

DEPREM SONRASI HAVA FOTOĞRAFLARINDAN BİNA HASAR TESPİTİ İÇİN BÜTÜNLEŞİK BİR SİSTEM YAKLAŞIMI: BiDHaS

E. Sümer ^a, M. Türker ^b

^a Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 06530,
Ankara, TÜRKİYE; E-posta: esumer@baskent.edu.tr

^b Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 06800,
Ankara, TÜRKİYE; E-posta: mturker@hacettepe.edu.tr

Komisyon VII, WG VII/5

ANAHTAR KELİMELEER: Görüntü işleme, Hava fotoğrafları, Bina, Deprem, Hasar Tespiti, İzmit

ÖZET:

Bu çalışmada, 17 Ağustos 1999 tarihinde yaşanan İzmit depremi sonucunda yıkılmış olan binaların tespit edilmesini sağlayan bir Bina Tabanlı Deprem Hasar Tespit Sistemi – BiDHaS geliştirilmiştir. Sistem mimarisi, *Girdi*, *Analiz* ve *Çıktı* olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. *Girdi* bileşeni iki farklı veri setini içermektedir. Bunlardan birisi deprem sonrası çekilmiş pankromatik hava fotoğrafları diğeri ise çalışma alanındaki binaların sınır koordinatlarının tutulduğu vektör veridir. Sistemin ikinci bileşeni olan *Analiz* bölümünde yıkılmış binaların tespiti, görüntü kesimlemesi (Watershed Segmentation) tabanlı bir yaklaşım kullanılarak yapılmaktadır. Bu yaklaşım, binaların gölgelerini oluşturan kenarların analizleri temeline dayanmaktadır. Sistemin son bileşeni olan *Çıktı* bölümünde ise doğru ve yanlış olarak sınıflandırılmış binalar görsel olarak ilgili bina üzerinde gösterilmekte ve buna ek olarak metinsel ve tablosal çıktılar da elde edilebilmektedir. Geliştirilen sistem, Kocaeli ili Gölcük ilçesinin en fazla hasar gören ve genellikle çok katlı binaların bulunduğu kent merkezinde seçilmiş olan bir alanda uygulanmıştır. Uygulama alanındaki toplam 284 adet dikdörtgen biçimindeki binadan 79 tanesinin yıkılmış ve 205 tanesinin ise yıkılmamış olduğu yer gerçeklerinden bilinmektedir. Geliştirilen sistemle analiz edilen 284 binadan 229 tanesi %80,63'lük bir genel doğrulukla “yıkılmış” veya “yıkılmamış” olarak tanımlanmıştır. Sistemin çalışma alanına uygulanması ile 79 adet yıkılmış binanın 50 tanesi ve 205 adet yıkılmamış binanın 179 tanesi doğru olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen sistem örüntüsel ve vektörel verinin bütünleştirilmesini başarı ile sağlayarak deprem sonrası yıkılmış binaların hızlı ve güvenilir bir biçimde tespitine olanak sağlamaktadır.

1. GİRİŞ

Depremler doğada bilinen en ölümcül doğal afetlerdir. 20. yüzyılın son çeyreğinde dünyada birçok yıkıcı deprem, kentsel yerleşimin yoğun olduğu birçok bölgeyi yerle bir etmiş, yüz binlerce insanın ölümüne neden olmuş, altyapıya ciddi hasarlar vermiş ve yer yüzeyinde önemli değişimlere neden olmuştur. Dünyanın en önemli aktif faylarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay Hattı boyunca da birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden bir tanesi 17 Ağustos 1999 tarihinde saat 03.02'de İzmit'te yaşanmıştır. Bu felaket 17,000'den fazla insanın ölmesine ve Yalova, Gölcük, Adapazarı ve İstanbul gibi önemli yerleşim merkezlerinin ciddi ölçüde hasar görmesine neden olmuştur. Özellikle Gölcük'te birçok çok-katlı bina önemli ölçüde hasar görmüş ve hatta tamamen yıkılmıştır. Dolayısı ile, hızlı ve güvenilir bir deprem sonrası hasar tespiti, ilgili kuruluşların devreye girmesini sağlayarak, depremin şiddetli etkilerini azaltmada önemli bir role sahiptir. Bu da Uzaktan Algılama teknolojisi sayesinde havadan ve uzaydan çekilen görüntülerin değerlendirilmesi ile mümkün hale gelmiştir.

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları, binaların belirlenmesinde ve deprem sonrası hasar tespitinde sıkça kullanılan verilerdir. Özellikle hava fotoğrafları; yüksek konumsal çözünürlük, geniş spektral çözünürlük ve kalıcı olarak kaydedilebilme özellikleriyle ön plana çıkmaktadır.

