



Gerçek Zamanlı Otomatik Elma Tasnifleme

Orhan ER*¹, Bayram CETİŞLİ, M. Mahir SOFU, M. Cengiz KAYACAN
¹Bilgisayar Mühendisliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, 32260, Isparta

(Alınış Tarihi: 11.02.2013, Kabul Tarihi: 30.07.2013)

Anahtar Kelimeler

Görüntü işleme,
Makine görmesi,
Elma tasnifleme,
Kalite kontrol.

Özet: Günümüzde gıda ürünlerinin kalitesinin belirlenmesi ve tasniflenmesi önemli bir problemdir. Sebze ve meyvelerin kalitelerine ve özelliklerine göre sınıflandırılması, genellikle kalite kontrol işçileri tarafından el ve gözle yapılmaktadır. Bu yöntem, kalitedeki standardı sağlamamakta ve hatta yanlış sınıflandırmalar olabilmektedir. Ayrıca zaman ve iş gücü açısından büyük kayıplar oluşmaktadır. Bu sorunlar makine görmesi ile ortadan kaldırılabilir. Makine görmesi ile otomatik olarak daha hızlı ve standartlara uygun meyve tasniflenmesi mümkündür. Çalışmada gerçek zamanlı çalışan band üzerinde ilerleyen elmaların anlık görüntüleri alınmıştır. Alınan görüntüler yine gerçek zamanlı olarak Matlab programı içerisindeki görüntü işleme modülü kullanılarak işlenmiştir. Görüntüler ilk önce temizlenmiştir. Net görüntüler üzerinden renk, boyut ve ağırlık tahmini yapılmıştır.

Bu çalışmada yürüyen bant üzerinden geçen elmaların gerçek zamanlı olarak boyut, renk, sınıf ve ağırlık tespiti %95,5 başarıyla sağlanmıştır. Bir elmanın ortalama tanıma süresi ise 0,5 saniyeye çekilmiştir.

Real-Time Automatic Apple Classification

Keywords

Image processing,
Machine vision,
Apple classification,
Quality control.

Abstract: Today, keeping and determining the quality of the food products is actually a problem. The quality control workers classify the fruits and vegetables according to their quality and properties by means of hands and eyes. However, this method does not provide the standard of quality and it is possible to occur incorrect classification. At the same time, there is a great loss in terms of time and labour force. In order to eliminate these cases, it is possible to categorize fruits quickly and in line with the standards depending upon a machine automatically. In this study, real-time marching band passing over the apples, size, color, class and weight determination were 95.5% Any performance. 0.5 seconds is the average time taken in recognition of an Apple.

1. Giriş

Çoğunlukla ısı değiştiricilerinde akışkanlar, birbirleriyle karışmadan ısı geçişinin doğrudan yapıldığı genellikle metal malzeme olan katı bir yüzey ile birbirinden ayrılırlar. Bu tip ısı değiştiricileri yüzeyli veya reküperatif olarak adlandırılır (Genceli, 1999). Günümüz dünya meyve ticaretinde, belirli standartlara göre sınıflandırılmış kaliteli ürünler tercih edilmektedir. Yurt içinde ve yurt dışında böyle bir talebin olması, tarım alanında yapılan her türlü yeniliği önemli kılmaktadır. Ürünün pazar değerini düşüren durumlardan biri uluslararası standardizasyona uyulmamasıdır. Bu konunun ihmal

edilmesi ülke tarım ihracatının istenen seviyede olmasını engellemektedir (Anonim, 2009).

Endüstriyel değeri olan meyvelerin sınıflandırılması üzerine birçok farklı çalışma yapılmıştır. Bunlar gruplandırılırsa görüntü işleme ve aydınlatma çalışmaları olarak ayrıldığı görülür. Chen vd.(2002) yaptıkları çalışmada görüntü işleme tekniklerinin tarım uygulamalarında kullanımı ile ilgili araştırmasında meyve ve sebzelerin sınıflandırılmasında kullanılan düzeneklerin, nesnelerin şekilsel durumu ve rengi üzerine çalışıldığından basit görüntü işleme ekipmanlardan oluşan sistemlerin yeterli olacağını belirtmiştir.

