



PARTİ TİPİ ÜRETİM YAPAN BİR İMALAT SİSTEMİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE ANALİZİ¹

Alperen Mustafa YİĞİT**

ÖZ

Bu çalışmanın amacı bir ofis mobilya işletmesinin üretim sistemini simülasyon yazılımı sayesinde modellemektir. Ayrıca simülasyon yazılımı sayesinde sistemin verimliliğini ölçmek ve verimliliği artıracak öneriler sunmak da amaçlanmıştır. İşletmenin mevcut üretim sistemini yansıtan simülasyon modeli oluşturulduktan sonra örnek bir talep oluşturulmuş ve modele eklenmiştir.

Buna göre sistemde kenar bantlama makinelerinin bulunduğu istasyonun darboğaz oluşturduğu tespit edilmiştir. Mevcut durumun verimliliğini artırmak için ilk önce bir adet kenar bantlama makinesinin sisteme eklenmesi önerilmiş ve sistem tekrar simüle edilmiştir. Bu çözüm örnek talebin toplam üretim süresini %28 kısaltmış ve makinelerin kullanım oranlarını %40'lara varan oranlarda yükseltmiştir. Ancak bu öneri darboğaz problemini tam olarak çözmediğinden ikinci bir kenar bantlama makinesi eklenmesi önerisinde bulunulmuştur. Buna göre simülasyon tekrar yapıldığında darboğaz problemi ortadan kalkmıştır. Birinci öneride elde edilmiş olan zaman tasarrufu bu öneriyle birlikte %30'a çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Modelleme, Simülasyon, Verimlilik, ProModel, Ofis Mobilyaları

ANALYZING A BATCH PRODUCTION SYSTEM WITH SIMULATION METHOD

ABSTRACT

The purpose of this study is modeling current production system by simulation software. It is also aimed that measuring the effectiveness of current system and presenting recommendations to increase productivity with simulation software. After establishing the simulation model that reflects the current production system, a sample demand is created and added to model. Then it has become possible to observe production of this demand visually in computer environment with simulation software.

With analyzing the system, it is determined that the station of edge-banding machines is the bottleneck. To improve the efficiency of the current situation, adding an edge-banding machine was proposed and the simulation was done again. With this solution, total production time has shortened by 28% and machine utilization rates have increased up to 40%. However, this suggestion did not solve the bottleneck problem and a second proposal as addition another edge banding machine has been submitted. With running simulation according to the suggestion, the bottleneck problem has been eliminated. Time saving which has obtained with first suggestion of solution has increased to 30% with the second suggestion of solution.

Key Words: Modeling, Simulation, Productivity, ProModel, Office Furniture

1. GİRİŞ

İşletmelerin üretim sahasında gittikçe daha fazla makinenin, insanın ve üretim ekipmanlarının bulunduğu, müşteri tercihlerinin çabuk değişebildiği, rakiplerin daha fazla fiyat ve ürün baskısı oluşturduğu bir ortamda üretim sistemleri de pek çok zor problem ile karşı karşıya kalmaktadır.

Karşılaşılan bu problemlerin çözülmesi için pek çok teknik kullanılmakla birlikte, bunlardan birisi de modelleme yaklaşımıdır. Esasen modelleme yaklaşımı çok eskiden beri kullanılan bir tekniktir. Modelleme yaklaşımı fiziksel modelleme ve matematiksel modelleme olarak iki ana

¹ Bu makale yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

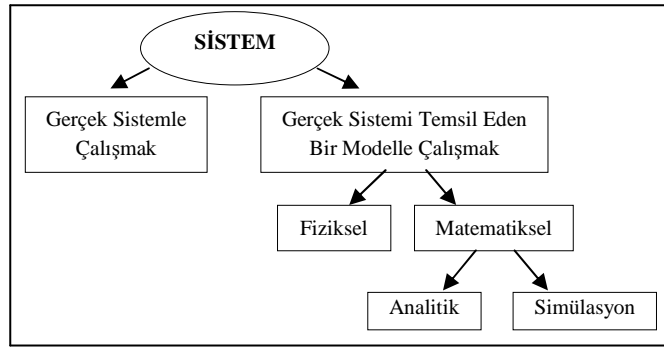
** Yrd. Doç. Dr., Ordu Üniversitesi Ünye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, alperenyigit@odu.edu.tr



grupta değerlendirilebilir. Matematiksel modelleme tekniğinin teknolojinin gelişmesi ile birlikte görsel olarak bilgisayar ortamına aktarılmasına simülasyon denilmektedir. Gerçek hayattaki problemlerin karmaşıklığı, fiziksel modellemenin pek çok durumda uygulanmasının zor veya imkansız olması, bir problemin çözümü için parametreler üzerinde değişikliklerin çabuk ve nispeten daha kolay olması gibi avantajlardan dolayı simülasyon tekniği gittikçe daha fazla kullanılmaktadır.

2. MODELLEME

Bir sistemi inceleme yöntemleri Şekil 1’de de görüldüğü üzere temel olarak ikiye ayrılabilir. Bunlardan birincisi ilk akla gelecek olan gerçek sistem üzerinde çalışmaktır. Eğer gerçek bir sistem üzerinde çalışmak mümkün değilse onu temsil eden bir model üzerinde çalışılabilir. Model ele aldığı konunun tüm görünümünü belirlemekten çok konu ile ilgili ve özelliği olan ilişkileri gösterir. Model gerçek olayın bir temsilcisi ve özeti durumundadır. Bir sistemin veya sürecin temsilcisi olarak tanımlanabilen model ilgi amacına etki eden sistemin elemanlarını birleştirir. Model sistemin veya sürecin tam bir kopyası değildir. Fakat modeller bazı ayrıntıları bünyesinde bulundurduğundan sürecin kendisi yerine kullanılabilirler (Öztürk, 2004: 19).



Şekil 1: Bir Sistemi İnceleme Yöntemleri
(Kaynak: Law ve Kelton, 2000: 4)

İkonik modeller de olarak adlandırılan fiziksel modeller gerçek sistemin minyatür maketi olarak düşünülebilir. Ancak mühendislik sistemleri için çok da uygun olmayan bu modellerin yerine daha çok matematiksel modeller kullanılmaktadır. Matematiksel modeller sistemi mantıksal ve kantitatif ilişkiler içerisinde ele alır. Matematiksel model oluşturulduğunda eğer model yeterince basit ise analitik bir çözüme gidilebilir. Analitik çözüm her zaman ilk tercih edilen olmalıdır. Ancak birçok sistem oldukça karmaşıktır. Böyle bir durumda simülasyon yönteminin kullanılması kaçınılmazdır (Law ve Kelton, 2000: 4-5).

2.1. Simülasyon

Matematik modellemede kaydedilen tüm ilerlemelere rağmen gerçek durumların çoğunda sistemin matematiksel gösterimi mümkün olmamaktadır. Gerçek hayattaki sistemlerin karmaşıklığı göz önünde bulundurulduğunda kullanılacak en uygun yaklaşımlardan biri simülasyondur. Simülasyon gerçek sistemi küçük birimler halinde inceler ve bu birimleri birlikte hareket ettirecek mantıksal ilişkileri kullanarak sistemin mevcut davranışını taklit eder (Taha, 2004: 4).



Simülasyon gerçek dünyadaki bir sürecin veya sistemin benzetiminin yapılmasıdır. Simülasyonda sistemin yapay bir geçmişi oluşturulur ve temsil edilen gerçek sistemin faaliyet özellikleri ile ilgili çıkarımda bulunmak için bu yapay geçmiş gözlemlenir. Simülasyon pek çok gerçek dünya probleminin çözümü için vazgeçilmez problem çözme yöntemidir. Simülasyon bir sistemin davranışını tanımlamak ve analiz etmek, gerçek sistemi sorgulamak, gerçek sistemin tasarımına yardımcı olmak için kullanılır. (Banks, 1998: 3-4).

