

YÜKSEK PERFORMANSLI ÜRETİM SİSTEMLERİNE YENİ BİR BAKIŞ AÇISI:MODÜLER ÜRETİM SİSTEMLERİ ÖRNEĞİ

Muammer ZERENLER*

ÖZET

Günümüzde işletmeler, her düzeyde rekabetin artması, hızla değişen ve şekillenen yeni piyasa koşulları ve gittikçe daha karmaşık ve önemli hale gelen tüketici ihtiyaç ve taleplerini karşılayabilme gereksinimi gibi etkenlerin yanı sıra teknolojik gelişme ve yenilenmenin sonucunda geçmişe kıyasla daha büyük bir rekabet baskısına maruz kalmaktadırlar. Küresel rekabet ortamında ürünlerin dünya üzerindeki farklı yerlerde bulunan ve birbirlerinden farklı olan müşterilerin isteklerini karşılaması koşulu giderek daha önemli hale gelmektedir. Yerelliğe göre değişecek isteklerin yanında bireylerin özel isteklerinin de karşılanması, pazardaki ürünlerin tercih edilmesinde karar unsuru olmaktadır. Ürünlerin bu istekleri karşılamak üzere tasarlanması ve tasarımların yerel ve küresel kriterlere göre doğrulanmasındaki yetkinliğin rekabetçiliği sağlayan önemli bir öge olarak üretimde modüler sistemler kullanılarak belirginleşmesi, tasarım ve ürün geliştirme süreçlerinin bu dönemin kritik süreçleri olarak kalacağını göstermektedir.

Endüstriyel devrimle birlikte üretim metodu olarak materyallerin ve parçaların bir makineden diğerine transferini öngören "süreç merkezli üretim organizasyonları" gündeme gelmiştir. Modüler Üretim (Modular Manufacturing) de, genel olarak tüketicilerin istek ve beklentilerini en uygun şekilde karşılamayı hedefleyen, bunun için de üretim ve örgüt yapısına esneklik kazandırmak amacıyla kapsamlı değişiklikler öngören bir üretim sistemidir. Bu bağlamda çalışmanın odak noktasını, son yıllarda popüleritesi giderek artan modüler üretim sisteminin önemi, kapsamı ve uygulama örnekleri oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler

Yüksek Performanslı Üretim Sistemleri, Modülerlik, Modüler Üretim Sistemi

ABSTRACT

After the industrial revolution, process-focused manufacturing organisations have been seen that suggest the transfer of the materials from one machine to other.

* Yrd.Doç.Dr. Selçuk Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü Öğretim Üyesi

Modular Manufacturing gives importance to the needs and expectations of customers, thus it is open to changes to gain flexibility in manufacturing and organisation system. In this aspect, the aim of this study is to underline the importance and practice of Modular Manufacturing.

Keywords

Advanced Performed Manufacturing Systems, Modularity, Modular Manufacturing System

Yüksek Performanslı Üretim Sistemleri

Yüksek performanslı üretim sistemlerinin (YPÜS) gelişiminin başlangıç noktası olan bilgisayarlar, II. Dünya Savaşı sırasında 1944 yılında Harvard Üniversitesi ve IBM tarafından geliştirilen ve Mark I adı verilen bilgisayar ile hızlı bir gelişim içine girmiştir. Ancak bu bilgisayar da çeşitli hesapları gerçekleştiren özel amaçlı bir bilgisayar niteliği taşımaktadır. Genel amaçlı ilk bilgisayar 1946 yılında John Mauchly ve J. Presper Eckert tarafından geliştirilmiş ve ENIAC (Electronic Numerically Integrated Automatic Calculator) adı verilmiştir. İkinci olarak da, Univac (Universal Automatic Calculator) üretilmiştir. Bu tip bilgisayarları diğerleri izlemiş ve 1964 yılında, ilk olarak günümüzde kullanılan bilgisayarlara uygun bir bilgisayar geliştirilmiştir. Bununla birlikte bu bilgisayarlar gerek hacim, gerek maliyet, gerekse kullanılabilirlik açısından günümüzde geçerliliklerini yitirmişlerdir. Zaman içerisinde kullanım alanı geniş ve küçük hacimli bilgisayarlar geliştirilmeye başlanmış ve bilgisayar teknolojileri başlı başına bir endüstri dalı şekline dönüşmüştür.

YPÜS'nin ilk uygulama örneklerinden biri olan ve YPÜS'nin temeli olarak da kabul edilebilecek sayısal kontrollü makineler (tezgahlar) de bilgisayarlar gibi II. Dünya Savaşı sırasında geliştirilmiştir. II. Dünya Savaşında Amerika'da Parsons Şirketi'nde bir uçak parçasının üretimi sırasında üç boyutlu eğri verisi ve makine aletlerinin hareketlerinin kontrol edilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu sorun çözülmeye çalışılırken sayısal kontrollü makineler geliştirilmiştir. Sayısal kontrolde; matematiksel bilgilere gereksinim duyulduğu için makinelere bu isim verilmiş ve 1954 yılında bu makinelerle ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tüm bu gelişmeler yüksek performanslı üretim sistemlerinin doğuşuna neden olmuştur. Bu teknolojilerin gelişimi; tasarım/çizim, planlama/programlama, fabrikasyon şeklinde üç ana grupta açıklanabilir:

Fabrikasyon alanında sayısal kontrol ile başlayan çalışmalar, bilgisayarlı sayısal kontrol ve sistemdeki diğer bilgisayarlarla bağlantılı olarak çalışan direkt sayısal kontrol ile devam etmiştir. Bununla birlikte, bilgisayarlar ile üretim gerçekleştirilmeye başlanmış ve bilgisayarlı tasarım ve üretim bir sistem haline dönüştürülerek bilgisayar destekli tasarım ve üretim (BDT/BDÜ) oluşturulmuştur. Üretim sistemi ile finans, pazarlama, muhasebe gibi diğer işletme sistemleri bütünleştirilerek ve ayrı ayrı bilgi sistemlerinin bilgisayarlar kullanılması ile bilgi-

sayar tümleşik üretim sistemleri (BTÜS) ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda bilgisayarların hacimleri küçülmüş, fakat kapasiteleri arttırılmıştır. Mikrobilgisayarlar ve kişisel kullanıma ait bilgisayarlar, çok karmaşık yapılara sahip sistemlerin birleştirilmesini ve bütünleştirilmesini kolaylaştırmıştır.

