

TAM ZAMANINDA ÜRETİM FELSEFİNE DAYALI BİR SERİ ÜRETİM HATTININ SİMÜLASYON TEKNİĞİYLE PERFORMANS ANALİZİ

¹Mümüne SERT, ²Saadettin Erhan KESEN

^{1,2}Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KONYA
¹mine.sygl@gmail.com, ²sekesen@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 20.07.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 17.08.2018)

ÖZ: Literatürde tam zamanında üretim sistemi konusunda siparişlerin tek tip üründen oluştuğu varsayılmıştır. Bu çalışmada ise literatürden farklı olarak siparişlerin farklı ürün bilgilerini içerebildiği üretim sistemi üzerinde durulmuştur. Kanban kartları ile çalışan bir akış tipi üretim hattı çeşitli varsayımlar altında SIMAN dili kullanılarak modellenmiştir. Çeşitli faktörler belirlenerek üç farklı deney seti oluşturulmuştur. Bu deney setleri ile faktörlerdeki değişikliklerin etkisi gözlemlenmiştir. Faktörlerdeki değişimin etkisini gözlemek için farklı performans ölçütleri belirlenmiştir. Sonuçlar istatistiksel olarak yorumlanmış ve analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akış tipi üretim, Çekme sistemi, Çizelgeleme, Kanban kartları, Simülasyon.

Performance Analysis of a Serial Production Line Based on Just in-Time Phylosophy Using Simulation Technique

ABSTRACT: In the literature, it is assumed that the orders are made of a single type of product in a just-in-time production system. In this study, contrary to the literature, the production system in which orders can contain different product information is studied. A serial production line system working with kanban cards is modeled using the SIMAN language under various assumptions. Three different experiment clusters are designed by determining various factors. The effects of changes in factors are observed with these experimental clusters. Different performance measures are identified to observe the effect of change in factors. Findings of experimental results are reported.

Keywords: Flow type production system, Pull system, Kanban cards, Scheduling, Simulation.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Üretici firmalar kalite, hızlı teslimat, düşük fiyat, satış sonrası hizmetler, müşteri beklentilerini iyi anlama ve müşteri beklentilerini karşılayabilme gibi konularda ne kadar başarılı ise o kadar rekabet gücüne sahiptir. Literatürde bu konularda gelişilmeyi sağlayarak firmalara fikir sağlayabilecek birçok farklı strateji bulunmaktadır. Bu stratejilerden önemli bir tanesi de tam zamanında üretim (TZÜ) sistemi felsefesidir. Tam zamanında üretim sistemi Toyota Motor Company'den "Eiji Toyoda" ve "Taiichi Ohno" tarafından 1970'li yıllarda ortaya çıkarılmış bir kavram olup amacı minimum seviyede stok ile müşteri taleplerine en hızlı şekilde cevap verebilmek olan başarılı bir yöntemdir.

Tam zamanında üretim sisteminin temel özelliği süreç içi stokların azaltılmasını sağlamaktır. Süreç içinde bulunan stoklar, üretim sistemini yavaşlatmakta, üretim sisteminin alanını işgal ederek gelişime kapatmakta ve aynı zamanda işletme sermayesinin bir kısmını atıl olarak bekletilmesi suretiyle fırsat maliyetine yol açmaktadır. TZÜ sisteminin eksik parçaları yerine koyma mantığı ile çalışması nedeniyle

klasik sistemlere göre taleplere daha çabuk cevap verebilmektedir. Tam zamanında üretim sistemi ile ihtiyaç duyulan ürün, en az miktarda iş gücü ve alan kullanarak, ihtiyaç duyulan zamanda, ihtiyaç duyulan miktar kadar üretilebilmektedir.

Bu çalışmada klasik TZÜ felsefesi altında çalışan sisteme ek olarak farklı özelliklere sahip bir üretim sistemi üzerinde durulmuştur. Bu çalışma ile daha önce tam zamanında üretim sistemlerinin simülasyon uygulamalarında değinilmemiş bir konuda literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Gerçek hayatta müşteri siparişleri birden fazla üründen ve adetten oluşabilmektedir. Bununla birlikte sisteme gelen her talebin bir teslim tarihi vardır. Bu teslim tarihlerinden daha geç yapılan teslimatlar, memnuniyetsizlik doğurduğu için istenmemektedir ve geciken işlerin mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir. Gerçek hayatta önemli olan bu kısıtlamalar çalışma içerisine dahil edilmiştir. Bu çalışmanın literatüre katacağı yenilik olan sipariş politikası ise şu şekildedir. Daha önce literatürde TZÜ sistemlerinin simülasyonu uygulamaları konusunda gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde siparişlerin yani üretim taleplerinin hep tek tip ürün için sisteme geldiği görülmüştür. Ancak gerçek bir üretim sistemi düşünülüğünde bu durumun gerçekçi olmadığı görülmektedir. Bu çalışmada sisteme gelen siparişlerin bilgisi birden fazla ürünü ve her ürün için birden fazla adeti içerebilmektedir. Sistem akış tipine sahiptir ve talep ve üretim zamanlarının stokastik bir dağılıma uyduğu varsayımı altında çalışmaktadır.

Bahsedilen çerçeve içerisinde üretim sistemi SIMAN dili kullanılarak modellenmiş, simülasyon kodu doğrulandıktan ve modelin geçerliliği sağlandıktan sonra farklı faktörlere göre üç farklı deney seti tanımlanmıştır. Bu deney setleri içerisinde bulunan deneyler sonuçlandırılmış, belirlenen performans ölçütlerine göre deney sonuçları istatistiksel olarak analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Tam zamanında üretim literatürü oldukça geniştir. Bu çalışmalar içerisinde simülasyon tekniği kullanılmış olanlar aşağıdaki gibi derlenmiştir.

TZÜ sistemi simülasyon modeli, TZÜ sistemine dâhil edilen kanban sayısındaki değişiklikler, işlem zamanlarındaki değişkenlikler ve talep düzeylerinin işlenmesi için fazla mesai talepleri değerlendirilmesi üzerine yapılmıştır. İki kanban akışına sahip çok hatlı çekme TZÜ sistemini modellemek için SLAM II dili kullanılmıştır (Huang ve diğ., 1983). Bir başka çalışma ile TZÜ sistemi bir ilaç firması için simüle edilmiştir. Üç istasyonlu bir sistemde tek kart kullanılmış ve çeşitliliğin çok fazla olması nedeniyle ürünlerin bir kısmı ihmal edilmiştir (Chukwuedozie ve diğ., 2017). Bir kimyasal şirket için önerilen TZÜ sisteminin tasarımında ve analizinde simülasyon modelleme yaklaşımı çalışması sunulmaktadır. Simülasyon yaklaşımı, iki hücre tasarımını karşılaştırmak ve yeni TZÜ sistemi altında operatör ve malzeme işleyicileri için kullanım seviyelerini tahmin etmek için kullanılmıştır (Wielgama ve Mills, 1995).

TZÜ sistemi inşaat sektöründe de uygulanmaktadır. Bir prefabrik inşaat projesinin imalatı, nakliyesi ve yerinde montajı konuları üzerine yapılan simülasyon çalışmasında tek makine parti çizelgeleme problemi bakış açısı ile maksimum üretim verimliliği için çözümler arayan bir dinamik programlama algoritması, geçiş maliyetleri ve üretim tarih sınırlamaları dikkate alınarak geliştirilmiştir (Liulin Kong ve diğ., 2017). Yine inşaat sektöründe bir başka çalışmada bir inşaat planlama aşamasında verimlilik dinamiklerini tahmin etmek için Bina Bilgi Modelleme (BBM) ile bütünleştirilmiş bir simülasyon modeli sunulmuştur. Bu model ile operasyonel düzeyde verimliliği etkileyen kritik faktörler incelenmiş ve sonrasında verimlilik dinamikleri tahmin edilmiştir. Bu çalışmanın doğruluğunun araştırılması için yapısal bir çelik modeline uygulanmıştır (Woon Seong Jeong ve diğ., 2016).

TZÜ sisteminden bağımsız olarak literatürde teslim tarihinin temel alındığı çalışmalar tarandığında temel amacı üretim siparişlerinin teslim tarihinin gecikmesini engellemek olan üretim sisteminin modellenmesi ile alakalı bir başka çalışma incelenmiştir. Bu çalışmada siparişlerin farklı miktarlarda olduğu ve farklı parçaların tamamlanmasını gerektirdiği esnek üretim sistemindeki programlama problemi üzerinde durulmuştur. Siparişlerin rassal olarak sürekli geldiği ve hepsi için bir teslim

tarihinin olduğu varsayılmaktadır. Bu çalışma içerisinde Gecikme Tahmin Yöntemi (Tardiness Estimating Method) isimli yeni bir kural önerilmiştir (Yi-Chi Wang ve diğ., 2016).

Toplam TZÜ sistemi; TZ üretim sistemi, TZ satın alma sistemi ve TZ satış sisteminin TZ bilgi sistemi ile yönetilen bir tedarik zinciri yönetimi olarak tanımlanabilir. Toplam TZÜ sistemi ile ilgili olarak bir Toplam-Tam Zamanında (T-TZ) stratejisinin bir tedarik zinciri bağlamında etkisinin değerlendirildiği bir çalışma incelenmiştir (Kenneth W. Green Jr ve diğ., 2014). Bir başka çalışmada stokastik bir süreç için çift kanban sistemi ile esnek bir montaj ve demontaj sisteminin tasarımı ve performans değerlendirmesi için simülasyon modeli geliştirilmiştir (Roongrat Pisuchpen 2012).

TZÜ sisteminin her planlama aşaması için kanbanların sayısını esnek bir şekilde belirlemek ve belirli bir planlama ufku için toplam envanter maliyetini en aza indirmek için tam sayılı doğrusal programlama tekniği kullanılarak yeni yöntemlerin önerildiği bir başka çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada önerilen yöntemler sabit ve esnek kanban belirlemeye yarayan iki farklı doğrusal programlama modelidir. Bu modeller ile her bir planlama ufku için kanban sayısı sabit ya da esnek olarak hesaplanmakta ve bu sonuç doğrultusunda toplam envanter maliyeti minimum seviyeye indirilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen doğrusal programlama modelleri klasik kanban belirleme yöntemleri ile karşılaştırılarak etkinliği değerlendirilmiştir (Husseini ve diğ., 2006). Sabit sayılı kanban kartına sahip geleneksel kanban sistemlerinin kararsız bir ortamda tatmin edici şekilde çalışmadığını savunulan bir başka çalışmada Husseini ve diğ. (2006) tarafından önerilen programa yöntemi kullanılmış ve talep koşullarındaki dalgalanmalarda maliyet avantajını göstermek ve özellikle de YSA aracılığıyla simülasyonun bu yöntem için basitleştirilmiş bir temsilini sağladığını ve zaman tasarrufu olduğunu kanıtlamak amaçlanmıştır (A.F. Guneri ve diğ., 2008).

