

Yüksek Çözünürlüklü Ortofoto ve LiDAR Nokta Bulutu Verisinden Bina Sınırları Çıkarımı İçin Hough Dönüşümü ve Algısal Gruplama Tabanlı Bir Yaklaşım

Gizem Karakaş^{1,*}, Mustafa Türker¹

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara.

Özet

Coğrafi nesnelerin yüksek çözünürlüklü görüntülerden otomatik belirlenmesi kentsel analizler ve CBS için önemli rol oynamaktadır. Son yıllarda LiDAR (Light Detection and Ranging) nokta bulutu verisi ve yüksek çözünürlüklü görüntülerin kombine kullanımıyla otomatik bina tespiti çalışmalarında önemli oranda artış olmuştur. Bu çalışmada, yüksek çözünürlüklü renkli (Kırmızı, Yeşil, Mavi) ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verilerinden otomatik bina çıkarımı için Hough dönüşümü ve algısal gruplama tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşımda ilk olarak, ortofoto ve LiDAR veri setlerinin koordinat eşlemesi, LiDAR verisinden gürültünün temizlenmesi ve yer filtrelemesi ön işlemleri gerçekleştirilir. Sonra, LiDAR verisinden sayısal yüzey modeli (SYM), sayısal arazi modeli (SAM) ve normalize edilmiş SYM (nSYM), renkli ortofotodan da VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) bitki indeksi oluşturulur. Sonra, nSYM verisine bir eşik değeri uygulanarak sadece bitki alanlarının ve binaların kalması sağlanır. Oluşturulan bitki indeksi bandı kullanılarak eşiklenmiş nSYM verisinden bitki örtüsü alanlar maskelenir ve yalnız bina alanlarının kalması sağlanır. Bina alanlarının bulunmasından sonra, DoG (Difference of Gaussian) filtresi ile ortofotodan kenarlar çıkarılır. Elde edilen kenar görüntüsünden Hough dönüşümü ile binalara ait çizgi segmentleri çıkarılır ve geliştirilen algısal gruplama kuralları kullanılarak bu çizgi segmentlerinden bina sınırları çatılır. Yaklaşım, İzmir ili Bergama ilçesinden seçilen farklı özelliklere sahip test alanlarında uygulanmıştır. Sonuçların doğruluk analizleri piksel-tabanlı ve nesne-tabanlı olmak üzere iki farklı yöntemle yapılmıştır. Piksel- ve nesne-tabanlı doğruluk analizleri sonuçları BDCor (Building Detection Completeness – Bina Belirleme Bütünlüğü) için sırasıyla %81,32 ve %97,24; BDCor (Bina Belirleme Doğruluğu – Building Detection Correctness) için sırasıyla %95,36 ve %100 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, geliştirilen yaklaşım renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verilerinden bina çıkarımında oldukça başarılı olup, uygulama potansiyeline sahiptir.

Anahtar Sözcükler

LiDAR, Yüksek Çözünürlüklü Renkli ortofoto, DoG Filtresi, Hough Dönüşümü, Algısal Gruplama

1. Giriş

Uydu görüntülerinden otomatik nesne çıkarımı son yıllarda gerçekleştirilen en önemli araştırma konularından birisi olmuştur. Otomatik nesne belirleme çalışmaları, şehir planlama, taşınmaz değerlendirme, kentsel değişim ve gelişimin izlenmesi ve afet yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kentsel alanlarda nesne belirleme çalışmalarında binalar en önemli nesneler olarak ön plana çıkmaktadır (Chen vd. 2012). Güncel bina verisinin hızlı ve doğru bir şekilde otomatik olarak elde edilmesi şehir modellerinin oluşturulmasında da önemli bir yere sahiptir (Awrangjeb vd. 2010).

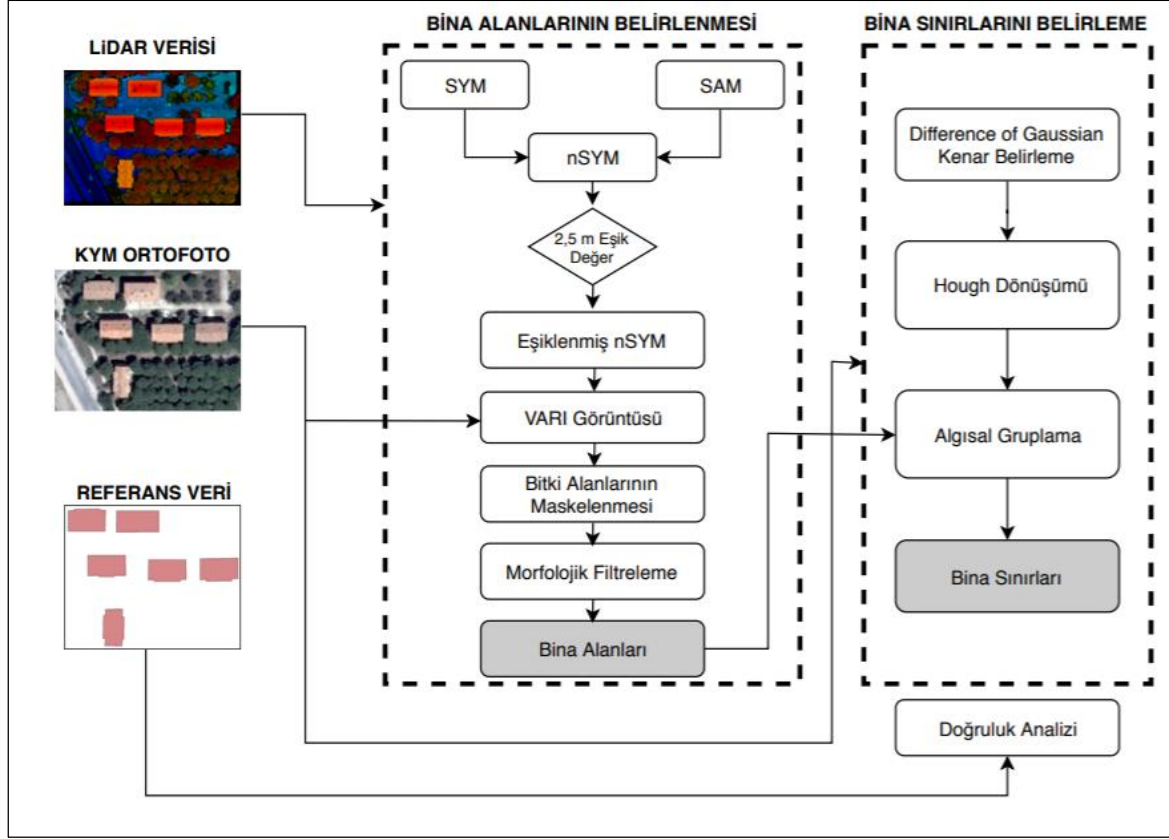
Uydu görüntülerinden otomatik bina çıkarımı ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde uydu görüntülerinden hatasız otomatik bina çıkarımının hala mümkün olmadığı görülmektedir. Arazi karmaşıklığı, eksik nesne çıkarımı ve tek bir algılayıcıya bağlı olma bu duruma neden olan etkenler arasındadır (Awrangjeb vd. 2010; Sohn ve Dowman 2007; Cheng vd. 2008). Bina çıkarımında kullanılan veriler farklı çözünürlüklere sahip çeşitli veri kaynaklarından elde edilmektedir. Her kaynağın kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır (Awrangjeb vd. 2010). Yapılan çalışmalar incelendiğinde, bina belirleme teknikleri üç gruba ayrılır (Hyuk Lee vd. 2008). İlk grup çalışmalarda sadece optik sensör verileri kullanılmaktadır (Yalçın 2008; Gündücü 2008; Shaker vd. 2011; Türker ve Koc-San 2015). İkinci grup çalışmalarda sadece LiDAR (Light Detection and Ranging) tekniği ile üretilen nokta bulutu verileri kullanılmaktadır (Miliareis ve Kokkas 2007; Wang ve Schenk 2010; Tsenga ve Hungb 2016; Ramiya vd. 2017). Bina nesnelerinin belirlenmesi sürecinde her iki gruptaki verilerin kendi içerisinde avantaj ve dezavantajları olduğu için, bu veriler birleştirilerek üçüncü grup çalışmaları oluşturulmuştur (Awrangjeb vd. 2010; Grigillo ve Kanjir 2012; Sun vd. 2018; Akbulut vd. 2018). Bu iki veri setinin entegrasyonu, optik ve LiDAR algılayıcıların kısıtlarını gidermektedir. Çünkü bu iki algılayıcı birbirlerini tamamlayıcı niteliklere sahiptir. Bina çıkarımı doğruluğunu arttırmak için LiDAR verilerindeki yoğunluk ve yükseklik bilgisi, optik algılayıcılarla elde edilen görüntülerdeki doku ve bölge sınır bilgileri ile birlikte kullanılmaktadır (Awrangjeb vd. 2010).

Bu çalışmada yüksek konumsal çözünürlüklü renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verisinden bina sınırlarının çıkarımı ve çatımı için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşım dört temel adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda, LiDAR nokta bulutu verisi ve renkli ortofoto kullanılarak bina alanları belirlenmektedir. İkinci adımda, renkli ortofotodan Difference of Gaussian (DoG) algoritması ile kenarlar çıkarılmaktadır. Üçüncü adımda, elde edilen kenar görüntüsünden Hough dönüşümü ile çizgi segmentleri çıkarılmaktadır. Son adımda ise, geliştirilen algısal gruplama kuralları ile bina sınırlarının çatımı işlemi gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yaklaşım İzmir ili Bergama ilçesinden seçilen farklı

* Sorumlu Yazar: Tel: (0312)2976990 Faks: (0312)2976167

E-posta: gizem.karakas@hacettepe.edu.tr (Karakaş G)

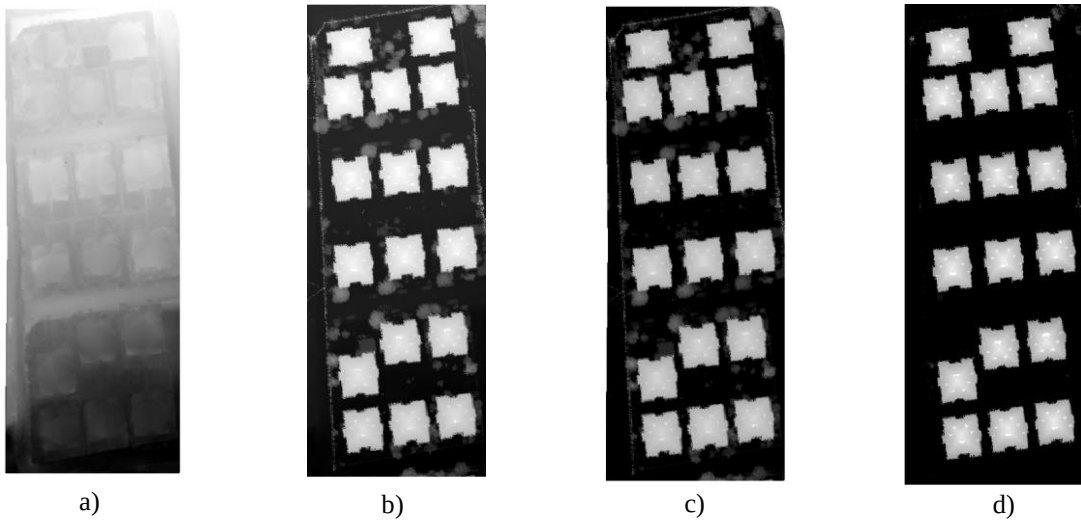
Geliştirilen yaklaşımın akış diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir. Yaklaşımın ilk temel aşaması her iki veri seti kullanılarak bina alanlarının belirlenmesi, ikinci temel aşaması ise bina sınırlarının çıkarılması ve bina çatımıdır. Bina sınırlarının çıkarılması ve çatımında izlenen işlem adımları şu şekildedir; (i) ortofotodan DoG filtresi ile kenarların belirlenmesi, (ii) kenar görüntüsünden Hough dönüşümü ile çizgi segmentlerinin çıkarılması ve (iii) çizgi segmentlerinden, geliştirilen algısal gruplama kuralları ile bina sınırlarının belirlenmesidir.



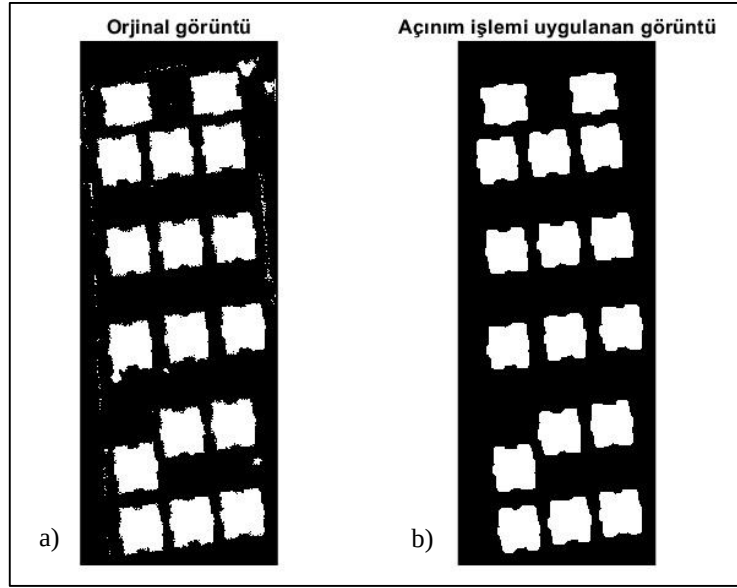
Şekil 2: Yöntem akış diyagramı

3.1. Bina Alanlarının Bulunması

Bina alanlarının bulunması için ilk olarak ortofoto ve LiDAR veri setleri arasında koordinat eşleme işlemi yapılarak iki veri seti arasındaki kayıklık giderilmiştir. Sonra, LiDAR verisindeki gürültü giderilerek, zemin ve zemin üstü olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma işleminin ardından, sadece zemin sınıfı verisi kullanılarak sayısal arazi modeli (SAM) ve ilk geri dönen sinyaller kullanılarak sayısal yüzey modeli (SYM) oluşturulmuştur. Daha sonra, SYM'den SAM'ın farkı alınarak normalize edilmiş SYM (nSYM) elde edilmiştir. Renkli ortofotoda sadece bitki ve bina nesnelerinin kalması amacıyla, nSYM verisine 2.5 m eşik değeri uygulanmış ve nSYM verisi bu eşik değere göre yeniden sınıflandırılarak eşiklenmiş nSYM elde edilmiştir (Şekil 3). Cawse-Nicholson vd. (2013)'e göre hesaplanan VARI bitki indeksi ile ortofotodan bitki örtüsü alanlar tespit edilmiştir. Eşiklenmiş nSYM görüntüsünden bitki örtüsü alanlar da elimine edildikten sonra elde edilen görüntü üzerinde morfolojik iyileştirme işlemi yapılarak bina alanları bulunmuştur (Şekil 4).



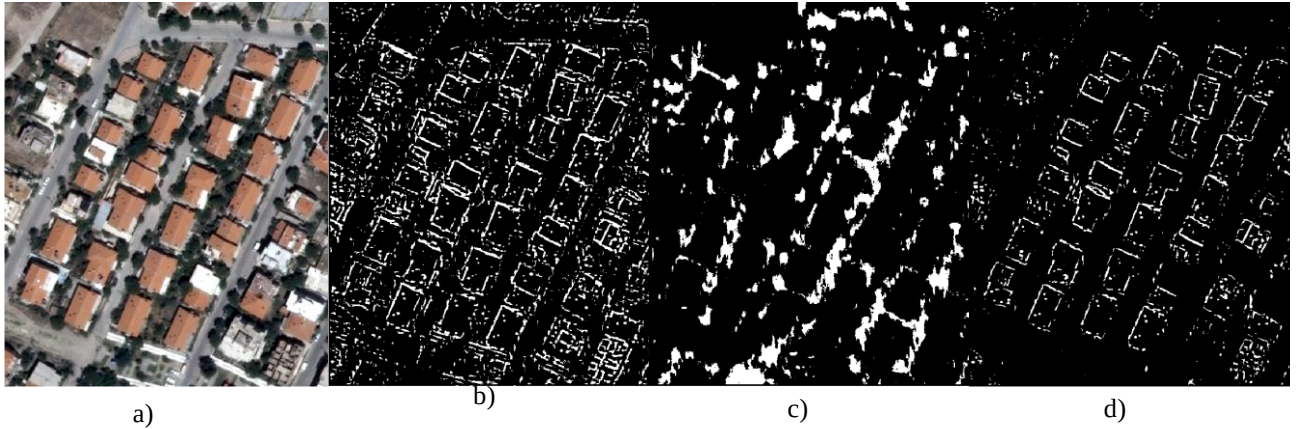
Şekil 3: LiDAR nokta bulutu verisinden üretilen a) SAM, b) SYM, c) nSYM ve d) eşiklenmiş nSYM



Şekil 4: Eşiklenmiş nSYM'nin (a) morfolojik iyileştirme öncesi görünümü ve (b) morfolojik iyileştirme sonrası görünümü

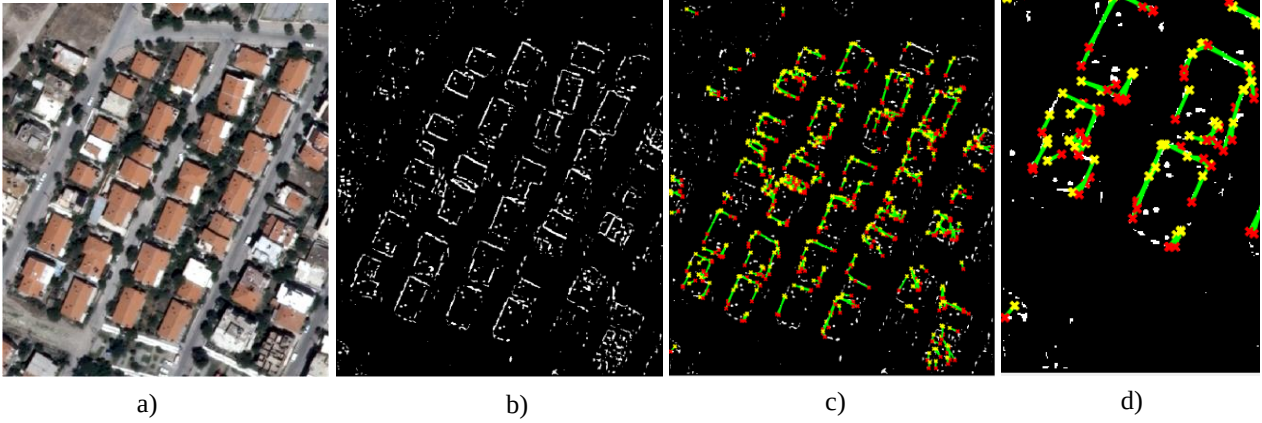
3.2. Bina Sınırlarının Çatımı

Bina sınırlarının çatımı işleminde ilk adım ortofotodan kenarların belirlenmesi işlemidir. Kenar belirleme işlemi için bu çalışmada Difference of Gaussians (DoG) filtresi kullanılmıştır. Kenarların çıkarılmasından sonra, VARI bitki indeksi ile elde edilen bitki örtüsü görüntüsü kullanılarak kenar görüntüsünden bitkilere ait kenar pikselleri elimine edilmiştir. Daha sonra, elde edilen kenar görüntüsüne nSYM verisinden yükseklik değeri atanmıştır. Yükseklik değerine sahip kenar görüntüsünden, belirlenen bir yükseklik eşik değerine (YED) göre, bu değer altındaki pikseller silinmiş ve böylece sadece binalara ait kenar piksellerinin kalması sağlanmıştır (Şekil 5). YED'in belirlenmesinde test alanlarındaki binaların yükseklikleri dikkate alınmıştır.



Şekil 5: a) Renkli ortofoto, b) DoG ile belirlenen kenar görüntüsü, c) bitki örtüsü maskesi, d) bitki örtüsü alanlarının kaldırılıp, yükseklik eşik değeri uygulaması sonrası elde edilen kenar görüntüsü

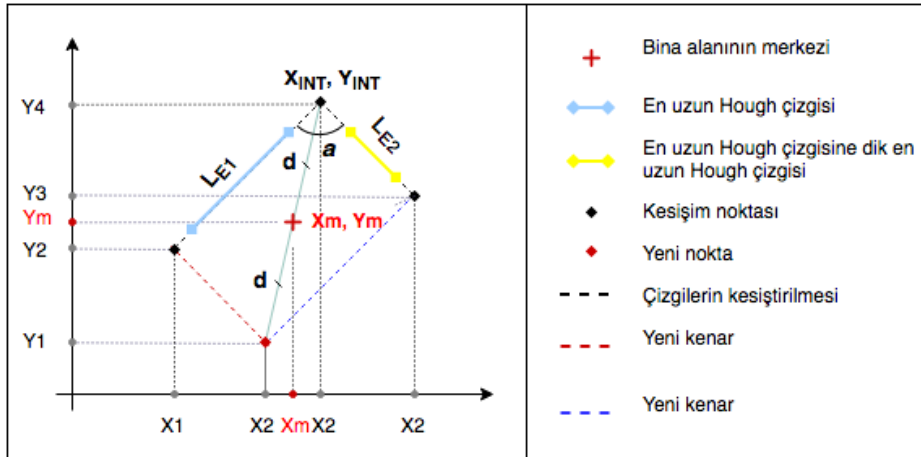
Kenar görüntüsünün elde edilmesinden sonra binaların kenarlarına ait çizgi segmentleri 2B Hough dönüşümü kullanılarak çıkarılmıştır. Bina kenarlarına ait olmayan fazlalık çizgi segmentlerinin elimine edilmesi için bir minimum çizgi segmenti eşik değeri belirlenmiş ve bu eşik değer altındaki kalan çizgi segmentleri elimine edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: a) Renkli ortofoto, b) DoG ile belirlenen kenar görüntüsü, c) bitki örtüsü maskesi, d) bitki örtüsü alanlarının kaldırılıp, yükseklik eşik değeri uygulaması sonrası elde edilen kenar görüntüsü

Bina kenarları çizgi segmentlerinden bina sınırlarının çıkarımı ve çatımı için kural tabanlı algısal gruplama yöntemi kullanılmıştır. Algısal gruplama, yakınlık (Proximity), devamlılık (Continuation), benzerlik (Similarity), kapanma (Closure), simetri (Symmetry), ortak bölge (Common Region) ve bağlanabilirlik (Connectedness) ilkelerine göre gruplandırma yapmaktadır (Rock ve Palmer 1990). Bu çalışmada, yakınlık ilkesi birbirine yakın olan çizgi segmentlerinin gruplandırılmasında, devamlılık ilkesi eş doğrusal çizgi segmentlerin tespitinde, simetrik ilkesi yeni köşe noktasının bulunmasında ve kapanma ilkesi bina sınırlarının birleştirilmesi aşamalarında kullanılmıştır.

Geliştirilen algısal gruplama algoritması şu şekildedir (Şekil 7): İlk olarak her bir bina alanının merkez noktası $(x_m, y_m; m = 1, \dots, n)$ hesaplanır. Bina merkez noktalarının hesaplanması için her binaya bir sıra numarası etiketi verilir. Bunun için bağlantılı bileşenlere etiketleme (Connected Components Labeling) algoritması kullanılmakta olup binalara sıra numarası verilerek binalar birbiri ardına sıralanır. Bina alanları merkezlerinin (x_m, y_m) hesaplanmasından sonra, çizgi segmentlerinin eş doğrusallık durumuna bakılarak devamlılık ilkesine göre eş doğrusal çizgiler birleştirilir. Sonra, her bir çizgi segmentinin orta noktasından bina alanları merkez noktalarına (x_m, y_m) olan mesafeler (r) hesaplanır. Tüm çizgi segmentlerin uzunlukları (l) da hesaplandıktan sonra, r mesafe değeri baz alınarak belirlenen bir eşik değerine göre (yakınlık ilkesi), her binaya ait en uzun kenar (L_{E1} - Longest Edge) ve bu kenara dik en uzun kenar (L_{E2}) belirlenir. L_{E1} 'ye dik L_{E2} kenarın belirlenmesi için çizgi segmentleri arasındaki açı değerleri (α) hesaplanır. Bu çalışmada diklik koşulu olarak α değerinin 80° ile 100° ($90^\circ \pm 10$) arasında olduğu varsayımı yapılmıştır ve bu koşulu sağlayan her bir binaya ait dik iki kenar (L_{E1} ve L_{E2}) tespit edilmiştir. Bu dik iki kenarı gruplandırmak için, çizgiler arasındaki kesişim noktası (x_{INT}, y_{INT}) koordinatları 2B çizgi-çizgi kesişimi mantığı ile hesaplanır. Kenarların gruplandırılmasında kesişim noktası koordinatları, belirlenen kurala göre iki çizginin yeni başlangıç veya bitiş noktası olarak kullanılır. Bina sınırlarının çatımı işleminde kalan iki kenarın tespiti için kesişim noktası (x_{INT}, y_{INT}) ve bina alanı merkez noktası (x_m, y_m) arasındaki mesafe (d) hesaplanır. Bu mesafenin hesaplanmasında merkez noktanın (x_m, y_m) bina orta noktasını temsil ettiği varsayımı yapılmıştır. Simetrik ilkesine göre merkez noktadan (x_m, y_m) ters yönde d mesafesi kadar gidilerek yeni bir köşe noktası (x_{NP}, y_{NP}) hesaplanır. Bu yeni köşe noktasından, geliştirilen bir başka kurala göre, binanın kalan diğer iki kenarı da oluşturulur ve böylece bina sınırı çatımı işlemi tamamlanır (kapanma ilkesi) (Şekil 7).



Şekil 7: Bina sınırı çatımı için geliştirilen algısal gruplama algoritmasının şematik gösterimi

3.3. Doğruluk Analizleri

Geliştirilen yaklaşım ile çatılan bina sınırlarının doğruluk analizleri için, ortofotodan manuel olarak çizilen referans veriler kullanılmıştır. Sonuçların doğruluk analizleri referans verilerle karşılaştırılarak piksel tabanlı ve nesne tabanlı yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Doğruluk analizleri için Bina Belirleme Bütünlüğü (Building Detection Completeness-BDCom), Bina Belirleme Doğruluğu (Building Detection Correctness-BDCor) ve Kalite Yüzdesi (Quality Percentage-QPct) indeksleri kullanılmıştır (Eşitlik 1).

$$\begin{aligned} BDCom &= \frac{DP}{DP+YN} * 100\% \\ BDCor &= \frac{DP}{DP+YP} * 100\% \\ QPct &= \frac{DP}{DP+YN+YP} * 100\% \end{aligned} \quad (1)$$

4. Bulgular

Geliştirilen yaklaşımın test alanlarına uygulanması sonucu elde edilen piksel tabanlı ve nesne tabanlı doğruluk analizleri sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2’ de verilmiştir. Ayrıca, çatılan bina sınırları da Şekil 8’de gösterilmiştir.

Tablo 1: TA_1–TA_5 test alanlarından elde edilen sonuçların piksel tabanlı doğruluk analizleri sonuçları

Test Alanları	TP (piksel)	FN (piksel)	FP (piksel)	BDCom. (%)	BDCor. (%)	QPct. (%)
TA_1	14643	1111	760	92.95	95.07	88.67
TA_2	19628	2848	329	87.33	98.35	86.07
TA_3	38589	21464	775	64.26	98.03	63.44
TA_4	21097	3609	2803	85.39	88.27	76.70
TA_5	31912	9722	964	76.65	97.07	74.91
Ortalama	-	-	-	81,32	95,36	77,96

Tablo 2: TA_1–TA_5 test alanlarından elde edilen sonuçların nesne tabanlı doğruluk analizleri sonuçları

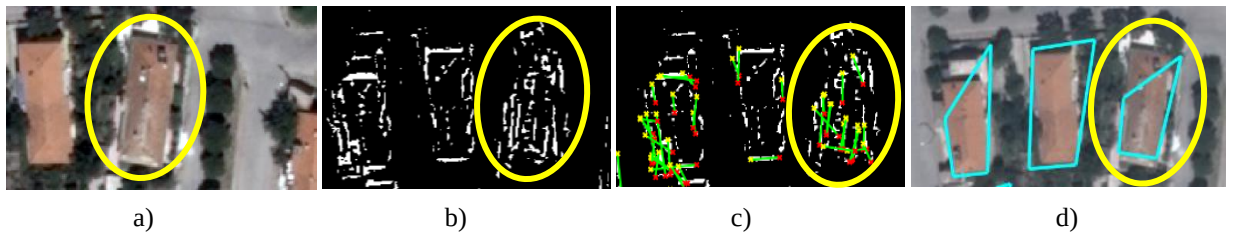
Test Alanları	TP (adet)	FN (adet)	FP (adet)	BDCom. (%)	BDCor. (%)	QPct. (%)
TA_1	6	0	0	100	100	100
TA_2	5	0	0	100	100	100
TA_3	29	25	0	86.21	100	86.21
TA_4	10	0	0	100	100	100
TA_5	17	0	0	100	100	100
Ortalama	-	-	-	97,24	100	97,24



