

Yatay-Dikey Sistem Entegrasyonu

Yatay ve Dikey Entegrasyon

Firmalar her süreçte varlıklarını korumak, riskleri azaltmak, büyüme hızlarını yükseltmek ve piyasa değerlerini maksimize etmek isterler. Bu amaçları gerçekleştirmek isteyen firmalar, birleşmeye giderek temelde ikiye ayrılan yatay ve dikey entegrasyon kavramını ortaya koymaktadırlar.

Yatay ve dikey sistem entegrasyonu, işletme içerisindeki evrensel veri entegrasyon ağlarının geliştirilerek işletmelerin, birimlerin, mevkilerin birbirleriyle daha uyumlu çalışmasıdır. Bu kavram aynı zamanda mühendislik tasarımı, üretim ve hizmet fonksiyonları, müşteriler, tedarikçiler, dağıtım kanalındaki işletmelerin kullandıkları pek çok farklı sistemin bir araya getirilerek tek bir sistem olarak birbirleriyle bağlı çalışmalarını ifade etmektedir.

İşletme içi fonksiyon ve kaynaklar ile ortaya çıkan kavram dikey entegrasyonu ifade ederken işletme dışı paydaşlar ile uyumlu hale gelmesini sağlamasıyla birlikte ortaya çıkan kavram ise yatay entegrasyon kavramını ortaya çıkartmaktadır.

Dikey entegrasyon aynı pazarın farklı alt sektörlerinden müşterileri olan organizasyonların birleşme işlemi iken yatay entegrasyon aynı türde müşterilere sahip farklı organizasyonların birleşmesidir. Bu dikey ve yatay sistem entegrasyonu sayesinde bilgi teknolojilerinin gelişmesiyle yaşanan üretim süreci değişikliklerine hızlı adapte olunup, kaynaklar verimli kullanılabilir, tedarik zincirinde maksimum verim elde etmek söz konusu olabilmektedir.

İşletmeler dikey ve yatay sistem entegrasyonu ile üretimin daha verimli, esnek, hızlı ve sorunsuz olmasını sağlayacaktır. Bununla beraber makinelerin, üretim sürecini tamamladığı anda diğer makinelere veya lojistik ekipmanlara bilgi aktarımında bulunmasını da sağlayacaktır.

Yatay Entegrasyon

Yatay entegrasyon, aynı tür müşterilere sahip olan birden fazla şirketin iş birliği yapmalarına olanak sağlayan bir kavramdır. Yatay entegrasyon tedarikçilerden müşterilere kadar olan süreçte yani tüm tedarik zincirinde iş birliği yapma imkânı sunmaktadır. Yatay entegrasyonda tedarik zincirinin dijitalleşmesi ve birbirine bağlanması ile birlikte ilgili teknolojileri içeren cihazlar ile takip ve izleme gerçekleştirilmekte, üreticiden tüketiciye kadar olan süreçte her aşamayı içerir şekilde sürecin planlanmasını mümkün kılmaktadır. Bu sayede yatay entegrasyon, ham madde tedarikinden tasarıma, üretime, pazarlamaya, sevkiyata kadar her noktayı kapsamakta, bütünleşik ve uçtan-uca sistemler kurmaktadır.

Yatay entegrasyon, işletmeler arasında kaynak ve gerçek zamanlı bilgi alışverişi ile iş birliğinden oluşmaktadır. Yatay entegrasyon ile iş birliği içerisinde yer alan organizasyonlar, kendi aralarındaki işbirlikçi ağ kaynaklarını birleştirir, riskleri böler ve piyasadaki değişikliklere hızlı bir şekilde adapte olarak yeni fırsatlar yakalarlar.



