

İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARİ VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

Yalın Üretim Oyunları: Ahşap Telefon Tutucu Yamazumi (İş Yükü Dengeleme) Simülasyonu

Ayşegül AYDIN*¹ 

*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 54050, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 26.09.2022, Kabul Tarihi: 31.12.2022

Özet

Geleceğin endüstri mühendislerinin niteliklerini arttırmada üniversiteler tarafından sağlanan gerçekçi ortam, öğrencilere pratik deneyim yoluyla iş sistemlerini oluşturan ve optimize eden yöntemleri uygulama imkânı verir. Bu çalışmada dene-yap öğretimi çerçevesinde SAÜ (Sakarya Üniversitesi) bünyesinde gerçekleştirilen bir lisans bitirme projesinin uygulamaları ve sonuçları paylaşılmıştır. Üniversitelerde yalın üretim laboratuvarlarının olurluğunu desteklemek ve araştırmak için yürütülen bu projede üç turdan oluşan bir atölye çalışması (workshop) gerçekleştirilmiştir. İlk turda yalın olmayan ortamda müşteri siparişini yetiştirmeye çalışan öğrenciler, ikinci turda yalın üretim teknikleriyle bertaraf ettikleri değer katmayan işlerle müşteri talebini karşılamış fakat iş yükünü dengeleyememiştir. Üçüncü turda ise takt süresini aşmadan iş yükü dengeleneceği öngörülmüştür. Dengelemede, yalın üretim tekniklerinden Yamazumi kullanılmıştır. Standart zamanların işçilere dağılımını grafikleyerek mevcut düzenin fotoğrafını çeken teknik, alternatif dağılımlarla yeni düzen oluşturmaya imkân vermektedir. Çalışmanın öngörülen düzeninde işçi sayısında %40'lık azalış, eski düzene kıyasla işçilerin iş yükleri arasında minimum fark oluşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yalın üretim oyunları, Yamazumi, 5S, İş yükü dengeleme, Üniversite yalın üretim laboratuvarı.

Lean Games: Wooden Phone Holder Yamazumi (Workload Balancing) Simulation

Abstract

The realistic environment provided by universities to increase the qualifications of future industrial engineers gives students the opportunity to apply methods that create and optimize business systems through practical experience. In this study, the applications and results of an undergraduate graduation project carried out at SAU (Sakarya University) within the framework of try-and-do teaching are shared. The project is carried out to support and research the approval of lean manufacturing laboratories in universities and it is a workshop consisting of three rounds. In the first round, the students, who tried to fulfill the customer order in a non-lean environment, met the customer demand with the non-value-added works that they eliminated with lean production techniques in the second round, but could not balance the workload. In the third round, the workload is balanced without exceeding the takt time.

Keywords: Lean games, Yamazumi, 5S, Workload balancing, University lean lab.

¹Sorumlu yazar aysegula@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye, WOS (Web of Science) verisine göre yalın üretim literatürüne 13.sırada ve en çok İTÜ (İstanbul Teknik Üniversitesi) ile katkı vermektedir (Özdağoğlu, Damar ve Özdağoğlu, 2022). Son yıllarda ASO (Ankara Sanayi Odası) yetkinlik ve dijital dönüşüm merkezi tarafından da farklı programlar çerçevesinde üniversite öğrencilerine uygulamalı yalın üretim eğitimleri verilmektedir (Model fabrika, 2021).

Yalın üretim oyunları da endüstri mühendisliğinin bir laboratuvar uygulaması niteliğindedir. Pratiği arttırmaya yönelik bu çalışmalar, mezun niteliğini iyileştirmek içindir. Bu sayede öğrencilerin konuya hâkim olması, deneyerek kavradıkları için özgün öneriler geliştirebilmeleri beklenmektedir (Aydın, 2022).

Bir işi basitleştirmek en büyük iyileştirmedir felsefesini (Sigma Akademi, 2022) temel alan yalın üretim sistemleri; süreçlerin israftan arındırılarak kalitenin ve verimliliğinin artırılmasını amaçlar (Özer, 2022).

Bu amaçla geliştirilen yalın üretim teknikleri; 5S, kaizen, kanban, poka-yoke, hoshin kanri, heijunka-sojinka, yamazumi (Bursa Coşkunöz Eğitim Vakfı, 2021) olmak üzere isimlerine artık aşına olduğumuz japon teknikleridir. Bunlara ilaveten; değer akış haritalama, tam zamanında üretim, toplam verimli bakım, tekli dakikalarda kalıp değiştirme, hücresel imalat uygulaması ve problem çözme teknikleri de yalın üretim tekniklerindedir (Kesit, 2019).