Hava fotoğrafları kullanılarak yapılan bir çalışmada binaların tespiti, bina gölgelerinin görüntünün en karanlık bölgeleri olması prensibinden yola çıkılarak gerçekleştirilmiştir (Irvin vd., 1989). Yapılan bu çalışmada; binaların şekil ve yükseklikleri, binaların oluşturduğu gölgelerle ilişkilendirilerek görüntü işleme tabanlı bir yöntemle bulunmuştur.

Gamba ve Casciati (1998) tarafından yapılan bir çalışmada, deprem öncesi ve sonrası çekilmiş hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin analizleri yapılarak deprem nedeniyle oluşan hasarın tespitini gerçekleştiren bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem aynı zamanda görüntü işleme teknikleri ile coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) bütünleştirilmesine de olanak sağlayarak yarı-gerçek zamanlı bir yapıda tasarlanmış olup, tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Ishii vd. (2002), hava fotoğraflarından deprem nedeniyle hasar gören bölgelerin tespitine olanak sağlayan ikili bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemin ilk kısmında, renk ve kenar bilgilerinin birbirlerini tamamlayıcı bir şekilde kullanılmasıyla deprem sonrası hava fotoğraflarından hasarlı bölgeler tespit edilmiş; ikinci kısmında ise deprem öncesi ve deprem sonrası hava fotoğraflarının karşılaştırılması prensibine dayanan bir yaklaşımla hasarlı bölgeler başarı ile tespit edilmiştir.

Turker ve San (2003) tarafından yapılan çalışmada, deprem öncesi ve sonrası SPOT HRV uydu görüntülerinden faydalanılarak İzmit depreminin neden olduğu değişimler tespit edilmiştir. Değişim gösteren bölgeler, deprem öncesi ve sonrası

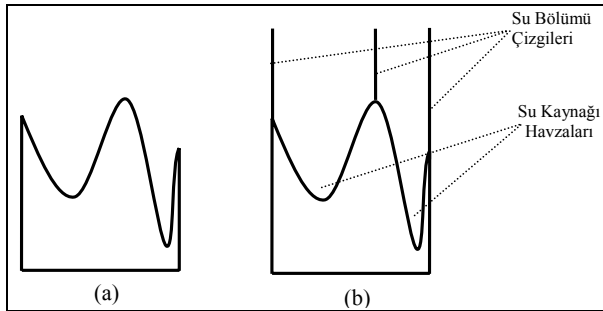
görüntülerin kızılötesi bantları arasındaki farka bakılarak tespit edilmiştir. Değişim gösteren alanların tespitinde ulaşılan genel doğruluk oranı yaklaşık %83 olarak bulunmuştur.

Yapılan benzer bir çalışmada, Turker ve Cetinkaya (2005), 1999 İzmit depreminde yıkılan binaların tespitini Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deprem öncesi ve sonrası hava fotoğraflarından oluşturulan SYM'ler arasındaki fark kullanılarak bina tabanlı bir analizle yıkılmış binaların tespiti sağlanmıştır.

Turker ve San (2004) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise deprem sonrası hava fotoğrafları ve bölgeye ait deprem öncesi bina koordinatları kullanılarak yıkılmış binaların tespiti yapılmıştır. Bu çalışmada binaların oluşturduğu gölgelerin analizine dayanan bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, bölgedeki 80 yıkılmış binanın 74 tanesini doğru olarak tespit ederek yaklaşık % 92 oranında bir analizle doğruluğu sağlamıştır.

Sumer ve Turker (2005) ve Sumer ve Turker (2006) tarafından yapılan çalışmalarda, deprem sonrası hava fotoğraflarının bölgeye ait deprem öncesi bina koordinat bilgisi ile bütünlük analizi yapılmıştır. Geliştirilen yöntem; bina çatılarının parlaklık değerleri ve yıkılmamış binaların kenarlarının yönelimlerini temel alan ikili bir yaklaşım içermektedir. İkinci çalışma, ilk çalışmayı temel alan bütünlük bir sistem yaklaşımını ön plana çıkarmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre yıkılmış binalar yaklaşık %80 oranında bir genel doğrulukla tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, deprem nedeniyle yıkılmış binaların tespitinde alan gelişimi (region growing) temeline dayanan bir görüntü işleme algoritması olan watershed kesimlemesi (watershed segmentation) kullanılmıştır. Bu algoritma, topografya biliminde yer alan su bölümü çizgileri (watersheds) ve su kaynağı havzası (catchment basin) kavramlarını temel almaktadır. Bu yaklaşıma göre görüntü topografik bir yüzey, gri seviyeler ise topografyadaki yükseklikleri temsil etmektedir (Şekil 1). Buna göre yüksek gri-seviyeye sahip olan pikseller su bölümü çizgilerine, düşük gri-seviyeye sahip pikseller ise su kaynağı havzalarına karşılık gelmektedir (Sonka vd., 1998).



