

Siber Fiziksel Sistemler

Siber-Fiziksel Sistemlerin tanımı ilk olarak 2006 yılında Ulusal Bilim Vakfı'nda (NSF) "siber bileşenleri hesaplayan, iletişim kurabilen, kontrol edebilen fiziksel olarak bilinçli bir sistem" olarak yapılmıştır. Fiziksel dünya ile siber alanı internet ile birbirine bağlayan sistemlere siber-fiziksel sistemler (CPS-Cyber-Physical System) adı verilmektedir. Sensörlerle desteklenmiş bu sistemler fiziksel dünyadaki hareketleri internet hizmetleriyle toplamakta ve global olarak nesnelere etkileşimini içermektedir.

Kavram olarak "siber" (cyber), sibernetik (cybernetics) olarak bilinen ve canlı varlıklar ve makineler üzerindeki iletişim ve kontrolü araştırma konusu edinmiş bilimsel disiplinden türemiştir. 1940'lar ile birlikte "siber" kavramı genellikle, enformasyon teknolojileri, bilgisayarlar ve internete dayalı kontrol süreçlerini anlatmak için kullanılmıştır.

Siber Fiziksel Sistemler Nedir?

Siber fiziksel sistemler (SFS), sensörler ve aktörler gibi gömülü sistemdeki cihazların fiziksel dünyayı algılamak, izlemek ve kontrol etmek için internet ağına birbirine bağlı olduğu coğrafi olarak dağılmış, büyük ölçekli, hayati önem taşıyan ve buna benzer özelliklere sahip olan sistemlerdir. Siber fiziksel sistemler modern sensör, hesaplama ve ağ teknolojilerini kullanarak siber ve fiziksel sistemleri etkin bir şekilde bütünleştirebilen bir sistem olarak da tanımlanabilmektedir.

SFS'ler, birçok yeni yöntemle insanlarla etkileşime girebilecek entegre hesaplama ve fiziksel yeteneklere sahip yeni nesil sistemleri ifade etmektedir. Temeli fiziksel dünyaya dayanan "Siber Dünya" ile sınırları siber dünya ile genişleyen "Fiziksel Dünya"dır. Birbirleri ile internet üzerinden ve atanmış bir internet adresi ile haberleşen nesne ve sistemlerin oluşturduğu ağ; gerçek dünyadaki nesnelere ve davranışların bilgisayar ortamında simülasyonu ile ortaya çıkan sanal ortamdır. SFS'ler sensörler ve aktörler yardımıyla fiziksel dünyayı sanal bilgi işlem dünyasıyla bağlar.

SFS'ler; kablosuz sensör ağları (WSN), IoT, siber-fiziksel internet (CPI), nesnelere ağı (WoT) ve hatta nesnelere bilgilik ağı (W2T) gibi terimlerle ilişkilidir. Başka bir deyişle, bu terimler daha genel SFS sınıfının örnekleri olarak görülebilir.

SFS'lerin, bugünün özerklik, işlevsellik, kullanılabilirlik, güvenilirlik ve siber güvenlik seviyelerini aşan yeni özelliklere sahip gelecekteki mühendislik sistemlerinin tasarımında ve geliştirilmesinde önemli bir rol oynaması beklenmektedir. SFS araştırmalarındaki gelişmeler, hesaplama, iletişim, kontrol ve diğer mühendislik ve bilgisayar bilimleri disiplinlerindeki akademik disiplinler arasındaki yakın iş birliği ile büyük zorluk uygulamaları ile birleştirilerek hızlandırılabilir.

Siber Fiziksel Sistemlerin Ortaya Çıkışı ve Tarihsel Gelişimi

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışı ile imalat endüstrisi SFS'ler, Nesnelere İnterneti (IoT), büyük veri analitiği, bulut üretimi, vb. gibi yeni değer ve modeller dizinleri ile tanışmıştır. Bu teknolojilerin, kendi kendine farkındalık, tahmin etme, kıyaslama, yeniden yapılandırma ve idame etme gibi birçok fayda ve potansiyel fırsatı da beraberinde getirdiği görülmüştür.

