

## Esnek Üretim Yapısına Sahip İşletmelerde Zaman Etüdü Uygulaması ve Verimlilik İyileştirme Stratejileri

Yağmur Sultan Gerek<sup>1</sup>

Yusuf Fedai<sup>2</sup>

### Özet

Bu çalışma, esnek üretim yapısına sahip bir işletmede zaman etüdü yöntemi uygulanarak üretim sürecinde yaşanan verimsizliklerin tespit edilmesini ve bu doğrultuda geliştirilmesi gereken stratejik iyileştirme alanlarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Yeni kurulan bir üretim hattı üzerinde gerçekleştirilen gözlemler ve ölçümler doğrultusunda, teorik üretim kapasitesi ile fiili üretim performansı arasında önemli sapmalar saptanmıştır. Zaman etüdü, yalnızca işlem sürelerini analiz etmekle kalmamış; aynı zamanda duruş nedenleri, senkronizasyon eksiklikleri, operatör performansı ve sistemsel arızalar gibi faktörlerin de detaylı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Elde edilen veriler ışığında, üretim hattının verimliliğini düşüren unsurların ortadan kaldırılması amacıyla teknik ve yönetsel öneriler geliştirilmiştir. Bu bağlamda, kestirimci bakım uygulamaları, sensör sistemlerinin optimizasyonu, iş gücü planlamasında dengeleme stratejileri ve Toplam Ekipman Etkinliği (OEE) analizine dayalı karar destek sistemleri önerilmiştir. Çalışma, zaman etüdüünün sadece süre takibine yönelik bir yöntem olmaktan öteye geçerek, bütüncül süreç analizi ve stratejik yönetim aracı olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

1 Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sultangerek325@gmail.com, ORCID: 0009-0003-7665-3833

2 Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, yusuffedai@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4546-8830

## 1. Giriş

Küreselleşmenin etkisiyle birlikte günümüz üretim ortamı, geçmişe kıyasla çok daha dinamik ve yoğun rekabet koşullarıyla şekillenmektedir. Bu rekabet ortamında işletmelerin sürdürülebilir bir başarı elde edebilmeleri, yalnızca üretim yapmakla sınırlı değildir; aynı zamanda üretimi etkin, verimli ve stratejik biçimde gerçekleştirme yetkinliğini de gerekli kılmaktadır. Özellikle maliyetlerin kontrol altına alınması, kaynakların israf edilmeden en uygun şekilde kullanılması ve müşteri beklentilerine zamanında, kaliteli ürünlerle yanıt verilmesi, işletmelerin rekabet avantajı sağlamalarında temel belirleyiciler arasında yer almaktadır (Heizer, Render & Munson, 2020). Müşteri taleplerinin sürekli çeşitlenmesi ve piyasa dinamiklerinin hızlı değişim göstermesi, işletmelerin esnek, hızlı tepki verebilen ve veri temelli karar alma süreçlerine sahip olmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda, üretim süreçlerinin sistematik biçimde analiz edilmesi ve elde edilen verilerin süreç iyileştirmelerine yön verecek şekilde değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir (Groover, 2015).

İşletmelerin verimlilik odaklı stratejiler geliştirebilmesi için, yalnızca çıktıya değil sürecin bütününe odaklanan bütüncül bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yaklaşımda öne çıkan temel araçlardan biri de zaman etüdüdür. Zaman etüdü, belirli bir işi gerçekleştiren nitelikli bir çalışanın normal bir hızda ve kabul edilebilir bir performans düzeyinde bu işi tamamlaması için gereken sürenin sistematik biçimde ölçülmesini amaçlayan bir iş ölçüm yöntemidir (Niebel & Freivalds, 2009). Uygulamada zaman etüdü; işlemlerin adım adım gözlemlenmesi, bu adımların sürelerinin kaydedilmesi ve ardından analiz edilerek işin gerçekleştirilmesi için gerekli olan standart sürenin belirlenmesiyle yürütülmektedir. Bu süreç yalnızca iş süresinin değil, aynı zamanda işlemin yapılış biçiminin, iş gücünün etkin kullanım düzeyinin ve potansiyel kayıpların da değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Shtub & Rosenwein, 2017).

Zaman etüdü çalışmaları sayesinde, üretim süreçlerinde zaman kaybına neden olan faaliyetler tespit edilerek ortadan kaldırılabilir, operasyonel darboğazlar belirlenebilir ve iş gücü planlaması daha isabetli şekilde yapılabilir. Bunun yanı sıra, üretim planlaması, maliyet hesaplamaları, fiyatlandırma stratejileri ve kapasite yönetimi gibi kritik karar alanlarında daha sağlıklı ve gerçekçi verilere dayalı bir yaklaşım benimsenebilir (Stevenson, 2020). Böylece yalnızca mevcut verimlilik düzeyi artırılmakla kalmaz, aynı zamanda geleceğe yönelik stratejik planlama süreçleri de daha sağlam temellere oturtulmuş olur.

Özetle, üretim sistemlerinde başarının anahtarı, yalnızca kaliteli ürün üretmek değil; aynı zamanda bu ürünleri en uygun sürede, en düşük maliyetle ve en az kaynakla üretmeyi mümkün kılan süreç yönetimi anlayışını benimsemekten geçmektedir. Bu nedenle zaman etüdü, modern üretim sistemlerinin vazgeçilmez analiz araçlarından biri haline gelmiş ve işletmelerin rekabetçiliklerini koruyabilmeleri için önemli bir stratejik enstrüman olarak literatürdeki yerini almıştır (Maynard et al., 2001).

İşletmelerin üretim süreçlerini daha verimli, etkin ve sürdürülebilir hale getirebilmesi için iş gücünün nasıl kullanıldığını anlamaya yönelik sistematik analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda öne çıkan temel yöntemlerden biri olan iş ölçümü, belirli bir işi yürüten nitelikli bir çalışanın, tanımlanmış bir performans seviyesinde işi tamamlaması için gereken süreyi objektif biçimde belirlemeye yarayan teknikler bütünüdür (Niebel & Freivalds, 2009). İş ölçümü yalnızca işin süresel boyutunu değil; aynı zamanda işin gerekliliği, yapılma biçimi ve kaynak kullanımı gibi unsurları da değerlendirme fırsatı sunar. Bu yönüyle iş ölçümü hem nicel hem de nitel analizlere olanak tanıyan kapsamlı bir süreç iyileştirme aracıdır.

İş ölçüm tekniklerinin temel amacı, bir işin tamamlanabilmesi için gereken ideal süreyi tespit ederek, bu süre doğrultusunda iş akışlarının yeniden yapılandırılmasını sağlamaktır. Sürecin standart süreye göre modellenmesi sayesinde, işletmeler üretim dışı ya da katma değer yaratmayan faaliyetleri daha kolay tespit edebilir ve bu faaliyetleri ortadan kaldırarak verimlilik düzeyini artırabilir (Heizer, Render & Munson, 2020). Aynı zamanda, çalışanlar arası iş yükü dengesi sağlanabilir, fazla mesai gibi maliyet artırıcı unsurlar minimize edilebilir ve zaman yönetimi daha etkin bir zemine oturtulabilir. Nitekim Yıldız (2013), iş ölçümünün yalnızca sürenin belirlenmesine değil; aynı zamanda işin gerekliliğini ve etkinliğini sorgulayan stratejik bir yaklaşım sunduğunu vurgulamaktadır.

