

ÜRETİM SİSTEMLERİNDE BİR SİMÜLASYON UYGULAMASI

Geliş Tarihi: 09.11.2019

Dr. Öğr. Üyesi Özlem ERGÜT¹

Kabul Tarihi: 26.12.2019

Makale Türü: Alan Araştırması

Özet

Yaratmak, meydana getirmek olarak tanımlanan üretim kavramına ekonomik açıdan bakıldığında üretim, birçok işlem ya da fonksiyonun bir araya gelmesiyle meydana gelmektedir. İşletme sistemi içerisinde yer alan üretim sistemi gerekli kaynakların kullanılarak bir süreç sonucunda bu girdilerin mal veya hizmet olarak çıktıya dönüştürülmesi sürecidir.

Simülasyon, sistemin genel işleyişinden üretim sürecinin geliştirilmesine, performans tahminlerinin yapılmasından yapılacak değişikliklerin sistem üzerindeki etkisinin belirlenmesine kadar pek çok aşamada, üretim sistemlerinin analizinde sıklıkla kullanılan bir araçtır. Üretim sistemlerinde simülasyon, sistem gereksinimlerin saptanması, çözümlerin belirlenmesi kısaca belirlenen amaçlara uygun çözümlerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada anahtar göbeği üretimi yapan bir firmanın üretim sistemi incelenerek, üretim sisteminin mevcut durumu için bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Böylece sistemin nasıl işlediği, hangi durum ve noktalarda etkinliğin nasıl değiştiği saptanmıştır. Aynı zamanda yapılan bu çalışma ile, mevcut simülasyon programlarından biri olan Enterprise Dynmics'in işlevselliği ve bu tür araçların daha da geliştirilmesi için gereken ihtiyaç vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üretim Sistemi, Simülasyon, Üretim Hattı.

Jel Kodları: C15, C63.

A SIMULATION APPLICATION IN PRODUCTION SYSTEMS

Abstract

From an economic point of view, the concept of production, which is defined as creating, is the combination of many processes or functions. The production system within the operating system is the process of converting these inputs into output as goods or services as a result of a process by using the necessary resources.

Simulation is a widely used tool in the design and analysis of production systems in many stages, from the general operation of the system to the development of the production process, from the performance estimations to the determination of the impact of the changes on the system. In this study, the production system of a firm producing key hub is examined and a simulation study is performed for the current state of the production system. Thus, it was determined how the system works and in which situations and points the effectiveness changes. At the same time, this study emphasizes the functionality of Enterprise Dynmics, one of the existing simulation programs, and the need for further development of these such tools.

Keywords: Production System, Simulation, Production Line.

Jel Codes: C15, C63.

¹ Marmara Üniversitesi, İktisat Fakültesi, Ekonometri Bölümü, ozlem.ergut@marmara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-4076-8343

1.GİRİŞ

Üretim, doğal kaynaklar, malzeme, para, işgücü, enerji, bilgi birikimi gibi birtakım girdilerin belirli bir dönüştürme süreciyle istenilen miktar, kalite, zaman ve yerde mal veya hizmet haline dönüştürülerek işletme amaçlarının en uygun biçimde karşılanması faaliyetlerini kapsamaktadır. Üretim sistemi ise işletmelerin belirlenen amaçlarına ulaşabilmeleri için sistem içinden ve dışından sağlanan girdilerin en uygun bileşeninin bulunarak fiziksel bir çıktıya dönüştürülmesi süreci olarak tanımlanmaktadır (Uslu, 2017, s. 247).

Yoğun rekabet ortamında işletmelerin yaşamlarını sürdürebilmesi, değişen müşteri ihtiyaçlarını karşılayarak rekabet üstünlüğü elde edebilmeleri için sürekli olarak gelişmeleri, esnek ve hızlı biçimde değişimlere adapte olabilmeleri gerekmektedir. Gerçek sistem üzerinde denemeler yapmak oldukça zordur. Üretim sistemlerinin stokastik sistemler olması, karmaşık ve otomatik olması üretim sistemlerinin analizinde simülasyonu zorunlu kılar (Üner vd., 2005, s. 52). Simülasyon yardımıyla farklı senaryolar üzerinden denemeler yapmak mümkün olmaktadır.

Simülasyon, bir sistemin modelinin tasarlanması ile sistemin davranışını anlamak veya sistemin işleme için çeşitli stratejileri değerlendirmek amacıyla bu model ile deneyler yapılması sürecidir (Shannon, 1975, s. 9). Simülasyon ile yapılması planlanan değişikliklerin modelleri oluşturulup, sistemin mümkün davranışları hakkında fikir sahibi olunabilmektedir.

Üretim sistemlerde simülasyonun kullanılmasının sebebi, sistemi birçok yönden analiz edebilmesi, böylelikle gerçek üretimin maliyetli ve riskli bir şekilde uygulanmasından kaçınılması, üretim sistemi bileşenlerinin hangi kombinasyonlarının mevcut ve stratejik işletme ihtiyaçlarına dinamik olarak uyacağına belirlenebilmesidir (Li ve Shurrab, s. 4).

Simülasyon üretim sistemlerinde, makine ve personel ihtiyacının belirlenmesi, gereksinimlerin saptanması, performans değerlendirmesi ve verimlilik analizi, sistem için zaman analizi, üretim planlaması gibi pek çok alanda uygulama alanına sahiptir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür incelendiğinde üretim sistemlerinin simülasyonunu ele alan çalışmalar aşağıda özetlendiği gibidir.

Bodner ve McGinnis (2002), gerçekleştirdikleri çalışmada nesne yönelimli simülasyon yaklaşımlarının geliştirilmesinde kullanılan bir süreci ele alıp, yarı iletken üretimde bir çalışmada bunu göstermişlerdir.

Hernandez vd. (2005), mevcut topolojide petrol ve gaz üretiminin hesaplaması için bir simülasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada üretim sistemlerinin simülasyonu ve optimizasyonu için yenilikçi bir model önerilmiş, WellNet adlı bir prototip kullanılarak farklı stratejilerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Uner, Özkale, Aladağ, Yazgan (2005), akış tipi bir üretim sisteminde forkliftler yerine otomatik konveyör sistemleriyle tek yönlü, operatörsüz taşıma yapabilen bir sisteme geçişi simülasyonla analiz etmiş, performans kriterlerine göre alternatif modellerin istatistiksel yöntemlerle karşılaştırmasını yapmışlardır.