İmalat sektöründeki sensörlerin ve kontrol sistemlerinin geniş kullanımı, büyük miktarda veri üretilmesine neden olmakta ve Büyük Veri olarak adlandırılan yüksek hacimli verileri yönetmek, özel bir değerlendirme gerektirmektedir. Bu nedenle, büyük verilerin oluşacağı ortamlarda, verileri elde etmek, yönetmek ve analiz etmek için sistematik bir yaklaşıma sahip olmak çok önemlidir. SFS'ler, endüstriyel makinelere otonom kontrol, öz farkındalık ve öz yönetim yetenekleri getirerek günümüz endüstrisinde bu sorunu çözmek için kullanılmaktadır.

Endüstri 4.0'da SFS,

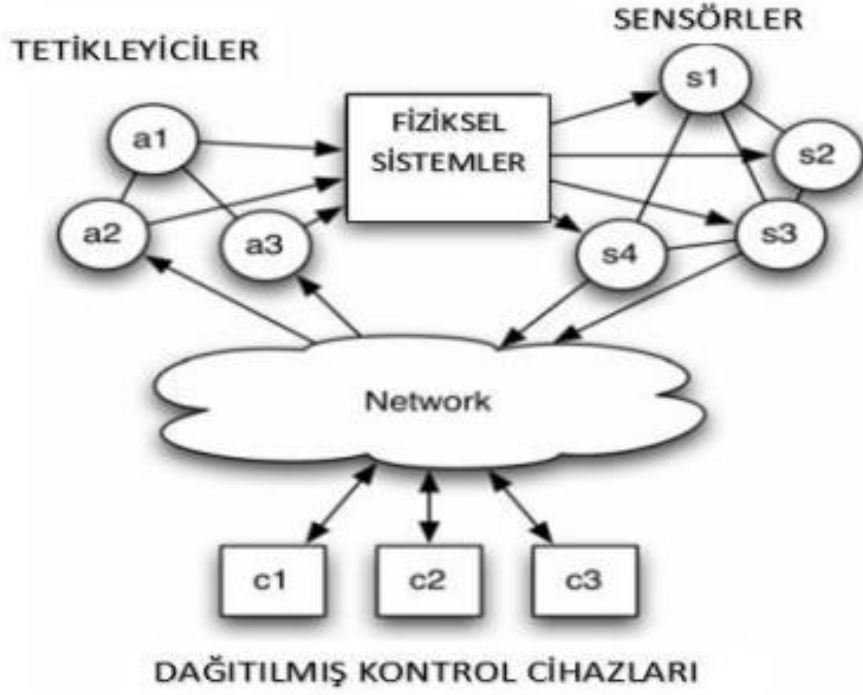
- Fizikselin sanal dünya ile entegre etmek için kaynak sağlamak,
- Ağa bağlı monitör ve fiziksel süreçleri kontrol ederek bilgi süreçlerini etkilemek,
- Gömülü sistemleri, kontrolü, hesaplamayı, iletişimi ve ağ cihazlarını entegre etmeyi amaçlamaktadır.

