

# Deprem sonrası arazi örtüsü/arazi kullanımını analizinde uzaktan algılama ve CBS entegrasyonunun rolü

Cihangir AYDÖNER <sup>1\*</sup>, Derya MAKTAV <sup>2</sup>

<sup>1</sup> TÜBİTAK MAM, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, P.K. 21, 41470 Gebze, Kocaeli

<sup>2</sup> İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

Türkiye’de 1999’dan sonra deprem araştırmalarındaki artışa rağmen bugün bu araştırmaların yeterli olduğu söylenemez. Halbuki deprem konusundaki karar ve politikaların bilimsel araştırmalara dayanması önemlidir. 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen depremin Kocaeli ili arazi örtüsü/arazi kullanımında yarattığı etkiler, farklı spektral ve mekansal çözünürlüklü (NOAA, ERS, LANDSAT, SPOT, IRS) uydu verilerinin ve yersel verilerin (jeoloji, yükseklik, toprak vb.) entegrasyonu ile analiz edilmiştir. Çalışma iki ana aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, deprem öncesi ve sonrası uydu verilerinin analizi ile, yer kabuğu deformasyonları, deprem öncesi ve sonrasındaki termal anomaliler, şehir dokusu ve kıyı çizgisindeki değişimler analiz edilmiştir. İkinci aşamada ise, Kocaeli ilindeki jeolojik formasyonlar, deformasyonlar, toprak sınıfları, eğim, ana ulaşım ağı ve yerleşim durumu dikkate alınarak çok kriterli değerlendirme yöntemi ile yerleşime uygunluk analizi yapılmış ve sonuçlar uydu verilerinden üretilen bilgiler ile yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, SAR interferometre, arazi örtüsü/arazi kullanımı, uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemi, çok kriterli değerlendirme yöntemi.

## Land cover/land use analysis after an earthquake through integration of satellite and ground data

### Abstract

In spite of the increase in earthquake researches in Turkey after 1999, today it is not said these researches are sufficient. However it is important that the decisions and policies about earthquake should be based on scientific reseaches. The adverse effects of the earthquake of August 17, 1999 on the land use/land cover of the Kocaeli Province were analyzed through integration of (NOAA, ERS, LANDSAT, SPOT, IRS) satellite data of varying spectral and spatial resolutions with ground data (geology, elevation, soil etc.). This study was carried out in two main stages. The first stage consisted of studies on the earth crust deformation, thermal abnormalities occurring before and after the earthquake, damages in the urban texture and changes in the coastline through analysis of satellite data before and after the earthquake. The second stage involved settlement suitability analysis by multi criteria evaluation methodology taking into account of the geologic formations of the Kocaeli Province, land cover, soil classes, slope, main transportation network and urbanization status and the results obtained were interpreted by the information generated through satellite images.

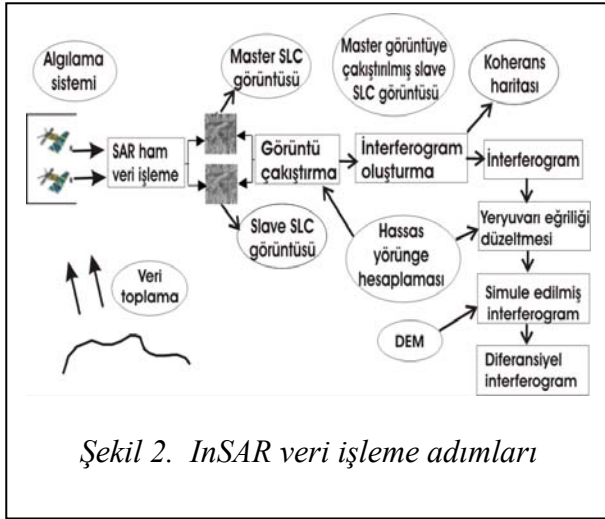
**Keywords:** Earthquake, SAR interferometry, land cover/land use, remote sensing, geographical information system, multi-criteria evaluation method.