Yalın üretim tekniklerinden 5S, kaizen, yamazumi ve bunlarla birlikte zaman etüdü kullanılarak bir simülasyon çalışması yürütülmüştür.

5S yöntemi, verimli bir çalışma ortamı oluşturmak için geliştirilmiş sürekli iyileştirme araçlarından biridir (Çelik, 2019). Verimli bir çalışma ortamının oluşmasını sağlayan 5 adım; ayıklama, düzenleme, temizleme, standartlaştırma, disiplini sağlamadır (Altaş, 2019). Bu adımlar ile pis ve karışık imalat ortamından kaynaklanan hatalı üretimler, israflar, gereksiz taşıma süreleri, ergonomik problemler bertaraf edilir.

Kaizen yöntemi, çalışanın işiyle ilgili geliştirme fikirlerini sürekli hayatta tutan bir araçtır. Kai=değişim, Zen=daha iyi anlamına gelen Japonca iki ayrı kelimenin birleşiminden oluşmakta ve sürekli daha iyiye anlamına gelmektedir (Divanoğlu, Taş ve Pak, 2021). İşin kolay yapılması için küçük bir aparat imal edilmesi, kullanılan hammaddenin boyalı halde daha ucuza satın alınarak boya işleminin iptal edilmesi gibi zamandan, maliyetten

veya ergonomiden (Uluskan ve Özyaliner, 2021) kazanç sağlayan basit iyileştirmelerdir.

Yamazumi (iş yükü dengeleme); iş yükünün işçilere takt zamanı gözetilerek dengeli bir şekilde dağıtılmasını görsel yolla ifade eden grafiklerdir (Kuğu, 2022). Yalın hat dengeleme yöntemlerinden biridir (Garay-Rondero, Calvo ve Salinas-Navarro, 2019). Mevcut durum grafiklendirilir, değer katan ve değer katmayan işler yalın tekniklerle bertaraf edildiğinde gerçekleşecek yeni durum grafiklendirilir (Kumar, Mohan ve Gobinath, 2021). Gerekli işçi sayısı ve alternatif iş yükü dağıtımları ile hat dengelenir.

Son yıllarda literatürde yer alan Yamazumi çalışmalarına bakıldığında, Pawlewskinin (2019), mevcut simülasyon programlarının yalın iyileştirmeleri daha fazla destekleyecek şekilde nasıl kullanılabilceği ile ilgili bir yaklaşım sunduklarını görüyoruz. Gerçek bir imalat hücresi için Yamazumi grafikleri Flexsim isimli bir simülasyon programının grafik araçları ile oluşturulmuş, önce/sonra iyileştirmeleri simülasyon programı üzerindeki özelliklerin ayarlarındaki değişikliklerle karşılaştırılmıştır. Udayangani, Karunanayaka, Abeysooriya (2019), Endüstri 4.0'ın Yamazumi grafiklerine etkisini açıklayan bir sistem tasarımı modellemişlerdir. Önerilen sistem; fiili imalatı sürekli takip ederek veriyi bulutta taşır ve Yamazumi grafiklerini internet üzerinden sürekli otomatik olarak günceller. Bu sayede yöneticiler uzak bir konumdan üretim hattını monitörize ederek kontrol ederler. Sordan ve arkadaşları (2021), robotik ve yalın üretim ilişkisini inceledikleri çalışmalarında Yamazumi grafiklerini; manuel bir montaj hattıyla, yarı-otomatik montaj hattındaki iş yüklerinin farklarını göstermek için kullanmışlardır. Takt süresi, işçi sayısı, iş istasyonu sayısı, maksimum işlem süresi, boş kalma oranı, verimlilik oranı istatistikleri ile robot kullanılmayan ve kullanılan iki hat karşılaştırılmıştır. Kumar ve arkadaşları (2021), bir otomobil fabrikasının 12 istasyondan oluşan kenetleme (kapı, bagaj vb.) ünitesi için hat verimliliğini artırma çalışması yürütmüşlerdir. Hat verimliliğini arttırmak için üç farklı teknik kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır (Kilbridge and Wester, Sıralı Pozisyon Ağırlıkları, En Büyük Aday Kuralı). Yamazumi grafiği mevcut hattın verimliliğini tahmin etmek için ve sonrasında üç yöntemin oluşturduğu iş yükü grafiklerinin karşılaştırılması için kullanılır. Memari ve arkadaşları (2022), Malezya'da kırtasiye ürünleri üreten bir KOBİ'nin yalın üretime 7 temel israfı azaltarak geçiş süreci vaka çalışmasını yürütmüşlerdir. Bu vaka analizinde Yamazumi grafikleri mevcut yerleşim düzenindeki ve önerilen

