

An Innovative Approach for Seismic Zonation by Using Geographical Information System

Coğrafi Bilgi Sistemi kullanarak sismik bölgeleme için yenilikçi yaklaşım

¹Ergin Ulutaş

¹Kocaeli University, Engineering Faculty, Department of Geophysical Engineering, Kocaeli, TURKEY

Abstract

An innovative seismic zonation approach has been conducted for a design area. Recently, seismic microzonation models have been improved due to advances in information technology and have been automated using Geographical Information Systems (GIS). However, data availability is a critical issue in the utilization of GIS. Nevertheless, existing data can be useful in various analyses. In this study, possible impacts based on local site effects were applied to prepare a comprehensive seismic zonation map which was conducted for a design area. The local site effects are defined as soil amplification, liquefaction, landslide and surface fault rupture. The results of the illustrated methodology for combining the local site effects could be useful in mitigating the effects of earthquakes, fatality and economic losses in urbanized regions.

Key words: Seismic hazard, local site effects, geographical information system

Önsöz

Tasarlanmış bir alan için yenilikçi (inovatif) bir sismik bölgeleme çalışması uygulandı. Son zamanlarda sismik bölgeleme modelleri, bilgi teknolojilerindeki ilerlemelere bağlı olarak geliştirilmiş ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile eş zamanlı kullanılır hale gelmiştir. Veri yeterliliği CBS kullanımında önemlidir ancak var olan veri çeşitli yaklaşımlar ile de kullanılabilir. Bu çalışmada, yerel zemin koşullarına bağlı olası etkiler, tasarlanan bir alanda kapsamlı bir sismik bölgeleme alanı haritası hazırlamak için uygulandı. Yerel zemin koşulları; zemin büyütmesi, sıvılaşma, heyelan ve yüzey faylanması olarak tanımlandı. Yerel zemin koşullarının etkilerinin birleştirilerek tanımlanan metodolojiye bağlı olarak elde edilen sonuçlar; kentlerde deprem zararlarının, yaşamsal ve ekonomik kayıpların azaltılmasında yararlı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Sismik tehlike, yerel zemin koşulları, Coğrafi Bilgi Sistemi

1. Giriş

Bir bölgede uygun yerleşim alanlarını belirlemek, güvenli binalar yapmak ve yaşam güvenliğini sağlamak için deprem tehlikesinin belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla, depremle birlikte oluşabilecek yıkıcı dinamik kuvvetler, yüzey faylanması, zemin büyütmesi, sıvılaşma ve toprak kayması gibi doğal olayların etkilerini azaltmak için sismik bölgeleme çalışmaları yapılmaktadır [1]. Kapsamlı bir sismik bölgeleme çalışmasında, pek çok faktörün etkisinin birleştirilmesi gereklidir. Bu faktörlerin her biri uzaysal ve tablosal verilerin modellenbildiği Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) çalışmaları ile yapılabilir [1,2,3,4,5]. Bu anlamda CBS, afet planlaması, deprem tehlikesi ve riskinin azaltılmasına yönelik çok miktarda verinin saklı tutulduğu, işlendiği ve

*Corresponding author: Address: Ergin Ulutaş, Faculty of Engineering, Department of Geophysical Engineering, Kocaeli University, 41380, Kocaeli TURKEY. E-mail address: ergin@kocaeli.edu.tr, Phone: +902623033116

modellendiği bir arayüz oluşturmaktadır. Bu tür çalışmalar; deprem tehlikesi altındaki bölgelerde yapılması gereken orta ve uzun dönemli deprem zarar azaltma çalışmalarında da kullanılmaktadır. Zarar azaltmadaki temel esas; deprem olasılığı yüksek bölgelerde, tektonik etkinliğe bağlı olarak, yerel zeminin dinamik ve jeolojik özelliklerine göre, yerleşime uygun alanların belirlenmesidir. Böylece her zemine uygun depreme dayanıklı yapılar ilkeleri oluşturulabilir ve uygulanması sağlanabilir. Şüphesiz bu yöntem, deprem etkilerini en aza indirmede deprem sonrasında uygulanan yara sarma yöntemine göre çok daha etkilidir. Bu çalışma, kuramsal olarak tasarlanmış bir alanda ve kuramsal jeolojik, jeofizik ve jeoteknik verileri CBS ortamında birleştirilerek; kapsamlı bir sismik tehlike integrasyonunu içermektedir.

