



Research Paper / Makale

Isıyla Mühürlenmiş Paketlerde Termal Kamera Kullanılarak Derin Öğrenme Algoritmaları İle Açık Paket Tespiti

Engin KARATAŞ

Eti Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş. Ar-Ge Merkezi
ekaratas@etimakine.com.tr

Received/Geliş: 24.06.2022

Accepted/Kabul: 04.12.2022

Öz: Gıda endüstrisinde paketleme, paket içerisindeki ürünü korumak, içeriğinin sağlık açısından güvenliğini sağlamak ve tüketicinin albenisini kazanmak gibi sebeplerden ötürü içerisindeki ürün kadar önemlidir. Düzgün kapatılmamış paketler, ürün nem, sıcaklık vb. dış etmenlerden koruyamayacağı gibi ürünün beklenenden erken bozulmasına sebep olacağından sağlık açısından da risk teşkil etmektedirler. Açık kalan paketler tüketicinin markaya ve ürüne olan kalite algısını azaltmakta ve müşteri şikayetlerine sebep olmaktadır. Paketlerin uygun şekilde kapatılması, mühürlenmesi işlemini kontrol edebilmek adına farklı teknolojiler mevcuttur. Bunlardan bazıları vakum bazlı sistemler, ultrasonik kontrol yapan sistemler, X-ray ve kamera görüntüsü kullanan makine görüşü sistemleridir. Bu çalışmada transparan ambalaja sahip ısıyla mühürlenmiş paketlerde açık paket tespiti üzerine çalışılmıştır. Standart endüstriyel kameralar ile alınan görüntülerde transparan ambalajın kusurları görülebilmiştir. Paketleme makinesi çene ısısının paket üzerinde çenenin bastığı yerlerde oluşturduğu şekil termal kamera ile görülebilmektedir. 'T' harfine benzer bu şekil, ön çalışmalarda blob analiz, geometrik eşleme ve destek vektör makinesi kullanılarak açık ve kapalı paketlerde sınıflandırılmaya çalışılmış ancak düşük başarı oranları elde edilmiştir. Yüksek başarı oranı elde edebilmek için öncelikle 'Evrişimsel Sinir Ağ Modelleri' denenmiş ve %95 civarında bir doğruluk oranı elde edilmiştir. Daha sonra başarı oranını artırmak için 'Öğrenme Aktarımı' yöntemi ile MobileNet ve ResNet ağları kullanılmış, %99 üzerinde bir başarı oranı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: mühür denetleme; evrişimsel sinir ağı; öğrenme aktarımı; termal kamera

Open Package Detection with Deep Learning Algorithms Using Thermal Camera in Heat Sealed Packages

Abstract: In the food industry, packaging is as important as the product inside, for reasons such as protecting the product in the package, ensuring the safety of its content in terms of health, and gaining the appeal of the consumer. Packages that are not properly closed cannot protect the product from external factors such as humidity and temperature, and they also pose a risk to health as they will cause the product to deteriorate earlier than expected. Packages that remain open reduce the consumer's perception of brand and product quality and cause customer complaints. There are different technologies to control proper closing and sealing of the packages. Some of these are vacuum-based systems, ultrasonic control systems, machine vision systems using X-ray and camera images. In this study, open package detection in heat-sealed packages with transparent packaging is studied. The defects in the transparent packaging could not be seen in the images taken with standard industrial cameras. The shape of the packaging machine jaw temperature on the package where the jaw presses can be seen with a thermal camera. This shape, similar to the letter 'T', was tried to be classified in open and closed packages by using blob analysis, geometric matching and support vector machine in preliminary studies, but low success rates were obtained. In order to achieve a high success rate, firstly 'Convolutional Neural Network Models' were tried and an accuracy rate of around 95% was obtained. Then, MobileNet and ResNet networks were used with the 'Transfer Learning' method to increase the success rate, and a success rate of over 99% was achieved.

Keywords: seal inspection; convolutional neural network; transfer learning; thermal camera

Bu makaleye atf yapmak için

Karataş E., "Isıyla Mühürlenmiş Paketlerde Termal Kamera Kullanılarak Derin Öğrenme Algoritmaları İle Açık Paket Tespiti, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9(4); 1363-1374.

How to cite this article

Karataş E., "Open Package Detection with Deep Learning Algorithms Using Thermal Camera in Heat Sealed Packages" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9(4); 1363-1374.

1. Giriş

Gıda endüstrisinde ürünler, hammaddelerinin uygun ölçülerde karıştırılmasından, şekillendirilmesinden, pişmesinden, dekore edilmesinden, paketlere uygun şekilde yerleştirilmesine kadar birçok zorlu aşamadan geçerler. Bu ürünlerin son tüketicinin eline zarar görmeden, paketlenildiği şekilde ulaştırılması kritiktir. Ürün ambalajında veya paketinde bütünlüğü riske atacak bir durum, içindeki ürünün bozulmasına, ürünü tüketen kişinin sağlığının bozulmasına sebep olabilir. Ambalaj bütünlüğü bozulmuş ürünler, hem insan sağlığına hem de markanın kalite algısını azaltarak markanın kendisine zarar vermektedirler.

Gıda sektöründe ve diğer sektörlerde ambalaj ve paketlerin bütünlüğünün bozulduğu, mühürlenmesinde hata olan ürünleri tespit edebilmek için farklı teknolojileri kullanarak birçok çalışma yapılmıştır.

Isıyla mühürlenmiş gıda tepsi mühürlerinde şeker, tahta, plastik, kağıt, saç gibi anomali durumlarını hiperspektral kamera ve görüntü işleme teknikleri ile tespit çalışması yapılmıştır [1,2]. Isıyla mühürlenmiş paketlerdeki bakır tellerini tespit edebilmek için polarize ışık baskı analizi ve lazer dağılım teknikleri kullanılmıştır [3]. Aktif kızılötesi termografi tekniklerini kullanarak dikey paketleme makinelerinde kahve parçacıkları ile özellikle mührü kirletilen paketlerde mühür kirlilik tespiti üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada mührün net görüntüsünü alabilmek için aşağı doğru akan paketi belirli bir anda durdurup , paket ve mühür sabit iken görüntü almışlar, alınan tek bir görüntü ve görüntüler yığını üzerinde farklı algoritmalar ile çalışmalar yapmışlar, performanslarını incelemişlerdir [4]. Ultrasonik atım-yankı Δ BAI metodu kullanarak paket mühründe farklı kalınlıklarda tungsten teller ile oluşturdukları su ve hava dolu kılcal kanalları tespit etmeye çalışmışlar ve 15 um lik kanalları tespit edilebilmiştir [5]. Bu tekniği daha da ileri taşıyarak RFS, RFCS ve RFCE teknikleri ile 6 um ye kadar mühür kusur tespiti de yapılmıştır [6]. Ultrasonik görüntüleme ve terahertz görüntüleme ile mühür kusur tespiti üzerine yapılan başka çalışmalar da mevcuttur [7,8]. Düşük enerjili ve yüksek dalgaboyuna sahip X-Ray kullanarak daha yüksek çözünürlükte görüntü alarak ambalaj problemleri tespit edilebilmektedir [9]. Ürün paketine zarar vermeden tespit teknikleri olarak mekanik olarak sıkıştırma testi, vakum zayıflaması metodu ve gaz takibi metotları da çalışılmıştır [3, 10 - 12].

'Optik ultrason' olarak da adlandırılabilen optik tutarlılık tomografisi (optical coherence tomography) ile ambalaj bütünlüğünü bozabilecek 15 um dan büyük parçaların tespiti yapılabilmektedir [13]. Farklı ambalaj tipleri ve mühür dayanıklılıklarının kontrol edildiği çekme ve sıkıştırma test ve tespit düzenekleri ile ambalajlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır [14]. Karton ambalajlardaki açıklık ve sızıntıların tespit edilebilmesi için elektron tarama mikroskopisi(scanning electron microscopy), X-ışını mikrotomografisi, optik ışık mikroskopisi ve polarize ışık mikroskopisi gibi yöntemler kullanılmıştır [15].

Ambalaja zarar vermeyen tespit yöntemleri arasında yer alan CO₂, He ve H₂ gaz sızıntısı tespit dedektörlerinin dakikada 60 paketten hızlı çalışan bir üretim hattında 10um dan daha büyük açıklıkları tespit edebildikleri anlatılmıştır [16]. İçinde sıvı olan karton kutuların mühür kontrolü ve hata tespiti için hatasız ve farklı hata tiplerine sahip 100 er kutu örnekleri ile oluşturulan veri setleri üzerinde Faster R-CNN ve güncelleştirilmiş Faster R-CNN derin öğrenme teknikleri kullanılmış ve %99.25 lik doğruluk oranı elde edilmiştir [17]. Hızlı hareket eden paketlerdeki açıklıkları, hataları ve anomalileri tespit edebilmek için evrişimsel sinir ağları(convolutional neural network), otoenkoder sinir ağları , derin kalıntı sinir ağları(deep residual neural network) gibi derin öğrenme teknikleri kullanılmaktadır [18-21].

Termal kamera ile hazırladığımız bu çalışmada üretim hatlarında üretim hızlarında çalışabilecek paket açıklıklarını tespit edebilecek bir sistem üzerinde durulmuştur. Materyal ve metotlar kısmında, yapılan ön çalışmalara, sistem bileşenlerine ve düzeneğine, kullanılan derin öğrenme metotlarına değinilmiştir. Analizler kısmında sistemin karar verme başarısı gösterilmiştir.

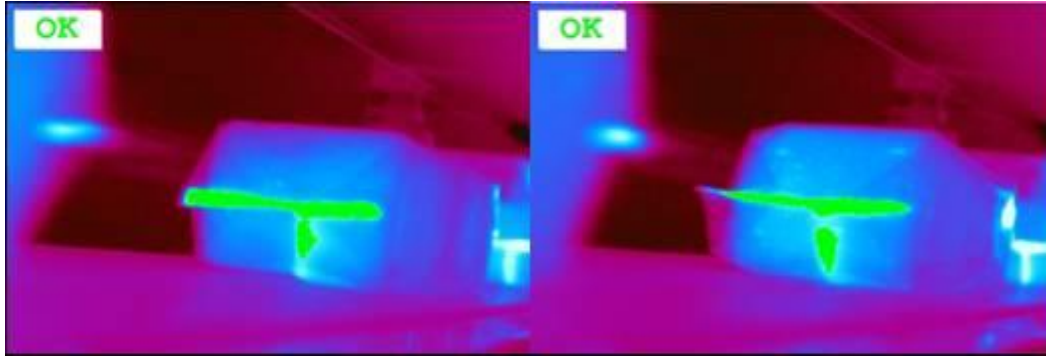
2. Materyal ve Metotlar

2.1.Görüntü İşleme İle Paket Açıklığı Tespit Çalışmaları

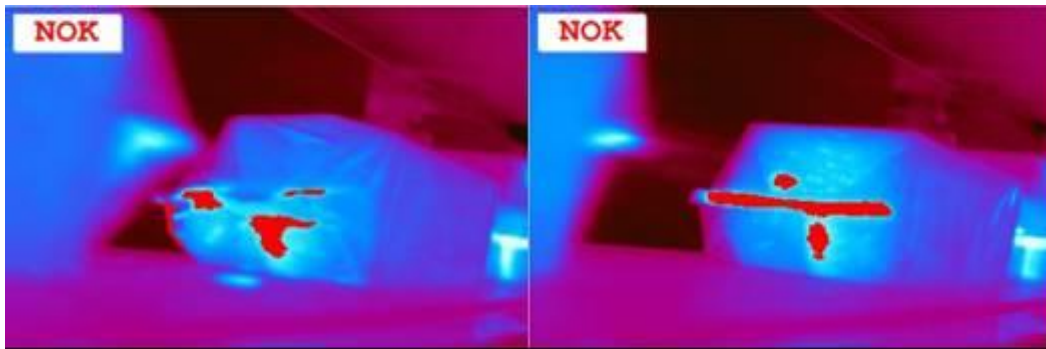
Paketleme makinelerinden tam kapatılmayan ve açık kalan ilk paket örneklerinde standart endüstriyel kamera ve standart LED aydınlatma kullanılmıştır. Bu çalışmaları yapmak için MvTEC firmasının hazırlamış olduğu endüstriyel bir görüntü işleme kütüphanesi olan HALCON yazılımı kullanılmıştır. LED aydınlatma yanında UV ve kırmızı çizgi lazerler ile görüntüler alınmış ancak çalışma yapılan ürünün paketi saydam olduğundan blob analiz veya kenar bulma temelli bir görüntü işleme algoritması ile sonuç elde edilememiştir.

Yapılan araştırmalarda ısıyla mühürlenmiş paketlerden görüntü alabilmek için termal kameraların kullanıldığına rastlanmıştır. Bu sebeple öncelikle firmalardan demo olarak alınan termal kameralar ile şeffaf paketlerin, paketlemenin hemen çıkışında görüntüleri alınmıştır. Termal görüntülerde paketleme makinesinin alt kısmının bastığı yerler sıcak olduğundan termal kamera görüntülerinde beyaza yakın görünmektedirler. Beyaza yakın gözüken kısımlar Şekil 1’de olduğu gibi ‘T’ şekline yakın ise paketleme düzgün, Şekil 2’de olduğu gibi ‘T’ şekli dışında büyük beyaz bir kısım varsa veya beyaz kısımlar dağınık ise paketleme kusurlu olarak etiketlenir.

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında, üretim yöntemi, malzemelerin ve işlemlerin kullanım alanları birçok patent ve yayın bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında, üretim yöntemi, malzemelerin ve işlemlerin kullanım alanları birçok patent ve yayın bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında, üretim yöntemi, malzemelerin ve işlemlerin kullanım alanları birçok patent ve yayın bulunmaktadır.



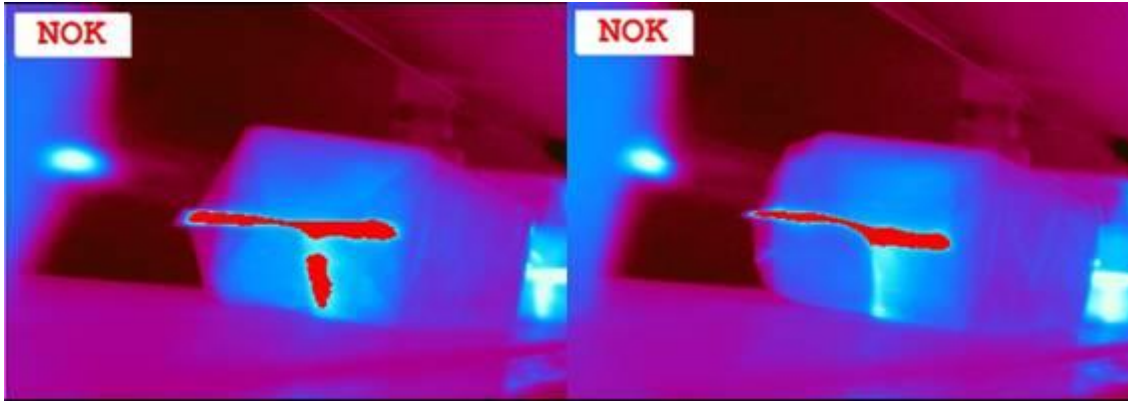
Şekil 1. Görüntü işleme yazılımı ile kusurlu bulunan paketler.



Şekil 2. Görüntü işleme yazılımı ile kusurlu bulunan paketler.

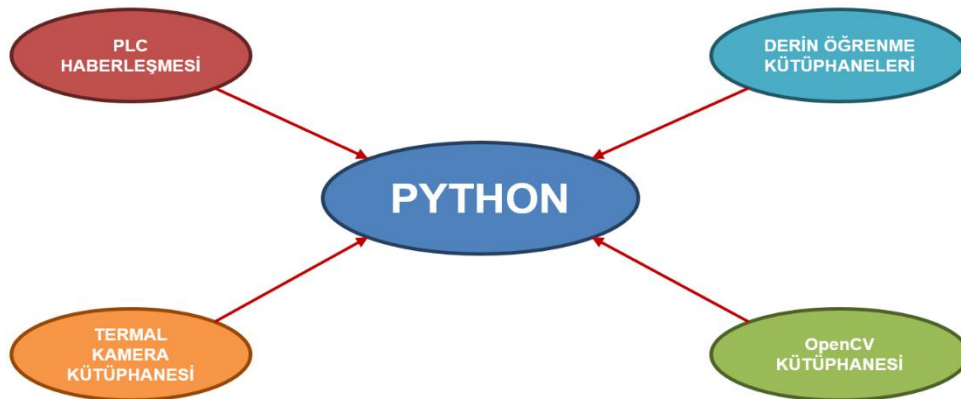
Şekil 3’de ise sağlam paketlerin kusurlu etiketlendiği görülmektedir. Sağlam paketlerin ıskartaya atılmasına sebep olacak bu durum, istenmeyen bir durumdur. Şekil 1, 2 ve 3’ü içeren ön çalışmada, OK (kabul) ve NOK (ret) olan görüntülerden öncelikle parlak olan kısımlar bulunmuş ve bu bölgelere ait özellikler HALCON yazılımı içerisindeki bir Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM)’ne aktarılarak eğitimi yapılmıştır. Bu yöntemde Şekil 3’dekine benzer sağlam paketlerin kusurlu etiketlenmesi sık yaşandığı için karar doğruluk oranı düşük kalacağından bu yöntemden vazgeçilmiştir.

