

ÜRETİM ETKİNLİĞİNİN ARTTIRILMASINDA SİMÜLASYON YAKLAŞIMI VE BİR ÜRETİM ATÖLYESİNDE UYGULAMA

Semih Çörekçioğlu*
Doç.Dr.Bülent Sezen**

ÖZET

Günümüzde bilgisayar destekli simülasyon yöntemi birçok alanda yaygınca kullanılmaya başlanmıştır. Her türlü alanda kullanılan modelleme teknikleri ile kalite artırımı, kısa temin süreleri ve çevrim sürelerini azaltmak gibi şirketler için büyük önem taşıyan değerlerin optimizasyonu sağlanmıştır.

Bu makalede gerçek bir üretim sistemindeki verimliliğin değişimini farklı bir senaryo uygulayarak gözlemlenmesi amaçlanmaktadır. Sistemin verimliliğini olumsuz yönde etkileyen faktörler ve olaylar problemin esasını oluşturmaktadır.

Bu makalede Tefaş A.Ş otomotiv yan sanayi işletmesinin pres sac üretim sistemi PROMODEL 4.22 simülasyon programı ile modellenmiştir. Gerçek ve diğer olabilecek sistem arasındaki farklar karşılaştırılarak yorumlanmış ve çıkan sonuçlara göre önerilerde bulunarak çalışma tamamlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Üretim simülasyonu, simülasyon uygulaması, üretim etkinliği

Using Simulation to Improve Manufacturing Efficiency and an Application in a Workshop

ABSTRACT

Today, with the support of computer, simulation method has become a widespread method. Significant issues for companies such as the quality, short supply time, and reduction in cycle times are optimized by the simulation modelling technique that is functional for all fields.

The aim of this article is to simulate the variations in efficiency for a real production system by applying different manufacturing scenarios. Factors and events which have negative impacts on the system efficiency constitute the core of the problem.

The production system of the press plate of Tefaş A.Ş, a company in the automotive parts industry, is modelled by PROMODEL 4.22 simulation program. Comparisons are made between the current system and the proposed system which is renewed by PROMODEL. Improvement suggestions are presented in the final.

Key Words: Production simulation, simulation application, production efficiency

* scorekcioglu@gyte.edu.tr

**Gebze Yüksek Tekn. Enstitüsü, İşletme Fakültesi, bsezen@gyte.edu.tr

1. GİRİŞ

Hayatından her alanında olduğu gibi geçmişten günümüze gelen simülasyon bir çok gelişme göstermiştir. Simülasyonun gelişmesiyle geçmişteki kullanım oranı günümüzde artmıştır. Simülasyon ile modellenen sistemlerde yapılması düşünülen değişikliklerin nasıl sonuçlar getireceği görülerek ileriye dönük veya o an için işletme amaçlarına yönelik çalışmalar yapılabilir.

Alternatif sistemler, mevcut sistemlerde istenilen amaçlara ulaşmak için tasarlanan ve sonuçlara göre mevcut sistemde değişiklikler yapılarak ulaşılmak istenen sistemlerdir. Simülasyon yapılırken oluşturulacak alternatif sistemlerin gerçekte uygulanabilir olması düşünülmeli ve alternatif sistemlerin buna uygun olarak düzenlenmesi gerekir. Alternatif sistemlere geçiş finansal açıdan da düşünülerek uygulanmalıdır.

Bu çalışmada TEFAŞ A.Ş firmasının Promodel yazılımı yardımıyla mevcut sistemin modellenmesi ve alternatif bir sistemin geliştirilerek mevcut durumdan farkı ve işletme amaçlarına daha uygun olup olmadığı gözlemlenmek istenmiştir. Alternatif sistem sonuçlarının işletme amaçlarına daha uygun olması durumunda alternatif sisteme geçiş önerilebilir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Farklı şartlarda farklı üretim sistemlerinin simülasyonunun yapıldığı birçok çalışma vardır. Aşağıda bu çalışmaların çeşitli alanlarında yapılmış simülasyon çalışmalarından üretim ile ilgili yapılan simülasyon çalışmalarına doğru sıralanmış olarak verilmiştir:

Harrell ve Price [1] makalelerinde Promodel simülasyon programının nasıl kullanıldığı ve ne gibi özelliklerinin olduğunu anlatmışlardır. Wang ve Zhou [2] büyük dağıtım merkezlerinde bulunan büyük hacimli konveyör ağının kullanılmasının simülasyon metodolojisini tartışmışlardır. Belirli kapasiteler altında modeli ve modelin kapasitesinin olabilirliğini araştırmışlar ve performans değerlendirme yapmışlardır.

Maas ve Standridge [3] simülasyon modelinden yararlanmanın hücre dizaynına yardımcı olacağını ve sistemi düzene koyacağını ileri sürmektedirler. Bu makalenin sonuçlarında müşteri servis düzeyini, üretim envanter düzeyini ve günlük üretim planını göstermişlerdir. Ito ve Hiramoto [4] otobandaki elektronik ücret toplama sistemlerinin simülasyonunu tartışmışlardır. Çalışmalarında ücret toplama sistemlerindeki otomobil akışının daha iyi nasıl sağlanacağına ilişkin iki çözüm sunmaktadırlar. Kapı

kontrollerini en iyi şekilde yapmak ve yerleşim düzeninin yeniden kurulmasını önermişlerdir.

Gong ve McGinnis [5] AGV uygulamalarının kompleks bir yapıya sahip olduğunu ve bunların analizi içinde en iyi yolun simülasyon olduğunu fakat simülasyon için harcanan zamanı azaltmak amacıyla SIMAN simülasyon programı için simülasyon kodu üreten bir uygulama geliştirdiklerini anlatmışlardır. Dewsnup ve Bollenbach [6] makalelerinde Promodel ile AGV sistemlerinin modellenmesini tartışmışlardır. Minimum eforla iyi sonuçlara ulaşmak için kullanılması gereken ve dikkat edilmesi gereken metot ve teknikleri sunmuşlardır.

Uner ve diğerleri [7] akış tipi bir üretim sisteminde yüksek seviyede iş gücü kullanarak, fazla miktarda ara-stokla taşıma yapan forkliftler yerine otomatik konveyör sistemleriyle tek yönlü, operatörsüz taşıma yapabilen bir sisteme geçiş, Promodel 2002 simülasyon paket programı kullanılarak analiz etmiş, alternatif tasarımların performans kriterlerine göre istatistiksel yöntemlerle karşılaştırılmasını yapmışlardır.

Solding ve Petku [8] yoğun enerji üretim simülasyonu konseptini sunmuşlardır. Özel simülasyon modelleri kullanmanın firmalara üretim planı yaparken harcadıkları zamandan daha az zaman harcamalarına yardımcı olduğunu anlatarak yeni bir metot geliştirdiklerini bildirmişlerdir. Bu metot enerji parametrelerini 3 gruba indirmekte ve simülasyon modelinin enerjisi ve gücü düşünceye nasıl çevirebileceğini irdelemektedir.

Ivanova, Mollaghasemi ve Malone [9] deneysel bir dizayn metodolojisi ile yarı iletken bir üretim sisteminin simülasyonunu tartışarak kompleks ve bütün bir üretim sistemi simülasyon modelini inşa etmişlerdir. Bu modelde 2 deneysel grup araştırması için 17 giriş faktörü oluşturulmuştur. Giriş faktörleri ile 4 cevap çıktısı arasındaki ilgiyi belirlemek için model kurulmuştur.

Wang ve diğerleri [10] makalelerinde tümleşik bir model formüle ederek üretim ortamındaki operasyon ve bilgi sistemleri arasındaki mantıksal etkileşimleri ilişkileri ile ortaya koymak için yeni bir metot sunmuşlardır. Operasyonel fonksiyon ve bilgi proses fonksiyonu, sistemin davranışını tahmin etmek ve sistem performansını maksimum edecek optimum bir çözüm üretmek için modellenmiş ve simüle edilmiştir. Bu sonucu elde etmek için baskı devre imal eden esnek bir üretim sistemi ele alınmıştır.

