

## RADYO FREKANSLI TANIMA TEKNOLOJİSİNİN (RFID) ENDÜSTRİYEL KONTROL SİSTEMLERİNE ENTEGRASYONU

Alp Üstündağ  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Endüstri Mühendisliği Bölümü  
34367, Maçka, İstanbul  
Telefon: (212) 2931300 - 2759  
Faks: (212) 2407260  
[ustundaga@itu.edu.tr](mailto:ustundaga@itu.edu.tr)

Evşen Korkmaz  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Endüstri Mühendisliği Bölümü  
34367, Maçka, İstanbul  
Telefon: (212) 2931300  
Faks: (212) 2407260  
[korkmazev@itu.edu.tr](mailto:korkmazev@itu.edu.tr)

### ÖZET

Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (RFID), etrafında anten sarılı olan bir mikroçip (etiket) ve bir okuyucudan oluşan otomatik tanıma sistemidir (Auto-ID). Tipik üretim sistemlerinde parçaların tanımlanması ve elleçlenmesi gibi aşamalar yer almaktadır. RFID teknolojisi parça tanıma sürecinde meydana gelebilecek hataların ve işçilik maliyetlerinin azalmasında önemli faydalar sağlamaktadır. RFID teknolojisinin, akıllı endüstriyel kontrol sistemlerinin gelişmesinde de önemli rolü bulunmaktadır. Çok ajanlı ve holonik imalat kontrol sistemleri bu çerçevede yer alan iki önemli yaklaşımdır. Akıllı endüstriyel kontrol sistemleri ile dinamik üretim süreçlerinde rotalama, çizelgeleme ve planlama fonksiyonları çok daha etkin bir şekilde yürütülmektedir. Bu çalışmada geleneksel ve akıllı imalat kontrol sistemleri arasındaki farklar incelenecektir. RFID teknolojisinin endüstriyel kontrol sistemlerine entegrasyonu kapsamında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde kurulması planlanan laboratuvar uygulaması anlatılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (RFID), akıllı endüstriyel kontrol sistemi, çok ajanlı imalat kontrol sistemleri, holonik imalat kontrol sistemleri.

## 1.GİRİŞ

Radyo Frekanslı Tanıma Sistemleri'nin (RFID) mobil ve kablosuz iletişim teknolojileri içindeki önemi giderek artmakta, farklı kullanım alanları ile çok sayıda sektörü etkileyeceği bilinmektedir. RFID, radyo dalgalarını kullanarak ürün ve malzemelerin tanınmasını sağlayan bir otomatik tanıma sistemidir. McFarlane ve Sarma (2003) RFID tabanlı otomatik tanıma sistemlerini oluşturan elemanları şu şekilde tanımlamaktadır:

- Belirli bir ürün ya da malzemeye atanmış tekil kimlik bilgisi
- Ürün ya da malzeme üzerinde yer alan, veri depolama kapasitesine sahip ve elektronik olarak çevresi ile iletişim kurabilen bir kimlik etiketi
- Çok sayıda etiketten gelen sinyali yüksek bir hızda okuma ve doğru bir şekilde işleme yeteneğine sahip, RFID okuyucuları ve veri işleme sistemlerinden oluşan bir ağ yapısı
- Çok sayıda ürün bilgisini depolama yeteneğine sahip ağ içinde yer alan bir veya birden fazla veri tabanı

RFID sistemleri konusunda gelişmeler yaşanırken, dağıtık akıllı imalat kontrol sistemlerinin tasarımı kapsamında çok ajanlı ve holonik imalat kontrol sistemleri gibi yeni kavramlar ortaya çıkmıştır. Bu iki yaklaşımda da yer alan ortak özellik, geleneksel merkezi karar destek sistemlerinin yerini, imalat ortamındaki kaynaklar ve fiziksel ürünler ile birebir ilişkilendirilmiş, birbirleri ile iletişim kurabilen karar verici yazılım modüllerinin (yazılım ajanları) almasıdır. Bu sistemlerde rota seçme, sıralama, planlama gibi kontrol stratejileri fiziksel kaynaklar adına hareket eden dağıtık yazılım birimleri ile yürütülmektedir. Bu sistemler, özelleştirilmiş ürün üretimine olanak sağlayan, üretim sürecindeki farklı koşul ve değişimlere kolayca adapte olabilen, kendi kendini yönetebilen esnek yapılarıdır.

Bu çalışmada geleneksel ve akıllı imalat kontrol sistemleri detaylı bir şekilde tanımlanarak aralarındaki farklar incelenecektir. İstanbul Teknik Üniversitesi'nde kurulması planlanan RFID laboratuvarı kapsamında oluşturulacak akıllı imalat kontrol sistem uygulamaları anlatılacaktır.

## 2. RADYO FREKANSLI TANIMA SİSTEMİ (RFID)

Otomatik tanıma sistemleri (Auto- ID) içinde yer alan RFID (Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi) teknolojisinin önemi günümüzde gittikçe artmaktadır. Etrafında anten sarılı olan bir mikroçip ve bir okuyucudan oluşan bu sistem, radyo dalgalarını kullanarak ürünlerin birim bazında tanınmasına olanak vermektedir. RFID etiketleri, yüksek miktarda bilgi depolayabilmekte, toplu halde hatasız ve hızlı bir şekilde okunup yazılabilmekte, farklı çevresel koşullar içinde kullanılabilen ve okuyucular sayesinde veri iletişimini uzak mesafelerden sağlayabilmektedir.

Barkod teknolojisi malzemelerin etiketlenmesi ve otomatik tanımlanmasında günümüzün en yaygın teknolojisi olmasına rağmen bazı kısıt ve dezavantajlara sahiptir. Karmaşık süreçler içinde izleme ve kayıt işlemlerinin zorluğu, işçilik maliyetlerinin yüksekliği, zaman kayıpları ve etiket içinde saklanabilen veri kapasitesinin yetersizliği bu teknolojinin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Barkod sisteminin en önemli kısıtlarından biri de Barkod etiketinin okuyucunun görüş alanı içinde olması zorunluluğudur. Barkod teknolojisinin insan gücü olmadan kullanılması mümkün değildir. Birleşik Devletler Posta Servisi (USPS), her bir postanın Barkod tanımlama işleminin gerçekleştirilebilmesi için okunabilme mesafesine getirme maliyetinin 0.04 USD olduğunu belirlemiştir. Bu maliyet rakamı yıllık paketleme sayısı (yaklaşık elli milyon) ve her paket için dağıtım merkezlerindeki ortalama Barkod okunma sayısı ile çarpıldığında (paket başına ortalama üç kez) 6 milyon USD elde edilmektedir. Ve bu maliyetin her yıl boşa oluştuğu görülebilmektedir. Barkod teknolojisinin bir diğer dezavantajı ise her ürüne özel bir şifreleme sistemine sahip olmamasıdır. Barkod kodları ile aynı ürün grubu içindeki ürünler tek bir kodla simgelenmekte iken, RFID teknolojisinde her bir ürün için ayrı tanımlama kodu bulunmaktadır. RFID teknolojisi, Barkod sisteminin dezavantajlarını ortadan kaldırmakta, okuyucu ile etiket arasında görüş alanı gerektirmemektedir. Zaman içinde gittikçe ucuzlayan RFID teknolojisi, Barkod teknolojisinin yetersizliklerini ortadan kaldırarak, iş süreçlerinin yeniden ele alınmasını sağlayacaktır.

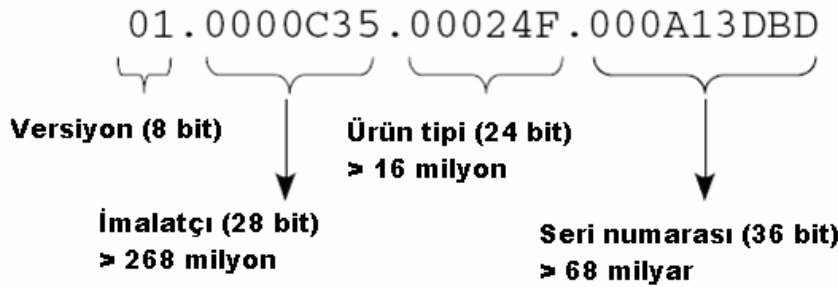
RFID teknolojisi perakende, lojistik, sağlık, otomotiv, savunma vb. birçok sektör içinde çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Amerikan Savunma Bakanlığı ve büyük perakende zinciri Wal-Mart, 2005 itibarı ile ana tedarikçilerinin palet ve kutu bazında RFID uygulamasına geçmesi için yaptırım kararı almışlardır. İngiltere'nin

en büyük süpermarket zinciri TESCO, ana dağıtım merkezinden 98 adet mağazasına yapılan dağıtımları Aralık 2004 itibarı ile RFID sistemi üzerinden takip etmeye başlamıştır. İkinci fazda TESCO, 2000 adet mağazasına yapılan dağıtımları RFID sistemi üzerinden takip etmeyi planlamaktadır. 2003 yılında Gillette 500 milyon RFID etiketi siparişi vermiş, ürün paketlerinde bu etiketleri kullanacağını duyurmuştur. Michelin, lastik içlerine yerleştirdiği RFID etiketleri ile ürün takip sistemi oluşturmuş, lastik bilgisini araç numarası ile ilişkilendirecek RFID projesini başlatmıştır. Mastercard ve American Express, RFID teknolojisinin kullanıldığı kredi kartlarının testlerine devam etmektedir. Avrupa Merkez Bankası, 2005 yılında yüksek değerli banknotlarda sahteciliği önlemek için RFID projesi başlatmıştır. Pfizer, HF etiketler kullanarak bazı ilaçların takibi ve sahteciliğin engellenmesi için pilot çalışmalarını sürdürmektedir. Lojistik şirketi TNT Express, Çin'deki bir PC fabrikasından Almanya'daki dağıtım merkezine gönderilen kişisel laptop ve paletlerin takibinde RFID sisteminin kullanıldığı bir proje başlatmıştır. Japonya'nın Yokohoma adlı şehrinde çocukların 2 -2,5 km içindeki hareketleri aktif etiketler ile izlenmekte ve onlar için güvenli bir ortam sağlanmaktadır. Fransa'nın 150.000 nüfuslu Caen adlı şehrinde yapılan pilot çalışmada, 200 kişinin, cep telefonları ile 11 adet perakende noktasında RFID tabanlı ödeme terminalleri üzerinden işlem yapmaları sağlanmaktadır.

RFID sistemlerinde uluslararası standartların gelişmesi uygulamaların yaygınlaşması açısından çok büyük önem arz etmektedir. Ortak RFID standardının gelişmesi ile farklı üreticilerin okuyucu ve etiketleri arasında çalışabilme uyumu sağlanacak, bu da donanım maliyetlerini aşağı çekecektir. Bugün UHF spektrumunda RFID standartlarının oluşturulması için iki organizasyon, EPCGlobal ve ISO, çalışmalarını sürdürmektedir. EPCGlobal, EPC class 1 Generation 2 (G2) standardını 2004 yılı sonunda piyasaya sürmüştür. ISO ise 18000-6 standardını Ağustos 2004'de duyurmuştur. İki standardın da birbiri ile uyumu için çalışmalar henüz sürdürülmektedir. EPC G2 standardı ile palet ve kutu seviyesinde yapılan pilot çalışmalarda başarılı sonuçlar ortaya çıkmış, ancak ürün seviyesinde yapılan çalışmalarda güvenlik konusunda bazı ihtiyaçların olduğu görülmüştür. Bu açıdan bakıldığında 2008 yılı sonunda EPCGlobal'ın G3 standardını piyasaya sürmesi beklenmektedir. Ülkelerin UHF radyo spektrumu konusunda uyum içinde olmaması, standartların gelişmesinde zorluklar yaratmaktadır. Amerika ve Kanada, UHF RFID sistemlerini 902 – 928 MHz band aralığında kullanırken, Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI) 865.6 ve 867.7 MHz band aralığını Temmuz 2004'de UHF RFID kullanımı için tahsis etmiştir. Japonya, Mayıs 2005'de yayınladığı genelgede UHF RFID sistemlerini 953 ve 954 MHz band aralığında kullanacağını açıklamıştır.

EPCGlobal, malzemelerin otomatik tanımlanması ve bunların elektronik ortamlardaki veritabanlarına aktarılması için EPC Ağ yapısını oluşturmuştur. EPC Ağ yapısı aşağıdaki teknolojik bileşenleri içermektedir:

- Elektronik Ürün Kodu (The Electronic Product Code EPC): Her bir malzeme için tek bir tanımlayıcı kod bulunmaktadır. Şekilde gösterildiği gibi dört kısımdan oluşmaktadır: (a) EPC kod versiyonu, (b) üretici / imalatçı (c) ürün cinsi ve (d) ürünün seri numarası.



Şekil 1: EPC kod yapısı (96 bit versiyon)

- Düşük maliyetli etiketler ve okuyucular: EPCGlobal'ın en çok kullanılan tasarımı, küresel tedarik zincirlerinde kullanılması amaçlanan "Class 1" düşük maliyetli, pasif ve sadece okunabilme özelliği olan türdür. Bunlar genelde EPC kodunu taşıyabilecek 64 ya da 96 bit kapasiteli etiketlerdir. Boş etiketlerin tek seferlik yazılma özelliği kullanılarak üzerlerine EPC kodu yazılır. Etiketlerin üzerine yazılan EPC kodu bir daha değiştirilemez.

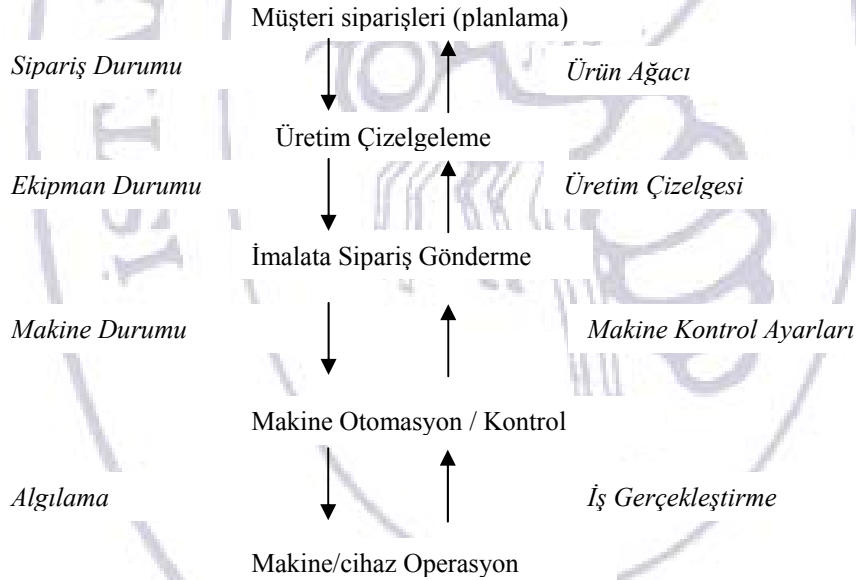
- Savant: Okuyucu altyapısı ile ana bilgisayar sistemi arasında konumlanmış ara katman yazılımıdır. Görevi, RFID okuyucularından gelen ham EPC verisini toplamak, filtrelemek ve birleştirerek ana işletim sistemine aktarmaktır.

- Nesne İsim Servisi (Object Name Service ONS): EPC kodunu malzemeyle ilgili daha çok bilginin bulunacağı, bir veya daha fazla internet adresine (URL) yönlendirmek için kullanılır.

- EPC Bilgi Servisi (The EPC Information Service): Tedarik zincirinde yer alan tarafların, EPC verilerini standart bir ara yüzle kendi aralarında paylaşmalarını sağlayan ağ altyapısıdır.

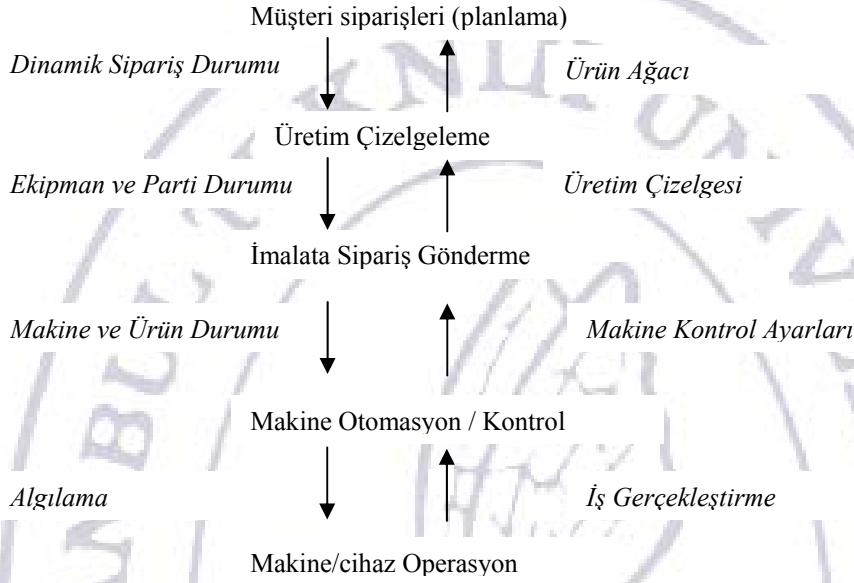
### 3. RFID VE İMALAT KONTROL SİSTEMLERİ

Geleneksel imalat kontrol sistemleri, karar verme sürecinin hiyerarşik düzende çalıştığı, çizelge ve zaman planlarının önceden belirlendiği bir yapıya sahiptir. Bu yapı dahilinde müşteri siparişleri, ana planlama merkezinde işleme alınmakta, detaylı çizelge ve planlar oluşturulmaktadır. Hammadde ve kaynak kullanımı önceden belirlenmiş çizelgeler ile gerçekleştirilmektedir. (Şekil 2)



Şekil 2: Geleneksel imalat kontrol sistemi

RFID (Auto-ID) sistemleri ile geliştirilmiş geleneksel imalat kontrol sistemlerinde, ürün kimlik bilgisi tanımlıdır. Gerçek zamanlı ve doğru ürün kimlik bilgisi sipariş gecikmelerini, üretim ve depo operasyonlarındaki hataları azaltmaktadır. Sipariş durum bilgisi, ürün kimlik bilgileri ile dinamik olarak belirlenmekte, ekipman ve ürün bilgileri gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.



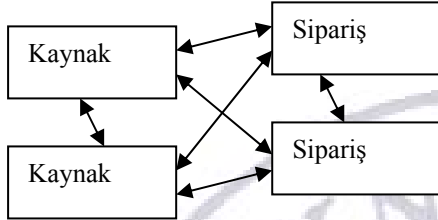
Şekil 3: RFID (Auto-ID) sistemi ile geliştirilmiş geleneksel imalat kontrol sistemi

Dağıtık akıllı imalat kontrol sistemleri aşağıdaki özellikleri taşımaktadır:

- Kontrol sistem kararları birden fazla karar verici tarafından verilir.
- Karar verme bileşenleri karar verme sürecinde işbirliği ve esneklik içinde hareket eder.
- Etkin karar verme sürecinde, tek karar verme bileşeninin gerekli tüm bilgilere erişim imkânı bulunmamaktadır.
- Tüm karar verme elemanları üretim ortamındaki fiziksel elemanlarla bağlantılıdır – makineler, ürünler, parçalar ve müşteri siparişleri.

Bu sistemler dâhilinde kararlar yazılım ajanları tarafından verilir. Yazılım ajanları, bağımsız olarak karar verebilen, çevre elemanlar ve diğer ajanlardan kaynaklanabilecek değişimlere cevap verebilen farklı yazılım birimleridir. Dağıtık akıllı imalat kontrol sistemlerinde çok ajanlı ve holonik kontrol yaklaşımlarından bahsedebiliriz.

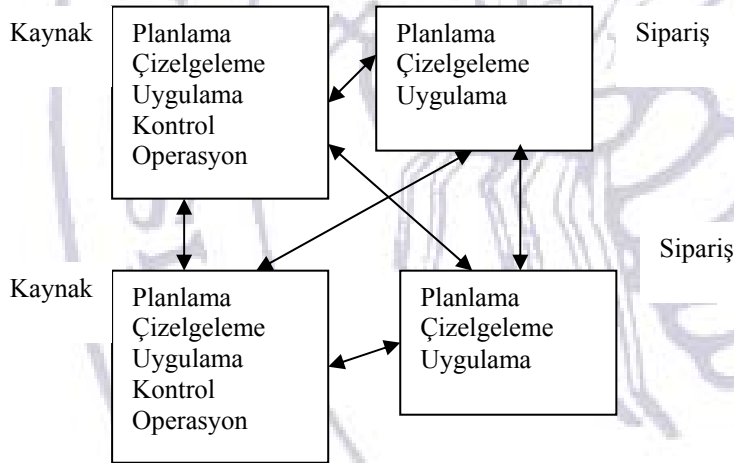
Çok ajanlı imalat kontrol sistemlerinde, yazılım ajanları üretim ortamında yer alan her bir makine ve ürünle ilişkilendirilir. Her bir makine ya da ürün ajanı uygun dağıtık kontrol sistemi algoritmaları kullanarak çizelgeleme, kaynak tahsisi, önceliklendirme gibi kendi üretim kontrol kararlarını verebilir. (Şekil 4)



Şekil 4: Çok ajanlı imalat kontrol sistemi

Holonik imalat kontrol sistemi, özerk, esnek ve birbirinin yerine geçebilir yapıdaki üretim modüllerinden (holon) oluşmakta ve şu özellikleri taşımaktadır:

- Holonik imalat kontrol sistemi, spesifik bir kontrol sistem çözümünden ziyade sistem mühendisliği yaklaşımıdır.
- Holonik imalatta tüm fabrikanın kontrol sistemi, “holon” adlı esnek, özerk ve birbirinin yerine geçebilir üretim modüllerinin bölüm bölüm entegrasyonu ile oluşturulur. Temelden detaya doğru genişleyen bir imalat kontrol sistemi yapısıdır.
- Her holon imalat ortamında, fiziksel bir kaynak, sipariş ya da ürünün operasyonel karar verme ve uygulama aktivitelerini içerir. Çeşitli holonların birbirleri ile kurduğu iletişim sayesinde üretim süreçleri oluşur. (Şekil 5)



Şekil 5: Holonik imalat kontrol sistemi

Holonik ve çok ajanlı imalat kontrol sistemleri birbirlerinin alternatifi değil, birbirlerini tamamlayan imalat kontrol sistemleridir. Dağıtık imalat kontrol sistemlerinde akıllı ürün kavramını şu şekilde tanımlanabilir:

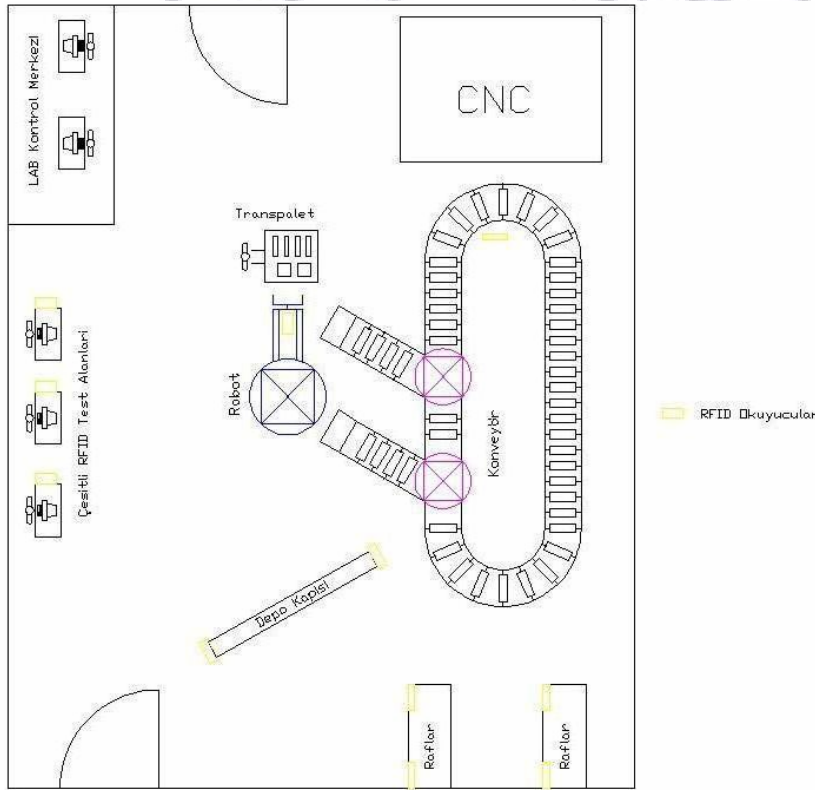
- Tekil kimlik bilgisine sahiptir.
- Kendi çevresi ile etkin bir şekilde iletişim kurabilme yeteneği vardır.
- Kendisi ile ilgili verileri depolayabilir.
- Kendi özelliklerini, üretim gereksinimlerini vs. ortaya koyabilen özel bir dile sahiptir.
- Bir süreç içinde kendi kaderi ile ilgili karar verir veya verilecek karara katkıda bulunur.

Akıllı makine veya cihaz sistemleri ise, değişen durum ve gereksinimler doğrultusunda davranışlarını değiştirebilme yeteneğine sahip sistemler olarak tanımlanabilir.

RFID ( Auto-ID) sistemlerinin kullanıldığı dağıtık akıllı imalat kontrol sistemlerinde önceden belirlenmiş ayrı bir çizelge ve rota bulunmamaktadır. Farklı müşteriler için çok sayıda sipariş emri aynı anda yerine getirilebilmektedir. RFID yardımı ile sipariş tarihçesi takip edilmektedir. Müşteriye özel ürün özelleştirmeleri gerçek zamanlı olarak üretim sırasında yerine getirilebilmektedir.

#### 4. LABORATUVAR UYGULAMASI

İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde kurulması planlanan RFID laboratuvarında iki ayrıçlı konveyör sistem, paletleme robotu ve CNC elemanlarından oluşan bir dağıtık akıllı imalat kontrol sistemi oluşturulacaktır. Ajan tabanlı kontrol yapısı ile siparişlerin oluşturulmasından depolanmasına kadar olan bir süreç laboratuvar ortamında test edilecektir.



Şekil 6: RFID laboratuvar uygulaması

RFID teknolojisini ajan tabanlı kontrol sistemleri ile bütünleştirmek için standart ajan iletişim mekanizmaları ile EPC verisini diğer ajanlara aktaracak özel aracı ajanların oluşturulması gerekmektedir. EPC verilerinin RFID okuyucuları vasıtasıyla tek bir yerde toplandığı merkezi Savant yapısı, ajan tabanlı sistemler için çok fazla tavsiye edilemez. RFID ajanları merkezi bir veritabanından elde ettikleri verileri diğer ajanlara dağıtmaya çalıştığında, ajan tabanlı yaklaşımın getirdiği esneklik önemli ölçüde azalır. Bununla birlikte merkezi Savant yapısı, RFID sistemlerinin üretim sistemlerine entegrasyonu sürecinde literatürde sıkça yer almaktadır. Bunun yanında daha dağıtık yapıları tasarımlar da tartışılmaktadır: (i) hücre seviyesinde dağıtım: Savant yapısının, her

biri montaj, paketleme, malzeme taşıma gibi fabrikanın farklı operasyonları için hizmet eden farklı sunuculara ayrıldığı yapıdır. (ii) makine seviyesinde dağıtım: Savant işlevselliğinin, RFID bilgisinin gerçek zamanlı kontrol operasyonlarına aktarılması için PLC seviyesinde dağıtılmış türevleridir. (iii ) ajan düzeyinde dağıtım: RFID okuyucularından veri toplayabilen, filtreleyebilen ve kendi hafızasında gerçek zamanlı olarak depolayabilen her bir RFID ajanına Savant işlevselliği kazandırılan yapıdır. RFID ajanları bu yapıda diğer ajanlar için gerekli EPC verisini herhangi bir merkezi veritabanı ya da arabulucuya gerek kalmadan temin edebilmektedirler. İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde kurulması planlanan laboratuvar içinde ajan düzeyinde dağıtım (merkezi olmayan Savant) yapısı tasarlanmaktadır.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada geleneksel ve dağıtık akıllı imalat kontrol sistemleri incelenmiş, aralarındaki farklar anlatılmış ve RFID teknolojisinin bahsedilen sistemler üzerindeki rolü ve etkileri belirtilmiştir. Yapılan tüm değerlendirmeler sonucu, RFID teknolojisinin kullanıldığı dağıtık akıllı imalat kontrol sistemlerinde;

- Önceden belirlenmiş çizelgelerin yer aldığı merkezi bir planlama yapısı bulunmadığı,
- Üretim sürecinde esneklik sağlandığı,
- Müşteriye özel ürün özelleştirmelerinin gerçek zamanlı olarak yerine getirilebildiği görülmüştür.

RFID teknolojisi, sadece ürün veya malzeme izlenmesinde kullanılan bir teknoloji değil, günümüzde imalat kontrol sistemlerinin yeniden tasarlanmasını sağlayacak bir yeniliktir.

## 6. KAYNAKLAR

- Chow, K.H., Choy, K.L., Lee W.B., Lau, K.C.** (2005), Design of a case based resource management system for warehouse operations, *Expert Systems with Applications* in press
- Kärkkäinen, M.**, (2003) Increasing efficiency in the supply chain for short shelf life goods using RFID tagging, *International Journal of Retail & Distribution Management* , 31 , 529-536.
- Lionel, M.N., Yunhao, L., Lau, Y.C., Abhishek, P.P.**, (2004) LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID, *Wireless Networks*, 10, 701-710.
- McFarlane, D., Sarma, S., Chirn, J.L., Wong, C.Y., Ashton, K.**, (2003), Auto-ID systems and intelligent manufacturing control, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* , 16 , 365-376.
- Ngai, S.M.T., Cheng, T.C.E, Au, S., Lai, K.**, (2005), Mobile commerce integrated with RFID technology in a container depot, *Decision Support Systems* in press
- Sheffi, Y.** (2004) RFID and the innovation cycle, *The International Journal of Logistics Management*, 15, 10
- Strassner, M., Fleish, E.** (2003), The Promise of Auto-ID in Automotive Industry, M-LAB whitepaper, MLB – AUTOID-BC-001.
- Ustundag, A.** (2005) RFID Technology: A Paradigm Shift in Business Processes , 35th International Conference on Computers and Industrial Engineering Conference, 35, 2065-2070.
- Ustundag A., Tanyas M.**, (2006), Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (RFID) Yatırımlarını Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Çalışma, YAEM 26. Ulusal Kongresi, 26, 186-189.
- Vrba, P., Macurek, F., Marik, V.**, (2005), Using Radio Frequency Identification in Agent-Based Manufacturing Control Systems, HoloMAS 2005, LNAI 3593, 176-187.
- Wu, N.C., Nystrom, M.A., Lin, T.R., Yu, H.C.**, (2005), Challenges to global RFID adoption, *Technovation*, in press