Şekil 1. İki boyutta watershed kesimlemesi: (a) görüntünün gri-seviye profili; (b) watershed kesimlemesi – yerel minimum noktaları (su kaynağı havzaları); yerel minimumların belirlediği su bölümü çizgileri

Beucher vd. (1992) tarafından ortaya atılan bu yaklaşım, temel olarak görüntünün yerel minimum noktalarının bulunması ve bu noktalardan başlayarak birbirine yakın gri-seviyeye sahip piksellerin alan gelişimi prensibi ile büyümesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntem, tıp alanında sıkça kullanılan MR ve röntgen görüntülerinin yanı sıra, mikroskopik renkli

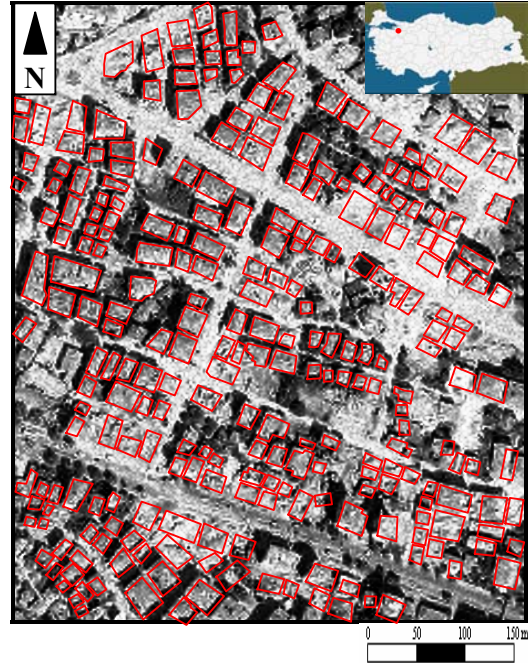
görüntülerin kesimlemesinde ve yorumlanmasında da kullanılmaktadır.

Dolayısıyla ile bu çalışmada deprem nedeniyle yıkılmış binaların tespiti, watershed kesimleme yöntemine dayanan bina temelli bir sistem yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistem, deprem sonrası hava fotoğrafları ile mevcut deprem öncesi vektör bina sınır koordinatlarını tek bir arayüz altında bütünlük kullanarak kullanıcı dostu, hızlı ve doğru bir analize imkan vermektedir. Söz konusu sistem, Kocaeli ili Gölcük ilçesinin depremde yüksek oranda hasar görmüş bir bölgesinde uygulanmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

Sistem, çalışma alanı olarak seçilen Kocaeli ili Gölcük ilçesinin sınırları içerisinde, İzmit Körfezinin güney kıyısında yer alan yaklaşık 15 km²lik bir alanda test edilmiştir. Genellikle dikdörtgen biçiminde ve çok katlı binalardan oluşan bu kentsel bölge, 284 adet bina içermektedir. Bu binalardan 79 tanesinin yıkılmış, 205'inin ise yıkılmamış olduğu gerek mevcut verilerden gerekse yer gerçekleri bilgilerinden bilinmektedir.

Çalışmada kullanılan görüntü verisi, 1m konumsal çözünürlüğe sahip Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından deprem sonrasında çekilmiş pankromatik hava fotoğraflarından oluşmaktadır. Kullanılan diğer veri olan vektör veri ise Turker ve San (2004) tarafından yapılan önceki bir çalışmada hazırlanmış ve kullanılmış olan veridir. Bu veri, her bir binayı oluşturan kenarların Kartezyen koordinatlarını (x,y) içermektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı, deprem sonrası pankromatik görüntü ve görüntü üzerine bindirilmiş vektör veri

3. BİNA TABANLI DEPREM HASAR TESPİT SİSTEMİ: BiDHaS

Deprem nedeniyle yıkılmış binaların tespit edilmesini sağlayan sistem, (Bina Tabanlı Deprem Hasar Tespit Sistemi – BiDHaS) MATLAB 7.0 programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Sistem, kullanıcı dostu ve pencereci bir arayüze sahip olmasının yanında hava fotoğrafları ile mevcut bina sınırlarının koordinat bilgilerini bütünleştirerek kullanımı kolay, hızlı ve etkili bir analiz yeteneğine sahiptir.