yerleşim düzenindeki iş yüklerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Zaman etüdü yöntemi yalın felsefenin ortaya çıkarmadığı bir tekniktir (Taylor, 1895). Bununla birlikte yalın üretim araçları içine dâhil edilerek bolca kullanılır. Çünkü bir işin ne kadar sürede yapılabileceğini bilmek tüm planlama çalışmaları için son derece önemlidir (Şenyiğit, Karakaş, Uçar ve Akbal, 2021). Zaman etüdü, bir işi öğelerine ayırarak, o işi yapan işçilerin tempolarını ve çalışma ortamı şartlarını gözeterak yapılabilmesi için gereken zamanı saptamakta kullanılan bir iş ölçme tekniğidir (Yücel ve Dilik, 2021).

Bu tür simülasyonlar, mühendislik öğretiminin paydaşlarına çeşitli katkılar sunmaktadır. Akademik paydaşlarına teori ve pratiği birleştirerek öğretmek (Bilgin, Suçin ve Polat, 2013), sanayi paydaşlarına daha yetkin ve ekip çalışmasına alışık istihdam girdisi sağlaması (Akgül, Uçar, Öztürk ve Ekşi, 2013), öğrenci paydaşlarına yeteneklerini geliştirebilme algısını arttırması (Özcan, 2013) açısından katkıda bulunmaktadır.

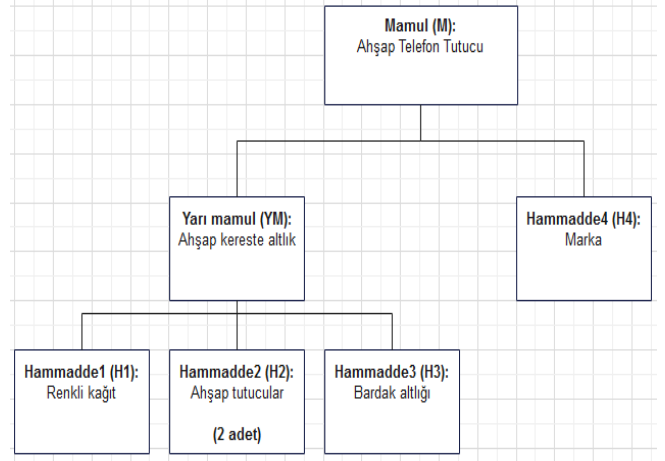
2. ANALİZ METODU

Üniversite bünyesinde gerçekleştirilebilecek maliyet ve basitlikte malzeme ve teçhizata sahip olması açısından, simülasyon ürünü olarak; ahşap telefon tutucu seçilmiştir (Şekil 1). Ahşap kereste üzerine diğer malzemelerin yapıştırılmasıyla imal edilen tutucu üretiminde silikon tabancası kullanılmıştır. Akıllı veya diğer telefonlar için kullanılabilen dekoratif bir üründür. Tutucular için jenga (tahta bloklar) kullanılmıştır. Telefonun ve bardağın arasındaki mesafeyi ayarlamak için renkli kâğıtlardan kalıp yapılmıştır.

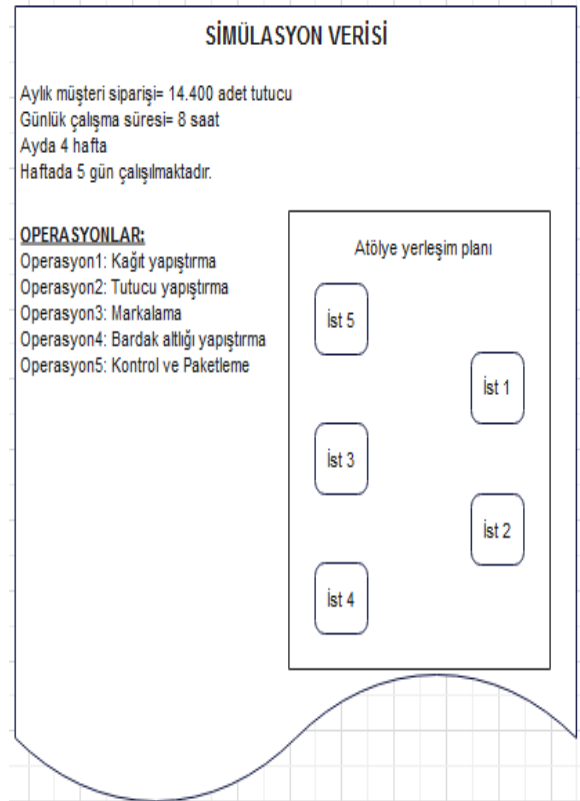


Şekil 1. Simülasyon Ürünü Ahşap Telefon Tutucu

Ürün ağacı Şekil 2’de gösterilen tutucu için Şekil 3’deki örnek senaryo verisi öğrencilerin bir gün içinde gerçekleştirebileceği yarım saatlik (30dk) simülasyonlar şeklinde ölçeklendirilmiştir.



