Book of Full Texts
Geomatik/Geomatics

Zemin Çökmelerinin ve Bina Yoğunluğu İlişkisinin InSAR ve Optik Uydu Görüntüleri ile Araştırılması: Doğu Marmara (İzmit Körfezi) Örneği

Investigation of Time Dependent Building Density and Its Relation with Land Subsidence by InSAR and Optical Satellite Images in The Case of East Marmara (Izmit Bay)

Arzu Erener[1*+], Aydin Üstün[1], Sefa Yalvaç[2], Fatma Canaslan Çomut [3], Erman Şentürk[1], Efdal Kaya[4]

[1]Geomatics Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey
[2]Geomatics Engineering, Gümüşhane University, Gümüşhane, Turkey
[3]Provincial Disaster & Emergency Authority of Denizli, Turkey
[4]Aksaray Validity, Aksaray Private Administration, Geographic Information Systems Unit, Aksaray / Turkey
[*]Sorumlu yazar: arzu.erener@kocaeli.edu.tr
[+]Konuşmacı: arzu.erener@kocaeli.edu.tr
Sunum Türü: Sözlü
Sunum Dili : İngilizce

Özet

Zemin çökmeleri ve yapı deformasyonları insan yaşamını ve kentsel altyapıyı ciddi ölçüde tehdit edebilecek tehlikelerdir. Dayanıksız ve sıvılaşma potansiyeli yüksek alüvyal sahalar üzerinde yapılaşmanın ve kat yoğunluğunun zamanla artması da, zemin deformasyon olasılığını güçlendiren unsurlardan biri olarak görülmektedir. Bu nedenle, aktif fay zonunda bulunan, sağlam olmayan alüvyal zemin üzerine kontrolsüz yapılaşmış bu gibi bölgelerin yüzey ve bina deformasyonlarının izlenmesi ve risk bölgelerinin tespiti, erken uyarı imkânlarının geliştirilebilmesi, can ve mal kaybının önlenmesi veya etkilerinin azaltılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Marmara depremine rağmen, Kocaeli'nde yeni organize sanayi alanlarının kurulması ile birlikte 2000'li yıllardan sonra nüfus ve şehirleşme hızlı bir şekilde artmıştır. Bu nedenle çalışmada, bina yoğunluğundaki zamansal gelişimin, düşey yönlü yer değiştirme ve hareket oranlarına etkisinin alansal ve zamansal ölçekte takip edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca bağlı olarak bina yoğunluklarındaki değişim, 20 yıllık izleme süresini kapsayan Rapideye ve Spot optik uydu görüntülerinden elde edilmiştir. Binalar zamansal fark analizleri öncesinde DVM (Destek Vektör Makinesi) yöntemleriyle tespit edilmiştir. İzmit Körfezi bölgelerinde yüzeysel çöküntülerin araştırılması ve gözlenmesi için InSAR teknikleri kullanılmıştır. Arşivlenmiş SAR görüntülerinin katkısıyla, izleme süresi son 4 yılı kapsamaktadır. Sentinel SAR görüntülerinden üretilen interferogramlar, İzmit Körfezindeki sağlam olmayan zeminin alansal dağılımını ve kinematiğini tanımlamak için kullanılmıştır. Çalışma; ileriye yönelik doğal afetlere karşı sürdürülebilir önlemlerin alınması, yapılaşma hızı ve yoğunluğu için önlem planlarının hazırlanması, İzmit Körfez çevresinde bina ve zemin deformasyonunun mevcut durumunun belirlenmesi, risk taşıyan alanlarda mühendislik tedbirlerinin alınması açısından önem arz etmektedir.