2.2. Simülasyonun Kullanım Alanları

Günümüzde modelleme ve simülasyon teknolojilerinin çeşitli kullanım alanları mevcuttur. Bunlardan en sık kullanılanları (Mevlütöğlu, 2010: 23):

Araştırma ve Geliştirme: Yeni tasarım ve teknolojilerin sanal ortamda modellenmesi, ortam ve diğer sistemlerle etkileşimlerinin incelenmesi (Örnek: Sanal tasarım odaları).

Tasarım: Konsept tasarım, tasarım optimizasyonu, sanal prototip oluşturma (Örnek: Sistem Entegrasyon Laboratuvarları).

Eğitim: Bir sistemi kullanacak operatör ya da ekibin kullanıma yönelik olarak verilen eğitimler (Örnek: Uçak veya helikopter simülatörleri).

Karar Destek: Tedarik, süreç optimizasyonu ve strateji geliştirme gibi süreçlerde destek olmak üzere senaryo ve süreç simülasyonu (Örnek: 3D sanal kum sandığı uygulamaları).

Eğlence: Görsel, işitsel vb. teknolojiler ile birlikte etkileşimli eğlence araç ve ortamları hazırlanması (Örnek: Hareketli platform üzerinde 3D sinema salonu uygulamaları).

2.3. Simülasyon Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Gittikçe daha fazla kullanılmakta olan simülasyon yönteminin getirdiği bazı avantaj ve dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür:

- Stokastik bileşenlerden oluşan karmaşık, gerçek dünya sistemlerinin birçoğu analitik olarak çözülebilecek matematiksel modellerce doğru olarak açıklanamaz (Law ve Kelton, 1982: 8). Bu nedenle simülasyon genellikle mümkün olan tek inceleme seçeneğidir. Simülasyon modelleri, her türlü düzeydeki ayrıntıyı dâhil edecek esnekliğe sahiptir. Ayrıca analitik modeller gerçek sistemi çeşitli varsayımlar altında kısmi olarak modellerken simülasyon tüm sistemi modelleyebilir.
- Simülasyon var olan öngörülebilir çalışma koşulları altında sistemin performansını hesaplama imkanı verir (Law ve Kelton, 1982: 8).
- Uzun zaman alan sistemler ya da süreçler için zaman üzerinde oynamak gerekebilir. Bu durumda simülasyon, zaman üzerinde tam bir denetim sağlayabilecek bir yaklaşımdır. Çünkü olay istenildiği gibi hızlandırılıp, yavaşlatılabilir (Erkut, 1992: 4).
- Görsel bir teknik olduğu için modeli ve sonuçlarını anlamayı kolaylaştırır.
- Simülasyon, değişik şartlar altında sistemin nasıl olacağı hakkında çok az veriye sahip olduğumuz veya hiç bir veriye sahip olmadığımız yeni durumlar üzerinde deney yapma amacı ile kullanılabilir (Öztürk, 2004: 117).
- Her alternatifin simüle edilmesi imkânsız olabilir. Dolayısıyla seçilen alternatifler arasından en iyi sonuç bulunabilir ama simüle edilmeyen alternatifler arasından daha iyi bir sonucun çıkıp çıkmayacağını bilmenin yolu yoktur (Lapin'den aktaran Kavcar, 2004:52).
- Simülasyon ile modelleme yapmak maliyetli ve zaman alıcı bir yöntemdir (Shah vd., 2007: 487).



- Simülasyon ile elde edilen sonuç yönetsel bakış açısına göre değişiklik gösterir (Shah vd., 2007: 488).
- Bir sistemi simülasyon ile modellemek için çok sayıda veri elde etmek gereklidir. Bu ise her analizin simülasyona uygun olmaması demektir (Robinson, 2004: 10).
- Simülasyon modelleme, istatistik, proje yönetimi gibi alanlarda bilgi sahibi olmanın yanında bilgisayar ve yazılım bilgisine de sahip olma zorunluluğu yüzünden uzmanlık gerektirir (Robinson, 2004: 10).
- Bilgisayar kullanılarak yapılmış analizlere olan aşırı güven sonuçların doğruluğunun sorgulanmamasına neden olabilir (Robinson, 2004: 11).
- Deterministik problemlere uygulanmaz (Monks, 1996: 160).

3. SİMÜLASYON UYGULAMASI

Bu bölümde öncelikle uygulama yapılan işletmenin tanıtılmasına, sonrasında ise mevcut durumun ve geliştirilen önerilerin modellenerek çözümlenmesine yer verilmiştir.

3.1. İşletmenin Tanıtılması

Bu çalışma Amasya'nın Merzifon ilçesinin Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir tesiste yapılmıştır. İşletme ofis mobilyaları alanında panel mobilya üretimi yapmaktadır. 1985 yılında Amasya'da kurulan fabrika sahası daha sonra yatırımlarına devam ederek 2010 yılında Merzifon ilçesine taşınmıştır. Mevcut tesis toplamda 10.000 m²'si kapalı olmak üzere 20.000 m² alan üzerine kuruludur. Toplamda 105 çalışanı ile faaliyetleri sürdüren işletmenin üretim bölümü haftada 5 gün 08:00-18:00 saatleri arasında çalışmaktadır. İşletme stok miktarlarını düşük tutmak amacıyla müşterilerden gelen siparişleri belirli periyotlarda toplayarak üretim yapmaktadır. Gelen siparişlerin adet ve özelliğine göre 3-7 iş günü içerisinde üretilerek sevkiyatlarının yapılması planlanmaktadır. Üretilen ürünlerin hemen hemen hepsi demonte olarak paketlenmektedir. Bu şekilde işletme, ürünlerin paket hacimlerini küçültmekte ve nakliyede maliyetleri düşürmektedir.

3.2. Mevcut Durum

Genel olarak tesiste prosese göre yerleşim mevcuttur. Ancak aynı işi yapan makineler bir arada tutulurken oluşan bu gruplar belli bir iş akışı göz önünde bulundurularak sıralanmıştır. Böylece hem üretimde esneklik sağlanmaya çalışılmış hem de taşıma maliyelerinin azaltılması öngörülmüştür. Üretimde kullanılan temel malzeme plakalar halinde satın alınan yonga levhalardır. En çok kullanılan diğer temel malzemeler ise kenar bandı (PVC), metal olan masa ayak ve perdeleri, dolap ve masa camlarıdır. Bunların dışında parasal olarak yüksek meblağlar tutmayan bağlantı elemanları, aksesuarlar, kilit, karton ve strafor köpük de kullanılmaktadır.

Fabrikanın kullandığı temel malzeme olan plaka halindeki melamin kaplı yonga levhaları kesmek için 2 adet çoklu kesim makinesi mevcuttur. Kesilen parçaların kenar yüzeylerinin işlenmesi için de 2 adet kenar bantlama makinesi vardır. Kesim makinelerinde istenilen ebatlarda kesilen parçalara, bazı ürünleri oluşturmak için eğrisel şekiller vermek gereklidir. Bunun için 2 adet CNC işlem merkezi bulunmaktadır. Ayrıca delik delme işlemlerini gerçekleştiren 2 adet de çoklu delik makinesi vardır. Bunun dışında kesilen parçaların istiflendiği büyük bir ara stok alanı, 5 adet işlem istasyonu ve paketleme lokasyonu



vardır. Sistemde panel ofis mobilyasını oluşturan parçalar, makineler ve lokasyonlar arasında rulolu konveyörler ve paletler vasıtasıyla taşınmaktadır.

Simülasyon İçin Kullanılan Ürünler ve Parçalar

Fabrikada çeşitli tiplerde ofis mobilyaları üretilmektedir. Ancak bu çalışmada genel olarak en çok üretilen 15 model seçilmiştir. Söz konusu ürünler belirli modellerdeki masa, etajer, sehpa, dolap ve komodin tipleridir. Üretimde kullanılan melamin kaplı yonga levhaların ölçüsü 3,66x1,83 m.'dir. İmalatı yapılacak ürüne göre bu yonga levhanın kalınlığı değişmektedir. Masa üretimi için 30 mm kalınlığında yonga levha kullanılırken, dolap ve komodin üretimi için 18 mm kalınlıkta olanlar kullanılır. Ayrıca dolap ve komodinlerin arka yüzeylerini kapatmak için 8 mm kalınlığındaki yonga levhalar da kullanılmaktadır. Aşağıdaki tabloda seçilen ürünleri oluşturan parçaların ölçüleri ve kullanım miktarları belirtilmiştir.