Sistemin yapısı, Girdi, Analiz ve Çıktı olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Girdi bileşeni iki farklı veri setini içermektedir. Bunlardan birisi deprem sonrası çekilmiş pankromatik hava fotoğrafları diğeri ise çalışma alanındaki binaların sınır koordinatlarının tutulduğu vektör veridir. Sistemin ikinci bileşeni olan Analiz bölümünde yıkılmış binaların tespiti, görüntü kesimleme tabanlı bir yaklaşım kullanılarak yapılmaktadır. Bu yaklaşım, binaların gölgelerini oluşturan kenarların analizleri temeline dayanmaktadır. Bunun için, ilk olarak binaların gölge oluşturan kenarları belirlenmekte ve her bina için, vektör veri üzerinden gölge kenarları boyunca bir tampon alan oluşturulmaktadır. Daha sonra, oluşturulan bu alan içindeki gölge alanları watershed kesimleme algoritması kullanılarak tespit edilmektedir. Bu aşamayı, kesimleme sonucu elde edilen gölge pikselleri ile tampon derinlik içerisine düşen gerçek gölge pikselleri arasındaki uyuşmanın ölçülmesi takip etmektedir. Bununla birlikte her bir bina için uyuşma yüzdesi göz önüne alınarak ‘yıkılmış’ veya ‘yıkılmamış’ şeklinde bir sonuç elde edilmektedir. Sistemin son bileşeni olan Çıktı bölümünde ise doğru ve yanlış olarak sınıflandırılmış binalar görsel olarak ilgili bina üzerinde gösterilmekte ve buna ek olarak metinsel ve tablosal çıktılar da elde edilebilmektedir. Sistemin giriş arayüzü, Şekil 3’ de görülmektedir.



Şekil 3. BiDHaS giriş arayüzü.

3.1 Girdi Bileşeni

Bu bileşen, sistemin temel girdileri arasında yer alan 1m konumsal çözünürlüğe sahip deprem sonrası çekilmiş pankromatik hava fotoğrafları (görüntü verisi) ile bina sınır koordinatlarını (vektör veri) içermektedir. Görüntü verisi, 8-bit’lik bir parlaklık seviyesine (quantization level) sahip olup .tiff uzantısındaki görüntü formatlarını desteklemektedir. Vektör veride ise, bina sınırlarının Kartezyen koordinatları, (x,y) çiftleri şeklinde metin dosyalarında (.txt) tutulmaktadır. Görüntünün ve vektör verinin yüksek bir doğrulukla geometrik olarak

çakıştırılması, mevcut vektör bina sınırlarının binaların görüntü üzerindeki konumları ile bütünleştirilmesinde büyük önem arz etmektedir. Bu işlem sistemin yetenekleri dahilinde olmayıp, Turker ve San (2004) tarafından daha önce yapılmış olan bir çalışmada gerçekleştirilmiştir. Sistemin bir diğer girdisi olan görüntülerin çekimi zamanındaki Güneş açısı, sistem tarafından bilinen bir veri olarak kullanılmıştır.

3.2 Analiz Bileşeni

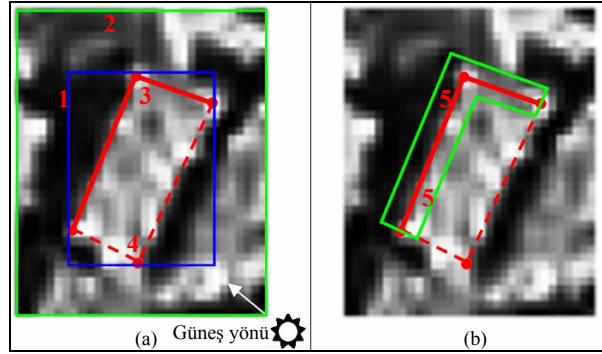
Deprem nedeniyle yıkılmış binaların tespitinin yapıldığı bu bileşende dört farklı seçenek mevcuttur. Bunlar; Dosya (File), Parametreler (Parameters), Kesimleme (Segmentation) ve Görüntü Analizi (Image Analysis)’ dir (Şekil 3).

3.2.1 Dosya

Sistemin giriş arayüzünde yer alan bu seçenek; çalışma alanını, vektör bina sınır bilgisini ve deprem sonrası pankromatik görüntü üzerine vektör bina sınır bilgisinin bindirilmiş halini yüklemek için tasarlanmıştır. Bunlara ek olarak, dosya seçeneği, analiz sonucunda oluşan yıkılmış, yıkılmamış ve hatalı olarak tespit edilmiş binaların yerlerini bir tematik harita olarak görüntülenmesine de olanak sağlamaktadır.