Kurşun ve Kalaoğlu (2009), hazır giyim imalatının emek yoğun yapısına odaklanmak için bir kazak dikiş hattı için bir simülasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen simülasyon çalışması ile üretim hattındaki darboğazlar belirlenmiş ve darboğazları ortadan

kaldırmak ve üreticilere karar alternatifleri önermek için çeşitli senaryo analizleri ile olası senaryoları denemişlerdir.

Kulak, Polat ve Şahin (2009), mermer üretimi gerçekleştiren bir üretim sisteminde değer akışı haritalandırma yöntemi ile simülasyon yöntemini belirli kriterler dikkate alarak karşılaştırmıştır. Her iki yöntemin sonuçlarını karşılaştırdıklarında simülasyon sonuçlarının daha güvenilir olduğunu tespit etmişlerdir.

Solding, Petku ve Mardan (2009), gerçekleştirdikleri araştırmada, ayırık olay simülasyonu kullanarak üretim tesislerindeki enerji sistemlerde verimliliği arttırmak için geliştirilen metodolojilere odaklanmış, İsveç döküm endüstrisinde yürütülen dört vaka çalışmasının sonuçlarını açıklamışlardır. Böylelikle önemli olan süreçleri, gerçekleştirilmesi gereken faaliyetleri ve yapılabilecek analiz türlerini belirleyerek verimliliği arttırılmasına yönelik fikirler sunmuşlardır.

Çörekçioğlu ve Sezen (2011), gerçekleştirdikleri çalışmada bir otomotiv yan sanayi işletmesinin sac üretim sistemini modellenmişlerdir. Mevcut olan durumla ve diğer olabilecek sistemler arasındaki farkları karşılaştırarak bulguları karşılıklı olarak yorumlamışlardır.

Azab ve AlGeddawy (2012), mevcut simülasyon metodolojilerinin üretim sistemlerinin değişken doğasını ve simülasyon sırasındaki model parametrelerindeki değişimi desteklemediği düşüncesinden hareketle simülasyon modelleri ve üretim sistemlerinde kullanılan yöntemleri, değişken üretim sistemlerine uygunlukları açısından değerlendirmişler, sonuç olarak gelecekteki zorluklar ve gereksinimleri vurgulamışlardır.

Mourtzis, Doukas ve Psarommatis (2012), kişiselleştirilmiş ürünlerin üretimine odaklanan üretim ağlarının tasarımı için bir yöntem sunmuşlardır. Bir program yardımıyla uygulanan yöntem ile, imalat ağı alternatif konfigürasyonlarının üretilmesi ve değerlendirilmesi için bir mekanizma oluşturulmuştur.

Afazov (2013), üretim süreci zincirlerinin modellenmesi ve simülasyonunun, üretim süreçlerinin neden olduğu kusurları azaltmak ve üretim sırasında bileşenlerin ömrünü uzatmak için önemli olduğu görüşünden hareketle, aero-motor gaz türbini bileşenleri için yaşam temelli bir metodoloji önermiştir. Yeni bir yazılım sunarak, bileşenlerin ömrünü tahmin etmek için nihai kalıntı gerilme durumunun ve çarpıklıklarının tahmin edildiği üç üretim süreci zincirini simüle etmiş, gelecekte bu sahadaki zorlukları vurgulamıştır.

Thiede, Seow, Andersson ve Johansson (2013), enerji ve kaynakların verimli kullanımının imalatçı firmalar için önemli olduğu düşüncesinden hareketle, üretim sistemi simülasyonunun, bu gibi sorunlarla başa çıkmada umut verici olduğunu savundukları çalışmalarında aynı zamanda simülasyonu geleneksel hedef boyutları ile ele alıp incelemişlerdir. Daha fazla gelişme için farklı fikirler sunmuşlardır.

Mourtzis, Papakostas, Mavrikios, Makris ve Alexopoulos (2015), dijital üretim teknolojilerinin, bir ürünün geliştirme süresinin ve maliyetinin azaltılmasının önemli bir parçası olarak görüldüğü ve simülasyon tabanlı teknolojilerin, farklı ürün, süreç ve üretim sistemi konfigürasyonlarının denenmesine olanak sağladığından hareketle, bir dizi farklı teknolojik ve üretim alanında simülasyon tabanlı uygulamaları araştırmışlardır. Çalışmada mevcut endüstriyel uygulamaların tartışılmasının yanısıra ürün ve üretim süreci tasarımı alanlarında ve aynı zamanda kurumsal kaynak planlaması alanında bir dizi simülasyon tabanlı çözümleride araştırmışlardır.

Back, Lee, Shin, Woo (2016), çalışmalarında tersane simülasyonu modellemesi için yinelemeli simülasyon modelleme prosedürünü analiz ederek tanımlamışlardır. Geliştirilen

sistemin etkinliği, simülasyon modeli ile uygulanarak bakılmış, önerilen sistemin modelleme süresini önemli ölçüde azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Bağ ve Aslan (2016), bir tekstil fabrikasının üretim sisteminin mevcut durumu görmek için simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Bu amaçla iki adet alternative senaryo geliştirip sonuçları karşılıklı olarak analiz etmişlerdir.

Park, Ham ve Lee (2016), gemi üretiminde yeni üretim prosdürleri ile riskleri önceden değerlendirmek için yeni bir simülasyon sistemi (simson) geliştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarını, gerçek durum sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak simülasyon sonuçlarının gerçek durumla uyumlu olduğunu, geliştirdikleri simülasyon sisteminin üretim planlama simülasyonuna uygulanmasında uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Mourtzis (2019), gerçekleştirdiği çalışmada imalat sistemleri simülasyon teknolojilerinin önemli tarihsel dönüm noktalarını araştırmış ve imalatın kilit alanlarında son sanayi ve araştırma yaklaşımlarını ortaya koymuştur. 4. Sanayi Devrimi bağlamında, imalatın dijitalleşmesine yönelik imalat sistemlerinin tasarımında ve işletiminde simülasyonun nasıl şekillendirildiğini ve literatürde ortaya çıkan yeni yaklaşımları incelemiştir.

3. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bu çalışmada İstanbul'da faaliyet gösteren anahtar göbeği üretimi yapan bir firmanın üretim sistemi incelenerek, üretim sisteminin mevcut durumu, üretim miktarı ve kapasite kullanım oranları için bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Böylece sistemin nasıl işlediği, hangi durum ve noktalarda etkinliğin nasıl değiştirdiği gözlemlenebilmiştir. Simülasyon çalışması için Enterprice Dynamics programından yararlanılmıştır.