İş ölçümüne dayalı olarak belirlenen standart zamanlar, üretim planlaması, maliyet hesaplama, kapasite belirleme ve personel ihtiyacının öngörülmesi gibi çok sayıda operasyonel süreçte temel veri işlevi görmektedir (Groover, 2015). Bu standartların doğru biçimde oluşturulması, işletmenin genel performansının değerlendirilmesinde de kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca iş ölçümü, toplam kalite yönetimi, yalın üretim ve sürekli iyileştirme gibi çağdaş üretim yaklaşımlarının da temelini oluşturmaktadır (Shtub & Rosenwein, 2017). Çünkü bu yaklaşımlarda israfın azaltılması, süreçlerin yalınlaştırılması ve iş gücünün etkin kullanımı esas alınmakta; bu hedeflere ulaşmanın yolu ise doğru ve güvenilir iş ölçüm verilerinden geçmektedir.

Bu çalışma, esnek üretim yapısına sahip KOBİ ölçeğindeki bir işletmede zaman etüdü yönteminin uygulanabilirliğini değerlendirmeyi ve üretim sürecine yönelik iyileştirme önerileri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Saha verilerine dayalı analizlerle, üretim aşamasındaki verimlilik artırma potansiyeli somut biçimde ortaya konmuştur.

Bu kapsamda hazırlanan kitap bölümünde, ilk olarak çalışmanın yöntemi açıklanmış ve Materyal ve Metot başlığı altında, zaman etüdünün kuramsal temelleri ile uygulama alanlarına yer verilmiştir. İlgili kısımda, alt başlıklar halinde 2.1. Zaman Etüdü ve İş Etüdü: Kavramsal Çerçeve ve Uygulama Alanları ile 2.2. Zaman Etüdü başlıkları altında kuramsal bilgiler sunulmuş; ardından uygulama aşamasına geçilmiştir. Bölümün sonunda ise yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda genel bir değerlendirme yapılarak Sonuç kısmına yer verilmiştir. Bu yapı, çalışmanın hem teorik çerçevesini hem de saha verilerine dayalı pratik yönünü bütüncül biçimde ele almayı amaçlamaktadır.

## 2. Materyal Metot

Bu çalışma, bir üretim hattında zaman etüdü yöntemi kullanılarak yürütülmüş olup, amaç verimliliği etkileyen unsurların belirlenmesi ve bu doğrultuda sürecin iyileştirilmesidir. İncelenen üretim hattı, yakın zamanda faaliyete geçmiş olup, gerçek üretim performansı ile kurulumu sırasında öngörülen değerler arasında farklar gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, mevcut durumun sistematik biçimde analiz edilmesi için zaman etüdü çalışması tercih edilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle üretim hattındaki işlemler adım adım tanımlanmış ve standart iş döngüleri belirlenmiştir. Ardından bu döngülerdeki operasyonlar doğrudan gözlemler yoluyla izlenmiş; faaliyet süreleri kronometre ile kaydedilmiştir. Her işlem, birden fazla tekrar üzerinden izlenerek ortalama süreler elde edilmiş ve sapmaları analiz edilmiştir. Bu süreçte özellikle gecikmelere, beklemelere, gereksiz hareketlere ve iş akışında yaşanan aksamaların nedenlerine odaklanılmıştır.

Toplanan veriler tablolaştırılmış ve iş adımlarındaki süreler ile bu sürelerin iş akışına etkileri yorumlanmıştır. Ayrıca zaman kaybına yol açan unsurlar kategorilere ayrılarak analiz edilmiştir. Gözlemler süresince edinilen bulgular, sürecin nerelerde tıkanıldığını ve verimliliğin hangi unsurlar nedeniyle düştüğünü ortaya koymak açısından kritik rol oynamıştır.

Bu yöntem, üretim hattının iyileştirilmesine yönelik önerilerin geliştirilmesine temel oluşturmakla birlikte, aynı zamanda zaman etüdünün uygulamalı geçerliliğini göstermesi bakımından literatürle de örtüşmektedir.

Benzer çalışmalar, zaman etüdünün hem endüstriyel süreçlerde hem de hizmet sektöründe sistem verimliliğini artırmak için etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır (Niebel, 1982; Chousein & Aslan, 2020).

### 2.1. Zaman Etüdü ve İş Etüdü: Kavramsal Çerçeve ve Uygulama Alanları

İşletmelerin üretim süreçlerinde verimlilik artışını sürdürülebilir kılabilmesi, yalnızca teknoloji yatırımlarına değil, aynı zamanda mevcut iş sistemlerinin analizi ve sürekli iyileştirilmesine de bağlıdır. Bu bağlamda, iş etüdü; iş süreçlerinin, çalışanların fiziksel ve zihinsel özellikleri göz önünde bulundurularak sistematik biçimde analiz edilmesi ve iyileştirilmesini amaçlayan kapsamlı bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Bezen, 2007). İş etüdü, yalnızca iş akışlarını değil, aynı zamanda çalışma ortamını, iş gücünün potansiyelini ve kaynak kullanımını da değerlendirme fırsatı sunar. Böylelikle, işletmenin hem operasyonel hem de stratejik düzeyde daha etkin bir yapıya kavuşması hedeflenir.

İş etüdünün iki temel bileşeninden biri olan zaman etüdü, iş ölçüm teknikleri içerisinde en yaygın ve sistematik biçimde uygulanan yöntemdir. Zaman etüdü, belirli bir işin en verimli biçimde gerçekleştirilmesi için gereken sürenin, önceden tanımlanmış koşullar altında, doğrudan gözlem ve ölçüm yoluyla belirlenmesini esas alır (Niebel & Freivalds, 2009). Bu süreçte iş, çeşitli elemanlara ayrılır ve her bir iş elemanının gerçekleştirilme süresi kronometre ya da video analiz teknikleriyle kayıt altına alınır. Elde edilen veriler yalnızca nicel değil; aynı zamanda işin yapılış şekli, operatörün performansı ve iş ortamı gibi nitel parametrelerle birlikte değerlendirilir (Groover, 2015). Böylece zaman etüdü, yalnızca standart sürelerin belirlenmesini değil, aynı zamanda iş sistemlerinin bütünsel bir bakış açısıyla iyileştirilmesini mümkün kılar.

Zaman etüdü uygulamalarının birçok sektörde yaygınlık kazandığı görülmektedir. Literatürde yapılan çeşitli ampirik çalışmalar, zaman etüdünün özellikle üretim, montaj ve hizmet sektörlerinde standart zamanların belirlenmesi amacıyla sıklıkla tercih edildiğini göstermektedir (Timur, 1984; Heizer et al., 2020). Bazı araştırmalarda, üretim odaklı sektörlerde zaman etüdü kullanım oranlarının %90'ı aştığına dair bulgulara rastlanmaktadır. Bunun temel nedenlerinden biri, zaman etüdünün karar verme süreçlerinde yüksek düzeyde kullanılabilir ve güvenilir veri sunmasıdır. Bu veriler, üretim planlaması, iş gücü dağılımı, kapasite analizi ve maliyet kontrolü gibi pek çok alanda kritik rol oynamaktadır (Shtub & Rosenwein, 2017).

