

NESNE-TABANLI SINIFLANDIRMADA SEGMENTASYON KALİTESİNİN SINIFLANDIRMA DOĞRULUĞU ÜZERİNE ETKİSİ

H. Tonbul^a, T. Kavzoğlu^a

^a Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Kocaeli, Türkiye - (htonbul, kavzoglu)@gtu.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: Segmentasyon Kalitesi, Segmentasyon, Sınıflandırma, Ölçek Parametresi

ÖZET:

Nesne-tabanlı görüntü analizi, segmentasyon ve sınıflandırma olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Segmentasyon, görüntüdeki belirleyici nitelikleri temel alarak homojen görüntü nesnelere (segment) oluşturma işlemidir. Esas olarak, görüntü nesnelere ilişkin gerçek yeryüzü nesnelere karşılık gelmelidir. Segment ve özelliklerini belirleme işlemi sınıflandırmanın temelini oluşturduğundan, segmentasyon işlemi nesne-tabanlı sınıflandırmanın en önemli aşamasıdır. Üretilen segmentlerin kalitesini belirlemek için referans veri seti ve çeşitli segmentasyon değerlendirme metrikleri üretilmiştir. Bu çalışmada, kullanıcı tarafından referans alanlar (binalar) seçilerek, segmentasyon kalite analizi Area Fit Index (AFI) ve Quality Rate (Qr) metrikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, farklı ölçek parametreleri kullanılarak oluşturulan segmentlerin kalite analizlerinin çeşitli metrikler yardımıyla belirlenerek sınıflandırma doğruluğu hakkında bir gösterge olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırmasını yapmaktır. Bu kapsamda, Quickbird-2 yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü kullanılarak 30 adet bina referans olarak seçilmiş ve segmentasyon kalite metrikleri kullanılarak analizler yapılarak sınıflandırma doğrulukları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, çoklu-çözünürlük segmentasyon metodu kullanılarak, ölçek parametresi belirleme aracı (ESP-2) yardımıyla 3 seviyede ölçek parametresi belirlenmiş ve her biri için segmentasyon kalite analizi gerçekleştirilmiştir. eCognition Developer (v. 9.2) yazılımı kullanılarak en yakın komşuluk sınıflandırıcı ile nesne-tabanlı sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, segmentasyon kalitesi ölçütü (Qr) metriğinde yaklaşık % 20 oranındaki iyileşmenin, sınıflandırma doğruluğu artışının ise % 9 seviyesinde olduğu gözlemlenmiş ve segment kalitesi arttıkça sınıflandırma doğruluğunun da paralel olarak artış gösterdiği saptanmıştır.

KEY WORDS: Segmentation Quality, Segmentation, Classification, Scale Parameter

ABSTRACT:

Object-based image analysis consists of two major steps; segmentation and classification. Segmentation is the process of creating homogeneous image objects (segments) based on the deterministic attributes of the image. Basically, image objects should correspond to real earth objects of interest. Since the process of determining segments and properties is the basis of classification, the segmentation process is the most important phase of object-based classification. Reference data set and various segmentation evaluation metrics have produced to determine the quality of the generated segments. In this study, segmentation quality analysis was performed by using Area Fit Index (AFI) and Quality Rate (Qr) metrics by selecting reference objects (buildings) by the user. The main purpose of this study is to investigate whether segment quality analysis using different scale levels can be determined by using various metrics and used as an indicator of classification accuracy. In this context, 30 buildings were selected as reference object from Quickbird-2 high resolution satellite image and segmentation quality analyzes were conducted and the classification accuracies were compared. In this study, by using the multi-resolution segmentation method three scale levels determined by the Estimation of Scale Parameter (ESP-2) tool and segmentation quality analysis was performed for each segmentation. Object-based classification was performed with the nearest neighbor classifier using eCognition Developer (v. 9.2) software. As a result, approximately 20% improvement in segmentation quality criterion (Qr) metric and 9% increase in classification accuracy were observed, and it can be stated that the increase in segment quality was parallel to the increase in classification accuracy.

1. GİRİŞ

Günümüzde, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının artan oranda kullanılmasıyla birlikte yeryüzü nesne çıkarımı uzaktan algılama alanında daha önemli bir hale gelmiştir. Klasik piksel-tabanlı metotlar, yüksek çözünürlüklü görüntülerdeki nesnelere genellikle farklı spektral özelliklere sahip heterojen piksellerden oluşması sebebiyle nesne çıkarımı aşamasında yetersiz kalmaktadırlar (Colkesen ve Kavzoğlu, 2017). Spektral domain dikkate alınarak yapılan sınıflandırma işleminde sadece spektral bant bilgileri kullanılırken, konumsal domain dikkate alındığında segmentasyonla üretilen nesnelere geometrik şekilleri, büyüklükleri, dokusal ve örüntü özellikleri de kullanılmaktadır (Kavzoğlu, 2017).

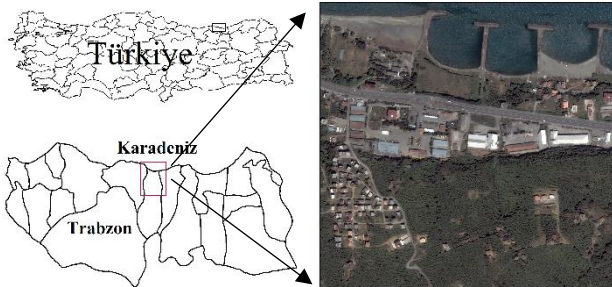
Nesne-tabanlı görüntü analizi, görüntü segmentasyonu adı verilen ve homojen nesnelere elde etmek için benzer pikselleri bir araya toplama işlemiyle işlemeye başlar. Segmentasyon işlemi, nesne-tabanlı sınıflandırmanın en temel adımıdır. Görüntü üzerinde segmentlere ayrılan bölgeler görüntü nesnelere olarak ifade edilebilir ki bunlar nesne-tabanlı analizin çekirdek yapılarıdır (Benz vd., 2004; Blascke, 2010). Bu nedenle, segmentasyon kalitesinin değerlendirilmesi, etkili segmentasyon yaklaşımlarının seçiminde ve optimum parametrelerin belirlenmesinde nesne-tabanlı görüntü analizi için esastır (Neubert vd., 2008). Ayrıca, segmentasyon kalitesinin devamında gelen sınıflandırma sonucunu önemli derecede etkilediği birçok yazar tarafından ifade edilmiştir (Blaschke, 2010; Clinton vd., 2010; Weidner, 2008; Kavzoğlu 2016).

Genel olarak, segmentasyon kalitesini değerlendirmeye yönelik çalışmalar, sistem seviyesinde değerlendirme ve ampirik iyilik ve ampirik uyumsuzluk yöntemlerini içerir (Zhang vd., 2015). Halihazırda, kontrolsüz yöntemler (ampirik iyilik yöntemleri) ve kontrollü yöntemler (ampirik uyumsuzluk yöntemleri) olmak üzere iki tür görüntü segmentasyon kalitesi değerlendirme yöntemi vardır (Zhang, 1996; Johnson ve Xie, 2011). Kontrolsüz yöntemler, segmente edilmiş bir görüntünün insan algılarını esas alarak bir dizi özellik kümesiyle ne kadar iyi eşleştiğine bağlı olarak görüntüyü değerlendirir (Zhang vd., 2008) ve insan algılamasıyla uyumlu segmentasyona neden olan belirli ölçütleri kullanır (Chabrier vd., 2006). Kontrollü yöntemler ise segmentasyon sonucunun sayısal bir analiz yardımıyla bir yer kontrol veya referans nesnesiyle karşılaştırılması esasına dayanır (Weidner, 2008). Kontrolsüz yöntemler herhangi bir segmentasyon algoritmasıyla ilişkilendirilmediğinden ve insan algısına bağlı olduğundan dolayı kontrollü yöntemlere göre daha subjektif kalmaktadırlar (Zhang, 1996).

Bu çalışmanın iki temel amacı bulunmaktadır: i) çoklu-çözünürlük segmentasyon metodu kullanılarak, ölçek parametresi belirleme (ESP-2) (Drăguț vd., 2014) aracı ile üretilen üç farklı ölçek parametresinin oluşturduğu segmentlerin kalite analizini çeşitli metrikler yardımıyla gerçekleştirmek, ii) segment kalitesinin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisini detaylı bir şekilde araştırmaktır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ

Bu çalışmada, Trabzon ili Yomra ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve 5 Mayıs 2008 tarihinde elde edilmiş 0.6 metre konumsal çözünürlüğe sahip multispektral pan-sharpened Quickbird-2 uydu görüntüsü kullanılmıştır (Şekil 1). Görüntü, 1421x1451 piksel boyutlarında ve yaklaşık 75 ha. lık bir alanı kapsamaktadır. Pankromatik ve multispektral görüntülerin kaynaştırılmasında Gram-Schmidt algoritmasından yararlanılmış ve kaynaştırma sonucu elde edilen görüntülerin yeniden örneklemeinde Bilinear enterpolasyon tekniği kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı, Trabzon Yomra bölgesi

Çalışma bölgesi, ülkemizin kuzey-doğu bölümünde, etrafı dağlık alanlarla çevrilmiş orman, tarım alanları ve kırsal yerleşim alanlarından oluşmaktadır. Çalışma alanına ait görüntü, arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıfları bakımından benzer spektral özellik gösteren yoğun heterojenliğe sahip bölgeyi içermektedir. Buna bağlı olarak, sınıflandırma aşamasında kullanılmak üzere 10 farklı arazi örtüsü-arazi kullanımı sınıfı (toprak, çakıl-betonarme, asfalt yol, orman, otlak alan, su, gölge, mavi çatı, kırmızı çatı, beyaz çatı) belirlenmiştir.

3. METODOLOJİ

3.1 Çoklu-Çözünürlük Segmentasyon

Çoklu-çözünürlük segmentasyonu, aşağıdan-yukarıya olarak ifade edilen bir bölge birleştirme tekniğidir. Her bir piksel bir görüntü nesnesi olarak düşünülür ve komşu piksel kümelenmeleri esas alınarak birleştirilir. Birleştirme işlemi, bitişik görüntü nesnelerinin benzerliğini tanımlayan yerel homojenlik kriterlerine dayanmaktadır ve olası bir birleştirme bitinceye kadar sürer. Bu özelliğinden dolayı mümkün olan en büyük homojen birleşmeyi sağlayan parametreye ölçek parametresi adı verilir (Baatz ve Schäpe, 2000).

Çoklu-çözünürlük segmentasyonu iki temel bileşenden meydana gelmektedir. İlk adım, birleşecek görüntü nesnelerini belirlemek için karar deneyimlerinin belirlenmesi, ikinci adım ise bir çift görüntü nesnesi için uyum derecesini hesaplamak için görüntü nesnelerinin homojenliğinin tanımlanması olarak ifade edilmektedir (Baatz ve Schäpe, 2000). Çoklu-çözünürlük segmentasyon metodu eCognition Developer yazılımı içinde bulunmaktadır ve ölçek, biçim ve bütünlük olmak üzere kullanıcı tanımlı 3 temel parametreden oluşmaktadır (Benz vd., 2004). Ölçek parametresi, görüntü nesneleri üretme arasında en önemli etkiye sahip olan parametredir (Kavzoglu ve Yildiz, 2014; Kavzoglu vd., 2016). Optimum bir ölçek parametresi belirleme işlemi, literatürdeki birçok araştırmacı tarafından deneme yanılma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Kavzoglu vd., 2015; Lowe ve Guo, 2011). Bu çalışmada, ölçek parametresi seçiminde, çok bantlı görüntülerin lokal varyansını hesaplamaya dayanan ve otomatik ölçek parametresi tahmini yapan ESP-2 (Drăguț vd., 2014) aracı kullanılarak belirlenmiştir.

3.2 Segmentasyon Kalitesi Ölçütleri

Segmentasyon parametreleri için optimum değerlerin kullanılmaması durumunda aşırı segmentasyon veya eksik segmentasyon olarak adlandırılan (olması gerekenden büyük veya küçük segmentler) durumlar meydana gelmektedir. Bu sebeple, görüntü segmentasyon kalitesini değerlendirmek için optimum ölçütlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, segmentasyon parametreleri belirleme işleminde bir standart olmadığı gibi, segmentasyon kalitesini değerlendirme işleminde de bir standart bulunmamaktadır. Segmentasyon kalitesi değerlendirmesinde, kontrollü yöntemler arasında yer alan ve referans nesne ile oluşturulan segment arasındaki ilişkiyi sayısal olarak değerlendiren Area Fit Index (AFI) ve Quality Rate (Qr) metrikleri literatürde en sık kullanılan ölçütler arasında yer almaktadır (Tablo 1). Belirtilen metrikler, referans nesne ile oluşturulan segment arasındaki kesişim ve birleşim alanlarını esas alarak yapma esasına dayanır.

Metrik	Formül	Kaynak
Area Fit index (AFI)	$AFI = \frac{A_{r(i)} - A_{s(j)}}{A_{r(i)}}$	Lucieer ve Stein (2002)
Quality rate (Qr)	$Qr = \frac{A_{r(i)} \cap A_{s(j)}}{A_{r(i)} \cup A_{s(j)}}$	Winter (2000)

Tablo 1. Segmentasyon kalite metrikleri. $A_{r(i)}$ toplam referans alanını göstermekte, $A_{s(j)}$ ele alınan segmentlerin toplam alanını göstermektedir.

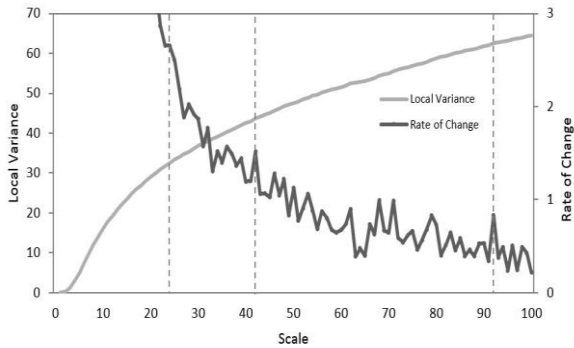
Eksik segmentasyon, görüntü nesnelere referans nesneden küçük olması durumunda, aşırı segmentasyon ise görüntü nesnelere referans nesnelere büyük olması durumunda meydana gelmektedir. Aşırı segmentasyonun ne kadar minimum seviyede tutulursa o seviyede yüksek sınıflandırma doğruluğu elde edileceği Belgiu ve Drăgut, (2014) tarafından ifade edilmektedir.

AFI, referans birimi ile en büyük üst üste gelen segment nesnesi arasındaki örtüşme derecesini ölçen bir metriktir. AFI, 0 değerini aldığı anda, referans ve segmente edilmiş nesnelere arasında mükemmel bir uyum var demektir. Pozitif AFI aşırı segmentasyonu, negatif AFI eksik segmentasyonu temsil eder. Qr metriği 0 ile 1 arasında değerler alır ve referans nesnesi ile ilgili segment arasındaki alana ait örtüşmeyi eksik segmentasyon ve aşırı segmentasyon değerlerini ele alarak belirler. İdeal bir durumda, Qr değerinin 1'e yakın olması beklenir.

4. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada, çoklu-çözünürlük segmentasyon işlemi eCognition Developer (v.9.2) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçek parametresi seçimi, eCognition Developer yazılımının Cognition Network Language (CNL) ortamında programlanan, ESP-2 aracı kullanılarak belirlenmiştir. ESP-2 aracı, ESP aracının geliştirilmiş bir versiyonudur ve birden fazla (toplam 30 banta kadar) bant kullanılmasına olanak sağlamaktadır. ESP aracında, her bir ölçek parametresi için hesaplanan lokal varyans-lokal varyanstaki değişim grafiği çizdirilir. Grafik, lokal varyansın tek başına anlamlı nesnelere belirtmeyeceğini göstermektedir. Lokal varyansın değişim oranlarındaki eşik değerleri hangi ölçek parametresinde anlamlı objelerin segmentasyonun yapılacağını belirler. Değişim oranı grafiği ani iniş çıkışlardan oluşan pikler şeklindedir ve ani değişimin görüldüğü pikler seçilebilecek optimum ölçek parametresini göstermektedir (Drăgut vd., 2010).

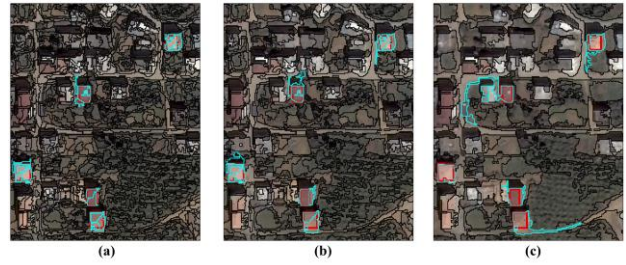
ESP-2 aracı görüntü nesnelere (segment) ait lokal varyans değişimlerini ele alarak 3 seviyeli ölçek tahmini gerçekleştirmektedir. Belirtilen üç seviye, L1, L2 ve L3 olarak adlandırılmakta ve L1 en iyi nesne ölçeğini, L2 orta seviye nesne ölçeğini, L3 ise en geniş ölçeğini temsil etmektedir. Görüntü nesne sayısı, L1'den L3'e doğru azalmaktadır. ESP-2 aracı ile oluşturulmuş lokal varyans-lokal varyanstaki değişim grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna bağlı olarak, L1, L2 ve L3 ölçek değerleri sırasıyla 24, 42 ve 92 olarak grafikteki ani değişimin görüldüğü pikler esas alınarak belirlenmiştir. Bazı çalışmalarda da ifade edildiği üzere (örn.: Drăgut vd., 2014; Kavzoglu ve Yıldız, 2014), biçim ve bütünlük parametresinin görüntü nesnelere üretmede sınırlı etkisi olduğundan dolayı sırasıyla 0.1 ve 0.5 değerleri sabit alınarak kullanılmıştır.



Şekil 2. ESP-2 lokal varyans-lokal varyanstaki değişim grafiği

Segmentasyon işlemi sonucunda, L1 seviyesi için 22.165 görüntü nesnesi, L2 seviyesi için 7.733 görüntü nesnesi ve L3 seviyesi için 1.784 görüntü nesnesi oluşturulmuştur. Segmentasyon kalite değerlendirmesinde kullanılmak üzere, referans nesnesi olarak 30 adet bina sayısallaştırılmıştır. Referans nesne seçiminde bina veya benzeri yapıların kullanılmasının daha uygun olacağı birçok çalışmada ifade edilmektedir (Clinton vd., 2010; Cheng vd., 2014).

Üç farklı seviyede üretilen segmentlerin referans nesnelere olan örtüşme alanları Şekil 3'de gösterilmiş ve ölçek parametresi büyüdükçe (L1'den L3'e doğru) üretilen segmentlerin boyutlarının büyüdüğü ve referans nesnelere olan örtüşmelerinde aşırı segmentasyon olayının gerçekleştiği tespit edilmiştir. Özellikle L3 seviyesinde gerçekleştirilen segmentasyonda, küçük binalar için uygun segmentlerin oluşturulmadığı ve referans nesnelere örtüşme oranlarının tutarsız ve olması gerekenden büyük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Segmentlerin referans nesnelere olan örtüşme alanları, a) L1, b) L2, c) L3 görüntü nesnelere

Segmentasyon kalite ölçütleri olan AFI ve Qr metriklere kullanılarak ArcGIS (v.10.2) yazılımında hesaplanmıştır ve Tablo 2'de sunulmuştur. L1 seviyesinde üretilen görüntü nesnelere L3 seviyesinde üretilen görüntü nesnelere göre segmentasyon kalitesi sonuçları analiz edildiğinde oldukça farklı sonuçların elde edildiği saptanmıştır. Örneğin, AFI ve Qr değerleri L1 için sırasıyla -0.237 ve 0.80 olarak hesaplanırken, L3'de bu değerlerin -0.582 ve 0.61 olarak hesaplandığı görülmektedir. Böylelikle, L1 seviyesinde üretilen görüntü nesnelere segment kalitesi bakımından L2 ve L3'de üretilen segmentlere göre daha kaliteli olduğu çıkarımı yapılmaktadır. Ayrıca, AFI değerlerinin tüm seviyedeki segmentasyon sonuçlarında eksi değerlerde hesaplanması aşırı segmentasyonun meydana geldiğini göstermektedir.

Seviye	Ölçek	Segment Sayısı	AFI	Qr
L1	24	22.165	-0.237	0.80
L2	42	6.447	-0.328	0.74
L3	92	1.784	-0.582	0.61

Tablo 2. Segmentasyon kalite değerlendirmesi

Görüntü nesnelere için optimum parametre seçimi ve kalitesinin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla nesne-tabanlı sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Nesne-tabanlı sınıflandırma işlemi (üç farklı segmentasyon sonucu için), eCognition yazılımında bulunan ve segmentler üzerinden sınıf hiyerarşisine göre alınan örneklere dayanan en yakın komşuluk sınıflandırma algoritması ile sınıflandırılmıştır. Tüm sınıflandırma işlemlerinde, olabildiğince birbirine yakın eğitim ve test alanları kullanılmıştır. Sınıflandırma işleminde tüm bantların spektral ortalama, minimum ve maksimum değerleri,

NDVI ve IHS özellikleri olmak üzere (toplam 17 özellik) kullanılmıştır. Doğruluk analizinde, kappa değeri ve genel doğruluk rastgele seçilen 2.500 piksel yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Tablo 3).

Seviye	Ölçek	Kappa	Genel Doğruluk (%)
L1	24	0.91	91.5
L2	42	0.88	89.16
L3	92	0.81	82.74

Tablo 3. Üç ölçek seviyesi için elde edilen sınıflandırma sonuçları

Tablo 3’den görüleceği üzere en yüksek doğruluk (% 91.5) ve kappa değeri (0.91) L1 seviyesi segmentasyonu sonucunda elde edilmiştir ve genel doğruluk kıyası yapıldığında L3’e göre yaklaşık % 9’luk bir farkın olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, segmentasyon kalitesi sonuçlarının sınıflandırma doğruluğu sonuçlarıyla paralel olduğu tüm kombinasyonlarda gözlemlendi. Buna bağlı olarak, Qr metriğinde yaklaşık % 20 oranındaki iyileşmenin, sınıflandırma doğruluğu artışının % 9 seviyesinde olduğu gözlemlenmiş ve tüm değerlendirmelerde birbirine paralel sonuçlar elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bilindiği üzere, nesne-tabanlı görüntü analizi yüksek çözünürlüklü görüntülerin artmasına paralel olarak uzaktan algılama alanında daha önemli bir seviyeye ulaşmış ve piksel-tabanlı sınıflandırmanın önüne geçmiştir. Nesneye dayalı görüntü analizinin en önemli şartı, başarılı bir segmentasyonun gerçekleştirilmesidir. Buna bağlı olarak, yapılacak segmentasyon çalışmalarında segmentasyon parametrelerinin optimize edilmesi ve segmentasyon kalitesinin artırılması bir ön koşul haline gelmektedir. Bu çalışmada, yüksek çözünürlüklü Quickbird-2 uydu görüntüsü kullanılarak çoklu-çözünürlük segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve ölçek parametresi belirleme aracı (ESP-2) ile elde edilen üç farklı ölçek parametresi kullanılmıştır. Elde edilen görüntü nesnelere kalite değerlendirilmesi, kontrollü yöntemler arasında yer alan ve referans nesnelere ele alınan segmentlerle olan örtüşmeyi sayısal bir şekilde analiz eden AFI ve Qr metrikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonrasında yapılan sınıflandırma sonuçlarında, segmentasyon kalitesinin sınıflandırma doğruluğu üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, segmentasyon kalitesi değerlendirmesinin yapılacak sınıflandırma sonuçları için kullanıcıya bir ön çıkarım sağladığı ve uygun segment belirlemenin yapılacak çalışmalardaki önemi ortaya konulmuştur. Gelecek çalışmalarda, farklı segmentasyon değerlendirme metrikleri de kullanılarak ve başka veri setleri üzerinde de deneyerek segmentasyon kalitesinin sınıflandırma doğruluğu üzerine etkisinin daha kapsamlı bir şekilde ele alınması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Baatz, M. and Schäpe, A., 2000. "Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation." In: Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (Eds.), *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, vol. XII. Wichmann, Heidelberg, pp. 12-23.

Belgiu, M., Drăguț, L., 2014. Comparing supervised and unsupervised multiresolution segmentation approaches for extracting buildings from very high resolution imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 96, pp. 67-75.

Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M., 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58 (3), pp. 239-258.

Blaschke, T., 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65, pp. 2-16.

Chabrier, S., Emile, B., Rosenberger, C., Laurent, H., 2006. Unsupervised performance evaluation of image segmentation. *Eurasip Journal on Applied Signal Processing*, 2006, pp. 1-12.

Cheng, J., Bo, Y., Zhu, Y., Ji, X., 2014. A Novel Method for Assessing the Segmentation Quality of High-Spatial Resolution Remote-Sensing Images. *International Journal of Remote Sensing*, 35 (10), pp. 3816-3839.

Clinton, N., Holt, A., Scarborough, J., Yan, L., Gong, P., 2010. Accuracy assessment measures for object-based image segmentation goodness. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76 (3), pp. 289-299.

Colkesen, I., Kavzoglu, T., 2017., The Use of Logistic Model Tree (LMT) for Pixel- and Object-based Classifications Using High-resolution WorldView-2 Imagery. *Geocarto International*, 32 (1), pp. 71-86.

Drăguț, L., Tiede D., Levick S. R., 2010. ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data. *International Journal of Geographical Information Science*, 24, pp.859-871.

Drăguț, L., Csillik, O., Eisank, C., Tiede, D., 2014. Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 88, pp.119-127.

Johnson, B., Xie, Z., 2011. Unsupervised Image Segmentation Evaluation and Refinement Using a Multi-scale Approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, pp. 473-483.

Kavzoglu, T., Yildiz, M., 2014. Parameter-Based Performance Analysis of Object-Based Image Analysis Using Aerial and QuickBird-2 Images. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-7, pp. 31-37.

Kavzoglu, T., Colkesen, I., Yomralioglu, T., 2015. Object Based Classification with Rotation Forest Ensemble Learning Algorithm Using Very High Resolution WorldView-2 Image. *Remote Sensing Letters*, 6(11), pp. 834-843.

Kavzoglu, T., Yildiz Erdemir, M., Tonbul, H., 2016, A Region-Based Multi-Scale Approach for Object-Based Image Analysis, *ISPRS Annual Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*, VII-4, pp: 241-247.

- Kavzoglu, T., 2017. Object-Oriented Random Forest for High Resolution Land Cover Mapping Using Quickbird-2 Imagery. In Handbook of Neural Computation, edited by P. Samui, S.S. Roy, V.E. Balas. Amsterdam: Elsevier.
- Lowe, S.H., Guo, X., 2011. Detecting an optimal scale parameter in object-oriented classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(4), pp.890-895.
- Lucieer, A., Stein, A., 2002. Existential uncertainty of spatial objects segmented from satellite sensor imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40, pp. 2518-2521.
- Neubert, M., Herold, H., Meinel, G., 2008. *Assessing image segmentation quality— concepts, methods and application*. In: Blaschke, T., Lang, S., Hay, G. (Eds.), *Object-Based Image Analysis, Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Springer, Heidelberg, Berlin, New York, pp. 769–784.
- Weidner, U., 2008. Contribution to the assessment of segmentation quality for remote sensing applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 37 (B7), pp.479-484.
- Winter, S., 2000. Location similarity of regions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 55 (3), pp. 189-200.
- Zhang, Y.J., 1996, A survey on evaluation methods for image segmentation. *Pattern Recognition*, 29, pp. 1335–1346.
- Zhang, H., Fritts, J.E., Goldman, S.A., 2008. Image segmentation evaluation: a survey of unsupervised methods. *Computer Vision Image Understanding*. 110 (2), pp. 260-280.
- Zhang, X., Feng, X., Xiao, P., He, G., Zhu, L., 2015. Segmentation quality evaluation using region-based precision and recall measures for remote sensing images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 102, pp. 73–84.