetin %5-7 mertebelerinde olmasına karşın ülkemizde bu oran çoğu kez %1'den bile düşük kalmaktadır. Bu hizmetleri toptan ortadan kaldırmak bile mal sahibine ancak bu oranda bir tasarruf yapma imkanı yaratır. Deprem hasarları açısından bu hizmetlerin yapılmamış veya kötü yapılmış olmasının etkisi ise son derecede büyük olabilmektedir.

Bu yazının bir amacı uygulamada karşılaşılan örneklerle dayanarak depremlerde hasara yol açan bu üç faktörden ilk ikisinin önemini değerlendirmektir. Diğer bir amaç ise bir mühendislik yapısı için tasarım depremi özelliklerinin belirlenmesinde izlenen analiz ve değerlendirmelerden örnekler vererek bir yaklaşım önermektir. Bu tür bir yaklaşım ancak önemli mühendislik yapıları için geçerli olabilir. Normal yapılar için ise depremselliğin gerçekçi bir şekilde göz önüne alınabilmesi, deprem ve yerel koşulların özelliklerine göre yerleşim bölgeleri için mikrobölgeleme çalışmaları yapılması ile mümkündür.

## DEPREMSELLİK VE DEPREM ÖZELLİKLERİ

Bir mühendislik yapısının tasarımında en önemli aşamalardan biri bölgenin depremselliğinin belirlenmesidir. Ülkemiz gibi

**Şekil 1.** Erzincan 1992 depreminde betonarme yapılarda hasar dağılımı





tif sismik kuşaklar üzerinde yer alan ülkelerde, son yıllarda meydana gelen büyük depremler bu konuda hala derince doğru tahminler yapamadığımızı göstermektedir. neğin Japonya'da meydana gelen 1995 Kobe depremi ya Yunanistan'da meydana gelen 1995 Aigio depremi, prem olmasının çok beklenmediği veya diğer bir deyişle mik riskin o kadar yüksek olmadığı bölgelerde meydana lmiştir.

• bölgenin depremselliği incelenirken izlenen yöntemlerde unsur göz önüne alınır. Bunlardan birincisi bölgeyi çmişte etkilemiş depremler, başka bir deyişle bölgenin nolojik geçmiş, diğeri ise bölgede deprem üretebilecek ktonik yapılardır. Türkiye'de yerleşimin çok eski çağlara ıdar gidiyor olması sismolojik verilerin uzun zaman dilimleri n derlenmesine imkan vermektedir. Bu konuda ülkemizde ıpılan çalışmalar sınırlı kalmakla birlikte önemli bilgiler ermektedir. Özellikle yoğun yerleşim bölgeleri olan büyük ıntlerimiz için bu bilgilerin mümkün olduğunca uzun ıman dilimleri için derlenmesi ve değerlendirilmesi gereklidir. rneğin Kalafat (1988) tarafından yapılan bir çalışmada ırihsel döneme ait kayıtlar M.Ö. 412 yılına kadar gitmektedir. ma maalesef ülkemizde sadece deprem araştırmalarına eğil bütün bilim dallarında yapılan araştırmalara ayrılan ımlar son derecede sınırlı ve yetersiz olması nedeniyle bu onuda yakın gelecekte büyük gelişmeler olması eklenmemektedir.

ismolojik verilerin uzun zaman dilimleri için bilinmesi ismolojik rejimlerin daha gerçekçi bir şekilde değeri- ındirilmesine ve bununla ilişkili olarak mühendislik tasarımına ınelik sismik riskin ve sismik tehlikenin daha doğru olarak ıesaplanmasına yol açar. Yalnız sismik riskin düşük çıkıyor ıılması, sadece geçmişte meydana gelen şiddetli depremlerin ız sayıda olduğunu gösterir. Bu da incelenen bölgede ııvvetli depremler olmayacak anlamına gelmemektedir. Bu ıuruma en iyi iki örnek Ermenistan, (Spitak 1990) ile ıaponya, (Kobe 1995) depremleridir.

Diğer yandan sismik riskin değerlendirilmesinde diğer önemli aktör deprem üretebilecek tektonik yapıların araştırılması e belirlenmesidir. Ülkemizde bu konuda yapılan araştırmalar- ıda da önemli bir artış görülmektedir. Ama bu araştırmaların, ıelirli bölgeler ile sınırlı olması nedeniyle, mühendislik uygu- ıamalarına yansıdığını söylemek mümkün olmamaktadır. ıektonik yapıların sismolojik veriler ile birlikte değeri- ındirilmesi, olası depremlerin mekanizmalar ve merkezleri ıonusunda daha gerçekçi tahminler yapma imkanı verir.

Bir bölgede sismik riskin değerlendirilmesinde bir seçenek; ıanımlanan bir yapı ömrü içinde o bölgede deprem manyi- ıüdülerine göre aşılma olasılıklarının bulunmasıdır. Diğer bir ıeçenek ise deprem manyitüdülerine göre dönüşüm peri- ıodlarının hesaplanması olmaktadır. Gerçekçi ve güvenilir

bir sonuç elde edilebilmesi için her iki yaklaşımın da ırde- lenmesi ve sismik riskin yapı tipine ve önemine göre seçilmesi ıerch edilir.

