

DEPREM AÇISINDAN YERLEŞİM YERİ UYGUNLUK ANALİZLERİ

Cihangir AYDÖNER*

TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü.
Cihangir.Aydoner@tubitak.gov.tr

Derya MAKTAV

İTÜ, Geomatik Mühendisliği Bölümü.
maktavd@itu.edu.tr

Geliş Tarihi: 25 Ekim 2012, Kabul Tarihi: 1 Ocak 2013

ÖZET

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 öncesi ve sonrasında bu teknolojileri kullanarak deprem açısından yerleşim yeri uygunluk analizlerini yapmada ve buna uygun planlama faaliyetlerini gerçekleştirmede yetersiz kalmaktadır. Marmara Bölgesi'nde etkili olan depremin neden olduğu yıkım felaketinin büyüklüğü, özellikle arazi kullanım planlarının hazırlanmasında ülkemizdeki deprem gerçeğinin gözardı edilmiş olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile, söz konusu eksikliğin giderilmesi yönünde yararlı bir adım atılmıştır.

Bu çalışmada 17 Ağustos 1999 Marmara depremi esas alınarak, uydu verileri ve yersel veriler çok kriterli karar verme yöntemi ile değerlendirilerek Kocaeli ili için deprem açısından yerleşime uygunluk analizi yapılmıştır. Bu kapsamda çeşitli meslek gruplarına ait araştırma yöntemleri kullanılarak, jeolojik formasyonlar, fay ve deprem büyüklüğü, deformasyon durumu, arazi örtüsü, arazi kullanım kabiliyet sınıfları, dijital yükseklik modeli, ana ulaşım ağı ve yerleşim durumu, belirlenen önem sıralamasına uygun olarak değerlendirilmiş ve Kocaeli ili için geniş ölçekte 5 sınıflı potansiyel yerleşime uygunluk haritası üretilmiştir. Üretilen haritanın, güncel arazi kullanım ve örtüsü durumu ile karşılaştırılmasıyla elde edilen sonuçlar ilçe bazında listelenmiştir. Çalışmanın son adımında, deprem sonrasında Kocaeli ilinde yapılan kalıcı konut alanlarının uygunluğu analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Yerleşime Uygunluk, Çok Kriterli Karar Verme, Yer İvmesi Modeli.

SETTLEMENT SUITABILITY ANALYSIS IN TERMS OF EARTHQUAKE

ABSTRACT

Nowadays, remote sensing and GIS technologies play a significant role in determination of the most appropriate strategies to monitor disasters, to assess damages, to manage and to mitigate disasters. Despite the fact that earthquakes are a part of our lives, we fail to carry out sufficient land use and planning analysis activities before and after earthquake. The destruction disaster caused by the earthquake affecting the Marmara Region shows that existing land use plans were made ignoring the reality of earthquake disasters in our country. With this study, a useful step has been taken to overcome this issue.

In this study, multicriteria evaluation method was used to carry out a settlement suitability analysis through integration of satellite and ground data according to the scenario of the 17th August 1999 Marmara Earthquake in Turkey. In this context, by using the research methods of the various professional groups, geological formations, faults and earthquake magnitude, deformation state, land cover and land use capability classes, digital elevation model, the main road network and residential status were evaluated in accordance with the ranking of the importance, and potential settlement suitability map has been produced in 5 classess for the Kocaeli province. This map was compared with the contemporary land use and land cover status and the results obtained are given on subdistrict basis. The final part of this study includes the settlement suitability analysis for the newly constructed permanent residential areas of the Kocaeli Province.

Keywords: Earthquake, Settlement Suitability, Multicriteria Decision Making, Ground Acceleration Model.

* Sorumlu Yazar

1. GİRİŞ

Her ne kadar Türkiye’de deprem sorununa ilişkin çeşitli alanlarda yürütülen araştırmalar 1999’dan sonra artış göstermişse de, bu araştırmaların yeterli düzeyde olduğu söylenemez. Ayrıca bu konuda alınacak kararların ve izlenecek politikaların geniş araştırma bulgularına dayandırılması ve bilimsel tartışmalara konu edilmesi de önem taşımaktadır. Dolayısı ile yıkıcı depremler sonrasında arazide meydana gelebilecek değişimleri bilimsel yöntemlerle analiz edip bilgiler çıkarmak, bu bilgileri kullanarak doğru önlemleri almak ve yerleşime uygun olabilecek yeni yerleri belirlemek, hem afetler ile mücadelede, hem de olabilecek depremlere hazırlık açısından önemli bir gereksinimdir. Depremlerin neden olacağı zararları tamamen ortadan kaldırmak olası değildir, ancak gelişim ve acil durum planlarının hazırlanması ve uygulanması sonucunda potansiyel deprem zararlarının en aza indirilmesi mümkündür. Nitekim bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde de deprem zararlarını en aza indirmek deprem öncesi ve sonrasında yapılan çalışmalara bağlıdır.

17 Ağustos 1999 Marmara depreminde büyük kayıplar veren Kocaeli ili çalışma alanı olarak seçilmiştir. İleri düzeyde sanayi kenti olan Kocaeli, Türkiye’nin en gelişmiş karayolu ve demiryolu ağına da sahiptir. Bunun yanı sıra Derince ve Kocaeli limanlarıyla da dünyanın dört bir yanına deniz yolu ile bağlanmıştır. Yüzölçümü açısından küçük bir kent olan Kocaeli, gerek sanayi sektöründeki üretim katma değeri, gerekse bu sektörde çalışan insan açısından büyük öneme sahiptir.