SFS'ler

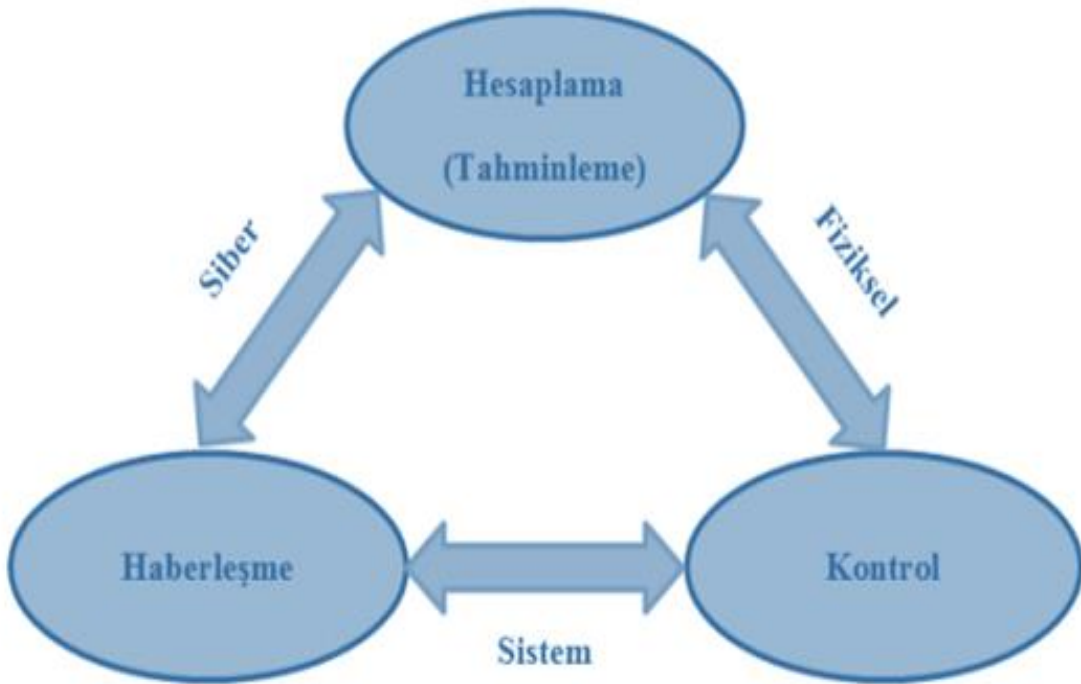
- Üretim dünyasının dijital olarak temsilini mümkün kılmak için makineler, konveyör bantları, robotlar, kablosuz sensör ağı gibi çok sayıda fiziksel sistem ve bileşen içeren ağlar aracılığıyla fiziksel sistemle etkileşim kurar ve yönetir.
- Süreç içerisinde operasyonları yönetmek, kullanıcıları yönlendirmek ve "gerçek dünya" kanıta dayalı karar verme yoluyla üretim sistemine esneklik katmak için verilerin aktarılmasını sağlar.
- Kararlılığı, performansı, güvenilirliği, sağlamlığı ve verimliliği artırmak için iletişim, bilgi işlem ve kontrolü entegre eden yeni nesil yenilikçi sistemleri temsil eder.
- Verimliliği bir uçtan bir uca sağlamayı amaçlayan akıllı bir fabrika inşa etmek için donanım ve yazılım arasındaki entegrasyon ve işbirliğini sağlarlar.
- Dönüştürücü araştırma yaklaşımları kullanarak bilgi işlem teknolojisini fiziksel fenomenlere entegre eden karmaşık ve çok disiplinli mühendislik sistemleridir.

Bir SFS, fiziksel dünyanın, ara yüzler aracılığıyla insan aracılığı olmadan veya minimum düzeyde siber sistemle iletişim kurabildiği ve çalışabildiği fiziksel dünya, ara yüzler ve siber sistemden oluşmaktadır.

- Fiziksel dünya, gerçek dünyada izlenmesi ve kontrol edilmesi gereken insan aktörler, makineler, faaliyetler veya çevre gibi nesnelere ifade eder.
- Arayüzler, sensörler ve aktüatörler (tetikleyiciler) aracılığıyla fiziksel dünya ile siber dünya arasında köprü görevi görür.
- Sensörler fiziksel dünyadan gerçek zamanlı verileri toplar ve bunları otomatik olarak siber sisteme iletirken, aktüatörler siber sistemden elde edilen çıktılara göre fiziksel dünya üzerinde hareket eder.
- SFS'deki siber öge, görev analizi ve zamanlama, veri işleme ve depolama ve karar verme gibi gerçek zamanlı işlevler sağlar.



Fiziksel Sistem Örneği



SFS Entegrasyonu

Siber Fiziksel Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

Siber-Fiziksel Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

Tarih	Olay/Olgu
1932	Nyquist, kontrol sistemleri konusunda frekans teknikleri geliştirmiştir.
1940-1945	Örneklenmiş Veri Sistemleri Teorisi ortaya atılmıştır.
1945	İlk amplifikatör tasarımı yapılmıştır.
1946	İlk taşınabilir hücreli telefon geliştirilmiştir.
1946	İlk bilgisayar (ENIAC) bulunmuştur.
1950	Root Locus metodu geliştirilmiştir.
1954	Dijital Kontrol Sistemleri geliştirilmiştir.
1969	ARPANET (internetin ilk hali) geliştirilmiştir.
1973	Gerçek zamanlı işleme sistemleri geliştirilmiştir.
1973	Optimal, adaptif, non-linear kontrol sistemleri ile stokastik sistemler geliştirilmiştir.
1990	Hibrit sistemler geliştirilmiştir.
1997	IEEE 802.11 Wifi standardı geliştirilmiştir.
2000	Ağ önceliği sistemi (QoS) başlatılmıştır.
2006	Siber-Fiziksel Sistem (CPS) kavramı ilk kez kullanılmıştır.