---

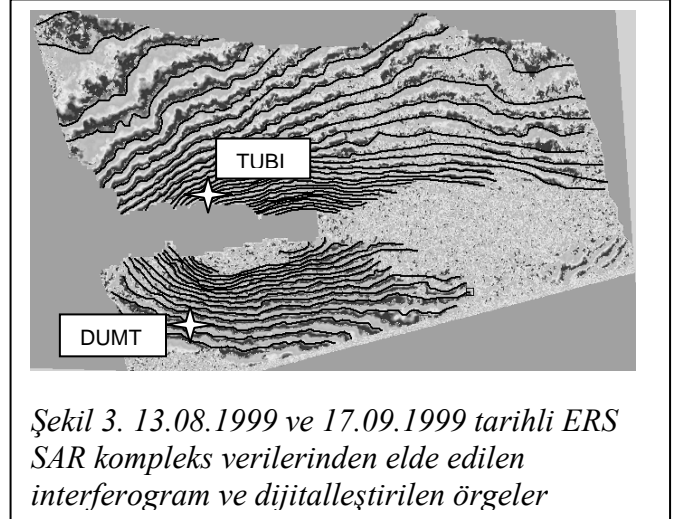
\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Cihangir AYDÖNER. Cihangir.Aydoner@mam.gov.tr; Tel: (262) 677 29 70.



farklı noktadan alınmış SAR verilerinin faz bilgilerini kullanarak o bölgedeki yükseklik modeli veya meydana gelen deformasyonlar ölçülebilir. InSAR verilerinin işlenmesi sürecinde Şekil.2’de belirtilen adımlar söz konusudur. Şekil.2 incelendiğinde, öncelikle ham olarak uydulardan elde edilen master (birinci) ve slave (ikinci) görüntülerde kayıtlı bulunan faz bilgileri korunarak, SLC formatındaki SAR verileri oluşturulur. Daha sonra slave SLC görüntü, master SLC görüntüye göre düzeltilerek çakıştırma işlemi yapılır. Çakıştırma işleminden sonra slave görüntünün kompleks SAR değerleri ile master görüntünün kompleks eşleniği çarpılarak interferogram oluşturulur. Çarpma işlemi sonunda her bir piksel için ortalama genlik değeri ve faz farkı bilgileri elde edilir.



Şekil 2. InSAR veri işleme adımları



Şekil 3. 13.08.1999 ve 17.09.1999 tarihli ERS SAR kompleks verilerinden elde edilen interferogram ve dijitalleştirilen örgeler