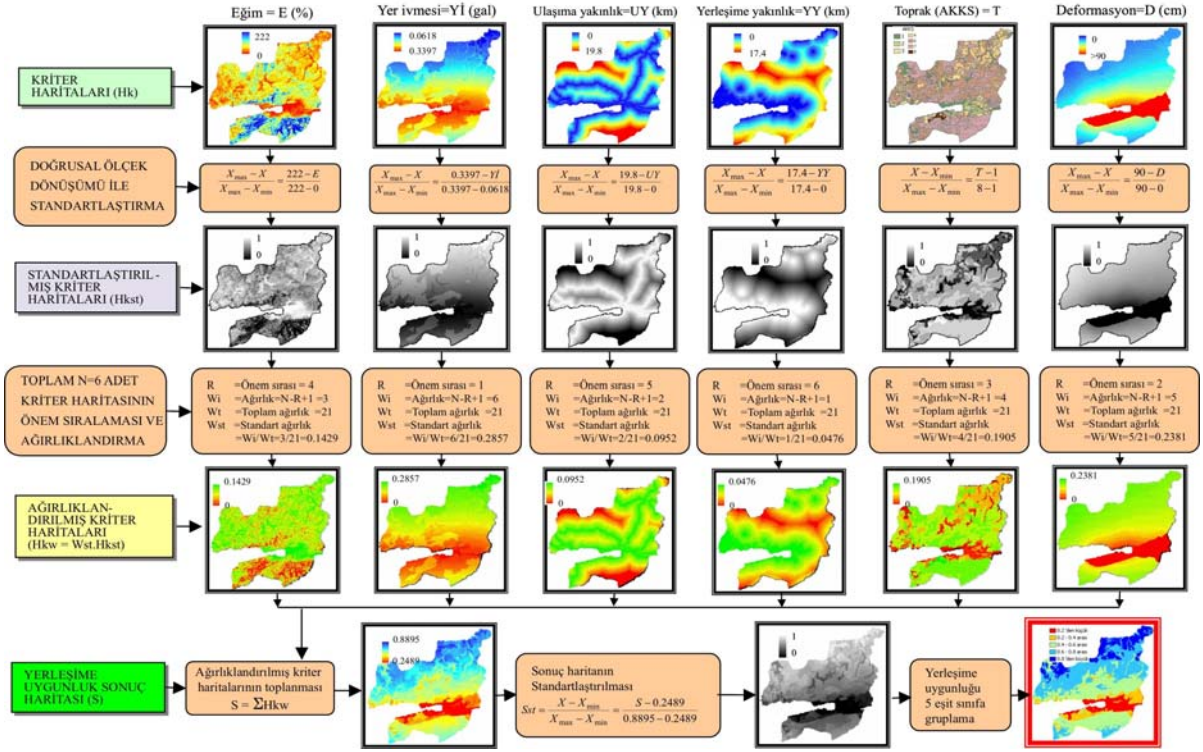
Çalışma kapsamında Kocaeli iline ait jeolojik formasyonlar, arazi örtüsü, arazi kullanım kabiliyet sınıfları, dijital yükseklik modeli, ana ulaşım ağı ve yerleşim durumu dikkate alınarak çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi ile yerleşime uygunluk analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar güncel uydu görüntülerinden üretilen bilgiler ile yorumlanmıştır. Kocaeli kentinde benzer konuda daha önce yapılan çalışmalar hakkında Kocaeli Valiliği ile yapılan görüşmeler sonucunda, bölgede sadece TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) tarafından depremin hemen sonrasında yapılan bir çalışmanın olduğu belirlenmiştir. Söz konusu çalışmaya daha sonra Bayındırlık ve İskan Bakanlığı da katılmış olup çalışma kapsamında yerleşime uygun alanların seçimi için uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) de kullanılmıştır.

2. YÖNTEM

Özellikle deprem sonrasında önemli gereksinimlerden biri olan yerleşime uygun yeni alanların belirlenmesinde, mevcut veri olanaklarından yararlanılarak ÇKKV yöntemi esas alınmıştır. Bu yöntem, seçilen kriterlere uygun değerlendirme yapan bir model olarak kabul edilebilir. Söz konusu kriterler birden fazla sayıda ve farklı uzmanlıklarda olabileceği için, her bir kriterin uzmanı tarafından değerlendirilmesi gerekir. Burada temel amaç, çoklu kriterler ışığında karmaşık problemlerin çözümü için alternatifler belirlemektir. Anlaşılır ve sade bir şekilde üretilen alternatiflerin uygunluk derecelerine göre sıralanması gereklidir [1]. Son on yılda gelişen bilişim sektörüne paralel olarak CBS’nin ÇKKV 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 [2-4].

Çalışma kapsamında, izlenen adımlar ve elde edilen sonuçlar Şekil 1’de özetlenmiş olup detaylar aşağıda açıklanmıştır.

İlk olarak, yerleşime uygunluk analizi için önemli olan kriter haritaları üretilmiştir. Bu kapsamda, uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin sunduğu olanaklar ile üretilen dijital yükseklik modeli, jeolojik yapı, ulaşım ve yerleşim durumu, deformasyon durumu, ve toprak yapısı ana verileri girdi olarak kullanılmıştır. Bu girdilerden yararlanılarak, eğim, yer ivmesi, ulaşım ağına yakınlık, yerleşim birimlerine yakınlık durumu, toprak durumu ve deformasyon durumlarından oluşan toplam 6 adet kriter haritası üretilmiştir. Şekil 1’deki kriter haritaları (Hk) dışında, temin edilebildiği takdirde, önemli sayılabilecek farklı kriter haritalarını da kullanmak olasıdır. Deprem güvenliği esas alınarak yerleşime uygun alan belirleme çalışmalarında kullanılmak üzere hazırlanması düşünülen en önemli yersel veri katmanlarından birisi yatay yer ivmesi durumudur. Yer ivmesi, deprem anında zeminin ne miktarda ve ne hızla sarsıldığının bir ölçüsüdür. Deprem anında yer hareketinin ivmesini kaydeden ivme ölçerlerin ölçtüğü değer birimi cm/sn^2 (gal) dir ve yerçekimi ivmesinin ($g=981 \text{ cm/sn}^2$) kesri olarak kayıt alır. [5]’de geliştirilen model kullanılarak Kocaeli ili bazında yer ivmesi modeli oluşturulmuştur.



Şekil 1. Çok kriterli karar verme yöntemi ile yapılan yerleşime uygunluk analizi.