Şekil 2. Ahşap Telefon Tutucu Ürün Ağacı



Şekil 3. Ahşap Telefon Tutucu Simülasyon Verisi

Operasyonlar için gerekli eleman sayısı ihtiyacına binaen 5 adet son sınıf endüstri mühendisliği öğrencileri ve tekniklerin uygulamasını anlatacak iki bitirme projesi sahibi öğrenci deney kapsamındaki işgücü sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3. ANALİZ

Dengelenmemiş üretim hattının ilk hali; dağınık atölye düzeni çalışma ortamıdır. Etraf dağınık, malzemeler düzensiz, ürünün her bir operasyonunun bir iş istasyonunda gelişigüzel üretildiği ve sonunda paklettiği temiz olmayan düzendir. İlk turda öğrencilerden Yalın olmayan bu ortamda aylık talebin yarım saatlik ölçeklendirilmiş halini yetiştirmeleri istenmektedir.

3.1. Birinci Tur

Bu durumda öğrenciler, 30 dk içinde 45 adet (14400/[4x5x8]x2) ahşap telefon tutucuyu Şekil 4'deki gibi yalın olmayan üretim ortamında yetiştirmeye çalışmışlardır (Sandıkçı, 2022).



Şekil 4. İlk Tur 30 Dakikalık Simülasyon

Süre dolduğunda paketlenen ürün ve hurda sayısı yapılmıştır (Şekil 5). 31 adet telefon tutucu üretilmiştir, 5 adet hurda çıkmıştır. Bu durumda hedef seviyedeki 45 adetlik talep karşılanamamıştır (Sandıkçı, 2022).



Şekil 5. İlk Tur Sayımları

Talebi karşılayabilmek için üretim ortamı yalınlaştırılmalıdır. Tespit edilen uygunsuzluklar; ortamın karışık ve düzensiz olması, zayıf imalat tekniklerinin kullanılması, operasyonların ne kadar sürdüğünün bilinmemesi, bazı işçilerin boşa beklerken bazı işçilerin çok yoğun çalışmasıdır. Bu uygunsuzlukların giderilmesi için yalınlaştırmada seçilen teknikler Şekil 6'da belirtilmiştir.

Şekil 7'deki gibi, bizzat uygulayarak neden yalın tekniklere ihtiyaç duyulduğunu deneyimleyen öğrenciler, proje sahibi arkadaşlarının anlatımıyla; süreci iyileştirmek için gerekli 5S, kaizen, zaman etüdü ve iş yükü dengeleme (yamazumi) tekniklerini öğrenmişlerdir (Sandıkçı, 2022).



Şekil 6. Yalınlaştırma kapsamında çalışmaya özgü seçilen Yalın Üretim Teknikleri



Şekil 7. Yalın Üretim Tekniklerinin Anlatımı

Öğrendikleri teknikler ile atölyeyi yalınlaştıran öğrenciler; Şekil 8'deki gibi ortamı temizlediler, malzeme rafları oluşturdular, kronometraj yöntemiyle birbirlerinin zaman etütlerini ölçtüler, iş yükü denge grafiğini oluşturdular, taşıma mesafesini azaltan ve işlerini kolaylaştıran iyileştirmeleri (kaizen) içerecek şekilde U tipi bir montaj hattı kurdular (Sandıkçı, 2022).



Şekil 8. Yalın Üretim Tekniklerinin Uygulanması

3.2. İkinci Tur

İlk turda iş yükü denge grafiği oluşturan öğrenciler, değer katmayan işleri mümkün olduğunca bertaraf etmiştir. Senaryo verisi için Denklem (1)-(2) ile (Kuğu, 2022) hesapladıkları takt zamanını bir işçi (arkadaşları) hariç kimse aşmamıştır. Şeki9'da gösterildiği üzere, yalınlaştırdıkları durum için talebi yetiştirmek üzere simülasyonu tekrar çalıştırmışlardır (Sandıkçı, 2022).

$$\text{Takt zamanı} = \frac{\text{Günlük kullanılabilir üretim süresi}}{\text{Günlük müşteri talebi}} \quad (1)$$

$$\text{Takt} = \frac{8 \times 3600}{\frac{14400}{4 \times 5}} = 40 \text{ saniye} \quad (2)$$