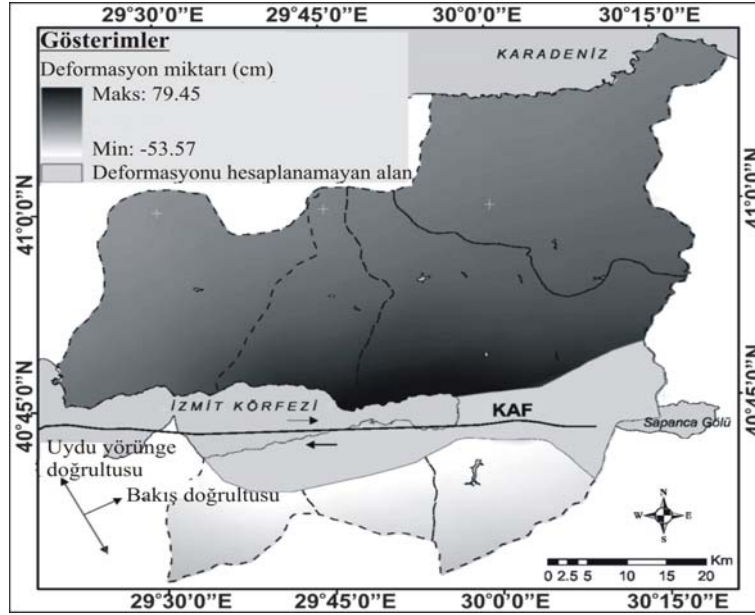
NASA/JPL’de geliştirilen ve LINUX işletim sistemi altında çalışan ROIPAC InSAR paket programı yardımı ile 22556 ve 23057 yörünge numarasına sahip veri çifti için üretilen interferogram Şekil 3’te verilmiştir. Burada hesaplanan deformasyon, uydunun bakış doğrultusuna ait göreceli deformasyondur. Şöyle ki; Şekil 3’te Karadeniz kıyısından başlayarak İzmit Körfezi’nin kuzeyine kadar sayabildiğimiz örge sayısı 26’dır. Dolayısı ile Karadeniz kıyılarına göre, İzmit Körfezi’nin kuzey kesimleri, yaklaşık olarak  $26 \times 2.8 \text{ cm} \approx 72,8 \text{ cm}$ ’lik bir deformasyona uğramıştır. İnterferogram görüntüsünden yararlanarak doğrudan deformasyon bilgisine ulaşmak için her bir örge için ekran üzerinden dijitalleştirilmesi yoluna gidilmiştir. Şekil 3’te, dijitalleştirilmiş olan her bir örge için kesin deformasyon değerlerini belirlemek amacıyla, çalışma bölgesinde TÜBİTAK MAM YDBE tarafından kurulan ve bölgede sürekli veri toplayan 2 adet GPS istasyonundan alınan veriler kullanılmıştır. Kuzey Anadolu Fayı’nın (KAF), doğrultu atımlı, yani düşey hareketi yok denecek kadar az ve sadece yatay düzlemde hareket ettiği göz önünde bulundurulursa, örgelerin net olarak elde edildiği bölgelere ait uydu bakış doğrultusundaki deformasyon miktarı Hanssen (2001)’den ERS uydusu için,

$$d_r = -0.0678d_n + 0.3848d_e \quad (1)$$

$d_r$  : Uydu bakış doğrultusundaki deformasyon  
 $d_n$ : Kuzey-güney doğrultusundaki deformasyon  
 $d_e$ : Doğu-batı yönündeki deformasyondur.

Buna göre, dijitalleştirilen her bir örge için uydunun bakış doğrultusuna ait kesin deformasyon değerleri hesaplanmış olup uydu bakış doğrultusuna ait mutlak deformasyon haritası Şekil 4’te

verilmiştir. Burada KAF'nın kuzeyinin, doğu yönünde, güneyinin ise, batı yönünde bir deformasyona uğradığını belirtmek gerekir.