Planlama ve programlama alanında grup teknolojisi ile başlayan çalışmalar kodlamanın geliştirilmesi ile bilgisayar destekli süreç planlaması (BDSP) ile devam etmiştir. 1970'li yıllarda malzeme ihtiyaç planlaması (MİP) adı altında geliştirilen bilgisayar programı ile üretim planlamacıları son ürünün talebindeki değişime paralel olarak stok ve üretim çizelgelerini uyarlama olanağına kavuşmuştur. MİP, geliştirilerek planlamada kullanılmak üzere daha geniş kapsamlı üretim kaynakları planlaması (ÜKP), işletmeler tarafından kullanılmaya başlamıştır.

Tasarım ve çizim alanında ise çeşitli analiz yöntemleri geliştirilerek, 1950'li yıllarda çizimlerde bilgisayarların kullanılacağı saptanmıştır. Bu konuda ikinci aşama mühendislik tasarımlarında bilgisayar grafiklerinin kullanılması olmuştur. Amerikan Savunma Bakanlığı'nın desteği ile 1963 yılında, Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde geliştirilen çizim tahtası, BDT'nin başlangıcını oluşturmuştur.

Bilgisayar ve üretim teknolojilerinin bu hızlı gelişimi ile beraber üretim alanında yeni yaklaşımlar ve felsefeler de ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında Japon bilim adamlarının geliştirdiği Tam Zamanında Üretim (TZÜ), Toplam Kalite Yönetimi (TKY), Esnek Üretim Sistemleri (EÜS) ve Yalın Üretim (YÜ) sayılabilir (Parlak, 1997). TZÜ, minimum stok ile müşteri taleplerini anında karşılayabilecek bir üretim sisteminin oluşturulması ve TKY ile kalite anlayışının işletme içinde yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. EÜS ile de üretim hücreleri oluşturarak ve otomasyon ile üretim esnekleştirilmektedir (Shewchuk and Colin L. Moodie, 1998:148).

Günümüzde sözkonusu teknolojik gelişmelerle birlikte, insan sesini algılayıp gerekli komutları yerine getirebilen bilgisayar sistemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu alanda sürdürülen çalışmalar herhangi bir insan gibi davranan robotlar ve bilgisayarlar geliştirme düşüncesini oluşturmuştur. Bu gelişmeler; insanların düşünerek yapabildikleri işlerin makinelere zeka yeteneğinin kazandırılması sonucunda yaptırılmasını içeren yapay zeka ve uzman sistemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Örneğin; Honda'nın temel araştırma alanlarından biri hem insanlara yardımcı olacak hem de toplumun kullanımına sunulabilecek kendi kendine hareket edebilen bir robot geliştirmektir. Honda'nın robot teknolojilerini kullanarak gerçekleştirdiği robotun adı ASIMO'dur. ASIMO yeni i-walk teknolojisi ile yön değiştirebilmekte ve taşınabilir bir kontrol mekanizması ile hareket edebilmektedir. Artırılmış hareket kapasitesi ile çok daha fazla iş yapabilme yeteneğine sahip ASIMO'nun, Honda'nın otomobil üretiminin yanısıra çok farklı alanlarda kullanılması için çalışılmaktadır (www.honda.com).

Bilgisayar teknolojilerinin bir bilim dalı olarak gelişmesi ile mantığa matematiğin gücü katılarak yapay zeka alanında çalışmalar hızlanmıştır. Uzman

sistemlerin önemli amaçlarından birisi, yıllar boyu çeşitli çalışmalar sonrasında elde edilen pratik deneyimlerin ve uzmanlık becerilerinin bireylerden bilgisayarlara aktarılması ve bu bilgilerin yeni işe başlayan bireylerin hizmetine sunulmasıdır. Bu gelişmelerin bir amacı da; kendi kendine çalışabilen, süreçleri otomatik kontrol edebilen tam otomatik fabrikalara ulaşabilmektir.

Günümüzde değişen ve gelişen dünya pazarlarında pazarın yapısı, çeşitleri ve üretilen malların nitelikleri tüketiciler tarafından belirlenmektedir. Tüketiciler sürekli olarak yeni ve değişik mamuller arzulamakta bu durum talepte esneklik ve dalgalanma yaratmaktadır. Böylece üretimde hız ve esneklik ön plana çıkmaktadır. İşletmelerin bu taleplere cevap vermeleri ancak yeni üretim teknolojilerine uyum sağlamalarıyla mümkün olabilecektir (Elger, 1997:58).

Günümüz küresel rekabet ortamında faaliyet gösteren işletmeler, tüketici ihtiyaçlarındaki değişime bağlı olarak talepteki dalgalanmaları karşılayabilmek için üretimin esnek bir yapıya sahip olması konusunda önemli sistemler geliştirmiştir (Coşkun Kasap, 1999:14). Günümüz sanayi işletmelerinde yerleşmeye başlayan, daha küçük partiler halinde üretim, daha kısa ürün ömrü ve sürekli yeni ürünlerin piyasaya sürülmesi, tasarım ve üretim yöntemlerinin daha esnek hale getirilmesi ve şirketlerin yüksek performanslı üretim sistemleri olarak anılan üretim yapılarına yönelmeleri sonucunu doğurmuştur (Garrahan and Stewart, 1992:312). Yüksek performanslı üretim sistemleri; modüler üretim sistemleri, esnek üretim teknolojileri, bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli mühendislik, simülasyon, robotik, sensör teknolojileri, sistem yönetimi ve benzeri teknolojiler bu çerçeve içerisinde önemle durulması gereken konulardır.

Son yıllarda üretim alanında önemli bir gelişim gösteren "yüksek performanslı üretim sistemleri" (YPÜS) rekabet gücünün elde edilmesinde ve sürekliliğin sağlanmasında önemli bir araç olarak kabul edilmektedir. YPÜS'nin temel boyutları olarak, otomasyon, modülerlik ve esneklik olarak görülmektedir (Elmacı ve Papatya, 1997:23). YPÜS, özellikle bilgisayarların üretim sürecine uygulanmaları sonucu gelişmiş ve günümüzde hem üretim hem de yönetim alanında yaygınlık kazanmıştır. YPÜS; işletmelerin üretim sistemlerinde mevcut durumun performansını çarpıcı bir biçimde etkileyen ve genel işletme performansını da olumlu yönde değişikliğe uğratan sistemler (Slowersion, 1999:241) olup bunlardan kimileri yalın üretim, tepkisel üretim, çevik üretim ve modüler üretim gibi üretim sistemleridir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında; Modüler Üretim Sistemleri kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır.

Modüler Üretim Sistemleri

Modüler kavramı; uygulamada esneklik kavramı ile sık karıştırılmaktadır. Çoğu zaman birbiri yerine kullanılabilen bu kavramlar ilintili olmakla birlikte modüler kavramının üretim alanında kullanımıyla; üretim sisteminin temel alt yapısını oluşturan süreçlerde yer alan unsurların değişebilir olma özelliğine sahip olarak, üretim sürecine hareketlilik kazandırılması anlaşılmaktadır. Esneklik, üretim sisteminin piyasadaki değişikliklere hızlı ve etkili şekilde uyum sağlama bilmesiyle ilgili bir kavramdır (Gupta, 1993:416). Modülerlik geniş anlamda,

karmaşık işlemleri daha basit kısımlara bölmek yoluyla kompleks mamulleri ve süreçleri etkin bir şekilde organize etmede kullanılan bir yaklaşımdır (Mikkola, 2001:78). Bu açıdan modülerlik, işletmelerin kişiye özel ürün üretebilmeleri için stratejik bir araç olarak kullanılmaktadır. Günümüzde önemi giderek artan ve uygulama alanı bulan kişiye özel üretim uygulamalarının başarısı üretim yapılarındaki modüleriteye bağlıdır. Tablo 1’de uygulamada bireysel müşteri taleplerinin karşılanmasında kullanılan modüler üretim sistemleri görülmektedir.

Tablo 1. Kişiyeye Özel Üretimde Modüler Üretim Sistemleri

Uygulama	Modülerite
İşbirliği ile Bireyselleştirme (Collaborative customisation)	Tamamen bireyselleştirme (Pure customisation) (Lampel & Mintzberg, 1996) Kozmetik bireyselleştirme (Cosmetic customisation) (Gilmore & Pine, 1997)
Uyarlanmış Bireyselleştirme (Adaptive customisation)	Bireyselleştirilebilir ürünler ve hizmetler geliştirme (Developing customisable products and services) (Pine, 1993)
Modüler Hale Getirme (Modularization)	Bireyselleştirilmiş standartlaştırma (Customised standardisation) (Lampel & Mintzberg, 1996) Kişiyeye özel bireyselleştirme (Tailored customisation) (Lampel & Mintzberg, 1996) Modüler ürün tasarımı (Modular product design) (Feitzenger & Lee, 1997) Modüler süreç tasarımı (Modular process design) (Feitzenger & Lee, 1997) Teslimat noktasında bireyselleştirme (Point of delivery customisation) (Pine, 1993) Standart bir ürünle bireyselleştirilebilir hizmetlerin sunulması (Providing customisable services around a standard product) (Pine, 1993) Modüler hale getirilmiş bileşen (Modularised components) (Pine, 1993)

Kaynak: Ahmet Bardakçı, "Kitlesel Bireyselleştirme Uygulama Yöntemleri", Antalya: Akdeniz Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, Sayı:8, 2004, s.5.

Kişiyeye özel üretim sistemlerinde modüler hale getirme, üzerinde en fazla durulan kitlesel bireyselleştirme yöntemidir. Modüler hale getirme yönteminin temelini değişik ürün ve servislerde birbirleri yerine kullanılabilen modüller oluşturur. Üretimde standart modüller üretileceği için kitlesel üretimin en önemli avantajı olan ölçek ekonomileri kitlesel bireyselleştirmede de geçerli olacaktır. Standart modüller farklı ürünlerde kullanılacağı için fırsat ekonomisi de (economies of scope) elde edilecektir (Pine, 1993:127).

Modüler üretim sistemleri; müşteri istek ve beklentilerinin eksiksiz ve zamanında karşılanabilmesini sağlayabilen süreç odaklı yapılardır. Bir başka tanıma göre modüler üretim sistemi; bir ürünün belirli parçalarını bir modül şeklinde ele alıp, en iyi ve en ucuz nereden temin ediliyorsa orada ürettilme ve sonunda bu modülleri birleştirilerek satışa hazır hale getirilmedir (<http://www.uta-stuttgart.de>).

Modüler üretim sistemi genel olarak; fiziksel olarak biraraya kümelenmiş, özgün olarak aletleriyle donanmış, bir birim olarak çizelgelenmiş makinalardan oluşan küçük, özel hücrelerde malzeme, ölçü ve geometrileri bir miktar farklılık gösteren, benzer prosesleri gerektiren parçaların küçük ya da orta ölçeklerde, partiler halinde imal etmek için kullanılan bir tekniktir. Modüler üretim sistemi; ana üretim sistemi çevresinde pek çok işlevi yerine getiren ve onun alt birimleri gibi çalışan bağımsız birimlerden oluşmaktadır. Ana üretim sistemi; temel işlevleri kendisi yerine getirirken modüler sistemler, kendi uzmanlık alanlarındaki işlevleri yüklenmektedir. Bir modülün kapasitesini aşan durumlarda, aşan kısım başka benzer modüllerin atıl kapasiteleri kullanılarak kapatılabilmektedir. Modüllerin her biri eş zamanlı olarak birden çok ürünün üretilebilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu nedenle de, her bir modülün atıl kapasitesi en aza inebilmekte ve hatta ortadan kalkmakta böylelikle modüllerin yüksek verimle çalışması sağlanabilmektedir (Dess and others, 1995:105). Uygulamada özellikle inşaat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin modüler üretim sistemini yapılandırdıkları söylenebilir. Modüler üretim sistemi ile modüllerin birlikte ve birbirini tamamlar biçimde çalışmaları, sürekli ve yüksek istihdam sağlayabilmelerine neden olurken, iş sürelerini kısaltmakta ve maliyetleri düşürmektedir. Bu üretim sisteminde, modüller aralarında yerel internet (intranet) bağlantılarını kullanarak birbirleriyle sürekli malzeme alışverişi yapabilirler (Üçok, 1996:19).

Modüler üretim sistemleri; gerek üretim sistemlerinin tasarımı açısından gerekse üretim sistemlerinin bileşenleri olan makine üniteleri/parçaları açısından geleneksel üretim sistemlerinden önemli farklılıklar göstermektedir. Söz konusu farklılıklar sayesinde çeşitlilik gösteren müşteri ihtiyaçları etkin bir şekilde karşılanabilmektedir. Modüler Üretim Sistemi günümüzde Volkswagen, Kodak, Microsoft, Boeing, Daimler-Chrysler, Black and Decker ve General Motors gibi şirketler tarafından başarıyla uygulanmaktadır (Bayou, 1999). Uygulamada görülen farklı modüler üretim yaklaşımları şu şekilde sıralanabilir (Soyuer, 2005:178):

Ortak Parça Kullanımı İle Modüler Üretim (Component-sharing

Modularity: Aynı parçanın birden fazla üründe ortak olarak kullanımı sağlanarak, kullanılan parçalar için birbirinden farklı tasarımlarda uygun yer ayrılmaktadır. Bu tip modüler üretime; aynı tip pilin veya CD ROM'un farklı dizüstü bilgisayarlarda kullanımı örnek olarak verilebilir. General Electric, 40000 farklı kutusunun tasarımında kullandığı 28000 parçayı 1275 bileşene dönüştürerek hem maliyetini hem de teslim zamanını kısaltmıştır (Pine, 1993:129).

Ortak Bir Temel Üzerine Modüler Üretim (Component-swapping Modularity): Bu yaklaşımda, ortak bir yapı üzerine birbirinden farklı parçaların kurgulanabilmesine olanak sağlayan ürün yapısı ön plandadır. Bu

sistemde, birbirinden farklı özelliklere sahip modüller, ortak bir bağlantı yüzeyinden ana parçaya takılabilmektedir. Böylelikle farklı ihtiyaçlara göre ürünün karakteristik özelliklerinde değişiklikler gerçekleştirilebilir.

Create-A-Book çocuk kitapları satan bir kitapçıdır. Ancak bu kitapçada kitaplar raflarda değil bilgisayarların hafızasında bulunmaktadır. Bir yakını için kitap almaya gelen müşteriye, kitabın hediye edileceği çocuk hakkında birtakım sorular sorulur (adı, doğum tarihi, anne adı, babaannesinin yaşadığı yer vb.). Bu bilgiler bilgisayar tarafından ilgili hikayenin metnine uygun şekilde dağıtıldıktan sonra, kitaplaştırılarak müşteriye teslim edilmektedir (Bardakçı, 2004:9).

Şekillendirmeye Yönelik Modüler Üretim (Cut-to-Fit Modularity): Ürünün farklı ihtiyaçlara göre en az işlem görekerek kullanılmasına olanak sağlanmaktadır. Farklı yüzlere göre değişik boyutlarda kesilerek çerçeveden bağımsız olarak üretilen gözlük sapları bu yaklaşıma örnek olarak verilebilir.

Farklı Modüllerin Karıştırılmasına Yönelik Modüler Üretim (Mix Modularity): Son ürün eklenen parçaların özelliklerini yansıtsa da, bu eklenen parçalar kendi özelliklerini tamamen yitirmektedir. Günümüzde müşterilerin kendi duvar boyası renklerini imal etmeye yarayan, bu tip modüller sıklıkla uygulanmaktadır.

Parça Eklemeye Yönelik Modüler Üretim (Bus Modularity): Bir taban üzerine farklı işlemler gerçekleştiren parçalar istenildiğinde eklenebilmektedir. Sahne aydınlatmaları bu tip modüler üretim yaklaşımına örnek olarak verilebilir.

Sökülüp Takılabilen Parçalara Yönelik Modüler Üretim (Sectional Modularity): Parça tasarımlarının amacı, farklı fonksiyonel özelliklerin sağlanması için aynı parçaların değişik biçimlerde bir araya getirilmesini sağlamaktır. Standart biçimde tasarlanan parçalar, farklı şekillerde bir araya getirilebilirler. Lego oyuncaklar bu tip yaklaşıma örnek olarak verilebilir.

Modüler Üretim sistemini yapılandıran işlemler, müşterilerin istek ve ihtiyaçlarını kısa süre karşılayabilmekte, esneklik derecesini artırabilmekte, miktarı ne olursa olsun kaynak kullanımı optimum olabilmektedir. Yapı içindeki her modülün büyüklüğü yeterli olmadığı durumlarda aynı işlevi yerine getirebilen benzer başka modüller bunlara eklenebilmektedir. Orta Doğu Sanayi ve Ticaret Merkezi (OSTİM)de çimento üretiminde kullanılan malzemeleri 70'den fazla işletme üretmekte, büyük bir üretim tesisinin ara birimleri gibi coğrafi olarak yakın olmanın da avantajını kullanarak modüler bir üretim yapmaktadırlar (Shephard and Ahmed, 2000:91).

Modüler Üretim Sisteminin Yapısı

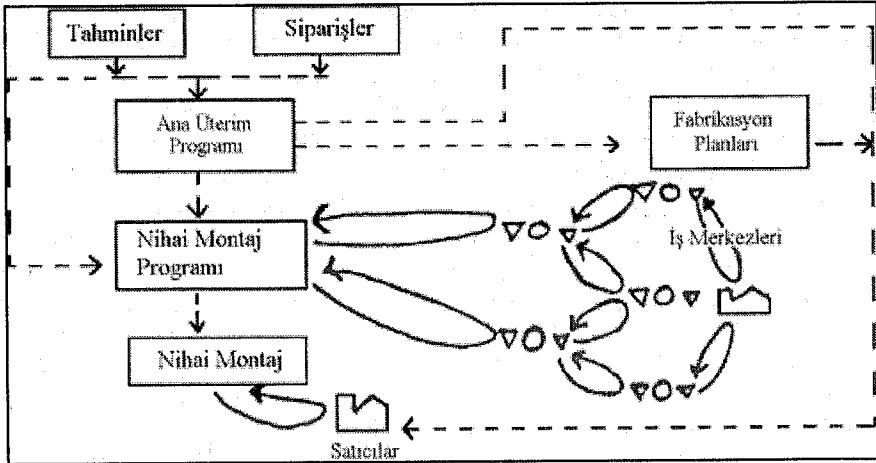
Üretimde temin süresini, hazırlık zamanını ve maliyetini, üretim akışı süresini ve süreçteki envanter düzeyini azaltmak amacıyla geliştirilen modüler üretim sistemlerinin yapısı, birbiriyle etkileşimli modüllerden oluşan bütünlük bir özellik gösterir (Olhager and Ostlund, 1999:26). Modüller, grup teknolojisinin

sınıflandırma tekniklerine göre genellikle benzer işlemlerden geçen parçalardan ve sistemdeki uygun tezgah ve makine gruplarından oluşturulur.

Modüler üretim sistemlerinin yapısını iki temel grupta incelemek mümkündür (www.cage.curtin.edu.au):

1. Süreç Planlama ve Kontrol Sistemleri: Üretim sürecinin planlanmasının ve kontrolünün sağlanmasında bilişim teknolojilerinden önemli ölçüde yararlanılmaktadır. Değişen müşteri istek ve ihtiyaçlarının hareketli üretim bantlarına yansıtılabilmesi ve üretim sürecinin değiştirilebilmesi için gelişmiş bilgisayar donanımına ve amaca uygun yazılım sistemlerine gereksinim duyulmaktadır. Bu sistemler; amaca uygun bir şekilde üretimi gerçekleştiren ve üretimde kullanılan materyallerin durumunu değiştirebilme özelliklerine sahiptirler. Örneğin Pirelli şirketinin kullandığı Modüler Tümüleşik Otomasyon Sistemi sayesinde; dünyanın herhangi bir yerinden gelen lastik siparişinin tasarımı 28 saniye içinde Pirelli süreç tasarımı ve kontrol merkezinde gerçekleştirilebilmektedir. Tasarımı yapılan ürünün üretilmesi için gerekli materyallerin tedarik edilmesi yaklaşık 47 saniye, üretim sürecindeki makine alt yapısının uyarlanabilmesi de 1.2 dakikada gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte, üretimi tamamlanan ürünlerin teslimat noktalarına gönderilmesi sırasında; siparişin nerede ve hangi koşullarda olduğu müşteriler tarafından izlenebilmektedir (www.pirelli.com/mirs). Şekil 1'de bir işletme örnek bir modüler sistem görülmektedir.

Şekil 1. Örnek Bir Modüler Sistem



Kaynak: Jonghun Park, Jinwoo Park and Jongwoon Kim, "A Generic Event Control Framework for Modular Flexible Manufacturing Systems", Computers & Industrial Engineering, Vol:38, 2000, s.109.

2. Modüler Sistem Araçları: Bu araçlar devinimle/hareketle ilgili faaliyetler için kullanılmakta, üretimde kullanılan tüm materyallerin manevra kabili-

yetlerini belirlemektedir. Örneğin; modüler mobilya üreticisi Ikea şirketinin ambar stoklarının otomatik yönetiminde kullandığı modüler sistem araçları sayesinde ambarda her zaman ürün stoğu bulunması sağlanmakta, müşteri siparişlerindeki her türlü farklılık 1 gün içinde karşılanabilmektedir. Bu bağlamda; şirketin üretim sürecinde kullanılan otomatik parça taşıma ve ambar kontrol sistemleri sayesinde üretim süreci herhangi bir kesintiye uğramadan her türlü müşteri siparişi kısa sürede karşılanabilmektedir (www.ikea.com)

Modüler sistem araçları; platform, modüller, alt sistemler, arabirimler ve modülerlik olarak sıralandırılabilir (Bayou, 1999:44):

(i)Platform: Aynı ürün ailesine mensup farklı ürün çeşitlerinin üretildiği genel yapıları meydana getiren bir dizi alt sistem ve ara birimden oluşur. Platformlar yatay, dikey ve çapraz olabilir. Yatay bir platform, aynı mamulün değişik konfigürasyonlarını üretmek için esnek bir tasarım kullanır. Aynı kasayla üretilen otobüsler; okullara öğrenci taşımak, işletmelere personel taşımak veya suçlu nakletmek gibi farklı amaçlara göre tasarlanabilir. Dikey bir platformda, bir mamulün farklı değerleri (düşük, orta ve yüksek performans düzeyleri ve buna bağlı olarak fiyatları) pazarın talebini karşılamak için tasarlanır. Çapraz platform ise, hem dikey hem de yatay platform özelliği taşır. Çapraz platform ile üreticiler, pazarın tümünü yeni rakip işletmelere yer kalmayacak şekilde doyurabilir. Bir üretici yatay, dikey ve çapraz platform tiplerini göz önünde bulundurmak suretiyle, bütün düzeylerde (üst gelir düzeyi, orta ve düşük fiyat/düşük performans) tüm pazar bölümlerine girme fırsatını elde edebilir.

Modüler süreç tasarımı üretim süreci, kitlesel bireyselleştirmeye olanak tanıyacak şekilde yeniden sıralanır. Szögelimi Benetton şirketi, bunu süveter üretimi için gerçekleştirmiştir. Benetton, süveter üretimi için sürecin başlangıç aşamalarında ipliği farklı renklerde boyayıp örgüyü tamamlamak yerine, önce boyasız süveter üretip isteğe ya da mevsimsel moda uygun olarak önceden üretilmiş süveterleri boyamaktadır. Alt süreçlerin yeniden sıralanması sayesinde Benetton'un ürün farklılaştırma noktasını zincirin daha sonraki noktalarına taşımıştır (Bardakçı,2004:7).

(ii)Modül: Fonksiyonel olarak tasarlanmış parçaların ve iç aksamın bileşimidir.

(iii)Alt Sistemler: Modülden daha geniş bir kavram olup, belirli sayıda modülden oluşur. Örneğin, bir araba setinde; bagaj seti, elektrik donanımı gibi unsurlar farklı tedarikçiler tarafından ayrı olarak üretilen modüllerdir. Bu modüllerin birleşimi üretilen bir arabanın alt sistemlerini oluşturur.

(iv)Arabirimler: Alt sistemlerin ve modüllerin birbirlerine ve mamul kullanıcılarına bağlandığı araçlardır. İdeal bir arabirim, alt sistemlerin birbirlerine monte edilmesini sağlamaktadır. İç ve dış olmak üzere iki çeşit arabirim vardır. Örneğin, monte edilmiş bir kameranın alt sistemleri; kapama mekanizması, çeşitli operatör kontrol mekanizmaları, odaklama mekanizması, flaş, güç kaynağı ve kamera yatağını kapsar. Bu alt sistemlerin birleştirilmesi için gerekli olan

elektronik ve teçhizatlar iç arabirimlerdir. Film kontrol etmek ya da flaş kullanmak için kullanılan mekanizmalar dış arabirimlerdir.

(v) **Modülerlik:** Farklı müşteri istekleri doğrultusunda mamulün bireyselleştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla modüllerdeki tasarım esnekliğini ifade eder. Modüler üretimde aynı modül çok çeşitli mamul üretiminde kullanıldığından ölçek ekonomileri sağlanır. Aşağıda Şekil 2’de modüler üretim sistemi ile diğer üretim sistemleri karşılaştırması görülmektedir.

Şekil 2. Modüler Üretim Sistemi İle Diğer Üretim Sistemleri Arasındaki Teknolojik Altyapı Düzey Karşılaştırması

Düzyey 1	Geleneksel İmalat	<ul style="list-style-type: none">• Parti/yığın imalat• MRPII• Emniyet envanteri
Düzyey 2	Tam Zamanına İmalat	<ul style="list-style-type: none">• Odaklaşmış atölye• Süreç akışı• Sıfır envanter
Düzyey 3	Modüler Üretim <ul style="list-style-type: none">• Platform• Alt Sistemler• Ara Birimler• Esnek Üretim Sistemleri	
Düzyey 4	Bilgisayarla Bütünleşik İmalat	<ul style="list-style-type: none">• Bilişim ağı• Tüm sistem integrasyonu

Modüler Üretim Sisteminin Özellikleri

Modüler üretim sisteminin işletmelerde başarılı bir biçimde uygulanabilmesi için işletmelerin birtakım özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler şu şekilde sıralanabilir:

Bilgi Paylaşımı: İşletme içerisinde ihtiyacı olan bireyler tarafından bilginin elde edilebilir olması gerekmektedir. Bilgilendirilecek bireyler bazı durumlarda operatörlerden oluşan bir takım da olabilir. Geçmişte olarak işletme yöneticilerinin verimliliği, kaliteyi, müşteri siparişlerini ilgilendiren kritik bilgileri sadece yönetim kademelerine iletip, operatörlerle bilgi paylaşımını yeterince sağlamamalarına karşın; modüler üretim anlayışında; elde edilen bilgi bütün bireylerle etkin bir biçimde paylaşılmaktadır. Örneğin; 110 yılı aşkın deneyimi ile dünya ağır ticari araç sanayiinde dev bir marka konumunda olan İsveç kökenli Scania firması çeşitli ülkelere yayılmış üretim tesisleri arasında etkin bir iletişim ağına

sahiptir. Scania'nın İsveç'in yanısıra Hollanda, Fransa, Arjantin ve Brezilya'da da üretim tesisleri bulunmaktadır. 1000'in üzerinde teknisyen ve mühendisin çalıştığı Scania firmasında, bilgi paylaşımına verilen önem ve yapılan yatırımlar sonucunda ortaya çıkan modüler üretim sistemi ile tüm dünyada kullanılabilen parçalar ve üretim prosesi, araçların Latin Amerika veya Avrupa'da üretilmeleri arasındaki farkı ortadan kaldırmaktadır.

Ortak Karar Verme: Bailey'e göre bir işletmede üretim performansın artması için her bir çalışanın çabasına ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışanları motive edecek şey ise, işletme içerisinde bilginin paylaşılması ve üretimle ilgili kararların alınmasına ortak edilmeleri olacaktır (2001). Modüler üretim sistemlerinde ücretlendirilme takımların performansına göre yapıldığından dolayı çalışanlar arasında bir takım ruhunun olması çok önemlidir. Ayrıca hem yönetici kadronun hem de çalışanların eğitilmesi yani organizasyon içerisinde daimi bir bilgilenme anlayışının hakim olması gerekmektedir. Yeterli eğitim, bilgi ve tecrübe sayesinde çalışanlar günlük karar verme mekanizmasının içerisinde yer alabilirler. Karar verme sürecini işletmelerde en alt kademeye kadar indirilmiş olan işletmelerin diğerlerine göre daha rekabetçi olacağı düşünülmektedir. Çünkü kararların alınmasında söz sahibi olmuş çalışanlarda bir sahiplik duygusu da oluşacak ve olumlu sonuçlar elde etmek için daha da fazla azimli bir şekilde çalışacaktır.

Eğitime Yatırım: Eğitim hem yöneticiler hem de çalışanlar için kaçınılmaz bir gerekliliktir. Çünkü gerekli eğitimi almamış insanlardan yeni sorumlulukları kabul edebilecek, karar verme mekanizmasında yer alabilecek başarılı bir takımın oluşturulması olası değildir. Bu nedenle işletme içerisinde sürekli bir bilgilenme, eğitim anlayışı hakim olmalıdır. Takım çalışması, performans değerlendirilmesi gibi pek çok konuda çalışanlar ve de yöneticiler gerekli eğitimi alırlarsa başarı sağlanabilir (www.aimagazine.com).

Modüler Üretim Sisteminin İşletmelere Sağladığı Katkılar

Modüler üretim sistemlerinde kaliteli ürünlerin ve yüksek performansın elde edilmesi çalışanların sorumluluğuyla, diğer üretim sistemlerinde ise daha çok programlanmış bilgisayar teknolojileriyle mümkündür. Modüler üretim sistemlerinde; 5-10 operatörden oluşan bir takım söz konusudur. Ücretlendirme takım başarısına göre yapıldığı için mutlak bir takım çalışması, dayanışması gerekmektedir. Uygulamada bazı işletmeler geleneksel üretim sistemlerini modüler üretim sistemleriyle birleştirerek her ikisinden de faydalanmayı amaçlamaktadır. Modüler üretim sistemlerinin yapılandırıldığı işletmelerde yüksek performans elde edilerek aşağıdaki avantajlar sağlanabilir:

1. Modüler üretim sistemleri, çok çeşitlilik gösteren müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte üretim sistemi tasarımı ve üretim faaliyetleri için bir model oluşturmaktadır.

2. Ürünün modüler hale getirilmesi, işletmelere karmaşık tedarik zincirlerini parçalara ayırarak daha kolay bir şekilde yönetme olanağı sağlar. Farklı işletmeler, farklı modüllerin üretimini üstleneceğinden işletmenin tedarikçilerinin sayısını azaltacaktır. Otomobil gibi kompleks ürünlerin üretimi yüzlerce tedarikçiyle çalışmayı gerektirir. Ortaya çıkabilecek krizlere karşı hazırlıklı olmak için işletmelerin stok seviyelerini yüksek tutmaları gerekir. Ancak modüler yapı sayesinde daha az tedarikçi gerekeceği için daha az stokla çalışmak mümkün olacaktır.

3. Ürün ve üretim sistemi tasarımı, genel olarak tek tasarım sürecinde bir araya getirilebilmektedir.

4. Üretim maliyetleri gibi üretim parametreleri daha ürün tasarım aşamasındayken doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir.

5. Herhangi bir ürünün üretimi tamamlandığında makine modülleri yeniden kullanılabilir.

6. Üretimi gerçekleştirilecek ürün için özel olarak tasarlanıp bir araya getirilen üretim sistemi diğer üretim sistemlerine göre daha az yer kaplamaktadır.

7. Modül konfigürasyonları sayesinde üretim esnekliği sağlamaktadır. Ayrıca kısa bir süre içinde üretimi gerçekleştirilecek ürün için tasarım yapıp oluşturulabilmektedir. Televizyon görüntü tüpleri, vakumlu tüpler, floresan lambalar ile diğer elektrikli ürünler ve parçalar üretmek üzere 1954'te Osaka'da kurulan Matsushita Şirketi (Panasonic), ürün tasarımlarını dünyanın çeşitli bölgelerinde bulunan üretim tesislerine göndermekte, gelen önerilerin değerlendirilip üretim kararının alınmasına kadar geçen süre 48 saati aşmamaktadır (www.matsushitaelectronics.com).

8. Modüler üretim sisteminde takım çalışması ön planda olduğu için kontrol maliyetlerinin az az inmesine, çalışanların iş sürecindeki problemleri çözmesinde yüksek performans yaratılmasını sağlar. Takım çalışmasında, çalışanlar iş sürecine hakim olurken, işleri hakkında stratejik düşünebilen çapraz fonksiyonel esnekliğe sahip uzmanlar haline gelirler.

9. Modülerlik sayesinde, işletmenin çevre değişimine ve müşteri isteklerine daha duyarlı hale gelmesinde etkili olmaktadır.

Genel Değerlendirme

İşletmelerin giderek artan ve çeşitlenen müşteri ihtiyaçlarını eksiksiz ve zamanında karşılayabilmeleri için modüler üretim sistemleri oldukça önem arz etmektedir. İşletmelerin üretim sürecinin yapılandırma aşamasında olduğu kadar, sürecin farklı ürünler üretebilme, müşterilerden gelen siparişleri zamanında ve eksiksiz bir şekilde karşılayabilme ve bunları gerçekleştirebilecek makineleri, gerekli ekipmanları ve işgücünü zamanında sağlayabilme yeteneğine (esneklik) sahip olması modüler üretim sistemlerinin yapılandırılmasına bağlıdır.

Üretimi gerçekleştirecek ürünle ilgili kararların alınmasında söz sahibi olan işçilerin sorumluluğu, ürün kalitesi ve hem takım içinde hem de takımlar arasındaki iletişimin artması ancak "modüler üretim sistemiyle" mümkündür (www.human.cornell.edu/txa/extension).

Modüler üretim sistemlerini yapılandıran işletmelerin; müşterilerin istek ve ihtiyaçlarını karşılamada diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Tek bir müşteri ihtiyacını karşılayabilecek tasarım, üretim ve satış sonrası servis hizmetlerini verebilecek modüleriteye sahip olabilen işletmelerin, üretimden gelen bu avantajlarını kullanabilmesi sürekli pazar analizleriyle müşterilerin istek ve ihtiyaçlarının takip edilebilmesiyle mümkün olabilecektir.

İşletme yöneticileri, üretim sistemlerinde modüler üretim sistemlerini kullanarak, müşterilerin istek ve ihtiyaçlarındaki değişimin kısa sürede karşılanabilmesini sağlayabilir. Özellikle üretim süreçlerinin modüler bir yapıya dönüştürülmesiyle, önemli bir maliyet artışına katlanmadan istenilen miktar ve farklılıkta üretim yapılabilir. Üretim sisteminin modülerliği işletme yöneticilerine, aynı üretim sürecinde pazardaki değişikliklerin kısa sürede karşılanabilmesi olanağı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- Alcorta, Lewis. (1994), "**The Impact of New Technologies on Scale in Manufacturing Industries Issues and Evidence**", World Development, Vol:22, No:5.
- Bayazıt, Özden. (2001), "**Esnek Üretim Sistemleri ve Türkiye Uygulaması**", Ankara:Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- Bayou, Mohamed E. (1999), "**Accounting For Modular Manufacturing: Addressing New Challenges**", Journal of Cost Management, (July-August).
- Coşkun Kasap, Gülay. (1999), "**Esnek Üretim Sistemine Geçiş Aşamasında Yönetimin Rolü ve Değerlendirmesi**", Bursa: Uludağ Üniversitesi, İ.İ.B.F Dergisi, Sayı:23.
- Çelikçapa, Feray Odman. (1998), "**İşletmelerde Üretim Yönetimi**", Bursa:Uludağ Üniversitesi, İ.İ.B.F Yayınları.
- Dewhursts, Frank. (1999), "**Total Quality Management and Information Technologies: An Exploration of the Issues**", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol:16, No:4, MCB Universty Press.

- Elger, T. (1997), **"Flexible Futures? New Technology and The Contemporary Transformation Of Work"** Work, Employment and Society, Vol. 1, No.4.
- Elmacı, Orhan ve Papatya, Nurhan. (1997), **"Tam Zamanında Üretim Sisteminin Üretim Maliyetleri Üzerindeki Etkisi"**, İstanbul:1.Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı.
- Garrahan, P. and Stewart, P. (1992), **The Nissan Enigma: Flexibility at Work in a Local Economy**, London:Mansell Inc.
- Gerwin, Donald and Kododny, Harvey. (1992), **Management of Advanced Manufacturing Technology**, New York:John Wiley and Sons Inc.
- Gregory, Dess; Rasheed, Abdul M.A.(1995); McLaughlin, Kevin J. and Priem, Richard L.**, "The New Corporate Architecture", **The Academy of Management Executive, August, Vol.9, No:3.**
- Jaikumar, Reim. (1986), **"Post-industrial Manufacturing"**, Harvard Business Review, Vol: 64, No: 6.
- Mikkola, Juliana H. (2001), **Modularity and Interface Management: The Case of Schindler Elevators**, www.geuw.edu.de/art/mik
- Olhager, J., Ostlund, B. (1999)**, "An Integrated Push/ Pull Manufacturing Strategy", **European Journal of Operational Research, Vol. 45.**
- Özgen, Hüseyin. (1987), **Üretim Yönetimi**, Adana:Bizim Büro Basımevi.
- Park, Jonghun.; Park, Jinwoo.; Kim, Jongwoon. (2000)**, "A Generic Event Control Framework for Modular Flexible Manufacturing Systems", **Computers & Industrial Engineering, Vol:38.**
- Parlak, Zeki. (1997), **"Japon Üretim Sistemi ve İşletme Yönetim Teknikleri: Yeni Bir Üretim Paradigması?"**, İstanbul:İktisat Dergisi, Sayı: 370-371, Ağustos-Eylül.
- Quatert, Donald. (1999), **Sanayi Devrimi Çağında İmalat Sektörü**, İstanbul:İletişim Yayınları.
- Shewchuk, John P. and Moddie, Colin L. (1998), **"Definition and Classification of Manufacturing Flexibility Types and Measures"**, The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol:10.

Soyuer, Haluk., "Kitlesele Kişiyeye Özel Üretimde Modüler Üretim Anlayışı", **İstanbul:V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25-27 Kasım 2005.**

Tekin, Mahmut. (1999), **Üretim Yönetimi, Cilt 1**, Konya:Kuzucular Ofset.

Üçok, Tengiz (1996), "Şirketler Arası Yapılanmalar ve Modüler Organizasyon Modeli", **Ankara:Gazi Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, Cilt 6.**

Yamak, Uygur. (1994), **Üretim Yönetimi**, İstanbul:Alfa Basımevi.

<http://www.business.auc.dk/druid/conferences/winter2001/paper/mikkola.pdf> ,E.T.:15.02.2004.

<http://www.cage.curtin.edu.au/mechanical/staff/rogers/grmmrrsh.htm>

<http://www.uta-stuttde/bulten052001/Globallesme/globallesme.html>

www.eureka.tubitak.gov.tr/p-olusum.html;

www.biltek.tubitak.gov.tr/der7/hazn/eureka.html Erişim tarihi: 25.09.2002.

www.honda.com/asimo/newtech/ltm.html Erişim tarihi: 08.04.2003.

www.human.cornell.edu/txa/extension).

www.aimagazine.com (Apparel Industry Magazine, August 1999)

