



## Machine Vision System: Food Industry Applications and Practices

Pınar Balkır<sup>1,a,\*</sup>, Kemal Kemahloğlu<sup>1,b</sup>, Ufuk Yücel<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup>Food Technology Program, Ege Vocational School, Ege University, 35101 Bornova/Izmir, Turkey

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 12/02/2019 Accepted : 09/05/2019</p> <p><b>Keywords:</b> Machine vision system Digital imaging Artificial neural networks Image processing Quality control</p>	<p>Machine vision system is a combination of camera, image capture card, computer hardware and image processing technology. Safe foods are highly preferred by consumers today and accordingly, machine vision system has the edge on food sector for ensuring qualitative data and accelerating some certain processes. Machine vision system, which is more accurate, reliable and faster than conventional methods, has been used in wide range of applications in the inspection of cereals, fruits and vegetables, meats and marine products and some other processed foods in combination with convenient image processing and analysing algorithms. Considering the objectivity, promptness, economy and effectiveness as the chief advantages, the system makes progress as an alternative method in the sector.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(7): 989-999, 2019

## Bilgisayarlı Görüntüleme Sistemi: Gıda Endüstrisinde Kullanımı ve Uygulamaları

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 12/02/2019 Kabul : 09/05/2019</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> Bilgisayarlı görüntüleme sistemi Dijital görüntüleme Yapay sinir ağları Görüntü işleme Kalite kontrol</p>	<p>Bilgisayarlı görüntüleme sistemi, kamera, görüntü yakalama kartı, bilgisayar donanımı ve görüntü işleme teknolojilerinin bir birleşimidir. Günümüzde güvenlik garantisi sağlayan gıdalar tüketiciler tarafından daha fazla tercih edilmektedir. Bu doğrultuda gıda endüstrisinde nitel bilgi sağlama ve belirli işlemleri hızlandırma olanakları sağlaması açısından bilgisayarlı görüntüleme sistemi sektöre çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bilgisayarlı görüntüleme sistemi, uygun görüntü işleme ve analizleme algoritmaları ile geleneksel yöntemlerden daha hızlı olması, doğru ve güvenilir sonuçlar sağlaması açısından günümüzde tahıllar, meyve sebze, et ve deniz ürünleri ve diğer bazı işlenmiş gıdaların kontrolünde geniş çapta uygulama alanı bulmuştur. Sistemin objektifliği, hızlılığı, ekonomikliği ve etkinliği bilgisayarlı görüntüleme sisteminin önemli avantajları olarak değerlendirilmekte ve sektörde alternatif bir yöntem olarak gelişim göstermektedir.</p>

<sup>a</sup> [pinar.balkir@ege.edu.tr](mailto:pinar.balkir@ege.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1191-5989>

<sup>c</sup> [omer.kemal.kemahlioglu@ege.edu.tr](mailto:omer.kemal.kemahlioglu@ege.edu.tr)

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8125-6563>

<sup>e</sup> [ufuk.yucel@ege.edu.tr](mailto:ufuk.yucel@ege.edu.tr)

<sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2128-4631>



## Giriş

Dijital bilgisayarların 1960'lı yıllardan itibaren gelişim göstermesi ile birlikte, görüntüleme yeteneği ve karmaşık yapay zekâ algoritmaları, askeri uygulamalar, uzay ve havacılık, endüstriyel otomasyon, güvenlik denetimleri (parmak izi-yüz tanıma), insan ve araç takibi gibi alanlardan tıp alanına kadar çok farklı şekillerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1980 yılından sonra, düşük maliyetli, zararsız ve yüksek hesaplama gücüne sahip bilgisayarlı görüntüleme sistemi (BGS), tarım ve gıda endüstrisinde sadece hammadde ve canlı hayvan kontrolünde değil, gıdaların işlenmesinde çeşitli aşamalarda, hatta ambalajlama sonrasında alternatif bir yöntem olarak kullanılmakta ve gelişim göstermektedir (Davies, 2009; Graves ve Batchelor, 2004; Patricio ve Rieder, 2018).

Gıdaların işlenmesi ve depolanması aşamalarından etkilenen fiziksel, kimyasal bileşim, duyuşal, mikrobiyolojik ve toksikolojik özelliklerin takip edilebildiği ve güvenlik garantisi sağlayan gıdaların tüketiciler tarafından çok daha fazla tercih edildiği bilinmektedir. Bu nedenle uygulanacak analitik yöntemlerin seçimi söz konusu özellikleri belirleme açısından önem taşımaktadır (Baiano, 2017; Di Rosa ve ark., 2017). BGS hızlı bir yöntem olması, doğru ve güvenilir sonuçlar sağlaması açısından modern gıda sanayinde tahıllar, meyve ve sebze, süt, et ve deniz ürünleri ve diğer bazı işlenmiş ürünlerin kontrolünde geniş çapta uygulama alanı bulmuştur (Aggarwal ve Mohan, 2010; Vithu ve ark., 2016).

Bir bilgisayar ile BGS arasında bazı temel farklar bulunmaktadır. BGS teorik desteğe ihtiyaç göstermez. Yüksek hızda işlem yapmaya olanak tanıyan özel bir donanım gereklidir ve tasarımcılar sorunların çözümünde algoritmik olmayan yöntemleri kullanırlar. Ayrıca, bu sistem için yerinde programlama yapmak da mümkündür. BGS nin kullanımındaki diğer değerlendirme ölçütleri kullanımının kolay olması, maliyetinin uygun olması ve tutarlı ve güvenilir olmasıdır (Calvo ve ark., 2016; Patel ve ark., 2012).

Gıda alanında yaygın kullanılan görüntüleme cihazları yük bağlaşımlı aygıt kamerası (CCD), manyetik rezonans görüntüleme (MRI), ultrason (US), bilgisayarlı tomografi (CT) ve elektriksel tomografidir (ET) (Du ve Sun, 2004).

BGS genellikle görüntü oluşturma birimi, ışık kaynakları, kamera, örnek tutma platformu (aynı zamanda görüntüleme arka planı olarak da işlev görür) ve bilgisayar donanımı ve yazılımının bileşimidir (Wang ve Sun, 2002). Ek olarak, hiperspektral ve multispektral BGS için spektrograf gerekmektedir (Şekil 1).

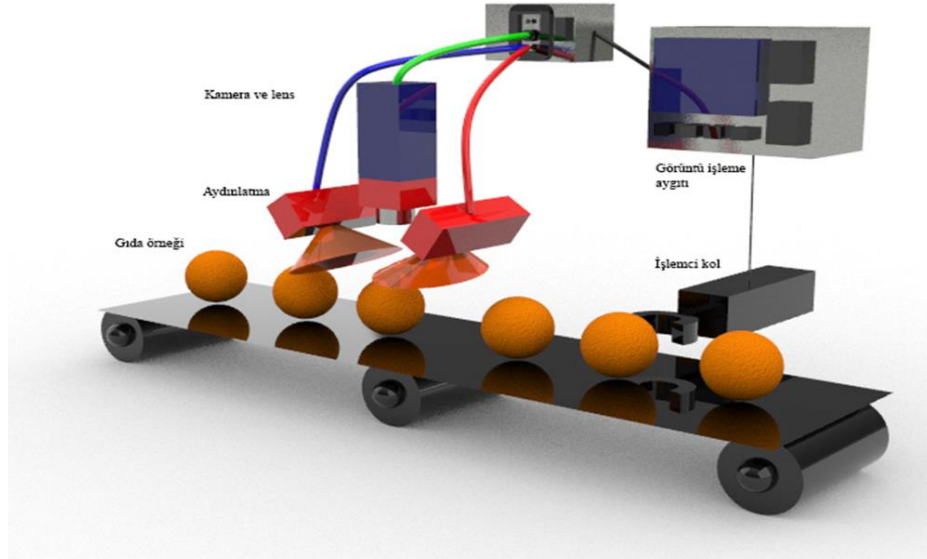
Geleneksel kamera insan gözünü taklit eden ve insan gözünün hassas olduğu kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) dalga boyu olmak üzere üç filtreye sahiptir. RGB renk kameraları ile yakalanan renkler insan gözü ile yakalananlar ile benzerlik taşımaktadır. Renkli kameralar tarafından elde edilen görüntüler RGB dalga boyunda ortalanır. Bilgisayar görüş sistemi kullanılarak, doku, şekil, renk, boyut ve kusurlar gibi birçok özellik otomatik olarak derecelendirilip incelenebilir (Lorente ve ark., 2011). Ancak, insan gözü ile görülemeyen ve geleneksel görüntüleme sistemleri ile tespiti mümkün olmayan fungal enfeksiyon, biyolojik kontaminasyon gibi erken aşamadaki bozulmaların belirlenmesinde mekaniksel görüntünün her

bir pikseli için spektral bilgi sağlayan hem spektroskopik hem de görüntüleme tekniklerini birleştirir.

Hiperspektral görüntünün veri yapısı hiperküp veya dataküp olarak adlandırılmaktadır ve farklı dalga boylarında iki boyutlu görüntü yığını veya iki boyutlu görüntü kümesinin karakterize edilmesinde bir parmak izi görevi gören her bir pikselinin bir dizi spektrumu şeklindedir. Hiperspektral görüntü küpünü elde etmek için yaygın olarak kullanılan yöntemler; nokta tarama, çizgi tarama ve alan taramasıdır. Bu türden taramalar ile meyve-sebze ve et gibi bazı gıda ürünlerinde nem, toplam kuru madde, pH, sıklık ve ette mozaik yapı gibi kalite özelliklerinin ve heterojen yapı içerisinde bileşen miktarının ve dağılımının belirlenmesinde kapsamlı veri sağlayabilmesi mümkündür. (Gowen ve ark., 2008; Lu ve Peng, 2006; Nicolaï ve ark., 2006).