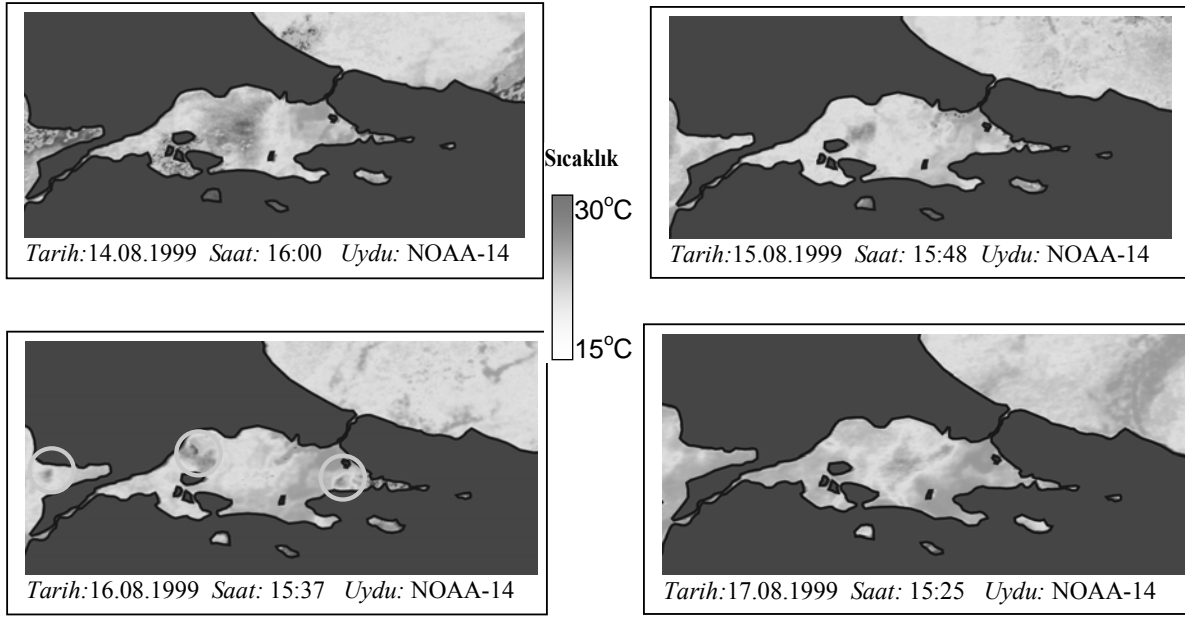


Şekil 4. Uydu bakış doğrultusuna ait deformasyon miktarı.

#### NOAA-AVHRR verileri ile deprem öncesi ve sonrası termal anomalilerin izlenmesi

Çeşitli literatürler, büyük depremler öncesinde ortaya çıkan sıcaklık artışının belirlenmesinde NOAA AVHRR uydu görüntülerinden yararlanılabileceğini göstermektedir. Nitekim, Qiang vb. (1991,1992) Datong depremi (18 Ekim 1989, M=6.1), Changsu depremi (9 Şubat 1990, M=5.1) ve Gonghe depremi (26 Nisan 1990, M=7.0) öncesinde termal anomaliler saptamıştır. Aynı şekilde, Orta Asya'da 7 yıl boyunca elde edilen termal görüntüler analiz edilerek, sıcaklık değişimi ile sismik aktivite arasında bir ilişki kurulmuştur (Tronin vb., 2002). Oluşan bu sıcaklık değişimleri Çin ve Japonya'da farklı şekillerde ortaya çıkmıştır. Pekin'de depremden 6 ile 24 gün önce, uzunluğu 700 km, genişliği 50 km olan bir alanda, büyüklüğü 4.7'den büyük depremler için 3°C'lik bir sıcaklık değişimi saptanmıştır. Buna karşılık, Japonya'da ise depremden 7 ile 10 gün önce ve daha da küçük bir alanda saptanmıştır (Tronin vb., 2002). Ayrıca, 7 Eylül 1999 tarihinde Atina'da meydana gelen 5.9 büyüklüğündeki depremin öncesinde de termal anomaliler saptanmıştır (Filizzola vb., 2004).

Bu çalışma kapsamında, 17 Ağustos 1999 tarihinde saat 03.02 de meydana gelen depremin öncesi ve sonrası için hem kara yüzeyindeki, hem de deniz yüzeyindeki sıcaklıklar analiz edilerek olası anomaliler araştırılmıştır. Deprem öncesi (14,15,16 Ağustos) ve sonrasında (17,18,19 Ağustos) saat 04.00–06.00 arasında ve saat 15.00–16.00 arasında TÜBİTAK-MAM'da bulunan uydu yer istasyonundan elde edilen NOAA uydu verileri, deniz yüzeyi sıcaklığı ve kara yüzeyi sıcaklığı olmak üzere iki grupta değerlendirilerek, sıcaklık haritaları üretilmiştir. Özellikle deprem öncesi öğleden sonra elde edilen görüntülerden hesaplanan deniz yüzeyi sıcaklıkları incelendiğinde, önemli bulgulara rastlanmıştır (Şekil 5).



