OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(4): 1975-1992, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(4): 1975-1992, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology

Görüntü İşleme Tekniği ile Üretimde Süreç İzleme

Musa ÇALIŞKAN[1], Yunus KAYIR[2]

[1,2]Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara

[1]https://orcid.org/0009-0002-8587-0795
[2]https://orcid.org/0000-0001-6793-7103
*Sorumlu yazar: musa.caliskan@gazi.edu.tr

Derleme

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 09.09.2024
Kabul tarihi: 06.04.2025
Online Yayınlanma:16.09.2025

Anahtar Kelimeler:
Görüntü işleme
Üretim izleme
Endüstriyel üretimde kamera Kullanımı
Hata tespiti

ÖZ

Son yıllarda, üretimin kameralarla izlenmesi oldukça yaygın kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kamera ile üretimin izlenmesine yönelik yapılmış olan çalışmalar toplanmıştır. Özellikle son 10 yılda yayınlanan makaleler belirlenmeye çalışılmış olup, sektörlerine göre sınıflandırılmıştır. Ağırlık olarak plastik enjeksiyon kalıpçılığı ile yapılan üretimler ele alınmıştır. Görüntü işleme tekniklerinin kalite kontrolü, hata tespiti ve çıkan ürünün sınıflandırılması gibi alanlarda kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, bu tekniklerin avantajları ve dezavantajları belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, günümüz teknolojik gelişmelerine rağmen, görüntü işleme ile üretimi izleyecek sistemlerin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olduğu, ancak üretimin izlenmesinde insandan kaynaklanabilecek olumsuz etkilerin (psikolojik durum, yorgunluk, hastalık, vb.) ortadan kaldırılmasıyla verimliliğin artırılmasında görüntü işleme tekniklerinin büyük katkı sağladığı ortaya konulmuştur.

Monitoring Production by Image Processing Technique

Reviews

Article History:
Received: 09.09.2024
Accepted: 06.04.2025
Published online:16.09.2025

Keywords:
Image processing
Production monitoring
Camera use in ındustrial production
Fault detection

ABSTRACT

In recent years, camera-based production monitoring has become quite common. This study compiles studies on camera-based production monitoring. We specifically identified articles published in the last 10 years and categorized them by sector. Production using plastic injection molding was the primary focus. The applicability of image processing techniques in areas such as quality control, defect detection, and product classification was evaluated. The study aimed to identify the advantages and disadvantages of these techniques. In conclusion, despite current technological advancements, the initial installation costs of image processing-based production monitoring systems are high. However, image processing techniques contribute significantly to productivity by eliminating potential negative human-induced effects (psychological states, fatigue, illness, etc.) during production monitoring.

To Cite: Çalışkan M., Kayır Y. Görüntü İşleme Tekniği ile Üretimde Süreç İzleme. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(4): 1975-1992.

1. Giriş

Üretim süreci, tüm girdilerin bir dönüşüm sürecinden geçirilerek son ürün haline getirilmesinde gerekli olan zamandır. Bu süreç genellikle belirli bir ürün veya hizmetin tasarımından başlar malzeme temini, üretim, kalite kontrol, paketleme ve depolama, dağıtım ve lojistik, satış ve pazarlama en son da nihai tüketiciye ulaşıncaya kadar devam eder (Barış ve Özek, 2019). Bu adımlar genel bir endüstriyel üretim sürecini temsil eder, ancak her endüstri ve işletme kendi özel ihtiyaçlarına ve üretim süreçlerine göre farklılık gösterebilir. Örneğin, otomotiv endüstrisi, gıda endüstrisi veya elektronik endüstrisi gibi farklı endüstrilerde farklı üretim süreçleri kullanılabilir. Üretim süreçlerinde çeşitli olumsuzluklar üretimde verimliliği düşürür. Bu olumsuzluklar insandan veya makinadan kaynaklı yaşanabilir. İnsandan kaynaklı hataların makineden kaynaklı olan hatalardan daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur (Gerger, 2019). İnsandan kaynaklı hatalar için, uykusuzluk, dikkatsizlik, dalgınlık ve kendine aşırı güven gibi nedenler sayılabilir. Üretimde yaşanacak olan her bir aksamanın veya hatanın firmaya bir maliyeti vardır. Bu maliyetlerin önüne geçebilmek için firmalar, üretim süreçlerini baştan sona kontrol altına almaya çalışmaktadırlar. Üretim süreçlerinin hatasız ve hızlı izlenebilmesi için yeni yöntemler geliştirilmektedir. Bu yöntemlerde genellikle çeşitli sensörler ve kameralar kullanılmaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte dijitalleşme ve otomasyon sistemlerinin yaygınlaşması kameralarında etkin olarak kullanımını artırmıştır. Arka planda yapay zekâ algoritmaları oluşturulan kameralara, üretim esnasında ya da sonrasında alınan görüntülerden görüntü işleme teknikleri kullanılarak ihtiyaca göre istenilen görüntüyü elde edip süreçlerdeki olumsuzlukları tespit edebilme yeteneği kazandırılmıştır. Bazı durumlarda üretimde aksaklık yaşanmaması için üretim izlenirken bazı durumlarda ise kalite kontrol, paketleme ve lojistik vb. diğer süreçlerde de izleme yapıldığı görülmüştür.

Bu çalışmada, imalat, tekstil, enerji, gıda gibi sektörlerdeki üretimlerde kamera kullanımına yönelik yapılmış olan çalışmalar toplanmıştır. İmalat sektöründeki çalışmalar ağırlık verilmiştir. Çalışmalar, üretimdeki hataların tespiti, kalite kontrolü, ürün sınıflandırması, gibi süreçlerin takip edilmesinde kamera kullanımı, görüntü işleme teknikleri, avantajlar ve dezavantajları gibi açılardan değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Endüstriyel üretimlerde süreç izleme sektörüne göre farklı yöntemlerle uygulanır ve çeşitli faydalar sağlar. Genellikle bu yöntemler, sektörün ihtiyaçlarına, karmaşıklığına ve özel gereksinimlerine bağlı olarak şekillenir. Günümüzde endüstride yaygın olarak kullanılan teknolojik çözümlerden biri, yapay zekâ destekli kameralı sistemleridir. Bu sistemler, üretim süreçlerini otomatikleştirerek insan hatalarını azaltabilmektedir. Özellikle imalat, tekstil, gıda ve enerji gibi farklı sektörlerde, bu tür kameralı sistemlerin kullanımı giderek artmaktadır.

Bu bölümde ilk olarak görüntü işleme teknolojisi ve yöntemleri kısaca bilgi verilecektir. Sonrasında ise, kameralarla yapılan üretimlerin izlenmesine yönelik toplanan makaleler değerlendirilecektir.

Değerlendirmeler, belli başlı sektörler (imalat, tekstil, gıda ve enerji gibi) açısından tek tek ele alınacaktır.

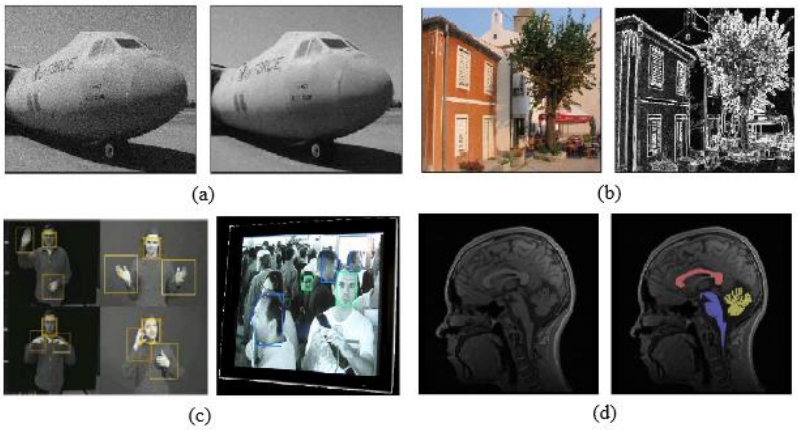
2.1. Görüntü İşleme Teknolojisi

Görüntü işleme teknolojisi, dijital görüntüler üzerinde bilgisayar tabanlı işlemler yaparak bilgi çıkarımı veya görüntüleri iyileştirmeyi sağlayan bir alandır. Görüntü işleme, kamera ile elde edilen görüntünün piksel yoğunluk değerlerini birtakım işlemlerden geçirerek yeni değerler ile istenilen görüntüyü elde etmeye çalışır. İçerisinde matematik ve bilgisayar bilimini barındıran bu tekniğin uygulama alanları ise oldukça geniştir (Samtaş ve Gülesin, 2011). Görüntü işleme teknolojisi, birçok farklı yöntem ve algoritma kullanır. Bu teknolojinin kullanım alanlarında tıbbi görüntüleme, güvenlik, otomotiv, endüstriyel kontrol, robotik, tarım ve daha fazlası bulunur. Endüstriyel üretimlerde taleplerin artışı dijitalleşme ve otomasyon sistemlerine ihtiyacı doğurmuştur. Örneğin devre kartlarındaki (PCB) hataları algılamak için kurulan görüntü işleme tabanlı bir makine görüsü sistemiyle PCB üzerindeki deliklerin yerini, sayısını ve eksikliklerini tespit etmek için bir referans görüntü ile test görüntüsü sürekli eşleştirme yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Gerçek zamanlı bir uygulama olan bu sistem, %2 gibi çok düşük hata oranıyla firmaya yüksek hassasiyet ve hız sağlamıştır (Baygin ve ark., 2017). Kurumsal firmaların birçoğu üretim süreçlerinde ihtiyaçlarına uygun kameralı görüntü işleme teknolojileri kullanarak insanlar, makineler ve bilgisayarlar arasındaki entegrasyonu sağlamışlardır. Bu sayede rekabet güçlerini üretim kapasitelerini artırmış ve hataları azaltarak fire miktarlarını azaltmışlardır. Geleneksel yöntemlerde insan denetiminin maliyetli, zaman alıcı ve hata oranının yüksek olduğu işler için kamera tabanlı sistemlerin kurulması oldukça etkili bir yatırım olarak görülmektedir. Örneğin, bir insanın dakikada 200 çipi pozisyonu, varlığı/yokluğu, yönü ve üzerindeki karakterlerin doğruluğu açısından kontrol etmesi pek mümkün değildir. Ancak, görüntü işleme algoritmalarının çalıştırıldığı kameralı bir sistemin, 10.000 çip üzerinde %99,98 doğrulukla çalışabildiği bilinmektedir (Lee ve ark., 2016). Ürünler arasında istenmeyen maddeler deforme olmuş ürünler gibi fiziksel yönüyle sorun teşkil eden ürünler kamera ile görüntü işleme teknolojisi kullanılarak kolayca, zaman kaybı yaşanmadan tespit edilebilir (Demirkıran, 2021). Yüksek çözünürlüklü kameralar sayesinde mikron düzeydeki hassas ölçümleri bilene %92-99 doğruluk oranıyla yapabilir (Ülkü ve ark., 2015).

2.2. Görüntü İşleme Yöntemleri

Resimlerde filtreleme, kenar algılama, nesne tanıma, öznitelik çıkarma, şablon eşleştirme, morfolojik işlemler, öğrenme tabanlı yöntemler, hızlandırılmış işleme gibi işlemler görüntü işlemenin temelini oluşturur. Görüntü işleme yaparken gerekli sensör ve lens seçimi doğru bir şekilde yaptıktan sonra ihtiyacımıza uygun tekniği seçmek önemlidir (Güzelce ve Bayrak, 2021). Bazı çalışmalarda ise birçok algoritma denenir ve başarı oranı yüksek olan teknik seçilir. Aşağıda Şekil 1'de görüntü işleme teknikleri ve birkaç örnek resim bulunmaktadır.

- Filtreleme: Görüntülerdeki gürültüyü azaltmak veya önemli özellikleri vurgulamak için filtreler kullanılır. Örneğin, düşük geçiren filtreler, kenar algılama filtreleri ve medyan filtreleme gibi çeşitli filtreler bulunur.
- Kenar Algılama: Görüntülerdeki nesnelerin kenarlarını tespit etmek için kullanılır. Kenar algılama algoritmaları, nesneler arasındaki geçişleri belirlemek için piksel yoğunluklarında ani değişiklikleri tespit eder.
- Nesne Tanıma: Görüntüyü farklı parçalara veya bölgelere ayırma işlemidir. Örneğin, nesneleri tanıma veya bir görüntüdeki farklı nesne türlerini ayırt etme amacıyla kullanılabilir.
- Öznitelik Çıkarma: Görüntüdeki önemli özellikleri belirlemek için kullanılır. Renk, şekil, dokular gibi özellikler öznitelikler olarak çıkarılabilir ve daha sonra tanıma veya sınıflandırma için kullanılabilir.
- Şablon Eşleştirme: Bir görüntüde belirli bir deseni veya nesneyi bulmak için kullanılır. Şablon eşleştirme, bir şablon görüntüsünü hedef görüntüde arar ve eşleşen bölgeleri belirler.
- Morfolojik İşlemler: Görüntüdeki şekil ve yapıları değiştirmek için kullanılır. Erozyon, genişleme, açma ve kapanma gibi temel morfolojik işlemler bulunur.
- Öğrenme Tabanlı Yöntemler: Makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi yöntemler, karmaşık desenleri tanıma, nesneleri sınıflandırma ve görüntü segmentasyonu gibi görevleri gerçekleştirmek için kullanılabilir.
- Hızlandırılmış İşleme: GPU veya paralel hesaplama gibi teknolojiler kullanılarak görüntü işleme algoritmalarının hızlandırılması sağlanır.



Şekil 1. (a) Filtreleme; (b) Kenar algılama; (c) Nesne tanıma; (d) Öznitelik çıkarma (Kaynak: Gonzalez ve Woods, 2008)

2.3. İmalat Sektöründe Uygulanışı

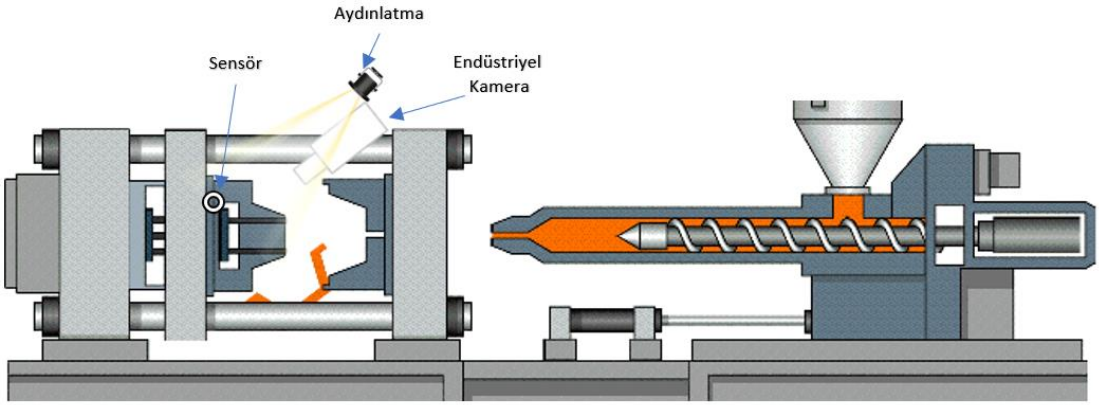
İmalat denildiğinde otomotiv, elektronik, kimya, metal işleme ve mobilya gibi daha birçok alt sektör akla gelir. Çok geniş bir sektör olduğundan imalat sektörüne yönelik olarak ayrılan makaleler, plastik

enjeksiyon, metal işleme, otomotiv, işlenmiş parça yüzey kontrolü ve 3D lazer teknolojisi ile üretim gibi alt sektörlere ayırarak ele alınmıştır.

2.3.1. Plastiğin enjeksiyon ile üretiminde uygulanışı

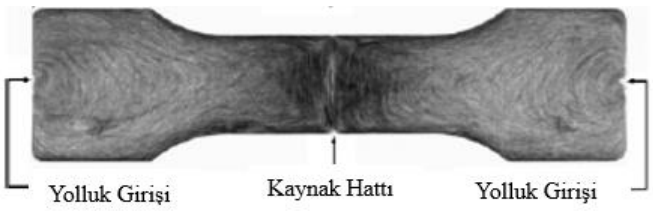
Günümüzde plastik (polimerik); ambalajlama, elektronik, otomotiv, inşaat mobilya, mutfak ekipmanları giyim ve ayakkabı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Günlük hayatımızda kullandığımız ürünlerin büyük bir bölümü plastik maddelerden üretilmektedir. Polimerik ürünlerin üçte birinden fazlası günümüzde enjeksiyon kalıplama metodu kullanılarak üretilmektedir (Osswald ve Hernández-Ortiz, 2006). Üretim esnasında ya da sonrasında makineden veya insandan kaynaklı hatalı ürün oluşabilmektedir. Bu hataları en aza indirebilmek için üretim sürecinin kontrolüne ihtiyaç vardır. Genellikle, üretim süreçlerini izleme, basit sistemler, var/yok (on/off), sensörler, gibi teknolojilerle yapılagelmiştir. Gelişen teknoloji dijitalleşme ve bilişim sanayide bir dönüşüm başlatmıştır. Endüstri 4.0 ile makinelerin üretim sürecinde birbirleriyle insan kontrolü olmadan etkileşime girdiği akıllı üretim sistemleri (yapay zekâ) ortaya çıkmıştır (Bağcı, 2018). Günümüzde birçok işletme üretim maliyetlerini azaltarak kapasitelerini artırabilmek için üretimde hatalı ürün oranını ve çevrim sürelerini azaltmayı yani verimliliği artırmayı ön planda tutmaya çalışmaktadır. Her zaman çevrim süresini kısaltmak işe yaramayabilir. Plastik enjeksiyon kalıpçılığıyla üretilen bir ürünün enjeksiyon parametrelerinden enjeksiyon hızını artırdığımızda çevrim süresi kısalır ancak belirlenen parametrelerin kalıplanan parçalar üzerinde mekanik özelliklerine etkisinin olduğu bilinmektedir. Yapılan bir çalışma, enjeksiyon hızının optimum değerden fazla olması moleküller arası kayma gerilmelerini arttırdığından birbirleriyle olan bağ kuvvetlerinde zayıflama meydana getirdiği, dolayısı ile parça dayanımını olumsuz yönde etkilendiğini göstermiştir (Kurt ve ark., 2009). Termoplastiklerin kalıplanması esnasında çeşitli kamera veya sensörlerle kalıp içi izleme yapılabilmektedir. Elde edilen verilerin üzerine yapay zekâ algoritmalarının uygulanmasıyla, optimum enjeksiyon ayarlarının daha hızlı ve doğru bir şekilde bulunabilir. Bu sayede üretim seyri ve sürdürülebilirlik açısından üretime fayda sağlanabilir (Ogorodnyk ve Martinsen, 2018). Bu yüzden enjeksiyon parametre ayarlarının doğru yapılması önemlidir. Optimum parametre ayarı için enjeksiyon kalıplama süreç kontrolüne ihtiyaç vardır. Kalıp içi izleme araçları ve yöntemlerine kapsamlı bir bakış açısı sunmayı hedeflenen bir çalışmada, yerleşik süreç izleme tekniklerinin standart sensörler ve yeni geliştirilen sensörlerle yapılan ölçümlerin sıcaklık, basınç gibi parametrelerinin kalıplanan ürünün çarpıklık veya büzülme gibi etkilenmesi ortaya konmuştur (Ageyeva ve ark., 2019). Kalıp içi ultrasonik sensörlerin geleneksel sıcaklık ve basınç sensörlerine göre avantajlı olup/olmadığını yönde yapılan bir çalışmada, ultrasonik sensörlerin polimerdeki kristallik derecesinin ürünün kesme, çekme dayanımı gibi fiziksel özelliklerine duyarlı olduğu gösterilmiştir (Kariminejad ve ark., 2021). Sensörlerin yanı sıra Şekil 2'de gösterildiği gibi kameralar ile de üretim izleme yapılabilmektedir. Bir çalışmada kompozit olarak üretilen yan yolcu hava yastığına ait bir filenin, kalıp

içi doğru yerleşimini görüntü işleme tekniği ile kameralı bir sistem tarafından kontrol edilerek üretimde hatayı azaltıp her baskıda kaliteli üretim hedeflenmiştir (Dallı ve Çakır, 2022).



Şekil 2. Plastik enjeksiyon makinesi ve kalıp içi izleme araçları (Kaynak: https://ecfpmould.com/how-is-the-injection-molding-processed/ , Erişim Tarihi: 08.01.2025)

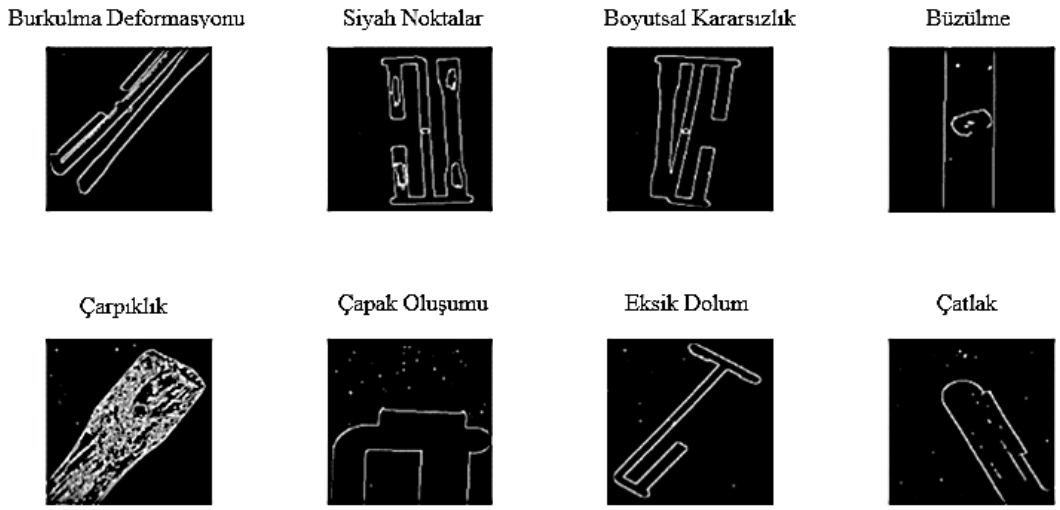
Kameralı bu sistemler, kalıplama öncesi kontrolde kullanıldığı gibi kalıplama sonrası kontrollerde de kullanıldığı görülmüştür. Bir çalışmada, fiber takviyeli polimerik ürünlerin enjeksiyon metodu ile üretilmesi esnasında fiber yönelimlerini belirlemek amacıyla görüntü işleme tekniğinden yararlanılmak istenilmiştir. Çalışma sonucunda, düşük lif içeriğinde sistemin tutarlı olduğu, yüksek lif içeriğinde ise karasız olduğu görülmüştür (Kim ve ark., 2001). %50 fiber takviyeli bir polipropilen (PP) malzemenin 4 mm kalınlığındaki dayanım test çubuğu üzerinde 2 kapılı bir dolum gerçekleştirilen başka bir deneysel çalışmada ise, Şekil 3'teki resimde X-ray ışını altında alınan görüntüsü üzerine Sobel pixel yoğunluk farkı uygulanmış ve fiber yönelimleri matematiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Görüntü işleme teknikleri fiber yönelimlerinin nicel analizini mümkün kılarak, kaynak hattının ürün üzerindeki mekanik özelliklere etkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlanmıştır (Kim ve ark., 2011).



Şekil 3. X-ray Işını altındaki görüntüsü (Kaynak: Kim ve ark., 2011)

Bilindiği gibi, Polimerik malzemelere mikro partikül ve nano partikül malzemeler katılarak ürünlerin fiziksel veya kimyasal özelliklerine katkı sağlanabilmektedir. Plastik telefon kılıfının enjeksiyonla üretimi sonrasında yüzeyindeki kusurların kamerayla görüntü işleme tekniği kullanılarak belirlenmesi ve Titanyum Dioksit (TiO_2) mikro partikülünün malzemeye karıştırılarak enjeksiyonu sonrası yüzeydeki kusurlarda azalma miktarını oransal olarak belirleyen deneysel bir çalışma da yapılmıştır (Lee ve ark., 2014). Kamera çözünürlüğünden piksel boyutuna ve oradan da deformasyon miktarına ulaşılabilir.

Plastik parça yüzeyindeki kusurların tespit edilmesi ve yer değiştirmelerinin hesaplanabilmesi için bir ışık kaynağının plastik parça yüzeyinden yansıtılarak görüntünün video kamera üzerine düşürülmesi sağlanmış; elde edilen görüntüdeki yansıma süreksizliklerinden konum, hata tipi ve deformasyon belirlenerek, görüntü dizisinin analizi yoluyla yüzey çöküntüleri ve çarpıklıkları gibi yüzey kusurları niceliksel olarak görselleştirilmiştir (Miike ve ark., 1995). Kalıplanan plastik ürünler üzerindeki hata tespitinin yapılması ve ürünlerin sınıflandırılmasında geleneksel yöntemlerin (elle) kullanıldığı işletmelerde ortaya çıkan zaman kaybı, üretim kapasitesini olumsuz etkilediği incelenen birçok çalışmada ileri sürülmüştür. Bu bağlamda, bir çalışmada, karmaşık senaryolarda enjeksiyon kalıplamanın verimli ve akıllı teşhisine olanak tanıyan, makine görüşü ve derin öğrenmeye dayalı bir "işleme-eşleştirme-sınıflandırma-teşhis" konsepti önerilmiştir. Plastik bileşenlerin görüntülerinin Şekil 4'te görüldüğü gibi 8 ayrı kategoride (çarpıklık, eksik dolum vs.) arıza görüntülerine ilişkin görüntü işleme yöntemleri ve derin öğrenme algoritmaları kullanılarak arıza kategorizasyonunun tanımlandığı belirtilmiştir. Görüntülerin ön işlenmesi için Gamma dönüşümü, rastgele gürültüleri gidermek için medyan filtreleme algoritması ve geometrik kenar bilgisi çıkarımı için Canny algoritması kullanılmıştır. Hu ve arkadaşları tarafından geleneksel bir VGG16 ağının yenilikçi bir şekilde yükseltildiği ifade edilmiştir. Bu teşhisin doğruluğu %53,33 den geliştirilmiş haliyle %96,67 ye çıkarttırılmış, kalite denetiminin doğruluğu ve yanıt verme yeteneği iyileştirilmiştir (Hu ve ark., 2022).



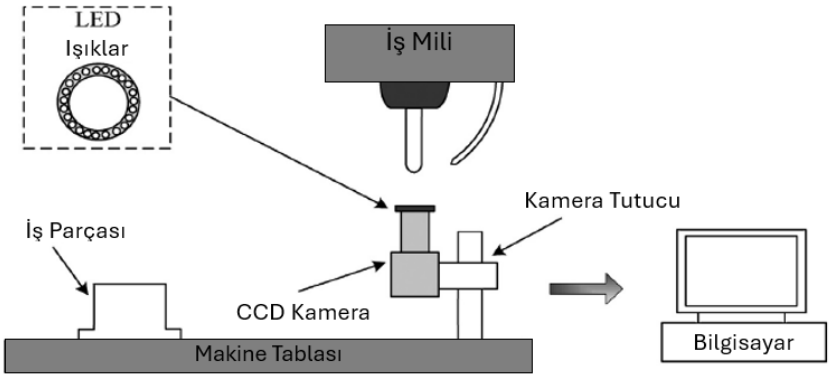
Şekil 4. Tespit edilebilen 8 hata tipi (Kaynak: Hu ve ark., 2022)

Enjeksiyonlu kalıplama sistemlerinde arıza teşhisi yapay zekasını desteklerken üretim güvenliği de arttırılmıştır.

2.3.2. Metal işlemede uygulanışı

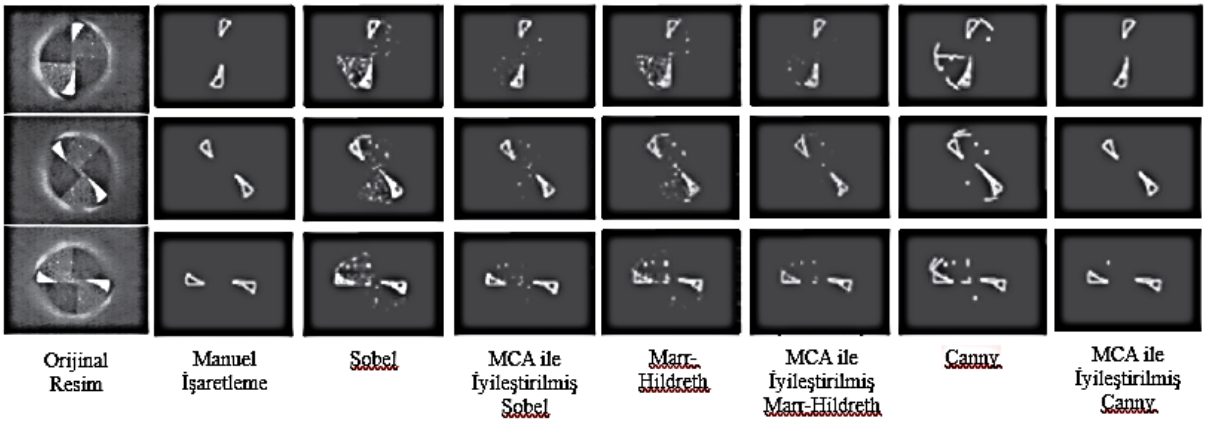
İmalat sanayisinde CNC tezgahların işleme esnasında takımlarında aşınma meydana gelir. Bu aşınmaların miktarının tespiti, işlenen parçalar üzerinde elde edilen ölçü doğruluğu açısından kritiktir. Gelişen teknoloji, kameralar ile ölçüm yapabilme imkânı sağlamaktadır. Bir çalışmada çevrim içi olarak

küresel uçlu bir takımın kamera ile izlenmesi yapılmıştır. Şekil 5'te görüldüğü gibi takımın işleme esnasında uğradığı aşınma miktarı, ölçüm noktasında konumlandırılan bir kamera ile değerlendirilmiştir. Geliştirilen sistem, kesici takımın belirlenen aşınma sınırının üzerinde olması durumunda takımın değiştirilmesi gerektiği uyarısını yapmaktadır (Zhang ve Zhang, 2013).



Şekil 5. CNC tezgahına entegre kamera şematik gösterimi (Kaynak: Zhang ve Zhang, 2013)

Bir başka çalışmada ise yalnızca küresel uçlu takımın değil 8 farklı tip kesici takımın, oluşturulan veri setleri ile otomatik olarak aşınma miktarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Yine tezgâha entegre bir kamera ile görüntü işleme teknikleri kullanılarak oluşturduğu yapay sinir ağlarını eğitip tam otomatik bir kesici takım aşınma analiz yöntemi geliştirilmiştir (Bergs ve ark., 2020). Aşınma miktarının kameralar ile doğru tahmin edilebilir olması, körelmiş takımlarla yapılacak olan parça işlemelerde yanlış ölçü çıkma olasılığını, dolaysısı ile kayıpları azaltacağı unutulmamalıdır. Takım aşınmasını doğru tahmin edebilmek için kenar bulma algoritmaları kullanılır. Bilinen kenar bulma algoritmalarını (Zalaoğlu ve Karakuş, 2022) birkaç farklı matkaptan aldığı görüntüler üzerinde uygulayarak kenar belirleme algoritmalarının performanslarını görsel üzerinden yorumlamışlardır ve uyguladıkları kenar bulma algoritmaları arasında kayda değer bir farka rastlayamamışlardır. Kenar bulma algoritmaları uygulanacak olan kesici takım görüntüsüne, sağlıklı bir analiz için gürültü giderme, sürekliliği tahminleme amaçlı morfolojik bileşen analizi (MCA) uygulanmalıdır. Bu yöntem, orijinal kesici takım aşınma görüntüsünü, hedef nesne, arka plan ve gürültü bileşenlerine ayırarak arka plan ve gürültünün etkisini azaltır. Morfolojik bileşen analizi kişinin kendisinin belirlediği bir yapı elemanının pikseller üzerinde filtre gibi gezdirilerek yeni görüntü elde etme metodudur. Bu yöntem ile genleşme (genişletme) veya aşındırma(daraltma) gibi işlemler yapılabilir ya da her ikisi de sırayla uygulanabilir. Kesici takım görüntüsünden (Yu ve ark., 2017) Şekil 6'da görüldüğü gibi kenar bulma algoritmaları ile kenar çizgilerini elde etmiş ardından morfolojik bileşen analizi ile yeniden bir kenar çizgisi elde etmiştir. Elde edilen, kesici takımın yeni kenar görüntüleri takım aşınma tahminlemesi yapılırken geleneksel yöntemden daha doğru bir şekilde yaptığı tespit edilmiştir.

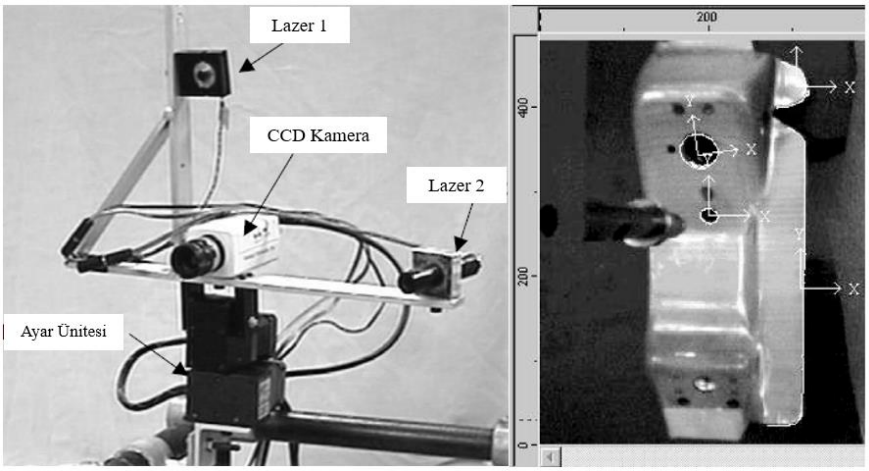


Şekil 6. MCA tabanlı ve klasik kenar bulma algoritmaları (Kaynak: Yu ve ark., 2017)

CNC tezgahlara, entegre edilen kameraların kullanımına farklı bir örnek (Öztürk ve Kuncan, 2020) tarafından yapılmıştır. İki buçuk eksen işlenmiş bir parçadan alınan görüntüden takım yollarını otomatik olarak oluşturabilen ve G kodlarına dönüştüren bir çalışma literatüre kazandırmışlardır. Bu çalışma iki buçuk eksen takım yolu üretse de tarama ile elde edilmiş 3B bir katı modelin kütükten işleniyormuş gibi otomatik takım yolunu oluşturabilmenin temellerini atmıştır.

2.3.3. Otomotivde uygulanışı

Otomotiv endüstrisindeki gelişmeler son dönemlerde ivme kazanmıştır. Özellikle otonom sürüş teknolojisi, sürücülerin araçlarını daha güvenli ve verimli bir şekilde kullanmalarını sağlamak için geliştirilmektedir. Günümüzde, sensör ve yapay zekâ teknolojileri, otonom sürüşün gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Otomotiv endüstrisinde görüntü işleme, otonom sürüş için ortam algılama (tabela, uyarı levhası, trafik ışıkları, vb.) yapma gibi teknolojiler otomobil üreticilerini heyecanlandırmaktadır (Özçevik ve ark., 2023). Sürücüsüz araç teknolojilerinin dışında, normal sürüş esnasında sürücünün uyuyup kazaya sebep olmaması için de görüntü işleme teknikleri kullanılabilir. Hem uzun süreli gözün kapalılığı tespit etmek göz kırpma sıklığından kişinin uyuyup uyumadığını tespit edilebildiği çalışmalar literatürde mevcuttur (Peker ve ark., 2023). Bununla birlikte, otomobil fabrikalarında üretim süreçlerini destekleyecek çalışmalar da yapılmıştır. Özellikle otomobil üretiminde fikstür ve aparatlardan yoğun şekilde yararlanılmaktadır. Fikstür tasarımı, üretimi zahmetli ve zaman alan bir yoldur. Bu yüzden otomotiv bileşenlerinin fikstürsüz montajı gerçekleştirilmesinde, geleneksel fikstürlerin yerini, esnek yazılım kontrollü robot kol ve bilgisayarlı görüş sistemleri almıştır. Şekil 7'de görüldüğü gibi robot kol ile doğru pozisyonda sabitlemeye çalışılan parçanın sisteme entegre bir kamera yardımıyla parça montajını olanak sağlayan hizalama ve konumlama yapabilen görsel denetimli bir algoritma geliştirilmiştir. ±1 mm tolerans ile delik merkezlerini doğru tespit etmiştir. Bu tolerans payı ise güvenilir kavrama için yeterlidir (Bone ve Capson, 2003).



Şekil 7. Parça pozlama ve ölçüm sistemi (Kaynak: Bone ve Capson, 2003)

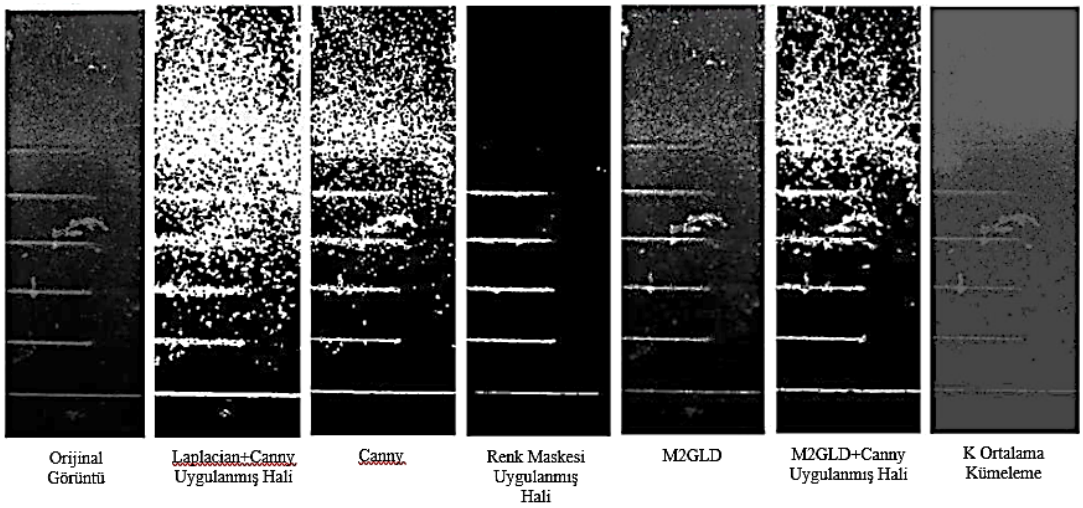
Yüksek çözünürlüklü kameralar sayesinde bazı hassas ölçümlerin ölçüm merkezlerine götürülmeden parçanın yerinde ölçümünün sağlanması olası zaman kayıplarını da ortadan kaldırmaktadır. Seri üretim hattına sahip bir otomotiv firmasının montaj hattında gerçekleştirilen ölçü kontrolünün manuel yapılması esnasında yaşanan zaman kaybının, sisteme eklenen robot kolla entegre kamera sayesinde azaltılması sağlanmıştır (Koç ve Özkan, 2021). Benzer şekilde seri üretimi yapılan, debriyaj sürtünme disklerinin (Clutch Friction Disc - CFD) kalite kontrolünün insan gözü ile yapılması ile yaşanan zaman kaybı için de kameralı bir otomatik sistemi geliştirilmiştir. Sistem, üretim hattında hareket eden disklerin görüntülerini alarak, öncesinde belirlenmiş olan kusurlar için yorumlamakta ve ürünleri kabul veya reddetmektedir. Sistemin geliştirilmesinde, Python ve OpenCV kullanılmış ve gürültüyü azaltmak için gaussian, debriyajın iç ve dış çaplarının tespiti için hough dönüşümü gibi görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Geliştirilen sistem, alınan görüntüdeki segmentlerin konumlarını, eksik veya yerinden oynamış segmentleri ve diğer kusurları tespit edebilmiştir. Bu yöntemle kusurlu ürünler üretim hattından otomatik olarak ayrıştırılmaktadır. Kaushik ve ark., (2022) tarafından kurulan sistem %78,33 doğruluk oranıyla çalışmaktadır. Robotiğin özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın kullanımı görüntü işleme ve yapay zekâ teknolojilerinin de eklenmesiyle bir araştırma alanı oluşturmuştur. Örneğin robot kol ile taşıma yapma üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmalarında (Kaya ve ark., 2023) bir nesneyi görüp algılayıp bir noktadan diğer bir noktaya taşırken nesnenin ağırlık merkezi ve taşıma anındaki kinematik hesaplarını gerçekleştirecek entegre bir algoritma kurmayı hedeflemiştir.

2.3.4. İşlenmiş parça yüzeylerinde uygulanması

İşlenmiş yüzeylerin kalitesinin daha iyi olabilmesi için deneysel yöntemler kullanılarak optimum parametre ayarları yapılan çalışmalarla tespit edilmeye çalışılmıştır. Devamında ise bu yüzeylerin kalitelerinin kontrol edilmesi de başka bir süreçtir. Üretilen yarı mamul ya da son ürünlerin kalite kontrol süreçlerinde, gözle muayene veya diğer test yöntemlerinin yanı sıra görüntü işleme teknolojilerinden de yararlanılmaktadır.

CNC tezgâhlarda işlenen kalıp çekirdeklerinin yüzey kalitelerinin plastik ürünün yüzey kalitesini etkileyebileceği bilinmektedir. CNC operasyonlarında değişken parametre ayarlarının yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemek amacıyla yapılan bir çalışmada Taguchi Metodu kullanılmıştır. Deney tasarımı ve süreç optimizasyonuna yönelik istatistiksel bir teknik olan Taguchi Metodu ile her bir parametre için dört farklı değer belirlenmiş ve bu değerlere göre analiz gerçekleştirilmiştir. Tam varyasyon da 256 deney yerine 16 deney gerçekleştirilen çalışmada Al 7075-T6 malzemede serbest formlu yüzeylerin kesme hızı, ilerleme hızı, yanal paso miktarı ve takım yolu stili parametrelerinden optimum kesme parametreleri deneysel olarak %95 güvenilir şekilde belirlenebilmiştir (Yaka ve ark., 2017). Benzer bir çalışmada X40CrMoV5-1 sıcak iş takım çeliğine yine aynı değişken parametre ayarları üzerinden (kesme hızı, ilerleme hızı, takım yolu stili ve yanal paso) kesici takımın kesme kuvveti ve takım sapmasının yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri araştırılmıştır. Dış bükey ve iç bükey eğimli yüzeyler üzerinde yapılan deneyler sonucunda yanal paso miktarının yüzey kalitesi için en önemli parametre olduğu, dış bükey düzlemlerde iç bükey düzlemlere göre daha düşük kesme kuvveti ve takım sapması değerleri tespit edilmiştir. Bunun sebebinin ise iç bükey formlarda talaşın içe yığılmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir (Gok ve ark., 2013).

Bir konveyör bant üzerinde ilerleyen dişli parçaların görüntü işleme ve kenar bulma algoritmaları kullanılarak, diş sayısına göre hatalı ve hatasız parçaların ayrıştırılmasını sağlayan bir sistem geliştirilmiştir (Boyacıgil ve Uzun, 2023). Kameralar bir görme mekanizması olduğu için ürünlerin yüzey hatalarını bulmada özellikle kullanılırlar. Bir somunun yüzeyindeki kusurları tespit edebilmek için yapay sinir ağı modeli geliştirilmiş ve tanımlanmış benzer kusurlar üzerinden hedef kusurların tahmini gerçekleştirilmiştir (Balcıoğlu, 2024). Metallerde yüzey ve yüzey altı kusurlarının tespitinde istenilen görüntüyü elde edebilmek için malzemenin ferromanyetik olma özelliği kullanılabilmektedir. Bu yönde yapılan bir çalışmada, manyetik sıvı ile yıkanmış metal bloktan ultraviole (UV) ışık altında alınan görüntüsüne görüntü işleme algoritmaları uygulanarak yüzeyde oluşabilecek olan 6 kusur tespit edilmeye çalışmıştır. Şekil 8'de görüldüğü gibi orijinal görüntü üzerine uygulanan görüntü işleme yöntemleri verilmiştir. Mevcut algoritmalar tarafından en fazla 6 kusurdan 5'i tespit edilirken, geliştirilen M2GLD algoritması ile 6 kusurun tamamının tespit edildiği ancak yüzeye en yakın olan kusur ve en derindeki kusur net bir şekilde tespit edilemediği görülmüştür (Sözeri ve ark., 2023).



Şekil 8. Orijinal görüntü üzerine uygulanan görüntü işleme algoritmaları (Kaynak: Sözeri ve ark., 2023)

2.3.5. Lazer baskı (3D) ile üretimde uygulanışı

Seçici Lazer Eritme (SLM), bir 3B baskı tekniği olarak bilinir. Bu teknik, katman katman malzeme biriktirerek veya eriterek üç boyutlu nesnelerin oluşturulmasını sağlar. SLM, metal tozlarının veya diğer malzemelerin kullanıldığı bir süreçtir. SLM sürecinde, bir lazer ışını metal tozlarının belirli bir alanını eritir, ardından katmanları birleştirerek istenen nesneyi oluşturur. Her katman, önceki katmanın üzerine uygulanır ve süreç tamamlandığında istenen nesne elde edilir.

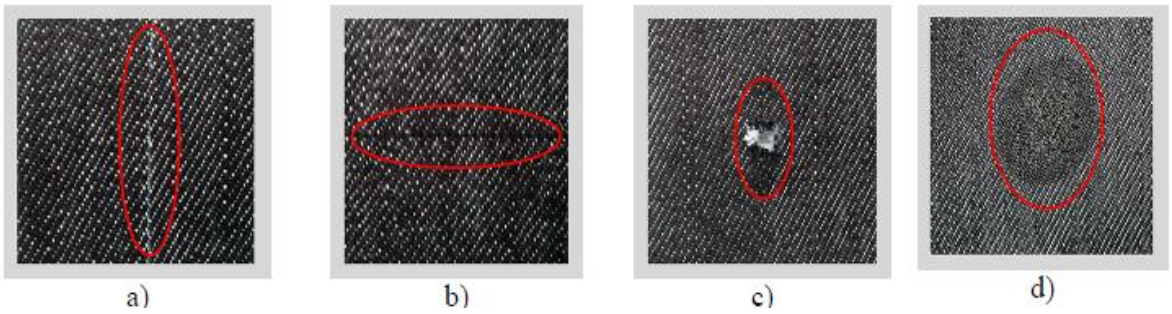
Yapılan bir çalışmada, SLM teknolojisine sahip bir 3D yazıcının toz yayma yatağını üretim esnasında izleyerek otomatik analiz yeteneği ve yaklaşımı sunmayı hedeflemiştir. Toz yayma aşaması sırasında meydana gelen anormallikleri tespit etmek ve sınıflandırmak için makine öğrenimi algoritması kullanılmıştır (Scime ve Beuth, 2018). Benzer bir çalışmada, imalat katmanlarındaki çizik, çatlak, desen vb. kusurların tespit edilmesine yönelik öğrenme aktarımı sağlanarak bir derin öğrenme modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan veri seti, üç farklı ön öğrenmeli modelin eğitim ve testi için kullanılmış olup, en iyi hata tespit ve sınıflandırma yeteneğine sahip modelin VGG-16 olduğu belirlenmiştir (Duman ve Özsoy, 2022).

Diğer bir çalışmada (Okudan ve Şahin, 2019), 3 boyutlu nesne tanımlama yaparken eş zamanlı olarak parçaların sonlu elemanlar analizi de gerçekleştirilmiştir. Derin öğrenmeyle yapay sinir ağları eğitilerek geliştirilen algoritmada nesneyi tanımlayıp girdiye ihtiyaç duymadan analizini gerçekleştirmeye çalışmıştır. Böylelikle de 3D yazıcı teknolojisinin ihtiyaç haline getirdiği sonlu elmanlar analizinin gelecekte telefon kamerası ile bilene yapılabilirliğinin mümkün kılınması adına bir altyapı oluşturulmak istenmiştir.

2.4. Tekstilde Uygulanışı

Bilgisayarlı görme, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi teknolojilerle sıkı bir şekilde ilişki içindedir. Günümüz gelişmeleri ile görüntü işleme algoritmaları daha da karmaşık hale gelse de daha doğru, hızlı ve etkili çözümler sunmaktadır. Makineleşen tekstil sektöründe, hızlı akan ve sürekli olan bir üretim

bulunmaktadır. Dolayısı ile üretimin insan gözü ile kontrolü zorlaşmaktadır. Bu nedenle tekstil sektöründe üretimin kalite ve kontrolü için kameralarla takip edilmesi yönünde birçok çalışma yapılmaktadır. Tekstil sektöründe insanın hatayı tespit etme hızı ve başarı oranını ortaya konulan bir çalışmada (Pınar ve ark., 2020), hali hazırda 200' den fazla kumaş hatasının olduğu, bu hataların en fazla %70'ini belirleyebilecek kapasiteye sahip kalite kontrol elemanının yetiştirilebilmesinin eğitim, zaman ve maliyeti açısından oldukça zahmetli olduğu ileri sürülmüştür. Buna çözüm olarak görüntü işlemeye dayalı bir yapay sinir (karar verme) ağı önerilmiştir. Oluşturulan 5 farklı yapay sinir ağı modelleri arasında, kumaş hataları tespitindeki başarı yüzdesi karşılaştırılmıştır. Diğer bir çalışmada ise rulo şeklindeki kot kumaşlarını çevrimiçi olarak izleyerek Şekil 9'da de gösterilen hataların (çözgü kopuğu, atkı kopuğu, delik, yırtık ve leke gibi) olup/olmadığını tespit edebilen bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir (Güvenoğlu ve Bağırgan, 2019).



Şekil 9. Dokuma kumaş hataları: a) Çözgü kaçığı, b) Atkı kaçığı, c) Delik hatası, d) Yağ lekesi (Kaynak: Güvenoğlu ve Bağırgan, 2019)

2.5. Gıda Sektöründe Uygulanışı

Gıda sektöründe görüntü işleme, ürün kalitesinin kontrolü, yabancı maddelerin tespiti, paketleme, sınıflandırma ve hijyen kontrolü gibi bir dizi uygulama için kullanılan önemli bir teknolojidir. Bu teknolojinin kullanımı, üretim maliyetlerini düşürmeye, kaynakları daha etkin kullanmaya ve tüketicilere daha güvenilir ürünler sunmaya yardımcı olabilir. Dünya çapında et ve hayvansal ürün talebinin artan nüfusun etkisiyle önümüzdeki 20 yıl içerisinde gıdaya olan ihtiyacı en az %50 oranında artıracağı öngörülmektedir. Bu yüzden etlik piliç üretiminde hassas hayvancılık teknolojilerinin kullanımını artırmak gerekmektedir. Üreticiler geleneksel yöntemleri kullanılarak tavuk sağlığını, refahını ve üretimini kontrol edememektedirler. Çünkü, çiftçiler yorulabilir ve uyuyabilirler ancak bilgisayarlar ve teknolojik cihazlar yorulmaz ve dinlenmeye ihtiyaç duymazlar. Bu nedenle görüntü işleme yöntemlerinin yoğun hayvancılık yapan işletmelerde aktif olarak kullanılmasının olumlu bir etkiye sahip olacağı açıktır (Aydın, 2020). Gıda üreticilerinin görüntü işleme yazılımlarına en çok ihtiyacı olduğu alan, kalitesine göre (iriliğine, küçüklüğüne, vb.) sınıflandırma ve yabancı madde tespitidir. Örneğin bir fındık üretiminde seri bir şekilde kalite sınıflandırılması ihtiyacını gidermek için derin öğrenme tekniklerini kullanan bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. 4540 görüntü kullanılarak eğitilen bu yapay zekâ modeli 0,038 hata ile çalışmaktadır (Gadalla ve Öztekin, 2023).

2.6. Enerji Sektöründe Uygulanışı

Enerji sektöründe, görüntü işleme teknolojisinin bir dizi uygulama alanı bulunmaktadır. Örnek olarak, termal kameralarla izleme, tesis güvenliği, tesis yönetim ve bakım gibi alanlar verilebilir. Termal görüntüler, görüntü işlemeye tabi tutulup anlık sıcaklık verilerine dönüştürülebilir. Bir çalışmada kızıl ötesi görüntüleme ile elde edilen görüntüler, görüntü işleme tekniği ile soğutucu akışkanların sıcaklık verileri haline dönüştürülmüştür. Geleneksel hesaplamalı soğutma değerleri ile termal kamera ile elde edilen değerler soğutma performansı açısından karşılaştırılmıştır (Katırcıoğlu ve ark., 2020). Diğer bir çalışmada ise, sıcaklık verileri, kamera ile alınan alev görüntüsü üzerinden tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, kömür yakıtlı bir brülörün baca gazı sıcaklığının tahmin edilebilmesi için yanma için belirlenen 6 çeşit model ile bir deney gerçekleştirilmiştir. Alev görüntüsünün (Golgiyaz ve ark., 2019) yoğunluk değeri dağılımını yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulaması gerçekleştirerek %97 oranında baca gazının sıcaklık tahminini doğru olarak yapmışlardır. Optik algılayıcılar ve derin öğrenmeli yapay zekâ modülleri birleştirilerek elde edilen veriler üzerinden yanma verimliliğin değerlendirildiği bir başka çalışmada da yanma verimliliğini etkileyen 2 tür arıza belirlenmiş ve derin öğrenme yapılabilmesi için veri hazırlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Arıza 1'in tespitinde kullanılmak üzere 2100 alev görüntüsünden Arıza 2'nin tespitinde ise 950 alev görüntüsünden faydalanılmıştır (Lyu ve ark., 2019).

3. Bulgular ve Tartışma

Günümüzde, görüntü işleme teknolojisinin endüstriyel üretimde kullanılma hızı giderek artmaya başlamıştır. Fakat incelenen makalelerden, görüntü işleme teknolojisinin üretime entegre edilmesinin avantajları ile birlikte dezavantajlarında da olduğu anlaşılmıştır.

3.1. Avantajları

Görüntü işleme ile üretimde hataların tespitinde başarının yüksek olduğu söylenebilir. Plastik enjeksiyonla makinelerinde yapılan üretimlerde, hata tespiti için kamera kullanımındaki başarı için %96,67 gibi yüksek bir oran ifade dilmiştir (Hu ve ark., 2022). Ayrıca, otomatik tanıma ve sınıflandırma sistemleri sayesinde üretim sürecini hızlandırdığı ve dolayısı ile üretimde verimliliği artırdığı ifade edilebilir. Bu bağlamda, otomotiv montaj hattı için yapılan bir çalışmada (Koç ve Özkan, 2021), görüntü işleme ile çevrim süresinde %60,46 düşüş sağlandığı ve dolayısı ile üretim hattında %18,60 oranında verim artırdığı görülmüştür. Görüntü işleme teknolojilerinin, birçok alanda kullanılabilir olması bu teknolojileri esneklik ve uyarlanabilirlik açısından da avantajlı duruma getirmektedir. Görüntü işleme teknolojileri, farklı ürünler için hızlı bir şekilde programlanabilir ve üretim süreçlerindeki değişikliklere hızlı bir şekilde uyum sağlayabilir. Gelecekte, akıllı fabrikalar, otomatik haberleşme sistemleri ve yapay zekâ tabanlı karar mekanizmalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, işgücü dinamiklerinde önemli değişiklikler olabilir. Sabit, monoton, insan psikolojisinin yıpranacağı işleri kameralı bir otomasyon

sistemi kurularak makinaya yaptırmak daha seri ve insan sağlığı için yararlı olacaktır. Bazı işlerin otomatikleştirilmesi, belirli beceri ve yeteneklerin yeniden değerlendirilmesini gerektirebilir. Ancak, bu aynı zamanda yeni iş fırsatlarının da ortaya çıkmasına neden olabilir.

3.2. Dezavantajları

Ancak, bu teknolojinin beraberinde getirdiği bazı potansiyel riskler de var. Yüksek maliyetleri ve teknik zorlukları göz önüne alındığında, küçük ölçekli işletmeler için erişilebilir olmayabilir. Ayrıca, doğru şekilde yapılandırılmadığında örneğin aydınlatma yetersiz olduğunda, kamera açısı düzgün ayarlanmadığında veya çözünürlük yetersiz olduğunda yanlış sonuçlara ve hatalı üretim süreçlerine neden olabilir. Belki de en önemlisi, insan işgücünü azaltma potansiyeline sahip olmasıdır. Görüntü işleme teknolojisiyle kurulan otomasyon sistemleri, belirli işleri otomatikleştirerek bazı çalışanların işlerini kaybetmesine veya iş değişikliğine neden olabilir.

4. Sonuçlar

Üretimin izlenmesinde, görüntü işleme teknolojilerinin kullanıldığı çalışmaların incelenmesine yönelik olarak aşağıda sonuçlar elde edilmiştir. Üretimde görüntü işleme teknolojileri kullanıldığında:

- Sağladığı otomasyon ile üretimde verimliliği artacaktır.
- Üretim süreçlerini ve kalite kontrolünün iyileştirilmesinde büyük katkı sağlayacaktır.
- Endüstriyel uygulamalarda, hataların erken tespiti sayesinde maliyetleri düşürülebilme potansiyeli vardır.
- Gelecekte daha da yaygınlaşması ve çeşitlenmesi beklenmektedir.
- İnsan işgücü kaybına sebep olma olasılığı bulunmaktadır.
- Kullanılma amacına ve yerine göre donanımsal olarak ilk kurulum maliyetleri yüksektir.
- Kullanılacağı yere ve amaca göre yazılımsal iyileştirmelere ve özelleştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynakça

Ageyeva T., Horváth S., Kovács JG. In-mold sensors for injection molding: On the way to industry 4.0. Sensors 2019; 19(16): 3551.

Aydın A. Etlik piliç üretiminde hassas hayvancılık teknolojilerinin önemi. Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi 2020; 1(1): 88-98.

Bağcı E. Endüstri 4.0: yeni üretim tarzını anlamak. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2018; 9(24): 122-146.

Balcıoğlu YS. Small object detection method with k-detector for metal parts surface defect detection. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2024; 14(2): 538-549.

Barış B., Özek HZ. Dokuma kumaş hatalarının sistematik sınıflandırılması üzerine bir çalışma. Tekstil ve Mühendis 2019; 26(114): 156-167.

Baygin M., Karakose M., Sarimaden A., Erhan A. Machine vision based defect detection approach using image processing. In 2017 international artificial intelligence and data processing symposium (IDAP) (2017, September); (pp. 1-5). IEEE.

Bergs T., Holst C., Gupta P., Augspurger T. Digital image processing with deep learning for automated cutting tool wear detection. Procedia Manufacturing 2020; 48: 947-958.

Bone GM., Capson D. Vision-guided fixtureless assembly of automotive components. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 2003; 19(1-2): 79-87.

Boyacıgil MF., Uzun Y. Raspberry pi tabanlı görüntü işleme uygulaması geliştirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(2): 1067-1078.

Dallı B., Çakır MC. Development of an ımage processing system for the automatic quality control of the vehicle airbag plastic parts. 10th International Congress on Engineering, Architecture and Design 2022; 68-79.

Demirkıran E. Akıllı kalite kontrol kameraları ve karşılaştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 28: 627-629.

Duman B., Özsoy K. Toz yatak füzyon birleştirme eklemeli imalatta kusur tespiti için öğrenme aktarımı kullanan derin öğrenme tabanlı bir yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2021; 37(1): 361-376.

Gadalla OAA., Öztekin YB. Image processing and traditional machine learning based classification of brown marmorated stink bug (halyomorpha halys) defected hazelnut. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 2023; 20(4): 784-798.

Gerger A. Endüstri 4.0 üretim sürecinde süreç değişkenliğinin optimizasyonunda heıjunka yöntemi. Izmir Democracy University Social Sciences Journal 2019; 2(1): 1-17.

Gok A., Gologlu C., Demirci HI. Cutting parameter and tool path style effects on cutting force and tool deflection in machining of convex and concave inclined surfaces. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2013; 69: 1063-1078.

Golgiyaz S., Talu MF., Onat C. Görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri ile baca gazı sıcaklığının tahmin edilmesi. Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi 2019; 16: 283-291.

Gonzalez RC., Woods RE. Digital image processing. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall; 2002.

Güvenoğlu E., Bağırgan M. Shearlet dönüşümü ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak kot kumaşlar üzerinde gerçek zamanlı hata tespiti. El-Cezeri 2019; 6(3): 491-502.

Güzelce B., Bayrak G. Developing a real-time pattern matching algorithm using artificial neural network for a reliable quality control in industrial applications. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2021; 11(2): 537-546.

How Is The Injection molding processed. Knowledge. Shanghai Henglian Industrial Co. Ltd., 6 Ocak 2020, Erişim Tarihi: 08.01.2025, https://ecfpmould.com/how-is-the-injection-molding-processed/.

Hu Z., Yin Z., Qin L., Xu F. A novel method of fault diagnosis for injection molding systems based on improved Vgg16 and machine vision. Sustainability 2022; 14(21): 14280.

Kariminejad M., Tormey D., Huq S., Morriso, J., McAfee M. Ultrasound sensors for process monitoring in injection moulding. Sensors 2021; 21(15): 5193.

Katırcıoğlu F., Cingiz Z., Çay Y., Gürel A., Sarıdemir S., Kolip A. R22 ve alternatifleri R438A ile R417A soğutucu akışkanları için kızılötesi görüntü işleme teknikleri kullanarak, soğutma sistem performansının incelenmesi. Academic Platform-Journal of Engineering and Science 2020; 8(3): 500-513.

Kaushik S., Jain A., Chaudhary T., Chauhan NR. Machine vision based automated inspection approach for clutch friction disc (CFD). Materials Today: Proceedings 2022; 62: 151-157.

Kaya Z., Aksoy B., Özsoy K. Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen altı eksenli robot kol ile görüntü işleme ve yapay zekâ tabanlı ürünlerin tasniflemesi. Journal of Materials and Mechatronics: A 2023; 4(1): 193-210.

Kim EG., Park JK., Jo SH. A study on fiber orientation during the injection molding of fiber-reinforced polymeric composites:(Comparison between image processing results and numerical simulation). Journal of Materials Processing Technology 2001; 111(1-3): 225-232.

Kim JW., Kim HS., Lee DG. Study on fibre orientation of weld line parts during injection moulding of fibre reinforced plastic by image processing. Materials Research Innovations 2011; 15(1): 303-306.

Koç Y., Özkan D. Otomotiv sektöründe kullanılan parçaların robot ve kamera yardımı ile ölçümü yapılarak, manuel hatanın azaltılması. Journal of Materials and Mechatronics: A 2021; 2(2): 112-126.

Kurt M., Kamber OS., Kaynak Y., Atakok G., Girit O. Experimental investigation of plastic injection molding: Assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products. Materials & Design 2009; 30(8): 3217-3224.

Lee JY., Han CH., Ko KW., Lee S. Development of vision system for defect inspection of electric parts in the tape and reel package. In 2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS) (2016, October); (pp. 437-439). IEEE.

Lee T., Tho G., Oh S., Hahn JW. Enhancing the image contrast of defect patterns in molded plastic cases of mobile phones with a digital image process. Advances in Polymer Technology 2014; 33(1).

Lyu Y., Chen J., Song Z. Image-based process monitoring using deep learning framework. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 2019; 189: 8-17.

Miike H., Koga K., Yamada T., Kawamura T., Kitou M., Takikawa N. Measuring surface shape from specular reflection ımage sequence–quantitative evaluation of surface defects of plastic moldings–. Japanese Journal of Applied Physics 1995; 34(12A): L1625.

Ogorodnyk O., Martinsen K. Monitoring and control for thermoplastics injection molding a review. Procedia Cirp 2018; 67: 380-385.

Okudan, A., Şahin, ÖS. Yapay sinir ağları ile üç boyutlu obje sınıflandırmada konvolüsyon filtrelerinin etkisinin incelenmesi. Selcuk University Journal of Engineering Sciences 2019; 18(3): 164-178.

Osswald TA., Hernández-Ortiz JP. Polymer processing. Modeling And Simulation. Munich: Hanser 2006; 1-651.

Özçevik Y., Solmaz Ö., Baysal E., Ökten M. Otonom araç tasarımı için gerçek zamanlı benzetim ortamı mimarisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2023; 38(3): 1867-1878.

Öztürk S., Kuncan M. Kameradan alınan görüntünün CNC tezgâhında gerçek zamanlı olarak işlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2020; 9(3): 1251-1263.

Peker NY., Zengin A., Eroğlu Erdem Ç., Demirsoy MS. Göz kırpma tespiti için yeni bir uyarlamalı eşik değeri algoritması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 2023; 31(2): 718-728.

Pınar Z., Gülağız FK., Altuncu MA., Şahin S. Denim kumaşlarda görüntü işleme ile hata tespiti. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2020; 9(4): 1609-1620.

Samtaş G., Gülesin M. Sayısal görüntü işleme ve farklı alanlardaki uygulamaları. Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges) 2012; 2(1): 85-97.

Scime L., Beuth J. Anomaly detection and classification in a laser powder bed additive manufacturing process using a trained computer vision algorithm. Additive Manufacturing 2019; 19: 114-126.

Sözeri V., Keskin O., Harmanşah C., Kozak İ., Kibar EN. Görüntü işleme algoritmalarına dayalı olarak manyetik parçacık test görüntülerinde kusur tespitinin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2023; 23(1): 115-122.

Ülkü E., Demir Ö., Yildiz K., Yildiz Z. Fiber thickness measurement using image processing. 2015 23nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) 2015; 1166-1166.

Yaka H., Demir H., Gök A. Optimization of the cutting parameters affecting the surface roughness on free form surfaces. Sigma 2017; 35(2): 323-331.

Yu X., Lin X., Dai Y., Zhu K. Image edge detection based tool condition monitoring with morphological component analysis. ISA Transactions 2017; 69: 315-322.

Zalaoğlu D., Karakus P. İşlenebilirlikte kenar belirleme algoritmalarının kullanılabilirliği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 707-719.

Zhang C., Zhang J. On-line tool wear measurement for ball-end milling cutter based on machine vision. Computers in Industry 2013; 64(6): 708-719.