Multispektral BGS ise, spektral alandaki monokromatik görüntü sayısı açısından hiperspektral görüntüleme sisteminden farklılık gösterir. Bu sistem genelde, spektrumda iki veya daha fazla farklı dalga bandında monokromatik görüntüleri yakalayarak multispektral görüntü oluşturur, böylece iki veya daha fazla tek-bant monokromatik görüntülerin istenildiği gibi dar bant filtreleri ile yakalanmasına olanak tanır. Ancak bu sistemin tek dezavantajı, görüntülenecek örneğe göre kurulumunun yapılması gerekliliğidir. Kamera lensindeki sapma ve kamera konum toleranslandırılması gibi nedenlerle görüntüde de bozulma ve sapma meydana gelebilmektedir (Lorente ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2014). Hiperspektral görüntüleme sisteminde daha çok sayıda dalga boyu kullanıldığından dolayı multispektral görüntüleme sistemine göre daha fazla spektral bilgi elde edilebilir. Bunun yanı sıra, belirlenmek istenen kalite özelliğine uygun dalga boyu seçilmelidir. Aksi takdirde, nitel ve nicel analizlerde bazı hatalara yol açabilir. Optimum dalga boylarının seçimi elle ya da matematik algoritmalar yardımıyla yapılabilir. Bu sistemde, tıpkı diğer spektroskopi yöntemlerde olduğu gibi, reflektans, transmitans ve floresans modunda çalışmak mümkündür. Bunlardan özellikle reflektans modu en yaygın kullanılan mod olup görünür-yakın kızılötesi veya yakın kızılötesi dalga boyu aralığında çalışılmaktadır. 700-900 nm veya 800-1100 nm dalga boyu aralığında uygulanan transmitans modu ise balık, meyve-sebze ürünleri gibi daha saydam örneklerin iç kalite özelliklerinin saptanmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Baiano, 2017; Kamruzzaman ve Sun, 2016).

Her ne kadar ışık kaynakları, kamera gibi donanımlar önemli faktörler ise de görüntü işleme yazılımları da verileri sonuca dönüştürmesi bakımından dikkatle seçilmeli ve kullanılmalıdır. Görüntü analizi işlemlerinin çoğu için algoritma, MATLAB, Visual Basic C/C++ ve LabVIEW gibi özel yazılımlar kullanılarak, özel görüntü işleme araç kutuları veya diğer özel paketler kullanılarak geliştirilmiştir (Zhang ve ark., 2014). Görüntü işlemede elde edilen görüntülerin otonom makinelerin algılaması için daha uygun hale getirilmesi ve görüntü bilgilerinden veri oluşturulabilmesi amaçlanmaktadır. Görüntü işleme prosesi; görüntünün eldesi, ön-işleme, segmentasyon, veri ekstraksiyonu, sınıflandırma ve görüntünün tanımlanması aşamalarını içermektedir (Şekil 2).



Şekil 1 BGS bileşenleri şeması  
Figure 1 MVS components diagram



Şekil 2 Görüntü işleme prosesinin temel aşamaları  
Figure 2 The main stages of the image processing

Uygun görüntü işleme ve analizleme algoritmaları uygulanarak nitel ve nicel sonuçlar elde edilir (Aggarwal ve Mohan, 2010; Baiano, 2017; Vithu ve ark., 2016). Yakalanan bir görüntü bilgisayarda matrisler şeklinde depolanmakta ve işlenmektedir. Geometrik bilgi (pikselin yeri) ve yüzey bilgisi (pikselin yoğunluğu) olmak üzere iki tip bilgiyi içinde barındıran matrislerin öğeleri piksel olarak adlandırılır. Geometrik bilgiden boyut ve şekil ölçümleri, yüzey bilgisinden ise renk ve doku ölçümleri elde edilmektedir. Boyut, şekil, renk ve doku herhangi bir görüntüden çıkarılacak en önemli ölçümlerdir. Bir tarım veya gıda ürünün şeklinin tanımlanabilmesi çok farklı özellikler açısından önemli veriler sağlamaktadır. Bunlar arasında genetik şekil özellikleri, bitki varyetesinin tanımlanması, şekli bozuk meyvenin ayırt edilebilmesi,

tüketici tercihlerinin değerlendirilmesi, ambalajlama ve dağıtım açısından fiziksel özelliklerin belirlenmesi en önemlileridir (Costa ve ark., 2011).

Elde edilen görüntülere yeniden boyutlandırma, iyileştirme, gürültü giderme, kenar algılama ve filtreleme gibi aşamalar uygulanarak görüntü kalitesini artırılması gerekmektedir (Davies, 2009; Sun, 2000). Segmentasyon işlemi ile elde edilen dijital görüntü farklı bölümlere ayrılmaktadır. Bu işlemin amacı, görüntüdeki boşluklar ve kırılmaların giderilmesi, sınırların belirlenmesidir. Segmentasyonda kullanılan birkaç farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlardan özellikle eşikleme ve kümeleme teknikleri tarım alanında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Hambali ve ark., 2016).

Bazı BGS ise görünür renk bölgesinin (400-700 nm) yanı sıra, morötesi (200-400 nm), kızılötesi (700-2500 nm) ve hatta termal görüntüleme (2500 nm üzeri) gibi insan gözünün algılayamadığı dalga boylarında nesnelere inceleyebilmektedir. Bu sistemler bitki ve sebze çeşitlerinin, olgunluk derecesinin ve ayrıca hasat sonrası kalite özelliklerinin belirlenmesinde, başarıyla kullanılmaktadır (Chen ve ark., 2002).

Kamera çözünürlüklerinin artması, aynı anda birden fazla kamera ile çekim, dalgaboyu dağıtma cihazları ve bilgisayarın donanım ve yazılımlarındaki son gelişmeler BGS her geçen gün hızla geliştirmektedir. Bu derlemede BGS nin gıda endüstrisindeki farklı uygulamaları incelenmiştir.

### BGS'nin Gıda Endüstrisindeki Uygulamaları

BGS kullanılarak gıda ürünlerinin incelenmesinde temel olarak renk, morfolojik (büyüklük) ve doku özellikleri ön plana çıkmıştır.

Renk özelliği, görüntü alma ve dizine ekleme işleminde ilk ve en çok kullanılan görsel özelliktir. Tazelik, büyüme ve çeşitlilik, olgunluk, arzu edilebilirlik ve güvenlik gibi birçok kalite özellikleri hakkında bilgi verir (Wu ve Sun, 2013). RGB renk alanı, HSV (renk tonu-canlılık-parlaklık) alanı, CIE Lab alanı ve CIE XYZ alanı gıdaların kalitesinin renk kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Müşterilerin satın alma kararını en çok etkileyen özelliklerin başında boyut ve şekil olup BGS de büyüklük olarak incelenmektedir. Boyutlara bağlı özellikler; kompaktlık, dış büyüklük, uzama, yuvarlaklık, uzunluk, genişlik, uzunluk/genişlik oranı, vb. olmakla birlikte, gıda endüstrisinin kalite kontrolünde uygulanan en popüler şekil özellikleri ise sınır kodlama, değişmez momentler ve Fourier tanımlayıcılarıdır (Zhang, 2014).

Renk niteliği olarak, doku, tarımsal ürün kalitesi değerlendirilmesi için dış kalite kontrol ve derecelendirme sistemlerinde sıkça kullanılan diğer önemli duyuşal kalite niteliğidir. Dört farklı doku türü vardır, örneğin istatistiksel doku, model tabanlı doku, yapısal doku ve dönüştürmeye dayalı doku özellikle meyve ve sebzelerin olgunluk ve şeker içeriği doku ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle doku, tüketicilerin meyve ve sebzelerin kalite değerlendirmesi için kullandıkları yaygın olarak kullanılan göstergelerden biridir. Gıda ürünleri incelenirken bu özellikler sırasıyla ele alınmıştır (Zheng ve Sun 2016).

#### Buğday

İklim istekleri bakımından dünyanın birçok ülkesinde yetiştirilebilen, tarımı kolay ve verimi yüksek olan buğday örneklerinin sınıflandırılmasında en geniş kullanım olanağını BGS bulmaktadır. Ekmeklik türün altı cinsinin danelerin doku, morfoloji ve renk özelliklerine göre ayrılmasında kullanılan bir araştırmada %86,48 doğrulukla ayırım sağlanırken, yapay sinir ağları (YSA) ile birlikte kullanıldığında ise doğruluk oranı artış göstererek %87,22 olmuştur (Pazoki ve Pazoki, 2011).

Fusarium türleri buğdaylarda kabuk hasarına ve verim kaybına yol açmaktadır. Fusarium türleri tarafından zarar görmüş tanelerin tespiti ve sınıflandırılması geleneksel yöntemlerle oldukça zahmetli, zaman alıcı ve genellikle tutarsız sonuçlar verirken RGB renk modelinin yanı sıra HSV renk modeli kullanıldığında doğruluk %85 düzeyine çıkmıştır (Jirsa ve Polišenská, 2011).

Buğday içerisinde bulunan arpa tanelerinin ayırt edilmesinde morfolojik özellikler, renk ve doku özelliklerinin hepsi dikkate alındığında, tek bir özellik kullanıldığı duruma göre çok daha yüksek oranda (%99'dan fazla) doğruluk payı ile bir sınıflandırma yapılabildiği bildirilmiştir (Guevara-Hernandez ve Gomez-Gil, 2011).