En büyük yatay yer ivmesi, deprem odağına uzaklık, jeoloji ve zemin koşulları arasındaki ilişkiyi tanımlayan (1) bağıntısı temel alınarak oluşturulan Kocaeli kenti yatay yer ivmesi modeli Şekil 2'de verilmiştir.

$$\ln(A_H) = -3.512 + 0.904 M - 1.328 \ln \sqrt{R_{SEIS}^2 + [0.149 \exp(0.647 M)]^2} + [0.440 - 0.171 \ln(R_{SEIS})]S_{SR} + [0.405 - 0.222 \ln(R_{SEIS})]S_{HR} + \varepsilon \quad (1)$$

A_H : En büyük yatay yer ivmesi.

M : Deprem moment büyüklüğü.

R_{SEIS} : Deprem odağına olan uzaklık (km). Bu uzaklık hipotenüs uzaklığı olduğu için faya dik uzaklık ile depremin derinliğinin (Kocaeli depremi için yaklaşık 17 km) kareleri toplamının karekökü alınarak hesaplanır.

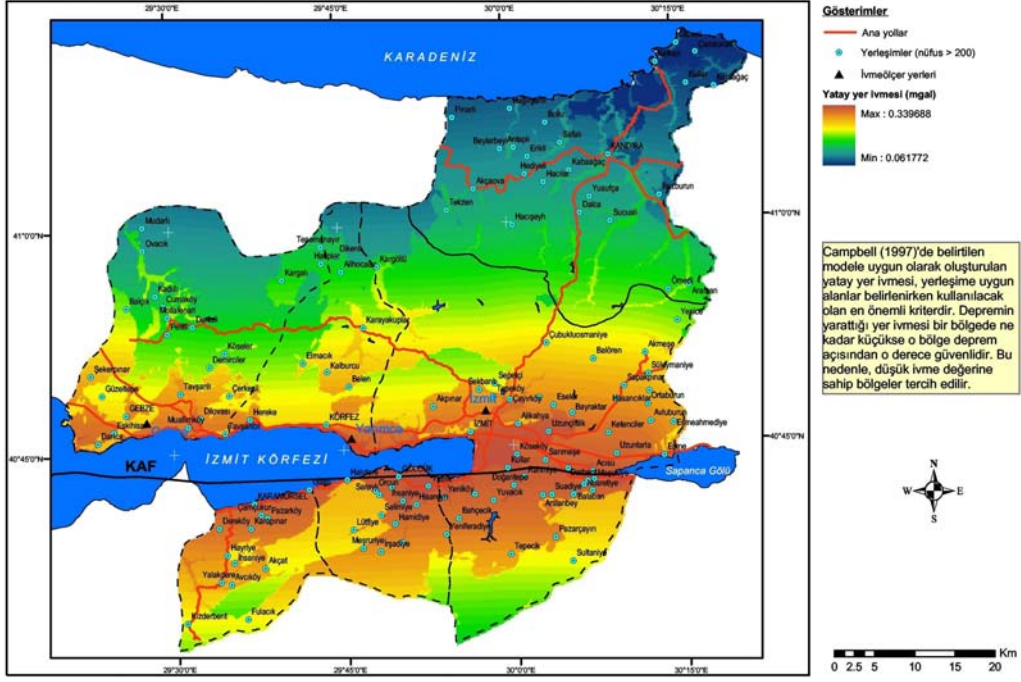
S_{SR} , S_{HR} : Yerel zemin koşullarını temsil eden sabitlerdir. (Alüvyon veya sert toprak türünde zeminler için $S_{SR}=S_{HR}=0$, zayıf kayaç türünde zeminler için $S_{SR}=1$, $S_{HR}=0$, sağlam kayaç türünde zeminler için $S_{SR}=0$, $S_{HR}=1$ 'dir).

ε : Standart sapma.

Kocaeli kent sınırları içerisindeki Afet İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait istasyonlarda ölçülen ivme değerleri ile, hesaplanan yer ivmesi değerleri karşılaştırılmış ve elde edilen farklar Tablo 1'de özetlenmiştir. Söz konusu farkların çok önemli boyutlarda olmadığı söylenebilir.

Tablo 1. Ölçülen ivme değerleri ile [5]'e göre hesaplanan ivme değerleri arasındaki farklar.

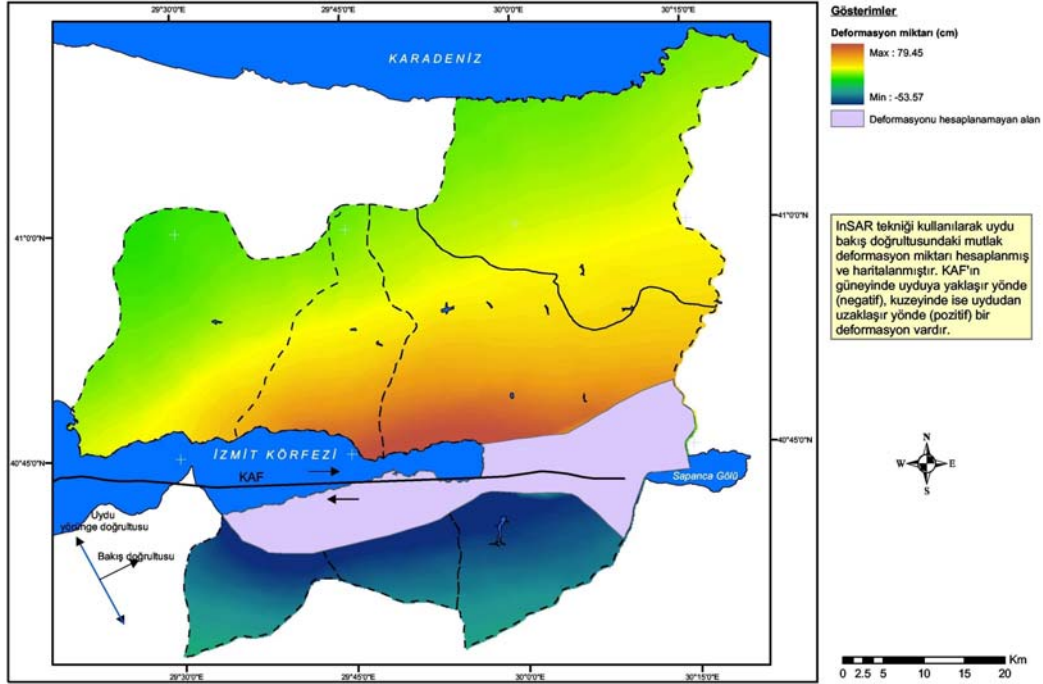
Yer	Ölçülen değer (mgal)	Hesaplanan değer (mgal)	Fark (mgal)
İZMİT	0.2765	0.2928	0.0163
GEBZE	0.2992	0.3045	0.0049
YARIMCA	0.3882	0.3339	0.0543



Şekil 2. Kocaeli ili için hesaplanan en büyük yatay yer ivmesi değerleri haritası.

Deprem sonrasında oluşan yer kabuğu deformasyonları yerleşim analizi açısından önemli olan diğer bir kriter haritasıdır. Bu haritanın oluşturulması için SAR verileri ve SAR Interferometre (InSAR) tekniği kullanılmıştır [6-10]. NASA/JPL'de geliştirilen ve LINUX işletim sistemi altında çalışan ROIPAC InSAR paket programı yardımı ile uygun ERS verileri analiz edilerek uydu bakış doğrultusuna ait göreceli

deformasyon miktarları, daha sonra TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü (YDBE) tarafından kurulan ve bölgede sürekli veri toplayan 2 adet GPS istasyonundan alınan veriler kullanılarak uydu bakış doğrultusuna ait kesin deformasyon değerleri hesaplanmıştır. Şekil 3'te verilen uydu bakış doğrultusuna ait deformasyon haritasının üretilmesi ile ilgili detaylara [11] den ulaşılabilir.



Şekil 3. Uydu bakış doğrultusuna ait deformasyon miktarı.

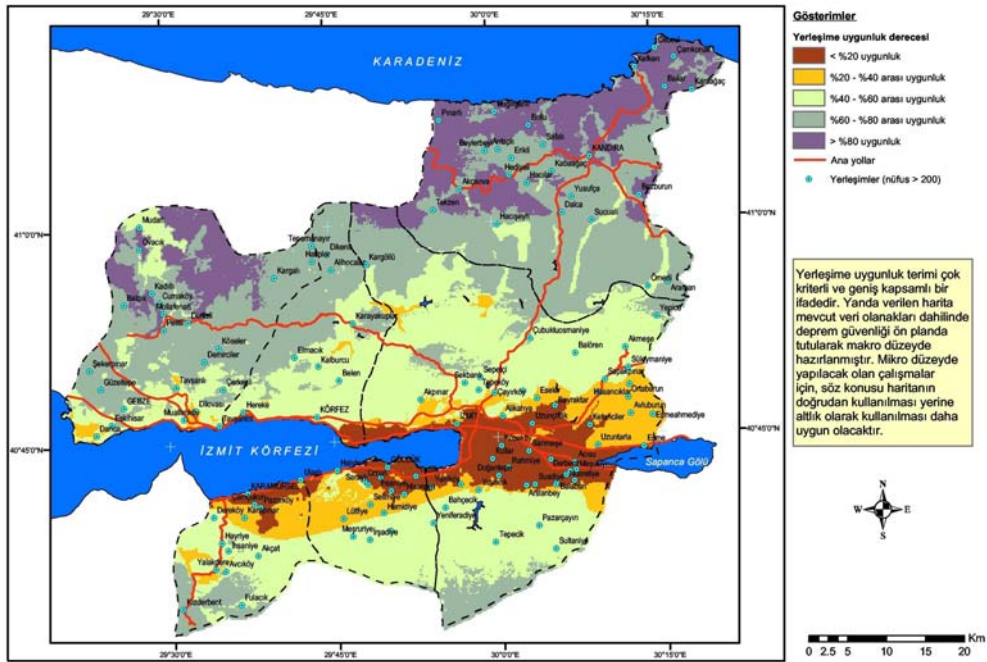
Burada Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) kuzeyi doğu yönünde, güneyi ise batı yönünde deformasyona uğramıştır. Ayrıca KAF'a yakın olan bölgelerde, kullanılan dalga boyu oldukça yüksek olan deformasyonu belirlemeye yetmemiştir. Dolayısı ile söz konusu bölgelerde diğer bölgelere göre daha fazla deformasyon olduğu kabul edilmiş ve bu bölgeler maskelenmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan diğer kriter haritaları; eğim durumu, ulaşım ağına yakınlık durumu, yerleşim birimlerine yakınlık durumu, toprak durumu, uydu verilerinden ve yersel verilerden dijitalleştirilerek üretilmiş olup teknik ayrıntılar [11] de verilmiştir. Her biri farklı birim değer aralıklarına sahip olan kriter haritalarının ortak bir birim ve değer aralığında ifade edilmesi gerekmektedir. Standartlaştırma adı verilen bu işlem için doğrusal ölçek dönüşümü (linear scale transformation) ve değer/fayda fonksiyon yaklaşımı (value/utility function approach) yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabilir. Çalışmada kullanılan doğrusal ölçek dönüşüm yöntemi sonucunda tüm veriler 0 ile 1 arasındaki değerlere dönüştürülerek standartlaştırılmıştır. Standartlaştırılmış kriter haritaları Hkst ile gösterilmiştir (Şekil 1). Standartlaştırılmış kriter haritalarında 0 değerine sahip olan bölgeler yerleşime uygunluk açısından en kötü yeri (kriter uygunluk yüzdesi = 0), 1 değerine sahip olan bölgeler ise en iyi yeri (kriter uygunluk yüzdesi = 100) temsil etmektedir. Standartlaştırılmış kriter haritalarının üretilmesinden sonra bu haritalar yerleşime uygunluk açısından önem derecelerine göre sıralanmıştır. Bu işlemin yapılmasının en önemli nedeni yerleşime

uygunluk açısından her bir kriter haritasının ağırlığının belirlenmesidir. N, toplam kriter haritalarının sayısı, Ri ise kriter haritasının önem sırası ise, bu kriter haritasının ağırlığı $W_i=N-R_i+1$ formülü ile hesaplanır. 1 ile 6 arasındaki değerlere sahip olan ağırlıklar kriter haritalarında olduğu gibi doğrusal ölçek dönüşüm yöntemi ile standartlaştırılmıştır. Wt toplam ağırlıksa, 0-1 aralığındaki değerlere sahip olan standartlaştırılmış ağırlıklar $W_{st}=W_i/W_t$ formülü ile hesaplanır. Yerleşime uygunluk analizinde önem sıralaması tamamen karar vericinin tercihleri doğrultusunda olduğu için, yer ivmesi 1. öneme sahip kriter, deformasyon durumu 2. öneme sahip kriter, toprak durumu 3. öneme sahip kriter, eğim durumu 4. öneme sahip kriter, ulaşım yakınlık 5. öneme sahip kriter, yerleşime yakınlık ise 6. öneme sahip kriter olarak değerlendirilmiştir.

Karar verme kuralı olarak, 'basit ağırlıklı toplama yöntemi' kullanılmıştır. Bu işlemden sonra potansiyel olarak yerleşime uygunluğu gösteren sonuç harita elde edilmiş olur. Sonuç haritada yüksek değerlere sahip olan alanların yerleşime uygunluğu da o derece yüksektir. Çok kriterli karar verme analizi kapsamında üretilen potansiyel olarak yerleşime uygunluk haritası standartlaştırıldıktan sonra 5 eşit sınıfa ayrılarak yol ve yerleşim birimleri ile birlikte Şekil 4'te verilmiştir.

IRS verileriyle üretilen güncel arazi örtüsü ve arazi kullanımı haritası ile yerleşime uygunluk haritasının karşılaştırılması sonucunda elde edilen sonuçlar ilçe bazında Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 4. Deprem açısından çok kriterli karar verme analizi ile üretilen potansiyel yerleşime uygunluk haritası.

Tablo 2. İlçe bazında arazi örtüsü ve arazi kullanımı ile yerleşime uygunluk dağılımının karşılaştırılması.

İLÇE	Arazi örtüsü / Arazi kullanımı	Yerleşime uygunluk derecesi (%)										TOPLAM	
		0-20		20-40		40-60		60-80		80-100		Alan (ha)	%
		Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%		
KARAMÜRSEL	Orman alanları	1469.0	12.7	2941.3	25.4	5467.8	47.2	1709.8	14.8	0.0	0.0	11587.9	47.7
	Çalılık yarı doğal alanlar	555.7	8.3	1661.7	24.9	3304.9	49.5	1149.6	17.2	0.0	0.0	6671.8	27.5
	Yapılaşma alanları	282.8	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	282.8	1.2
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	426.6	7.4	2769.7	48.2	2553.9	44.4	0.0	0.0	5750.2	23.7
	TOPLAM	2307.4	9.5	5029.6	20.7	11542.3	47.5	5413.3	22.3	0.0	0.0	24292.6	100.0
GÖLCÜK	Orman alanları	387.5	2.4	5063.2	31.5	10320.1	64.2	299.8	1.9	0.0	0.0	16070.6	71.3
	Çalılık yarı doğal alanlar	1656.3	33.0	651.3	13.0	2713.5	54.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5021.1	22.3
	Yapılaşma alanları	1356.5	92.9	95.5	6.5	7.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1459.4	6.5
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	TOPLAM	3400.2	15.1	5810.0	25.8	13041.1	57.8	299.8	1.3	0.0	0.0	22551.1	100.0
İZMİT	Orman alanları	485.3	1.0	6352.9	12.6	30953.4	61.5	11077.3	22.0	1464.6	2.9	50333.5	41.9
	Çalılık yarı doğal alanlar	8265.9	36.0	4936.3	21.5	8355.2	36.4	1380.6	6.0	0.0	0.0	22938.0	19.1
	Yapılaşma alanları	6374.8	61.4	2249.9	21.7	1749.8	16.9	0.0	0.0	0.0	0.0	10374.5	8.6
	Tarım alanları ve açık alanlar	4099.5	11.3	3274.1	9.0	21449.8	59.0	7547.2	20.8	0.0	0.0	36370.6	30.3
	TOPLAM	19225.4	16.0	16813.3	14.0	62508.2	52.1	20005.1	16.7	1464.6	1.2	120016.6	100.0
KANDIRA	Orman alanları	0.0	0.0	0.0	0.0	437.0	1.7	8754.1	33.5	16956.3	64.8	26147.3	31.8
	Çalılık yarı doğal alanlar	0.0	0.0	0.0	0.0	825.8	4.7	10173.2	58.4	6415.8	36.8	17414.8	21.2

Tablo 2. İlçe bazında arazi örtüsü ve arazi kullanımı ile yerleşime uygunluk dağılımının karşılaştırılması (Devamı).

İLÇE	Arazi örtüsü / Arazi kullanımı	Yerleşime uygunluk derecesi (%)										TOPLAM	
		0-20		20-40		40-60		60-80		80-100		Alan (ha)	%
		Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%		
	Yapılaşma alanları	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	273.6	19.8	1109.1	80.2	1382.7	1.7
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	0.0	0.0	3615.0	9.7	27435.0	73.6	6208.7	16.7	37258.7	45.3
	TOPLAM	0.0	0.0	0.0	0.0	4877.8	5.9	46635.8	56.7	30689.9	37.3	82203.6	100.0
KÖRFEZ	Orman alanları	0.0	0.0	5.0	0.0	5358.4	35.4	9753.4	64.5	14.7	0.1	15131.5	47.4
	Çalılık yarı doğal alanlar	0.0	0.0	174.9	3.4	3964.2	76.0	1076.4	20.6	0.0	0.0	5215.5	16.3
	Yapılaşma alanları	925.4	30.9	165.8	5.5	1818.0	60.6	90.1	3.0	0.0	0.0	2999.3	9.4
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	417.2	4.8	4816.7	56.0	3370.3	39.2	0.0	0.0	8604.3	26.9
	TOPLAM	925.4	2.9	762.9	2.4	15957.4	49.9	14290.2	44.7	14.7	0.0	31950.5	100.0
GEBZE	Orman alanları	0.0	0.0	0.0	0.0	2678.2	13.0	8551.4	41.4	9430.5	45.6	20660.1	34.2
	Çalılık yarı doğal alanlar	0.0	0.0	132.0	1.0	2330.2	17.6	9001.7	67.8	1804.6	13.6	13268.5	21.9
	Yapılaşma alanları	4.2	0.0	1494.4	10.5	5605.6	39.6	7062.2	49.9	0.0	0.0	14166.4	23.4
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	91.5	0.7	2417.3	19.5	8942.1	72.3	925.4	7.5	12376.4	20.5
	TOPLAM	4.2	0.0	1717.9	2.8	13031.3	21.5	33557.5	55.5	12160.4	20.1	60471.4	100.0