2. Sismik Tehlike İntegrasyon Metodolojisi

2.1. Eşit ağırlıklı integrasyon metodolojisi

Kuramsal bir alanda, kuramsal veriler için tasarlanan bu çalışmada uygulanan metodoloji; yeteri derecede detaylı ve karmaşık sismik tehlike etkilerini birleştirmeye yönelik tasarlanmıştır. Sismik tehlike katmanları poligonlara bölünmüş, yerel zemin etkileri için tasarlanan poligonlara kuramsal farklı veriler atanmış ve her katman toplam tehlike etkisini değerlendirmede eşit ağırlıklı kabul edilmiştir. Toplam sismik tehlikeyi elde etmek için tasarlanan katmanlar; büyütülmüş pik yer ivmesi (PYİ) katmanı, sıvılaşma potansiyeli katmanı; yüzey faylanması yakınlık katmanı, eğimli alanlar (heyelan) katmanlarıdır.

2.1.1 Büyütülmüş pik yer ivmesi katmanı

Bir bölgede herhangi bir büyüklükte oluşan bir depremin, belirli bir uzaklıktaki kuvvetli yer hareketinin belirlenmesi, deprem tehlikesi çalışmaları için temel oluşturur. Kuvvetli yer hareketi azalım ilişkileri; ölçülen deprem ivmelerinin pik değerlerinin uzaklığa bağlı azalımı ile modellenabilir. Bunun belirlenmesindeki en yaygın yöntem deneysel ivme-uzaklık azalım ilişkileridir [6, 7]. Bu çalışmada; PYİ katmanı; M büyüklüğünde bir depremin R uzaklığında, yeryüzünün herhangi bir noktasında kaya bir ortamda, yaratacağı en büyük yer hareketi değerini veren yer hareketi azalım ilişkilerine dayandırılmıştır. Kaya ortamda PYİ dağılımının modellenmesi; bu tür ortamlarda genellikle zemin büyütmesinin olmadığı ya da çok az olduğundan dolayıdır. Kaya ortamlarda oluşan PYİ'ler den yararlanarak gevşek zeminlerdeki PYİ dağılımları bulunabilir [8]. Bu çalışmada; tasarlanan bir yüzey faylanmasından uzaklaştıkça azalan ivme dağılımları (Şekil 1a); zemin büyütmesi katmanı ile çarpılarak (Şekil 1b), büyütülmüş pik yer ivmesi dağılımının elde edilmesi işlemine dayandırılmıştır (Şekil 1c).

2.1.2 Sıvılaşma potansiyeli katmanı

Depremlerle birlikte oluşacak can ve mal kaybı doğrudan yer sarsıntısı ile ilgili olduğu gibi depremin oluşturacağı sıvılaşmaya da bağlı olabilir. Sıvılaşma, yüzeye yakın kum tabakalarında tanecikler arasındaki boşlukların depremin tekrarlı yüklerine maruz kaldıklarında, tanecikler arasındaki dengenin bozularak kum ile birlikte suyun yüzeye çıkması olayıdır. Sıvılaşma tehlikesi

haritaları; jeolojik ve geoteknik bilgi kullanılarak yapılır. En yaygın sıvılaşma hesaplama yöntemlerinden biri; devirsel gerilme terimi ile zeminin sıvılaşmaya karşı direncini ve deprem yüklemesini (earthquake loading) bir arada açıklayan devirsel kayma gerilmesi yaklaşımıdır [9]. Bu tür hesaplamalarda; belli bir zemin profili için deprem yüklemesi ile zeminin bu yüklemeye karşı direnci karşılaştırılır. Elde edilen sonuçlarla; deprem yükü altında çeşitli zemin çökellerinin sıvılaşma olasılığını “çok yüksek” “çok düşük” veya "kritik" aralığında açıklayan sıvılaşma haritaları hazırlanabilir [10]. Bu çalışmada; tasarlanan kuramsal alanda "yüksek sıvılaşma" "kritik sıvılaşma" ve "sıvılaşma olmayan" poligonlar belirlenmiştir (Şekil 2d).