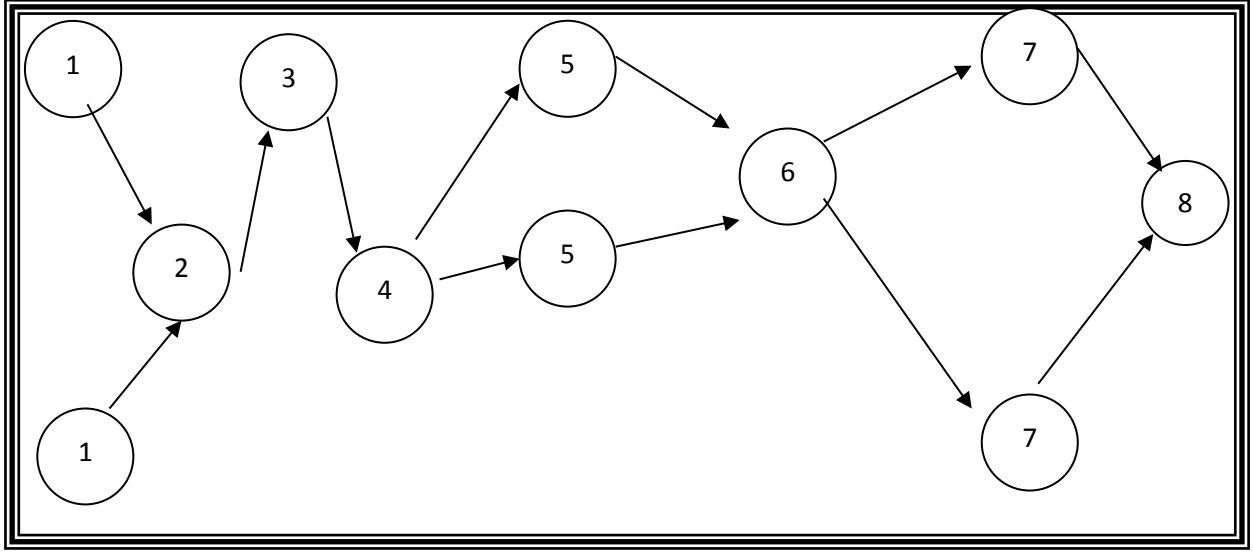
Firmalar için yeniliklerin takip edilip, üretim sistemlerinin incelenmesi, olabilecek tüm değişikliklerin sürekli araştırılması büyük önem arz etmektedir. Bu keşif ve değerlendirme süreci sürekli olduğundan, farklı koşullar altında sonucun nasıl değişeceğini gözlemlmek için simülasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada yapılan simülasyon çalışması ile amaçlanan sistemin genel işleyişi ve yapılabilecek alternatif değişiklikler sonrasındaki gelişim izlenerek, firmanın stratejilerini belirlemesi ve karar almasında yol gösterici olmaktır. Aynı zamanda yapılan bu çalışma ile, mevcut simülasyon programlarından biri olan Enterprise Dynmics'in işlevselliği ve bu tür araçların daha da geliştirilmesi için gereken ihtiyaç vurgulanmıştır. Simülasyon çalışması ile firmada hem mevcut sistemin gerçekte nasıl işlediğinin anlaşılmasına katkıda bulunulmuş, hem de geliştirilen senaryolar ile analizler yapılmıştır.

Çalışmada öncelikli olarak işletmedeki hat boyunca detaylı iş zaman etüdü yapılmış, model mevcut şartlar altında kayıtlar tutulup incelenerek toplanılan işlem sürelerinin bağımsızlığı kontrol edilmiştir. İşlem sürelerinin bağımsızlığını kontrol etmek için serpilme diyagramı çizdirilmiş ve Run testi uygulanmıştır.

Daha sonraki aşmada toplanan verinin ilgili teorik dağılıma uygunluğu araştırılmıştır. Her bir işlemde elde edilen verilerin hangi dağılıma uygun olduğunu belirleyebilmek amacıyla Stat::fit programından yararlanılmıştır. Program yardımıyla ilk önce veriler için beklenen dağılım belirlenmiş, daha sonraki aşmada ise Kolmogorov-Smirnov testi ile bulunan dağılımın uygun dağılım olup olmadığı ortaya konulmuştur.

4. ANALİZ VE BULGULAR

Analizlere geçilmeden önce çalışılan üretim sistemi ile ilgili bilgi verilecek olunursa ürünün üretimi belli bir iş sırasına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Şekil 1'de ürünün üretilmesi için gerekli olan akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 1: Akış şeması

Hattı analiz edebilmek için öncelikle iş zaman etüdü hat boyunca gerçekleştirilerek işin adı, makine numarası, operasyon sırası, işlem süresi gibi bilgiler elde edilmiştir.

İşlem numarası ve işlemin adı aşağıda yer alan Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1: İşlem numarası ve işlemin adı

İşlem Numarası	İşlemin Adı	İşlem Numarası	İşlemin Adı
<i>1A</i>	Pimleme	<i>5A-5B</i>	Rulman, Göbek
<i>1B</i>	Pimleme	<i>6</i>	Göbek yayı
<i>2</i>	Presleme	<i>7A</i>	Üst kapak vidalama
<i>3</i>	Fişe	<i>7B</i>	Üst kapak vidalama
<i>4</i>	Mandal	<i>8</i>	Çıkış

Hat boyunca işlem süresini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Malzemenin özelliği, çevre şartları, makinenin bazı özellikleri bunlar arasında gösterilebilir. Bu sebeple, bir işlemin gerçek işlem süresini yakalayabilmek için, her bir işe ait 30 ölçüm alınmıştır. Öncelikle veriler için bağımsızlık testi yapılmış ve aşağıda yer alan Tablo 2’de bulunan kuyruk olasılığı değerleri verilmiştir.