Genelde görüntü işleme uygulamalarından kullanılan blob analiz metodu kullanılsaydı, bağımsız beyaz bölgeleri bloblar olarak ifade edersek OK ve NOK paketlerde bu blobların alanları, ağırlık merkezleri gibi özellikler kullanılarak OK-NOK ayrımının sağlıklı yapılamaya-cağı görülmektedir. Benzer bir şekilde yine çok kullanılan geometrik eşleme metodu kullanılsaydı, sağlam olan paketin geometrisi olan ‘T’ şekli sağlam paketlere geometrik olarak eşleneceği gibi çok az bir düşük skor farkı ile kusurlu paketlere de eşlenecek ve kusurlu paketler de sağlam gibi algılanacaktı. Bu sebeplerden ötürü bu yöntemlerden vazgeçilmiş ve insan algılamasına daha yakın olan derin öğrenme tekniklerine geçilmiştir.



Şekil 3. Görüntü işleme ile kusurlu bulunan sağlam paketler.

Açık paket tespit sisteminin bileşenleri Şekil 4’te görülmektedir. Tespit sistemi 4 temel bileşenden oluşur. Bu bileşenlerden ‘Derin Öğrenme Kütüphaneleri’ dışındaki diğer 3 bileşenin farklı programlama dillerinde hazırlanmış halleri mevcuttur. ‘Derin Öğrenme Kütüphaneleri’ bileşeninin de farklı diller için hazırlanmış versiyonları mevcutsa da bu kütüphanelerin özelliklerini tam olarak kullanabilmek için PYTHON dili seçilmiş ve bütün bileşenlerin PYTHON dilindeki kendi veya üçüncü parti kütüphaneleri kullanılmıştır.



Şekil 4. Açık Paket Tespit Sisteminin Bileşenleri.

2.2. Termal Kamera

Bu projede transparan paketlerde paketin kapatılan kısmı paketleme makinesinin sıcak alt kısımları tarafından kapatıldığından maliyet açısından da diğer çözümlere kıyasla daha uygun olan termal kamera çözümü seçilmiştir.

Farklı markaların termal kameraları kıyaslanmıştır. Kameranın kontrolünü yazılımsal olarak yapabilmek için kullanımı rahat ve dil desteği fazla olan bir SDK (Software Development Kit-Yazılım Geliştirme Kiti) ihtiyacı vardır. Doğal olarak Python diline destek veren SDK'ya sahip FLIR marka termal kameralar bu sistem için tercih edilmiştir. Şekil 5'de bu sistemde kullanılan FLIR A35 termal kameranın görüntüsü ve Tablo 1'de bu kameranın teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 5. FLIR A35 Termal Kamera.

Tablo 1. FLIR A35 Termal Kamera Özellikleri.

Kamera Özellikleri	
IR Görüntü Çözünürlüğü	320x256
Termal Hassasiyet	< 0.05°C @ +30°C (+86°F) / 50 mK
Görüş Alanı(FOV)	48 derece x 39 derece
Odak Uzaklığı	9 mm
Görüntü Frekansı	60 Hz
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	<ul style="list-style-type: none"> • -25 to +135°C (-13 to 275°F) • -40 to +550°C (-40 to +1022°F)

FLIR A35 kamerasının ayarlarını yapabilmek, görüntü alabilmek için kullandığı Atlas ve Spinnaker gibi SDKları mevcuttur. Burada, daha yeni ve Python desteği olan Spinnaker SDK'sı kullanılmıştır.



Şekil 6. Kapalı Paket Mühür Şekilleri.

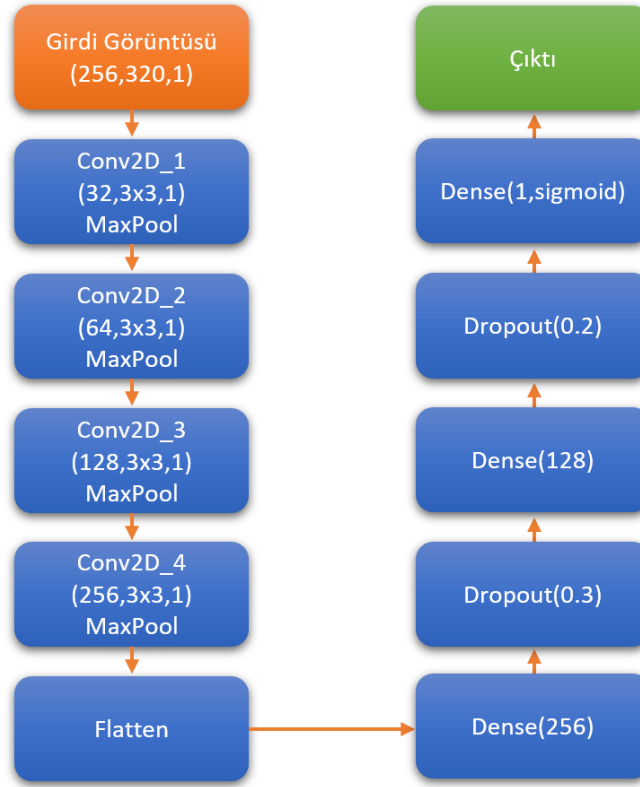
Şekil 6’da kapalı paket mühür şekillerine ve Şekil 7’de de açık paket mühür şekillerine örnekler görülmektedir. Termal kameranın ham olarak verdiği görüntü 14-bit’tir. Kamera kendi içerisinde ‘Otomatik Kazanç Kontrolü’ yaparak görüntüyü 8-bit mono bir görüntüye çevirmektedir. Bu işlem sayesinde ham görüntüde anlık duruma göre paketlerdeki mühür kısımları bazen çok belirgin bazen de sönük olabilmektedir.



Şekil 7. Açık Paket Mühür Şekilleri.

2.3. Derin Öğrenme

Şeffaf paketlerdeki açık ve kapalı paket görüntülerini ayırtmak için de LeNet-5’e benzer şekilde ardışık evrişim (convolution) ve alt örnekleme (subsampling) katmanları kullanılmıştır. İlk denemelerde kullanılan CNN mimarisi Şekil 8’deki gibidir. Bu mimaride ardışık 4 evrişim-alt örnekleme bloğu kullanılmış, çıkan sonuçlar ‘Flatten’ katmanı ile takip eden ‘Tam Bağlı Katmanlar’a girdi sağlamak için düzleştirilmiştir. ‘Tam Bağlı Katmanlar’ ın ardına konan ‘Dropout’ katmanları ile aşırı öğrenmeyi önlemek amaçlanmıştır. Paketlerin sınıflandırılmasında sadece 2 sınıf olduğundan tek bir çıkış ağın sonuna konulmuş ve sigmoid fonksiyonu ile (0,1) arasına dağıtılması sağlanmıştır.



Şekil 8. Açık Paket Tespiti İçin Kullanılan İlk CNN Mimarisi.

Bu katmanları oluşturabilmek için ise Google firması tarafından hazırlanan bir açık kaynak kodlu makine öğrenmesi kütüphanesi olan Tensorflow kütüphanesi ve Keras kullanılmıştır.

Açık ve kapalı paketler için görüntü kümeleri oluştururken ideal olan, setlerdeki görüntülerin eşit sayıda olmasıdır. Görüntü setleri %50 açık ve %50 kapalı paketlerden oluşmalıdır. Ancak üretimde açık paketlerin oranı kapalı paketlere göre çok azdır. Kapalı paket ile aynı sayıda açık paket görüntüsü alabilmek için günlerce görüntü almak gerekmektedir. Binlerce görüntü içerisinde de açık-kapalı paket görüntülerini ayırtmak gerekmektedir. Açık paket görüntüsünün az olduğu durumlarda görüntü sayısını artırabilmek için ‘Data Augmentation’ denen bir yöntem ile mevcut görüntülerin boyutları, dönüklükleri, parlaklık değerleri gibi değerler ile oynayarak görüntü sayısı çoğaltılabilmektedir. İlk oluşturulan verisetinde yaklaşık 38000 görüntü içerisinde sadece 60 tane açık pakete rastlanmış ve ‘Data Augmentation’ ile çoğaltılmıştır.

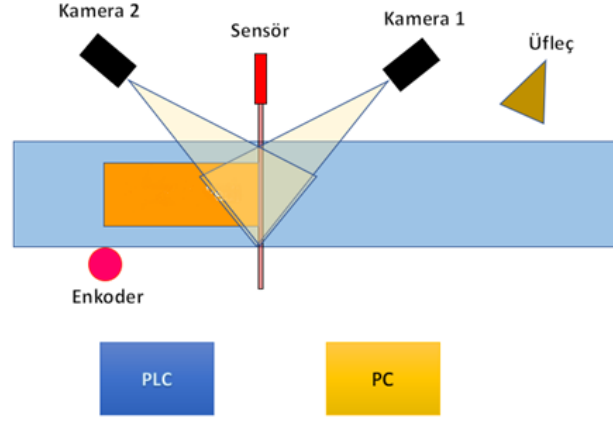
2.4. OpenCV

OpenCV kütüphanesi bu projede ön işleme yapmak için kullanılmıştır. Ön işlemlerde paketin arka planında derin öğrenme metotlarının işini zorlaştırabilecek piksellerin filtrelenmesi maskelenmesi ile paketin önünde görülmesi gereken ‘T’ şeklini ortaya daha net çıkarabilmek için blob analiz teknikleri kullanılmıştır.

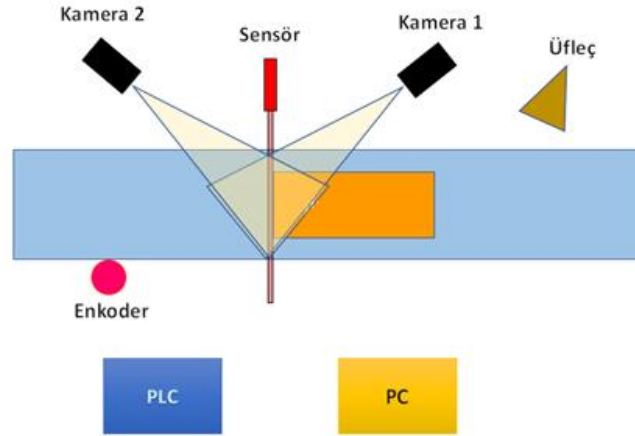
2.5. Sistem Düzenegi

Şekil 9’da sistem düzenegi görülmektedir. Sistem 2 adet termal kamera, 1 ürün sensörü, 1 üfleç, 1 enkoder, 1 PLC ve 1 PC’den oluşmaktadır. Termal kameralar PC’ye, sensör, üfleç ve enkoder de PLC’ye bağlıdır. PC ve PLC de birbirlerine Ethernet üzerinden bağlıdır. Şekil 9’da görüldüğü üzere bant üzerinde hareket eden şeffaf paketli ürün paketi, sensör tarafından algılandığında Kamera 1 e “çek” sinyali gelir. PLC ye bağlı olan PC yazılımı tarafından sensör bilgisi sürekli okunmaktadır. Paket bant üzerinde ürün boyu kadar ilerledikten sonra sensör sinyalinin düşen

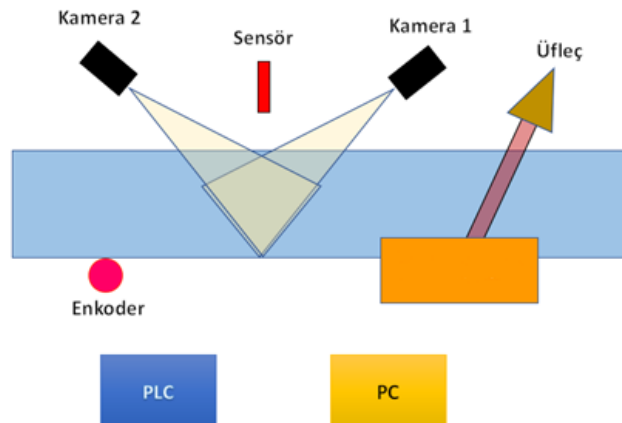
kenarında da Şekil 10'da olduğu gibi Kamera 2 tarafından paketin arka yüzünün fotoğrafı çekilir. Her iki kameradan görüntü alındıktan sonra herhangi birinden CNN ağından paketin açık olduğu bilgisi gelirse Şekil 11'deki gibi üfleç çalışır ve paketi bant üzerinden deşarj eder. Enkoder burada ürün paketi sensörün altına girdikten sonra sensörün ikilemesini engellemek için filtre amacıyla kullanılmaktadır. Ürün boyunca gelen sensör sinyalleri bloke edilir, paket ürün boyu kadar ilerlediğinde bu bloke kaldırılır.



Şekil 9. Paketin ön tarafının fotoğraflanması.



Şekil 10. Paketin arka tarafının fotoğraflanması.

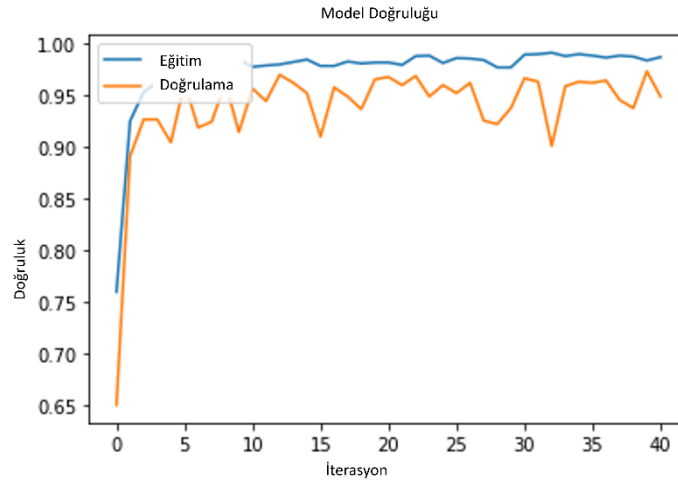


Şekil 11. Açık paketin bant üzerinden atılması.

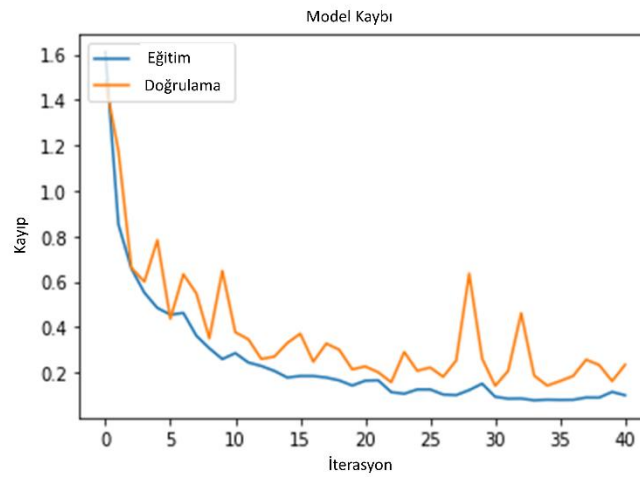
3. Analizler

1000 adet açık ve 1000 adet kapalı paket görüntüleri ‘Eğitim’ seti için 500 açık ve 500 kapalı paket görüntüsünün de ‘Doğrulama’ seti olarak kullanıldığı bir eğitim için model doğruluk-epoch grafiği Şekil 12’de, model kayıp-epoch grafiği ise Şekil 13’te görülmektedir.

Bu grafiklere bakıldığında model doğruluğu ‘Eğitim’ seti için %98.8, ‘Doğrulama’ seti için %95 seviyesinde görülmektedir. Ayrıca ‘Eğitim’ seti için model kaybı 0.0992 ve ‘Doğrulama’ seti için model kaybı 0.2236’dır. Model katmanlarında ‘L2 düzenlemesi’ kullanarak model doğruluk oranı çok az artmış ancak %96’yı geçememiştir. Bu durum bazı açık paketlerin kapalı olarak sınıflandırılmasına sebep olmuştur.



Şekil 12. Model doğruluğu-epoch (iterasyon) grafiği.

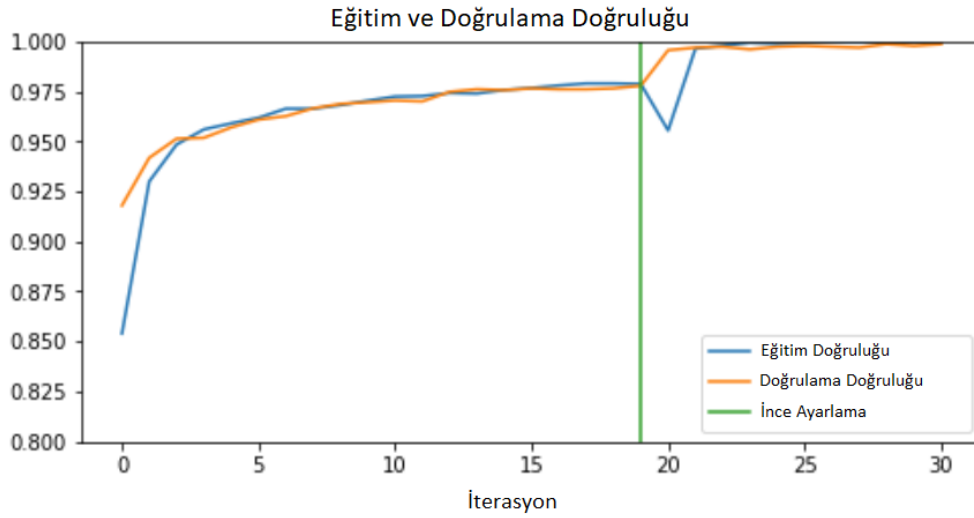


Şekil 13. Model kayıp-epoch (iterasyon) grafiği.

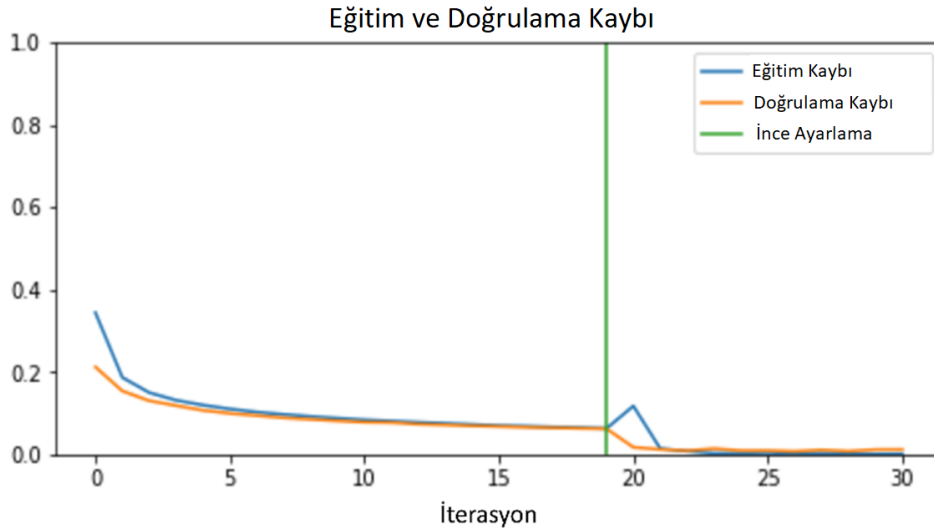
Model doğruluk oranını artırabilmek için ‘Öğrenme Aktarımı’ tekniği de kullanılmıştır. İlk denemeler MobileNetV2 ile yapılmış daha sonra ise ResNet50V2 ağı kullanılmıştır. Ağı kullanmadan önce ise verisetini zenginleştirmek ve ‘Data Augmentation’ teknikleri ile çoğaltılmış

bir veriseti oluşturmamak için sistemin ön ve arka kameralarının her biri için 500000'den fazla görüntü taranmış ve açık paket görüntüleri bu görüntü yığınının ayıklanmıştır. Sonuçta 'Eğitim' veriseti için 2120, 'Doğrulama' veriseti için ise 910 görüntü elde edilmiştir.

Bu ağı kullanabilmek için (320,256) olan görüntü çözünürlüğü (224,224)'e çevrilmiş ve (0,255) arasında olan gri piksel değerleri (0,1) arasına normalize edilmiştir. ResNet50V2 CNN mimarisinin ilk 100 katmanı dondurulmuş ve sonraki katmanları serbest bırakılarak açık-kapalı paket verisetine göre eğitimi yapılmış, 'ince-ayarlar' yapılmıştır. Burada modelin 'Eğitim' veriseti doğruluğu %99.97 ve kaybı 0.00077, 'Doğrulama' veriseti doğruluğu %99.87 ve kaybı ise 0.0115 olarak görülmüştür. ResNet50V2 CNN mimarisinin 'Öğrenme Aktarımı' ile kendi verisetimizde elde ettiğimiz model doğruluğu grafiği Şekil 14'te, kayıp grafiği de Şekil 15'de görülmektedir.

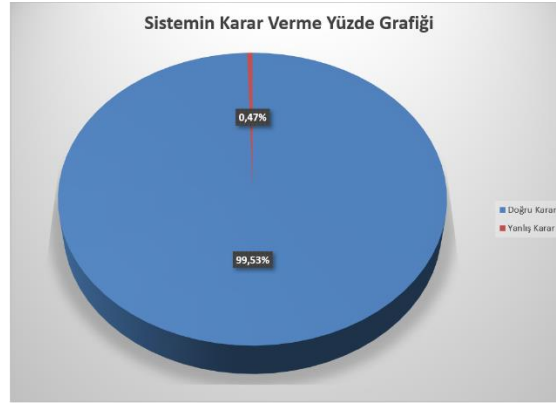


Şekil 14. Modelin doğruluk-epoch (iterasyon) grafiği.



Şekil 15. Modelin kayıp-epoch (iterasyon) grafiği.