* İlgili yazar: orhanner@hotmail.com

Renkli kameraların kullanımından sonra farklı renk uzaylarının incelendiği, doku analizlerinin yapıldığı ve farklı sınıflandırma algoritmalarının kullanıldığı görülür. Leemans vd. (1998), Golden cinsi elma yüzeyindeki leke, böcek hasarları, mantar gibi çeşitli kusurları, renk bilgisi tabanlı yöntemler kullanarak belirlemişlerdir. Hasarlı kısımların tespiti için 3x3'lük medyan filtre ve çeşitli boyutlarda maskeleyen filtreleri kullanılmıştır. Leemans vd.(2002), makine görmeli sistemler ile renkli kamera kullanmışlar, tasniflenecek elmaları Avrupa standartlarında dört kategoride değerlendirmişlerdir. İkinci dereceden ayırt edici sınıflayıcılar ve çok katmanlı algılayıcılar kullanmışlardır. Blasco vd. (2003), renkli kamera kullanarak tek renkli elmalar üzerinde çalışmışlardır. Elmaları üç kalite grubuna ayırmışlar ve 86% doğruluk oranına ulaşmışlardır. Leemans ve Destain (2004), renkli elmalar üzerinde çalışmalar yapmış ve elmaları iki ayrı kalite grubuna ayırmışlardır. Unay ve Gosselin (2007), Jonagold cinsi elmaların sap ve çiçek kısımlarını tespit ederek, diğer hasarlı bölgelerle karışmasını önlemişlerdir. Puchalski vd. (2008), elma yüzeyi üzerindeki kusurları görüntü işleme sistemleri kullanarak belirlemişlerdir. Elmalar bant üzerinde dönerken, kamerayla görüntüleri alınmıştır. Elma üzerindeki lekeler, don hasarları, kir ve zarar görmüş dokular tespit edilmiş ve bir programla görsel olarak gösterilmiştir. Yapılan çalışmada; Gala, Jonagold, Ligol, Melrose, Fiesta ve Golden cinsi elmalar kullanılmıştır. Hasar tespiti için yapılan sınıflandırmanın doğruluk oranı ortalama 96% 'dir. Xiao-bo vd. (2010), birden fazla renkli kamera kullanarak çok renkli elmalar üzerindeki çalışmalarında 96% doğruluk oranına ulaşmışlardır. Bir başka çalışma alanı ise aydınlatmadır. Işığın öznelik çıkarmada etkisi bilindiğinden, farklı ışık dalga boylarında elmaların yüzeyleri incelendiğinde, hasarlı bölgenin tespiti, uygunluğun anlaşılması mümkündür. Wen ve Tao (1999), tekli ışık tayfları kullanarak yapmış olduğu çalışmalarda karışık renkli elmaları tasniflemeye çalışmışlardır. Chen vd., ultraviyole ve kızılötesi aydınlatma sistemi ile daha başarılı sınıflandırma sonuçları elde etmiştir (Chen vd., 2002). Kavdir ve Guyer (2004), çalışmalarında tekli ışık tayfı kullanmışlardır. Tek renk elmaları iki, renkli elmaları ise beş kategoride değerlendirmişlerdir. Bayes ve KNN (K en yakın komşu) sınıflayıcıları kullanmışlardır. Sonuçta 84-89% doğruluk oranına ulaşmışlardır. Kleynen vd. (2005), çoklu ışık tayfları kullanarak çok renkli elmalar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Elmalar iki grupta incelenmiş ve doğrusal ayırt edici sınıflayıcılar kullanarak 90% doğruluk oranına ulaşılmışlardır. Kim vd. (2005), hayvan pisliği bulaşmış elmaları kırmızı flüoresan ışığı altında incelemiş ve tamamını tanımlamışlardır. İkinci dereceden ayırt edici sınıflayıcılar kullanmışlar ve sonuçta 73% doğruluk oranına ulaşmışlardır. Unay vd. (2010), makine görme tabanlı tam otomatik sınıflandırma sistemlerini çoklu ışık tayfları ile kullanarak, çok renkli elmalar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu

çalışmada bir taraftan elma üzerindeki renkler ayırt edilirken diğer taraftan elmalar üzerindeki hasarlar tespit edilmiştir. Elma sapı ve çiçeğinin hasar olarak görünmemesi için özel düzenlemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar 93,5%'lik doğruluk oranı ile sonuçlanmıştır.

Elma gibi küresel nesnelerin tek bir kamera ile görüntüsü alındığında görünmeyen yüzeyleri bulunmaktadır. Bennedsen (2005), çalışmasında dönen elmalarda %92 sınıflandırma başarısına ulaşmıştır. Yapılan bir çalışmada elmanın görünmeyen yüzeylerinin de incelenmesi için aynı anda üç farklı açıdan görüntüsü alınmıştır. (Xiao-bo vd., 2009).

Meyveler üzerinde yapılan bir çalışmada ise kameradan alınan görüntüler üzerinde gerçek zamanlı olarak çalışılmış ve meyvelerin boyut ve renk analizi yapılmıştır. Ardı ardına yapılan boyut ve renk analiz işlemleri yaklaşık olarak 1.30 sn sürmüştür (Tonguç, 2007). Bu çalışmada gerçek zamanlı çalışılarak, farklı elmalar üzerinde çalışılmıştır. Elmaların renkli görüntüleri ve gri tondaki görüntüleri kullanılarak boyut, ağırlık ve renk tahmini yapılmış ve sınıflandırılmıştır.