Şekil 3. Yatay Entegrasyon Örneği

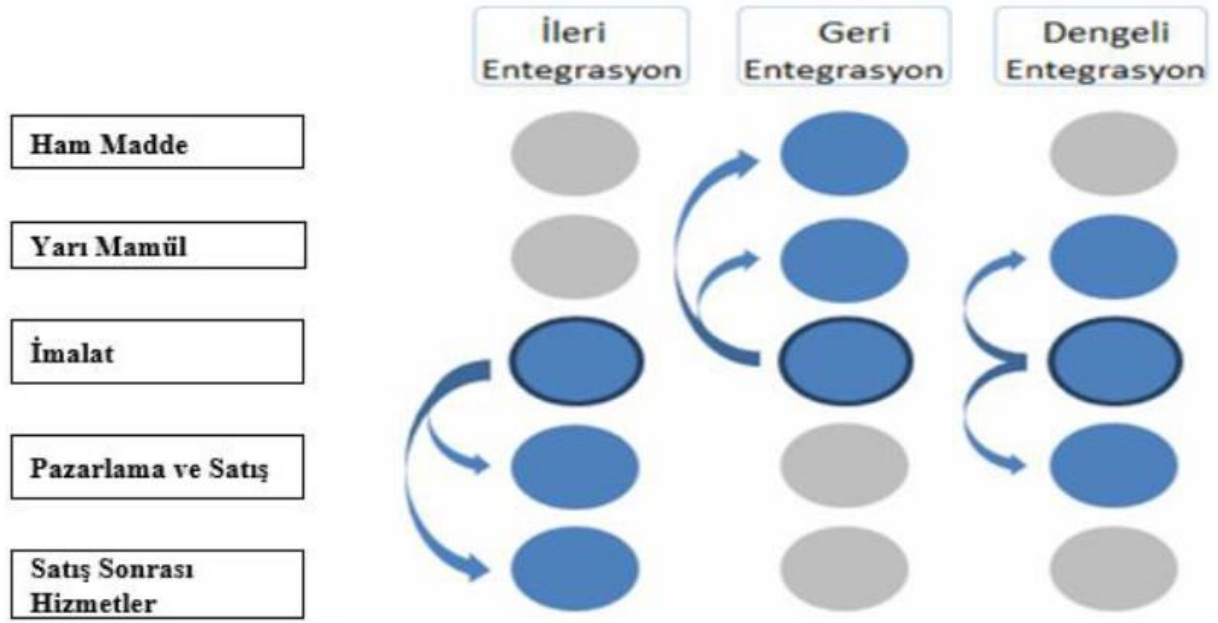
Endüstriyel üretim yapan bir işletmenin ihtiyaç duyduğu hammadde, yarı mamul ve üretimde kullanılmak üzere çeşitli üretim malzemelerini işletmenin iş birliği içinde bulunduğu tedarikçilerinin sistemindeki stok ve üretim durumlarını kontrol ederek doğru zamanda tedarik edilmesi adına siparişlerini doğrudan tedarikçisinin sisteminde yapılabilmesi yatay entegrasyona örnektir.

Dikey Entegrasyon

Dikey entegrasyon, bir fabrikada var olan tüm fonksiyonların birbiri ile olan bağlantısı, iş birliği olarak ifade edilmektedir. Bu entegrasyonda planlama ve geliştirme fonksiyonları ve üretim fonksiyonu ile entegre haldedir.

Dikey entegrasyonda tüm veriler ilgili veri toplama araçları ve prosedürleri ile gerçek zamanlı olarak elde edilmekte, artırılmış gerçeklik teknolojisiyle birlikte desteklenmekte ve entegre ağda optimize edilmektedir. Bu sayede tedarikçilerden müşterilere kadar değer zincirindeki tüm birimlerin entegrasyonu mümkün olmaktadır. Örneğin üretim alanındaki sensörler, aktüatörler, vanalar, motorlar, kumanda panelleri, üretim yönetimi sistemleri, kurumsal kaynak planlama yazılımları, iş zekâsı uygulamaları gibi teknoloji ve altyapıların entegrasyonu bu kapsamda yer almaktadır.

Dikey entegrasyonun üç çeşidi bulunmaktadır. Bunlar ileri, geri ve dengeli entegrasyon olarak karşımıza çıkmaktadır. İleri entegrasyonda şirketler satış sonrası servisleri ve pazarlama hizmetlerini kendileri yapmakta iken, geri entegrasyonda şirketler hammadde ve yarı mamulleri kendileri üretmektedir. Dengeli entegrasyonda ise üretimde kullanılan yarı mamulleri kendileri üretmekte ve ürettikleri ürünün satışını ve pazarlama hizmetlerini kendileri yaparak dengeli entegrasyon genişlemesi gösterebilmektedirler.



Şekil 4. İleri, Geri ve Dengeli Yatay Entegrasyon



Şekil 5. Dikey Entegrasyon Örneği

Üretim yapan bir işletmede esnek ve yapılandırılabilir bir üretim sistemi kurmak için bu nesnelerin dikey entegrasyonu kaçınılmazdır. Değer zincirinin değişik kademelerinden çeşitli sensör ve prosedürlerle toplanan bilginin Kurumsal Kaynak Planlaması'na (ERP) aktarılması üretim sisteminin oluşumuna katkı sağlamaktadır. Dikey entegrasyon sayesinde akıllı teknolojiler aracılığıyla kendi kendini düzenleyen bir sistem oluşmakta ve bu sayede farklı ürün çeşitleri üretilmek üzere yeniden düzenlenmesine imkân sağlayacak hale gelebilmektedir.

Dikey ve yatay entegrasyon kavramlarının gerçekleştirildiği Endüstri 4.0 sayesinde üretim süreçlerindeki değişikliklere ve sorunlara hızla karşılık verilebilmekte, müşteriye özel ve kişiselleştirilmiş üretim kolaylaşmakta, kaynak verimliliği artırılmakta ve küresel tedarik zincirinde optimizasyon elde edilmektedir. Ayrıca işletmeler daha esnek bir yapıya sahip olmaktadır. İhtiyaç duyulan değişiklikler basit müdahalelerle giderilebilmektedir.