Sismik riskin hesaplanmasında ilk aşama, incelenen bölgenin etkilenebileceği sınırlar içinde geçmişte meydana gelmiş depremlerin manyitüdülerine göre dağılımlarının bulunması bölgenin depremselliğini yansıtan parametrelerin hesaplan- masıdır. Bu yaklaşımda deprem manyitüdülerine göre ortalama dönüşüm periyotları ve seçilen bir zaman süresi içinde olma ıolasılıkları bulunabilir.

Bir bölgede yapılacak yapılar için tasarım depremi özellikleri belirlenirken ikinci aşama, olası deprem merkezlerine göre incelenen alanda oluşacak deprem özelliklerinin hesap- lanmasıdır. Diğer bir deyişle tasarım için seçilmiş olan, depremin olacağı bölge tahmin edilerek, aradaki mesafeye bağılı olarak, azalım ilişkileri yardımıyla inceleme alanı için en büyük deprem ivme değeri ve tasarım spektrumu özellikle- rinin bulunmasıdır. (8,11). Bu aşamada uygun bir deprem merkezi seçilmesi veya diğer bir deyişle deprem merkezine gerçekçi bir uzaklık seçilmesi ve bölgenin jeolojik, tektonik koşullarını temsil eden bir azalım ilişkisi kullanılması önemli olmaktadır. Bu seçimler nasıl yapılırsa yapılsın bir belirsizlik içerecektir. Bu da birinci aşamada seçilen risk mertebesini tamamen değiştirebilir. Deprem merkezine uzaklık ve azalım ilişkilerindeki belirsizliğin istatistiksel olarak değerlendirilmesi, ilk aşamada seçilen deprem riski ile aynı aşılma riski olan deprem özelliklerinin bulunabilmesine yol açar.

## BİR ÖRNEK OLARAK İZMİR VE YAKIN CİVARI- NIN DEPREMSELLİĞİ

Bir bölge için depremselliğin belirlenmesine bir örnek vermek amacıyla İzmir ve yakın çevresi için yapılmış bir çalışma ve bulunan sonuçlar bu bölümde özetlenmiştir. İzmir'in depremselliğini inceleyebilmek amacıyla, bölgeyi etkileyebilecek bir depremin yaklaşık 100 km yarıçapında bir alan içinde olacağı varsayılarak 26 - 28 doğu boylamları ve 37.5 - 39.5 kuzey enlemleri arasında kalan alan sismotektonik bölge olarak tanımlanmıştır. Bu alan içinde geçmişte oluşmuş depremler derlenmiş, ve bu verilerden yararlanılarak sismik tehlike, dönüşüm periyotları ve aşılma olasılıkları cinsinden hesaplanmıştır.

İzmir'i etkileyebilecek bölgede geçmişte olmuş depremler, tarihsel ve aletsel olarak iki grup içinde ele alınabilir. Tarihsel olarak nitelenen birinci grup kayıtlar, 1900 yılından önce olmuş depremleri, ikinci grup kayıtlar ise sismografların geliştirilmiş olması nedeniyle 1900 sonrası aletsel olarak kayıtları alınmış depremleri kapsamaktadır.

Tarihi oldukça eski olan İzmir civarında deprem kayıtları eski çağlara kadar gitmektedir. Tarihsel döneme ait olan bu deprem kayıtları mevcut kataloglara (6,13,14) dayanarak



taranmıştır. Şiddet cinsinden verilen bu kayıtların aletsel dönemdeki kayıtlarla karşılaştırılabilmesi amacıyla Türkiye için önerilmiş bir bağıntı kullanılarak manyitüd değerleri hesaplanmış ve sismik risk hesaplarında bu manyitüd değerleri kullanılmıştır. Tarihsel döneme ait deprem kayıtları hakkında bilgiler sadece meydana gelmiş yapısal hasar gözlemlerine dayanmaktadır. Bu bilgilerin küçük depremler açısından eksik olması sebebiyle ancak şiddetli depremler için mevcut bilgiler güvenilir ve yeterli niteliktedir. Bu çalışma çerçevesinde bu nedenle hesaplarda sadece şiddeti ( $I_0 \geq VI$ ) olan deprem kayıtları kullanılmıştır. Yapılan derlemeler sonucunda Tablo 1’de verilmiş olduğu gibi bu döneme ait 138 deprem kaydı bulunmuştur. Bu kayıtların en eskisi M.Ö. 50 yılına kadar gitmektedir. Ama bölgede yerleşimlerin çok daha eski tarihlerle kadar gittiğinin bilinmesine rağmen, ne yazık ki ülkemizde bu dönemlere ait bir araştırma yapılmamış olması nedeniyle elde sismik veri bulunmamaktadır.