131 farklı TZÜ sistemine uygun ve TZÜ sistemine uygun olmayan firmalardan oluşan bir örneklem kullanılarak istatistiksel olarak TZÜ sistemini benimsemenin performansı etkileyip etkilemediği bir başka çalışmanın konusu olmuştur (Adam S. Maiga ve Fred A. Jacobs 2009). Otomotiv bileşenlerinin üretimini gerçekleştiren bir çalışmanın temel amacı, seçilen anahtar TZÜ sistemi parametrelerinin bir otomotiv bileşen üretim ortamında performans üzerindeki etkisini belirlemek için bilgisayar tabanlı simülasyon araçları ve doğrusal matematiksel modelleme uygulanarak süreç optimizasyonunu sağlamaktır (Y.G. Sandanayake ve diğ., 2008).

Bir diğer çalışmada dinamik üretim sistemlerinin bilgisayar simülasyonunun entegrasyonu ve varyans analizi ile pratik olarak TZÜ sistemlerine yeniden uyarlamak için bir çerçeve sunulmuştur. Bu çalışmanın amacına ulaşmak için, öncelikle, gerçek sistem tamamen modellenmiş ve simüle edilmiştir. İkinci olarak, entegre simülasyon modeli, varyans analizi ile test edilmiş ve doğrulanmıştır. Üçüncü olarak, optimum (en uygun) TZÜ tasarımı, gerçek sistemin sınırlamalarını ve dinamik davranışını modelleyerek geliştirilmiş ve test edilmiştir. Bu yöntem bir otomatik üretim hattı ve bir ağır haddehane atölyesi için uygulanmış ve test edilmiştir (A. Azadeh ve diğ., 2005). TZÜ ortamında üretim yapan bir sistemin simülasyon modeli geliştirilmiştir. Modelde hücre ve iş karakteristiklerinin sisteme etkisi incelenmiş, daha sonra sıralama kurallarının üç performans ölçütüne (ortalama tezgâh yararlanma oranı, ortalama akış zamanı, ortalama üretim miktarı) göre karşılaştırılması için deneyler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir (Torkul ve Kurt, 2001).

Farklı TZÜ sistemi senaryoları altında çalışan bir dizi programlama kuralının performansının simülasyon değerlendirmesi çalışmasında amaç farklı üretim senaryoları altında programlama kurallarının sistem performansını etkileyip etkilemediğinin araştırılması olmuştur. Farklı üretim senaryoları; kurulum süresinin kısaltılması, sistemdeki gevşeklik miktarı (sistemdeki kanbanların sayısı ile ölçülür), belirsizliğin ortadan kaldırılma derecesi (işlem sürelerinin rassallığı tarafından belirlenir) ve üretim gereksinimlerinin karmaşıklığı olarak tanımlanabilir (Sin-Hoon Hum ve Chee-Kwong Lee, 1998). Çok parçalı, çok satırlı ve çok aşamalı bir TZÜ sisteminin performansının açık bir şekilde inceleyen bir başka çalışmada sistemin farklı faktör ayarları altında nasıl tepki verdiğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma yapılırken SLAM II dili kullanılmıştır (Baykoç ve Erol, 1998). Bir üretim sistemi için gerçekleştirilen farklı bir çalışma ile talepteki değişkenlik katsayısı değerinin, işlem zamanlarındaki değişkenliğin, TZÜ sistemi politikalarındaki değişkenliğin, sistemde bulunan kanban

sayısındaki değişkenliğin ve hat uzunluğundaki değişkenliğin etkileri ayrıca son olarak itme ve çekme sistemlerinin karşılaştırılmasını içeren kapsamlı bir deneysel çalışma sunulmuştur. Çalışmada tek tip ürün olduğu varsayılmıştır. Burada modelleme aracı olarak ARENA kullanılmıştır (Savsar ve Al-Jawinib, 1995). Birden fazla ürün çeşitliliğinin olduğu bir diğer çalışma ile makine arızalarının da değerlendirildiği ve ürünlerin farklı kuyruk sıralamalarına göre işleme alındığı TZÜ sistemi simülasyonu modellenmiştir. Bu çalışmada farklı performans kriterleri için baz model üzerinde çeşitli deneyler yapılarak performanslar değerlendirilmiştir (Yavuz ve Şatır, 1995). Bu çalışma ile üzerinde çalışılmış olan imalat sisteminden en önemli farkı Yavuz ve Şatır (1995) tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışmada gelen siparişlerin içeriğinin tek ürün çeşidine sahip olmasıdır. Üzerinde çalışılmış olan imalat sisteminde ise gelen siparişlerin içeriği birden fazla ürünü içerebilmektedir.

Literatür araştırması sonucunda tam zamanında üretim sistemi konusunda yapılan çalışmalar içerisinde üretim sistemine gelen siparişlerin hep tek tip ürünü içerdiği görülmektedir. Ancak gerçek üretim sistemlerinde bu durum her zaman mümkün değildir. Bu nedenle üzerinde çalışılmış olan makalede literatürde değinilmediği görülen sipariş içeriğinin farklı ürünlerden oluşabilmesi konusu değerlendirilmiş, SIMAN dili ile modellenmiş ve üç farklı deney seti ile sistemin etkinliği değerlendirilmiştir.

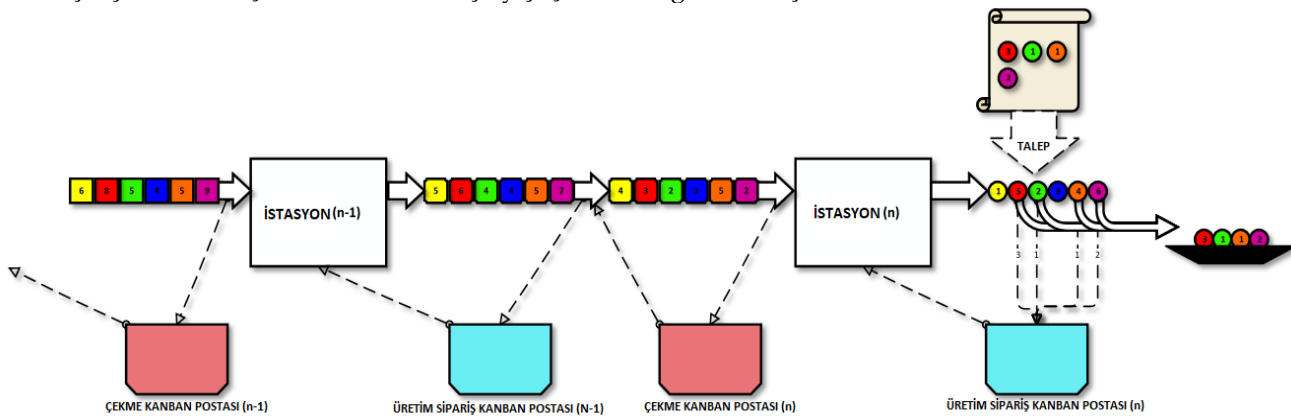
MODELLENEN İMALAT SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ (FEATURES OF MANUFACTURING SYSTEM MODELLED)

Modellenen sistem beş istasyonlu akış tipine sahip seri bir üretim hattıdır. Bu üretim hattı TZÜ sistemi felsefesi altında çalışmaktadır. Modellenen imalat sisteminde ürün çeşidi bir adet ile sınırlı değildir. Sistem birden fazla ürün çeşidi üretme kapasitesine sahiptir. Modellenen imalat sistemine gelen her talep için üretim zamanlarını da dikkate alarak sistem bir teslim tarihi atamaktadır. Atanan teslim tarihinden sonra biten işler gecikmiş işler olarak nitelendirilmektedir. Taleplerin gecikmesi istenmeyen bir durumdur.

İş istasyonlarında ürünler farklı iş tiplerine göre farklı üretim zamanlarına sahip olabilirler. Aynı ürün tipi için istasyonlardaki üretim zamanları ise dengelenmiştir. Bu dengelemenin amacı sistemde dar boğaz oluşmasını engellemektir.

Sistemin temel işleyişi müşterilerden farklı miktarda ve farklı tipte ürünlerden oluşabilen üretim talebinin gelmesi ve talebin üretim operasyonlarından geçerek teslim tarihinden önce tamamlanması şeklindedir.

Sistem klasik üretim sistemlerinin çoğunlukla tercih ettiği itme sistemi yerine çekme sistemi ile çalışmaktadır. Çekme sisteminin işleyişi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çekme sisteminin işleyişi

Figure 1. Operation of pull system

Şekil 1 üzerindeki çekme sisteminin işleyişi şu şekilde açıklanabilir. Talebin gelmesi çekme sisteminin harekete geçmesini tetikleyen unsurdur. Talebin gelmesi ile son istasyonun (n) çıkış

kuyruğundan talep içeriğinde bulunan ürünlerden belirtilen adetlerde çekilir ve üretim ihtiyacını belirtmek üzere üretim sipariş kanban kutusuna (n) bir kart bırakılır. İstasyon (n) boş, giriş kuyruğunda üretilecek olan ürün için gerekli ürün var ve üretim sipariş kanban kutusunda (n) kart var ise giriş kuyruğundan bir ürün çekilerek üretime başlanır. Bu arada üretime giren ürün için çekme kanban kutusuna (n) bir adet kart bırakılır. Çekme kanban kutusuna (n) bir kart düşmesi önceki operasyonun başlamasını tetikler ve önceki istasyonun (n-1) çıkış kuyruğundaki ürün bir sonraki istasyonun (n) giriş kuyruğunda yerini alır. Önceki istasyondan (n-1) bir ürün eksilmesi ile üretim kanban sipariş kutusuna (n-1) bir kart düşer ve bu işlemler tedarikçiye doğru devam eder.

Üretim sipariş kanbanı ve çekme kanbanı arasındaki temel fark şu şekilde açıklanabilir. Üretim sipariş kanbanı istasyon içinde bilgi iletimini sağlayarak aynı istasyonda üretimi tetiklerken çekme sipariş kanbanı istasyonlar arasında bilgi iletimi sağlayarak önceki istasyondan ürün çekilmesini tetikler. Çekme kanbanı ayrıca dolaylı olarak önceki istasyonun üretime başlamasını da tetikler.

Makinelerdeki işlem zamanlarının ve talepler arasında geçen zamanın bir olasılık dağılımına uyduğu varsayılmaktadır. Üretilen tüm ürünler sırası ile aynı istasyonlardan geçmektedir.

BAZ MODEL (BASE MODEL)

Yapılacak olan deneylerin şartlarının eşit hale getirilmesi amacıyla bir baz model oluşturulmuştur. Böylelikle deney şartları sabit tutularak yalnızca deney yapılacak parametrelerin etkisi değerlendirilebilir. Oluşturulan baz modelde, hat uzunluğu 5 istasyon olarak belirlenmiştir. Hat boyunca üretilen ürün tipi sayısı 2 olarak belirlenmiştir.

Taleplerde bulunan sipariş miktarı her bir ürün için maksimum 3 adet olarak sabitlenmiştir. İşlem zamanındaki değişkenlik katsayısı (standart sapma / ortalama) 0,1 seçilmiştir. Talep gelişleri Çizelge 1'de tanımlanan değerler için orta seviye olarak seçilmiştir.

Çizelge 1. Talep hızı değerleri

Table 1. Demand rate values

Talep Hızı	Ortalama
Düşük	UNIF(40, 60)
Orta	UNIF(20, 40)
Yüksek	UNIF(10, 30)

Kanban sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Gelen talepler için teslim tarihinin atanması sırasında kullanılan izin faktörü Çizelge 2'de tanımlananlar arasında *Dar* olarak seçilmiştir. İzin faktörü olarak belirtilen kavram teslim tarihi belirlenirken teslim tarihini stokastik tablo değere dönüştüren bir katsayı olarak tanımlanabilir. Teslim tarihinin sadece işlem zamanları ortalaması toplamının talebin geldiği zamana eklenerek hesaplanması gerçekçi olması bakımından yetersizdir. İstasyonların o talebi gerçekleştirebilmesi için henüz müsait olmadığı yani istasyonların dolu olabildiği ve işlem zamanlarının stokastik olduğu bilinmektedir. Bu durumda teslim tarihinin stokastik bir değer olarak belirlenebilmesi için bir izin faktörüne ihtiyaç vardır. İzin faktörü modellenen sistemde düzgün dağılıma uygun olarak belirlenmiştir. Bu faktörün dağılım aralığının geniş olarak belirlenmesi sistemi rahatlatır. Ya da faktörün dağılım aralığının dar olarak belirlenmesi sistemi zorlayabilir.

Çizelge 2. İzin faktörü değerleri

Table 2. Permission factor values

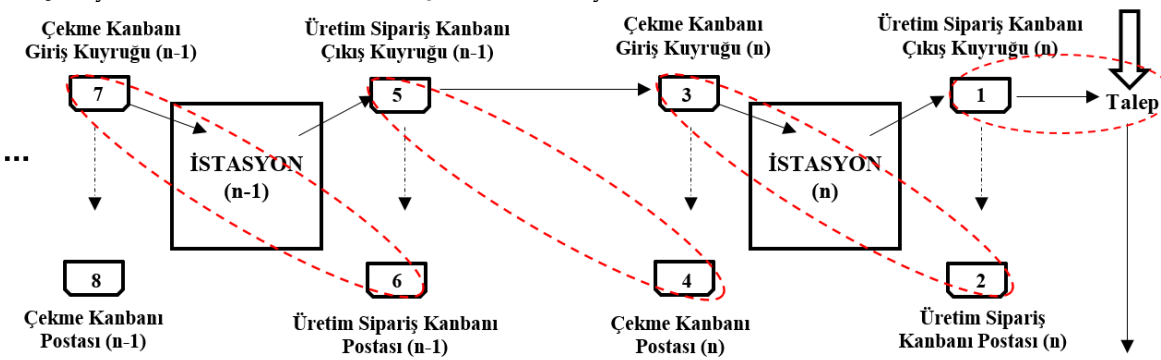
İzin Faktörü	Ortalama
Dar	UNIF(0,5; 1,0)
Orta	UNIF(1,5; 2,0)
Geniş	UNIF(2,5; 3,0)

Hat üzerinde istasyonlardaki üretim zamanlarının ortalamalarının ve standart sapmalarının eşit olan normal dağılıma uygun olduğu varsayılmıştır. Simülasyon zamanı 30 gün yani 43200 dakika olarak kabul edilmiştir.

Sistem modellenirken SIMAN dili kullanılmıştır. Modellenen sistemin baz modeli üzerinde kullanılan modüller şu şekilde açıklanabilir:

Taleplerin gelişi CREATE bloğu yardımıyla oluşturulmuştur. Gelen siparişlerin CR, MST, teslim tarihi gibi değerleri ASSIGN bloğu yardımı ile atanır. Sisteme düşen talepler arasında [0, 0, ..., 0] şeklinde içeriği boş bir talep üretilmiş olabilir. Olasılık dağılımları göz önünde bulundurulduğunda bu mümkün olabilecek bir durumdur. Bu şekilde gelen taleplerin sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için BRANCH bloğu yardımı ile bu boş talepler ayıklanır ve DISPOSE bloğu yardımı ile sistemden uzaklaştırılır. Talep içeriğine göre ilgili miktarda ve ilgili çeşitte varlık DUPLICATE bloğu yardımı ile oluşturulur ASSIGN bloğu yardımı ile iş tipinin ataması yapılır. Sonrasında ise varlıklar son istasyonun çıkış kuyruğundan talebi karşılamak ve çekme işlemini gerçekleştirmek üzere üretim sistemine gönderilir.

Üretim sisteminde son istasyondan talebin karşılanması amacıyla çıkan parçaların üretilmesi için çekme sistemi çalışır. Çekme sistemi için her bir istasyona ait dört adet kuyruk bulunmaktadır. Bu kuyruklar QUEUE bloğu ile oluşturulmuştur. Bu kuyruklar her istasyon için; çekme kanbanı giriş kuyruğu, çekme kanbanı postası, üretim sipariş kanbanı postası ve üretim sipariş kanbanı çıkış kuyruğudur. Çekme sisteminin işleyişi hatırlanırsa gelen taleple ürünlerin eşleşmesi ile ürünler müşteriye iletilmektedir. Bu sistem Şekil 2 ile detaylı olarak tanımlanabilir.



Şekil 2. Çekme sistemi kanbanların eşleşmesi

Figure 2. Matching of pulling system kanbans

Son istasyondan çıkan ürünler üzerinde bulunan üretim sipariş kanbanı ile üretim sipariş kanbanı çıkış kuyruğunda (1) konteyner içerisinde beklemektedir. Gelen talep ile bekleyen ürünlerin talebi karşılanması durumunda talebi karşılayan ürünler talep ile eşleşir. Eş zamanlı olarak üretim sipariş kanban postasına (2) sistemden çıkan ürünlerin yerine yenilerinin üretilmesi için üretim sipariş kanbanı bırakılır. Üretim sipariş postasına (2) düşen kanban ile çekme kanbanı giriş kuyruğundaki (3) kanbana bağlı konteynerin eşleşmesi ile istasyon çekme kanbanı giriş kuyruğunda (3) bekleyen ürünü alarak üretime başlar. Üretime başlanırken bir önceki istasyona çekme kanbanı giriş kuyruğundaki (3) ürünlerin eksildiği ve yerine yenilerinin üretilmesi gerektiği bilgisinin verilmesi amacıyla çekme kanbanı giriş kuyruğundaki (3) kanban postasına (8) düşer. Üretim Sipariş Kanbanı Çıkış Kuyruğu (n-1) üzerinden çekme kanbanı postasına (6) düşer. Üretim Sipariş Kanbanı Çıkış Kuyruğu (n) üzerinden çekme kanbanı postasına (4) düşer. Üretim Sipariş Kanbanı Çıkış Kuyruğu (n) üzerinden çekme kanbanı postasına (2) düşer.

postasına (4) çekme kanbanı bırakılır. Çekme kanban postasında (4) bulunan kanban ile bir önceki istasyonun üretim sipariş kanbanı çıkış kuyruğundaki kanbanlar (5) eşleşir ve istasyonun girişine ürünler çekilir. Çekilen ürünlerin yerine yenilerinin üretilmesi için üretim sipariş kanban postasına (6) bir kanban bırakılır ve sistem bu şekilde geriye doğru çalışır.

Burada istasyonlar STATION bloğu ile oluşturulmuştur. Kuyruklardaki kanbanların eşleşmeleri MATCH bloğu yardımı ile yapılmıştır. Şekilde kırmızı daire ile MATCH bloğu ile eşlenen kanbanlar gösterilmektedir. Kesikli oklar kanban hareketlerini düz oklar ise ürün veya ürüne bağlı kanban hareketlerini göstermektedir.

İstasyonlarda üretimi tamamlanan ürünler bitmiş ürün stokunda kendilerine özel kuyruklara iletilmektedir. Kuyruklar önündeki ürünler WAIT bloğu ile talep içerisindeki tüm ürünler tamamlanana kadar beklemektedir. Talep içerisindeki ürünlerin tamamlanması SCAN bloğunda tanımlanan şartın sağlanması ile modele bildirilir. Şartın sağlanmasından sonra SIGNAL bloğu ile WAIT bloklarına ürünlerin kuyruktan çıkmaları sinyali gönderilir ve ürünler DISPOSE bloğu ile sistemden çıkar. Buradaki bahsedilen şart gelen talep içeriğindeki tüm ürünlerin hazır hale gelip gelmediğini sorgulamaktadır.

SCAN bloğu önünde bulunan QUEUE bloğunda daha önce tanımlanmış olan sipariş toplama kuralları işletilmektedir.

Sistemde saydırma işlemleri COUNT, sistem içerisinde geçen zamanların tutulması işlemleri TALLY blokları ile gerçekleştirilmiştir.

PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ (PERFORMANCE MEASURES)

Modellenen sistem üzerinde yapılan deneylerin değerlendirilmesi için bazı performans ölçütleri belirlenmiştir. Bu ölçütler aşağıda sıralandığı gibidir.

- i. **Ortalama Hattının Kullanım Oranı (OHKO):** Hat kullanım oranı istasyonların doluluk oranları ile ölçülmektedir
- ii. **Ortalama Ara Stok Miktarı (OASM):** İstasyonlara ait kuyrukların ortalama olarak ne kadar uzun olduğunu göstermektedir.
- iii. **Ortalama Üretilen Ürün Sayısı Oranı (OÜÜSO):** Gelen siparişlerin karşılanma oranını göstermektedir.
- iv. **Ortalama Servis Oranı (OSO):** Bu ölçüt literatürde TZÜ sistemlerinde daha önce değerlendirilmemiştir. Gerçekleştirilen çalışmada teslim süresinin dikkate alınması ile bu performans ölçütü önem kazanmıştır. Ortalama servis oranı gecikmeyen siparişlerin toplam siparişlere oranıdır. Bu oran sistemin siparişleri karşılayabilme oranını göstermektedir.
- v. **Ortalama Talep Karşılama Zamanı (OTKZ):** Bu performans ölçütüne göre talep geldiği zaman ve talebin karşılandığı zaman arasında geçen sürelerin ortalaması değerlendirilmektedir.
- vi. **Ortalama Karşılanan İki Talep Arası Süre (OKİTAS):** Ardışık olarak karşılanan iki talep zamanları arasındaki sürelerin ortalamasıdır.
- vii. **Ortalama Ürün Teslim Süresi (OÜTS):** Ürünün sistemde dolaştığı zaman olarak tanımlanabilir.
- viii. **Ortalama Talep Gecikmesi (OTG):** Bu ölçüt siparişlerin gecikme sürelerinin ortalaması olarak tanımlanabilir.
- ix. **Maksimum Talep Gecikmesi (MTG):** Tüm geciken işlerin içerisinde en fazla geciken talebin gecikme süresi olarak tanımlanır.

BULGULAR VE SONUÇLAR (FINDINGS AND RESULTS)

Deneylerin oluşturulması için bir takım faktörler belirlenmiştir. Belirlenen faktörler aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

I. İşlem Zamanındaki Değişkenlik: İşlem zamanlarındaki değişkenlik faktörü istasyonlarda işlem gören parçaların işlem zamanlarındaki değişkenliği içermektedir. Değişkenlik CV değeri ile ölçülmektedir. CV değeri sistemde standart sapmanın ortalamaya olan oranı ile hesaplanmaktadır.

II. Kanban Sayısı: Sistemdeki maksimum ara stok miktarını belirler.

III. Üretim Sipariş Miktarı: Taleplerde bulunan sipariş miktarı her bir ürün için kaç adet olabileceği bilgisini vermektedir.

IV. Talep Belirsizliği Derecesi: Gelen taleplerin ortalama olarak hangi aralıklarda geleceğini belirler.

V. Sipariş Toplama Kuralları: Gelen taleplerin farklı kurallara göre karşılanma önceliğini belirtmektedir. Öncelik verilen sipariş bekleyen siparişler arasında ilk olarak karşılanmaktadır.

VI. İzin Faktörü: İzin faktörü gelen talepler için makul bir teslim tarihi belirlemek amacıyla kullanılır. Teslim Tarihi=Sipariş Varış Zamanı +Ortalama Operasyon Zamanı * İzin Faktörü olarak ifade edilir.

Bu faktörlerin etkileşimlerinin değerlendirilmesi amacıyla üç farklı deney seti oluşturulmuştur. Oluşturulan deney setleri MINITAB istatistiksel paket programı yardımı ile ANOVA testi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel değerlendirme yapılırken güven aralığı %95 olarak belirlenmiştir.

Oluşturulan deneyler ve deneylerin etkileşim grafikleri aşağıda verilmiştir.

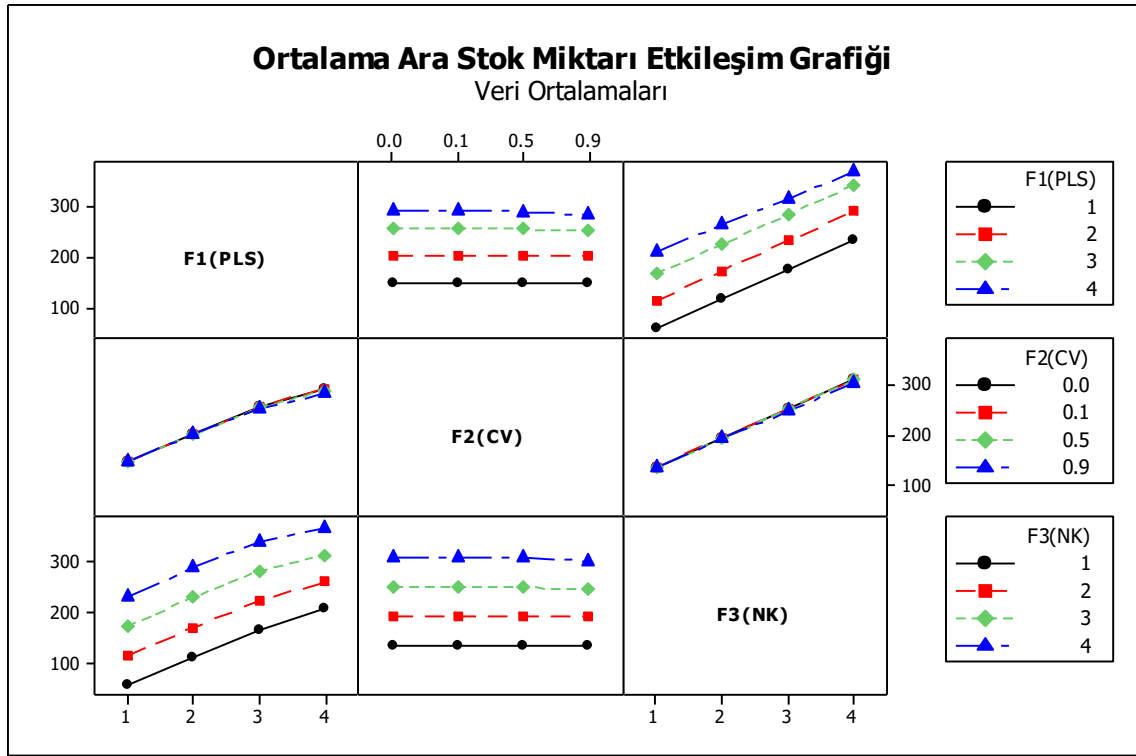
Deney Seti 1 (Experimental Set 1)

İlk deney ile üretim sipariş miktarındaki artışı ve işlem zamanlarındaki değişkenliği kanban sayısı nasıl tolere edeceği araştırılmıştır. Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 3 ile verilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4 üretim sipariş miktarı (PLS), işlem zamanındaki değişkenlik (CV) ve kanban sayısı (NK) olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3. Deney seti 1

Table 3. Experimental set 1

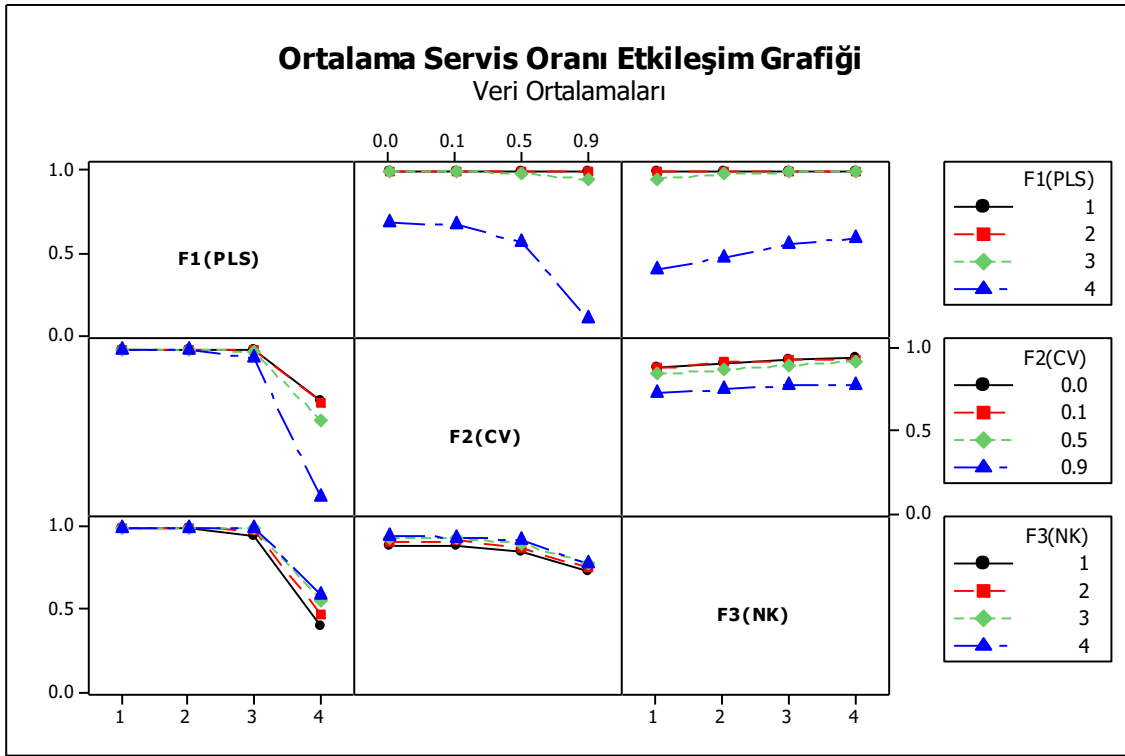
Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Üretim Sipariş Miktarı (p)	1	2	3	4
İşlem Zamanındaki Değişkenlik	0	0,1	0,5	0,9
Kanban Sayısı	p	p+1	p+2	p+3



Şekil 3. Deneysel Set 1 ortalama ara stok miktarı etkileşim grafiği

Figure 3. Experimental set 1 average intermediate stock amount chart

Üretim sipariş miktarı ile işlem zamanındaki değişkenlik grafiğine bakıldığında üretim sipariş miktarının artışı ile ortalama ara stok miktarının arttığı görülmektedir. Üretim sipariş miktarı 4 değerindeyken işlem zamanındaki değişkenliğin artması ortalama ara stok miktarını düşürmüştür. Üretim sipariş miktarı ve kanban sayısının etkileşiminde üretim sipariş miktarının her değeri için kanban sayısının artışı ile ortalama ara stok miktarı artmıştır. İşlem zamanındaki değişkenlik ve kanban sayısının etkileşiminde kanban sayısının artması ile işlem ortalama ara stok miktarı artmıştır.



Etkileşim grafiğinde üretim sipariş miktarının işlem zamanındaki değişkenlik faktörü ile etkileşiminde azalan bir eğriyi takip ettiği ancak üretim sipariş miktarının kanban sayısı ile etkileşiminde artış gösteren bir eğriyi takip ettiği görülmektedir. Bu durum sistemi zorlayıcı bir faktör olan üretim sipariş miktarının kanban sayısı ile dengelenebildiğini açıklamaktadır.

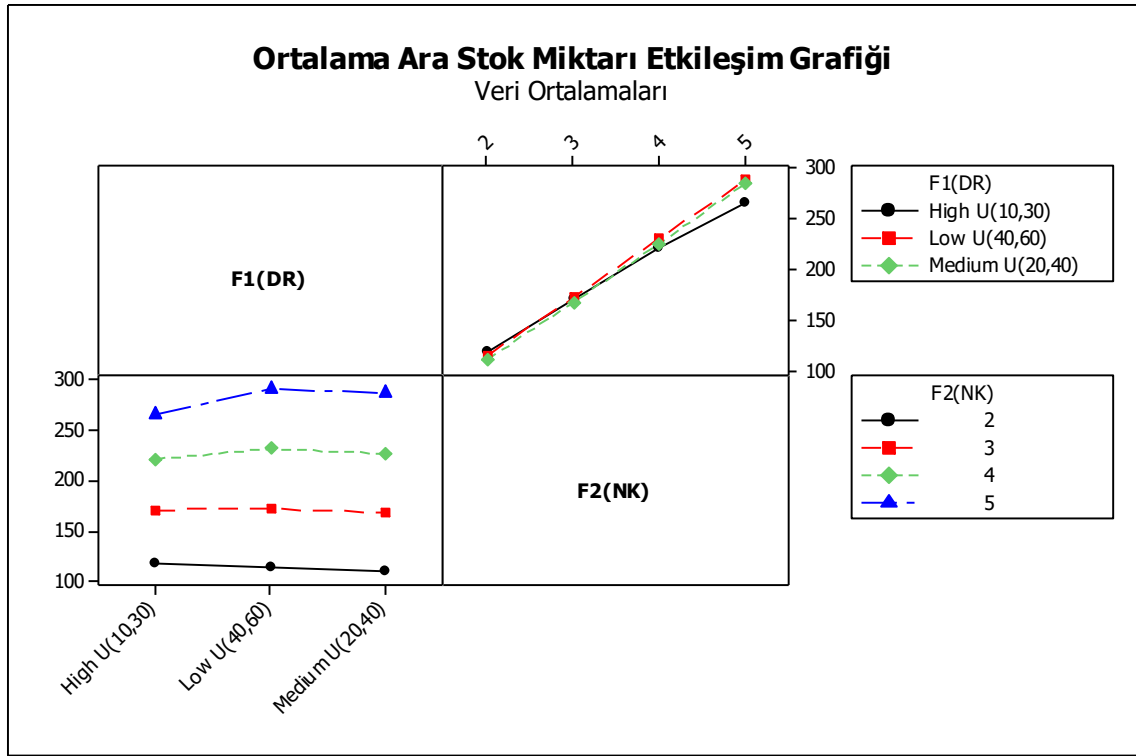
Deney Seti 2 (Experimental Set 2)

İkinci deney seti ile talep hızı (DR) ve kanban sayısı (NK) faktörlerinin etkileri ve etkileşimleri değerlendirilmiştir. Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 4 ile verilmiştir. Grafiklerde (Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8) talep hızı DR ve kanban sayısı NK olarak gösterilmiştir. Grafiklerde talep hızının "LOW" olarak gösterilmesi talep hızının düşük olduğu, "MEDIUM" olarak gösterilmesi talep hızının orta olduğu ve "HIGH" olarak gösterilmesi talep hızının yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Çizelge 4. Deney Seti 2

Table 4. Experimental set 2

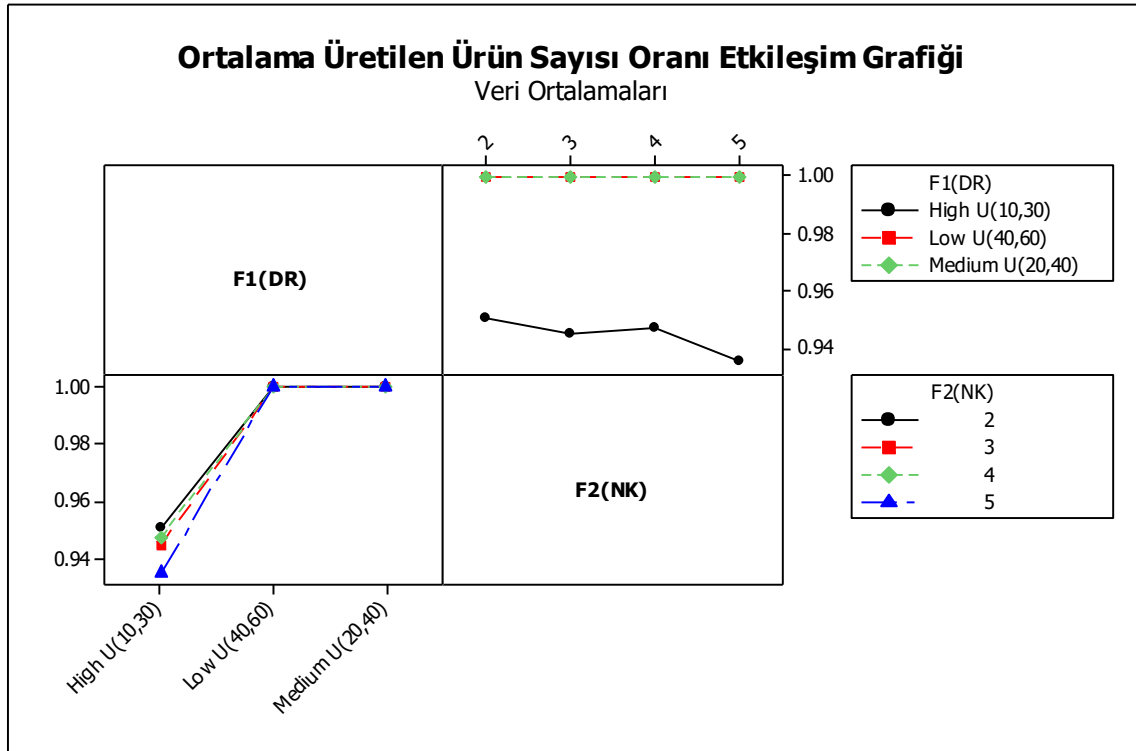
Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Talep Hızı	Düşük	Orta	Yüksek	-
Kanban Sayısı	2	3	4	5



Şekil 5. Deneysel set 2 ortalama ara stok miktarı etkileşim grafiği

Figure 5. Experimental set 2 average intermediate stock amount chart

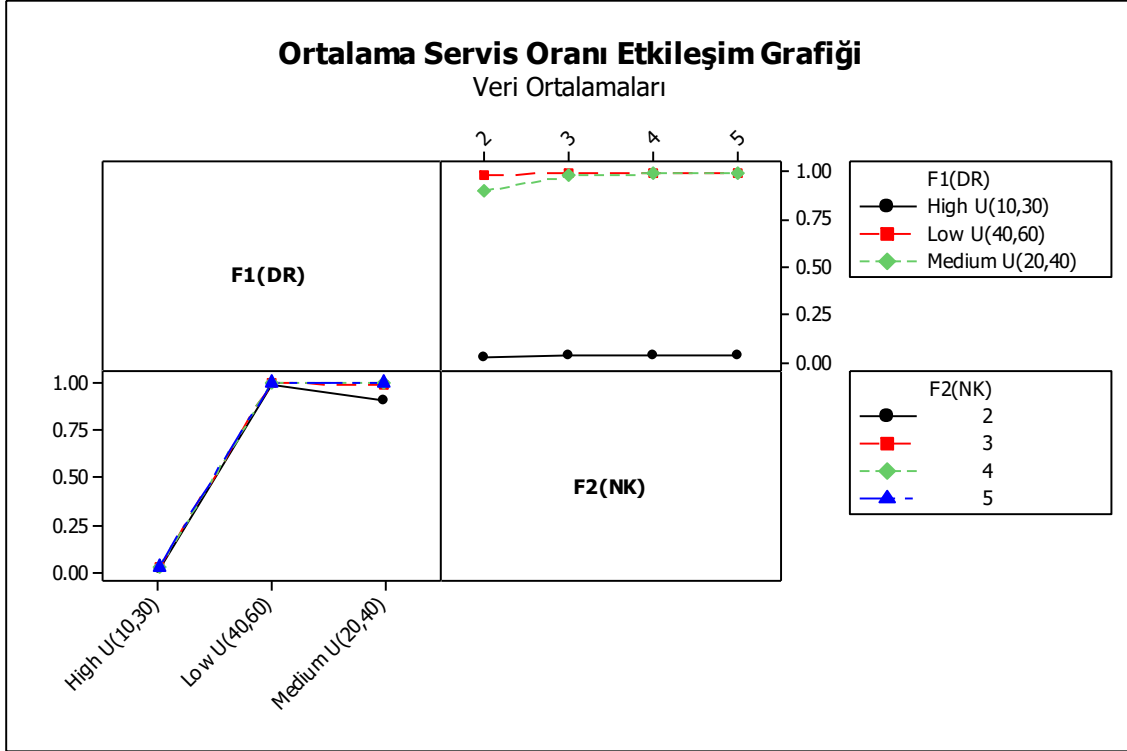
Talep hızı ve kanban sayısının ikili etkileşiminde büyük bir fark oluşturmamasına rağmen talep hızının artışı ile kanban sayısının artışı ortalama ara stok miktarının artışını azaltmıştır.



Şekil 6. Deneysel set 2 ortalama üretilen ürün sayısı oranı etkileşim grafiği

Figure 6. Experimental Set 2 average number of produced products chart

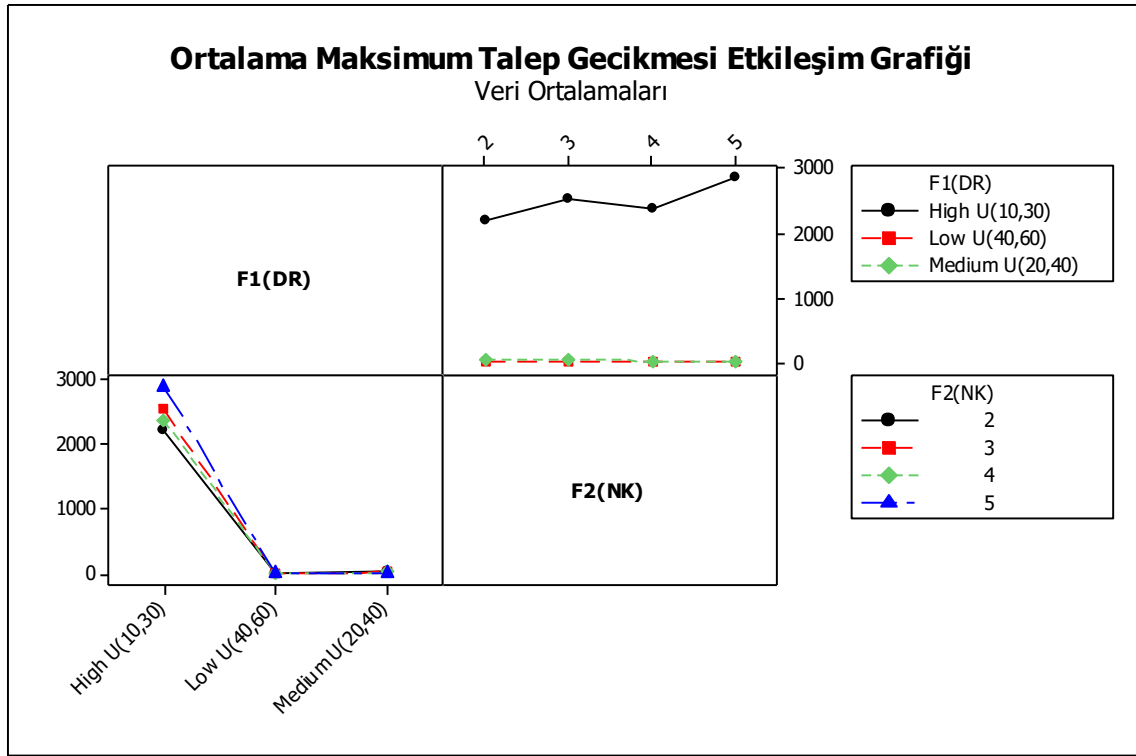
Talep hızının düşük ve orta değerinde kanban sayısının değişimi ortalama üretilen ürün sayısı oranını etkilemezken talep hızının yüksek seviyesinde kanban sayısının değişimi sistemi etkilemektedir. Kanban sayısının 2 olarak seçilmesi ile talep hızının yüksek değerinde ortalama üretilen ürün sayısı oranı en yüksek değeri aldığı görülmektedir.



Şekil 7. Deney Seti 2 ortalama servis oranı etkileşim grafiği

Figure 7. Experimental set 2 average service rate chart

Talep hızı ve kanban sayısının etkileşiminde kanban sayısı artırılarak yükselen talep hızının oluşturduğu ortalama servis oranındaki düşüş az miktarda da olsa azaltıldığı görülmektedir.



Şekil 8. Deney seti 2 ortalama maksimum talep gecikmesi etkileşim grafiği

Figure 8. Experimental set 2 average maximum demand delay chart

Talep hızı ve kanban sayısının etkileşiminde kanban sayısının artması ile ortalama maksimum talep gecikmesinin arttığı görülmektedir.

Deney Seti 3 (Experimental Set 3)

Üçüncü deney setinde izin faktörü, üretim sipariş miktar ve sipariş toplama kurallarının etkileri ve etkileşimleri değerlendirilmiştir. Grafiklerde (Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12) izin faktörü AF, üretim sipariş miktarı PLS sipariş toplama kuralları OCR olarak gösterilmiştir. İzin faktörünün dar olarak verilmesi gecikmeye sebep olabilirken geniş olarak verilmesi gecikmeleri azaltabilir. Grafiklerde izin faktörünün "LOOSE" olarak gösterilmesi izin faktörünün gevşek olduğu, "MEDIUM" olarak gösterilmesi izin faktörünün orta olduğu ve "TIGHT" olarak gösterilmesi izin faktörünün dar olduğu anlamına gelmektedir. Üretim sipariş miktarının artması sistemi zorlayan bir unsurdur. Sipariş toplama kuralları sisteme gelen taleplerin hangi kurala göre önceliklendirileceğini belirtir. Dört adet sipariş toplama kuralı değerlendirilmiştir. Bunlar sisteme ilk gelen siparişin karşılandığı anlamına gelen FIFO kuralı, kuyrukta bulunanlar arasında teslim tarihi en erken olana öncelik verilmesi anlamına gelen EDD kuralı, kritik oran anlamına gelen CR kuralı ve minimum gevşek zaman anlamına gelen MST kuralıdır. CR kuralında aşağıdaki fonksiyon ile kritik oran hesaplanır ve CR değeri düşük olana öncelik verilir.

$$CR = (\text{Teslim Tarihi} - \text{Şimdiki Zaman}) / \text{İş Süresi}$$

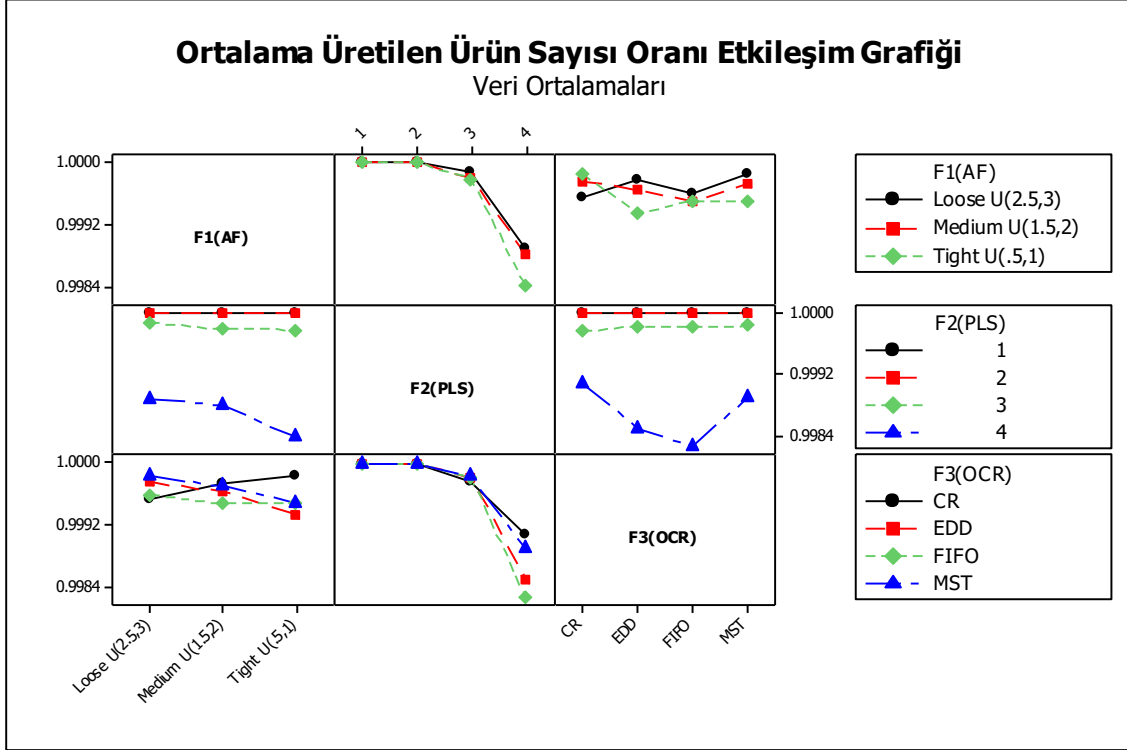
MST kuralında aşağıdaki fonksiyon ile MST değeri hesaplanır ve MST değeri düşük olana öncelik verilir.

$$MST = \text{Teslim Tarihi} - \text{Şimdiki Zaman} - \text{İş Süresi}$$

Bu deney seti ile bu üç faktörün birbiri ile etkileşimi ve üretim sipariş miktarındaki artışın ve izin faktörünün daralmasının sipariş toplama kuralları ile nasıl etkileneceği değerlendirilmiştir. Aynı zamanda izin faktörü ile oluşabilecek gecikmelerin sipariş toplama kuralları ile azaltılıp azaltılamayacağı araştırılacaktır. Bu deney setinde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 5 ile verilmiştir.

Çizelge 5. Deney seti 3
Table 5. Experimental set 3

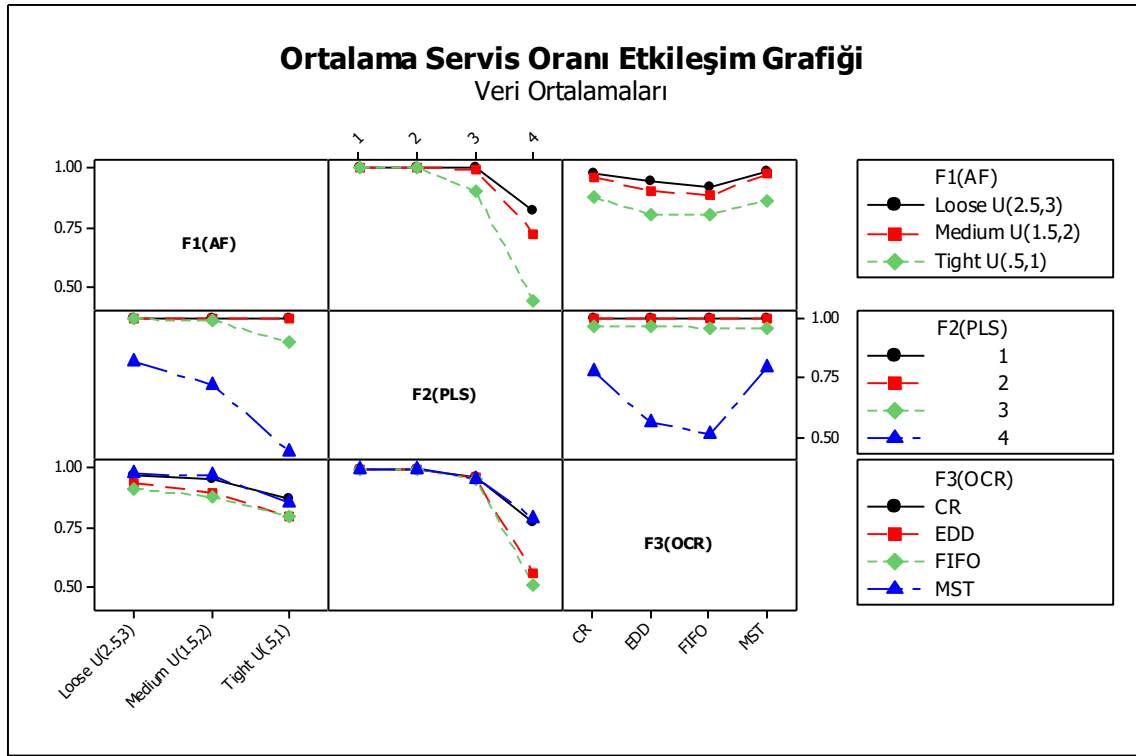
Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
İzin Faktörü	Dar	Orta	Geniş	-
Üretim Sipariş Miktarı	1	2	3	-
Sipariş Toplama Kuralları	FIFO	EDD	CR	MST



İzin faktörü ve üretim sipariş miktarı etkileşiminde üretim sipariş miktarının 3 ve 4 olduğu durumlarda izin faktörü daraldıkça ortalama üretilen ürün sayısı oranının azaldığı görülmektedir.

İzin faktörü ve sipariş toplama kurallarının etkileşiminde izin faktörünün daralması ile EDD, FIFO ve MST kuralları seçildiğinde ortalama üretilen ürün sayısı oranı azalmakta ancak CR kuralı seçildiğinde artmaktadır.

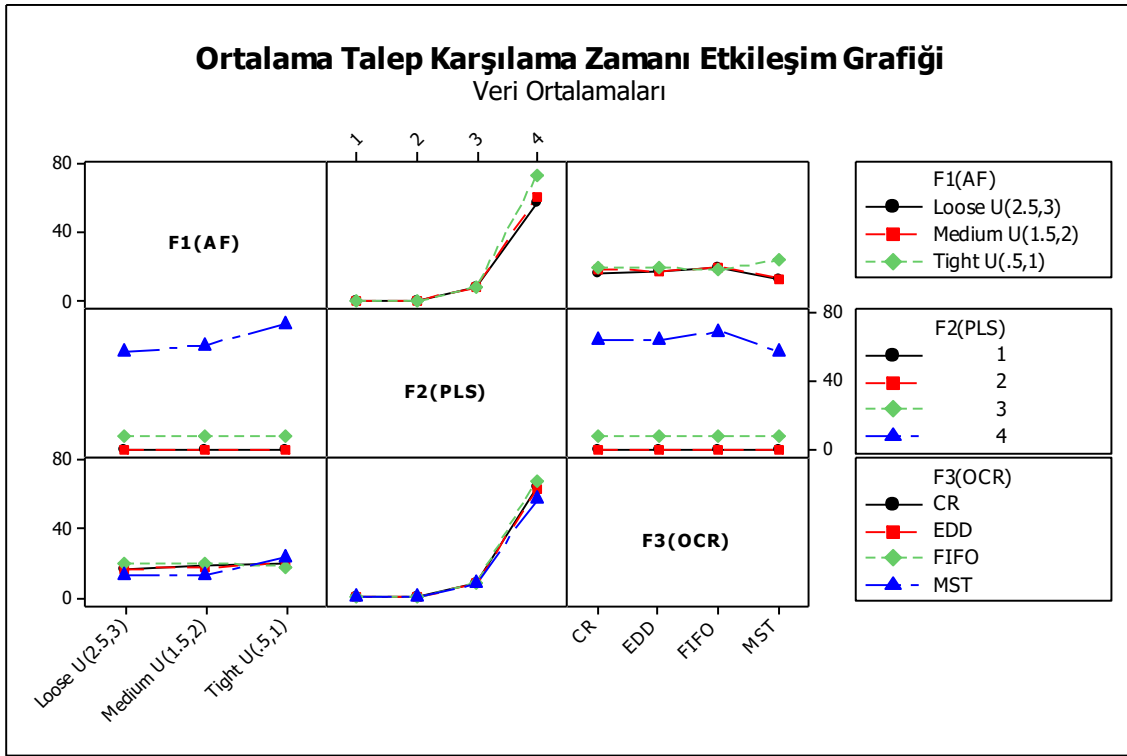
Üretim sipariş miktarı ve sipariş toplama kurallarının etkileşiminde üretim sipariş miktarı 4 olduğu durumda ortalama üretilen ürün sayısı oranı performans ölçütü bakımından en iyi sonucu CR kuralı vermiştir. Burada en başarısız sonuç FIFO kuralı ile elde edilmiştir.



İzin faktörü ve üretim sipariş miktarının etkileşiminde dikkat çeken durum üretim sipariş miktarının 1 ve 2 olduğu durumlarda izin faktörünün değişimi ortalama servis oranını etkilememiştir. Üretim sipariş miktarı 3 ve 4 olduğunda izin faktörü gevşetildikçe ortalama servis oranı artmaktadır.

İzin faktörü ve sipariş toplama kurallarının etkileşiminde CR ve MST kuralları diğer kurallara göre ortalama sipariş miktarı performans ölçütü için daha iyi sonuç vermiştir. FIFO kuralı diğer kurallara göre daha başarısız olmuştur.

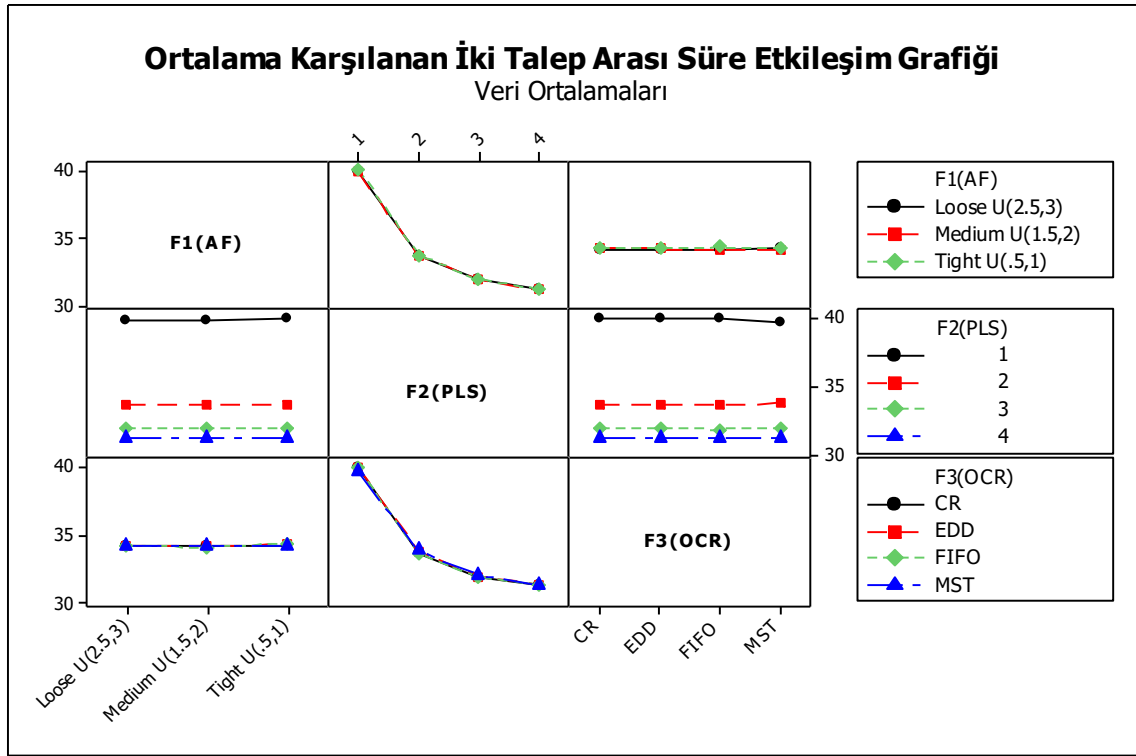
Üretim sipariş miktarı ve sipariş toplama kurallarının etkileşiminde üretim sipariş miktarı 1 ve 2 değerinde iken sipariş toplama kurallarının değişiminden ortalama servis oranı etkilenmemiştir. Üretim sipariş miktarı 3 değerindeyken sipariş toplama kurallarından CR kuralı diğerlerine göre daha başarılı olmuştur. Üretim sipariş miktarının 4 olduğu durumda sipariş toplama kurallarının etkisi daha net bir şekilde fark edilmektedir. Burada CR ve MST kuralları ortalama servis oranını yükseltmiş ancak FIFO ve EDD kuralları düşürmüştür.



İzin faktörü ve üretim sipariş miktarının etkileşiminde üretim sipariş miktarı 1, 2 ve 3 değerindeyken izin faktörünün değişiminin ortalama talep karşılama zamanına etki etmediği görülmektedir. Üretim sipariş miktarı 4 değerindeyken izin faktörünün daraltılması ortalama talep karşılama zamanını arttırmıştır.

İzin faktörü ve sipariş toplama kurallarının etkileşiminde izin faktörünün dar olarak seçildiği durumda en başarılı sipariş toplama kuralı MST olmuştur. İzin faktörü genişken en başarılı sipariş toplama kuralı FIFO kuralı olmuştur.

Üretim sipariş miktarı ve sipariş toplama kurallarının etkileşiminde sipariş toplama kurallarının değişimi ortalama talep karşılama zamanına büyük bir etkisi olmamıştır.



Şekil 12. Deney Seti 3 Ortalama Karşılanan İki Talep Arası Süre Etkileşim Grafiği
Figure 12. Experimental set 3 average interval between two demands duration graph

Üretim sipariş miktarı ve sipariş toplama kurallarının etkileşiminde üretim sipariş miktarının 1 değerinde MST kuralının az bir miktarda ortalama karşılanan iki talep arası süreyi düşürdüğü gözlenmektedir. Üretim sipariş miktarının 2 değerinde ise MST kuralının az bir miktarda ortalama karşılanan iki talep arası süreyi arttırdığı gözlenmektedir. Diğer etkileşimlerin sistem üzerinde etkisi olmamıştır.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada tam zamanında üretim felsefesi altında çalışan bir üretim sistemi modellenmiştir. Üzerinde çalışılmış ve sonuçları bu makale içerisinde aktarılmış olan model tam zamanında üretim sistemi altında çalışan bir üretim hattıdır.

Bu çalışmada beş istasyonlu, akış tipi üretim gerçekleştiren, birden fazla ürün çeşitliliğine sahip, üretim zamanlarının ve taleplerin rassal değişken olduğu tam zamanında üretim sistemi modellenmiştir. Sistem iki tip kanban ile çalışmaktadır. Bunlar üretim sipariş kanbanı ve çekme kanbanıdır. Üretim sisteminde kanbanlar anlık olarak kontrol edilmektedir. Modellenen üretim sisteminde gelen taleplerin sipariş içeriğinde birden fazla ürün ve her bir ürün için farklı miktarlar barındırabilir. Bu sipariş esnekliği literatürde daha önce değinilmemiştir. Sisteme gelen her bir talep için bir teslim tarihi atanmaktadır. Atanan teslim tarihinden sonra tamamlanan işler gecikmiş işler olarak nitelendirilmektedir.

Tam zamanında üretim sistemi için önemli olan bir takım faktörlerin bu çalışma ile etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma içerisinde değerlendirilen faktörler, işlem zamanındaki değişkenlik, kanban sayısı, üretim sipariş miktarı, talep hızı, sipariş toplama kuralları ve izin faktörüdür.

Bahsedilen faktörlerin değerleri belirlenerek bir baz sistem SIMAN dili kullanılarak modellenmiştir. Bu faktörlerin değişiminin değerlendirilmesi için dokuz farklı performans ölçütü belirlenmiştir. Bu baz model üzerinde faktörlerin etkilerinin belirlenen performans ölçütleri üzerinde değerlendirilmesi amacıyla üç farklı deney seti oluşturulmuştur. Bu deney setlerinde belirlenen faktörlerin değişiminin

etkileri MINITAB programı ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. İstatistiksel olarak yapılan testlerde ANOVA yöntemi kullanılmıştır. Güven aralığı %95 olarak belirlenmiştir.

Test sonuçlarının özeti Çizelge 6 üzerinde verilmiştir. Üç farklı deney için faktörlerin performans ölçütleri üzerinde istatistiksel olarak etkisi var ise "E", istatistiksel olarak etkisi bulunmuyor ise "H" harfi ile gösterilmiştir. Çizelge 6 üzerinde belirtilen PLS üretim sipariş miktarı, CV işlem zamanındaki değişkenlik, NK kanban sayısı, DR talep hızı, AF izin faktörü ve OCR sipariş toplama kuralları faktörlerini ifade etmektedir. "***" işareti ile faktörlerin etkileşimleri tanımlanmıştır.

Çizelge 6. Deney Sonuçları (istatistiksel olarak etkisi var "E", istatistiksel olarak etkisi yok "H")

Table 6. Experiment Results (statistically significant "E", no statistical significant "H")

FAKTÖRLER	PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ								
	OHKO	OASM	OÜÜS O	OSO	OTKZ	OKİTA S	OÜTS	OTG	MxTG
DENEY 1									
PLS	E	E	E	E	E	E	E	E	E
CV	E	E	E	E	E	E	E	E	E
NK	H	E	H	E	H	H	E	H	H
PLS*CV	E	E	E	E	E	E	E	E	E
PLS*NK	H	E	H	E	H	H	E	H	H
CV*NK	H	E	H	H	H	H	H	H	H
PLS*CV*NK	H	E	H	E	H	H	E	H	H
DENEY 2									
DR	E	E	E	E	E	E	E	E	E
NK	H	E	E	E	H	H	E	H	E
DR*NK	H	E	E	E	H	H	E	H	E
DENEY 3									
AF	H	H	H	E	E	E	H	E	H
PLS	E	E	E	E	E	E	E	E	E
OCR	H	H	H	E	H	H	H	H	E
AF*PLS	H	E	H	E	E	H	H	E	E
AF*OCR	H	H	E	E	E	H	H	H	H
PLS*OCR	H	H	E	E	H	E	H	H	E
AF*PLS*OCR	H	H	E	E	E	H	H	E	H

Deney sonuçları incelendiğinde genel olarak üretim sipariş miktarının artması ile sistemin zorlandığı görülmektedir. Üretim sipariş miktarı arttıkça performansta düşüş görülmektedir. İşlem zamanındaki değişkenliğin artması yine sistemi zorlayan bir faktör olduğu görülmektedir. Kanban sayısının artması sistemin zorlayıcı faktörlerini rahatlatıcı görev almıştır. Sipariş toplama kurallarından CR kuralı ortalama üretilen ürün sayısı oranı ve ortalama servis oranı bakımından daha başarılı olurken ortalama talep gecikmesi ve maksimum gecikme bakımından EDD kuralının daha başarılı olduğu görülmektedir. İzin faktörü daraldıkça sistem zorlanmaktadır.

İleriki çalışmalarda yol göstermesi açısından bir takım öneriler verilebilir. Gerçekleştirilen çalışmada istasyon sayısı beş istasyon ile sınırlandırılmıştır. İstasyon sayısı faktörler içerisine dâhil edilerek istasyon sayısının değişiminin etkileri gözlemlenebilir. Sistem akış tipine sahip seri bir üretim sistemi için modellenmiştir. Sistem atölye tipinde incelenerek esnek üretim sisteminde faktörlerin etkileri değerlendirilebilir. Makine arızaları modellenen sistemde değerlendirilmemiştir. Büyük ve küçük makine arızalarının sisteme ne tür etkiler oluşturabileceği üzerinde çalışılabilir. Modellenen sistemde taşıma zamanları değerlendirilmemiştir. İleriki çalışmalarda taşıma süreleri dâhil edilebilir, taşıma ekipmanları tanımlanabilir veya taşıma ekipmanlarının arızalanma durumları da sisteme eklenebilir.

Çalışmada kanbanlar anlık olarak takip edilmektedir. Kanbanların belirli periyotlarda takip edildiği ve bu periyodun uzun ya da kısa olması sisteme ne tür etki edeceği araştırılabilir.

AÇIKLAMA (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Mümüne SERT'in "Tam Zamanında Üretim Felsefine Dayalı Seri Hattın Simülasyon Tekniğiyle Performans Analizi" başlıklı Konya Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yürüttüğü yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Azadeh, A., B. Bidokhti, S.M.R. Sakkaki, 2005. Design of practical optimum JIT systems by integration of computer simulation and analysis of variance, *Computers & Industrial Engineering*, 49: 504–519
- Baykoç, Ö. F., Serpil Erol, 1998. Simulation modelling and analysis of a JIT production system, *Int. J. Production Economics*, 55: 203-212
- Ezema, C. N., Eric C. Okafor, Christiana C. Okezie, 2017. Industrial design and simulation of a JIT material handling system, Ezema et al., *Cogent Engineering*, 4: 1292864
- Green Jr, K. W., R. Anthony Inman, Laura M. Birou, Dwayne Whitten 2014. Total JIT (T-JIT) and its impact on supply chain competency and organizational performance, *Int. J. Production Economics*, 147: 125–135
- Güneri, A.F., A. Kuzu, A. Taskin Gumus, 2008. Flexible kanbans to enhance volume flexibility in a JIT environment: a simulation based comparison via ANNs, *International Journal of Production Research* 47: 6807–6819
- Huang, P. Y., Rees, L. P. and Taylor, B. W., 1983. A simulation analysis of the Japanese JIT technique (with kanbans) for a multiline. Multistage Production System, *Decision Sciences*, 14: 326-343.
- Hum, S. H., Chee-Kwong Lee, 1998. JIT Scheduling Rules: a Simulation Evaluation, *Omega, Int. J. Mgmt Sci.*, Vol. 26, No. 3, pp. 381-395
- Husseini, S.M.M., O'Brien, C., and Hosseini, S.T., 2006. A method to enhance volume flexibility in JIT production control. *International Journal of Production Economics*, 104 (2), 653–665.
- Jeong, W. S., Soowon Chang, JeongWook Son, June-Seong Yi, 2016. BIM-Integrated Construction Operation Simulation for Just-In-Time Production Management, *Sustainability*, 8: 1106
- Kong, L., Heng Li, Hanbin Luo, Lieyun Ding, Xiaochun Luo, Martin Skitmore, 2017. Optimal single-machine batch scheduling for the manufacture, transportation and JIT assembly of precast construction with changeover costs within due dates, *Automation in Construction*, 81: 34–43
- Maiga, A. S., Fred A. Jacobs, 2009. JIT performance effects: A research note, *Advances in International Accounting*, 25: 183–189
- Pisuchpen, R. 2012. Integration of JIT flexible manufacturing, assembly and disassembly using a simulation approach, *Emerald Insight*, Vol. 32 Issue: 1, pp.51-61
- Sandanayake, Y.G., C.F. Oduoza, D.G. Proverbs, 2008. A systematic modelling and simulation pproach for JIT performance optimisation, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24: 735– 743
- Savsar, M., Abdullah Al-Jawinib, 1995. Simulation analysis of just-in-time production systems, *Int. J. Production Economics*, 42: 67-78
- Torkul, O., Esra Kurt, 2001. Tam Zamanında İmalat Ortamında Sıralama Kurallarının Karşılaştırılması İçin Bir Benzetim Modeli, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5.Cilt, 1.Sayı: 21-27
- Wang, Y. C., Toly Chen, Hsiangtsai Chiang, Hui-Chen Pan, 2016, A simulation analysis of part launching and order collection decisions for a flexible manufacturing system, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 69: 80–91
- Wielgama, P. S., & Mills, R. G. S., 1995. Use of simulation in the design of a JIT system, *International Journal of Operations and Production Management*, 15(9)

Yavuz, H., A. Satır, 1995. A kanban-based simulation study of a mixed model just-in-time manufacturing line, *International Journal of Production Research*, 33: 1027-1048