Zaman etüdü uygulamalarının üretim süreçlerinde sağladığı çok boyutlu katkılar, yalnızca teorik yaklaşımlarla sınırlı kalmayıp, saha çalışmalarıyla da açık biçimde ortaya konmuştur. Örneğin, ahşap kent mobilyaları üreten bir işletmede gerçekleştirilen uygulamalı çalışmada, piknik masası ve bank üretiminin montaj aşamaları ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Üç farklı makine ve bir manuel işlem basamağını kapsayan bu süreçlerde, her bir işlem için onar gözlemden oluşan zaman etütleri yapılmış ve veriler %95 güven düzeyi ile %5 hata payı çerçevesinde değerlendirilmiştir (Yücel & Dilik, 2021). Elde edilen bulgular, yalnızca işlem sürelerinin hesaplanmasıyla sınırlı kalmamış; aynı zamanda mevcut üretim yapısının verimlilik düzeyine ilişkin anlamlı çıkarımlar yapılmasına olanak tanımıştır.

Araştırmada, piknik masası montaj süreci için standart zaman 11,58 dakika, bank montajı için ise 7,26 dakika olarak belirlenmiştir. Bu süreler, işletmenin tam kapasite ile çalışmadığını ve mevcut üretim sisteminin yeniden yapılandırılmasının gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla söz konusu uygulama, zaman etüdünün yalnızca operasyonel düzeydeki kararlar için değil; aynı zamanda üretim stratejisinin gözden geçirilmesi, uzun vadeli maliyet yönetimi ve yatırım planlaması gibi stratejik alanlar için de önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, zaman etüdünün çok boyutlu analiz kabiliyetini ortaya koymakta ve benzer üretim alanlarında gerçekleştirilecek uygulamalara güçlü bir referans sunmaktadır.

Zaman etüdünün yalnızca üretim sektöründe değil, hizmet sektöründe de etkin biçimde uygulanabildiğini gösteren örneklerden biri de sağlık alanındaki uygulamalardır. Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Hastanesi'nin Genel Cerrahi bölümünde gerçekleştirilen kapsamlı bir çalışmada, endoskopi işlemlerinin fiili süreleri ile standart süreleri karşılaştırılarak süreçteki verimsizlik düzeyleri ortaya konmuştur (Bircan & İskender, 2005). İncelenen işlem sürelerinde tespit edilen sapmalar, özellikle süreç içi aksaklıkların ve darboğazların önemli göstergeleri olarak değerlendirilmiştir. Araştırmada yalnızca sayısal analizlere değil, aynı zamanda bu verimsizliklerin temel nedenlerine de odaklanılmış ve sürece özel iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Bu yönüyle çalışma, zaman etüdü verilerinin yalnızca performans ölçümü amacıyla değil, aynı zamanda süreç iyileştirme ve hizmet kalitesini artırma doğrultusunda nasıl stratejik araçlara dönüştürülebileceğini göstermektedir. Özellikle sağlık sektöründeki karmaşık ve zaman duyarlı işlemlerin yönetiminde, bu tür ölçüm tekniklerinin karar destek sistemi olarak işlev görmesi, zaman etüdü uygulamalarının sektörel çeşitliliğini ve esnekliğini ortaya koymaktadır.

Zaman etüdünün yalın üretim sistemleriyle entegrasyonu, üretim süreçlerinin yeniden yapılandırılmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Hazır giyim sektörüne odaklanan bir çalışmada, değer akış haritası tekniğiyle mevcut üretim akışı analiz edilerek zaman etüdü verileriyle desteklenen yeni bir üretim hattı tasarımı gerçekleştirilmiştir (Güzel, 2011). Bu kapsamda, üretim hattında yer alan her bir iş adımı ayrıntılı biçimde incelenmiş, standart zamanlar belirlenmiş ve darboğaz noktaları net bir şekilde tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, israf kaynaklarının ortadan kaldırılması ve hat verimliliğinin artırılması hedeflenmiş; önerilen düzenleme ile önemli ölçüde verimlilik artışı sağlanabileceği ortaya konmuştur. Bu örnek, zaman etüdünün yalnızca operasyonel sürelerin ölçümünde değil, aynı zamanda yalın üretim felsefesine uygun biçimde süreç tasarımında da stratejik bir araç olarak işlev gördüğünü göstermektedir. Böylece zaman etüdü, hem üretim kaynaklarının daha etkin kullanımını mümkün kılmakta hem de yalınlaşma sürecinde sürekli iyileştirme anlayışına katkı sunmaktadır.

Hizmet sektöründe zaman etüdünün uygulanabilirliğini gösteren bir diğer örnekte, bir devlet hastanesinde dört farklı klinikte görev yapan hemşirelerin günlük iş akışları sistematik biçimde analiz edilmiştir. Her biri üçer kez gözlemlenen toplam 30 hemşirenin faaliyetleri; doğrudan hasta bakımı, dolaylı hizmetler ve kişisel işler şeklinde sınıflandırılmış ve özel kayıt formlarına işlenmiştir. Toplamda 3.659 faaliyetin analiz edildiği bu çalışmada, faaliyetlerin %55,1'inin doğrudan hasta bakımı ile ilişkili olduğu saptanmış; dolaylı hizmetler %16, kişisel faaliyetler ise %27,9 oranında yer almıştır (Chousein & Aslan, 2020). Elde edilen bulgular, hemşirelerin görev dağılımının büyük ölçüde hasta yoğunluğu ve bakım ihtiyaçlarına bağlı olarak şekillendiğini göstermektedir. Bu durum, zaman etüdü verilerinin yalnızca süreçlerin sayısal değerlendirilmesini değil, aynı zamanda iş gücü planlamasında stratejik kararlar alınmasını da mümkün kıldığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda çalışma, sağlık alanındaki operasyonel etkinliğin artırılmasında zaman etüdünün önemli bir araç olduğunu bir kez daha gözler önüne sermektedir.

Üretim verimliliğinin artırılmasına yönelik bir diğer örnek çalışmada, Temsa fabrikasında yürütülen detaylı analizler sonucu üretim süreçlerinde iyileştirme potansiyeli taşıyan unsurlar tespit edilmiştir. Zaman etüdü yöntemiyle desteklenen bu çalışmada, üretime doğrudan katkı sağlamayan faaliyetlerin ayıklanması, kalite seviyesinin yükseltilmesi ve süreçlerdeki darboğazların ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Elde edilen veriler ışığında geliştirilen Montaj Akış Hatları (ADS) Projesi ile üretim hattındaki akışın daha dengeli ve verimli hale getirilmesi amaçlanmış; proje çıktıları, işletme yönetimi tarafından üretim sisteminin yeniden yapılandırılmasında referans

olarak değerlendirilmiştir (Dünder & Gökçen, 2005). Bu yaklaşım, zaman etüdü uygulamalarının sadece süre ölçümlerinden ibaret olmadığını, aynı zamanda stratejik karar destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Tüm bu literatür incelemeleri, zaman etüdü yönteminin farklı sektörlerde etkin biçimde uygulandığını ve operasyonel verimliliği artırmada önemli çıktılar sağladığını ortaya koymaktadır. Ancak mevcut çalışmalar genellikle büyük ölçekli üretim tesisleri ya da sağlık gibi spesifik hizmet alanlarına odaklanmıştır. Küçük ve orta ölçekli işletmelere (KOBİ) yönelik zaman etüdü uygulamalarının sınırlı sayıda incelendiği görülmektedir. Bu durum, özellikle esnek üretim yapısına sahip işletmelerin süreç analizlerinin detaylandırılması açısından önemli bir boşluğu işaret etmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada ele alınan uygulama, söz konusu literatür boşluğunu doldurmayı hedeflemekte ve özgün katkı sunmayı amaçlamaktadır. Saha verilerine dayalı olarak yürütülecek analiz süreci sayesinde, zaman etüdü yönteminin uygulanabilirliği değerlendirilecek; aynı zamanda elde edilen bulgular aracılığıyla üretim sürecinin iyileştirilmesine yönelik öneriler geliştirilecektir.

