

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMI KULLANILARAK KENTSEL BİNALARIN TESPİTİ

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, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, TÜRKİYE; E-posta: mturker@hacettepe.edu.tr

Komisyon III, WG III/4

ANAHTAR KELİMELER: Bina Tespiti, Genetik Algoritma, Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri, Görüntü İşleme

ÖZET:

Bu çalışmada genetik algoritma yaklaşımı kullanılarak yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden kentsel binaların tespiti yapılmıştır. Önerilen yaklaşım popülasyon, kromozom, gen, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik algoritma kavramları ile temel görüntü işleme operatörlerini bütünlüştirmektedir. Popülasyon, belli sayıda kromozomun bir araya gelmesiyle meydana gelen temel yapıdır. Kromozomlar ise bina bölgelerinin açığa çıkarılmasında kullanılabilecek aday çözümler olarak düşünülebilir. Her bir kromozom belli sayıda gen içermekte olup bu genler; aritmetik, mantıksal, eşikleme, doku ve spektral görüntü işleme operatörlerinden oluşmaktadır. Evrimsel bir süreç çerçevesinde ilgili genler arasından seçilen en başarılı kombinasyonun yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine uygulanması sonucunda bina alanlarının tespiti gerçekleştirilir. Tespit edilen bina alanlarının morfolojik görüntü işleme operatörleri ile iyileştirildikten sonra geliştirilen başka bir algoritma ile bina sınırları tespit edilmektedir. Önerilen yaklaşım Ankara'nın Batıkent bölgesinden seçilmiş dört farklı test alanı üzerinde uygulanmıştır. Uydu görüntüsü olarak keskinleştirilmiş 1-m çözünürlüklü IKONOS verileri kullanılmıştır. Tespit edilen bina sınırlarının doğruluklarının analiz edilebilmesi için bir referans veri kümesi hazırlanmıştır. Bu bağlamda, yöntemin ürettiği sonuçlar ile referans veri arasındaki örtüşme analiz edilerek konumsal hata oranları hesaplanmıştır. Buna göre dört test alanında yer alan binalar için hesaplanan ortalama konumsal hatalar; 1.63m (alan#1), 2.16m (alan#2), 1.78m (alan#3) ve 2.40m (alan#4) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca hataların %95 güvenilirlik aralığına göre analizi yapılmış, toplam dört test alanından üç tanesinde ortalama konumsal hatanın 4 m'nin altında olduğu, bir tanesinde ise 4 m'nin biraz üzerinde olduğu saptanmıştır.

1. GİRİŞ

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden otomatik obje belirleme son yıllardaki modern coğrafi bilgi teknolojileri uygulamaları için önemli bir konu haline gelmiştir. Bu uygulamaların en önemlileri arasında ise bina tespiti yer almaktadır. Tespit edilen binalar Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) için bir temel veri kaynağı olmasının yanısıra şehir ve doğal afet planlamasında, altyapı gelişiminde, haberleşme hatlarının kurulumunda ve benzeri birçok kentsel uygulamada da kullanılmaktadır.

Literatürde karşılaşılan birçok çalışmada yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin bina tespitinde temel veri kaynağı olarak kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan Lee vd., (2003) tarafından yapılmış olan çalışmada, sınıflandırma sonuçlarıyla desteklenmiş bir yöntemle pankromatik ve renkli IKONOS verilerinden bina tespiti gerçekleştirilmiştir. Shackelford ve Davis (2003) tarafından yapılan bir başka çalışmada bulanık mantık kullanılarak piksel ve obje tabanlı bir görüntü analizi yöntemi geliştirilmiştir. Bu yaklaşım binaların diğer kentsel arazi örtüsü sınıflarından ayırt edilmesinde kullanılmıştır. Kim vd., (2006) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden bina tespiti, geniş dikdörtgen çatılı binaların kenar bilgilerinin çıkarılmasıyla yapılmıştır. Yakın zamanda Koc San ve Turker (2012) tarafından yapılan bir çalışmada binaların otomatik olarak tespiti ve sınırlarının belirlenmesi için yüksek çözünürlüklü IKONOS verisi kullanılmıştır. Yapılmış olan bu çalışmada

mevcut vektör bina veritabanının güncellemesi, sınıflandırma, sayısal yükseklik ve yüzey modelleri ile model tabanlı çıkarım teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bina tespiti ile ilgili çalışmalarda birçok genel amaçlı öğrenme yaklaşımının da kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda spektral değerlerin yanısıra, konumsal ilişkiler, doku, yakınlık ve şekil gibi diğer görüntü analizi öğelerinin kullanımı göze çarpmaktadır. Bu bağlamda geliştirilen GENIE (Genetic Image Exploitation) ve GENIE Pro sistemleri, bir arama stratejisi ile en uygun görüntü işleme fonksiyonlarını bularak görüntüden nesnelerin tespit edilmesi yönünde yeni bir yaklaşım olarak dikkat çekmektedir (Perkins vd., 2000; Perkins vd., 2005). Çok yakın bir zamanda Sumer ve Turker (2013) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise keskinleştirilmiş IKONOS görüntülerinden bulanık mantık tabanlı adaptif genetik algoritma yaklaşımı kullanılarak bina tespiti gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden genetik algoritma aracılığı ile kentsel bina alanlarını belirlemek, iyileştirmek ve sonrasında bu alanlardan vektör bilgisi çıkarmaya yönelik bir yaklaşım geliştirmektir. Yaklaşımın uygulama aşaması; veri analizi, görüntüleme ve karmaşık matematiksel işlemler için en uygun programlama ortamlarından biri olan MATLAB kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. GENETİK ALGORİTMANIN TEMELLERİ

Genetik algoritma, doğadaki evrim mekanizmasının bilgisayar ortamında modellenmesiyle oluşan yinelemeli bir arama metodu olup doğada geçerli olan en iyinin yaşaması kuralını temel alarak sürekli iyileşen çözümler arar. Bunun için, “iyi”nin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk değeri ve yeni çözümler üretmek için seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi operatörleri kullanır. Genetik algoritmaların bir diğer önemli özelliği de bir grup çözüm arasından (çözüm kümesi) en iyilerin seçilip kötülerin elenmesi prensibidir. Mevcut problem için olası pek çok çözümü temsil eden bir çözüm kümesine “popülasyon” adı verilir. Popülasyonlar kromozom veya birey adı verilen veri dizilerinden oluşur. Bu dizilerin her bir elemanına ise “gen” adı verilir. Popülasyondaki gen değerleri evrimsel süreç içinde genetik algoritma işlemcileri tarafından belirlenir.

Genetik algoritmaların görüntü işleme kavramlarıyla olan ilişkisi Perkins vd., (2000) tarafından tasarlanmıştır. Bu bağlamda popülasyon, sayısı belli olan bir dizi kromozomun gelişigüzel olarak yaratılmasıyla oluşmaktadır. Kromozom yapısı içerisindeki her bir gen ise yine rasgele belirlenen birer görüntü işleme fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu fonksiyonlardan bazıları aritmetik, mantıksal ve eşik değeri işlemleri bazıları ise spektral benzerlik, spektral mesafe ve spektral açı ile birlikte doku işlemlerinden meydana gelmektedir.

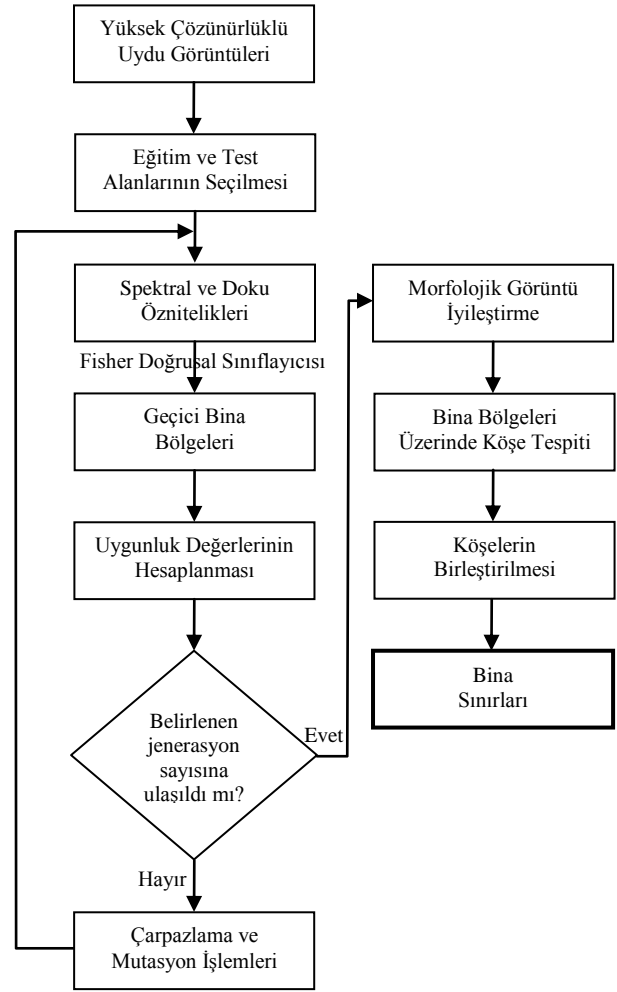
3. YÖNTEM

Önerilen yaklaşımın akış şeması Şekil 1’de görülmektedir. Buna göre, yaklaşımın ilk adımı olarak bina ve bina olmayan sınıfların eğitim ve test alanlarının seçimi yapılır.

Sonraki aşamada ise oluşturulan gen havuzundan seçilen operatörlerin kromozomlara atanması ile başlangıç popülasyonu elde edilir. Bu popülasyon içerisinde yer alan her bir kromozomdaki genler (görüntü işleme fonksiyonları) orijinal görüntünün bantlarına (Mavi, Yeşil, Kırmızı ve Yakın Kızılötesi) uygulanır. Üzerinde işlem yapılacak bant veya bantların seçimi (girdi bantları) ve işlemin uygulanmasından sonra elde edilecek bant (çıkı bantı) yine gelişigüzel olarak genetik algoritma tarafından belirlenir. Çıkı bantları dört geçici banttan meydana gelmektedir ve her bir kromozomda yer alan genler işlem çıktılarını bu bantlardan sadece bir tanesine yazar. Bu durumda, her bir kromozomun işlenmesiyle o kromozoma ait dört farklı çıkı bantının üretilmesi sağlanır. Çıkı bantları o kromozomun spektral ve doku özniteliklerini barındırır.

Oluşan bu öznitelikler, Fisher doğrusal sınıflayıcısı kullanılarak, ikili görüntüye dönüştürülmek suretiyle sınıflandırılır ve geçici bina bölgeleri elde edilir. Daha sonra, her bir kromozom için oluşturulan ikili görüntü ile daha önceden belirlenmiş test pikselleri karşılaştırılarak kromozomların uygunluk (fitness) değerleri hesaplanır ve en yüksek değere sahip olan kromozom belirlenir. Buna göre, sınıflandırma sonuçlarındaki bina veya bina olmayan piksellerin test alanlarındaki ilgili bina veya bina olmayan piksellerle olan uyuma yüzdesi D (Doğru tespit) olarak adlandırılırsa ve benzer şekilde birbirleriyle uyumayan piksellerin yüzdesine de Y (Yanlış tespit) denildiğinde, Denklem 1’deki formüle göre kromozomların U (Uygunluk değerlerinin) hesaplanması mümkündür.

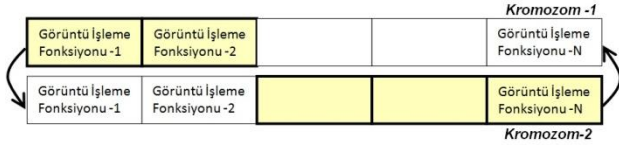
$$U = 500 \times (D + (1 - Y)) \quad (1)$$



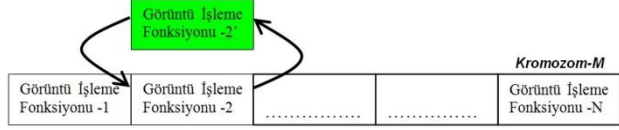
Şekil 1. Önerilen yaklaşımın akış şeması

Buna göre D ve Y değerlerinin 0–1 aralığında olabileceği düşünüldüğünde, U değeri 0–100 aralığında değer alabilmektedir. En iyi senaryoda $D = 1$ ve $F = 0$ ile uygunluk değeri 100 olurken; en kötü senaryoda ise $D = 0$ ve $F = 1$ ile uygunluk değeri 0 olarak hesaplanabilmektedir. İlgili jenerasyonda en yüksek uygunluk değerine sahip kromozom “elit kromozom” olarak adlandırılır ve bu kromozom diğer jenerasyona doğrudan aktarılır.

Bir sonraki adımda genetik algoritmanın jenerasyon sayısı kontrol edilerek algoritmanın devam edip etmeyeceği kararı alınır. Eğer belirlenen jenerasyon sayısına ulaşılmamış ise bir sonraki popülasyonda yer alacak kromozomların seçilmesi ve gen çeşitliliğinin artırılmasına yönelik olarak çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilir. Bu işlemler daha önceden belirlenmiş çaprazlama ve mutasyon olasılıklarına bağlı olarak seçilmiş kromozomlar üzerinde uygulanır. Bu işlemlerin amacı popülasyon üzerinde çeşitlilik yaratarak mevcut jenerasyondaki elit kromozomdan daha yüksek uygunluk değerlerine sahip yeni kromozomlar üretmeye çalışmaktır. Burada yapılan çaprazlama işlemi tek noktalı çaprazlamadır. Tek noktalı çaprazlama işleminde, iki kromozom yapısı üzerinde ortak bir gen belirlenir ve bu genin sağında veya solunda kalan kısımlar her iki kromozom üzerinde birbirleriyle yer değiştirir (Şekil 2). Mutasyon işleminde ise tek bir kromozom üzerinde rasgele seçilen bir gen, yine mevcut görüntü işleme fonksiyonlarından rasgele seçilen başka bir genle yer değiştirir (Şekil 3).

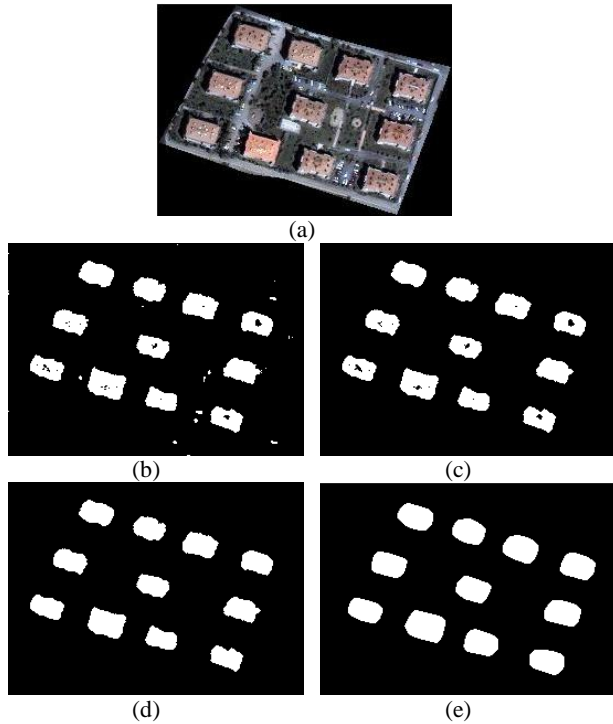


Şekil 2. Çarpazlama işleminin iki kromozom üzerinde işleyişi



Şekil 3. Mutasyon işleminin tek kromozom üzerinde işleyişi

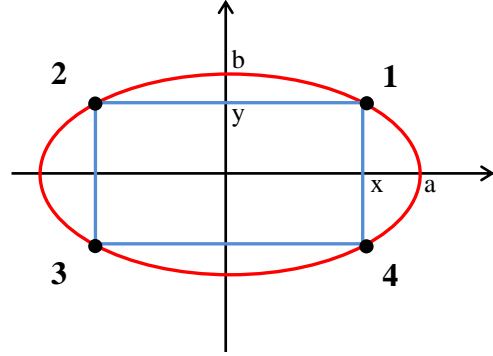
Belirlenen jenerasyon sayısına ulaşılması durumunda ise genetik algoritmanın çalışması sonlandırılır. En son jenerasyonda elde edilen geçici bina bölgeleri ise genetik algoritmanın çıktısı olarak kabul edilir. Bu işlemi takiben çıktı görüntüsünde hatalı olarak sınıflandırılmış pikseller söz konusu olabileceğinden bu bölgelerin asgari düzeye indirgenebilmesi için elde edilen çıktıya morfolojik görüntü işleme operatörleri uygulanır. Kullanılan morfolojik işlemlerden bazıları; açma, kapama, eritme ve genişletme olarak sıralanabilir. Bu işlemler görüntü üzerindeki küçük boşlukların doldurulması, küçük objelerin yok edilmesi, inceltme, kalınlaştırma, yumuşatma gibi etkilere sahiptirler. Yapılan çalışma dâhilinde bu işlemlerin bazılarının belirli bir mantıksal sıraya göre çıktı görüntüsüne uygulanmasıyla iyileştirilmiş bina alanları elde edilmiş olur. Şekil 4'te örnek bir test alanı için genetik algoritma tarafından üretilen çıktı ve uygulanan morfolojik iyileştirme işlemleri sonrasında elde edilen görüntüler yer almaktadır.



Şekil 4. (a) Örnek bir test alanı, (b) genetik algoritma tarafından üretilen çıktı, (c-e) morfolojik görüntü işleme operatörlerinin uygulanması sonucunda elde edilen iyileştirilmiş görüntüler

Yapılan bu iyileştirme adımını takiben bina sınırlarının tespit edilmesi işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem, genetik algoritma

tarafından açığa çıkarılan bina alanlarının köşe noktalarının belirlenmesi ile başlar. Çalışma alanında yer alan binaların dikdörtgenel yapıda olmaları nedeniyle bina sınırlarının belirlenmesinde 4 köşe noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktaların tespit edilebilmesi için Matlab görüntü işleme kütüphanesinin 'regionprops' fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon ile bina bölgesine ait en uygun elips belirlenir. Daha sonra, bu elips içerisine yerleştirilebilecek en büyük alanlı dikdörtgen belirlenerek bu dikdörtgene ait köşe noktaları (1-4) bina bölgesinin köşe noktaları olarak alınır (Şekil 5).



Şekil 5. Bina köşe noktalarının belirlenmesi

Daha sonra belirlenen bu köşe noktaları Bresenham çizgi algoritması ile doğru sırada birleştirilerek vektör formuna dönüştürülür. Örnek bir test alanı için tespit edilen bina sınırları Şekil 6'da görülmektedir.

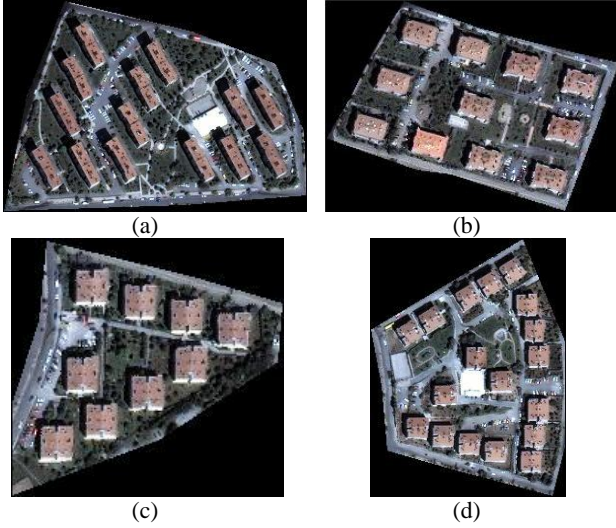


Şekil 6. Örnek bir test alanı için tespit edilen bina sınırları

4. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

Önerilen yaklaşım, Ankara ili, Batıkent yerleşim bölgesinin bir kısmı üzerinde uygulanmıştır. Batıkent, Ankara'nın batısında 1000 hektarlık bir alan üzerinde kurulu olup, Türkiye'nin en büyük yerleşim projelerinden biridir. Bu bağlamda, planlı ve düzenli bir gelişmeye sahip olmasıyla birlikte, konut, endüstriyel, ticari, sosyal ve kültürel kullanıma özgü farklı türde binaları barındırmaktadır.

Kullanılan veri, Koc San ve Turker (2012) tarafından gerçekleştirilen önceki bir çalışmada 1-m konumsal çözünürlüklü pankromatik ve 4-m konumsal çözünürlüklü renkli görüntülerin kaynaştırılması sonucu elde edilmiş olan 1-m konumsal çözünürlüklü keskinleştirilmiş IKONOS verisidir. Yöntem, bu veri içerisinden seçilen dört farklı test alanına uygulanmıştır (Şekil 7).



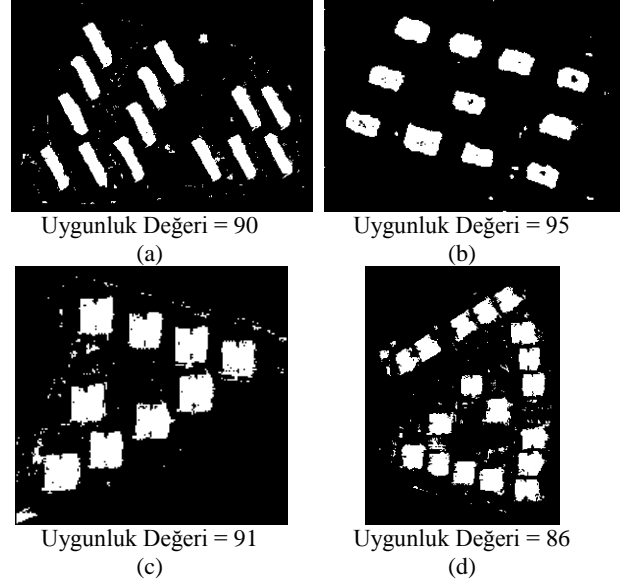
Şekil 7. Çalışma kapsamında kullanılan test alanları: Test alanı (a) #1, (b) #2, (c) #3 ve (d) #4

5. UYGULAMA VE TEST SONUÇLARI

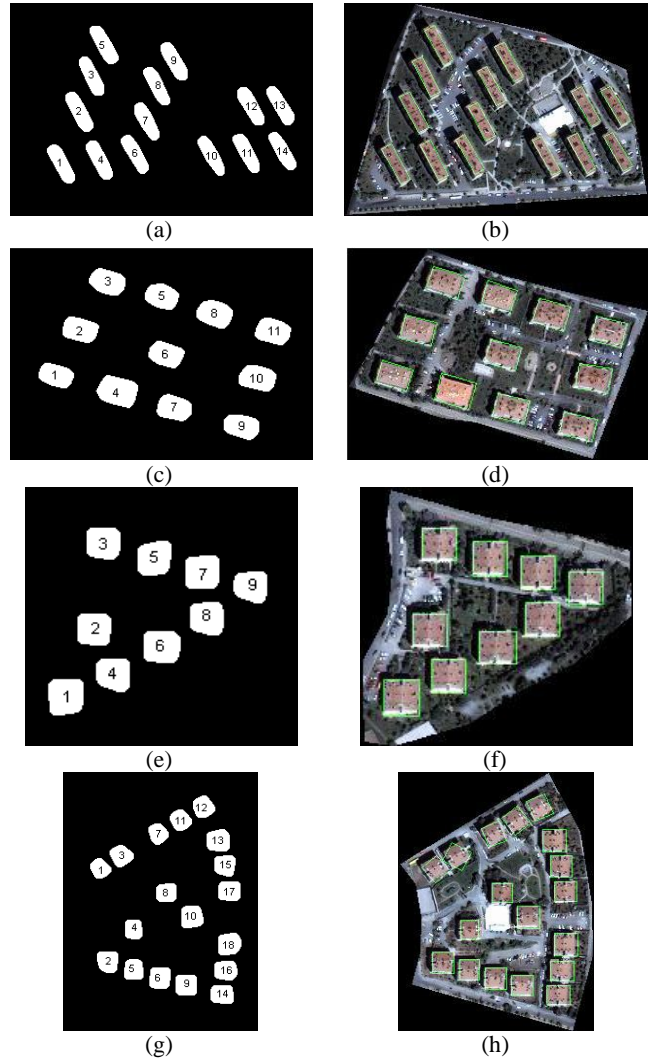
Önerilen yaklaşımın tüm adımları MATLAB programlama ortamında gerçekleştirilmiştir. Geliştirilmiş olan uygulama yazılımında MATLAB'ın az sayıda görüntü işleme fonksiyonu dışında hiçbir kütüphane veya araç kutusundan faydalanılmamış, tüm fonksiyonlar yazarlar tarafından geliştirilmiştir. Uygulama aşamasının ilk adımı olarak her bir test alanı için eğitim ve test piksellerinin seçimi yapılmıştır. Buna göre; bina ve bina olmayan bölgeler üzerinden eşit alanlı dikdörtgenel eğitim ve test alanları belirlenmiştir. Daha sonra, genetik algoritma tarafından kullanılan parametreler olan jenerasyon sayısı (J), popülasyondaki kromozom sayısı (K), her bir kromozomdaki gen sayısı (G), çaprazlama olasılığı (P_c) ve mutasyon olasılığı (P_m) için ilk değer atamaları yapılmıştır. Bu çalışmada J ve K parametreleri için 20, G parametresi için 5, P_c parametresi için 0.80 ve P_m parametresi için de 0.20 değerleri alınmıştır. Bu değerlerin, benzer çalışma alanlarında yapılan birçok testin sonuçları analiz edilerek, seçilmiş en uygun değerler olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, literatürde yer alan ilgili çalışmalarda benzer değerlerin kullanılması da seçilmiş olan değerleri desteklemektedir (Liu vd. 2005; Haupt ve Haupt 2004; Perkins vd., 2000; Perkins vd., 2005).

Geliştirilen genetik algoritma tabanlı yaklaşımın seçilen parametre değerleri ile test sahaları üzerinde uygulanmasıyla bina alanları tespit edilmiştir. Bu bağlamda her bir test alanı için 20. jenerasyon (J=20) sonucunda en yüksek uygunluk değerine sahip gen kombinasyonunun (elit kromozom) ürettiği çıktı, seçilen bina alanları olarak kabul edilmiştir. Herbir test alanı için elde edilen genetik algoritma sonuçları ve ilgili uygunluk değerleri Şekil 8'de verilmektedir.

Genetik algoritma çıktularına uygulanan morfolojik iyileştirme ve bina sınır tespiti adımlarının gerçekleştirilmesiyle uygulama aşaması sona ermiştir. Seçilen dört test alanı için iyileştirilmiş bina alanları ve tespit edilen sınırlar Şekil 9'da görülmektedir.

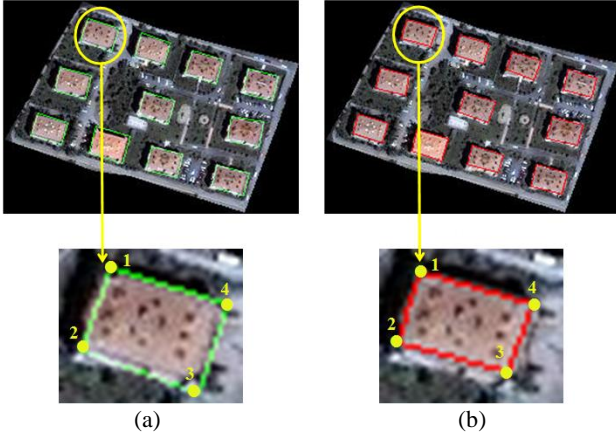


Şekil 8. Test alanı (a) #1, (b) #2, (c) #3 ve (d) #4 için genetik algoritma tarafından üretilen bina bölgeleri ve ilgili uygunluk değerleri



Şekil 9. Dört test alanı için iyileştirilmiş bina bölgeleri (a,c,e,g) ve tespit edilen bina sınırları (b,d,f,h).

Bina sınırlarının tespit başarısı konumsal doğruluğun (positional accuracy) hesaplanması ile belirlenmiştir. Konumsal doğruluk, bir objenin hesaplanan konumunun gerçek konumuna göre ne kadar sapma gösterdiğini belirtir. Genel olarak, analiz sonucu elde edilen veri üzerinde seçilen belli sayıda örnek noktanın referans veri üzerindeki ilgili noktalar ile karşılaştırılması yoluyla hesaplanır. Bu çalışmada, geliştirilen yaklaşımın konumsal doğruluğunu ölçebilmek amacıyla kullanılan test alanları için referans veri setleri hazırlanmıştır. Daha sonra, her bir veri setinde yer alan tüm binalar için 4 köşe noktası, hem çıktı görüntüsü hem de referans görüntü üzerinden seçilmiştir. Şekil 10'da örnek bir alandan seçilen bir bina için belirlenmiş köşe noktaları yer almaktadır.



Şekil 10. Örnek bir test alanı için, (a) yaklaşımın ürettiği bina sınırları (yeşil) ve bina üzerinden seçilen köşe noktaları (1-4), (b) referans bina sınırları (kırmızı) ve bina üzerinden seçilen köşe noktaları (1-4)

Seçilen her bir köşe noktası için piksel uzaklık hataları (distance error) Denklem 2'deki formüle göre hesaplanmıştır.

$$UzaklikHata = \sqrt{(X_R - X_P)^2 + (Y_R - Y_P)^2} \quad (2)$$

Buna göre (X_R, Y_R) referans görüntü üzerinden seçilen noktaların piksel koordinatları, (X_P, Y_P) ise çıktı görüntüsü üzerinden seçilen noktaların piksel koordinatlarını ifade etmektedir. Ancak, güvenilirlik aralığı belirlenmeden yapılan konumsal doğruluk hesaplamasının ne kadar geçerli olacağı şüphelidir. Bu nedenle, bir normal dağılım modeli oluşturularak her bir bina için %80, %85, %90 ve %95 güvenilirlik aralıklarındaki konumsal hata Denklem 3'deki formüle göre hesaplanmıştır.

$$KonumsalHata = Z_Skor * SS_UzaklikHata + Ort_UzaklikHata \quad (3)$$

Buna göre; Z_Skor ilgili güvenilirlik aralığı için kullanılan Z skoru, $SS_UzaklikHata$ uzaklık hatasının standart sapması ve $Ort_UzaklikHata$ uzaklık hatasının ortalama değeridir. %80, %85, %90 ve %95 güvenilirlik aralıklarındaki Z skorları ise sırasıyla 0.84, 1.04, 1.28 ve 1.64'tür. Buna göre, Şekil 10'da yer alan örnek binanın 4 köşe noktası için hesaplanan metre cinsinden uzaklık hataları Tablo 1'de, farklı güvenilirlik aralıklarında elde edilen konumsal hatalar ise Tablo 2'de yer almaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan test alanlarında yer alan tüm binalar için hesaplanan metre cinsinden uzaklık hatalarının ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Benzer şekilde, ilgili test alanlarında yer alan tüm binaların farklı güvenilirlik aralıklarındaki konumsal hataları ise Tablo 4'te görülmektedir.

Köşe Noktası	X_R	Y_R	X_P	Y_P	UzaklıkHata (metre)
1	76	19	78	18	2,24
2	71	36	71	38	2,00
3	97	44	99	48	4,47
4	104	27	106	27	2,00

Tablo 1. Örnek bir bina için köşe noktalarının uzaklık hatası

Güvenilirlik Aralığı	Z_Skor	KonumsalHata (metre)
%80	0,84	3,69
%85	1,045	3,93
%90	1,28	4,22
%95	1,645	4,65

Tablo 2. Örnek bir bina için farklı güvenilirlik aralıklarında hesaplanan konumsal hatalar

Dört test alanı içerisinde analiz edilen 52 binanın uzaklık hatalarının ortalaması 2.04 m olup bu değer 0.85 ile 8.07 m arasında değişmektedir. Benzer şekilde, ilgili binalar için hesaplanan uzaklık hatalarının standart sapmalarının ortalaması ise 0.94 m olup bu değer 0 ile 2.06 m arasında değişim göstermektedir. Tüm test alanlarında yer alan binaların %80 güvenilirlik aralığındaki konumsal hata aralığı 1 ile 9.71 m arasında olup ortalaması 2.82 m'dir. Bu değerler %85, %90 ve %95 güvenilirlik aralıklarında sırasıyla; 1 ile 10.1 m arasında (ortalama 3.02 m), 1 ile 10.56 m arasında (ortalama 3.24 m) ve 1 ile 11.27 m arasında (ortalama 3.58 m) olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar test alanı bazında incelendiğinde ise test alanı # 1 için uzaklık hatalarının ortalaması 1.63 m; test alanları #2, #3 ve #4 için sırasıyla 2.16 m, 1.78 m ve 2.40 m olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, her bir test alanının %95 güvenilirlik aralığındaki konumsal hata değerleri de analiz edilmiştir. Bu güvenilirlik aralığı, literatürde yer alan bilimsel çalışmaların büyük bir çoğunluğunda kullanılan tipik bir değer olması nedeniyle bu çalışma için de önem arz etmektedir. Elde edilen değerlere göre test alanı #1 için %95 güvenilirlik aralığındaki ortalama konumsal hata 2.76 m, test alanları #2, #3 ve #4 için sırasıyla 3.82 m, 3.18 m ve 4.28 m olarak hesaplanmıştır. Analiz edilen test alanları içinde en yüksek doğruluğa 1. test alanının sahip olduğu görülmektedir. %95 güvenilirlik aralığındaki 2.76 m'lik konumsal hata, %95'lik olasılık dâhilinde gözlemlenen hataların 2.76 m veya altında olduğuna emin olduğumuz anlamını taşımaktadır. Bir başka deyişle, %5'lik olasılık dâhilinde gözlemlenen hataların 2.76 m veya üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Test alanlarının başarı sıralamasına bakıldığında 1. test alanını sırasıyla 3. (3.18 m), 2. (3.82 m) ve 4. (4.28 m) test alanları izlemektedir. Genel olarak bakıldığında, analiz edilen dört test alanından üç tanesinde konumsal hatasının 4 m'nin altında olduğu, bir tanesinde ise 4 m'nin biraz üzerinde olduğu görülmektedir.

Test alanları içerisinde nicel olarak değerlendirilen binaların görsel olarak analizi yapıldığında da bina sınırlarının birçoğunun orijinal görüntü ile başarılı bir biçimde örtüştüğü görülmektedir. Ancak, az sayıda bina sınırının hatalı olarak belirlendiği de gözden kaçmamaktadır. Özellikle 4. test alanında yer alan 3 no'lu binanın sınırlarının yüksek düzeyde bir hata ile (%95 güvenilirlik aralığında 11.27 m) tespit edildiği görülmektedir. Bu hatanın temel sebebinin de genetik algoritma kaynaklı hatalı bina bölgesi oluşumu olduğu aşikârdır.

Test Alanı	Bina No	Ort_UzaklikHata (metre)	SS_UzaklikHata (metre)
1	1	1.06	0.71
	2	1.00	0.00
	3	1.50	0.58
	4	1.66	0.56
	5	1.27	0.93
	6	1.96	1.11
	7	2.81	0.69
	8	1.16	0.93
	9	1.52	0.52
	10	1.52	0.52
	11	1.25	0.96
	12	1.83	0.47
	13	1.91	0.89
	14	2.41	0.77
2	1	2.68	1.20
	2	2.29	1.00
	3	1.35	0.47
	4	2.77	0.66
	5	1.39	1.32
	6	1.72	0.62
	7	3.06	1.47
	8	2.75	2.06
	9	1.77	0.42
	10	1.95	0.96
	11	2.10	0.89
3	1	1.79	1.55
	2	2.18	0.58
	3	1.21	0.24
	4	2.18	0.58
	5	1.71	1.20
	6	2.44	1.18
	7	1.00	1.15
	8	0.85	0.60
	9	2.70	0.53
4	1	2.62	1.88
	2	2.02	0.76
	3	8.07	1.94
	4	2.14	1.10
	5	1.31	1.02
	6	1.83	0.47
	7	2.91	1.53
	8	1.21	0.24
	9	1.21	0.24
	10	2.44	1.18
	11	2.02	0.76
	12	3.50	1.42
	13	2.56	1.80
	14	1.79	1.55
	15	1.31	1.02
	16	2.56	1.80
	17	1.62	0.71
	18	2.14	1.10

Tablo 3. Test alanlarında yer alan binalar için hesaplanan uzaklık hatalarının ortalamaları ve standart sapmaları

Test Alanı	Bina No	Farklı Güvenilirlik Aralıklarında Konumsal Hata (metre)			
		80%	85%	90%	95%
1	1	1.65	1.80	1.97	2.22
	2	1.00	1.00	1.00	1.00
	3	1.98	2.10	2.24	2.45
	4	2.13	2.25	2.38	2.59
	5	2.05	2.24	2.45	2.79
	6	2.89	3.11	3.37	3.78
	7	3.39	3.53	3.69	3.94
	8	1.94	2.13	2.35	2.69
	9	1.95	2.06	2.18	2.37
	10	1.95	2.06	2.18	2.37
	11	2.05	2.25	2.48	2.82
	12	2.22	2.32	2.43	2.61
	13	2.66	2.84	3.05	3.37
	14	3.05	3.21	3.39	3.67
2	1	3.69	3.93	4.22	4.65
	2	3.13	3.34	3.57	3.94
	3	1.75	1.85	1.96	2.13
	4	3.33	3.46	3.62	3.86
	5	2.50	2.77	3.08	3.57
	6	2.24	2.37	2.51	2.74
	7	4.30	4.60	4.95	5.48
	8	4.48	4.90	5.39	6.14
	9	2.12	2.20	2.30	2.45
	10	2.76	2.95	3.18	3.53
	11	2.85	3.03	3.24	3.56
3	1	3.09	3.41	3.77	4.33
	2	2.67	2.79	2.92	3.13
	3	1.41	1.46	1.51	1.60
	4	2.67	2.79	2.92	3.13
	5	2.72	2.96	3.25	3.69
	6	3.43	3.67	3.95	4.38
	7	1.97	2.21	2.48	2.90
	8	1.36	1.48	1.62	1.84
	9	3.15	3.26	3.38	3.58
4	1	4.20	4.58	5.02	5.71
	2	2.66	2.81	2.99	3.27
	3	9.71	10.10	10.56	11.27
	4	3.07	3.29	3.55	3.95
	5	2.17	2.38	2.62	2.99
	6	2.22	2.32	2.43	2.61
	7	4.20	4.52	4.88	5.44
	8	1.41	1.46	1.51	1.60
	9	1.41	1.46	1.51	1.60
	10	3.43	3.67	3.95	4.38
	11	2.66	2.81	2.99	3.27
	12	4.69	4.98	5.32	5.84
	13	4.08	4.45	4.87	5.53
	14	3.09	3.41	3.77	4.33
	15	2.17	2.38	2.62	2.99
	16	4.08	4.45	4.87	5.53
	17	2.22	2.36	2.53	2.79
	18	3.07	3.29	3.55	3.95

Tablo 4. Test alanlarında yer alan binalar için farklı güvenilirlik aralıklarında hesaplanan konumsal hatalar

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, keskinleştirilmiş yüksek çözünürlüklü renkli uydu görüntülerinden bina vektör bilgisinin elde edilmesi için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, bilinen genetik algoritma kavramları (popülasyon, kromozom, gen, çaprazlama, mutasyon, vs) ile temel görüntü işleme tekniklerini bütünleştirmektedir. Yaklaşım, hızlı ve düzenli bir gelişim gösteren ve farklı bina modellerini barındıran Ankara'nın Batıkent bölgesinde seçilmiş dört farklı test alanı üzerinde, 1-m konumsal çözünürlüklü keskinleştirilmiş IKONOS uydu görüntüleri üzerinde, uygulanmıştır.

Test alanları üzerinde gerçekleştirilen uygulama sonuçlarına göre %95 güvenilirlik aralığında yaklaşık 3.5 m'lik bir konumsal hata ile 52 adet binanın sınırları tespit edilmiştir. Bu sonucun elde edilmesinde genetik algoritma parametreleri olan jenerasyon sayısı (J), kromozom sayısı (K) ve gen sayısı (G) ile birlikte çaprazlama (P_c) ve mutasyon (P_m) olasılıkları için sırasıyla 20, 20, 5, 0.8 ve 0.2 değerleri kullanılmıştır. Bu değerler, benzer çalışma alanlarında yapılan birçok testin sonunda elde edilen en uygun değerler olarak kabul edilip kullanılmıştır.

Çalışmadaki en önemli noktalardan biri morfolojik görüntü operatörlerinin kullanımınıdır. Uygun yapısal elemanlar kullanılarak genetik algoritma sonucunda elde edilen görüntüye morfolojik işlemlerin uygulanması ile bina alanlarının daha başarılı bir biçimde ortaya çıkarıldığı görülmüştür. Bu işlemler ile hem gerçekte bina olmayan hatalı alanlar kısmi olarak yok edilmiş hem de bulunan bina alanları üzerindeki boşluk veya uzantı gibi istenmeyen pikseller asgari düzeye indirgenmiştir.

Çalışmanın devamında, mevcut sınır tespiti yöntemin geliştirilerek yalnızca dikdörtgen binaların değil, daha karmaşık yapıdaki binaların da tespit edilebilmesine olanak sağlayacak bir yaklaşıma dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, bu çalışmada gerçekleştirilen morfolojik görüntü iyileştirme adımının genetik algoritma yapısına uyarlanarak daha verimli bir şekilde dönüştürülmesi de düşünülen bir diğer noktadır.

KAYNAKLAR

- Haupt, R.L. and Haupt, S.E., 2004. *Practical Genetic Algorithms*. (2nd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Kim, T., Lee, T.Y. and Kim, K.O., 2006. Semiautomatic Building Line Extraction from Ikonos Images Through Monoscopic Line Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(5), pp. 541–549.
- Koc San, D. and Turker, M., 2012. A model-based approach for automatic building database updating from high-resolution space imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33, pp. 4193–4218.
- Lee, D.S., Shan, J. and Bethel, J.S., 2003. Class-Guided Building Extraction from Ikonos Imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(2), pp. 143–150.
- Liu, H., Xu, Z. and Abraham, A., 2005. Hybrid Fuzzy-Genetic Algorithm Approach for Crew Grouping. *Proceedings of 5th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA '05)*, Wroclaw, pp. 332–337.
- Perkins, S., Edlund, K., Esch-Mosher, D., Eads, D., Harvey, N. and Brumby, S., 2005. Genie Pro: Robust Image Classification Using Shape, Texture and Spectral Information. *Proceedings of SPIE*, 5806, pp. 139–148.
- Perkins, S., Theiler, J., Brumby, S.P., Harvey, N.R., Porter, R., Szymanski, J.J. and Bloch, J.J., 2000. GENIE: A Hybrid Genetic Algorithm for Feature Classification in Multi-Spectral Images. *Proceedings of SPIE*, 4120, pp. 52–62.
- Shackelford, A.K. and Davis, C.H., 2003. A Combined Fuzzy Pixel-Based and Object-Based Approach for Classification of High-Resolution Multispectral Data Over Urban Areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(10), pp. 2354–2363.
- Sumer, E. and Turker, M., 2013. An adaptive fuzzy-genetic algorithm approach for building detection from high-resolution satellite images. *Computers, Environment and Urban Systems*, 39, pp. 48–62.