Anahtar kelimeler: Rapideye, Spot, DVM, Sentinel, InSAR

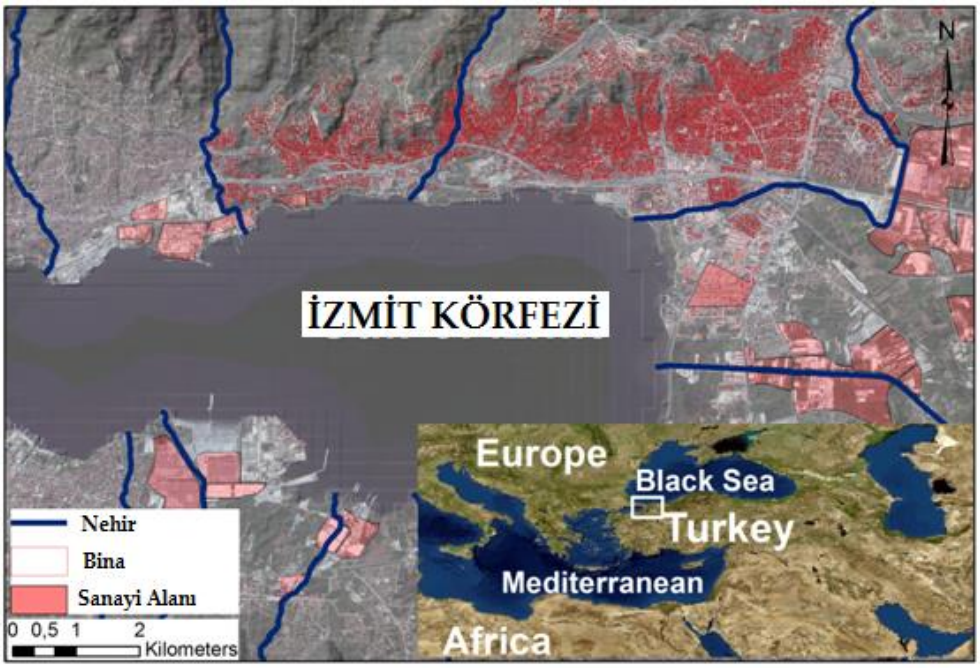
Abstract
Land subsidence is a hazard that can severely threaten human life and urban infrastructure. The increase of the construction and floor concentration in the endurable and high liquefaction potential alluvial fields over time is seen as one of the main factors that raise the possibility of ground deformation. Therefore, it is of great importance to monitor surface and building deformations and to identify risk areas of such uncontrolled structured settlements in an active fault zone in order to develop early warning facilities, and prevent or reduce the loss of life and property. Despite the Marmara Earthquake, the population and settlement increased rapidly after year 2000 with the newly established organized industrial zones at Kocaeli. Hence, in the study, it is aimed to monitor the time dependent development of the building densities and investigate its relation with vertical displacements on spatial and temporal scale. Determination of change on building densities is obtained from Rapideye, and Spot optical satellite images that cover 20-year monitoring period. Buildings were detected by SVM (Support Vector Machine) methods prior to building density identification. InSAR techniques are employed for the investigation and observation of surface subsidence in the İzmit Bay regions. With the contribution of archived SAR images the monitoring period cover the last 4 years. Interferograms generated from Sentinel SAR images have been used to identify unstable ground segments and their kinematics. The results are important for the sustainable prevention plans against geohazards in future, developing countermeasures for the fast urban development, determination of the current situation of the building and ground deformation distribution around İzmit Bay, and in taking of engineering measures in risky areas.
Keywords : Rapideye, Spot, DVM, , SAR, InSAR

1. Giriş

Nüfus artışı, bina yoğunluğunun oluşmasına ve beraberinde zeminde oluşacak kat yükünün artmasına neden olmaktadır. Binalar, zemin deformasyonu nedeniyle oluşabilecek hareketlere karşı hassastır. Yerleşim yerlerinde ya da deprem riski taşıyan alanlar içinde ya da yakınında bulunan zeminlerde uzun süreli deformasyon gözlemleri olmaması durumunda, olası bir depreme karşı önlem hazırlığı içinde olunamayacak ve dolayısıyla hasar ve can kaybı yüksek olacaktır. Bu nedenle, zemin davranışının ve bina riskinin öngörülmesi için, binalarda meydana gelen deformasyonun mekansal ve zamansal olarak haritalanması gerekir. Günümüzde yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, binalar hakkında mekansal bilgi toplamak için çok etkili bir yoldur. Görüntüdeki yüzey nesnelerini belirlemek için birçok teknik kullanılır. Uydu görüntülerinden nesne belirleme yöntemlerinin en yaygınları piksel tabanlı, nesne tabanlı, bilgi tabanlı sınıflandırma yaklaşımlarıdır (Mundia ve Aniya, 2005; Jat, 2008; Erener, 2013; Aytekin ve diğerleri, 2012). InSAR teknolojileri, yeryüzünde meydana gelen deformasyonları jeodezik ve uzaktan algılama teknikleri ile belirlemek ve yer gözlemleri ile bütünleşmek için çok etkili ve yaygın bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Ferretti ve ark., 2001, Chatterjee RS, 2006; Guzzetti ve ark. , 2009, Lauknes ve diğerleri, 2010, Herrera ve diğerleri, 2010, Ciampalini ve diğerleri, 2014; Canaslan ve Üstün, 2012; Üstün ve diğerleri, 2018). Diferansiyel InSAR (DInSAR), DEM kullanılarak topografik fazın elimine edilmesiyle elde edilir. Zaman farkı göz önüne alındığında, DInSAR, göreceli yer değiştirmeleri ölçmek için santimetre-milimetre duyarlılığı olan kullanışlı bir ölçüm tekniğidir. Alüvyon alanlarında bulunan bina yoğunluğunun tespiti ve düşey deformasyon üzerindeki potansiyel etkisi, literatürde çok incelenmemiş yeni konulardan biridir. Bu nedenle, bu çalışmada İzmit Körfezi çevresinde, zemin deformasyonunun gözlemlenmesi ve intersismik dönemde ortaya çıkan yapı yoğunluğu ile ilişkisinin izlenmesi amaçlanmıştır.

2. Çalışma Alanı ve Veri

İzmit Körfezi, İzmit Kuzey Anadolu fayının kuzey kolu üzerinde yer almaktadır ve bu yapı bir seri basenlerden oluşmaktadır (Şekil 1). İzmit Körfezine boşalan nehirler jeolojik süreç içerisinde Gölcük, Hersek, Kavaklı deltalarını ve Sapanca Gölü ile İzmit Körfezi arasındaki geniş ve uzun alüvyon düzlüğünü oluşturmuştur. Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimlerle temellenen bölgede en önemli tektonik yapıyı Kuzey Anadolu Fay Sistemi tanımlar. Fay sistemine yakın alanlarda zemin profili genelde çok kalın, yumuşak-orta katı kil veya gevşek kum tabakalarıyla kaplıdır. Körfez kıyı bölgesinde izlenen bu zemin profilinden dolayı, Kuzey Anadolu Fay Hattının İzmit Körfezinin güneyi boyunca uzandığı bölgede hem sismik aktivite çok yüksek ve hem de zemin koşulları yapılaşma için elverişsizdir. Bu çalışmada, bina yoğunluğunun zamansal değişimi ve zeminde oluşan düşey deformasyona etkileri incelenmiştir. Binaların tespiti için optik uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma için deprem öncesi bina tespitine yönelik olarak 20-08-1999 Spot-4 (10 m pan, 20 m çok-spektralli bant) görüntüsü ve güncel bina dağılımının analizi için ise, 13-05-2018 Rapideye (5 m) verileri elde edilmiştir. Bölgedeki mekansal ve zamansal yapı yoğunluğu değişimi, CBS ortamında elde edilmiştir. Bu çalışmada zemin deformasyonu tespiti için InSAR gözlemleri ışığında, Sentinel-1A/B verileri Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından Copernicus Programı aracılığıyla ücretsiz olarak elde edilmiştir. Veriler alçalan orbit geçiş modunda, 5-20 m mekansal çözünürlüklü ve VV^{+},VH polarizasyonuna sahiptir. 2015.11.09 ve 2017.03.27 verileri birinci enterferogramı elde etmek için, 2017.06.25-2018.05.15 verileri ikinci enterferogramı elde etmek için kullanılmıştır.

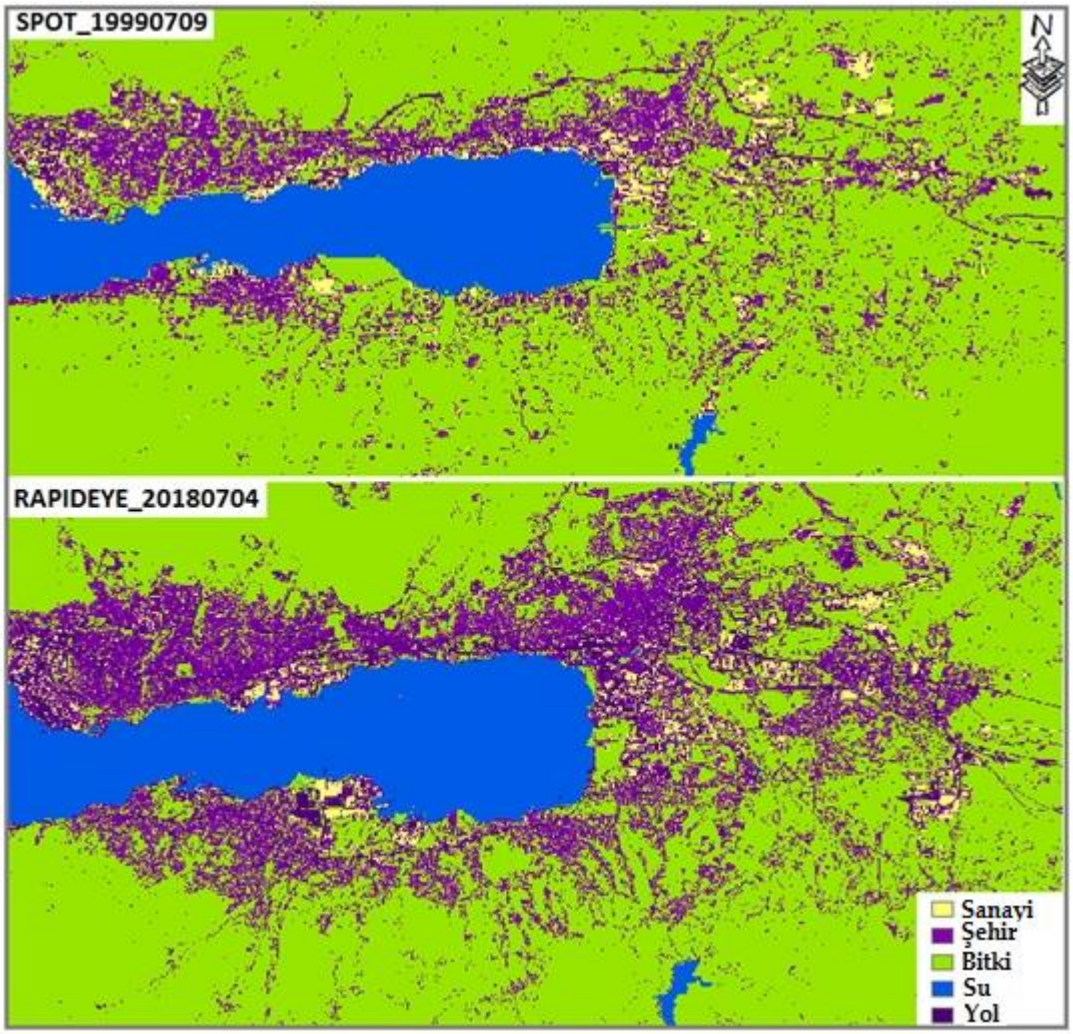


Şekil 1. Çalışma alanı İzmit Körfezi, bina ve sanayi alanları dağılımı

3. Uygulama

Zamansal bina değişim analizi için öncelikle yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden bina tespiti yapılmış; bunun için keskinleştirilmiş görüntülere DVM (Destek Vektör Yöntemi) sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır. DVM, istatistiksel öğrenme teorisinden türetilen bir sınıflandırma sistemidir. DVM'nin matematiksel altyapısını anlatan çok sayıda yayın vardır (örneğin Vapnik 1995, 1998; Burges 1998; Ben-Hur ve ark. 2001). Makine öğreniminde, DVM'leri eğitimli öğrenme modellerindendir. Çalışmada, eğitim sınıflarının oluşturulması için,

arazi örneklemleri toplanması sonrası SPOT ve Rapideye görüntüleri, DVM yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada sanayi, şehir alanı, bitki örtüsü, su ve yol olmak üzere toplamda beş farklı arazi kullanım sınıfı oluşturulmuştur. Şehir alanı, dört farklı bina tipini işaret eden, farklı çatı tiplerinin birleştirilmesiyle temsil edilmiştir. Sınıflandırılmış görüntüler Şekil 2'de sunulmuştur.

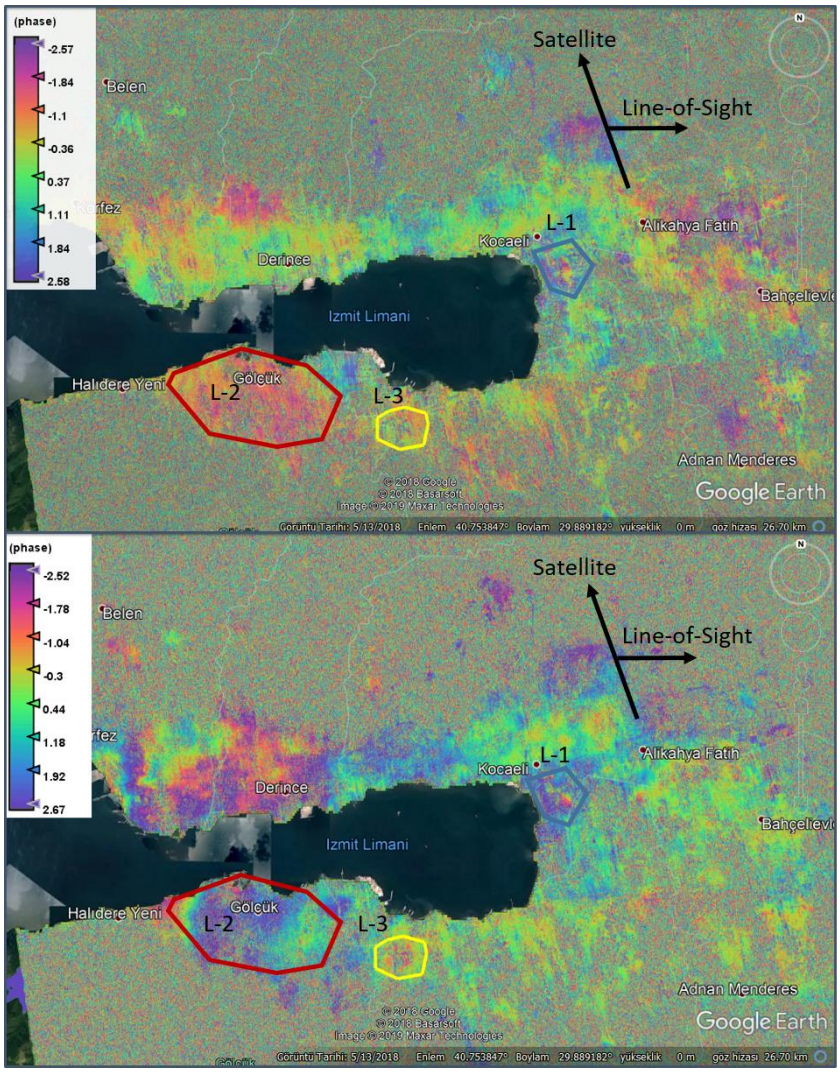


Şekil 2. DVM ile sınıflandırılmış Spot ve Rapideye görüntüleri

Çalışma odağı bina yoğunluğu olduğundan dolayı, sanayi alanı ve şehir alanı sınıfları birleştirilmiş ve yeniden sınıflandırma analizi sonrası oluşan bina verileri için CBS ortamında yer gerçeği verileri ile doğruluk analizleri yapılmıştır. Doğruluk değerlendirme sonuçlarına göre, DVM algoritmasının Rapideye görüntüsü için %85.18 ve Spot görüntüsü için %77.16 genel doğruluk değerlerini sağladığı görülmüş olup sonraki analizler için uygun bir altlık oluşturulduğu anlaşılmıştır. İntersismik dönemde yaklaşık 20 yıllık süreçte arazi kullanımdaki değişim incelenmiştir. Değişim analizleri sonucunda, şehir alanlarının %10 oranında arttığı, bitki alanlarının %10 azaldığı ve su alanlarının da %1 oranında azaldığı görülmüştür.

Alanda son dört yıldaki zemin deformasyonlarının belirlenmesi için ise Sentinel 1A/B verileri işlenmiştir. Differantial InSAR kullanarak özellikle İzmit Körfezi üzerindeki kentsel alanlarda, iki farklı interferogram görüntüsü ve topografik hataları gidermek için SYM kullanarak yer değiştirme oranlarının gösterilmesi amaçlanmıştır. 2015.09.11 - 2017.03.27 ve 2017.06.25 -

2018.05.15 tarih aralıklarına ait iki farklı Sentinel interferogramı ile yapılan karşılaştırmalar, Şekil 3'te gösterilmiştir.

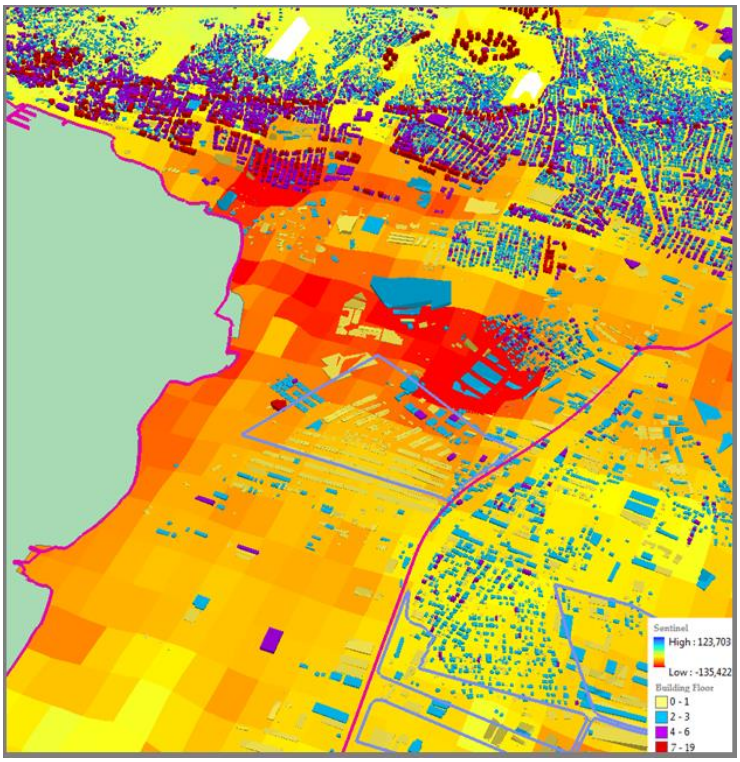


Şekil 3. İlk Interferogram Sentinel-1A SAR görüntüleri ile 2015.09.11 - 2017.03.27 tarihleri arasında üretilmiştir (şeklin üstünde), İkinci Interferogram Sentinel-1B SAR görüntüleri ile 2017.06.25 - 2018.05.15 tarihleri arasında üretilmiştir

Şekil 3'te iki interferogram arasındaki faz değeri farkları görülmektedir. Buna göre ilk interferogramın (üstteki) enterferans değerleri, -2.57 ila 2.58 arasındadır ve ikinci (alttaki) interferogramın faz değeri farkı -2,52 ile 2,67 arasındadır. 2015'ten 2018'e kadar, özellikle L-2 ve L-3 alandaki yer değiştirme artışı açıkça tanımlamıştır. L-3'te (sarı renkli poligon), ilk interferogramında deformasyon yaklaşık olarak yarım saçak ve ikinci interferogramında bir saçak olarak gösterilmektedir.

Deformasyon oranlarının değeri, uyduların görüş hattı (LOS) yönünde yaklaşık 2 ila 3 cm.'dir (Sentinel C bandının yarı dalga boyudur, 2,83 cm olan veriler için yarı dalga boyudur). Üç farklı hareketli konumdaki iki interferogram arasındaki deformasyon oranları değerlendirilmiştir.. Üç lokasyonda da çöküntü oranlarının arttığı görülmüştür. L-1, L-2 ve L3'te (Şekil 3), birinci interferogramda deformasyon değeri sırasıyla -0.8, -1.1 ve -1.4 iken ikinci interferogramda bu değerler -1.8, -2.5 ve -2.8 olarak değişmiştir. İlgili alanlardaki deformasyonların yıllık değişimini

ve dağılımını daha güvenilir bir şekilde tanımlamak için çoklu enterferogramlar kullanmak yerinde olacaktır. Çoklu interferogramların zaman serisi analizi, yavaş ve uzun vadeli deformasyonları değerlendirmeyi mümkün kılar. Alana ait deformasyon haritası, 2014'ten 2018'e kadar Sentinel SAR görüntülerinden elde edilen 43 interferogramdan elde edilmiştir (Şekil 4). Sentinel deformasyon haritası, değerleri 123.703 ila -135.422 mm arasında değişen sağlam olmayan zemin alanlarını göstermektedir. İşlenen SAR görüntü alanı çalışma alanını fazlasıyla taştığından ilgilenilen alana ait olmayan deformasyonların uç değerlerini dikkate almak sonuçların yanlış yorumlanmasına neden olur. Bu yüzden çalışma bölgesine yakın ve kararlı bir zemin referans seçilerek İzmit Körfezi ve yakın çevresinin düşey yer değiştirme büyüklükleri yeniden hesaplanmış ve düşey hızlar kestirilmiştir. Kuzeydoğu kısmı ve körfezin kuzeyi bir yıl için yaklaşık 3.3 cm zemin çökmesi göstermektedir. Deformasyon haritaları, bina ve altyapılar ile birlikte değerlendirildiğinde risk bölgelerini göstermektedir. Bu çalışmada riskli binaları tanımlamak için bina katlarının modellendiği 3B'lu bina izleri ile deformasyon haritası örtüştürülmüştür (Şekil 4). Bölgedeki kat sayısı 1 ila 16 arasında değişmektedir. Körfezin güneydoğusundaki binalar, deformasyon haritasının tanımladığı deformasyon bölgelerindedir. Bölgede herhangi bir deprem meydana gelmesi durumunda yüksek katlı binaların daha fazla risk altında olduğu öngörülmektedir.



Şekil 4. 3B bina haritası ile örtüştürülmüş deformasyon haritası

4. Sonuçlar

Hızlı kentleşme ve kat yoğunluğunun sıvılaşma riski olan alüvyonlu zeminlerde artması, zemin deformasyon olasılığını güçlendiren unsurlardan biri olarak kabul edilir. Kentleşme sorunu, zeminin düşük taşıma kapasitesiyle sınırlı olmayıp, bunun yanında düşük inşaat kalitesi, yüksek bina kat sayısı, zemin iyileştirmelerinin eksikliği veya eksik mühendislik kontrolleri gibi ek riskler mevcut olabilmektedir. Günümüzde yüksek uzaysal çözünürlüklü uydu görüntüleri, bina bilgilerini toplamak için etkili bir yol sunmaktadır. InSAR teknolojileri, jeodezik ve uzaktan algılama teknikleri ile deformasyonları belirlemek için çok etkili bir şekilde kullanılmaktadır ve zemin gözlemleri ile bütünleştirilmektedir. Çalışma kapsamında deformasyonlar, çalışma

bölgesinin alüvyal birikintileri üzerinde elde edilmiş olup, yaklaşık bir yıl için 3-3.5 cm düşey deformasyonlar gözlenmiştir. Deformasyon bölgesinde yüksek katlara sahip binalar tespit edilmiş olup, bölgede olası deprem oluşumuna karşı riskli alanların ve üzerindeki yapı stoğunun durumu ortaya çıkarılmıştır. Sonuçlar, İzmit Körfezi ve çevresindeki alanda zemin kararlılığı özellikleri için sürekli bir izleme ağının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bilgiler, gelecekteki jeolojik tehlikelere karşı sürdürülebilir önleme planları geliştirmeyi, hızlı kentsel gelişim için önlemler almayı, binaların mevcut durumlarını ve risklerini belirlemeyi, İzmit Körfezi çevresindeki zemin deformasyon dağılımını haritalamayı kolaylaştırmıştır.

Katkı Belirtme

Bu çalışma 117Y155 nolu Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (Tübitak) tarafından finansal olarak desteklenmektedir ve Kocaeli Büyük Şehir Belediyesi ile işbirliği yapılmıştır.

Kaynaklar

Aytekin, Ö., Erener, A., Ulusoy, İ., Düzgün, Ş. 2012. Unsupervised building detection in complex urban environments from multispectral satellite imagery. International Journal of Remote Sensing, 33(7): 2152-2177.

Ben-Hur, A., Horn, D., Siegelmann, H., and Vapnik, V.N., 2001. Support vector clustering. Journal of Machine Learning Research, 2: 125–137.

Burges, C.J.C., 1998. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. Data Mining and Knowledge Discovery 2 (2), 121–167.

Canaslan, F., Üstün, A. 2012. Impact of perpendicular and temporal baseline characteristics on InSAR coherence maps. In FIG Working Week 2012, 6-10 May: Rome.

Chatterjee, R.S., Benedicte, F., Rudant, J.P., Roy, P.S., Pierre-Louis, F., Lakhera, R.C, Dadhwal, V.K., Ranajit, S. 2006. Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the 1990s as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) technique. Remote Sensing of Environment, 102(1-2): 176-185.

Ciampalini, A., Bard, F., Bianchini, S., Frodella, W., Ventisette, C.D., Moretti, S., Casagli, N. 2014. Analysis of building deformation in landslide area using multisensor PSInSAR technique. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 33: 166–180.

Erener, A. 2013. Classification Method, Spectral Diversity, Band Combination and Accuracy Assessment Evaluation for Urban Feature Detection. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21: 397–408. doi: 10.1016/j.jag.2011.12.008.

Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2001. Permanent scatterers InSAR interferometry. IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens., 39(1): 8–20.

Guzzetti, F., Manunta, M., Ardizzone, F., Pepe, A., Cardinali, M., Zeni, G., Reichenbach, P., Lanari, R. 2009. Analysis of ground deformation detected using the SBAS-DInSAR technique in Umbria. Pure Appl. Geophys., 166(8–9): 1425–1459.

Herrera, G., Tomás, R., Monells, D., Centolanza, G., Mallorqui, J.J., Vicente, F., Navarro, V.D., Lopez-Sanchez, J.M., Sanabria, M., Cano, M., Mulas, J. 2010. Analysis of subsidence using TerraSAR-X data: Murcia case study. Eng. Geol., 116: 284–295.

Jat, M.K., Garg, P.K., Khare, D. 2008. Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10: 26–43.

Lauknes, T.R., Piyush Shanker, A., Dehls, J.F., Henderson, I.H.C., Larsen, Y. 2010. Detailed rockslide mapping in northern Norway with small baseline and persistent scatterer interferometric SAR time series methods. Rem. Sens. Environ., 114: 2097–2109.

Mundia, C.N., Aniya, M. 2005. Analysis of land use/cover changes and urban expansion of Nairobi city using remote sensing and GIS. International Journal of Remote Sensing, 26(13): 2831-2849.

Üstün A., Erener A., Konak H., Şentürk E., Küreç P., Güvenaltın M.A., Yalvaç S., Çomut F.C., 2018. An Eight year Displacement Investigation in İzmit Bay Based on GPS Control Survey. Scientific Congress of the Turkish National Union of Geodesy and Geophysics. ISBN: 978-605-82558-8-3

Vapnik, V. N., 1995. The Nature of Statistical Learning Theory (New York: Springer-Verlag).

Vapnik, V. N., 1998. Statistical Learning Theory (New York: Wiley).