SFS'ler, fiziksel süreçleri etkileyen iş hareketleri ile ilgili verileri toplayan sensörlerle donatılmış mekatronik bileşenleri içeren ve sürekli değişen verilerin eş zamanlı olarak sanal bir bulut sisteminde birbirine bağlanmalarını sağlayan akıllı sistemlerdir. Sosyoteknik sistemin bir parçası olarak siber sistemler, üretim süreci için insanımsı makina ara yüzü kullanmaktadır.

Endüstriyel otomasyon sistemleri, fiziksel üretim süreçlerini monitör üzerinden yönetmeyi sağlayan bilgisayarlı üretim yapılarını anlatmaktadır. Sistemin siber kısmı, fiziksel süreçlerden veri edinip, bu veriyi üretim sürecine uyarlayan bilgisayar yazılımlarından oluşmaktadır.

Siber-Fiziksel bir sistemin etkisi çevresindeki diğer SFS'ler ile kurmuş olduğu etkileşimin düzeyine bağlıdır. Farklı sistemler arasında çapraz bağlantının sağlanabileceği yapıların oluşturulması gerekmektedir.

Siber-Fiziksel sistemlerin “siber” ve “fiziksel” yönlerinin karşılaştırmasına bakacak olursak

Siber-Fiziksel Sistemlerin Siber ve Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırması

	Siber	Fiziksel
<i>Uygun düzenin sağlanması yöntemi</i>	Seri	Gerçek zamanlı
<i>Konu senkronizasyonu</i>	Senkronize	Asenkron
<i>Zaman özellikleri</i>	Kopuk	Devamlı
<i>Yapı</i>	Bilgisayar sistemleri	Fiziksel kanunlar

Enformasyon ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler hizmet, lojistik, tasarım ve imalat biçimlerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Özellikle, fiziksel sürücüler ve mikro kontrolcüler arasındaki derin entegrasyon Sanayi 4.0 sürecinde tüm araç ve makinaların otomasyonunu “işçi yerine” kendi kendine kontrolünü ve otomasyonunu olanaklı kılmaktadır.

Bilgisayar, iletişim ve kontrol teknolojileri tam zamanlı algılama, geniş ölçekli endüstriyel sistemlerin dinamik kontrolü, enformasyon hizmetleri ve ürün hayat döngü yönetimindeki gelişmeleri desteklemektedir. Ancak henüz bu teknolojilerin ulaştığı düzey ihtiyaçlarımızı tam olarak karşılamamaktadır. Siber-Fiziksel sistemlerin nihai amacı, “akıllı izleme” ve “akıllı kontrol” ün gerçekleştirilmesidir. Bu süreç tam zamanlı enformasyon çıkarsaması, veri analizi, karar verme ve veri transferi oluşumlarının gerçekleşmesine bağlıdır.

2000-2010 arasında çoğunluğu motorlu taşıt üreticileri olan önemli sayıda firma “Akıllı ortamlar” ya da “Kablosuz sensör ağları” kapsamında değerlendirilebilecek radyo frekans kimlik sistemini (RFID) üretim süreçlerinin takibini kolaylaştırıcı bir araç olarak kullanmaya başlamışlardır. İlk olarak Volvo kamyon üretiminde devamlılığı sağlamak için RFID sistemini kullanmış, daha sonra Toyota otomobil parçaları üretiminde enformasyon sistemleri bazlı RFID sistemi kullanmıştır.

SFS’lerin mevcut araştırmalarında temel olarak;

- kavram,
- mimari,
- teknolojiler ve zorluklar tartışmalarına odaklanırken,

mühendislik uygulamalarındaki SFS vakaları göreceli olarak halen emekleme aşamasındadır.

Siber Fiziksel Sistemlerin Temel Özellikleri

Heterojenlik: SFS’ler, standart iletişim ve bilgi alışverişi ile birkaç farklı sistemi entegre edebilir. Örneğin, sensörler, mobil cihazlar, iş istasyonları ve sunucular dahil olmak üzere çeşitli cihazları entegre edebilirler.

Birlikte çalışabilirlik: Sistem bileşenlerinin birbirine bağlanma, iletişim ve çalışma yeteneğidir. Birlikte çalışabilirlik, SFS'lerin karşılıklı olarak anlaşılır bilgi alışverişi yapmasına izin verir.

