

## AFET YÖNETİMİNDE OLASI DEPREMLER İÇİN “AFAD-RED” HASAR TAHMİN SİSTEMİNİN KULLANIMI

**Y. M. Fahjan<sup>1</sup>, F. Pakdamar<sup>1</sup>, F. İ. Kara<sup>1</sup>, Y. Eryılmaz<sup>1</sup>  
B. Eravcı<sup>2</sup>, M. Baykal<sup>2</sup>, G. Yenilmez<sup>2</sup>, D. Yalçın<sup>2</sup>, K. Yanık<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, 41400, Kocaeli

<sup>2</sup> Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı AFAD, Ankara

### ÖZET:

Afet yönetiminde temel amaç afetin önceden tahmini ve bu afete karşı hazırlıklı olmaktır. Oluşabilecek afetlerin etkisi; sadece afete değil aynı zamanda afete maruz bölgelerin nüfus, ekonomik yapı, altyapı tesisleri ve yaşayanların afete hazırlıklı olmaları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Afetlere hazırlık aşaması afet yönetiminin başlıca ögesidir. Afet zararlarını azaltmak için yerleşimlerde planlama öncelikle jeolojik verilerin dikkatle ele alınmasını gerektirmektedir. Afet olaylarında, binalarda tasarım ve yapım kalitesi, maddi ve manevi kayıpların seviyesini belirlemektedir. Riskin büyüklüğüne göre; afetlerin olumsuz etkilerinden hızla çıkılabilmesi, toplumun afetlere karşı hazırlıklı olması, afet sonrasında ise müdahalelerin ve gerekli iyileştirmelerin yapılmasına bağlıdır. Türkiye için geliştirilmiş “AFAD-RED” (AFAD Deprem Ön Hasar ve Kayıp Hızlı Tahmin Yazılımı) sistemi ile meydana gelen bir deprem sonrasında veya olası afetlerde kullanılacak deprem senaryoları için şiddet haritaları çıkarılmakta ve kayıp tahmini yapılmaktadır. Şiddet haritaları oluşturabilmek için deprem kaynak verileri, azalım ilişkileri ve/veya kuvvetli yer hareketi istasyon kayıtları gelişmiş algoritmalar kullanılarak birleştirilmiştir. Ayrıca deprem kayıp haritalarını oluşturabilmek amacıyla hızlı kayıp tahmin algoritmaları da geliştirilmiştir. Ülkemizde mevcut bina ve nüfus veri tabanı kullanılarak; olası depremde oluşabilecek ölüm ve bina kayıpları tahmin edilmektedir. Bu çalışmada en fazla hasar oluşturan afetlerden biri olan depreme karşı önlem olarak ilk hazırlık aşamasının, senaryolarla ve AFAD-RED tahmin sistemi ile yapılması değerlendirilmektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Afet Yönetimi, Deprem Ön Hasar Tahmini, Deprem Tehlikesi ve Senaryoları.

### 1.GİRİŞ

Afetler gün geçtikçe daha fazla can ve mal kaybına neden olmaktadır. Afetler meydana geldiği yere göre değişen, toplumun afetlere hazırlık durumuna bağıntılı olarak farklı ölçeklerde hasar oluşturmaktadır. Deprem, sel, tayfun, kuraklık, heyelan, volkanik patlamalar gibi türlü yıkımlara neden olan afetlerde yaklaşık 70-80 milyon kişi her yıl artan bir şekilde afet riskiyle karşılaşmakta ve milyarlarca dolarlık ekonomik kayıp olmaktadır. (ISDR, 2004).

Afetlerin etkisi oluşan tehlike ve hasargörebilirlikle orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle olası hasarları azaltmak, yalnızca tehlikeleri önlemek yönünde adımlar atmakla değil aynı zamanda toplumun savunmasızlık-hasargörebilirlik konusunda tehlikelere karşı hazırlıklı olmasını sağlamakla mümkün olabilir. Afet yönetimi; afet oluşmadan önce kayıpları önlemek için izlenecek yöntemlerin saptanmasını, afet sonrasında ise bu yöntemlerle, negatif etkilerin engellenmesini ya da

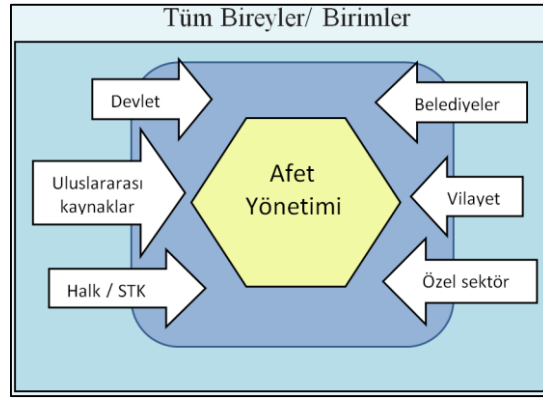
hafifletilmesini içeren çalışmaları kapsamaktadır. Risklerin yönetilmesi, uzun dönemde afetlere karşı alınacak önlemler ve bu çalışmaların organizasyonu da afet yönetiminin konusudur (Kundak, 2014).