**Tablo 1.** Tarihsel döneme ait depremler (M.Ö. 50-1904)

| Deprem Şiddeti ( $I_0$ ) | X   | IX  | VIII | VII |
|--------------------------|-----|-----|------|-----|
| Hesaplanan Manyitüd (M)  | 7.5 | 6.9 | 6.4  | 5.6 |
| Oluş sayısı              | 5   | 13  | 33   | 68  |

Aletsel dönem olarak tanımlanan 1900-1990 arası deprem kayıtları değişik kataloglar ve kaynaklar taranarak (6,7,10,13,14,15,16,17) derlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda manyitüdü ( $M \geq 4.0$ ) olan 270 adet deprem bulunmuştur. Bu depremler seçilen manyitüd aralıklarına göre gruplandığında Tablo 2’de verilmiş olan dağılım özellikleri elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Aletsel döneme ait kayıtlar (1900-1990)

| Manyitüd aralığı (M) | 7.0-6.3 | 6.3-5.7 | 5.7-5.0 | 5.0-4.0 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| Ortalama Manyitüd    | 6.7     | 6.0     | 5.3     | 4.4     |
| Oluş sayısı          | 6       | 9       | 33      | 222     |

| Deprem Manyitüdü | Dönüşüm periyodu (sene) | Aşılma olasılığı (%) |
|------------------|-------------------------|----------------------|
| Tarihsel Dönem   |                         |                      |
| M*7.0            | 181                     | 24                   |
| M*7.5            | 312                     | 15                   |
| Aletsel Dönem    |                         |                      |
| M*7.0            | 1134                    | 4.3                  |
| M*7.5            | 2523                    | 2                    |

**Tablo 3.** Dönüşüm periyotları ve aşılma olasılıkları

İlk aşamada Tablo 1 ve 2’de verilen değerler kullanılarak tarihsel ve aletsel döneme ait dönüşüm periyotları ve aşılma olasılıkları hesaplanmıştır. İnceleme konusu olan İzmir ken-

tinde yapılacak yapılar için aşılma olasılığı hesabında yapı ömrü, 50 yıl alınmıştır. Her iki dönem için bulunan dönüşüm periyodu ve aşılma olasılığı değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3’te verilen değerlere bakıldığında tarihsel ve aletsel dönem kayıtları kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları arasında önemli farklılıklar olduğu açıkça görülmektedir. Bu tür farklılıkların olması tarihsel ve aletsel dönem deprem kayıtları arasındaki niteliksel farklılıktan kaynaklanmaktadır.

### Depremselliğin Değerlendirilmesi

İzmir ve yakın çevresine ait aletsel verilerinin, kendi içinde güvenilir olması, deprem merkezi ve deprem manyitüdüleri konusunda hata olma olasılığının düşük olması gibi olumlu özellikleri bulunurken sadece yaklaşık 100 yıllık bir dönemi kapsamaması gibi olumsuz bir yönü de vardır. Diğer yandan tarihsel verilerin, sadece büyük depremleri içermesi, deprem merkezleri ve şiddetleri hakkındaki bilgilerde hata olma olasılığının yüksek olması gibi olumsuzluklarının yanısıra yaklaşık 2000 yıllık bir dönemi kapsamaması gibi bir üstünlüğü de bulunmaktadır.

Bu koşullar altında İzmir ve yakın çevresinin depremselliği konusunda güvenilir ve gerçekçi bir sonuç elde edilebilmesi için hem aletsel hem de tarihsel dönem kayıtlarının birlikte değerlendirmeye alınması doğru olur. Bunu yapmanın bir yolu, her iki dönemin verilerini kullanarak bulunan dönüşüm periyotları ve aşılma olasılıklarının ağırlıklı ortalamalarını almaktır. Tarihsel verilerin daha az güvenilir olması nedeniyle ağırlıklı ortalama da %40, aletsel verilerin de %60 ağırlıklı alınması sonucunda hesaplanan ortalama dönüşüm periyotları ve aşılma olasılıklarının değişimleri hesaplanmış ve Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 4.** Ağırlıklı ortalama göre dönüşüm periyotları ve aşılma olasılığı

| Deprem Manyitüdü | Dönüşüm periyodu (sene) | Aşılma Olasılığı (%) |
|------------------|-------------------------|----------------------|
| $M \geq 7.0$     | 753                     | 12.2                 |
| $M \leq 7.5$     | 1639                    | 7.1                  |

Bu bulgular ışığında İzmir kentinde yapılacak önemli binalarda, tasarıma esas olarak aşılma olasılığının en fazla %10 civarında kalması tercih edildiğinde, aletsel ve tarihsel deprem verileri kullanılarak yapılan değerlendirme, yeterli bir güvenlik sağlanabilmesi için tasarım depreminin  $7.5 \geq M \geq 7.0$  olarak seçilmesinin doğru ve gerçekçi bir yaklaşım olacağını göstermektedir.