Ara bağlantı: SFS, farklı alanlarda zekâ oluşturmayı amaçlayan çeşitli sensörler ve aktüatörler aracılığıyla büyük ölçekli kablolu ve kablosuz ağlardaki işleme öğelerinden ve fiziksel öğelerden oluşmaktadır.

Modülerlik: SFS, hızla değişen müşteri ihtiyaçlarına ve ürün değişikliklerine yanıt olarak modüler hale getirilir, esnek bir şekilde değiştirilir ve yeniden yapılandırılır. Modülerlik, sistem bağımsızlığına izin vererek daha fazla esneklik uyarlamasına olanak sağlar.

Özerklik: SFS bağımsız olarak öğrenebilir ve çevreye uyum sağlayabilir. Öz yetenekler aslında özerkliğin örnekleri olarak görülebilir. Öz yeterlilik örnekleri, kendini uyarlama, kendini yeniden yapılandırma, kendi kendine organize etme, öz farkındalık, kendi kendine öğrenme, kendi kendine teşhis, kendi kendini iyileştirme, kendini optimize etme, kendini koruma ve kendini açıklamadır.

Merkeziyetsizleştirme: SFS bağımsız olarak çalışır ve tek nihai örgütsel hedefe giden yolla uyumlu kalacak şekilde özerk bir şekilde kararlar alır.

Entegrasyon: SFS, hesaplama ve fiziksel süreçlerin entegrasyonudur.

Siber Fiziksel Sistemlerin Mimarisi

Siber fiziksel sistemler söz konusu olduğunda beş boyuttan oluşan mimari bir yapı önerilmektedir. Bunlar; akıllı bağlantı, veriden bilgiye dönüşüm, siber, kavrama, yapılandırma ve simülasyondur.



Akıllı Bağlantı

Bir siber fiziksel sistemler uygulaması geliştirmenin ilk adımını veri toplama bileşenlerinden doğru ve güvenilir veri elde ederek akıllı bir bağlantı oluşturmaktır. Bu seviyede iki önemli faktör ön plana çıkar. Toplanan verilerin çeşitliliğinden dolayı kusursuz şekilde veri toplama prosedürlerini yönetme ve verileri iletmek için kesintisiz ve sorunsuz bir yöntem gereklidir. Diğer bir faktör ise gerekli işlemler için uygun sensörlerin seçimidir.

Şartların doğru gözlemlenebilmesi için makine ve bileşenlerinden doğru veri toplayabilmek siber fiziksel sistemlerin tasarımındaki ilk önemli adımdır.

Veriden Bilgiye Dönüşüm

Siber fiziksel ortamlarda toplanan verilerden anlamlı bilgiler çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda verilerin bilgiye dönüştürülmesine uygun çeşitli araç ve metodolojilerden yararlanılmaktadır. Prognostik (ön görücü bakım) ve makine sağlığı yönetimi (tahmini faydalı ömür vb. hesaplamalar) gibi alanlarda bu çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sayesinde makinalara öz farkındalık özelliği kazandırılabilir.

İlk adımda toplanan verilerden anlamlı bilgiler çıkarma adımdır. Bu adım makinelerin farkındalığını sağlamaktadır

Siber

Siber seviyesi, bu mimari de bilgi merkezi olarak işlev görmektedir. Bundan dolayı makine ağı oluşturmak için ağa, her bağlı makineden veri aktarılmaktadır. Bu veriler toplandığında ağdaki bireysel makinelerin durumu hakkında daha güvenilir yaklaşımlar sağlayan ek bilgiler çıkarmak için özel analitikler kullanılmaktadır. Bu analitikler ağdaki diğer makinelerle bireysel makineleri karşılaştırabilmektedir. Ayrıca makinelerin önceki performansları ile kıyaslama yapılarak gelecekteki durum ve faaliyetleri tahmin edilebilmektedir.

Siber seviye bu mimaride bilgi merkezi görevi görür. Filoda yer alan bireysel makinelere dair daha iyi bir değerlendirme sağlayan ek bilgiler elde etmek için kullanılır. Bu bilgiler ve yapılan analizler, tek bir makinenin performansının filo ile kıyaslanıp değerlendirilebildiği, kendini karşılaştırma yeteneğinde olan makinelerin ortaya çıkmasını sağlar. Diğer taraftan, makinenin gelecekteki davranışlarını tahmin etmek için makine performansı ile geçmiş bilgiler arasındaki benzerliklerin ölçülebilmesini sağlar.