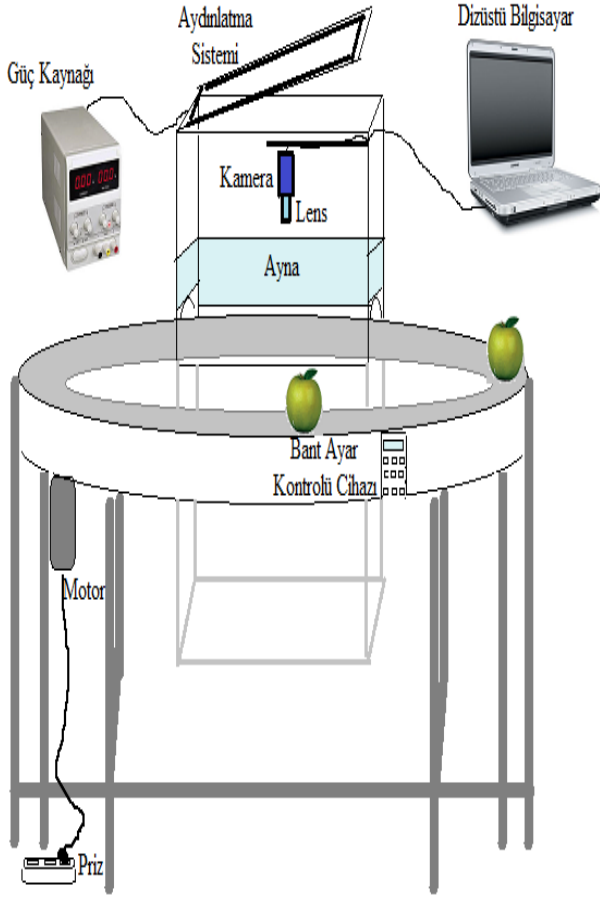
2. Materyal ve Yöntem

Isparta bölgesinde en çok yetişen Starkink, Golden, Fuji, Granny Smith ve Braburn cinsi 201 adet elma bu çalışmada kullanılmıştır. Elmalar, ilk önce soğuk hava depolarında kullanılan, çap ölçer ile standart büyüklük değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Elma büyüklük sınıfları ve çalışmada kullanılan elma cins ve sayıları Tablo 1 'de verilmektedir.

Tablo1. Çaplara göre elma sınıfları

Çap (cm)	Elma Sınıfı
5.50 - 6.00	Çok Küçük
6.00 - 6.50	Küçük
6.50 - 7.00	Orta
7.00 - 7.50	Orta İri
7.50 - 8.00	İri
8.00'den büyük	Çok İri

Bu çalışmada, görüntü işleme yöntemleri kullanılarak, tarımsal ürün olarak seçilen elmaların rengine, boyutuna, ağırlığına göre sınıflandırılması yapılmıştır. Bu işlemlerin gerçekleşmesi için Şekil 1'deki düzenek tasarlanmıştır.

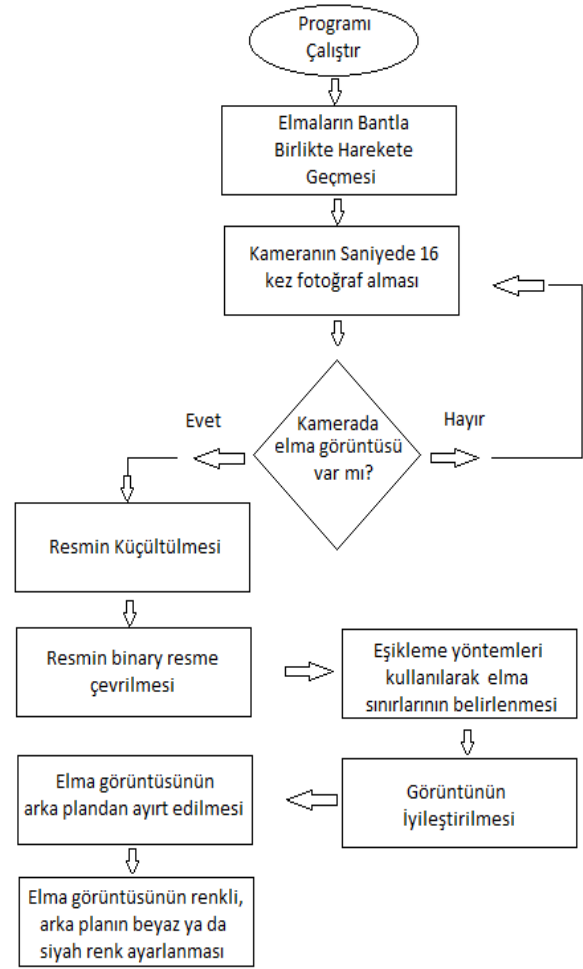


Şekil 1. Elma tanıma düzenegi tasarımı

Elma tanıma düzenegi; bu modelde hız kontrollü sabit bant, kapalı bir kabin ve kabin içerisine yerleştirilmiş kamera, kamera lensi ve aydınlatma sisteminden oluşmaktadır. Tasarımı yapılan bu kısım deney düzeneginin makine kısmıdır. Bir de deney düzeneginde bulunan kameranın USB portu üzerinden bağlı olduğu bir bilgisayar ve aydınlatma sisteminin elektrik enerjisini sağlayan ve ayarlayan güç kaynağı bulunmaktadır. Tasarımda hız kontrollü sabit bant metallere oluşmuş olan bir mekanizma üzerine oturtulmuştur. Kapalı kabin ahşaptan oluşturulmuş ve hareketli bant üzerine yerleştirilmiştir.

