

# KARANLIK FABRİKALARA GİDEN YOLDA OTOMASYON ADIMLARI

Murat Anıl Oral<sup>1</sup>

## 1. GİRİŞ

Herşeyden önce Karanlık Fabrika olgusunu tanımlamakta yarar olduğunu düşünüyorum. Karanlık Fabrikalar, çok da kısa olmayan bir zamandan beri üzerinde konuşulan ancak son 10 yılda artık gerçekleşmeye başlayan bir üretim sistemini tanımlarlar. Karanlık Fabrika denildiğinde, gerçekten kapkaranlık, ışıklarının yanmadığı bir ortam tanımlanmamaktadır. Aslında kastedilen, insan işgücünün, müdahalesinin ve hatta inisiyatifinin en aza indirildiği, tüm üretim süreçlerinin otomasyona bağlı bir ya da birden çok merkez tarafından yönetilen robot sistemleri tarafından ele alındığı bir üretim sistemidir.

## 2. SANAYİ DEVRİMLERİ

Karanlık fabrikalara giden yolu anlayabilmek için biraz geçmişe giderek sanayinin bugüne gelen kadar geçtiği

adımlara, diğer bir deyişle bilinen sanayi devrimlerine kısaca göz atmak gerekir.

Her bir sanayi devrimi, iş yapma (üretim) yöntemlerinin önemli ölçüde değiştiği ve bu değişikliklerin tüm sosyal hayatı da ciddi biçimde etkilediği süreçlerdir.

Birinci Sanayi Devriminin başlangıç tarihi olarak 18. yy'ın ikinci yarısı ve başlangıç yeri olarak da İngiltere gösterilir. Bu bilgi büyük oranda doğru olmakla beraber aslında sanayi devrimini, anlık bir değişim olmaktan ziyade daha çok bir süreç olarak tanımlamak daha doğru olacaktır.

Şöyle ki, Birinci Sanayi Devrimini ateşleyen başlıca unsur, hareketin, insan gücü ya da doğal kuvvetler dışında daha otomatik, sürekli ve yüksek kuvvet oluşturacak şekilde buhar gücü ve akışkan gücü ile elde edilmiş olmasıdır. Ayrıca, kimyasal üretim yöntemleri ve demir-çelik üretim tekniklerinde de ani bir değişim yaşandı.

<sup>1</sup> Makina Mühendisi, Pulsar Robotik Sanayi ve Ticaret A.Ş. – CEO - [murat.oral@pulsar.com.tr](mailto:murat.oral@pulsar.com.tr)



Şekil 1. Henry Maudslay Tarafından Geliştirilen Torna Tezgahı

Hareket diyerek, gemi ya da tren gibi taşımacılığı kast edilebileceği gibi, aynı zamanda fabrikalarda ihtiyaç duyulan hareketler de, örneğin değirmenleri çalıştırmak gibi, kast edilmektedir.

1774'te John Wilkinson, büyük çaplı buhar silindirlerinin üretilebilmesi için hassas Boru çekme makinasını icat etti. Hemen hemen aynı tarihlerde Henry Maudslay, sonsuz vida kullanan, dişli oranları ile hız değiştiren, yatakları bulunan torna tezgahını icat etti.

Sanayi devriminden önce insan gücü, insiyatifi ön planda idi. Sonuç olarak da üretim süreçleri yavaş ve dolayısıyla üretilen ürün de pahalı idi. Aynı sebeplerden, ürünler sabit bir kalite seviyesine sahip olmaktansa, üreten ustanın (işçinin) bilgi ve beceri seviyesinde bir kaliteye sahipti.

Birinci Sanayi Devriminde en hızlı değişim sergileyen sektör tekstil oldu. El dokumasından, makina üretimi kumaş noktasına geçişte en çok işçi talebi tekstil sektöründe gerçekleşti. Yani, tahmin edilenin aksine insanlar işsiz kalmadı.

Birinci Sanayi Devrimi ile beraber üretim hızlandı, arz arttı, talep arttı, dolayısıyla üretmek için daha çok çalışana ihtiyaç duyuldu. İlk aşamada bu çalışanlar yoğun olarak tarlalardan fabrikalara, dolayısıyla, kırsal kesimden kentlere geçiş yaptılar.

Birinci Sanayi Devrimi ile ortaya çıkan üretim şeklini en

iyi adlandıran jargon "mekanizasyon" olacaktır.

Sanayi devrimi ile insanların hayatlarında farklı alanlarda marjinal değişiklikler oldu

Sosyolojik olarak bakıldığında, ilk olarak işçi sınıfı kavramı ortaya çıktı.

Yüksek talebe karşılık vermek için oluşan hızlı üretimin sonucunda çevre kirliliği kavramı ortaya çıktı.

Bir tarafta standart kalite ile üretilen mallarla beraber refah düzeyi artarken, diğer tarafta yüksek işgücü talebini karşılamak için çocuk işçi kullanımını yaygınlaştı.

Düzenli çalışma hayatı -mesai kavramı- ve işgücü talebi sonucunda nüfus artışı hızlandı.

Bu sürecin çok önemli bir çıktısı da, kentleşme ve kent düzenlenmesi sonucunda insan ömrünün uzaması oldu.

Tam olarak 100 yıl sonra, endüstri bu sefer bir basamak daha atladi. Yine tetikleyici olan etmen yeni bir enerji kaynağı olan gaz, petrol ve hemen ardından elektrikli. Petrol kullanımı ile beraber içten yanmalı motorların yaygınlaşması, elektriğin hem sanayi de hem günlük hayatta kullanım yeri bulması ile beraber çelik ihtiyacı bir anda inanılmaz boyutlara ulaştı.

Bu yeni dönem, İkinci Endüstriyel Devrim olarak adlandırılır. Bu süreçte, sadece üretim yöntemleri değil, haberleşme yöntemleri de değişmeye başlar. Telgraf yaygınlaşır, telefon icat edilir ve hızla kendine yer bulur. Yirminci yüzyıl başı itibariyle otomobiller ve hemen ardından uçaklar piyasadaki yerini alır.

Yine yirminci yüzyıl başında otomobillerin yaygınlaşması ve talebin roket hızı ile artması sonucu, üretimin de buna ayak uydurma zorunluluğu ortaya çıktı. Bu talebi karşılamak için ilk olarak Ford fabrikasında yürüyen hat üzerinde montaj tekniği uygunlandı. Bu sayede, bir aracın komple üretimi 12 saatten, 1 saat 33 dakikaya düştü. Birim zamandaki üretim hızının artmasının yanı sıra, hat üzerinde montaj yapılarak fabrika alanından büyük ölçüde tasarruf sağlandı.



Şekil 2. Yürüyen Hat Üzerinde Otomobil Montajı

Öncesinde, fabrikanın bir çok noktasında aynı anda aynı ürün üretildiği durumda kapasite artırmanın tek yolu, fabrikanın daha çok alanında aynı ürünü üretilebilir hale getirmektir.

Biraz daha açmak gerekirse, Bir A ürünümüz var. Bu ürünü üretmek için 10 adet istasyon kurduk. Her bir istasyonda çalışan 2 kişi beraber çalışarak 8 saatte bu ürünü üretiyorlar. Toplamda 20 işçi, bir vardiyada 10 adet A ürünü üretebiliyor. Eğer üretim kapasitemizi %10 artırmak istersek, 10 adet olan istasyonumuzu 11 adete çıkartmamız gerekir. Yeni istasyonumuz için hem yer bulmalıyız, hem de kalifiye, A ürününü baştan sona üretmeye yetkin 2 yeni işçi yetiştirmeliyiz.

Yürüyen hat üzerinde her alan önceden belirlenmiş bir iş yaptığı için, bu alana özel alet, aparat ve makina tasarlanması ve uygulanması mümkün hale geldi. İşte tam da bu nokta, otomasyona göz kırptığı andır. Öncesinde, örneğin, otomobil kaputunu kolay monte edebilmek için bir aparat kullanılması gerekiyorsa, bu ayardan fabrikadaki montaj istasyonu sayısı kadar üretmek gerekiyordu.

Benzer bir durum kalifiye iş gücü için de geçerlidir. Öncesinde, üst düzey beceri gerektiren bir iş varsa, montaj istasyonu sayısı kadar o işi yapma yeteneğine sahip se-

viyede operatör (işçi) gerekirken yeni durumda bu ihtiyaç önemli ölçüde düşer ve dolayısıyla da kalitede standartlaşmaya gidilir.

Biraz önceki örneğimize dönersek, aynı A ürününü montaj bandı üzerinde üretmeye başladığımızı varsayalım. Kapasitemiz yine vardiyada 10 ürün olsun. Eğer kapasitemizi %10 artırmak istersek, öncelikle bir analiz yapmamız gerekir. Montaj hattı boyunca, her bir işlemin ne kadar zaman aldığı listeler, montajın geri kalanını yavaşlatan (darboğaz) adımı buluruz. Ardından, bu adımı hızlandırmak için belki bir işçi daha ilave eder, ya da üretimi hızlandırıcı bir makina / alet sağlarız.

Buraya kadar işin teknik kısmı üzerinde söz edilmiştir. İşin sosyal yanına bakılacak olursa, üretmek için gereken nitelikli işçi ihtiyacı azalmış, daha çok üretmek için aynı oranda işçi artırmak

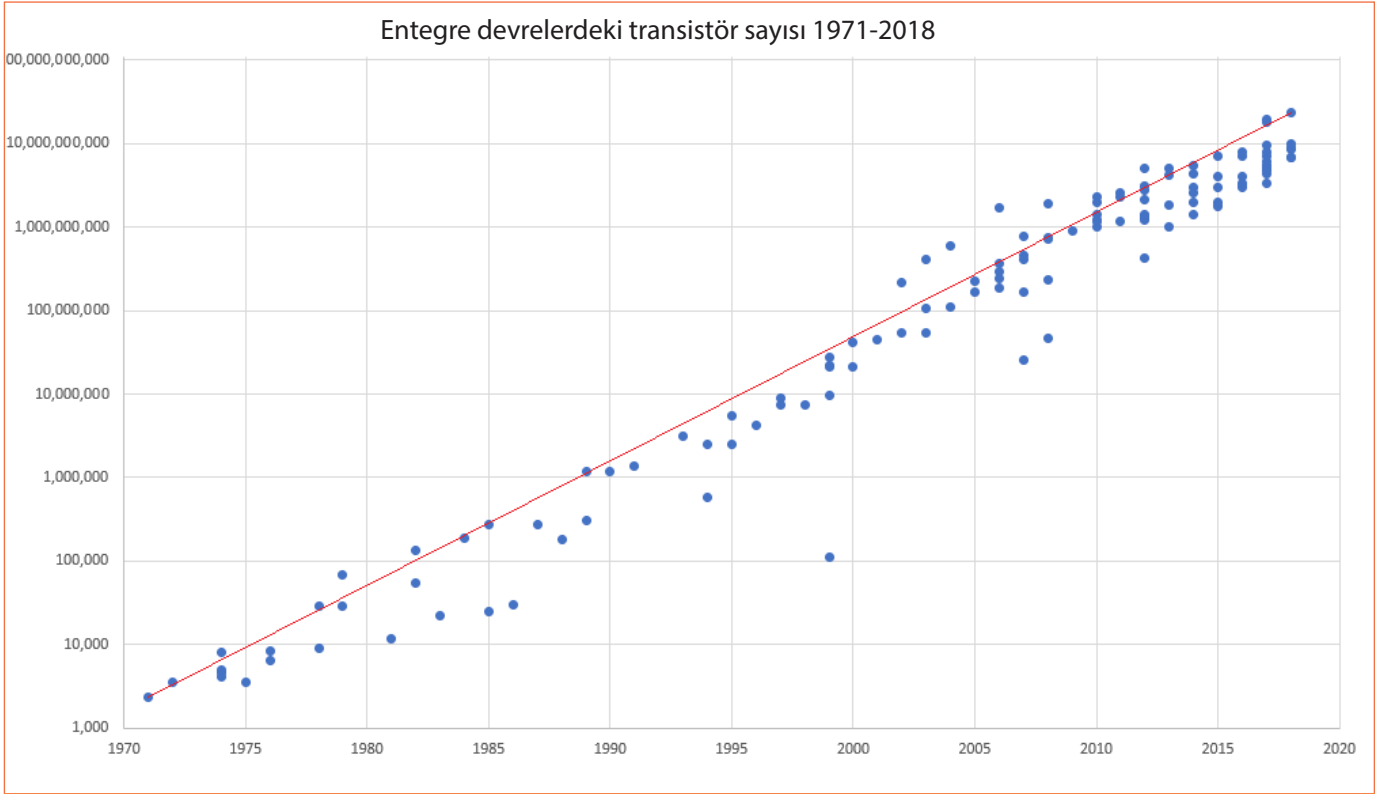
gereksinimi ortadan kalkmıştır. Gerektiğinde kapasiteyi artırmak için ya da işten ayrılan işçinin yerini doldurmak için yeni bir işçi bulması zor değildir, keza gereken kalifikasyon düşüktür. Bu sayede hızlı hareket olanağı vardır ve üretim performansı yüksektir.

1947 yılına gelindiğinde, Bell Laboratuvarlarında ilk çalışan transistör üretildi. Bu projede çalışan John Bardeen ve Walter Houser Brattain farkında mıydı bilinmez ancak bu küçük görünen elektronik komponent, aslında yeni bir çağın başlangıç kıvılcımı idi; Dijital Çağ ya da bir diğer adıyla Üçüncü Endüstriyel Devrim.

Transistör, ilk genel amaçlı bilgisayarın (LEO) yapılmasını sağladı. Hemen ardından 1959'da entegre devre çipleri ve ilk MOSFET ("metal-oxide-semiconductor field-effect transistor") (metal-oksit-yarı iletkenli - alan etkili transistör), 1963'te ise CMOS ("complementary metal-oxide-semiconductor") (bütünleyici metal oksit yarı iletken) üretildi.

Sene 1971 olduğunda, Intel 4004 kodu ile ilk mikro-ışlemciyi üretti. Sadece 24 sene içerisinde basit elektrik devrelerinden ilk mikro-bilgisayar aşamasına geçildi.

1965 senesinde bir makalesinde bu hızı tanımlamak için Intel'in kurucularından Gordon Moore'un o zamanlar



Şekil 3. 1971-2018 Yılları Arasında Transistör Sayılarının Artışı [1]

yapmış olduğu tanım, bugün Moore Yasası olarak bilinmektedir. Gordon Moore, her 18 ayda bir, entegre devre üzerine yerleştirilebilecek bileşen sayısının iki katına çıkacağını ve bunun bilgisayarların işlem kapasitelerinde büyük artışlar yaratacağını belirtmiştir. Diğer yandan entegre devre üretim maliyetlerinin ve dolayısıyla piyasa fiyatlarının aynı kalacağını, hatta düşme eğilimi göstereceğini eklemiştir. Gordon Moore, 1975 senesinde bu savını güncellemiş ve 18 ay yerine 24 ay değerini öngörmüştür.

### 3. OTOMASYONA GEÇİŞ

Unutmayalım konumuz Otomasyon. Peki, burada otomasyon nerede diyebilirsiniz. Aslında tam da otomasyonun içine düşüyoruz. Hatırlarsak Birinci Sanayi Devrimi sonunda ortaya çıkan yeni üretim şekline "mekanizasyon" demiştik. İkinci Sanayi Devrimi, "mekanizasyon" u ilerletti ve yeni ve hızlı bir üretim yöntemi ortaya koydu, "bant üzerinde seri üretim". Ancak, hala Henry Ford'un fabrikasında kurulu olan üretim bandı herhangi bir "Beyin"e sahip değildi. Beyin kelimesi burada benzetim amaçlı kullanılmıştır. Üretim hattı üzerindeki cihazlar, kendi başlarına, insan etkisi ve desteği olmadan çalışma kapasitesine sahip olmadıkları gibi, bir ana plana ya da merkezi kontrol sistemine de bağlı değillerdi.

Bu konuyu biraz açmak gerekebilir. Şöyle ki, bir makinanın içerisinde bulunan farklı ekipmanların (farklı motorlar, sensörler) belli bir mantık diyagramına uyarak çalışmaları gerekir. A sensörü aktif olduğunda, B motoru çalışsın, C sensörü aktif olduğunda B motoru hızlansın, gibi. Burada sensör kelimesini bugünün sensörleri gibi düşünmek zorunda değiliz, mekanik anahtarlar da yıllarca birer sensör olarak kullanılmıştır. Bu mantık silsilesi, koşullu yönlendirme adımları, dijital işlemciler ortaya çıkana kadar ancak mekanik tetiklemeler vasıtasıyla yapılabilmekteydi.

Bir çoğumuz, nostalji sevdası ile, 1950' lerin makinalarını seyretmeyi severiz, ben de onlardan biriyim. Ancak, kesin olan bir nokta var ki, bu tip makinaları yapmak, çok üst düzey deneyim ve beceri gerektirir. Makinayı meydana getiren parçaların herhangi birinin öngörüldüğü gibi çalışmaması sonucu tüm işlevsellik durur ve zorlu bir arıza bulma süreci başlar. Bu makinalar, tanımlı, önceden bilinen son ürünler için tasarlanmış ve üretilmişlerdir. Sonrasında ortaya çıkacak ürün değişikliklerine ayak uyduramazlar, çünkü tüm parçalar ve aralarındaki ilişki mekaniktir. Örneğin basit bir hareket değişikliği yaratabilmek için kam mekanizmasında geometrik değişikliği getirmek gerekir. Bu değişiklik sonucunda yeni ürüne adap-



Şekil 4. 1956 Yılında Üretilmiş Olan İlk Unimation Robotu

tasyon sağlanmış olsa da artık eski ürün üretilemez durumdadır.

1968 yılında General Motors, kablo ağına bağlı röle mantığının yerine geçmesi için elektronik bir çözüm bulmak amacı ile bir ihale açar. İhaleyi kazanan Modicon firması 1969 senesinde ilk PLC'yi (Programmable Logic Controller) (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) üretir.

PLC'lerin fabrikalara girmesi ve yaygınlaşması ile çok daha karmaşık mantık dizileri içeren makinaların üretimi mümkün hale gelir.

Başlığımız otomasyon olunca artık konunun endüstriyel robotlara gelmesi gerekiyor.

İlk endüstriyel robot adı altında arama yaptığınızda farklı kaynaklar farklı atıflarda bulunurlar.

Şöyle ki, 1956 yılında üretilen ilk Unimation robotu, bir cismi bir noktadan diğerine aktarmak için hidrolik aktüatörler kullanırdı ve her bir eksenin açısı saklanarak programlanırdı.

Tamamen elektrikli 6 eksene sahip ve tersine kinematik kullanarak eksenlerin pozisyonlarını hesaplayan robotun üretilmesi ise 1969 senesinde olmuştur. Bu tarihten sonra bir çok endüstriyel robot üreticisi durmaksızın bu teknolojiyi geliştirmeye devam ettiler.

Uluslararası Robot Federasyonunun verdiği rakamlara

göre tüm dünyada 1,64 milyon adet endüstriyel robot kullanılmaktadır. Bu rakam tüm dünyada fabrikalarda çalışan işçi sayısı ile kıyaslandığında çok düşük gibi gözükebilir. Ancak, unutmamak lazım ki, her bir endüstriyel robot, çok sayıda işçinin yaptığına eşdeğer işi daha hızlı, daha kaliteli yapabileme becerisine sahiptir.

Yakın zamana kadar robotlar şu şekilde kullanılmaktaydı; bir robot programcısı önceden belli olan uygulamaya göre robota gerekli olan algoritmik programı yazar, robota, uğraması gereken pozisyonları öğretir ve uygulamayı tamamlardı. Yani robotlarda herhangi bir uygulama esnekliği olmadığı gibi, oluşabilecek farklı koşullara ayak uydurma becerileri de bulunmamaktaydı.

#### 4. ENDÜSTRİ 4.0 VE AKILLI ROBOTLAR

Ancak son yıllarda, Yapay Zeka, Makina Öğrenmesi, Derin Öğrenme gibi devrimsel başlıkların araştırılması ve geliştirilmesi ile endüstriyel robotlar da esneklik kazanmaya başladı.

2011 senesinde Alman hükümetinin üretimin dijitalleştirilmesi üzerine başlattığı stratejik bir çalışma ile Endüstri 4.0 kavramı ortaya çıktı, nam-ı diğer Dördüncü Sanayi Devrimi. Kavram, daha çok yeni ve gelişmekte olan bir süreci tanımlıyor. Farklı yorumlara sahip olmakla beraber genel olarak üst düzey Makina-Makina Haberleşmesi (M2M) ve Nesnelerin İnterneti ("Internet of Things" IoT) başlıklarını konu almaktadır. Otomasyon seviyesinin, haberleşme seviyesinin ve kendi kendine teşhis koyabilme düzeyinin artırılarak, insan müdahalesi olmaksızın üretimi devam ettirebilen olası problemleri çözebilen akıllı makinaların geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu durumu şu şekilde açıklayabiliriz; yakın zamana kadar endüstriyel robotların IQ seviyeleri gayet düşükken, gelişen algoritma ve yazılım yapısı sayesinde daha zeki makinalar haline gelmeye başladılar. Robotların zeka kazanma süreçleri sadece yazılımlara bağlı değildir. Nasıl ki biz insanlar sadece bir beyinden oluşmuyor, birçok uzvumuz ve duyu organlarımızın varsa endüstriyel robotları da aynı şekilde değerlendirmeliyiz.

Endüstriyel robotlar, kutusundan çıkartıp kurduğunuzda sadece hareket eden ancak tek başlarına bir iş yapma becerisi olmayan elektromekanik cihazlardır. Robotların bir işe yaraması, diğer bir deyişle önceden öngörülmüş veya öngörülmemiş görevleri yerine getirebilmesi için çev-

re ekipmanlarına sahip olmaları gerekir. Nedir bu çevre ekipmanları? Öncelikle bir esneklikten bahsetmek gerekecek ise robotun çalıştığı ortamı, çalıştığı parçaları görmesi gerekir. Farklı parçalar üzerinde farklı uygulamalar gerçekleştirebilmesi için tek bir amaçla üretilmemiş, çok fonksiyonlu bir robot eline ihtiyaç duyar. Robotun kendisinin ve üzerindeki ekipmanların da esnek olması birçok durumda yetmez, ortamın da aynı şekilde esnek olması gerekir. Farklı parçalarla çalışabilmesi için, robota, bu parçaların beslenebiliyor olması da gerekir.



Şekil 5. Karanlık Fabrika Örneği, Robot Üreticisi Fanuc, Japonya

## 5. KARANLIK FABRİKALAR

Endüstri 4.0, makinaların üst düzey haberleşmesi, olası problemlerin belirlenmesi ve otomatik olarak çözümlenmesi, insan ihtiyacını ortadan kaldırarak Karanlık Fabrikaların önünü açacaktır.

Muhtemelen en ünlü karanlık fabrika, Japon robot üreticisi Fanuc fabrikasıdır. Bu fabrika 2001 yılından beri insansız üretim yapmakta olup, insan desteği olmaksızın 30 güne kadar çalışabileceği söylenmektedir.

Bir diğer örnek ise Philips' in elektrikli traş makinası ürettiği fabrikadır. Fabrikada 128 robot ile tüm üretim süreçleri tamamlanmaktadır. Çalışan dokuz operatör ise kalite kontrol adımı görev almaktadır.

Karanlık fabrikalara geçişteki tek yöntem robotlar değildir. Tüm bilgi akışı süreçlerinin de otomatikleşmesi gerekir. Örneğin Japon otomotiv parça üreticisi Hirotec, bazı durumlarda saniyesi 361 Amerikan Doları'na mal olabilen hatlarındaki duruş sürelerini minimize etmek istediğinde IoT, bulut teknolojileri ve farklı noktalara küçük sunucular yerleştirdi. Bu sayede, insan gücü ile yapılan hat incelemelerini sıfıra indirdi.

Daha önce de bahsedildiği gibi, fabrikaların tam otomas-



Şekil 6. Philips Traş Makinası Fabrikası, Karanlık Fabrika

yon geçiş sürecinde önemli başlıklar mevcuttur.

- Üretim makinalarının otomatikleşmesi
- Parça besleme sistemlerinin otomatikleşmesi
- Gelişmiş Görüntü İşleme Sistemlerinin kullanılması
- Depolama sistemlerinin otomatikleşmesi
- Farklı son ürünlere yönelik esneklik kazanımı

### 5.1 Üretim Makinalarının Otomatikleşmesi

Üretim sistemleri, başlarında bir operatörün aktif ya da pasif olarak bulunması gereksinimi ortadan kalktıktan, üretim hatları daha kesiksiz (sürekli) ve daha verimli hale gelmeye başlarlar.

Burada en önemli doğal başlık, endüstriyel robotlar olarak karşımıza çıkar. Endüstriyel robotlar kendi başlarına çok becerikli makinalar değildir. Endüstriyel robotun verimli halde kullanımını sağlayacak olan ise yine insanlardır. Sistem tasarımcısı, robot programcısı, mekanik tasarımcı, yazılımcı vb. meslek gruplarının birlikte çalışması sonucunda ortaya çıkarılabilecek başarılı bir sistem ancak karanlık fabrikalara geçişte başarılı bir etmen olacaktır.

### 5.2 Parça Besleme Sistemlerinin Otomatikleşmesi

Üretim hatları, doğal olarak hammadelerin girdi olduğu ve son ya da ara ürünün çıktığı olduğu proseslerdir.

Üretim hattı girdileri, bir rulo sac, ya da bir makara ip gibi beslenmesi nazaran kolay ürünler olabileceği gibi çok amorf tasarımlara sahip, küçük, hassas tekil parçalar da olabilir.

İnsan inisiyatifine ve sorumluluğuna ihtiyaç duymayan bir sistemde besleme işleminin de uzun süreli olarak otomatikleştirilebilmesi gerekmektedir.

Yarı otomatik hatlarda, robota ürün besleme işlemi ön-

ceden dizilmiş tepsiler ya da çanak besleyici gibi ürüne bağımlı esnek olmayan yöntemler ile yapılır. Ancak tam otomatik insansız bir yöntem geçilmesi söz konusu olduğunda, çok daha esnek sistemlere gereksinim vardır. Örneğin ürünleri tepsiye dizmek için yine operatör gereksinimi vardır ve operatörün hata yapma olasılığına bağlılık bulunmaktadır.

İnsansız parça besleme gereksinimi arttıkça, 3 boyutlu titreşimli besleyicilerin, hem ürün esneklikleri üst düzeyde olduğundan, hem de parça besleme sürecini çok kolaylaştırdığından kullanım alanları artmaktadır. 3-boyutlu titreşimli besleyicilerin ana alt ekipmanları; titreşim motorları üzerine oturmuş bir titreşim tablası, tabla üzerine konumlanmış bir görüntü işleme sistemi ve tabla altında bir arka aydınlatmadır. Titreşim tablası bir ek bunker tarafından gerektiğinde beslenir.

Görüntü İşleme Sistemi, titreşim tablası üzerinde beslenen, pozisyonu uygun olan ürünlerin pozisyon ve açı değerlerini robota iletir. Robot da, doğru parçayı alarak gerekli üretim operasyonunu gerçekleştirir. Tabla üzerinde, robot tarafından alınmaya uygun bir ürün yok ise, tabla özel bir titreşme sekansı gerçekleştirerek parçaların tabla üzerindeki dağılımlarını ve duruş şekillerini değiştirir.

Bu sistemlerin en önemli avantajı, beslenecek parça bağımlılıkları bulunmamasıdır. Bir vardiyada A parçası beslenirken, diğer vardiyada B ürününe geçilebilir ve hatta bu geçiş için dahi herhangi bir operatör ihtiyacı yoktur. Bazı durumlarda, tek bir tabladan birden fazla ürün dahi beslemek mümkündür.

Diğer bir esnek parça besleme sistemi ise, parçaları hiç şekilde dizmeden, bir kolinin ya da kasanın içerisinden 3



Şekil 7. 3-Boyutlu Titreşimli Besleyici

boyutlu kamera sistemleri yardımı ile toplamaktır. Bu da bir sonraki başlığımızı oluşturuyor.

### 5.3 Gelişmiş Görüntü İleme Sistemlerinin Kullanılması

Görüntü işleme sistemi, bir görüntü sensörü ile çekilen fotoğrafın belli matematiksel algoritmalarından geçirilerek istenilen bilginin elde edilme prosesidir. Bu bilgi, parçanın pozisyonu ve oryantasyonu olabileceği gibi, rengi, sayısı, boyutu, başka bir parçaya olan uzaklığı, yüzey pürüzlülüğü vb. gibi karmaşık veriler de olabilir.

Görüntü işleme sistemleri uzun yıllardan beri kullanılmakta ve her geçen gün hızla gelişmektedir. Hatta muhtemelen bu başlıklar arasında, en hızla gelişme gösteren teknoloji olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

Gelişmeyi etkileyen ana başlıklar, sensör çözünürlüğü, piksel kalitesi, lens kalitesi, işlemci hızı ve en önemli başlıklardan biri olan yazılımdır.

Görüntü işleme sistemleri, üretim hatlarında yoğun olarak iki noktada kullanılırlar; parça pozisyonu bularak robota bildirmek, ya da hat ortası/sonu kalite kontrol.

Bu sistemler geliştikçe, üretim hatları boyunca insan gözüne olan ihtiyaç da ortadan kalkmaktadır. Söz konusu kalite olduğunda, uzun yıllar insanın yerine geçilmesinin olanaksız olduğu düşünülmüş olsa da, günümüzde insan gözünün ayırt edemediği, mikron toleransındaki parça ölçümleri görüntü işleme sistemleri ile yapılabilmektedir. Burada eklemek gerekir ki, hala insan hissiyatının yerine alternatif bulunamayan kontrol noktaları mevcuttur. Örneğin, otomobil montaj hatlarının en sonunda, ellerinde özel eldivenler ile tüm aracı dokunarak kontrol eden, tabiri caizse okşayan deneyimli operatörler vardır. Araç yüzeyinde çizik kontrolü yaparlar, gözle değil, dokunma hissi ile. Bu problem hala görüntü işleme sistemleri tarafından %100 çözülememiştir.

Görüntü işleme sistemleri, birçok farklı parametreye göre sınıflandırılabilir. Bunlardan biri de 2-boyutlu ve 3-boyutlu kameralar olarak sınıflandırmaktır.

2-boyutlu (2D) kameralar, standart bir iki boyutlu fotoğraf üzerinden işlem yaparken, 3-boyutlu (3D) kameralar, iş alanının derinlik bilgisine de ulaşırlar. Yani fotoğraf üzerinde bulunan herhangi bir noktanın uzaklık bilgisini de iletme becerisine sahiptirler.

Bir konveyör hattı üzerinde gelen bir göfretin, 2D kamera ile pozisyonu ve oryantasyonu (dik eksen etrafında dön-



**Şekil 8.** 3D Contour Fonksiyonu ile 3 Boyutlu Pozisyon Bulma

me açısı) algılanarak robota iletilir. Robot, gofreti basit bir vantuz ile yakalayarak koliye yerleştirir.

Peki ya konveyörden gelen ürün gofret gibi çok stabil bir geometriye sahip değil de çıkıntılı bulunan, yatay eksenlere göre de farklı açılarda durma olasılığı olan bir parça ise bu durumda standart 2D sistemler iş görme-yecektir. Bu durumda iki yöntem mevcuttur; 3D kamera kullanmak, ki bu ciddi bir maliyet anlamına gelir, ya da

son zamanlarda piyasaya çıkan, 2 boyutlu kamera ile 3 boyutlu sapmaları algılayabilecek yazılımların birleşmesi ile oluşturulmuş çözümlerdir. "3D contour" adı verilen bu teknikle aynı zamanda ana parça önceden belirlenmiş açıda durmuyor dahi olsa, üzerinde işlem yapmak, öneğin vidalama, kimyasal dozajlama ya da kalite kontrol yapmak mümkün olmaktadır.

Bir önceki başlık olan parça besleme sistemlerinin sonunda yarım bıraktığımız konu ise 3-boyutlu kamera kullanarak koli ya da kasa içerisinde, tamamen karışık durumdaki parçaların toplanması ve üretim hattına ya da CNC'ye beslenmesidir. "Bin Picking" olarak adlandırılan bu uygulama parça besleme problemine çok ciddi bir esneklik getirir.

Konu karanlık fabrikalar olduğunda, kesintisiz parça beslenebilmesi çok önemlidir. Düşünün, bir kasa içinden otomatik olarak parça besleniyor, kasa bittiğinde mobil bir robot kasayı depoya götürürken bir diğeri yeni kasa getiriyor ve hat durmaksızın işine devam edebiliyor. Bu zincir kırılmadığı sürece sistemler uzun süre insan müdahalesi olmadan çalışabileceklerdir.



**Şekil 9.** 3 Boyutlu Kamera İle Kasa İçerisinde Karışık Duran Plastik Parçaların Üretim Hattına Beslenmesi



### 5.4 Depolama Sistemlerinin Otomatikleşmesi

Üretim hattımız, hattın besleme sistemi, kalite kontrol sistemi tamamen otomatik çalışıyor. Ancak hatta beslenecek olan parçalar depodan üretim alanına kadar otomatik gelemiyorsa, hatta çıkan üretimi biten parçalar ise otomatik olarak depoya sevk edilip stoklanamıyorsa, zincir kırılacaktır.

Bu durumda, depo otomasyonu olarak da adlandırılan ürün girdi ve çıktı işlemlerinin robotlaşması da kısa vadede sıkça görmeye başlayacağımız çözümler arasındadır.

2019 senesinde 14 milyar Amerikan Doları civarında olan parça taşıma ve depo otomasyonu marketinin 2025 senesinde 27 milyar Amerikan Doları'na ulaşması beklenmektedir.

### 5.5 Farklı Son Ürünlere Yönelik Esneklik Kazanımı

Bazı üretim hatları, daimi olarak aynı ürünü üretmek üzerine tasarlanırlar ve uzun süre bu şekilde devam ederler.

Diğer yandan bazı üretim hatlarının ise oldukça esnek olması gerekir. Şöyle ki, her hangi bir otomobil üreticisinin web sitesine girdiğinizde, her araç modelinin 3 alt donanım paketi olduğunu görürsünüz. Ancak, gerçekler pek de böyle değildir. Farklı ülkelere gönderilecek araçlar, özel anlaşmalı donanım paketleri, kiralık araç paketleri, vb. bir araya geldiğinde her otomobil modeli için onlarca farklı kombinasyon ortaya çıkar.

Üretim hattının bu kombinasyonlara karşı esnek olabil-

mesi için yukarıdaki başlıklarda (parça besleme, görüntü işleme, robot otomasyonu, vb.) esneklik gerektiği gibi, ek olarak komple sistem yazılımı, robot eli gibi detayların da benzer esnekliğe sahip olması zorunludur.

Endüstriyel robotların iş yapmasını sağlayan robot eli tabir ettiğimiz elektromekanik yapılar, birden çok ürüne ya da üretim şekline göre esneklik gösterebileceği gibi, bunun yetemediği durumlarda, endüstriyel robot, kendi üzerine bağlı olan eli, otomatik olarak değiştirerek esneklik düzeyini artırabilir.

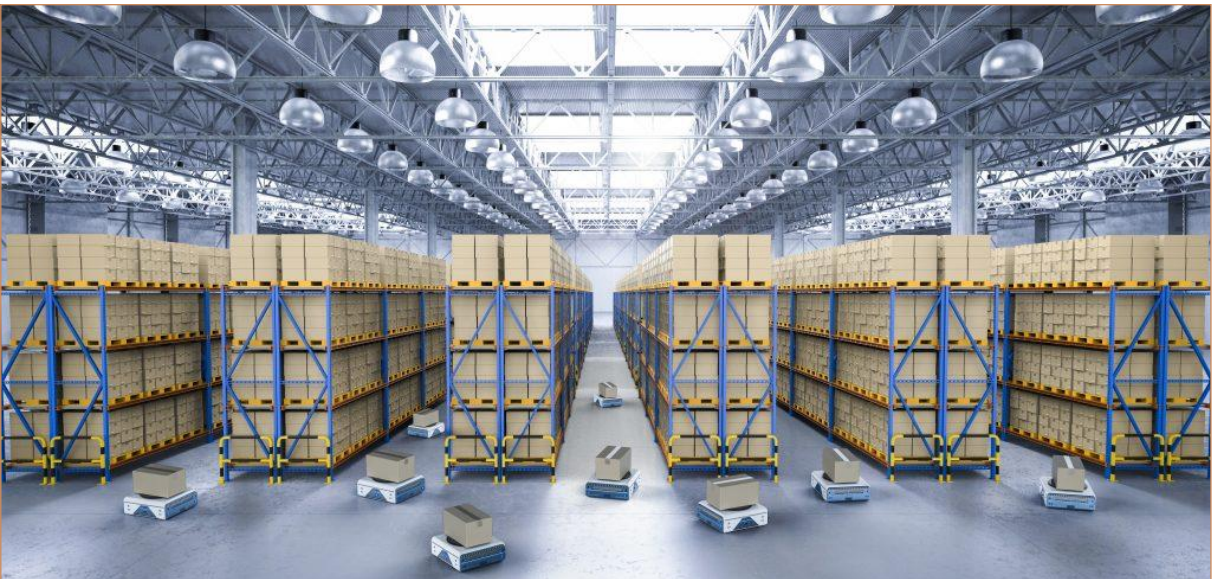
## 6. SONSÖZ

Karanlık fabrikalar, insansız üretimler hala kulağa biraz bilimkurgu gibi gelse de, çok yakın zamanda standart üretim sistemleri haline geleceklere dair güçlü ip uçlarına sahibiz.

Bu noktada, çokca tartışılan bir soru "peki insanlar işsiz mi kalacak" dır. Bu soruya çok sayıda makul ve mantıklı veri kullanarak "Hayır" cevabı verilebilir. Endüstri devrimlerinin en başından beri incelendiğinde üretim sistemlerinde yapılan değişiklik ve iyileştirmeler, insanları işsiz bırakmamış, ancak farklı iş kollarının doğmasına sebep olmuştur. Kol gücünün, yerini kafa gücüne bırakmasına sebep olarak, özelleşmiş bilginin değerinin artması sonucunu doğurmuştur.

*"Yeterince gelişmiş bir teknoloji, sihirden ayırt edilemez"*

Arthur C. Clarke



Şekil 10. Depo Otomasyonu