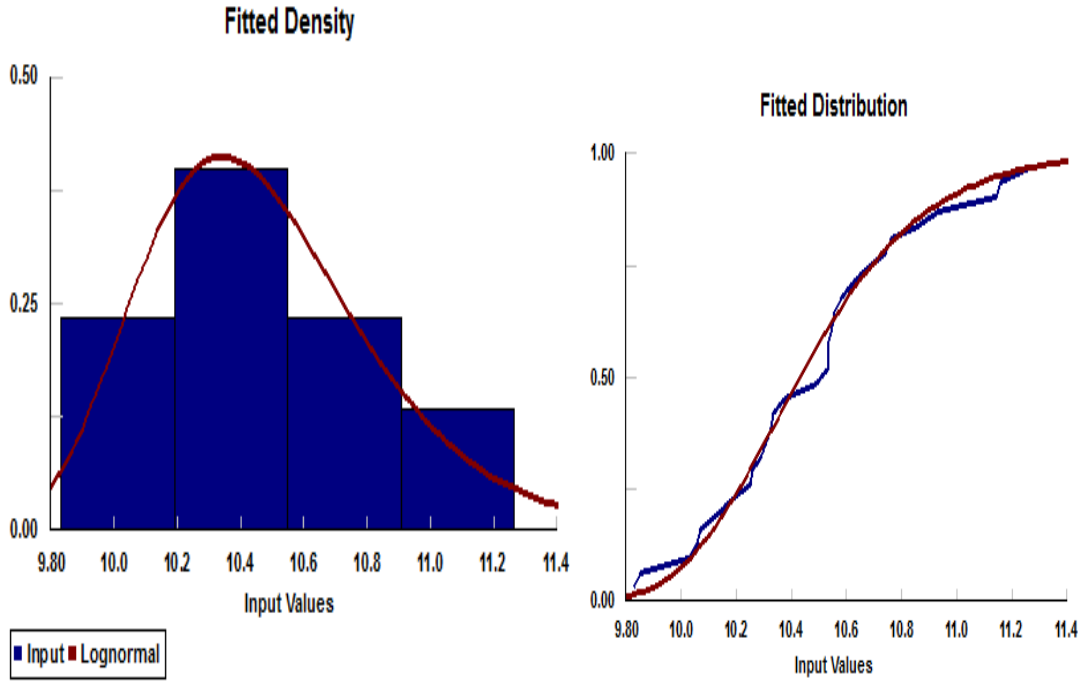
Tablo 2: Her işlem için bağımsızlık testi sonuçları

İşlem Numarası	Prob.	İşlem Numarası	Prob.
<i>1A</i>	0.233557	<i>5A</i>	0.765847
<i>1B</i>	0.764850	<i>5B</i>	0.179372
<i>2</i>	0.067	<i>6</i>	0.765847
<i>3</i>	0.297254	<i>7A</i>	0.877225
<i>4</i>	0.233557	<i>7B</i>	0.765847

Her bir işlem adımı için yapılan testler sonucunda ölçümlerin birbirinden bağımsız olduğu sonucuna ulaşılmıştır (prob.>0,05).

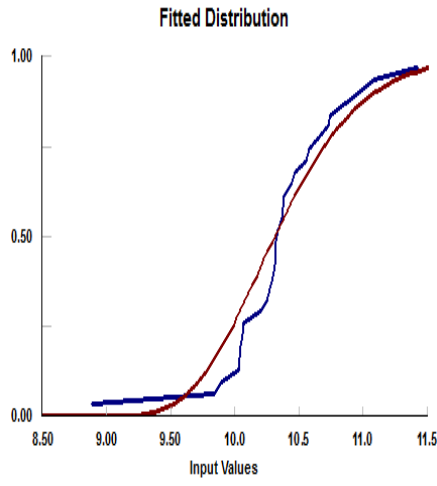
Hatta yer alan her bir işlem için bulunan verilerin uyduğu dağılımı belirleyebilmek amacıyla Stat::Fit programından yararlanılmıştır. Her bir işlem için elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

1A numaralı işlem olan pimlemeye ait işlem süresinin histogramı Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde bu işlem için beklenen dağılımlar lognormal, uniform ve üstel dağılım olarak bulunmuştur. Uygun olan dağılımlardan hangisine uyduğunu belirleyebilmek amacıyla Kolmogorov Smirnov testi uygulanmıştır. %5 anlam düzeyinde yapılan test sonucunda uygun dağılımın lognormal (p-değeri: 0,833) dağılım olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

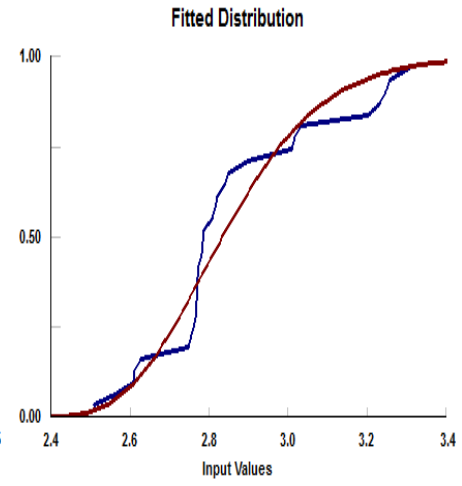


Şekil 2: 1A işlemi için histogram ve Uygun dağılım grafiği

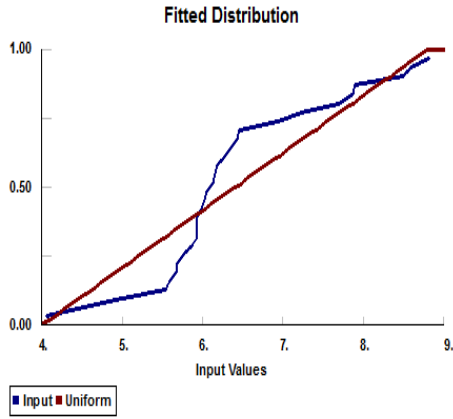
Bundan sonraki her bir işlem için yapılan Kolmogorov Smirnov testi sonucunda bulunan uygun dağılımların şekilleri aşağıda yer alan Şekil 3’de verilmiştir.