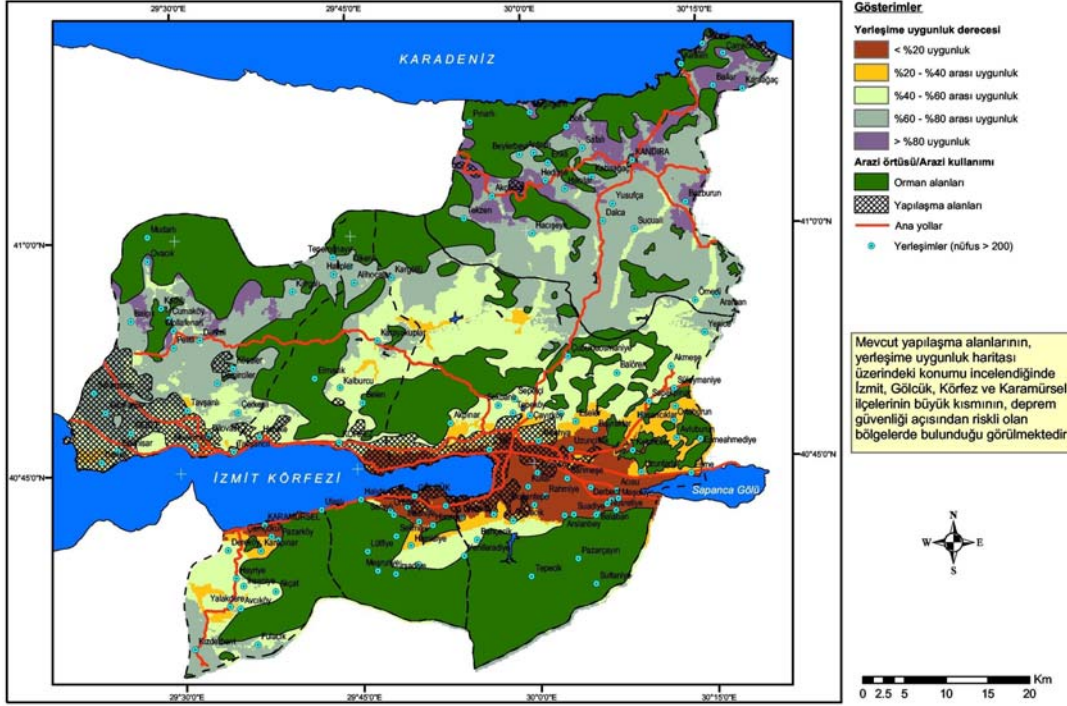
Buna göre, tüm il bazında, mevcut yerleşimin de içerisinde bulunduğu yapılaşma alanlarının; Karamürsel ilçesi için 2828 ha ile %100'ünün, Gölcük ilçesi için 1356.5 ha ile %92.9'unun, İzmit merkez ilçesi için 6374.8 ha ile %61.4'ünün, Körfez ilçesi için 925.4 ha ile %30.9'unun, yerleşime uygunluk açısından düşük bir değere sahip %20'den küçük bölgede bulunduğu saptanmıştır. Dolayısıyla Gölcük, İzmit, Körfez ve Karamürsel ilçelerindeki mevcut yerleşimin deprem açısından düşük yüzdeye sahip bölgelerde bulunması, belkide deprem sonrası yaşanan mal ve can kaybının en önemli nedenlerinden biri

olmuştur. Gebze ilçesindeki yerleşimin %49.9'unun 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 olduğu görülmektedir. Nitekim, depremin neden olduğu hasarlarla ilgili raporlar incelendiğinde Gebze ve Kandıra ilçelerinde meydana gelen hasarların çok az olması yukarıda verilen sonuçları doğrulamaktadır. Mevcut yapılaşma alanlarının deprem açısından yerleşime uygunluk haritası üzerinde gösterildiği Şekil 5 incelendiğinde, yerleşim kriteri olarak olası bir

depremin göz önünde bulundurulmadığı anlaşılmaktadır.

Deprem sonrasında yıkılan binlerce konutun yerine yenilerinin yapılması zorunlu barınma gereksinimi için gereklidir. Bu nedenle bölgede deprem sonrasında hızlı bir şekilde kalıcı konut yapımına başlanmış ve çok kısa bir zamanda da tamamlanmıştır. Kocaeli

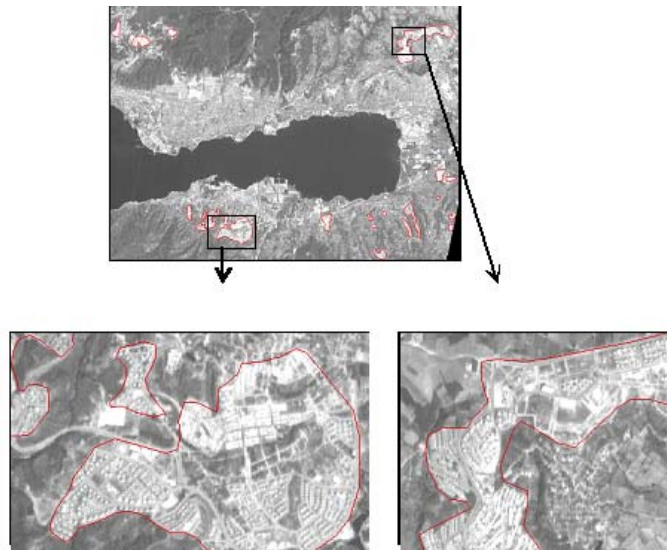
ilinde yapılan kalıcı konutların hangi bölgelerde yapıldığının belirlenmesi için 5m çözünürlüğe örneklenmiş IRS verilerinden yararlanılmıştır. 15 Ağustos 2003 tarihli ve Kocaeli ilini kısmen örten, bulutsuz IRS-1D PAN görüntüsü üzerinden kalıcı konut bölgeleri ekran üzerinden elle dijitalleştirilmiştir (Şekil 6).