Şekil 9. İkinci Tur 30 Dakikalık Simülasyon

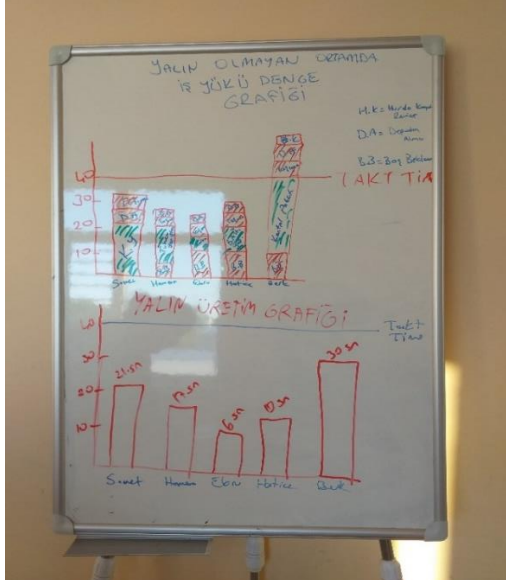
Tur sonundaki sayımlarda 51 adet telefon tutucu üretilmiştir, 1 adet hurda çıkmıştır. Bu durumda hedef seviyedeki 45 adet karşılanmış talep fazlası üretilmiştir. Olumlu olarak yorumlanabilecek bu yeni durumun dezavantajı ise işçiler arasındaki dengesiz iş yüküdür. Bir ürün çevriminde bir işçi 30 saniye çalışırken, simülasyon boyunca başka bir işçi sadece 6 saniye çalışmıştır.

3.3. Üçüncü Tur

Son turda öğrenciler Şekil 10'daki iş yükü grafiklerini incelemiş ve Denklem (3)-(4) yardımıyla (NIL, 2015) 3 işçinin yeterli olduğu üretim iş yükü dengeleme alternatiflerini değerlendirmişlerdir (Sandıkçı, 2022).

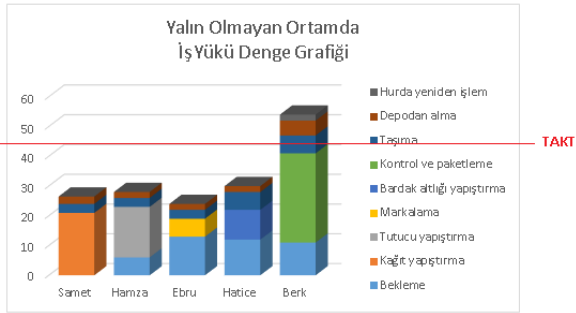
$$\text{Gerekli işçi sayısı} = \frac{\text{Ölçülen üretim zamanları toplamı}}{\text{Takt zamanı}} \quad (3)$$

$$\text{İşçi sayısı} = \frac{21 + 17 + 6 + 10 + 30}{40} = 2,1 = 3 \text{ işçi} \quad (4)$$



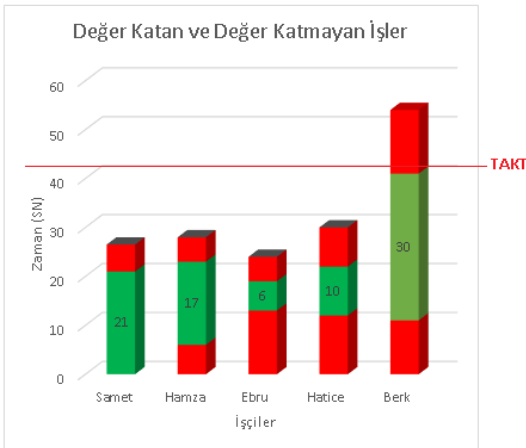
Şekil 10. Yalın ve Yalın Olmayan Ortamda İş Yükü Denge Grafikleri

Beyaz tahtada çizilen grafiğin Excel'de çizilmiş halini Şekil 11 ve Şekil 12 göstermektedir.



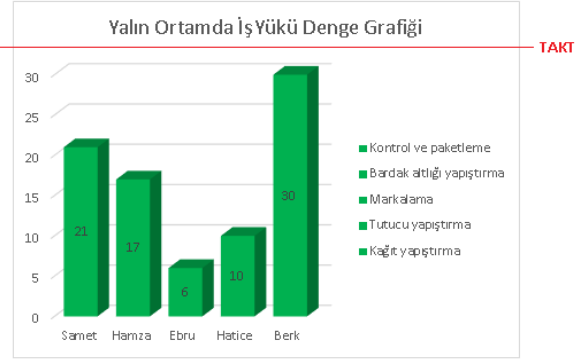
Şekil 11. Yalın Olmayan Ortamda Tüm İş Yükleri Grafiği

Operasyon dışındaki taşıma, bekleme gibi tüm işler değer katmayan işler olarak tanımlanır. Şekil 12; Şekil 11'in ikiye sınıflandırılmış halidir.



