

İSTATİSTİKSEL VE YAPISAL ÖZNİTELİKLERİN ÖBEKLENMESİ İLE BİLEŞİK YAPILARIN SEZİMİ DETECTION OF COMPOUND STRUCTURES USING CLUSTERING OF STATISTICAL AND STRUCTURAL FEATURES

H. Gökhan Akçay, Selim Aksoy

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilkent Üniversitesi, Bilkent, 06800, Ankara

{akçay, saksoy}@cs.bilkent.edu.tr

ÖZETÇE

Görüntülerdeki bileşik yapıları bulmak amacıyla basit türdeş yapıdaki temel nesnelerin istatistiksel ve yapısal karakteristiklerini birleştiren bir yöntem sunmaktayız. Bu yöntemde, düğümleri temel nesnelere karşılık gelen bir çizge oluşturulmakta, potansiyel olarak birbiriyle ilgili nesneler de bu çizgede ayrıtlarla birleştirilmektedir. Ayrıca, tek tek her bir nesnenin spektral, şekil ve yer bilgisi kullanılarak modellenen istatistiksel bilgi ve birbirine komşu nesne gruplarının uzamsal olarak hizalılıkları ile modellenen yapısal bilgi de çizgede kodlanmaktadır. WorldView-2 verileri kullanılarak yapılan deneyler, geleneksel yöntemlerle elde edilemeyen bileşik yapıların çizgedeki düğümlerin sıradüzensel öbeklenmesi ile bulunabildiğini göstermiştir.

ABSTRACT

We describe a new method for detecting compound structures in images by combining the statistical and structural characteristics of simple primitive objects. A graph is constructed by assigning the primitive objects to its vertices, and connecting potentially related objects using edges. Statistical information that is modeled using spectral, shape, and position data of individual objects as well as the structural information that is modeled in terms of spatial alignments of neighboring object groups are also encoded in this graph. Experiments using WorldView-2 data show that hierarchical clustering of the graph vertices can discover high-level compound structures that cannot be obtained using traditional techniques.

1. GİRİŞ

Nesne tanımadada genel yaklaşım görüntüleri türdeş bölgelere bölütlemek ve bu bölgeleri sınıflandırmaktır. Fakat, uzamsal çözünürlük arttıkça, bu türdeş bölgeler genellikle çok küçük detaylara karşılık gelmektedir. Anlamsal görüntü algılama için alternatif bir seçenek de kendi içinde heterojen görüntü bölgelerini tanımlamaktır. Bina, yol ve ağaç gibi *temel nesnelerin* uzamsal yerleşimlerinden oluşan farklı türlerdeki yerleşim alanları, tarım alanları, ticari ve endüstriyel alanlar *bileşik*

yapılar olarak da adlandırılan bu bölgelere örnek olarak verilebilir. Bununla birlikte, bu yapıların modellenmesi zor bir problemdir çünkü çok yüksek uzamsal çözünürlükteki yeni nesil görüntülerde görünüşleri daha da fazla karmaşık hale gelmiştir.

Farklı nesneler farklı ölçeklerde ortaya çıktığı için bileşik yapıların tanınması için bir çözüm olarak sıradüzensel bölütleme büyük ilgi görmüştür. Burada önemli bir problem, sıradüzenin nasıl oluşturulacağının belirlenmesidir. Genel bir yaklaşım, spektral türdeşliğe dayanarak bölme ve/veya birleştirme yapmaktır. Fakat bu yaklaşım, özü itibarıyla heterojen olan ve farklı spektral karakteristiklerde elemanlara sahip karmaşık yapılar için iyi çalışmamaktadır. Bunun gibi kısıtlamalardan dolayı, ilgi duyulan birçok yapı sıradüzende ortaya çıkmamaktadır.

Bir alternatif olarak, Gaetano ve diğerleri [1] beraber sık görülen birbirine komşu bölgelerin güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu varsayarak sıradüzensel doku bölütlemesi gerçekleştirmişlerdir. Güçlü şekilde ilişkili bölgeleri bulmak amacıyla, nicemlenmiş bölge çiftlerinin frekanslarını hesaplamak için görüntü piksellerini öbeklemişlerdir. Zamalieva ve diğerleri [2] frekans tabanlı ama sürekli bir öznitelik kümesinde benzer bir yaklaşım kullanmışlardır. Bu çalışmada bölge eşoluşumlarının öznitelikleri kullanılarak tahmin edilen olasılık dağılımının dorukları bir çizgenin ayrıtlarını oluşturmak için kullanılmış ve bir çizge madenciliği algoritması ile bileşik nesnelere karşılık gelebilecek altçizgeler bulunmuştur. Dogrusoz ve Aksoy da [3] kentsel yapıların düzenliliğini modellemek amacıyla benzer uzamsal yerleşimdeki binaları gruplayan çizge tabanlı bir model kullanmışlardır. Venegas ve diğerleri [4] hizalı sıralanmış nesne gruplarını bulmak amacıyla nesneler arasındaki bağıl yönlerin bulanık ölçülerine dayalı bir yöntem sunmuşlardır. Önce üç nesneden oluşan hizalı nesne gruplarını bulmuşlar, daha sonra bu yerel grupları kullanarak global hizalı gruplar aramışlardır.

Bu bildiri, bileşik nesnelerin modellenmesi ve tanınması ile ilgili olarak, bina gibi temel nesnelerin (2. bölüm) bir çizgedeki ayrıtları oluşturduğu ve potansiyel olarak birbiriyle ilgili nesnelerin de bu çizgede ayrıtlarla birleştiği çizge tabanlı uzamsal bir model üzerindeki çalışmalarımızı sunmaktadır. Belirli bir temel nesneye denk gelen her bir düğüme, o nesnenin özelliklerini temsil eden istatistiksel öznitelikler ve o nesnenin komşularına göre yerleşimini temsil eden yapısal özni-

Bu çalışma TÜBİTAK 109E193 numaralı proje tarafından desteklenmiştir.

978-1-4673-0056-8/12/\$26.00 ©2012 IEEE



Şekil 1: Ankara görüntüsünde bina sezimi örnekleri. Sezilen binalar (b)'de kırmızı ile öne çıkarılmıştır.

telikler atanmaktadır (3. bölüm). Daha sonra, bu düğümlerin sıradüzensel öbeklenmesi farklı seviyelerdeki bileşik yapıları oluşturmaktadır (4. bölüm). Önerilen model bir WorldView-2 görüntüsü kullanılarak örneklenmiştir (5. bölüm).

2. TEMEL NESNELERİN SEZİMİ

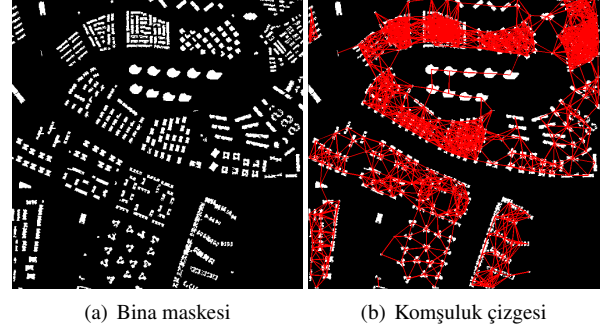
Temel nesne kümesi görüntü bölütlemenin yanında spektral, dokusal ve biçimbilimsel bilgiyi kullanan düşük seviyede işlemlerle göreceli olarak kolay ortaya çıkarılabilen nesneleri içermektedir. Bina, yol, ağaç gibi bu nesneler daha karmaşık bileşik nesnelerin yapıtaşları olarak kullanılabilir. Odak noktamız bileşik yapıların bulunması olduğu için, bu ilk işlem bu çalışmada olabildiğince basit tutulmaktadır.

5. bölümdeki kavramı açıklayıcı deneyler bileşik nesneleri oluşturmak için bina gruplarını kullanmaktadır. Binalar spektral bantlarda eşikleme ile sezilmektedir. Şekil 1'de 500×500 piksellik çoklupektral WorldView-2 Ankara görüntüsünde örnek bina sezimi sonuçları gösterilmektedir. Görüntüdeki çoğu bina benzer renklere sahip olduğundan, kırmızı banda göre eşikleme analizinin geri kalan kısmı için kabul edilebilir sonuçlar vermiştir. Bu ilk işlemde sezimdeki herhangi bir iyileşme genel süreci de iyileştirecektir. Algoritmanın geri kalan kısmı farklı temel nesnelerin farklı uygulamalar için bu kümeye eklenmesine olanak sağlamaktadır.

3. ÖZNİTELİK ÇIKARILMASI

3.1. Görüntünün temsil edilmesi

Görüntü içeriği ortaya çıkarılan temel nesnelerin düğümlere denk geldiği bir çizge ile modellenmektedir. Potansiyel olarak ilintili nesneler yönsüz ayrıtlar kullanılarak birleştirilmektedir. Komşu nesnelerin ilintili olabileceğini varsayarak, her bir komşu düğüm çiftini bir ayrıt ile bağlamaktayız. Komşuluk bilgisi, komşuların nesne çiftlerinin merkez noktaları arasındaki uzaklıklara bir eşik uygulanarak belirlendiği yakınlık analizi ile elde edilmektedir. Şekil 2'de, Şekil 1'deki bina nesnelerinin ilgili düğümler olarak kullanıldığı ve ayrıtların 40 piksel uzaklık eşiği kullanılarak çizildiği örnek bir çizge gösterilmektedir. Çizge kurulduktan sonra, düğümlere ve ayrıtlara aşağıda anlatıldığı gibi istatistiksel ve yapısal öznitelikler atanmaktadır.



Şekil 2: Çizge kurulumuna örnekler. Yakınlık analizine göre komşu olan düğümler (b)'de kırmızı ayrıtlarla bağlanmıştır.

3.2. İstatistiksel öznitelikler

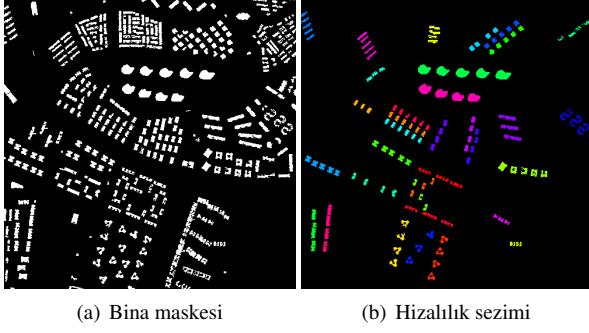
Düğümlere ait istatistiksel öznitelikler nesnelerin tek başlarına özelliklerini temsil etmektedir. Bu öznitelikler, her bir bant için nesnenin içerisindeki piksellerin ortalama değerleri olan spektral öznitelikler (örneğin, $s_{ij}, j = 1, \dots, k$, k bant için), alan, a_i , ve eksenel kaçıklık, e_i , gibi şekil öznitelikleridir. Burada $i = 1, \dots, n$ ve n temel nesne sayısıdır. Alan, piksel sayısı ile hesaplanmaktadır. Eksenel kaçıklık, nesnenin odak noktaları arasındaki farkın büyük eksenin uzunluğuna oranıdır. Aynı zamanda, nesnenin merkez noktası, x_i ve y_i , nesnenin yerini temsil için hesaplanmaktadır. Bu öznitelikler, $(s_{i1}, \dots, s_{ik}, a_i, e_i, x_i, y_i)$ ilgili nesnelerin spektral içeriğini ve şeklini özetlemektedir. Her bir ayrıta atanan istatistiksel öznitelik ise bağladığı düğümlerin merkezlerinin arasındaki uzaklığı içermektedir. Bütün istatistiksel öznitelikler ilgili minimum ve maksimum değerler kullanılarak birim aralığa düzeltilmektedir.

3.3. Yapısal öznitelikler

Yapısal öznitelikler her bir nesnenin komşularına göre uzamsal yerleşimini temsil etmektedir ve komşu nesneler arasındaki ilişkiler kullanılarak çıkarılmaktadır. Önemli bir yapısal öznitelik nesnelerin aynı hizada sıralanmasıdır. Bu bölümde hizalı nesne gruplarının bulunması için bir yöntem sunmaktayız.

Verilen n tane nesne içeren bir görüntü için, hizalı nesne grupları en az üç nesne içeren olası bütün alt kümeler incelenerek bulunabilir. Bu alt kümeler, bir önceki bölümde oluşturulan çizge üzerinde ilkin derinliğine arama ile üretilebilir. Bir yönsüz çizge üzerinde ilkin derinliğine arama, belirli bir v düğümünden başlar ve v 'ye bağlı tüm düğümlere özyinelemeli olarak uğrar. Bu işlem, arama algoritması çizgedeki her bir düğümden başlatılarak tekrarlanır. En az üç düğümden oluşan bir yol elde edildiğinde, olası bir hizalı nesne grubu olarak ele alınır.

Nesnelerin hizalı olup olmadığını merkez noktalarının doğrudaşlığına göre belirlemektetiz. Üç ya da daha fazla nesnenin merkez noktaları düz bir doğru üzerinde sıralanmaktaysa, bu nesneler hizalı kabul edilmektedir. Hizalılığın iyilik ölçütü, merkez noktalara en küçük karelerle uydurma ile bir doğru oturtulduktan sonra, kalan hataların toplamı cinsinden hesaplanmaktadır. Hizalılıkta önemli diğer bir etmen ise gruptaki nesneler arasındaki aralıklar arasındaki birözniteliliktir. Bu, çizgedeki



(a) Bina maskesi

(b) Hizalılık sezimi

Şekil 3: Hizalılık sezimine örnekler. Hizalılık kriterini sağlayan bina gruplarına örnekler (b)'de farklı renklerle gösterilmektedir. Bu görüntüde toplamda 622 adet üç ya da daha fazla nesneden oluşan hizalı grup bulunmuştur ama şekilde daha açık olması için sadece 34 tanesi gösterilmektedir.

yol üzerindeki ayırıt öz niteliklerinin standart sapması cinsinden hesaplanmaktadır. Daha önce belirtildiği üzere ayırıt öz nitelikleri merkez noktalar arasındaki uzaklıkları içerdiği için, küçük bir standart sapma gruptaki art arda gelen nesne çiftlerinin arasındaki boşlukların birörenekliliğine işaret etmektedir.

İlkin derinliğine aramadaki üstel karmaşıklıktan kaçınmak ve hizalılık bulma algoritmasını büyük çizgeler için uygulanabilir hale getirmek için önemli bir adım doğru oturtma için kalan hatalar toplamına ve merkez noktaların uzaklıklarının standart sapmalarına eşikler uygulayarak budama yapmaktır. Eğer bir nesne grubu, her bir ölçüt için izin verilen sınırlar içerisinde hizalı değilse ilkin derinliğine arama sonlandırılır ve bu nesneleri içeren diğer hiçbir grup aramada göz önüne alınmaz. Sonuç olarak, bir nesne bir veya birden fazla hizalı gruba dahil olabilir ya da hiçbir hizalı gruba dahil olmaz.

Arama işleminin sonucunda, üç ya da daha fazla nesneden oluşan her bir yola karşılık gelen her bir nesne grubu için şu yapısal öz nitelikler hesaplanmaktadır: oturtulan doğrunun eğimi, θ_i , ve ayırıt öz niteliklerinin (merkezlerin uzaklıkları) ortalaması, μ_i . Burada, $i = 1, \dots, m$ ve m saptanan hizalı nesne grubu sayısıdır. Bütün yapısal öz nitelikler, en küçük ve en büyük değerlerine göre ayrı ayrı birim aralığa düzgenlenmektedir. En son olarak, çizgedeki her bir nesneye dahil olduğu hizalı nesne gruplarının bir listesi yapısal öz nitelikler olarak atanmaktadır. Şekil 3 hizalı nesne gruplarına örnekler göstermektedir.

4. TEMEL NESNELERİN GRUPLANMASI

Her bir nesneye (düğüm) istatistiksel ve yapısal öz nitelikler verildikten sonra, bir sonraki aşamada yinelemeli çok seviyeli sıradüzensel öbekleme ile bu nesneleri gruplamaktayız. Gruplama için k -ortalama gibi yinelemeli öbekleme yöntemleri kullanarak öz nitelik uzayının tek seviyeli öbeklenmesi tercih edilmemektedir, çünkü bileşik nesne türlerinin sayısı genellikle bilinmemektedir. Ayrıca, farklı uygulamalar farklı seviyeleri ilginç bulabileceği için tek seviyede bir öbekleme yeterli olmayabilir.

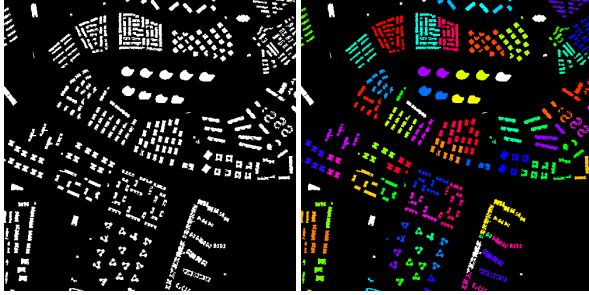
İyi tanımlanmış bir vektör uzayına ihtiyaç duyan ve k -ortalamada kullanılan Öklit uzaklığına zıt olarak, sıradüzen-

sel öbeklemede, nesne çiftleri arasında soyut manada tanımlanabilen uzaklıkları kullanabilme üstünlüğü vardır. Sıradüzensel öbeklemede nesne çiftleri arasındaki uzaklıklar istatistiksel ve yapısal öz nitelikler için ayrı ayrı hesaplanabilir. İki nesne arasındaki 3.2. bölümde anlatılan istatistiksel öz niteliklere dayanan uzaklık bu nesnelerin öz niteliklerinin farklarının kareleri toplamı olarak hesaplanmaktadır. Görüntüde uzamsal olarak birbirine yakın iki nesne benzer spektral içeriğe ve şekle sahip ise istatistiksel uzaklıkları da küçük olacaktır. 3.3. bölümde anlatılan yapısal öz niteliklere dayalı uzaklıklar, nesnelerin dahil olduğu hizalı nesne gruplarından bulunmaktadır. İki hizalı nesne grubu arasındaki uzaklık, bu nesne gruplarının öz nitelikleri arasındaki farkların kareleri toplamı olarak hesaplanmaktadır. İki nesne arasındaki uzaklıklık ise, bu nesnelerin dahil oldukları hizalı nesne grupları arasındaki tüm uzaklıkların minimum değeri olarak hesaplanmaktadır. Eğer iki nesne eğimleri ve nesneler arası boşlukları benzer olan hizalı nesne gruplarına dahil iseler, aralarındaki yapısal uzaklık küçük olacaktır. Eğer en az bir nesne herhangi bir hizalı nesne grubuna dahil değilse, bu nesnenin diğer nesnelere olan uzaklığı ∞ olarak atanmaktadır.

Birbirine komşu her bir nesne çifti arasındaki istatistiksel ve yapısal uzaklıklar hesaplandıktan sonra, sıradüzensel öbekleme algoritması, her bir düzeyi belirli bir gruplamaya denk gelen bir ağaç yapısı oluşturacak şekilde yinelemeli olarak bu nesneleri gruplamaktadır. Öbeklemede farklı istatistiksel ve yapısal uzaklık kombinasyonlarını denedik. İyi sonuçlar veren bir düzenek istatistiksel ve yapısal uzaklıkların ayrı ayrı öbeklenmesinden elde edilen sonuçları birleştirmektir. Herhangi bir seviyede hangi iki grubun yeni bir grup oluşturmak üzere birleşeceğine karar vermek amacıyla kullanılan kriterler, istatistiksel uzaklıklar için ortalama bağlama kriteri ve yapısal uzaklıklar için tek bağlama kriteridir. İstatistiksel uzaklıklarla ortalama bağlama kriterinin kullanılmasının sebebi aynı gruba ait olarak seçilen bütün nesnelerin benzer öz niteliklere sahip olmasını istememizdir. Yapısal uzaklıklarla tek bağlama kriterinin kullanılmaktayız çünkü iki nesne grubunun her bir gruptan gelen benzer hizalılıklara ait en az bir nesne çiftine sahip olduğunda birleşmesini istemekteyiz. Bu nesneler genellikle aynı hizalılık grubuna dahil yapısal uzaklık olarak sıfır veren nesnelerdir. En sonunda, istatistiksel veya yapısal uzaklıklardan en az biri aracılığıyla aynı öbeğe ait olduğu saptanan nesnelere aynı etiket verilerek öbekleme sonuçları birleştirilmektedir. Bu, istatistiksel uzaklıklar kullanıldığında ayrılan iki öbeğin yapısal uzaklıklar kullanılarak aynı öbeğe dahil edilen nesneler içerdikleri takdirde birleştirilmesine ve yapısal uzaklıklar kullanılarak ayrılan iki öbeğin istatistiksel uzaklıklar kullanılarak aynı öbeğe dahil edilen nesneler içerdikleri takdirde birleştirilmesine karşılık gelmektedir.

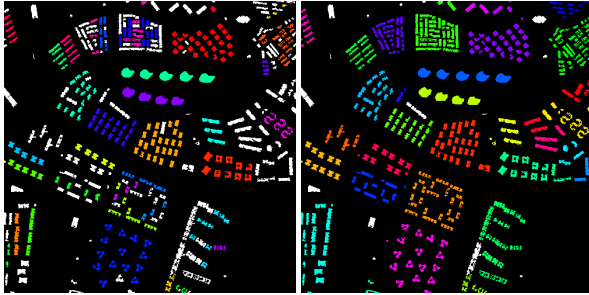
5. DENEYLER

Bildiride sunulan gruplama yöntemini örneklendirmek için Ankara'ya ait, $2m$ uzamsal çözünürlüklü, çoklu spektral bir WorldView-2 görüntüsü (Şekil 1) üzerinde deneyler yaptık. Kırmızı bantta eşikleme ile sezilen binalara denk gelen 418 adet düğüm ve uzaklık analizi ile elde edilen 2610 adet ayırıt ile bir çizge oluşturulmuştur. Hizalılık sezme algoritması izin verilen sınırlarda üç veya daha fazla binadan oluşan 622 adet



(a) Bina maskesi

(b) İstatistiksel öbekleme



(c) Yapısal öbekleme

(d) Birleştirilmiş öbekleme

Şekil 4: Örnek öbekleme sonuçları. Farklı gruplar farklı renklerle gösterilmektedir. Verilen seviyede herhangi bir gruba birleşmeyen binalar beyazla gösterilmiştir.

grup bulmuştur. Her bir nesne çifti için istatistiksel ve yapısal öznitelikler hesaplandıktan ve ilgili uzaklıklar kaydedildikten sonra, bileşik yapıları bulmak için 4. bölümde açıklandığı gibi sıradüzensel öbekleme uygulanmıştır.

İstatistiksel uzaklıklar kullanılarak yapılan öbekleme Şekil 4(b)'deki örnek bir sıradüzen seviyesinde 254 adet binanın oluşturduğu 37 adet gruba sonuçlanmıştır. Bu seviye sıradüzenin gözle incelenmesi sonucu elle seçilmiştir. Geriye kalan 164 bina bu seviyede herhangi bir gruba birleşmemiştir. Farklı karakteristiklerde binalar aynı öbeğe düşerken birbirine yakın benzer binaların farklı öbeklere düştüklerini gözlemleyebiliriz. Bu beklenmektedir çünkü bazı bina grupları istatistiksel öznitelikleri yerine yapısal öznitelikleri (örneğin, hizalılıklar) ile karakterize edilmektedir. Diğer yandan, yapısal uzaklıklar kullanılarak yapılan öbekleme, Şekil 4(c)'de gösterildiği üzere 402 adet binanın 80 adet hizalı grup oluşturması ve geriye kalan 16 adet binanın herhangi bir gruba dahil olmaması ile sonuçlandı. Sonuçlar üç ya da daha fazla binadan oluşan doğrusal olarak hizalı grupların başarılı bir şekilde ortaya çıkarıldığını göstermektedir. Hizalılık tanımını sağlamayan

binalar ise ayrı olarak kalmıştır. Son olarak, birleştirilmiş öbekleme Şekil 4(d)'de gösterildiği gibi 403 adet binanın meydana getirdiği 38 adet grup ve tek başına 15 adet ayrı bina ile sonuçlandı. Sonuçlar sadece istatistiksel öznitelikler kullanılarak farklı öbeklere ayrılan bina gruplarının yapısal öznitelikler dahil edilerek nasıl birleştiğini göstermektedir. Sonuç olarak, geleneksel bölütleme yöntemleri ile elde edilemeyen farklı karakteristikler ve uzamsal yerleşimlerdeki bina gruplarını önerilen yöntemle başarılı bir şekilde ortaya çıkarabilmekteyiz. Bu bileşik yapılar uzaktan algılanan görüntülerin yüksek seviyeli sınıflandırma, içerik tabanlı bulup getirme, ve otomatik etiketleme uygulamalarında anlamlandırılması için kullanılabilir.

6. SONUÇLAR

Bileşik yapıları bulmak için, temel nesnelerin spektral, şekil ve yer bilgisi kullanılarak modellenen istatistiksel karakteristiklerini ortak yönelim ve nesneler arasındaki türdeş aralıklar kullanılarak modellenen uzamsal hizalılıkları ile birleştiren yeni bir yöntem açıkladık. İlgi duyulan yapılar olarak bina gruplarını bulmayı amaçlayan deneyler, geleneksel bölütleme yöntemleri ile elde edilemeyen grupların istatistiksel ve yapısal karakteristiklerin sıradüzensel bir öbekleme yöntemi ile birleştirilmesi sonucunda elde edilebildiğini göstermiştir. Gelecek çalışmalar parametrelerin otomatik seçilmesi ve daha büyük veri kümelelerinde deneyler yapılması yönünde olacaktır.

7. KAYNAKÇA

- [1] R. Gaetano, G. Scarpa, and G. Poggi, "Hierarchical texture-based segmentation of multiresolution remote-sensing images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 47, no. 7, pp. 2129–2141, July 2009.
- [2] D. Zamalieva, S. Aksoy, and J. C. Tilton, "Finding compound structures in images using image segmentation and graph-based knowledge discovery," in *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Cape Town, South Africa, July 13–17, 2009.
- [3] E. Dogrusoz and S. Aksoy, "Modeling urban structures using graph-based spatial patterns," in *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Barcelona, Spain, July 23–27, 2007, pp. 4826–4829.
- [4] M. C. Vanegas, I. Bloch, and J. Inglada, "Detection of aligned objects for high resolution image understanding," in *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Honolulu, Hawaii, July 25–30, 2010, pp. 464–467.