Bu çalışmada, yeni kurulan bir üretim hattında zaman etüdü yöntemi uygulanarak sürecin mevcut durumu analiz edilmiş ve hat verimliliğini olumsuz etkileyen unsurlar sistematik biçimde belirlenmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda, üretim akışında gecikmelere yol açan, duruş sürelerini artıran ve genel performansı düşüren çeşitli yapısal ve operasyonel sorunlar tespit edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, bu sorunların detaylı biçimde ortaya konulmasıdır. Sonuç olarak, belirlenen problemlerin giderilmesi durumunda üretim hattının hedeflenen kapasitede ve daha verimli şekilde çalışabileceği öngörülmektedir.

## **2.2. Zaman Etüdü**

Zaman etüdü, belirli bir işin standart yöntemle, normal bir performans düzeyinde ne kadar sürede yapılabileceğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen sistematik bir gözlem ve ölçüm sürecidir. Bu yöntem, iş etüdünün alt disiplinlerinden biri olarak, üretim süreçlerindeki zaman kullanımını analiz etmeyi ve mevcut kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamayı hedefler (Niebel, 1982). Zaman etüdü çalışmaları genellikle kronometre kullanılarak yapılan doğrudan gözlemleri içerir ve bu gözlemler doğrultusunda süreçler arasındaki zaman kayıpları, darboğazlar ve verimsizlik unsurları tespit edilir (Meyers & Stewart, 2002).

Zaman etüdü, yalnızca sanayi üretiminde değil, hizmet sektöründe de yaygın biçimde kullanılmaktadır. Özellikle rekabetin yoğun olduğu sektörlerde,



iş gücü ve zamanın etkin yönetimi, işletmelerin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle zaman etüdü, süreç iyileştirme, iş dengesi sağlama, iş gücü planlaması ve kaynak kullanımında verimlilik artırımı gibi pek çok alanda karar destek aracı olarak değerlendirilmektedir (Öztürk, 2013).

Literatürde yapılan araştırmalar, zaman etüdünün operasyonel verimliliği artırmada etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Örneğin, sanayi sektöründe yapılan uygulamalarda, zaman etüdü sayesinde üretim hatlarında önemli ölçüde iyileştirmeler sağlandığı, hizmet sektöründeki örneklerde ise çalışan görev dağılımının daha dengeli hale getirilebildiği rapor edilmiştir (Güzel, 2011; Chousein & Aslan, 2020).

Sonuç olarak, zaman etüdü yöntemi, süreçlerin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlayarak işletmelerin hem performansını artırmakta hem de kaynaklarını daha stratejik biçimde yönetmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle zaman etüdü, yalnızca teknik bir analiz yöntemi olmanın ötesinde, yönetsel kararların da temelini oluşturan önemli bir uygulama alanıdır.

### 3. Uygulama

Bu çalışmada, yeni kurulan bir üretim hattında zaman etüdü yöntemiyle kapsamlı bir saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Uygulama alanı, farklı iş istasyonlarından oluşan çok aşamalı bir üretim sürecini içermektedir. Bu süreç; doğrultma hattı besleme alanı, doğrultma makinesi, pah kırma ve frezeleme istasyonları, iç hata ve yüzey hata kontrol alanları, taşlama bölümü ve paketlenme gibi ardışık işlem adımlarını kapsamaktadır. Hattın her bir bölümü, üretim sürecinin akışı ve nihai ürün kalitesi açısından kritik öneme sahiptir. Çalışmanın temel amacı, üretim sürecinin her aşamasında geçen işlem sürelerini ölçmek, kayıpları belirlemek ve üretim verimliliğini artırmaya yönelik iyileştirme alanlarını tespit etmektir.

Zaman etüdü çalışması kapsamında, üretim hattının tüm bu istasyonlarında sistematik gözlemler yapılarak işlem süreleri kaydedilmiş, iş döngüleri ayrıntılı şekilde analiz edilmiştir. Her bir işlem adımı, iş elemanlarına ayrılmış ve bu elemanlara ait süreler tekrar eden ölçümlerle elde edilmiştir. Bu sayede, iş süreçlerinde yaşanan gecikmeler, bekleme süreleri, gereksiz hareketler ve kaynak kullanımındaki verimsizlikler belirlenmiştir. Elde edilen veriler, üretim hattının genel verimliliğinin değerlendirilmesi ve darboğazların tespit edilmesi açısından önemli girdiler sunmuştur.

Bu kapsamlı uygulama sayesinde, yalnızca işlem sürelerinin hesaplanması değil, aynı zamanda iş istasyonları arasındaki senkronizasyon sorunları,

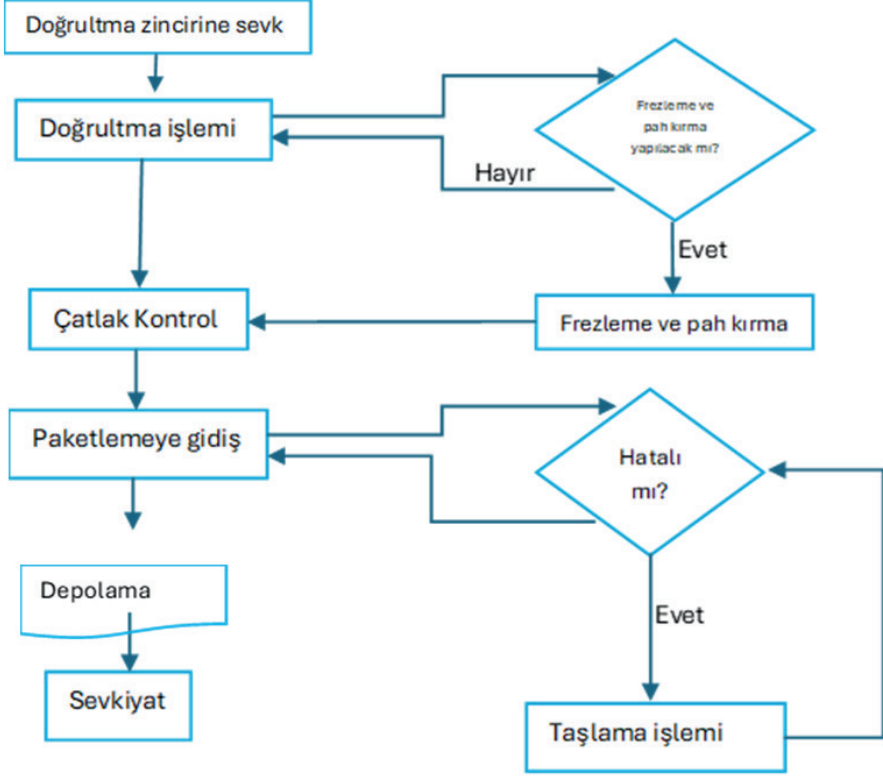
iş gücü kullanımı ve makine etkinliği gibi parametreler de analiz edilerek iyileştirme potansiyelleri ortaya çıkarılmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan üretim hattı, yaklaşık 16mm ile 120 mm çap aralığında ve 4000 mm ile 6000 mm uzunluklarında değişen çelik çubukların işlenmesini kapsamaktadır. Süreç, hammadde olarak gelen çubukların besleme alanına aktarılmasıyla başlamakta, ardından doğrultma makinesinden geçirilerek geometrik düzgünlüğü sağlanmaktadır. Bu aşamada çubukların yüzeyinde bulunan tufal kalıntıları temizlenmekte ve çubuk uçlarında pah kırma ile frezeleme işlemleri gerçekleştirilmektedir.

İlk işlemleri tamamlanan ürünler, kalite kontrol sürecine alınmaktadır. Yüzey çatlakları için manyetik alan temelli kontrol cihazları (örneğin, Foerster) kullanılarak tarama yapılmakta, ardından ultrasonik test cihazları (örneğin, GE sistemi) ile iç yapısal kusurlar tespit edilmektedir. Bu aşamada belirlenen hata düzeyleri, müşteri spesifikasyonlarına göre değerlendirilmekte ve ürünlerin uygunluk durumu belirlenmektedir.

Kalite kontrol sürecinde belirlenen toleransın üzerinde hata içeren ürünler, yüzey işlemi yapılmak üzere taşlama alanına yönlendirilmektedir. Taşlama işleminden geçirilen ürünler yeniden hata kontrol alanına alınmakta ve tekrar incelenmektedir. Eğer ürün, belirlenen kalite kriterlerini sağlıyorsa nihai paketleme sürecine aktarılır. Ancak hata düzeyi hala kabul edilebilir sınırların üzerindeyse ürün, ikinci kalite olarak ayrılarak değerlendirme dışı bırakılmaktadır.

Üretim hattının yukarıda açıklanan akışına ilişkin detaylı süreç, aşağıda iş akış şemasıyla görselleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İş Akış Şeması

### 3.1. Zaman Etüdü ile Üretim Hattı Performansının Değerlendirilmesi ve Verimlilik Artırma Stratejileri

Üretim hatlarında hedeflenen verimliliğe ulaşmak, yalnızca modern ekipmanların kullanılmasıyla değil, aynı zamanda bu ekipmanların etkin çalışıp çalışmadığının sistematik olarak analiz edilmesiyle mümkündür. Bu doğrultuda gerçekleştirilen zaman etüdü çalışmaları, üretim süreçlerinde karşılaşılan darboğazların ve kayıp zamanların belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. İlgili çalışmada, yeni kurulan üretim hattının performansı, başlangıçta üretici firmalar ve tedarikçiler tarafından sunulan teorik veriler ışığında değerlendirilmiştir. Ancak yapılan gözlemler, teorik olarak belirlenen üretim kapasiteleri ile fiili üretim verileri arasında anlamlı bir farklılık olduğunu ortaya koymuştur. Bu farkın sebeplerinin tespit edilmesi ve giderilmesi amacıyla detaylı bir zaman etüdü çalışması yürütülmüştür.

Zaman etüdünün temel amacı, üretim hattında gerçekleşen faaliyetlerin her birinin sürelerini kaydederek, sürece dair gecikmelerin, verimlilik

düşüklüklerinin ve üretim duruşlarının nedenlerini ortaya koymaktır. Bu kapsamda; üretim sürecinin başlangıç noktası olan doğrultma makinesine ürünlerin hangi sıklıkla ve kaç saniyede giriş yaptığı, bu makinelerdeki işlem süreleri, sonrasında gerçekleştirilen pah kırma ve frezeleme işlemleriyle bu işlemlerden çıkış süreleri gibi kritik zaman aralıkları detaylı şekilde ölçülmüştür. Ayrıca, ürünün çatlak kontrol alanına geçişi, hata tespit süreçleri, paketleme aşamasına kadar olan ilerleyişi ve hatta üretim hattının taşlama gibi yeniden işleme süreçlerine girip çıkış süreleri de ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Etüt süresince yalnızca işlem süreleri değil, aynı zamanda üretim hattında meydana gelen beklemler, duruşlar, operatör müdahaleleri ve makina kaynaklı aksaklıklar da kapsamlı olarak kayıt altına alınmıştır. Bu süreçte, her bir ürünün hattı ne kadar sürede tamamladığı, üretim hattından kaç dakikada bir ürün çıktığı ve saatlik üretim miktarları detaylı biçimde gözlemlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda; üretim performansının beklenen düzeyin altında kalmasının olası nedenleri değerlendirilmiş, iyileştirme yapılması gereken alanlar belirlenmiş ve hattın genel verimliliğini artırmaya yönelik stratejiler geliştirilmiştir.

Zaman etüdü sonucunda; makine kullanım oranlarının düşüklüğü, ürün akışında meydana gelen gecikmeler, operatörlerin işlem sürelerindeki sapmalar ve planlanmamış duruşlar gibi faktörlerin üretim kapasitesini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, hat içindeki süreçlerin yeniden yapılandırılması, üretim planlamasının optimize edilmesi ve kayıp zamanların azaltılması hedeflenmiştir. Böylece, hattın teorik üretim kapasitesine ulaşması ve kaynakların daha verimli kullanılması yönünde somut adımlar atılmıştır.

Tablo 1 içerisinde sunulan veriler, farklı çap ve boy aralıklarına sahip malzemelerle yapılan zaman etüdü çalışmasına aittir. İncelenen malzemelerin çapları 24 mm ile 57 mm arasında değişmekte olup, boy uzunlukları 5913 mm ile 7598 mm aralığındadır. Ayrıca, bu malzemelerin ağırlıkları 20,98 kg ile 141,58 kg arasında farklılık göstermektedir. Bu çeşitlilik, doğrultma makinesinin performansını farklı yük ve boyut koşullarında değerlendirebilmek amacıyla özellikle tercih edilmiştir.

