

ÜRETİM SİSTEMİ TASARIMINDA KONVEYÖRLÜ TAŞIMA ALTERNATİFLERİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ömer UNER*, **Celal ÖZKALE****, **Zerrin ALADAĞ*****, **B. Yaman YAZGAN******

ÖZET

Günümüz üretim ortamında işletmelerin ayakta kalabilmesi ve rekabet edebilmesi için; üretim olanakları üzerinde, değişken müşteri isteklerini karşılayabilecek değişiklikleri hızlı, doğru ve düşük maliyetle gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Bu değişiklikler bazen makine yerleşiminin ve malzeme taşıma sisteminin yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, 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 edilmiş, alternatif tasarımların performans kriterlerine göre istatistiksel yöntemlerle karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akış Tipi Üretim, Simülasyon, Promodel, Malzeme Taşıma Sistemleri.

EVALUATION WITH SIMULATION TECHNIQUE OF ALTERNATIVE HANDLING SYSTEMS WITH CONVEYORS IN THE MANUFACTURING SYSTEM DESIGN

ABSTRACT

In the existing production environment, it is required for the companies to perform the activities that satisfy the customer expectations and improve performance in a right, fast and low cost way in order to survive and compete with. Sometimes these activities need the re-examination of machine layout and material handling system. In this study, transition to the automatic conveyor systems running without an operator and making only direction handling in place of forklifts has been analysed and the comparison with the performance criterias of the alternative designs has been performed by using PROMODEL 2002 simulation package program.

Keywords: Flow Type Production, Simulation, Promodel, Material Handling Systems.

* *Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Müh. Bölümü, İzmit-KOCAELİ uneromer@yahoo.com*

** *Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Müh. Bölümü, İzmit-KOCAELİ cozkale@kou.edu.tr*

*** *Kocaeli Üniversitesi, Endüstri Müh. Bölümü, İzmit-KOCAELİ zaladag@kou.edu.tr*

**** *BRISA Inc. İzmit-KOCAELİ y.yazgan@brisa.com.tr*

1.GİRİŞ

Günümüz üretim ortamının belirgin özellikleri stokastik talep düzeyi, değişken ve küçük parti miktarı, ürün karomasında önceden tahmin edilemeyen değişiklikler, değişken işlem ve hazırlık zamanları, yüksek bilgi düzeyi ve güçlü rekabet olarak sıralanabilir. Bu koşullar altında işletmelerin ayakta kalabilmesi ve rekabet edebilmesi için yerleşim düzeni, malzeme taşıma sistemi, makine-teçhizat ve üretim yöntemi üzerinde değişken müşteri isteklerini karşılayabilecek performans artırıcı değişiklikler yapmaları gerekmektedir.

Gelişen teknoloji ile ortaya çıkan robotlar, otomatik kılavuzlu araçlar ve bilgisayar kontrollü konveyör sistemleri işgücünden önemli ölçüde tasarruf etmeyi sağlayan araçlardır. Akış tipi üretimdeki doğrusal malzeme hareketlerinin getireceği avantajlardan yararlanarak taşıma faaliyetlerini daha düzgün bir yapıda ve daha düşük bir maliyetle gerçekleştirebilmek için, yüksek seviyeli iş gücü kullanarak yapılan taşımalar yerini bu tür otomatik sistemlere bırakmak zorundadır.

Malzeme taşıma sisteminde yapılacak değişiklikler bir çok risk içerir. Karmaşık tasarım problemleri, çizelgeleme sorunu ve operasyonel konuların değerlendirilmesi bunların bazılarıdır (Ülgen ve Upendram, 1995). Yüksek rekabette önemli olan bu değişikliklerin hızlı, doğru ve düşük maliyetle gerçekleştirilmesidir. Simülasyon, değişikliği gerçekte var olan sisteme uygulamadan, yapılacak değişikliğin sonuçlarını anlamamıza yardımcı olur. Yeni kurulan sistemin eskisiyle karşılaştırılması, fayda düzeyi, darboğazlar, üretim hızı vb. bilgileri sistemi durdurmadan ve değişiklikleri uygulamadan sunar. Simülasyon yazılımlarındaki gelişmeler sonucunda konveyör sistemlerinin analizinde simülasyon yöntemi daha çok kullanılır olmuştur (Jing vd., 1998). Bir çok işletme tarafından üretim, malzeme taşıma ve dağıtım faaliyetlerinin geliştirilmesinde uzun süredir kullanılmaktadır (Williams ve Gonzalez, 2000).

Bu çalışmada akış tipi üretim özelliği gösteren bir lastik üretim sisteminde taşıma faaliyetlerinin daha düzgün bir yapıda ve daha düşük maliyetle gerçekleştirilebilmesi için, yüksek seviyede iş gücü kullanarak, fazla miktarda ara-stokla taşıma yapan forkliftler yerine yığılmalı konveyör sistemleriyle tek yönlü, operatörsüz taşıma yapabilen bir sisteme geçiş, PROMODEL 2002 simülasyon paket programı yardımıyla analiz edilmiş, alternatif sistem tasarımlarının performans kriterlerine göre karşılaştırılması yapılmıştır. Bu analiz ve karşılaştırma için öncelikle mevcut durum bilgisayar ortamında modellenmiş, model doğruluğu ve geçerliliği kanıtlandıktan sonra alternatif tasarımlara ait modeller oluşturularak, simülasyon sonuçlarına göre, performans kriterleri açısından karşılaştırılması istatistiksel yöntemler yardımıyla yapılmıştır.

2. AKIŞ TİPİ ÜRETİMDE MALZEME TAŞIMA SİSTEMİ ÖZELLİKLERİ

Malzeme taşıma sistemi ve üretim sistemi iç içe geçmiş, birbirini etkileyen sistemlerdir. Akış tipi üretimin yapıldığı işletmelerde, malzeme taşıma sistemi, akış tipi üretimin aşağıdaki özelliklerine bağlı olarak şekillendirilmelidir:

- Düzgün ve tek yönlü malzeme akışı
- Operasyonlar arası kısa mesafe
- Standart tek tip ürün

Tek yönlü akış, kısa mesafe ve standart ürün insan gücüne ve düşüncesine ihtiyacın düşük olduğu, düşük maliyetli kaymalı konveyör, kanal konveyör, raylı sistemler vb. mekanik veya otomatik sistemlerin kullanılmasına olanak sağlar (Shubin ve Madeheim, 1965).

2.1. Lastik Sektöründe Malzeme Taşıma Sistemi Özellikleri

Lastik üretiminin büyük miktarlarda ve sürekli oluşu verimlilik açısından akış tipi üretim sisteminden faydalanılmasını gerekli kılar. Bu nedenle iş istasyonları arasında akışın sürekliliğini sağlamak için iş gücü, iş yükü ve makine kullanım kapasiteleri açısından denge kurulmalıdır.

Lastik imalatında ara-stoklar geniş alanlar kaplar ve üretimin etkinliğini düşürür. Akış tipi üretim ve otomatik malzeme taşıma sistemindeki düzgün ve hızlı malzeme akışı bu sorunu ortadan kaldırır. Sürekli ve tek yönlü bir akış olduğundan yükleme boşaltma daha hızlı ve daha verimlidir. İşi biten malzeme hiç bekletilmeden bir sonraki iş istasyonuna iletiildiğinden ara stok oluşmaz. Böylece iş istasyonlarının iş yükü dengelenmiş olur. Ayrıca ara stokların azaltılması veya yok edilmesiyle üretim sahası daha verimli hale gelir.

2.2. Lastik Sektöründe Taşıma Araçları

Büyük miktarda üretim sebebiyle insan gücüyle çalışan araçlar kullanarak uzun mesafeli taşıma yapmak imkansızdır. Çünkü bu taşıma şeklinde yükleme-boşaltma ve taşıma hızları çok düşüktür. Gerekli akıcılığı sağlayabilmek için çok fazla iş gücü kullanılmalıdır. Kısa mesafeli taşımalarda uygun olabilir.

Forklift veya bunun gibi motorlu araçlar istenilen esnekliği istenilen hızda sağlayabilir. Fakat bu araçlarla malzeme taşımının şu dezavantajları vardır;

- Taşımanın etkinliğini arttırmak için uygulanan, bir defada büyük miktar taşıma ilkesi sebebiyle ara-stok yapmayı gerektirir.

- Forkliftin bu malzemeleri yükleme ve boşaltması, taşımada geçen zamanı arttırır.
- Boşaltmadan sonra boş olarak geri dönüşleri, verimliliklerinin düşmesine neden olur.
- Konveyörlere göre daha fazla çalışma alanı ihtiyacı duyarlar.
- İnsan faktörü nedeniyle gecikme ve hatalar ortaya çıkabilir.

Bu gibi sebeplerden dolayı, karar vermenin olmadığı veya otomatikleştirilebildiği üretim aşamalarında, malzeme taşımalar tek yönlü ve sürekli taşıma yapabilen konveyör sistemleriyle yapılmalıdır. Ayrıca forkliftler yerine konveyör sistemlerinden faydalanarak oluşturulan banko alanları sayesinde iş istasyonları arasındaki denge sağlanabilir.

Lastik, ürün özellikleri bakımından da konveyörlerle taşıma yapmaya çok elverişlidir. Katı, şekilli ve sürtünme katsayısı yüksek bir malzeme olması dolayısıyla herhangi bir yardımcı araca ihtiyaç duymadan konveyörler üzerinde taşınabilirler. Kırılgan bir malzeme olmadığından, yerçekimiyle taşıma yapabilen kaymalı konveyörlerin kullanımına olanak sağlar. Böylece düşük maliyetli, hızlı ve düzgün bir malzeme akışı sağlanmış olunur.

3. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE SİMÜLASYON

Simülasyon teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait, neden sonuç ilişkilerinin modelinin tasarlanması, farklı tasarım, koşul ve stratejiler altında model davranışlarının izlenmesi, sonuçların analiz edilmesi ve yorumlanması sürecidir.

Gerçek sistem üzerinde deneme yapmak özellikle üretim sistemlerinde çok zordur. Üretim sistemlerinde kullanılan makine teçhizatın yüksek maliyeti ve sistemi durdurma ihtiyacı göz önüne getirildiğinde bu zorluğun nedeni daha rahat anlaşılır. Bu nedenle sistemin modeli üzerinde denemeler yapmak daha avantajlıdır. Analitik çözümlerin sistemdeki tesadüf yapıları temsil edemiyor oluşu ve sistem elemanları ile bu elemanlar arasındaki ilişkilerin fazla olduğu sistemlerde analitik çözümlerin çok zor oluşu simülasyon yönteminin tercih sebeplerindendir. Ayrıca üretim sistemlerinin stokastik sistemler olması, karmaşık ve otomatik olması üretim sistemlerinin analizinde simülasyonu zorunlu kılar (Law ve Kelton, 2000).

4. ÜRETİM SİSTEMLERİ SİMÜLASYONUNDA İSTATİSTİK

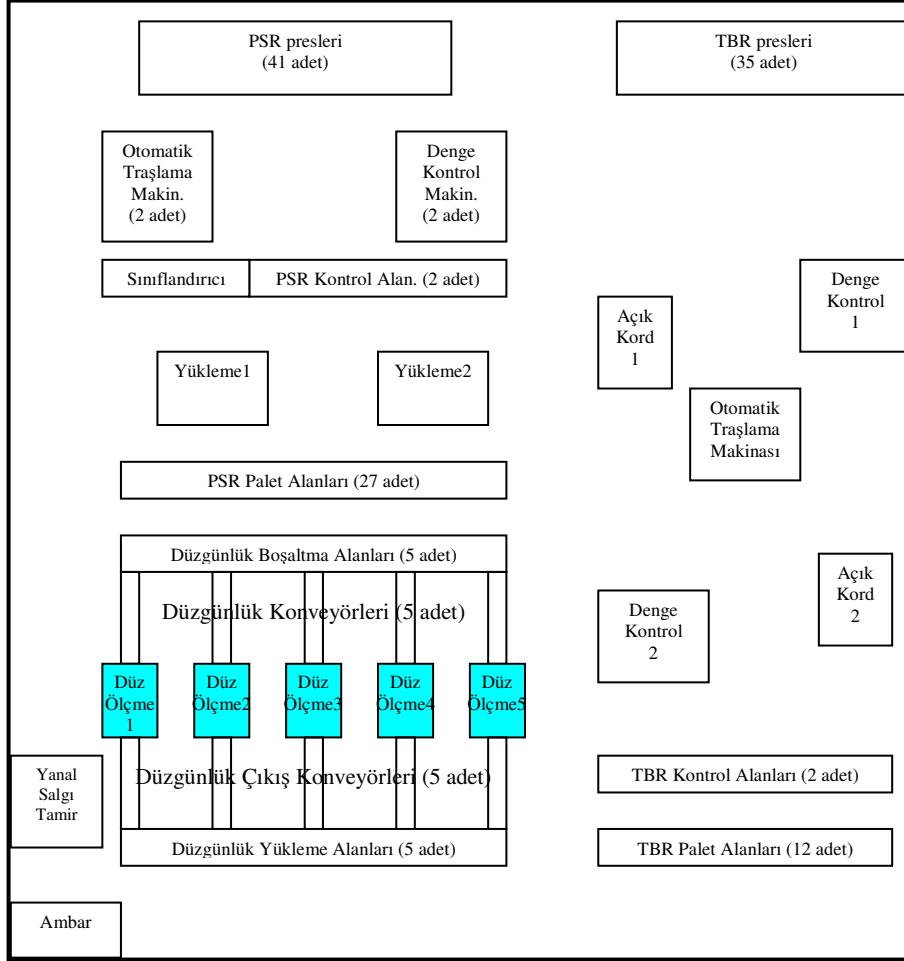
Simülasyon deneylerinin tasarımı ve analizinde yaşayan sistemdeki tesadüf sel yapıların modelde doğru tanımlanması önemlidir. Tesadüf sellik kaynakları için ortalama değer almak, sistemin tesadüf selliğini, dolayısıyla dinamik yapısını tanımlamış olmaz. Bunu önlemek için sistemdeki tüm tesadüf sellik kaynakları uygun olasılık dağılımlarıyla ifade edilmelidir.

Simülasyon girdilerinin stokastik yapısı nedeniyle kurduğumuz modelin çıktılar ı gerçek sistemin bir tahminidir. Analistin istatistiksel olarak doğru (küçük bir değişkenlikle) tahmin yapabilmesi için her simülasyonun koşum uzunluğu, bağımsız koşumların sayısı, başlangıç koşullarındaki yanıtıcılığı ortadan kaldıran ısınma periyodu (warm-up) doğru hesaplanmalıdır (Law ve McComas, 1999).

5. UYGULAMA

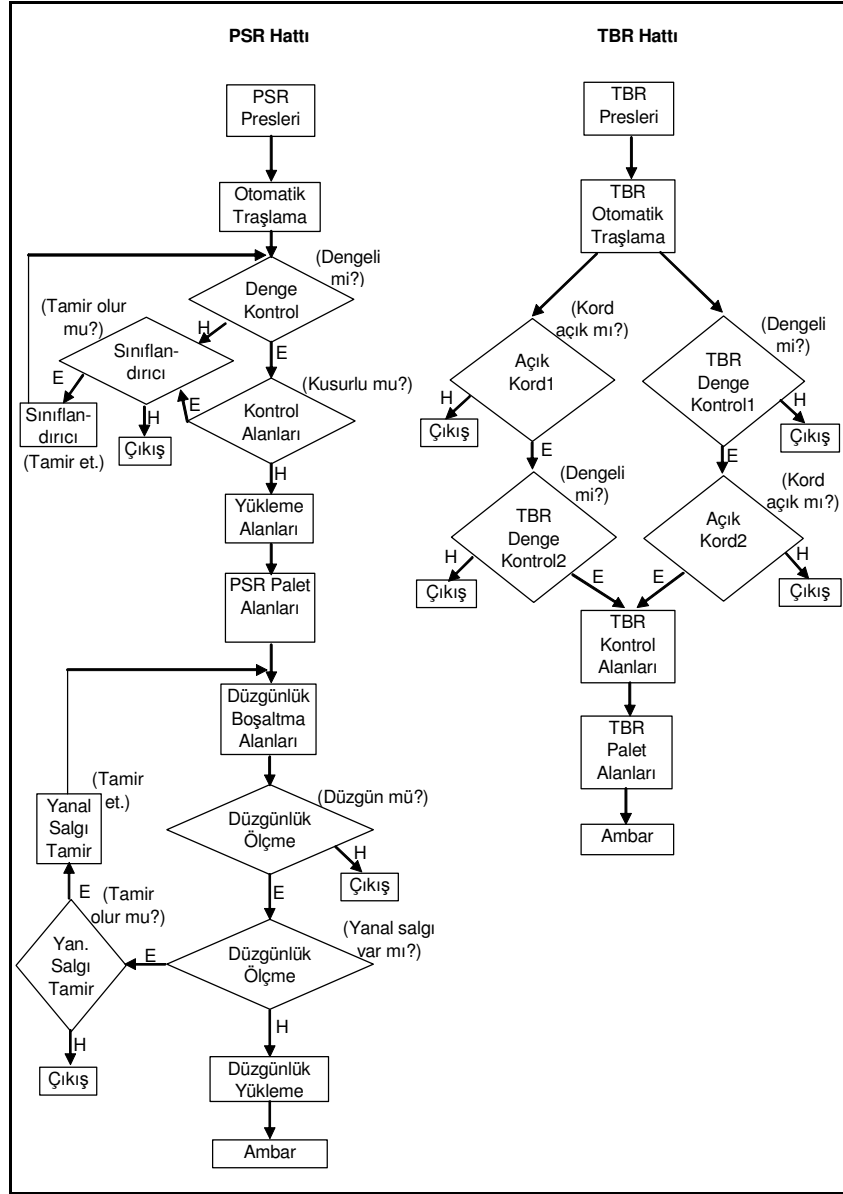
Uygulama 260000 m^2 toplam alan içinde 400 den fazla farklı tipte otomobil lastiği üreten bir lastik imalat fabrikasında yapılmıştır. İşletme günde 8'er saatlik 3 vardiya şeklinde üretim yapmaktadır. Çalışma, Fabrika 1 ve Fabrika 2 olmak üzere iki ana kısımdan oluşan işletmenin Fabrika 2 kısmında bulunan Pişirme ve Bitirme ünitesini kapsamaktadır.

Pişirme ve Bitirme ünitesinde küçük otomobil lastiklerinin üretildiği PSR, otobüs lastiklerinin üretildiği TBR olmak üzere iki temel üretim hattı vardır. PSR kısmında 41 adet pres tezgahı, 2 adet otomatik tıraşlama makinesi, 3 adet denge kontrol makinesi ve 5 adet düzgünlük ölçme makinesi vardır. TBR kısmında 35 adet pres tezgahı, 1 adet otomatik tıraşlama makinesi, 2 adet denge kontrol makinesi ve 2 adet açık-kord makinesi bulunmaktadır. Fabrika 2 Pişirme ve Bitirme Ünitesi'nin yerleşimi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Fabrika 2 Pişirme Ve Bitirme Ünitesi Yerleşim Planı.

PSR hattında 15, TBR hattında 6 farklı koda lastik üretilmektedir. Her lastik preslerde belirli bir süre pişirildikten sonra bitirme bölgesinde çeşitli kontrollerden geçirilir ve kontroller sonucunda kusursuz olan lastikler ambarlanır. PSR ve TBR hattındaki iş akış çizelgeleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. PSR Ve TBR Hatlarının İş Akış Şeması.

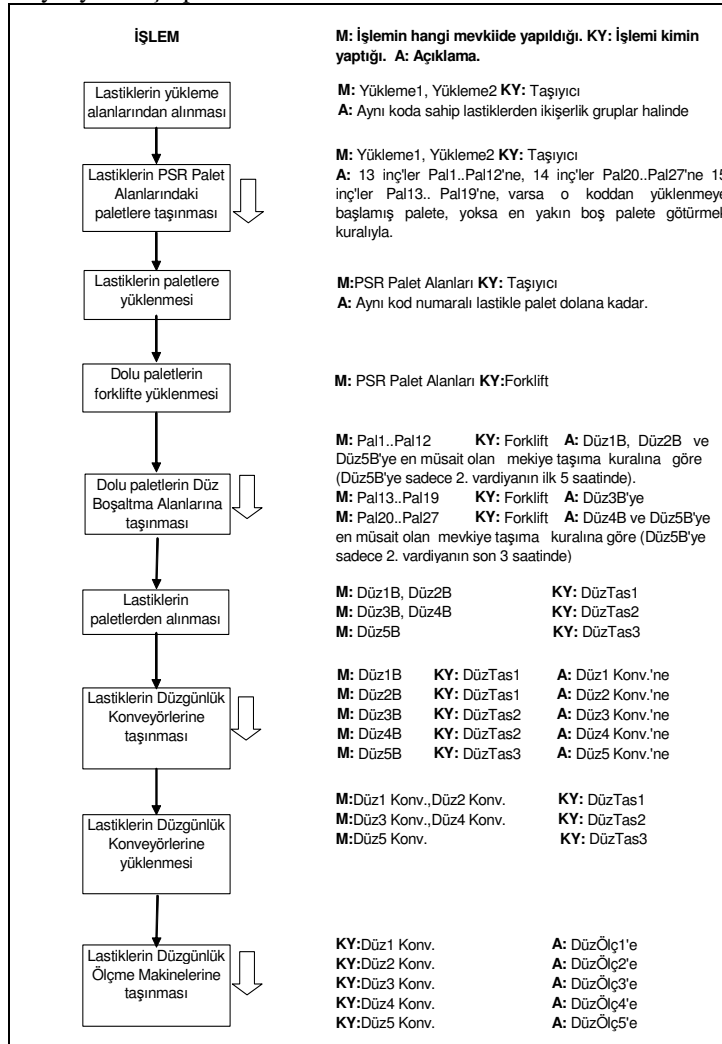
Pişirme ve Bitirme Ünitesi'nde 1. ve 3. vardiyalarda toplam 11, 2. vardiyada toplam 12 operatör görev yapmaktadır. Bu operatörler ve görevleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Mevcut Durumda Kullanılan Kaynaklar Ve Görevleri.

| Kaynak | Görevi |
|------------------------------|---|
| Sınıflandırıcı | Denge ölçme makinalarından gelen lastiklerin elle ve gözle kontrolü. Denge ölçme makinaları ve kontrol alanlarından gelen kusurlu lastiklerin tamiri veya hurdaya ayrılması, hurda kaydı tutulması. |
| Kontrolör 1 | Denge ölçme makinalarından gelen lastiklerin elle ve gözle kontrolü. |
| Kontrolör 2 | Denge ölçme makinalarından gelen lastiklerin elle ve gözle kontrolü. |
| Taşıyıcı | PSR Yükleme1 ve PSR Yükleme2 alanlarındaki lastikleri PSR Palet alanlarındaki paletlere yüklemek. |
| Düzensizlik Taşıyıcı1 | Düzensizlik Boşaltma alanında (Düz1B ve Düz2B) bulunan paletlerdeki lastikleri düzensizlik konveyörlerine (Düz1-K ve Düz2-K) yükler. Düzensizlik Çıkış konveyörlerinden gelen lastikleri Düzensizlik Yükleme alanlarındaki paletlere yükler. |
| Düzensizlik Taşıyıcı2 | Düzensizlik Boşaltma alanında (Düz3B ve Düz4B) bulunan paletlerdeki lastikleri düzensizlik konveyörlerine (Düz3-K ve Düz4-K) yükler. Düzensizlik Çıkış konveyörlerinden gelen lastikleri Düzensizlik Yükleme alanlarındaki paletlere yükler. |
| Düzensizlik Taşıyıcı3 | Düzensizlik Boşaltma alanında (Düz5B) bulunan paletlerdeki lastikleri düzensizlik konveyörüne (Düz5-K) yükler. Düzensizlik Çıkış konveyörlerinden gelen lastikleri Düzensizlik Yükleme alanlarındaki paletlere yükler (sadece 2. vardiyada çalışır). |
| Yanal Salgı Kontrolör | Yanal salgı kusurlu lastikleri kontrol eder, tamir edilebilecekleri tamir eder, edilemeyenleri sistemden hurda olarak çıkartır, hurda kaydı tutar. |
| TBR Kontrolör1 | TBR kontrol (TBR Kontrol1) alanına gelen lastikleri elle ve gözle kontrol eder. Kusurlu lastiklerden tamir edilecek lastikleri tamir eder edilemeyenleri hurda olarak sistemden çıkartır. Hurda kaydı tutar. |
| TBR Kontrolör2 | TBR kontrol (TBR Kontrol2) alanına gelen lastikleri elle ve gözle kontrol eder. Kusurlu lastiklerden tamir edilecek lastikleri tamir eder edilemeyenleri hurda olarak sistemden çıkartır. Hurda kaydı tutar. |
| TBR Taşıyıcı | TBR kontrol alanındaki sağlam lastikleri TBR Palet alanındaki paletlere yükler. |
| Forklift | PSR Palet alanlarındaki dolu paletleri Düzensizlik Boşaltma alanlarına taşır. Düzensizlik Boşaltma alanlarındaki boş paletleri PSR Palet alanlarına taşır. Düzensizlik Yükleme ve TBR Palet alanlarındaki dolu paletleri Ambara taşır. Ambardaki boş paletleri Düzensizlik Yükleme ve TBR Palet alanlarına taşır. |

5.1. Problemin Tanımı Ve Hedefler

PSR ve TBR hatları, aynı ürünün yüksek miktarda, sürekli üretilmesi ve makine-teçhizatın ürünün ihtiyaç duyduğu operasyon sırasına uygun olarak yerleştirilmiş olması dolayısıyla akış tipi üretim hatlarıdır.



Şekil 3. Mevcut Durum Yükleme1 Ve Yükleme2 Bölgeleriyle Düzgünlük Ölçme Makineleri Mevkileri Arası İş Akış Şeması.

PSR hattında konveyör sistemlerinden önemli ölçüde yararlanılmıştır. Fakat Yükleme1 ve Yükleme2 olarak adlandırdığımız mevkiilerle Düzgünlük Ölçme Makinelerine taşıma yapan Düzgünlük Konveyörleri arasında konveyör hattı yoktur. Bu bölgedeki taşımalar insan gücü ve forklift kullanılarak yapılmaktadır. Yükleme1 ve Yükleme2 bölgeleriyle Düzgünlük Ölçme Makineleri arasındaki iş akışı Şekil 3'te ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.

Taşıma hattındaki problemin temeli aşağıdaki iki nedene dayanmaktadır;

- Düzgünlük Ölçme Makineleri o anda kullandıkları makine parçasına göre sadece belirli bir ölçüdeki jant büyüklüğüne sahip lastiğin düzgünlük ölçümünü yapabilmesi,
- Düzgünlük Ölçme Makinelerinin kullandığı makine parçasının değişiminin 30 dk. gibi bir süreyi kapsaması.

Bu iki nedenden dolayı Yükleme Bölgelerine gelen lastiklerin Düzgünlük Ölçme Makinelerine gönderilmeden önce jant ölçüsüne göre sınıflandırılmış olması gerekmektedir. Ayrıca ambarlama disiplini açısından da Düzgünlük Ölçme Makinelerinden çıkan lastiklerin lastik kodlarına göre sınıflandırılmış olması gerekmektedir.

Söz konusu sınıflandırma ihtiyacı Yükleme1 ve Yükleme2 bölgeleriyle Düzgünlük Konveyörleri arasında yapılan taşımanın akış tipi üretimdeki düzgün malzeme akışı özelliğine uymaması şeklinde sisteme yansımakta ve bu tip üretim sistemlerinde sıkça rastlanan,

- Önemli miktarda ara-stoklar,
- Yüksek seviyeli işgücü kullanımı,
- Verimsiz ve yüksek maliyetli taşıma sonuçlarına neden olmaktadır.

Özetlenen problem yöneticileri Yükleme1 bölgesiyle Düzgünlük Konveyörleri arasına konveyör hattı kurmaya yöneltmiştir. Sistemi çözüme götürebilecek olan öneriler aşağıdaki gibi geliştirilmiştir;

- Düzgünlük Ölçme Makinelerine girecek olan lastikler jant ölçüsüne göre sınıflandırılacak,
- Sınıflandırılmış lastikler uygun Düzgünlük Ölçme Makinelerine barkod okuyucu sistemler yardımıyla yönlendirilecek,
- PSR kontrol alanlarından çıkan lastikler Yükleme2 bölgesine gönderilmeyecek, sadece Yükleme1 bölgesinden yönlendirilme yapılacaktır.

Bu öneriler doğrultusunda malzeme taşıma sisteminde beklenen kazanımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Tek yönlü,
- Düzgün akışlı,
- Düşük ara-stoklu,
- Otomatik ve verimli bir malzeme taşıma sağlanmış olacaktır.

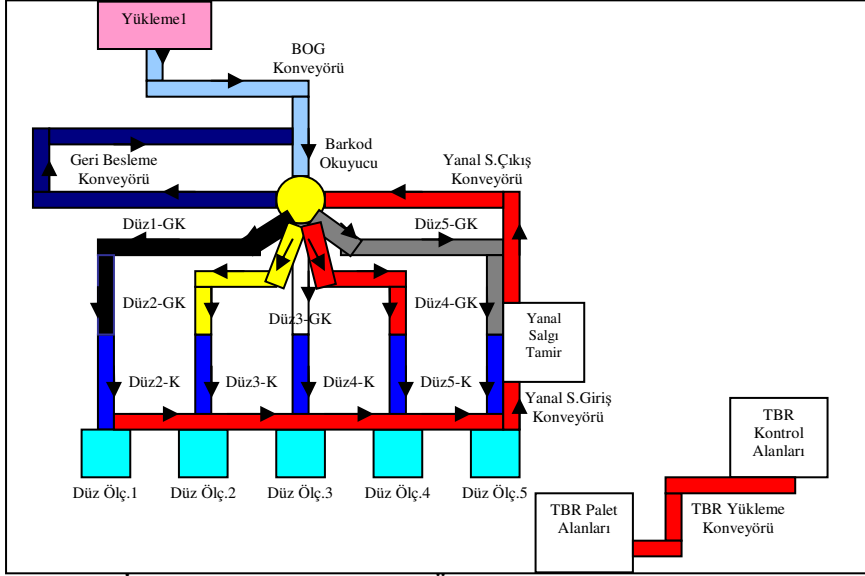
Bu amaçla iki alternatif sistem tasarımı yapılmıştır. Sistem tasarımları PSR hattında bulunan 41 pres tezgahına ek olarak 8 pres tezgahı önermektedir.

5.2. Alternatif Sistem Tasarımları

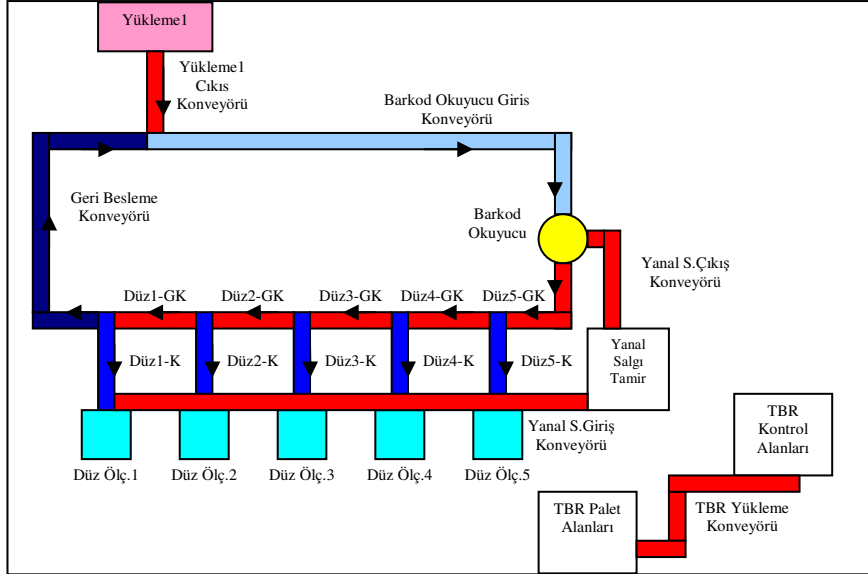
İki alternatifin farkı Yükleme1 bölgesiyle Düzgünlük Ölçme Makineleri arasındaki konveyör tasarımı ve rotalama kuralından kaynaklanmaktadır. Bu iki mevki arasındaki yerleşim Alternatif Tasarım1 (AT1) ve Alternatif Tasarım2 (AT2) için sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Ayrıca bu bölgedeki iş akışı AT1 ve AT2 için Şekil 6'da sunulmuştur. Şekil 4 ve Şekil 5'ten de görüldüğü üzere AT1'de hat dışında yığılmalı bir konveyör olan Geri Besleme Konveyörü ile, AT2'de Barkod Okuyucunun da içinde bulunduğu, geçici bir depo özelliğini taşıyan kapalı döngülü bir konveyör sistemiyle banko alanları sağlanmıştır. Böylece üretim programına göre gün içerisinde çok sayıda üretilecek, belirli bir jant ölçüsüne sahip lastik tiplerinin düzgünlük ölçümünü yapan düzgünlük ölçme makineleri ve barkod okuyucu önünde oluşan darboğazın önüne geçilmiştir. Ayrıca farklı tipte lastiklerin ölçümünü yapan düzgünlük ölçme makinelerinin verimi arttırılmıştır.

İki alternatif tasarımın, ortak olarak Mevcut Durum (MD)'dan farklılıkları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

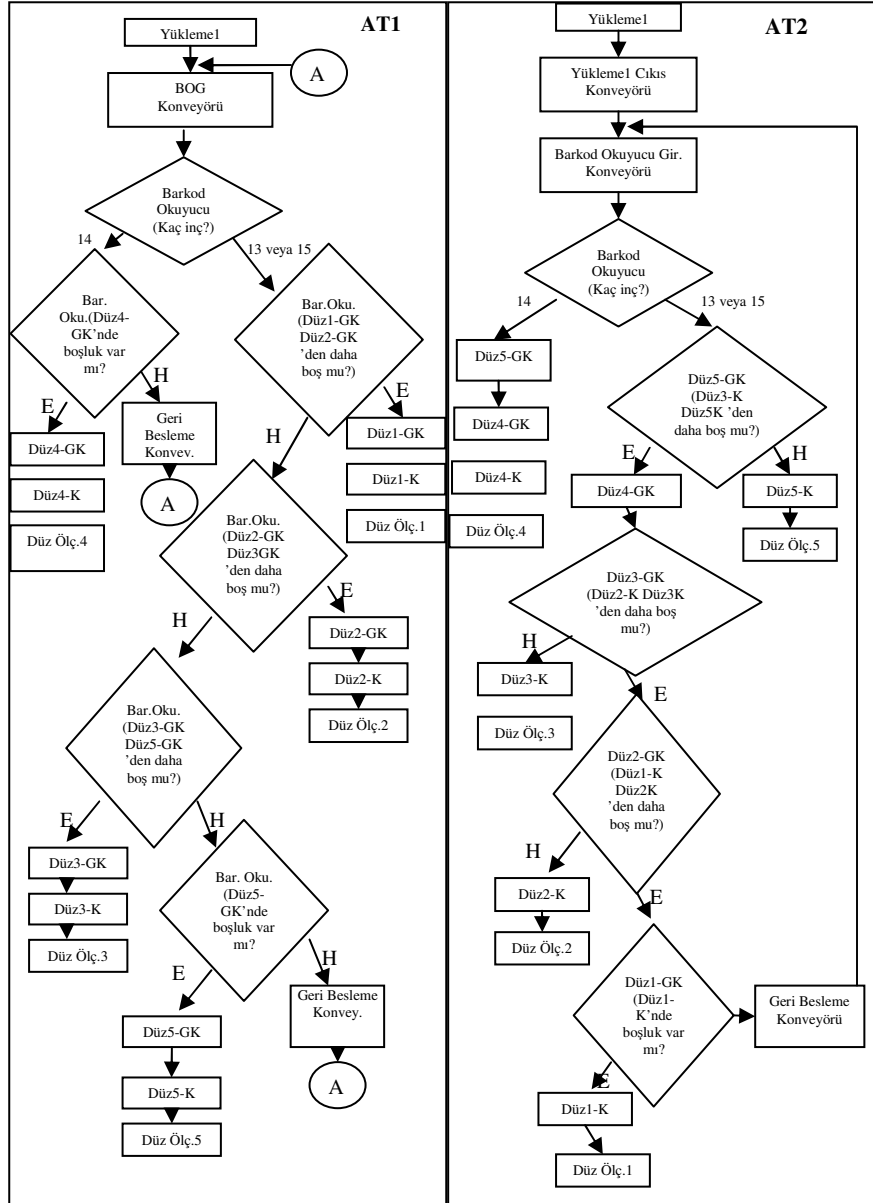
- PSR hattına 8 pres tezgahı eklenmiştir.
- Yanal Salgı Tamir Alanı Düzgünlük Ölçme5 makinesinin yanına taşınmıştır. Düzgünlük ölçme makineleri, Yanal Salgı Tamir Alanı ve Barkod Okuyucu arasına yığılmalı konveyör hattı kurulmuştur.
- TBR Palet Alanları Düzgünlük Yükleme Alanlarına yaklaştırılmış, TBR Kontrol Alanları ile TBR Palet Alanları arasına konveyör hattı kurulmuştur.



Şekil 4. AT1 İçin Yükleme1 Ve Düzgünlük Ölme Makineleri Mevkileri Arası Yerleşim Planı.



Şekil 5. AT2 İçin Yükleme1 Ve Düzgünlük Ölme Makineleri Mevkileri Arası Yerleşim Planı.



Şekil 6. AT1 ve AT2 İçin Yükleme1 Ve Düzgünlük Ölçme Makineleri Arası İş Akışı.

Yapılması planlanan bu değişiklikler ancak aşağıdaki soruların yanıtları alındığında savunulabilir hale gelecektir:

- Tasarlanan bu yeni sistemlerin amaca uygun çalışıp çalışmayacağı?
- Sistemde herhangi bir darboğaz olmadan sistemin çalışabilmesi için gerekli makine ve işgücü seviyesinin ne olması gerektiği?
- Alternatif sistemlerden hangisinin üretim miktarı, çevrim süresi, kapasite kullanım oranı ve ara-stok gibi performans kriterlerini daha iyi ve hangi oranda sağladığı?
- Alternatif sistemlerin mevcut sisteme oranla zayıf ve üstün taraflarının ne olduğu?

Bu soruların yanıtlarını alabilmek için öncelikle mevcut sistemin bilgisayar ortamında modeli kurulmuştur. Model doğruluğu ve geçerliliği kanıtlandıktan sonra, model üzerinde alternatif tasarımlara ait değişiklikler yapılarak iki yeni model daha oluşturulmuş, alternatifler ve mevcut durum, simülasyon sonuçları kullanılarak bazı performans kriterlerine göre karşılaştırılmıştır.

5.3. Veri Toplama

Modelin kurulabilmesi için öncelikle sistemle ilgili bazı veriler toplanmıştır. Bu veriler;

- İşletmenin tutmuş olduğu duruş kayıtlarından PSR ve TBR preslerine ait duruş verileri,
- Gözlemlerle elde edilen insan etkin operasyon süreleri,
- Gözlemlerle elde edilen makine etkin operasyon süreleri,
- İşletmenin 2005 yılı için öngördüğü 2005 yılı tahmini üretim planı,
- İşletmenin tutmuş olduğu kayıtlardan hurda ve kusurlu oranları,
- Palet ve lastik boyutları,
- Konveyör boyları ve hızlarıdır.

5.4. Mevcut Durumun Modellenmesi

Sistemde varlıkların işlem gördüğü 417 adet alan tanımlanmıştır. Bu alanlara ait kapasiteler, arıza sıklıkları ve arıza süreleri, konveyör hız ve uzunlukları, varlıkların giriş-çıkış kuralları kayıt bilgileri ve sistemin doğasından kaynaklanan spesifikasyonlar çerçevesinde tanımlanmıştır.

Kayıt bilgilerinden hareketle PSR ve TBR presleri için ayrı parametrelere gereksinim duyulması sebebiyle duruş sıklığı ve duruş sürelerini tanımlayan 4 farklı dağılım tanımlanmıştır. Tablo 2'de PSR preslerine ait duruş sıklığı ve Tablo 3'te

TBR preslerine ait duruş sıklığı dağılımları gösterilmiştir. Alanlara giriş kuralı olarak “en uzun süre kuyrukta bekleyen varlığın seçimi” kuralı kullanılmıştır. Ayrıca tüm alanlar için çıkış kuralı da “ilk giren-ilk çıkar” şeklindedir.

Tablo 2. PSR Hattı Presleri Duruş Sıklığı Dağılımı

| Ortalama Duruş Sayısı (günlük) | Sıklık | Oransal Sıklık (%) | Grup Orta Değeri | Duruşlar Arası Süre (dk) |
|--------------------------------|------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| 0,040-0,272 | 8 | 2,847 | 0,156 | 9231 |
| 0,272-0,504 | 14 | 4,982 | 0,388 | 3711 |
| 0,504-0,736 | 46 | 16,37 | 0,62 | 2323 |
| 0,736-0,968 | 60 | 21,352 | 0,852 | 1690 |
| 0,968-0,120 | 76 | 27,046 | 0,108 | 1328 |
| 1,200-1,432 | 39 | 13,879 | 0,132 | 1094 |
| 1,432-1,664 | 22 | 7,829 | 0,155 | 930 |
| 1,664-1,896 | 9 | 3,203 | 0,178 | 809 |
| 1,896-2,128 | 7 | 2,491 | 0,201 | 716 |
| TOPLAM | 281 | 100 | | |

Tablo 3. TBR Hattı Presleri Duruş Sıklığı Dağılımı

| Ortalama Duruş Sayısı (günlük) | Sıklık | Oransal Sıklık (%) | Grup Orta Değeri | Duruşlar Arası Süre (dk) |
|--------------------------------|------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| 0,380-0,189 | 22 | 10,138 | 0,114 | 12687 |
| 0,189-0,340 | 46 | 21,198 | 0,247 | 5842 |
| 0,340-0,491 | 67 | 30,876 | 0,416 | 3466 |
| 0,491-0,642 | 49 | 22,581 | 0,567 | 2542 |
| 0,642-0,793 | 23 | 10,599 | 0,718 | 2007 |
| 0,793-0,944 | 6 | 2,765 | 0,869 | 1658 |
| 0,944-1,095 | 3 | 1,382 | 1,02 | 1412 |
| 1,095-1,246 | 1 | 0,461 | 1,171 | 1230 |
| TOPLAM | 217 | 100 | | |

Modelde tanımlanan varlıklar:

- İşlem gören tüm lastik kodları,
- Boş paletler,
- Herhangi bir lastik koduyla yüklenmeye başlanmış paletler,
- Aynı lastik koduyla doldurulmuş paletler şeklinde tanımlanmıştır.

Modelde tanımlanan kaynaklar:

- Varlıkların işlem görmesini sağlayan operatörler,
- Varlıkların taşınmasını sağlayan operatörler ve forklift kaynak olarak tanımlanmıştır.

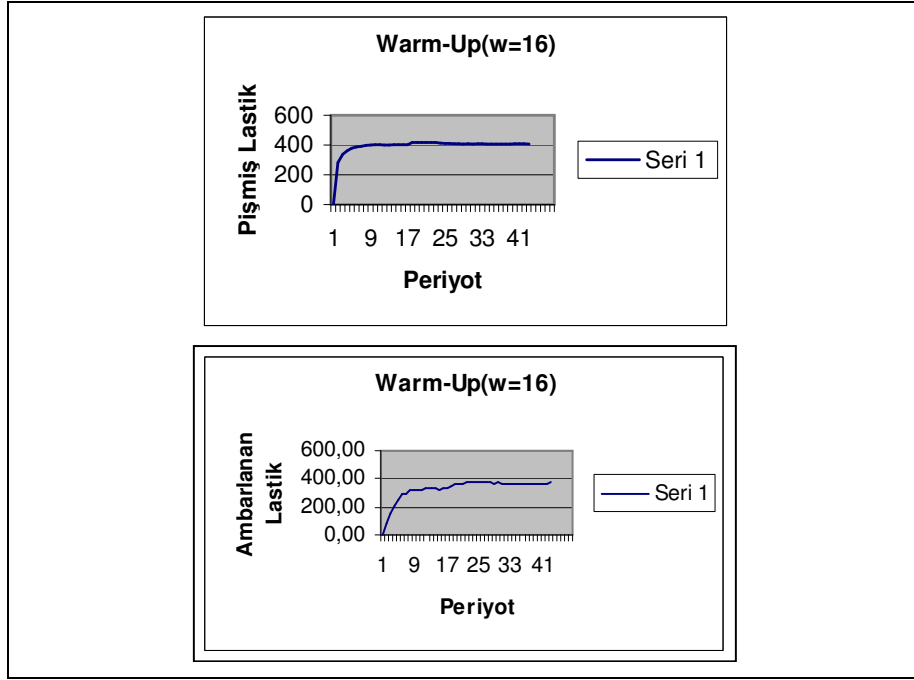
Ayrıca kaynakların çalışma ve dinlenme zamanlarını belirten 4 farklı çizelge ve hareket rotasını gösteren 6 farklı yol-ağı tanımlanmıştır. Varlıkların hangi işlemi nerede göreceği ve daha sonra nereye rotalanacağı Promodel'in işlemler kısmında tanımlanmıştır.

Modelle ilgili varsayımlar;

2005 yılı üretim planlarına uygun ürün karması esas alınarak 35 adet TBR ve 41 adet PSR presine ham lastik varışları tanımlanmıştır. Simülasyonun doğası gereği PSR Palet, Düzgünlük Boşaltma, Düzgünlük Yükleme, Yanal Salgı Tamir ve TBR Palet Alanlarına başlangıçta boş palet varışları tanımlanmıştır.

5.4.1. Isınma (warm-up) periyodunun belirlenmesi

Modeldeki başlangıç koşullarının yanlıtıcılığını ortadan kaldıran ve sistemin kararlı duruma ulaşmasını sağlayan ısınma periyodunu hesaplama yöntemlerinden biri Welch Metodudur (Bateman vd., 1997). Bu metodu yardımıyla, ambarlanan lastik ve pişen lastik sayıları olmak üzere iki kritere göre, 60 saat uzunluğunda 5 simülasyon koşumu ortalama değerleri kullanarak 3 farklı hareketli ortalama aralığı için hareketli ortalamalar hesaplanmıştır. 16 hareketli ortalama aralığında grafiklerin daha düzgün olduğu ve bu aralıkta pişen lastikler için yaklaşık 7 saatlik, ambarlanan lastikler için yaklaşık 22 saatlik bir periyodun ısınma periyodu için yeterli olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak 24 saatlik periyot, ısınma (warm-up) periyodu olarak alınmıştır. Şekil 7'de bu ortalamalarla çizilen grafikler gösterilmiştir.



Şekil 7. Pişen Ve Ambarlanan Lastik Sayıları İçin Hareketli Ortalamalar.

5.4.2. Koşum sayısının belirlenmesi

35 simülasyon koşumu sonucu elde edilen, ambarlanan lastik sayıları kullanılarak örnek standart sapması hesaplanmış ve %95 güven düzeyi için 30 lastiklik hata payı ile gerekli koşum sayısı 30 olarak hesaplanmıştır. Merkezi limit teoremi de göz önüne alınarak yapılan hesaplamalarda ve testlerde 30'dan daha büyük sayıda simülasyon koşumundan elde edilen sonuçlar kullanılmıştır.

5.5. Model Doğruluğunun ve Geçerliliğinin Kontrolü

Sistemde çalışanlar ve yöneticilerle animasyon izlenerek model doğruluğu kontrol edilmiştir.

Model geçerliliğini sağlamanın yollarından biri sistemi modelledikten sonra gerçek sistemle modeldeki üretim miktarı, üretim zamanı gibi karşılaştırılabilir performans kriterlerinin karşılaştırılmasıdır (Law ve McComas, 1999).

Model geçerliliğini sağlamak amacıyla PSR ve TBR hatlarında pişirilen lastikler için ortalama üretim zamanı ve düzgünlük ölçme makinelerinin ortalama verimlilikleri kullanılarak model sonuçları ve gerçek sistem sonuçları Ki-kare test yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Test sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4'te görüldüğü gibi son sınıf aralığında (15.067-15.178) gerçek sistemde 3 değer olmasına rağmen simülasyon sonucunda bu aralıkta hiç değer yoktur. Bunun nedeni göz önüne alınamayacak kadar az sayıda oluşan bazı duruşların modellenmemiş olmasıdır. Sonuç olarak Model ve MD'a ait PSR ortalama üretim sürelerinin aynı yığından gelip gelmediği test edilmiş ve %5 önem düzeyinde Model ve MD'a ait PSR ortalama üretim süreleri aynı yığından geliyor sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4. PSR Ortalama Üretim Süresi χ^2 Testi

| Sınıflar (i) | Gerçek Sistem Sonucu (E_i) | Simülasyon Sonucu (O_i) | $O_i - E_i$ | $(O_i - E_i)^2$ | $(O_i - E_i)^2 / E_i$ |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------|-----------------------|
| 14,623-14,734 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0,00 |
| 14,734-14,845 | 9 | 12 | 3 | 9 | 1,00 |
| 14,845-14,956 | 7 | 6 | -1 | 1 | 0,14 |
| 14,956-15,067 | 6 | 5 | -1 | 1 | 0,17 |
| 15,067-15,178 | 3 | 0 | -3 | 9 | 3,00 |
| $\sum(O_i - E_i)^2 / E_i$ | | | | | 4,31 |

Benzer şekilde TBR ortalama üretim süreleri ve düzgünlük ölçme makineleri ortalama verimlilikleri test edilmiştir. Sonuç olarak %5 önem düzeyinde;

- Model ve MD'a ait TBR ortalama üretim süreleri aynı yığından geliyor.
- Model ve MD'a ait düzgünlük ölçme makineleri verimlilikleri aynı yığından geliyor hipotezleri reddedilememiştir.

5.6. Alternatif Tasarımların Modellenmesi

Alternatif tasarımlar temel olarak yerleşimleri, kaynakları, varış kuralları bakımından mevcut modele katkı sağlayacak şekilde planlanmıştır. AT1 ve AT2'nin ayırt edici özelliği Yükleme1 Bölgesi ile Düzgünlük Konveyörleri arasındaki konveyör tasarımından kaynaklanmaktadır. Sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te AT1 ve

AT2 için bu bölgedeki konveyör tasarımları gösterilmiştir.

AT1 ve AT2'ye ait varsayımlar aşağıdaki gibi gruplandırılabilir;

- Yerleşimle ilgili varsayımlar,

Yeni tasarımlara uygun olarak konveyör hatları değiştirilmiş, konveyör hızları sistemde bulunan konveyörlerin hızlarına uygun olarak düzenlenmiştir. PSR bölgesine 8 pres tezgahı eklenmiştir. Ayrıca Yanal Salgı Tamir Alanı ve TBR Yükleme Alanlarının yerleri değiştirilmiştir.

- Kaynaklarla ilgili varsayımlar,

Mevcut durumdan farklı olarak Taşıyıcı ve Düzgünlük Taşıyıcı3 kaynaklarının olmadığı varsayılmaktadır.

TBR Taşıyıcı PSR hattında da taşıma yapacak şekilde modellenmiştir.

- Varışlarla ilgili varsayımlar,

8 pres tezgahına ham lastik varışları olduğu varsayılmaktadır. PSR Palet Alanlarına boş palet varışları kaldırılmıştır.

Yol ağırları, işlemler, vardiyalar yukarıda sıralanan değişikliklere uygun olarak değiştirilmiştir. Kullanıcı tanımlı dağılımlar ve sistemdeki varlıklarda değişiklik yapılmamıştır.

5.7. Sonuçların Analizi

Üretim sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanılacak bazı performans kriterleri;

- Üretim miktarı,
- Çevrim süresi (parçanın sistemde kalma süresi),
- Makine faydalanma oranı,
- İşgücü faydalanma oranı,
- Ara-stok miktarı

olarak sıralanabilir (Institute of Industrial Engineers, 1987).

Mevcut durum ve alternatif tasarımları değerlendirmek amacıyla AT1, AT2 ve MD yukarıda sıralanan performans kriterlerine göre ikili kombinasyonlarla karşılaştırılmıştır. Alternatif tasarımlar arasında maliyet yönünden fark olmadığı bilindiğinden kriterler arasında yer almamaktadır.

5.7.1. Üretim miktarlarının karşılaştırılması

35 simülasyon koşumu sonucunda elde edilen ortalama üretim miktarları MD, AT1 ve AT2 için Tablo 5'te gösterilmiştir. MD'a göre AT1'de %11.83, AT2'de %11.61'lik üretim artışı olmuştur. MD ve alternatif tasarımlar arasında ki bu fark, taşıma sisteminde yapılan değişikliklerin yanı sıra alternatif tasarımlarda yapılan 8 preslik artıştan kaynaklanmaktadır.

Tablo 5. Ortalama Üretim Miktarları.

| Sistem | Ortalama Üretim Miktarı | Yüzde İyileşme |
|--------|-------------------------|----------------|
| MD | 8868 | - |
| AT1 | 9917,31 | 11,83 |
| AT2 | 9897,49 | 11,61 |

İkili kombinasyonlarla MD, AT1 ve AT2'nin üretim miktarları arasında önemli fark olup olmadığı büyük bağımsız örneklerde iki yığın orta değeri arasındaki farkı test etmekte kullanılan test istatistiği kullanılarak test edilmiştir. %1 önem düzeyinde MD ile AT1 ve MD ile AT2'nin üretim miktarları arasındaki farkların önemli, %5 önem düzeyinde AT1 ile AT2'nin üretim miktarları arasındaki farkın önemli olmadığı anlaşılmıştır.

5.7.2. Çevrim sürelerinin karşılaştırılması

35 simülasyon koşumu sonucunda elde edilen ortalama çevrim süreleri ve % iyileşme miktarları MD, AT1 ve AT2 için Tablo 6'da gösterilmiştir. Çevrim süresi MD'a göre AT1'de %15.02, AT2'de %18.33 iyileşmiştir.

Tablo 6. Ortalama Çevrim Süreleri

| Sistem | Ortalama Çevrim Süresi | Yüzde İyileşme |
|--------|------------------------|----------------|
| MD | 448,54 | - |
| AT 1 | 381,16 | 15,02 |
| AT 2 | 366,33 | 18,33 |

İkili kombinasyonlarla MD, AT1 ve AT2'nin çevrim süreleri arasında önemli fark olup olmadığı büyük bağımsız örneklerde iki yığın orta değeri arasındaki farkı test etmekte kullanılan test istatistiği kullanılarak test edilmiştir. %1 önem düzeyinde MD ile AT1, MD ile AT2 ve AT1 ile AT2'nin çevrim süreleri arasındaki farkların önemli olduğu görülmüştür.

5.7.3. Makine faydalanma oranlarının karşılaştırılması

35 simülasyon koşumu sonucu ortalama makine faydalanma oranları ve % artış miktarları MD, AT1 ve AT2 için Tablo 7'de gösterilmiştir. MD' a oranla AT1'de % 7.5, AT2'de % 7.2'lik artış olmuştur. Bu artışların sebebi büyük ölçüde üretim miktarındaki artıştır.

Tablo 7. Makine Faydalanma Oranları

| Sistem | Makine Faydalanma Oranı | Yüzde İyileşme |
|--------|-------------------------|----------------|
| MD | 72,49 | - |
| AT1 | 77,93 | 7,5 |
| AT2 | 77,73 | 7,22 |

İkili kombinasyonlarla MD, AT1 ve AT2'nin makine faydalanma oranları arasında önemli fark olup olmadığı büyük bağımsız örneklerde iki yığın oranı arasındaki farkı test etmekte kullanılan test istatistiği kullanılarak test edilmiştir. Sonuç olarak %5 önem düzeyinde MD ile AT1, MD ile AT2 ve AT1 ile AT2'nin makine faydalanma oranları arasında önemli fark olmadığı görülmüştür.

5.7.4. İşgücü faydalanma oranlarının karşılaştırılması

Artan üretim miktarı ve sistemden çıkartılan (32 adam-saat) işgücüne rağmen işgücü faydalanma oranları yaklaşık olarak %79 seviyesindedir. Tablo 8'de alternatif tasarımlara ve mevcut duruma ait işgücü faydalanma oranları gösterilmiştir. AT1 ve AT2'nin işgücü faydalanma oranları arasında önemli fark olup olmadığına yönelik test yapılmıştır ve %5 önem düzeyinde AT1 ile AT2 arasında işgücü faydalanma oranları açısından önemli fark olmadığı görülmüştür.

Tablo 8. İşgücü Faydalanma Oranları

| İşçi | MD | AT 1 | AT 2 |
|----------------------|-----------------------------|--------------|--------------|
| | (İşgücü Faydalanma Oranı %) | | |
| Sınıflandırıcı | 82,71 | 99,54 | 99,78 |
| Kontrolör 1 | 91,86 | 86,3 | 86,5 |
| Kontrolör 2 | 89,34 | 94,64 | 94,82 |
| Düz. Taşıyıcı 1 | 98,39 | 57,09 | 56,01 |
| Düz. Taşıyıcı 2 | 98,83 | 56,04 | 55,24 |
| TBR Taşıyıcı | 44,91 | 68,94 | 65,17 |
| TBR Kontrolör 1 | 89,51 | 82,77 | 82,62 |
| TBR Kontrolör 2 | 78,57 | 87,99 | 88,16 |
| Yan. Sal. Kontrolör | 64,16 | 97,65 | 96,78 |
| Geo. Ortalama | 79,97 | 79,55 | 78,74 |
| Forklift Opr. | 60,86 | 26,34 | 26,21 |
| Düz. Taşıyıcı 3 | 96,73 | - | - |
| Taşıyıcı | 98,55 | - | - |

5.7.5. Ara-stok miktarlarının karşılaştırılması

AT1 ve AT2 için, Yükleme-1 bölgesiyle Düzgünlük Ölçme Makineleri arasındaki tüm mevkilerde simülasyon süresi içinde ortalama olarak bulundurduğu ara-stok miktarları AT1'de 79,59, AT2'de 68,56'dır. AT1'deki ara-stok miktarı AT2'den %16,09 daha fazladır. %1 önem düzeyinde yapılan test sonucunda bu farkın önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada lastik üretim sistemindeki Pişirme ve Bitirme Ünitesi, PSR hatındaki üretim akışının düzgün olmaması, ara-stokların fazlalığı, yüksek seviyeli işgücü

kullanımı gerektirmesi ve bu faktörlerin hatta oluşturduğu verim kaybı sebebiyle incelemeye alınmıştır.

İyileştirmeler için temel oluşturabilecek değişiklikler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir;

- Taşıma sistemindeki değişiklikler,
- Alanların konumsal değişiklikleri,
- Kapasite artışını sağlayacak donanımın eklenmesi.

Bu bağlamda Promodel 2002 yazılımı olanakları çerçevesinde bölüm 5.6'da da açıklandığı gibi AT1 ve AT2 olmak üzere iki yeni tasarım sınanmıştır. Bu tasarımların hat yerleşimine, kaynaklardaki değişimlere ve varış kuralları değişimine bağlı olarak mevcut modele; üretim artışını sağlaması ve düzgün akışlı taşımaya gerçekleştirmesi bakımından katkılar sağladığı sayısal sonuçlarla belirlenmiştir. Bu sonuçların özet bilgileri Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 9. MD, AT1 ve AT2'nin Performans Kriterlerine Göre Karşılaştırılması.

| Karşılaştırma Kriterleri | Mevcut Duruma Göre % İyileşme Miktarı | | | | AT1'e göre AT2'deki İyileşme | |
|--------------------------|---------------------------------------|--------------|-------|--------------|------------------------------|--------------|
| | AT1 | Fark | AT2 | Fark | Miktarı | Fark |
| Üretim Miktarı | 11.83 | Önemli | 11.61 | Önemli | -0.22 | Önemli Değil |
| Çevrim Süresi | 15.02 | Önemli | 18.33 | Önemli | 3.31 | Önemli |
| Makine Faydalanma Oranı | 7.5 | Önemli | 7.2 | Önemli | -0.3 | Önemli Değil |
| İşgücü Faydalanma Oranı | 0.42 | Önemli Değil | 1.23 | Önemli Değil | 0.81 | Önemli Değil |
| Ara-stok miktarı | - | - | - | - | 16.09 | Önemli |

Tablo 9'daki sonuç bilgileri MD ve alternatif tasarımların performans kriterlerine göre ikili karşılaştırmalarını göstermektedir. Bu bilgilerin uygulayıcı açısından önemi aşağıda sıralanmaktadır.

1. Üretim miktarı: Ortalama üretim miktarı yaklaşık olarak MD'da 8868, AT1'de 9917 ve AT2'de 9897 lastiktir. MD'a göre AT1'de %11.83, AT2'de %11.61 artış olmuştur. AT1'in üretim miktarı AT2'ye göre %0.22 daha fazladır. Üretim miktarları arasındaki farkların önemini sorgulamaya yönelik hipotezler z test istatistiği ile incelenmiş ve bunun sonucunda MD ve alternatif tasarımların üretim miktarlarının arasındaki farkın önemli olduğu, AT1 ve AT2'nin üretim miktarları arasındaki farkın önemli olmadığı gösterilmiştir.

2. Çevrim süresi: Ortalama çevrim süresi yaklaşık olarak MD'da 448, AT1'de 381 ve AT2'de 366 dakikadır. MD'a göre AT1'de %15.02, AT2'de %18.33 iyileşme olmuştur. AT1'de çevrim süresi AT2'ye göre %3.31 daha fazladır. Çevrim süreleri arasındaki farkların önemini sorgulamaya yönelik hipotezler z test istatistiği ile incelenmiş ve bunun sonucunda MD ve alternatif tasarımlar ile, AT1 ve AT2'nin çevrim süreleri arasındaki farkların önemli olduğu gösterilmiştir.

3. Makine faydalanma oranı: Ortalama makine faydalanma oranı MD'da %72.49, AT1'de %77.93 ve AT2'de %77.73'tür. MD'a göre AT1'de %7.5, AT2'de %7.22 artış olmuştur. AT1'de makine faydalanma oranı AT2'ye göre %0.3 daha fazladır. Makine faydalanma oranları arasındaki farkların önemini sorgulamaya yönelik hipotezler z test istatistiği ile incelenmiş ve bunun sonucunda MD ve alternatif tasarımların makine faydalanma oranları arasındaki farkın önemli olduğu, AT1 ve AT2'nin makine faydalanma oranları arasındaki farkın önemli olmadığı gösterilmiştir.

4. İşgücü faydalanma oranı: Ortalama işgücü faydalanma oranı MD'da %79.97, AT1'de %79,55 ve AT2'de %78,74'tür. Alternatif tasarımlarla MD'un işgücü faydalanma oranları yaklaşık olarak aynıdır. Bunun nedeni alternatif tasarımlarda 32 adam-saat daha az işgücü kullanılmasıdır. MD'a göre AT1'de %0.42, AT2'de %1.23 iyileşme olmuştur. AT1'de işgücü faydalanma oranı AT2'ye göre %0.81 daha fazladır. İşgücü faydalanma oranları arasındaki farkların önemini sorgulamaya yönelik hipotezler z test istatistiği ile incelenmiş ve bunun sonucunda MD ve alternatif tasarımlar ile, AT1 ve AT2'nin işgücü faydalanma oranları arasındaki farkların önemli olmadığı gösterilmiştir.

5. Ara-stok miktarı: Ortalama ara-stok miktarı AT1'de 80 lastik, AT2'de 69 lastiktir. Buna göre AT2 AT1'e oranla %16 daha avantajlıdır. AT1 ve AT2'nin ara-stok miktarları arasındaki farkın önemini sorgulamaya yönelik hipotez z test istatistiği ile incelenmiş ve bunun sonucunda aradaki farkın önemli olduğu gösterilmiştir.

Sonuç olarak; alternatifler arasında üretim miktarı, makine faydalanma oranı ve işgücü faydalanma oranı açısından fark olmadığı, çevrim süresi ve ara-stok kriterlerine göre AT2'nin AT1'den daha avantajlı olduğu ortaya konmuştur.

Alternatif tasarımlarda yükleme boşaltma ile harcanan zamanlar ortadan kaldırılmıştır. Böylece; işgücünden 32 adam-saat kazanç sağlanmış, üretim miktarı yaklaşık %12 arttırılmış, çevrim süresinde AT1'de %15.02, AT2'de %18.33 düşüş gerçekleştirilmiştir. Artan üretim miktarına rağmen çevrim süresinin alternatif

tasarımlarda daha düşük olması, akış tipi üretim sistemlerinde konveyör hatlarının getirdiği avantajı ortaya koymuştur.

Kullanılan performans kriterlerine göre, alternatif tasarımların mevcut durumdan daha avantajlı olduğu, alternatif tasarımlar arasında ise AT2'nin AT1'den daha avantajlı olduğu gösterilmiştir.

7. KAYNAKÇA

Bateman R. E., Bowden R. G., Gogg T. J., Harrell C. R. ve Mott J. R. A., (1997), System Improvement Using Simulation, Utah, Promodel Corporation.

Jing G. G., Kelton W. D., Arantes J. C. ve Housmand A. A., (1998) "Modelling a Controlled Conveyor Network with Merging Configuration", Proceedings Of The 1998 Winter Simulation Conference, 1041-1048.

Law A. M. ve Kelton D., (2000), Simulation Modeling and Analysis, U.S.A., Averill M. Law & Associates Inc.

Law A. M. ve McComas M. G., (1999) "Simulation Of Manufacturing Systems", Proceedings Of The 1999 Winter Simulation Conference, 56-59.

Shubin J. A. ve Madeheim, H., (1965), Plant Layout, New Delhi, Prentice-Hall Of India Ltd.

Ülgen O. M. ve Upendram S. S., (1995) "The Role of Simulation Design of Material Handling Systems", <http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Simulation%20Publications/SimMethodology> ; 1-2, Erişim tarihi: 18.05.2004.

Williams E. J. ve Gonzalez, R. (2000) "Improving Logistics Within A Flow Shop-A Simulation Project Within The Context Of A University Course". <http://st.itim.unige.it/hms2000/listweb.html#s6> ; 1-6, Erişim tarihi: 22.06.2005.

Institute Of Industrial Engineers, (1987), Simulation Modeling Manufacturing & Service Systems, Atlanta, Industrial Engineering and Management Press.