3.2.2 Parametreler

Bu seçenek, kesimleme işlemi öncesinde gerekli olan bazı parametrelerin ayarlanmasında kullanılmaktadır. Bu parametreler; tampon alan (buffer bound), tampon derinlik (buffer depth) ve eşik değeri (threshold)’ dir. Tampon alan, bina tabanlı analiz yapılırken seçilen ilgili binanın en küçük sınırlayıcı dikdörtgen (minimum bounding rectangle) etrafında oluşturulan bölge olarak tanımlanmaktadır. Bu bölge bina gölgesinin de kesimleme işlemine dahil edilebilmesi için önem taşımaktadır. Tampon derinlik ise analizi yapılan binanın gölge ve bina piksellerinin hesaplandığı bölgedir. Bu bölge, binanın gölge üreten kenarları etrafında oluşturulmaktadır. Son parametre olan eşik değeri ise analizi yapılan bina hakkındaki (yıkılmış veya yıkılmamış) kararın verilme aşamasında kullanılan en önemli parametredir. Bu çalışmada hesaplanan en uygun eşik değeri %50 olarak bulunmuştur. Tampon alan ve tampon derinlik değerleri ise 1 ile 10 piksel arasında değişiklik gösterip, bu çalışmada en uygun değerler sırasıyla 6 ve 3 piksel olarak bulunmuştur. Örnek bir bina için gölge ve gölge olmayan kenarlar ile oluşturulmuş tampon alan ve tampon derinlikler Şekil 4’ de görülmektedir.



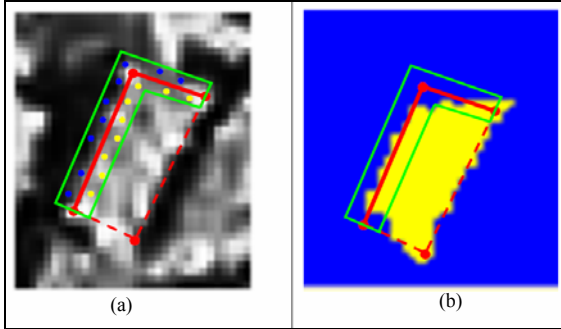
Şekil 4. (a) Örnek bina için oluşturulmuş en küçük sınırlayıcı dikdörtgen (1), tampon alan (2), binanın gölge oluşturan kenarları (3) ve gölge oluşturmeyen kenarları (4). (b) Örnek bina için gölge kenarları üzerinde oluşturulan tampon derinlik (5).

3.2.3 Kesimleme

Yıkılmış binaların tespitini watershed kesimleme algoritması ile gerçekleştiren bu seçenek, kesimleme işlemini iki yolla gerçekleştirmektedir. Bunlardan ilki olan otomatik kesimlemede kullanıcının müdahalesi olmaksızın çalışma alanında bulunan tüm binaların sıra ile analizi gerçekleştirilmektedir. Diğer bir yol olan manuel kesimlemede ise tek bir binanın analizi yapılmaktadır. Analiz sonuçları, deprem sonrası görüntü üzerine bindirilmiş farklı renk tonları ile ekranda görüntülenmektedir.

Kesimleme işlemi, alan genişleme (region growing) ilkesine dayalı ve işaretçi kontrollü (marker-controlled) bir yöntem olan watershed kesimleme algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın amacı, seçilen bir bina için gölge ve bina alanlarını en doğru şekilde ayırabilmesidir. Eğer bina yıkılmamış ise gölge alanına sahip olması olası bir durum iken yıkılmış bir bina için bu olasılık oldukça düşüktür. Bu prensipten yola çıkılarak her bir bina hakkında ‘yıkılmış’ ya da ‘yıkılmamış’ şeklinde bir yargıya varılabilir.

Watershed kesimleme algoritmasının ilk adımı olan değişim görüntüsünün (gradient image) elde edilmesinin ardından binaların gölge kenarları üzerinde oluşturulmuş tampon derinlik alanları içerisine çeşitli işaretçi noktalar gelişigüzel olarak yerleştirilmektedir. Bu noktalar iki farklı amaca hizmet etmektedir. İlki, bina poligonlarının içerisinde kalarak (sarı işaretçi noktalar) bina piksellerinin birleşmesini sağlamak, ikincisi ise bina poligonlarının dışında kalarak (mavi işaretçi noktalar) gölge piksellerinin birleşmesini sağlamaktır. Komşu piksellerle birleşme yoluyla gerçekleşen bu alanın genişlemesi sonucunda analiz edilen bina ile gölgesi, bir ikili görüntü olarak elde edilir (Şekil 5).



Şekil 5. (a) Örnek bina için gelişigüzel yerleştirilmiş gölge (mavi) ve bina (sarı) işaretçi noktaları. (b) Watershed kesimleme algoritmasının ürettiği bina profili ve gölge alanları.

Kesimleme işleminin tamamlanmasından sonra oluşan ikili görüntünün, bina vektör bilgisi ile bütünleşik olarak analizindeki en önemli adımlardan biri algoritmanın ürettiği gölge pikselleri ile gerçek gölge pikselleri arasındaki uyumun ölçülmesidir. Bu ölçüm tampon derinlik alanı içerisine düşen gölge piksellerinin, gölge için oluşturulan tampon derinlik alanının büyüklüğüne bölünmesiyle bulunmaktadır. Örneğin, Şekil 5’ de verilen bina için, algoritma tarafından bulunan gölge piksellerinin sayısı 91 ve gölge için oluşturulan tampon derinlik 99 pikseldir. Dolayısı ile oluşan gölge uyuşma oranı $91/99=91.9\%$ olarak hesaplanmaktadır. Benzer şekilde, bina pikselleri için de bir uyuşma oranı bulmak mümkündür. Aynı örnekte, bina için kesimleme algoritması tarafından bulunan bina piksellerinin sayısı 66 ve bina için oluşturulan tampon

derinlik 90 piksel içermektedir. Dolayısı ile oluşan bina uyuşma oranı $66/90 = 73.3\%$ olarak hesaplanabilir. Binanın yıkılmış olduğuna karar verebilmek için her iki uyuşma oranından en az birinin belirlenen eşik değerinin altında olması gerekmektedir. Bu çalışma için en uygun eşik değeri 50% olarak belirlenmiştir. Buna göre sistem, hesaplanmış olan gölge ve bina uyuşma oranlarından örnek binanın ‘yıkılmamış’ olduğu kararını vermektedir.

3.2.4 Görüntü Analizi

BiDHaS’ın giriş arayüzündeki son seçenek olan görüntü analizi, deprem sonrası görüntü üzerinde çeşitli analizler yapmaya olanak sağlamaktadır. Bu analizler iki grupta toplanmıştır. İlk grup olan görüntü iyileştirme; gri seviye iyileştirme, histogram eşitleme ve konumsal filtreleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Diğer grupta ise popüler birçok kenar tespit yöntemi (Prewitt, Sobel, Roberts ve Canny) görüntü üzerine uygulanmaktadır.

3.3 Çıktı Bileşeni

Sistemin son bileşeni olan ‘Çıktı’, yapılan analizlerin sonuçlarının çıktılarını üretmektedir. Bu bileşen, grafiksel ve tablosal olmak üzere, iki farklı türde çıktı üretebilme yeteneğine sahiptir. Grafiksel çıktı; yıkılmış, yıkılmamış veya hatalı olarak tespit edilen binalar için deprem sonrası görüntü üzerine bindirilmiş çeşitli renk tonlamalarını içermektedir. Buna göre yeşil tonlar, yıkılmamış binaları; kırmızı tonlar yıkılmış binaları; mavi ve sarı tonlar ise hatalı olarak tespiti yapılmış binaları ifade etmektedir. Tablosal çıktı ise analizi yapılan tüm binalar için bir takım istatistiksel veriyi içeren diğer bir çıktı türüdür. Bu istatistiksel verilerden bazıları; bina numarası, gölge alanları ve bina alanları için oluşturulmuş tampon derinlikleri, watershed kesimleme algoritması tarafından bulunmuş gölge ve bina piksellerinin sayıları, gölge ve bina uyuşma oranları, bina hasar tespit durumu (yıkılmış - yıkılmamış) ve tespit doğruluk durumu (doğru tespit – hatalı tespit) olarak sıralanabilir.

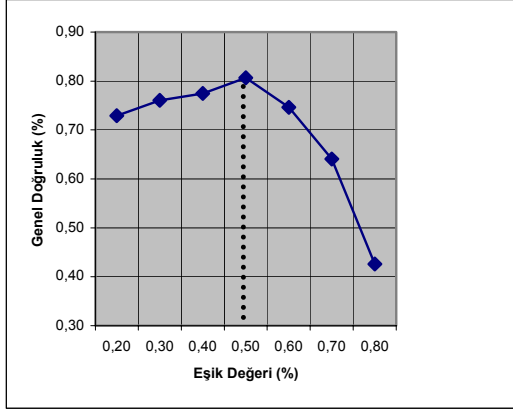
4. ANALİZ SONUÇLARI

Yıkılmış binaların tespitinde sistem tarafından en uygun eşik değeri olarak belirlenen 50% ’nin bulunmasında; 20% ’ den başlayarak 80% eşik değerleri’ ne kadar her 10% luk artırım için üretilmiş olan doğruluk değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1).

