



Yazılım Tabanlı Bulut Sistemi ile Endüstri 4.0



Semih Ötleş¹,
Ayşegül Sakallı²
Onur Ötleş³

¹E.Ü. Ürün Yaşam
Döngüsü Yönetimi
Mükemmeliyet Merkezi
(EGEPLM)

²E.Ü. F.B.E. Ürün Yaşam
Döngüsü Yönetimi (PLM)
Anabilim Dalı

³E.Ü. Bilgisayar
Mühendisliği Bölümü

Özet

Endüstri, pazar gereksinimlerini hızlı, verimli ve esnek bir şekilde karşılamayı hedefleyen bir düşünce anlayışı içerisinde. Hızla gelişen teknolojik gelişmeler sayesinde sanayi bir devir daha atlamıştır. Bu devir Almanya'da 2011 yılında Hannover Fuarı'nda "Endüstri 4.0" olarak adlandırdı ve günümüzde sağlayacağı ekonomik ve sosyal kazanımlarının fark edilmesinden dolayı tüm dünyada büyük bir yankı uyandırmıştır. Ürünlerin ve üretim sistemlerinin yaşam döngüsünün bütün değer zincirlerinin yönetilmesinde yeni bir seviyedir. Bu çalışmada Endüstri 4.0 kavramı incelenmiştir.

Anahtar Kelime: Endüstri 4.0, akıllı

üretim sistemleri, nesnelerin interneti, endüstriyel nesnelerin interneti, bulut tabanlı sistemler.

1. Giriş

Yenilik, eğitim sistemi aracılığıyla sosyal hayattan, ekonomik alan idaresine kadar her alanda rekabet avantajına katkı sağlayacak ilerleme anlamını ifade etmektedir. Sosyal ve ekonomik seviyeyi yükseltmesi sayesinde yüksek bir yaşam kalitesi sunar. Steve Jobs'a göre yenilik, liderler ve takipçiler arasındaki farktır. Günümüz dünyasında her insan, davranış, istek ya da beklentileri kendine özgü olduğundan, kendini özel hissettirecek ürünler ve çözümler talep ediyor. Artık aynı ürün ve hizmetlerde uzun yıllar piyasada yer olma dönemi bitti. İş dünyasında ayakta

kalabilmek için yaşamı etkileyen yeni yönelimleri doğru kavramak gerekiyor. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısındaki önemli teknolojik ilerlemeler, insan yaşamını ve işletmeleri geri dönülemez biçimde etkiledi. İş yaşamında başarılı olmak için bu yönelimlere uygun stratejik gelişmeler gerektirmektedir. İşletmeler bu stratejileri geliştirebilmesi için değişim yörüngesine girmesi gerekmektedir. Bunun için işletmeler “Biz ne yapıyoruz? Nasıl yapıyoruz? Nasıl daha verimli olabiliriz?” gibi soruları sormaları gerekmektedir. İş rakipler gün geçtikçe daha hızlı artmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle rakipler sadece ülke sınırları arasında kalmamaktadır. Müşteri kitlesi daha seçici ve daha zorludur bu nedenle ürünün kalite, fiyat yönetimi firmalar için önemlidir. Bugün bir işletmenin ne fiyatı ne de kaliteyi kendi başına belirlemesi ve pazarı buna göre oluşturması mümkün değildir (Tüzmen, 2017).

Yeniçağın iş dünyasında, nitelikli iş gücü öne çıkarken niteliksiz iş gücünün birim üretim içindeki oransal değeri giderek azalıyor. Önümüzdeki dönemlerde niteliksiz iş gücünün yerini yarı ve tam zamanlı robotlar makinalar dolduracaktır. Almanya’da gündeme gelen endüstri 4.0 ile dünya farklı bir yöne doğru gideceğinin sinyallerini vermiştir. Endüstri 4.0 üretim alanında sistemlerin dijitalleşmesi, yazılım teknolojisinin artan kullanımına odaklanan ileri fikirleriyle akıllı fabrikalar gibi üretim ve yönetim açısından bir trend yakalamıştır. Küresel liderliği kazanmak ve sürdürmek için üniversiteler, küresel şirketler endüstri 4.0 üzerine çalışmalar geliştirmektedir. Endüstri 4.0 dijital ve otomasyon teknolojisinin olanaklarının gelişmesi ile tedarik zincirini

sayısallaştırılmasını mümkün kılan çeşitli teknolojiler içermektedir. Bu sayede ürün kalitesi, pazarlama süresini indirgemesi, ürüne değer kazandırmayan israfların azalması sayesinde kurumsal performansı artıracaktır. Performansı arttıran gelişmeler arasında bulut tabanlı tasarım üretim, sosyal ürün geliştirme, nesnelerin interneti bulunmaktadır. Bulut bilişim, internet tabanlı bir bilgi işlem yaklaşımıdır. İnternet ağına bağlı olarak bulunan büyük sunucu bilgisayarlar ve bilgisayar programları işleri bu büyük ağ üzerinde paylaşılarak yapılmasını sağlar (Banger, 2016; Ong ve Nee, 2004; Stark, 2016).

2. Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar

4. Endüstri Devrimi şimdiye kadar hiç olmadığı şekilde hiyerarşi ve liderlik kavramlarını zorluyor. Artık günümüz hız ve karmaşasının getirdiği zorlukların üstesinden herhangi bir bireyin tek başına gelmesi neredeyse imkânsız. IBM’in 1500 CEO ile yaptığı global araştırmada, CEO’ların yarısından fazlası, bu karmaşıklığı yönetebileceğine güvenmiyor. Endüstri 4.0 ile artan hız, karmaşıklık ve giriftlik, bireysel liderliği çok zorluyor ve kolektif liderliğe geçişi neredeyse zorunlu kılıyor. Tıpkı, sinirsel bağlantıları arttıkça beynin “daha akıllı” hale gelmesi gibi, ağlarının daha fazla bölümünü birbirine bağlayan ve kolektif bir liderlik kültürü oluşturan kurumlar da bu yeni dönemde “daha akıllı” hale gelecektir. Siber sistemlerle inşa edilmiş akıllı fabrikaların oluşturma vizyonudur. Kendiliğinden yapılandırma, kendi kendini denetleme ve kendi kendini iyileştirme gibi otonom özelliklere sahip akıllı sistemler tarafından yönetilen üretim ekosistemlerin oluşturulmasıdır. İleri düzey üretim ve insan-makine iş birliği etrafında dönen endüstriyel süreçler

ile simbiyotik ürün kavramı ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0, sayısız teknolojiyi ve ilişkili paradigmaları içermektedir. Ortaya çıkan bu paradigmalardan bazıları, nesnelerin interneti, bulut tabanlı imalat ve sosyal ürün geliştirme içermektedir. Bu paradigmlar hakkında kısa bir genel bakış aşağıdaki bölümlerde verilmektedir (Ötleş ve Özyurt, 2016a,b; Thames ve Schaefer, 2016; Tüzmen 2017).

2.1. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin endüstriyel interneti (IIoT) akıllı iletişim sistemleri ile endüstriyel sistemlerin birleşmesinden kaynaklanan yeni bir devrimdir. Eski ve yeni sayısız endüstriyel cihazların IP iletişim teknolojisini kullanarak değişim teknolojisidir. Nesnelerin interneti (IoT), bilgi işlem ve iletişim teknolojisinin evde ve işyerlerinde kullanılan birçok nesneye entegre edilmesiyle hareketleri algılayabilir ve kayıt altına tutulabilir bir sistemdir. Bu sistem radyo frekans tanımlama cihazları (RFID) gibi düşük sensör teknolojisi sayesinde nesnelere etiketleme ve izleme ile başlamıştır, bununla birlikte paradigma, piyasanın bilgi işlem ve internet tabanlı iletişim teknolojilerinin maliyetlerinin düşmesiyle değişti. Düşük maliyetli bilgi işlem ve yaygın geniş bant ağının IoT’nin gelişmesini sağladı. Şu an IoT, ev alet ve gereçleri, ulaşım araçları bu teknolojiyi içermektedir. Teknik açıdan IoT, internet tabanlı iletişim, veri değiş tokuşunu sağlayan elektrik, manyetik ve bilgisayar iletişim mekanizmalarının gömülü sistemlerini içeren nesnelere bir diğer terim operasyonel teknolojidir. Bu teknoloji, endüstriyel ortamlarda bulunan geleneksel donanım ve yazılım sistemlerine atıfta bulunmaktadır. Bazı örnekler arasında programlanabilir mantık denetleyicileri (PLC),

dağıtılmış kontrol sistemleri (DCS) ve insan-makine arabirimleri (HMI) bulunur. Bu sistemler endüstriyel bir ortamda meydana gelen çeşitli işlemleri "kontrol" ettikleri için endüstriyel kontrol sistemleri (ICS) olarak da bilinirler. Bu geleneksel kontrol sistemleri, İnternet tabanlı iletişim teknolojilerini hızla kullanmaya başlamıştır ve böylece imalat organizasyonlarının bilgi teknolojisi (IT) sistemleri ve altyapıları ile bütünleştirilir. Bu OT / BT entegrasyonu çok sayıda sektörde geniş çapta gerçekleşmektedir ve gelecekteki akıllı üretim sistemleri ve endüstri 4.0 'in ihtiyaçlarına teknolojik olarak uyum sağlayacaktır (Thames ve Schaefer, 2016; Uhlemann ve arkadaşları 2017; Witkowski, 2016).

2.2. Bulut Tabanlı Üretim

Bulut tabanlı üretim (CBM) endüstri 4.0 başarısına önemli bir katkıda bulunacak diğer bir yükselişte olan paradigmadır. CBM, verimliliği artıran, ürün yaşam maliyetlerini düşüren, optimum kaynak tahsisine izin veren, yeniden yapılandırılabilen siber-fiziksel üretim hatları oluşturmak için paylaşılan çeşitlendirilmiş ve dağıtılan üretim kaynaklarının bir paylaşım kümesine talep üzerine erişimden yararlanan bir ağa bağlı üretim modeli olarak tanımlanabilir. CBM'in özellikleri ağa bağlı üretim, ölçeklenebilirlik, çeviklik, her noktada erişilebilirlik, çoklu kullanıcı, sanallaştırma, büyük veri ve nesnelerin interneti ile her yerde servis ve hizmet alt yapısının oluşmasını sağlar (Erol ve arkadaşları 2016).

CBM'ye benzer bir paradigma olan bulut tabanlı tasarım ve üretim (CBDM) kavramı ortaya çıktı. CBDM, tasarım ve imalat kaynaklarının genel sisteminin uygun bileşenlerinin bulut hesaplama mode-

line entegre edildiği ürün gerçekleştirme sürecinin daha kapsamlı bir görünümünü ifade eder. CBDM başlangıçta Schaefer ve Thames tarafından CBDM'in tanımı şu şekildedir: "Bulut tabanlı tasarım ve üretim, sosyal ağ oluşturma, kitle kaynaklı platformlar ile ortak hizmet havuzlarının birlikte tasarım ve üretim kaynaklarının birleşmesiyle birlikte minimum maliyetle ortak yenilik ve hızlı ürün geliştirmeyi sağlayan bir ürün geliştirme modeline atıfta bulunmaktadır. Esas olarak amaç, bulut tabanlı üretim, bulut tabanlı tasarımlarla entegre edilerek sosyal ürün geliştirmektir (Schaefer ve arkadaşları 2012; Thames ve Schaefer, 2016).

2.3. Sosyal Ürün Geliştirme

Ürün yaşam döngüsünde olgunluk dönemini bitirmek üzere olan ürünün yeni model ya da bambaşka bir ürün ile değiştirilmesidir. Büyük ölçüde dış gelişmelere dayanan inovasyon projelerinin sadece iç araştırmaya dayanan benzer projelere göre geliştirme süresi daha kısa ve daha az yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bütün bu kavramların iç ve/ya da dış ürün geliştiren bir firma, insanların iletişim ağlarını kullanması vasıtasıyla ürünlerini geliştirmesine işaret eder. Bu kavram sosyal ürün geliştirmektir.

SPD, ürün geliştirme dünyasında nispeten yeni bir konsepttir. Sosyal bilgi işlem teknoloji araçlarının ve medyanın kullanımı olarak tanımlanabilir; ürün yaşam döngüsünü herhangi bir aşamada nitelikli kitlesel ve kullanım tanımları aracılığıyla iletişim değerini artırmayı hedefler. Sosyal ürün geliştirme konusunda kitlesel kaynak, kitlesel işbirliği, açık yenilik ve bulut tabanlı tasarım ve imalat sistemleri kullanılır. Sosyal Ürün Geliştirme,

Web 2.0 ve Enterprise 2.0 teknolojileri gibi sınıflandırılabilir. Ürün geliştirme girişimlerinde, teknolojinin dâhili (Web 2.0) veya harici (Enterprise 2.0) olarak adlandırılan ara yüzün kullanılıp kullanılmadığıdır (Lu, 2017; Thames ve Schaefer, 2016).

3. Yazılım Tanımlı Bulut İmalatı

Endüstri 4.0 ve geleceğin akıllı üretimi, aslında, sayısız internet tabanlı teknolojilerin ve ilişkili paradigmalardan avantajlarından yararlanacaktır. Bu tür üç paradigma bir önceki bölümde anlatılmıştır. Ancak, alanda uygulayıcılar karmaşıklık sorunları ile karşı karşıyadır. İIoT cihazları karmaşık sistemlerdir örneğin, endüstriyel bir robot bağımsız olarak ve grup halinde çalışan birden fazla sensör içerebilir ve bu sensörlerin bir veya daha fazlası, robotun hareketini kontrol eden birden fazla aktüatörü kontrol edebilir. Ayrıca, robotların sensörleri, çalıştırıcıları ve diğer parçaları, robotun genel kontrolünü idare eden merkezi bir sunucuyla bağımsız olarak bir IP ağına bağlanabilir. Sistemin karmaşıklığı tek sorun değildir. Diğer zorluklar: ağa bağlı sistemler, yazılım, yapılandırma, uyumluluk ve güvenlik ile ilişkili yönetim karmaşıklığını içermektedir. Öte yandan, karmaşıklık kontrol edilebilirse, İIoT, CBM, SPD gibi Endüstri 4.0 sistemleri, en azından belirli üretim alanlarında esnek, uyarlanabilir ve ölçeklenebilir sistemler üretmek için kullanılabilir. Bunu başarmak için, endüstri 4.0 paydaşlarının karşılaşacağı karmaşıklıkları ve sistem yönetimi zorluklarını ele alan yapıları, tasarım ilkeleri ve sistem modelleri getirilmelidir. Yazılım tanımlı sistemler bu karmaşıklığı çözebilmemiz için araştırma alanıdır (Lu, 2017; Thames ve Schaefer, 2016).

3.1. Yazılım Tanımlı Sistemler

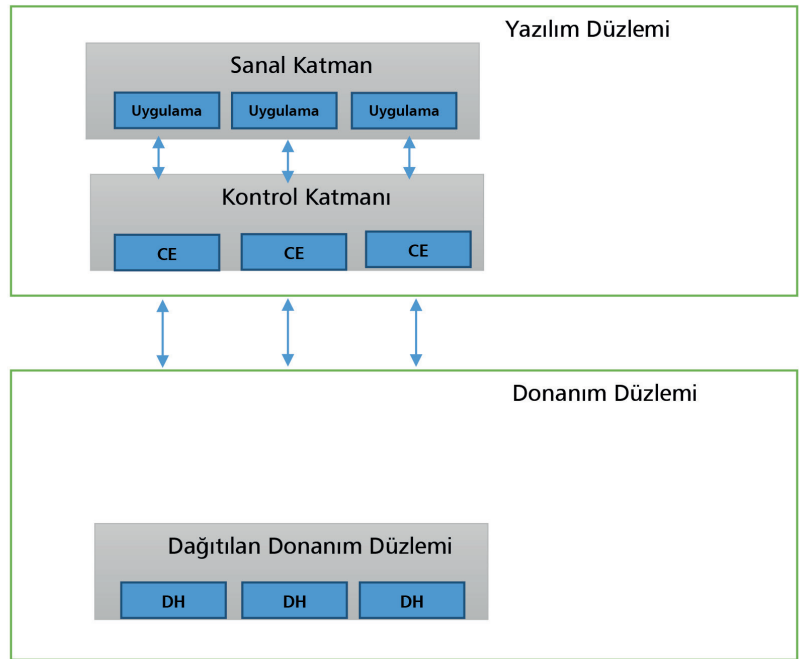
Son zamanlarda bilgi teknolojileri alanı yazılım tanımlı sistemler kullanmaya başlamıştır. Donanım ve yazılım düşüncesi, ucuz, yüksek işlevli donanım ve sanallaştırma teknolojileri ile sağlanan yeni bir paradigmadır. Teknolojiler yazılım tanımlı ağ teknolojisini, depolama alanını, hesaplamayı, veri merkezini içermektedir. Yazılım tanımlı ağ (SDN), bir kontrol düzleminin çeşitli cihazları kontrol ettiği yönlendirme düzleminde ağ kontrol düzleminin fiziksel olarak ayrılması olarak tanımlanır. Bu tasarımın sonuçlarını anlamak için, yerine koyduğu paradigma düşünülmelidir. Özellikle, SDN dışındaki ağ aygıtlarının, her ağ aygıtının kendi ağındaki diğer aygıtlardan tamamen izole edildiği bir tasarıma dayanır. Her ne kadar diğer aygıtlarla koordineli çalışırsa da, sözde kontrol düzlemi kendine yalıtılmış ve kontrol düzlemi işlevselliği değiştirilemez. SDN ile kontrol düzlemi merkezi olarak yönetilir, yazılım tarafından tanımlanır ve birden fazla aygıtta uygulanabilir. Fikir, ağ aygıtlarının satıcıya özgü yazılım gerektirmeyen "genel" bir donanıma sahip olması ve kontrol düzlemi işlevselliği belirli bir tasarım hedefine uyacak şekilde birden fazla aygıtta uygulanabilir olmasıdır. SDN'nin esnek, yönetilebilir, uyarlanabilir ve uygun maliyetlidir. Kontrol düzleminin yalnızca "yapılandırılabilir" sabit yazılım yerine doğrudan "programlanabilir" olmasını sağlar. Yazılım tanımlı tedarik zinciri, kısa bir süre önce Paul Brody tarafından tanımlanan yeni bir yazılım tanımlı sistemdir. Brody, ürün tasarımı ve imalatın değiştiğini ve değişimin "gelişmekte olan, olgunlaşan ve birleşmekte olan" teknolojilerden kaynak-

landığını belirtti. Yani Brody, üç özel teknolojinin imalatın yeniden şekilleneceğini önermektedir. Bu teknolojiler, üç boyutlu yazdırma, yeni nesil akıllı montaj robotları ve açık kaynak donanımı içermektedir. İş süreçleri, kurumsal teknoloji ve akıllı iş modellerin ayarlanması adapte edilmesi ve geliştirilmesi gelecekteki başarı için önemlidir.

3.2. Yazılım Tanımlı Bulut Üretim Yapısı

Genel olarak, yazılım tanımlı sistemlerin çevik, programlanabilir, yönetilebilir yapılandırılabilir, birlikte çalışabilir, uyarlanabilir ve korunabilir olması gerekir. Endüstri 4.0 teknolojileri ve akıllı üretim sistemleri bu özellikleri içerir. Bu bölümde, çeşitli endüstri 4.0 sistemlerinde bu özellikleri elde etmek için yeni bir yazılım tanımlı bulut üretim (SDCM) yapısı incelenmiştir. Basitleştirilmiş SDCM yapısı aşağıdaki bölümde anlatılmıştır ve Şekil 1'de gösterilmiştir. İnter-

net tabanlı iletişim çerçevelerine, yani bir TCP / IP yığını olan büyük bir donanım ve yazılım elemanları ağının oluşturulmasıdır. IIoT, CBM, SPD kombinasyonu gibi endüstri 4.0 sistemini oluşturan unsurları kullanmaktadır. SoC, son derece büyük ve karmaşık sistemleri yönetilebilir parçalara ayıran bir tasarım ilkesidir. Örneğin, dünya çapındaki Internet, SoC tasarım ilkesine dayanır. SDCM yapısı ilk olarak iki düzlem halinde bölünür: yazılım düzlemi ve donanım düzlemi. Yapının mevcut durumda, donanım öğelerini yazılım öğelerinden ayırılır. Özellikle donanım nihai işi yaparken, yazılım işin nasıl tamamlandığına kadar olan süreci tanımlar. Donanım düzleminde dağıtılmış donanım katmanı (DHL) bulunur. DHL ayrıca dağıtılmış donanım (DH) öğelerinden oluşur. Örneğin, bir DH, belirli bir üretici topluluğunun üretken donanımına dayanan genel bir 3D yazıcı olabilir. Yazılım düzlemi sanal ve kontrol katmanla-



Şekil 1. Basitleştirilmiş bulut üretim yapısı

rı olmak üzere iki kat içerir. Kontrol katmanı, kontrol öğelerinden (CE) oluşur. Sanal katman, son kullanıcı uygulamalarını içerir. Bilgi akışları oklarla gösterilmiştir. DHL, kontrol katmanı ile iletişim kurar ve bunun tersi de uygun bir iletişim ara yüzünü kullanarak iletişim kurabilir. Aynı şekilde, sanal katman kontrol katmanı ile ara yüz oluşturur. Her katmanda, üst düzey öğeler oluşturmak için birden fazla öğe oluşturulabilir. Bu nedenle, yazılım tanımlı bulut üretim yapısı üç dizi tanımlanır.

V= uygulama bileşim elemanı,

C=kontrol ögesi,

D=donanım ögesi,

M= SDCM elemanı,

M=(V,C,D)

V = {a}, C = {ce}, D = {dh}

Özellikle, yazılım tanımlı bulut imalat modeli, genel olarak karmaşık imalat hizmetlerinin üretim kapasitesini sağlayan seviye başına eleman bileşim servislerini temsil etmektedir (Schaefer ve arkadaşları 2012; Tayaksi ve arkadaşları 2016; Thames ve Schaefer, 2016).

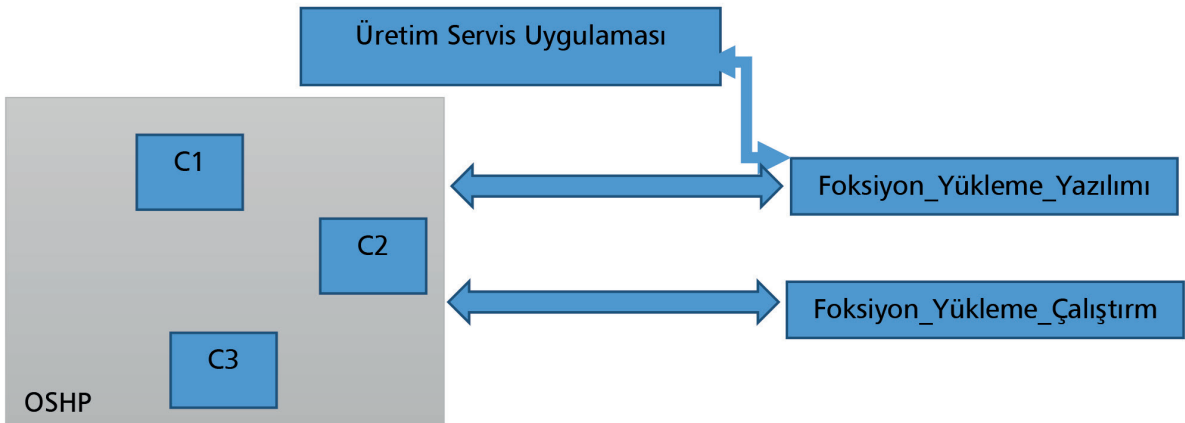
3.3. SDCM İş Diyagram Senaryosu

Bu bölümde bir SDCM akış senaryosunun temel işleyişi anlatılmıştır. İşleyiş süresi uygulamaları, kontrol elemanları ve dağıtılan donanım elemanlarını dinamik olarak oluşumu ve genel yapı SDCM servisine bağlıdır. Yapı için kontrol elemanları sorumludur. Yapının bir uygulamanın başlatılması (sanal katmanda) ile başlatılır. Kontrolü sağlayan öğeler belirli bir SDCM hizmetinin çekirdek beynidir ve verilen hizmetin öğelerini oluşturan denetleyici mantığını içerir.

Donanım öğelerinin bileşimi, çok çeşitli senaryolarda elde edilebilir. Burada, bu kompozisyon sürecinin fikirlerinin spektrumun iki farklı ucundaki bir genel görünümünü sunulmaktadır. Brody'in de belirttiği gibi, 3D baskı, yeni nesil akıllı montaj robotları ve açık kaynak donanımı, gelecek üretim süreçleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olacak. Açık kaynak donanımı (ve buna bağlı açık kaynak yazılımı), donanım platformlarında hızlı ve artımlı güncellemelere neden olmaktadır. Bu, çeşitli imalat birim-

leri tarafından kullanılabilir. Bu senaryonun bir yönü, istenen işlevsellik kümesine dayalı olarak bu donanım platformlarını yeniden yapılandırılabilir becerisini göstermektedir.

Şekil 2'de açık kaynak donanım platformunun 3 üst seviye bileşenlerini (C1,C2,C3) içermektedir. Bu OSHP'nin tek bir donanım ögesi (DHE) olduğu düşünülmektedir. Bu bileşenler üretimi başlatma özelliğine sahiptir. Bu örnekte bir kontrol elemanı, aygıt yazılımını yüklemek ve kurmak için görevlendirilmiştir. Ürün yazılımı kurulduktan ve başlatıldıktan sonra, ikinci bir kontrol elemanı bir tasarım dosyasını sisteme yükler ve özel imalat hizmetini başlatır (Schaefer ve arkadaşları 2012; Thames ve Schaefer, 2016). Hizmet ve ürün üretmek için açık kaynaklı donanımdan fikirler geliştirilebilir. Ayrıca farklı üretim metodolojisine göre yapılandırılabilir. SDCM tarafından sağlanan bu iş akışı çok sayıda bağımsız donanım platformuna uygulanabilir. Soyutlama kesinlikle SDCM'nin güçlü bir yönüdür. Eşdeğer bir iş akışı, örneğin, bir 3D yazıcı ve CNC freze



Şekil 2. SDCM iş akışı

makinesi (sırasıyla C2 ve C3) ile birlikte bir imalat robotunun bileşimi (diğer bir deyişle C1 robot) olabilir. Yapay olarak da, daha üst düzey bir yapı olarak getirilen bazı bulut tabanlı CAD programı tarafından tasarlanabilir.

4. Sonuç

Çalışanlarla akıllı makineler arasında oluşturulacak yeni işbirliği ve birlikte çalışma, bir yandan endüstrilerin yapısını ve rekabet dengesini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bilişim teknolojisi, yeni üretim yaklaşımlarının odak noktasındadır. Endüstri 4.0, şirketlere iş süreçlerinde optimizasyonu ve süreçlerin hızlanmasını sağlamaktadır. Makine-insan işbirliğine ve simbiyotik ürün gerçekleştirimine dönük yeni tip ileri üretim ve endüstriyel süreçler ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, Endüstri 4.0 ve akıllı imalatın sağlayabileceği pek çok potansiyel fırsattan yararlanmak için karmaşıklık ve yönetim süreçleri irdelenmelidir. Özellikle, bu karmaşıklık ve yönetim zorluklarının üstesinden gelmek için tasarlanmış yapılar, çerçeveler ve modeller tanıtılmalı ve araştırılmalıdır. Bu alanda, İnternet Protokolü (IP) tarafından sağlanan ölçeğin getirileri ve ekonomileri üzerinde yoğunlaşmaya odaklanarak nesnelerin endüstriyel interneti, buluta dayalı tasarım ve üretim (CBDM) ve sosyal ürün geliştirme (SPD) gibi yenilikler ortaya çıkmıştır. Bir diğer ortaya çıkan fikir, yazılım tanımlı ağlar gibi, daha esnek sistemler oluşturmak için soyutlama ve ucuz donanım ilerlemelerini kullanan yazılım tanımlı sistemler kavramıdır. Son zamanlarda, esnek bulut üretim sistemlerine ulaşmak için yazılım tanımlı sistemler kavramı-

nın nasıl kullanılacağına üzerinde durulmuştur. İmalat donanımı ile bulut tabanlı uygulamalar, hizmetler ve platformlar arasındaki soyutlamayı kullanmaya dayalı temel bir SDCM yapısı anlatılmıştır. SDCM'nin amacı, çeşitli karmaşıklık sorunlarını azaltırken, çeviklik, esneklik ve uyarlanabilirlik sağlayarak bulut tabanlı imalat ve diğer Endüstri 4.0 yapısını iletme (Oesterreich ve Teuteber, 2016).

Bulut sisteminin, endüstri kuruluşlarında kullanımının yaygınlaştırılması ile endüstriyel işletmelerdeki ortak çalışma ve paylaşım kültürü gelişebilecek, ortaya çıkan hizmet odaklı üretim modelleri işletmenin rekabet gücünü artıracaktır. Ülkeler arasındaki Endüstri 4.0 rekabetinde de bulut uygulamaları, ülkemize önemli katkılar getirecektir.

Kaynaklar

- Banger, G. (2016). Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme, Dorlion Yayınevi, Ankara.
- Erol, S., Jäger, A., Holda, P., Otta, K., Sihna, W. (2016). Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP*, 54, 13-18.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.
- Oesterreich, T., Teuteberg, F. (2016). Understanding the implication of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139.
- Ong, S., Nee, A. (2004). Virtual

and Augmented Reality Applications in Manufacturing. Springer-Verlag, London.

- Ötleş, S., Özyurt, H. (2016a). Endüstri 4.0: Gıda sektörü perspektifi. *Dünya Gıda*, 5, 89-96.
- Ötleş, S., Özyurt, H. (2016b). Endüstri 4.0: Büyüme ve verimlilik için dijitalleşme. *Plastik & Ambalaj Teknolojisi*, 10, 54-57.
- Schaefer, D., Thames, J., Wellman, R., Wu, D., Rosen, D. (2012). Distributed collaborative design and manufacture in the cloud—motivation, infrastructure, and education. *Computers in Educational Journal*, 3, 1-16.
- Stark, J. (2016). Product Lifecycle Management: the Devil is in the Details. Springer-Verlag, London.
- Tayaksi, C., Ada, E., Kazançoğlu, Y. (2016). Bulut üretim: işlemler yönetiminde yeni bir bulut bilişim modeli. *Ege Akademik Bakış*, 16, 71-84.
- Thames, L., Schaefer, D. (2016). Software-defined cloud manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12-17.
- Uhlemann, T., Lehmann, C., Steinhilper, R. (2017). The digital twin: realizing the cyber-physical production system for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 61, 335 – 340.
- Tüzmen B.A. (2017). Endüstri 4.0 ile dönüşüm .Liderlik, Harvard Business Review Türkiye, <https://hbrturkiye.com/dergi/endustri-4-0-ile-donusen-liderlik>, erişim tarihi :14.06.2017
- Witkowski, K. (2016). Internet of things, big data, Industry 4.0 - innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering*, 182, 763-769.