Sekil 5. Deprem öncesi ve sonrasında saat 15 00 ile 16 00 arasındaki deniz yüzeyi sıcaklığı

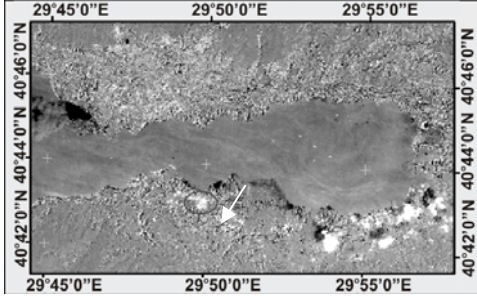
Deprem bir gün öncesinde saat 15:37'de alınan görüntüde Gelibolu Yarımadası'nın batısındaki bölgede, Çınarcık ile Adalar arasındaki bölgede ve Tekirdağ ile Marmara Adası arasındaki bölgede olmak üzere toplam üç farklı noktada yaklaşık 2-3°C lik sıcaklık artışları göze çarpmaktadır.

#### LANDSAT ve SPOT verileri ile yerleşim alanı ve kıyı çizgisi değişimlerinin haritalanması

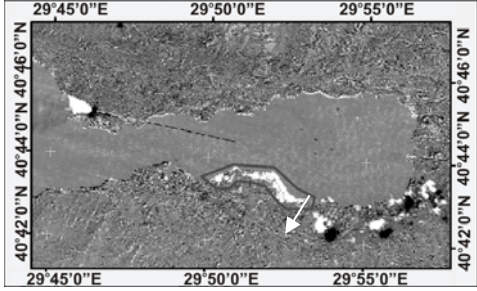
LANDSAT, SPOT ve IRS verileri afet sonrasında gerekli müdahalenin yapılması açısından geniş ölçekteki hasar belirlenmesinde önemli bilgiler sağlamaktadır. Kocaeli ilini kapsayan deprem öncesi (10.08.1999 tarihli) LANDSAT-7 görüntüsü ile deprem sonrası (18.08.1999 tarihli) LANDSAT-5 görüntüsü birlikte analiz edilerek deprem sonrasında İzmit Körfezi kıyı çizgisinde ve yerleşim birimlerinde oluşan değişimler saptanmıştır. Gerekli dijital ön düzeltme işlemlerinin (atmosferik, radyometrik ve geometrik düzeltme) yapılmasından sonra, yerleşim birimlerinde oluşan hasarların belirlenmesi için LANDSAT görüntülerinin görünür bantları, İzmit Körfezi kıyı çizgisinde meydana gelen değişimin saptanması için ise kızılötesi bantlar kullanılmıştır. Değişimlerin saptanmasında ana bileşenler analizi kullanılmıştır (Şekil 6a, 6b).

LANDSAT uydusuna göre mekansal çözünürlüğü daha yüksek olan deprem öncesi ve sonrasına ait SPOT verileri ile de, kıyıda ve yerleşim birimlerinde oluşan hasarların tespitine yönelik benzer nitelikte analizler yapılmıştır. Deprem öncesine (15.07.1999) ve sonrasına (20.08.1999) ait 10m çözünürlüklü SPOT-PAN verilerine gerekli düzeltme işlemleri uygulandıktan sonra fark alma yöntemi ile değişim saptama analizi yapılmıştır. SPOT verileri ile, kıyı çizgisinde oluşan değişimin saptanması için daha farklı bir çalışma yapılmıştır. Deprem öncesi ve sonrası kıyı çizgileri ile birlikte, SPOT karma verileri ile aynı ölçekte veri detayına sahip olan 1976 yılına ait 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritadaki kıyı çizgisi 3. bir kıyı çizgisi olarak dijitalleştirilmiştir. Üç farklı kıyı çizgisinin bir arada gösterildiği haritanın yorumlanmasından sonra Gölcük kıyısında çöken alanın 1976 yılında deniz olduğu saptanmıştır (Şekil 6c).

