

# İKİ X-IŞINI SENSÖRÜ İLE MALZEME SINIFLANDIRMASI

*Abdullah Akay, Umut Öndin ve Yusuf Sinan Akgül*

GYTE Bilgisayarla Görme Laboratuvarı , <http://vision.gyte.edu.tr/>  
Bilgisayar Mühendisliği  
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü  
Gebze, Kocaeli  
{akay,akgul}@bilmuh.gyte.edu.tr, umut.ondin@gmail.com

## Özet

*Paketlerin içeriklerini X-ışını kullanarak tahribatsız şekilde denetleme sistemleri günümüz dünyasında oldukça yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemler güvenlik alanında yoğunlaşmış olup denetlenen paketin içeriğini oluşturan malzemenin tanımlanması bahsedilen uygulamaların önemli amaçlarından. Literatürde bilinen yöntemler tek X-ışını sensörü kullanarak malzeme sınıflandırması yapmaktadır. Bu bildiride iki X-ışını sensörü ile daha gürbüz bir malzeme sınıflandırması sistemi tanıtılmıştır. Gerçek malzemeler üzerinde yapılan deneyler tek sensörlü sınıflandırıcılara göre hata oranlarında %50 civarında azalma olduğunu göstermiştir.*

## 1. Giriş

X-ışını tabanlı paket denetleme sistemleri pratik, ucuz ve taşınabilir olması sebebiyle günümüzde güvenlik başta olmak üzere, tıbbi görüntüleme, endüstriyel muayene, askeri uygulama alanlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Güvenlik amaçlı sistemler genellikle denetlenen paketin içeriği hakkında mümkün olduğunca doğru bilgi elde etmeyi amaçlamaktadır. Geleneksel yöntem olan çift enerjili X-ışını sistemleriyle malzeme sınıflandırma problemine belirli oranda çözüm getirilmiştir. Bu bildiride önerilen yöntem de ise iki adet çift enerjili X-ışını sensörü kullanılarak yapılan malzeme sınıflandırmada daha az hatalı sonuçlar elde etmek amaçlanmaktadır.

Stereo X-ışını sistemlerinde iki adet farklı konumlara yerleştirilmiş X-ışını sensörü bulunmaktadır [1, 2] (Şekil 1). Piyasada hali hazırda kullanılan sistemler stereo görüntü analizi amacıyla üretilmediği için tek X-ışını sensörü barındırmaktadır ve malzeme cinsi analizini bu tek sensörden faydalanarak yapmaktadır. Kurumumuz laboratuvarında geliştirilen sistemde stereo analizi

için bulunan iki sensör, malzeme cinsi tespit sonuçlarını iyileştirmek için de kullanılabilir. Bu motivasyon ile gerçekleştirdiğimiz malzeme sınıflandırma deneylerinde iki sensörlü sistemin tek sensörlü sisteme göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Gerçeklenen bu stereo sistemde iki görüntü arasındaki eşleme şu an için manuel olarak yapılmaktadır. Taranacak nesnelerin belli bir derinlik aralığında olduğu varsayıldığında, bu ayarlanmanın sistem kurulurken bir kere yapılması şimdilik kabul edilebilir bir çözümdür. Gelecekte yapılması planlanan çalışmalar arasında kısıtın ortadan kaldırılması vardır.

Bu bildirinin genel yapısı aşağıdaki şekildedir. İkinci kısımda genel X-ışını teknolojileri hakkında bilgi verilecek, üçüncü kısımda geliştirilen X-ışını denetleme cihazı hakkında bilgi verilecek, dördüncü kısımda malzeme sınıflandırmak için önerilen yeni yöntem anlatılacak ve beşinci kısımda elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

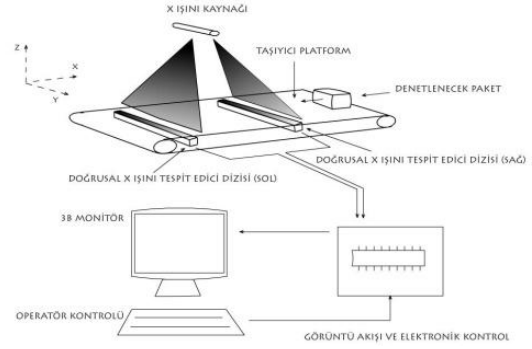
## 2. X-ışını Tabanlı Teknikler ile Paket Denetleme

X-ışını, yayılım özelliği sayesinde, maddelerin yoğunluk katsayılarını tahribatsız olarak tespit edebilme yetisine sahiptir [3,4,5,6]. X-ışını etkileşimlerinin fiziksel prensipleri denetlenen malzemenin tipini belirlemede kullanılabilir. X-ışını tabanlı paket görüntüleme cihazları maddelerin görüntülerini elde ederek, değerlendirilmesi için operatöre (cihaz kullanıcısına) ileten cihazlardır. X-ışını tabanlı paket görüntüleme cihazların çalışma prensipleri genel olarak 3 farklı yöntemi temel alırlar:

**Geleneksel X-ışın İletimi:** Bu yöntem günümüze kadar birçok sektörde yoğun olarak kaçak eşya, silah, tehlikeli madde tespitinde kullanılmıştır [3,7]. Standart X-ışını iletiminde, sistem X-ışını fotonlarının çantanın belli bölgelerinde ne kadar azaldığını ölçmektedir. Bu

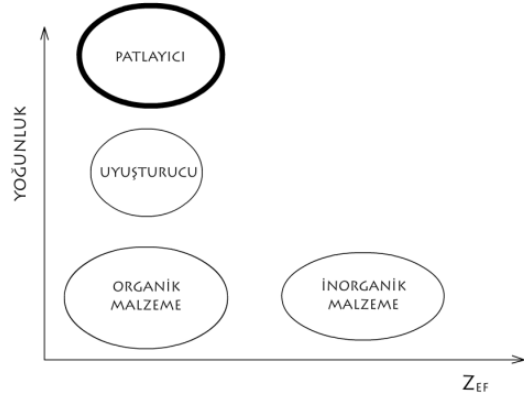
tip geleneksel X-ışını görüntüleme sistemleri taranan nesnenin içinden geçtikten sonra sönen X-ışını enerjisini ölçmektedir. Geleneksel X-ışını iletimi maddelerin yoğunluklarıyla ters orantılı parlaklığa sahip 2B resimler üretmek için incelenen nesne hakkında genel bilgiler verir. Standart havalimanı bagaj tarama sistemlerinde, pervane şeklinde veya doğrusal şekilde yerleştirilmiş, X-ışınının emilimine göre ölçüm yapıp yüksek kaliteli görüntüler üreten sensörler mevcuttur [7,8]. Fakat bu sistemler ince ama güçlü bir emici katman ile kalın ama zayıf bir emici levha arasındaki farkı tespit edememektedirler. Bu yöntem patlayıcı ve uyuşturucu madde tespitinde yeterince başarılı olamamıştır.

**Çift Enerjili X-ışını Görüntüleme:** Çift enerjili analiz tekniği taranan nesnenin yoğunluk ölçümünün yanında atom numarası ölçümünü de sunmaktadır [9,10]. Bu yöntemde kullanılan temel prensip iki farklı enerji seviyesine sahip (yüksek, düşük) X-ışını aynı malzemeden geçirerek sönümlenme oranlarının analizi sonucu malzemenin atom numarasının tahminidir. Fakat burada atom numarası yerine genelde, ölçülecek bileşik veya karışımın vereceği sönüm değerinin aynısını verecek varsayımsal bir elementi temsilen “efektif atom numarası” terimi kullanılmaktadır. Efektif atom numarası taranan malzemenin fiziksel özelliklerini sınıflandırmak için yoğunluk ölçümüne ek bir boyut sağlamaktadır (Şekil 2). Bir nesnenin malzeme tipi sadece yoğunluk değeri yerine hem yoğunluk hem de efektif atom numarası değerleri kullanılarak daha iyi tespit edilebilmektedir. Örneği su ve ANFO (amonyum nitrat ve fueloil) aynı fiziksel yoğunluğa sahip olabilmektedir. Diğer yandan efektif atom numarası bakımından oldukça farklılaşmaktadırlar. Böylelikle su ve ANFO çift enerjili X-ışını yöntemleri kullanılarak birbirlerinden daha iyi ayırt edilebilmektedirler. Günümüzde kullanılan çoğu ticari sistemler bagajlardaki malzemelerin atom numaralarını tahmin etmek için çift enerjili analiz yapmaktadır [7,8,11]. Tek enerjili bir sistem için ince ve yüksek Z(atom numarası)’li bir malzeme ile kalın ama düşük Z’li bir malzeme aynı sönüm değerine sahiptir. Fakat çift enerjili sistemlerde farklı enerji seviyelerinde yapılan ölçümler bu iki durumu birbirinden ayırabilir.



Şekil 1. Sistemin genel yapısı

**Stereo X-ışını Görüntüleme:** Bu yöntemler incelenen nesnenin 3 boyutlu yapısını operatöre yansıtmak için kullanılmaktadırlar [1,2,12] (Şekil 1). Bu yöntem bazı durumlarda etkili sonuçlar üretmesine rağmen tarayıcı operatörleri üzerinde aşırı yorgunluğa yol açtıkları gözlemlenmiştir. Bu bildiride laboratuvarımızda geliştirdiğimiz stereo X-ışını görüntüleme özelliğine sahip bir tarayıcı kullanarak aynı malzemenin tek yerine iki çift enerjili sensörü aracılığıyla yapılacak malzeme sınıflandırmasının daha az hata ürettiği gösterilmiştir.



Şekil 2. Efektif atom numarasına göre malzeme sınıflandırma

### 3. Donanım ve Görüntü Üretilmesi

Bir önceki kısımda bahsedilen sistemin genel yapısı Şekil 1'de gösterildiği gibidir, Şekil 3'de ise sistemin gerçekleşmiş hali görünmektedir. Sistem çalışma şekli kısaca şöyle açıklanabilir; X-ışını kaynağından çıkan ışınlar yürüyen bant üzerinde bulunan nesnelerin içinden geçerek ilerlerler ve x-ışını sensörleri tarafından algılanırlar. Ardından kontrol devresi aracılığıyla sayısal veriye dönüştürülüp bilgisayara gönderilirler. Daha sonra elde edilen görüntüler operatörün incelemesi için monitöre yansıtılır.



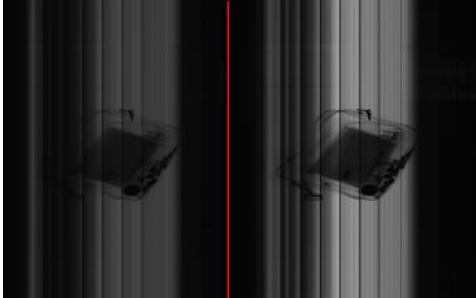
Şekil 3. Gerçekleşmiş X-ışını cihazı

Sadece bir X-ışını sensöründen elde edilen ilk görüntüler Şekil 4'deki gibidir. Burada her biri (64 düşük, 64 yüksek enerjili olmak üzere ) 128 adet pikseli olan 13 tane sensörün görüntüsü verilmiştir. Düşük ve yüksek enerjili piksellerden gelen veriler yan yana yerleştirilerek Şekil 4'deki resim oluşturulur.



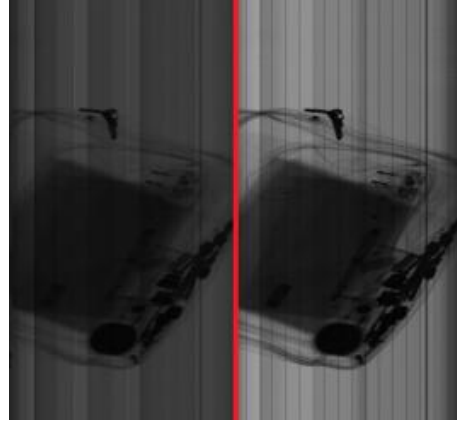
Şekil 4. Tek X-ışını sensöründen elde edilen ham veri

Önceki aşamada elde edilen veri parçalanarak düşük ve yüksek enerjili görüntüler çıkartılır (Şekil 5).



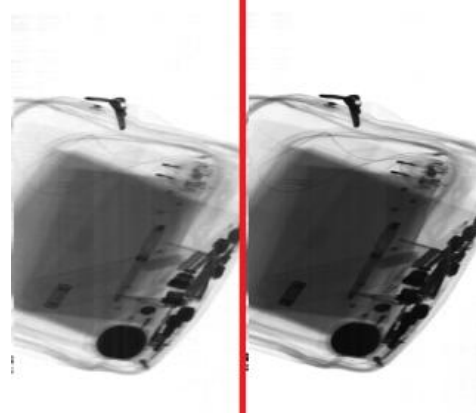
Şekil 5. Düşük(sol) ve yüksek(sağ) ham verinin ayrılması

Çıkartılan düşük ve yüksek enerjili görüntülerde herhangi bir bilgi taşımayan bölgeler vardır. Bu bölgelerin filtrelenmesi için herhangi bir sütun boyunca yeterli varyansa sahip olmayan sütunlar her iki görüntüden de çıkarılır ve sonuç olarak Şekil 6'daki görüntüler elde edilir.



Şekil 6. Filtrelenmiş görüntü

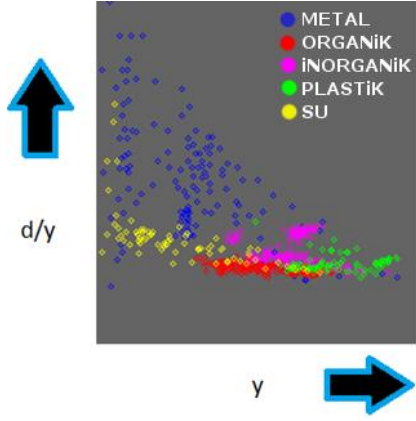
Arka plan farklarını gidermek için her bir sütun kendi içerisinde normalize edilir (Şekil 7).



Şekil 7. Normalize edilmiş görüntü

#### 4. Malzeme Sınıflandırması

X-ışını görüntülerinde sınıflandırma yapılırken çoğunlukla bir makine öğrenmesi metodu olan SVM (Destek Vektör Makinesi) kullanılmıştır ama bunlar genellikle güvenlik amaçlı olmayıp, tıbbi uygulamalara yöneliktir [13,14]. Bu çalışmada ise normalize edilen görüntülerin her bir pikselinin organik, inorganik ve metal sınıflarına atanması için SVM kullanılmaktadır. Bunun için öncelikle elimizdeki görüntülerden eğitim verisi çıkartılıp SVM'in eğitilmesi gerekmektedir. Şekil 8'deki grafikte iki özneliğe göre verilerin sınıfları görünmektedir.



d: Düşük enerji  
y: Yüksek enerji

Şekil 8. Özniteliklerin dağılımı

Normalize edilmiş görüntülerin her bir pikseli,  $t$ , için iki elemanlı (düşük ve yüksek enerji) bir öznitelik vektörü,  $x^t$ , mevcuttur.

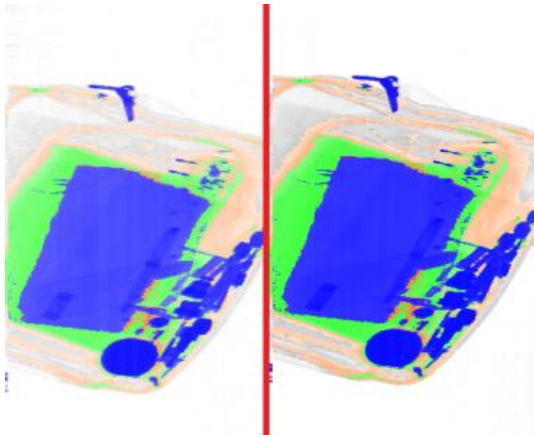
$$X = \{x^t, r^t\}_t \quad (1)$$

Öyle ki;

$$r^t = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x^t \in \text{Metal} \\ 2, & \text{eğer } x^t \in \text{Organik} \\ 3, & \text{eğer } x^t \in \text{İnorganik} \end{cases} \quad (2)$$

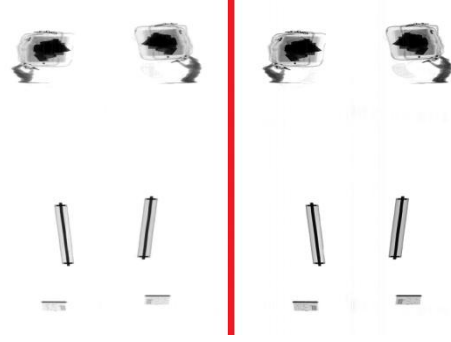
$X$   $k \times 2$  boyutlarında öznitelikler matrisi,  $k$  eğitim örneği sayısıdır. Her bir öznitelik etiketi  $r^t$  ile ifade edilir. Her öznitelik etiketi hangi sınıfa ait ise o sınıfın numarasını alır.

Eğitilen SVM kullanılarak normalize edilmiş X-ışını görüntüsü sınıflandırıldığında ise Şekil 9'daki görüntü elde edilmiştir. Görüntü incelendiğinde anahtar gibi metal cisimlerin turuncu, deri çanta gibi organik cisimlerin turuncu, batarya gibi inorganik cisimlerinde yeşil ton ile renklendirildiği görülmektedir.



Şekil 9. Organik-Turuncu, İnorganik-Yeşil, Metal-Mavi

Yukarıda anlatılan süreç tek sensör dizisinden görüntü elde etmek içindir. Laboratuvarımızda geliştirdiğimiz stereo X-ışını sisteminin sınıflandırma yöntemi ise yukarıdaki yöntemle oldukça benzerdir (Şekil 10). Stereo sensörde  $x^t$  öznitelik vektörü 2 yerine 4 elemana sahiptir. Oluşturulan yeni  $X$  öznitelikler matrisi benzer şekilde SVM eğitimden geçirilerek yeni bir sınıflandırıcı elde edilir.



Şekil 10. İki sensörden elde edilen görüntüler

Eğitilen SVM, X-ışını cihaz tarafından çekilen görüntüleri sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Çekilen görüntülerin her bir pikseli malzeme sınıfı tahmin edilmek üzere SVM'e girdi olarak verilmektedir. Sonrasında ilgili piksel SVM'in tahmin ettiği sınıf etiketine göre organik ise turuncu, metal ise mavi tonlarına boyanır.

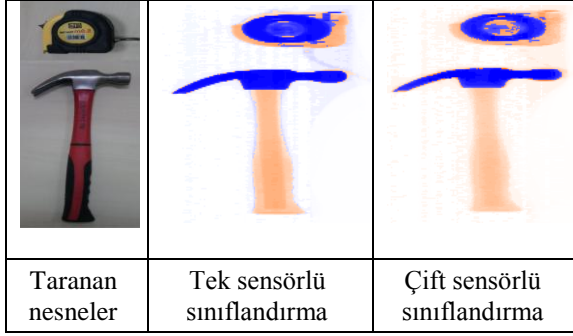
Sistemi eğitmek için gereken veri kümesi daha önce elde edilen X-ışını görüntülerinden manuel olarak oluşturulmuştur. Test veri kümesi için yapılarında organik ve metal özellikli malzemeleri bir arada bulunduran ahşap veya plastik saplı çekiç ve dış yapısı plastik olup içerisinde simit şeklinde kıvrılmış metal bulunan metre gibi nesnelere seçilmiştir.

Geliştirilen sistem malzeme sınıflandırmak için gerekli bütün görüntü işleme aşamalarını gerçek zamanlı yapabilmektedir.

## 5. Deneysel ve Sonuçlar

Ortaya konulan sınıflandırma sistemini test etmek için hem görsel hem de rakamsal sonuçlar içeren deneyler yapılmıştır.

Şekil 11'de gösterilen görsel sonuçlarda iki X-ışını sensörü kullanarak yapılan sınıflandırmanın daha doğru sonuçlar verdiği, üstteki nesnenin simit şeklinde olan metal bölgesi incelendiğinde daha iyi görülebilir.



**Şekil 11.** Tek ve iki sensör kullanarak yapılan sınıflandırma sonuçları

Geliştirilen sistemi sayısal olarak doğrulamak amacıyla 115 adet örneğin bulunduğu eğitim kümesine dahil olmayan 182 adet test örneğinin sınıflandırması yapılarak, manüel sınıflandırma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda çift sensör kullanılarak yapılan sınıflandırmanın, tek sensör kullanılarak yapılan sınıflandırmada ulaşılan hata oranını %14'den %7'ye kadar azalttığı görülmüştür. (Tablo 1)

**Tablo 1.** Tek ve çift sensör kullanan yöntemlerin Test verisi üzerindeki hata oranları

Yöntem	Hatalı Örnek Sayısı	Test Verisi Hata Oranı
Tek Sensör Sınıflandırması	25	%14
Çift Sensör Sınıflandırması	12	%7

Bu bildiriye sonuç olarak iki X-ışını sensör dizisi kullanılarak, tek sensörlü malzeme sınıflandırma yapan sistemlerden daha iyi sonuçlar elde edilebileceği görsel ve sayısal olarak gösterilmiştir. İki tür sistem arasındaki farkın sadece fazladan sensör olduğu göz önüne alındığında, elde edilen hata oranlarındaki iyileşmenin getirdiği avantajın daha fazla olduğu düşünülmektedir. Yapılması düşünülen gelecekteki çalışmalar arasında farklı derinliklerdeki malzemelerin görüntülerinin iki sensör arasındaki denkleştirilmesinin yapılması vardır.

## 6. Kaynaklar

- [1] P. Evans, M. Robinson, H. W. Hon, "Multiple view Dual-energy X-ray imaging", 35th International Carnahan Conference on Security Technology, 16- 19 Oct. , pp. 103–107, 2001.
- [2] T. W. Wang, J. P. O. Evans, "Stereoscopic Dual energy X-ray imaging for target materials identification", IEEE Proceedings of

- Vision, Image and Signal Processing, Vol. 150, pp. 122 –130, 2003.
- [3] K. R. Peschmann and J. Harmann, Automatic Concealed Object Detection System Having a Pre-Scan Stage, US Patent 5, 182, 764, January 26, 1993.
- [4] K. D. Krug, J. A. Stein and L. A. Taylor, Device and method for inspection of baggage and other objects, US Patent 5, 319, 547, June 7, 1994.
- [5] K. D. Krug, W. F. Aitkenhead, R. F. Eilbert, J. H. Stillson and J. A. Stein, Identifying explosives or other contraband by employing transmitted or scattered X-rays, US Patent 5, 974, 111, October 26, 1999.
- [6] I. D. Jupp, et al. , "The non-invasive inspection of baggage using coherent X-ray scattering", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 47, pp. 1987 –1994, 2000.
- [7] S. Singh and M. Singh, Explosives detection systems (EDS) for aviation security, Signal Processing 83 (2003), 31–55.
- [8] S. Singh and M. Singh, "Review: Explosives detection systems (EDS) for aviation security", Signal Processing, Elsevier, Vol. 83, 2003.
- [9] Zhengrong Ying, Ram Naidu and Carl R. Crawford, Dual energy computed tomography for explosive detection, Journal of X-Ray Science and Technology 14 (2006) 235–256
- [10] R. R. Eilbert and K. D. Krug, Aspects of image reconstruction in Vivid Technology's Dual-energy X-ray system for explosives detection, in Proceedings of SPIE 1824 (1992), 127–143.
- [11] X. Shi, Improving object classification in X-ray luggage inspection, Ph. D. dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, February 2000.
- [12] C. R. Crawford and C. Ruth, Computed tomography scanning target detection using target surface normals, US Patent 5, 901, 198, May 4, 1999.
- [13] Xiao-Guang Zhang, Jian-Jian Xu, Guang-Ying Ge, "Defects recognition on X-ray images for weld inspection using SVM " Machine Learning and Cybernetics, 2004. Proceedings of 2004 International Conference on 3721 - 3725 vol.6
- [14] Unay, D., Soldea, O., Ekin, A., Cetin, M., Ercil, A., "Automatic Annotation of X-ray Images: A Study on Attribute Selection", Proc. of Medical Content-based Retrieval for Clinical Decision Support (MCBR-CDS) Workshop in conjunction with MICCAI'09, London – UK, 2009.