2.1. Görüntü İşleme Basamakları

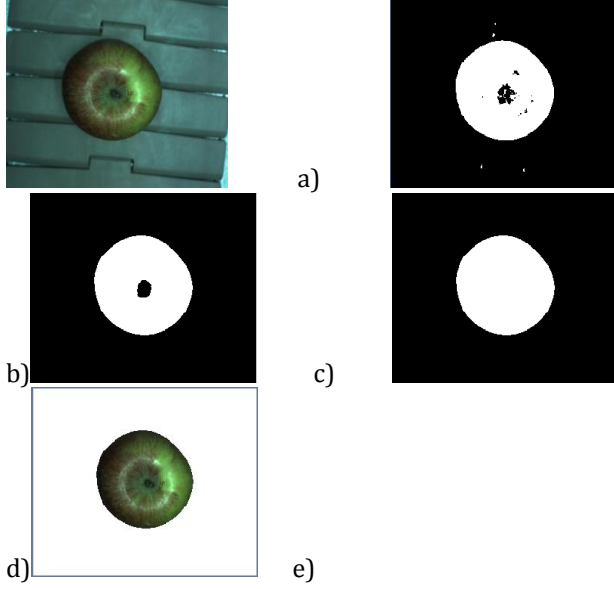
İlk önce kurulan düzenekte kameradan görüntünün nasıl alındığına değinmek gerekir. Görüntülerin elde edilmesinden, elma resminin yerinin belirlenmesi ve elma resmi haricinde kalan kısmın (arka planın) görüntüden çıkarılmasının genel akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Görüntünün elde edilmesindeki aşamalar

Görüntünün Elde Edilmesi ve Gürültü Temizleme Elmanın kamera altına geldiğini belirten herhangi bir algılayıcı olmadığından, ilk yapılan kamera görüntüsünde elma resminin olup olmadığının tespiti. Bu nedenle alınan her görüntüde toplam renk değişimlerine bakılarak elma tespiti yapılmıştır. Resmin her yerine bakmak yerine her resimde elmanın geldiği yöndeki ilk sütun vektöründeki değişimlere dikkat edilmiştir. Eğer kırmızı renk ile mavi renk arasındaki mutlak fark belli bir eşik değerinden büyük ise kamera altına elma geldiği anlaşılmaktadır. Bu eşik değeri ve yöntem deneme-yanılma ile belirlenmiştir. Saniyede alınan 16 resimden hangisinde elma var ise bu resimler ikili resimlere dönüştürülerek elmanın görüntüdeki yeri kapladığı alandan bulunmaktadır (Şekil 3.a). İkili resim "eşikleme" yöntemi ile yapılmaktadır. (Korkmaz, 2008). İkili resimdeki oluşabilecek gürültüler medyan filtre ile temizlenmektedir (Şekil 3.b). İki boyutlu medyan filtreleme $n \times n$ boyutundaki bir maskenin bütün resim üzerinde dolaştırılmasıyla yapılmaktadır. Maske bölgesindeki bütün pikseller küçükten büyüğe sıralandığında ortanca değer bu bölgenin tamamının yeni değeri olarak atanmaktadır. Bu yöntemle tuz-biber gibi gürültüler rahatlıkla temizlenmektedir (Johnsonbaugh vd., 2009). Ancak elde edilen filtrelenmiş resimde sap ve çiçek kısımları

siyah gözükmetedir (Şekil 3.c). Bunun için morfolojik işlemlerden kapatma işlemi yapılarak Şekil 3.d' deki son görüntü elde edilmektedir. Renk, büyüklük ve ağırlık tahmini yapabilmek için sadece elma resminin elde edilmesi gerekir. İkili resimdeki beyaz bölge koordinatları elmaya ait bölgeleri göstermektedir. Arka plan çıkarıldığında yeni resim Şekil 3.e' deki gibi olmaktadır.



Şekil 3. Elma bölgesinin elde edilmesi: a) Özgün resim b) İkili resim c) 10x10 medyan filtre uygulanan resim d) Kapatılmış resim e) Arka plan çıkarılmış resim

2.2. En Küçük Kareler Tahmini

Elmaların ağırlığını ağırlık algılayıcısı olmadan görüntüyle tahmin edebilmek için, En Küçük Kareler Tahmini (EKKT) yapılmıştır. EKKT yönteminde hedef değerler, girişlerin bir polinomu biçiminde yazılırlar. Doğrusal denklem sistemi biçiminde yazılan veriler ile gerekli katsayıları bulmak mümkündür.

$\mathbf{X}^{M \times N}$ M örnek ve N özelliğe sahip veriyi gösterebilir. Bu veriye karşılık gelen ve tahmin edilmesi istenen hedef ise $\mathbf{y}^{M \times 1}$ biçiminde verilsin. Veri ve hedef değerler arasındaki ilişki,

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Eşitlik (1) matris notasyonu ise yeniden yazılırsa;

$$\mathbf{X}\boldsymbol{\theta} = \mathbf{y}, \quad (2)$$

Burada $\boldsymbol{\theta}$ bilinmeyen katsayıları göstermektedir. Eğer X bir kare matris ise (M=N) ve tekil değilse $\boldsymbol{\theta}$ doğrusal sistem çözümü ile hesaplanır.

$$\boldsymbol{\theta} = \mathbf{X}^{-1}\mathbf{y}. \quad (3)$$

Eğer $M \geq N$ ise X matrisi tekildir. Bu durumda sadece $\mathbf{X}^T\mathbf{X}$ tekil değildir ve çözüm

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \left(\mathbf{X}^T\mathbf{X}\right)^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{y}, \quad (4)$$

Burada $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ yaklaşık bilinmeyen katsayıları göstermektedir. Eşitlik (1) ile belirlenen katsayılar tahminde kullanıldığı takdirde, belirli bir hatanın oluşması aşikârdır. Bu nedenle Eşitlik (3) aşağıdaki gibi genişletilir;

$$\mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{e} = \mathbf{y}, \quad (5)$$

Burada \mathbf{e} ve $\mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\theta}}$ sırasıyla hatayı ve tahmin sonucunu gösterir. Sistemin çözümü EKKT ile yapılır (Cetişli ve Kalkan, 2011). EKKT yöntemi toplam kare hatayı küçültür;

$$E(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{k=1}^M \left(y_k - \mathbf{x}_k\boldsymbol{\theta}\right)^2, \quad (6)$$

Burada \mathbf{x}_k , k. örneği, y_k , k. örneğin gerçek çıkış değerini gösterir. Doğrusal bir çözüm birçok problemde yeterli olmasına rağmen, bazı problemler doğrusal değildir. Bu noktada daha yüksek dereceli polinomlar kullanılmalıdır. $\mathbf{x}^{M \times 1}$ bir boyutlu giriş verisini ve $\mathbf{y} = f(\mathbf{x})$ hedefi gösterebilir, burada $f(\mathbf{x})$ yüksek dereceli bir polinomdur. Aralarındaki ilişki

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^N \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_M & x_M^2 & \dots & x_M^N \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Doğrusal sistemlerdeki çözüm yöntemi doğrusal olmayan sistemler için de geçerlidir. Doğrusal olmayan sistem aşağıdaki gibidir;

$$\mathbf{y} = f(\mathbf{x}) = \theta_0 + \theta_1\mathbf{x} + \theta_2\mathbf{x}^2 + \dots + \theta_N\mathbf{x}^N. \quad (8)$$

2.3. C4.5 Karar Ağacı

Elmanın rengine göre sınıfının belirlenmesi için bu çalışmada C4.5 algoritması kullanılmış ve elma renk sınıfları için bir karar ağacı oluşturulmuştur. C4.5 algoritması basit ve hızlı olması nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu algoritma; ID3 gibi en

ayırt edici özneliği köke yerleştirirken ve alt dalları oluştururken entropiden yararlanır. Entropi elde edilen bilginin sayılaşılmasıdır. X rastgele değişkenin alabildiği değerler $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ olsun. Buna göre X 'in entropisi $H(X)$;

$$H(X) = \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 \left(\frac{1}{p(x_i)} \right). \quad (9)$$

X_i Özneliğinin X veri kümesindeki kazancı;

$$\text{Kazanım}(X_i, X) = H(X) - \sum_{i=1}^n P(X_i) H(X_i). \quad (10)$$

Elde edilen kazanım oranlarından en küçük değerli değişken kök olarak atanır. Algoritma son yaprak oluşturuluncaya kadar devam eder (Özkan, 2008).

3. Deneysel Çalışma

Uzman bir kişi tarafından tek tek incelenerek elmaların cinsleri, renkleri belirlenmiş, boyutları çap ölçer ve kumpasla ölçülmüş, hassas terazi ile ağırlıkları belirlenerek elmalar numaralandırılarak etiketlenmiştir. Kapalı kabin hazırlanmış, üst yüzeyine beyaz ışık veren LED'ler yerleştirilmiştir. Kabinin alt kısımları ise çevreden gelebilecek farklı ışık kaynaklarına karşı yalıtılmıştır. Elmadaki parlamayı önlemek ve yan yüzeyleri de aydınlatılmak için kabinin iç yan yüzeylerine ayna yerleştirilmiştir. Kamera kapalı kabinin tam ortasına bant yüzeyinden yaklaşık 1m uzaklıkta sabitlenmiştir.

