

DİZEL ENJEKTÖR ÜRETİMİ YAPAN BİR ŞİRKETTEKİ MONTAJ HATTI İŞLETME SÜREÇLERİ

Ayşe Dilek OĞAN, Burcu ÖZDENİZ, Zübeyde Özlem ÖZER, Koray Caner ÖZTÜRK, Levent TOP,
Canan ÇİLİNGİR, Sinan KAYALIGİL*

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara

**e144536@metu.edu.tr*

ÖZET

Çalışma kapsamında, dizel enjektör üretimi yapan bir şirketteki enjektör montajının gerçekleştiği yarı otomatik hatlar ele alınmaktadır. Talep dalgalanmalarına karşı vardiya iptal edilmesi stratejisinin izlenmesiyle, verimlilik ve motivasyon düşüşleri ile envanter artışına neden olan uygulamalar projenin en belirgin inceleme alanlarını oluşturmaktadır. Bu nedenle, çözüm yaklaşımı kapsamının en önemli noktasında projenin amacı hatta esneklik kazandırmaktır. Bu bağlamda, çözüm aşamasında sistem yaklaşımının da yürütülmesiyle, üç farklı aşamayı bünyesinde barındıran modeller geliştirilmiştir. Bunlar sırasıyla Operatör Atama Modeli, Karar Tablosu ve Envanter Modeli'dir. Operatör Atama Modeli, montaj hattının farklı operatör sayıları ile çalışabileceği çevrim süresinin ve operatörlerin atandıkları işlerin belirlenmesi için geliştirilmiş olup, sonuçları Karar Tablosu oluşturmada kullanılır. Karar Tablosunun amacı Planlamacıya mevcut durumla ilgili alternatifler sunarak karar yetkisini firmaya bırakmaktır. Karar Tablosunun çıktıları Envanter Modeli'nde kullanılarak seçilen operatör sayılarıyla düzgün bir üretim çizelgesi ve etkili bir envanter yönetimine ulaşılır. Önerilen çözümle yüksek verim, minimum envanter ve düşük maliyette çalışan enjektör montaj hattı elde edileceği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Esneklik, dalgalanan talep, yarı otomatik montaj hattı, operatör atama modeli, envanter modeli

CONFIGURING ASSEMBLY LINE PROCESSES AT A DIESEL INJECTION SYSTEMS MANUFACTURER

ABSTRACT

This study is about operation processes of a semi-automatic assembly line at a diesel system company. Cancelling shifts due to fluctuating demand results in low efficiency, low employee motivation and high inventory levels. Thus, the aim of this study is stated as bringing flexibility. Considering systems thinking approach, three mathematical models are constructed: Operator Assignment Model, Decision Table and Inventory Model. Operator Assignment Model is used for determining the cycle time to assembly one injector and the job assignments of the operators. The result of this model is used as an input for Decision Table. Decision Table is used to show all possible alternatives about the current period while enabling Production Planner to have the last word. The output of the Decision Table is used as an input in the Inventory Model, so a smooth production schedule and an effective inventory management are obtained given the operator assignments. It is anticipated to have an assembly line with low cost, low inventory levels and high efficiency with the proposed system.

Keywords: Flexibility, fluctuating demand, semi-automatic assembly line, operator assignment model, inventory model

* İletişim yazarı

Bilkent Üniversitesi tarafından düzenlenen 29. Yöneyem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Bildirileri Yarışması'nda üçüncülük ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. FİRMA TANITIMI VE SÜREÇLERİN TANIMLANMASI

Türkiye’deki faaliyetlerine 1971 yılında başlayan firma, çok uluslu bir grubun otomotiv teknolojileri alanının dizel sistemler dalında faaliyet gösteren birimlerinden biridir. Firma dünya çapında otomotiv parçaları tedarikçileri arasında lider olup, dünya devi otomotiv firmalarıyla çalışmaktadır.

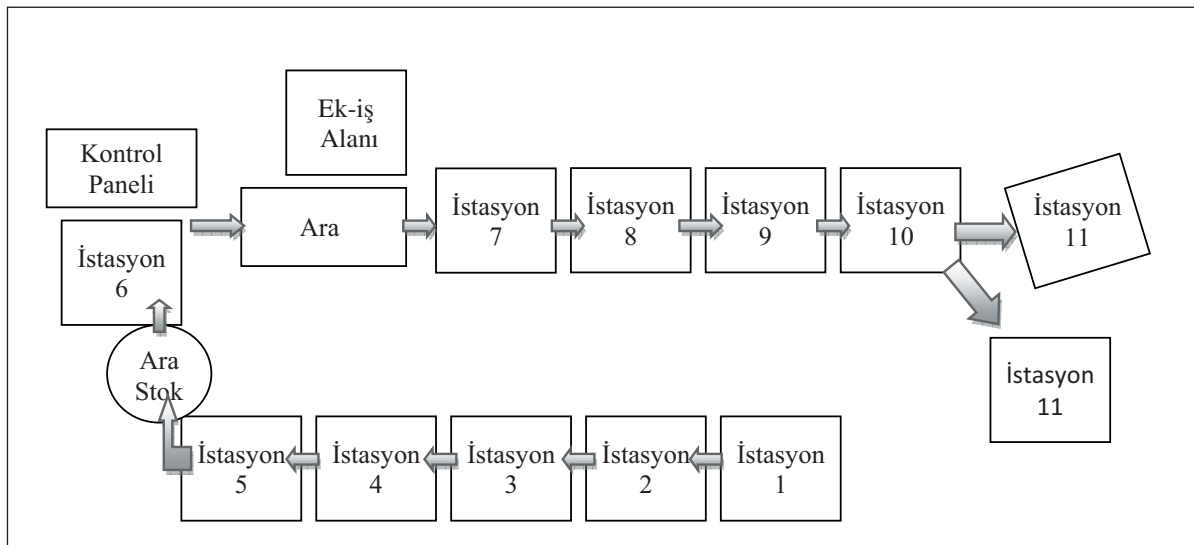
Montaj Hattı İşletme Süreçleri Projesi, firma bünyesindeki enjektör montaj hatlarından U-şeklinde konumlandırılmış 12 istasyondan oluşan yarı-otomatik bir hat üzerinde gerçekleştirilmektedir (bkz. Şekil 1).

Hat içerisindeki 12 istasyonun her birine bir operatör atanmıştır. Hat ile ilgili bazı temel bilgiler şu şekilde sıralanabilir:

- Hat, 12 operatörle yaklaşık 10 saniyelik çevrim süresi ile çalışmaktadır.
- Hat ya 12 operatörle tam kapasite çalıştırılmakta ya da vardiya iptallerine gidilmektedir.
- Hat üzerinde farklı müşterilere ait farklı enjektör modelleri üretilebilmektedir. Bir modelin üretiminden diğerine geçebilmek için “tip dönme” adı verilen bir işlem uygulanır ve istasyonlar yeni modelin üretimine uygun hâle getirilir. Bu işlemin süresi ortalama 15 dakikadır.

- 11. istasyonda gerçekleştirilen işlemlerin 20 saniye civarında sürmesi nedeniyle aynı işlemlerin gerçekleştirildiği paralel çalışan ikinci bir istasyon bulunmaktadır.
- 6. istasyonda yüksek basınç ve sıcaklık altında uygulanan plastik enjeksiyon işlemi sonrasında ürün üzerinde devam işlemlerinin yapılabilir hâle gelmesini sağlayacak kadar soğuması için bir ara stok alanı bulunmaktadır.
- İstasyonların dizilimini ve işlem sırasını değiştirmek firma tarafından maliyet göz önünde bulundurularak istenmemektedir.
- İstasyonlar arasında (6. istasyon öncesi ve sonrası haricinde) ara stok alanı bulunmamaktadır. Yarı ürünler istasyonlar arasındaki bir birim tutabilecek kapasiteli tutacaklar vasıtasıyla diğer istasyona aktarılırlar.
- Hatta hangi tipten, ne kadar ve ne zaman üretileceğinin sorumluluğu Üretim Koordinatörü’ne aittir.
- Hat için kullanılan performans ölçüsü, “Toplam Ekipman Etkinliği”dir (“Overall Equipment Efficiency” - OEE). Bu ölçü, plansız duruş oranının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

$$\text{Plansız Duruş Oranı} = 1 - \text{OEE}$$



Şekil 1. Montaj Hattı Yerleşimi

2. PROBLEM TANIMI

Firma ile yapılan görüşmeler ve sistem analizi sonucunda projenin amacı şu şekilde belirlenmiştir: *“Değişen çevre şartlarına cevap verebilen bir sistem yaklaşımı yürüterek, montaj hattının üretim sürecini mevcut ürün maliyetini artırmadan geliştirmek.”*

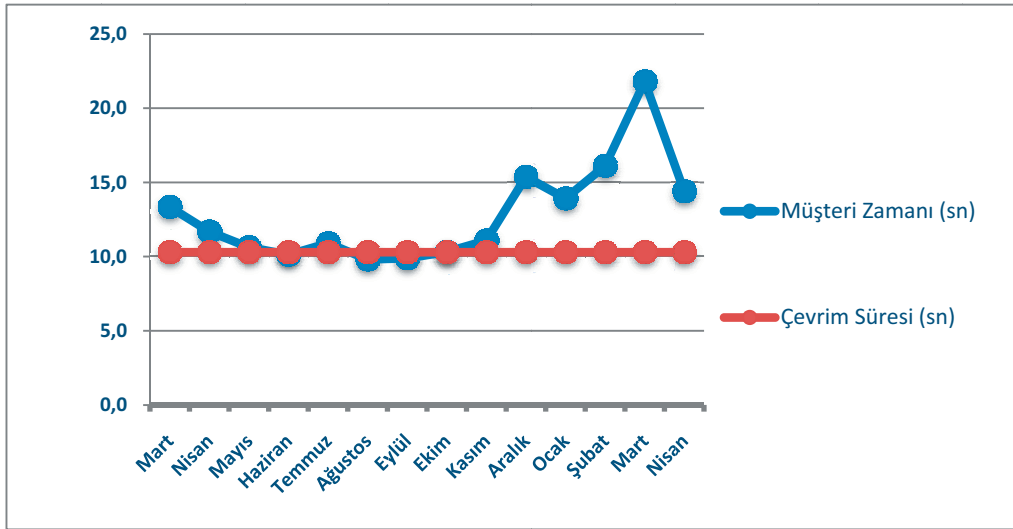
Projenin amacı doğrultusunda yapılan gözlemler ve hat ile ilgili bilgiler, sistem dahilindeki etkileşimlerle birlikte incelendiğinde bazı problem belirtilerine rastlanmıştır. Bunların en önemlisi, dalgalanan talebe rağmen hattın müşteri zamanına göre değil,

sonucunda yüksek miktarda stok tutulması olarak ortaya çıkmıştır.

Son olarak, vardiya iptallerinin planlanması sebebiyle operatörlerde motivasyon düşüşü ve buna bağlı verimlilik kaybı görüldüğü tespit edilmiştir.

Bütün bu bilgilerin ışığında problem tanımı şu şekilde gerçekleşmiştir:

“Montaj hattının dalgalanan talebe karşı esneklik gösterememesinden kaynaklanan maliyet artışını en azlamak.”



Şekil 2. Hattın Çevrim Süresi ve 13 Aylık Müşteri Zamanları Karşılaştırması

sabit çevrim süresiyle çalışmasıdır. Müşteri zamanı, aylık net sürenin toplam talebe oranlanmasıyla elde edilir. Müşteri zamanı odaklı üretim yapılmaması durumu, montaj hattının değişen çevre şartlarına karşı esneklik gösteremediğini ortaya koymaktadır. Bu esnek yapının olmayışı nedeniyle hat düşük talep gelmesi durumunda bile 12 operatörle çalıştırılmaya devam etmektedir. Bir başka deyişle, hattın üretim kapasitesi talebe göre değiştirilememekte; bu da planlama sürecinin bir noktasında vardiya iptallerine yol açmaktadır. Montaj hattına ait müşteri zamanının hattın çevrim süresine göre gösterdiği farklılık, Şekil 2' de görülebilir.

Bir diğer problem belirtisi, mevcut çalışma düzeni nedeniyle düzenli üretim yapılamaması ve bunun

3. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI ve MATEMATİKSEL MODELLEME

Yapılan problem tanımı sonucu, üstünde durulması gereken noktanın esneklik olduğu anlaşılmıştır. U şeklinde yerleşimli hatlarda esneklik uygulamaları literatürde araştırıldığında çeşitli yaklaşımlarla karşılaşılmıştır. Bunlardan özellikle ikisinin problem tanımıyla doğrudan bağlantılı olduğunu söylemek mümkündür.

İlk çalışma Nakade ve Ohno (1999)'nun makalesi olup, talebi karşılayabilecek en kısa çevrim süresine uygun asgari operatör sayısının belirlenmesi üzerine kurulu bir yaklaşım içermektedir. Diğer çalışma ise operatörlerin atıl zamanlarını en aza indirecek şekilde

istasyonlara atanmalarına dayanan bir yaklaşımla Stockton vd. (2005) tarafından hazırlanmıştır. Bu iki çalışma ve buna benzer diğer çalışmalar incelenmiş ve proje kapsamında gerçekleştirilebilecek uygulama *hatta çalışan operatör sayısını talep dalgalanmasına uygun, değiştirerek, hatta esneklik kazandırılması* şeklinde tanımlanmıştır. Bu değişim, operatörlerin izledikleri çalışma rotalarının en verimli şekilde tekrar belirlenmesi gereğini de beraberinde getirmiştir.

En uygun operatör sayısı ve bu operatörlere ait çalışma rotalarını veren modeller incelendiğinde, dalgalanan taleple birlikte bu miktarlara karşılık gelen operatör sayısı ve her operatöre ait çalışma rotalarının da değiştiği görülmektedir. Bu değişimin arkasında yatan temel neden, bir periyotta çalışması planlanan en uygun operatör sayısının, o periyoda ait toplam talebin karşılanabileceği çevrim süresi olan planlı çevrim süresine göre belirlenmesidir. Planlı çevrim süresini, belirli bir periyoda ait net süreyi o dönemdeki toplam talebe bölerek hesaplamak mümkündür. Literatürde karşılaşılan modeller, talebin sık değiştiği durumlarda, operatör sayısında aynı sıklıkta değişikliğe gidilmesini öngörmekte ve bu durum beraberinde bazı sorunları da getirebilmektedir:

- Çalışma şekillerinin sık değişmesi sonucu, operatörlerin yeni çalışma rotalarına adapte olmasında güçlükler yaşamaları
- Operatörlerdeki adaptasyon güçlüğünün performanslarını etkileyerek hatalı ürün sayısında artış olma ihtimali

Yaşanması muhtemel bu gibi sorunlardan dolayı, operatör sayısında sık sık değişikliğe gidilmesi yerine uzun aralıkta sabit sayıda operatörle çalışması planlanmıştır. Buna ek olarak, hatta çalışması gereken en az operatör sayısından fazla operatör çalıştırılması durumunda, vardiya iptal etmek yerine çalışma günlerinin tamamının değerlendirilmesi ve artan sürenin bütün aya yayılarak tip dönme sayısının artırılmasıyla, hattaki esneklik anlayışına bir başka boyut kazandırılması öngörülmüştür. Uygulama yapılan periyotta, gelen talebe uygun operatör ve tip dönme sayısına karar verilmesi aşamasında, alternatifleri sıralayan “Karar Tablosu” adı verilen bir model oluşturulması planlanmıştır.

Üretim planlama sürecine ait tip dönme sayısı belirlendikten sonraki aşama, mümkün olan en az envanter miktarına ulaşılabilmesi için tip dönmelerin gerçekleştirilmesi gereken en uygun zamanın saptanması olarak tanımlanmıştır. Bunun gerçekleştirilmesiyle, hangi model, enjektörün ne zaman ve ne kadar üretilmesi gerektiği de belirlenerek üretim planının çıkarılması amaçlanmıştır.

Çözüm yaklaşımı kapsamında anlatılan iyileştirme önerilerinin tamamı, Operatör Atama Modeli, Karar Tablosu ve Envanter Modeli başlıkları altında ayrıntılı olarak aşağıda tanıtılmaktadır.

3.1 Operatör Atama Modeli

Operatör Atama Modeli, farklı operatör sayıları ile montaj hattının çalışabileceği “çevrim süresinin” ve her farklı operatör sayısı durumunda “operatörlerin atandıkları işlemlerin” belirlenmesi için geliştirilmiştir. Bu modelin amaç fonksiyonu, en yüksek çevrim süresine sahip operatörün çevrim süresinin enazlanması olup, bu sayede operatörlerin atıl zamanlarının enazlanması da sağlanmaktadır. Hattın yerleşimi ve istasyonlardaki işlem süreleri değişmediği sürece Operatör Atama Modeli sonuçları geçerliliğini korumaktadır. Bu sebeple model bir defaya mahsus çözdürülüp sonuçları Karar Tablosu oluşturmada kullanılır.

İstasyonlardaki işlem sürelerinin, işlemi gerçekleştiren operatöre göre değişmediği varsayılmaktadır. İstasyon sayıları ve istasyonlar arası yürüme mesafeleri sabit ve önceden bilinmektedir. İstasyonlardaki işlemlerin her biri bir operatöre ve tüm operatörler en az bir işleme atanmıştır. Bir operatörün herhangi bir işleme başlamasıyla o işleme tekrar geri dönmesi operatörün çevrimini oluşturmakta ve her operatör her çevrimde aynı sırayla görevini yerine getirmektedir. Operatörlerin bir işlemi bitirmeden diğer bir işleme başlaması söz konusu değildir.

Matematiksel Model

Notasyonlar:

- i : operatör i (1, 2, ... I)
- j : iş j (1,2, ... N)
- k : iş k (1,2,... N)
- G : çok büyük bir sayı

Parametreler:

$B(j)$: j işinin manüel işlem süresi (sn)

$M(j)$: j işini yapan operatörün makine bekleme süresi (sn)

$d(j,k)$: j işinden k işine olan yürüme süresi (sn)

Karar Değişkenleri:

$x(i,j)$: $\begin{cases} 1, \text{ operatör } i, j \text{ işine atanırsa} \\ 0, \text{ diğer durumda} \end{cases}$

$y(i,j,k)$: $\begin{cases} 1, \text{ operatör } i, j \text{ işinden } k \text{ işine yürürse} \\ 0, \text{ diğer durumda} \end{cases}$

$C(i)$: Operatör i 'nin çevrim süresi

T : En yüksek çevrim süreli operatörün çevrim süresi

Amaç Fonksiyonu:

$$Min = T$$

Kısıtlar:

$$C(i) \geq \sum_{j=1}^N (x(i,j) * (B(j) + M(j))) \quad \forall i \quad (1)$$

$$C(i) \geq \sum_{j=1}^N (x(i,j) * B(j)) + \sum_{j,k=1}^N (y(i,j,k) * d(j,k)) \quad \forall i \quad (2)$$

$$T \geq C(i) \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I x(i,j) = 1 \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^N y(i,j,k) = x(i,j) \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^N y(i,j,k) = x(i,k) \quad \forall i, k \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N x(i,j) \geq 1 \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{i-2} x(i,k) \leq G * (1 - x(i,j) + x(i,j-1)) \quad \forall i \& j \geq 3 \quad (8)$$

$$\sum_{k=j+2}^N x(i,k) \leq G * (1 - x(i,j) + x(i,j+1)) \quad \forall i \& j \leq N - 2 \quad (9)$$

$$x(i,1) \leq G * (1 - x(i,3) + x(i,2)) \quad \forall i \quad (10)$$

$$x(i,N) \leq G * (1 - x(i,N-1) + x(i,N-2)) \quad \forall i \quad (11)$$

$$x(i,j), y(i,j,k) \in \{0,1\} \quad (12)$$

$$T \geq 0 \quad (13)$$

Kısıt (1) ve (2) operatörlerin çevrim sürelerinin, operatörlerin atandığı her bir istasyondaki makineyi bekleme süresi, manuel işlemlerin süreleri toplamı ile atandığı istasyonlardaki manuel işlemlerin toplam süreleri ve operatörün yürüme sürelerinin toplamından büyük olanına eşitlemektedir. Kısıt (3) hattın çevrim süresinin en uzun çevrim süreli operatörünküne göre belirlenmesini sağlamaktadır. Kısıt (4) her işe bir operatörün atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (5), (6) operatörlerin her çevrimde atandıkları işleri yerine getirebilmeleri için yürümelerini zorunlu kılmaktadır. Kısıt (7) her operatörün en az bir işe atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (8), (9), (10) ve (11) operatörlerin rotalarının çakışmasını engellemek için ardışık işlere atanmalarını sağlamaktadır. Rotaların çakışmasını önlemenin yanı sıra bu kısıtlar, U-şeklinde yerleşime sahip hattımızda karşılıklı istasyonlara operatör atanmasını ve operatörün her çevrimde arkaya dönmesini de önlemektedir. Kısıt (12) ve (13) işaret kısıtlarıdır.

Montaj hattındaki son işlemler 2 paralel istasyonda, 11. ve 12. istasyonlarda yapılmakta olup, yaklaşık 20 sn sürmektedir. Çevrim süresinin bu süreyi geçtiği operatör sayısı alternatiflerinde 12. istasyon kullanılmamaktadır. Operatör Atama Modelinin 2 ile 12 arasındaki operatör sayısı alternatiflerine göre atama ve çevrim süresi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Operatörlerin Atandıkları İstasyonlar ve Hattın Çevrim Süresi

	1. Op.	2. Op.	3. Op.	4. Op.	5. Op.	6. Op.	7. Op.	8. Op.	9. Op.	10. Op.	11. Op.	12. Op.	Çevrim Süresi
12 Op. ile	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	10,18
11 Op. ile	1	2	3,4	4,5	6	7	8	9	10	11	12		14,46
10 Op. ile	1	2	3,4	4,5	6	7	8,9	9,10	11	12			14,96
9 Op. ile	1	2	3,4	4,5	6	7,8	8,9,10	10,11	12				17,34
8 Op. ile	1	2,3	4	5,6	7,8	8,9,10	10,11	12					17,76
7 Op. ile	1	2,3	4	5,6	7,8	9,10	10,11						19,97
6 Op. ile	1,2	3,4	5,6	7,8	9,10	10,11							20,49
5 Op. ile	1,2,3	4,5,6	7,8	9,10	11								28,57
4 Op. ile	1,2,3	4,5,6	7,8,9	10,11									28,97
3 Op. ile	1,2,3	4,5,6	7,8,9,10,11										59,75
2 Op. ile	1,2,3,4,5,6	7,8,9,10,11											63,61

3.2 Karar Tablosu

“Operatör Atama Modeli”nden 2 ile 12 arasındaki operatör sayısı seçeneklerine ait çevrim süreleri belirlenmiştir. Sıradaki aşama olan “Karar Tablosu” oluşturmanın amacı, üretim koordinatörüne aylık talebin karşılanabileceği farklı çalışma günlerine karşılık gelen operatör sayısı alternatiflerini sunmaktır.

Bu alternatiflerin oluşturulması sırasıyla şu aşamalardan oluşmaktadır:

1. Günlük ortalama tip dönme sayısının belirlenmesi: Montaj hattında talebi yüksek ve sık gerçekleşen enjektörlerin, yani “A Tipi” enjektörlerin ve bunların yanında “Exot” adı verilen diğer tip enjektörlerin montajı yapılmaktadır. “A Tipi” enjektörlerin her gün üretilmesi ve her gün sevk edilmesi firma tarafından amaçlanmaktadır. Günde ortalama bir defa da “Exot” tiplerinden üretilmesi istenmektedir. Başka bir deyişle günlük ortalama tip dönme sayısı, “A Tipleri”nin sayısı ve “Exot” tipleri için de 1 tip dönme toplamına eşittir.
= “A tipi” sayısı + 1
2. Bir çalışma gününe ait net sürenin belirlenmesi: Firmadan alınan bilgiler doğrultusunda bu sürenin

belirlenmesinde planlı çalışma zamanı, OEE hedeflerine göre kabul edilebilir en yüksek plansız duruş oranı ve tip dönme sayısına bağlı olarak tip dönmeyle kaybedilen zaman dikkate alınmıştır. (Her bir tip dönme süresi ortalama olarak 15 dakika olarak belirlenmiştir.)

$$= 3 (\text{Günlük çalışılan vardiya sayısı}) * 419 * 60 (\text{Vardiyalık planlı çalışma zamanı (sn)}) *$$

$$0.85 (1 - \text{Plansız duruş oranı}) - (\text{Günlük Tip Dönme Sayısı} * 15 * 60)$$

3. Değişik operatör sayılarına karşılık gelen günlük üretim kapasitesinin belirlenmesi: 2 ile 12 arasındaki operatör sayısı seçeneklerine karşılık gelen çevrim sürelerine ve önceden hesaplanan çalışma günü net süreye göre belirlenir.
= Bir çalışma gününe ait net süre (sn) / Çevrim süresi (sn) (Her bir operatör sayısı seçeneği için)
4. Günlük üretilmesi gereken miktarın belirlenmesi: Tiplere ait aylık toplam talepler girildiğinde alternatif çalışma günlerine göre, 5 ile 30 arası, günlük üretilmesi gereken ortalama miktarlar hesaplanır.
= Aylık toplam talep / Çalışma gün sayısı (5 ile 30 arası)

5. Çalışma gün sayılarına göre operatör sayısının belirlenmesi: Her bir çalışma günü göz önüne alınarak üretilmesi gereken ortalama miktarlar belirlendikten sonra bu miktarların operatör sayılarına göre belirlenen günlük üretim kapasitelerinden oluşan tabloya bakılarak hangi aralığa düştüğü belirlenir. Miktarın denk geldiği kapasite aralığına karşılık gelen operatör sayısı o çalışma günüyle eşleştirilir.

Modelin uygulandığı ay içindeki çalışma gün sayısına karşılık gelen operatör sayısına ait günlük üretim kapasitesi belirlenir. Talep edilen enjektörlerin tiplerine göre belirlenen ortalama günlük tip dönme sayısı da çalışma günüyle çarpıldığında aylık toplam tip dönme sayısı elde edilmektedir. Karar Tablosu'nun çıktıları olan günlük kapasite ve aylık toplam tip dönme sayısı envanter modeline aktarılır.

3.3 Envanter Modeli

Envanter Modeli, Karar Tablosu'ndan alınan günlük kapasite ve aylık tip dönme sayısını göz önünde bulundurarak gelen talep doğrultusunda üretim çizelgesi oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu sayede hangi enjektör tipinden ne zaman ve ne kadar üretileceği belirlenmektedir. Aylık envanterin enazlanması envanter modelinin amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. Üretimin en önemli kısmını oluşturan A tipi ürünler için sponsor firmanın isteği doğrultusunda, aynı haftanın günleri içinde her bir A tipi ürün için üretim miktarı sabit tutulurken, haftalar arasında ise A tipi ürünlerin toplam üretim miktarında en fazla %10'luk bir değişime izin verilmektedir. Bu sayede daha düzgün bir üretim süreci hedeflenmektedir.

Matematiksel Model

Notasyonlar:

i : tip i (1, 2, ... I)

t : çalışma günü (1, 2, ... T)

M : çok büyük bir sayı

Parametreler:

$D(i,t)$: t günü için i tipinin sipariş miktarı

$a(i)$: i tipinin emniyet stoku

K : Belirlenen tip dönme sayısı

C : Günlük kapasite

Karar Değişkenleri:

$x(i,t)$: t gününde i tipinden ne kadar üretilileceği

$r(i,t)$: i tipinin t günü sonundaki envanter miktarı

$y(i,t)$: $\begin{cases} 1, & i \text{ tipi } t \text{ gününde üretilirse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min} \sum_{t,i}^{T,I} r(i,t)$$

Kısıtlar

$$x(i,t) = D(i,t) - r(i,t-1) + r(i,t) \quad \forall i \text{ ve } t \geq 2 \quad (1)$$

$$x(i,1) = D(i,1) - a(i) + r(i,1) \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I y(i,t) \leq K \quad \forall t \quad (3)$$

$$x(i,t) \leq M * y(i,t) \quad \forall i,t \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I x(i,t) \leq C \quad \forall t \quad (5)$$

$$x(i,t) = x(i,t+1) \quad t \text{ ve } t+1: \text{ aynı haftaya ait günler} \quad (6)$$

$$\sum_t^{t+5} x(i,t) * 0.9 \leq \sum_{t+7}^{t+12} x(i,t) \quad t = 1,8,15 \quad (7)$$

$$\sum_t^{t+5} x(i,t) * 1.1 \leq \sum_{t+7}^{t+12} x(i,t) \quad t = 1,8,15 \quad (8)$$

$$r(i,T) \geq a(i) \quad \forall i \quad (9)$$

$$x(i,t) = 0 \quad t : \text{ çalışılmayan günler} \quad (10)$$

$$x(i,t) \geq 0 \quad \forall t \quad (11)$$

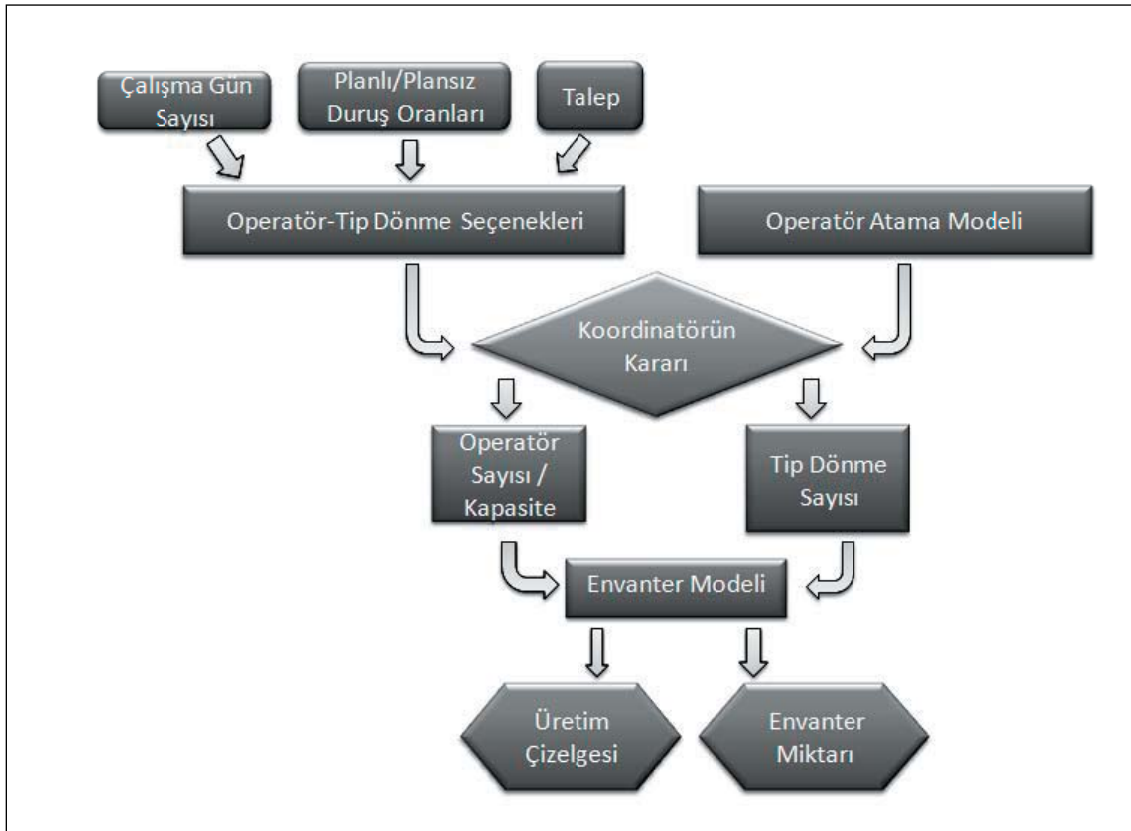
Kısıt (1) t gününde i tipinden üretim miktarının, ürünün talebini ve önceki günden kalan envanterini dikkate alarak hesaplanmasını sağlamaktadır. Kısıt (2), Kısıt (1)'in ayın ilk gününe uyarlanmasını içermektedir. Zira ayın ilk gününe aktarılan envanter, emniyet stokunu ifade etmektedir. Kısıt (3) içinde bulunulan ayda talebi olan tiplerin üretilmesi için belirlenen tip dönme sayısına kadar tip dönmeye izin vermektedir. Kısıt (4) i tipinin t gününde üretimi gerçekleşmişse i tipine t gününde tip dönülmesini sağlamaktadır. Kısıt (5) günlük üretim miktarlarının üretim kapasitesini aşmasını engellemektedir. Kısıt (6) A tipi ürünler için geçerli olup, aynı haftaya ait günlerde bu ürünlerin üretim miktarlarının sabit kalmasını sağlamaktadır. Kısıt (7) ve (8) ise A tiplerinin haftalık toplam üretim miktarının haftadan haftaya en fazla %10'luk değişimine izin vermektedir. Kısıt (9) i tipinden ay sonunda en az emniyet stoku kadar envanter

bırakılmasını sağlamaktadır. Kısıt (10) çalışılmayan günlerde üretimin yapılmasını engellemektedir. Kısıt (11) işaretçi kısıttır.

3.4 Bütünleşik Çözüm Yaklaşımı

Oluşturulan modellerin bir bütün halinde incelenmesine olanak sağlayan bütünleşik bir gösterim Şekil 3'te görülebilir.

Uygulama yapılacak olan aya ait bilgiler elde edildiğinde, operatör atama modelinin sonuçlarından yararlanılarak ve çalışma gün sayısı göz önünde bulundurularak karar tablosu aracılığıyla en uygun operatör sayısı belirlenir. Koordinatörün çalışma gün sayısına karar vermesiyle ay boyunca hatta çalışacak operatör sayısı, hattın üretim kapasitesi ve tip dönme sayısı belirlenmiş olur. Bu çıktılar envanter modelinde kullanılarak düzgün bir üretim çizelgesi ve etkili bir envanter yönetimine ulaşılır.



Şekil 3. Bütünleşik Uygulama

4. ÇÖZÜM SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Örnek aylara ait verilerin uygulanması ve elde edilen sonuçların mevcut durumla karşılaştırılması yoluyla, geliştirilen modellerin sağladıkları iyileşme oranları görülebilmektedir.

Örnek ayların verilerine bakıldığında, değişen talebe göre hattın 12 operatörle çalışmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Bu aylardaki çalışma gün sayıları, sırasıyla, 26, 24, 26 ve 25 olmasına rağmen hat dalgalanan talebe cevap veremediği ve aynı prensiple çalışmaya devam ettiği için çalışılan gün sayıları, sırasıyla, 19, 15, 12 ve 17 şeklinde gerçekleşmiştir. Bu durum Tablo 2’de görülen vardiya iptallerine yol açmıştır.

Vardiya iptalleri operatörlerde motivasyon düşüşüne ve hattın vardiya iptalinden sonra tekrar çalıştırılması ise ısınma ve ayar kayıplarına yol açtığından, vardiya iptali istenmeyen bir durum oluşturmaktadır. Ayrıca vardiya iptali mevcut yatırımın boş kalması anlamına geldiğinden firmanın istemediği bir durumdur.

Uygulama yapılan aylara ait bilgiler modele girildiğinde Tablo 3’teki Karar Tablosu elde edilmiştir.

Tabloda görüldüğü üzere B,C ve D aylarında talebin düşmesi ile talebi karşılayabilen operatör sayılarında da bir düşüş yaşanmıştır. Operatör sayısının düşmesine bağlı olarak üretim kapasitesi azalmış ve hattın çevrim süresi artmıştır. Bu sayede talebi karşılayabilen üretim kapasitesine uygun operatör sayısı belirlenmiş ve vardiya iptallerinin önüne geçilmiştir.

Karar Tablosu ile elde edilen çıktılar ile talebi karşılayacak ve A tipi ürünlerden her gün üretim gerçekleşmesini sağlayacak toplam tip dönme sayısı envanter modeline girildiğinde, toplam envanter miktarlarında ciddi bir iyileşme sağlanmıştır. Mevcut durumdaki envanter ile modelleme sonucunda elde edilen envanter miktarlarını gösteren grafikler ve sağlanan iyileşmeler aşağıda sıralanmıştır.

A ayında mevcut durumda hat 12 operatörle 19 gün çalıştırılıp toplam 692.774 envanter tutulmuştur.

Tablo 2. Uygulama Yapılan Aylara Ait Genel Bilgiler

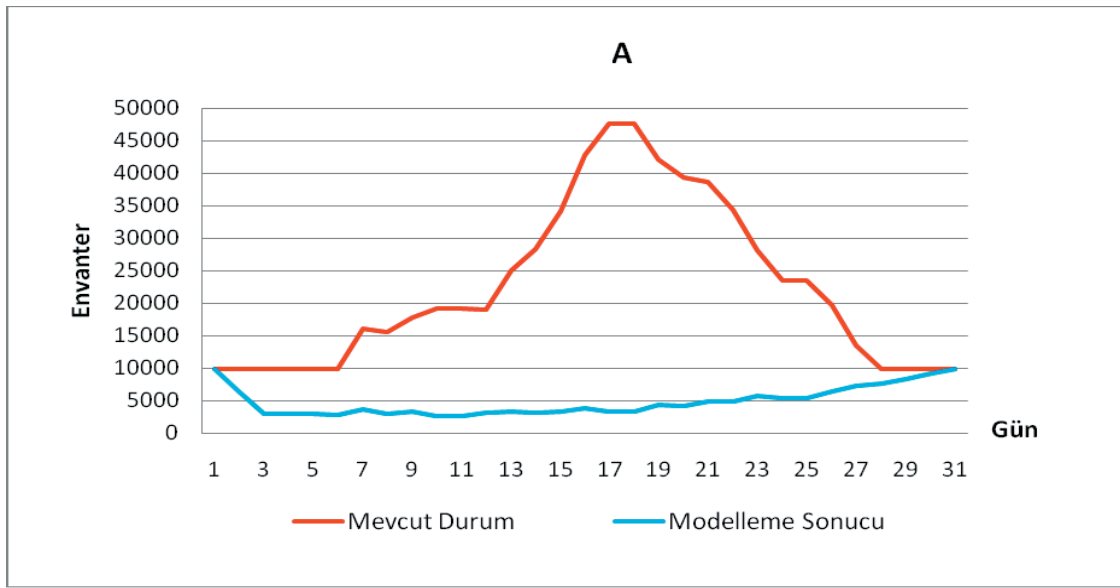
Aylar	Toplam İş Günü Sayısı	Çalışılan İş Günü Sayısı	İptal Edilen Vardiya Sayısı
A	26	19	18
B	24	15	25
C	26	12	40
D	25	17	21

Tablo 3. Uygulama Yapılan Aylara Ait Karar Tablosu

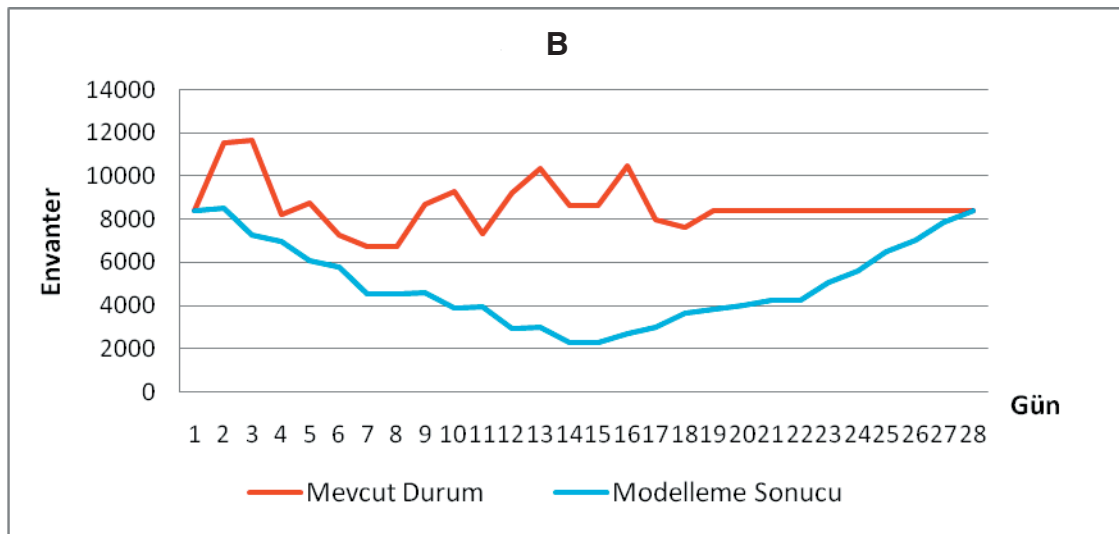
Aylar	Çalışma Gün Sayısı	Gereken Asgari Operatör Sayısı	Günlük Üretim Kapasitesi	Hattın Çevrim Süresi(sn)
A	26	12	5944	10,18
B	24	10	4105	14,96
C	26	6	2868	21,10
D	25	10	4045	14,96

Modelleme sonucunda ise hat 12 operatörle çalıştırılmaya devam edilmiştir, ancak vardiya iptallerine gidilmemiştir. Ayrıca A tipi ürünlerin aynı haftaya ait günlerde eşit miktarda olacak şekilde her gün üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede tutulan envanter miktarı 147.150 olarak gerçekleşmiştir. Bir başka deyişle envanter miktarında yaklaşık %79'luk bir iyileşme sağlanmıştır. A ayına ait envanter karşılaştırması Şekil 4' te görülebilir.

Mevcut durumda, B ayında talebin düşmesine rağmen 12 operatörle çalışılmaya devam edilmiş ve çok sayıda vardiya iptaline gidilmiştir. Modelleme sonucunda ise hattın 10 operatörle çalışmasının yeterli olacağı görülmüş (bkz. Şekil 6) ve hattın bu durumdaki kapasitesi belirlenmiştir. Hattın tüm çalışma günlerinde 10 operatörle çalışması halinde envanter miktarınının 241.641'den 140.977'ye düşürüldüğü gözlemlenmiştir. Bu da yaklaşık %42'lik



Şekil 4. A Ayı Envanter Karşılaştırması



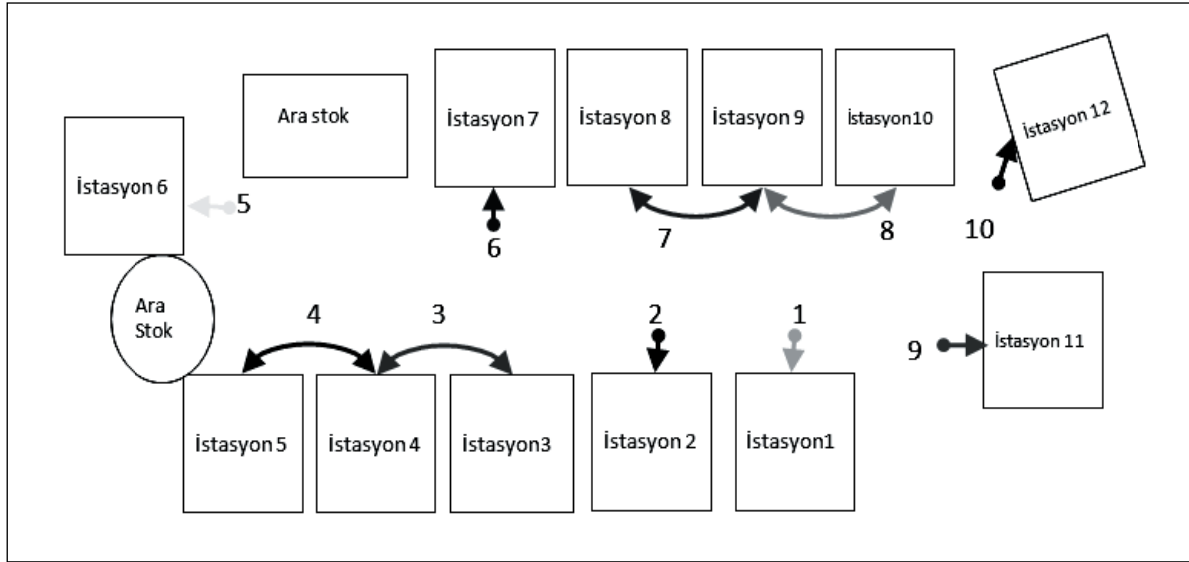
Şekil 5. B Ayı Envanter Karşılaştırması

bir iyileşmeye karşılık gelmektedir. B ayına ait envanter karşılaştırması Şekil 5'te görülebilir.

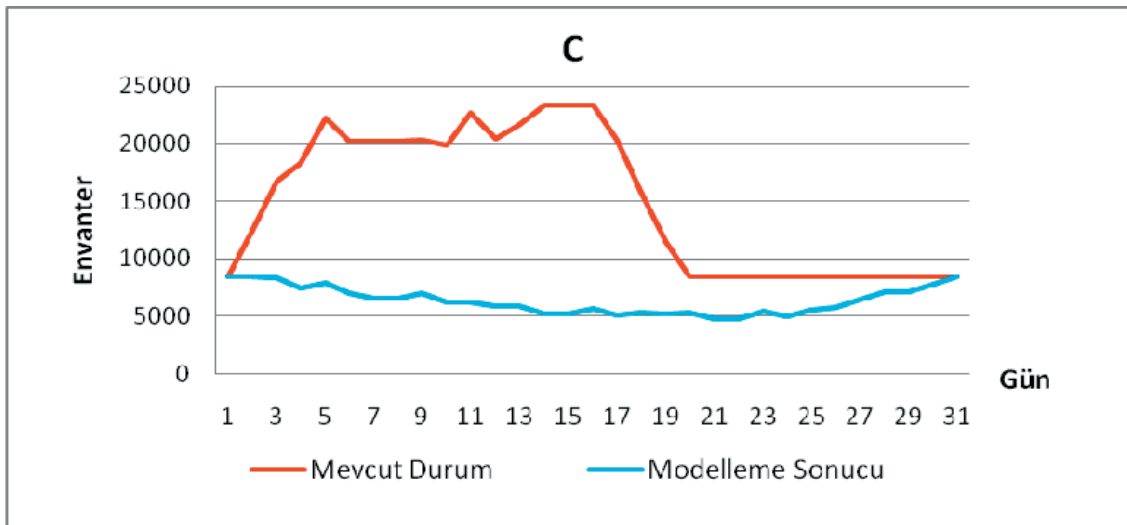
Diğer aylarda olduğu gibi C ayında da hat 12 operatörle çalıştırılmaya devam edilmiş ve bu ayda talep oldukça düşük olduğu için 40 defa vardiya iptaline gidilmiştir. Hattın dalgalanan talebe cevap verememesinden dolayı da bu ay için 462.256 gibi oldukça yüksek miktarda envanter birikmesi gerçekleşmiştir. Karar tablosunun sonucuna göre hat 6 operatörle çalıştırıldığında (bkz. Şekil 8) ve bu tablonun

çıktıkları envanter modeline girdi olarak verildiğinde envanter miktarı 195.602 olarak bulunmuş ve bu da yaklaşık %58'lik bir iyileşme sağlamıştır. C ayına ait envanter karşılaştırması Şekil 7'de görülebilir.

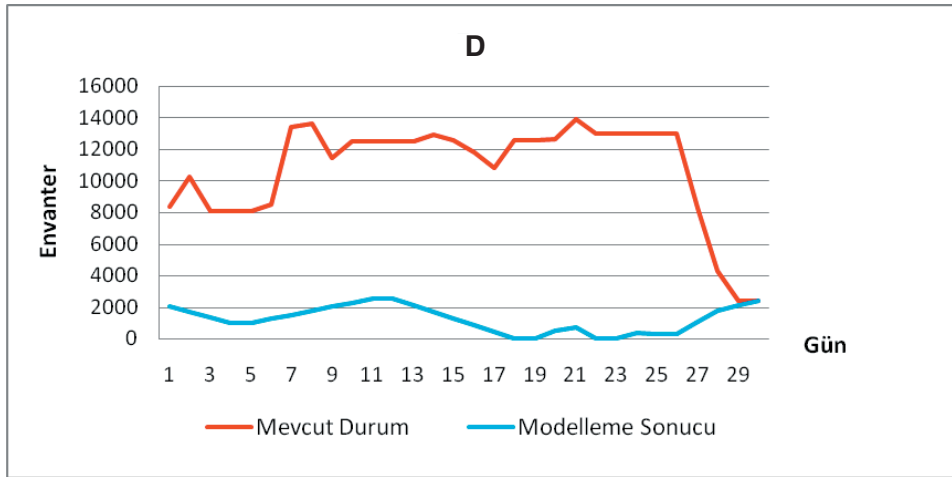
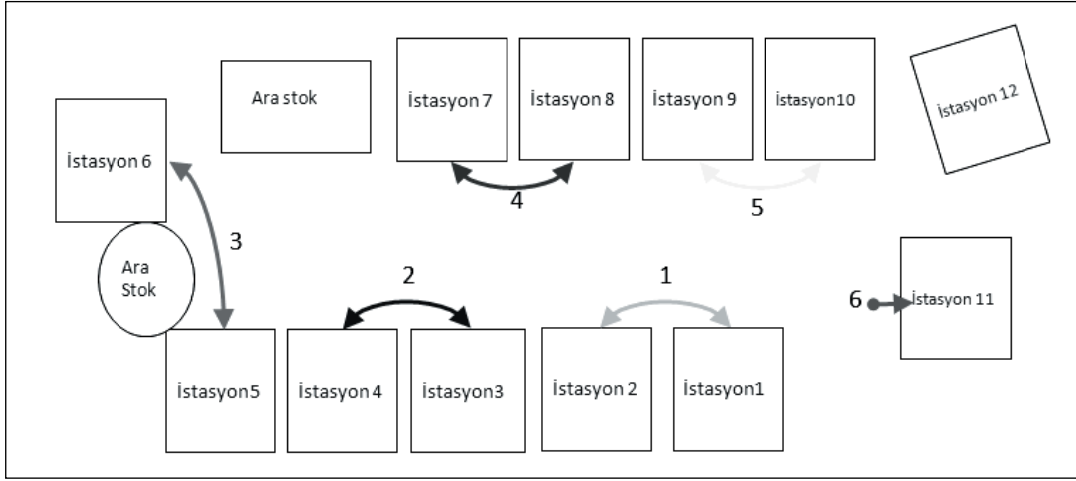
D ayına bakıldığında ise 12 operatörle çalıştırılmaya devam eden hatta çok sayıda vardiya iptaline gidilmiş ve toplam tutulan envanter 321.414 olarak gerçekleşmiştir. D ayı için geliştirilen modeller uygulandığında operatör sayısı 10 olarak belirlenmiş (bkz. Şekil 10) ve envanter miktarı 37.054'e



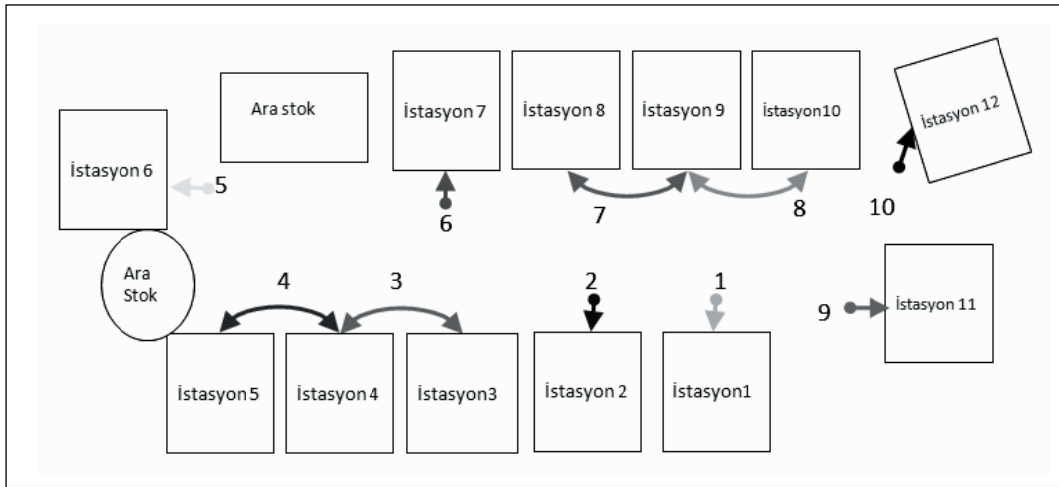
Şekil 6. B Ayı Operatör Atamaları



Şekil 7. C Ayı Envanter Karşılaştırması



Şekil 9. D Ayı Envanter Karşılaştırması



Şekil 10. D Ayı Operatör Atamaları

düşürülmüştür. Bu da %88'lik bir iyileşmeye karşılık gelmektedir. D ayına ait envanter karşılaştırması Şekil 9' da görülebilir.

5. SONUÇLAR VE PROJENİN FİRMAYA KATKILARI

Dizel enjektör üretimi yapan firma bünyesindeki odak montaj hattı alınarak gerçekleştirilen Hat İşletme Süreçleri projesine yönelik çalışmalar problem belirtilerinin bulunması ile başlamıştır. Bu belirtilerin incelenmesi sonucunda proje amacına uygun, çok aşamalı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir.

Oluşturulan çözüm yaklaşımı, literatürde yer alan benzer yaklaşımlardan çeşitli açılardan farklılaşmaktadır. Sistemin bütününün yararının gözetildiği çözüm yaklaşımında, literatürde bahsedilen çalışmaların gerçek hayattaki uygulamalarda neden olabileceği etkileşimler de dikkate alınmıştır. Daha detaylı söylemek gerekirse, operatör sayısı ve çalışma rotalarında gerçekleştirilecek sık değişikliklerin, operatör motivasyon ve performansında neden olabileceği düşüşler dikkate alınarak, bunun yerine daha kolay uyum sağlanabilen uzun vadeli (aylık) değişiklikler yapılması planlanmıştır. Bu yaklaşım, mevcut durumdaki yetersizliği gözlemlenmiş olan tip dönme sayısının artırılmasıyla desteklenip genişletilerek, hem uyum sağlanabilir operatör değişikliği hedefine ulaşılmasını hem de etkili bir envanter yönetiminin elde edilmesini sağlamıştır. Yaklaşımı oluşturan modellerin, firmanın ihtiyaçları ve yapısal özellikleri doğrultusunda geliştirilmesiyle de, öngörülen çözüm yaklaşımının sponsor firmaya ve gerçek hayata olan uygunluğu kuvvetlendirilmiştir.

Proje süreci boyunca, çözüm yaklaşımı ve modellerin diğer hatlar için de uygulanabilir olması göz önünde bulundurulmuştur. Esneklik uygulamalarının geliştirilmesinin istendiği U şeklinde dizili herhangi başka bir üretim hattında, hatta ait belirli özelliklerin

modelleme kapsamına dahil edilmesiyle, çözüm yaklaşımının uygulanması mümkün olabilecektir. Bunun arkasında yatan temel neden, oluşturulan modellerin küçük değişikliklerle başka hatlara uygulanabilecek esnekliğe sahip olmasıdır.

Çözüm yaklaşımı geçmiş aylara ait veriler kullanılarak uygulandığında, yaklaşımın odak sistemimize uygun olduğu ve proje öncesi duruma göre iyileştirmeler sağladığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen proje çıktıları, projenin en önemli paydaşı olan firma ile paylaşılmış ve uygulanabilirliği onaylanmıştır. Hatta esneklik sağlayan “uygun operatör sayısı seçilebilmesi” ve “etkili bir envanter yönetimi sağlanması” çıktıları firma tarafından değerlendirilmiş ve proje çıktılarının maliyet etkililiğine olan katkıları analiz edilmiştir. Geliştirilen çözüm yaklaşımının uygulanması durumunda toplam direkt işçilik ve envanter maliyetlerinde ölçülebilen bir iyileşmenin yanı sıra, ölçülemeyen ancak sistem bütününün yararına olan operatör motivasyonu, düzgün üretim ve vardiya iptallerinin ortadan kalkması gibi konularda da iyileşme gerçekleşeceği öngörülmektedir.

Geliştirilen çözüm yaklaşımının, sponsor firma genelinde yapılacak olan ve üretim departmanındaki en uygun toplam çalışan sayısını belirlemeyi amaçlayan projenin, enjektör montaj hatları ayağında uygulanarak hayata geçirileceği firma yetkilileri tarafından belirtilmiştir.

6. KAYNAKÇA

1. Nakade, K. Ohno, K. 1999. “An Optimal Worker Allocation Problem for a U- shaped Production Line”, Int. J. Production Economics, 60-61, 353-358.
2. Stockton, D.J., Ardon-Finch, J., Khalil R. 2005. “Walk Cycle Design for Flexible Manpower Lines Using Genetic Algorithms”, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 18 (1), 15-26.