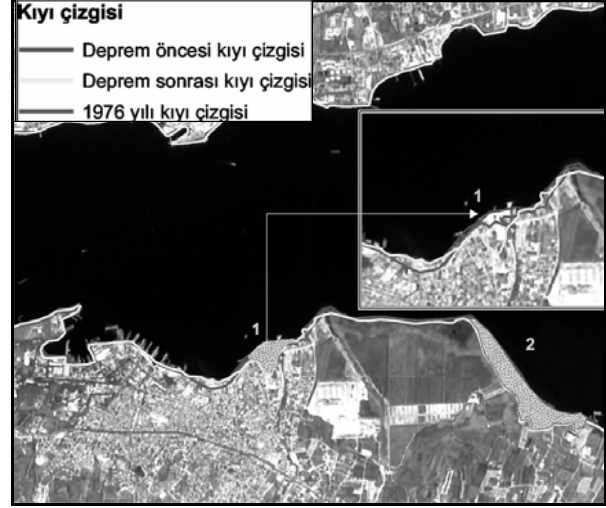
(a) Yerleşim birimlerindeki değişimler (LANDSAT)



(b) Kıyı çizgisindeki değişimler (LANDSAT)



(c) SPOT verileri ile kıyı çizgisi değişimlerinin analizi



Şekil 6. LANDSAT ve SPOT verileri ile deprem sonrası oluşan değişim analizleri

LANDSAT ve SPOT verileri kullanılarak yapılan değişim saptama çalışmalarının kontrolü için, yaklaşık 1/15.000 ölçekli bir haritanın detayına sahip IRS verilerinden yararlanılmıştır. Bu veriler yüksek mekansal çözünürlükleri nedeniyle, bir afet bilgi sistemi alt yapısı için önemli olan güncel arazi örtüsü/arazi kullanım haritası ile güncel yerleşim ve ulaşım durumu haritası için önemli bir kaynak oluşturmuştur.

### CBS ve çok kriterli değerlendirme yöntemi ile yerleşime uygunluk analizi

Son on yılda gelişen bilişim sektörüne paralel olarak CBS'nin çok kriterli değerlendirme yöntemi ile entegrasyonu sağlanmış ve karar verme sürecinde kullanıcılara önemli kolaylıklar sunulmuştur. Bu nedenle, karar verme problemlerinin çözümünde bu yöntem büyük ilgi görmüş ve özellikle arazi uygunluk değerlendirmeleri için çok yararlı bir yöntem haline gelmiştir (Pereira ve Duckstein, 1993; Malczewski, 1996; Joerin vb., 2001). CBS tabanlı çok kriterli değerlendirme yöntemi, bir afet yönetiminde daha hızlı ve optimal kararların verilebilmesi açısından en önemli karar destek mekanizmasıdır. 17 Ağustos 1999 Marmara depremi esas alınarak çok kriterli değerlendirme yöntemi ile, uydu verileri ve yersel veriler entegre edilerek, deprem açısından yerleşime uygunluk analizi yapılmıştır. Mevcut veri olanakları ve CBS yeteneklerinin kullanıldığı bu yöntem kapsamında izlenen adımlar Şekil 7'de özetlenmiştir. Kocaeli ili kapsamında 5 sınıflı olarak üretilen deprem açısından yerleşime uygunluk haritası için dikkate alınan kriter haritaları aşağıda verilmiştir:

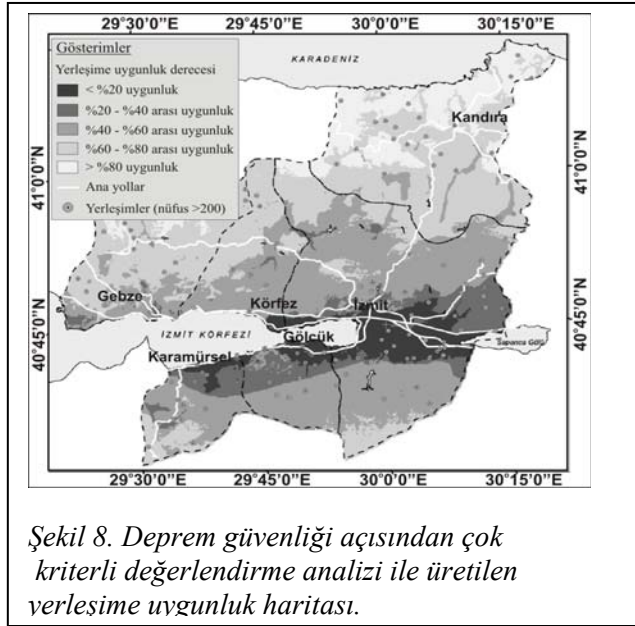
1. Deprem büyüklüğünün, fay özelliklerinin ve jeolojik formasyonların ana girdi olarak kullanıldığı, Campbell (1997)'e göre üretilen en büyük yatay yer ivmesi durumu haritası.
2. ERS-SAR verilerinden üretilen, uydu bakış doğrultusuna ait deformasyon haritası.
3. Toprak verilerinden üretilen arazi kullanım kabiliyet sınıfı haritası.
4. Yükseklik verilerinden üretilen eğim durumu haritası.
5. Ana ulaşım ağına yakınlık durumu.

6. Mevcut yerleşime yakınlık durumu.

Yukarıda verilen önem sıralamasına uygun olarak belirlenerek geniş ölçekte potansiyel yerleşime uygunluk haritası üretilmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. Çok kriterli karar verme yöntemi ile yapılan yerleşime uygunluk analizi adımları



Şekil 8'de yapılaşma açısından uygunluk derecesini gösteren sonuç harita, deprem sonrası yaşanan can ve mal kaybının yüksek olmasının en önemli nedenlerinden birini açıklamaktadır. Tüm Kocaeli bazında yerleşime uygunluk derecesini gösteren söz konusu haritadan hesaplanan alan ve yüzde değerleri Tablo-1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kocaeli yerleşime uygunluk derecesi alan dağılımları

	Oran aralığı (%)	Alan (Ha)	Alan (%)
Yerleşime uygunluk derecesi	0-20	26033.6	7.6
	20-40	30799.1	9.0
	40-60	122979.4	35.8
	60-80	120662.5	35.1
	80-100	42824.4	12.5
<b>TOPLAM</b>		<b>343299.0</b>	<b>100.0</b>

Tüm il bazında mevcut olan yerleşimin de içerisinde bulunduğu yapılaşma alanlarının, Karamürsel ilçesi için 2828 ha ile %100'ünün, Gölçük ilçesi için 1356.5 ha ile %92.9'unun, İzmit merkez ilçesi için 6374.8 ha ile %61.4'ünün, Körfez ilçesi için 925.4 ha ile %30.9'unun, yerleşime uygunluk açısından en düşük değere sahip %20'den küçük bölgede bulunduğu saptanmıştır. Dolayısıyla, Gölçük, İzmit, Körfez ve Karamürsel ilçelerindeki mevcut yerleşimin deprem açısından düşük yüzdeye sahip bölgelerde bulunması, deprem sonrası yaşanan büyük mal ve can kaybının en önemli nedenleri arasındadır. Gebze ilçesindeki yerleşimin %49.9'u yerleşime uygunluk açısından yüksek sayılabilecek %40-%60 aralığındaki bölgede, Kandıra ilçesindeki yerleşimin %80'i yerleşime uygunluk açısından en yüksek değere sahip %80-%100 aralığındaki bölgede bulunmaktadır.