Eşik Değeri (%)	Genel Doğruluk (%)	Genel Kappa X	Ortalama Doğruluk %		Birleşik Doğruluk %	
			Kullanıcı	Analizci	Kullanıcı	Analizci
20%	72,89	4,71	73,93	51,66	73,41	62,28
30%	76,06	22,24	77,40	58,52	76,73	67,29
40%	77,46	35,32	73,09	65,33	75,28	71,40
50%	80,63	51,19	75,93	75,30	78,28	77,97
60%	74,65	45,01	71,41	75,83	73,03	75,24
70%	64,08	32,98	68,15	72,01	66,12	68,05
80%	42,61	11,28	62,98	59,08	52,80	50,85

Tablo 1. En uygun eşik değerinin bulunmasında kullanılan çeşitli doğruluk göstergeleri (genel doğruluk, genel kappa X, kullanıcı ve analizci için ortalama ve birleşik doğruluk) ve hesaplanan oranlar.

Hesaplanan bu gösterge değerlerinin maksimum oranlara ulaştığı (gri renk ile belirtilen) eşik değerlerine bakıldığında, %50 değeri toplam altı maksimum değer dördünü içermektedir. Bu nedenle, bu çalışma için en uygun eşik değeri %50 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Bu bağlamda, genel doğruluk oranlarının değişimi %10'luk aralıklar ile incelendiğinde %50'lik eşik değerinin en yüksek genel doğruluğa ulaştığı kolaylıkla görülebilmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Eşik değeri değişimine göre genel doğruluk değerlerinin değişimi.

Dolayısı ile çalışma alanında bulunan 284 binanın durumu bulunan en uygun eşik değerine göre analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda oluşan hata matrisi Tablo 2' de verilmektedir.

	Referans		
	Yıkılmış Bina Sayısı	Yıkılmamış Bina Sayısı	Toplam Bina Sayısı
Yıkılmış Bina Sayısı	50	26	76
Yıkılmamış Bina Sayısı	29	179	208
Toplam Bina Sayısı	79	205	284
Analizci Doğruluk Oranı	%63,29	%87,31	
Kullanıcı Doğruluk Oranı	%65,79	%86,06	
Genel Doğruluk Oranı	%80,63		

Tablo 2. Hata matrisi ve doğruluk oranları.

Çalışma alanında yer alan 284 binadan 229 tanesi 'yıkılmış' veya 'yıkılmamış' olarak %80.63 oranında bir genel doğrulukla kategorize edilmiştir. Bölgede bulunan 79 adet yıkılmış binanın 50 tanesi %63.3 analizci doğruluk oranı ve %65.8 kullanıcı doğruluk oranı ile tespit edilmiştir. Yıkılmış bina kategorisine ait 29 adet bina hatalı olarak tespit edilmiştir. Yıkılmamış binaların tespitinde ise çalışma alanında yer alan 205 yıkılmamış binadan 179 tanesi %87.3 analizci doğruluk oranı ve %86.1 kullanıcı doğruluk oranı ile tespit edilmiştir. Yıkılmış binaların doğruluk oranlarına karşılaştırıldığında yıkılmamış binaların doğruluk oranlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, çalışma alanında bulunan yıkılmamış bina sayısının (205) yıkılmış bina sayısına (79) göre yaklaşık 3 kat daha fazla olmasına bağlanabilir.

Geliştirilen sistemin 'Çıktı' bileşeninde, daha önce de belirtildiği gibi, bina tabanlı analiz sonuçları hem tablosal hem de görsel olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Yapılan analizlerin görsel çıktısı Şekil 7' de gösterilmektedir.



Şekil 7. Sistemin ürettiği görsel çıktı. Yeşil ve kırmızı olarak işaretlenmiş binalar; yıkılmamış ve yıkılmış binaları göstermektedir. Mavi ve Sarı ise hatalı olarak tespit edilmiş binalardır.