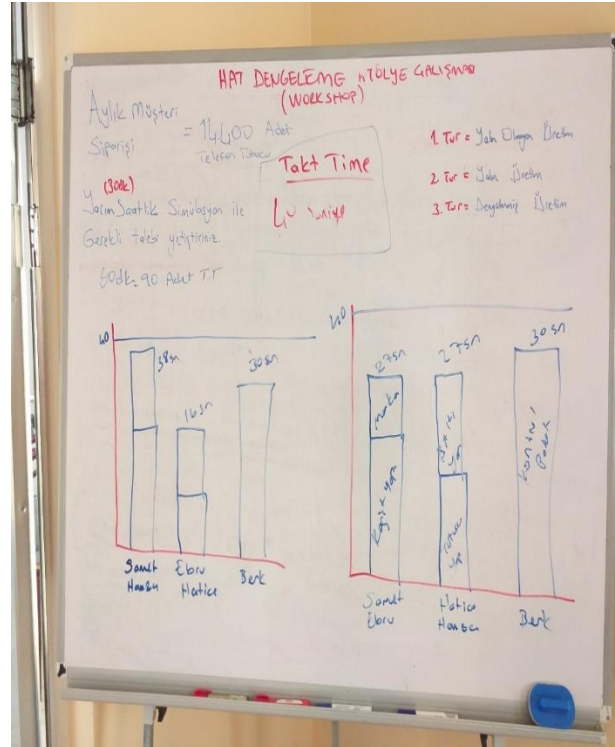
Şekil 12. Değer Katan ve Değer Katmayan İşler

Üretim yalınlaştırıldıktan sonra değer katmayan işler bertaraf edilir. Sadece değer katan operasyonlardan oluşan Şekil 13'teki iş yükü denge grafiği oluşur.



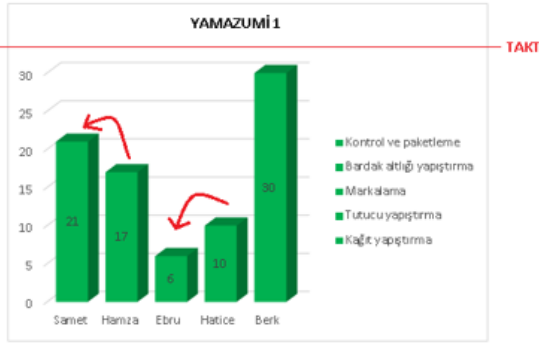
Şekil 13. Yalın Ortamda İş Yükü Denge Grafiği

Şekil 14'deki ikinci alternatif, hem tüm işçilerin iş yüklerinin birbirine çok yakın olarak dengeli dağıldığı (27-27-30) ve 40 saniyelik takt süresinin aşılmadığı en iyi alternatif olarak seçilmiştir (Sandıkçı, 2022).

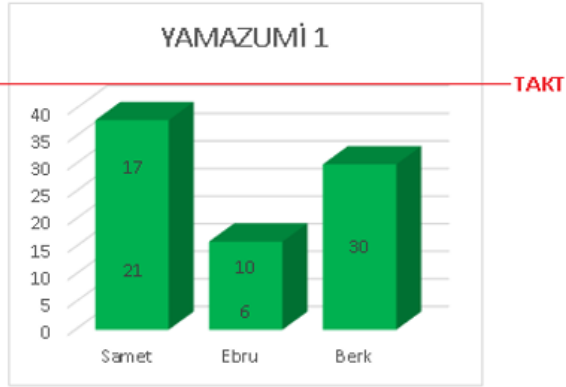


Şekil 14. Alternatif İş Yükü Denge Grafikleri

Beyaz tahtada çizilen grafiğin Excel'de çizilmiş halini Şekil 15 ve Şekil 16 göstermektedir.

