

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ESNEK İMALAT HÜCRELERİNİN DİJİTAL İKİZ
MODELLEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necip AKAR

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı

HAZİRAN 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ESNEK İMALAT HÜCRELERİNİN DİJİTAL İKİZ
MODELLEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necip AKAR

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Safiye TURGAY

HAZİRAN 2023

Necip AKAR tarafından hazırlanan “ESNEK İMALAT HÜCRELERİNİN DİJİTAL İKİZ MODELLEMESİ” adlı tez çalışması 22.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı’nda (varsa) Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : Unvan Adı SOYADI
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI (Danışman)
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
(Gerekliyse) Üniversitesi

Jüri Üyesi : Unvan Adı SOYADI
(Gerekliyse) Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ESNEK İMALAT HÜCRELERİNİN DİJİTAL İKİZ MODELLEMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(imza)

Necip AKAR

Anne ve Babama

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, Mühendislik yönetimi ve Endüstri Mühendisliği konusunda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmamda yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Safiye TURGAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi birikim yönlendirme kaynak ve diğer tüm olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen değerli meslektaşlarım ve Sakarya Üniversitesi Mühendislik Yönetimi öğrencileri Feyyaz ÇUHADAR, Uğur CAVNAR ve Muhammed ÖZKAN'a teşekkür ederim.

Necip AKAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Dijital İkiz Kullanımının Verim Analizi	3
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. DİJİTAL İKİZ, BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE BENZETİM....	13
3.1. Dijital İkiz	13
3.1.1. Dijital ikiz nedir?	13
3.1.2. Dijital ikiz çeşitleri	13
3.1.3. Dijital ikizin endüstrideki yeri	14
3.2. Bilgisayar Destekli Tasarım	15
3.3. Benzetim.....	17
3.3.1. Matematiksel model	17
3.3.2. Benzetim modeli	20
4. UYGULAMA	21
4.1. İlk Durum İçin Model Oluşturma Ve Analiz Yapılması.....	21
4.1.1. İlk durum modelinin kurulması.....	24
4.2. Modelin İncelenmesi Ve Verim Analizinin Yapılması.....	27
4.2.1. Verim analizinin incelenmesi ve yapılması	28
4.2.1.1. Verim analizi	28
4.2.1.2. Verim analizinin yapılması	28
4.3. İyileştirilmiş Durum	31
4.3.1. Tek bir üretim hücresine geçiş	32
4.3.2. Motor gücüne bağlı esnek üretim hücrelerine geçiş	38
4.4. Kıyaslama.....	44
5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR	47
5.1. Sonuç	47
KAYNAKÇA	49
ÖZGEÇMİŞ	53

KISALTMALAR

DT	: Digital Twin
Fail	: Failures
FC	: FlowControl
PT	: Processing Time
SUP	: Set-Up Time
SREP	: Static Report
ST	: Station
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
AL	: Alüminyum

SİMGELER

M/H	: Adam/Saat [Birim]
t	: Zaman [Birim]
P_x	: Ürün İsimlendirmesi

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Senkronizasyon odaklı yeniden yapılandırma mekanizmasının matematiksel formülasyonu için notasyonlar.	18
Tablo 4.1. Sipariş oranları için şase ve motor tiplerinin girdi adetleri	24

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dijital İkiz Yapısı, Siemens (2019)'dan uyarlanmıştır.....	2
Şekil 3.1. Dijital İkiz Çeşitleri, Vidyatec(2022)'ten uyarlanmıştır.....	14
Şekil 4.1. Eski ve alt yapıları birbirinden farklı modeller	22
Şekil 4.2. Ortaklaştırma yapılmış fikstür	22
Şekil 4.3. Araç tipleri ve özellikleri	23
Şekil 4.4. Program içerisinde kullanılan ikonların tanımlamaları	25
Şekil 4.5. Sembolik olarak Tanımlanmış 3D görselleri.....	25
Şekil 4.6. Yerleşimi tamamlanmış dağılım.....	26
Şekil 4.7. Yerleşimi tamamlanmış dağılımın 3D görseli.....	26
Şekil 4.8. EventController ikon ve arayüzü	27
Şekil 4.9. Çalışır durumdaki ilk durum görseli.....	27
Şekil 4.10. Ana istasyon çalışmalarının kendi iç yüzdeleri	28
Şekil 4.11. Referans süreçte genel yüzde dağılımları	29
Şekil 4.12. Akıştaki ürün adetleri ve Çalışma süreleri.....	29
Şekil 4.13. Kurulum/Bekleme/blok süreleri	30
Şekil 4.14. Tüm süre içerisinde boş bekleme süreleri	30
Şekil 4.15. Referans süreç içerisinde istasyonların bekleme süreleri ve yüzdeleri ...	31
Şekil 4.16. Şekil 4.9 ile verilen yapı üzerinde sorunlu istasyonların yerine esnek üretim hücrelerinin yerleşimi	32
Şekil 4.17. Esnek üretim hücresi için girdi değerleri ve Program üzerinde gösterilmesi	33
Şekil 4.18. Araçları temsil eden yapıların benzetim içerisinde belirginliğini arttırmak amaçlı yapılan iyileştirme	33
Şekil 4.19. Seçilim ve takibi kolaylaştırmak için düzenleme yapılmış ürün çeşitlerinin akıştaki görüntüleri.....	34
Şekil 4.20. İyileştirilmiş çalışır pozisyonda benzetim görseli	34
Şekil 4.21. Referans süreçte genel yüzde dağılımları	35
Şekil 4.22. Akıştaki ürün adetleri ve Çalışma süreleri.....	35
Şekil 4.23. Kurulum/Bekleme/blok süreleri	36
Şekil 4.24. Referans süre içerisinde boş bekleme süreleri.....	36
Şekil 4.25. Referans süreç içerisinde istasyonların bekleme süreleri ve yüzdeleri ...	37
Şekil 4.26. İyileştirmenin ardından ana istasyon çalışmalarının kendi iç yüzdeleri ..	38
Şekil 4.27. Şekil 4.4'te verilen ilk durumun iyileştirilmiş alternatifi	39
Şekil 4.28. 130 BG için esnek üretim hücresi değerleri ve gösterimi	39
Şekil 4.29. 150 BG için esnek üretim hücresi değerleri ve gösterimi.....	40
Şekil 4.30. Düzenleme yapılmış durum görseli (Çalışır durum)	40
Şekil 4.31. Referans süreç içerisinde genel dağılım yüzdeleri	41
Şekil 4.32. Akıştaki ürün adetleri ve Çalışma süreleri.....	41
Şekil 4.33. Kurulum/Bekleme/blok süreleri	42
Şekil 4.34. Referans süre içerisinde boş bekleme süreleri.....	42
Şekil 4.35. Referans Süre içerisinde istasyonların bekleme süreleri ve yüzdeleri.....	43

Şekil 4.36. Düzenlemenin ardından ana istasyon çalışmalarının kendi iç yüzdeleri .	43
Şekil 4.37. Şekil 4.11(İlk durum) ve Şekil 4.21(Son durum) çıktılarının kıyaslandıkları çizelge.....	45

ESNEK İMALAT HÜCRELERİNİN DİJİTAL İKİZ MODELLEMESİ

ÖZET

Hücrenel üretim, malzeme taşıma, bekleme süreleri ve envanteri azaltmak için makineleri, süreçleri ve iş istasyonlarını bağımsız hücrelerde gruplandırmayı içeren bir yalın üretim yaklaşımıdır. Hücrenel üretim tesislerinin yerleşim tasarımı, verimlilikleri, üretkenlikleri ve çıktıları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ancak, tesis yerleşim tasarımı için geleneksel deneme yanılma yöntemleri zaman alıcı, maliyetli ve riskli olabilir. Dijital ikiz benzetimi, tasarımcıların tesisin sanal modellerini oluşturmasına ve farklı yerleşim düzenlerini fiziksel olarak uygulamadan önce test etmesine olanak tanıyarak güçlü bir alternatif sunar. Hücrenel üretimin kritik bir yönü, üretkenliği, kaliteyi ve genel performansı önemli ölçüde etkileyebilecek tesisin yerleşim tasarımıdır. Bu yazıda, bir hücrenel üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullanmayı öneriyoruz.

Çalışmamız, dijital ikiz benzetiminin üretkenliği en üst düzeye çıkaran, israfı en aza indiren ve malzeme ve ürünlerin sorunsuz akışını sağlayan en uygun yerleşim tasarımını belirlemeye yardımcı olabileceğini gösteriyor. Ayrıca, üretim sistemindeki değişikliklerin tesisin performansı üzerindeki etkisini değerlendirmemizi sağlayarak karar vericilerin bilgiye dayalı kararlar almasına yardımcı olur.

Çalışma ile birlikte Bilgisayar destekli tasarım aşamasına sembolik olarak giriş yapılmış ancak detaylandırma ve iyileştirme oranlarına sonraki çalışma ile değinilecektir. Tasarımda iyileştirme bu yazı içerisinde ortaklaştırma ile yansıtılmıştır. Yazı içerisinde ele alınan bir bölüm içerisinde malzeme kullanımı, ara ürün kullanımı, hat kullanımı tasarıma bağlı ortaklaştırılmıştır.

Genel olarak, bu makale, hücrenel üretim tesisi yerleşim tasarımını optimize etmek ve operasyonel performansı iyileştirmek için güçlü bir araç olarak dijital ikiz benzetimlerinin potansiyelini vurgulamaktadır.

Bu yazıda, bir hücrenel üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetiminin kullanımına ilişkin bir vaka çalışması sunuyoruz. Ekipman ve makinelerin ayrıntılı 3B modellerinin yanı sıra hücrelerin yerleşimini içeren tesisin dijital ikiz modelini oluşturma sürecini açıklıyoruz. Birden fazla senaryo üzerinden kontrol edilen bu model ile detaylı verim oranı eldesi yapıyoruz. Daha sonra, farklı düzen yapılandırmalarını simüle etmek ve bunların döngü süresi, verim ve ekipman kullanımı gibi temel performans göstergeleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için dijital ikizi kullanıyoruz.

DIGITAL TWIN MODELING OF FLEXIBLE MANUFACTURING CELLS

SUMMARY

Cellular manufacturing is a lean manufacturing approach that involves grouping machines, processes, and workstations into individual cells to reduce material handling, waiting times, and inventory. Layout design of cellular manufacturing plants has a significant impact on their efficiency, productivity and output. However, traditional trial and error methods for facility layout design can be time consuming, costly and risky. The digital twin simulation provides a powerful alternative, allowing designers to create virtual models of the facility and test different layouts before physically implementing them. A critical aspect of cellular manufacturing is the layout design of the plant, which can significantly affect productivity, quality, and overall performance. In this paper, we propose to use a digital twin simulation to optimize the layout design of a cellular manufacturing plant.

Our study shows that digital twin simulation can help determine the optimal layout design that maximizes productivity, minimizes waste, and ensures a smooth flow of materials and products. It also helps decision makers make informed decisions by enabling us to evaluate the impact of changes in the production system on the plant's performance. This prevents error, waste and helps to achieve gains in indices such as cost, time and quality.

With the study, the computer-aided design phase has been entered symbolically, but the elaboration and improvement rates will be mentioned in the next study. In addition, the information can be improved in future studies or by detailing this study. Improvement in design is reflected in this article with commonization. In a section discussed in the article, the use of materials, the use of intermediate products, the use of lines are combined depending on the design.

Overall, this article highlights the potential of digital twin simulations as a powerful tool to optimize cellular plant layout design and improve operational performance.

In this article, we present a case study of the use of digital twin simulation to optimize the layout design of a cellular manufacturing plant. The symbolic structures used are detailed in the text. We describe the process of creating a digital twin model of the facility, which includes detailed 3D models of equipment and machinery, as well as the layout of cells. With this model, which is controlled over more than one scenario, we obtain a detailed yield rate. These scenarios give us an idea to get the most efficient results by using the maximum amount of cost and time. It makes it possible to get answers as soon as possible by shelving the old and uncontrolled processes called trial and error.

We then use the digital twin to simulate different layout configurations and evaluate their impact on key performance indicators such as cycle time, throughput and equipment utilization.

The main reason that distinguishes the digital twin from other simulation programs and makes it our choice is that it can be intervened instantly and can directly transfer data with the help of sensors after it is implemented. It can receive program data instantly and reflect the instant situation to us. It removes doubts about data accuracy

and helps us optimize production lines, strengthen team collaboration and financial decision-making through precise results.

In the thesis, first of all, the existing system is analyzed. For this, we have carefully and correctly transferred all the data in the system within the program. Then we started the process by entering the reference time timer for the system process. We instantly monitored the situation with the tables we created taking into account the stations. However, it is possible to receive instantaneous data during the process. At the end of the process, we clearly found where the problem occurred, together with the reports and tables. Then we focused on two possible scenarios. We made the improvements that could be made in the design phase before and supported it with visuals in the article.

We have updated 2 scenarios in the program with all their details. As a result of the comparisons made with the results, we took the scenario where the yield rate improved and compared it with the current situation. The first comparison is to select the highly efficient one among the scenario alternatives, the second comparison is to see the improvement between the current situation and the improved situation.

In detail, comparisons can be made for all stations one by one over different report outputs. This gives us the opportunity to interpret not only on a single subject, but at every moment of all processes. In the improved situation, there may be situations with a lower yield rate than the current situation. These are issues that can be improved later. However, if the yield rate is improved in general, it is accepted.

Flexible production cell selection was made in both scenarios. However, the transition to the Single flex cell actually solved all the problems instead of creating problems as envisaged. In addition, the remaining regions from other lines can be converted into necessary areas such as stock areas, new production areas, offices. It can be reflected as a different efficiency.

It is a structure that supports collaborative for efficiency by changing the flexible manufacturing cell design index. Within the study, the flexible manufacturing cell transformation was carried out, and the previously used areas were no longer used, and the gain was achieved. It maximizes space management by making the best use of the available space. This support is mentioned in this article.

What should be considered in the efficiency ratio comparison is the distribution of its own situation and the importance of its location on the station. Stations that cause problems are seen in reports and graphs just before stations with high blocked rates. After the determination of the problem, the point for intervention is determined. Intervention points are determined in this way and these points are concentrated for improvement.

The scenarios chosen for process improvement were chosen over the scenarios that were considered to be the most likely based on production experience. In fact, contrary to what the second scenario seems, it is seen that it reduces the yield rate, reduces the number of production and results in a worse result. Buddha clearly emphasizes and supports the importance of using digital twins.

It is possible to achieve better or worse results with different scenarios and different placements. Some issues, such as increased usage area, cannot be found mathematically, but as stated, efficiency increase has been achieved in terms of area gain. Outputs based on mathematical value are the determining factor in the desired issues. Percentage distributions are at the forefront of the issues considered in the

report outputs. This is another result shown in the scenarios. In addition, the net increase in the number of products produced completely indicates the positivity of the result.