Çalışma kapsamında, farklı özellikteki malzemeler için doğrultma makinesinin çalışma hızı çeşitli seviyelere ayarlanarak gözlemler yapılmıştır. Bu uygulama ile iki temel amaç hedeflenmiştir: İlk olarak, makinenin farklı hızlarda çalışırken herhangi bir performans problemi yaşayıp yaşamadığı analiz edilmiştir. İkinci olarak ise, makine hızı ile işlem süreleri arasındaki ilişki incelenerek, hız değişiminin işlem süresi üzerindeki etkileri belirlenmeye

çalışılmıştır. Bu analizler sayesinde, üretim hattının optimize edilmesi ve olası darboğazların önceden tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

Zaman etüdü kapsamında süre ölçümleri dört ayrı noktada gerçekleştirilmiştir: (1) Doğrultma makinesine giriş zamanı, (2) Doğrultma makinesinden geçiş süresi, (3) Pah kırma işleminden sonraki süre ve (4) Paketlemeye geliş süresi. Bu ölçümler, sürecin her bir aşamasındaki zaman kullanımını ayrıntılı şekilde ortaya koymakta ve toplam çevrim süresi içinde hangi aşamaların ne kadar zaman aldığına dair kapsamlı bir bakış sunmaktadır. Tablo 1, hem farklı malzeme türlerinin hem de ayarlanan makine hızlarının süreler üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Böylece üretim süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi yönünde somut verilere dayalı analizler yapılabilmektedir.

Çapı 24 mm olan, 41Cr4Mod-11 kodlu ve boyu 5913 mm, ağırlığı ise 21,30 kg olan bir malzeme üzerinden yapılan zaman etüdü çalışması, sürecin çeşitli aşamalarına ait sürelerin ayrıntılı biçimde analiz edilmesine olanak sağlamıştır. Doğrultma makinesi 120 m/dk hızla çalışacak şekilde ayarlandığında, ilgili malzemenin doğrultma makinesine giriş süresi 9,6 saniye olarak ölçülmüştür. Doğrultma işlemi boyunca geçen süre 6 saniye, pah kırma işleminden sonraki süre 10,5 saniye ve paketleme istasyonuna geliş süresi ise 11 saniye olarak kaydedilmiştir. Bu veriler, söz konusu malzemenin üretim süreci boyunca geçtiği her aşamada harcanan zamanı ayrıntılı biçimde ortaya koymakta ve çevrim süresi içindeki zaman dağılımını somut biçimde gözler önüne sermektedir.

Tablo 1. Zaman Etüdü Çalışması Verileri

ÇAP(mm)	MALZEME	BOY(mm)	AĞIRLIK	HIZ(m/s)	Doğrultma Mak. Giriş	Doğrultma Geçem Süre	Pah Karma Sonrası	Paketleme geliş
24	41Cr4Mod-I1	5913	21,30	120	9,6	6	10,5	11
24	C50	6160	21,857	110	10	-	6	10,3
24	41Cr4Mod-I1	5913	20,98	120	9,42	2,84	5,44	10,42
24	41Cr4Mod-I1	5913	20,98	120	9,6	6	10,2	10,47
30	41Cr4	6064	33,619	90	11	7,3	11,5	12
32	41Cr4	6070	38,289	90	11,1	7	11,3	11,5
32	41Cr4	6092	38,427	100	10,5	7	17	17
35	16MnCrS5	6051	46,415	90	12	5,5	12,5	12,5-13
35	16MnCrS5	6051	46,415	100	10,35	5	11,3	12
35	16MnCrS5	6051	46,415	120	9,50-10,10	4,3	10,2	11
36	C40	6061	48,387	100	10,45	6,5	11	12,3
37	C40	6000	50,598	90	13	6,3	13,2	13,2
42	16MnCrS5	5948	64,632	90	11	6	12	12
45	42CrMo4	6098	76,066	80	11,5	7	12	12,2
47	C45E	6235	84,842	80	12,5	7,3	13	13,2
48	42CrMo4	6158	87,398	90	11,5	7-7,20	11,5	12
48	42CrMo4	6113	86,76	70	12,3	7	12,5	12,30-12,50
55	28Mn6	7598	141,58	80	13	9	13	13,20-13,30
57	16MnCr+HH	5944	118,96	80	11,3	7	12	12

Üretim süreçlerinde verimliliğin artırılması, yalnızca yeni yatırımlar yapmakla değil, mevcut kaynakların daha etkin kullanımıyla da mümkündür. Özellikle otomasyonun yoğun olarak kullanıldığı sıcak hadde fabrikalarında, ürün özelliklerine bağlı olarak geçiş sürelerinde önemli farklılıklar meydana gelebilmektedir. Ürünlerin çaplarına göre veya uygulanan ek işlemler—örneğin pah kırma ve frezeleme—geçiş süresinin uzamasına neden olabilmektedir. Bu durum, üretim hattındaki genel akışı doğrudan etkilemekte ve verimlilik üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, farklı çap ve kalitelerdeki çelik çubukların hattı tamamlama süreleri ölçülmüş ve sistemde yer alan tam otomasyon hattında ortaya çıkan eksiklikler ve darboğazlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu tür bir analiz, sadece sorunların tespiti açısından değil, aynı zamanda geliştirilecek çözüm önerilerinin etkili olabilmesi adına da büyük önem taşımaktadır.

Elde edilen gözlemler doğrultusunda, hattın belirli bölümlerinde performans kayıplarına yol açan bazı etkenler olduğu tespit edilmiştir. Özellikle doğrultma ünitesine besleme sırasında yaşanan gecikmeler, sonraki ürünün geçiş süresini dengelemek amacıyla sistemin kendi içinde bir telafi mekanizması oluşturmasına neden olmaktadır. Bu durum, ürün geçiş hızını 25 saniyede bir ürüne çıkaracak şekilde etkileyerek üretim verimliliğini düşürmektedir.

Bu noktada, herhangi bir maliyet oluşturmadan verimliliğin artırılabilmesi için ilk yapılması gereken, sistemdeki kayıpların tespit edilmesidir. Bu kayıpların sistematik bir şekilde belirlenmesi ve analiz edilmesi amacıyla Toplam Ekipman Etkinliği (OEE - Overall Equipment Effectiveness) yöntemi kullanılmalıdır. OEE, makinelerin kullanılabilirliğini, performansını ve kalite oranlarını dikkate alarak tek bir değer ile sistemin genel etkinliğini ortaya koyar. Bu sayede %100 verimlilikten ne oranda sapıldığı ve bu sapmanın hangi kayıplardan kaynaklandığı net bir şekilde görülebilir.

Saatlik üretim kapasitesi aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$\text{Saatlik Üretim (ton)} = (3600 / \text{DGS}) \times \text{AĞIRLIK}$$

Burada DGS, bir ürünün hatta geçiş süresini ifade ederken; AĞIRLIK, ürünün tonajını temsil etmektedir. Eğer mevcut durumda sistem %70 verimlilikle çalışıyorsa, reel üretim miktarı:

$$((3600 / \text{DGS}) \times \text{AĞIRLIK}) \times 0,7$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu değer, teorik üretim kapasitesi ile karşılaştırılarak üretim hattının etkinliği daha sağlıklı biçimde değerlendirilebilir.

Ayrıca üretici firmanın iddia ettiği üretim süresi, yani “mair süresi”, ile gerçek üretim süresi karşılaştırılarak performans sapmaları tespit edilir. Bu sapmalar, sistemin iyileştirilmesi gereken alanlarını belirlemede kritik rol oynar. Grafikselsel olarak ifade edilen bu veriler, karar alma süreçlerinde yol gösterici olacaktır.