3.1. Ağırlık Tahmini

Elmanın ağırlığını tespit etmek için görüntüdeki elmanın piksel cinsinden olan en boy ve alan bilgileri cm ve cm² birimlerine dönüştürülmüştür. EKKT ile gerçek elma değerleri tahmin edilmiştir. Tahminde 1. ve 3. dereceden denklemler kullanılmıştır. Bu denklemler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Ağırlık tahmini için kullanılan denklemler

Denklem Adı	Denklem
D1	1.27 (en)+0.34 (boy)+0.01 (alan)-155.9
D2	0.01 (alan)-54.5
D3	2.08e-11 (alan) ³ -1.93e-7 (alan) ² +0.01 (alan)
D4	-3.9e-5 (en, boy, alan). ³ +9.3e-5 (en, boy, alan). ² -1.4e-11 (en, boy, alan)+0.008

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen tahmin sonuçları Tablo 3'te verilmektedir. Tabloda verilen Karesel Ortalama Kare Hata (KOKH) değerleri

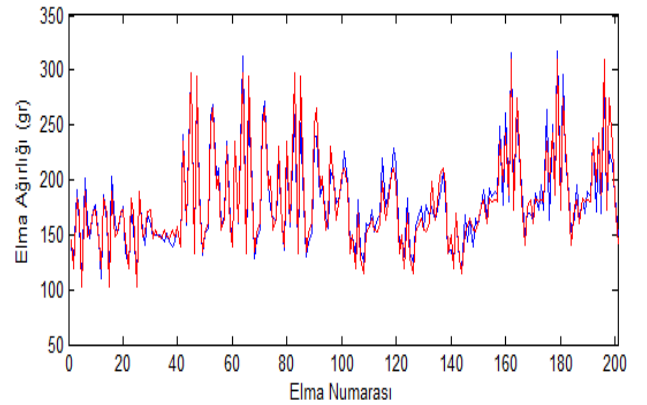
$$\text{KOKH} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\text{hedef}_i - \text{tahmin}_i)^2}, \quad (11)$$

Burada M örnek sayısını **hedef_i** ve **tahmin_i** sırasıyla i. istenen değer ve herhangi bir tahmin yöntemi ile bulunan i. tahmini göstermektedir.

Tablo 3. Ağırlık tahmini sonuçları

Elma Cinsi	Adet	Ortalama Ağırlık	Tahmin Edilen Ortalama Ağırlık	Ortalama KOKH Değeri			
				D1	D2	D3	D4
Starkin k	30	155,1	154,4	7,08	7,57	6,61	6,43
Golden	9	149,4	147,2	2,25	3,05	2,98	1,8
Fuji	57	196,2	191,9	12,23	13,9	13,62	10,75
Granny Smith	54	154,8	159,2	9,26	11,18	11,08	9,09
Braburn	51	200,8	201,4	14,62	14,92	14,64	14,28
Toplam	201	171,3	170,8	12,85	13,54	13,07	11,79

Elde edilen sonuçlara göre gerçek değere en çok yaklaşan ifade D4 polinomudur. Yani tahmin için en az 3. dereceden bir denklem gerekli ve en, boy, alan bir arada kullanılmalıdır. Şekil 5 'te gerçek değer ile D4 ile tahmin edilen değeri bir arada göstermektedir.



Şekil 5. Elma ağırlıklarının EKKT ile tahmini

Şekil 5'te deney öncesi gerçek değerler kırmızıyı, görüntü işleme yöntemi ile tahmin değerleri mavi ile gösterilmektedir. Aynı elma numaralarına ait bilgilerin örtüştüğü görülmektedir. Yapılan ağırlık tahminin tatmin edici olduğu Şekil 5'den söylenebilir.

3.2. Boyut Tahmini

Piksel değerlerinin gerçek uzunluk değerlerine dönüştürülmesi için doğrusal bir denklem kullanılmıştır. Görüntüdeki gerçek elma boyutu;

$$B_{\text{gerçek}} = \frac{b \cdot \max}{6,4} \quad (12)$$

Bağıntısından hesaplanmıştır. Bu denklemdeki katsayı, görüntüdeki belli bir uzunluğun piksel sayısına bölümü ile gerçek bulunmuştur. Bulunan

katsayı kameranın zemine olan uzaklığı ile değişebilmektedir. Toplam 201 elma görüntüsü üzerinde yapılan çalışmalarda Tablo 4'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır. Elmalar 3 boyutlu olmasına rağmen tahminler, 2 boyutlu görüntüler üzerinden yapılmıştır. Bu durum tahminde hatalar oluşturabilmektedir. İyi bir tahmin için en az farklı açılarda yerleştirilmiş iki kamera ile elmaların en, boy ve yükseklik bilgilerine erişilmelidir.

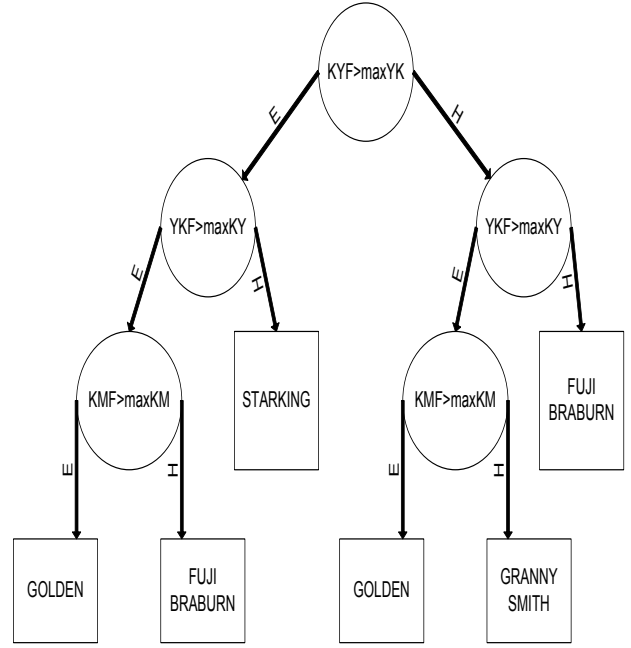
Tablo 4. Boyut tahmini sonuçları

Elma Cinsi	Adet	Ortalama Boyut	Tahmin Edilen Ortalama Boyut	Ortalama KOKH Değeri
Starkink	30	7,24	7,21	0,27
Golden	9	6,99	7,04	0,11
Fuji	57	7,84	7,79	0,23
Granny Smith	54	6,99	7,09	0,2
Braburn	51	7,94	7,98	0,27
Toplam	201	7,4	7,42	0,24

3.3. Renk Sınıflandırması

Şekil 4'te elde edilen elma resminde olduğu gibi sadece elma bölgesinde renk analizi yapılmaktadır. Her elma cinsinin birbirinden farklı 0-255 arasında değişen bir renk aralığı bulunmaktadır. Kırmızı, yeşil ve mavi renk tonları birleşerek gerçek rengi ortaya koymaktadır. Cinslere ait renk ortalama ve standart sapma değerlerine bakıldığında cinslerin birbirine rahatlıkla karıştığı görülmektedir. Hatta bir elmada iki ya da üç farklı ana renk olabilmektedir. Bu noktada baskın olan renk, elma için ana renk olarak atanmıştır.

C4.5 algoritmasına göre oluşturulan karar ağacı ve renk tahmini Şekil 6'da gösterilmektedir. Ağaç oluşturulurken renk uzayları olduğu gibi öznitelik olarak kullanılmamış, bunun yerine bu çalışmada belirlenmiş belli bir fark değerleri ve eşikler kullanılmıştır. Bunlar Kırmızının Yeşilden Farkı (KYF), Yeşilin Kırmızıdan Farkı (YKF), Kırmızının Maviden Farkı (KMF) öznitelikleridir. KYF, baskın rengi kırmızı, çekingen rengi yeşil elmaları ayırmak için kullanılmıştır. Starkink cinsi elmalar bu öznitelikle ayrılabilir. YKF ise bunun tam tersidir. YKF ile ayrılabilen elma cinsleri Braburn ve Fuji cinsleridir. KMF ise sarı renk elmaları ayırmak için kullanılmış ve Granny Smith ve Golden cinsi elmaları ayırabilmektedir. C4.5 algoritması ile yapılan elma rengine göre tasniflemenin sonuçları Şekil 6'da verilmektedir. Şekil 6'da gösterilen düğümlerdeki maxYK Yeşil elmadaki maksimum Kırmızılık değerini, maxKY Kırmızı elmadaki maksimum Yeşillik değerini, maxKM Kırmızı elmadaki maksimum Mavilik değerini göstermektedir.



Şekil 6. Elma renginin C4.5 algoritması ile yapılan sınıflandırma ağacı.

Tablo 5'te ise C4.5 algoritması ile yapılan bütün elmaların sadece cinsine göre tanıma oranlarını vermektedir.

Tablo 5. Renk sınıflandırması sonuçları

Elma Cinsi	Adet	Tanıma Oranı (%)
Starkink	30	100
Golden	9	100
Fuji	57	100
Granny Smith	54	100
Braburn	51	96
Toplam	201	99

3.4. Genel Sınıflandırma

Elmaların renk, ağırlık ve boyut özniteliklerine göre yapılan sınıflandırmada yine C4.5 algoritması kullanılmış ve Tablo 6'da verilen sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 6'da Tablo 5'ten farklı olarak sadece elma cinsine bakılmamış, ayrıca her cinste olabilecek 6 farklı çap büyüklüğüne göre de sınıflandırma yapılmıştır. Bu nedenle sınıflandırma başarısı biraz daha düşük çıkmaktadır. Elde edilen değerler ticari bir uygulama için oldukça iyidir. Başarının artırılabilmesi için iki kamera ile çekim gerekmektedir. Buna rağmen sistemin ağırlık sensörü olmadan da başarılı olabileceği görülmektedir. Birçok benzer endüstriyel sistem, sadece ağırlık sensörü ile tasnifleme yapmaktadır. Bu çalışma sonuçları, ağırlık sensorunu de devreden çıkarmaktadır.

Tablo 6. Sınıflandırma sonuçları

Elma Cinsi	Adet	Tanıma (%)	Oranı
Starkink	30	93	
Golden	9	100	
Fuji	57	96	
Granny Smith	54	94	
Braburn	51	96	
Toplam	201	95,5	

4. Sonuç ve Tartışma

İlk boyutlandırma ve sınıflandırması tarlada yapılan elmaların, soğuk hava depolarında tekrar tasniflendiği görülmektedir. Elmalar pazara sunulmadan önce uzun süre depolarda saklanmaktadır. Yıkayıp temizlenen elmalar ikinci kez kalite kontrolden geçer ve tasniflenir. Birinci kontrolde gözden kaçabilen ya da hassas bir ayırmadan geçmeyen elmaları yeniden daha doğru biçimde tasniflemek gerekmektedir.