Buğdayda görülebilecek önemli bir diğer hasar ise özellikle hasat öncesi nemli koşulların yol açtığı filizlenmedir. Laboratuvarda filizlendirmenin yol açtığı hasarın derecesini belirlemek amacıyla, renk, tekstür, şekil ve boyut açısından değerlendirilmiş ve YSA ile modelleme ve değerlendirme yapılmıştır. 45 saniyelik süre içerisinde örnekler %72,8 doğrulukla hasarsız, hasarlı ve çok hasarlı olacak şekilde üç farklı grup altında sınıflandırılmıştır (Shrestha ve ark., 2016).

YSA ile birlikte kullanılan algoritma ile buğday ile buğday dışı diğer tahılların birbirinden etkin bir şekilde ayırt edilip sınıflandırılabilmiştir (Ebrahimi ve ark., 2014). Buğday kalitesi, buğdayın yabancı madde yüzdesi ile yakından ilişkilidir. Buğday tanelerinde, farklı türlere ait taneler, ergotlar, böcekler ve kemirgen ve diğer hayvanlara ait dışkılar gibi birçok yabancı madde ve biyokontaminantların belirlenmesi amacıyla da BGSnin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Hiperspektral görüntüleme sistemi ile ve yakın kızılötesi bölgesinde çalışıldığında hem kontamine buğday tanelerinin hem de yabancı maddelerin başarıyla tespit edilip sınıflandırılabilmesi görülmüştür (Ravikanth ve ark., 2015).

#### Pirinç

BGS'nin çok fazla araştırma ve uygulama alanı bulduğu diğer bir tahıl olan pirinç, renk özelliklerinin yanı sıra boyut ve şekil özellikleri açısından da iyi bir örnek teşkil etmektedir. Tayland'da yetişen on farklı pirinç çeşidi boyut ve beyazlık derecesi açısından BGS ile sınıflandırılmış ve ticari olarak uygulanan diğer yöntemlerle arasında yüksek bir korelasyon ( $R^2=0,99$ ) olduğu görülmüştür (Yadav ve Jindal, 2001). Pirinçte renk solması ve tebeşimsilik gibi kalite değerlendirilmesinde renk tonu, canlılık ve renk boşluğu değerleri dikkate alınan özelliklerdir. Jinrose ve ark. (2010) kurutma sırasında ve sonrasında pirinç örneklerinin renk, boyut ve yoğunluk açısından değerlendirilmesi amacıyla BGS ve yazılım programı olarak da MATLAB kullanmışlar ve çok değişkenli diskriminant analizi ile çeşitli kusurların belirlenmesinde bu tekniğin başarıyla kullanılabileceğini görmüşlerdir.

Pirinçlerde görülebilecek diğer bir kusur da nem oranı düşük pirinçlerin hızlı bir şekilde su absorpsiyonu sonucu oluşan çatlaklardır. Farklı boyutta (uzun, orta ve kısa) pirinçlerin yüksek bağıl nem ortamında oluşturduğu çatlaklar da farklı şekillerdedir. Pirinç beyazlatma makinelerinin etkinliğinin kontrolünde BGS ve bulanık mantık tekniklerinin hızı ve performansının insan gücüne göre %31,3 daha fazla olduğu, ayrıca söz konusu sistemlerin, istenen çalışma koşullarının saptanmasında %89,2 doğrulukta sonuç verdiği görülmüştür (Zareiforush ve ark., 2016).

Pirinç tanelerinin sınıflandırılmasında en/boy oranı önemli bir özellik olarak dikkate alınmaktadır. Pirinçler boyut açısından ticari olarak, "tam", "yarım" ve "kırık" olarak sınıflandırılıp piyasaya sunulmaktadır. BGSnin

pirinçlerin boyut olarak sınıflandırılmasında ve boyut açısından uygun olmayan taneciklerin standart boyutlu pirinçlerle karıştırılarak yapılan hilelerin tespitinde de etkin bir yöntem olarak kullanılabilirliği bildirilmiştir (Aggarwal ve Mohan, 2010). Yapılan bir araştırmada on geometrik özellik üzerinden değerlendirme yapılarak pirinç örnekleri %86 verimle üç farklı grup altında toplanarak sınıflandırılmıştır (Kaur ve Singh, 2013). En, boy uzunlukları temel alınarak BGS ile elde edilen görüntülerin MATLAB yazılım programı ile değerlendirilmesiyle Basmati pirinçleri uzun, orta ve kısa olacak şekilde başarıyla sınıflandırılabilmiştir (Kuchekar ve Yerigeri, 2018).

#### *Diğer Tahıllar ve Tohumlar*

Mısırdaki önemli bir kalite kriteri olan sertlik ve camsılık, monokrom video kamera ile elde edilen görüntülerin Global Lab Image yazılımıyla işlenmesi sonucu başarıyla tespit edilebilmiştir (Felker ve Paulis, 1993). Ayrıca sıcaklık, donma ve diğer hava koşulları, filizlenme, küf ve böcek yenisi gibi koşullardan mısırdaki görülebilecek şekil bozukluklarının belirlenmesinde BGS başarıyla kullanılmıştır. (Steenhoek ve ark., 2001). Benzer şekilde soya fasulyesi tohumlarında küf ve virüslerin yol açtığı kusurlar ile olgunluğunu tamamlamamış tanelerin saptanmasında RGB renk bazlı değerlendirme yapılmış ve asemptomatik taneler %97, farklı küf hasarlı taneler küf türüne bağlı olarak %30-83 aralığında ve virüs hasarlı taneler ise %81-87 doğrulukla tespit edilebilmiştir (Ahmad ve ark., 1999).

Kore’de yaygın olarak yetişen dört çeşit pirincin (normal, yapışkan, esmer, çeltik) ve karabuğdayın yanı sıra, normal ve yapışkan arpa örneklerini sınıflandırmak amacıyla elde edilen görüntüler yedi renk ve on morfolojik özellik dikkate alınarak lineer diskriminant analiz ile %90-100 doğruluk payı ile her bir ürün için sınıflandırılabilmiştir (Lee ve ark., 2011). Sert, yumuşak buğday ve arpa örneklerinin sınıflandırılmasında morfolojik özellikler, renk ve dalga boyu (farklı frekansta sinyaller) temel alınıp bulanık mantık ile değerlendirildiğinde sert buğdayda %98,7; yumuşak buğdayda %100 ve arpada %98,9 verimle sınıflandırma yapılmıştır (Douik ve Abdelloui, 2010). Arpaların kalitesinin saptanması ve sınıflandırılması amacıyla yapılan bir başka çalışmada, arpa yüzeyindeki buruşuk ve düzgün yüzeyler belirlenerek örnekler %93 doğrulukla sınıflandırılmıştır (Szczypliński ve Zapotoczny, 2012).

Çok küçük taneciklere sahip olduğu için türleri genellikle uzman kişilerce bile hatalı olarak sınıflandırılabilen kolza tohumlarının renk ve doku verileri işlenerek yedi farklı kolza türünün %99,24 başarıyla sınıflandırılabilirliği belirtilmiştir (Kurtuluş ve Ünal, 2015).

Ot tohumlarının sınıflandırılması üzerine yapılan bir çalışmada, görüntülerde işlenen boyut ve şekil özelliklerinin renk ve dokuya göre daha yüksek doğrulukla ayırtma ve sınıflandırmaya olanak tanıdığı görülmüştür (Granitto ve ark., 2002). BGS ile dört tip tohum örneğinin boyut, şekil ve renk özellikleri dikkate alınıp değerlendirme yapılmıştır. Küresel ve küresel olmayan şekil olarak iki gruba ayrılan örneklerin ortalama boyut ve boyut dağılımı da yüksek performansla değerlendirilmiştir (Shanin ve Symons, 2005).

#### *Meyve ve Sebzeler*

Meyve ve sebzelerin pazardaki değerini ve tüketici tarafından tercihini etkileyen en önemli özelliklerin renk, boyut, şekil, doku ve görünüş kusurları gibi dış özellikler ve bir dereceye kadar da iç özellikler olduğu vurgulanmaktadır. Çoğu zaman, mikroorganizmalarla kontamine olmuş örneklerin parti içerisindeki sağlam örnekleri de enfekte ederek bozulmalarına ve ekonomik kayıplara yol açtığı ve insan sağlığı üzerinde de olumsuz etkilere neden olduğu da bilinmektedir. Çok çeşitlilik gösteren meyve ve sebze ürünlerinin şekli, boyutu, içyapısı, rengi ve yüzey dokusu da geniş çapta çeşitlilik göstermektedir (Bhargava ve Bansal, 2018; Graves ve Barchelor, 2004).

Elma disklerinin kurutulması işleminin etkinliğinin fire, renk, doku açısından değerlendirildiği bir başka çalışmada, tüm morfolojik özelliklerin kurutmanın ilk altı-sekiz saati içerisinde düzenli bir şekilde değiştiği ancak renk homojenitesinin daha az olduğu bildirilmiştir. Örneklerde Öklid mesafesi üzerinden değerlendirme yapıldığında %95 doğrulukla etkin bir sınıflandırma yapılabildiği bildirilmiştir (Fernández ve ark., 2005). Portakal hacminin belirlenmesi amacıyla yapılan bir başka çalışmada, RGB değerleri MATLAB ile değerlendirilmiş ve konvansiyonel yöntemler ile karşılaştırıldığında %95 başarı ile portakal hacminin değerlendirildiği bildirilmiştir (Fellegari ve Navid, 2011).

Sıcak hava kurutucu içerisinde üzümün kurutulmasının kontrolünde kurutma modelinin saptanmasında en önemli özelliğin fire olduğu belirtilerek, YSA kullanılarak kurutma modeli  $R^2=0,99$  düzeyinde başarıyla değerlendirilmiştir (Khazaei ve ark., 2013).