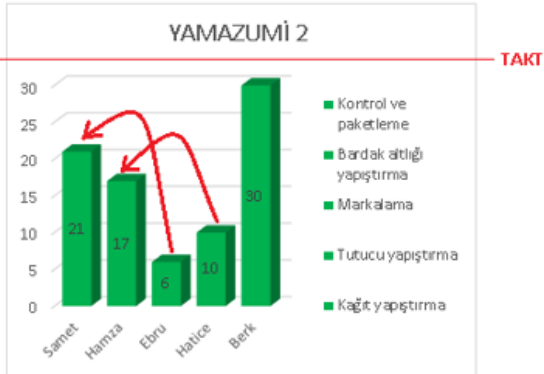


TAKT

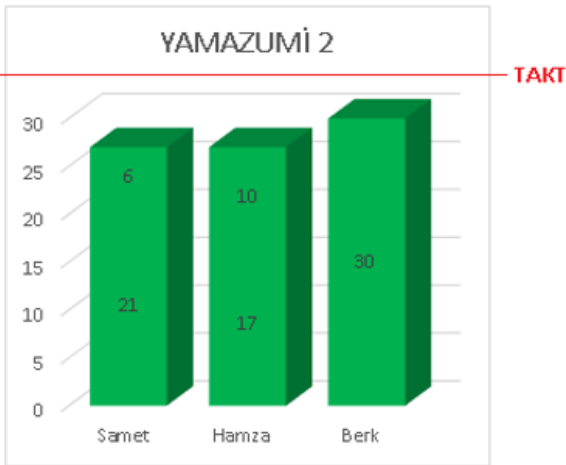


TAKT

Şekil 15. Alternatif 1



TAKT



TAKT

Şekil 16. Alternatif 2

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Tablo 1, üç turun performans göstergelerini karşılaştırmaktadır. Sonuçlar yalın üretim tekniklerinin etkisini açıkça ifade etmektedir. Öğrencilerin bu sonuçları deneyimleyerek öğrenmesi projenin kazanımıdır.

Gelecek çalışmada 3.turda seçilen dengelenmiş yalın üretim ortamında Şekil 17'de ifade edilen simülasyon çalışması ile birlikte deney tekrarı yapılacaktır. Ayrıca işçilerin zaman etütlerinde karşılaşılabilecek değişikliklere karşı, sürelerin dağılım uygunluk testleri yapılarak, simülasyondan önce bir benzetim programı aracılığıyla alternatiflerin önce bilgisayar ortamında doğrulanması sonra fiilen uygulanması da deneye eklenecektir.

Tablo 1. Üç Tur Sonuçlarının Karşılaştırılması

| Birimler | Üretim adedi | Hurda | İşçi sayısı |
|----------|---------------|---------------|-------------|
| 1.Tur | 31 | 5 | 5 |
| 2.Tur | 51 | 1 | 5 |
| 3.Tur | Gelecek deney | Gelecek deney | 3 |



Şekil 17. Gelecek Deney Planı-Üçüncü Tur 15 Dakikalık Simülasyon

Öğretimde yalın üretim oyunlarına örnek olan bu simülasyon çalışması üç tur halinde yapılandırılmıştır. Simülasyonu tam bir gün süren proje için tur başı ölçeklendirilen 30 dakikanın öğrencileri yordduğu gözlenmiştir. Bu sebeple gelecek çalışmada ölçek süresinin 15 dakikaya indirilmesine karar verilmiştir.

Üretimde verimliliğin yalın üretim teknikleriyle nasıl artırıldığı aday mühendisler tarafından uygulanarak öğrenilmiştir. Daha önce denemiş olmanın avantajıyla

yetkinlikleri artmıştır. Güncel yalın üretim alanındaki ihtiyaçlar, örneğin; yalın üretim ve Endüstri 4.0 konularının da örnek simülasyonlarla ders, laboratuvar uygulaması ya da bitirme projesi olarak öğretilmesi, endüstri mühendisliği öğrencilerinin tecrübi deneyimini arttıracaktır.

TEŞEKKÜR

Deneyin uygulanmasındaki desteklerinden dolayı değerli öğrencilerimiz Yunus Emre Sandıkcı, Erdem Özşahin, Hatice Gençer, Berk Akalın, Ebru Karasu, Hamza Akdemir ve Samet Kahraman'a teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Akgül, A., Uçar, M. K., Öztürk, M. M., Ekşi, Z. (2013). Mühendislik Eğitiminin İyileştirilmesine Yönelik Öneriler, Geleceğin Mühendisleri ve İşgücü Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17 (1), Özel Sayı, 14-18.

Altaş, Y. (2019). *5S İşyeri Organizasyonu Uygulayıcı El Kitabı*. Bursa: Ekin Yayıncılık.

Aydın, A. (2022). *Lean Games in Education*. Paper presented at 2nd International Cappadocia Scientific Research Congress, June 17-19 Cappadocia-Nevşehir. Access: <https://www.cappadociacongress.org/kitaplar>

Bilgin, A., Suçin, H., Polat, S. (2013). Türkiye'de Nasıl Bir Üniversite Eğitimi Uygulanmalı? *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17 (1), Özel Sayı, 8-13.

Bursa Coşkunöz Eğitim Vakfı. (2021). Erişim adresi: <https://www.youtube.com/watch?v=C117IMCEqk4>

Çelik, H. (2019). 5S Metodolojisinin SMED uygulamasına ve Toplam Ekipman Etkinliğine Etkisi. *Yorum-Yönetim-Yöntem Uluslararası Yönetim-Ekonomi ve Felsefe Dergisi*, 7(2), 95-110. Doi: <https://doi.org/10.32705/yorumyonetim.569786>

Divanoğlu, S., Taş, Ü., Pak, E. (2021). Otomotiv Sektöründeki Bir Üretim Tesisindeki Montaj Hattına Kaizen Metodolojisinin Uygulanması. *Politeknik Dergisi*, 24(4), 1533-1541. Doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.785696>

Garay-Rondero, C. L., Calvo, E. Z. R., Salinas-Navarro, D. E. (2019). Experiential learning at Lean-Thinking-Learning Space. *International Journal*

on Interactive Design and Manufacturing. 13, 1129-1144. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00578-3>

Kesit, N. (2019). *Yalın üretim tekniklerinin incelenmesi ve imalat sektöründe bir uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Kuğu, S. (2022). *Isı değiştirici üretim hattında hat ve ürün bazlı hat dengeleme çalışması yapılması* (Yüksek Lisans Tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.

Kumar, R. N., Mohan, R., Gobinath, N. (2021). Improvement in production line efficiency of hemming unit using line balancing techniques. *Materials Today: Proceedings*. 46, 1459-1463. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.020>

Memari, A., Panjehfouladgaran, H. R., Rahim, A. R. A., Ahmad, R. (2022). The impact of lean production on operational performance: a case study. *Asia-Pacific Journal of Business*.1757-4323. Doi: 10.1108/APJBA-04-2022-0190

Model Fabrika. Ankara Sanayi Odası Yetkinlik ve Dijital Dönüşüm Merkezi. Öğren & Dönüş Programı Eğitimleri. (2021). Erişim adresi: <https://modelfabrika.org/bilkent-koc-odtu-tobb-fragman-egitimi/>

Network of Innovative Learning Factories (NIL) (2015). Line balancing practical example in a Learning Factory. ESB Business School-Reutlingen University. Erişim adresi: <https://www.youtube.com/watch?v=PJg1DyZELvc>

Özcan, K. (2013). Üniversitedeki Lisans Öğrencilerinin Öğretimin Kalitesine İlişkin Algıları. *Eğitim ve Bilim*, 38 (169), 142-158.

Özdağoğlu, G., Damar, M., Özdağoğlu A. (2022). Web of Science Süzgecinden Yalın Üretim Araştırma Portföyü: Nereden Başlamalıyız?, *Verimlilik Dergisi*, (2), 213-230. Doi: <https://doi.org/10.51551/verimlilik.900359>

Özer, P. S. (2022). *Yalın üretim araçları uygulanarak alüminyum kablo üretim sürecinin iyileştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana.

Pawlewski, P. (2019). *Built-in lean management tools in simulation modelling*. Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference. December 8-12, National Harbor Maryland. Access: <https://dl.acm.org/doi/proceedings/10.5555/3400397>

Sandıkçı, Y. E. (2022). *Yalın üretim teknikleriyle yamazumi simülasyonu* (Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya.

Sigma Merkezi Yönetim Sistemleri Danışmanlığı. (2022). Erişim adresi: <https://sigmaakademi.com/yalin-uretim-ve-araclari-egitimi>

Şenyiğit, E., Karakaş, S., Uçar, S., Akbal, S. (2021). Bir Mobilya İşletmesinde Kurumsal Kaynak Planlaması için İş Etüdü-Verimlilik Uygulamasının Analizi: Örnek Olay. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, Özel Sayı, 476-480. Doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.1005832>

Sordan, J. E., Oprime, P. C., Pimenta, M. L., Lombardi, F., Chiabert, P. (2021). Symbiotic relationship between robotics and Lean Manufacturing:a case study involving line balancing. *The TQM Journal*. 34, 1076-1095. Doi:10.1108/TQM-03-2021-0073

Taylor, F. W. (1895). *A Piece-rate System: Being a Step Toward Partial Solution of the Labor Problem*. USA: American Society of Mechanical Engineers.

Udayangani, J., Karunanayaka, I., Abeysooriya, R. (2019). *Industry 4.0 Elements and Analytics for Garment Assembly Production Lines*. Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon). July 3-5, Moratuwa. Access: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8807126/proceeding>

Uluskan, M., Özyalın, M. T. (2021). Otomotiv sektöründe Kaizen yöntemi ile tesis yerleşim tasarımı ve Reba analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1), 1-19. Doi: <https://doi.org/10.31796/ogummf.758678>

Yücel, H. D., Dilik, T. (2021). Zaman etüdü ve ahşap kent mobilyasında bir uygulama örneği. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 61-68. Doi: <https://doi.org/10.33725/mamad.940285>