Yapılmış olan bu projede bilgisayar kontrollü makineler ile elmaların otomatik tasniflenmesi amaçlanmış ve bu amaca uygun olarak elmalar boyut, renk ve ağırlıklarına göre tasniflenmiştir. Boyutlandırma ve ağırlık için fazladan bir sensor ya da ölçü aleti kullanılmamış, EKKT yöntemi ile tahmin edilmiştir. Yapılan tahminler gerçek değerine oldukça yakın çıkmaktadır.

Elmaların doğru bir şekilde tasniflenmesi kadar hızlı tasniflenmesi de önemlidir. Bunun için şu işlemler gerçekleştirilmiştir: İşlem yapılacak resmin boyutu küçültülmüş, kameranın gereksiz kullanımı önlenmiştir. Birim zamanda elma tasnifleme sayısını artırmak için, elmanın görüntüdeki yeri belirlenmiş ve sadece o bölgede işlemler gerçekleştirilmiştir. Projede bir elmanın sınıflandırılmasında; boyut, renk ve ağırlık analiz işlemlerinin tamamı yaklaşık olarak 0.50 saniyede yapılmaktadır. Bu sürenin yaklaşık %40'ı elma boyut tahmininde, %20'si renk tahmininde, %20 'si ağırlık tahmininde ve %20 'si ise bu işlemlerin genelinde kullanılmaktadır.

Kaynaklar

Anonim, 2009. Eğirdir Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Sorumluluk Alanı. Eğirdir Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü. 14-15 s.

Bennedsen, B., Peterson, D., Tabb, A., 2005. Identifying defects in images of rotating apples. *Computers and Electronics in Agriculture*, 48, 92-102.

Blasco, J., Aleixos, N., Moltó, E., 2003. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosystems Engineering*, 85, 415-423.

Cetişli B., Kalkan H., 2011. Polynomial Curve fitting with varying real powers, *Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 6(112), 117-122.

Chen, Y., Chao, K., Kim, M., 2002. Machine vision technology for agricultural applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 173-191.

Johnsonbaugh E., Jost R., Gose S., 2009, *Pattern recognition and image analysis*, Phi Learning Private Limited.

Kavdir, I., Guyer, D.E., 2004. Comparison of artificial neural networks and statistical classifiers in apple sorting using textural features. *Biosystems Engineering*, 89, 331-344.

Kim, M., Lefcourt, A., Chen, Y., Tao, Y., 2005. Automated detection of fecal contamination of apples based on multispectral fluorescence image fusion. *Journal of Food Engineering*, 71, 85-91.

Kleynen, O., Leemans, V., Destain, M., 2005. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples. *Journal of Food Engineering*, 69, 41-49.

Korkmaz, N., 2008. Omurga şekil bozukluğu analiz ve teşhisine yönelik yazılım geliştirme, Doktora Tezi, 43s, İstanbul.

Leemans, V., Magein, H., Destain, M., 1998. Defects segmentation on 'Golden Delicious' apples by using colour machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 20, 117-130.

Leemans, V., Magein, H., Destain, M., 2002. On-line fruit grading according to their external quality using machine vision. *Biosystems Engineering*, 83, 397-404.

Leemans, V., Destain, M., 2004. A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Journal of Food Engineering*, 61, 83-89.

Özkan Y., 2008. Veri madenciliği yöntemleri. Papatya Yayınları, İstanbul.

Puchalski C., Gorzelany J., Zagula G., Bruswitz G., 2008. Image analysis for apple defect detection. *Teka Kom. Mot. Energ. Roln*, 8, 197-205.

Tonguç, G., 2007. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak meyve tasnifi, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Isparta.

Unay, D., Gosselin, B., 2002. Apple defect detection and quality classification with MLP-Neural Networks. *Proc. of Prorisc, Eindhoven, the Netherlands*.

Unay, D., Gosselin, B., 2007. Stem and calyx recognition on 'Jonagold' apples by pattern recognition. *Journal of Food Engineering*, 78, 597–605.

Unay, D., Gosselin, B., Kleynen, O., Leemans, V., Destain, M., Debeir, O., 2010. Automatic grading of bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 204–212.

Xiao-bo, Z., Jie-wen, Z., Yanxiao, L., Holmes, M., 2009. In-line detection of apple defects using three color cameras system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2323, 1-6.

Xiao-bo, Z., Jie-wen, Z., Yanxiao, L., Holmes, M., 2010. In-line detection of apple defects using three color cameras system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(1), 129–134.

Wen, Z., Tao, Y., 1999. Building a rule-based machine-vision system for defect inspection on apple sorting and packing lines. *Expert Systems with Applications*, 16, 307–313.