### **3.2. Zaman Etüdü Kapsamında Üretim Hattında Tespit Edilen Sistemsel Arızalar**

Yürütölen zaman etüdü çalışması kapsamında, üretim hattında sıklıkla meydana gelen arızalar ve sistemsel aksamalar detaylı olarak gözlemlenmiş ve bu durumların üretim verimliliği üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkiler yarattığı belirlenmiştir. Aşağıda, üretim sürecinde karşılaşılan temel sorunlar ve bu sorunların üretim hattında neden olduğu kesintilere dair bulgular yer almaktadır:

#### **➤ Vinç Gecikmeleri:**

Fabrika içerisinde faaliyet gösteren vinç sayısının yetersiz olması, malzeme akışında ciddi gecikmelere yol açmaktadır. Özellikle yoğun üretim saatlerinde vinç bekleme süresi 40 ila 45 dakikaya kadar çıkmakta, bu durum üretim hattında akışkanlığı bozarak genel çevrim süresini artırmaktadır.

#### **➤ Doğrultma Makinesinde Sistemsel ve Bakımsal Aksaklıklar:**

Doğrultma makinesinde gözlemlenen sistem hataları ve yetersiz bakım uygulamaları, ekipmanın sık sık duruşa geçmesine neden olmaktadır. Bu tür arızalar, üretim sürecinin sürekliliğini bozmakta ve genel verimliliği olumsuz yönde etkilemektedir. Aynı zamanda bu durum, makine kullanım oranını düşürerek hem zaman kaybına hem de üretim maliyetlerinin artmasına yol açmaktadır.

Yapılan çalışmalar sırasında, doğrultma makinesinin farklı hız değerlerinde gösterdiği performans da analiz edilmiştir. Özellikle 80, 90 ve 100 birimlik hız seviyelerinde makine stabil bir şekilde çalışmakta, herhangi bir teknik sorun yaşanmamaktadır. Ancak, hız 110 ve 120 birim seviyelerine çıkarıldığında, makinede sistemsel problemler ve arıza eğilimleri gözlemlenmiştir. Bu durum, makinenin belirli bir hız eşliğinin üzerinde sağlıklı çalışmadığını ve mevcut sistemin bu hızlara uygun bir bakım ve yapılandırma gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Bu gözlemler, makinenin ideal çalışma aralığını belirlemek ve bakım planlamasını optimize etmek açısından önemli veriler sunmaktadır.



➤ **Hat Üzerindeki Röle Yolu Arızası:**

Üretim hattında yaşanan röle yolu arızası, otomasyon sistemi içerisindeki kontrol devrelerinin işlevini yerine getirememesine yol açmakta, bu da üretim akışında plansız duruşlara sebebiyet vermektedir

➤ **Sensör Arızaları:**

Üretim hattının farklı noktalarında görev yapan sensörlerin zaman zaman işlevini yitirmesi, ürün takibi ve otomatik yönlendirme işlemlerinde aksamalara yol açmaktadır. Bu durum, üretim hattının güvenilirliğini zayıflatmaktadır.

➤ **Doğrultma Makinesinde Pinch Rölesi Arızası:**

Malzemenin ilerletilmesini sağlayan pinch rölesinin işlevini yerine getirememesi, ürünün sonraki işlem istasyonlarına iletilmesini engellemekte ve hattın durmasına neden olmaktadır.

➤ **Çıkış Kapan Arızası:**

Ürün çıkış noktasında meydana gelen kapan arızası, paketleme ve sevkiyat sürecinde beklemelere yol açmakta, bu da üretim hattının genel çevrim süresini uzatmaktadır.

➤ **Paketleme Tramvayı Arızası:**

Paketleme bölümünde kullanılan tramvayın arızalanması, nihai ürünlerin sevkiyata hazır hale getirilmesinde gecikmelere neden olmakta ve üretim hattı üzerinde birikmelere yol açmaktadır.

➤ **Foerster Ölçüm Cihazında Çap Arızası:**

Ürünlerin kalite kontrol sürecinde kullanılan Foerster cihazında tespit edilen çap okuma arızaları, ürün geçişlerini durdurmakta ve hat boyunca kalite kontrol kesintilerine neden olmaktadır.

### **3.3. Üretim Hattında Tespit Edilen Sorunlara Yönelik Çözüm Önerileri**

#### **Vinç Gecikmeleri:**

Üretim hattında yaşanan vinç kaynaklı gecikmeleri minimize etmek için, vinç sayısının artırılması veya mevcut vincin görev döngüsünün yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Alternatif olarak, belirli saatlerde yoğunluk analizine dayalı vinç kullanım planlaması yapılmalı; önceliklendirme algoritması ile taşıma sırası sistematikleştirilmelidir. Ayrıca, otomatik yönlendirme sistemleri ile vinçlerin kullanım verimliliği artırılabilir.

### ✓ **Doğrultma Makinesinde Sistemsel ve Bakımsal Aksaklıklar:**

Doğrultma makinesinde yaşanan sistem ve bakım kaynaklı duruşların önüne geçmek adına, makineye özel bir önleyici bakım programı uygulanmalıdır. Bakım periyotlarının sistemsel izleme ve arıza kayıtları doğrultusunda belirlenmesi, oluşabilecek problemleri önceden öngörerek üretim sürekliliğini artıracaktır. Bunun yanı sıra, yazılım güncellemeleri düzenli olarak yapılmalı ve operatörlerin eğitimiyle kullanıcı hataları en aza indirilmelidir. Ayrıca, hız artışına bağlı olarak ortaya çıkan sistemsel sorunların çözümü için yurt dışındaki makine üreticisi firma ile iletişime geçilmiş ve teknik bir değerlendirme toplantısı gerçekleştirilmiştir. Bu toplantı sonucunda, mevcut problemin kaynağına yönelik teknik destek alınması kararlaştırılmıştır. Böylece makinenin yüksek hızlarda da sorunsuz çalışabilmesi için gerekli sistemsel iyileştirmelerin yapılması hedeflenmektedir.

### ✓ **Hat Üzerindeki Röle Yolu Arızası:**

Röle yolunda oluşan arızaların giderilmesi için, elektriksel sistemlerde termal kamera kontrolleri ve periyodik izolasyon testleri uygulanmalıdır. Aynı zamanda, hat üzerindeki kablolama sisteminin yeniden gözden geçirilmesi ve yedek devre sistemlerinin kurulmasıyla bu tür arızaların üretimi durdurmasının önüne geçilebilir.

### ✓ **Sensör Arızaları:**

Sensör sistemlerinde meydana gelen arızaların önüne geçmek için, üretim hattındaki tüm sensörlerin kalibrasyon periyotları sıklaştırılmalı ve sensörler için çiftli yedekleme sistemleri oluşturulmalıdır. Ayrıca, sensör arızalarının erken tespiti için sistemin yapay zekâ tabanlı hata tanıma modülleriyle desteklenmesi önerilir.

### ✓ **Doğrultma Makinesinde Pinch Rölesi Arızası:**

Pinch rölesi gibi hareketli parçaların arıza riskini azaltmak adına, bu bileşenlerin yağlama ve temizlik döngüleri otomatikleştirilmeli, görev çevrimlerine ilişkin mekanik stres analizleri yapılmalıdır. Gerekirse daha dayanıklı ve yeni nesil röle teknolojilerine geçiş yapılabilir.