2 aylık takip edilen analiz sürecinde sistemde 453.815 ürün paketi geçirilmiştir. Sistemin açık paket olarak görmüş olduğu 1314 paket sistemden ayrılmış, tespit edemediği veya kaçırdığı paket sayısının 152 olduğu görülmüştür. Sistemin açık olarak sınıflandırdığı ancak gerçekte kapalı olan paketlerin sayısı ise 1993'tür. Bu sayılara göre sistemin doğru karar verebilme yüzdesi %99.53'tür ve Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Sistemin Karar Verme Yüzde Grafiği

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, ısıyla mühürlenmiş paketlerdeki açıklıkların, termal kamera kullanılarak alınan görüntüler üzerinde farklı CNN mimarileri ile derin öğrenme algoritmaları kullanılarak tespit edebilen ve ürün hattından ayırabilen bir sistem anlatılmıştır. Termal kameranın çalışma prensipleri, standart endüstriyel kameralardan farklı, yeni özellikleri üzerinde deneyim sahibi olunmuştur. Derin öğrenme algoritmaları kullanılırken, alınan görüntülerin, oluşturulan veri setlerinin, derin öğrenme parametrelerinin ve mimarilerinin başarı oranına etkileri görülmüştür. Derin öğrenme algoritmaları kullanılarak standart görüntü işleme algoritmaları ile yapılamayan veya çok zor yapılacak projelerin yapılabileceği deneyimlenmiştir. Geleneksel görüntü işleme teknikleri ile %80lerde olan başarı oranı, derin öğrenme teknikleri kullanılarak %99'un üzerine çıkarılmıştır. Bu çalışma, derin öğrenme algoritmaları ve yapay zeka sayesinde daha önce üstesinden gelemediğimiz yüksek başarı oranına sahip sistemlerin yapılması için vesile olacaktır.

Kaynaklar

- [1]. Medus L. D., Saban M., Francés-Víllora J. V., Bataller-Mompeán M. & Rosado-Muñoz A., "Hyperspectral image classification using cnn: Application to industrial food packaging", Food Control, 2021, 125:107962.
- [2]. Banús N., Boada I. , Xiberta P. , Toldrà P. & Bustins N., "Deep learning for the quality control of thermoforming food packages", Scientific Reports, 2021, 11:21887.
- [3]. Barnes, M., Dudbridge, M. & Duckett, T., "Polarised light stress analysis and laser scatter imaging for non-contact inspection of heat seals in food trays", J. Food Eng., 2012, 112:183–190.
- [4]. D’Huys, K., Saeys, W. & De Ketelaere, B., "Active infrared thermography for seal contamination detection in heat-sealed food packaging", J. Imaging, 2016, 2:33.
- [5]. Ozguler A., Morris S.A. & O'Brien W. D. Jr., "Evaluation of Defects in the Seal Region of Food Packages Using the Ultrasonic Contrast Descriptor", DBAI , Packaging Technology and Science ,1999, 12:161-171.
- [6]. Frazier C. H., Tian Q., Ozguler A., Morris S. A., and O'Brien W. D., Jr., "High Contrast Ultrasound Images of Defects in Food Package Seals", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 1999, 47
- [7]. Pascall M.A., Richtsmeier J., Riemer J., Farahbakhsh B., "Non-destructive Packaging Seal Strength Analysis and Leak Detection Using Ultrasonic Imaging", Packaging Technology and Science, 2002, 15(6):275 – 285
- [8]. Morita Y., Dobroiu A. , Kawase K. , Otani C., "Terahertz technique for detection of microleaks in the seal of flexible plastic packages", Optical Engineering, 2005, 44
- [9]. Innospexion, 03.03.2022 – 14:48 <https://innospexion.dk/wp-content/uploads/2019/03/seal-inspection-bornholms.pdf>

- [10]. Dudbridge, M. "Handbook of Seal Integrity in the Food Industry", 1st ed.; John Wiley & Sons: West Sussex, UK, 2016
- [11]. ASTM F2338, "Standard Test Method for Nondestructive Detection of Leaks in Packages by Vacuum Decay Method, 2020
- [12]. ASTM F2391-05," Standard Test Method for Measuring Package and Seal Integrity Using Helium as the Tracer Gas", 2016
- [13]. Wong Z. Z., Ang S. Y. F., Malcolm A. A., "Detection of Defects in Flexible Plastic Seals via Optical Coherence Tomography" 3rd Singapore International Non-destructive Testing Conference and Exhibition (SINCE2019)
- [14]. Merabtene, M., Tanninen, P., Varis, J., Leminen, V., "Heat Sealing Evaluation and Runnability Issues of Flexible Paper Materials in a Vertical Form Fill Seal Packaging Machine", www.bioresources.com
- [15]. Leminen V., Maela P., Tanninen P., Varis J., "Methods for Analyzing the Structure of Creases in Heat Sealed Paperboard Packages" The Journal of Applied Packaging Research 7(1):49-60, 2015
- [16]. İlhan İ., Turan D., Gibson I., Klooster ten R., "Understanding the factors affecting the seal integrity in heat sealed flexible food packages: A review", Packaging Technology and Science, 321-337
- [17]. Adem K., Közkurt, C., "Defect detection of seals in multilayer aseptic packages using deep learning" Turk J Elec Eng & Comp Sci, 2019 27: 4220-4230
- [18]. Klaeger T., Schult A., Oehm L., "Using Anomaly Detection To Support Classification of Fast Running (Packaging) Processes", 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2019
- [19]. Guillot V., "Infrared thermography for seal defects detection on packaged products: unbalanced machine learning classification with iterative digital image restoration", 2021
- [20]. Benouis M., Medus L. D., Saban M., Ghemougui A., Rosadı-Munoz A., "Food Tray Sealing Fault Detection in Multi-Spectral Images Using Data Fusion and Deep Learning Techniques", Journal of Imaging, 2021, 7 186
- [21]. Yang J., Li S., Wang Z., Dong h., Wang J., Tang S., "Using Deep Learning to Detect Defects in Manufacturing: A Comprehensive Survey and Current Challenges", Materials, 2020, 13, 5755