Tablo 1: Ürün Reçeteleri

| Komodin-1 | | | | Etejer-1 | | | |
|--------------|------|-----------|------------------|------------|------|-----------|-----|
| Parça | Adet | Ölçü (cm) | L/P ² | Parça | Adet | Ölçü (cm) | L/P |
| Yan | 2 | 64*48 | 15 | Üst | 1 | 90*55 | 12 |
| Üst | 1 | 48*37 | 28 | Ayak | 2 | 60*45 | 24 |
| Alt | 1 | 48*40 | 28 | Dikme | 2 | 12*45 | 80 |
| Arkalık | 1 | 62*39 | 20 | Perde | 1 | 75*30 | 24 |
| Alınlık | 3 | 21*40 | 68 | Klavye | 1 | 73*40 | 20 |
| Çekmece Altı | 3 | 40*34 | 45 | | | | |
| Sehpa-1 | | | | PC Masası | | | |
| Üst | 1 | 50*50 | 21 | Üst | 1 | 90*60 | 12 |
| Ayak | 2 | 35*40 | 40 | Ayak | 2 | 71*50 | 15 |
| | | | | Orta Tabla | 1 | 71*50 | 15 |
| Komodin-2 | | | | Alt Tabla | 1 | 27*50 | 36 |
| Yan | 2 | 48*43 | 28 | Klavye | 1 | 54*35 | 30 |
| Üst | 1 | 41*45 | 32 | Perde | 1 | 57*35 | 30 |
| Alt | 1 | 43*40 | 32 | | | | |
| Arkalık | 1 | 48*39 | 28 | | | | |
| Alınlık | 3 | 16*40 | 88 | | | | |
| Çekmece Altı | 3 | 40*34 | 45 | | | | |
| Yan Kol | | | | Masa-2 | | | |
| Tabla | 1 | 80*50 | 12 | Üst | 1 | 160*60 | 6 |
| | | | | Ayak | 2 | 70*60 | 15 |
| Komodin-3 | | | | Fon | 1 | 161*25 | 14 |
| Yan | 2 | 48*43 | 28 | Perde | 1 | 145*40 | 8 |
| Üst | 1 | 41*45 | 32 | | | | |
| Alt | 1 | 43*40 | 32 | Masa-3 | | | |
| Arkalık | 1 | 48*39 | 28 | Üst | 1 | 201*91 | 2 |
| Alınlık | 3 | 16*40 | 88 | Üst Altı | 1 | 201*91 | 2 |
| Çekmece Altı | 3 | 40*34 | 45 | Ayak | 2 | 70*60 | 15 |
| | | | | Perde | 1 | 153*45 | 8 |
| Masa-1 | | | | Çıta | 4 | 70*15 | 60 |
| Üst | 1 | 180*90 | 4 | | | | |
| Ayak | 2 | 60*80 | 12 | Sehpa-3 | | | |
| Dikme | 2 | 12*80 | 60 | Üst | 1 | 61*51 | 18 |

² L/P: Bir yonga levhadan çıkan ilgili parça adeti



| | | | | | | | |
|-----------------|---|--------|----|---------------|---|--------|----|
| Perde | 1 | 164*25 | 14 | Üst Altı | 1 | 61*51 | 18 |
| Perde çita | 1 | 164*12 | 28 | Ayak | 2 | 40*35 | 45 |
| Sehpa-2 | | | | Orta Tabla | 1 | 47*35 | 35 |
| Üst | 1 | 60*50 | 18 | Masa-4 | | | |
| Ayak | 2 | 30*40 | 48 | Üst | 1 | 160*80 | 4 |
| | | | | Ayak | 2 | 70*60 | 15 |
| | | | | Perde | 1 | 145*40 | 8 |
| Etejer-2 | | | | Dolap | | | |
| Üst | 1 | 100*60 | 9 | Üst | 1 | 80*38 | 16 |
| Üst Altı | 1 | 100*60 | 9 | Alt Tabla | 1 | 80*35 | 20 |
| Ayak | 2 | 70*45 | 20 | Raf | 4 | 77*33 | 20 |
| Perde | 1 | 73*45 | 20 | Yan | 2 | 175*35 | 10 |
| Çita | 4 | 70*15 | 60 | Arkalık | 1 | 177*79 | 4 |
| Klavye | 1 | 71*35 | 25 | Kapak | 2 | 72*40 | 20 |

Ofis mobilyası imalat sisteminin simülasyonu için taleplere ilişkin verilere gereksinim vardır. Ancak çalışmanın yapıldığı ofis mobilyası fabrikasından bu bilgilerin işletme için önemli bilgiler olduğu gerekçesiyle gerçek talepler elde edilememiştir. Yapılan üretim sahası incelemeleri ve üretim planlama departmanının vermiş olduğu bilgiler doğrultusunda tahmini talep miktarları oluşturularak sisteme eklenmiştir. Buna göre oluşturulan modelde aşağıda belirtilen miktarlarda ürünlerin sisteme girmesi sağlanmıştır. Burada sisteme gelişlerin aynı miktarlarda 2 sefer gerçekleştiği varsayılmıştır. Birinci seferdeki ürünler ile ikinci seferdeki ürünlerin renkleri farklı olabilir. Bu da daha gerçekçi bir modelleme oluşmasını sağlamaktadır. Tablo 2’de simülasyon sisteminde girdi olarak kullanılan ürünler ve temsili talep miktarları görülmektedir.

Tablo 2: Sisteme Giren Ürünler ve Temsili Talep Miktarları

| Sıra | Ürün | Adet | Toplam Adet | Sıra | Ürün | Adet | Toplam Adet |
|------|-----------|------|-------------|------|-----------|------|-------------|
| 1 | Komodın-1 | 60 | 120 | 9 | PC Masası | 60 | 120 |
| 2 | Sehpa-1 | 40 | 80 | 10 | Masa-2 | 24 | 48 |
| 3 | Yan Kol | 24 | 48 | 11 | Masa-3 | 30 | 60 |
| 4 | Komodın-2 | 60 | 120 | 12 | Sehpa-3 | 30 | 60 |
| 5 | Masa-1 | 40 | 80 | 13 | Etejer-2 | 30 | 60 |
| 6 | Etejer-1 | 40 | 80 | 14 | Masa-4 | 30 | 60 |
| 7 | Komodın-3 | 60 | 120 | 15 | Dolap | 20 | 40 |
| 8 | Sehpa-2 | 40 | 80 | | | | |

Çalışmada seçilen 15 ürünü oluşturan bütün parçalar yazılımda kodlanmıştır. Ayrıca oluşturulan talep miktarları için gereken parça sayılarını sağlamak amacıyla ne kadar melamin kaplı yonga levhaya ihtiyaç olduğu (1)’deki formülle hesaplanmıştır.

$$YLM = \frac{TM \times KM}{\text{ÇPA}} \quad (1)$$



Formülde;

YLM : Sisteme giren yonga levha miktarını,
 TM : Ürünün talep miktarını,
 KM : Bir ürün için kullanılan parça miktarını,
 ÇPA : Bir adet yonga levhadan çıkan parça adedini tanımlamaktadır.

Tablo 3'te örnek iki ürün (komodin ve sehpa) için sisteme giren yonga levhalara ve bunların dönüştükleri parça miktarlarına yer verilmiştir.