Dikey ve Yatay Sistem Entegrasyonu Kullanım Alanları

Dikey Entegrasyon süreçler arasında değil, tüm süreçlerde kullanılan teknolojik altyapıda kesintisiz bir iletişim ve akışın sağlanması anlamına gelmektedir. Örneğin üretim alanındaki sensörler, aktüatörler, vanalar, motorlar, kumanda panelleri, üretim yönetimi sistemleri, kurumsal kaynak planlama yazılımları, iş zekası uygulamaları gibi birimlerin entegrasyonu bu kapsamda ele alınmaktadır.

Yatay Entegrasyon ise üretim ve planlama sürecindeki her bir adımın kendi arasında, ayrıca farklı işletmelerin üretim ve planlama süreçlerindeki adımlar arasında kesintisiz bir akış sağlanmasıdır. Bu entegrasyon; ham madde tedarikinden tasarıma, üretime, pazarlamaya, sevkiyata kadar her noktayı kapsıyor. Endüstri 4.0'ın temelinde yatan birbirine bağlantılı yapıların sağladığı sürekli akış, üretim açısından kritik bir nokta. Bu akışı sağlamak için ise sadece belirli noktalarda değil, her noktada yatay ve dikey entegrasyon elde etmek gerekmektedir.

Endüstri 4.0 Temelinde Yatay ve Dikey Entegrasyon

Endüstri 4.0'ın bir işletme içerisinde bir de işletme dışarısında (çevresinde) etkileri vardır. İşletme içerisindeki etkileri dikey entegrasyon ve işletme dışarısındaki etkileri yatay entegrasyon olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Dikey entegrasyon Rekabet Stratejisi adlı kitapta şu şekilde tanımlanmıştır: “Dikey entegrasyon teknolojik bakımdan farklı olan üretim, dağıtım, satış ve/veya diğer ekonomik süreçlerin tek bir firmanın sınırları içerisinde birleştirilmesidir.” Bu tanımdan hareketle, dikey entegrasyon ile planlama ve geliştirme ile üretim arasında eskiye göre çok daha fazla bir etkileşim yaşanmaktadır. Yani üretimden, AR-GE'ye, finansman muhasebeye, insan kaynaklarından yönetime kadar tüm süreçlerin birbirine entegre olması emektir.

Bir firmada dikey entegrasyonun sağlanabilmesi için öncelikle üretimdeki süreçlerin birbiri ile ilişkili çalışmasını gerektiği söylenebilir. İmalat süreçlerinin birbiri ile ilişkili çalışabilmesi için de iki başlıktan söz edilebilir. Bu başlıklardan birisi MOM (Manufacturing Operations Management) yani üretim operasyonları yönetimi (ÜOY) ve MES (Manufacturing Execution System) yani üretim yürütme sistemi (ÜYS)'dir. Bu iki sistemin birbirinin yerine kullanıldığı durumlar olmakla birlikte ÜOY, ÜYS'yi tamamlar niteliktedir.

ÜYS 1980'lerin sonunda kullanılmaya başlamış olup, terim olarak ilk defa AMR Research kuruluşu ve MESA derneği tarafından kullanılmış ve yine MESA derneği tarafından standartları belirlenmiştir. Bazı kurumsal kaynak planlama (ERP) yazılımları ÜYS'nin bir kısım veya tüm işlevlerini içermektedir. ÜYS'nin fonksiyonları insan ve makineler üzerine olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. İnsan ile ilgili olan kısımları genellikle kurumsal kaynak planlama yazılımları içerisindedir. ÜYS'nin genel olarak ilgilendiği süreçler, işletmelerde kaynak tahsisi ve durumu, üretim operasyonları ve lojistiği, veri toplama ve doküman yönetimini, iş gücü ve performans yönetimini ve süreçlerin yönetimini sağlayan sistemlerdir.

ÜYS sistemleri işletmelere göre farklılık gösterebilir. Bunlara ilaveten UOY ise iş akışı yönetimi, kapasite planlama, bakım yönetimi, kalite yönetimi gibi bir işyerindeki tüm üretim süreçlerini kapsayacak şekilde ÜYS'nin kabiliyetlerini genişletir.

Özellikle nesnelerin interneti sayesinde bir işletme içerisindeki ister dijital olsun ister olmasın tüm nesnelerin birbiri ile sensörler vasıtasıyla iletişime geçmektedir. Dikey entegrasyonun sağlanabilmesinde yukarıda bahsedilen yazılım altyapılarının sağlanabilmesi için önce donanım seviyesinde cihazların birbiri ile iletişime geçmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Yatay entegrasyon ise, işletme çevresinde kalan tedarikçilerden, müşterilere ve tüm önemli değer zinciri ortaklarının işletme ile bağlantılı hale getirilmesidir. Bu sayede birlikte çalışan işletmelerin iş süreçleri ve bilgileri entegre hale gelecek ve birlikte çalışabilmek daha esnek ve daha yalın hale gelecektir.

Dikey ve yatay entegrasyon için şöyle bir örnek verebiliriz: Bir kitap baskı matbaasında, çok sayıda basılan bir kitap için kağıt stoğundaki seviyenin azalması durumunda, arada insan eli olmadan, otomatik olarak kağıt üreticilerine sipariş verilmesi, kağıt stokunun yeterli seviyeye geldikten sonra kağıt üreticisine gerekli ödemelerin otomatik olarak yapılması matbaa ile kâğıt üreticisi arasındaki yatay entegrasyonu gösterir. Yine aynı matbaada farklı türde kitapların farklı kolilere yerleştirilmesini sağlayan, yani paketlemenin otomatik olarak kitap türüne göre, kitap üzerinde bulunan RFID (Radio Frequency IDentification – Radyo Frekanslı Tanımlama) kodlarına göre yapıldığını düşünelim. Bu durum sadece matbaa içerisinde kaldığından bu da dikey entegrasyonu gösterir. Bu ve bunun gibi örnekleri ve örnek içerisindeki süreçlerin otomatize edilmesi aşamalarını çoğaltmak mümkündür.

Yatay ve dikey entegrasyon kavramı, hem işletmeyi hem de çevresini ilgilendirdiğinden, özellikle yatay entegrasyonun sağlanmasının çok da kolay olmadığı düşünülmektedir. Çünkü yatay entegrasyon işletme ve çevresi ile ilgilenmektedir. Başka deyişle, sizin dışınızda olan bir etki alanı söz konusudur. Bu durumun, yatay entegrasyonun tam olarak sağlanmasını güçleştirdiği düşünülmektedir. Çünkü işletme ve çevresinin aynı dönüşümleri, aynı zamanda yapmaları, işletmenin sadece kendisi ile ilgili dönüşümleri yapmasına oranla daha güç olduğu düşünülmektedir.

Üretim Yürütme Sistemi (ÜYS-MES)

Üretim yürütme sistemleri (ÜYS), kontrolleri ve monitörleri, bir atölyede veya fabrikada gerçekleşen üretim sistemlerine ve veri akışlarına bağlayan bir bilgi sistemidir.

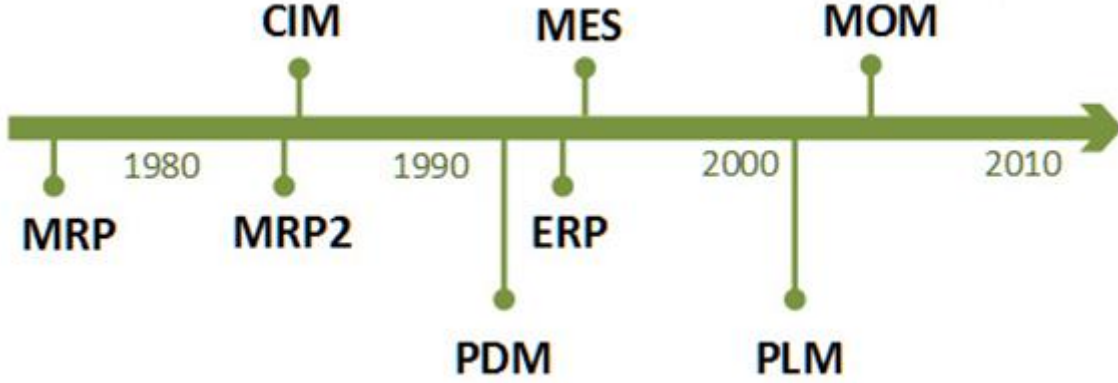
ÜYS'ler tarafından sağlanan bilgiler, karar vericilerin üretime dâhil olan alt sistemlerin birbiriyle nasıl bağlantılı olduğunu anlamalarına yardımcı olmakta, üretimin sürekli iyileştirilmesini kolaylaştırılmasını sağlamaktadır.

ÜYS'ler, işletme düzeyindeki operasyonları istasyonların atölye düzeyinde kontrolüyle bağlantılandırmak için uygun bir çözüm sağlar. Ayrıca, ÜYS arayüzleri veri ekleme ve veri görselleştirme için de kullanılabilir.

ÜYS, üretimin yürütülmesine yardımcı olmak için, atölyedeki faaliyetlerin çevrimiçi yönetimi konseptiyle 70'li yıllarda geliştirilmeye başlandı.

Planlama sistemi (ERP gibi) ile kontrol sistemleri (sensörler, programlanabilir mantıksal denetleyiciler gibi) arasındaki boşluğu doldurup, üretim süreçlerini desteklemek için üretim bilgilerini (ekipman, kaynaklar ve siparişler gibi) kullanır.

Herhangi bir kurumsal bilgi sistemi aracı gibi, ÜYS’de bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler ile çeşitli üretim faaliyetlerini gerçekleştirmek için çeşitli uzantıları entegre ederek zamanla gelişmeye devam etmiştir.



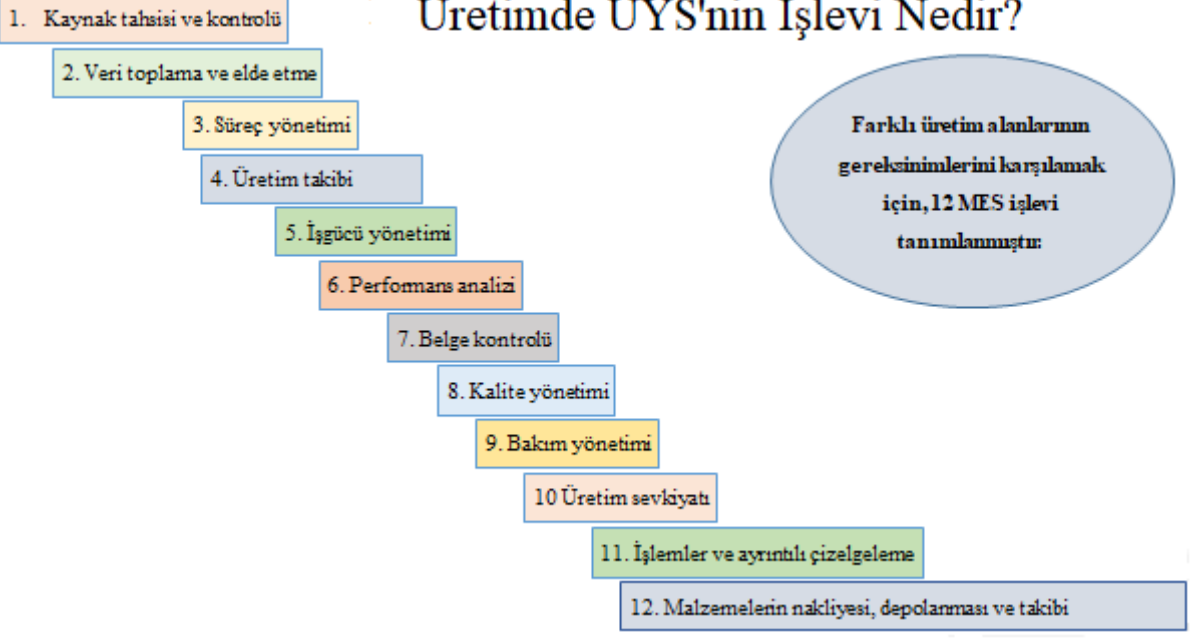
ÜYS (MES) ve ÜOY (MOM) gelişimi

Endüstri 4.0 tasarım ilkeleri, merkezi olmayan karar verme için ara bağlantı (işbirliği, standartlar, güvenlik) ve bilgi şeffaflığı (veri analitiği, bilgi sağlama) üzerine vurgu yaptığı için üretim sistemlerinde Bilgi Teknolojileri odaklı bir değişikliktir. “Akıllı fabrikalar” Endüstri 4.0’ın temel kavramı olarak “iş bilgi sistemleri mühendisliği” alanını (yenilikçi ÜYS/ ERP yaklaşımlarını içeren) daha da ön plana çıkaracaktır.

ÜYS Sistemi Nelerden oluşur?

- ÜYS, üretimde veri toplama aşamasının ilk basamağıdır.
- Gelişmiş, standart ve basit halde bulunmaktadır.
- Standart bir veri izleme programı için, uygun yazılım gerekmektedir. Ayrıca bu verileri toplayan gerekli donanım materyallerine de sahip olması gereklidir. Bunların dışında; operasyon modülü, performans belirleyen modül, yönetici ara yüzleri ve raporlama sistemlerinin birleşimlerinden oluşmaktadır.
- Standart olmayan gelişmiş ÜYS sistemleri için daha fazla donanıma dâhil olacak bir sistem gereklidir. Bu kapsamda yazılım sistemlerinin de gelişmiş olması gereklidir. Ayrıca veri toplama ve izleme işlemlerini yapan yönetim aşamasının büyüklüğünün, ara yüzlerin ve donanımlarının da sayısının artırılmasını gereklidir.

Üretimde ÜYS'nin İşlevi Nedir?



Üretim'de ÜYS'nin İşlevi

ÜYS, üretim tesislerini, araçlarını, makinelerini, ürünleri, süreçleri ve insanları birbirine bağlayan, sürece duyarlı bir kurumsal bilgi sistemidir. ÜYS'nin ana görevi, tüm üretim faaliyetlerini kontrol etmek ve işletim verileri, malzeme verileri, makine verileri, planlama verileri ve enerji tüketimi ve kalitesine ilişkin veriler şeklinde son derece kritik süreç verilerini bir araya getirmektir.

ÜYS işletme seviyesinde işletme ile kontrol saha seviyesi arasında konumlandırılmıştır. Dikey entegrasyon yoluyla bilgi, zaman ufkundaki farklılıklara rağmen seviyeler arasında ve dolayısıyla farklı bilgi sistemleri arasında değiş tokuş edilebilmektedir.

ÜYS, kurumsal yönetim düzeyinden orta vadeli veriler ile üretimi kontrol ederek saha düzeyine aktarır. Aynı zamanda sensörlerden, makinelerden ve bilgi teknolojileri sistemlerinden topladığı, işlediği ve işletme seviyesine geri gönderdiği verilerden kontrol ve saha seviyesinde geri bildirim alır.

ÜYS, ilgili günlük veriler ile işlem yürütme bilgilerini sağlayarak, sürece özgü araştırmalar için değerli bir kaynaktır. Örneğin, süreçlerin ve işlemlerin sırasının tanımlanmasına ve süreç parametresi kümelerinin kalite, enerji tüketimi, zaman ve maliyet verimliliği ve makine kullanılabilirliği gibi çeşitli optimizasyon kriterleri açısından tanımlanmasını sağlamaktadır.

ÜYS'nin Faydaları

- Müşteri memnuniyetinde artış sağlar.
- Üretim çevrim süresinde azalma sağlar.
- Sipariş teslim süresini azaltır.
- İşçilik maliyetlerinde azalma sağlar.
- Süreç içerisindeki iş (WIP) miktarını azaltır.
- Makine kullanımını artırır.

- Pazar rekabetinde çeviklik sağlar.
- Tedarik zinciri görünürlüğünün gelişmesine olanak sağlar.
- Evrak işlerinin azalmasını sağlar.
- Yasal mevzuatlara yüksek uyum sağlar.

Üretim Operasyonları Yönetimi (ÜOY–MOM)

ÜOY, üretimde şeffaflık sağlayarak sürekli şekilde performansını arttırabilecek çözümlerin yönetimidir. ÜOY, kalite yönetimi, A&G yönetimi, ÜYS, ileri planlama ve programlama gibi sistemleri entegre olarak geliştirmeye yönelik bir yapıdadır.

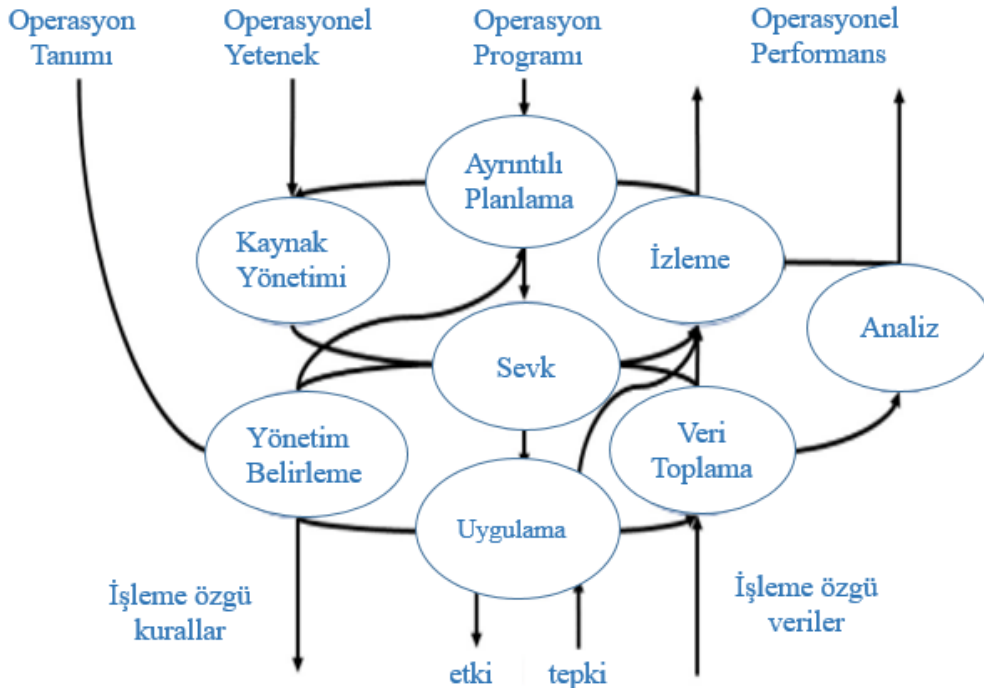
Üretimdeki faktörlerin (işçi, makine, ürün) işleyiş verilerinin gözlenmesi ÜOY'nin görevidir. Üretimin verimini arttırmak, tüm operasyonun buna uygun hareket etmesi için hızlı, kaliteli üretimlerde ÜOY'e ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca maliyet düşürme, ürün kalitesinin kontrolü ve verimliliğin artırılması için de ihtiyaç duyulan bir yönetim sistemidir.

Üretim alanlarında ÜOY gibi dijital üretim bilgi teknolojilerinin uygulanması, üretim performansını arttırmak için esneklik, verimlilik ve pazara sürüm süresi gibi etkenleri olumlu olarak etkiler.

ÜOY Genel Aktivite Modeli

Genel aktivite modelinin tanımı, hem iş yönetimi hem de işin yürütülmesi açısından günlük üretim yönetimini kapsar.

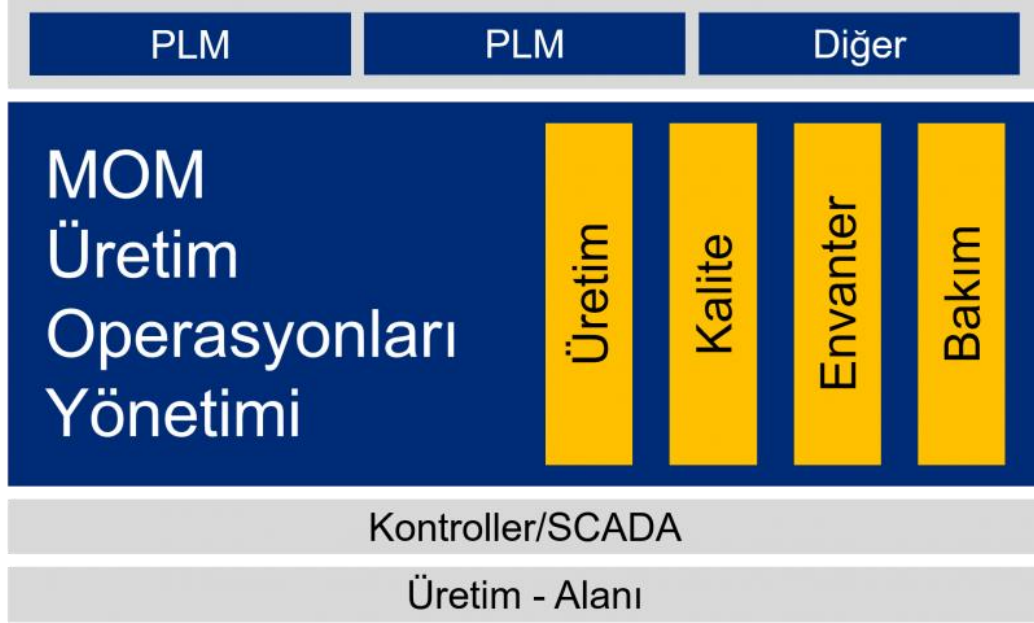
- Temel ÜOY faaliyetlerini (üretim, bakım, kalite testi ve envanter hareketi)
- Destekleyici faaliyetleri (bilgi yönetimi, yapılandırma, olaylar ve sapmalar, güvenlik, dokümantasyon ve uyumluluk) içerir.



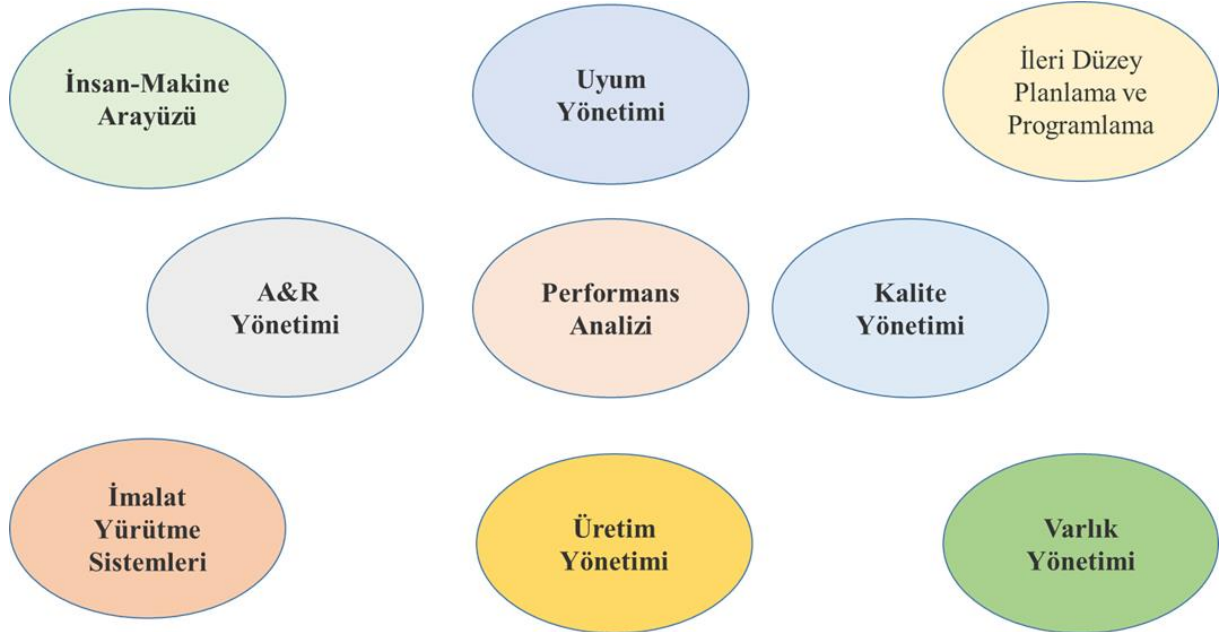
MOM için genel aktivite modeli

Üretim operasyonları yönetim modelinde;

- Üretim fonksiyonu; üretim kontrolü ve üretim çizelgelemesini,
- Kalite işlemleri yönetimi kalite güvence işlevini,
- Envanter işlemleri yönetimi, ürün envanter kontrolü ve malzeme ve enerji denetimi işlevlerini
- Bakım işlemleri yönetimi, bakım yönetimi işlevini ele alır.



ÜOY Kullanım Alanları



ÜYS-ÜOY Ortak Noktaları

ÜOY, ÜYS kapsamındadır. Bu sebeple, ÜYS sistemi gerçek zamanlı üretim operasyonlarını (ÜOY) yürütür ve üreticinin istikrarlı olarak iyileştirme yapmasına olanak sağlar. ÜYS ve ÜOY her ikisi de aynı alana atıfta bulunur; **ISA-95** ve **ISA-88** (modelleme ve entegrasyon) standartlarına uygun olarak imalat işlemlerinde yönetimi ve kontrol sağlarlar.

Ortak Noktalarını detaylandırarak olursak

- Üretim süreçlerinin daha basit ve anlaşılır olmasını,
 - Envanter yönetiminin daha kontrollü yapılmasını,
 - Kalite seviyesinin optimum düzeyde izlenmesini,
 - Yasal mevzuatlara yüksek uyum elde edilmesini,
 - Bilgi akışının merkezileştirilmesi, senkronizasyonu ve koordinasyonunu sağlayarak yayılmasını,
 - Sürecin ve ürünlerin sistematik bir şekilde izlenebilirliğini,
 - Sürekli analiz yapılarak performansın iyileştirilmesini,
- sağlamaktadırlar.

Bunlarla birlikte ÜOY; depo, nakliye, kalite ve işçilik gibi diğer ilgili işlemleri yönlendiren daha kapsamlı bir çözümdür. Ayrıca, uygun bir ÜOY çözümü; karar destek sağlamaya yönelik tedarik zinciri operasyonları ve “büyük veri” üretimi için bir tür görünürlük sunar.

ÜYS, Endüstri 4.0 için önemlidir. Eski bilgi sistemleri yazılımını (ISA 95 hiyerarşisine göre seviye Seviye 3) tek bir gelişmiş ÜYS yazılımıyla değiştirmek, üretim işletmelerinin daha yüksek derecede operasyonel görünürlük ve izlenebilirlik elde etmesine yardımcı olacaktır.

ÜYS, işletmenin Endüstri 4.0'a gitme yolunda önemli bir adım olacaktır. Çünkü süreçlerdeki esneklik ve şeffaflık, Endüstri 4.0'ın temel hedefleridir. Çünkü;

- ÜYS'nin proses performansı (mühendislik, yürütme ve kalite) üretim operasyonlarının optimize edilmesini sağlayacaktır.
- Yazılımın, üretim donanım sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olduğu göz önüne alındığında, ÜYS / ÜOY sistemlerini atölye perspektifinden (bilgi teknolojileri üretiminin ötesinde), şirketler için gelişmiş üretim teknikleri kullanılmasını sağlayarak iş performansını iyileştirecektir.
- ÜYS'nin en önemli katkısı, üretim sürecini müşteri gereksinimlerini ve talebini karşılamaya odaklanan bir değer sağlama sistemi ile birleştirmesidir.
- Endüstriyel otomasyonda bir bilgi merkezi olan ÜYS, süreç şeffaflığı, verimlilik iyileştirme, zamanında performans ve üretim planlarına uyumu sağlamaya katkıda bulunur. Öte yandan, ticari kararlar almak ve üretim performansını artırmak için şirkete önemli kilit performans göstergeleri sağlar.

Başarılı bir ÜOY/ÜYS uygulaması için en kritik faktörler ise şunlardır:

- Üst yönetim desteği
- Yeterli yatırım
- Sistem geliştiricisinin kapasitesi
- Kullanıcı katılımı

Kaynaklar

Şimşek, M. Z. (2020). Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerinin tespitine yönelik bir araştırma: Sivas ili örneği (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).

Sezgin, B. (2019). Lojistik 4.0 ekseninde en uygun lojistik bilgi teknolojisinin seçimi: AHS ve TOPSİS yöntemiyle değerlendirilmesi (Master's thesis, Gümüşhane Üniversitesi).

Tekin, M., Etlioğlu, M., & Tekin, E. (2017). İnovatif lojistik. *The International New Issues in Social Sciences*, 5(5), 81-104.

Yoşumaz, İ. (2018). Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde kurumsal hafızanın rolü, Afyon Kocatepe Üniversitesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Afyon).