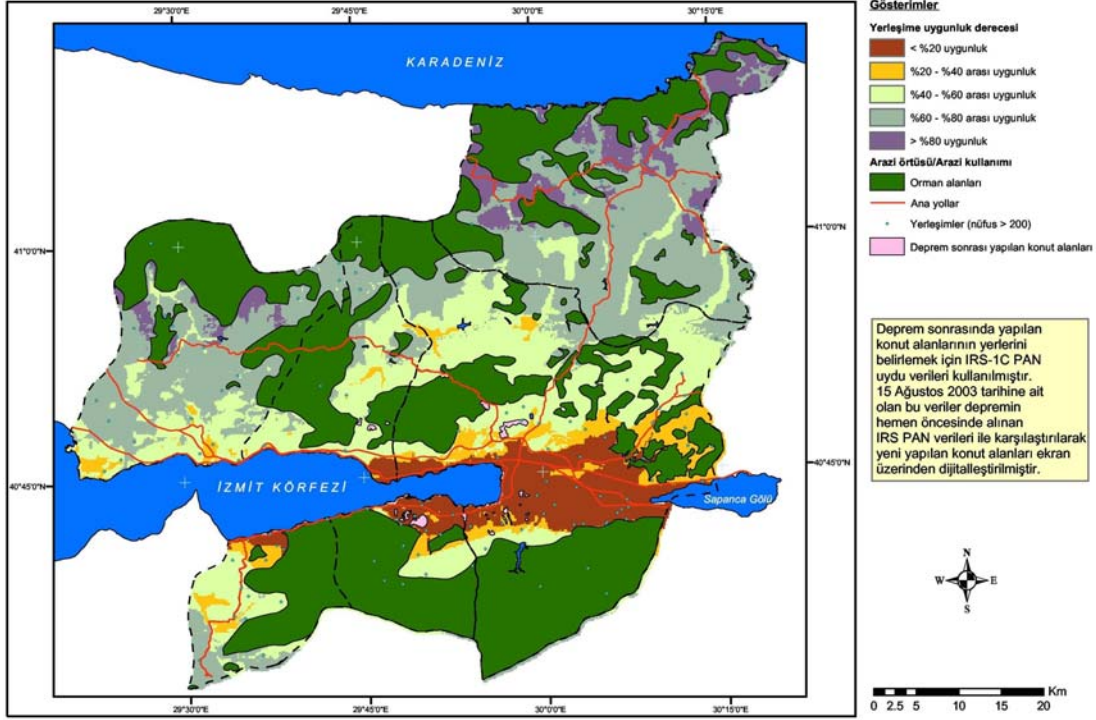
Şekil 5. Mevcut yapılaşma alanlarının deprem açısından yerleşime uygunluk haritası üzerindeki konumu.

Dijitalleştirilen kalıcı konut bölgeleri, yerleşime uygunluk haritası ile karşılaştırıldığında, Gölcük ilçesinde yapılan kalıcı konutların İzmit merkez ilçesinde yapılan kalıcı konutlara göre daha riskli bölgede olduğu görülmektedir. Ancak Tablo 2 incelendiğinde, %71.3'ü ormanla kaplı ve oldukça

sarp olan Gölcük ilçesinde yerleşime uygunluğun yüksek olduğu (>%60) alanların %66'sının ormanla kaplı olması, geri kalan arazilerin ise oldukça sarp ve eğimli olması, Gölcük ilçesinde deprem açısından uygun olabilecek alan alternatiflerini hemen hemen yok edecek düzeye indirmiştir.



Şekil 6. Kocaeli ilinde yeni yapılan konut alanlarının IRS verilerinden elle dijitalleştirilmesi.



Şekil 7. Depremden sonra yapılan konut alanlarının yerleşime uygunluk haritası üzerindeki konumu.

İzmit ve Körfez ilçelerinde yapılan kalıcı konutlar, deprem açısından mevcut yerleşime göre daha uygun olan %20-40 uygunluk oranına sahip bölgede bulunmaktadır. Çeşitli çalışmalarda altlık olarak kullanılabilmesi için Kocaeli ili yerleşime uygunluk haritası, mevcut yerleşim ve konut alanları Şekil 7'de verilmiştir.

3. SONUÇLAR

Daha hızlı ve optimal kararların verilmesinde CBS tabanlı çok kriterli değerlendirme yöntemi bir afet yönetimi için en önemli karar destek mekanizmasıdır. Bu çalışma kapsamında çok kriterli değerlendirme yöntemi ile 17 Ağustos 1999 Marmara depremi esas alınarak mevcut uydu verileri ve yersel veriler ile deprem açısından yerleşime uygunluk analizi yapılmıştır. Bu kapsamda, jeolojik haritalar, toprak haritaları, yükseklik verileri, ana ulaşım hatları ve IRS görüntülerinden elde edilen arazi örtüsü verileri, coğrafi bilgi sistemi ortamında kriter haritalarının üretilmesi için ana girdileri oluşturmuştur. Mevcut veri olanakları dahilinde oluşturulan yerleşime uygunluk haritaları üzerinde, mevcut yerleşimlerin bulunduğu bölgelerin uygunluk durumları analiz edilmiştir. Buna göre, Karamürsel, Körfez, Gölcük ve İzmit merkez ilçesindeki yapılaşma alanlarının tamamına yakın bir bölümünün deprem açısından en kötü olan sınıfta bulunduğu saptanmıştır. Öte yandan Gebze ve Kandıra ilçeleri için tablo daha farklı olup, Gebze yapılaşma alanlarının yarısı, Kandıra'nın tamamına yakın bölümü, uygunluk açısından yüksek sayılabilecek sınıfta bulunmaktadır. Dolayısıyla, bir sanayi kenti olması nedeniyle çok fazla göç alan

Kocaeli ilindeki mevcut konut dokusunun çoğunun son derece uygunsuz bir alanda yerleştiği anlaşılmaktadır. Deprem büyüklüğü, fay özelliklerinin ve jeolojik formasyonların ana girdi olarak kullanıldığı yatay yer ivmesi, deprem sonrası oluşan deformasyon, arazi kullanım kabiliyet sınıfları, arazi eğimi, mevcut ulaşım ve yerleşime yakınlık dikkate alınarak üretilen yerleşime uygunluk haritası, yeni yerleşim alanlarının seçimi için önemli bir altlık olarak kullanılabilir.