Kavrama

Bu seviyede, kullanıcılara karar vermeleri için uygun analitik bilgi sunumu sağlanmaktadır. Bu sayede uzmanların doğru kararlar alabilmesi için destek sağlanmış olur. Ayrıca karşılaştırmalı bilgiler ve bireysel makine durumu rahatlıkla görülebildiğinde bakım işleminde görevlerin önceliği kolayca belirlenebilmektedir.

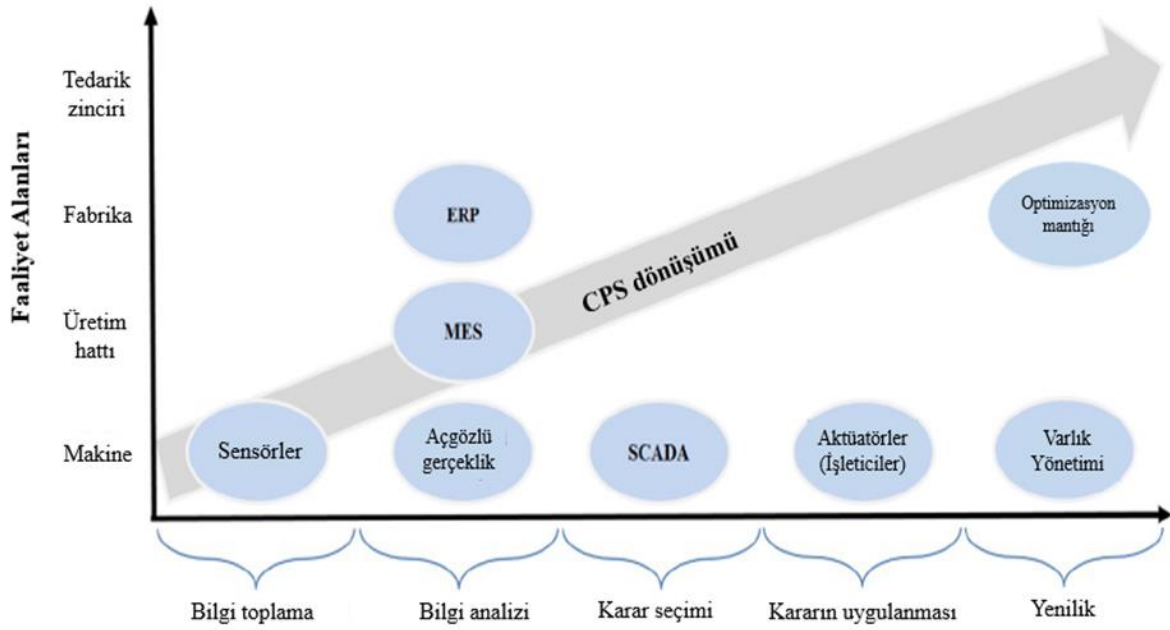
Bu seviyede izlenen sistem hakkında alınacak doğru kararları desteklemek için kapsamlı bilgi üretilir. Bu bilgiler ışığında kararların optimizasyonu ve önceliklendirilmesi sağlanır.

Yapılandırma

Yapılandırma seviyesi, siber alandan fiziksel alana geri bildirim verir. Makinelerin, kendi kendini yapılandırmayı ve kendi kendini sisteme uyarlayabilmesini sağlar. Bu aşama düzeltici ve önleyici kararları uygulamak için Esneklik Kontrol Sistemi gibi görev yapmaktadır.

Bu seviye siber alandan fiziksel alana geri beslemeyi içermektedir. Makinelerin kendi kendini yapılandırabilmesi ve kendi kendilerini uyarlamalarını sağlamak için denetleyici kontrol görevi görürler.

Siber Fiziksel Sistemlerin Bilgi İşleme Aşamaları



SFS Bilgi İşleme Yetenekleri

Siber Fiziksel Sistemlerin Uygulama Alanları

SFS, verimliliği optimize etmek, süreç kontrolünü geliştirmek ve depolama sistemlerini iyileştirmek için akıllı imalatta kullanılabilir.