BGSnin diğer tarım ürünlerinde olduğu gibi meyve sebze ürünlerinde de temel proseslerin takibinde etkin olarak kullanıldığına dair çalışmalar mevcuttur. Yüksek performanslı monokrom kamera ile muz disklerinin kurutma sırasında doku değişimi (Denes ve ark., 2013), Çin ağacı meyvesi ve manganon kurutma sırasında görünür bölge/yakın kızılötesi bölge kamera ile gözlenen kahverengileşme ve nem oranı başarıyla değerlendirilmiştir (Romano ve ark., 2012). Bu sistem kuruma sırasında nem oranı, fire, renk, boyut, şekil, toplam kuru madde, karotenoidler, C vitamini ve fenolik bileşik miktarlarındaki değişiminin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Raponi ve ark., 2017).

Çin’de çok tüketilen Misk kavununun kalite özellikleri ve çevre koşulları arasındaki ilişkiyi saptamak amacıyla meyvenin gelişim aşamalarında elde edilen görüntülerin MATLAB ile değerlendirildiği ve gelişim aşamaları ve kalite özellikleri arasındaki ilişkinin başarıyla ortaya konabildiği belirtilmiştir (Chang ve ark., 2018).

Temizkan (2017) beyaz nektarin meyvesinin depolama süresince kalite özellikleri üzerine ısılmayan muhafaza yöntemlerinin (ozon, ultrases, elektrolize su ve bu uygulamaların çeşitli kombinasyonları) üzerine etkileri incelemiştir. Araştırmada görüntü işleme tekniklerinin fizikokimyasal analiz bulgularını desteklediği gözlenmiş ve bu sistemin objektif ve hızlı bir yöntem olarak gıda endüstrisinde değerlendirilebileceğini vurgulamıştır.

Büyükcan (2016) tarafından taze kayısının raf ömrünün artırılması için yapılan çalışmada çeşitli yenilebilir film kaplamaları ve farklı ozon uygulamaları denenmiştir. Araştırmada görüntü analizleri ve FT-NIR spektrum analizlerinin olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Düzensiz bir şekilde sahip olan patates örneklerinin sınıflandırılmasında, saniyede 50 patates görüntüsünün, ağırlık, kesit çapı ve renk özellikleri temel alınarak yapılan değerlendirme ile %86,5 doğrulukla sınıflandırma yapılabilmektedir (Zhou ve ark., 1998). Patateslerde, uzunluk, genişlik, çevre uzunluğu, alan, ağırlık merkezi, atalet momenti gibi geometrik özellikler ve Fourier dönüşümleri dikkate alınarak hesaplandığında bant üzerinde hareket eden patateslerin %96,2 ve düzgün şekilde sahip patateslerin %100 doğrulukla sınıflandırılabilirdiği gözlenmiştir (ElMasry ve ark., 2012). Patatesin ağırlık ve şeklinin ölçülmesinin esas alındığı ve derinlik görüntülerinin işlendiği bir algoritma Su ve ark. (2017) tarafından geliştirilmiş, bu yöntemde derinlik görüntüleri elde edilmiş ve uzunluk, genişlik, kalınlık ve hacim de değerlendirilerek ağırlık tahmini yapılmıştır.

Velioglu (2010) araştırmasında görüntü işleme teknolojisi ve YSA kullanarak hamburger köftesi, domates salçası ve kuru incirin bazı kalite özellikleri belirlemiştir. Elde edilen veriler görüntü işleme teknolojisi, YSA ve cevap yüzeyi yönteminin gıda işletmelerinde başarı ile kullanılabilirdiğini göstermiştir.

Turşuluk hiyarlar toprağa düşme ve toplanıp yüklenme gibi mekanik darbelerle maruz kalacakları işlemleri takiben 0., 3. ve 6. günlerde yakın kızılötesi hiperspektral görüntüleme ve MATLAB ile değerlendirilmiştir. Araştırmada sağlam ve hasarlıların birbirinden ayırt edilmesi hedeflenmiştir. Zamanla sağlam ve hasarlı dokuların reflektansları arasındaki fark azaldığından dolayı altıncı günün sonunda ilk başta %95 olan doğruluk %75'e düşmüştür (Ariana ve ark., 2006). Ultraviyole ve halojen ışık kaynaklarının kullanıldığı hiperspektral görüntüleme yöntemi, acı biberde sıcaklık ve neme bağlı olarak, hasat öncesi ve sonrası oluşabilecek aflatoksinin tespitinde yüksek doğruluk göstermiştir (Ataş ve ark., 2012). Tarlak (2018) sodyum klorür çözeltisinin taze mantarların raf ömründeki etkisinin incelendiği çalışmada BGSnin sektörel kullanımında etkili bir kalite kontrol yöntemi olduğuna dikkat çekmiştir.

#### *Et ve Deniz Ürünleri*

Etlerdeki en önemli kalite özellikleri tazelik, yumuşaklık, sululuk, lezzet, mozaik yapı (kas içi yağlar), kas rengi, kemikleşme ve iskelet olgunluğudur (Tan, 2004; Jackman ve ark., 2011). İki hafta soğukta depolanan sığır ve at etlerinin renk değişimlerinden bir CCD kamera ile elde edilen görüntülerin RGB ve HSV modelleri kullanılarak temel bileşen analizi ile bozulma dereceleri ve soğuk depodaki bekletilme süresi saptanabilmiş ve sığır ve at eti birbirinden ayırt edilebilmiştir (Arsalane ve ark., 2017). Tazeliğin yanı sıra özellikle pişmiş etlerde sululuk ve gevrekliğin saptanmasında BGSnin etkin bir yöntem olduğu ifade edilmiştir (Li ve ark., 2001). Yine pişmiş sığır etlerinden elde edilen görüntülerin RGB renk modelinden CIELAB renk modeline dönüştürülüp dokusal özellikler seçilerek %92 gibi yüksek bir performansla etlerin gevrekliğinin değerlendirildiği görülmüştür (Jeyamkondan ve ark., 2001).

Hiperspektral görüntüleme sistemi taze etlerin gevrekliğini belirlemede sınırlı bir başarı göstermektedir (R=0,67) (Cluff ve ark., 2008). Taze ete göre daha sulu ve gevrek olan olgunlaştırılmış bonfilenin tespitinde (Firtha ve ark., 2014), görünür bölge/yakın kızılötesi spektrumu ve

hiperspektral görüntüleme sistemi ile etlerin gevrekliğinin tespitinin etkin bir şekilde yapılabildiği bildirilmiştir (Peng ve Wu, 2008).

BGS etlerdeki mozaik yapının, yani kas içine dağılmış yağın dağılımının derecelendirilmesinde de başarıyla kullanılmaktadır. Tropsombatboon ve ark. (2012), etlerdeki mozaik yapının derecelendirilmesinde doğruluk oranını artıran görüntü bazlı bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde rasgele seçilen bölümsel görüntüler çoklu eşikleme algoritmaları ile özellikle görüntü problemi olanlarda çok daha yüksek doğrulukla değerlendirilmiştir. Görüntü almada dengesiz ışık ve yansıyan ışığın etkisini azaltmak amacıyla benzer yapıya filtreleme esaslı mozaik yapı segmentasyon yöntemi kullanımının hata payını azalttığı görülmüştür (Pang ve ark., 2014).

Otsu eşikleme yönteminin sığır etinde yağ ve et görüntülerinin ayırt edilmesinde kullanıldığı bir başka çalışmada, karar ağacı algoritması ile birlikte geliştirilen sistem bir android telefona yüklenmiş ve et örneklerinin mozaik yapısı %84-90 başarı ile belirlenebilmiştir (Adi ve ark., 2017).

Farklı et türlerinin birbirinden ayırt edilmesinde BGSnin etkili bir şekilde kullanımı, et ürünlerine yapılan hilelerin belirlenmesinde de kullanımının önemli veriler sağlayabileceği görüşünü ortaya çıkarmıştır.

Ropodi (2017) tarafından yapılan doktora tez çalışmasında, farklı bir türe ait daha ucuz bir et ile hileye uygun olan dana kıyma örneklerinin kalitesini, domuz ve at eti katkısı olup olmadığını, ayrıca kıymanın daha önce dondurulup çözündürülme durumunu belirlemek amacıyla multispektral görüntüleme ve Fourier transform kızılötesi spektroskopisi yöntemleri uygulanmıştır. Multispektral görüntüleme yöntemi hilelerin ve dondurulup çözündürülmüş örneklerin belirlenmesinde %100 performans gösterirken, Fourier transform kızılötesi yöntemiyle %93,3-%96,7 doğrulukla sınıflandırma yapılabilmektedir.

Kanatlı etlerinde önemli bir sorun olan fekal kontaminasyonun belirlenmesinde, Amerikan Tarım Dairesi, Tarım Araştırmaları Bölümü tarafından geliştirilen hiperspektral görüntüleme sistemi, 400-1000 nm aralığında yansıtılan ışık enerjisinin yoğunluğunu ölçecek şekilde tasarlanmış ve kanatlı karkaslarında 517 ve 565 nm dalga boyunda fekal kontaminantların %99 performansla saptanabildiği belirtilmiştir (Heitschmidt ve ark., 2007). Yine tavuk derisinde bulunabilecek tümörleri belirlemede hem spektral hem konumsal boyutu bir arada değerlendiren hiperspektral floresans görüntüleme sistemi kullanılmıştır. Söz konusu yöntem, tavuklardaki tümörlerin tespitinde %76 oranında başarılı olmuştur (Kim ve ark., 2004).

Sığır etlerinin soğuk depolama sırasında tazelik derecelerinin değerlendirilmesinde destek vektör makinesi ve temel bileşen analizi algoritmaları MATLAB ile aynı düzeyde performans göstermiş ve etler tazelik açısından destek vektör makinesi ile %100 başarıyla sınıflandırılmıştır (Arsalane ve ark., 2018).

Fourier transform yakın kızılötesi spektroskopisi yönteminin uygun kemometrik yöntemlerle kombine olarak kullanıldığında, taze, dondurulup çözündürülmüş ve pişmiş dana kıyma örneklerine hindi eti katılıp katılmadığının belirlenmesinde de yüksek oranda doğrulukla sonuç vermiştir (Alamprese ve ark., 2013).

Domuz etlerinde tazelik derecesinin en önemli göstergesi uçucu azot içeriğidir. Farklı tazelik derecesine sahip domuz eti örneklerinde yakın kızılötesi spektroskopisi, bilgisayarlı görüntüleme ve elektronik burun teknikleri kombine halde kullanıldığında  $R^2= 0,9527$  korelasyon katsayısı ile uçucu azot miktarının saptanabildiği görülmüştür (Huang ve ark., 2014).

Deniz ürünlerinin en çok tüketilen ürünü olan balıkların sınıflandırılmasında ve balık türlerinin birbirinden ayırt edilip tanımlanmasında en, boy, çevre uzunluğu, gövde çapı, alan, kalınlık, hacim, ağırlık, sıklık ve yuvarlaklık gibi fiziksel özellikler dikkate alınmaktadır (Dowlati ve ark., 2012). BGS üç farklı balık türünün tanımlanmasında, üstelik balıklar canlı halde ve akvaryumda yüzerken uygulanmıştır. Balıkların geometrik özellikleri dikkate alınarak bir algoritma ile değerlendirilmiş ve balık türleri %91, %91 ve %100 doğrulukla tanımlanabilmiştir (Zion ve ark., 2000). Yedi farklı balık türünün tanımlanmasında "CatchMeter" adı verilen bir prototip BGS geliştirilerek bir taşıyıcı bant üzerindeki balıklar %99,8 gibi yüksek bir performansla sınıflandırılmıştır (White ve ark., 2006).

Atlantik somonunun kalite sınıflandırılmasında boyut ve şekil özellikleri değerlendirilerek BGSnin basit bir algoritma ile birlikte hızlı ve güçlü bir yöntem olduğu sonucuna varılmış (Misimi ve ark., 2008), geometrik özelliklerinin yanı sıra üç boyutlu kamera ile renk değerlendirilmesi yapıldığında Norveç somonlarındaki şekil bozuklukları ve yaralanmalar sırasıyla %86 ve %89 doğrulukla tespit edilebilmiştir (Sture ve ark., 2016).

#### *Peynir ve Yoğurt*

BGS uzun yıllardır gıda alanında kullanılmakla birlikte, süt ürünleri üzerinde yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olup, daha çok peynirde kullanımına ilişkin çalışmalara rastlanmıştır. Peynirlerin dilim boyutları ve kalınlıkları ile erime özellikleri ve yağ ayrılması arasındaki ilişki ve sıcaklık ile yağ ayrılması arasındaki ilişki de ortaya konmuştur (Wang ve Sun, 2002; Wang ve Sun, 2004a; Wang ve Sun, 2004b).

Mozzarella peynirlerinde, hem görsel olarak önemli etkisi olan hem de peynirlerin erime özelliklerini doğrudan etkileyen dilimlenme özelliklerinin değerlendirilmesinde X-Y kaydırma algoritması önerilmiştir. Peynir dilimlerinin boyutlarının %95 doğrulukla saptanabildiği ve serbest akış ve matlaşma derecelerinin peynir dilimlerinin değerlendirmesinde iki önemli indeks olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir (Ni ve Gunasekaran, 2004).

Yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi ve RGB renk kamerası ile görüntüleme tekniklerinin, peynirlerin olgunluk derecesi ve duysal özellikleri açısından sınıflandırılmasında başarıyla kullanıldığı bildirilmiştir. Ayrıca, süt ürünlerinde süt yağı globüllerinin boyut ve dağılımındaki değişimlere bağlı olarak ışık yansıtma derecesi değiştiği için hiperspektral görüntüleme ile peynir üretim hattında işlem kontrolü de gerçekleştirilebilmektedir (Gowen ve ark., 2009).

Sofu 2006 tarafından yoğurtlar ile ilgili olarak yapılan çalışmada yoğurtta renk analizi BGS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YSA modelinde bu verilerle birlikte, pH, toplam mikroorganizma, maya küf, koliform değerleri de parametre olarak kullanılmıştır. Araştırmada yoğurt için raf ömrü süre tahmin modeli geliştirilmiş ve determinasyon katsayısı oldukça yüksek bir değer ( $R^2= 0,9996$ ) olarak bulunmuştur.

#### *Yumurta*

Yumurtaların kalite özelliklerinin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında genel olarak dikkate alınan kriterler, yumurtanın boyutu, ağırlığı, kabuk hasarları, kabuk kirliliği ve kan lekeleridir. Dış yüzeyde gerçekleşen kabuk çatlaklarının ve kirlerin BGS ile en kolay belirlenen özellikler olduğu belirtilmiştir (Arivazhagan ve ark., 2013). BGS ile elde edilen görüntüler bulanık mantık algoritması ile değerlendirildiğinde, yumurtaların boyutu ve kanlı nokta kusuru ve kabukta çatlak ve kırık gibi kusurlar temel alınarak yumurtaların yüksek performansla sınıflandırılabilirdiği görülmüştür.

Çeşitli araştırmacılar tarafından yumurtalardan elde edilen görüntülerde en, boy, çevre uzunluğu, büyük eksen uzunluğu ve alan ölçümleri yapılmıştır. Örneklerde boyut ve ağırlık, kabukta çatlak, kırık, kanlı nokta varlığı ve kabuk kirliliği açısından %85-98 aralığında bir doğrulukla sınıflandırma yapılabilmektedir (Alikhanov ve ark., 2015; Dehrouyeh ve ark., 2010; Javadikia ve ark., 2011; Omid ve ark., 2013; Patel ve ark., 1998).

Yumurta kabuğunda gözle tespit edilemeyen mikro çatlakların tespiti amacıyla yapılan çalışmalarda bir vakum odasında 18kPa (Li ve ark., 2012) ve 690kPa (Lawrence ve ark., 2009) basınç uygulanarak mikro çatlakların açılıp daha kolay tespiti sağlanmış ve yumurtalardan CCD kamera ile elde edilen görüntüler uygun algoritmalar ile değerlendirildiğinde, her iki çalışmada sırasıyla %100 ve %99,6 doğrulukla sınıflandırılma yapılabilmektedir. Yumurtanın boyutunu (uzunluk, genişlik, hava hücresi yüksekliği) elde etmek ve Narushin denklemi ile yumurta hacmini hesaplamak için Talb 2018 tarafından bir görüntü izleme yöntemi geliştirilmiştir. Çalışmada BGS nin manuel yönetime yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

#### *Diğer Ürünler*

Damla çikolatalı bisküvilerin boyut, şekil, pişmiş hamur rengi ve yüzey çatlakları gibi fiziksel özellikleri dijital görüntüleme sonrası, iki farklı Mamdani, bir Sugeno ve bir sinir ağı olmak üzere dört farklı bulanık mantık algoritması ile değerlendirildiğinde, özellikle bir Mamdani (ModelM-cent) ve ANFIS sinir ağı ile elde edilen sonuçların tüketici tercihleriyle yüksek oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür (Davidson ve ark., 2001).

Pizzaların tabanı, sosu ve üst malzemelerinin sınıflandırılmasının insan tarafından son derece hataya açık olduğu, ancak BGS ve destek vektör makinesi algoritması yöntemleri kullanılarak değerlendirildiğinde, pizza tabanının %88,33-89,17; sosunun %87,5 ve üst malzemelerinin %80-80,83 doğrulukla saptanabildiği belirtilmiştir (Du ve Sun, 2008).

Bisküvi ve diğer bazı fırıncılık ürünlerinde en çok kontrol edilmesi gereken kusurlardan biri de yüzeyde oluşabilecek çatlaklardır. Ancak bisküvilerden alınacak görüntülerde çeşitli renk, doku ve zeminde düzensizliklerin varlığı nedeniyle çatlakların tespiti pek de kolay olmamaktadır. Nashat ve ark. (2014) tarafından önerilen yöntemde, bir CCD kamera ile elde edilen üç boyutlu görüntüde, yüzeydeki çatlak ve zemin arasındaki ilişkiyi belirlemek için renkli görüntü farklı renk düzlemlerine ayrıştırılmıştır. Ayrıca gürültüyü azaltmak için Laplas metodu kullanılmış, gürültülü görüntüden çatlakları ayırtmak için ise çifte eşikleme yöntemi kullanılmıştır. Piramit destek vektör makinesi algoritması ile %97'den yüksek doğrulukla yüzeydeki çatlaklar saptanabilmiştir.



Özcan (2008) tarafından hızlı görüntüleme sistemi kullanılarak kırmızı pul biberde aflatoksin kontaminasyonu bölgesel özellikler kullanılarak %92,8 ve genel özellikler kullanılarak %72,7 oranında saptanabilmektedir.

Kimyon ve rezene tohumlarının kalite özelliklerinin belirlenmesinde, küçük eksen uzunluğu, büyük eksen uzunluğu ve tohum alanı dikkate alınarak örnekler iyi ve kötü kalite olacak şekilde sınıflandırılmışlardır (Parmar ve ark., 2011). Farklı renk ve aromasıyla dünyanın en pahalı baharatlarından biri olan safranın tazeliğinin ve coğrafik orijininin saptanmasında, BGS'nin uygun algoritmalar kullanılarak başarıyla kullanılabilen güvenilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Kiani ve Minaei, 2016).