Şekil 8: (a – e) Geliştirilen yaklaşım ile TA_1 – TA_5 test alanlarında çatılan bina sınırları

Mayer vd. (2006)'ya göre, görüntülerden otomatik bina belirleme çalışmalarında %70'in üzerinde Bina Belirleme Bütünlüğü (BDCom) ve %85'in üzerinde Bina Belirleme Doğruluğu (BDCor) sağlanmalıdır. Tablo 1 ve Tablo 2'de verilen sonuçlarda görüldüğü üzere, bu çalışmada geliştirilen yaklaşım ile elde edilen doğruluk değerleri Mayer vd. (2006) tarafından önerilen değerlerin üzerindedir. TA_1-TA_5 test alanlarına ait piksel-tabanlı BDCom değerleri sırasıyla %92.95, %87.33, %64.26, %85.39 ve %76.65 olarak, BDCor değerleri sırasıyla %95.07, %98.35, %98.03, %88.27 ve %97.07 olarak hesaplanmıştır. Yine, TA_1-TA_5 test alanlarına ait nesne-tabanlı BDCom değerleri sırasıyla %100, %100, %86.21 ve %100 olarak, BDCor değerleri tüm test alanları için %100 olarak hesaplanmıştır. Piksel-tabanlı ortalama BDCom ve BDCor değerleri sırasıyla %81.32 ve %95.36, nesne-tabanlı ortalama BDCom ve BDCor değerleri ise sırasıyla %97.24 ve %100 olarak hesaplanmıştır. Nesne tabanlı performans değerlendirme yönteminde doğruluk yüzdesi, tespit edilen bina sayısının toplam bina sayısına oranı ile hesaplanmıştır (Siddiqui vd. 2016). TA_3 test alanında yer alan 29 binadan 25 tanesi yöntem tarafından doğru tespit edilmiştir. Dolayısıyla, bu test alanı için hesaplanmış olan nesne tabanlı doğruluk yüzdesi (%86.21) değeri tespit edilen bina sayısının (25) toplam bina sayısına (29) oranı ile bulunmuştur.

Test sonuçları incelendiğinde, yöntemdeki her bir adımın sonucunun bir sonraki adımın sonucuna etki ettiği görülmüştür. DoG filtresi ortofotodan binalara ait kenar piksellerinin belirlenmesinde etkili bir yöntemdir. DoG ile tespit edilen bina kenarları piksellerinin doğruluğu 2B Hough dönüşümü ile tespit edilen bina kenarları çizgi segmentleri sonucunu etkilemektedir. Kenar görüntüsü piksellerine eşiklenmiş nSYM verisinden yükseklik değerleri atanması sonrasında, belirlenen bir yükseklik eşik değerinin (YED) altında kalan kenar pikselleri elimine edilmiştir. Ancak bu işlem bazı kenar pikselleri arasında boşlukların oluşmasına neden olmuştur. Örneğin, TA_4 çalışma alanındaki (Şekil 9d) bina sınırlarına ait kısa çizgi segmentleri bu durumun bir sonucudur (Şekil 9).



Şekil 9: a) Renkli ortofoto, b) Kenar pikselleri arasında oluşan boşluklar, c) 2B Hough dönüşümü ile elde edilen kısa çizgi segmentleri, d) Kısa çizgi segmentlerinden dolayı doğruçatılamayan bina sınırı

Test alanlarında farklı özellik ve yükseklikte bitişik konumdaki binalarda, iki binanın çatı malzemesinin farklı olması farklı spektral yansımalarla neden olmuştur. Yaklaşım bu şekildeki binaların sınırlarının çıkarımında ve çatımında ya başarılı olamamış ya da binalardan birine ait sınırları çıkarabilmiştir (Şekil 10a). Ayrıca, bu tür binalarda beton çatılı olan ve üzerine ek kat çıkılarak teras olarak kullanılan binaların sınırlarının çıkarımında da bazı sorunlarla karşılaşmıştır

(Şekil 10b). Bu ek yapılar elde edilen kenar görüntüsünde karmaşıklığa neden olmuştur. Dolayısıyla, bu durum da bina sınırları çıkarımı ve çatımını olumsuz yönde etkilemiştir.



Şekil 10: a) Farklı yükseklik ve çatı maddelerine sahip bitişik nizamlı binalar ve doğru çatılamayan bina sınırları, b) Bina üzerindeki ek kattan dolayı doğru çatılamayan bina sınırı

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, yüksek konumsal çözünürlüklü renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verisinden bina sınırları çıkarımı ve çatımı için 2B Hough dönüşümü ve algısal gruplama tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşım İzmir ili, Bergama ilçesinden seçilen farklı özelliklere sahip test alanlarında uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların ortalama piksel tabanlı ve nesne tabanlı doğruluk oranları, BDCor için sırasıyla %81,32 ve %97,24, BDCor için sırasıyla %95,36 ve %100 ve QPct için de sırasıyla %77,96 ve %97,24 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, geliştirilen yaklaşımın bina sınırlarının otomatik çıkarımı ve çatımında oldukça başarılı olduğu ve uygulama potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Önerilen yaklaşımla bina sınırı çıkarımı ve çatımında renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu veri setlerinin birlikte kullanımının avantajları vardır. LiDAR nokta bulutu verisi nesnelerin yükseklik değerlerini içerdiğinden bu veriden SYM, SAM ve nSYM üretilmektedir. Diğer taraftan, bina kenarlarının çıkarımında düzenli aralıklı piksellerden oluşan renkli ortofoto daha etkilidir. Bu çalışmada kullanılan ortofotoda YKÖ bantın bulunmamasının sonuçlara olumsuz etkisi olmamıştır. K, Y ve M bantlardan oluşan VARI indeksinin ortofodan bitki alanlarının tespit edilmesinde oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

DoG filtresi ile tespit edilen kenar görüntüleri incelendiklerinde bu filtrenin kenar çıkarımı için etkili bir yöntem olduğu görülmüştür. Kenar görüntülerinin doğruluğu, 2B Hough dönüşümü ile çıkarılan çizgi segmentlerinin doğruluğunu ve nihayetinde tespit edilen ve çatılan bina sınırlarının doğruluğunu etkilemektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, önerilen yaklaşım renkli ortofoto ve LiDAR nokta bulutu verileri kullanılarak bina çıkarımı için oldukça başarılı olup, kentsel alanlarda uygulama potansiyeline sahiptir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan LiDAR nokta bulutu verilerinin temini için HGM'ne (Harita Genel Müdürlüğü) ve renkli ortofoto verilerinin temini için TKGM'ne (Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akbulut, Z., Özdemir, S., Acar, H., Karsli, F., (2018), *Automatic building extraction from image and lidar data with active contour segmentation*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 46(12), 2057–2068.
- Awrangjeb, M., Ravanbakhsh, M., Fraser, C.S., (2010), *Automatic detection of residential buildings using LIDAR data and multispectral imagery*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65(5), 457–467.

- Cawse-Nicholson, K., Bandyopadhyay, M., and Aardt, J.V., (2013), *Classification and extraction of trees and buildings from urban scenes using discrete return lidar and aerial color imagery*, The International Society for Optical Engineering, 8731.
- Chen, L., Zhao, S., Han, W., Li, Y., 2012. Building detection in an urban area using Lidar data and QuickBird imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 33(16), 5135-5148.
- Cheng, L., Gong, J., Chen, X., Han, P., (2008), *Building boundary extraction from high resolution imagery and LIDAR data*, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(Part B3), 693-698.
- Grigillo, D. and Kanjir, U., (2012), *Urban object extraction from digital surface model and digital aerial images*, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1-3, 215-220.
- Güdücü, H.V., (2008), *Building detection from satellite images using shadow and color information*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 121ss.
- Hyuk Lee, D., Mu Lee, K., Lee, S., (2008), *Fusion of lidar and imagery for reliable building extraction*, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(2), 215-225.
- Mayer, H., Hinz, S., Bacher, U., Baltsavias, E., (2006), *A test of automatic road extraction approaches*, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(3), 209-214.
- Miliareisis, G. and Kokkas, N., (2007), *Segmentation and object-based classification for the extraction of the building class from LIDAR DEMs*, *Computers & Geosciences*, 33., 1076-1087.
- Ramiya, A.M., Nidamanuri, R.R and Krishnan, R., (2017), *Segmentation based building detection approach from LiDAR point cloud*, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1), 71-77.
- Rock, I. and Palmer, S., (1990), *The legacy of gestalt psychology*, *Scientific American*, 263(6), 84-91.
- Shaker, I., Abd-Elrahman, A., K.Abdel-Gawad, A., A Sherief, M., (2011), *Building extraction from high resolution space images in high density residential areas in the great cairo region*, *Remote Sensing*, 3, 781-791.
- Siddiqui, F.U., Teng, S., Awrangjeb, M., Lu, G., A., (2016), *Robust gradient based method for building extraction from LiDAR and photogrammetric imagery*, *Sensors (Basel, Switzerland)*. 16(7), 1110.
- Sohn, G. and Dowman I., (2007), *Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62, 43-63.
- Sun, Y., Zhang, X., Zhao, X., Xin, Q., (2018), *Extracting building boundaries from high resolution optical images and LiDAR data by integrating the convolutional neural network and the active contour model*, *Remote Sensing*, 10, 1459.
- Tsenga, Y., Hungb, H., (2016), *Extraction of building boundary lines from airborne lidar point clouds*, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B3, 957-962.
- Turker, M., and Koc-San, D., (2015), *Building extraction from high-resolution optical spaceborne images using the integration of support vector machine (SVM) classification, Hough transformation and perceptual grouping*, *Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 58-69.
- Wang, Z. and Schenk, T., (2010), *Building extraction and reconstruction from lidar data*, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(PartB3), 958-964.
- Yalçın, A., (2008), *Effect of shadow in building detection and building boundary detection*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 90ss.