Toprak koşulları (nem, besin konsantrasyonu, vb.) için akıllı bir izleme ve kontrol sistemi ile donatılmış olan tarım, otomatik, dinamik sulama ve gübreleme sağlayabilir ve bu da kaynak verimliliği ve sürdürülebilirliğinde gelişmelere yol açabilir.

Sağlık ve tıp alanında uygulanan SFS, kişiselleştirilmiş tıbbi değerlendirmeler oluşturabilir, tıbbi olayları tahmin edebilir ve doktorların hastaları için verimli kararlar vermesine yardımcı olabilir. Akıllı biyosensörler ve cihazlardan gelen veri akışlarına, akıllı geri bildirim sistemlerine, otomatikleştirilmiş kayıtlara ve ilgili verilerin analizine dayalı olarak karar alınması sağlanabilir.

SFS araç ağları içinde gerçek zamanlı trafik izleme ve iletişim yoluyla akıllı ulaşım sistemlerine güvenli, verimli ve otomatikleştirilmiş trafik koordinasyonu sağlar.

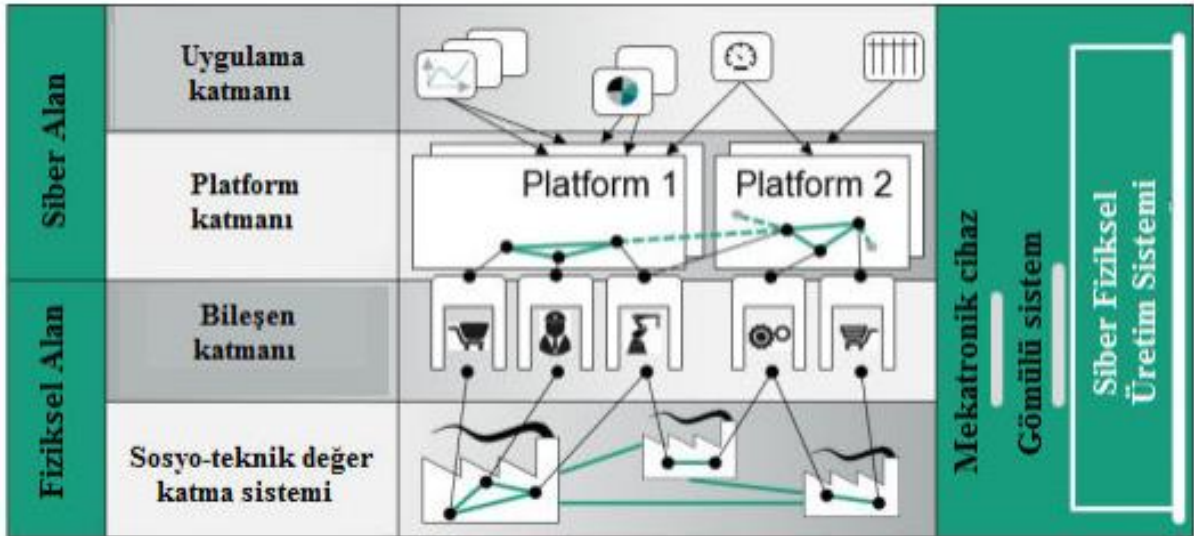
Kritik sistemlerin ve cihazların güvenli ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için sıcaklık, nem, basınç ve CO2 seviyeleri gibi çevresel parametrelerin izlenmesinde SFS kullanılabilir.

Siber Fiziksel Üretim Sistemleri

Siber Fiziksel Üretim Sistemleri (SFÜS), makine dünyasını ve üretim tesisini siber hesaplama alanına entegre etmeyi ve senkronize etmeyi amaçlayan karmaşık üretim sistemleridir.