Balların çiçek orijini ve toplam fenolik ve flavonoid içeriği, toplam antioksidan aktivitesi ve iz element miktarı gibi kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde BGS'nin özellikle elektronik dil ve elektronik burun yöntemleriyle birlikte kullanıldığında son derece etkin bir yöntem olduğu ve güvenilir sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Shafiee ve ark., 2013).

Çaylarda görünüş, aroma ve kalite özelliklerinin belirlenmesinde, BGS ve elektronik burun tekniğinin bir arada kullanılıp sınıflandırma modelinde K-En yakın komşu, destek vektör makinesi, çok terimli lojistik regresyon algoritmaları kullanılmıştır. Destek vektör makinesi kullanıldığında çayların %100 doğrulukla sınıflandırıldığı görülmüştür (Xu ve ark., 2019).

BGS'nin gıdalarda kullanımı üzerine çalışmalar incelendiğinde, daha çok katı ham ve işlenmiş gıdalar üzerinde yoğunlaşığı dikkati çekmektedir. Ancak, az sayıda da olsa süt, yağ, yoğurt gibi sıvı ve yarı katı gıda örneklerinde de söz konusu yöntemin başarılı sonuçlar verdiğini bildiren çalışmalar mevcuttur (Baiano, 2017).

Sıvı yemeklik yağlarda yapılan çalışmalar; depolama sırasında zeytinyağlarında oksidasyon düzeyinin farklı YSA algoritmaları ile belirlenmesi (%100 doğruluk) (Sanaeifar ve ark., 2018), yemeklik sıvı yağ ile atık kızartma yağının spektral özellikleri temel alınarak başarıyla ayırt edilerek 22 gruba sınıflandırılması (Guo ve ark., 2014), susam yağı varyetelerinin kızılötesi hiperspektral görüntüleme yöntemi ve en küçük kare-destek vektör makinesi ve lineer diskriminant algoritmaları ile başarıyla tespit edilebilmesi (sırasıyla %95,59 ve %98,53 doğrulukla) olarak özetlenebilir (Xie ve ark., 2014).

Süt ve yoğurt örneklerinin mikro-yapısının ışık saçınım özellikleri üzerindeki etkisinden yola çıkılarak, tıpkı peynirde olduğu gibi, farklı yağ oranlarına sahip süt ve yoğurt örneklerinin karakterizasyonunda 470-1020nm dalga boyu aralığında hiperspektral görüntüleme ve dağınık reflektans yöntemleri ile çalışılmış ve optik özellikler belirlenmiştir. Bu optik özellikler, özellikle fermente süt ürünlerinde farklı olan ilk ve son mikro-yapıya göre değiştiği için bu ürünlerin üretimi ve takibi açısından önemli veriler sağladığı sonucu ortaya çıkmaktadır (Abilgaard ve ark., 2015).

## Sonuç

Gıda ürünlerinde görsel kalitenin tüketim yerlerinde günümüz tüketicisinin alışveriş tercihlerine etki ettiği herkes tarafından bilinen bir durumdur. Ürünün dikkat çekiciliği, doğal/yapay görünümü, taze/bayat olması gibi özellikler gıdalarda görüntü/kalite ilişkisi açısından

tüketicilerin satın alma kararını etkileyen etmenler olarak öne çıkmaktadır. Üretici açısından bakıldığında ise görüntü/kalite ilişkisinin uygun hammadde seçimi ve ürünün fiyatlandırılması üzerinde etkili olduğu dikkat çekmektedir. Bilgisayarlı Görüntüleme Sistemi (BGS) 'nin tarım ve gıda alanında kullanımı giderek artmaktadır. Genel olarak söz konusu sistem; sektörde gıda maddelerinin renk yoğunluğu/dağılımı, gıdanın görünen kusurları, boyutları ve şekli gibi görsel özellikleri yanısıra mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesi açısından da kullanım alanı bulmaktadır. Küresel pazarın üretimle ilgili her türlü enstrümanının akıllı sistemler tarafından yönlendirildiği bir dünyada kalite anlayışının da aynı şekilde değişime uğraması kaçınılmaz bir durumdur. Bu bağlamda gıda endüstrisinde hammaddeden son ürüne kadar giden üretim serüveninin çıktısı olan gıdalarda kalite olgusunun en verimli şekilde kontrol edilmesi yolunda bilgisayarlı görüntüleme sisteminin çok yönlü katkısı ve başarısı yadsınamaz bir gerçeklikle önümüzde durmaktadır.

## References/Kaynaklar

- Abildgaard OHA, Kamran F, Dahl AB, Skytte JL, Nielsen FD, Thomsen CL, Andersen PE, Larsen R, Frisvad JR. 2015. Non-invasive assessment of dairy products using spatially resolved diffuse reflectance spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 69(9): 1096-1105. DOI:10.1366/2F14-07529
- Adi K, Pujiyanto S, Nurhayati OD, Pamungkas A. 2017. Beef quality identification using thresholding method and decision tree classification based on android smartphone. *J Food Quality*, 2017,1-10. DOI:10.1155/2017/1674718
- Aggarwal AK, Mohan R. 2010. Aspect ratio analysis using image processing for rice grain quality. *Int J Food Eng.*, 6 (5): 1-14. DOI:10.2202/1556-3758.1788
- Ahmad IS, Reid JF, Paulsen MR, Sinclair JB. 1999. Color classifier for symptomatic soybean seeds using image processing. *Plant Disease*, 83(4): 320-327. Ahmad, I. S., Reid, J. F., Paulsen, M. R., & Sinclair, J. B. (1999). Color Classifier for Symptomatic Soybean Seeds Using Image Processing. *Plant Disease*, 83(4), 320-327. DOI:10.1094/pdis.1999.83.4.320
- Alamprese C, Casale M, Sinelli L, Lanteri S, Casiraghi E. 2013. Detection of minced beef adulteration with turkey meat by UV-vis, NIR and MIR spectroscopy. *LWT-Food Sci Technol.*, 53(1): 225-232. DOI:10.1016/j.lwt.2013.01.027
- Alikhanov D, Penchev S, Georgieva T, Moldajanov A, Shynybay Z, Daskalov P. 2015. Indirect method for egg weight measurement using image processing. *Int J Emerging Technol Advanced Eng.*, 5 (11): 30-34.
- Ariana DP, Lu R, Guyer DE. 2006. Near-infrared hyperspectral reflectance imaging for detection of bruises on pickling cucumbers. *Computers Electronics Agric.*, 53: 60-70. DOI:10.1016/j.compag.2006.04.001
- Arivazhagan S, Shebiah RN, Sudharsan N, Kannan RR, Ramesh, R. 2013. External and internal defect detection of egg using machine vision. *J Emerging Trends Computing Information Sci.*, 4(3): 257-262.
- Arsalane A, El Babri N, Rhofir K N, Tabyaoui A, Klilou A. 2017. Beef and horse meat discrimination and storage time classification using a portable device based on DSP and PCA method. *Int J Intelligent Enterprise*, 4: 60-74. DOI:10.1504/IJIE.2017.087005
- Arsalane A, El Babri N, Tabyaoui A, Klilou A, Rhofir K, Halimi A. 2018. An embedded system based on DSP platform and PCA-SVM algorithms for rapid beef meat freshness prediction and identification. *Computers Electronics Agric.*, 152: 385-392. DOI:10.1016/j.compag.2018.07.031



- Ataş M, Yardımcı Y, Temizel A. 2012. A new approach to aflatoxin detection in chili pepper by machine vision. *Computers Electronics Agric.*, 87: 129–141. DOI:10.1016/j.compag.2012.06.001
- Baiano A. 2017. Applications of hyperspectral imaging for quality assessment of liquid based and semi-liquid food products: A review. *J Food Eng.*, 214: 10-15. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2017.06.012
- Bhargava A, Bansal A. 2018. Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review. *J King Saud University – Computer Information Sci.*, DOI:10.1016/j.jksuci.2018.06.002
- Büyükcan MB. 2016. Assessing and maintaining quality features of fresh apricots with non-thermal methods and processing with digital imaging. Çanakkale Onsekiz Mart University, Food Engineering. Ph D thesis. 110p.
- Calvo H, Moreno-Armendáriz MA, Godoy-Calderón S. 2016. A practical framework for automatic food products classification using computer vision and inductive characterization. *Neurocomputing*, 175: 911-923. DOI:10.1016/j.neucom.2015.06.095
- Chang LY, He SP, Liu Q, Xiang JL, Huang DF. 2018. Quantifying muskmelon fruit attributes with A-TEP-based model and machine vision measurement. *J Integrative Agric.*, 17(6): 1369–1379. DOI:10.1016/S2095-3119(18)61912-4
- Chen YR, Chao K, Kim MS. 2002. Machine vision technology for agricultural applications. *Computers Electronics Agric.*, 36: 173-191. DOI: 10.1016/S0168-1699(02)00100-X
- Cluff K, Nagathan GK, Subbiah J, Lu R, Calkins CR, Samal A. 2008. Optical scattering in beef steak to predict tenderness using hyperspectral imaging in the VIS-NIR region. *Sens. & Instrumen. Food Quality*, 2: 189–196. DOI:10.1007/s11694-008-9052-2
- Costa C, Antonucci F, Pallottino F, Aguzzi J, Sun DW, Menesatti P. 2011. Shape analysis of agricultural products: A review of recent research advances and potential application to computer vision. *Food Bioprocess Technol.*, 4: 673-692. DOI:10.1007/s11947-011-0556-0
- Davidson VJ, Ryks J, Chu T. 2001. Fuzzy models to predict consumer ratings for biscuits based on digital image features. *Ieee Transactions On Fuzzy Systems*, 9 (1): 62-67. DOI:10.1109/91.917115
- Davies ER. 2009. The application of machine vision to food and agriculture: A review. *Imaging Sci J.*, 57 (4): 197-217. DOI:10.1179/174313109X454756
- Dehrouyeh MH, Omid M, Ahmadi H, Mohtasebi SS, Jamzad M, Omid M. 2010. Grading and quality inspection of defected eggs using machine vision. *Int J Advanced Sci Technol.*, 17: 23-30.
- Dénes DL, Parrag V, Felföldi J, Baranyai L. 2013. Influence of parameters of drying on laser induced diffuse reflectance of banana discs. *J Food Physics*, 26: 11-16.
- Di Rosa AR, Leone F, Cheli F, Chiofalo V. 2017. Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment-A review. *J Food Eng.*, 210: 62-75. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2017.04.024
- Douik A, Abdellaoui M. 2010. Cereal grain classification by optimal features and intelligent classifiers. *Int J Computers, Communications & Control*, 4: 506-516. DOI:10.15837/ijccc.2010.4.2508
- Dowlati M, Mohtasebi JJ, de la Guardia M. 2012. Application of machine-vision techniques to fish-quality assessment. *Trends Anal Chem.*, 40: 168-179. DOI:10.1016/j.trac.2012.07.011
- Du CJ, Sun DW. 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends Food Sci Technol.*, 15(5): 230-249. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2004.11.017
- Du CJ, Sun DW. 2008. Multi-classification of pizza using computer vision and support vector machine. *J Food Eng.*, 86: 234–242. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2007.10.001
- Ebrahimi E, Mollazade K, Babaei S. 2014. Toward an automatic whey purity measuring device: A machine vision based neural networks assisted imperialist competitive algorithm approach. *Measurement*, 55: 196-205. DOI:10.1016/j.measurement.2014.05.003
- ElMasry G, Cubero S, Molto E, Blasco J. 2012. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *J Food Eng.*, 112: 60–68. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2012.03.027
- Fellegari R, Navid, H. 2011. Determining the orange volume using image processing, International Conference on Food Engineering and Biotechnology, Singapore, Int Conference Food Eng Biotechnology, IACSIT Press: 180-184.
- Felker FC, Paulis JW. 1993. Quantitative estimation of corn endosperm vitreosity by video image analysis. *Cereal Chem.*, 70 (6): 685-689.
- Fernández L, Castellero C, Aguilera M. 2005. An application of image analysis of dehydration of apple discs. *J Food Eng.*, 67: 185–193. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2004.05.070
- Firtha F, Jasper A, Friedrich L, Felföldi J. 2014. Hyperspectral Qualification of Aged Beef Sirloin, International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 6 p.
- Gowen AA, O'Donnell CP, Cullen PJ, Bell SEJ. 2008. Recent applications of chemical imaging to pharmaceutical process monitoring and quality control. *Eur J Pharmaceutics Biophar.*, 69: 10–22. DOI:10.1016/j.ejpb.2007.10.013
- Gowen AA, Burger J, O'Callaghan D, O'Donnell CP. 2009. Potential applications of HSI for quality control in dairy foods. 1st International Workshop on Computer Image Analysis in Agriculture, Potsdam, Germany, p: 65-81.
- Granitto PM, Navone HD, Verdes PF, Ceccatto HA. 2002. Weed seeds identification by machine vision. *Computers Electronics Agric.*, 33 (2): 91-103. DOI:10.1016/S0168-1699(02)00004-2
- Graves M, Batchelor B. 2004. Machine Vision for the Inspection of Natural Products. Eds. Mark Graves and Bruce Batchelor. 2nd Edition. Springer, New York. 471 p.
- Guevara-Hernandez F, Gomez-Gil J. 2011. A machine vision system for classification of wheat and barley grain kernels. *Spanish J Agric Res.*, 9 (3): 672-680. DOI:10.5424/sjar/20110903-140-10
- Guo Y, Ding H, Xu J, Xu H. 2014. Clustering analysis based on hyperspectral DN values of waste oil. *Remote Sensing for Land and Resources*, 26: 37-41.
- Hambali H, Abdullah SLS, Jamil N, Harun H. 2016. Intelligent segmentation of fruit images using an integrated thresholding and adaptive K-means method (TsNKM). *Jurnal Teknologi*, 78 (6-5): 13-20. DOI:10.11113/jt.v78.8993
- Heitschmidt GW, Park B, Lawrence KC, Windham WR, Smith DP. 2007. Improved hyperspectral imaging system for fecal detection on poultry carcasses. *Transactions of the ASABE*, 50(4): 1427-1432.
- Huang L, Zhao J, Chen Q, Zhang Y. 2014. Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in pork meat by integrating near infrared spectroscopy, computer vision and electronic nose techniques. *Food Chem.*, 45: 228-236. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.06.073
- Jackman P, Sun DW, Allen P. 2011. Recent advances in the use of computer vision technology in the quality assessment of fresh meats. *Trends Food Sci Technol.*, 22: 185-197. DOI:10.1016/j.tifs.2011.01.008
- Javadikia P, Dehrouyeh MH, Naderloo L, Rabbani H, Lorestani AN. 2011. Measuring the Weight of Egg with Image Processing and ANFIS Model. International Conference Swarm, Evolutionary and Memetic Computing. SEMCCO 2011, Proceedings part I. 407-416. DOI:10.1007/978-3-642-27172-4\_50
- Jeyamkondan S, Kranzler SA, Lakshmikanth A. 2001. Predicting Beef Tenderness with Computer Vision. 2001 ASAE Annual International Meeting, Paper number: 01-3063. DOI:10.13031/2013.7319

- Jinorose M, Prachayawarakorn S, Soponronnarit S. 2010. Development of a computer vision system and novel evaluation criteria to characterize color and appearance of rice. *Drying Technol.*, 28: 1118-1124. DOI:10.1080/07373937.2010.506174
- Jirsa O, Poliřenská I. 2011. Identification of *Fusarium* damaged wheat kernels using image analysis. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 54 (5): 125-130.
- Kamruzzaman M, Sun DW. 2016. Introduction to hyperspectral imaging technology, *Computer Vision Technology For Food Industry*, Ed. D.W.Sun, 2nd Ed., Academic Press, 658 p.
- Kaur H, Singh B. 2013. Classification and grading rice using multi-class SVM, *Int J Sci Res Publications*, 3 (4): 1-5.
- Khazaei NB, Tavakoli T, Ghassemian H, Khoshtaghaza MH, Banakar A. 2013. Applied machine vision and artificial neural network for modeling and controlling of the grape drying process. *Computers Electronics Agric.*, 98: 205–213. DOI:10.1016/j.compag.2013.08.010
- Kiani S, Minaei S. 2016. Potential application of machine vision technology to saffron (*Crocus sativus* L.) quality characterization. *Food Chem.*, 212: 392–394. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.04.132
- Kim I, Kim MS, Chen YR, Kong SG. 2004. Detection of skin tumors on chicken carcasses using hyperspectral fluorescence imaging. *Transactions of the ASAE*, 47(5): 1785–1792. DOI:10.13031/2013.17595
- Kuchekar NA, Yerigeri VV. 2018. Rice grain quality grading using digital image processing techniques. *IOSR J Electronics Communication Eng.*, 13 (3): 84-88. DOI:10.9790/2834-1303018488
- Kurtulmuş F, Ünal H. 2015. Discriminating rapeseed varieties using computer vision and machine learning. *Expert Systems with Applications*, 42: 1880–1891. DOI:10.1016/j.eswa.2014.10.003
- Lawrence KC, Yoon SC, Jones DR, Heidschmidt GW, Park B, Windham, WR. 2009. Modified pressure system for imaging egg cracks. *Transactions of the ASAE*, 52 (3): 983-990. DOI:10.13031/2013.27382
- Lee CY, Yan L, Wang T, Lee SR, Park CW. 2011. Intelligent classification methods of grain kernels using computer vision analysis. *Measurement Sci Technol.*, 22: 1-6. DOI:10.1088/0957-0233/22/6/064006
- Li J, Tan J, Shatadal P. 2001. Classification of tough and tender beef by image texture analysis. *Meat Sci.*, 57: 341-346. DOI:10.1016/S0309-1740(00)00105-4
- Li Y, Dhakal S, Peng Y. 2012. A machine vision system for identification of micro-crack in egg shell. *J Food Eng.*, 109: 127–134. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2011.09.024
- Lorente D, Gómez J, Aleixos N, Cubero S, García OL, Serrano A, Soria E, Blasco J. 2013. Selection of optimal wavelength features for decay detection in citrus fruit using the ROC curve and neural networks. *Food Bioprocess Technol.*, 6(2): 530-541. DOI:10.1007/s11947-011-0737-x
- Lu R, Peng Y. 2006. Hyperspectral scattering for assessing peach fruit firmness. *Biosystems Eng.*, 93 (2): 161– 171. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2005.11.004
- Misimi E, Erikson U, Skavhaug A. 2008. Quality grading of Atlantic salmon (*Salmo salar*) by computer vision. *J Food Sci.*, 73 (5): E211. DOI:10.1111/j.1750-3841.2008.00779.x
- Nashat S, Abdullah A, Abdullah MZ. 2014. Machine vision for crack inspection of biscuits featuring pyramid detection scheme. *J Food Eng.*, 120:233–247. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2013.08.006
- Ni H, Gunasekaran S. 2004. Image processing algorithm for cheese shred evaluation. *J Food Eng.*, 61: 37-45. DOI:10.1016/S0260-8774(03)00186-9
- Nicolai BM, Lotze E, Peirs A, Scheerlinck N, Theron KI. 2006. Non-destructive measurement of bitter pit in apple fruit using NIR hyperspectral imaging. *Postharvest Biology Technol.*, 40 (1):1–6. DOI:10.1016/j.postharvbio.2005.12.006
- Omid M, Soltani M, Dehrouyeh MH, Mohtasebi SS, Ahmadi H. 2013. An expert egg grading system based on machine vision and artificial intelligence techniques. *J Food Eng.*, 118: 70-77. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2013.03.019
- Özcan M. 2008. Tahribatsız ve hızlı yöntemlerle kırmızıbiber ve fındıkta kalite kontrolü. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Isparta. 83s.
- Pang B, Sun X, Liu D, Chen K. 2014. Beef marbling image segmentation based on homomorphic filtering. *J Multimedia*, 9 (2): 189-195. DOI:10.4304/jmm.9.2.189-195
- Parmar RR, Jain KR, Modi CK. 2011. Unified approach in food quality evaluation using machine vision. *International Conference on Advances in Computing and Communications*, 192: 239-248. DOI:10.1007/978-3-642-22720-2\_24
- Patel VC, McClendon RW, Goodrum JW. 1998. Color computer vision and artificial neural networks for the detection of defects in poultry eggs. *Artificial Intelligence Review*, 12: 163-176. DOI:10.1023/A:1006509010816
- Patel KK, Kar A, Jha SN, Khan MA. 2012. Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products. *J Food Sci Technol.,-Mysore*, 49 (2): 123-141. DOI:10.1007/s13197-011-0321-4
- Patricio DI, Rieder R. 2018. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers Electronics Agric.*, 153: 69-81. DOI:10.1016/j.compag.2018.08.001
- Pazoki A, Pazoki Z. 2011. Classification system for rain fed wheat grain cultivars using artificial neural network. *African J Biotechnol.*, 10 (41): 8031-8038. DOI:10.5897/AJB11.488
- Peng Y, Wu J. 2008. Hyperspectral scattering profiles for prediction of beef tenderness. *ASABE Annual International Meeting*, RI, Paper No. 080004. DOI:10.13031/2013.25019
- Raponi F, Moscetti R, Monarca D, Colantoni A, Massantini R. 2017. Monitoring and optimization of the process of drying fruits and vegetables using computer vision: A review. *Sustainability*, 9: 1-27. DOI://10.3390/su9112009
- Ravikanth L, Singh CB, Jayas DS, White NDG. 2015. Classification of contaminants from wheat using near-infrared hyperspectral imaging. *Biosystem Eng.*, 135: 73-86. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2015.04.007
- Romano G, Nagle M, Müller J. 2012. Monitoring physical parameters of tropical fruits during drying by application of laser light in the VIS/NIR spectrum, *International Conference of Agricultural Engineering*, Valencia. 1-6.
- Ropodi AI. 2017. Determination of minced meat quality using machine learning. *Agricultural University of Athens*. PhD Thesis. 259 p.
- Sanaeifar A, Jafari A, Golmakani MT. 2018. Fusion of dielectric spectroscopy and computer vision for quality characterization of olive oil during storage. *Computers Electronics Agric.*, 145: 142–152. DOI:10.1016/j.compag.2017.12.035
- Shafiee F, Minaei S, Moghaddam-Charkari N, Ghasemi-Varnamkhasti M, Bargezar M. 2013. Potential application of machine vision to honey characterization. *Trends Food Sci Technol.*, 30: 174-177. DOI:10.1016/j.tifs.2012.12.004
- Shanin MA, Symons SJ. 2005. Seed sizing from images of non-singulated grain samples. *Canadian Biosystems Eng.*, 47: 49-55.
- Shrestha B, Kang YM, Yu D, Baik OD. 2016. A two-camera machine vision approach to separating and identifying laboratory sprouted wheat kernels. *Biosystems Eng.*, 147: 265-273. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2016.04.008
- Sofu AB. 2006. Yoğurtların depolama esnasında mikrobiyal ve kimyasal değişimlerinin bilgisayarlı görüntüleme sistemiyle belirlenmesi ve elde edilen verilerin yapay sinir ağlarıyla değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. 98s.

- Steenhoek LW, Misra MK, Hurburg CR, Bern CJ. 2001. Implementing a computer vision system for kernel damage evaluation. *Applied Eng. Agric*, 17 (2): 235-240. DOI:10.13031/2013.5448
- Sture Ø, Øye ER, Skavhaug A, Mathiassen JR. 2016. A 3D machine vision system for quality grading of Atlantic salmon. *Computers Electronics Agric.*, 123: 142–148. DOI:10.1016/j.compag.2016.02.020
- Su Q, Kondo N, Li M, Sun H, Riza DFA. 2017. Potato feature prediction based on machine vision and 3D model rebuilding. *Computers Electronics Agric.*, 137: 41–51. DOI:10.1016/j.compag.2017.03.020
- Sun DW. 2000. Inspecting pizza topping percentage and distribution by a computer vision method. *J Food Eng.*, 44: 245-249. DOI:10.1016/S0260-8774(00)00024-8
- Szczypiński PM, Zapotoczny P. 2012. Computer vision algorithm for barley kernel identification, orientation estimation and surface structure assessment. *Computers Electronics Agric.*, 87: 32-38. DOI:10.1016/j.compag.2012.05.014
- Talb SS. 2018. Determining the volume of air cells in hen egg during the storage time. Siirt University, Food Engineering. Master Thesis. 57p.
- Tan J. 2004. Meat quality evaluation by computer vision. *J Food Eng.*, 61: 27–35. DOI:10.1016/S0260-8774(03)00185-7
- Tarlak F. 2018. Extending shelf-life of mushroom (*Agaricus bisporus*): Microbial parameter estimation and computer vision system design. Gebze Technical University. Ph.D. thesis. 89p.
- Temizkan R. 2017. Beyaz nektarin kalitesinin ısılmayan muhafaza yöntemleriyle korunması ve görüntü işleme teknikleriyle değerlendirilmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora tezi. 240s.
- Tipsombatboon P, Piriyapongsa J, Jenwitheesuk E, Tongsimma S. 2012. Random image selection technique coupled with multiple thresholding algorithms for determination of beef marbling fat content. *Image User And Developer Conference, Luxemburg, Vol:4: 1-6.*
- Velioglu HM. 2010. Görüntü İşleme Teknolojisi ve Yapay Sinir Ağlarının Gıda Ürünlerinde Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılması. Namık Kemal Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora Tezi. 90s.
- Vithu P, Tech M, Moses JA, Tech M. 2016. Machine vision system for food grain quality evaluation: A review. *Trends Food Sci Technol.*, 56:13-20. DOI:10.1016/j.tifs.2016.07.011
- Wang HH, Sun DW. 2002. Melting characteristics of cheese: Analysis of effects of cheese dimensions using image processing techniques. *J Food Eng.*, 52(3): 279–284. DOI:10.1016/S0260-8774(01)00116-9
- Wang HH, Sun DW. 2004a. Evaluation of the oiling off property of cheese with computer vision: Correlation with fat ring test. *J Food Eng.*, 61: 47-55. DOI:10.1016/S0260-8774(03)00181-X
- Wang HH, Sun DW. 2004b. Evaluation of the oiling off property of cheese with computer vision: Influence of cooking conditions and sample dimensions. *J Food Eng.*, 61: 57-66. DOI:10.1016/S0260-8774(03)00187-0
- White DJ, Svellingen C, Strachan NJC. 2006. Automated measurement of species and length of fish by computer vision. *Fisheries Res.*, 80 (2-3): 203-210. DOI:10.1016/j.fishres.2006.04.009
- Wu D and Sun DW. 2013. Colour measurements by computer vision for food quality control-A review. *Trends Food Sci Technol.*, 29: 5-20. DOI:10.1016/j.tifs.2012.08.004
- Xie C, Wang Q, He Y. 2014. Identification of different varieties of sesame oil using near-infrared hyperspectral imaging and chemometrics algorithms. *PLoS One*, 9: 98522. DOI:10.1371/journal.pone.0098522
- Xu M, Wang J, Gu S. 2019. Rapid identification of tea quality by E-nose and computer vision combining with a synergetic data fusion strategy. *J Food Eng.*, 241: 10–17. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2018.07.020
- Yadav BK, Jindal VK. 2001. Monitoring milling quality of rice by image analysis. *Computers Electronics Agric.*, 33 (1): 19-33. DOI:10.1016/S0168-1699(01)00169-7
- Zareiforouh H, Minaei S, Alizadeh MR, Banakar A, Samani BH. 2016. Design, development and performance evaluation of an automatic control system for rice whitening machine based on computer vision and fuzzy logic. *Computers Electronics Agric.*, 124: 14-22. DOI:10.1016/j.compag.2016.01.024
- Zhang B, Huang W, Li J, Zhao C, Fan S, Wu J, Liu C. 2014. Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Res Int.*, 62: 326-343. DOI:10.1016/j.foodres.2014.03.012
- Zheng C, Sun DW. 2016. Object measurement methods, Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation, Ed. Da-Wen Sun, 2nd Ed., Academic Press, 658 ps.
- Zhou L, Chalana V, Kim Y. 1998. PC-based machine vision system for real time computer-aided potato inspection. *Int J Imaging Systems Technol.*, 9(6): 423-433. DOI:10.1002/(SICI)1098-1098(1998)9:6<423::AID-IMA4>3.0.CO;2-C
- Zion B, Shklyar A, Karplus I. 2000. In-vivo fish sorting by computer vision. *Aquacultural Eng.*, 22: 165–179. DOI:10.1016/S0144-8609(99)00037-0