## Sonuç ve Öneriler

Günümüzde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi teknolojileri, afetlerin izlenmesi, değerlendirilmesi, yönetimi ve zararların en aza indirilmesi konusunda uygun stratejileri belirlemede önemli rol oynamaktadır. Ancak, ülke olarak örneğin depremler ile iç içe yaşamamıza rağmen deprem öncesinde ve sonrasında bu teknolojileri kullanarak arazi kullanım analizlerini yapmada ve buna uygun planlama faaliyetlerini gerçekleştirmede yetersiz kalmaktadır. Bu kapsamda çeşitli meslek gruplarına ait araştırma yöntemlerini de kullanarak, geniş ölçekte altlık oluşturacak arazi kullanım haritaları ve doğal afetlere karşı duyarlılık haritaları hazırlamak afetlere hazırlık açısından önemli bir adım olacaktır. Uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu kullanılarak Kocaeli ili için yapılan bu örnek uygulamanın, deprem tehdidi altında bulunan diğer iller için de yapılması, bu bölgelerde yaşanacak olası depremlerin an az hasarla atlatılması bakımından önem taşımaktadır. Doğal afet olarak depremin esas alındığı bu çalışmada yararlanılan çok kriterli değerlendirme yönteminin ülkemizdeki kullanımının, planlama faaliyetlerinde daha isabetli ve doğru kararların alınması açısından, gerek merkezi yönetim, gerekse yerel yönetimler bazında yaygınlaştırılması yararlı olacaktır.

## Kaynaklar

- Campbell, K. W., (1997). Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra, *Seismological Research Letter*, **68**, 154–179.
- DPT, (1999). Depremin ekonomik ve sosyal etkileri muhtemel finansman ihtiyacı kısa-orta ve uzun vadede alınabilecek tedbirler, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı raporu, 127 sf., Ankara.
- Filizzola, C., Pergola N., Pietrapertosa C., Tramutoli V., (2004). Robust satellite techniques for seismically active areas monitoring: a sensitivity analysis on September 7, 1999 Athens's earthquake, *Physics and Chemistry of the Earth*, **29**, 517–527.
- Gens, R. ve Vangenderen, J.L., (1996). SAR interferometry - issues, techniques, applications. *International Journal of Remote Sensing*, **17**, 1803-1835.
- Hanssen, R. F., (2001). *Radar Interferometry: Data interpretation and error analysis*, 308 sh., Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Janssen, R., Rietved, P., (1990). *Multicriteria analysis and GIS: an application to agriculture landuse in the Netherlands* in Scholten, H., Stilwell, J., eds, *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*, 129–138, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Joerin, F., Thériault, M., Musy, A., (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment, *International Journal of Geographical Information Science*, **10**, 321–339.
- Madsen, S. N., Zebker, H. A. ve Martin, J., (1993). Topographic Mapping Using Radar Interferometry: Processing Techniques, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **31**, 246-256.
- Malczewski, J. A., (1996). GIS-based approach to multiple criteria group decision-making, *International Journal of Geographical Information Science*, **10**, 321–339.
- Massonnet, D., ve Feigl, K.L., (1998). Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface, *Reviews of Geophysics*, **36**, 441-500.
- Pereira, J. M. C., Duckstein, L., (1993). A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation, *International Journal of Geographical Information Science*, **7**, 407–424.
- Qiang, Z. J., Xu, X. D., Dian, C. G., (1991). Thermal infrared anomaly precursor of impending earthquakes, *Chinese Science Bulletin*, **36**, 319–323.
- Qiang, Z. J., Dian, C. G., (1992). Satellite thermal infrared impending temperature increase precursor of Gonghe earthquake of magnitude 7.0, Qinghai Province, *Geoscience*, **6**, 297–300.
- Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I.R., Li, F.K., Madsen, S.N., Rodriguez, E. ve Goldstein, R. M., (2000). Synthetic aperture radar interferometry, *Proceedings of IEEE*, **88**, 333– 382.
- Tronin, A. A., Hayakawa, M., Molchanov, O. A., (2002). Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China, *Journal of Geodynamics*, **33**, 519–534.