2.1.3. Eğimli alanlar (heyelan) katmanı

Bir bölgede heyelan potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, sismik bölgeleme çalışmalarında hesaba katılması gereken önemli tehlike etkilerinden biridir. Bu potansiyel en genel olarak deprem büyüklüğü ve uzaklık gibi birkaç etkiye bağlı olarak belirlenebildiği gibi kaymayı oluşturacak kritik ivme, kayma mukavemeti, duraylılık (stabilite) katsayısı, yamaç eğimi, zeminin kohezyonu, tabakanın içsel sürtünme açısı gibi parametrelere bağlı olarak tanımlanabilir. Bir bölgedeki heyelan potansiyeli güvenlik faktörü kriterine göre yüksek, orta, düşük tehlike seviyeleri belirlenebilir [11]. Bu çalışmada; heyelan olasılığı eğimin yüksek ve düşüklüğüne göre tasarlanmıştır. Dört farklı eğim için tasarlanan alan poligonlara ayrılmıştır (Şekil 2e).

2.1.4. Yüzey faylanması yakınlık katmanı

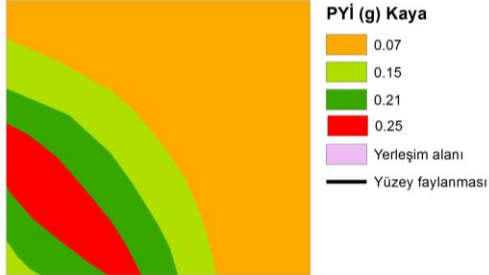
Yüzey faylanması kaynaklanan tehlikenin boyutu genellikle fayın oluşturduğu atımın büyüklüğü ile değerlendirilir. Bunun yanında yüzey faylanmasının olduğu çizgisellikten uzaklaştıkça da faylanmaya bağlı tehlike etkileri görülür. Bu etki faydan uzaklaştıkça derece derece azalır. Bu çalışmada yüzey faylanması olarak tasarlanan çizgisellekten uzaklaştıkça tampon kuşaklar oluşturulmuştur (Şekil 2f). Bu yaklaşım, fayın sadece bir çizgi olarak kabul edilmesine göre daha uygun bir yaklaşımdır.

3. Eşit Ağırlıklı Sismik Tehlike İntegrasyon Uygulaması

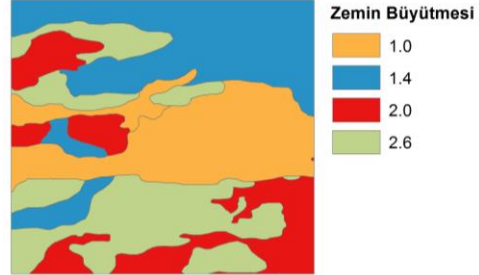
Yukarıda detayları ve oluşturma aşamaları anlatılan her bir katman ve bu katmanlardaki poligonlar; bağımsız birer tehlike etkisi olarak düşünülmüştür. Bu etkiler; CBS yöntembilimine uygun olarak yeniden sınıflandırılmış (Tablo 1). Yeniden sınıflama işlemi, herhangi bir tehlike etkisini, en yüksek ile en düşük arasında sınıflara ayırarak, bu aralıklara sayısal değer atama işlemidir. Çalışmada toplam sismik tehlikeye etkisi, yüksek olacağı düşünülen aralığa yüksek sayısal değer, düşük olacağı düşünülen aralığa da düşük sayısal değer atanmıştır. Sonuç olarak, yeniden sınıflandırılmış ve ağırlıklandırılmış tehlike etkileri, Şekil 2' de gösterilen akış şemasına göre CBS yöntembilimi ile üst üste çakıştırılarak, yüksekten düşüğe doğru, kuramsal tehlike alanı için toplam tehlike etkisi belirlenmiştir (Şekil 3). Sonuçta elde edilen tehlike etki katmanı; yukarıda detayları anlatılan her bir etkinin CBS ortamında ArcMap 10 programı ile her bir katman için eşit ağırlık (%25) kullanılarak toplanması esasına dayalıdır. Tehlike etkisinin

belirlenmesinde "4" en tehlikeli, "0" ise tehlikesiz alanı belirtmektedir. Birleştirilmiş tehlike etki katmanında en düşük "0.5" en yüksek "2.5" bulunmuştur (Şekil 3).