Şekil 7' de, bina tabanlı analize dahil edilmiş 284 bina için sistemin ürettiği farklı renk tonları görülmektedir. Yeşil olarak işaretlenmiş binalar 'yıkılmamış' binaların ve kırmızı olarak işaretlenmiş binalar ise 'yıkılmış' binaların doğru olarak tespit edildiğini göstermektedir. Sarı renk ile işaretlenmiş binalar katılım hatası (commission error) olarak adlandırılıp, gerçekte yıkılmamış olan binaların yıkılmış olarak tespit edilme durumudur. Öte yandan, mavi renk ile işaretlenmiş binalar ise kaçış hatası (omission error) olarak adlandırılmaktadır. Bu tür binalar, gerçekte yıkılmış olmasına rağmen sistem tarafından yıkılmamış olarak tespit edilmiştir. Sistem tarafından hatalı olarak tespit edilen 55 binanın 26 tanesi katılım hatası yüzdesine, 29 tanesi ise kaçış hatası yüzdesine dahil edilmektedir. Bu hataların başlıca nedenleri arasında; yıkılmış bina enkazlarının gereğinden fazla ürettiği gölgeler, birbirine çok yakın konumda bulunan binaların birbirlerinin gölge alanlarını azaltması, yıkılmamış bir binanın veya başka bir objenin (ağaç) gölgesinin yıkılmış bir bina üzerinde düşmesi ve kesimleme algoritmasındaki işaretçi noktaların konumlarından kaynaklı bazı hatalar yer almaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, deprem nedeniyle yıkılmış binaların, bina tabanlı bütünlük bir sistem olan BiDHaS tarafından watershed kesimleme algoritması kullanılarak tespiti gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, binalar ve gölgeleri arasındaki ilişkiyi temel almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre bu ilişki yıkılmış ve yıkılmamış binaların birbirlerinden ayrılmasında önemli ipuçları vermiştir. Bina tabanlı bir yaklaşım olan BiDHaS,

deprem sonrası çekilmiş görüntü ile mevcut vektör bina sınır verisini bütünlük olarak analiz ederek %80.63 oranında bir genel başarı elde etmiştir. Yıkılmış binaların tespitinde ise elde edilen kullanıcı ve analizci doğruluk oranları %63.3 ve %65.8 olarak bulunmuştur. Elde edilen bir diğer önemli bulgu ise %50'lik eşik değeridir. Bu değer, yıkılmış ve yıkılmamış binaları, bu çalışma için, en uygun şekilde birbirlerinden ayırtmış olup başka çalışma alanları için geçerli sayılamayabilir.

Geliştirilen sistem, depremde en fazla hasar gören bölgelerden biri olan Kocaeli ili Gölcük ilçesinin kentsel bir bölgesine uygulanmıştır. Uygulama, bilimsel hesaplama ve matris işlemlerinde üstün bir performansla sahip olan MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada elde edilen tatmin edici sonuçların yanı sıra sistemin göze çarpan bazı kısıtlarının olduğu da bir gerçektir. Watershed kesimleme algoritmasında kullanılan işaretçi noktaların başlangıç konumları ve bina tabanlı analizlerin yapılmasında önemli yerlere sahip olan tampon alan ve tampon derinlik değerleri daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşabilmek için optimize edilebilir. Kullanılan düşük spektral çözünürlüklü hava fotoğrafının yerine daha yüksek spektral çözünürlüklü verilerin kullanılması, watershed kesimleme algoritmasının daha iyi sonuç vermesine ve sistemin daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşmasında önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Beucher, S. and Meyer, F., 1992. The morphological approach of segmentation: the watershed transformation. In: *Mathematical Morphology in Image Processing*, E. Dougherty, Ed., chapter 12, pp. 433–481. Marcel Dekker, New York.

Gamba, P. and Casciati, F., 1998. GIS and Image Understanding for Near-Real-Time Earthquake Damage Assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64(10), pp. 987-994.

Irvin, R.B., and McKeown, D.M., 1989. Methods for Exploiting the Relationship Between Buildings and Their Shadows in Aerial Imagery. *IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics*, 19(6), pp. 1564-1575.

Ishii, M., Goto, T., Sugiyama, T., Saji, H. and Abe, K., 2002. Detection of Earthquake Damaged Areas from Aerial Photograph by Using Color and Edge Information. *Proceedings of the Fifth Asian Conference on Computer Vision*, pp. 27-32.

Sonka, M., Hlavac, V. and Boyle, R., 1998. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*, 2nd Edition, Brooks Cole, USA, pp. 186-188.

Sumer, E. and Turker, M., 2006. An Integrated Earthquake Damage Detection System. *Proceedings of 1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA'06)*, Salzburg, Austria, CD-ROM.

Sumer, E. and Turker, M., 2005. Building Damage Detection from Post-Earthquake Aerial Imagery Using Building Grey-Value and Gradient Orientation Analyses. *Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST'05)*, İstanbul, Türkiye, pp.577-582.

Turker, M. and San, B.T., 2003. SPOT HRV data analysis for detecting earthquake-induced changes in Izmit, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 24(12), pp. 2439-2450.

Turker, M. and Cetinkaya, B., 2005. Automatic detection of earthquake damaged buildings using DEMs created from pre- and post-earthquake stereo aerial photographs. *International Journal of Remote Sensing*, 26(4), pp. 823-832.

Turker, M. and San, B.T., 2004. Detection of collapsed buildings caused by the 1999 Izmit, Turkey earthquake through digital analysis of post-event aerial photographs. *International Journal of Remote Sensing*, 25(21), pp. 4701-4714.