Tablo 3: Seçilmiş İki Ürün İçin Sisteme Giren Yonga Levhalar ve Dönüştükleri Parça Adetleri³

| Yonga Levhaların Sistemde Tanımları | Sisteme Giren Yonga Levha Miktarı (Adet) | Yonga Levhanın Dönüştüğü Parçalar | Dönüşen Parçaların Miktarları (Adet) |
|-------------------------------------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|
| S1 | 16 | Komodın-1 Yan | 240 |
| S2 | 4 | Komodın-1 Üst | 120 |
| S3 | 4 | Komodın-1 Alt | 120 |
| S4 | 6 | Komodın-1 Arkalık | 120 |
| S5 | 6 | Komodın-1 Alınlık | 360 |
| S6 | 8 | Komodın-1 Çekmece Altı | 360 |
| S7 | 4 | Sehpa-1 Üst | 80 |
| S8 | 4 | Sehpa-1 Ayak | 160 |

Modelde Kullanılan Parçaların İzlediği Rotalar

Sistemde kullanılan parçaların yarı mamul stok alanına gelinceye kadar izledikleri rotalar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Seçilmiş İki Ürünü Oluşturan Parçalar ve İzledikleri Rotalar

| Parçalar | İzledikleri Rotalar |
|------------------------|---------------------|
| Komodın-1 Yan | K – KB – Dİ – YM |
| Komodın-1 Üst | K – KB – Dİ – YM |
| Komodın-1 Alt | K – KB – Dİ – YM |
| Komodın-1 Arkalık | K – YM |
| Komodın-1 Alınlık | K – KB – YM |
| Komodın-1 Çekmece Altı | K – YM |
| Sehpa-1 Üst | K – KB – Dİ – YM |
| Sehpa-1 Ayak | K – KB – Dİ – YM |

K:Kesme, KB: Kenar Bantlama, Dİ: Delme İşlemi, YM: Yarı Mamul

Modelde Yer Alan Makinelere Ait Süreler

Kesim makinelerinin hazırlık süreleri bir tür parçadan başka bir tür parçaya geçişte oluşan sürelerdir. Bu makinelerde ayrıca her 20 yonga levha kesildikten sonra testere değişimi yapılmaktadır. Tablo 5'de bu makinelerdeki hazırlık süreleri ile testere değişim süreleri verilmiştir.

Tablo 5: Kesim Makinelerinin Hazırlık ve Testere Değişim Süreleri

| | Hazırlık Süresi (dk) | Testere Değişim Süresi (dk) |
|------------------|----------------------|-----------------------------|
| Kesim Makineleri | N(0.58;0.04) | N(8.37;0.89) |

³ Modelde yer alan 15 ürün için sisteme 66 parça girmiştir. İlgili tabloda sadece seçilen 2 ürünü oluşturan 8 parçaya ait değerlere yer verilmiştir.



Kenar bantlama makinelerinde ise durmalar parçaların makineye yanlış yüklenmesinden kaynaklanmaktadır. Kısa sürede giderilen bu durmalar ile ilgili süreler Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6: Kenar Bantlama Makinelerinin Durma ve Sorun Giderme Süresi

| | Durmalar (dk) | Sorun Giderme Süresi (dk) |
|----------------|---------------|---------------------------|
| Kenar Bantlama | U(7,90) | N(0.41;0.05) |

CNC işlem merkezinde parçaların işlem görmeyen önce operatör tarafından yapılması gereken bazı hazırlıklar vardır. Bu hazırlıklara ait süreler Tablo 7’de belirtilmiştir.

Tablo 7: CNC İşlem Merkezlerinin Hazırlık Süresi

| | Hazırlık Süresi (dk) |
|----------------------|----------------------|
| CNC İşlem Merkezleri | N(2.67;0.31) |

Modelde Yer Alan Parçaların İşlem Süreleri

Belirlenmiş 15 farklı ürünün üretilmesi için bütün faaliyetler incelenmiş ve 108 aşama tespit edilmiştir. Bu 108 aşama için zaman etüdü çalışması yapılmıştır. Her bir aşama 30 kez ölçülmüş ve ölçülen sürelerin ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanarak simülasyon yazılımına aktarılmıştır.

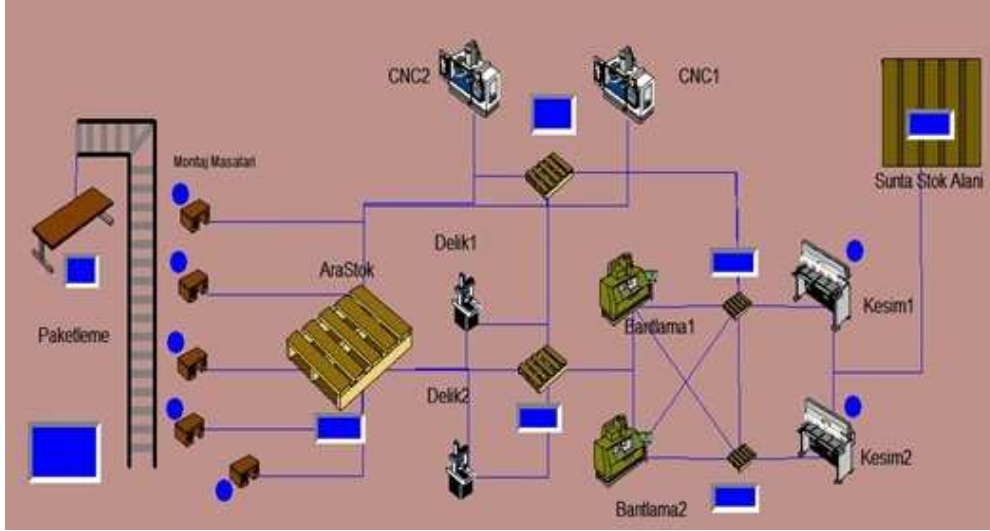
Maliyetler

Simülasyonun daha anlamlı sonuçlar vermesi amacıyla önemli maliyet kalemleri hesaplanmıştır. Tablo 8’de mevcut simülasyon modelindeki lokasyonların, kaynakların ve yonga levhanın birim maliyetleri verilmiştir.

Tablo 8: Lokasyonların, Kaynakların ve Yonga Levhanın Maliyetleri

| Yerin Adı | Maliyeti | Kaynaklar | Maliyeti |
|------------------|-------------|---------------------|-----------------|
| Kesim-1 | 5.5 TL/saat | Forklift | 2 TL/kullanım |
| Kesim-2 | 5.5 TL/saat | Kesim Operatörü | 6 TL/saat |
| Bantlama-1 | 110 TL/saat | Bantlama Operatörü | 7 TL/saat |
| Bantlama-2 | 110 TL/saat | Delik Operatörü | 8 TL/saat |
| CNC-1 | 40 TL/saat | CNC Operatörü | 8.5 TL/saat |
| CNC-2 | 40 TL/saat | Ara Stok Operatörü | 6 TL/saat |
| Delik-1 | 1 TL/saat | Usta 1-2-3-4-5 | 9 TL/saat |
| Delik-2 | 1 TL/saat | Paketleme Sorumlusu | 5 TL/saat |
| Ara Stok | 0.1 TL/saat | Yonga Levha | Maliyeti |
| Montaj-1-2-3-4-5 | 2 TL/saat | 8mm | 55.5 TL/adet |
| Paketleme | 140 TL/saat | 18mm | 70.2 TL/adet |
| | | 30mm | 104.3 TL/adet |

Elde edilen veriler ProModel simülasyon yazılımına aktarılmış ve mevcut imalat sisteminin görsel şekli oluşturulmuştur.



Şekil 2: Mevcut Durumun Simülasyon Görüntüsü

Mevcut Durumun Değerlendirilmesi

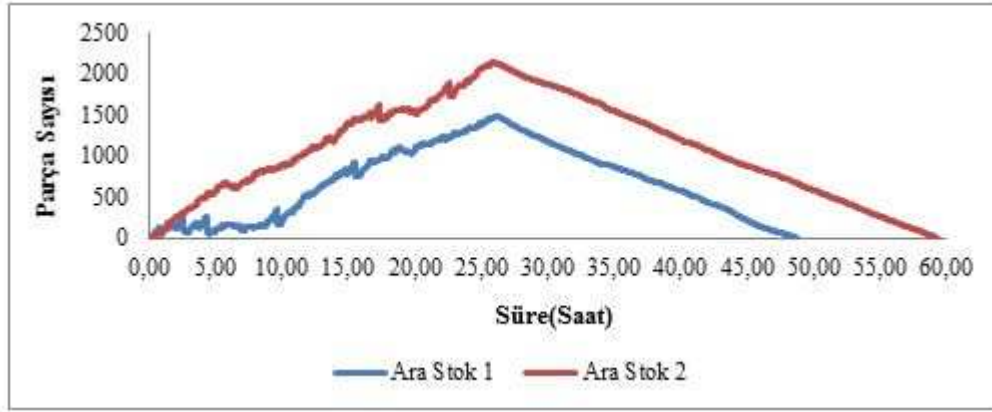
Simülasyon yazılımı seçilen 15 farklı ürün için toplamda 1176 adet ürünün üretimini simüle etmiştir. Sistemdeki süreler çeşitli dağılımlara sahip olduğu için her bir çalıştırma farklı sonuç verecektir. Bu yüzden toplam imalat süresini mümkün olduğunca doğru belirlemek için simülasyon 20 kez tekrarlatılmıştır. Oluşan değerler bu 20 kez çalışmanın sonucunda elde edilen ortalamalardır.

Tablo 1: Mevcut Durumda Üretim Bölümlerinin ve Makinelerin Kullanım Miktarları ile Oranları

| Lokasyon | Toplam | Toplam | Her Varlık için | Kullanım |
|-----------|--------|--------|-----------------|----------|
| Girdi | 61,08 | 468 | 777,04 | 19,87 |
| Kesim1 | 61,08 | 65,05 | 22,51 | 39,95 |
| Kesim2 | 61,08 | 66,95 | 21,84 | 39,90 |
| Ara.01 | 61,08 | 4409 | 628,21 | 15,17 |
| Ara.02 | 61,08 | 4399 | 689,65 | 16,49 |
| Bantlama1 | 61,08 | 3553,6 | 2,78 | 54,08 |
| Bantlama2 | 61,08 | 3486,4 | 2,88 | 54,84 |
| CNC1 | 61,08 | 165,65 | 3,46 | 15,66 |
| CNC2 | 61,08 | 122,35 | 3,58 | 11,99 |
| Ara.03 | 61,08 | 6394 | 17,51 | 0,61 |
| Ara.04 | 61,08 | 298 | 35,38 | 0,36 |
| Delik1 | 61,08 | 2968,6 | 0,16 | 13,55 |
| Delik2 | 61,08 | 2031,4 | 0,17 | 9,44 |
| AraStok | 61,08 | 6810 | 376,27 | 6,99 |
| Montaj1 | 61,08 | 18 | 104,61 | 51,44 |
| Montaj2 | 61,08 | 18 | 104,82 | 51,55 |
| Montaj3 | 61,08 | 31,4 | 57,1 | 48,96 |
| Montaj4 | 61,08 | 26,6 | 62,04 | 45,06 |
| Montaj5 | 61,08 | 6 | 59,04 | 9,68 |
| Konveyor | 61,08 | 1176 | 0,77 | 0,90 |
| Paketleme | 61,08 | 1176 | 5,58 | 9,00 |



Mevcut durumda 1176 adet ürünün üretilmesi 61,08 saat sürmüştür. Kesim makineleri ile kenar bantlama makineleri arasında oluşan stoklar Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 olarak tanımlanmıştır. Şekil 3'te bu alanlardaki parça sayılarının zamana göre değişimi verilmiştir.



Şekil 3: Mevcut Durumda Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 Alanlarındaki Parça Sayılarının Zamana Göre Değişimi

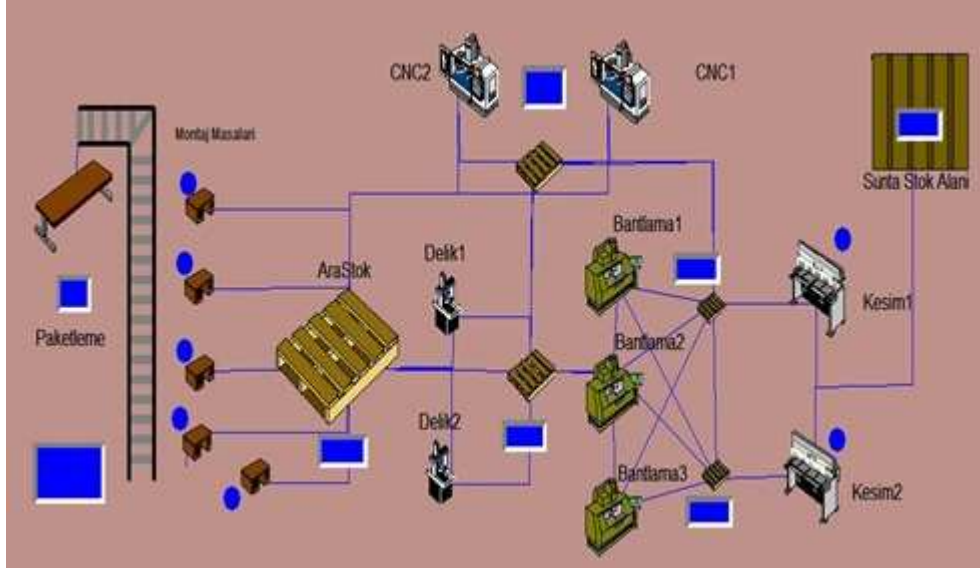
Şekilde de görüldüğü üzere bu alanlarda bir yığılma olmaktadır. Yaklaşık 25. Saatten sonra parça sayısının azalmaya başlamasının sebebi kesim bölümünden daha fazla parça gelmemesinden dolayıdır.

Çözüm Önerileri

Mevcut durumun analizinden sonra tespit edilen Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 alanlarındaki parça yığılmasına dair çözüm önerileri aşağıdaki gibidir.

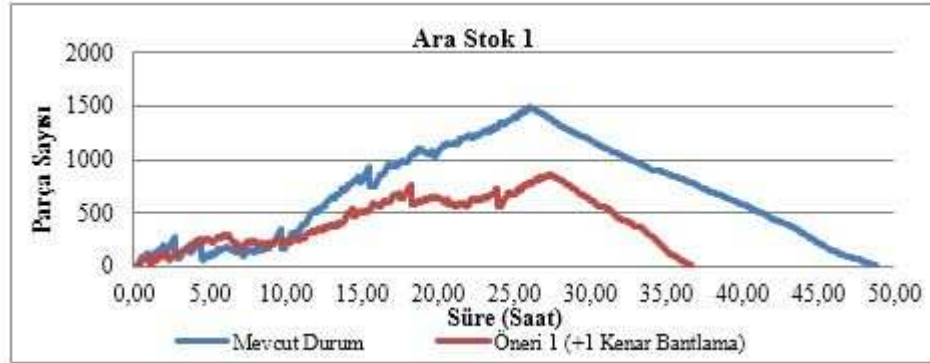
Birinci Öneri

İşletmenin üretiminde darboğaz olan kenar bantlama makineleri için çözüm olarak ilk önce aynı kapasiteli bir adet kenar bantlama makinesinin alınması önerilmiştir. Bu sayede kesim makinelerinden gelen parçaların 3 adet kenar bantlama makinesinden bantlanarak geçeceği ve yığılmaların azalacağı öngörülmüştür.

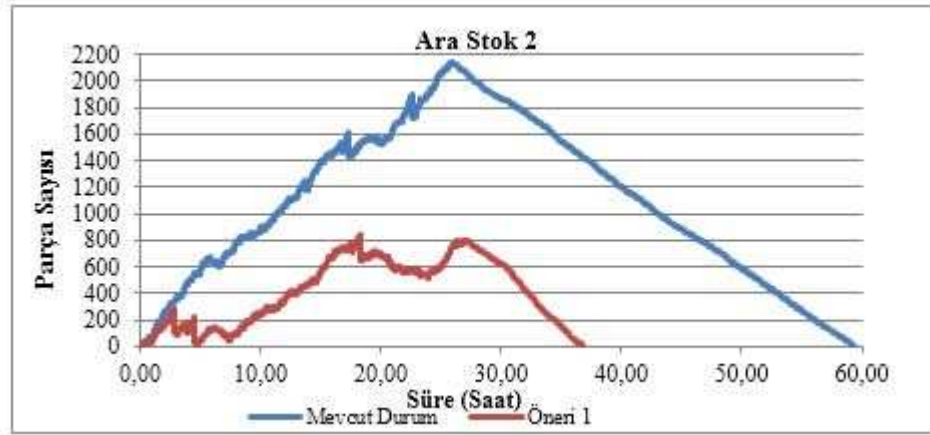


Şekil 4: Birinci Öneri Doğrultusunda Geliştirilen Modelin Simülasyon Görüntüsü

Buna göre yeni durumda kesim makinelerinden çıkan parçaların kenar bantlama makinelerini beklediği Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 alanlarındaki parça sayılarının zamana göre değişimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 5: Birinci Öneriden Sonra Ara Stok-1 Alanlarındaki Parça Sayılarının Zamana Göre Değişimi

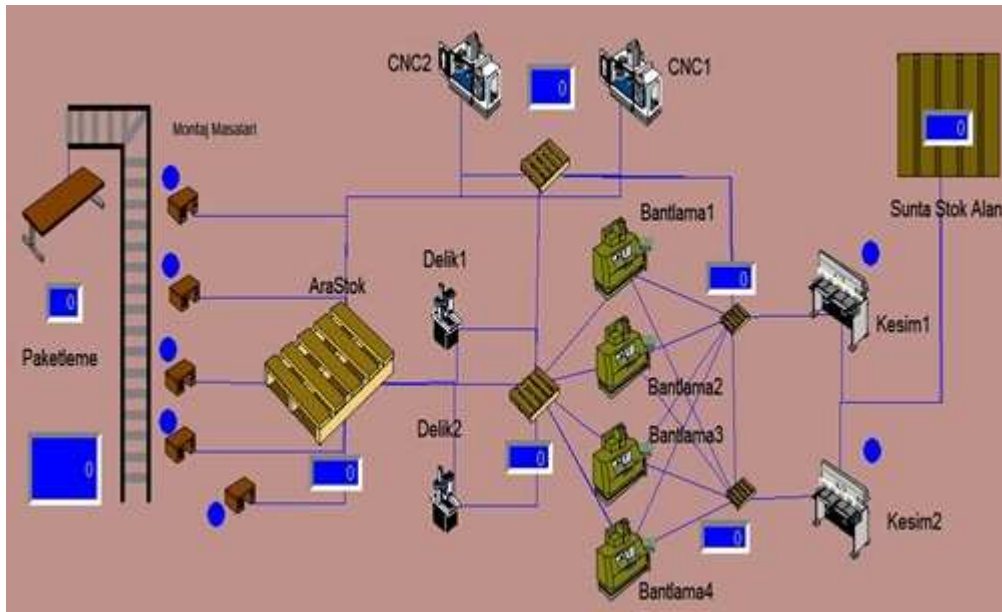


Şekil 6: Birinci Öneriden Sonra Ara Stok-2 Alanlarındaki Parça Sayılarının Zamana Göre Değişimi

Sistemdeki kenar bantlama sayısını üçe çıkarmak ara stok alanlarındaki yığılmayı önemli oranda azaltmış fakat parça birikme problemini tam olarak çözememiştir.

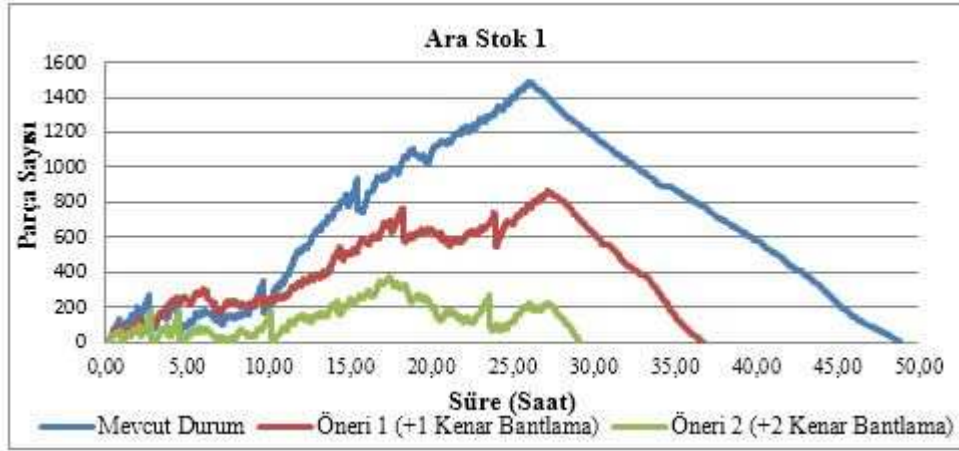
İkinci Öneri

Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 alanlarındaki parça yığılmalarının çözümü için sisteme bir adet daha kenar bantlama makinesi ilave edilebilir. Böylece kenar bantlama makinelerinin sayısı dörde çıkarılmış olur. Buna göre ikinci öneri doğrultusunda oluşturulan sistemin görüntüsü aşağıdaki gibidir.

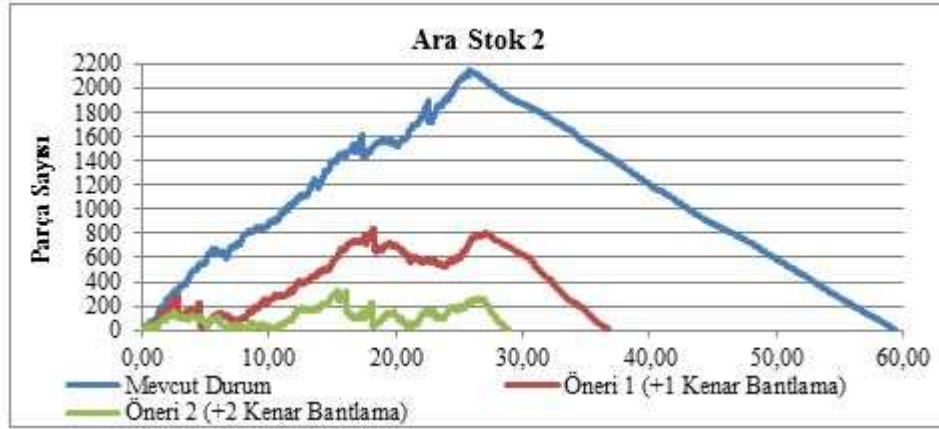


Şekil 7: İkinci Öneri Doğrultusunda Geliştirilen Modelin Simülasyon Görüntüsü

Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 alanlarındaki parça sayılarının ikinci öneriden sonra zamana göre değişimi aşağıdaki gibidir.

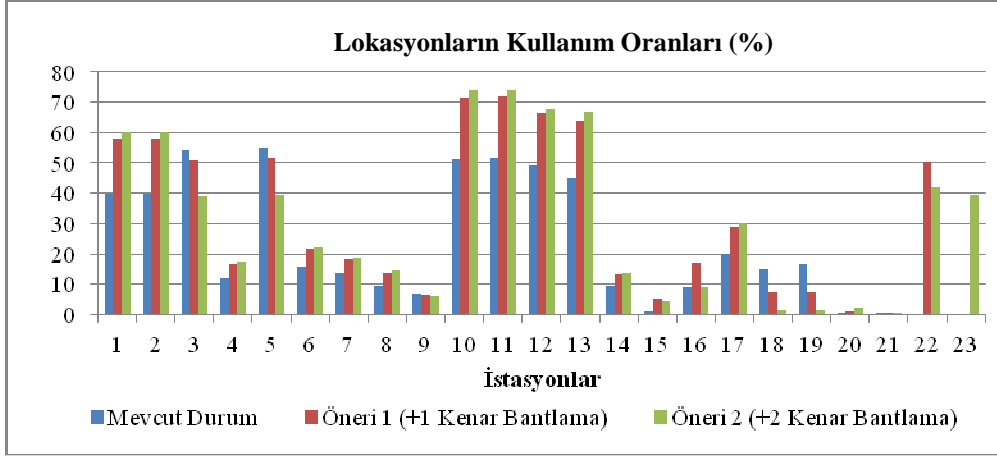


Şekil 8: İkinci Öneriden Sonra Ara Stok-1 Alanlarındaki Parça Sayılarının Zamana Göre Değişimi



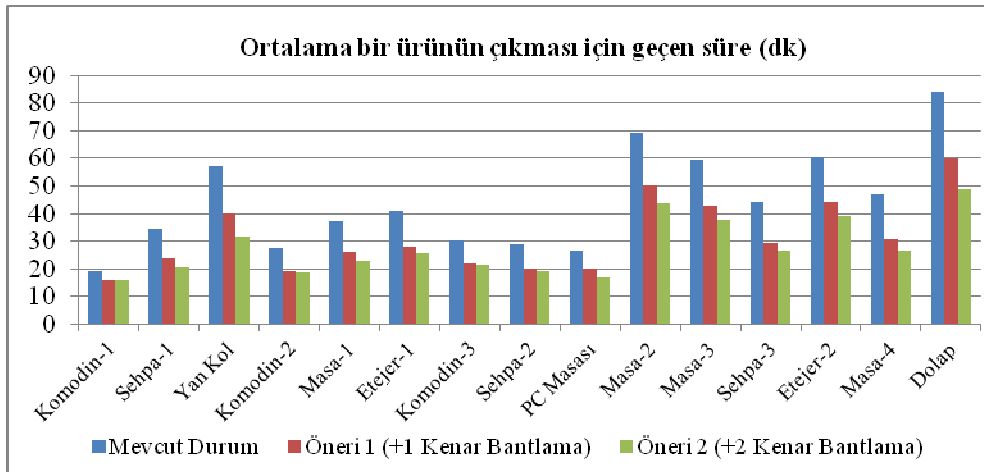
Şekil 9: İkinci Öneriden Sonra Ara Stok-2 Alanlarındaki Parça Sayılarının Zamana Göre Değişimi

Şekil 8 ve Şekil 9'dan da görüleceği üzere kenar bantlama makinelerinin sayısının dörde çıkarılması Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 alanlarındaki yığılma problemini tamamen kaldırmıştır. Aşağıdaki grafikte mevcut durumdaki ve sunulan öneriler neticesindeki lokasyonların kullanım oranları verilmiştir.

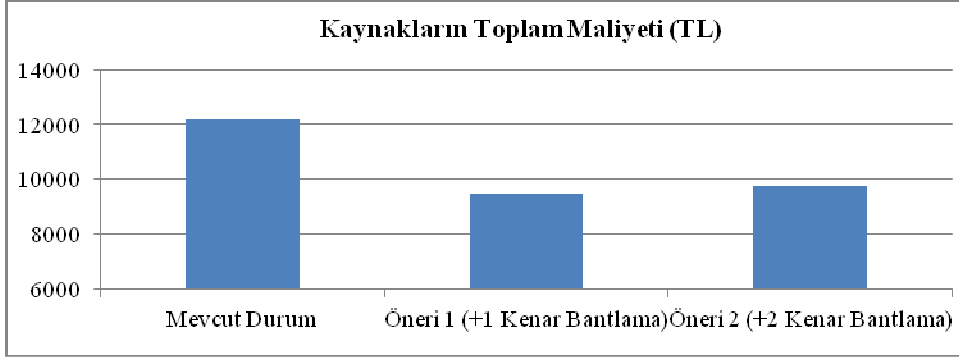


Şekil 10: Mevcut Durumdaki ve Sunulan Öneriler Neticesindeki Lokasyonların Kullanım Oranları

Aşağıdaki grafikte mevcut durumla birlikte verilen öneriler neticesinde talepte verilen ürünlerin her birinin ortalama sistemden çıkış süreleri verilmiştir.



Şekil 11: Mevcut ve Önerilen Durumlardaki Bir Ürünün Çıkması İçin Geçen Ortalama Süre
 Kaynakların toplam maliyetlerini farklı durumlar için karşılaştıran Şekil 12’deki gibidir.



Şekil 12: Mevcut ve Önerilen Durumlara Ait Kaynakların Toplam Maliyeti

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen diğer bir sonuç işletmenin CNC işlem merkezlerini verimli kullanmamasıdır. Bu makinelerin kullanım oranları (yaklaşık CNC-1 %16, CNC-2 %12) çok düşüktür. Bunun en büyük sebebi bu makinelere parça gelmemesidir. Bu makineler yüzey işleme özelliklerine sahiptirler. Yani bir parçaya eğrisel şekil vermek amacıyla bu makineler kullanılır. Örnek olarak girilen talep işletmenin en çok sattığı 15 ürünü kapsamaktadır. Dolayısı ile işletmenin en çok sattığı bu ürünlerin çok az parçaları eğrisel şekil içerdiğinden bu makineler atıl kalmaktadır.

Mevcut durumda imalatta kullanılan kaynakların toplam maliyeti 12.176,36 TL olurken toplam imalat maliyeti 65.759,31 TL olmuştur.

Tespit edilen darboğaz probleminin çözümü için sisteme bir adet kenar bantlama makinesi daha ilave edilmesi düşünülmüştür. Simülasyon yazılımının en büyük faydalarından bir tanesi, sistemde arzu edilen bir değişikliğin sonuçlarını, henüz o değişiklik için yatırım yapmadan, bilgisayar ortamında görmeye imkân vermesidir. Dolayısıyla öneri olarak sunulan bir adet kenar bantlama makinesinin sisteme eklenmesi durumunda nasıl değişiklikler olacağını simülasyon modelinin çalıştırılması ile tespit etmek mümkündür.

Elde edilen yeni sistem simülasyon programında tekrar çalıştırıldığında aynı miktardaki talebin tamamlanma süresi 61,08 saatten 44,04 saate düşmüştür. Yaklaşık olarak talebin tamamlanma süresi %28 azalmıştır. Simülasyon süreci izlendiğinde Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 alanlarındaki parça yığılmalarının önemli oranlarda azaldığı görülmüştür.

Kaynak kullanımının maliyeti ise 12.176,36 TL'den 9.469,06 TL'ye düşmüştür. Sisteme iki kenar bantlama operatörü eklenmesine rağmen bu maliyetlerin düşmesinin sebebi toplam imalat süresinin %28 kısalmasıdır. Böylece örnek talep için harcanan işçilik maliyeti düşmüştür. Kaynak kullanım maliyetindeki düşme %22 civarında gerçekleşmiştir.

Sisteme bir adet kenar bantlama makinesi ekleme önerisi sistemde çok olumlu etkiler yaratmasına rağmen Ara Stok-1 ve Ara-Stok-2 alanlarındaki parça yığılma problemini tam olarak çözememiştir. Sisteme sürekli iş verildiği zaman yavaş da olsa bu alanlarda yığılma



devam etmektedir. Bu yüzden ikinci bir öneri olarak sistemin 4 adet kenar bantlama makinesine sahip olması sunulmuştur.

Birinci öneride olduğu gibi bu öneri için de mevcut sistem değiştirilerek 4 kenar bantlama makineli hale getirilmiştir. Yine bütün parça akışları düzenlenip, operatörler ve maliyetleri sisteme eklenmiştir.

İkinci öneride sistemin nasıl çalıştığı simülasyon programından izlenebilir hale getirildikten sonra bu sistemin örnek talebi tamamlama süresinin 42,53 saat olduğu görülmüştür. Bu süre bir önceki önerilen 3 kenar bantlama makineli sistemin tamamlanma süresi olan 44,04 saatten daha düşük bir süredir. Fakat tamamlanma süresindeki kısalma oranı %3'lerde kalmıştır.

Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 olarak adlandırılan alanlardaki parça yığılmalarına bakacak olursak artık zamanla bir artışın olmadığı görülmektedir. Yani kenar bantlama makineleri K makinelerinden gelen parçaları kolaylıkla işleyebilmektedir. Burada artık kenar bantlama makineleri bir darboğaz olmaktan çıkmıştır. Ancak delik işlemlerini bekleyen parçaların tutulduğu Ara Stok-3 alanındaki parça sayılarında bir artış gözlenmiştir. Bu da delik makinelerinin 4 kenar bantlama makinesinden çıkan parçalara yetişemediğini göstermektedir. Ancak bu birikim mevcut durumdaki Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 alanlarındaki birikime kadar yoğun değildir.

Sistemde 4 adet kenar bantlama makinesi olması 3 makineli sisteme göre çok fazla hızlanmaya sebep olmamıştır. Elde edilen zaman tasarrufu birinci önerideki miktarın yanında çok düşüktür. Sistemdeki diğer lokasyonların kullanım oranlarındaki iyileşmeler de birinci önerideki iyileşme oranlarının çok altında kalmıştır. Artık diğer lokasyonlar darboğaz oluşturmakta ve bu da toplam sistem verimliliğini etkilemektedir.

Kaynak kullanımının maliyeti ise birinci öneride gerçekleşen 9.469,06 TL'den 9.749,38 TL'ye çıkmıştır. Bu rakam mevcut durumdan hala düşük bir maliyettir. Ancak bu maliyetin birinci öneride oluşan maliyetten daha yüksek gerçekleşmesinin nedeni elde edilen süre kazanımını karşılığında maliyet avantajının, ilave 2 operatör maliyetini karşılamamasındandır.

Bütün bu analiz sonuçlarına göre işletmenin daha optimize edilmiş bir şekilde çalışması için aşağıdaki öneriler sunulabilir.

1. Mevcut durum incelendiğinde sistemde kenar bantlama makinelerinin bulunduğu lokasyon darboğaz oluşturmaktadır. Bu yüzden bu bölüme bir adet kenar bantlama makinesi eklemek çok faydalı olacaktır.
2. Kenar bantlama makinelerinin darboğaz olduğu görüldüğünden bu makinelerin hızlarının en optimum ayarlarda çalışması gerekmektedir.
3. Kenar bantlama makinelerinin durması bu sistem için bir handikaptır. Dolayısı ile bu makinelerin bakımı mutlaka en iyi şekilde gerçekleşmelidir. Ayrıca kullanım ömrü sınırlı olan makine parçaları var ise bu parçaların yedekleri fabrikada hazır bulundurulmalıdır.
4. Kenar bantlama operatörlerinin eğitimlerine önem verilmeli, performansları ölçülmelidir.
5. Sistem incelendiğinde kenar bantlama operatörlerinin parçaları makineye yüklerken ve boşaltırken aşırı efor sarf ettikleri görülmüştür. Bu yüzden onların hareket miktarlarını



düşürecek otomatik seviye ayarlayan parça istif paletlerinden makinelerin her iki tarafına da birer adet konulmalıdır.

6. Sistemde 3 adet kenar bantlama makinesinin parça yığılma problemini tam olarak çözmediği görülmüştür. Ancak 4. Makinenin toplam işlem süresini çok azaltmadığı da ortadadır. Dolayısı ile yönetim elde edilecek süre kazancının bu 4. Makine yatırımını karşılayıp karşılayamayacağını iyi analiz etmelidir. Eğer bu süre kazanımı karşılığında sağlanacak müşteri memnuniyeti gibi faktörlerden elde edilecek gelir, 4. Makine yatırımının geri dönüşünü çok uzun vadede karşılıyor ise, bu yatırımdan vazgeçilebilir.
7. Ara Stok-1 ve Ara Stok-2 alanlarındaki parça yığılmalarının çözümü için 3 adet kenar bantlama makinesi gereklidir. Aynı zamanda eğitim, bakım gibi faaliyetlerin iyileştirilmesi bu yığılmaları azaltacaktır. Bununla birlikte az da olsa sadece kenar bantlama makineleri bazı durumlarda fazla mesai yapmak gerekebilir.
8. İşletmenin 2 adet CNC işlem merkezi bulunmaktadır. Ancak bu işlem merkezlerine yeterince iş yükü verilemediğinden ciddi verimsizlik yaşanmaktadır. Bu yüzden işletme bu makinelerin özelliklerini kullanabilecek eğrisel şekilli yeni ürünleri portföyüne katmalıdır.
9. CNC işlem merkezleri için fason üretim yapmak da diğer bir verimliliği artırma şeklidir. Çünkü bu makineler sadece parçalara eğrisel şekil vermekte ve eğrisel KB yapmakta kullanılmaktadır.
10. Ara stok alanında çalışanların iş yükleri fazla değildir. Bu alandaki personel sayısının ikiden bire indirilmesi bazı büyük parçaların taşınmasında problem oluşturabilir. Ancak bu çalışanlara montaj masalarına gidecek parçaların hazırlanması dışında ilave işler verilebilir.
11. Ara stok alanında hazırlanan ürünlerin parti büyüklüklerinin küçülmesi durumunda ustalara daha sık ürün göndermek mümkün olacaktır. Ara stok alanında çalışanların iş yükü buna müsaittir. Böylece bir usta iş yaparken diğer ustaların beklediği durumlar azalabilecektir.
12. Montaj masalarındaki her usta belirli ürünleri yapmaktadır. Dolayısı ile bazen çok miktarda aynı tip ürün hazır olduğunda, hazır parçalar ara stok alanında ustanın elindeki işinin bitmesini beklemektedir. Bu bekleminin azaltılması için ustalar eğitilmeli her usta her tipteki ürünü yapabilmelidir. Yani komodin yapmaktan sorumlu bir usta eğer müsait ise masa yapmayı da bilmelidir.

Bu çalışma sadece belirli ürün tiplerinin simülasyonunu içermektedir. Sisteme ilave ürünler yerleştirmek mümkündür. Ne kadar çok ürün olursa o kadar gerçekçi değerlere ulaşılır. İşletmenin kendi ürünleri, bu ürünlerin katalogları ve mağazaları mevcuttur. Fakat işletme az da olsa bu ürünlerin dışında tek seferlik standart olmayan ürünleri de bazı müşterilerine yapmaktadır. Bu tip ürünler modele dâhil edilememiştir. Bunun en büyük sebebi bu ürünlerin ölçülerinin her seferinde farklı olması ve miktarlarının belirsizliğidir.

Buna rağmen işletmelerin simülasyon yazılımlarını kullanmaları kendilerine, müşterilere temin sürelerini doğru verebilmek, sistemdeki problemleri tespit edebilmek, çalışanların verimliliğini ölçebilmek ve yatırım kararlarını sağlıklı verebilmek adına çok değerli bilgiler sunacaktır. Bu yazılımların her sektöre uygulanabilecek şekilde esnek olmaları mümkündür. İşletme yöneticilerinin bu tip yazılımları temin ederek, teknik kadrolarının, mühendislerinin



bu yazılımları öğrenmelerini sağlamaları üretim sistemlerinin daha iyi yönetilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Banks, J. (1998). Handbook of Simulation. New York:John Wiley & Sons.
- Erkut, H. (1992). Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı (2. Baskı). İstanbul: İrfan Yayıncılık.
- Kavcar, B. (2004). *Simülasyon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Satış Tahminleriyle Satış Bütçesi Hazırlanması*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Law, A. M. & Kelton, W. D. (1982). Simulation Modeling and Analysis (2nd Edition). New York: McGraw-Hill.
- Law A. M. & Kelton D., (2000). Simulation Modeling and Analysis (3. Edition), New York: McGraw-Hill.
- Mevlütöğlü, A. (2010). “*Modelleme ve Simülasyon Teknolojilerinin Tedarik Süreç Yönetiminde Kullanılması ve Simülasyon Tabanlı Tedarik Yöntemi*” Savunma Sanayi Gündemi, Sayı:11,22-26.
- Monks, J. G. (1996). Schaum's Outline of Theory and Problems of Operations Management (2nd Edition). New York: McGraw-Hill.
- Öztürk, A. (2004). Yöneylem Araştırması (9. Baskı), Bursa: Ekin Kitabevi.
- ProModel Corporation. *ProModel User Guide*. Erişim Tarihi:05.05.2011.
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/user-guide-pro-model-version/user-guide-pro-model-version.pdf>
- Robinson, S. (2004). Simulation: The Practice of Model Development and Use. England:John Wiley & Sons Ltd.
- Shah, N. H., Gor, R. M. & Soni H. (2007). Operations Research. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited.
- Taha H. A. (2000). Yöneylem Araştırması. (Ş. A. Baray ve Ş. Esnaf Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık.