

HİPERSPEKTRAL GÖRÜNTÜLERDE SON ELEMAN TESPİTİ

Sefa KÜÇÜK^(a), Seniha Esen YÜKSEL^(b)

^(a) Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Müh. Böl., 06800, Ankara,
skucuk@ee.hacettepe.edu.tr

^(b) Yrd. Doç. Dr. Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Müh. Böl., 06800, Ankara,
eyuksel@ee.hacettepe.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, hiperspektral görüntülerde son eleman olarak adlandırılan saf materyallere ait spektral imzaların bulunması için SPICE (Sparsity Promoting Iterated Constrained Endmember) ve KIDDO (Kısıtlı İkinci Dereceden Denklemlerle Optimizasyon) algoritmaları karşılaştırılmıştır. Algoritmalar elli kez koşturulmuş, algoritmaların buldukları son eleman değerleri ile gerçek son eleman değerleri arasındaki Öklid ve Korelasyon uzaklıkları hesaplanmıştır. Aynı zamanda elli deney içerisinde son eleman sayılarının kaç kez doğru bulunduğu belirlenmiştir. Çalışmalar için ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) spektral kütüphanesi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hiperspektral Görüntüleme, Son Eleman, Öklid ve Korelasyon Uzaklıkları

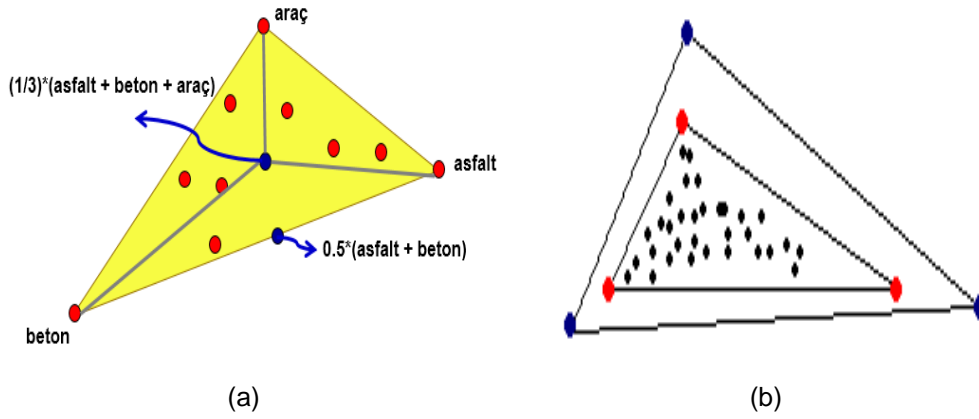
ABSTRACT

In this study, the performance of SPICE (Sparsity Promoting Iterated Constrained Endmember) and KIDDO algorithms are compared to extract spectral signatures within hyperspectral images. The algorithms are repeated fifty times; and Euclidean and Correlation distances between true endmembers and estimated endmembers are calculated. Also, among these fifty experiments, the number of times the correct number of endmembers is found is determined. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) spectral library is used for studies.

Keywords: Hyperspectral Imaging, Endmember, Euclidean and Correlation Distances

1. GİRİŞ

Hiperspektral görüntüleme kamufraj, mayın ve patlayıcı tespiti gibi birçok savunma sanayii konularında kullanılmaktadır. Hiperspektral görüntüler oldukça dar dalga boyu aralıklarında yüzlerce dalga boyu bandında bilgi sağlar. Hiperspektral görüntülerde spektral çözünürlüğün yüksek olmasına rağmen mekansal çözünürlük düşük olabilmektedir [1]. Mekansal çözünürlüğü düşük bir hiperspektral görüntüdeki bir piksel içerisinde, birden fazla materyal katışım halinde bulunabilir. Bu piksel içerisindeki saf materyallere ait spektral bilgiyi bulma işlemine son eleman analizi denilmektedir. Son eleman analizi ile, tek bir piksel içerisinde hangi materyallerin olduğu ve bu materyallerin ne oranda başka materyallerle karıştığı anlaşılabilir. Şekil 1 (a)'de iki dalga boyu için üç son elemanın hangi oranlarda katışım halinde bulunabileceği gösterilmiştir. Buna göre son elemanlar üçgenin köşelerini, karışımlar ise aradaki verileri oluşturmaktadır.



Şekil 1. (a) Üç son eleman (araç, asfalt ve beton) üçgenin köşelerini oluşturmaktadır. Üçgen içerisindeki kırmızı noktalar farklı katışım oranlarının birleşmesiyle oluşabilecek katışım örneklerini göstermektedir. (b) Siyah noktalar verileri göstermek koşulu ile, ICE algoritmasının ilk terimi iki üçgenden herhangi birini bulabilir. Üçgenlerin köşelerindeki kırmızı ve mavi noktalar simplekslere ait iki boyutlu son elemanlardır.

Bu çalışmada, ASTER spektral kütüphanesinde bulunan malzemelerin spektral imzaları kullanılmıştır. ASTER kütüphanesi 0,4-15,4 μm dalga boyu aralığını kapsamakta; bitki örtüsü, toprak ve kaya parçaları, mineral ve yapay mineral gibi birçok materyalin spektral bilgisini içermektedir [2]. Kütüphane içerisinde her bir materyalin spektral bilgisini içeren veriler Matlab ortamında okunmuştur. Veriler aynı spektral çözünürlüğe sahip olmadığı için ara değer kestirimi (interpolasyon) işlemi uygulanmış ve 0,4-2,6 μm dalga boyu aralığında 258 banttan oluşan veriler elde edilmiştir. SPICE ve KIDDO algoritmaları bu verilere uygulanarak son eleman tespiti gerçekleştirilmiştir.

2. TEORİ

Doğrusal karışım modeli olarak da bilinen konveks geometri modeli, bir görüntüyü son elemanların katışım katsayıları ile orantılı olarak modeller [3, 4]:

$$\mathbf{x}_i = \sum_{k=1}^M p_{ik} \mathbf{E}_k + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

Burada N piksel sayısı, M son eleman sayısı, ε_i hata terimi ve \mathbf{x}_i görüntüde i. piksele denk gelen d hiperspektral bant sayısını olmak üzere d x 1 vektörü temsil etmektedir. \mathbf{E} son elemanların yan yana dizilmesinden oluşan d x M boyutundaki son eleman matrisidir. Karışım oranı p_{ik} , k. son elemanın i. pikselde bulunma oranıdır. Bu oranlardan oluşturulan \mathbf{p}_i i. pikseldeki son elemanların 1 x M boyutundaki katışım (bolluk) vektörüdür ve

$$p_{ik} \geq 0, \forall_k = 1, \dots, M; \sum_{k=1}^M p_{ik} = 1 \quad (2)$$

İle sınırlanır. Birçok spektral katışım analiz algoritması ölçülen ve kestirilen değerler arasındaki hatayı minimize ederek katışım oranlarını belirler.

$$J = \sum_{i=1}^N \|\mathbf{x}_i - \mathbf{E}\mathbf{p}_i\|^2 \quad (3)$$

Örneğin, yinelemeli kısıtlı son elemanlar algoritması (Iterated Constrained Endmembers - ICE) [5] ve seyreklik teşvik eden yinelemeli kısıtlı son elemanlar algoritması (Sparsity Promoting Iterated Constrained Endmember - SPICE) [6] doğrusal katışım modelini iteratif bir şekilde çözmek için geliştirilmiş saf piksel gerektirmeyen kuadratik programlama yöntemleridir. ICE ve SPICE algoritmaları, son elemanları bulmak için eşitlik 2'de verilen kısıtlamaları kullanarak eşitlik 3'te verilen denklemi en küçük kareler minimizasyonu yöntemini ile çözer. ICE algoritmasında minimize edilmek istenen amaç fonksiyonu

$$J_{\text{reg}} = (1 - \mu) \frac{J}{N} + \mu V \quad (4)$$

Burada μ , (0,1) aralığında regülarizasyon parametresidir, V de düzenleme terimidir:

$$V = \frac{1}{M(M-1)} \sum_{k=1}^{M-1} \sum_{l=k+1}^M (\mathbf{E}_k - \mathbf{E}_l)^T (\mathbf{E}_k - \mathbf{E}_l) \quad (5)$$

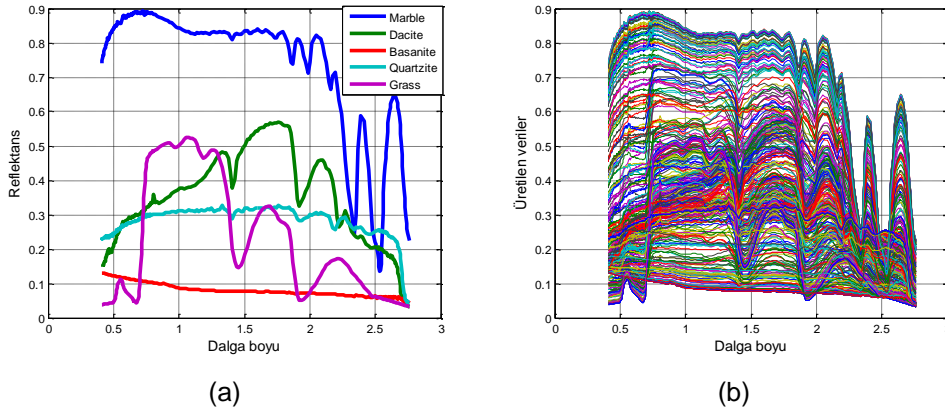
Çözüm tek değildir, tüm verileri kapsayan herhangi bir simpleks bu denklemi sağlayabilmektedir. V terimi bu simplekslerden en küçüğünün tercih edilmesini sağlamaktadır. Şekil 1(b)'de bütün verileri kapsayan iki simpleks gösterilmiştir. SPICE algoritması eşitlik 4'de seyrekliği teşvik edici bir terim ekler ve denklem

$$J_{\text{reg}} = (1 - \mu) \frac{J}{N} + \mu V + \text{SPT} \quad (6)$$

halini alır. Böylece eğer bir son elemanın katışım oranı sıfıra giderse bu son eleman elenir. SPICE algoritması katışım vektörlerini sözde-ters yöntemi ile hesaplamaktadır. Ancak sözde-ters yöntemi fiziksel olarak mümkün olmayan negatif değerler verebilmektedir. KİDDO (Kısıtlı İkinci Dereceden Denklemlerle Optimizasyon) algoritması [7] son elemanlara [0-1] aralığında olma kısıdını koyarak fiziksel olarak mümkün olmayan bu problemi giderebilmektedir. KİDDO algoritması, SPICE algoritmasının aksine sözde-ters yöntemini kullanmaz, katışım vektörlerini kuadratik programlama ile bulacak şekilde formalize eder.

Çalışmada, ASTER spektral kütüphanesindeki verilerden 5 farklı materyal seçilmiştir. Seçilen materyallerin aynı dalga boyu bandında olması için reflektans değerlerine ara değer kestirimi (interpolasyon) işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonucunda seçilen materyallere ait 0,4-2,6 μm dalga boyu aralığında 258 banttan oluşan reflektans değerleri elde edilmiştir. Bu materyallerin spektral imzaları Şekil 2(a)'da gösterilmektedir.

Daha sonra, eşitlik 3'te yer alan doğrusal katışım modeli kullanılarak katışım verisi hazırlanmıştır. Bunun için, öncelikle seçilen spektral imzalardan \mathbf{E} son eleman matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra da Dirichlet dağılımı kullanılarak katsayılar matrisi elde edilmiştir. Eşitlik 1'de yer alan \mathbf{x}_i matrisini oluşturmak için 400 adet Dirichlet katsayısı üretilmiş, oluşturulan \mathbf{E} son eleman matrisi ile çarpılmıştır. Katışım ile oluşan veriler Şekil 2(b)'de gösterilmektedir.



Şekil 2. (a) Son eleman matrisi içerisinde yer alan 5 farklı materyale ait spektral imzalar, (b) Dirichlet dağılımı kullanılarak üretilen veriler.

Oluşturulan bu veriyi son elemanlarına ayrıştırılabilmek ve katışımdaki son eleman sayısının doğru olarak bulunup bulunmadığını test etmek amacıyla SPICE ve KİDDO algoritmaları uygulanmıştır. Algoritmaların kestirdikleri spektral imza değerleri ile ASTER kütüphanesinin sunduğu gerçek değerler iki farklı uzaklık ölçüm yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Uzaklık ölçüm yöntemi olarak öncelikle Öklid uzaklığı kullanılmıştır. Ancak Öklid uzaklığı yüksek boyutlu verilerde yetersiz kaldığı için alternatif olarak Korelasyon uzaklığı tercih

edilmiştir. Çizelge 1'de kullanılan uzaklık ölçüm yöntemlerinin formüsel ifadeleri yer almaktadır.

Çizelge 1. Uzaklık ölçüm yöntemleri

Uzaklık Ölçüm Yöntemi	Formülü
Öklid Uzaklığı	$d_{st}^2 = (x_s - x_t)(x_s - x_t)^T$
Korelasyon Uzaklığı	$d_{st}^2 = 1 - \frac{(x_s - \bar{x}_s)(x_t - \bar{x}_t)^T}{\sqrt{(x_s - \bar{x}_s)(x_s - \bar{x}_s)^T} \sqrt{(x_t - \bar{x}_t)(x_t - \bar{x}_t)^T}}$

3. SONUÇ

Çalışmada, SPICE ve KİDDO algoritmaları için aynı parametreler kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. İlk olarak, algoritmalara ortamda bulunan son eleman sayısı 10 olarak girilmiş ve regülarizasyon parametresi $\mu=0$ olarak alınmıştır. Regülarizasyon parametresi tüm verileri içeren simpleksin boyutunu sınırlandıran parametredir ve $\mu=0$ durumu simpleks hacminin sınırlandırılmadığını gösterir. Sonrasında regülarizasyon parametresi sırasıyla, $\mu=0.0001$ ve $\mu=0.01$ olarak artırılmış simpleks hacmi üzerinde düzenleme işleminin etkisi incelenmiştir. Bu işlemler 50 kez tekrar edilmiş, elde edilen sonuçların ortalama değerleri alınarak Çizelge 2'de sunulmuştur. Tablonun üst kısmında, üç son eleman için üretilmiş veriler; alt kısmında ise beş son eleman için üretilmiş veriler kullanılmıştır.

Çizelge 2'de yer alan ilk satır, son eleman sayısı 3 için algoritmaların son eleman sayısını kaç kez doğru bulduğunu göstermektedir. Buna göre, regularizasyon parametresinin sıfıra yakın olduğu durumlarda, SPICE algoritması son eleman sayısını 50 deneyden ancak 35'inde doğru olarak bulabilmiştir. Regülarizasyon arttığında bu durum düzeltilmektedir.

Çizelgedeki ikinci satır, son eleman değerlerinin [0 1] aralığında bulunup bulunmadığını tesbit için yazılmıştır. Son eleman matriksini oluşturan son elemanların minimum reflektans değeri 0.333 iken algoritmalar tarafından bulunan ortalama minimum değeri göstermektedir. Benzer şekilde, üçüncü satır, gerçek son elemanların maksimum reflektans değeri 0.893 iken algoritmalar tarafından bulunan ortalama maksimum değeri göstermektedir. Buna göre, SPICE algoritması [0 1] aralığının dışında da değerler verebilmektedir. Tablodaki dördüncü satır minimum değer kaç kez 0'dan küçük bulunduğunu, beşinci satır ise maksimum değer kaç kez 1'den büyük bulunduğunu göstermektedir. Dördüncü ve beşinci satırlarda yer alan "NAN" ifadeleri, SPICE algoritmasının amaç fonksiyonundaki değişimin tanımsız

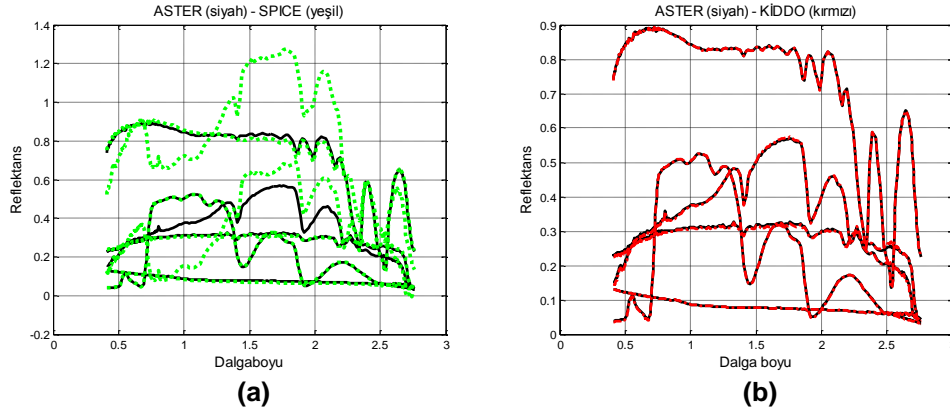
olduğu kaç denemenin meydana geldiği belirtmektedir. Altıncı ve yedinci satırlar ortalama uzaklık ölçüm değerlerini ve standart sapmaları göstermektedir. Uzaklık ölçümü yapılırken SPICE algoritması için "NAN" veren denemeler çıkarılıp geriye kalan denemeler üzerinden ortalama değer hesabı yapılmıştır. Son eleman sayısı 5 için aynı işlemler tekrarlanmış, çizelge 2'de yer alan sonraki satırlar oluşturulmuştur.

SPICE ve KİDDO algoritmaları son eleman tespitinde yüksek başarımlar elde etmişlerdir. SPICE algoritması 0'dan küçük ve 1'den büyük değerlere ulaşabilirken, KİDDO son elemanları her zaman [0-1] aralığında bulmuştur. SPICE algoritması, son elemanları [0-1] aralığında tespit edebilmesi için regülarizasyon parametresinin artırılması yani simpleks hacminin azaltılması gerekmektedir. Ancak bu parametrenin fazla artırılması gerçek son eleman değerlerinin bulunamamasına yol açabilir. Regülarizasyon parametresi büyüdükçe SPICE ve KİDDO algoritmalarının benzer sonuç verdiği görülebilmektedir. Uzaklık ölçüm değerleri kıyaslandığında KİDDO algoritmasının daha az hata ile gerçek reflektans değerlerini izlediği görülmektedir. SPICE algoritmasından yüksek bulduğu uzaklık ölçüm değerlerinde, SPICE algoritmasından "NAN" veren denemelerinin çıkartılarak ortalama alındığı unutulmamalıdır. Yapılan deneyler SPICE algoritmasının başarılı olduğu noktalarda KİDDO algoritmasının da benzer başarıyı yakaladığını göstermiş; son eleman değerlerini [0-1] aralığında daha az hata ile bulması ve regülarizasyon parametresinden SPICE algoritması kadar etkilenmemesi sebebiyle de KİDDO algoritmasını avantajlı kılmıştır.

SPICE ve KİDDO algoritmalarının materyallerin spektral imzalarını bulma değişimlerine Şekil 3'te yer verilmiştir. Son eleman sayısı 5 ve regülarizasyon parametresi $\mu=0$ için Şekil 3(a)'da SPICE algoritmasının spektral dağılımları 0'dan küçük ve 1'den büyük olarak bulduğu bir çıktı yer alırken Şekil 3(b)'de KİDDO algoritmasının gerçek spektral imzaları bulduğu bir çıktı gösterilmiştir.

Çizelge 2. SPICE ve KİDDO algoritma çıktıları

		SPICE			KİDDO			
		$\mu=0$	$\mu=0.0001$	$\mu=0.01$	$\mu=0$	$\mu=0.0001$	$\mu=0.01$	
Son Eleman Sayısı = 3	1	M'in doğru bulunma sayısı	35/50	48/50	50/50	48/50	47/50	50/50
	2	Ort. Min. değer	-0.016	0.028	0.034	0.031	0.030	0.034
	3	Ort. Maks. değer	6.041	0.893	0.877	0.893	0.893	0.877
	4	Min. Değer < 0	13NAN 2/50	2/50	0/50	0/50	0/50	0/50
	5	Maks.Değer > 1	13NAN 1/50	0/50	0/50	0/50	0/50	0/50
	6	Ort. Korelasyon uzaklığı	0.41± 0.36	0.38± 0.34	0.33± 0.33	0.42± 0.37	0.43± 0.35	0.38± 0.35
	7	Ort. Öklid uzaklığı	5.29± 4.07	5.12± 4.0	4.59± 4.00	4.69± 4.13	5.74± 4.05	5.04± 3.90
Son Eleman Sayısı = 5	1	M'in doğru bulunma sayısı	31/50	36/50	50/50	47/50	47/50	50/50
	2	Ort. Min. değer	-0.032	0.001	0.033	0.017	0.019	0.033
	3	Ort. Maks. değer	0.909	0.892	0.865	0.902	0.893	0.865
	4	Min. Değer < 0	11NAN 2/50	13NAN 9/50	0/50	0/50	0/50	0/50
	5	Maks.Değer > 1	11NAN 1/50	13NAN 0/50	0/50	0/50	0/50	0/50
	6	Ort. Korelasyon uzaklığı	0.46± 0.34	0.46± 0.34	0.44± 0.29	0.47± 0.34	0.47± 0.34	0.43± 0.28
	7	Ort. Öklid uzaklığı	4.38± 3.50	4.38± 3.50	4.38± 3.23	4.45± 3.57	4.45± 3.57	4.60± 3.32
		<p>* M=son eleman sayısı; * μ=Regülerizasyon parametresi * NAN=Not A Number (SPICE algoritmasının spectral imzaları bulamadığı durumları gösterir) * Ortalama uzaklıklar NAN olmayan değerlerin ortalaması olarak alınmıştır.</p>						



Şekil 3. Algoritmaların son eleman sayısının 10 olduğu iklendirilmiş ve regülazisyon parametresi $\mu=0$ alınmıştır. (a) SPICE algoritması son eleman sayısını 5 olarak doğru bulmuştur. Ancak son elemanların minimum ve maksimum değerleri $[-0.007 \ 1.277]$ olarak gözlenmiştir. (b) KIDDO algoritması ise hem son eleman sayısını 5 olarak doğru bulmuş hem de son eleman değerlerini $[0 \ 1]$ aralığında bularak spektral imzaları yakalayabilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] D. Gerçek, D. Çeşmeci, M. K. Güllü, A. Ertürk, and S. Ertürk, (2013), "Hiperspektral görüntüleme ve görüntü işlemenin bugünü, yakın geleceği ve mevcut araştırma eğilimleri," XYZ Dergi, pp. 18–25.
- [2] A. Baldridge, S. Hook, C. Grove, and G. Rivera, (2009), "The ASTER spectral library version 2.0," Remote Sensing of Environment, vol. 113, pp. 711-715.
- [3] N. Keshava and J. F. Mustard, "Spectral unmixing, (2002), " Signal Processing Magazine, IEEE, vol. 19, pp. 44-57.
- [4] W. Ma, J. Bioucas-Dias, P. Gader, T. Chan, N. Gillis, A. Plaza, et al., (2013), "A signal processing perspective on hyperspectral unmixing," IEEE Signal Processing Mag, vol. 31, pp. 67-81.
- [5] M. Berman, H. Kiiveri, R. Lagerstrom, A. Ernst, R. Dunne, and J. F. Huntington, (2004), "ICE: A statistical approach to identifying endmembers in hyperspectral images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 42, pp. 2085-2095.
- [6] A. Zare and P. Gader, (2007), "SPICE: A sparsity promoting iterated constrained endmember extraction algorithm with applications to landmine detection from hyperspectral imagery - art. no. 655319," in Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets XII. vol. 6553, pp. 55319-55319.
- [7] S. E. Yüksel (2014), "Hiperspektral Görüntülerde Son Elemanların Geliştirilmiş Kısıtlı Optimizasyonla Bulunması", Signal Processing and Communications Applications Conference, Proceedings of the IEEE.