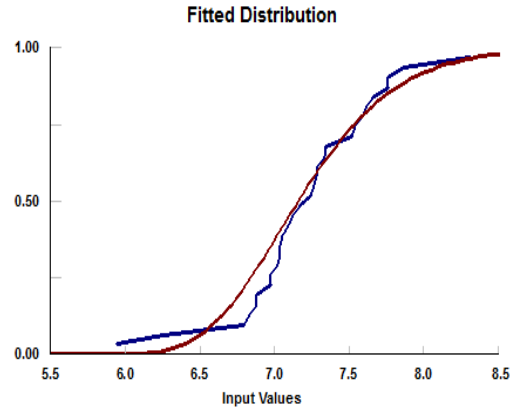
İşlem 1B için uygun dağılım



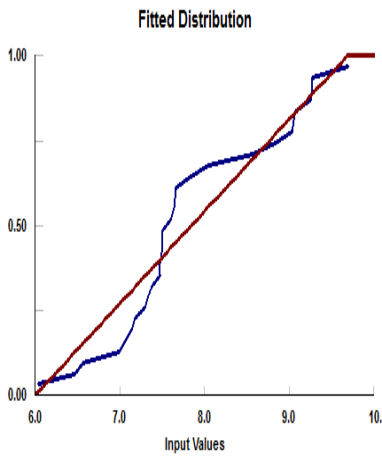
İşlem 2 için uygun dağılım



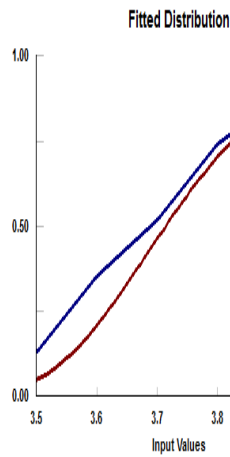
İşlem 5A için uygun dağılım



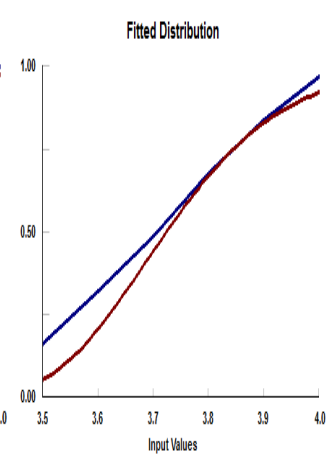
İşlem 5B için uygun dağılım



İşlem 6 için uygun dağılım



İşlem 7A için uygun dağılım



İşlem 7B için uygun dağılım

Şekil 3: İşlem 1B-7B için uygun bulunan dağılımlar

İşlemlere ait bulunan uygun dağılımlar aşağıdaki tablo yardımıyla özetlenmiştir.

Tablo 3: İşlemlere ait bulunan uygun dağılımlar

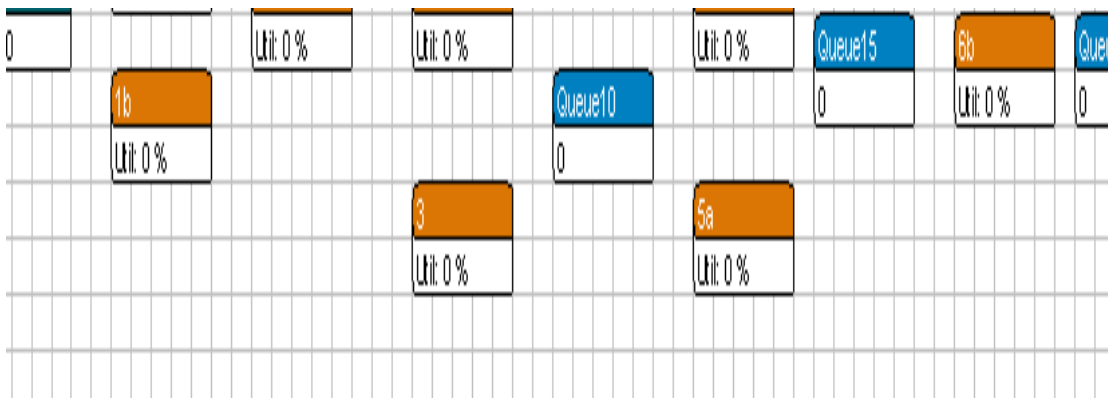
İşlem No	Uygun Dağılım	İşlem No	Uygun Dağılım
1A	Lognormal(0.358, 0.249)	5A	Uniform(4., 8.81)
1B	Lognormal(8., 0.837, 0.228)	5B	Lognormal(5., 0.769, 0.236)
2	Lognormal(2., -0.182, 0.238)	6	Uniform(6., 9.69)
3	Lognormal(1., 0.183, 0.251)	7A	Lognormal(3., -0.337, 0.213)
4	Lognormal(1., 0.233, 0.168)	7B	Lognormal(3., -0.322, 0.23)

Gerçek sistemi analiz etmek ve modeli oluşturmak için bazı varsayımlar göz önünde bulundurularak simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bunlar:

- Sistem günde 8 saat çalışmaktadır.
- Her bir makinede tek bir işçi bulunmaktadır.
- Sistemdeki gecikme zamanları (makine bozulmaları, aparat değişimi) dikkate alınmamıştır.
- Hammaddenin sınırsız olduğu varsayılmıştır.
- Sistemde işçilerin kişisel ihtiyaçları dikkate alınmamıştır.
- Sistemde enerji problemi yoktur.

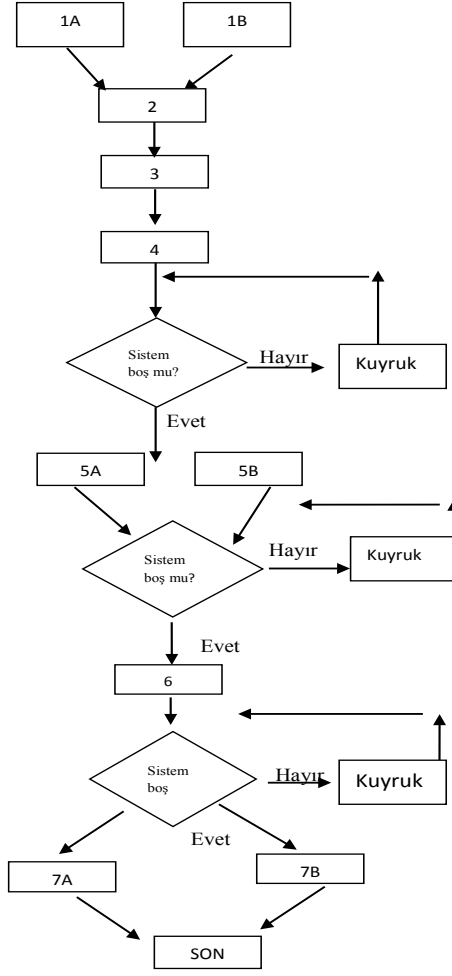
Makinenin kullanım kapasitesi, işlerin bekleme süresi, ortalama işlem sayısı, ortalama sistem çıktısı, kuyrukta bekleyen iş sayısı, çıktı miktarı gibi değerler sistemin değişkenlerini oluşturmaktadır. Sistemi analiz etmek için belirlenen performans ölçüleri; günlük ortalama bitirilen iş sayısı, günlük kuyrukta ortalama bekleme süresi ve kuyrukta bekleyen ortalama iş sayısıdır.

Sistem modellenmesi kısmında çizilen şematik model Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4: Şematik model

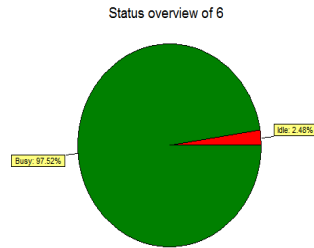
Örnek için çizilen basitleştirilmiş bir akış şeması aşağıda yer almaktadır.



Şekil 5: Üretim sisteminin akış şeması

Sistemin kısıtlarından birisi sistemin 8 saat çalışmasıdır. Simülasyon çalışmasında işleyişi görmek adına ilk önce sistem 1 kere 8 saatlik zaman dilimi için çalıştırılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

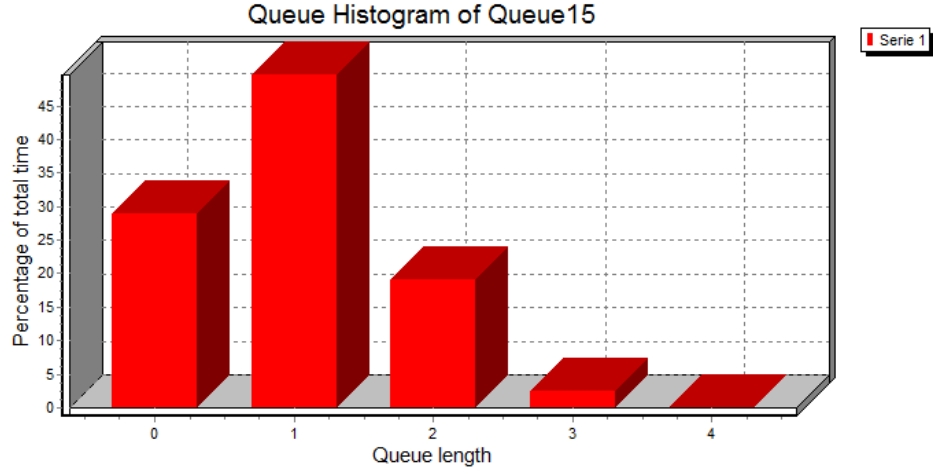
Enterprise Dynamics Programının Results bölümünde yer alan durum monitörü yardımıyla (StatusMonitor) istenilen atomun güncel mevcut durumunu ve atomun boş, dolu ve engelli olduğu zaman dilimleri de görülmektedir. Örneğin 6B atomu için 8 saatlik bir çalışma süresi sonunda elde edilen sonuç aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6: 6 numaralı işlem için durum pasta grafiği

Şekil 6’da 8 saatlik simülasyon sonucunda 6 numaralı işlemcinin mevcut durumunu göstermektedir. Buna göre çalışma süresi içerisinde sistemin %97.52’nin dolu, %2.48’nin ise boş olduğu görülmektedir.

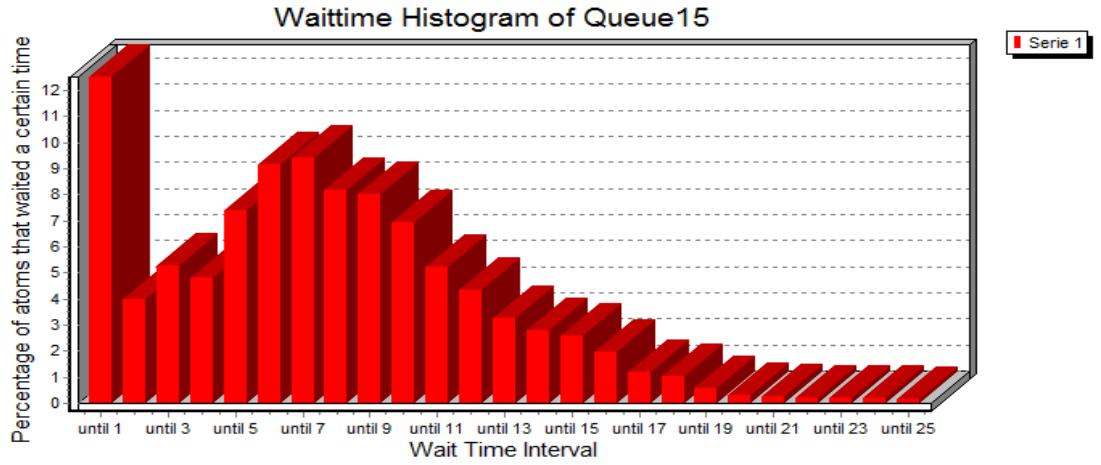
15 numaralı Kuyruk için 0-4 saat aralığındaki farklı kuyruk uzunlukları için oluşturulan histogram aşağıdaki gösterilmiştir.



Şekil 7: Kuyruk uzunluğu

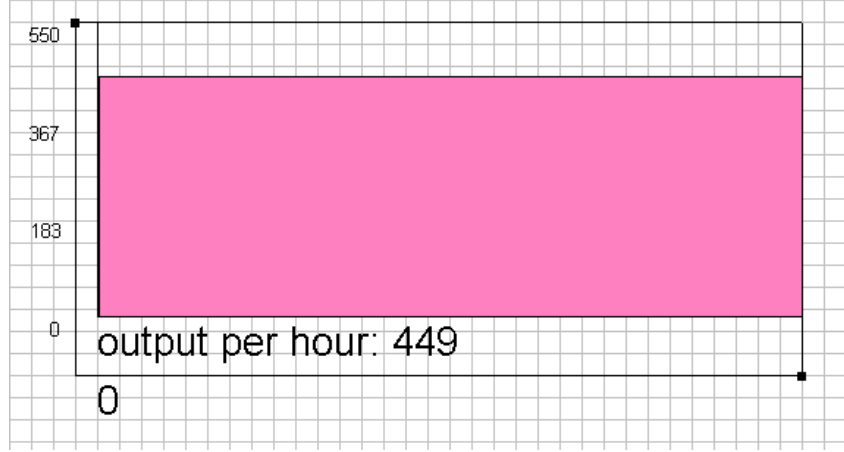
Şekil 7’de 8 saatlik çalışma süresi içerisinde 15 numaralı kuyrukta her bir kuyruk uzunluğunda geçen zaman yüzdesini görmek mümkündür.

Aşağıda yer alan Şekil 8, 15 numaralı kuyrukta bekleyen ürünün bekleme süresini göstermektedir.



Şekil 8: Bekleme süresi

Aynı zamanda monitör atomu yardımıyla saat başına çıktı miktarını görmek mümkündür. Çalışma süresi sonunda elde edilen çıktıya göre bulunan saat başına çıktı miktarı 449 adettir.



Şekil 9: Saat başına çıktı miktarı

Her bir atom için, raporun yapıldığı zaman atomda kaç adet ürünün bulunduğu, ürünün o atomda kalış zamanı, girdi-çıkıtı miktarını, mevcut durumunu (boş-dolu) görmek mümkündür. Örneğin çalışma süresi sonunda 5A numaralı işlemci için elde edilen çıktılar aşağıdaki Tablo 4 yardımıyla özetlenmiştir.

Tablo 4: 5A numaralı işlem için elde edilen çıktılar

Atom	Mevcut ürün sayısı	Ortalama kalış süresi	Girdi	Çıktı	Durum
5A	1	6	1168	1168	Boş

Montaj hattı üretim sistemi Enterprice Dynamics programı ile modellenmiştir. Her simülasyon 8 saat çalıştırılmıştır. Yapılan çalışmada incelenen üretim hattı modeli sonlanmayan simülasyon modeline uygundur. Çalışma süresi bittiğinde işlem durmakta ertesi gün kuyrukta bekleyen işler aynen devam etmektedir.

Günlük üretilen ürün miktarını hesaplamak için sistem sonlu olarak ele alınmıştır. Aynı işlem gün sonundaki kuyrukta bekleyen iş sayısı ve süresinin hesaplanmasında da kullanılmıştır. Sistem 8*100 tekrar olmak üzere incelenmiştir. Simülasyon modelinin çalıştırılarak 100 kez tekrarının yapılması sonucunda günlük bitirilen iş sayısı, günlük kuyrukta bekleyen iş sayısı, işlerin kuyrukta ortalama bekleme süresine ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5: Performans kriterleri

Performans Kriterleri	Ortalama	Std.Sapma	Alt Sınır(%95)	Üst Sınır(%95)
Günlük bitirilen iş sayısı	3597	3.88	3596.25	3597.66
Kuyrukta bekleyen ortalama iş sayısı	1	0.74	0.85	1.14
İşlerin kuyrukta ortalama bekleme süresi	7.77	0.73	7.62	7.91

Sistemde bekleyen iş sayısı ve süresini belirleyebilmek için üretim hattı 8*100 tekrar yerine 800 saatlik bir tekrar olarak çalıştırılmıştır. Sistemin 800 saat 1 tekrar ile çalıştırılması sonucunda elde edilen bulgular aşağıda yer alan tabloda gösterilmiştir.

Tablo 6: 800 saat 1 tekrar için performans kriterleri

Performans Kriterleri	Ortalama
Kuyrukta bekleyen ortalama iş sayısı	1
İşlerin kuyrukta ortalama bekleme süresi	7.81

Sistemdeki gün sonunda bekleyen iş sayısını azaltmak için sisteme 6 Numaralı işlemciden eklenmiş ve performans kriterleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 7: Yeni bir işlemci eklenmesi sonucunda performans kriterleri

Performans Kriterleri	Ortalama	Std.Sapma	Alt Sınır(%95)	Üst Sınır(%95)
Günlük bitirilen iş sayısı	3600	4.34	3599.22	3600.92
Kuyrukta bekleyen ortalama iş sayısı	0.01	0.10	-0.01	0.03
İşlerin kuyrukta ortalama bekleme süresi	0.01	0.00	0.01	0.01

Yeni bir işlemci eklenmesi sonucunda gün sonunda bekleyen kuyruktaki iş sayısında ve kuyrukta ortalama bekleme süresinde azalma kaydedilmiştir.

5.SONUÇ

Teknolojinin hızla gelişip değiştiği rekabetin yoğun olarak yaşandığı bir ortamda işletmelerin ayakta kalabilmeleri, pazarın ve müşterinin ihtiyaçların karşılarken değişimleri zamanında yakalayabilmeleri ve kısa sürede adapte olmalarına bağlıdır. Bu sebeple işletmelerin mevcut senaryolarda hangi durumlarda nasıl bir pozisyonda olacağını belirlenmesi önem arz etmektedir. Bunun için gerçek sistemde denemeler yapmak zor olduğundan, değişikliği gerçekte var olan sisteme uygulamadan, yapılacak değişikliğin sonuçlarını anlaşılması mümkün kılan simülasyondan yararlanmak mümkündür. Karmaşık sistemleri modelleyebilme ve farklı senaryolarla tahmin yapma fırsatı tanıyan simülasyon ile sistem ayrıntılı olarak gözlemlenebilmekte, sistemdeki sorunlar ve eksiklikler saptanarak giderilebilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada bir üretim hattı ele alınıp, sistemin yapısı simülasyon çalışması ile analiz edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışması ile sistemin genel işleyişi incelenmiş ve gerçekleştirilen alternatif değişiklikler sonrasındaki gelişim takip edilerek gerekli stratejiler belirlenmiştir. Üretim hattının yapısını incelemek için gerçekleştirilen çalışmada performans ölçüleri olarak günlük ortalama bitirilen iş sayısı, günlük kuyrukta ortalama bekleme süresi ve kuyrukta bekleyen ortalama iş sayısı olarak belirlenmiştir.

Yapılan simülasyon çalışması sonucunda mevcut sistemde bekleyen iş sayısı oldukça azdır, sisteme yeni bir işlemcinin eklenmesi durumunda bekleyen iş sayısı ve süresi sifıra yakınlaşsa da aslında mevcut sistemin şu anki şartlar altında performansının iyi olduğunu söylenebilmektedir. Aynı zamanda bir sonraki çıktılarının bir sonraki atoma geçtiklerindeki girdi stratejisi ve kuyruk disiplinlerinde stratejiler geliştirilmiş ama bulunan sonuçların çok fazla etkili olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada simülasyon çalışması bazı

varsayımlar altında gerçekleştirilmiştir. Yapılacak yeni çalışmalarda makina arızaları, çalışanların izinleri gibi durumlar dikkate alınıp çalışma daha detaylı hale getirilerek sistemde meydana gelecek değişiklikler izlenebilir.

Sonuç olarak yeniliklerin takip edilip, üretim sistemlerinin incelenmesi, olabilecek tüm değişikliklerin sürekli araştırılması, değerlendirilmesi firmaların varlıklarını devam ettirebilmeleri açısından oldukça önemlidir. Bu keşif ve değerlendirme süreci sürekli olduğu için, farklı koşullar altında sonucun nasıl değişeceğini gözlemlemek adına simülasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada olduğu gibi yapılan simülasyon çalışmaları ile genel işleyiş ve yapılabilecek alternatif değişiklikler sonrasındaki gelişim izlenebilmekte böylece firmalar önlerini görüp, mevcut senaryolar karşısında nasıl hareket edeceklerini bilebilmektedir. Böylelikle karar vericiler, operasyonel politikalarında yapacakları değişikliklerin sistemin performansını nasıl etkileyebileceğini görebilir; düşük maliyetle, güvenli ve hızlı analiz sonuçları elde edebilmektedir. Yapılan bu çalışma ile modelleme ve analizlerde yardımcı olan simülasyon programlarından biri olan Enterprise Dynamics'in sadece çözüme fiziksel olarak yatırım yapmadan cevap bulmasıyla kalmayıp aynı zamanda hızlı modelleme yeteneği ve iyi bir görselleştirme ile bileşenlerin daha yararlı kullanılmasına olanak sağlaması da vurgulanmıştır.

KAYNAKÇA

- Armaneri, Ö. (2005). *Bir montaj hattı üretim sisteminde optimal işgücü dağılımının arena process analyzer (pan) ve optquest kullanılarak belirlenmesi*. V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu'nda sunulan bildiri, İstanbul.
- Afazov, S. M. (2013). Modelling and simulation of manufacturing process chains. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6(1): 70-77.
- Azab, A. and AlGeddawy, T. (2012). Simulation methods for changeable manufacturing, *Procedia CIRP*, 3, 179-184.
- Back, M. G., Lee, D. K., Shin, J. G. and Woo, J. H. (2016). A study for production simulation model generation system based on data model at a shipyard, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 8(5): 496-510.
- Bağ, M. E. ve Aslan, E. (2016). A simulation study on a textile factory, *Uluslararası Yönetim Eğitim ve Ekonomik Perspektifler Dergisi*, 4(1): 38-54.
- Barragán-Hernández, V., Vázquez-Román, R., Rosales-Marines, L., & García-Sánchez, F. (2005). A strategy for simulation and optimization of gas and oil production, *Computers and Chemical Engineering*, 30(2): 215-227.
- Banks, J. (1998). *Handbook of Simulation*. New York: John & Wiley Sons.
- Bodner, D. A. ve Mc Ginnis, L. F. (2002). *A structured approach to simulation modeling of manufacturing systems*, In IIE Annual Conference. Proceedings, Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE). Erişim adresi: <https://pdfs.semanticscholar.org/ee24/5c901444de97deaf1ad235f5c7aa96c54a08.pdf>
- Çörekçioğlu, S. ve Sezen, B. (2011). Üretim etkinliğinin artırılmasında simülasyon yaklaşımı ve bir üretim atölyesinde uygulama, *Kafkas Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2, 53-75.
- Enterprise Dynamics, Erişim adresi: <https://www.incontrolsim.com/software/enterprise-dynamics/>
- Erar, A. (2006). Benzetim.

- Hançerliođu, A. (2006). Monte carlo simülasyon metodu ve MCNP kod sistemi, *Kastamonu Eğitim Dergisi*. 14(2): 545-556.
- Kulak, O., Polat, O., Şahin, Y. (2009). Bir Üretim Sisteminin Simülasyon ve Değer Akışı Haritalandırma Yöntemleri ile Analizi, H.İ. Koruca, G.Özdemir, A.Göleç, S.Hasgöl (Ed.), *Fabrika / Üretim Organizasyonlarının Yeniden Yapılandırılması ve Verimliliğin Artırılması Yoluyla Büyüme* içinde (s.78-89). İstanbul: Nobel Yayınevi.
- Kurşun, S. (2007). *Tekstil endüstrisinde benzetim tekniği ile üretim hattı modellemesi ve uygun iş akış stratejilerinin belirlenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kurşun, S. ve Kalođlu, F. (2009). Simulation of production line balancing in apparel manufacturing, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 17(4): 68-71.
- Kurşun, S. ve Kalaoğlu, F. (2010). Dikim bandında simülasyonla bant dengeleme, *Tekstil ve Konfeksiyon*. 2(3): 257-261.
- Law, A. M. (1998). *Simulation of Manufacturing Systems*. In 1988 Winter Simulation Conference Proceedings IEEE. Erişim adresi: <https://www.informs-sim.org/wsc97papers/0086.PDF>
- Li, M., & Shurrab, H. (2015). *Simulation of production systems sim 's coffee cups-proje*.
- Mourtzis, D., Doukas, M. and Psarommatis, F. (2012, September). Simulation-based design of production networks for manufacturing of personalised products, In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 301-309). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mourtzis, D., Papakostas, N., Mavrikios, D., Makris, S. and Alexopoulos, K. (2015). The role of simulation in digital manufacturing: applications and outlook, *International journal of computer integrated manufacturing*, 28(1): 3-24.
- Mourtzis, D. (2019). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends, *International Journal of Production Research*, 1-23.
- Park, K. P., Ham, S. H. and Lee, C. Y. (2016). Application and validation of production planning simulation in shipbuilding, *Ocean Engineering*, 114, 154-167.
- Shannon, R. E. (1975). *Systems Simulation: The Art and the Science*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Solding, P., Petku, D. and Mardan, N. (2009). Using simulation for more sustainable production systems—methodologies and case studies, *International Journal of Sustainable Engineering*, 2(2): 111-122.
- Stat::fit, <https://www.geerms.com/Fitting-Distributions.html>
- Thiede, S., Seow, Y., Andersson, J. and Johansson, B. (2013). Environmental aspects in manufacturing system modelling and simulation—State of the art and research perspectives, *CIRP Journal of manufacturing science and technology*, 6(1): 78-87.
- Uslu, Y. D. (2017). *Modern İşletme*. Konya: Eğitim Yayınevi.
- Üner, Ö., Özkale C., Aladağ Z. ve Yazgan, Y. (2005). Üretim sistemi tasarımında konveyörlü taşıma alternatiflerinin simülasyon yöntemi ile değerlendirilmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 4(8): 49-73.

Yaman, H. Üretim Kavramı ve Üretim Sistemleri, Erişim adresi:
<http://web.itu.edu.tr/~yamanhak/ders/yus/YS-not-hf2.pdf> (1.1.2012)

Yavuz, S. Sistem Simülasyonu, Erişim adresi: www.yildiz.edu.tr/~smyavuz/Ssim082/08-1.pdf
(10.12.2011)