

# X-ışını Görüntülerinden Kabuklu Kuru Yemişlerin Sınıflandırılması ve Kütle Ölçümü

## Classification and Mass Measurement of Nuts Using X-ray Images

Mustafa Çoker, Yusuf Sinan Akgül  
GIT Vision Lab, <http://vision.gyte.edu.tr>  
Department of Computer Engineering  
Gebze Institute of Technology  
Kocaeli, 41400, Turkey  
[mcoker@gyte.edu.tr](mailto:mcoker@gyte.edu.tr), [akgul@bilmuh.gyte.edu.tr](mailto:akgul@bilmuh.gyte.edu.tr)

### I. GİRİŞ

**Özetçe**—Kabuklu kuru yemiş sanayisinde ürünleri analiz etmek için kullanılan yöntemler, sağlıklı sonuç üretememektedir. Bu sektördeki mevcut ürün kalite standartlarının artırılabilmesi için analiz ve sınıflandırma işlemlerinin sayısal veriler kullanılarak yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında kabuklu kuru yemişlerin meyve yoğunluklarını nicel olarak hesaplayabilmek için gıda sektöründe kullanımı sürekli artan X-ışını cihazı kullanılmıştır. Madde yoğunluğuna dayalı görüntü üreten X-ışını cihazı, ürünlerin yoğunluğu hakkında son derece sağlıklı veriler üretmektedir. Bu veriler, görüntüler üzerinden bilgisayarla görme metotları kullanılarak sınıflandırma ve kütle ölçümü için kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, sunulan sistemin yüksek başarımda sonuçlar ürettiği ve gerçek hayat ortamında kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — Kuru yemiş, X-ışını, sınıflandırma, kütle hesaplama, karar ağacı, regresyon,

**Abstract**—The current practices for the agricultural inspection of the nuts do not produce satisfactory results. It is argued that the quality standards in this field can be greatly improved by using quantitative data. This paper proposes using X-Ray images of nuts for the objective assessment of the fruit mass and quality. X-Ray images produce data that indicates the density of the nuts which is valuable in this assessment. This data is used with a set of novel computer vision methods for the classification and the mass measurement of nuts. The experiments performed on the data indicate good performance of the results and usability of the proposed system in the real life.

**Keywords** — Nuts, X-ray, classification, mass measurement, decision tree, regression

Türkiye ihracatında tarımın göz ardı edilemeyecek bir önemi bulunmaktadır. Tarım tabanlı ihracat ürünlerinde fındık ceviz gibi kabuklu kuru yemiş ürünlerinin ciddi bir yeri bulunmaktadır [1]. Tarımsal ürünlerden daha fazla gelir elde edebilmek açısından kalite kontrolü yapılmış ve katma değerli ürünlerin önemi bilinmektedir[2]. Ürün kalitesini artırmak için ürünlerin meyve yoğunlukları tespit edilip bu yoğunluğa göre içleri boş ya da çürük olanların ayırt edilmesi gerekmektedir. Bu işlem için akustik yöntemler kullanılarak ayırt etme gibi farklı metotlar kullanılmıştır [3]. Fakat akustik yöntemler kabuklu kuru yemişler için hem yavaş kalmakta hem de kütle ölçme işlemi için kullanılamamaktadır. Önerilen çalışmamızda ise gıda sektöründe hızla yaygınlaşan X-ışını cihazı bu amaç için kullanılarak hızlı ve başarımlı yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, yapılan literatür taramasında daha önce kuru yemiş sınıflandırma işlemi için X-ışınlarının kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışmamız sadece cevizlerin X-ışını görüntüleri üzerine uygulanmış olmasına rağmen fındık, çam fıstığı ve yer fıstığı gibi diğer kuru yemişlere de rahatlıkla uygulanabilir. Çalışmamız son yıllarda sıklıkla kullanılan makine öğrenmesi tabanlı teknikler içermekte olup, genel olarak eğitim ve test aşamaları içermektedir. Makine öğrenmesi metotlarından karar ağaçları [4] hem piksel hem de kuru yemiş sınıflandırmasında kullanılmıştır. Bu çalışma Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği bölümünde tamamlanmış bir lisans bitirme çalışmasına dayandırılmıştır[5].

### II. X-IŞINI CİHAZI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

X-ışını cihazları, geleneksel X-ışını iletimi ve çift enerjili X-ışını görüntüleme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır[6]. Geleneksel X-ışını iletiminde, görüntüsü alınacak olan malzemeye X-ışınları uygulanır, malzemenin yapısına ve kalınlığına bağlı olarak X-ışınları malzeme tarafından sönmülenir. Sönümlenen X-ışınlarından elde edilen görüntü, incelenen nesnelere hakkında genel bilgiler vermektedir. Fakat, bu yöntemle sönmüleme özelliği yüksek ince nesnelere ile sönmüleme özelliği düşük ama kalın nesnelere birbirinden ayrılamamaktadır. Çift enerjili X-ışını görüntülemesinde ise, iki farklı enerji seviyesine sahip(yüksek, düşük) X-ışınını aynı malzemeden geçirilerek sönmüleme oranlarının analizi

sonucu malzemenin atom numarası tahmin edilmektedir. Burada bahsi geçen atom numarası yerine genelde, görüntüsü alınan maddenin (element, bileşik ya da karışım) oluşturacağı sönüm değerinin aynı verecek varsayımsal bir elementi temsilen “efektif atom numarası” terimi kullanılmaktadır. Bu sayede nesnelere sağlıklı olarak sınıflandırılabilir[7]. Sunulan bu çalışma kapsamında kuru yemiş sınıflandırma işlemi, çift enerjili X-ışını görüntüleme cihazından kuru yemişlerin görüntüleri elde edilerek gerçekleştirilmiştir (Fig. 1). Efektif atom numarası kuru yemiş tesbitinde kullanılmıştır. Böylelikle denetleme sırasında kuru yemiş dışında, konveyör üzerinde bulunabilecek yabancı cisimlerin de tespit edilmesine imkan sağlanmıştır. Ayrıca kuru yemişlerin konveyör üzerinde dağılmasını engellemek için kullanılacak olan malzemenin de kuru yemiş sınıflandırma operasyonunun sonucunu etkilemesi engellenmiştir.

### III. KURU YEMİŞ SINIFLANDIRMA VE KÜTLE HESAPLAMA

Kabuklu kuru yemiş sınıflandırma ve kütle hesaplama operasyonları temelde iki aşamada gerçekleştirilmiştir (Fig 2). Bunlardan ilki eğitim ikincisi ise test aşamasıdır. İki aşama toplam dokuz adım içermektedir. Her iki aşama da kuru yemişlerin X-ışını cihazından görüntülerini elde etme adımıyla başlamaktadır.

*A) Kuru Yemişlerin X-ışını Cihazından Görüntülerinin Elde Edilmesi:* Bu aşamada kuru yemişleri bir platform aracılığı ile konveyör üzerinde dağılmasını engelleyip (Fig. 1A), X-ışını cihazından geçirek yüksek ve düşük enerji seviye görüntüleri elde edilmiştir. Kuru yemişleri bir arada tutmak için yumurta kolisi kullanılmış olup aynı anda otuzar kuru yemişin görüntüsü elde edilmiştir.

#### 1. Eğitim Aşaması

*B) Elle Sınıflandırma:* Kuru yemişlerin bilgisayarla görme metodları ile sınıflandırılabilmesi için her bir kuru yemişin ait olduğu sınıf uzmanlar tarafından verilmelidir. Bu amaçla kuru yemişlerin X-ışını görüntüleri alındıktan sonra kuru yemişler kırılarak sınıfları uzmanlar tarafından belirlenmiştir. Kuru yemişler üç sınıfta incelenmektedir. A sınıfı kuru yemişler içleri tam dolu üst sınıf ürünler, B sınıfı içleri kısmen dolu orta sınıf ürünler, C sınıfı ise içleri boş ya da çürük olan ürünleri ifade etmektedir. Ayrıca uzmanlar X-ışını görüntüleri üzerinde cevizlere ait olan pikselleri işaretlemiştir.

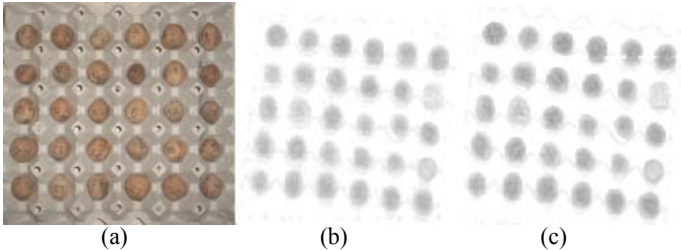


Fig. 1. 30 adet ceviz için alınmış görüntüler. (a) X-ışını cihazı konveyörüne yerleştirilen cevizler, (b) 'a' kısmındaki cevizler için üretilmiş yüksek enerji seviyeli X-ışını görüntüsü, (c) 'a' kısmındaki cevizler için üretilmiş düşük enerji seviyeli X-ışını görüntüsü.

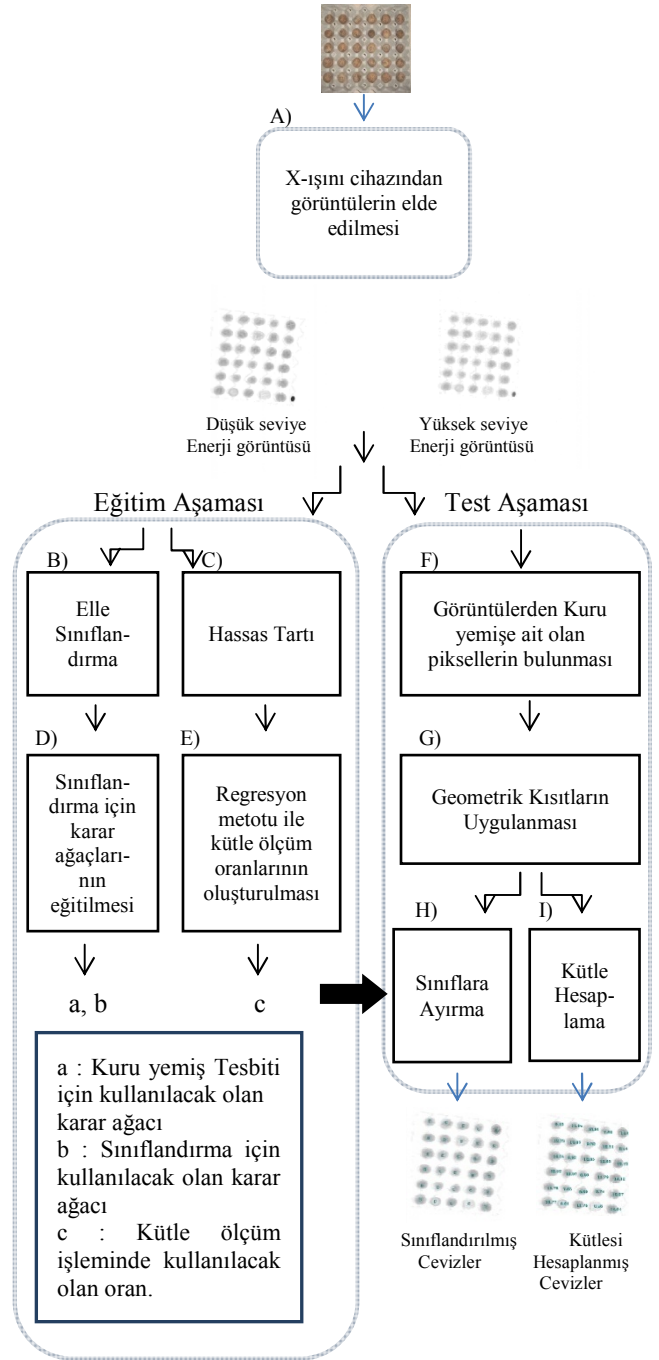


Fig. 2. Sistemin işleyiş diyagramı.

*C) Hassas Tartı:* Bu aşamada kuru yemişler kırılmadan önce kütle hesaplamasında kullanılacak olan oranın oluşturulması için tüm kuru yemişler hassas terazi ile tartılarak sonuçlar saklanılır.

*D) Kuru Yemiş Sınıflandırma İçin Karar Ağaçlarının Eğitilmesi:* Bu adımda iki adet karar ağacı eğitilmektedir. Birinci karar ağacı, verilen bir pikselin kuru yemişe ait olma kararını vermektedir. Her bir piksel için üç elemandan oluşan bir öznitelik vektörü ve o piksel için elle verilmiş etiket kullanılmaktadır. Bahsedilen öznitelik vektörü, yüksek enerji

seviyesi X-ışını görüntüsündeki piksel değeri, düşük enerji seviyesi X-ışını görüntüsündeki piksel değeri ve efektif atom numarası yani yüksek enerji seviyesi X-ışını görüntüsündeki piksel değeri ile düşük enerji seviyesi X-ışını görüntüsündeki piksel değerlerinin oranlarıdır. İkinci karar ağacı da bir grup piksel için kuru yemişin sınıfına karar vermektedir. Bu karar ağacını eğitmek için iki elemanlı bir öznitelik vektörü ve uzman tarafından verilmiş kuru yemiş sınıfı(A,B ve C) kullanılmıştır. Bahsedilen öznitelikler, eldeki gruplanmış piksellerin ortalama sönümlenme seviyesi ve grupta kaç piksel olduğudur. Eğitim aşamasında diğer makine öğrenmesi yöntemleri yerine karar ağacı kullanılmasının temel sebebi karar ağaçlarının oldukça pratik ve basit olması, ayrıca karar ağacı düğümlerinde kullanılan eşik değerlerinin daha sonradan kullanıcılar tarafından eğitimsiz değiştirilme özelliğidir.

*E) Regresyon Metodu ile Kütle Ölçüm Oranlarının Oluşturulması:* Kütle ölçüm operasyonunda lineer regresyon[8] metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada, hassas tartı bölümünde anlatıldığı üzere eğitim aşamasında kuru yemişlerin kütleleri ölçülüp sisteme verilmektedir. Ölçülen her bir kuru yemiş görüntülerde karşılık gelen ürünün piksel yoğunluk ortalamaları ve piksel sayısı cinsinden hesaplanan büyüklük bilgisi çarpılarak o ürüne ait kütle tahmininde kullanılacak olan değer elde edilmiştir. Bu değer ile birlikte kuru yemişlerin gerçek kütleleri iki boyutlu uzaydaki noktaların bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu noktalarla kütle hesaplamada kullanılacak olan doğru oluşturulmuştur. Bu doğrunun eğimi kütle hesaplaması için kullanılacak olan oranı temsil etmektedir.

## 2. Test Aşaması

*F) Görüntülerden Kuru Yemişe Ait Piksellerin Bulunması:* Bu adımda resim üzerindeki her piksel "D" adımıyla oluşturulan karar ağaçlarından ilki kullanılarak kuru yemişlere ait olup olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen örnek bir sonuç Fig. 3a'da gösterilmiştir Buna göre yeşil olarak işaretlenmiş pikseller kuru yemişe, diğer pikseller ise kuru yemiş olarak algılanmayan piksellere denk gelmektedir.

*G) Geometrik Kısıtların Uygulanması:* Karar ağacı kullanılarak bulunan kuru yemiş pikselleri, kuru yemişler

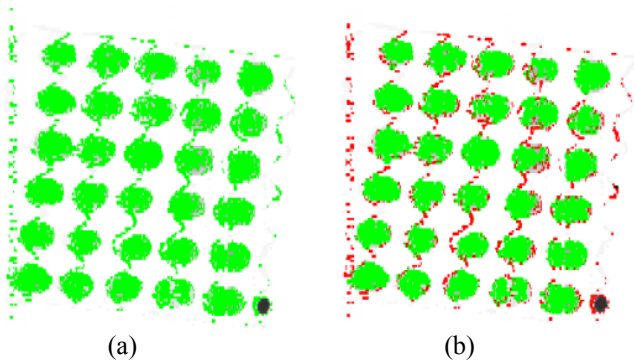


Fig. 3. Sistemin kuru yemiş piksellerini diğer piksellerden ayırma işlemi sonuçları (a) Karar ağacı kullanılarak piksellerin kuru yemiş olup olmama durumuna göre işaretlenmiş görüntüleri ve (b) geometrik filtre uygulandıktan sonra hatalı olarak bulunan piksellerin çıkartılmış görüntüleri.

konveyörde ilerlerken dağılmasını engelleyen organik platformun(yumurta kolisi) pikselleri ile karışmaktadır. Bu sebeple karar ağacı sonuçları kolu pikselleri ile kuru yemiş piksellerini net ayırt edememektedir. Çünkü kuru yemiş ve yumurta kolisi pikselleri organik malzemeler olup benzer efektif atom numarasına sahiptirler. Bundan dolayı kuru yemişlerin geometrik şekilleri göz önünde bulundurularak geliştirilen bir yöntemle kuru yemiş pikselleri diğer piksellerden ayırt edilmektedir. Bu yöntem karar ağacı sayesinde bulunan her piksele tek tek uygulanıp, her piksel için ana ve ara yönlerindeki her yön için komşu beş piksele bakılmaktadır. Bunlardan en fazla iki tanesi hariç tüm bakılan komşuların kuru yemişe ait olması beklenmektedir. Bu şekilde birbirine komşu en az üç yönde komşuları kuru yemişe ait olan pikseller Fig. 3b'de görüldüğü üzere kuru yemişe ait olduğu anlaşılmıştır. Bahsedilen yöntem bir morfoloji operasyonu olan erozyona[9] benzetilebilir. Son olarak, kuru yemişleri bir arada tutmak için kullanılan platformun efektif atom numarası farklı maddelerden seçilmesiyle geometrik kısıtların uygulanmasına gerek kalmayabilir.

*H) Kuru Yemiş Sınıflandırma:* Sınıflandırma işlemi için her bir kuru yemişin gruplanmış piksellerinin ortalama yoğunluğu ve piksel sayıları hesaplanıp G adımıyla oluşturulan ikinci karar ağacı kullanılarak kuru yemiş sınıfları elde edilir (Fig. 4a).

*I) Kuru Yemişlerin Kütlelerin Hesaplanması:* Bu adımda her kuru yemişin ortalama piksel yoğunluğu ve büyüklükleri hesaplanıp, E adımıyla elde edilen regresyon değerleri de kullanılarak her kuru yemişin kütlesi tahmin edilmiştir (Fig. 4b).

## IV. DENEYLER

Oluşturulan sistemi test etmek için toplam 60 adet ceviz kullanılmıştır. Ayrıca her iki operasyon (kütle tahmini ve sınıflandırma) birbirinden bağımsız iki deney ile test edilmiştir. İlk test işleminde sistemin sınıflandırma operasyonu başarısı ölçülmüştür. Bu işlem için çapraz doğrulama (k fold cross validation) metodu kullanılmıştır. Test aşamasında sınıflandırma operasyonunda kullanılan karar ağacı 55 cevizle eğitilmiş 5 cevizle test edilmiştir. Buna göre,

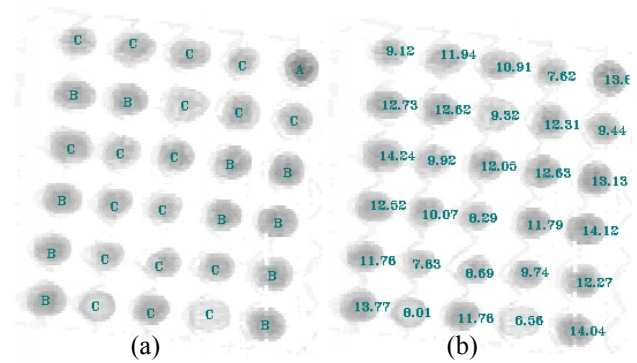


Fig. 4. Sistemin son olarak ürettiği sonuçlar (a) Analiz edildikten sonra sınıfları üzerlerine etiketlenmiş cevizler, (b) kütleleri hesaplandıktan sonra üzerlerine etiketlenmiş cevizler.






karar ağacı toplamda 12 kez eğitim ve test aşamalarından geçmiştir. Test sırasında 60 cevizden 6 tanesi hatalı sınıflandırılmıştır. Böylelikle sistemin sınıflandırma operasyonu için hesaplanan hata payı 10%'a tekabül etmektedir. Test cevizlerinden 5 tanesi ve bunlara ait sonuçlar Tablo-1'de gösterilmiştir.

İkinci deneyde ise, kütle tahmini işlemi başarımlı test edilmiştir. Cevizlerin hassas terazi ile ölçülen kütleleri ile sistemin oluşturduğu sonuçlar karşılaştırıldığında sistemimizin ortalama 5.9%'luk bir hata yaptığını göstermiştir. Tablo-2 de seçilen 10 adet ceviz için gerçek değerleri, hesaplanan değerleri ve hata payları verilmiştir. Çalışmamızda X-ışın görüntüleri oluşturmak için laboratuvarımızda geliştirilen X-ışını tarama cihazı kullanılmıştır[7]. Bu cihaz çift enerjili X-ışını görüntüleme tekniklerini kullanmaktadır.

## V. SONUÇLAR

Kabuklu kuru yemişlerin X-ışını cihazından görüntüleri elde edilip karar ağacı mekanizması kullanılarak başarılı bir şekilde sınıflandırılması yapılmıştır. Bu sınıflandırma sayesinde kabuklu kuru yemiş sanayisindeki verimliliğe ciddi oranda fayda sağlanacağı düşünülmektedir. Üstelik sınıflandırma için harcanan zaman kısaltılmıştır, böylece hem daha hızlı hem daha yüksek başarımda sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür araştırmasında, kuru yemiş analizi için X-ışını tabanlı bir sisteme rastlanmamış olup, sunulan çalışma, X-ışını teknolojisinin bu alana uygulanabilirliğini göstermesi bakımından özgündür.

Bu çalışmada elde edilen deneyim ve test sonuçları ileriki çalışmalara da yön verecek niteliktedir. Platform olarak yumurta kolisi yerine inorganik bir malzeme kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Sınıflandırma ve kuru yemişleri tespit etme işlemleri için sadece karar ağaçları kullanılmıştır, bunun yerine gelecek çalışmalarda diğer makine öğrenmesi metotları ya da bu metotların bir araya getirilmesi ile elde edilmiş yeni metotlar denenerek hata miktarlarındaki etkisi gözlemlenecektir. Ayrıca Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü bilgisayar mühendisliği bölümünde ar-ge faaliyetleri devam etmekte olan X-ışını cihazının kapasitesinin yükselmesiyle aynı anda çok daha fazla ürünün görüntüsünün alınmasına imkan sağlanacak olup, sınıflandırma ve kütle ölçümü operasyonları daha hızlı gerçekleştirilebilecektir. Ek olarak, sistemi test etmek için kullanılan deney kümeleri de artırılarak sistemin tutarlılığı ve verimliliği konusunda daha net sonuçlar elde edilmesi planlanmaktadır.

Tablo 1. Sınıflandırma Sonuçları	Sınıfları Tahmin Edilen Cevizler ve Uzman Tarafından Belirlenen Sınıfları				
	1	2	3	4	5
Cevizlerin Görüntüleri					
Uzman Tarafından Belirlenen Sınıf	C	B	A	C	A
Sistem Tarafından Tahmin Edilen Sınıf	C	B	A	B	B

Tablo 2. Kütle Hesaplama Operasyonu Sonuçları	Kütleleri tahmin edilen cevizlerden on tanesinin sonuç tablosu		
	Ölçülen Ağırlık (gr)	Sistem Tarafından Tahmin Edilen Ağırlık (gr)	Hata Payı(%)
1	10.14	9.75	3.84
2	8.20	8.23	0.36
3	12.39	11.86	4.27
4	10.48	9.64	8.01
5	10.26	9.9	3.50
6	12.07	13.01	7.78
7	12.06	12.08	0.16
8	12.29	11.72	4.63
9	11.07	10.44	5.69
10	9.94	10.09	1.50

## VI. KAYNAKÇA

- [1] Hülya and Mesut Saygılı. "Structural changes in exports of an emerging economy: Case of Turkey." *Structural Change and Economic Dynamics* 22.4 (2011): 342-360.
- [2] Dooley, F. L., William W. Wilson, and J. H. Krause. "Global Market Segments For Value-Added Agricultural Products." (2010).
- [3] Smail Khalifa, Mohammad Hassan Komarizadeh. "An intelligent approach based on adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) for walnut sorting." *Australian Journal of Crop Science* 6(2):183-187 (2012)
- [4] Ethem Alpaydın "Introduction to Machine Learning" *The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 2010.* Section 9
- [5] M. Çoker. "X-ışını Cihazı Kullanılarak Kabuklu Kuru yemiş Analizi" Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Lisans Bitirme Çalışması (2012-2013 Güz)
- [6] 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
- [7] Abdullah Akay, "Çift Sensörlü X-ışını Tarayıcı Tasarımı ve Bilgisayarla Görme İncelemesi", Yüksek Lisans Bitirme Tezi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Bilgisayar Mühendisliği Anabil Dalı-2012
- [8] Douglas C. Montgomery, Elizabeth A. Peck, G. Geoffrey Vining, "Introduction to Linear Regression Analysis" John Wiley & Sons. Inc, 2012. Chapter 2
- [9] M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle "Image Processing, Analysis, and Machine Vision"(Second Edition) Section 11.3.2