### Tasarım depremi özellikleri

İzmir ve yakın çevresinin jeolojik ve tektonik yapısı ile ilgili

ık son yıllarda yapılan çalışmalar (Ayhan ve diğerleri, 3) bölgedeki faylanmaların aktif ve karmaşık bir yapısı olduğunu göstermektedir. İzmir civarında deprem oluşturan ca hakim tektonik yapılar (1) Büyük Menderes Grabeni, (2) Ediz Grabeni ve (3) Soma-Kırkağaç-Akhisar fay zonları aktadır. Bu durumda İzmir için olası bir depremin ekinin kent merkezine uzaklığı yaklaşık olarak 10-30 ırasında kalması beklenmektedir. Bu durumda yakın kezli depremler için Campbell&Bozorgina (1993) ından önerilen azalım ilişkisi kullanılarak oluşabilecek üyük deprem ivmesi deprem manyitüdüne bağlı olarak eprem merkez uzaklıklarına göre hesaplanmış değerleri 5'de verilmiştir.

r ve yakın civarında yapılacak önemli mühendislik yapıları tasarım depremi özellikleri seçilirken bu tür yapılarda na olasılığının tercihen %5, en büyük olarak da %10 rında kalması istenir. Bu durumda deprem merkez klığının yaklaşık 10 km olabileceği kabul edilirse %10 na olasılığı olan 7.2 manyitüdünde bir depremde en ük deprem ivmesi;  $A_p = 0.41$  g olarak bulunur.

çim mühendislik uygulaması için yeterli bir girdi gibi ünse de aşılma riski olarak belirlenen %10 mertebesi ece deprem büyüklüğünün yani manyitüdünün aplanması için geçerlidir. Deprem merkez uzaklığının minde bu risk mertebesi göz önüne alınmamıştır. Diğer dan kullanılan azalım ilişkisinin elde edilmesi için kullanılan lere bakıldığında her iki yönde de bir saçılma olduğu ülmektedir. 10 km deprem merkez uzaklığının bir an ıru olduğu kabul edilse bile, azalım ilişkisinden aplanan 0.41 g değerinde  $\pm$  %25 mertebelerinde bir ma olabilir. Dolayısıyla 0.41 g değeri seçilirken risk rtebesi bilinmemektedir. Bu iki belirsizlik başlangıçta ılmış olan risk mertebesinin tamamen değişmesine yol bilir. Bir mühendis olarak ekonomiklik ve güvenlik jerlendirmesi yaparken riskin değişimi konusunda bir i olmaması durumunda bir tercih yapmak zorlaşmaktadır.

arında verilen örnekte deprem merkez uzaklığı ve azalım isindeki saçılmalar ve belirsizlikler ihmal edilmektedir. Bu laşımında bu ihmalin, ilk aşamada seçilen risk mertebesinden ıa büyük risk değerlerine yol açmayacağı varsayılmaktadır.

belirsizliklerin mühendisçe aşılmasının bir yolu, ülkemizde rem konusunda araştırma ve gözlemleri arttırmak ve tistiksel olarak bir değerlendirme yapabilmek için anlamlı sayıya çıkarmaktır. Campbell&Bozorgnia (1993) afından önerilen ilişki yerine İzmir ve yakın çevresi için ıştırılmış saçılımı bilinen bir azalım ilişkisi kullanılabildiği dirde hesaplanmış olan 0.41 g değerinin taşıdığı aşılma sılığı da hesaplanabilir olacaktır. Aynı şekilde deprem ten tektonik yapıların sismik etkinliği konusunda bilgilerin unması, deprem merkez uzaklığının seçiminde de bir sılık hesabı yapma imkanı verecektir. Böylece olsa olsa

| Manyitüd                      | 6.8  | 7.2  | 7.8  |
|-------------------------------|------|------|------|
| Aşılma olasılığı (%)          | 15   | 10   | 5    |
| En büyük ivme $R = 10$ km (g) | 0.36 | 0.41 | 0.48 |
| $R = 20$ km (g)               | 0.21 | 0.27 | 0.37 |
| $R = 30$ km (g)               | 0.14 | 0.18 | 0.28 |

**Tablo 5.** En büyük deprem ivmesinin manyitüde ve merkez uzaklığına bağlı değişimi

yöntemi ile seçilmiş olan 10 km deprem merkez uzaklığı yerine taşıdığı aşılma olasılığı bilinen deprem merkez uzaklıkları bulunabilir ve ilk seçilen deprem riski ile aynı aşılma riskine sahip bir deprem merkez uzaklığı hesaplanabilir. Benzer şekilde 0.41 g olarak hesaplanan en büyük ivme değerinin de aşılma olasılığı bulunabilir.

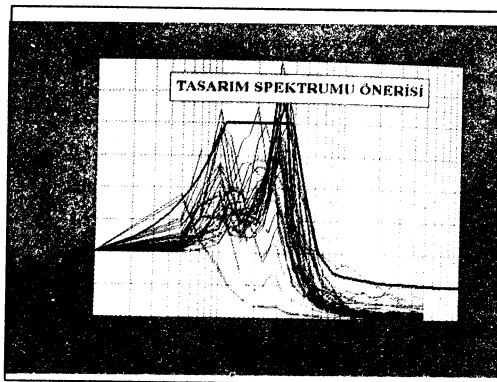
Bu tür bir yaklaşımın etkisinin ne olabileceğini göstermek amacıyla deprem merkez uzaklığının ve azalım ilişkisinin normal dağılıma uyan bir veri tabanına dayandığını ve bu veri tabanını standart sapmasının ortalama değerin %25'i mertebesinde olduğunu varsayarak bir hesap yapılmıştır. Bu durumda ortalama deprem merkez uzaklığının 10km'den daha az olma olasılığı %2.3 olarak bulunmaktadır. Daha önce belirtilmiş olduğu üzere, deprem merkez uzaklığının seçiminde benimsenen yaklaşım bu verilere göre güvenli tarafta kalmaktadır. Ama ortalama deprem merkez uzaklığının 15 km olduğu kabul edilirse bu sefer deprem merkez uzaklığının 10 km'den az olma olasılığı %16'ya çıkmaktadır. Bu da deprem manyitüdü seçilirken benimsenen %10 mertebesinin çok üstündedir ve artık mühendislik yapıları için baştan tanımladığımız %10 risk mertebesi aşmıştır ve tasarımda kullanılan değerin ne kadar bir risk taşıdığı bilinmemektedir.

Aynı türden bir örnek en büyük ivme değeri içinde verilebilir. Azalım ilişkisi kullanılarak bulunan 0.41 g değeri ortalama değer kabul edilirse, bu değerden daha büyük bir ivme meydana gelmesi olasılığı %50'dir. Bu da deprem riski olarak seçilen %10 mertebesinin çok üstünde bir değerdir. Eğer hesaplanan 0.41 g değerinin ortalama değer olduğu ve azalım ilişkisinde ortalamaya göre %25 standart sapma olduğu kabul edilirse, sismik risk için seçilmiş %10 risk mertebesine eşit, yani aşılma olasılığı %10 olan en büyük ivme değeri 0.4 olur. Dolayısıyla deprem manyitüdü belirlenirken benimsenen %10 aşılma riskinin geçerli olabilmesi için incelenen alanda en büyük ivme değerinin 0.54 alınması gerekmektedir. Bu basit örnekte kullanılan ortalama ve standart sapma değerlerinin, ancak yeterli ve anlamlı sayıda bir veri tabanına dayanması durumunda sonuçların gerçekçi olacağı düşünülmelidir. Böyle bir veri tabanı ülkemizin sınırlı bazı bölgeleri için oluşma sürecindedir. Bu oluşana kadar izlenebilecek bir seçenek yukarıda yapılmış olduğu gibi bazı kabuller yaparak bir değerlendirme yapılmasıdır.

| Yer      | Tarih      | M   | R (Km) | Yön | Ap (g) |
|----------|------------|-----|--------|-----|--------|
| İzmir    | 9.12.1977  | 4.9 | 9      | NS  | 0.161  |
|          |            |     |        | EW  | 0.270  |
| İzmir    | 16.12.1977 | 5.3 | 6      | NS  | 0.417  |
|          |            |     |        | EW  | 0.139  |
| Çeşme    | 17.6.1984  | 5.1 | 74     | NS  | 0.023  |
|          |            |     |        | EW  | 0.024  |
| Foça     | 17.6.1984  | 5.1 | 93     | NS  | 0.025  |
|          |            |     |        | EW  | 0.023  |
| Kuşadası | 1.6.1986   | 4.0 | 13     | NS  | 0.057  |
|          |            |     |        | EW  | 0.107  |
| Foça     | 4.8.1988   | 4.5 | 30     | NS  | 0.040  |
|          |            |     |        | EW  | 0.043  |
| Kuşadası | 6.11.1992  | 6.0 | 33     | NS  | 0.089  |
|          |            |     |        | EW  | 0.068  |
| Çeşme    | 6.11.1992  | 6.0 | 63     | NS  | 0.032  |
|          |            |     |        | EW  | 0.031  |
| İzmir    | 6.11.1992  | 6.0 | 63     | NS  | 0.039  |
|          |            |     |        | EW  | 0.030  |

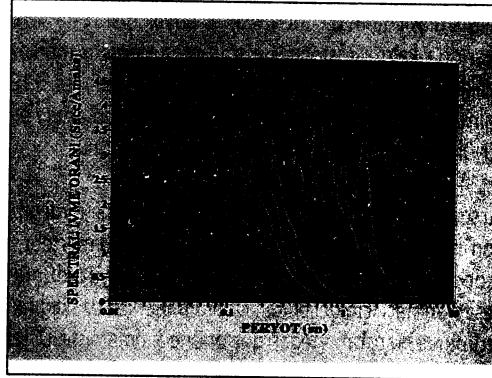
**Tablo 6.** İzmir civarı depremlerine ait kuvvetli ivme kayıtları

İzmir ve civarında İmar İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi tarafından işletilmekte olan kuvvetli yer hareketi sismograflarından, son yıllarda bölgede olmuş depremlerde alınmış kayıtlar bulunmaktadır. Bu kayıtlardan İzmir yakın çevresinde elde olunmuş Tablo 6'da verilen 6 depremde alınmış 18 deprem yatay ivme kaydı kullanılarak istatistiksel bir analiz yapılmıştır. Bu kayıtlar için hesaplanmış ve en büyük yer ivmesine göre oranlanmış boyutsuz elastik ivme davranış spektrumları Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** İzmir ve yakın civarında alınmış deprem kayıtları için hesaplanmış boyutsuz elastik ivme davranış spektrumları

