

Kentsel Yapıların Biçimbilimsel Bölütlenmesi

Morphological Segmentation of Urban Structures

H. Gökhan Akçay, Selim Aksoy

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

{akçay, saksoy}@cs.bilkent.edu.tr

Özetçe

Yüksek çözünürlükteki uzaktan algılamalı uydu görüntülerinde bölütleme kent uygulamalarında önemli bir problemdir çünkü elde edilen bölütlemelerle sınıflandırma için piksel tabanlı spektral bilginin yanında uzamsal ve yapısal bilgiler elde edilebilir. Bu bildiride, biçimbilimsel işlemlerle çıkarılan yapısal bilgi ve ana bileşenler analizi ile özetlenen spektral bilgi kullanılarak gürültüden etkilenmeyen bölütler elde eden bir yöntem sunduk. Yapılan deneyler yöntemin görüntü üzerinde komşuluk bilgisini ve spektral bilgiyi beraber kullanmayan başka bir yöntemle göre daha düzgün ve anlamlı yapılar bulunduğunu göstermiştir.

Abstract

Automatic segmentation of high-resolution remote sensing imagery is an important problem in urban applications because the resulting segmentations can provide valuable spatial and structural information that are complementary to pixel-based spectral information in classification. We present a method that combines structural information extracted by morphological processing with spectral information summarized using principal components analysis to produce precise segmentations that are also robust to noise. The experiments show that the method is able to detect structures in the image which are more precise and more meaningful than the structures detected by another approach that does not make strong use of neighborhood and spectral information.

1. Giriş

Yüksek çözünürlükteki uydu verilerinin kullanılabilirliğinin artmasıyla, uydu görüntülerinde otomatik içerik analizi ve sınıflandırma önemli araştırma problemleri haline gelmiştir. Uzaktan algılamalı görüntü analizi sistemleri için daha çok piksel düzeyinde işlemlerin kullanıldığı sınıflandırma ile ilgili geniş bir literatür bulunmaktadır. Buna rağmen, son 15 yıl içerisinde sınıflandırma yöntemlerinin performanslarında önemli bir gelişme olmadığı gözlemlenmiştir [1]. Literatürde kısıtlı doğrulama (ground truth) verisi kullanılarak yüksek doğruluk oranları yayınlanmasına rağmen, sonuçların görsel incelenmesi çoğu kentsel yapının beklendiği kadar doğru ortaya çıkarılmadığını göstermektedir.

Biz, yeryüzü yapılarını yorumlamak için piksel tabanlı spektral bilginin yanında yapısal bilginin de kullanılması gerektiğine

Bu çalışma TÜBİTAK KARIYER 104E074 ve European Commission Sixth Framework Programme Marie Curie International Reintegration Grant MIRC-CT-2005-017504 numaralı projeler tarafından desteklenmiştir.

inanmaktayız. Yapı bilgisini sınıflandırmaya dahil etmek için yaygın bir yöntem bölge bilgisinin kullanılmasıdır. Mesela, Bruzzone ve Carlin [2] görüntünün sıradüzensel çok ölçekli (multi-scale) bir gösterimi ile her pikselin uzamsal bağlamını kullanarak sınıflandırma gerçekleştirmiştir. Benzer bir yaklaşımda [3], görüntünün dalgacık dönüşümü kullanarak birden fazla çözünürlükte gösterimini elde ettik, her bir çözünürlükteki görüntüleri bölütledik, ve bölge tabanlı spektral, doku ve şekil özelliklerini sınıflandırmada kullandık. Benediktsson [4] yapısal bilginin çok ölçekli gösterimini elde etmek için farklı boyutlarda biçimbilimsel işlemler uygulamış, ve pikselleri biçimbilimsel profillerine göre sınıflandırmıştır.

Bu çalışmada amacımız, görüntüleri uzamsal olarak tutarlı bölgelere ayırmak için bir bölütleme algoritması geliştirmektir [5]. Böylece, bu bölgelerin özellikleri kullanılarak yapısal bilgi modellenmesi gerçekleştirilebilir. Literatürdeki bölütleme algoritmalarına örnek olarak yakınlık süzgeci ve biçimbilimsel işlemlerle piksel tabanlı sınıflandırma sonuçlarının birleştirilmesi gösterilebilir [6]. Benzer bir çalışmada, Pesaresi ve Benediktsson [7] görüntüdeki piksellerin biçimbilimsel özelliklerini kullanarak bölütleme yapmıştır.

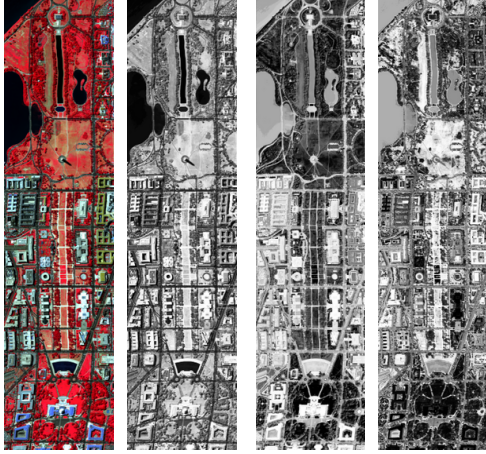
Bu bildiride, biçimbilimsel bilginin yanında komşuluk ve spektral bilgi de kullanan bir yöntem sunmaktayız. İlk olarak, çok fazla spektral bilgi içeren veriyi özetleyen bantları elde etmek için ana bileşenler analizi uygulanmaktadır. Daha sonra, her bir ana bileşen üzerinde geri çatılma ile biçimbilimsel açma/kapama işlemleri ile aday bölgeler çıkarılmaktadır. Her bir ana bileşen için çıkarılan bölgeler sıradüzensel bir ağaç ile temsil edilmekte, ve bu ağaçtaki en anlamlı bölgeler spektral özelliklerin değışintileri ile hesaplanan spektral türdeşliği ve bağlı bileşenlerin boyutları ile hesaplanan komşuluk bilgisini içeren bir ölçü eniyenerek seçilmektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir. Veri ve kullanılan öznitelikler 2. bölümde tanıtılmaktadır. Yapısal bilgiyi modellemek için kullanılan biçimbilimsel profiller 3. bölümde anlatılmaktadır. Bu profiller kullanılarak bölgelerin sıradüzensel olarak çıkarılmasına 4. bölümde yer verilmiştir. 5. bölümde sıradüzensel en anlamlı bölgelerin seçilmesi için önerilen algoritma sunulmuştur. Deneysel sonuçlar 6. bölümde verilmiştir.

2. Öznitelik Çıkarılması

Önerdiğimiz algoritmaları iki veri üzerinde sınavacağız:

1. *DC Mall*: 1, 280 × 307 piksel boyutlarında ve 191 spektral bant içeren Washington DC görüntüsü (Şekil 1).
2. *Pavia*: 1, 096 × 715 piksel boyutlarında ve 102 spektral bant içeren İtalya'da Pavia şehrinin görüntüsü (Şekil 2).



Şekil 1: *DC Mall* verisi için (63, 52 and 36 numaralı bantlar kullanılarak oluşturulmuş) renkli görüntü ve ilk üç ABA bileşeni.

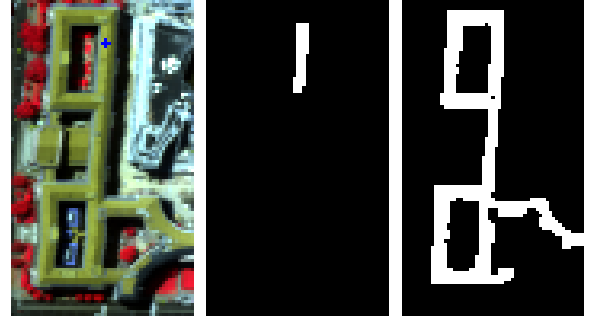
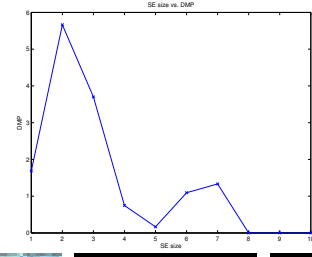


Şekil 2: *Pavia* verisi için (68, 30 and 2 numaralı bantlar kullanılarak oluşturulmuş) renkli görüntü ve birinci ABA bileşeni. (Ortadaki eksik dikey bir bölüm kaldırılmıştır.)

Biçimbilimsel işlemler tek bantlı ikili veya gri tonlu görüntüler üzerinde tanımlandığı için, ana bileşenler analizi (ABA) uygulamakta ve bütün verideki %99 değişimtiye denk gelen en üst ana bileşenleri kullanmaktayız. Bu her iki görüntü için de ilk üç bileşene denk gelmektedir (Şekil 1 ve 2). Farklı yapıların farklı ana bileşenlerde daha açık bir şekilde ortaya çıktığı düşünüldüğünde, bölge çıkarılması için her bir ABA bandını ayrı ayrı incelemekteyiz.

3. Biçimbilimsel Profiller

Biçimbilimsel profiller (BP) bir görüntünün artan büyüklükte yapısal öğeler (YÖ) (structuring elements) kullanılarak geri çatılma ile açma/kapama (opening/closing by reconstruction) işlemleri sonucunda ortaya çıkan değerlerinden oluşturulur. Çok ölçekli değişimi modellemek içinse bu değerlerin farklarından biçimbilimsel türev profili (BTP) hesaplanır. Pesaresi ve Benediktsson, bölütleme yöntemlerinde bir görüntü bölütünü, aynı YÖ boyutunda BTP değerinin en yüksek olduğu bağlı pikseller olarak tanımlamışlardır [7]. Yani, her bir pikselin bölüt etiketi profilindeki en büyük türeve denk gelen YÖ boyutuna göre belirlenmiştir. Yöntemdeki bir dezavantaj, piksellere bölüt etiketleri verirken komşuluk bilgisinin kullanılmamasıdır. Bu, yüzeyi düz olmayan, yani en büyük BTP değerinin doğru yapıya denk gel-

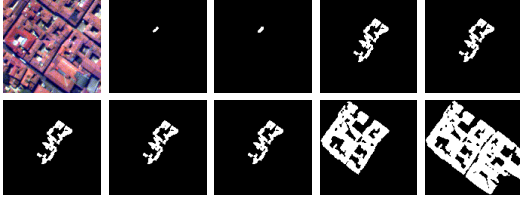


Şekil 3: Soldaki görüntüde mavi + ile işaretlenen pikselin BTP değerleri verilmiştir. En yüksek değer 2 numaralı YÖ ile elde edilmiştir. Ortada, bu YÖ boyutu ile etiketlenen bölge gösterilmiştir. Sağda gösterilen bölge ise 3 numaralı YÖ ile elde edilmektedir ve tam bir yapı olarak daha fazla tercih edilebilir fakat bu bölgedeki bütün piksellerin en büyük BTP değeri bu boyutta gözlemlenmemektedir.

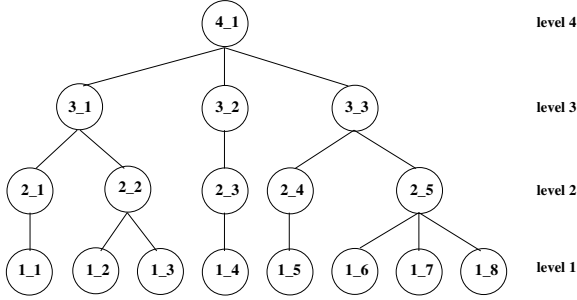
meyebileceği, yapılarda çok sayıda gürültülü bölüte neden olmaktadır (örneğin Şekil 3). Bizim yaklaşımımızda, bölüt etiketlerini verirken pikselleri tek başlarına değerlendirmiyoruz. Bunu yerine, piksellerin komşularının davranışlarını da hesaba katıyoruz.

4. Sıradüzensel Bölge Çıkarılması

Biçimbilimsel açma/kapama işlemleri, çevresinden daha açık/koyu yapıları ortaya çıkarmaktadır. Bizim bölütleme yaklaşımımızdaki amacımız, bölgeleri geri çatılma ile açma ve kapama işlemleri ile belirlemektir. Belirli bir YÖ boyutunda pozitif bir BTP değerine sahip piksellerin o boyutta komşularına göre bir değişime uğradığını varsaymaktayız. Ana düşünce, belirli bir YÖ boyutunda değişime uğrayan birbirine komşu bir piksel grubunun en son bölütleme için aday bir bölge olarak alınmasıdır. Bu gruplar her boyuttaki BTP değerlerine bağlı bileşenler analizi yapılarak bulunabilmektedir. Ortalama BTP değerleri 0.5'ten küçük olan ve piksel sayısı 10'dan düşük olan bağlı bileşenler geri kalan analizde göz önüne alınmayacaktır. Farklı yapıların farklı boyutlara sahip olduğunu düşünerek, 1'den m 'ye kadar artan boyutlarda YÖ'ler kullanarak geri çatılma ile açma ve kapama işlemleri uygulamaktayız. 1'den m 'ye kadar artan YÖ boyutlarında, her bir biçimbilimsel işlem sıradüzensel bir şekilde birbiri içinde yeralan bağlı bileşenler ortaya çıkarır ve herhangi bir piksel farklı YÖ boyutlarında ortaya çıkan birden fazla bağlı bileşene de atanabilir (Şekil 4). Her bir bileşen anlamlı bir bölge adayı olarak düşünülmektedir. Bu aday bölgeler kullanılarak bir ağaç oluşturulmaktadır. Bu ağaçta her bir bağlı bileşen bir düğümdür ve ardışık iki boyuttaki (YÖ boyutları birer birer artmaktadır) iki düğüm arasında, eğer düşük boyuttaki düğüm diğ-



Şekil 4: 3 numaralı ABA bandının açma profilinin türevinde 2'den 10'a kadar YÖ boyutlarında ortaya çıkan örnek bağlı bileşenler. Bu bölgeler birbiri içerisinde yer almaktadır. Bazı bölgeler bazı YÖ boyutlarında değişim göstermemektedir.



Şekil 5: Örnek bir ağaç. i_j düğümü i YÖ boyutunda ortaya çıkan bir bağlı bileşendir. j , düğümün i . seviyede kaçınıcı düğüm olduğunu göstermektedir.

rinin içinde yer alıyorsa, bir ayrıt vardır. Yaprak düğümler 1 YÖ boyutunda ortaya çıkan bileşenleri temsil etmektedir. Öte yandan, kök düğümler m YÖ boyutunda ortaya çıkan bileşenleri temsil etmektedir. YÖ boyutu sınırlı olduğu için, birden fazla kök düğüm olabilir. Bu durumda, birden fazla ağaç bulunmaktadır ve sonraki bölümde açıklanan algoritmalar her bir ağaçta ayrı ayrı uygulanmaktadır.

Şekil 5 örnek bir ağaç göstermektedir. Bu ağaçta i_j ile işaretlenen bir düğüm için i düğümün ağaçtaki seviyesini ve j düğümün o seviyede kaçınıcı düğüm olduğunu temsil etmektedir. Mesela, 3.3 düğümünün çocukları 2.4 ve 2.5, üst düğümü de 4.1 düğümüdür.

5. Bölge Seçilmesi

Ağaç oluşturulduktan sonra, amacımız bölütleme sıradüzeninde farklı YÖ boyutlarında ortaya çıkan en anlamlı bağlı bileşenleri araştırmaktır. Benzer bir amaçla, Plaza ve Tilton [8], daha önce sıradüzensel görüntü bölütlemelerinin incelenmesi yoluyla elle yaptıkları seçme işlemini otomatikleştirmek için, farklı spektral, uzamsal ve hem spektral hem uzamsal özniteliklerin bölütleme sıradüzeninde bir seviyeden diğerine nasıl değiştiğini incelemiştir. Bu bildiride, ağaçtaki her bir düğüm son bölütlemeye bir bölge adayı olarak düşünülmekte, ve seçme işlemi aşağıda açıklandığı üzere otomatik olarak yapılmaktadır. İdeal durumda, anlamlı bir bölgenin mümkün olduğu kadar türdeş (homojen) olmasını beklemekteyiz. Oysa, uç bir örnek olarak, tek bir piksel her zaman en türdestir. Bundan dolayı, bir bölgenin mümkün olduğu kadar büyük olmasını da istemekteyiz. Genel olarak, bir bölge (türdeşlik ve boyut olarak) bir kaç YÖ'de hemen hemen aynı kalmakta, ve daha sonra, belirli bir boyutta, yeni bir yapı oluşturmak için çevresiyle birleşmesinden veya tamamıyla kay-

bolmasından ötürü büyük bir değişimle karşılaşmaktadır. Dolayısıyla, bizim ilgilendiğimiz boyut, bu değişimden hemen önceki boyuta denk gelmektedir. Başka bir deyişle, bir ağaç yolu üzerindeki düğümler bir n düğümüne kadar türdeş kalırken, daha sonraki düzeyde türdeşlik bozuluyorsa, n düğümünü sıradüzeninde anlamlı bir bölge olarak nitelendirmekteyiz.

Bu güdülenme ile, bir düğümün anlamlılığını kontrol etmek için, iki çarpandan bir ölçü tanımlanmıştır. Bu iki çarpan şunlardır: Spektral özelliklerin değişimleri ile hesaplanan spektral türdeşlik, ve bağlı bileşenlerin boyutları ile hesaplanan komşuluk bağlanırlığı. Daha sonra, yaprak düğümlerden (birinci seviye) başlayarak kök düğüme (m . seviye) kadar her bir düğümde bu ölçü hesaplanmakta ve bir düğüm sıradüzenindeki yolu üzerinde en türdeş ve yeteri kadar büyük olan düğümse anlamlı bir bölge olarak seçilmektedir (yol bir yapraktan köke kadar olan düğümler kümesidir).

Bir düğümdeki türdeşlik o düğüme karşılık gelen bölgedeki piksellerin spektral bilgisindeki standart sapma olarak hesaplanmaktadır. Bir pikselin spektral bilgisi ise bütün verideki %99 değişimite denk gelen ana bileşenlerdir. Bir yapraktan köke kadar herhangi bir düğümü türdeşlik açısından incelerken, düğümdeki standart sapma doğrudan kullanılmamaktadır. Söz konusu düğümdeki standart sapma ile onun üst düğümündeki standart sapma arasındaki farka bakılmaktadır. Böylelikle, standart sapmada ani bir değişim beklenmektedir. Böylece, en anlamlı bölgeleri seçerken, bir düğümün üst düğümündeki standart sapma ile o düğümdeki standart sapma arasındaki fark enbüyütülmelidir. Yukarıda tartışıldığı üzere, sadece türdeşlik çarpanını kullanmak daha çok küçük bölgelerin seçilmesine neden olacaktır. Bu problemin üstesinden gelmek için, bölgedeki piksellerin sayısı da başka bir çarpan olarak kullanılmaktadır. Böylelikle, türdeşlik ve piksel sayısı arasında bir uzlaşma (trade-off) oluşturulması gerekmektedir. Sonuç olarak, bir n düğümündeki iyilik ölçüsü M şu şekilde tanımlanmıştır

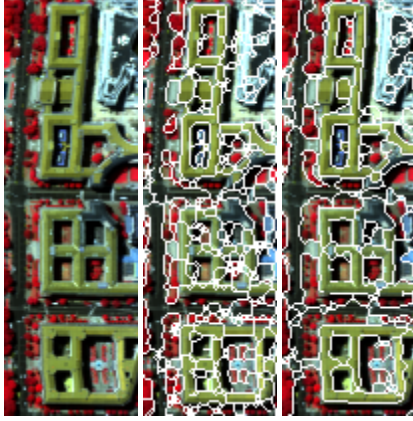
$$M(n) = D(n, \text{üst}(n)) \times C(n) \quad (1)$$

Burada ilk çarpan üst düğüm ve düğümdeki standart sapma farkını, ve ikinci çarpan da düğümdeki piksel sayısını temsil etmektedir. Nispeten türdeş ve yeterince büyük olan bir düğüm bu ölçüyü enbüyütecek ve anlamlı bir bölge olarak seçilecektir.

En anlamlı düğümleri seçmek için ağaç üzerinde iki geçişli bir algoritma kullanılmaktadır. Tabandan tepeye (ilk) geçiş, ölçüsü bütün çocuk ve torunlarınkinden daha büyük olan düğümleri bulmayı amaçlamaktadır. Tabandan tepeye geçiş belirli düğümleri işaretledikten sonra, yukarıdan aşağı (ikinci) geçişle ait oldukları yollar üzerinde en büyük ölçüye sahip düğümlerin işaretlenmesi sağlanmaktadır. İkinci geçiş sonucunda işaretlenen düğümler en anlamlı bağlı bileşenler olmaktadır.

6. Deneysel Sonuçlar

Önerdiğimiz bölge seçme algoritmasını her iki veride de denedik. Her bir ABA bandı için ayrı bir ağaç oluşturuldu ve her bir bölgeden ayrı olarak bölgeler seçildi. Şekil 6 ve 7, *DC Mall* ve *Pavia* verileri için ayrı ayrı bölütleme örneklerini göstermektedir (uydu görüntülerinde bölüt seviyesinde detaylı doğruluk verisi olmadığı için sayısal sonuç verilememektedir). Her iki veri için de açma ve kapama profilleri için 1'den 10'a kadar



Şekil 6: *DC Mall* verisi için örnek bölütleme sonucu. Solda görüntünün renkli gösterimi, ortada [7] numaralı kaynaktaki algoritmanın sonucu, ve sağda bizim önerdiğimiz yaklaşımın sonucu verilmiştir.

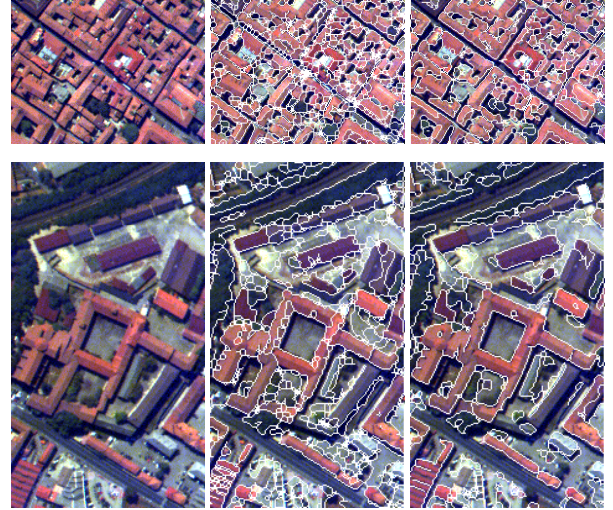
YÖ boyutları kullanılmıştır. Yüksek çözünürlükteki görüntülerdeki ayrıntının daha iyi görünmesi amacıyla ve yer sınırlaması nedeniyle, çeşitli alanlar için büyütülmüş sonuçlar verilmektedir. Aynı bölgeler için, ayrıca, [7] numaralı kaynaktaki önerilen algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlar da verilmiştir.

Sonuçlar, önerdiğimiz algoritmanın genelde yapıları bir bütün olarak bulduğunu ve diğer yöntemin [7] bu yapıları çok fazla böldüğünü ve küçük bölgeler ürettiğini göstermektedir. Bu küçük bölgelerin oluşmasını sebebi, bölüt etiketi verilmesi işleminin her piksel için sadece BTP'deki en büyük değer göz önüne alınarak ayrı ayrı yapılmasıdır. Fakat, önerdiğimiz algoritma hem BTP içindeki biçimbilimsel özellikleri hem de aynı gruba dahil piksellerin standart sapmalarıyla hesaplanan spektral bilgiyi kullanmaktadır. Ayrıca, bu değerlerin büyük bağlı bileşenler içinde komşu pikseller arasındaki tutarlılığı göz önünde tutulmaktadır. Sonuç olarak, spektral bilgiyi ve komşuluk bilgisini beraber kullanan ölçü, yüksek çözünürlükteki görüntülerde hem gürültüden daha az etkilenmekte, hem de ayrıntılı yapılarda tutarlılık göstermektedir. Bütün örneklerde, önerdiğimiz algoritma çoğu anlamlı bölgeyi bütün bir bölüt olarak bulabilmektedir.

Başka bir gözlem de, farklı yapıların farklı ana bileşenlerde daha açık bir şekilde ortaya çıkmasıdır. Örneğin, 6. şekildeki yapılar diğer bir çok bina gibi *DC Mall* verisinin ikinci ABA bandında bulunmuştur. 7. şekilde üstteki yapılar *Pavia* verisinin üçüncü ABA bandında bulunurken, alttaki yapılar birinci ABA bandında bulunmuştur. Belirli bir yapının belirli bir ABA bantında daha fazla ortaya çıkmasının temel nedeni, o yapıya ait piksellerin o ABA bantında çevresine göre daha açık veya daha koyu olarak bulunmasıdır. Böylece, ayrı ABA bantlarındaki sonuçların birleştirilmesini bundan sonraki çalışma konumuz olarak belirlemekteyiz. Son olarak, bazı ABA bantlarında bitkisel alanlar tarafından dokusal etkiler üretildiğini gözlemledik. Böyle bölgelerdeki bölütlemeyi geliştirmek için, ek olarak yeni spektral özelliklerin kullanılmasını da planlamaktayız.

7. Kaynakça

- [1] G. G. Wilkinson, "Results and implications of a study of fifteen years of satellite image classification experiments,"



Şekil 7: *Pavia* verisi için örnek bölütleme sonuçları. Solda görüntünün renkli gösterimi, ortada [7] numaralı kaynaktaki algoritmanın sonucu, ve sağda bizim önerdiğimiz yaklaşımın sonucu verilmiştir.

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 43, no. 3, pp. 433–440, March 2005.

- [2] L. Bruzzone and L. Carlin, "A multilevel context-based system for classification of very high spatial resolution images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, no. 9, pp. 2587–2600, September 2006.
- [3] S. Aksoy and H. G. Akcay, "Multi-resolution segmentation and shape analysis for remote sensing image classification," in *Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, Istanbul, Turkey, June 9–11, 2005, pp. 599–604.
- [4] J. A. Benediktsson, M. Pesaresi, and K. Arnason, "Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, no. 9, pp. 1940–1949, September 2003.
- [5] H. G. Akcay and S. Aksoy, "Morphological segmentation of urban structures," in *Proceedings of 4th IEEE GRSS/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, Paris, France, April 11–13, 2007.
- [6] S. Aksoy, K. Koperski, C. Tusk, G. Marchisio, and J. C. Tilton, "Learning Bayesian classifiers for scene classification with a visual grammar," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 43, no. 3, pp. 581–589, March 2005.
- [7] M. Pesaresi and J. A. Benediktsson, "A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 39, no. 2, pp. 309–320, February 2001.
- [8] A. J. Plaza and J. C. Tilton, "Automated selection of results in hierarchical segmentations of remotely sensed hyperspectral images," in *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 7, Seoul, Korea, July 25–29, 2005, pp. 4946–4949.