Arazi kullanımı ile ilgili geliştirilen politikaların ve planlama faaliyetlerinin hem doğru, hem de uygulanabilir olmasında, sağlanan coğrafi bilgilerin niteliği yanında ulaşılmak istenen hedefler de önemlidir. Marmara Bölgesi'nde etkili olan depremin neden olduğu yıkım felaketi, özellikle arazi kullanım planlarının hazırlanmasında ülkemizdeki deprem gerçeğinin gözardı edilmiş olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile, söz konusu eksikliğin giderilmesi yönünde yararlı bir adım atılmıştır. Nitekim, ülkemizin başta deprem olmak üzere farklı doğal afetler ile karşılaşabileceği gerçeği göz önünde bulundurularak, arazi örtüsü ve arazi kullanımı analizlerine yönelik olarak izlenebilecek adımlar konusunda bir yöntem geliştirilmiştir. Uydu verileri ve yersel veri entegrasyonu kullanılarak Kocaeli ili için yapılan bu örnek uygulamanın, deprem tehdidi altında bulunan diğer iller için de yapılması, bu bölgelerde yaşanacak olası depremlerin en az hasarla atlatılması bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca bu yöntemin sel, heyelan, orman yangını vb. gibi diğer afetlerin öncesi ve sonrasında da kullanılması mümkündür. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da verilecek kararların doğru olabilmesi için çok

disiplinli çalışma ortamının kesinlikle oluşturulmasıdır. Ayrıca doğal afet olarak depremin esas alındığı bu çalışmada geliştirilen metodolojinin ülkemizdeki kullanımının, planlama faaliyetlerinde isabetli ve doğru kararların alınması açısından, gerek merkezi yönetim, gerekse yerel yönetimler bazında yaygınlaştırılması da yararlı olacaktır.

4. KAYNAKLAR

- [1] Janssen, R., Rietved, P., (1990) "Multicriteria Analysis and Gis: an Application to Agricultural Landuse in the Netherlands" *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*, pp. 129–139, Eds. Scholten, H. and Stilwell, J., Kluwer Academic Publishers, Amsterdam.
- [2] 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*, 7-5, 407–424.
- [3] Malczewski, J.A., (1996) "GIS-Based Approach to Multiple Criteria Group Decision-Making" *International Journal of Geographical Information Science*, 10-8, 321–339.
- [4] Joerin, F., Thériault, M., Musy, A., (2001) "Using GIS and Outranking Multicriteria Analysis for Land-Use Suitability Assessment" *International Journal of Geographical Information Science* 10-8, 321–339.
- [5] 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.
- [6] Gens, R., Vangenderen, J.L., (1996) "An Approach to Error Propagation Modeling of SAR Interferometric data" *ESA Fringe'96 Workshop*, Zurich, Switzerland.
- [7] Gens, R., Vangenderen, J.L., (1996) "SAR Interferometry - Issues, Techniques, Applications" *International Journal of Remote Sensing*, 17, 1803-1835.
- [8] Massonnet, D., Feigl, K.L., (1998) "Radar Interferometry and its Application to Changes in the

Earth's Surface" *Reviews of Geophysics.*, 36-4, 441-500.

[9] Madsen, S.N., Zebker, H.A., Martin, J., (1993) "Topographic Mapping Using Radar Interferometry: Processing Techniques" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31-1, 246-256.

[10] Rosen, P.A., Hensley, S., Joughin, I.R., Li, F.K., Madsen, S.N., Rodriguez, E., Goldstein, R.M., (2000) "Synthetic Aperture Radar Interferometry" *Proceedings of IEEE*, 88, 333– 382.

[11] Aydoğan, C., (2005) "Deprem Sonrasında Uydu Verileri ve Yersel Veri Entegrasyonu ile Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı Analizi" *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞLER

Dr. Cihangir AYDÖNER

1994 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra 1996 yılında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde araştırmacı olarak göreve başladı. İTÜ'de, "Deprem sonrasında uydu verileri ve yersel veri entegrasyonu ile arazi örtüsü/arazi kullanımı analizi" başlıklı doktora tezini tamamlayarak 2005 yılında doktor ünvanı aldı. 15 yıla yakın bir süredir TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde yürütülen çok sayıda projenin uzaktan algılama ve CBS iş paketlerinde görev aldı. Halen TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü'nde başuzman araştırmacı olarak çalışmaktadır.

Prof. Dr. Derya MAKTAV

1975 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nden lisans, 1979 yılında Karlsruhe Teknik Üniversitesi'nden yüksek lisans diploması aldı. 1985 yılında İTÜ'de doktor, 1986 yılında doçent ve 1995 yılında profesör oldu. 1998 yılında Avrupa Konseyi, World Heritage ve Ford tarafından verilen National Henry Ford ödülünü aldı. European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) konsey üyesi ve Urban Data Management Society (UDMS) Türkiye temsilcisidir. Çok sayıda ulusal ve uluslararası proje yürütücülüğü, uluslararası sempozyum direktörlüğü ve organizasyon komitesi üyeliği görevlerini yaptı. 200'ün üzerinde ulusal ve uluslararası bildiri, makale, kitap, kitapta bölüm sahibidir. Halen İTÜ Geomatik Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesidir.