



Uzay, yeni yüzyılda yarının ifadesidir. Uzay bilim ve teknolojilerindeki uygulamalar insanoğlunun refah düzeyinin artırılmasına, hayat kaynaklarımızın daha verimli ve etkin kullanımına, gelecek nesillerin daha iyi standartlarda bir yaşama sahip olmalarına önemli katkılar sağlamaktadır. Bu teknolojiler, afet zararlarının azaltılmasında, afetlerden etkilenmeden yararlanılabilen yegane sistemlerdir. Bu teknolojilerin İzmit bölgesi uygulamaları, deprem hakkında önemli bilgiler verirken geleceğe ilişkin yepyeni pencereler de açıyor.

İzmit Depremi'nde Uzay Teknolojileri

Ülkemiz hemen her yıl doğal afetlerin yıkıcı bir örneğini (deprem, sel baskını, çığ, gibi) yaşıyor. Yaşamaya devam edecek. Çünkü doğal coğrafyamızın her an afete uğrama (özellikle depremlere) riskine sahip bir jeolojik temeli var. Dünya da aynı sorunlarla mücadele ediyor. Gelişmekte olan ülkelerin 3'te 2'si, afete maruz coğrafyalarda yaşıyor. Birleşmiş milletler raporlarına göre 1974-1994 yılları arasında 3 milyondan fazla insan bu afetler sonucunda hayatını kaybetmiş. Ayrıca, 100 milyondan fazla insan evsiz kalmış ve kötü koşullara mahkum olmuş. Ekonomik kayıp sadece 1991-1992 döneminde 100 milyar ABD doları olarak ifade edilmiştir.

Afetler sosyo-ekonomik altyapıyı çökertmenin yanında toplumlar üzerinde rakamlarla ifade edilemeyecek kadar büyük tahribata neden oluyor. Bu tahribat dünyada son 30 yılda ekonomik olarak 5 kat daha artmıştır. Bu oran her yıl, nüfus artışı ve çarpık

kentleşmeye paralel olarak daha da yükseliyor. Hayatın anlam ve nedenlerinin bir anda yok olmasına neden oluyor ve medeniyeti temsil eden hayat sisteminin gelişmesi kesintilere uğra-

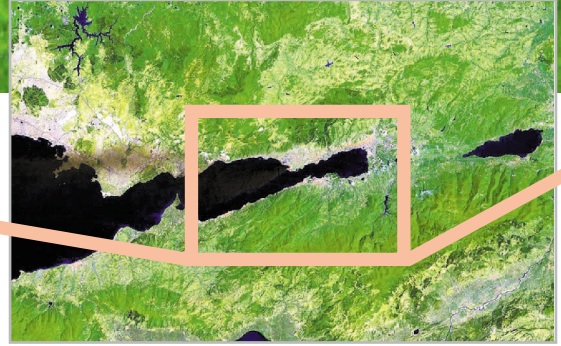
yabiliyor. Bizleri saniyeler içinde gelişen bir ortamda savunmasız bırakıyor. İnsanoğlunun depremlere savunmasız yakalanmasının yanında, eğitimsizlikten kaynaklanan diğer olumsuz faktör-



Izmit depreminden etkilenen yerleşim yerlerini, ilçeleri ve illeri gösteren basitleştirilmiş yer bulma haritası. Bu haritada, bölgenin büyük hasara uğramasına neden olan aktif fay (Kuzey Anadolu Fayı'nın batı uzantısı), Sapanca gölü, İzmit merkez ve Gölcük hattını izlemektedir.



Bu uzay görüntüsü, Landsat uydusunun optik algılayıcılarından elde edilmiştir. Depremi hemen sonrası 18 Ağustos tarihinde çekilmiştir. Görüntü elektromanyetik tayfın kızılötesi ve görünür bölgelerinden alınan verilerin birleştirilmiş son halidir. Deprem bölgesinin genel coğrafi kapsamını gösteriyor. Güneyde İznik gölü, batıdan ortaya doğru İzmit körfezi ve kıyıları, doğuda Sapanca gölü koyu mavi-siyah renklerde görülüyor (solda). İzmit şehir merkezi, Derince ilçesi ve Gölcük körfezinin kıyılarını oluşturan sertleşmiş alüvyon zemin ve aktif fay hattı üzerindeki yerleşim yerleridir. Rafineri yangını ve güney-batıya doğru yayılan duman izi net biçimde görülmektedir. Bu görüntü 18 Ağustos tarihinde yaklaşık 700 km yükseklikteki optik algılayıcı taşıyan Landsat uydusundan çekilmiştir. Ayrıca İstanbul-Ankara otoyolunun Gebze-İzmit bölümü görüntü üzerinde kolayca ayırdedilebilmektedir (sağda).

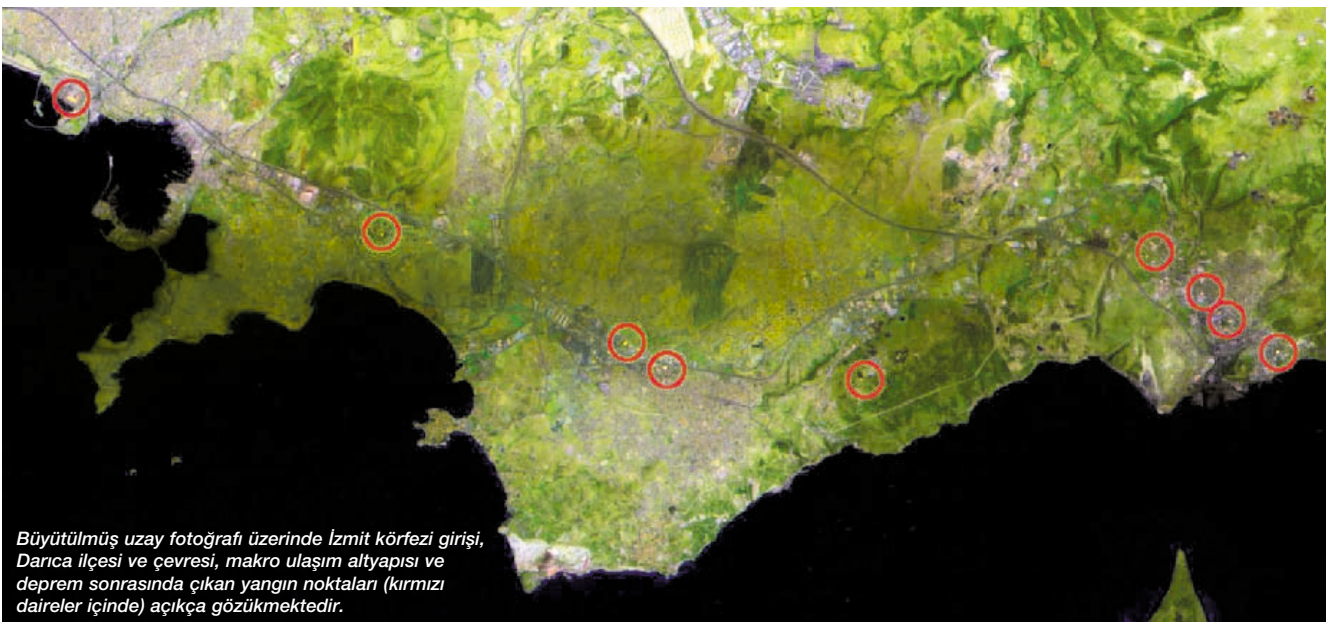


lerde afet zararlarının artmasında etkin rol oynuyor. Örneğin, deprem öncesi yanlış yer seçimi planlaması, temel kural ve kaidelerin uygulanmaması, çevrenin tahribatı ve bilgisizlik, bizleri bu felaketlere karşı daha da savunmasız bırakan diğer faktörlerdir. Bu durum ülkelerin afetlere karşı daha da duyarlı olmasını sağlamıştır. Toplumlar uğrayacakları zararları en aza çekebilmek

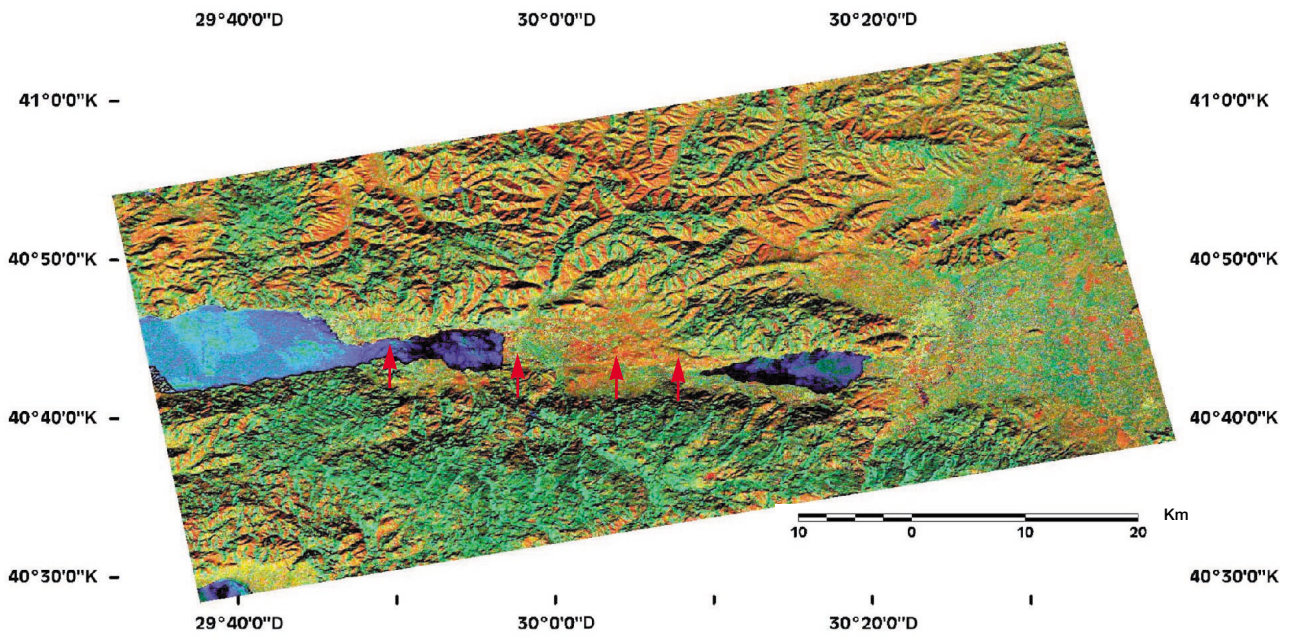
için yeni ve etkin organize önlemler geliştirmişler. Bu doğrultuda, ülkeler sürekli kalkınma politikaları doğrultusunda afet yönetimi programlarını ve modellerini uygulamaya koymuşlar. Bu modeller içinde uzay teknolojilerinin etkin kullanımı, ön planda ve önemli bir yer teşkil ediyor.

Afet zararlarının en aza indirilmesinde bazı temel programlar uygulanır.

Bunlar, afet öncesi planlama ve hazırlık çalışmaları, uyarı sisteminin kurulması, durum tespit ve acil müdahale ve rehabilitasyon yani eski haline getirme işleridir. Tüm bu faaliyetler için temel ihtiyaç doğru, hızlı, güncel, standart ve kullanılabilir bilgidir. Bununla birlikte, faaliyetler arasında koordinasyon, bilgiye kolay erişim ve değişim olanakları, eğitim ve öğretim,



Büyütülmüş uzay fotoğrafı üzerinde İzmit körfezi girişi, Danca ilçesi ve çevresi, makro ulaşım altyapısı ve deprem sonrasında çıkan yangın noktaları (kırmızı daireler içinde) açıkça gözükmemektedir.



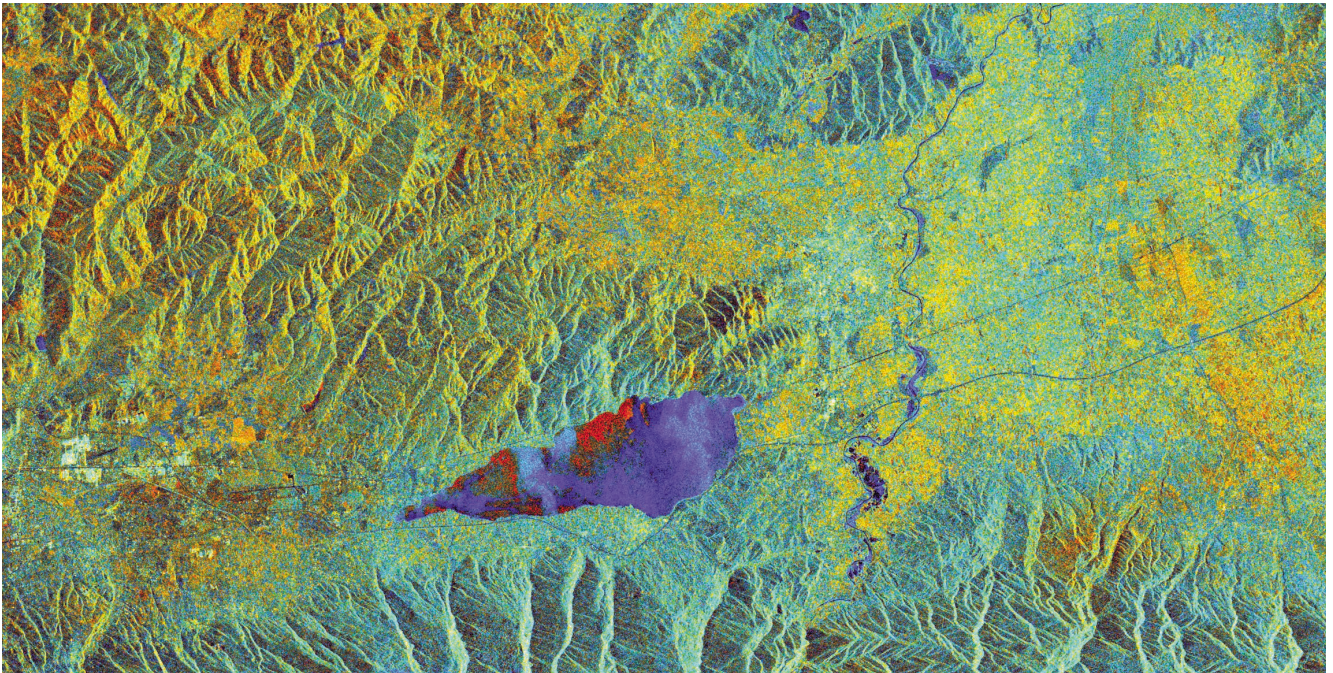
Yer gözlem radar uydusu sistemlerinin bizlere sunduğu en önemli özelliklerden biri, araştırması yapılan bölgenin gerçeğe yakın genel fiziki yapısını üç boyut algılayabilmemize olanak sağlamasıdır. Bu sonuç ürünü, ERS-SAR radar uydusunun mikrodalga algılayıcısından elde edilmiştir. Sapanca - Karamürsel arası deprem bölgesi arazi yapısı, jeolojik çizgisellikler net biçimde görülmektedir. Sapanca gölü uzun yuvarlak biçimde (olasılıkla fay hareketiyle ilgilidir) doğu yönünde ve İzmit körfezi görüntünün ortasından batısına doğru mavi tonlarda uzanmaktadır. Bu görüntünün mekansal çözünürlüğü 12 ye 18 metredir. Aynı bölgenin iki farklı uydusu yörüngesinden depremden önce 12 ve 13 Ağustos tarihlerinde çekilmiştir. Bu yöntemle arazinin üç boyutlu sayısal yükseklik modeli çıkarılabilmektedir. Görüntüler kompozit olarak meydana getirilmiştir. Deprem tahribatının en çok görüldüğü bölgedir. Aktif fay, Sapanca gölünün içinden İzmit körfezine doğru bir hat üzerinde kendini göstermektedir. Arazi morfolojisi, yer şekilleri ve çizgisellikler depreme neden olan jeolojik yapının yorumlanması için önemli veriler sunmaktadır. Farklı renkler arazi tiplerini gösterir. Örneğin; mavi tonları su alanlarını, göl ve denizi; yeşil tonları ormanlık alanları; kırmızı tonları ise sert kaya morfolojisi (drenajı olmuş alanlar) ve tarıma elverişli arazileri (düz alanlar) temsil eder.

teknoloji transferi ve acil iletişim ve haberleşme konuları diğer önemli sistem parçalarını oluşturur.

Günümüzdeki teknolojiler, özellikle uydusu telekomünikasyon, yer gözlem (optik ve radar uydusu algılayıcılarla uzaktan algılama), uydusu meteorolojisi ve yer-konumlama sistemleri (küresel konumlama teknikleri GPS) ihtiyaç duyulan temel bilginin bir sistem içinde toplanması, değerlendirilmesi, kullanılması ve akışına olanak sağlar. Bu

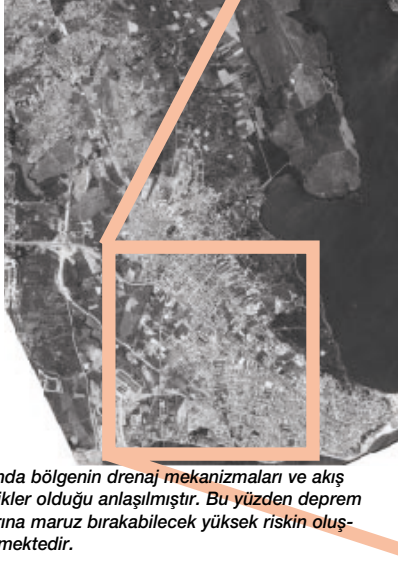
teknolojiler ile arazi kullanım planları hazırlanıyor, afete maruz kalabilecek alanlar tesbit ediliyor, yerleşimi analizleri yapılabiliyor (bu uygulamalarda yüksek mekansal (5m, 10m, 20m) radyometrik (8 bit veya 16 bit) ve spektral çözünürlükteki uydusu görüntüleri, bu verileri işleyecek uzaktan algılama analiz sistemi ve bütün sonuçları değerlendirecek coğrafi bilgi sistemleri teknolojilerinden yararlanılıyor). Acil ulaşılabilecek hedef noktaların harita koor-

diyatları ve diğer konumlama bilgileri, GPS (küresel konumlama sistemi) teknolojileri, hava fotoğrafları ve uydusu görüntüleri ve haberleşme uyduları yardımıyla kolayca belirlenebiliyor. Diğer bir çalışmada, uydusu görüntülerinden ve hava fotoğraflarından tespit edilen hasarlı yerlerin lokasyonlarının arama ve kurtarma ekiplerine hızlı ve doğru olarak bildirilmesidir. Bu operasyonlarda küresel konumlama sistemlerinden de (GPS) yararlanılır. Afet bölgelerinden



Bu renklendirilmiş radar görüntüsü bölgenin deprem öncesi (5 Nisan 1999) ve sonrası (23 Ağustos 1999) durumunu, birleştirilmiş (kompozit) biçimde göstermektedir. Yüzeysel formları çizgisellikler, topografyadaki ani değişimler, arazinin jeolojik özellikleri hakkında önemli bulgular olarak görülmektedir. Renkler şu şekilde yorumlanmalıdır: Kırmızı: Nisan'dan Ağustos'a kadar arazinin radar yansımaya değerlerinin azaldığı yerler Sarı : Yüksek yansımaya yoğunluğu bulunan alanlarda azalmanın olduğu yerler Yeşil: Düşük yansımaya yoğunluğu bulunan alanların toplamı Mavi: Nisan'dan Ağustos'a kadar arazinin radar yansımaya değerlerinin yükseldiği yerler Çivit: Yüksek yansımaya yoğunluğu bulunan alanlarda artışın olduğu yerler.

Diğer bir uydu teknolojisi de, yüksek mekansal çözünürlükte (10 metre) veri sağlayan sistemlerdir. Bu örnekte, Fransız SPOT uydu verisi kullanılmıştır. Bu uydularda optik algılayıcılar kullanılır. Veri elektromanyetik tayfın görünür bölgesinden elde edilir. Özellikle arazi kullanım ve fiziksel planlama çalışmalarında temel veri olarak kullanılır. Bu görüntüde deprem öncesi ve sonrası İstanbul metropolünün hava alanının uzak batısından bir örnek verilmiştir. Yuvarlaklar depremde hasar görmüş yerleri belirtmektedir. Bu yerlerin doğruluk tespiti, hava fotoğrafı ve yer çalışmaları kontrolü ile yapılmıştır. Bu görüntüler Fransız deprem araştırma gurubundan (GEOSCIENCES Inc.) temin edilmiştir. Yıkılan binaların hemen hepsinin 1990 yılından sonra inşa edilen yapılar olduğu uzmanlar tarafından ifade edilmiştir. Ayrıca, bu görüntüler üzerinde yer kontrolleri ile desteklenerek yapılan çalışmalar sonucunda, yıkıntı sonucu meydana gelen molozun şehirlerin içindeki ve yakınındaki nehir ve çay yataklarına döküldükleri ve deprem sonrasında bölgenin drenaj mekanizmaları ve akış yönlerinde buna paralel değişiklikler olduğu anlaşılmıştır. Bu yüzden deprem mağdurlarını bir de sel baskınlarına maruz bırakabilecek yüksek riskin oluştuğu uzmanlar tarafından belirtilmektedir.



uyarı ve destek ihtiyacı sinyallerinin hızlı biçimde elde edilebilmesi için uydu telekomünikasyon sistemleri kullanılır. Çöken ve işleyemez duruma gelen haberleşme altyapı sistemlerinin yerine uzay temelli mobil telefon sistemleri devreye sokulur. Afet alanlarındaki halkın temel ihtiyaçlarının karşılanmasında internet, tv ve uydu video konferans sistemlerinden yararlanır. Meteorolojik şartların zararlarından etkilenmemek ve bölgede önce-

den tedbir almak içinde meteorolojik uydu sistemleri kullanılır.