Toplumsal yaşamın sürdürülebilirliğini ve ekonomik faaliyetlerin sürekliliğini sağlamak, afetlerde olası kayıpları azaltmak amacıyla yapılan çalışmalar afetlere hazırlığın ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu nedenle çeşitli afetlere karşı risk derecesi farklılık gösteren tüm ülkelerde olası afetlere hazırlıklı olmak, oluşabilecek felaketlerin zararlarının hafifletilmesinde temel bileşen olarak görülebilir.

Afetlerle ilgili etkinlikler, 4 aşamada saptanmaktadır:

a) **Zarar Azaltma**: Olası afet durumlarına karşı kayıpları azaltma amacıyla sürdürülen faaliyetler ve alınan önlemler bütünüdür. b) **Hazırlıklı Olma**: Herhangi bir afet oluştuğunda, yapılacak faaliyetlerde yetki ve sorumlulukların saptanarak, yardım sağlanacak kurumların belirlenmesini kapsamaktadır. c) **Olaya Müdahale**: Afet oluşumu sonrasında can ve mal kaybını azaltma amacıyla kurtarma çalışmalarını içeren tüm aktivitelerdir. d) **İyileştirme**: Fiziksel ve sosyal dokuda, altyapıda meydana gelen hasarların düzeltilerek, toplumsal hayatın sağlıklı işlemesi hedefiyle yapılan faaliyetlerdir (Işık vd., 2012; Türkoğlu, 2014).

Afet öncesi risklerin saptanarak, toplumun olumsuz yönde etkilenmesinin azaltılması amacıyla yapılan faaliyetler ve kaynakların etkin kullanımı ile olası bir afet durumu sonrasında kayıpların azaltılmasının sağlanabildiği oranda başarılı bir afet yönetimi gerçekleştirilebilir. Afet yönetimleri; bireylerin ve toplumsal kuruluşların ortak bir hedef doğrultusunda çalışmaları ve görev dağılımlarının etkinliği afetlere karşı toplumsal dayanıklılığı artırmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Afet yönetimi bileşenleri (Işık vd., 2012).

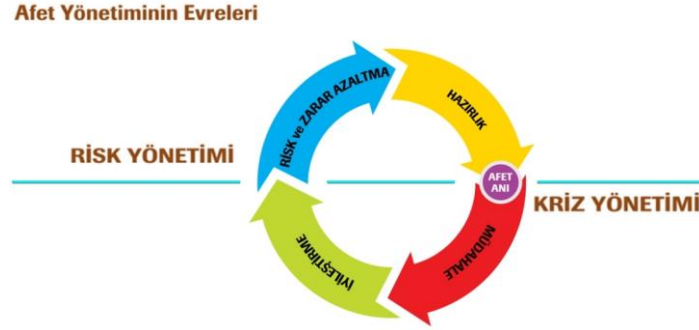
Afetlerin çok sayıda belirsizlikle birlikte oluşması nedeniyle toplumun afete karşı dayanıklılığını artırmak, afet anında ve sonrasında faaliyetlerin istenilen şekilde uygulanabilmesi ancak bireylerin ve toplumsal kuruluşların afet oluşmadan önceki çalışmalarının yeterince ve özenle yerine getirilmesi ile sağlanabilir. (Gerdan, 2014).

BM, hazırlanan Uluslararası Felaket Azaltma Stratejisi'ne göre risk hesaplamaları, tehlikelerin hasargörebilirlik ile birlikte değerlendirilmesini gerekli görmektedir (Denklem 1). Risk etkisinin azaltılması, insan kaynaklı afetlerin azaltılmasıyla birlikte hasargörebilirlik oranının düşürülmesi ile sağlanabilir (ISDR, 2004).

$$\text{Risk} = \text{Tehlike} \times \text{Hasargörebilirlik} \quad (1)$$

Afet yönetimi sistemi a) Zarar Azaltma (Risk) Yönetimi, b) Acil Durum (Kriz) Yönetimi olmak üzere iki farklı yönetim şeklinden oluşmaktadır (Türkoğlu, 2014).

Afet yönetiminde risklerin tahmini ve bu tahminlere göre alınacak tedbirlerle toplumun afetlere karşı hazırlıklı olması amaçlanmaktadır. Afet öncesi yapılacak çalışmalar ve afete hazırlık dönemi ve afet sonrası sosyal yaşamdaki etkilerini azaltacak aktiviteleri kapsayan acil müdahale ve iyileştirme dönemleri afet yönetimini oluşturur (Şekil 2).



Şekil 2: Afet yönetiminin evreleri (Türkoğlu, 2014).

Temel olarak doğal afetlere karşı alınacak önlemler, afete hazırlıklı yerleşimlerin planlanmasını gerektirmektedir. Afet planları, farklı düzeylerde olmak üzere sırasıyla olay, acil durum ve afetler için gerekli olduğunda faaliyete geçirilmesi amacıyla hazırlanan planlardır (Işık vd., 2012). Afetlerin topluma olumsuz etkisini azaltmak amacıyla olasılığa bağlı olarak, yerleşimlerin jeolojik karakteri, can damarları, yapı stoku, çeşitli riskler değerlendirilmekte, yerleşimlerde riskli bölgeler belirlenerek afet riskine karşı, farklı yöntemlerle yapılan hesaplamalarla ve afet öncesinde öneriler geliştirilebilmektedir (Başaran Uysal vd., 2014; Fahjan vd., 2015). Ülkemizde başta depremler olmak üzere sel, fırtına, çığ düşmesi gibi çeşitli afetlerden sonra başta yapısal çevrede hasar oluşmakta, önemli altyapı tesislerinde ve toplumsal yaşamda birçok olumsuzluk oluşmaktadır. Ülkemizi etkileyen afetlerden birisi olan depremin olumsuz etkisi deprem şiddetine ve toplumun afete karşı hazırlıklarına göre farklılık göstermektedir (Taş, 2003). Ülkemizin topraklarının % 95'ten fazlasının deprem riski altında bulunması, yanı sıra önemli sanayi kuruluşlarının bulunması, sanayi merkezlerinin %75-80'i yine 1. derece deprem bölgelerinde ve aktif kırık zonlar üzerinde kurulması ve nüfusun büyük bir kısmının 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde yaşaması riskin büyümesine yol açmaktadır (Mestan, 2005).

“Deprem Ön Hasar Tahmini Sistemleri” bir deprem sonrasında hasarla ilgili olarak oluşabilecek kargaşa ve bilgi kirliliğini en aza indiren ve acil müdahale ekiplerinin doğru bölgelere zaman kaybetmeden sevk edilmesine yardımcı olan önemli bir araçtır. Bu sistemlerin dünyada ve ülkemizde büyük eksikliği duyulmakta ve can ve mal kayıplarını en aza indirmek için ülke genelinde kurulması mutlaka gerekmektedir. Bu çalışmada; Türkiye için geliştirilmiş “AFAD-RED” (AFAD Deprem Ön Hasar ve Kayıp Hızlı Tahmin Yazılımı) sistemi kullanılarak meydana gelen bir deprem sonrasında hızlı kayıp tahmini yapılmakta ve şiddet haritaları (shake maps) çıkarılmaktadır.

“AFAD-RED” sistemi geliştirilirken ilk aşamada “Deprem Ön Hasar Tahmini Sistemleri”nin ana hatları tasarlanmıştır. Bu yeni sistemin AFAD tarafından işletilen mevcut gözlem sistemleriyle (kuvvetli ve zayıf yer hareketleri) entegrasyonunu sağlamak için ön çalışmalar yapılmıştır. “Deprem Ön Hasar Tahmini Sistemleri-Ara Versiyon'u” tasarlanan sistem geçmiş deprem kayıtları ile kalibre edilerek yazılım güncellenmiştir. Ülkemiz için “Hasargörebilirlik İlişkileri” literatür araştırması yapılmış ve hasar yapıcı bir deprem sonrasında, bölgedeki hasar durumunu tahmin eden yeni bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yeni sistemin AFAD Başkanlığı tarafından işletilen mevcut kuvvetli ve zayıf yer hareketleri gözlem sistemleri ile entegrasyonu sağlanmıştır. Sistem; sismik tehlike bilgisi, yerel zemin bilgisi ve bina envanterindeki unsurları içeren veriler ile coğrafi bilgi sistemi

verilerini birleştirebilmektedir. Yer hareketi sarsıntı haritaları; başlangıç, orta ve kapsamlı bilgi düzeylerine göre oluşturulmuştur.

## 2.HASAR TAHMİN YÖNTEMLERİ VE AFAD-RED SİSTEMİ

AFAD-RED projesiyle Türkiye’de olabilecek herhangi bir deprem sonrasında “Ön Hasar Tahmini” yapabilmeyen bir yazılım ve yöntem geliştirmek ve afet bölgelerine acil ve etkili müdahalenin, kargaşa ve bilgi kirliliğinin önlenmesi amaçlanmıştır. Sistem, büyük bir deprem sonrasında verilerin, Türkiye Ulusal Sismolojik Gözlem Ağı ve Kuvvetli Yer Hareketi Gruplarının sunucularından çevrimiçi alınarak sisteme entegre edilmesi ve afet bölgesindeki kayıpların gerçek zamanlı tahmini için tasarlanmıştır. Ön hasar tahmin sistemi, öngörülen ve kayıt edilmiş kuvvetli yer hareketi parametrelerini birleştirerek deprem şiddet haritaları üretmektedir. Bu veriler kullanılarak bina hasar tahmin yöntemi ile sismik tehlike bilgilerinden, yerel zemin özellikleri ve coğrafi bilgi sistemlerindeki bina gözlem verilerinden faydalanarak hasar haritaları oluşturulmaktadır.

### 2.1 Kuvvetli Yer Hareketi Parametrelerinin Tahmini

Hızlı ve güvenilir şiddet haritası oluşturulabilmesi için şematik algoritması Şekil 4’te verilen üç yaklaşım dikkate alınmıştır. Birinci yaklaşım ile deprem olduktan hemen sonra merkez üssü ve manyitüd bilgileri AFAD-Deprem Dairesi sunucularındaki azalım ilişkileri kullanılarak şiddet haritalarının oluşturulmasıdır. Daha sonra deprem merkez üssü yakınındaki tüm bölge için zemin büyütme etkisi de dikkate alınarak en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV), spektral ivme (SA) ve yer hareket parametreleri üretilmektedir.

Bu yaklaşım ile üretilen şiddet haritasını birleştirmek için aşağıdaki adımlar izlenmektedir:

- Şiddet haritası yer hareket parametreleri olan PGA, PGV ve SA değerlerinin bulunması için ivmeölçer konumundaki kuvvetli yer hareketi kayıtlarının işlenmesi,
- Hesaplanan parametrelerdeki zemin etkilerinin ortadan kaldırılması için yer hareket parametrelerinin B/C sınıfı zemin için alınması,
- Deprem merkez üssü yakınındaki bütün noktalar için B/C zemin sınıfı yer hareket parametrelerinin tahmin edilmesi,
- Kayıt edilen parametreler ile tahmin edilen parametrelerin deprem merkez üssüne olan radyal mesafeye bağlı olarak Bulanık Mantık yaklaşımı ile birleştirilmesi,
- Zemin büyütmesinin uygulanması ve deprem şiddet haritalarının hesaplanması.

İkinci yaklaşım, depremin odak mekanizması hakkında daha detaylı bilgi elde edildiğinde kullanılmaktadır. Fay geometrisi belirlenmiş bir katsayı ile sisteme dahil edilerek, faya en yakın mesafe elde edilen fay bilgileri ile kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Üçüncü yaklaşımda ise kuvvetli yer hareketi kayıtları ve kaydedilmiş ivmeler veri sunucusundan otomatik olarak alınır ve PGA, PGV ve SA değerleri ivmenin alındığı bölge için hesaplanır.

### 2.2 Yerel Zemin Etkileri Ve Zemin Sınıflandırma Yöntemleri

Zemin tabakaları içinde sismik dalgaların geçirdiği değişimlerin tümüne "yerel zemin etkisi" adı verilmektedir. Ana kaya seviyesinden yüzeye doğru hareket eden sismik dalgalar, içinden geçtikleri zemin tabakalarının mühendislik özelliklerini, zemin tabakaları da sismik dalgaların özelliklerini değiştirmektedir. Bu değişim zemin

yüzeyinde deprem ivme genliklerinin büyümesi veya küçülmesi, ivme zaman kayıtlarının süre ve frekans özelliğinin değişmesi şeklindedir ve yerel zemin etkilerini değerlendirmenin önemini ortaya çıkarmaktadır.

Zemin sınıfı haritaları, Ön Hasar Tahmin Sistemi'nde bölgesel yer hareketlerini hesaba katabilmek amacıyla oluşturulmuştur. Zemin sınıfı haritaları zeminlerin büyütme ve sıvılaşmanın değerlendirilmesinde önemli bir rol oynayan bölgesel zemin kayma dalgası hızı haritalarının oluşturulması için önemli bir işleve sahiptir. İncelenen zemin için Vs30 değerleri, 30 metreye kadar olan zemin tabakalarına ait kayma dalgalarının hızlarının ortalaması alınarak bulunmaktadır.

### 2.3 Jeoloji Haritalarının Kullanılması

Zemin sınıfı haritalarını oluşturmak için, jeoloji haritaları zorunlu belge niteliğindedir. Haritalarda gösterilen fayların deprem potansiyellerinin ortaya konulabilmesi ve üretebilecekleri en büyük deprem büyüklüğünün hesaplanabilmesi için harita bilgisi yanında fay parametreleri de belirlenmektedir. Jeoloji haritaları; fayların coğrafi konumlarını ve geometrik özelliklerini doğru şekilde yansıtılabilmesi amacıyla (1/25000) ölçeğinde hazırlanmaktadır. Zemin sınıfları ise (ortalama 30 metre derinlik için) kayma dalgası hızı (Vs,30) ve FEMA-273,(1997) zemin sınıfı hükümlerine göre belirlenmiştir.

### 2.4 Hasar Görebilirlik ve Şiddet Eğrileri

Deprem hasar görebilirlik hesabı için iki genel yöntem vardır:

- Yerdeğiştirme esaslı hasar görebilirlik (ATC-40, 1996); (FEMA-356, 2000); (ASCE/SEI-41, 2007), (TDY, 2007)
- Şiddet esaslı hasar görebilirlik ((EMS, 1998; Giovinazzi, 2005; Rossetto ve Elnashai, 2005)

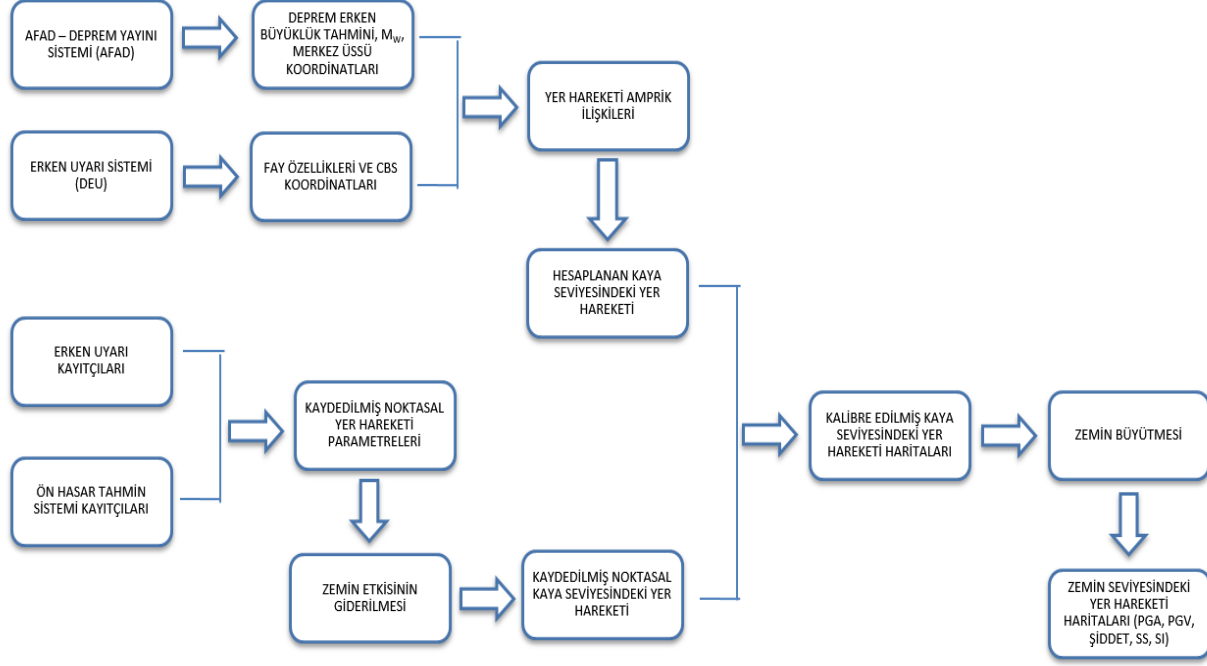
AFAD için hazırlanan Deprem Ön Hasar Tespit Sistemi Projesi kapsamında şiddet haritası belirlenmiş bir deprem sonucu eş şiddet eğrileri içerisinde kalan bölgelerde meydana gelebilecek her türlü hasar ve zarar için il ve ilçe bazında çıkartılmış hasar görebilirlik eğrilerine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada yapıların hasar görebilirlik dereceleri şiddet esaslı yaklaşımla belirlenmiştir. Şiddet esaslı deprem hasar tahmin çalışmalarında genel olarak, yer hareketlerini ifade etmek için (Değiştirilmiş Mercalli (MMI) veya Avrupa Mikrosismik ((EMS, 1998) Şiddet Ölçeği gibi) makro sismik şiddet ölçekleri kullanılmaktadır. Literatürde MSK şiddet cetveli ile yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Türkiye için hasar görebilirlik oranlarının bulunduğu çalışmalar çok sınırlı sayıda ve detaydan yoksun belirli değerleri kapsamaktadır. Hasar görebilirlik oranlarını gösteren çalışmalar arttıkça sistemin daha tutarlı sonuçlar vermesi beklenmektedir. Şekil 5'te şiddet esaslı hasar görebilirlik eğrilerinin oluşturulması gösterilmektedir. Proje kapsamında yapıların sınıflandırmasında (HAZUS-99) yapı sınıflandırma yöntemi esas alınmıştır.

### 2.5 Deprem Sonrası Hızlı Hasar Değerlendirme Yöntemi

Bina hasar ve can kaybı haritalarının otomatik hazırlanması için şiddet haritaları esas alınır. Kayıp bilgilerinin hızlı üretilmesi; spektral yerdeğiştirme ve aletsel şiddetin her ikisinin de birlikte kullanılması üzerine temellendirilmiştir. Bu yöntemler, HAZUS-MH,(2003)'e benzer şekilde çevrimiçi bilgisayar programlarına yazılarak kodlandırılmıştır. Spektral yerdeğiştirme ve aletsel şiddetlerin her ikisinin de güvenilirliği, bina gözlem veri tabanına, hasar görebilirlik eğrilerine ve yöntemlerin gelişimine bağlıdır. Tahmin edilen şiddet haritaları ile spektral yerdeğiştirme ve şiddet bazlı hasar görebilirlik eğrileri kullanılarak bina hasar durumları ve kayıpları ayrı ayrı hesaplanır. Hesaplamalar, kullanıcı tanımlı konumsal hücrelerden oluşan bir ızgara sistemi ile merkeze bağlanır. Yazılımda her bir konumsal hücredeki bina stoku, spektral yerdeğiştirme ve şiddet esaslı hasar

görebilirlik eğrileri ile birleştirilir. Kayıplar, hasar seviyelerine göre yıkılan bina sayısı esas alınarak tahmin edilir.



Şekil 4. Şiddet haritası yer hareket parametrelerinin tahmini.

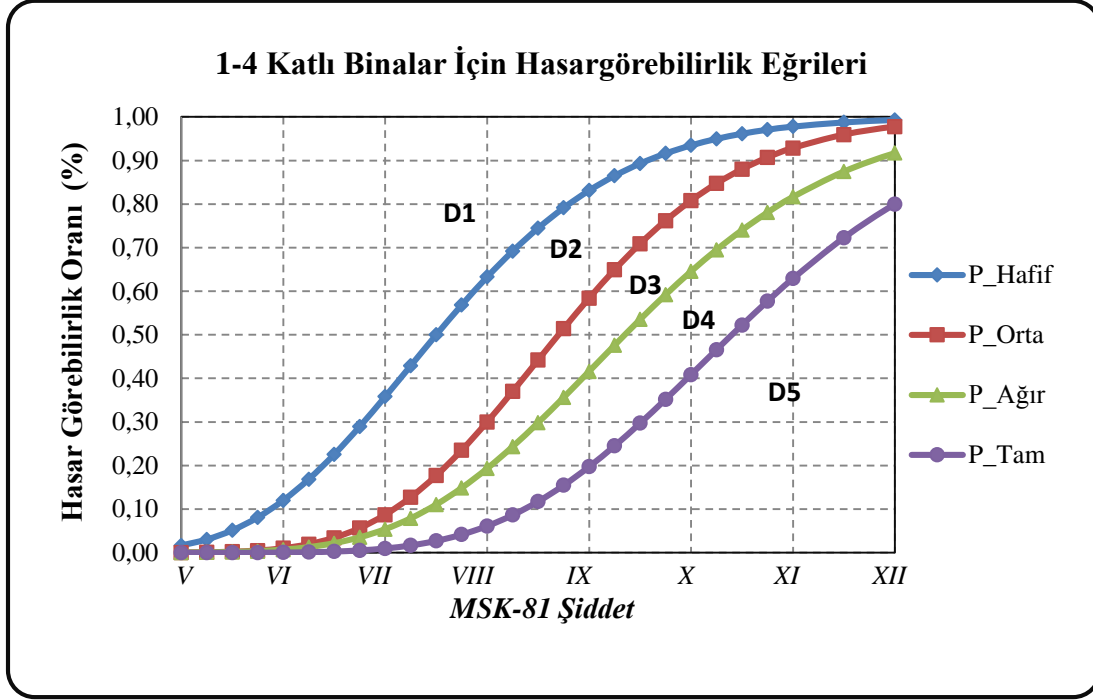
### 3. SEÇİLEN BÖLGE İÇİN AFAD-RED HASAR TAHMİN SİSTEMİ İLE DEĞERLENDİRME YAPILMASI

Marmara Bölgesi, ülke-ekonomisi ve sosyal yapısı açısından büyük önem arz etmektedir. Bölgede sürekli deprem aktiviteleri meydana gelmekte, tarihsel süreç incelendiğinde ise yıkıcı depremlerin etkin olduğu görülmektedir. AFAD-RED Hasar Tahmin Sistemi ile yapılacak değerlendirme için 9 adet organize sanayi bölgesi ve 2.000'den fazla sanayi kuruluşu ile Marmara bölgesi için ayrı bir önem arz etmekte olan Kocaeli'ne bağlı Gebze ilçesi seçilmiştir. 1999 yılında Gebze'ye bağlı yerleşim bölgeleri olan Darıca, Çayırova ve Dilovası da hesaplamalara dahil edilmiştir (Bu bölgeler 2008 yılında Gebze'den ayrılıp Kocaeli'ne bağlı yeni ilçeler olmuştur.)

Çalışmada ilk olarak Marmara Bölgesi'nde 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen deprem sonrasında hazırlanan rapora göre yaşanan can kayıpları ve bina hasar durumları bulunmuş, ayrıca deprem kayıtları senaryo depremi olarak AFAD-RED Hasar Tahmin Sisteminde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deprem sonrasında gerçek veriler kullanılarak hazırlanan rapora göre Gebze'de 48 can kaybı yaşanmış, 1.162 binada ağır, 3.149 binada orta hasar meydana gelmiştir (Özmen, 2000). AFAD-RED yazılımı hesaplamalarında ise Gebze için 61 can kaybı yaşanacağı, 1072 binada ağır, 3542 binada ise orta hasar meydana geleceği tahmin edilmiştir.



17 Ağustos 1999 depremi için gerçek hasar ve AFAD-RED yazılımı ile yapılan ön hasar tahmini sonuçları incelendiğinde analiz sonuçlarının meydana gelen gerçek kayıplar ile uyumlu olduğu, bu sonuçlar doğrultusunda farklı deprem senaryoları için yapılacak deprem risk analizlerinde AFAD-RED yazılımının güvenle kullanılabilceği saptanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise Gebze ilçesinin coğrafi konumu göz önüne alındığında, kırılması muhtemel S4-S5 fay hattı farklı büyüklükte depremler oluşturacak şekilde kırılmış ve çeşitli deprem senaryoları elde edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 5. Hasar görebilirlik eğrileri örneği.

Wells ve Coppersmith,(1994) tarafından yapılan çalışmaya göre bir fay için kırılma boyu, kırılma genişliği, kırılma alanı ve yüzey yer değiştirmesine göre ayrı ayrı moment manyitüdünü veren ampirik bağıntılar mevcuttur. Kapsamlı olan bu çalışmadaki formüllerden kırılma boyu için saptanmış denklem senaryo depremleri için kullanılabilir (Denklem 2).

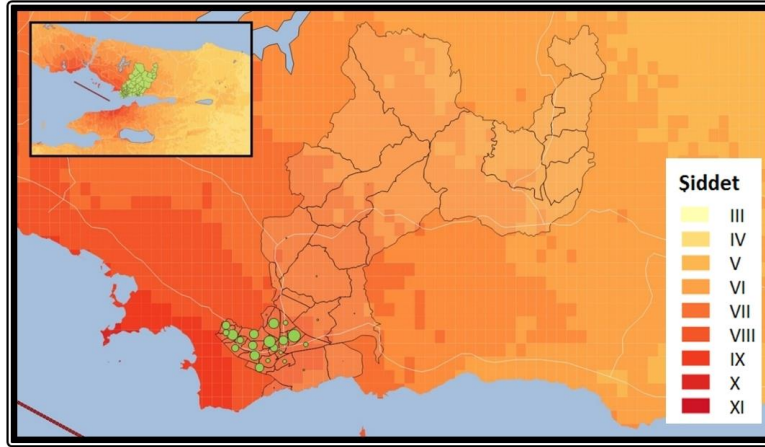
$$M=5.16 + 1.12 \times \log(SRL) \quad (2)$$

Burada M moment manyitüdünü, SRL ise fay yüzey kırılma boyunu ifade etmektedir. Bu formül ile S4-S5 fay hattının maksimum büyüklüğü  $M_w=7.25$  olan deprem üreteceği kabul edilebilir. Senaryo depremler; fay hattının  $M_w=5$ 'ten başlayarak  $M_w=7.25$ 'e kadar farklı büyüklükte depremler ürettiği kabulüyle elde edilmiştir.

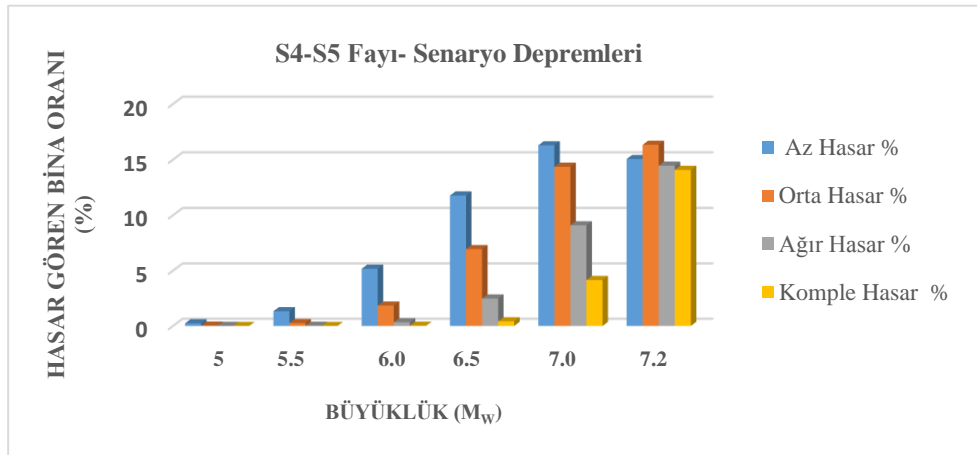
AFAD-RED yazılımı ile yapılan deprem risk analizi sonucunda S4-S5 fay hattının kırılarak maksimum büyüklüğü  $M_w=7.25$  olan bir deprem meydana geldiğinde, Gebze için olası şiddet ve olası hasar durumu Şekil 8'de gösterilmektedir. AFAD-RED yazılımı ile yapılan deprem risk analizi sonucunda S4-S5 fay hattının kırılması durumunda oluşabilecek farklı büyüklükteki deprem senaryoları için olası hasar gören bina oranı (Şekil 9), yaralı insan sayısı oranları hesaplanmıştır (Şekil 10).



Şekil 7. : Marmara bölgesinde fay segment modeli (Erdik vd. 2004).

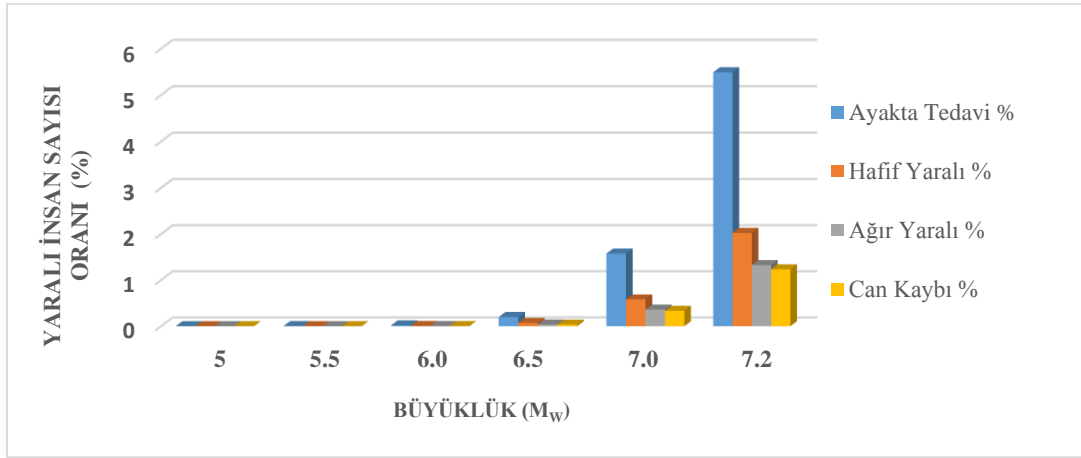


Şekil 8: S4-S5 Fay Hattı,  $M_w=7.25$  için olası şiddet ve olası hasar durumu.



Şekil 9: S4-S5 Fay Hattı hasar gören bina oranı (%)





Şekil 10: S4-S5 Fay Hattı, yaralı insan sayısı oranı (%)

#### 4.TARTIŞMA VE SONUÇLAR

AFAD-RED, büyük bir depremden sonra, Türkiye Ulusal Sismolojik Gözlem Ağı ve Kuvvetli Yer Hareketi Gruplarından sağlanan verileri çevrimiçi veri akışı ile alarak, afet bölgesindeki gerçek zamanlı kayıpların tahmin edilmesi için tasarlanmış ve geliştirilmiş bir Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemi Yazılımı'dır. Yazılım, yerel zemin sınıf, bina envanter, sismik tehlike bilgi ve coğrafi bilgi sistem verilerini kullanarak kayıp haritaları oluşturabilmektedir. Ön hasar tahmini için, spektral yerdeğiştirme ve aletsel şiddet birlikte değerlendirilmektedir. Hesaplamalar, kullanıcı tanımlı konumsal hücrelerden oluşan bir ızgara sistemi ile merkeze bağlanmakta, her bir konumsal hücredeki bina stoku, spektral yerdeğiştirme ve şiddet esaslı hasar görülebilirlik eğrileri ile birleştirilmekte sonuç olarak kayıp tahmini, hasar seviyelerine göre yıkılan bina sayısı esas alınarak yapılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ilk olarak 17 Ağustos 1999 depremi için deprem sonrasında oluşan gerçek hasar ve AFAD-RED yazılımı ile yapılan ön hasar tahmini sonuçları karşılaştırılmış, analiz sonuçlarının meydana gelen gerçek kayıplar ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda AFAD-RED yazılımının Afet Yönetimi için kullanılabilir hızlı ve etkin bir ön hasar tahmin sistemi olduğu belirlenmiştir.

Türkiye için direkt ekonomik kayıplar, kentsel can damarlarındaki direkt kayıplar, kritik tesisler ve ulaşım sistemlerindeki direkt hasarlar konuları AFAD RED bünyesinde geliştirilme aşamasındadır.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı-Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında ve UDAP-G-14-11 nolu proje ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- ASCE/SEI-41 (2007). Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (Asce/Sei 41-06). *American Society of Civil Engineers, Reston, VA.*
- ATC-40 (1996). 40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. *Applied Technology Council, report ATC-40. Redwood City.*
- Başaran Uysal, A., Sezen, F., Özden, S. ve Karaca, Ö. (2014). Classification of Residential Areas According to Physical Vulnerability to Natural Hazards: A Case Study of Çanakkale, Turkey. *Disasters*, **38**, 202-226.
- EMS (1998). European Macroseismic Scale 1998. *Luxemburg.*
- Fahjan, Y., Pakdamar, F., Eryılmaz, Y. ve Kara, F.İ. (2015). Afet Planlamasında Deprem Riski Belirsizliklerinin Değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, **1**, 21-39.
- FEMA-273 (1997). Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, D.C.
- FEMA-356. (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings: Rehabilitation Requirement S. American Society of Civil Engineers Washington, DC,ss.
- Gerdan, S. (2014). Kocaeli Üniversitesinin Afetlerle İlgili Farkındalık, Tutum Düzeyleri Ve Bireysel Önceliklerinin Belirlenmesi. *Eurasian Journal of Educational Research* 159-176.
- Giovinazzi, S. (2005). The Vulnerability Assessment and the Damage Scenario in Seismic Risk Analysis. Phd. Tezi, University of Florence (I) and Technical University of Braunschweig (D).
- HAZUS-MH (2003). Flood Model: Technical Manual. *Federal Emergency Management Agency (FEMA).*
- ISDR (2004). Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives, United Nations Publications.
- Işık, Ö., Aydınlioğlu, H.M., Koç, S., Gündoğdu, O., Korkmaz, G. ve Ay, A. (2012). Afet Yönetimi Ve Afet Odaklı Sağlık Hizmetleri. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, **28**, 82-123.
- Kundak, S. (2014). Kentsel Risklerin Azaltılması. İSMEP Rehber Kitaplar Beyaz Gemi Sosyal Proje Ajansı. <http://www.guvenliyasam.org/Contents/rehber-kitaplar/KENTSEL.pdf> [Erişim 24 Haziran 2014].
- Mestan, Ç.C.Ç. (2005). Deprem Zararlarının Azaltılmasında Fiziksel Planlamanın Rolü Adapazarı Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Özmen, B. (2000). *İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle)*, Türkiye Deprem Vakfı. İstanbul, Türkiye.
- Rossetto, T., Elnashai, A. (2005). A New Analytical Procedure for the Derivation of Displacement-Based Vulnerability Curves for Populations of Rc Structures. *Engineering structures*, **27**, 397-409.
- Taş, N. (2003). Yerleşim Alanlarında Olası Deprem Zararlarının Azaltılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **8**, 225-231.
- TDY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Türkoğlu, H. (2014). Afete Dirençli Şehir Planlama Ve Yapılaşma. İSMEP Rehber Kitaplar Beyaz Gemi Sosyal Proje Ajansı. <http://www.guvenliyasam.org/Contents/rehber-kitaplar/ADSPY.pdf> [Erişim 24 Haziran 2014].
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the seismological Society of America*, **84**, 974-1002.