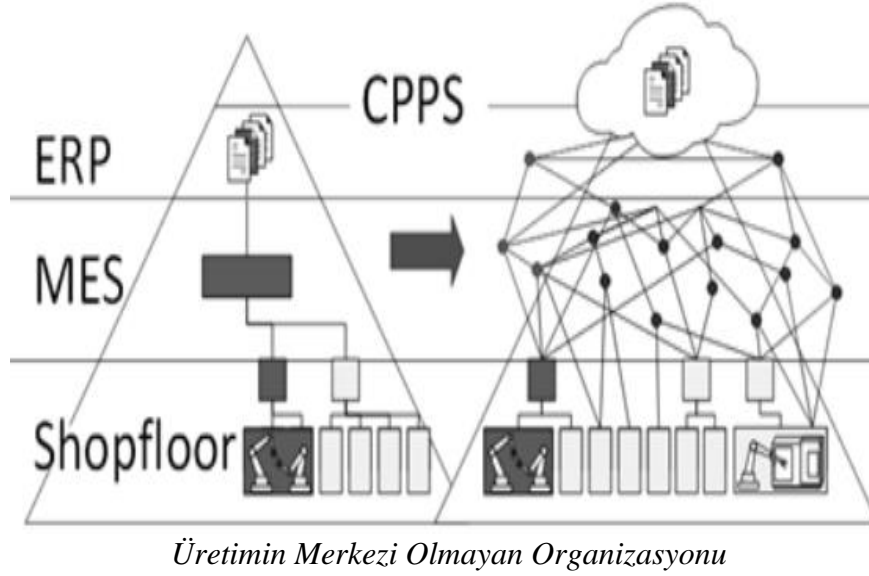
SFÜS'nin en önemli özellikleri, hesaplama hizmetlerine ve SFÜS'nin kendisi arasındaki bağlantıdır.

- Hizmetlerle bağlantılar, SFÜS'nin bilgilere erişmesine yardımcı olur. Yazılım sistemlerine (ERP, MES gibi) ve internete (örneğin malzeme ve enerji fiyatları için) bağlantı sağlamaktadır.
- Birden çok SFÜS'nin bağlantısı, aralarındaki veri alışverişi ve üst düzey işbirliği platformlarına bağlantılar yoluyla, verilen görevler hakkında bütünsel bilgi edinebilir.



Siber Fiziksel Üretim Sistemleri (SFÜS)

SFÜS, verilen görevler hakkında bütünsel bilgi edinebildiği için, üretim kontrolü ile ilgili kararları üst kontrol sistemleri olmadan kendi başlarına uygulayabilirler. Her üretim sistemi kendi üretim sırasını kendisi belirleyebilir. Otomasyon piramidi ile gösterilen bir merkezi üretim kontrolünün mevcut doğması, bu merkezi olmayan hesaplamalı zeka tarafından sorgulanmaktadır. Dolayısıyla, Kurumsal Kaynak Planlama Sistemi (ERP), üretim planlama sistemi (PPS) ve üretim yürütme sistemi (MES) gibi merkezi kuruluş kontrol unsurlarının, siparişleri tek üretim süreçlerine ve birimlerine ayırması gerekmez.



SFS'nin üretim, lojistik ve hizmetlere entegrasyonu, fabrikalara üretim modelini akıllıca ayarlamak için öz farkındalık ve kendi kendini uyarlayan makineler ve kapsamlı bilgiler sağlayacaktır. Bu özellikler, bugünün fabrikalarını önemli ekonomik potansiyele sahip bir Endüstri 4.0 fabrikasına dönüştürecektir.

SFÜS'nin uygulanması, özellikle imalat süreçlerinde ve üretim kontrol sistemlerinde önemli değişikliklere yol açmaktadır ve açacaktır. Doğru uygulanan bir SFÜS mimarisi, üretim darboğazlarını, bakım ve arıza sorunlarını ortadan kaldırarak verimli üretimi mümkün kılar ve üretim sağlama süresini azaltır.

Siber Fiziksel Üretim Sistemlerinin Kazanımları

- SFÜS'lerin kullanımı, gerçek üretim sistemleri ile bilgi ve planlama sistemlerini birleşmesine zemin hazırlar. Bu zeminin devamı ve geliştirilmesiyle üretici firmalar eş zamanlı dönüşüm yeteneği kazanacaktır.
- Dönüşüm kabiliyeti ile üretim sistemleri, ihtiyaç durumunda değişim sağlayıp fonksiyonların ayrıştırılması ve genişletilmesi işlemlerine sahip olurlar.
- Bu kabiliyet; firmanın üretkenlik potansiyelini, işletmenin dayanıklılık seviyesini ve değişen müşteri taleplerine veya planlanamayan dalgalanmalara karşı esnekliğini artırmasında fayda sağlar.
- SFÜS'ler ile bir firma üretim sisteminin verimliliğini ve dönüşüm kapasitesini artırır.

Kaynaklar

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

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

Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0. Journal of life Economics, 3(2), 19-30.