Bu teknolojilerinden kolaylıkla yararlanmak için öncelikle ulusal düzeyde yeterli bir bilgi erişim ve kullanım altyapısının oluşturulması gerekiyor. Bunun yanında, hükümetler ve toplum doğal afet konusuna öncelik vermelidir. Telekomünikasyon sistemlerinin kullanılmasında uluslararası işbirliğinin daha etkin çalışması sağlanmalıdır. İlgili uzay teknolojileri ve teknik-

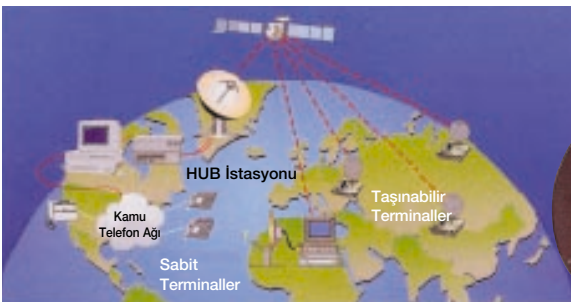
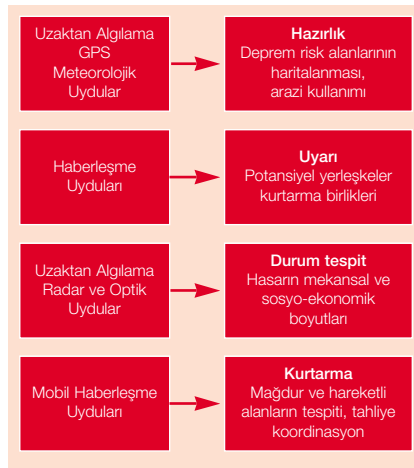
lerine kolay ulaşılmalı ve bu teknolojilerinin kullanımı ile ilgili olarak eğitim ve öğretim teşvik edilmelidir.

Bugün uygun maliyetli uzay teknolojileri kullanarak afetlerin toplum üzerindeki sosyo-ekonomik zararları en aza indirilebilir. Örneğin uzay temelli uzaktan algılama sistemleri (radar, optik ve lazer algılayıcıları) sayesinde afetler öncesi ve sonrası planlar hazırlanabilir. Bu planlar için gerekli olan bilgiler, jeolojik yapılar, yüzey morfolojisi, fay hatları, önemli çizgisellikler, arazi kullanım haritaları kolaylıkla elde edilir. Ayrıca yeraltındaki gerilmeler ölçülebilir, yüzey şekillerindeki hareketlilik ve yerdeğişimlerin mesafe ölçümleri yapılabilir ve gerilmelerin toplandığı potansiyel risk içeren alanlar belirlenebilir. Bu teknolojiler ile, olası aktif fay zonlarını gösteren yüzey tipolojileri belirlenebilmektedir. Bu bağlamda dikkatli haritalanmış yüzey şekilleri ve jeolojik yapılar, yer yüzünün üç boyutlu gerçeğe yakın gösterimi ve çizgisellikler olası aktif fay zonları ve yeni tektonik bölgeler hakkında önemli bilgiler verebilir.

Depremlerin bize fiziksel ve ekonomik anlamda ne kadar zarar verdiği de yine bu teknolojileri kullanarak harita dilinde anlatılabilir. Yüksek mekansal ve spektral çözünürlükte görüntüleme, hedef nokta tespit tekniği, geliştirilmiş algılayıcı diziler ve alçak yörünge uydu teknolojileri ile detaylı

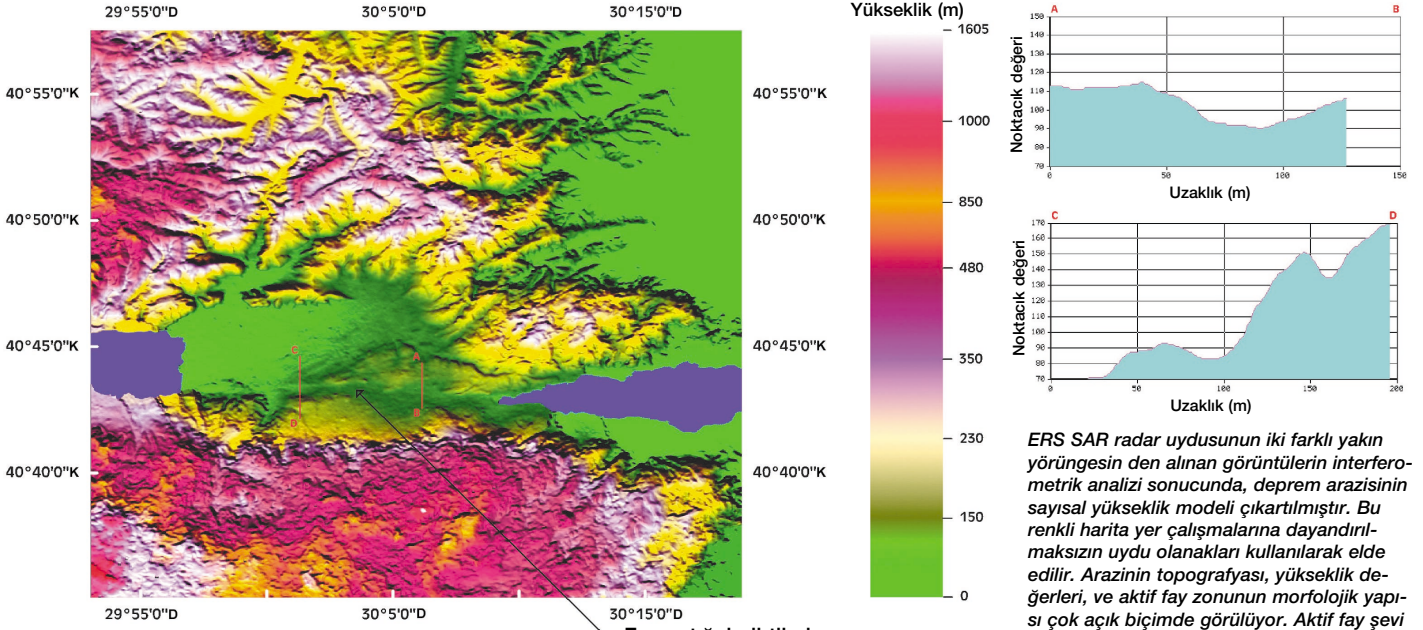


Siyah-beyaz tonları tek bantta gösteren deprem bölgesi arazi örtüsü değişimleri yansıtan ERS SAR radar görüntüsü.



Basitleştirilmiş anlamda uzay uydu teknolojilerinin genelde afetler özelde depremlerde kullanım evreleri.





D). Yeşil renkler alüvyon zeminli bölgelere ve depremden etkilenen yerleşim alanlarının bulunduğu 0 ila 150 metre yükseklikteki yerlere karşılık geliyor. Kırmızı renkler topografyanın yüksek yerlerini ve sert kayaların bulunduğu alanları gösteriyor. Deprem bölgesindeki drenaj ağı, jeolojik yapılar ve morfolojik tipolojiler bu veri üzerinde ayırt edilebilmektedir.

deprem öncesi ve sonrası durum tespiti, yüzeydeki değişimin belirlenmesi, arazi kullanım, topografya haritaları ve yeni yerleşim alanları ve sanayi bölgelerinin seçimi için gerekli risk haritaları çıkartılabilir.

Son yıllarda sık sık kullanılmaya başlayan yeni bir uzay teknolojisi de interferometri olarak adlandırılan radar tekniğidir. Bu teknik ile yeryüzündeki herhangi bir noktanın değişik yörengelerden alınan nokta değerleri sa-

yesinde üç boyutlu topografya haritaları ve yüzey üzerindeki değişimler hassas ölçümlerle belirlenebilir. Ayrıca fay hareketleri ve tektonik plaka kenarlarındaki oynamalar milimetre düzeyinde tespit edilebilir.

Bölgesel İzmit depremi sonrası uzay teknolojileri kullanılarak yapılan çalışmalar uygulamalarıyla birlikte yazı içindeki resim altlarında anlatılmıştır. Bu örneklerde optik, radar ve interferometrik radar uydu algılayıcılarından el-

de edilen veriler kullanılmıştır. Dikkati çekebilecek önemli sonuç aktif fay morfolojisinin ve arazinin fiziksel yapısının radar görüntülerinde net biçimde gözükmesidir. Bu radar sonuçları, radar interferometri tekniği ve farklı yörengelerden alınan radar görüntüleri üzerinde kompozit analiz yöntemi kullanılarak ortaya çıkartılmıştır. Optik algılayıcılardan alınan görüntülerde özellikle yerleşim yerlerinin dokusu ve jeolojik kaya birimlerinin neler olabileceği (örneğin, alüvyon, sert kaya türleri, yumuşak zeminler) belirlenebilmektedir.

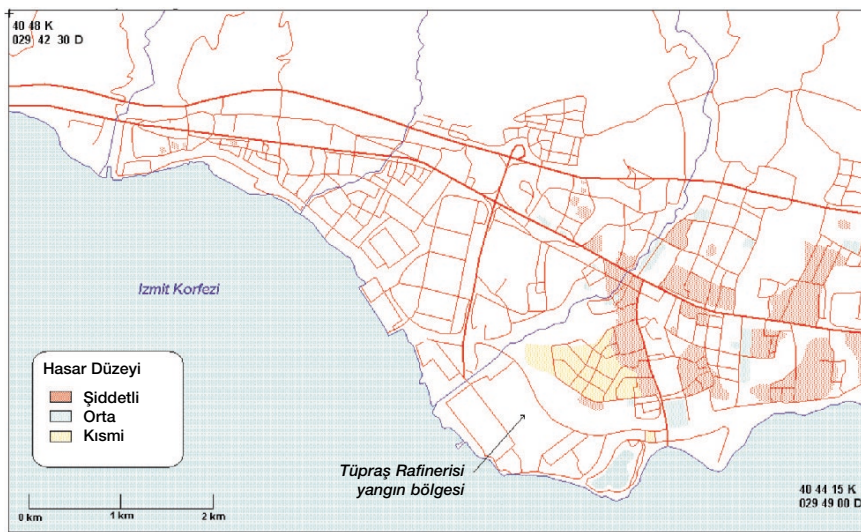
Deprem riski çalışmaları, jeolojik, jeofiziksel, sismik ve jeomorfolojik bilgilerin aynı düzlemde çakıştırıldığı ve tek bir sistem içinde analizi ve yorumlanması yapıldığı zaman anlamlı olmaktadır. Böylece resmin bütününe görebiliyoruz. Olası risk bölgelerini önceden belirleyebilir, buna göre de önlemler alabiliyoruz. Sonuçta, depreme savunmasız yakalanmayacağımız yerleşim bölgelerinde hayatlarımızı en az risk altında sürdürebiliriz.

Bu yazıda kullanılan uzay resimleri Avrupa Uzay Ajansı, Avrupa Uzay Araştırmaları Enstitüsü, Usaktan Algılama bölümünden temin edilmiştir. Sayın Dr. Jürg Lichtenegger ve çalışma arkadaşlarına yardımlarından dolayı teşekkür ederim

Tamer ÖZALP

Dr., TÜBİTAK, Danışman,
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı

Kaynaklar
ESA, sp-1176/11, New Views of the Earth, Applications Achievements of ERS-1
ESA, sp-1176/1, New Views of the Earth, Scientific Achievements of ERS-1
UN, 1998, Disaster Prediction Warning and Mitigation, UNISPACE III Conference, Background paper 2.



Bu tematik harita Derince ilçesinin batısı ve yangın bölgesini içeren deprem alanının 18 Ağustos tarihindeki durumunu yansıtıyor (Refineri yangınına gösteren resmin yaklaşık dört defa daha büyütülmüş durumu). Yerleşim yerlerinin deprem sonrası hasar durumları gösterilmiştir. Bu sonuç, deprem öncesi ve sonrası alınan uzay görüntülerinin birlikte işlenmesi, analizi ile, coğrafi bilgiler kullanılarak elde edilmiştir. Bu analiz sonucunda, hasarla değişime uğramış yerleşim yerlerinin dokusal tahribat dereceleri sınıflandırılmıştır. Buna göre 3 kategori belirlenmiştir. Kırmızı bölgeler tamamen çöken alanları, mavi renkler orta derecede hasar gören yerleri, ve sarı renkler sınırlı düzeyde hasarlı alanları göstermektedir. Ayrıca yerleşim bölgesinin ulaşım düzeni, kıyı hattı, ve rafineri alanı da (okla gösterilen yangın yeri) bu harita üzerine işlenmiştir.