Zimmermann ve Hommel [11] üretim sistemleri için yeni bir modelleme çalışması yapmışlardır. Üretim sistemini iki parçaya ayırarak incelemişler ve daha sonra bu iki ayrı modeli birleştirmişlerdir.

Tanritanır ve diğerleri [12] çalışmalarında bir mobilya endüstrisi işletmesinde imalat ve montaj iş istasyonlarına ilişkin tüm faaliyetler ve bu

faaliyetlere ait maliyetleri dikkate alan simülasyon modeli oluşturulmuş, böylece daha verimli organizasyon yapıları geliştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, alternatif çözüm önerileri bilgisayar ortamında denenmiş ve sistemin yeniden tasarım süreci bir örnekle ortaya konulmuştur.

Law ve McComas [13] depolama ve üretim sisteminin nasıl dizayn ve analiz edileceğini tartışmışlardır. Üretim sorunlarının simülasyonla tespit edilmesi, yeni ve geçerli üretim sistemleri kurulması konularına değinmişlerdir. Shevell ve Buzacett [14] devre levhası üreten kompleks bir üretim sisteminde çeşitli faktörlerin sistem üzerindeki etkilerini ve sistemin performansını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Sonuç olarak bilgisayar simülasyonunun araştırmanın önemli bir parçası olduğunu ve birçok faktörün üretim sisteminin performansını etkilediğini ortaya koymuşlardır. Freudenberg ve Herper [15] makalelerinde üretim sistemlerindeki çalışanların da üretim sistemi dizaynı kadar önemli olduğunu ve çalışanlarında simüle edilmesi gerektiğini tartışmışlardır.

Kibira ve McLean [16] bir montaj sisteminin parçalara ayrılmasını ve montaj işleminin analizini farklı görevler ve yerleşimler deneyerek incelemişlerdir. Cerda [17] bir üretim sistemindeki malzeme akışının manuel veya otomatik çalışması durumundaki farkı kıyaslayarak sonuçlar elde etmiştir. Bu sonuçlar ışığında sistemi tartışmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki otomatik taşıma sistemi JIT tabanlı sisteme göre üretilen işte küçük bir azalışa neden olmuştur

Jadhav ve Smith [18] makalelerinde baskı devre üretimi yapan üretim hattının simülasyon modelini üretim hattının karmaşık etkileşimlerini ve bunlar arasındaki ilişkiyi gözlemleyerek oluşturmak için bir metot geliştirdiklerini anlatmışlardır. Modelin amaçları için farklı bir üretim sistemi hattı dizayn edilmiştir. Faget, Eriksson ve Herrmann [19] makalelerinde Toyota Motor Company işletmesinde üretim sistemindeki dar boğazın tespit edilmesini ve ayrık olay simülasyonunun üretim sisteminde farklılıkları gözlemlemek için önemli ve gerekli bir araç olduğunu vurgulamışlardır. Esas konu darboğaz analizinin otomatikleştirmek, anlaşılmasını kolaylaştırmak ve simülasyonun simülasyon bilgisi olmadan karar verenlerin bu simülasyonu benimsemesidir. Esas sonuç darboğaz tespitinin geçerliliği ve Ms Excel ile entegrasyonudur.

Ingemansson ve Oscarsson [20] makalelerinde üretim sistemindeki otomatik veri toplama sistemindeki bilgileri değerlendirerek sistemdeki darboğazın bulunmasında nasıl kullanıldığını anlatmışlardır. Gahagan ve Herrmann [21] üretim kontrol sisteminin kontrol ettiği basit üretim hattındaki üretim kontrolünün optimize edilmesini sağlayan tekniği tartışmaktadırlar. Bu teknik, üretim sistemindeki kontrol bölgesini

belirlemek için kullanılmıştır. Çalışma bu şablonun var olan simülasyon optimizasyon yazılımı ile kullanılarak optimum kontrol planının bulunmasını anlatmaktadır.

Ali, Seifoddini ve Sun [22] büyük hacimli ve karışık bir üretim kombinasyonunda optimum dizayn gereksinimlerini belirlemek ve performansı yükseltmek için simülasyon modeli kullanmışlardır. Farklı üretim senaryoları altında performansları ölçerek ilerideki müşteri talebine karşılık verebilecek sistemi araştırmışlardır. Chan ve Chan [23] baskı devre üreten bir üretim sistemindeki simülasyon modelini ve analizini tartışmışlardır. Simülasyon ile mevcut üretim sisteminin performansını ve üretim oranını arttırdıklarını ayrıca ortalama temin süresini minimize ettiklerini göstermişlerdir.

Choi, Kumar ve Houshyar [24] makalelerinde motor blokları üreten bir fabrikada darboğazı bularak , makine performanslarını hesaplayarak , çevrim zamanlarını bularak etkili bir üretim kontrol sistemi geliştirilmek istediklerini ve bu geliştirme sürecinde Promodel programını kullandıklarını anlatmışlardır. Gerçek sistemden alınan veriler ışığında sistemin darboğazı ve makine performansları Promodel ile hesaplanmış ve daha iyi bir sistem geliştirmek için değişik senaryolarla sistem çalıştırılmıştır.

Literatür incelemesinden görülebileceği gibi üretim hatlarının verimliliği farklı senaryolarla incelenmiştir ve modellenme aracı olarak genellikle Promodel kullanılmıştır. Bu makalede, İstanbul'da faaliyet gösteren TEFAŞ A.Ş otomotiv yan sanayi firmasının üretiminde bulunduğu sac otomobil parçalarının üretim süreçleri farklı bir senaryo altında denenerek mevcut sistem ile karşılaştırılacaktır. Elde edilecek bulgular doğrultusunda, söz konusu firmada üretim verimliliğinin nasıl ve ne kadar arttırılabileceğinin tespit edilmesi hedeflenmektedir.

3. TEFAŞ ÜRETİM SÜRECİNİN MODELLENMESİ

3.1. Gerekli Veriler

Simülasyon ortamında gerekli olacak verilerin yeterli oranda tespit edilmesi modellenecek sistemin güvenilirliğini ve geçerliliğini arttıracaktır. TEFAŞ A.Ş. simülasyon uygulamasında kullanılan veriler;

- a) Farklı senaryolar hesaplamak ve üretim sistemi konfigürasyonunu değiştirmek için;
 - İşlem sırası, Çevrim süreleri, İstasyon sayısı, İşlem sayısı, Gerekli ekipmanlar, Gerekli olan çalışma alanı, Ürün taşıma ekipmanları, Ürün taşıma süreleri vb. gibi
- b) Maliyet ve performans değerlerinin hesaplanması için

- Dar boğazların belirlenmesi, Fire miktarı, Hammaddenin gelme süresi, Hammadde maliyeti, Talep miktarı, Kalite kontrol maliyetleri vb. gibi

Bu bilgiler ışığında üretim simülasyonunun çıktıları göz önüne alınarak sistemde nasıl bir değişiklik yapılacağı sonucuna varılabilir.

3.2. Üretim Süreci

TEFAŞ A.Ş. üretim sürecinde esas teşkil eden işlemler kesme ve presleme işlemleridir. Bu işlemleri yapabilmek için işletmede 27 adet farklı tonaj ve çalışma prensiplerinde pres makineleri mevcuttur. 4 adet punta kaynak makinesi ve 2 adet giyotin makas, 1 adet profil makinesi ve 1 adet kasnak yarma makinesi mevcuttur.