### ✓ **Çıkış Kapan Arızası:**

Çıkış kapanında meydana gelen arızaların çözümüne yönelik olarak, mekanik hassasiyet ölçümleri artırılmalı ve sistem üzerine durum izleme sensörleri yerleştirilmelidir. Böylece kapanın konum ve tepki süresi anlık olarak izlenebilir ve olası sapsmalar erkenden tespit edilebilir.

#### ✓ **Paketleme Tramvayı Arızası:**

Paketleme tramvayında gözlemlenen arızalar için sistematik bir kestirimci bakım modeli geliştirilmelidir. Bu model, tramvayın hareket düzenini, hızını ve titreşim düzeylerini sürekli izleyerek arıza riski olan durumları önceden belirler. Ek olarak, tramvay raylarının ve sürücü motorlarının ömrü düzenli testlerle analiz edilmelidir.

#### ✓ **Foerster Ölçüm Cihazında Çap Arızası:**

Kalite kontrol sürecinde yaşanan çap arızalarının önüne geçebilmek için, Foerster cihazının kalibrasyon işlemleri üretim başı değil, vardiya bazında yapılmalıdır. Ayrıca, cihaz üzerinde kullanılan sensörlerin marka-model uyumu kontrol edilmeli ve gerekirse üretici firma ile teknik destek anlaşması sağlanmalıdır. Yazılımsal güncellemeler ve algoritmik düzeltmelerle ölçüm hassasiyeti artırılabilir.

### **4. Sonuç**

Bu çalışma, yeni kurulan bir üretim hattında zaman etüdü yönteminin uygulanabilirliğini ve verimlilik iyileştirme potansiyelini incelemiştir. Saha gözlemleri ve sistematik ölçümlerle, teorik ve fiili üretim performansı arasındaki farklar analiz edilmiştir. Zaman etüdü, işlem sürelerini belirlemenin yanı sıra, gecikmeler, duruşlar ve iş gücü verimsizlikleri gibi sorunları da somutlaştırmıştır. Elde edilen veriler, üretim hattındaki vinç gecikmeleri, doğrultma makinesi arızaları, sensör ve röle sistemi hataları gibi sistemsel aksaklıkların zaman ve maliyet kayıplarına neden olduğunu ortaya koymuştur. Operatör müdahaleleri, plansız bakımlar ve senkronizasyon eksiklikleri gibi insan ve süreç kaynaklı etkenler de genel verimliliği olumsuz etkilemektedir. Bu unsurların etkileri sadece nicel değil, aynı zamanda kalite, teslim süresi ve müşteri memnuniyeti gibi kritik performans göstergeleri açısından da değerlendirilmiştir.

Zaman etüdü sayesinde performans düşüklüğüne yol açan faktörler tespit edilmiş ve iyileştirme alanları belirlenmiştir. Önerilen çözüm stratejileri arasında kestirimci ve önleyici bakım, operatör eğitimlerinin güçlendirilmesi ve otomasyon sistemlerinin kalibrasyon ve yedekleme sistemleriyle desteklenmesi bulunmaktadır. Ayrıca, Toplam Ekipman Etkinliği (OEE) gibi nicel yöntemlerle üretim planlamasının desteklenmesi, kayıpların izlenmesini ve sürekli iyileştirme döngüsünü kolaylaştıracaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma zaman etüdünün yalnızca bir süre ölçüm aracı olmadığını, aynı zamanda üretim sistemlerinin bütünsel performansını değerlendirme ve geliştirme potansiyeli taşıyan stratejik bir analiz yöntemi

olduğunu göstermiştir. Kayıpların azaltılması, darboğazların giderilmesi ve iş gücünün etkin kullanımıyla, mevcut sistemin düşük maliyetle daha yüksek verimle çalışması mümkün hale gelebilecektir. Bu bağlamda, zaman etüdü hem operasyonel hem de yönetsel düzeyde değer yaratan bir karar destek mekanizması olarak değerlendirilmelidir.

Bu çalışma, zaman etüdünün sadece işlem sürelerinin ölçülmesiyle sınırlı kalmayıp, üretim süreçlerindeki sistemsel ve yapısal problemlerin görünür kılınmasında da etkili bir analiz yöntemi olduğunu ortaya koyarak alandaki önemli bir boşluğu doldurmuştur. Gelecekteki çalışmalar için, üretim hattındaki enerji tüketimi, çevresel etkiler veya çalışan ergonomisi gibi ek performans göstergelerinin çok kriterli karar verme (MCDM) teknikleri ile ele alınması önerilmektedir. Ayrıca, zaman etüdü verilerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve analizine yönelik yapay zekâ tabanlı sistemlerin entegrasyonu da önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Bu tür uygulamalar, kestirimci bakım stratejilerinin daha etkin bir biçimde kurgulanmasına zemin hazırlayacaktır. Gelecekte, farklı sektörlerdeki üretim sistemleri üzerinde dijitalleşme, Endüstri 4.0 bileşenleri ve yapay zekâ destekli analizlerle yapılacak çalışmaların, alana daha derinlemesine katkı sağlayacağı ve literatürdeki boşlukları kapatacağı öngörülmektedir.

## Kaynakça

- Bezen, M. (2007). İş etüdü ve verimlilik ilişkisi üzerine bir değerlendirme. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 18(2), 55–62.
- Timur, S. (1984). İş ölçüm tekniklerinin üretim verimliliğine etkisi. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası*, 39(1), 113–124.
- Groover, M. P. (2015). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (4th ed.). Pearson Education.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management* (13th ed.). Pearson.
- Maynard, H. B., Stegemerten, G. J., & Schwab, J. L. (2001). *Methods-time measurement (MTM): Industrial engineering handbook*. McGraw-Hill.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Methods, standards, and work design* (12th ed.). McGraw-Hill Education.
- Stevenson, W. J. (2020). *Operations management* (14th ed.). McGraw-Hill Education.
- Shtub, A., & Rosenwein, M. (2017). *Production and operations management*. Springer.
- Yıldız, C. (2013). İş ölçümü ve verimlilik ilişkisi üzerine bir değerlendirme. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 24(3), 179–188.
- Yücel, M., & Dilik, T. (2021). Zaman etüdü uygulaması ile üretim sürecinin değerlendirilmesi: Ahşap kent mobilyası üretimi yapan bir işletme örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(4), 1275–1290.
- Güzel, M. S. (2011). *Hazır giyim sektöründe yalın üretim uygulamaları: Zaman etüdü ve hat dengeleme yaklaşımlarıyla bir model önerisi* (Yayımlanmamış doktora tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chousein, A., & Aslan, Ş. (2020). Hemşirelerin iş akışlarının zaman etüdü yöntemiyle analizi: Bir devlet hastanesinde uygulama. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 23(1), 103–118.
- Dünder, M., & Gökçen, H. (2005). *Zaman etüdü uygulaması ile üretim hattının iyileştirilmesi: TEMSA örneği*. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 16(1), 2–10.
- Güzel, E. (2011). *Hazır giyim sektöründe yalın üretime geçiş süreci ve bir uygulama* (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Meyers, F. E., & Stewart, J. R. (2002). *Motion and Time Study for Lean Manufacturing*. Prentice Hall.
- Öztürk, O. (2013). *İş Etüdü Uygulamalarının İşletme Performansına Etkisi*. İşletme Fakültesi Dergisi, 12(2), 245–258.