Şekil 2'de verilen boyutsuz elastik ivme davranış spektrumları arasında büyük farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Mühendislik tasarımı için önemli değişik sonuçlar verecek bu farklılaşmaya yol açan bir ned deprem özellikleri, diğeri ise kayıtların alındığı noktalarda yerel zemin ve jeolojik koşullardır. Bu faktörlerin karşılı etkileşim yapmaları nedeniyle deprem özellikleri ve yer geoteknik koşullara bağlı farklılıklar olabilir. (4,5). Örneğ Şekil 3'de İzmir'de bulunan deprem istasyonunda, diğ bir deyişle aynı zemin koşullarında, üç farklı deprem iç alınmış kayıtlardan hesaplanan boyutsuz elastik ivme davranış spektrumları arasındaki farklar, depre özelliklerindeki farktan dolayı ortaya çıkan depre özellikleri ve zemin koşullarının karşılıklı etkileşiminde kaynaklanmaktadır.

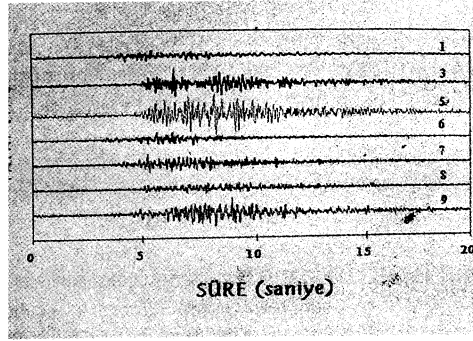
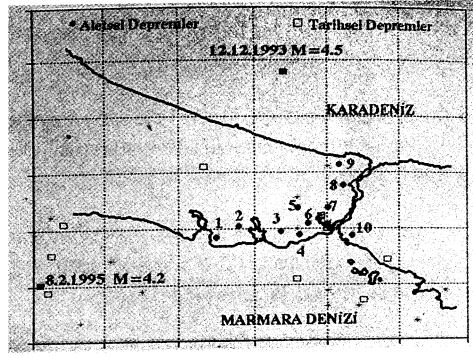


**Şekil 3.** İzmir kuvvetli yer hareketi istasyonunda fark depremlerde alınmış kayıtlar için hesaplanmış boyutsuz elastik ivme davranış spektrumları.

### YEREL ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ

Şekil 4'te İstanbul'un değişik bölgelerinde bir TÜBİTAK DPT araştırma projesi kapsamında kurulmuş bulunan deprem istasyonlarının konumları ve 8.2.1995 tarihinde Marmara Denizinde meydana gelen M=4.2 büyüklüğündeki depremde alınmış ivme zaman kayıtları gösterilmiştir. Aynı depremde alınmış ivme zaman değişimlerinden de görülebileceği gibi deprem özelliklerinin değişmediği bir durumda yerel zemin koşullarındaki farklılıklara zemin yüzeyinde kaydedilen deprem özellikleri arasında büyük farklar gözlenmiş olması, daha büyük depremlerde bu farklılığın artacağını işaret etmektedir.

Bir bölgede yeterli mali kaynak ayrılabilirdiği sürece yere zemin koşulları oldukça detaylı bir şekilde belirlenebilir. Ama aynı şeyi deprem özellikleri için söylemek pek mümkün olamamaktadır. Deprem üretebilecek tektonik yapıların özelliklerine bakarak bazı tahminler yapılabilir. Ama bu tahminlerde yanılma olasılığı yüksektir. Bu nedenle tasarım depremini tanımlarken geçmişte meydana gelmiş çok sayıda depremi kullanarak istatistiksel bir analiz sonucu

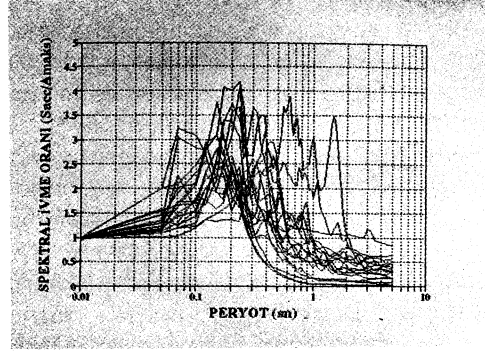


**Şekil 4.a-b** İstanbul deprem istasyonlarının yerleri ve u istasyonlarda 8 Şubat 1995 depreminde alınmış kuzey-üney doğrultusunda ivme kayıtları

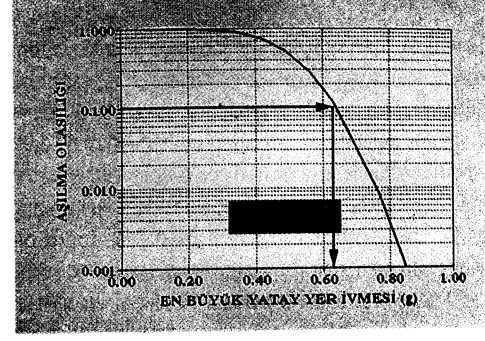
ir değerlendirme yapmak, inceleme bölgesini etkileyebilecek farklı özelliklerde depremlere karşı güvenli bir çözüm olacaktır.

iğer yandan tasarım deprem manyitüdü belirlenirken açılan risk mertebesinin, inceleme bölgesinde en büyük atay ivme değeri, zemin büyütmesi, zemin hakim periyodu, e boyutsuz ivme davranış spektrumu gibi tasarım deprem zellikleri seçilirken de aynı kalması tercih edilir. Bu yapılmayı zaman mühendislik tasarımı için seçilen parametrelerin e kadar bir riske yol açtığını tahmin etmek mümkün lamaz. Deprem manyitüdü ve azalım ilişkileri yoluyla belirli ir risk seviyesi için seçilmiş risk mertebesinde büyük eğişiklikler olmaması, istatistiksel analiz sonucu aynı risk ertebesine karşı gelen deprem özelliklerinin belirlenmesi e sağlanabilir.

u tür bir değerlendirmeye örnek olarak İstanbul Laleli'de ulunmuş bir sondaj kesiti kullanılarak Türkiye'nin değişik ölgelerinde ve son yıl içinde İstanbul civarında meydana elen depremlerden alınmış 40 ivme-zaman kaydı ullanılarak istatistiksel bir çalışma yapılmıştır (1). Şekil 5'te u 40 kayıt kullanılarak yapılan analiz sonucunda ulunmuş boyutsuz elastik ivme davranış spektrumları ve



**Şekil 5.** İstanbul Laleli'de seçilen bir zemin kesitinde farklı deprem kayıtları için hesaplanmış boyutsuz elastik ivme davranış spektrumları ve bir tasarım spektrumu önerisi



**Şekil 6.** Zemin yüzeyinde oluşabilecek en büyük yatay deprem ivmesi- aşılma olasılığı ilişkisi

bunlara bir dış zarf olarak çizilmiş güvenli bir tasarım spektrumu önerisi verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi zemin yüzeyindeki tasarım spektrumunu seçerken kullanılan deprem kaydı önemli farklılıklara yol açabilmektedir.

Olası bir depremde deprem özelliklerini tahmin etmek mümkün olamadığı kadar geçmiş depremlerde alınmış deprem ivme kayıtları arasındaki farklılıkları tanımlamak için yeterli parametreler de tanımlanmamıştır (19). Bu nedenle bu açıdan bir istatistiksel değerlendirme yapmakda zordur. Ancak farklı depremler sonucunda yüzeyde hesaplanan en büyük ivme değerleri veya zemin büyütme katsayısı cinsinden istatistiksel bir yol izlenebilir. İstanbul Laleli'de seçilen sondaj kesiti için 40 adet ivme zaman kaydı kullanılarak yapılan bir istatistiksel değerlendirmeden Şekil 6'da gösterilmiş olduğu gibi sismik risk seviyesi olarak belirlenmiş olan %10 aşılma olasılığına karşı gelen zemin yüzeyinde en büyük ivme değeri 0.63 g olmaktadır. Dolayısıyla yapı tasarımı için en başta benimsenen %10 aşılma olasılığının geçerli olabilmesi açısından bu bölgede yapılacak yapılarda en büyük deprem yatay ivme değerinin 0.63 g olarak alınması doğru olacaktır.

## SONUÇ

Bu çalışma kapsamında gösterilmeye çalışıldığı gibi bir bölge için tasarım deprem özelliklerin belirlenmesi detaylı bir incelemeyi gerektirmektedir. Böyle bir çalışmanın ilk aşaması

seçilen risk seviyesine göre bir tasarım depremi seçilmesidir. İkinci aşama seçilen bu tasarım depremi için incelenen bölgede meydana gelecek deprem özelliklerinin uygun bir azalım ilişkisi ile bulunmasıdır. Bu yapılırken önemli olan ilk başta seçilmiş olan risk mertebesi ile uyumlu olacak bir sonuç elde etmektir. Üçüncü aşama olarak inceleme bölgesindeki topoğrafik, jeolojik ve zemin koşullarına bağlı olarak mühendislik yapısını etkileyecek tasarım deprem özelliklerinin güvenli tarafta kalacak şekilde bulunmasıdır. Bunun doğru bir şekilde yapılabilmesi jeolojik ve zemin koşullarına bağlı olarak mühendislik yapısını etkileyecek tasarım deprem özelliklerinin güvenli tarafta kalacak şekilde bulunmasıdır.

Bunun doğru bir şekilde yapılabilmesi jeolojik ve zemin koşullarının detaylı bir şekilde belirlenmiş olmasını gerektirir. Bütün bu incelemelerin yapılmasının yanı sıra, bölgede meydana gelebilecek farklı depremlerin etkisi de değerlendirilmelidir. Bu aşamada da en başta seçilmiş olan risk mertebesi ile uyumlu bir sonuç elde edebilmek amacıyla gene istatistiksel bir yaklaşım izlenmesi doğru olur. Mühendis olarak bir yapıda güvenliğin ve ekonomikliğin sağlanabilmesi için bu türden olasılıksal bir yaklaşım izlenmesi kaçınılmazdır. Doğal olarak depreme karşı güvenli tasarım kapsamlı bir mühendislik uygulamasını gerektirmektedir. Aktif bir deprem kuşağı içinde yer alan ülkemizde, güvenli yapılar yapılabilmesi, mühendislik hizmetlerinin kaliteli ve kapsamlı olmasını gerektirir. Bunu sağlamanın bir yolu mühendislik hizmetlerine yeterince önem verilmesi ve bu iş için ayrılan fonların artırılması ile mümkündür.

#### KAYNAKLAR

1. Ansal, A.M. and Siyahi, B.G. (1995) "Effects of Coupling Between Source and Site Characteristics During Earthquakes", 5th SECED Conference on 'European Seismic design Practice', Chester, UK
2. Ansal, A.M., (1994) "Effects of Geotechnical Factors and Behavior of Soil Layers During Earthquakes, State-of-the-Art Lecture", 10th European Con. on Earthquake Engineering, Viyana
3. An A.M., Şengezer, B.S., İyisan, R. ve Gençoğlu, S. (1993) "The Damage Distribution in March 13, 1992 Earthquake and Effects of Geotechnical Factors" Soil Dynamics and Geotechnical Earthquake Engineering, Ed. P.Seco e Pinto, Balkema, rotterdam, pp. 413-434, 1993
4. Ansal, A.M. and Lav, M.A. (1991) "Effect of Variability of Input Motion Characteristics on Ground Response Spectra", Proc. of 4th Int. Conf. On Seismic zonation, Stanford, California, Cal., USA.
5. Ansal, A.M. ve Lav, M.A. (1991) "Effect of Earthquake Characteristics on Response of Soil Layers", Proc. of 5th Int. Cnof. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Karlsruhe Germany.
6. Ayhan ve diğerleri (1989) "1976-1986 Yılları Arasında Batı Türkiye'de Diri fay zonlarının ve Depremlerin Etkinliği", Deprem Araştırma Bülteni, Cilt 16, Sayı 64, sf. 5-191
7. Ayhan, E. (1988) "Türkiye'de 1981-1988 Yılları Arasında Oluşmuş Şiddetli Depremler ( $M_s \geq 5.5$ ) ve Sonuçları", Deprem Araştırma Bülteni, Cilt 15 Sayı 61 sf. 5-121
8. Borchardt, R.D. (1994) "Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification)", Earthquake Spectra, Vol. 10, No.4, pp. 617-6549.
9. B.Ü. Kandilli Rasathanesi gök ve Yer Bilimleri Araş. ve Uyg. Merkezi (1987) "1984-1985-1986 Yılları Batı Türkiye Deprem Etkinliği" Deprem Araştırma Bülteni, Cilt 14 Sayı 58 sf. 5-111
10. B.Ü. Kandilli Rasathanesi Gök ve Yer Bilimleri Araş. ve Uyg. Merkezi (1987) "1983 Yılı Batı Türkiye Deprem Etkinliği" Deprem Araştırma Bülteni, Cilt 14, Sayı 57, sf. 93-127
11. Campbell, K.W. (1993) "Comparison of Contemporary Strong Motion Attenuation Relationships" Proc. of International Workshop on Strong Motion Data, Menlo park California, Vol.2 pp. 49-70
12. Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y (1993) "Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration from Worldwide Accelerograms Recorded from 1957 to 1993" Proc. of International Workshop on Strong Motion Data, Menlo Park California, Vol. 1, pp. 5-65
13. Erdik, M., Doyuran, V., Gülkan, P. ve Akkaş, N. (1985) "Türkiye'de Depremin Tehlikesinin İstatistiki Açısından Değerlendirilmesi" ODTÜ Deprem Araştırma Merkezi Yayını, Ankara.
14. Ergin, K., Güçlü, U., ve Uz, Z. (1967), Türkiye ve civarını deprem Kataloğu (M.S. 11 -1964), İTÜ., Maden Fakültesi, Ar. Fiziği Enstitüsü, Yayın No:24.
15. Ergin, K., Güçlü, U., ve Uz, Z. (1971), Türkiye ve Dolaylarını Deprem Kataloğu (1965-1970), İTÜ., Maden Fakültesi, Arz Fiziği Enstitüsü, Yayın No:28.
16. Gençoğlu, S., İnan, E. and Güler, H. (1990), Türkiye'de deprem Tehlikesi, Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
17. Güçlü, U., Altınbaş, G. ve Eyidoğan, H. (1986), Türkiye ve Çevresi Deprem kataloğu (1971-1975), İTÜ., YBYK Uyg.-Ar. Merkezi, Sismoloji ve Sismoteknik Alt Birimi, Yayın No:30.
18. Kalafat, D. (1988) "Güneybatı Anadolu ve Yakın Çevresinin Depremselliği, Aktif Tektoniği", deprem Araştırma Bülteni, Cilt 15, sayı 63, sf. 5-98.
19. Peker, D. ve Ansal, A.M. "Deprem Kayıtlarının İstatistiksel Analizi" İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı IV. Sempozyumu, İstanbul, Haziran 1994.