Her bir parçanın işlem sırası farklı olduğu gibi işlem sayısı da farklıdır. Bu farklılık simülasyon modelini daha da karmaşık hale getirmektedir. Her bir işlemi gerçekleştirmek için her bir makinenin başında operatör bulunmaktadır. Bu operatörler farklı hızlarda çalıştığı gibi her bir parçanın işlem süresi de birbirinden farklıdır. Operatörlerin çalışma sürelerinin farklılığı tecrübeye bağlıdır. Bu süreler işletmede ölçülmek kaydıyla bulunacak, istatistiksel analizleri yapılarak bilgisayar ortamındaki simülasyon denemelerinde kullanılacaktır. Bu bilgiler veri toplama kısmında ele alınacaktır.

Ara ürünlerin işlemler arası taşınması trans palet ile gerçekleştirilmektedir. Sistemde 5 adet trans palet bulunmaktadır. Taşıma süreleri makineler arasındaki uzaklığa bağlı olup farklı değerlere sahip olabilir. Bu süreler de yerinde incelenerek ölçüm yapılmıştır.

Modellemesi yapılan üretim sisteminde 85 farklı ürün üretilmekte ve her bir ürünün işlem sırası, sayısı ve üretim süreleri farklılık göstermektedir. Üretim alanında yapılan çalışmalarda sistemdeki makineler, kaynaklar ve çalışma alanı ile sadece 10 ürünün aynı anda sistemde çalışılabildiği belirlenmiştir. Bu çalışmada sistemde aynı anda 10 ürünün üretildiği kabul edilerek modelleme tamamlanmıştır.

Modellemesi yapılan üretim sistemi 2 vardiya çalışmakta ve her vardiya 8 saat çalışmaktadır. Böylelikle üretim sistemi günde toplam 16 saat çalışmaktadır. Sistemde 90 operatör çalışmaktadır. Üretim süresi hammaddeden son ürüne kadar geçen süredir ve model kurulum, işlem, kontrol, hareket ve bekleme sürelerini içerir.

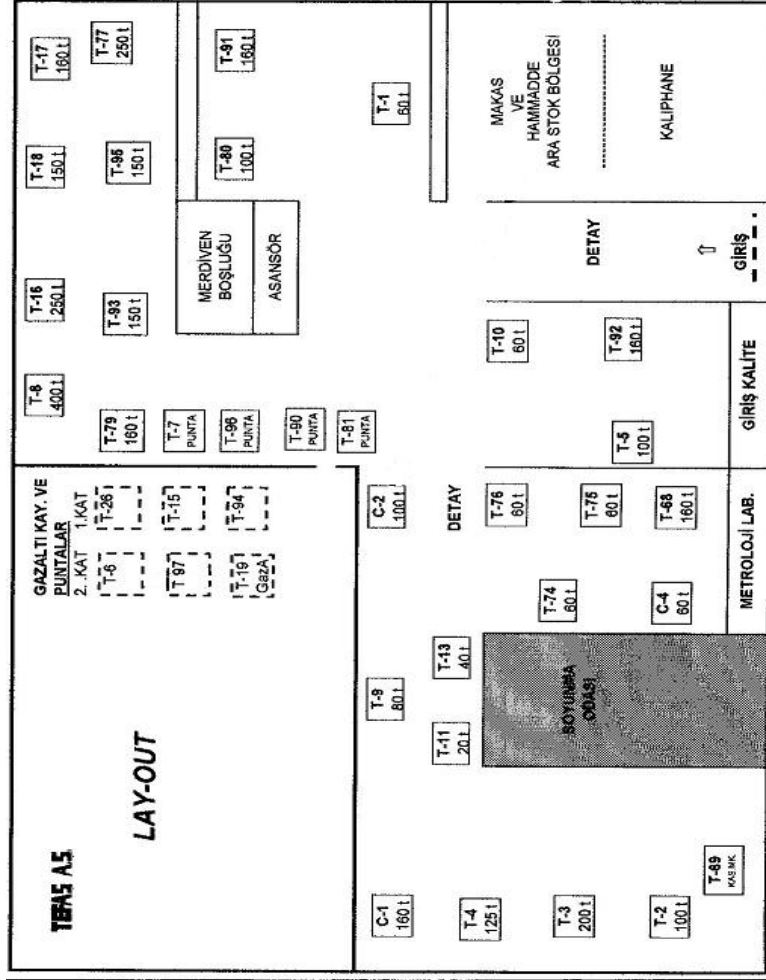
Model Kurulum süreleri: Model değişimi için gerekli parçaların hazırlanması ve gerekli kalıp ve aletlerin değiştirilmesi için harcanan süredir. (Model değişim ve kurulum süresi göz ardı edilmiştir. Sistemin üretime hazır olduğu düşünülerek modelleme çalışması yapılmıştır.)

İşlem süresi: İş istasyonunda ürüne yapılan işlemin süresidir.

Bekleme süresi: Parçaların bir sonraki işlem için tampon bölgede ya da kuyrukta bekledikleri süredir.

Hareket süresi: Parçaların bir işlem bittikten sonra diğer işleme girmesi arasındaki taşımaya harcanan süredir.

Bakım zamanları: Parçaları işlemek için gerekli olan ekipmanın bakım süresidir. (Bakım süresi her makine için farklı olup makineler belli dönemlerde bakıma girerler.)



Şekil 3.2.1. Preslerin Yerleşim Düzeni (Layout of Presses)

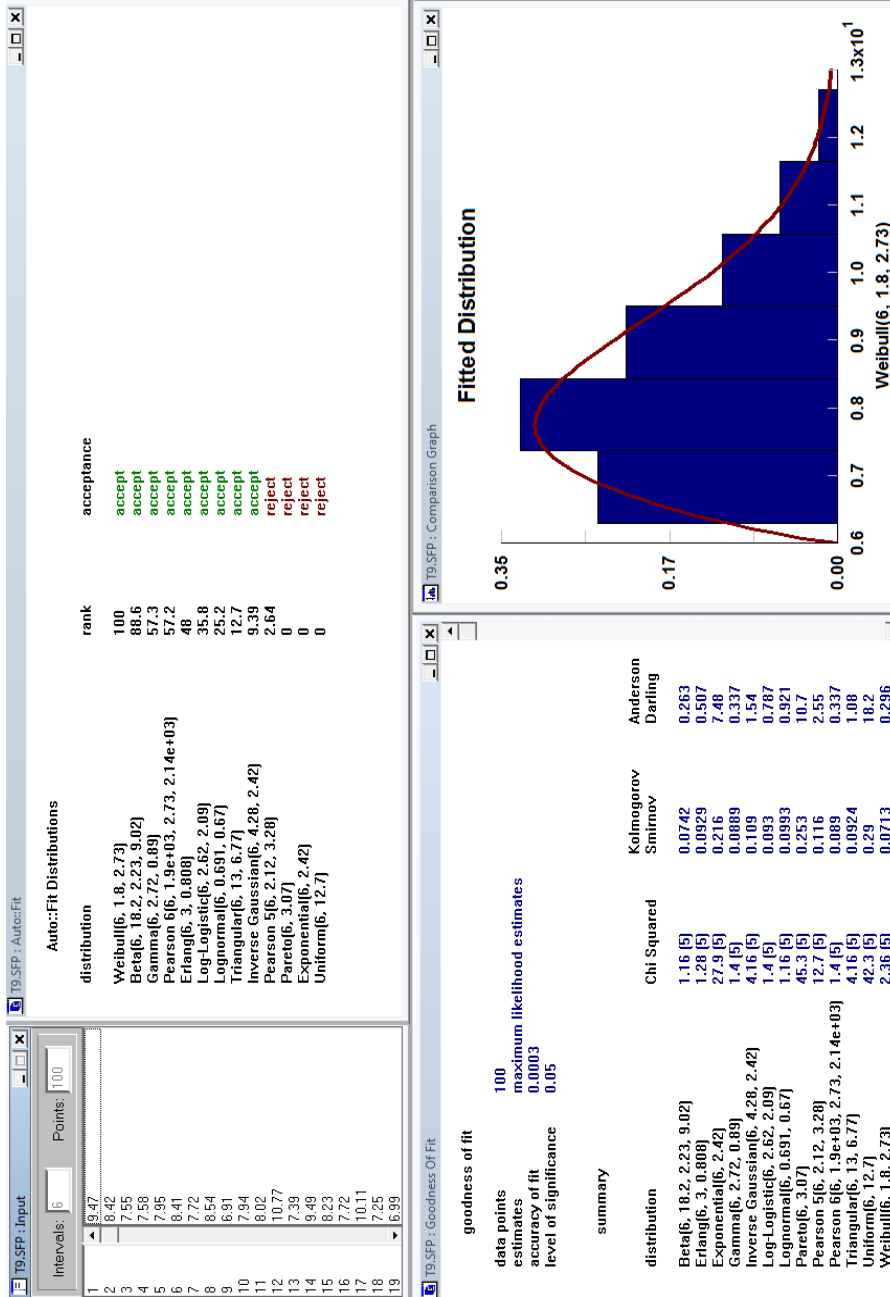
3.3. Veri Toplama

Sistemin Promodel ile simülasyonunu uygulamak için her bir işlemin zamanını ölçmek, dağılımını tanımlamak ve Promodel programındaki işlem kısmına bu dağılımı aktararak sistemi çalıştırmak gerekmektedir. Bunun için gerekli girdi verileri, geçmiş gözlemler, üretici spesifikasyonları, satıcı ve operatör tahminleri, yönetim tahminleri, otomatik veri toplama ve direkt gözlemlene gibi kaynaklardan elde edilir.

Bu çalışmada girdi verileri direkt gözlemlene, operatör ve yönetimin tahminleri ile elde edilmiştir ve Statfit programı ile analiz edilip bir dağılım tipi seçilmiştir. Dağılım seçilmesinin amacı, direkt gözlemlenerek elde ettiğimiz sınırlı sayıdaki verinin dağılımına uygun biçimde yeni veriler elde edilmesiyle sistemdeki hata olasılığını azaltmaktır. Seçilen dağılım tipine göre işlem zamanları sistemi en iyi temsil edecek şekilde üretilerek model çalıştırılmıştır.

Statfit ile yapılan analiz ve dağılım belirleme işleminde her bir iş istasyonu için 40 adet veri toplanmış ve bu verilere bağlı olarak dağılım belirlenmiştir. Statfit programı kendi içerisinde girdi verilerini her bir dağılım için ayrı ayrı Ki-kare, Kolmogrov Smirnov ve Anderson-Darling testlerine tabi tutarak uygunluğunu ölçmektedir. Test sonucunda girilen verilerin hangi dağılıma en uygun olduğu ve kabul edilip edilemeyeceği konusunda bilgi vermektedir. Ayrıca Statfit en uygun olarak seçtiği dağılımın parametrelerini Promodel için kullanılacak formatta hazırlamaktadır.

Statfit çıktısında (Şekil 3.3.1) şu bilgiler gösterilmektedir: 1) Girilen gözlemlerin sayısı; 2) Toplamalı fark grafiği; 3) Bu gözlemlere göre hangi dağılımlara uydurulmaya çalışıldığı; 4) En uygun hangi dağılımın olduğu; 5) En uygun görülen dağılımın grafiği; 6) En uygun görülen dağılımın Ki-kare, Kolmogrov Smirnov ve Anderson-Darling testleri. Mevcut sistemin tezgâh süreleri her tezgâhın başında birbir ölçülerek bulunmuştur. Her bir tezgâh için 100 değer girilip bu değerlere göre uygun dağılım belirlenmiştir.



Şekil 3.3.1. Statfit Çıktısı

Mevcut sistemin üretim düzeni aşağıdaki tabloda belirtildiği gibidir.

Tablo 3.3.1. Parça – Makine Verileri (Part – Machine Data)

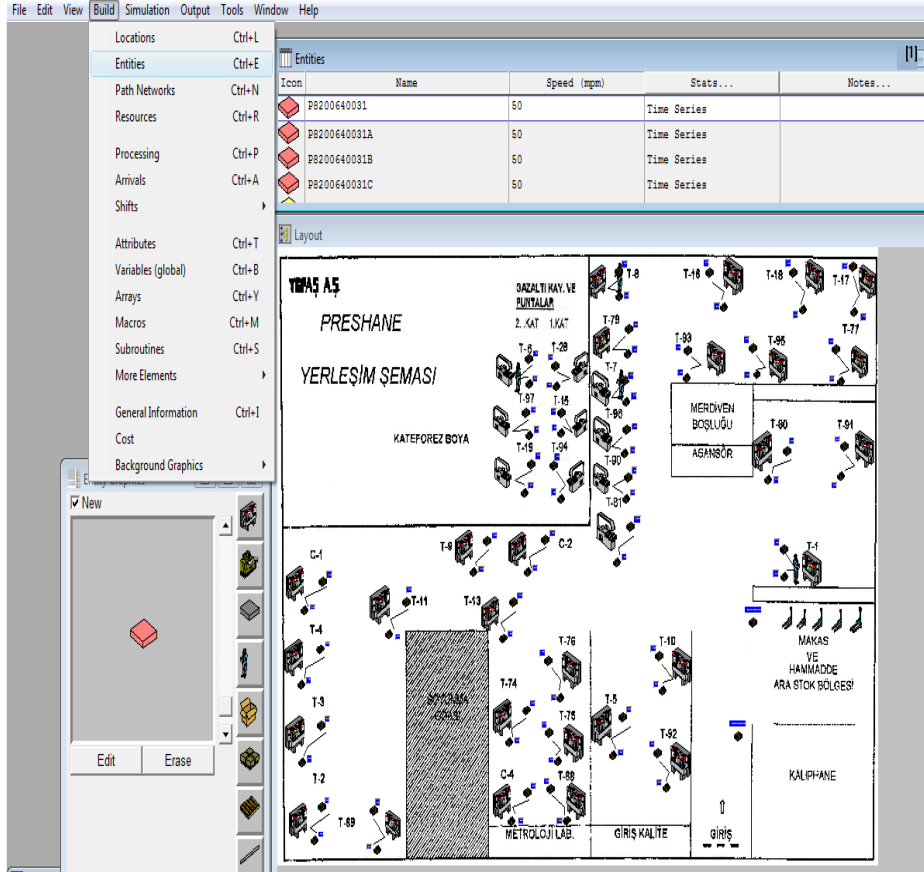
	Ürün no.	Ürün no.	Ürün no.	Ürün no.	Ürün no.
	8200 640 031	8200 177 340	8200 082 851	8200 240 588	7700 842 334
Tezgâh no.	T93	T10	T8	T74	T16
Tezgâh no.	T68	T76	C1	T92	
Tezgâh no.	T75		T77	T90	
Tezgâh no.			T18	T96	
Tezgâh no.			T79		
Tezgâh no.			T13		
Tezgâh no.			T81		
	Ürün no.	Ürün no.	Ürün no.	Ürün no.	Ürün no.
	8200 672 780 Gövde	8200 672 780 Detay	8200 565 874	8200 490 Kasnak	8200 104 380
Tezgâh no.	T9	T2	T5	T11	C2
Tezgâh no.	T4	C4	T80	T17	T95
Tezgâh no.	T3	T1		T 69	T91
Tezgâh no.	T7				
Tezgâh no.					

3.4. Mevcut Modeli Oluşturma

Mevcut modelin oluşturulması için esnekliği ve kullanım kolaylığından dolayı Promodel for Windows (versiyon 4.22) seçilmiştir. Promodel yazılımı kullanıcı açısından kolay bir ara yüze sahiptir ve kompleks modellerin oluşturulmasında görselliğiyle kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca yazılım iyi bir istatistiksel kapasiteye sahiptir ve raporları anlaşılabilir bir formatta sunmaktadır.

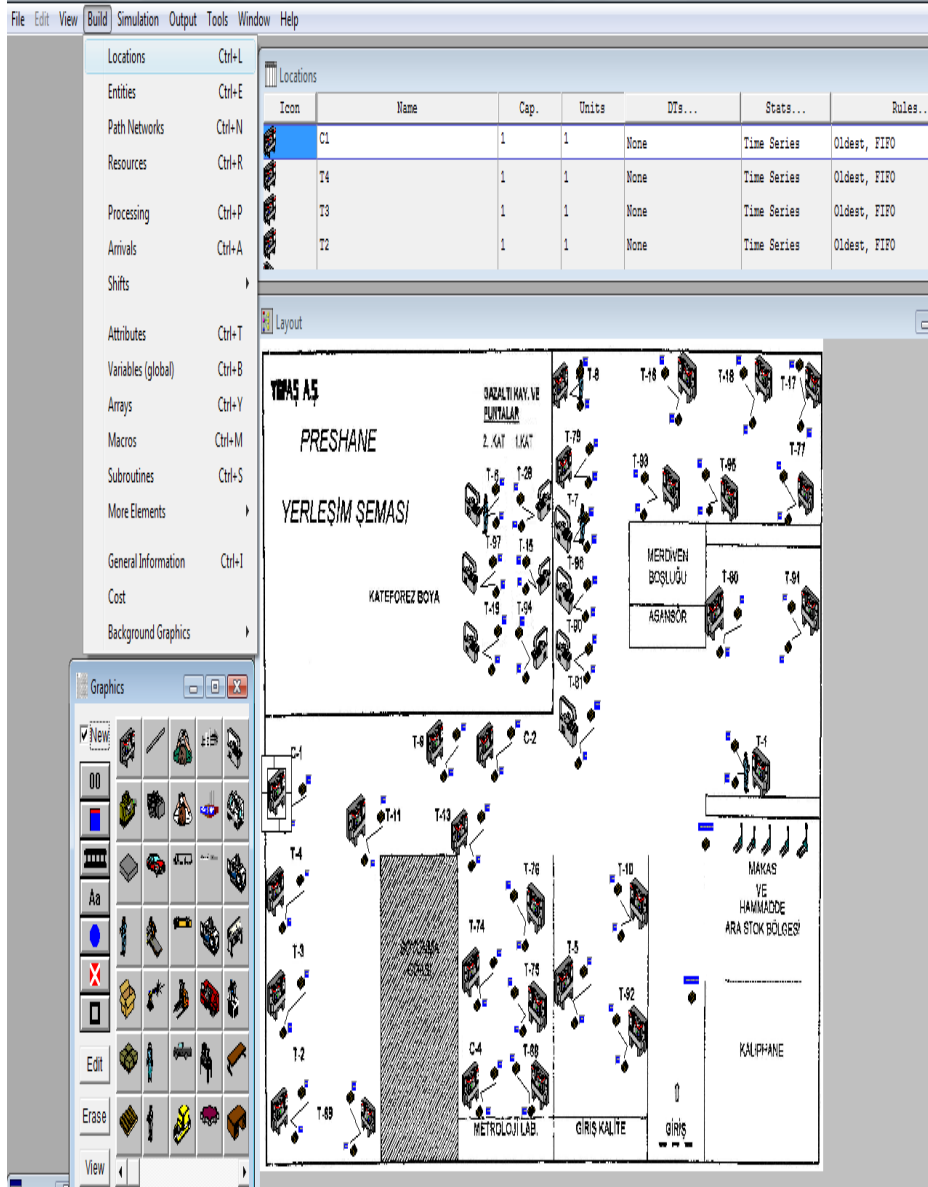
Aşağıdaki tanımlanan parametreler simülasyonun Promodel'e aktarılması için kullanılması ve tanımlanması gerekli parametrelerdir;

- 1) Birimler (Entities): Üzerinde çalışılan bu modelde üretilen toplam ürün sayısı 85'dir. Fakat günde çalışılan ürün sayısı 10'dur. Sistemin modellenmesinde 10 farklı tip ürün olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.4.1. Entities (Birimler)

- 2) Yerler (Locations): Sistem 27 adet farklı kapasite ve tonajdaki pres makinesi, 1 adet kasnak yapma makinesi, ayrı ayrı yerleştirilmiştir. Ayrıca sistemdeki ürünlerin taşındığı, yerleştirildiği, hammaddenin yüklendiği ve boşaltıldığı her bir palet ayrı birer lokasyon olarak modelde belirlenmiştir. Bütün lokasyonlar kapasiteleri yerindeki ölçümlerle belirlenmiş ve sisteme aktarılmıştır.

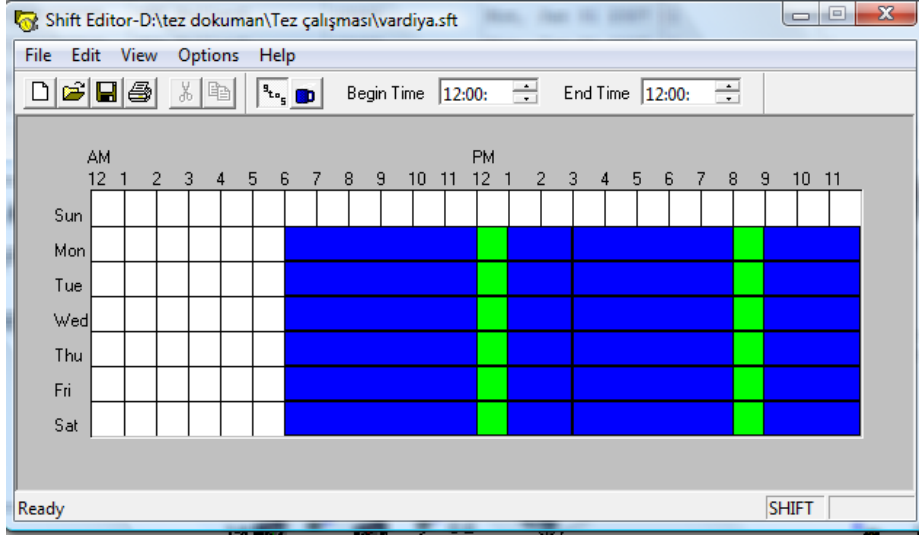


Şekil 3.4.2. Locations (Yerler)

- 3) Kaynaklar (Resources): Modeldeki üretim sisteminde her makine için operatörler ve 5 adet trans palet bulunmaktadır. Bu kaynaklar

modelde ayrı ayrı tanımlanmıştır. Operatörlerin iş yapma kapasiteleri tecrübeye göre değiştiğinden ve bunların ölçüm ile belirlenmesi mümkün olmadığından standart olarak belirlenmiştir. Özellikle kaynaklara iş yapma kapasitesi verilmemiştir. Bu kapasiteler zaten çalışmakta oldukları tezgâhların üretim zamanlarına yansıdığından tezgâh (locations) kapasiteleri modelde esas alınmıştır.

- 4) Ağlar (Networks): Üretim sistemi içinde lokasyonlar arasında kullanılan yolları belirtmektedir. Teorik olarak ürünlerin izlediği yollar simülasyonda çizilmiştir ve kaynaklar sırasına göre bu yolları kullanarak işlemleri uygulamaktadırlar.
- 5) İşlem (Processing): Her entity için sırasıyla hangi makinelerden geçerek nihai ürün haline geldiği işletmeden temin edilmiş ve buna göre simülasyonda proses kısmına işlenmiştir. Proses bölümü simülasyonun en önemli ve dikkat edilmesi gereken kısımdır.
- 6) Mal girişi (Arrivals): Hammadde sisteme girdikten sonra üretilecek parçalara göre giyotin makasta şekillendirilmektedir. Sistemde giyotin makas modellenmemiş üretime hazır olarak şekillenmiş parçaların stoktan kullanıldığı varsayılmıştır.
- 7) Değişkenler (Variables)
- 8) Tablolar (Tables): Makine bakım süreleri belirlenmelidir. Modelde bakım süreleri göz önünde bulundurulmamıştır.
- 9) Vardiyalar (Shifts): Üretim sisteminde her biri 8 saat çalışan iki vardiya sistemi kurulmuştur: 1. Vardiya; 06:00 – 15:00 (12:00 - 13:00 öğlen yemeği); 2. Vardiya; 15:00 – 24:00 (20:00 - 21:00 akşam yemeği)
- 10) Yerleşim ve grafikler: İşletmenin yerleşimi simülasyona aktarılmıştır. Bütün lokasyonlar simülasyonda adları belirtilerek yerleştirilmiştir.



Şekil 3.4.3. Shifts (Vardiyalar)

- 11) Tekrarlar (Replications): Mevcut sistemin ve önerilecek olan sistemin performansını hesaplamak ve karşılaştırmak için aşağıdaki performans kriterleri göz önünde tutulacaktır: a) throughput (pc/time unit); b) throughput time (time unit/pc); c) work in process. Bu 3 ölçü Promodel’de standart olarak sunulmaktadır. Bu kriterlerin belirlenmesi sistemdeki gözlemlere bağlı olarak belirlenir. Sistemde ölçüm sırasında bazı konularda görülen eksikler göz önünde tutularak bu kriterler belirlenirse önerilecek olan sistemin başarılı olma olasılığı o kadar artar.

3.5. Modelin Doğrulanması

Modelin doğrulanması ve onaylanmasında simülasyonun gerçekçi sonuçlar vermesi ve bu sonuçların yanı sıra kurulan model sonuçlarının üretim sistemi yetkilerinin yorumlarıyla değerlendirilmesi onaylama sürecine yardımcı olacaktır. Başka bir onaylama aracı olarak ise sistemin gerçek çıktılarının simülasyon sisteminde modellenen sistem çıktıları ile karşılaştırılması yapılabilir.

Bilgisayar ortamına aktararak simülasyonu yapılan bu sistemin simülasyon çıktılarının Tefaş A.Ş kapasite raporlarıyla karşılaştırılmasıyla verilerin örtüştüğü gözlemlenmiş ve bilgisayarda oluşturulan sistemin gerçek sistemi temsil ettiği kabul edilmiştir. Bu sonucu doğrulayan raporlar aşağıda

sunulmuştur:

ENTITY ACTIVITY

Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Seconds In System	Average Seconds In Move Logic	Average Seconds Wait For Res, etc.	Average Seconds In Operation	Average Seconds Blocked
P8200640031	0	674	-	-	-	-	-
P8200640031A	0	307	-	-	-	-	-
P8200640031B	0	192	-	-	-	-	-
P8200640031C	1608	30	65082.99	1195.93	11791.11	24.09	52071.85
P8200177340	0	846	-	-	-	-	-
P8200177340A	0	164	-	-	-	-	-
P8200177340B	1407	194	63378.15	545.32	8197.83	13.93	54621.05
P8200104380	0	1090	-	-	-	-	-
P8200104380A	0	174	-	-	-	-	-
P8200104380B	0	183	-	-	-	-	-
P8200104380C	1407	158	60717.53	1309.79	14019.31	29.71	45358.71
P8200082851	0	1202	-	-	-	-	-
P8200082851A	0	334	-	-	-	-	-
P8200082851B	0	197	-	-	-	-	-
P8200082851C	0	172	-	-	-	-	-
P8200082851D	0	173	-	-	-	-	-
P8200082851E	0	137	-	-	-	-	-
P8200082851F	0	191	-	-	-	-	-
P8200082851G	603	0	83983.56	3140.84	34206.15	61.52	46575.04
P8200672780GOVDE	0	933	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDEA	0	338	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDEB	0	284	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDEC	0	196	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDED	1206	54	67960.70	1709.98	19643.65	34.37	46572.69
P8200672780DETAY	0	1423	-	-	-	-	-
P8200672780DETAYA	0	184	-	-	-	-	-
P8200672780DETAYB	0	162	-	-	-	-	-
P8200672780DETAYC	1206	38	63552.90	1507.75	15288.55	29.36	46727.23
P8200240588	0	904	-	-	-	-	-
P8200240588A	0	368	-	-	-	-	-
P8200240588B	0	309	-	-	-	-	-
P8200240588C	0	192	-	-	-	-	-
P8200240588D	1206	32	66757.69	1562.60	18441.34	45.82	46707.91
P7700842334	0	341	-	-	-	-	-
P7700842334A	2010	60	64128.75	399.59	3578.11	4.63	60146.41
P8200565874	0	1253	-	-	-	-	-
P8200565874A	0	175	-	-	-	-	-
P8200565874B	1206	178	61208.02	629.46	10252.77	18.93	50306.86
P8200492KASNAK	0	1364	-	-	-	-	-
P8200492KASNAKA	0	343	-	-	-	-	-
P8200492KASNAKB	0	358	-	-	-	-	-
P8200492KASNAKC	804	143	62680.82	1578.35	18741.35	53.59	42307.53

3.5.1 Simülasyon çıktıları

3.6. Modelin Geçerliliği

Kurulan sistemdeki giriş parametreleri değiştirilerek ve çıkış değerleri incelenerek sistemin beklenen sonuçları verip vermediği kontrol edilerek sistemin değerlendirilmesi yapılır. Üretim sistemindeki yetkili kişiler çıktı bilgilerinin yorumlayarak sistemin modellenmesinde benzerlikleri ve farklılıkları incelerler. Bu çalışmada öneri olarak geliştirilen sistemin çıktılarının tahmin edilen sonuçları verdiği gözlemlenmiştir ve değerlendirme aşaması bu şekilde kabul edilmiştir.

4. YENİ MODELİN OLUŞTURULMASI

Yeni model tasarımı mevcut sistemdeki uygulanabilirliği gerçekçi olan ve sisteme fayda sağlayabileceği düşünülen değerlerin değiştirilmesiyle elde edilir. Mevcut model kabul edildikten sonra yeni modelin oluşturulması için sistemde gözlemlenmiş ve geliştirilmesi düşünülen kriterlere bağlı olarak aşağıdaki maddeler yeni geliştirilen sisteme adapte edilerek çıkartılan sonuçlar mevcut modelle karşılaştırılır. Bu maddeler şunlardır:

- a) Üretilen ürünlerin akış şemalarındaki işlem yerlerinin (Promodel paket programındaki “locations” adı altında geçen birimler) yeniden dizayn edilerek taşıma zamanı kaybını azaltmak,
- b) İki işlem yeri arasındaki taşıma zamanını azaltmak için trans palet sayısını değiştirmek,
- c) Her bir işlem yeri için belirlenen 1 adet giriş paleti ve 1 adet çıkış paletinin kapasitelerini arttırmak.

5. YENİ MODEL İLE GERÇEK SİSTEMİN KARŞILAŞTIRILMASI

İşletme için önerilen sistemin işletmenin amaçlarına uygun olup olmadığını ve/veya ne kadar uygun olduğunu görmek için gerçek sistem ile yeni sistem karşılaştırılır. Elde edilen fark bu uygunluğun bir derecesi olarak değerlendirilir. Bu doğrultuda oluşturulan yeni modelde gerçek sisteme göre aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır:

- 1) İşlem yerleri için belirlenen giriş ve çıkış paletlerinin kapasiteleri arttırılmıştır. Giriş palet kapasiteleri 100 den 400 birime; çıkış palet kapasiteleri 100 den 300 birime çıkartılmıştır.
- 2) İşlem yerleri arasındaki taşıma paketleri 100 er birimden 200 er birime yükseltilmiştir ve bir sonraki işlem yerindeki bekleme süresi düşürülmesi amaçlanmıştır.

Yapılan değişikliklerin sistemde oluşturması beklenen farkı gözlemek için Şekil 5.1 ve 5.2’de gerçek sisteme ve önerilen sisteme ait ürün çıkış verileri verilmiştir. Şekillerdeki ifadelerin anlamları aşağıda açıklanmıştır:

Entity names: Sistem dâhilinde işlem gören ve sistemden bitmiş halde çıkan ürünlere verilen isimlerdir. İsimlerin sonlarına eklenen A-B-C-D-E-F-G gibi sınıflandırma ekleri her bir ürünün geçirdiği işlemlerden sonra aldığı yeni isimdir. Böylece sistem içinde hangi üründen ne kadar olduğu görülebilmektedir.

Total exits: Sistemden bitmiş olarak ayrılan ürün sayısını gösterir.

Current quantity in system: Sistemde halen bulunmakta olan ara ürün sayısını ve bitmiş fakat sistemden henüz ayrılmamış olan ürün sayısını gösterir.

Avarage seconds in system: Son ürünlerin sistemdeki ortalama bulunma süresini gösterir.

KAFKAS ÜNİVERSİTESİ İİBF. DERGİSİ, CİLT:1-SAYI:2

ENTITY ACTIVITY							
Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Seconds In System	Average Seconds In Move Logic	Average Seconds Wait For Res, etc.	Average Seconds In Operation	Average Seconds Blocked
P8200640031	0	4060	-	-	-	-	-
P8200640031A	0	80	-	-	-	-	-
P8200640031B	0	77	-	-	-	-	-
P8200640031C	5656	23	259098.55	1558.55	9652.62	23.97	247863.40
P8200177340	0	3911	-	-	-	-	-
P8200177340A	0	97	-	-	-	-	-
P8200177340B	5757	30	261250.23	741.66	6884.04	13.92	253610.59
P8200104380	0	4589	-	-	-	-	-
P8200104380A	0	88	-	-	-	-	-
P8200104380B	0	99	-	-	-	-	-
P8200104380C	5050	69	262458.59	1528.85	10592.42	29.58	250307.74
P8200082851	0	5584	-	-	-	-	-
P8200082851A	0	126	-	-	-	-	-
P8200082851B	0	98	-	-	-	-	-
P8200082851C	0	77	-	-	-	-	-
P8200082851D	0	88	-	-	-	-	-
P8200082851E	0	82	-	-	-	-	-
P8200082851F	0	101	-	-	-	-	-
P8200082851G	3939	0	272579.00	3704.29	30147.00	61.23	238666.47
P8200672780GOVDE	0	5092	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDEA	0	58	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDEB	0	104	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDEC	0	97	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDED	4747	0	262559.63	2159.11	16760.63	34.26	243605.63
P8200672780DETAY	0	5520	-	-	-	-	-
P8200672780DETAYA	0	94	-	-	-	-	-
P8200672780DETAYB	0	64	-	-	-	-	-
P8200672780DETAYC	4242	76	260253.82	1767.42	14014.17	29.20	244443.02
P8200240588	0	4948	-	-	-	-	-
P8200240588A	0	140	-	-	-	-	-
P8200240588B	0	61	-	-	-	-	-
P8200240588C	0	91	-	-	-	-	-
P8200240588D	4747	9	264823.15	1871.10	14762.07	45.57	248144.39
P7700842334	0	2517	-	-	-	-	-
P7700842334A	7070	7	263267.37	360.07	2836.27	4.60	260066.42
P8200565874	0	5105	-	-	-	-	-
P8200565874A	0	94	-	-	-	-	-
P8200565874B	4646	51	261206.61	992.39	8879.37	18.81	251316.02
P8200492KASNAK	0	6463	-	-	-	-	-
P8200492KASNAKA	0	127	-	-	-	-	-
P8200492KASNAKB	0	133	-	-	-	-	-
P8200492KASNAKC	3232	41	265913.32	1929.67	15173.32	53.35	248756.96

Şekil 5.1 Gerçek sistem ürün çıktıları

ENTITY ACTIVITY

Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Seconds In System	Average Seconds In Move Logic	Average Seconds Wait For Res, etc.	Average Seconds In Operation	Average Seconds Blocked
P8200640031	0	3254	-	-	-	-	-
P8200640031A	0	310	-	-	-	-	-
P8200640031B	0	186	-	-	-	-	-
P8200640031C	6231	65	262519.48	1298.74	21728.97	24.08	239467.68
P8200177340	0	3543	-	-	-	-	-
P8200177340A	0	183	-	-	-	-	-
P8200177340B	6030	91	262111.01	586.14	13646.30	13.96	247864.59
P8200104380	0	4273	-	-	-	-	-
P8200104380A	0	165	-	-	-	-	-
P8200104380B	0	193	-	-	-	-	-
P8200104380C	5226	190	261341.14	1341.16	24082.37	29.71	235887.88
P8200082851	0	4648	-	-	-	-	-
P8200082851A	0	521	-	-	-	-	-
P8200082851B	0	205	-	-	-	-	-
P8200082851C	0	184	-	-	-	-	-
P8200082851D	0	177	-	-	-	-	-
P8200082851E	0	157	-	-	-	-	-
P8200082851F	0	130	-	-	-	-	-
P8200082851G	4020	0	304950.66	2944.25	61500.20	61.53	240444.66
P8200672780GOVDE	0	3863	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDEA	0	507	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDEB	0	478	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDEC	0	179	-	-	-	-	-
P8200672780GOVDED	4824	192	270293.57	1830.05	33281.03	34.42	235148.05
P8200672780DETAY	0	5156	-	-	-	-	-
P8200672780DETAYA	0	185	-	-	-	-	-
P8200672780DETAYB	0	142	-	-	-	-	-
P8200672780DETAYC	4422	141	263616.24	1576.35	23846.85	29.34	238163.68
P8200240588	0	4120	-	-	-	-	-
P8200240588A	0	364	-	-	-	-	-
P8200240588B	0	505	-	-	-	-	-
P8200240588C	0	194	-	-	-	-	-
P8200240588D	4824	38	273429.50	1540.18	33464.72	45.81	238378.77
P7700842334	0	1663	-	-	-	-	-
P7700842334A	7839	144	261083.33	308.23	7503.27	4.63	253267.19
P8200565874	0	4759	-	-	-	-	-
P8200565874A	0	190	-	-	-	-	-
P8200565874B	4824	74	268315.31	688.45	17759.46	18.91	249848.48
P8200492KASNAK	0	5526	-	-	-	-	-
P8200492KASNAKA	0	600	-	-	-	-	-
P8200492KASNAKB	0	472	-	-	-	-	-
P8200492KASNAKC	3417	29	274148.94	1804.95	36649.43	53.62	235640.93

Şekil 5.2 Önerilen sistem ürün çıktıları

Avarage seconds in move logic: Son ürünlerin sistemdeki taşıma sürelerinin ortalamasını göstermektedir.

Avarage seconds wait for resources: Son ürünlerin sistemde kaynak için bekledikleri ortalama süreyi göstermektedir.

Avarage seconds in operation: Son ürünlerin sistemdeki ortalama işlem süresini göstermektedir.

Avarage seconds blocked: Son ürünlerin sistemdeki toplam süresinden taşıma süresi, kaynak bekleme süresi ve operasyon sürelerinin toplamının farkını göstermektedir.

Bu bilgiler ışığında sistemin alternatif uygulama çıktısıyla mevcut uygulama çıktısı karşılaştırılabilir. Alternatif sistemdeki ürün çıktı sayısının işletme amaçlarına daha uygun olduğu görülmüştür.

6. SONUÇ

Simülasyon modelinin kurulmasındaki amaç, tezgâh bekleme sürelerinin azaltılmasıyla ne tür sonuçlar üretebileceğini, gerçeği üzerinde deneyler yapmaya gerek kalmadan model üzerinde öğrenebilmektir. Böylece gerçek sistemde uygulanmakta olan veya ileride uygulanabilecek alternatif yapılar model üzerinde denenerak üretim çıktılarını ne derecede etkilediği gözlenebilmektedir.

Sistem çıktılarında son ürün çıktı sayısı değerleri karşılaştırılmıştır ve yorumlar bu değerlerin üzerine yapılmıştır. Alternatif sistem geliştirmek için yapılan değişiklik; giriş ve çıkış palet kapasitelerinin artırılması ve paketlenen ürün miktarlarının düşürülmesiyle sistemdeki tezgâh bekleme sürelerinin azaltılması sağlanarak daha fazla ürün çıktığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada gerçek sistem ürün çıktıları ve öneri sistem ürün çıktıları “toplam son ürün çıktı sayısı değerleri karşılaştırılmış ve önerilen sistemdeki değerlerin işletme amaçlarına daha uygun olduğu görülmüştür ve önerilen sistemin daha verimli çalışacağı görülmüştür. Bu çalışmayla elde ettiğimiz bilgiler ve bizim bu çalışmayla sağlamak istediğimiz ürün çıktı kapasitesinin artırılması; palet kapasitelerinin artırılmasıyla sistemdeki tezgâh bekleme zamanını azaltarak sağlamıştır. Bu sonuçlara göre görülmektedir ki önerilen sistem işletme amaçlarına daha uygundur ve uygulamaya aktarılabilir. Bu sonuçla, birbiriyle bağlantılı üretim sistemlerinde tezgâh bekleme sürelerinin azaltılması yoluyla sistemin üretim kapasitesinin arttığı görülmektedir.

İkinci bir alternatif sistem olarak taşıma sürelerinin azaltılması için Locations (Yerler) sıralaması değiştirilerek sistemdeki taşıma için harcanan zaman azaltılabilir ve böylece ürün çıktı sayısı ve kaynak kullanım oranı artırılabilir. İkinci alternatif olan tezgâh sıralamasının değiştirilmesi bazı tezgâhların yerlerinin değiştirilmesi, bazılarının ise sadece kalıp sisteminin değiştirilmesi ile sağlanabilir. Fakat bu alternatif, işletmenin ancak durdurularak revizyon yapılması yoluyla hayata geçirilebilir.

Çalışmamızın amacına uygun olarak simülasyon vasıtasıyla bir üretim sisteminde farklı kapasite miktarlarının sistem üzerinde nasıl bir

değişiklik yarattığını analiz etmiş durumdayız. Simülasyon sistemini kurarken harcanan emek ve zamanın, kurulacağı düşünülen yeni sistemin analiz edilmeden kurulması için harcanabilecek zaman ve maliyetten daha az olduğu düşünülürse, modellenme tekniğinin tercih edilebilirliği görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Harrell, C. R. ve Price, R. N. “Simulation Modeling Using Promodel Technology” **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference**, New Orleans, Louisiana, 192-198 , 8-11 Dec. 2002.
2. Wang, Y. ve Zhou, C. “Fluid Based Simulation Model For High Volume Dc Conveyor Systems“ **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**, Orlando, Florida, 1373-1380 , 4-7 Dec. 2005.
3. Maas, S. L. ve Standridge, C. R. “Applying Simulation To Interactive Manufacturing Cell Design” **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference** , Orlando, Florida , 1392-1400 , 4-7 Dec. 2005.
4. Ito, T. ve Hiramoto, T. “A General Simulator Approach to ETC Toll Traffic Congestion” **International Journal Advanced Manufacturing Technologies**, Cilt 17, 597–607, 2006.
5. Gong, D. C. ve McGinnis, L. F. “An AGV Simulation Code for Manufacturing Applications” **Proceedings of the 22nd Winter Simulation Conference**, New Orleans, LA, USA, 676 - 682, 9-12 Dec 1990.
6. Dewsnap, M. C. ve Bollenbach, E. “How to Model Automated Guided Vehicle Systems Using Promodel for Windows” **Proceedings of the 27th Winter Simulation Conference**, Arlington, VA, USA, 482 - 486, 3-6 Dec 1995.
7. Uner, Ö. , Özkale, C. , Aladağ, Z. , B. Yazgan, Y. “Üretim Sistemi Tasarımında Konveyörlü Tasıma Alternatiflerinin Simülasyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi **İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, Yıl: 4 Sayı: 8, Güz 2005/2 s.49-73.
8. Solding, P. ve Petku, D. “Applying Energy Aspects On Simulation Of Energy-Intensive Production Systems” **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**, Orlando, FL, 1428-1432, 4-4 Dec. 2005.
9. Ivanova, T. , Mollaghasemi, M. ve Malone, L. “Application Of A 2-Stage Group-Screening Design To A Whole-Line Semiconductor

- Manufacturing Simulation Model” **Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference**, 1039-1045 , 1996.
10. Wang, Q. , Chatwin,C. R. , Geha, A. , Young, R. C. D. ve Budgett, D. M. “Modeling and Simulation of Integrated Operations and Information Systems in Manufacturing” **International Journal Advanced Manufacturing Technologies**, 19, 142–150, 2002.
 11. Zimmermann, A. ve Hommel, G. “Modeling and Evaluation of Manufacturing Systems Using Dedicated Petri Nets” **International Journal Advanced Manufacturing Technologies**, 15, 132–138, 1999.
 12. Tanrıtanır, E. , Sütçü, A. Alkan, H. ve Koruca, H. İ. “Mobilya İmalatında Faaliyet Maliyetleri yardımıyla Simülasyon Destekli Personel Organizasyonu” **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fakültesi Dergisi**, Cilt 19, No 2, 151-160, 2004.
 13. Law, A. M. ve McComas, M. G. “Simulation of Manufacturing Systems” **Proceedings of the 1987 Winter Simulation Conference**, 631-643, 2003.
 14. Hevell, S. F. ve Buzacctt, J. A. “Simulation And Analysis Of A Circuit Board Manufacturing Facility“ **Proceedings of the 1985 Winter Simulation Conference**, Washington, D.C., United States, 686-693 , 1986.
 15. Freudenberg, R. ve Herper, H. “Simulation Of Workers In Manufacturing Systems” **Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference** , Washington, DC, USA , 951-956 , 13-16 Dec 1998.
 16. Kibira, D. ve McLean, C. “Virtual Reality Simulation of A Mechanical Assembly Production Line” **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference**, 1130-1137, 8-11 Dec. 2002.
 17. Cerda, C. B. R. “Performance Evaluation Of An Automated Material Handling System For A Machining Line Using Simulation” **Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference** , Arlington, VA, USA , 881-888 , 3-6 Dec 1995.
 18. Jadhav P. D. ve Smith, J. S. “Analyzing Printed Circuit Board Assembly Lines Using A Pcb Assembly Template” **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**, 1335-1342, 4-7 Dec. 2005.
 19. Faget, P. , Eriksson, U. , Herrmann F. “Applying Discrete Event Simulation and An Automated Bottleneck Analysis As An Aid To Detect Running Production Constraints” **Proceedings of the 2005**

- Winter Simulation Conference** , Orlando, Florida, 1401-1407 , 4-7 Dec. 2005.
20. Ingemansson, A. ve Oscarsson, J. “Discrete-Event Simulation and Automatic Data Collection Improve Performance in A Manufacturing System” **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**, Orlando, Florida, 1441-1445, 4-7 Dec. 2005.
 21. Gahagan, S. M. ve Herrmann, J. W. “Finding The Optimal Production Control Policy Using The Production Control Framework” **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**, Orlando, Florida, 1418-1427, 4-7 Dec. 2005.
 22. Ali, S. A. , Seifoddini, H. ve Sun, H. “Intelligent Modeling and Simulation of Flexible Assembly Systems” **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**, Orlando, Florida, 1350-1358, 4-7 Dec. 2005.
 23. Chan, F. T. S. ve Chan, H. K. “Simulation Analysis of a PCB Factory using Factorial Design – A Case Study” **International Journal Advanced Manufacturing Technologies**, 21:523–533, 2003.
 24. Choi, S.D. , Kumar, A. R. ve Houshyar, A. “A Simulation Study of an Automotive Foundry Plant Manufacturing Engine Blocks” **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference**, 1035-1040, 8-11 Dec. 2002.