a)



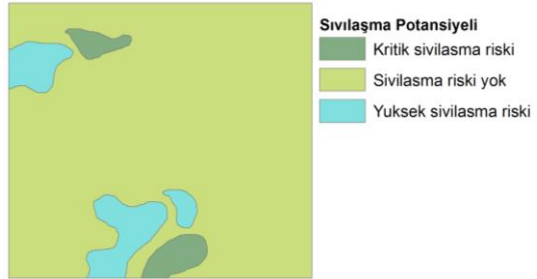
b)



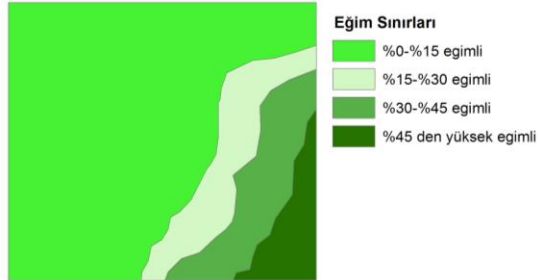
c)



d)



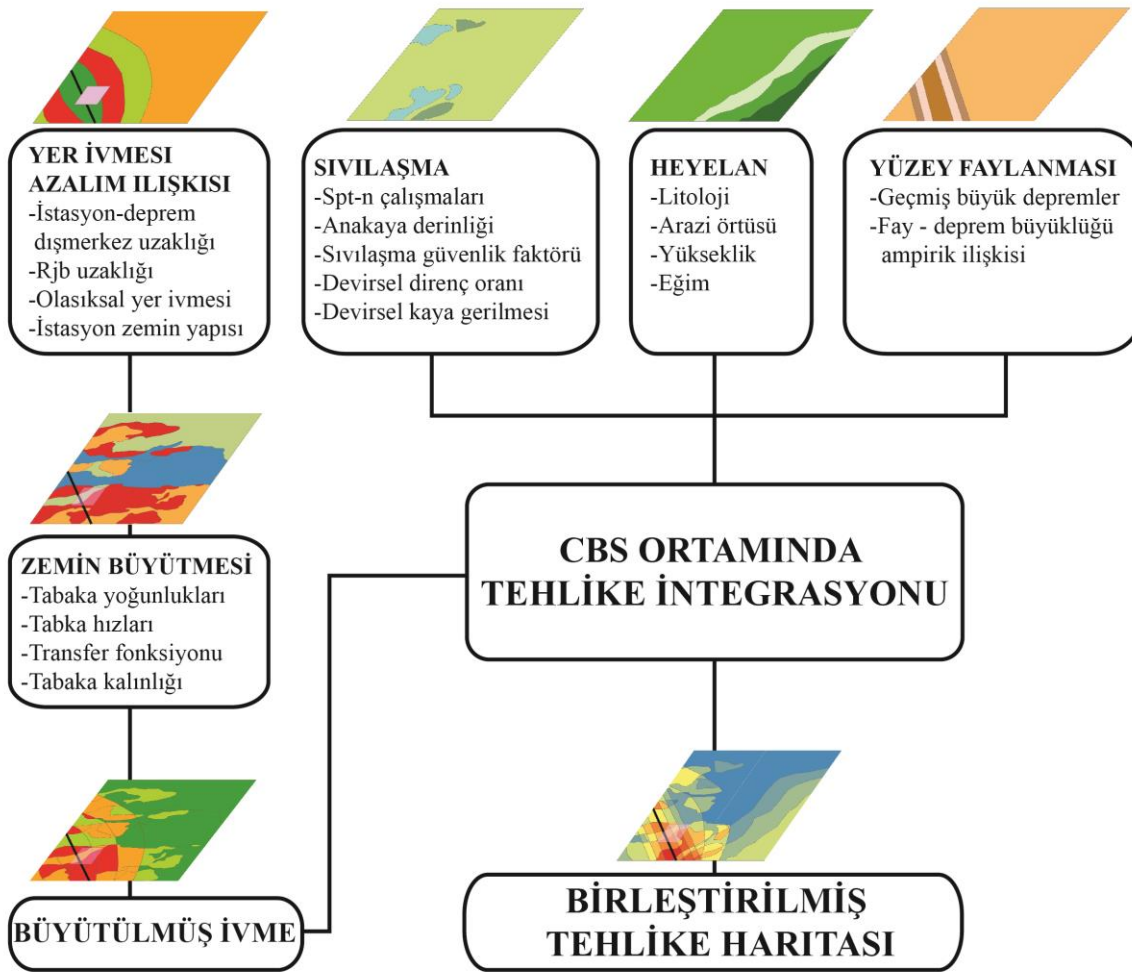
e)



f)



Şekil 1. Eşit ağırlıklı integrasyon için tehlike katmanları



Şekil 2. Tehlike katmanları için girdi veriler ve CBS tabanlı sismik tehlike integrasyonu akış şeması
([8] den derlenmiştir)

Tablo 1. Tehlike katmanları ve yeniden sınıflama değerleri

Tehlike Katmanı	Tehlike Kriterleri	Yeniden Sınıflama
Pik Yer İvmesi	$0.21 \leq PYİ < 0.25$	4
	$0.16 \leq PYİ < 0.20$	3
	$0.08 \leq PYİ < 0.15$	2
	$0.01 \leq PYİ < 0.07$	1
Sıvılaşma Potansiyel	Yüksek Sıvılaşma	2
	Kritik Sıvılaşma	1
	Sıvılaşma yok	0
Eğim sınıflaması	%0 - %15 arası eğimli alanlar	1
	%15 - %30 arası eğimli alanlar	2
	%30 - %45 arası eğimli alanlar	3
	%45'den yüksek eğimli alanlar	4
Yüzey faylanması uzaklık	0-100 m uzaklıktaki alanlar	4
	100-200 m uzaklıktaki alanlar	3
	200-300 m uzaklıktaki alanlar	2
	300 m'den uzak alanlar	1

4. Farklı ağırlıklı şiddet ölçeğinde integrasyon ve uygulama

4.1. Farklı ağırlıklı integrasyon metodolojisi

Farklı ağırlık metodolojisini uygulamada önceki bölümlerde detayları anlatılan büyütülmüş PYİ, yüzey faylanması yakınlık, sıvılaşma potansiyeli ve eğim katmanları kullanılmıştır. Her bir katmana farklı ağırlık verilmesinin yanısıra; her bir tehlike etkisi burada Mercalli Şiddet Ölçeğine (MMI) çevrilerek kullanılmıştır. Bu kabul ile şiddet ölçeği ve yapısal hasar arasındaki ilişkiden dolayı sismik bölgeleme çalışmasının sonucu, potansiyel yapısal hasarların önceden öngörülmesine imkan verecektir. Pik yer ivmesini şiddet ölçeğine dönüştürülmesinde

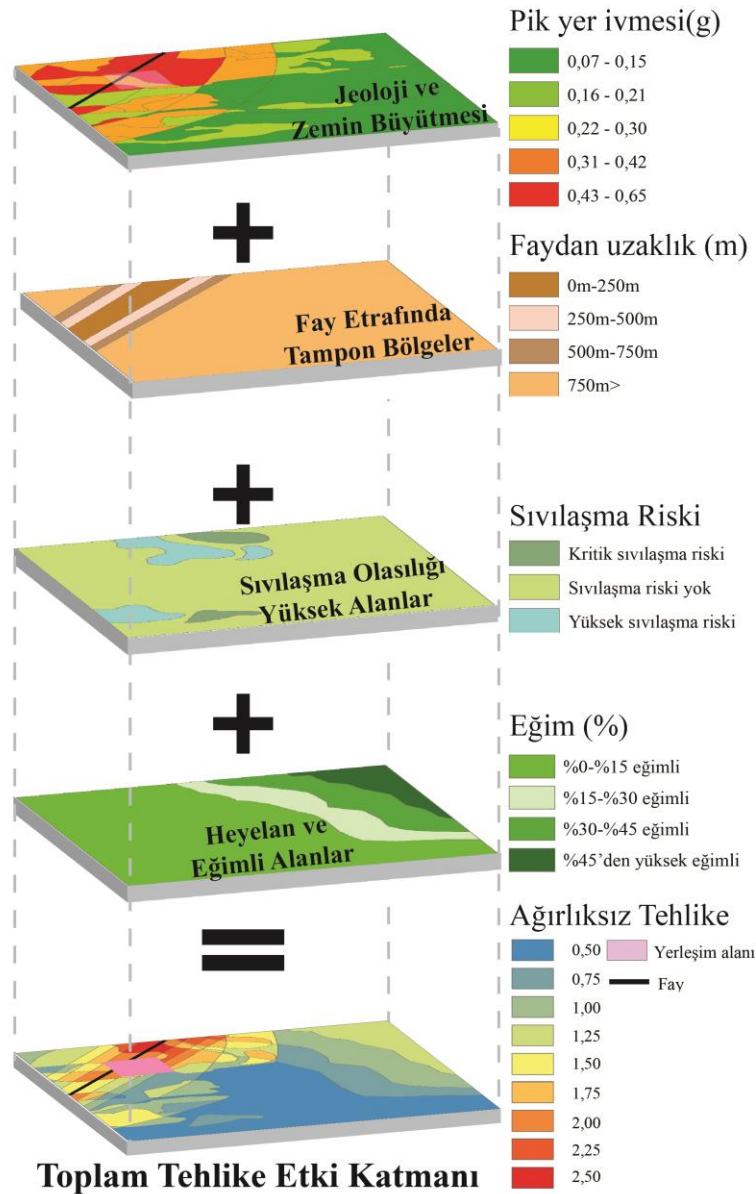
$$\text{Log}(PYİ)=0.014+0.3(MMI) \quad (1)$$

kullanılmıştır [12]. Burada PYİ, pik yer ivmesini, MMI ise tamsayı (desimal) olarak verilen Mercalli Şiddet Ölçeğindeki değerlerdir. Büyütülmüş pik yer ivmesine ait poligonlardaki ivme değerleri bu bağıntı ile şiddet ölçeğine dönüştürülmüştür (Şekil 4a). Şiddet ölçeğine dönüştürülmüş PYİ poligonları, [8] tarafından önerilen ağırlıklandırma işlemi ile sıvılaşma, heyelan ve yüzey faylanması etki katmanları ayrı ayrı birleştirilmiştir (Şekil 4b,4c,4d). Ayrıca

katmanlardaki tüm tehlike etkileri bir arada değerlendirilerek de toplam etki bulunmuştur. Tüm tehlike etki katmanları için önerilen ağırlıklandırma;

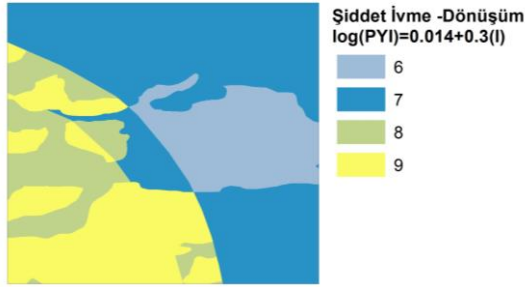
$$MMI_F = 0.30MMI_{GS} + 0.25MMI_{LIQ} + 0.25MMI_{FR} + 0.20MMI_{LAN} + 1.5 \quad (2)$$

ile verilmiştir [8]. Burada MMI_F , tüm katmanların etkisi sonucu hesaplanan toplam şiddet değeridir ve 12'den az olmalıdır. MMI_{GS} şiddet ölçeğinde pik yer sarsıntısı etkisi, MMI_{LIQ} şiddet ölçeğinde sıvılaşma etkisi, MMI_{FR} şiddet ölçeğinde yüzey faylanması uzaklık etkisi, MMI_{LAN} şiddet ölçeğinde heyelan etkisidir.

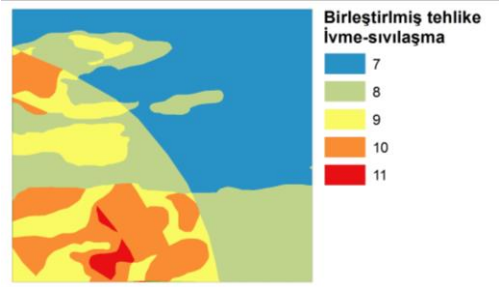


Şekil 3. Kuramsal uygulama ağırlıksız tehlike integrasyonu

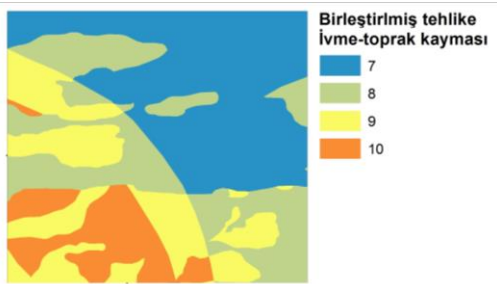
a)



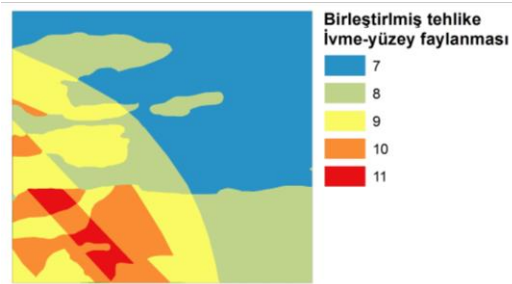
b)



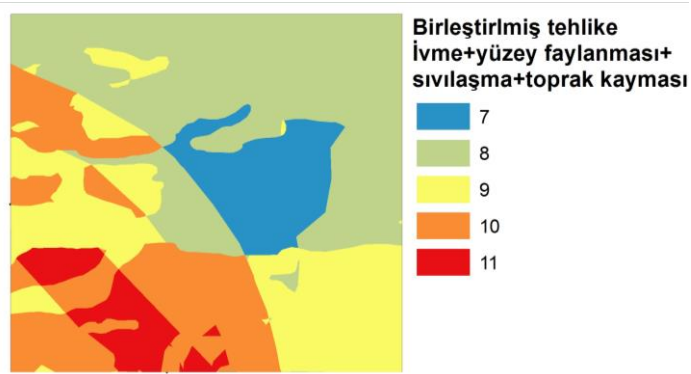
c)



d)



e)



Şekil 4. Kuramsal uygulama ağırlıklı integrasyon için tehlike katmanları

5. Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada, yerel zemin koşullarına (pik yer ivmesi, sıvılaşma, eğim, yüzey faylanması) bağlı olası etkiler, tasarlanan kuramsal bir alanda sismik tehlike etkisini belirlemek için değerlendirildi. Kuramsal örnek; önce her bir katmanı eşit ağırlıklı sonra da farklı ağırlıklı kabul ederek ve farklı ağırlıklı katmanları şiddet ölçeğine dönüştürerek tasarlandı. Eşit ağırlık kullanılarak yapılan tehlike belirleme çalışmasında tehlike etki aralığı 4.0 en büyük tehlike etkisi üzerinden 0.5 ve 2.5

aralığında yer aldı. Tehlike etkilerinin dağılımında özellikle etkinin büyüklüğüne göre alansal genişliği çok daha etkin olmuştur. Her bir katmanda en yüksek etkinin birleştiği alanlar; toplam etkiye en çok katkıyı sağlamışlardır. Bazı katmanlarda herhangi bir etkinin değeri diğerlerinden çok büyük olmasına rağmen toplam etki de düşük değerler gözlemlenmiştir. Ağırlıksız çalışmanın sonuçları genel bir tehlike ön bilgisi olarak kullanılabilir ancak bazı parametreler bir bölge için tehlike etkisinde diğerlerine göre daha baskın olabilir. Bu nedenle her bir parametreye verilen eşit ağırlık; toplam tehlikenin belirlenmesinde yanıltıcı sonuçlara yol açabilir.

Farklı ağırlık verilerek yapılan şiddet ölçeğine dönüştürülmüş tehlike çalışmasında ise özellikle ağırlık etkisinin büyük olduğu alanlarda tehlike etkileri de büyük değerler almıştır. Farklı ağırlıklı veriler için tehlike etki katmanları; hem 2 ayrı etki katmanı birleştirilerek hem de 4 etki katmanı birleştirilerek uygulanmıştır. İvme ve yüzey faylanması birleştirildiği katmanlardaki toplam etki; diğerlerine göre daha çok olmuştur. Bundaki en büyük etki faylanma alanına yakınlık ile pik yer ivmesinin faya daha yakın alanlarda yüksek olmasından ve pik ivme etki katmanına daha çok ağırlık verilmesinden kaynaklanmıştır. Sıvılaşma etki katmanının ise özellikle pik ivme değerlerinin yüksek olduğu alanlarda tehlikeyi artırıcı etki yarattığı bulunmuştur. Eğim etki katmanı özellikle yüksek eğimli alanlarda tehlikeyi artırmış ancak pik yer ivmesi etkisinin düşük olduğu alanlarda eğim yüksek olduğu için yüzey faylanma etki katmanına ve sıvılaşma etki katmanına göre toplamda daha düşük tehlike artırıcı rol oynamıştır.

Çalışmada uygulanan tehlike yaklaşım metodolojisi; yerel zemin koşullarının depremle oluşan tehlikenin boyutunu hangi ölçütte artırdığının belirlenmesi açısından önemlidir. Son yıllarda gelişen CBS yazılımlarına bağlı olarak da farklı etkilerin bir arada değerlendirilmesi ve hızlı bir biçimde yorumlanması giderek yaygınlaşmakta ve artmaktadır. Şüphesiz ki bu tür tehlike çalışmaları; deprem ve etkilerini sadece depremin büyüklüğü ve faylanmanın boyutuna göre değerlendirmenin yanı sıra bir depremin hemen ardından yerel zemin koşulları ile etkileşiminin ortaya koyulması açısından önemlidir.

Kaynaklar

- [1] Ulutaş E. Doğu Marmara sismik bölgeleme, Kocaeli il sınırları ve İzmit yerleşim alanının Sismik mikrobölgelemesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2006, pp. 212.
- [2] Nath SK. Seismic Hazard Mapping and Microzonation in the Sikkim Himalaya through GIS Integration of Site Effects and Strong Ground Motion Attributes, Natural Hazards 2004, 31:319-342.
- [3] Slob S, Hack R, Scarpas T, Bemmelen B, Duque A. A methodology for seismic microzonation using GIS and SHAKE-a case study from Armenia, Engineering Geology for Developing Countries - Proceedings of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment, Durban, South Africa, 2002.
- [4] Ganapathy GP. First level seismic microzonation map of Chennai city – a GIS approach, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011; 11: 549-559.

- [5] Turk T, Gümüşay U, Tatar O. Creating infrastructure for seismic microzonation by Geographical Information Systems (GIS): A case study in the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), *Computers & Geosciences* 2012, 43; 167–17.
- [6] Ulutaş, E, Özer MF. Empirical attenuation relationship of peak ground acceleration for Eastern Marmara region in Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2010, 35: 187-203.
- [7] Ulutaş E, Coruk Ö, Karakaş A. A Study of Residuals for Strong Ground Motions in Adapazarı Basin, NW Turkey, By Ground Motion Prediction Equations (GMPEs), *Studia Geophysica et Geodaetica* 2011, 55: 213-240.
- [8] King SA, Kremidjian AS. Regional Seismic Hazard and Risk Analysis Through Geographic Information Systems, The John A. Blume Earthquake Engineering Center; 1994, Report No. 111.
- [9] Seed HB, Idriss IM. Ground motion and soil liquefaction during earthquakes, *Earthquake Engineering Research Institute*, Berkeley, CA, 1971, pp.134.
- [10] Juang CH, Elton J. Use of fuzzy sets for liquefaction susceptibility zonation, *Proceedings of the fourth international conference on seismic zonation*, Stanford, California, August 25-29, 1991, 2: 629-636.
- [11] Siyahi BG, Ansal A. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazard, TC4 Committee of ISSMFE, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering; 1993, pp.55.
- [12] Trifunac MD, Brady AG. On the Correlation of seismic Intensity with Peaks of Recorded Strong Ground Motion. *Bulletin of the Seismological Society of America* 1975, 1: 139-162.