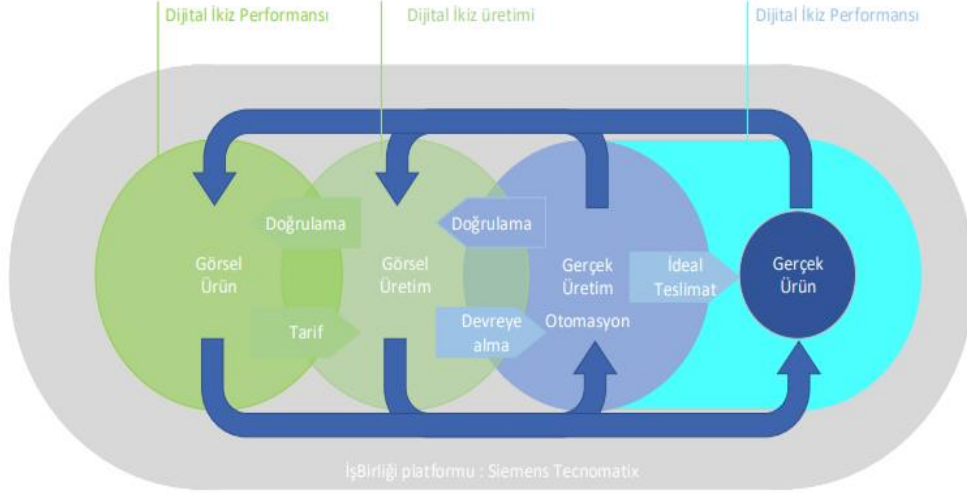
When the whole article is considered, it is seen that the result is positive, there is a serious improvement in the increase in yield rates, the structure can be monitored in a simpler way and it has a structure that allows instant intervention. The flexible manufacturing cell, the Digital twin, is an indication that the predicted benefit for the PLM structure has been achieved and demonstrated.

1. GİRİŞ

Tasarım aşaması ve üretim yapısı üzerinde iyileştirilme yapılmak istenilen yeni bir model araç için öncelikle ne yapılması gerektiğinin haritası çıkarılacaktır. Tasarım yapısı netleştirilerek daha sonrasında bu tasarım yapısının var olan sistem ile birlikte üretimini ele alarak daha sonra farklı 2 adet senaryo üzerinden süreç iyileştirmesi için ele alınacaktır. Tasarımda öncelikle çalışma ile birlikte malzeme, üretim metodolojisi, fikstür, aparat ve/veya kullanılacak tüm parçalarda iyileştirme ön görülmektedir.

Hücresele üretim, malzeme taşıma, bekleme süreleri ve envanteri azaltmak için makineleri, süreçleri ve iş istasyonlarını bağımsız hücrelerde gruplandıran, yaygın olarak benimsenen bir yalın üretim stratejisidir. Hücresele üretimin faydaları arasında gelişmiş ürün kalitesi, kısalan teslimat süreleri, artan üretkenlik ve kaynakların daha iyi kullanımı yer alır. Bununla birlikte, özellikle ürün akışı, malzeme taşıma, makine yerleşimi ve operatör hareketi gibi faktörler dikkate alındığında, hücresele bir üretim tesisinin yerleşimini tasarlamak zorlayıcı ve zaman alıcı olabilir.

Dijital ikiz benzetimi, tasarımcıların tesisin sanal modellerini oluşturmasına ve risksiz bir sanal ortamda farklı yerleşim konfigürasyonlarını simüle etmesine olanak tanıyarak umut verici bir alternatif sunuyor. Dijital ikiz benzetimi, farklı yerleşim konfigürasyonlarını test etmek ve çeşitli çalışma koşulları altında tesis performansını simüle etmek için kullanılacak bir tesisin sanal bir modelini oluşturmayı içerir. Dijital ikiz, gerçek dünyadaki tesisin davranışını simüle eder ve tasarımcılara farklı yerleşim düzeni yapılandırmalarının üretkenlik, verimlilik ve iş hacmi üzerindeki etkisine ilişkin değerli bilgiler sağlar. (Şekil 1.1)



Şekil 1.1. Dijital İkiz Yapısı, Siemens (2019)'dan uyarlanmıştır.

Bu makale, bir hücresele üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetiminin kullanımını araştırıyor. Tesis yerleşim tasarımı için dijital ikiz benzetimi kullanmanın faydalarını ve sınırlamalarını tartışıyor ve bu yaklaşımı uygularken göz önünde bulundurulması gereken bazı önemli faktörlerin altını çiziyoruz. Spesifik olarak, bir tesisin yerleşim tasarımını modellemek, farklı yerleşim konfigürasyonlarının performansını simüle etmek ve üretkenliği, iş hacmini ve verimliliği en üst düzeye çıkaran en uygun yerleşimi belirlemek için dijital ikiz benzetiminin nasıl kullanılabileceğini inceliyoruz. Ayrıca dijital ikiz benzetim sürecine ayrıntılı bir genel bakış sunuyoruz ve bunun bir hücresele üretim tesisi için en uygun düzen yapılandırmasını belirlemek için nasıl kullanılabileceğini açıklıyoruz.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2, hücresele üretime ve faydalarına kısa bir genel bakış sağlar. 3. Bölüm, geleneksel tesis yerleşimi tasarım yöntemlerinin sınırlamalarını ve dijital ikiz benzetiminin potansiyelini tartışmaktadır. Bölüm 4, dijital ikiz benzetim sürecini ve bunun tesis yerleşim tasarımına uygulanmasını özetlemektedir. Bölüm 5, bir hücresele üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetiminin kullanımını gösteren bir vaka çalışması sunar. Son olarak, Bölüm 6 sonuç kısmını ve gelecekte ele alınabilecek durumları değerlendirir.

1.1. Dijital İkiz Kullanımının Verim Analizi

Bir fabrika' da anlık olarak durum analizini yapılarak var olan sistem üzerinde yapılması istenilen iyileştirmenin net olarak hangi noktada yapılması gerektiği ve yapılacak iyileştirme ile ne kadarlık bir kazanç elde edileceğinin dijital ikiz teknolojisi ile çok düşük maliyet ve zaman tasarrufu ile mümkündür. Bu yaklaşım ile üretim durmadan ve üretime herhangi bir müdahale olmaksızın, bağımsız olarak sistem üzerinde yapılabilecek düzenlemeler mümkündür. Önerilen modelde ek olarak her spesifik hat yerine yetkin bir esnek üretim hücresi/hattı kullanın da fayda ve çıktıların gözlemlenebilmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Dijital ikiz benzetimi, tesis yerleşim tasarımı ve optimizasyonu için gelecek vaat eden bir araç olarak son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Birçok çalışma, hücresele üretim tesisi yerleşim tasarımı da dahil olmak üzere çeşitli üretim uygulamalarında dijital ikiz benzetiminin kullanımını araştırmıştır.

Benzer şekilde, Lu ve ark. (2021), bir e-ticaret dağıtım merkezindeki bir deponun yerleşim tasarımını optimize etmek için bir dijital ikiz benzetim modeli geliştirdi. Model, tasarımcıların farklı düzen yapılandırmalarını test etmelerini ve sipariş toplama verimliliğini en üst düzeye çıkaran en uygun düzeni belirlemelerini sağladı. Ren ve ark. (2019), bir otomotiv montaj hattının yerleşimini optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullandı. Gerçek dünya sisteminin davranışını simüle eden bir dijital ikiz modeli geliştirdiler ve optimum yerleşim konfigürasyonunu belirlemek için optimizasyon algoritmaları kullandılar. Ek olarak, Chen ve ark. (2021), tesis yerleşim tasarımı için bir genetik algoritma ile bir benzetim modelini birleştiren bir dijital ikiz benzetim yaklaşımı önerdi. Yazarlar, yaklaşımı bir hücresele üretim sistemine uyguladılar ve üretkenliği ve verimliliği artırırken tasarım süresini %50'ye kadar azaltabileceğini gösterdiler. Başka bir çalışmada, Zhang ve ark. (2021), bir hücresele üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için bir dijital ikiz benzetim yaklaşımı kullandı. Yazarlar, makine yerleştirme, malzeme taşıma ve işçi hareketini içeren bir benzetim modeli geliştirdiler. Modeli farklı düzen konfigürasyonlarını test etmek için kullandılar ve malzeme taşıma süresini azaltan ve üretkenliği artıran en uygun yerleşim tasarımını belirlediler.

Ek olarak, Daqiang ve ark. (2021), Gelişim aşamasındaki firmaların büyümesinde dijital ikiz kullanımının önemine makalelerinde detaylıca değinmişlerdir. Son olarak, Wang ve ark. (2021), bir yarı iletken üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz tabanlı bir yaklaşım geliştirdi. Malzeme taşımayı en aza indiren, iş hacmini iyileştiren ve üretim maliyetlerini azaltan en uygun yerleşim yapılandırmasını belirlemek için benzetim modelleme ve optimizasyon algoritmalarının bir kombinasyonunu kullandılar. Olduğunu, dijital ikiz tabanlı

yaklaşımın tasarım süresini kısaltmada ve genel tesis performansını iyileştirmede etkili olduğunu gösterdi.

Örneğin, Khan ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışma. (2020), bir üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullandı. Yazarlar, dijital ikiz benzetim kullanımının, geleneksel deneme yanılma yöntemine kıyasla döngü süresinde %20 azalmaya ve verimde %12 artışa yol açtığını bulmuşlardır. Benzer şekilde, Yu ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışma. (2021), bir yarı iletken üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullandı. Yazarlar, dijital ikiz benzetim kullanımının üretkenlikte %15 artışa ve döngü süresinde %20 azalmaya yol açtığını bulmuşlardır. Örneğin, Li ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada. (2020), bir üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullanıldı. Yazarlar, tesisin dijital ikiz modelini geliştirdiler ve farklı yerleşim düzenlerini test etmek için benzetim kullandılar. Sonuçlar, optimize edilmiş düzenin malzeme taşıma süresinde %29 azalmaya ve üretkenlikte %23 artışa yol açtığını gösterdi. Hücresele üretim bağlamında, birkaç çalışma da tesis yerleşim tasarımı için dijital ikiz benzetiminin kullanımını araştırmıştır. Örneğin, Wang ve ark. (2018), akıllı telefon parçalarının üretimi için bir hücresele üretim tesisinin yerleşimini optimize etmek üzere dijital ikiz benzetimini kullandı. Yazarlar, optimize edilmiş düzen yapılandırmasının üretkenlikte %12,4'lük bir artışa ve operatör seyahat mesafesinde %22,6'lık bir azalmaya yol açtığını bulmuşlardır. Örneğin, Zhang ve ark. (2021), ayrı bir üretim süreci için farklı tesis yerleşimi tasarımlarının performansını değerlendirmek üzere dijital ikiz benzetimini kullandı ve benzetim sonuçlarının gerçek performans verileriyle tutarlı olduğunu buldu. Başka bir çalışmada Vahidnia ve ark. (2020) esnek bir üretim sisteminin düzenini optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullandı ve optimize edilmiş düzenin iş hacminde %29 artışa ve üretim süresinde %27 azalmaya yol açtığını gördü. Benzer şekilde, Wang ve ark. (2020), bir yarı iletken üretim tesisi için bir dijital ikiz benzetim modeli geliştirdi ve bunu farklı düzen yapılandırmalarını değerlendirmek için kullandı. Sonuçları, optimize edilmiş düzen yapılandırmasının döngü süresini %18 azalttığını ve verimi %15 artırdığını gösterdi.

Genel olarak, bu çalışmalar, hücresele üretim tesislerinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetiminin potansiyelini göstermektedir. Dijital ikiz benzetim, tasarımcıların farklı düzen yapılandırmalarını sanal bir ortamda test etmelerini sağlayarak, tasarım süresini kısaltmaya, maliyetleri düşürmeye ve genel tesis

performansını iyileştirmeye yardımcı olabilir. Bununla birlikte, bu yaklaşımın uygulanmasında, doğru benzetim modelleri geliştirmek ve benzetim sonuçlarının geçerli ve güvenilir olmasını sağlamak gibi hala aşılması gereken zorluklar bulunmaktadır. Dijital ikiz benzetim, tasarımcılara farklı yerleşim yapılandırmalarını test etmeleri, en uygun tasarımı belirlemeleri ve tesis tasarımı ve yönetimi hakkında bilinçli kararlar almaları için risksiz bir sanal ortam sunar . Örneğin, benzetimin doğruluğu, girdi verilerinin doğruluğuna bağlıdır ve benzetim, gerçek dünya sisteminin tüm karmaşıklıklarını yakalayamayabilir. Bu nedenle, dijital ikiz modeli kullanmadan önce dikkatlice doğrulamak ve kalibre etmek önemlidir. düzen optimizasyonu için . Bu çalışmalar, hücresele üretim tesislerinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetiminin potansiyelini göstermektedir. Dijital ikiz benzetim, tasarımcıların farklı düzen yapılandırmalarını sanal bir ortamda test etmelerini sağlayarak, tasarım süresini kısaltmaya, maliyetleri düşürmeye ve genel tesis performansını iyileştirmeye yardımcı olabilir .

Sonuç olarak, araştırma literatürü, tesis yerleşim tasarımı ve optimizasyonu için dijital ikiz benzetiminin potansiyelini vurgulamaktadır. Aşağıdaki bölüm, dijital ikiz benzetim sürecini ve bunun hücresele üretim tesisi yerleşim tasarımına uygulanmasını daha ayrıntılı olarak tartışacaktır. Dijital ikiz anlık olarak müdahale edilebilir noktaları göstermesi konusunda, Li ve ark. (2022), yaptıkları çalışma ile detaylıca bilgi vermişlerdir.

Hücresele üretim bağlamında, Lee ve ark. (2020), bir hücresele üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek için bir dijital ikiz benzetim modeli geliştirdi . Model, tasarımcıların farklı düzen yapılandırmalarını test etmelerini ve malzeme taşımayı en aza indiren ve üretim hazırlık süresini azaltan en uygun düzeni belirlemelerini sağladı. Örneğin, Huang ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışma. (2020), esnek bir üretim sisteminin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimini kullandı. Çalışma, dijital ikiz benzetimin üretkenliği , iş hacmini ve verimliliği en üst düzeye çıkaran optimum yerleşim konfigürasyonunu etkili bir şekilde tanımlayabildiğini gösterdi. Benzer şekilde, Sundaram ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışma . (2019), bir işleme merkezinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullandı. Çalışma, dijital ikiz benzetiminin geleneksel tasarım yöntemlerine kıyasla tasarım süresini önemli ölçüde azaltabileceğini ve tesis performansını iyileştirebileceğini buldu. Li ve ark . (2020), ayrı bir üretim sisteminin yerleşim

tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullandı. Çalışma, dijital ikiz benzetimin, farklı yerleşim konfigürasyonlarının sistem performansı üzerindeki etkisini etkili bir şekilde değerlendirebileceğini ve üretkenliği ve iş hacmini en üst düzeye çıkararak en uygun yerleşim konfigürasyonunu tanımlayabildiğini gösterdi . Benzer şekilde, Liu ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada . (2018), bir deponun yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullanıldı. Yazarlar, ambarın dijital ikiz modelini oluşturdular ve farklı düzen yapılandırmalarını test etmek için benzetim kullandılar. Sonuçlar, optimize edilmiş düzenin sipariş toplama süresinde %20 azalmaya ve üretkenlikte %15 artışa yol açtığını gösterdi.

Yazarlar, montaj hattının dijital ikiz modelini oluşturmayı, ayrı olay benzetimi kullanarak üretim sürecini simüle etmeyi ve benzetim sonuçlarına göre düzeni optimize etmeyi içeren benzetim tabanlı bir optimizasyon çerçevesi önerdiler. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın döngü süresinde önemli bir azalmaya ve verim artışına yol açtığını göstermiştir. Örneğin, Liu ve ark. (2020), ayrı bir imalat sisteminde tesis düzeni tasarımının optimizasyonu için bir dijital ikiz benzetim çerçevesi önerdi. Çerçeve, optimum yerleşim tasarımını belirlemek için benzetim modelleme, çok amaçlı optimizasyon ve makine öğrenimi tekniklerini bütünleştirir. Yazarlar, çerçeveyi bir hücreli üretim sistemine uyguladılar ve tesis yerleşimi tasarım süresini %80'e kadar azaltabileceğini gösterdiler. Farklı bir çalışmada, Hücreli üretim tesisi yerleşim tasarımı bağlamında, Zhang ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışma. (2020), baskılı devre kartı (PCB) montaj hattının yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullandı. Çalışma, dijital ikiz benzetiminin, farklı düzen yapılandırmalarının sistem performansı üzerindeki etkisini etkili bir şekilde değerlendirebildiğini ve malzeme taşımayı en aza indiren ve üretkenliği artıran en uygun yerleşim yapılandırmasını tanımlayabildiğini buldu. Diğer çalışmalar, hücreli üretim bağlamında dijital ikiz benzetiminin kullanımını inceledi. Örneğin, Li ve ark. (2019), baskılı devre kartı montajı için bir hücreli üretim tesisinin yerleşim tasarımını optimize etmek üzere dijital ikiz benzetimi kullandı ve yaklaşımın, verim ve teslim süresinde önemli gelişmelere yol açtığını buldu. Huang ve ark. (2020), işleme operasyonları için bir hücreli üretim tesisinin performansı üzerindeki farklı yerleşim konfigürasyonlarının etkisini değerlendirmek için dijital ikiz benzetimini kullandı ve yaklaşımın tesis için en uygun yerleşim konfigürasyonunu belirlemeye yardımcı olduğunu buldu. Sonuçlar, dijital ikiz benzetiminin işlem süresini azaltmak,

retkenliği artırmak ve verimliliği artırmak için kullanılabileceğini gösterdi. Benzer Şekilde, Wang ve ark. (2020), bir işleme atölyesinin yerleşim tasarımıni optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullandı . Bir 3B tarayıcı kullanarak tesisin sanal bir modelini geliştirdiler ve ayrı bir olay benzetim aracı kullanarak farklı düzen yapılandırmalarının performansını simüle ettiler. Sonuçlar, dijital ikiz benzetiminin, malzeme taşımayı en aza indiren ve genel tesis performansını iyileştiren en uygun yerleşim konfigürasyonunu belirlemek için kullanılabileceğini gösterdi . Örneğin, Li ve ark. (2020), baskılı devre kartı montajı için bir hücresel üretim sisteminin yerleşim tasarımıni optimize etmek üzere dijital ikiz benzetimi kullandı. Yazarlar, makine kullanılabirliği, işleme süresi, malzeme taşıma ve operatör hareketi gibi bir dizi faktörü bir araya getiren bir dijital ikiz modeli geliştirdi. Daha sonra, farklı düzen konfigürasyonlarının performansını simüle etmek için dijital ikiz modeli kullandılar ve toplam üretim süresini ve malzeme taşıma maliyetini en aza indiren en uygun düzeni belirlediler. Benzer Şekilde, Liu ve ark. (2020), otomotiv montajı için bir hücresel üretim sisteminin yerleşim tasarımıni optimize etmek üzere dijital ikiz benzetimini kullandı. Yazarlar, makine kullanımı, üretim döngüsü süresi ve malzeme akışı gibi faktörleri dikkate alan bir dijital ikiz modeli geliştirdi. Daha sonra, farklı düzen konfigürasyonlarının performansını simüle etmek için dijital ikiz modeli kullandılar ve üretim verimliliğini en üst düzeye çıkaran ve üretim döngü süresini en aza indiren en uygun düzeni belirlediler. Chen ve ark. (2021), akıllı bir fabrikanın yerleşim tasarımıni optimize etmek için dijital ikiz benzetiminin kullanımını araŐtırdı. Model, tasarımcıların farklı düzen yapılandırmalarını simüle etmelerini ve bunların üretim verimliliği, iş hacmi ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini değerlendirmelerini sağladı. Chen ve ark. (2020), esnek bir üretim sisteminin düzenini optimize etmek için bir dijital ikiz benzetim yaklaşımı önerdi. Yazarlar, malzeme taşıma maliyetlerini en aza indiren ve makine boŐta kalma süresini azaltan en uygun düzeni belirlemek için 3B modelleme, benzetim ve optimizasyon tekniklerinin bir kombinasyonunu kullandılar. Wang ve ark. (2021), bir yarı iletken üretim tesisinin yerleşimini optimize etmek için bir dijital ikiz benzetim yaklaşımı önerdi. Yazarlar, malzeme taşıma maliyetlerini en aza indiren ve makine boŐta kalma süresini azaltan en uygun düzeni belirlemek için 3B modelleme, benzetim ve optimizasyon tekniklerinin bir kombinasyonunu kullandılar. Sonuçlar, nerilen yaklaşımın üretim maliyetlerinde önemli bir azalmaya yol açtığını ve genel sistem performansını iyileŐtirdięini gösterdi .

Örneğin, Zhang ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışma. (2021), farklı düzen yapılandırmalarının üretkenlik ve verimlilik üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir hücresele üretim sisteminin dijital ikiz benzetim modelini geliştirdi. Araştırma, optimum yerleşim tasarımının malzeme taşıma süresini %16 azalttığını, makine kullanımını %7 artırdığını ve genel üretkenliği %13 artırdığını buldu. Benzer şekilde, Shi ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışma (2020). Ürün akışı, makine kullanımı ve operatör hareketi gibi faktörleri göz önünde bulundurarak bir hücresele üretim sisteminin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimi kullandı. Çalışma, optimum yerleşim yapılandırmasının üretkenliği %8 artırdığını ve malzeme taşıma süresini %15 azalttığını buldu. Birkaç çalışma, gerçek zamanlı verilerin doğruluğunu ve etkililiğini artırmak için dijital ikiz benzetimlerine dahil edilmesinin önemini de vurgulamıştır . Örneğin, Li ve ark. (2021), bir hücresele üretim tesisi için bir dijital ikiz benzetim modeli geliştirdi ve bunu farklı düzen yapılandırmalarını test etmek için kullandı. Sonuçları, optimize edilmiş düzen yapılandırmasının üretkenliği %16 artırdığını ve malzeme taşımayı %30 azalttığını gösterdi. Diğer çalışmalar, farklı endüstrilerde tesis yerleşim tasarımı için dijital ikiz benzetiminin kullanımını araştırmıştır. Örneğin, Cheng ve ark. (2021), bir lojistik merkezinin yerleşim tasarımını optimize etmek için dijital ikiz benzetimini kullanırken, Xie ve diğerleri. (2020), bir hastanenin acil servis bölümünün yerleşim tasarımını optimize etmek için kullandı. Her iki durumda da sonuçlar, optimizasyondan sonra tesis performansında önemli gelişmeler gösterdi. Örneğin, Artan sayıda literatür, özellikle üretim bağlamında tesis yerleşim tasarımı için dijital ikiz benzetiminin kullanımını araştırmaktadır. İşte bazı ilgili araştırmalar: Örneğin, Genel olarak, bu çalışmalar, dijital ikiz benzetiminin, hücresele üretim tesisleri de dahil olmak üzere üretim tesislerinin yerleşim tasarımını optimize etmek için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Dijital ikiz benzetimi, tasarımcıların farklı düzen yapılandırmalarını sanal bir ortamda test etmelerine olanak tanıyarak tasarım süresini kısaltmaya, maliyetleri düşürmeye ve genel tesis performansını iyileştirmeye yardımcı olabilir. Bununla birlikte, tesis yerleşim tasarımı için dijital ikiz benzetiminin tüm potansiyelini keşfetmek ve etkinliğini etkileyen faktörleri belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Genel olarak, bu çalışmalar tesis yerleşim tasarımı ve optimizasyonu için dijital ikiz benzetiminin potansiyelini göstermektedir.

Tao Yu ve diğeri tarafından yazılan "Dijital İkiz Tabanlı Tasarım ve Üretim: Bir Araştırma". (2018): Bu araştırma belgesi, dijital ikiz teknolojilerin ve bunların tasarım ve üretimdeki uygulamalarının derinlemesine bir analizini sunar. Modelleme, simülasyon, optimizasyon ve karar verme dahil olmak üzere çeşitli yönleri kapsar. Belge, CAD/CAM süreçlerinde dijital ikiz yaklaşımları uygulamanın avantajlarını ve zorluklarını vurgulamaktadır.

Guofeng Wang et al. (2019): Bu çalışma, katmanlı üretim süreçlerini optimize etmek için dijital ikizlerin kullanımına odaklanmaktadır. Süreç parametrelerini optimize etmek ve üretilen bileşenlerin kalitesini artırmak için simülasyon modellerini gerçek zamanlı süreç izleme verileriyle birleştiren bir çerçeve önerir.

"CNC Üretiminde Dijital İkiz: Enerji Optimizasyonuna İlişkin Bir Örnek Olay", Yongsheng Ma ve diğeri. (2020): Bu makale, CNC (Bilgisayar Sayısal Kontrol) üretim süreçlerinde enerji tüketimini optimize etmek için dijital ikiz yaklaşımının kullanılmasına ilişkin bir vaka çalışması sunmaktadır. Çalışma, dijital ikizin üretim sürecini nasıl simüle edebileceğini ve optimizasyon yoluyla enerji tasarrufu fırsatlarını nasıl belirleyebileceğini gösteriyor.

3. DİJİTAL İKİZ, BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE BENZETİM

3.1. Dijital İkiz

3.1.1. Dijital ikiz nedir?

Dijital ikiz, fiziksel bir nesnenin, sürecin veya hizmetin dijital temsilidir. Dijital twin olarak da adlandırılan dijital ikizler teknolojisi; bir nesnenin veya sistemin yaşam döngüsünü kapsayan, gerçek zamanlı verilerle güncellenen ve karar vermeye yardımcı sanal bir sistemdir. İlgili tanımı Erkan Calp (2022)'de yapmıştır.

Dijital ikizler, dış dünyadan ayrı tamamen sanal ortamlarda çalışan benzetimlerin aksine, sanal benzerlerini tanecikli, yüksek kaliteli verilerle gerçek zamana olarak sürekli güncelleyen sensörlerle donatılmış, belirli gerçek dünya varlıklarının modelleridir. İşletmeler ve kuruluşlar, yaşam döngüleri boyunca ürünleri tasarlamak, inşa etmek, işletmek ve takip etmek için dijital ikizleri kullanır. Fiziksel nesnelere ilgili güncel verilerle donatılan dijital ikizler, detaylı tahmine dayalı modeller oluşturmak ve çoğu benzetimden daha doğru sonuçlar tahmin etmek için yapay zeka ve makine öğrenimini kullanır.

3.1.2. Dijital ikiz çeşitleri

Bileşen ikizleri;

IBM de bahsedildiği şekilde (2022), bileşen ikizi, bir ürünün veya sürecin tek bir parçasının temsili veya benzetimidir. Örneğin ekran veya mekanik alt montaj gibi tek bir ürün parçası üzerindeki ağırlık, ısı veya diğer stres faktörlerinin etkisini test etmek için kullanılabilir.

Varlık ikizleri;

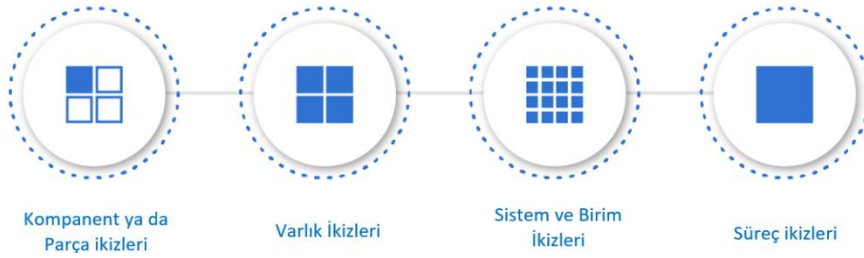
IBM de bahsedildiği şekilde (2022), mevcut bir fiziksel varlığın bu dinamik sanal modeli, iki veya daha fazla bileşenin birlikte nasıl çalıştığını test etmek için kullanılırken devam eden, gerçek zamanlı verilerle güncel ve doğru tutulur. Bir varlık ikizi, örneğin, işletmenin üretimi en üst düzeye çıkarmak ve hatayı azaltmak için birden çok yapılandırmayı test etmesini sağlayarak montaj hattı makinelerinin bir kopyasını sağlayabilir.

Sistem ikizleri;

IBM de bahsedildiği şekilde (2022), sistem ikizi varlık ikizinden bir üst düzeydir çünkü kritik varlıkların işlev gördüğü daha büyük sistemin (bu örnekte tüm fabrika katının) dijital bir temsilidir. Bu ikiz, yalnızca birden fazla sonucu test etmekle ve verileri analiz etmekle kalmaz, aynı zamanda performans iyileştirmeleri de önerebilir.

Süreç ikizleri;

Süreç ikizlerine Innova' da söz edilmiştir(2022), sistemlerin birlikte nasıl çalıştığını temsil eder. Örneğin, bir süreç ikizi tüm bir üretim tesisini temsil edebilir.



Şekil 3.1. Dijital İkiz Çeşitleri, Vidyatec(2022)'ten uyanlanmıştır.

Birçok alanda Aktif olarak kullanılan dijital ikiz teknolojisi, üretim alanında da ciddi katkılar sağlamaktadır (Şekil 3.1). Var olan yapının tüm bilgilerinin programa girdisiyle şekillenen çıktılar ile yorumlama yapılmaktadır. Bu çalışma içerisinde üretim yapan bir fabrika için darboğaz analizi yapılacak, ardından geliştirmeler ile iyileştirmeler işlenerek tekrar simüle edilerek çıktılar değerlendirilecektir.

3.1.3. Dijital ikizin endüstrideki yeri

Hızlandırılmış risk değerlendirmesi ve üretim süresi

IBM de bahsedildiği şekilde (2022), şirketlerin bir ürünü gerçek dünyada var olmadan önce test etmelerini ve doğrulamalarını sağlar. Planlanan üretim sürecinin bir kopyasını oluşturan dijital ikiz, mühendislerin ürün üretime geçmeden önce herhangi bir süreç arızasını belirlemesine olanak tanır. Mühendisler, beklenmeyen senaryoları sentezlemek, sistemin tepkisini incelemek ve karşılık gelen azaltma stratejilerini belirlemek için sistemi bozabilir. Bu yeni yetenek, risk değerlendirmesini iyileştirir, yeni ürünlerin geliştirilmesini hızlandırır ve üretim hattının güvenilirliğini artırır.

Öngörücü bakım

İkiz sistemin IoT sensörleri gerçek zamanlı olarak büyük veriler ürettiğinden, işletmeler sistemdeki sorunları belirlemek için verilerini proaktif olarak analiz

edebilir, Bu bilgilere IBM de yer verilmiştir(2022). Bu yetenek, işletmelerin kestirimci bakımı daha doğru bir şekilde planlamasına, böylece üretim hattı verimliliğini artırmasına ve bakım maliyetlerini düşürmesine olanak tanır.

Gerçek zamanlı uzaktan izleme;

Büyük bir fiziksel sistemin gerçek zamanlı IBM de bahsedildiği şekilde (2022), derinlemesine bir görünümünü elde etmek genellikle çok zordur, hatta imkansızdır. Bununla birlikte, kullanıcıların sistem performansını uzaktan izlemesine ve kontrol etmesine olanak tanıyan bir ikize her yerden erişilebilir.

Geliştirilmiş ekip işbirliği;

Süreç otomasyonu ve sistem bilgilerine 7/24 erişim, teknisyenlerin ekipler arası işbirliğine daha fazla odaklanmasını sağlayarak üretkenliği ve operasyonel verimliliği artırır. Bu bilgiler IBM'den alınmıştır(2022)

Veri destekli finansal karar verme;

Fiziksel bir nesnenin sanal bir temsili için IBM'de bulunan yazıya bakıldığında (2022), malzeme ve işçilik maliyeti gibi finansal verileri entegre edebilir. Büyük miktarda gerçek zamanlı verinin ve gelişmiş analitiğin mevcudiyeti, işletmelerin bir üretim değer zincirindeki düzenlemelerin mali açıdan sağlam olup olmadığı konusunda daha iyi ve daha hızlı kararlar almalarını sağlar.

3.2. Bilgisayar Destekli Tasarım

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) bağlamında dijital ikiz modelleme ve benzetim, fiziksel ürünlerin veya sistemlerin sanal temsillerinin oluşturulmasını ve tasarım süreci boyunca davranışlarının simüle edilmesini içerir.

CAD'de dijital ikiz modelleme ve simülasyon, CAD yazılımı kullanılarak bir ürünün veya sistemin sanal bir temsiline oluşturulmasını içerir . Bu, geometrisinin, malzeme özelliklerinin ve diğer ilgili parametrelerin yakalanmasını içerir.

Simülasyon teknikleri daha sonra sanal modelin davranışını ve performansını simüle etmek için kullanılır. Bu, belirli uygulamaya bağlı olarak yapısal bütünlüğün, dinamiklerin, termal davranışın veya sıvı akışının analizini içerebilir.

Ürünün tasarımını veya performansını iyileştirmek için dijital ikiz modele optimizasyon yöntemleri uygulanabilir. Bu, ağırlığı en aza indirmek, gücü en üst

düzeğe çıkarmak veya enerji verimliliğini optimize etmek gibi istenen hedeflere ulaşmak için farklı tasarım alternatiflerini, malzeme seçimlerini veya parametre ayarlarını keşfetmeyi içerebilir.

Dijital ikiz, tasarım varyasyonlarını test etmek ve değerlendirmek için sanal bir platform görevi görerek mühendislerin fiziksel prototip oluşturma veya üretimden önce değişikliklerin etkisini değerlendirmesine olanak tanır. Aynı zamanda tasarım ekipleri arasındaki işbirliğini ve iletişimi kolaylaştırarak gerçek zamanlı güncellemelere ve geri bildirimlere olanak tanır.

Şirketler, CAD'de dijital ikiz modelleme ve simülasyondan yararlanarak tasarım sürecini hızlandırabilir, fiziksel prototip oluşturmaya ilişkin maliyetleri azaltabilir ve ürün performansını ve güvenilirliğini artırabilir.

Dijital ikiz bilgisayar destekli tasarım (CAD) için bir matematiksel model, fiziksel ürünü veya sistemi matematiksel denklemler, algoritmalar ve veri yapıları kullanarak temsil etmeyi içerir. Belirli matematiksel modeller, uygulamaya ve alana bağlı olarak değişiklik gösterse de, dijital ikiz CAD matematiksel modellerinde yaygın olarak bulunan bazı temel bileşenleri burada bulabilirsiniz:

Geometri ve Kinematik, Şekli, boyutları ve uzamsal ilişkileri dahil olmak üzere ürünün geometrisinin matematiksel temsilleri. Bu, matematiksel denklemleri, parametrik modelleri veya nokta bulutları veya kafesler gibi sayısal temsilleri içerebilir. Kinematik modeller, ekleme açıları, yer değiştirmeler ve hızlar dahil olmak üzere ürünün hareketini yakalar.

Malzeme Özellikleri, Üründe kullanılan malzemelerin fiziksel davranışlarını açıklayan matematiksel modeller. Bu, esneklik, sertlik, termal iletkenlik ve yoğunluk gibi özellikleri içerir. Doğrusal esneklik modelleri, sonlu eleman modelleri veya kurucu denklemler gibi çeşitli malzeme modelleri kullanılabilir.

Simülasyon ve Analiz Modelleri, Ürünün farklı koşullar altındaki davranışını simüle eden ve analiz eden matematiksel modeller. Bu modeller yapısal analiz, akışkan dinamiği, ısı transferi, elektromanyetik özellikler veya ürünün işleviyle ilgili diğer fiziksel olayları kapsayabilir. Simülasyon teknikleri, sonlu elemanlar analizi, hesaplamalı akışkan dinamiği veya matematiksel denklemlere dayalı analitik çözümler gibi sayısal yöntemleri içerebilir.

Kontrol ve Optimizasyon, Ürünün performansını iyileştirmek için kullanılan kontrol sistemleri ve optimizasyon algoritmaları için matematiksel modeller. Kontrol modelleri , ürünün davranışını düzenlemek için geri bildirim kontrolü, optimum kontrol veya tahmine dayalı kontrol algoritmaları içerebilir . Optimizasyon modelleri, verimlilik, güç veya maliyet gibi belirli performans kriterlerini en üst düzeye çıkaran optimum tasarım parametrelerini veya operasyonel ayarları bulmayı amaçlar.

Veri Entegrasyonu ve Analitik, Veri entegrasyonu, birleştirme ve analitiği işleyen matematiksel modeller . Bu, sensörlerden, izleme sistemlerinden veya diğer kaynaklardan toplanan gerçek zamanlı veya geçmiş verilere dayalı olarak öngörüler çıkarmak, kalıpları belirlemek ve tahminler yapmak için istatistiksel teknikleri, makine öğrenimi algoritmalarını veya veriye dayalı modelleri içerir.

Dijital ikiz CAD için matematiksel modellerin, modellenen ürün veya sistemin türüne bağlı olarak oldukça uzmanlaşmış ve alana özgü olabileceğini belirtmek önemlidir. Modellerin karmaşıklığı, basit analitik denklemlerden gelişmiş sayısal simülasyonlara kadar önemli ölçüde değişebilir. Bu nedenle, dijital ikiz CAD'de kullanılan matematiksel modeller, ilgili fizik, mühendislik ilkeleri ve veri analizi tekniklerini birleştirerek uygulamanın özel gereksinimlerine ve hedeflerine göre uyarlanır .

3.3. Benzetim

Benzetim yapısı ile mevcut durum program üzerinde çalıştırılacaktır ve sonuçları için sistem çalıştırılacaktır. Benzetim dinamik olarak bir kurgu sisteminin teknoloji desteği ile ele alınması durumu olmakla birlikte çalışmanın en önemli yardımcılardan birisidir.

3.3.1. Matematiksel model

İlgili çalışma içerisinde kullanılan yapının matematiksel model yapısı tablo ile açıklanmıştır. Daha sonra ilgili ilişkiler denklemler ile verilmiştir.

Tablo 3.1. Senkronizasyon odaklı yeniden yapılandırma mekanizmasının matematiksel formülasyonu için notasyonlar.

Notasyonlar	Açıklama
c	Bir müşteri siparişini temsil eden dizin
$\{S_1^z, S_2^z, \dots, S_m^z, \dots, S_M^z\}$	Sınırlı müşteri siparişleri kümesi
a	Bir ürün ailesini temsil eden dizin
$\{U_1, U_2, \dots, U_a, \dots, U_A\}$	Sınırlı sayıda ürün ailesi
k	Bir montaj adasını temsil eden dizin
$\{F_1, F_2, \dots, F_k, \dots, F_K\}$	Sonlu montaj adaları seti
g_{ma}	S_m^{tz} siparişine göre U_{va} ailesinden gerekli ürün miktarı
U_{ma}^u	U_m^z sırasına göre U_a ailesinden gerekli $u - th$ ürünü, $u = 1, 2, \dots, g_{ma}$
Z_{sg}^m	Müşteri siparişinin varış tarihi S_a^z
Z_{sk}^m	Müşteri siparişinin vade tarihi Z_m^z
I_a	U_a Ürün ailesinden bir ürün için iş görevinin işlenme süresi
K_a	U_a Ailesinden gelen ürün için kurulum görevinin kurulum süresi
$IZ_b(U_{ma}^u)$	U_{ma}^u Ürünü için iş görevinin başlangıç zamanı
$IZ_e(U_{ma}^u)$	U_{ma}^u Ürünü için iş görevinin bitiş zamanı
$KZ_b(U_{ma}^u)$	U_{ma}^u Ürünü için kurulum görevinin başlangıç zamanı
$KZ_e(U_{ma}^u)$	U_{ma}^u Ürünü için kurulum görevinin bitiş zamanı
O_0	Optimum yapılandırılmış montaj ada sayısı
$x^{ak}(U_{ma}^u)$	U_{ma}^u ürünü için iş görevi montaj adası a_k 'de gerçekleştirilirse 1'e, aksi takdirde 0'a eşit olan Boolean değişkeni
$y^{ak}(U_{ma}^u)$	U_{ma}^u ürünü için kurulum görevi montaj adası a_k 'de gerçekleştirilirse 1'e, aksi takdirde 0'a eşit olan Boolean değişkeni

Matematiksel model için yukarıda verilen (Tablo 3.1) bilgiler ile birlikte aşağıdaki sıra ve formülasyon yapıları kullanılarak yapı kurgulanmıştır. Değersel çıktılar, rapor çıktıları olarak ele alınmaktadır.

$$ZW^{K_0} + ZK^{K_0} = \min\{(ZW^{K'} + ZW^{K'})\}, K' = 1, 2, \dots, K \quad (3.1)$$

$$ZW^{K'} = ZW_{KI}^{K'} + TW_{II}^{K'} \quad (3.2)$$

$$ZW_{KI}^{K'} = \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A \sum_u^{g_{ma}} \sum_{k=1}^{K'} [x^{F_k}(U_{ma}^u) IZ_b(U_{ma}^u) - y^{F_k}(U_{ma}^u) KZ_e(U_{ma}^u)] \quad (3.3)$$

$$ZW_{II}^{K'} = \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A \sum_u^{g_{ma}} \sum_{k=1}^{K'} [x^{IF_k}(U_{ma}^u) IZ_b(U_{ma}^{u+1}) - x^{IF_k}(U_{ma}^u) IZ_e(U_{ma}^u)] \quad (3.4)$$

$$ZK^{K'} = \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A \sum_u^{g_{ma}} \sum_{k=1}^{K'} y^{F_k}(U_{ma}^u) K_a \quad (3.5)$$

$$\sum_{k=1}^{K'} x^{F_k}(U_{ma}^u) = g_{ma}, \forall u, m, a \quad (3.6)$$

$$Z_a^m \leq IZ_b(U_{ma}^u) \leq Z_{sk}^m, \forall k, u, m, a \quad (3.7)$$

$$Z_{sg}^m \leq IZ_{sk}(U_{ma}^u) \leq Z_{sk}^{cm}, \forall k, u, m, a \quad (3.8)$$

$$Z_{sg}^m \leq KZ_b(U_{ma}^u) \leq Z_{sk}^m, \forall k, u, m, a \quad (3.9)$$

$$Z_{sg}^m \leq KZ_e(U_{ma}^u) \leq Z_{sk}^m, \forall k, u, m, a \quad (3.10)$$

$$\sum_{a=1}^A \sum_u^{g_{Z_{ma}}} \sum_{k=1}^{K'} [x^{a_k}(U_{ma}^u) A_{ma} + y^{a_k}(U_{ma}^u) K_{ma}] \leq Z_{sk}^m - Z_{sg}^m, \forall m \quad (3.11)$$

$$x^{a_k}(U_{ma}^{u+1}) AZ_b(U_{ma}^{u+1}) - x^{a_k}(U_{ma}^u) AZ_b(U_{ma}^u) \geq I_a, \forall k, u, m, a \quad (3.12)$$

$$y^{a_k}(U_{ma}^{u+1}) ST_b(U_{ma}^{u+1}) - y^{a_k}(U_{vc}^u) KZ_b(U_{ma}^u) \geq K_a, \forall k, u, m, a \quad (3.13)$$

$$x^{a_k}(U_{ma}^u) AZ_b(U_{ma}^u) - y^{u_k}(U_{ma}^u) KZ_b(U_{ma}^u) \geq K_a, \forall k, u, m, a \quad (3.14)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^A \sum_u^{g_{ma}} \sum_{k=1}^{K'} y^{f_k}(U_{ma}^u) \geq V, \forall k, u, m, a \quad (3.15)$$

$$x^{a_k}(U_{ma}^u) \in \{0,1\}, \forall k, u, m, a \quad (3.16)$$

Sağlanan denklemlerin ve kısıtlamaların bir yorumu:

Denklem (1), yapılandırılması gereken montaj adalarının optimum miktarını belirler. Optimizasyon hedefini ve karar değişkenlerini anlamak için bu denklemde yer alan spesifik formülasyon ve değişkenlerin sağlanması gerekir. Denklem (2): Bu denklem, montaj sürecindeki toplam bekleme süresini temsil eder. Çeşitli görevler veya işlemler arasında beklemek için harcanan zamanı dikkate alır. Denklem (3): Bu denklem, özellikle bir iş görevi ile kurulum görevi arasındaki bekleme süresini ele alır ve bu bağlamda bekleme süresinin azaltılmasının önemini vurgular. Denklem (4): Bu denklem, ardışık görevler arasındaki bekleme süresinin en aza indirilmesinin önemine işaret ederek, bitişik iş görevleri arasındaki bekleme süresine odaklanır. Denklem (5): Bu denklem, kurulum işlemlerini optimize etmenin önemini yansıtan montaj sürecinde gerekli olan toplam kurulum süresini tanımlar. Denklem (6): Bu denklem, üretim miktarının müşteri gereksinimlerini karşılaması gerektiğini belirtir ve istenilen miktarda ürünün üretilmesini sağlar.

Kısıtlamalar (7)-(10): Bu kısıtlamalar, herhangi bir görevin başlangıç ve bitiş saatlerine sınırlar koyarak, siparişin izin verilen süresini aşmamasını sağlar. Kısıt(11): Bu kısıt, her siparişin tamamlanma süresinin o sipariş için belirtilen izin verilen süreyi aşmamasını garanti eder. Kısıtlamalar (12)-(13): Bu kısıtlamalar, kurulum ve iş görevlerinin önleyici olmamasını, yani başlatıldıktan sonra kesintiye uğramamasını sağlar. Ek olarak, herhangi bir zamanda yapılandırılmış her adada yalnızca bir kurulum görevi veya iş görevi işlenebilir. Kısıt (14): Bu kısıtlama, bir iş görevinin yalnızca o iş görevi için gerekli olan kurulum görevi tamamlandığında başlayabilmesini sağlar. Kısıt (15): Bu kısıtlama, üretim sürecindeki kurulum işlemlerinin önemini vurgulayarak, her ürün ailesi için en az bir kurulum görevinin gerçekleştirilmesi gerektiğini garanti eder. Denklemler (16): Bu denklemler, optimizasyon probleminde yer alan karar değişkenlerinin aralıklarını veya sınırlarını tanımlar.

Genel olarak, bu matematiksel model, bekleme sürelerini, kurulum sürelerini göz önünde bulundurarak ve çeşitli kısıtlamalara bağlı olarak müşteri gereksinimlerini karşılayarak montaj adalarının yapılandırmasını optimize etmeyi amaçlar. Ancak, belirli değişkenler, tanımları ve optimizasyon hedefi hakkında daha fazla ayrıntı olmadan daha kesin bir yorum sağlamak zordur.

3.3.2. Benzetim modeli

Benzetim yapısı için Siemens Tecnomatix Plant Simulation programının 16. Versiyonu ile çalışma yapılacaktır. Verim analizi çıktılarının daha sonrasında sensör ve aktif girdi çıktı bağlantılarının yapılabilmesi programın tercih sebepleri arasındadır. Ek olarak Sisteme dinamik girdi çıktıları ile müdahale söz konusudur. Görselleştirme ile ürün takibini Süreç içerisinde 3D olarak anlık takip edebilirsiniz. Genetik algoritmalar için var olan arayüzü ve özelleştirilebilir yapıları ile sistemin geliştirilmesi durumunda ek bir program yada yazılıma ihtiyaç duymadan aynı program üzerinde yapı geliştirilebilir.

4. UYGULAMA

Tez içerisinde 2 farklı şase tipi ve 2 farklı motor seçeneği ile birlikte toplamda 4 adet model üretimi yapabilen bir fabrikanın şase ve motor seçimlerinin rastgele olarak belirlenmesi üzerine ilgili motor tipi ve şase seçeneğine bağlı bir kombinasyon ile gerekli ilavelerin yapılmasının ardından ilk aşamada sensör ve insan yardımıyla belirlenen ilgili üretim hattına aktarılması üzerine gerekli eklenti sırası için montaj durumu ele alınmıştır. İlave süre girdisi dikkate alınmamıştır. Daha sonrasında belirli ilaveler (montaj parçaları) ve son kalite kontrol aşaması ile birlikte ürün tamamlanarak netleştirildi. Bu konumda statik rapor değerlendirmesi ve grafik üzerinden net olarak belirlenen noktalar iyileştirildi. Karmaşık ve gereksiz olan diğer durumlarda bekleme ve bloklama oluşturan hat yapısının kaldırıldı ve tüm kaynakların tüm modellere etkin şekilde müdahale edebileceği tek bir hat yapısı dikkate alındı. Stok alanının artırılması ve çıktıların tekrar göstergeler üzerinden değerlendirilmesi ele alındı. Ürün bazlı kurulum zamanları ve hata oranları ve düzenleme öncesi ve sonrası tez de benzetim modeli olarak ele alındı ve farklı durum senaryoları ve iyileştirmeler ve önerilen modele getirmiş olduğu katkılar gösterildi.

4.1. İlk Durum İçin Model Oluşturma Ve Analiz Yapılması

Tez içerisinde Tasarım ve üretim yapısı iyileştirme çalışmalarına yer verilecek, ana konu olarak üretim yapısındaki iyileştirmeler ele alınacaktır. Tasarım konusunda yapılan iyileştirmeler görsellerle temsil edilecek ve gelecekte başka bir çalışma içerisinde detaylandırılacaktır.

Tasarım öncesi model dağılımları ve üretim araçları çokça farklı olan üretim için Şekil 4.1. İyileştirme sonucunda fikstür, taşıma aparatları, şablon vb. Yapılar ortak hale getirilmiştir.(Şekil 4.2)



P_A
Model 1
Engine Power 130



P_B
Model 2
Engine Power 130

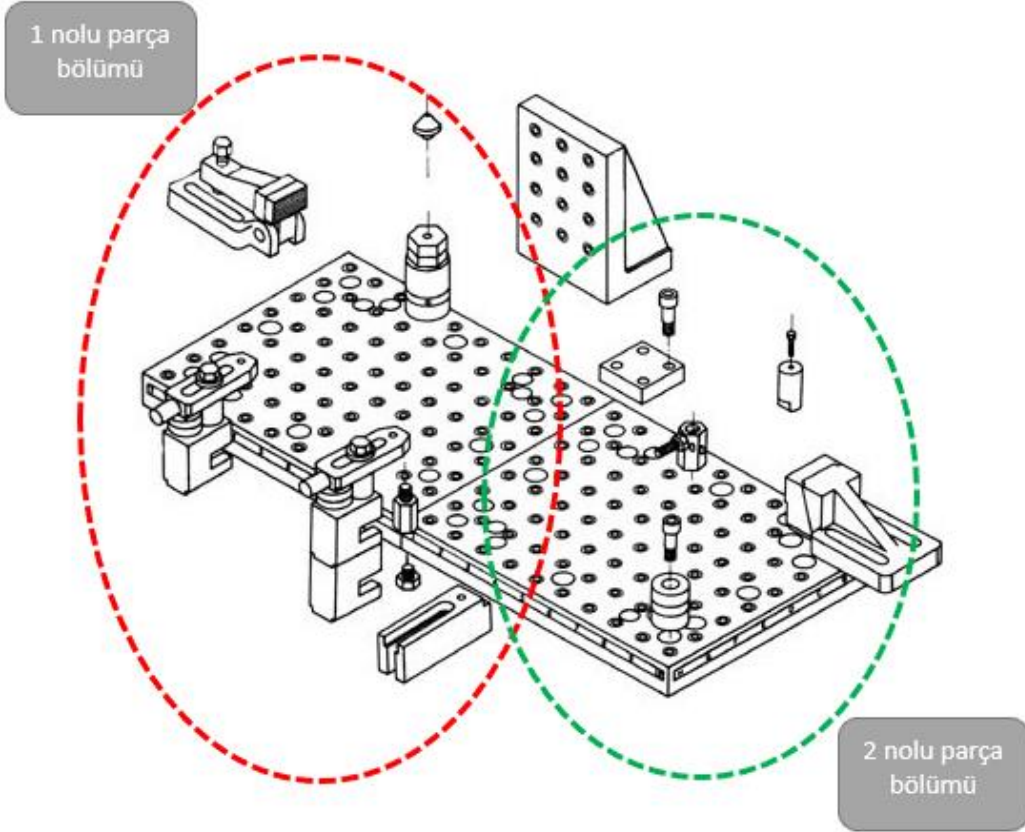


P_C
Model 3
Engine Power 150



P_D
Model 4
Engine Power 150

Şekil 4.1. Eski ve alt yapıları birbirinden farklı modeller



Şekil 4.2. Ortaklaştırma yapılmış fikstür

İyileştirme sonucunda Şekil 4.1’te yer verildiği birden fazla parça ortak fikstür, şablon, jig vb. Yapılarda imal edilebilir olmaktadır.

Ek olarak Malzeme seçimleride kullanımı kolaylaştıracak şekilde yapılmıştır. Gövde mukavemetinin gerekli olmadığı noktalarda AL alaşımlara yer verilerek ağırlıktan tasarruf sağlanmış ve iyileştirmeye gidilmiştir.

4.1.1. Model oluşturma

Model oluşturma Gerçek bir üretim tesisi üzerinde alınan verilerin Dijital ikiz programına detaylıca ve doğruca aktarılması ile Sanal ortamda bir benzer yapının oluşturulması olayıdır.



P_A Sedan
Chasis A type
Engine Power 130



P_B Coupe
Chasis B type
Engine Power 130



P_C Cabriolet
Chasis A type
Engine Power 150



P_D RoadSter
Chasis B type
Engine Power 150

Şekil 4.3. Araç tipleri ve özellikleri

A tip şase uzun, B tip şase kısa yapıyı tasvir etmektedir. 130-150 beygirlik motor güç farklılıkları da talep bazlı olarak etkin üretilen ürünler olarak ürün gamında yer almaktadır (Şekil 4.3). İlgili montaj alanlarına ve gerekli özel parça kaynaklarına sahip olan bu ürün çeşitleri üretim yapısının ortasında yer alan dağılım noktasının merkezini oluşturmaktadır.

Model kurulumunun ardından süre girdisi olarak 6 aylık süre referans alınmıştır. Bu süre Tez içerisinde toplam süreç, Referans süre, çalışma süresinin tamamı gibi anahtar kelimelerle ifade edilecektir.

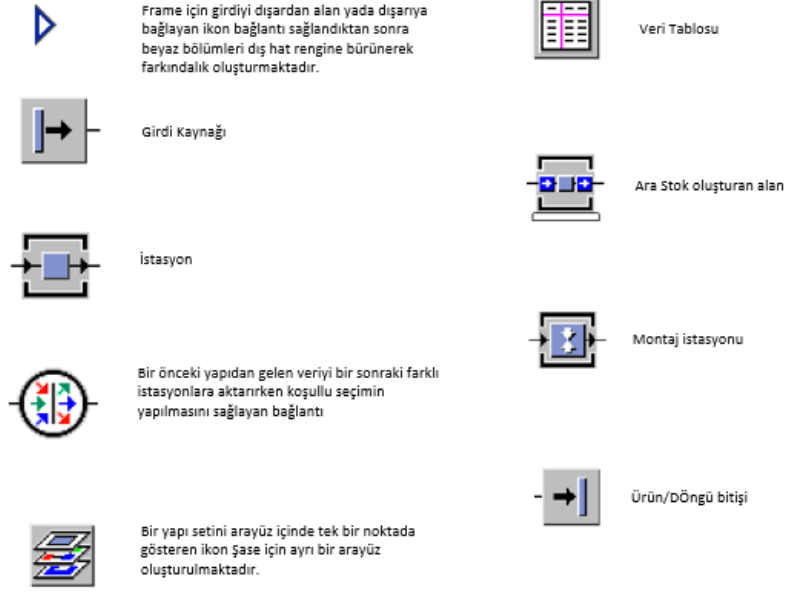
4.1.2. İlk durum modelinin kurulması

Model oluşturma için toplanılan süre verileri (Tablo 4.1) sırasıyla program içerisinde yerleştirilmek üzere incelenerek eksik olup olmadığı tekrar değerlendirilmesinin ardından oluşan son veri listesi yapıları ve girdi süre değerleri listelenir.

Tablo 4.1. Sipariş oranları için şase ve motor tiplerinin girdi adetleri

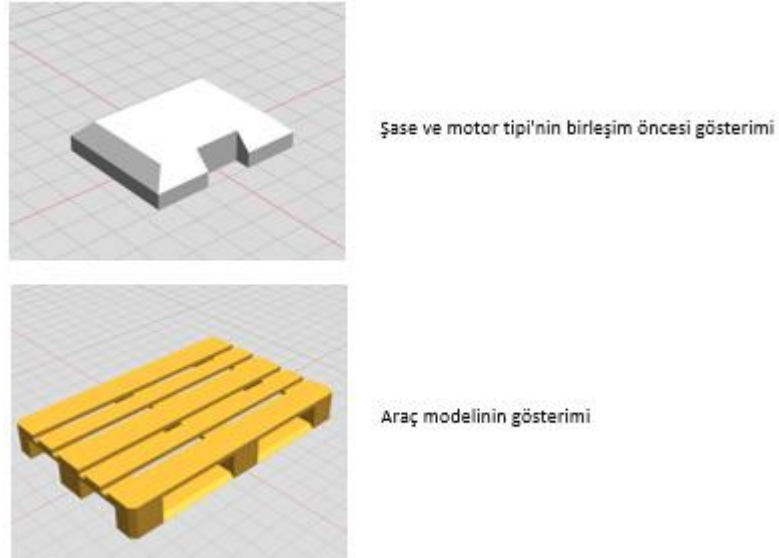
MU	Number	MU	Number
.UserObjects.TypeA	3	.UserObjects.BG130	3
.UserObjects.TypeB	5	.UserObjects.BG150	5
.UserObjects.TypeA	2	.UserObjects.BG130	2
.UserObjects.TypeB	4	.UserObjects.BG150	4
.UserObjects.TypeA	5	.UserObjects.BG130	5
.UserObjects.TypeB	4	.UserObjects.BG150	4
.UserObjects.TypeA	6	.UserObjects.BG130	6
.UserObjects.TypeB	4	.UserObjects.BG150	4
.UserObjects.TypeA	4	.UserObjects.BG130	4
.UserObjects.TypeB	8	.UserObjects.BG150	8
.UserObjects.TypeA	1	.UserObjects.BG130	1
.UserObjects.TypeB	3	.UserObjects.BG150	3
.UserObjects.TypeA	3	.UserObjects.BG130	3
.UserObjects.TypeB	5	.UserObjects.BG150	5
.UserObjects.TypeA	2	.UserObjects.BG130	2
.UserObjects.TypeB	4	.UserObjects.BG150	4
.UserObjects.TypeA	4	.UserObjects.BG130	4
.UserObjects.TypeB	6	.UserObjects.BG150	6
.UserObjects.TypeA	4	.UserObjects.BG130	4
.UserObjects.TypeB	4	.UserObjects.BG150	4
.UserObjects.TypeA	8	.UserObjects.BG130	8
.UserObjects.TypeB	1	.UserObjects.BG150	1
.UserObjects.TypeA	3	.UserObjects.BG130	3

Ardından Siemens Tecnomatix Plant Simulation 16 programı içerisinde kaynaklar, listeler, aktarma yapıları, karar yapıları, montaj istasyonları ve stok alanı gibi bölgeler Şekil 4.4’de belirtilen ikonlar ile gerçek yapıya sadık kalınarak ve en alt süreye etkiyen değere dikkat edilerek yerleştirilir. Burada Aşağıda bahsi geçen bileşenler kullanılmaktadır.



Şekil 4.4. Program içerisinde kullanılan ikonların tanımlamaları

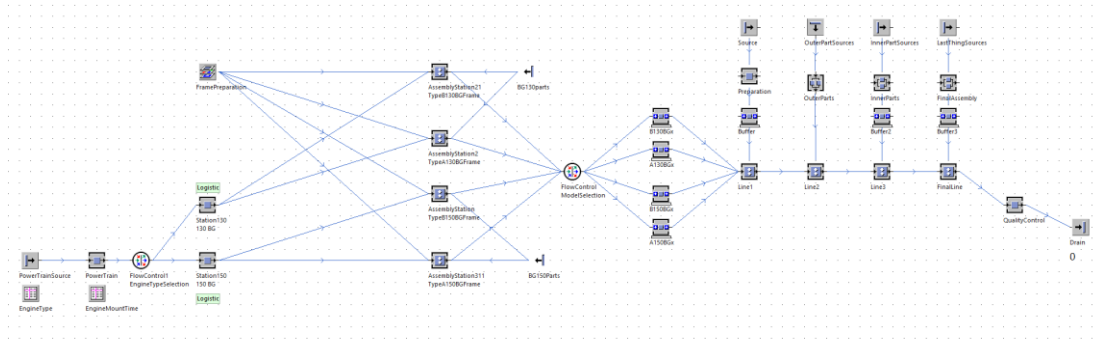
Ek olarak süreç içerisinde ürünler aşağıdaki Şekil 4.5 İle gösterilen şekilde temsil edilmişlerdir.



Şekil 4.5. Sembolik olarak Tanımlanmış 3D görselleri

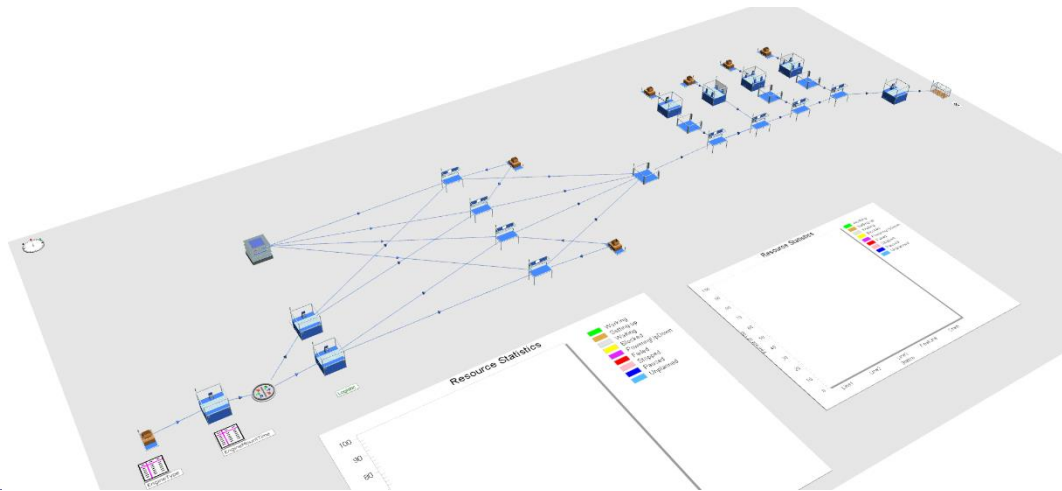
Yerleştirme ardından gerekli bağlantılar belirtilir. Program içerisinde belirli karar mekanizma yapıları ürün çıktıları için oluşan farklılıkları oluşturmak adına dönüm noktaları olarak yerleştirilir. Süreçte yer alan aktarma süreleri program içerisinde istasyon olarak verilmiş, istasyonun yanına lojistik ibaresi eklenerek içerisinde ilgili süre verisi girilmiştir.

Süreç kurgusu tamamlandıktan sonra gerçekte olan ile karşılaştırılması yapılarak eksik, hatalı, fazla vb. istasyonlar ya da aktarıcılar var ise çıkartılmış ya da düzeltilmişler (Şekil 4.6 Ve Şekil 4.7).

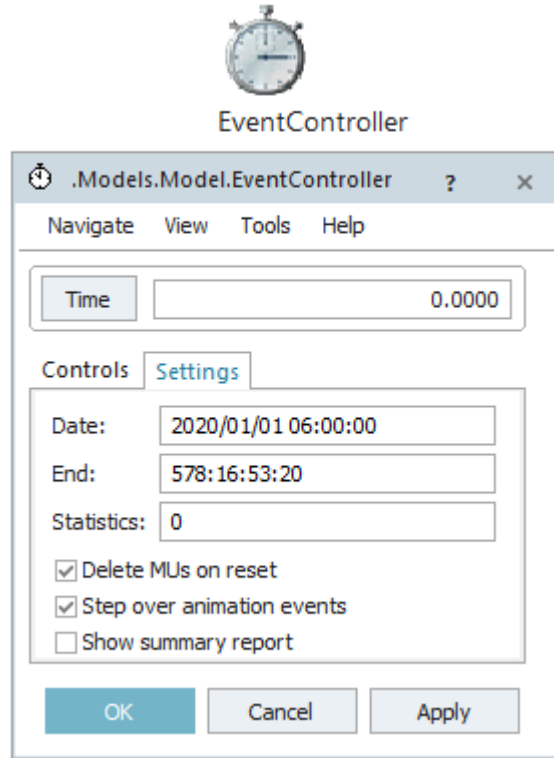


Şekil 4.6. Yerleşimi tamamlanmış dağılım

Program arayüzünde oluşturulan model Şekil 4.6 İle verilmiştir. Aynı modelin 3D görseli Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Model tamamlandıktan sonra süreci ne kadar olduğu EventController’a (etkinlik kontrolcüsü) (Şekil 4.8) girdi olarak verilerek model tamamlanır.

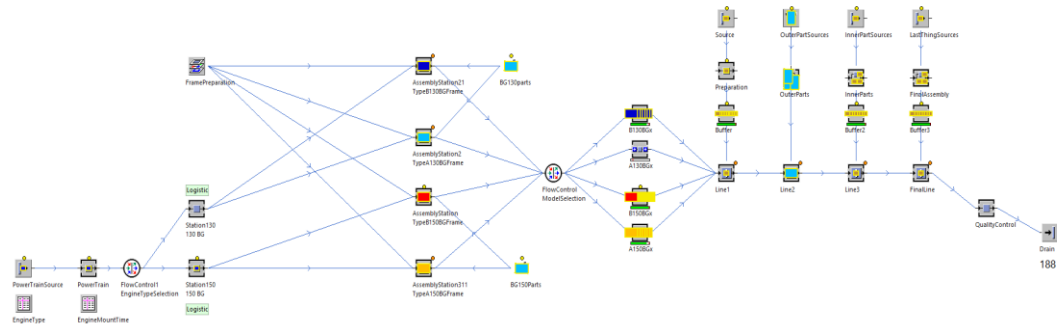


Şekil 4.7. Yerleşimi tamamlanmış dağılımın 3D görseli



Şekil 4.8. EventController ikon ve arayüzü

4.2. Modelin İncelenmesi Ve Verim Analizinin Yapılması



Şekil 4.9. Çalışır durumdaki ilk durum görseli

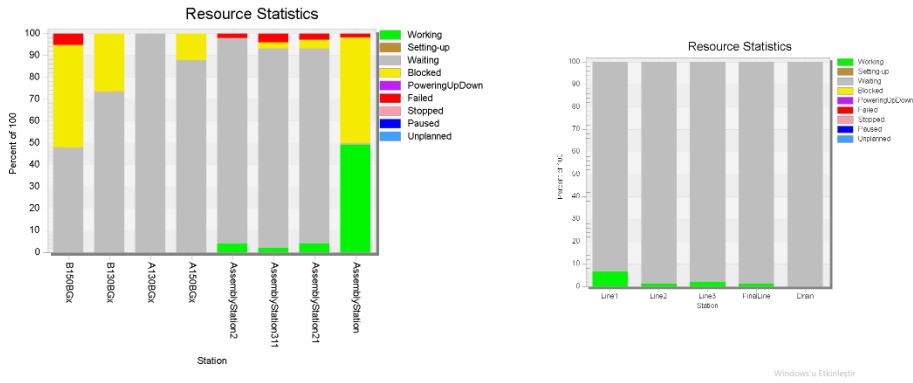
İlk model kurulumunun ve hata giderme, düzeltme hususlarının ardından çalıştırılması yapılan sistemin çalışma doğruluğu aktif olarak görsel ve çıktılarla anlık olarak kontrol edilir (Şekil 4.9). Daha sonrasında ilk çalışmanın girdi olarak verilen süresi tamamlandığında program süreci kendiliğinden sonlanır. Seçilen arayüz durumuna bağlı olarak durabilir ve/veya rapor çıktısını ekrana getirebilir.

4.2.1. Verim analizinin incelenmesi ve yapılması

4.2.1.1. Verim analizi

Verim analizi olarak ele alınacak olan durum, ilk durum ve iyileştirme ile geliştirilmiş olan durum arasındaki SP çıktılarının ilgili istasyonları arasındaki farkların kıyaslanmasından oluşacaktır. Tez içerisinde şekiller ile takip edilebilir yapıda olan rapor çıktılarının yüzdelik dağılımdaki ve bloklanma oranlarındaki değişimler ile birlikte kıyaslama yapılacaktır. Ek olarak değerlendirilecek olan yapının mevcut içerikte bir alternatifi üzerinden değerlendirme yapılmaktadır.

4.2.1.2. Verim analizinin yapılması



Şekil 4.10. Ana istasyon çalışmalarının kendi iç yüzdeleri

Model oluşturma aşamasının ardından EventController içerisine girilen ilgili sürenin tamamlanmasıyla elde edilen çıktılar, belirtilen şekilde darboğaz, bolluk vb. Hususlara dikkat edilerek incelenir. İncelenen çıktıların sonucunda 4 farklı hatta besleme yapan FlowControl noktasının aslında yapıyı sıkıştırdığı, bir darboğaz oluşturarak verim oranını düşürdüğü açık şekilde matematiksel olarak ve görsel olarak farkedilmiştir (Şekil 4.9). Bu aşamanın ardından bu noktanın iyileştirilmesi için iki adet senaryo denemesi ile birlikte en çok verim arttırımı sağlanan yapı Siemens Tecnomatix Plant Simulation 16 programına 3D olarak yansıtılacak ve ardından sistem çalışması tamamlanılarak verim oran çıktıları Kontrol edilecektir.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
A130BGx	0.00%	0.00%	45.86%	54.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
A150BGx	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation	31.81%	0.00%	66.36%	0.02%	0.00%	1.81%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation2	23.53%	0.00%	22.19%	52.19%	0.00%	2.08%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation21	5.10%	0.00%	91.95%	0.00%	0.00%	2.94%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation311	2.62%	0.00%	93.23%	0.00%	0.00%	4.14%	0.00%	0.00%	0.00%	
B130BGx	0.00%	0.00%	99.88%	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
B150BGx	0.00%	0.00%	94.81%	0.00%	0.00%	5.19%	0.00%	0.00%	0.00%	
BG130parts	0.00%	0.00%	0.04%	89.83%	0.00%	10.13%	0.00%	0.00%	0.00%	
BG150Parts	0.00%	0.00%	0.00%	89.56%	0.00%	10.44%	0.00%	0.00%	0.00%	
Buffer	0.00%	0.00%	0.57%	99.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Buffer2	0.00%	0.00%	0.36%	99.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Buffer3	0.00%	0.00%	0.37%	99.63%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Drain	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
FinalAssembly	0.92%	0.00%	33.56%	65.52%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
FinalLine	1.75%	0.00%	98.21%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
InnerPartSources	0.00%	0.00%	0.39%	99.61%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
InnerParts	0.00%	0.00%	33.57%	66.43%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
LastThingSources	0.00%	0.00%	0.39%	99.61%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Line1	8.75%	0.00%	91.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Line2	1.75%	0.00%	98.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Line3	2.62%	0.00%	97.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
OuterPartSources	0.00%	0.00%	0.13%	99.87%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
OuterParts	0.33%	0.00%	32.90%	64.82%	0.00%	1.94%	0.00%	0.00%	0.00%	
PowerTrain	6.81%	0.00%	0.03%	88.47%	0.00%	4.69%	0.00%	0.00%	0.00%	
PowerTrainSource	0.00%	0.00%	0.06%	99.94%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Preparation	2.78%	0.00%	0.43%	96.79%	0.00%	2.07%	0.00%	0.00%	0.00%	
QualityControl	1.75%	0.00%	96.18%	0.00%	0.00%	2.07%	0.00%	0.00%	0.00%	
Source	0.00%	0.00%	0.63%	99.37%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Station130	1.79%	0.00%	24.25%	73.96%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Station150	2.85%	0.00%	66.87%	30.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Şekil 4.11. Referans süreçte genel yüzde dağılımları

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
PowerTrainSource	1027	1026	0	1	0.06%	-	99.94%	99.94%
Drain	243	243	0	1	100.00%	-	0.00%	0.00%
FinalLine	244	243	0	1	0.11%	-	99.89%	99.89%
Line2	244	243	0	1	0.11%	-	99.89%	99.89%
Line3	244	243	0	1	0.10%	-	99.90%	99.90%
FinalAssembly	256	252	0	4	0.04%	-	82.99%	82.99%
Preparation	257	256	0	1	0.43%	-	99.57%	99.57%
Source	258	257	0	1	0.63%	-	99.37%	99.37%
OuterPartSources	249	248	0	1	0.13%	-	99.87%	99.87%
InnerPartSources	257	256	0	1	0.39%	-	99.61%	99.61%
InnerParts	256	252	0	4	0.06%	-	82.97%	82.97%
LastThingSources	257	256	0	1	0.39%	-	99.61%	99.61%
Buffer	256	244	0	12	0.05%	99.43%	99.71%	99.71%
Station130	497	496	0	1	24.25%	-	75.75%	75.75%
Station150	528	528	0	1	66.87%	-	33.13%	33.13%
AssemblyStation2	253	252	0	1	0.10%	-	99.90%	99.91%
BG130parts	497	496	0	1	0.05%	-	99.95%	99.96%
BG150Parts	529	528	0	1	0.00%	-	100.00%	100.00%
OuterParts	248	244	0	4	0.00%	-	83.06%	83.07%
Line1	244	243	0	1	0.01%	-	99.99%	99.99%
B150BGx	285	244	0	43	1.50%	0.00%	0.63%	0.63%
QualityControl	243	243	0	1	98.21%	-	1.79%	1.79%
PowerTrain	1026	1025	0	1	0.03%	-	99.97%	99.97%
Buffer2	252	244	0	8	0.10%	99.64%	99.81%	99.81%
Buffer3	252	244	0	8	0.11%	99.63%	99.79%	99.79%
AssemblyStation311	243	243	0	1	66.28%	-	33.72%	33.74%
AssemblyStation21	243	243	0	1	72.86%	-	27.14%	27.08%
AssemblyStation	285	285	0	1	59.30%	-	40.70%	40.68%
B130BGx	243	243	0	8	86.78%	0.12%	3.99%	3.99%
A130BGx	252	244	0	8	22.54%	54.14%	63.77%	63.77%
A150BGx	243	243	0	7	87.51%	0.00%	3.71%	3.71%

Material Flow Properties

Şekil 4.12. Akıştaki ürün adetleri ve Çalışma süreleri

Object	Portion/Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.06%	3	8:15:00.0000	2:45:00.0000
Drain	100.00%	244	578:16:53:20.0000	2:08:55:18.0328
FinalLine	0.11%	1	15:30:00.0000	15:30:00.0000
Line2	0.11%	7	14:49:41.9776	2:07:05.9968
Line3	0.10%	1	13:30:10.0000	13:30:10.0000
FinalAssembly	0.04%	2	5:00:00.0000	2:30:00.0000
Preparation	0.43%	15	2:12:00:00.0000	4:00:00.0000
Source	0.63%	16	3:16:00:00.0000	5:30:00.0000
OuterPartSources	0.13%	4	17:30:00.0000	4:22:30.0000
InnerPartSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000
InnerParts	0.06%	2	8:59:40.0000	4:29:50.0000
LastThingSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000
Buffer	0.05%	2	7:00:00.0000	3:30:00.0000
Station130	24.25%	223	140:08:17:44.9746	15:06:16.0761
Station150	66.87%	132	387:00:05:13.8948	2:22:21:51.4689
AssemblyStation2	0.09%	31	13:06:45.5244	25:22.7589
BG130parts	0.04%	1	5:50:00.0000	5:50:00.0000
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000
OuterParts	0.00%	1	30:00.0000	30:00.0000
Line1	0.01%	1	1:30:00.0000	1:30:00.0000
B150BGx	1.42%	12	8:05:15:57.1365	16:26:19.7614
QualityControl	96.18%	244	556:14:56:37.8517	2:06:44:59.1715
PowerTrain	0.03%	2	4:00:00.0000	2:00:00.0000
Buffer2	0.10%	1	13:30:10.0000	13:30:10.0000
Buffer3	0.11%	1	15:30:00.0000	15:30:00.0000
AssemblyStation311	63.54%	48	367:16:38:19.9990	7:15:50:47.9166
AssemblyStation21	70.72%	162	409:05:37:10.4285	2:12:37:38.2125
AssemblyStation	58.23%	27	336:23:13:41.7174	12:11:31:37.1006
B130BGx	86.78%	191	502:04:45:00.5617	2:15:06:12.2542
A130BGx	22.54%	144	130:10:57:11.2479	21:44:33.8281
A150BGx	87.51%	191	506:10:34:10.9088	2:15:38:11.3660

Şekil 4.13. Kurulum/Bekleme/blok süreleri

Object	Portion	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.06%	3	8:15:00.0000	2:45:00.0000	0.0000
Drain	100.00%	244	578:16:53:20.0000	2:08:55:18.0328	19:20:49:40.4942
FinalLine	0.11%	1	15:30:00.0000	15:30:00.0000	0.0000
Line2	0.11%	7	14:49:41.9776	2:07:05.9968	5:21:00.2356
Line3	0.10%	1	13:30:10.0000	13:30:10.0000	0.0000
FinalAssembly	0.04%	2	5:00:00.0000	2:30:00.0000	0.0000
Preparation	0.43%	15	2:12:00:00.0000	4:00:00.0000	0.0000
Source	0.63%	16	3:16:00:00.0000	5:30:00.0000	0.0000
OuterPartSources	0.13%	4	17:30:00.0000	4:22:30.0000	15:00.0000
InnerPartSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000	0.0000
InnerParts	0.06%	2	8:59:40.0000	4:29:50.0000	0.0000
LastThingSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000	0.0000
Buffer	0.05%	2	7:00:00.0000	3:30:00.0000	2:49:42.3376
Station130	24.25%	223	140:08:17:44.9746	15:06:16.0761	21:38:22.3028
Station150	66.87%	132	387:00:05:13.8948	2:22:21:51.4689	27:02:07:06.3483
AssemblyStation2	0.09%	31	13:06:45.5244	25:22.7589	23:19.3195
BG130parts	0.04%	1	5:50:00.0000	5:50:00.0000	0.0000
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterParts	0.00%	1	30:00.0000	30:00.0000	0.0000
Line1	0.01%	1	1:30:00.0000	1:30:00.0000	0.0000
B150BGx	1.42%	12	8:05:15:57.1365	16:26:19.7614	12:25:42.5538
QualityControl	96.18%	244	556:14:56:37.8517	2:06:44:59.1715	19:11:05:56.3185
PowerTrain	0.03%	2	4:00:00.0000	2:00:00.0000	0.0000
Buffer2	0.10%	1	13:30:10.0000	13:30:10.0000	0.0000
Buffer3	0.11%	1	15:30:00.0000	15:30:00.0000	0.0000
AssemblyStation311	63.54%	48	367:16:38:19.9990	7:15:50:47.9166	42:22:58:33.6188
AssemblyStation21	70.72%	162	409:05:37:10.4285	2:12:37:38.2125	23:21:48:21.1446
AssemblyStation	58.23%	27	336:23:13:41.7174	12:11:31:37.1006	58:10:53:34.6311
B130BGx	86.78%	191	502:04:45:00.5617	2:15:06:12.2542	22:15:16:29.6222
A130BGx	22.54%	144	130:10:57:11.2479	21:44:33.8281	18:56:02.8264
A150BGx	87.51%	191	506:10:34:10.9088	2:15:38:11.3660	22:11:54:50.9118

Empty Time

Şekil 4.14. Tüm süre içerisinde boş bekleme süreleri

Object	Waiting for Parts	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
FinalLine	98.10%	244	567:16:25:57.0905	2:07:50:16.2176	19:20:57:30.1286
Line2	98.14%	244	567:23:03:38.0224	2:07:51:54.0083	19:21:06:59.6513
Line3	97.28%	244	562:22:53:10.0000	2:07:22:20.9426	19:21:03:07.6702
FinalAssembly	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Preparation	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Source	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
InnerPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
InnerParts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
LastThingSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Station130	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Station150	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
AssemblyStation2	22.10%	110	127:21:28:31.8464	1:03:54:15.5622	18:53:24.2972
BG130parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterParts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Line1	91.24%	216	528:00:23:20.0000	2:10:40:06.4815	21:03:10:53.7065
B150BGx	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
QualityControl	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
PowerTrain	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer2	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer3	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
AssemblyStation311	29.69%	197	171:19:56:02.0580	20:56:01.2287	1:03:11:28.6202
AssemblyStation21	21.24%	94	122:21:53:22.0634	1:07:22:54.4900	19:01:23.8990
AssemblyStation	8.13%	99	47:01:04:03.5653	11:24:17.0057	17:14:09.3922
B130BGx	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
A130BGx	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
A150BGx	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000

Waiting Times for Parts

Şekil 4.15. Referans süreç içerisinde istasyonların bekleme süreleri ve yüzdeleri

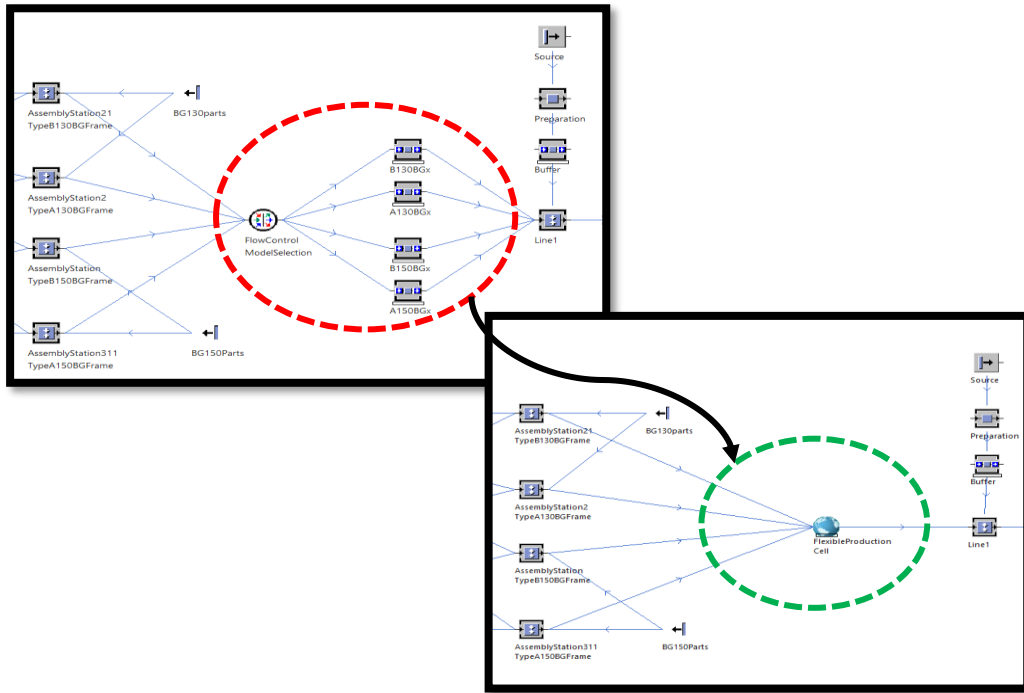
4.3. İyileştirilmiş Durum

İlk durum çıktıları incelenerek gerekli görülen noktada iyileştirme yapılarak darboğaz sorununun çözülmesi için 2 farklı senaryo çalışması bu tez içerisinde ele alınacaktır. Birinci alternatif, 4 farklı hattın ve seçim noktası (FC)'nin kaldırıp tek bir esnek üretim hücresi ile elde edilecek durumu ele alacaktır. İkinci alternatif ise araç motor güçlerine (Şekil 4.3) göre ayrılmış 2 adet esnek üretim hücresi yapısı ve üstü açık olmayan şase tipleri için tavan montaj bölümlerine etkiyen bir yapı olacaktır. Mevcut durumdaki kapasite ve çalışma durumları güncel durumdaki yeni istasyon sayısı ve güncelliğine göre değiştirilecektir. Bu iki alternatif üzerine yapılan çalışmanın çıktılarından verim

oranı yüksek olan ile ilk durum tekrar kıyaslanarak iyileştirilmiş durumdaki verim oranı çıktılar üzerinden tartışılacaktır.

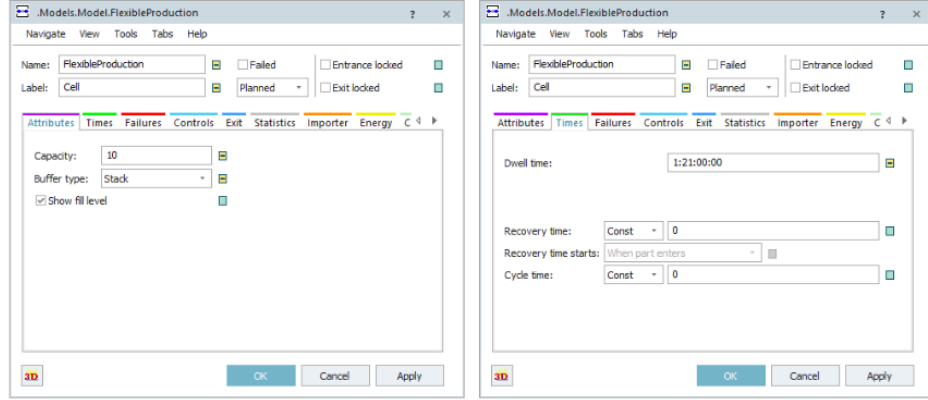
4.3.1. Tek bir üretim hücreğine geçiş

Mevcut durum ile birlikte Darboğaz oluşturan nokta için inceleme yapılarak ilgili kapasitesi ve süreç zamanı aşağıdaki Şekil 4.16 ile verilen yeni bir istasyon yapısı dijital ikiz programı üzerinde mevcut duruma eklenerek dar boğaz oluşturan istasyonlar kaldırılır.

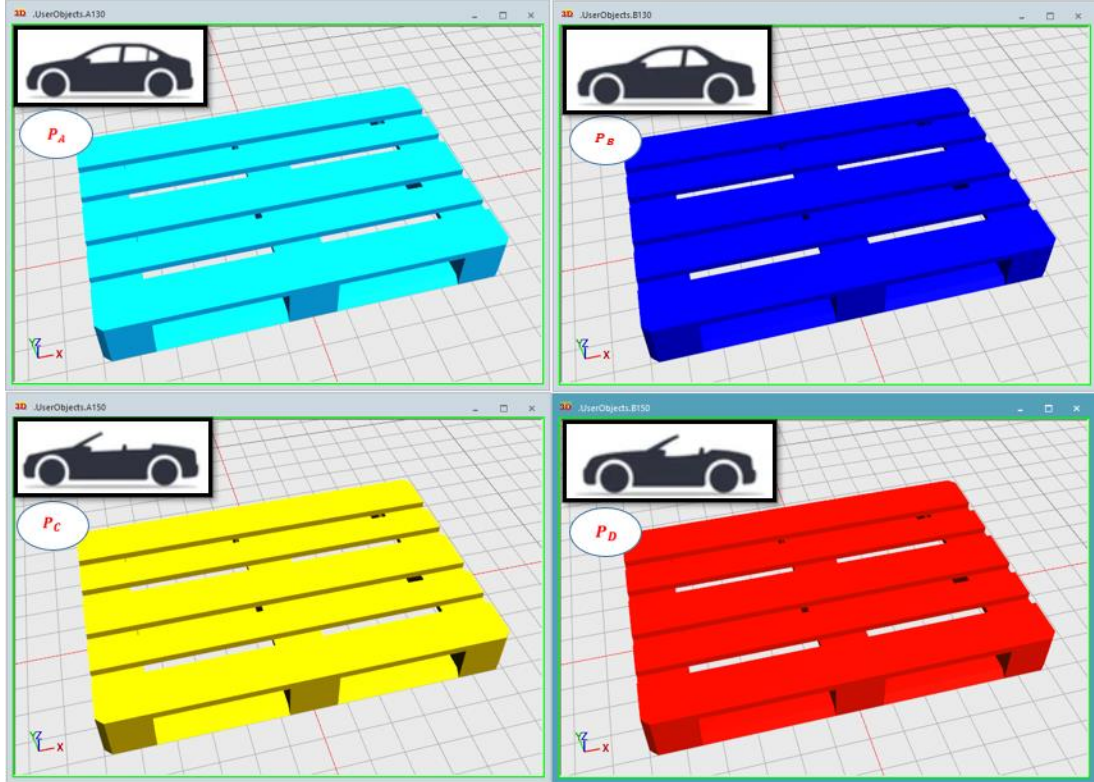


Şekil 4.16. Şekil 4.9 ile verilen yapı üzerinde sorunlu istasyonların yerine esnek üretim hücreğinin yerleşimi

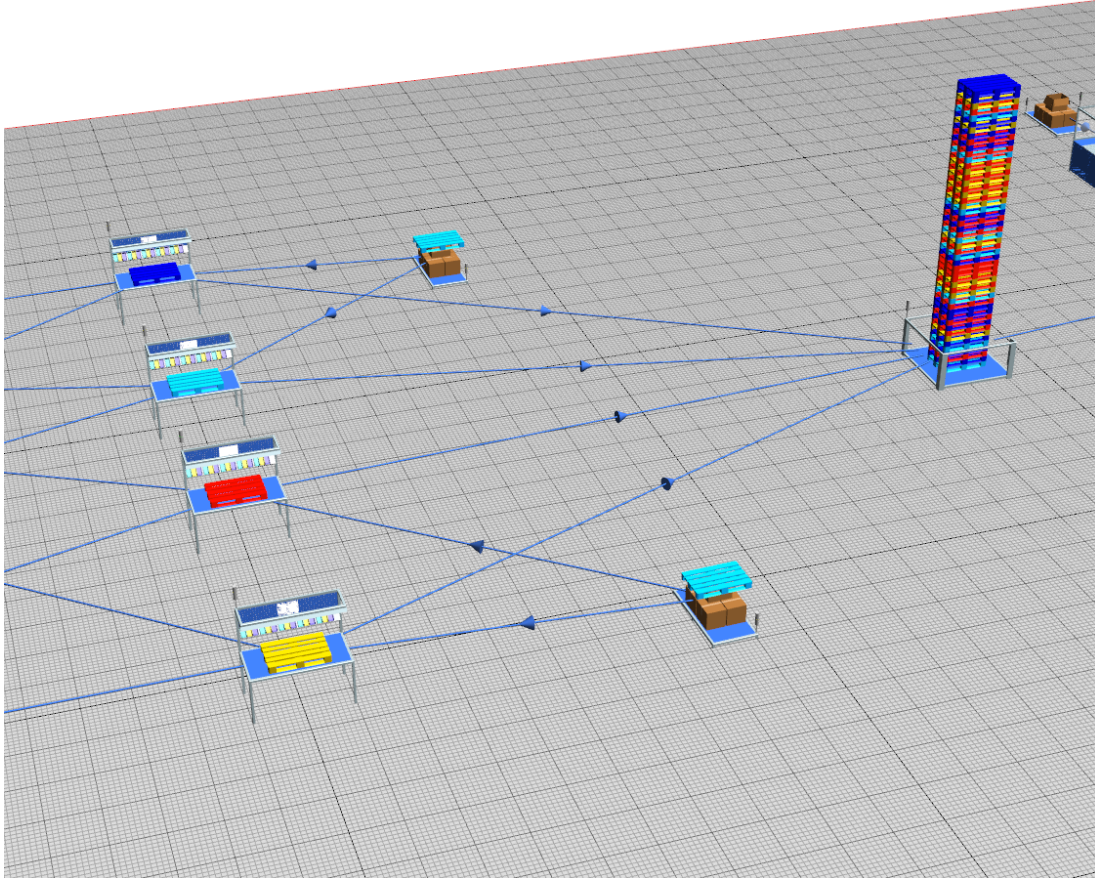
Öncesinde 3D üzerinde ve benzetim içerisinde kolaylık oluşturması adına görsel bazlı iyileştirmeler yapılır. Bunlar Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 ile verilmiştir. Ek olarak Yeni eklenen istasyon girdi değerleri ve program içerisindeki ikon görseli Şekil 4.17 İle verilmiştir. Aktif olarak süreç içerisinde kontrolün görsel bazlı etkin artışını Şekil 4.20 Desteklemektedir. Bağlantılar ve ilgili girdi verileri kontrol edildikten sonra program tekrar çalıştırılarak kontrol sağlanır. EventController süresi tekrar girilerek program tekrar simüle edilir. Süreç içerisinde takibin arttırılması amaçlanmış ve Şekil 4.25 ile Şekil 4.26 ile birlikte yapılan iyileştirmeler rahatlıkla gözlemlenmektedir. Farklı konumlardaki farklı durumlar için kontrol sağlanmak istediğı durumda Şekil 4.21 - 4.25 Kontrol edilerek ilk durumdaki karşılıkları ile kıyaslama yapılabilir.



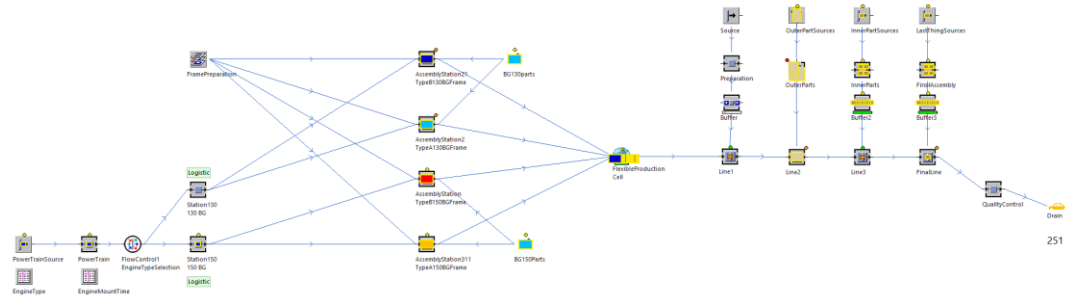
Şekil 4.17. Esnek üretim hücresi için girdi değerleri ve Program üzerinde gösterilmesi



Şekil 4.18. Araçları temsil eden yapıların benzetim içerisinde belirginliğini arttırmak amaçlı yapılan iyileştirme



Şekil 4.19. Seçim ve takibi kolaylaştırmak için düzenleme yapılmış ürün çeşitlerinin akıştaki görüntüleri



Şekil 4.20. İyileştirilmiş çalışır pozisyonda benzetim görseli

Esnek üretim hüresinin yapısal olarak tüm araç cinslerini üretebilecek olması ön görülmektedir. Bunun için gerekli altyapı ile birlikte gerçek sisteme entegre edilmelidir. İlgili girdilerin ardından süreç tekrar çalıştırılarak belirtilen ana süre sonundaki EventController süreleri SP (Şekil 4.8 ile verilmiştir.) verileri incelenir.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
PowerTrainSource	0.00%	0.00%	0.31%	99.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Drain	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
FinalLine	2.19%	0.00%	97.76%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Line2	2.19%	0.00%	97.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Line3	3.28%	0.00%	96.72%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
FinalAssembly	1.14%	0.00%	75.28%	23.59%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Preparation	3.43%	0.00%	0.37%	96.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Source	0.00%	0.00%	0.55%	99.45%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
OuterPartSources	0.00%	0.00%	0.13%	99.87%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
InnerPartSources	0.00%	0.00%	0.39%	99.61%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
InnerParts	0.00%	0.00%	75.34%	24.66%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
LastThingSources	0.00%	0.00%	0.39%	99.61%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Buffer	0.00%	0.00%	0.49%	99.51%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Station130	0.56%	0.00%	48.69%	50.75%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Station150	1.11%	0.00%	26.47%	72.42%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation2	1.51%	0.09%	32.06%	64.26%	0.00%	2.08%	0.00%	0.00%	0.00%	
BG130parts	0.00%	0.00%	0.17%	89.70%	0.00%	10.13%	0.00%	0.00%	0.00%	
BG150Parts	0.00%	0.00%	0.05%	89.50%	0.00%	10.44%	0.00%	0.00%	0.00%	
OuterParts	0.42%	0.00%	73.86%	23.77%	0.00%	1.94%	0.00%	0.00%	0.00%	
Line1	10.94%	0.00%	89.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
FlexibleProduction	0.00%	0.00%	1.25%	93.51%	0.00%	5.24%	0.00%	0.00%	0.00%	
QualityControl	2.19%	0.00%	95.75%	0.00%	0.00%	2.07%	0.00%	0.00%	0.00%	
PowerTrain	2.44%	0.00%	0.13%	92.74%	0.00%	4.69%	0.00%	0.00%	0.00%	
Buffer2	0.00%	0.00%	0.36%	99.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Buffer3	0.00%	0.00%	0.37%	99.63%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation311	0.68%	0.15%	18.35%	76.68%	0.00%	4.14%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation21	1.72%	0.15%	32.22%	62.97%	0.00%	2.94%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation	5.58%	0.42%	29.73%	62.45%	0.00%	1.81%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Şekil 4.21. Referans süreçte genel yüzde dağılımları

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions	Object	Portion	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	2567	2566	0	1	0.31%	-	99.69%	99.69%	PowerTrainSource	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Drain	2524	2524	0	1	100.00%	-	0.00%	0.00%	Drain	0.00%	2524	0.0000	0.0000	0.0000
FinalLine	2525	2524	0	1	0.11%	-	99.89%	99.89%	FinalLine	18.17%	2524	105.0400000000	1.0000000000	0.0000
Line2	2525	2524	0	1	0.14%	-	99.86%	99.86%	Line2	18.18%	2525	105.0423200000	2.9591287	43.7818
Line3	2525	2524	0	1	0.10%	-	99.90%	99.90%	Line3	27.28%	2524	157.1800000000	1.5000000000	0.0000
FinalAssembly	2536	2533	0	4	0.19%	-	62.29%	62.29%	FinalAssembly	5.13%	634	52.2000000000	2.0000000000	0.0000
Preparation	2536	2525	0	1	72.72%	-	27.28%	27.28%	Preparation	27.28%	2526	157.2053200000	1.29598416	7.8587
Source	2526	2526	0	1	100.00%	-	0.00%	0.00%	Source	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterPartSources	2529	2528	0	1	0.26%	-	99.74%	99.74%	OuterPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
InnerPartSources	2537	2536	0	1	1.64%	-	98.36%	98.36%	InnerPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
InnerParts	2536	2533	0	4	0.34%	-	62.12%	62.12%	InnerParts	0.01%	634	1.4540000000	10.0000	0.0000
LastThingSources	2537	2536	0	1	1.81%	-	98.19%	98.19%	LastThingSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer	2525	2525	0	2	99.28%	0.00%	0.00%	0.00%	Buffer	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Station130	1100	1099	0	1	98.99%	-	41.11%	41.11%	Station130	3.96%	1100	22.2200000000	40.0000000000	0.0000
Station150	1465	1465	0	1	21.14%	-	78.86%	78.86%	Station150	7.91%	1465	45.1845000000	45.0000000000	0.0000
AssemblyStation2	451	450	0	1	0.11%	-	99.89%	99.89%	AssemblyStation2	9.47%	451	54.1925000000	2.5500000000	0.0001
BG130parts	1100	1099	0	1	0.18%	-	99.82%	99.82%	BG130parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
BG150Parts	1466	1465	0	1	0.06%	-	99.94%	99.94%	BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterParts	2528	2525	0	4	0.00%	-	62.52%	62.52%	OuterParts	3.41%	632	19.1800000000	45.0000000000	0.0001
Line1	2525	2525	0	1	8.70%	-	91.30%	91.30%	Line1	90.90%	2525	226.0100000000	5.0000000000	0.0000
FlexibleProduction	2560	2525	0	35	0.06%	96.52%	96.58%	96.59%	FlexibleProduction	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
QualityControl	2524	2524	0	1	81.44%	-	18.56%	18.56%	QualityControl	18.17%	2524	105.0400000000	1.0000000000	0.0000
PowerTrain	2566	2565	0	1	0.13%	-	99.87%	99.87%	PowerTrain	17.37%	2566	100.1250000000	56.251130	954.0482
Buffer2	2533	2525	0	8	0.12%	98.51%	99.23%	99.23%	Buffer2	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer3	2533	2525	0	8	0.14%	98.46%	99.19%	99.19%	Buffer3	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
AssemblyStation311	512	511	0	1	7.49%	-	92.51%	92.51%	AssemblyStation311	5.57%	512	32.2000000000	1.5000000000	0.0001
AssemblyStation21	648	647	0	1	3.09%	-	96.91%	96.90%	AssemblyStation21	13.61%	648	78.1800000000	2.5500000000	0.0000
AssemblyStation	953	952	0	1	2.28%	-	90.72%	90.71%	AssemblyStation	37.74%	953	218.0858200000	5.29580062	1.015470

Material Flow Properties

Working Time

Şekil 4.22. Akıştaki ürün adetleri ve Çalışma süreleri

Object	Portion/Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.00%	0	0.0000	0.0000
Drain	100.00%	0	0.0000	0.0000
FinalLine	0.00%	0	0.0000	0.0000
Line2	0.00%	0	0.0000	0.0000
Line3	0.00%	0	0.0000	0.0000
FinalAssembly	0.00%	0	0.0000	0.0000
Preparation	0.00%	0	0.0000	0.0000
Source	0.00%	0	0.0000	0.0000
OuterPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000
InnerPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000
InnerParts	0.00%	0	0.0000	0.0000
LastThingSources	0.00%	0	0.0000	0.0000
Buffer	0.00%	0	0.0000	0.0000
Station130	0.00%	0	0.0000	0.0000
Station150	0.00%	0	0.0000	0.0000
AssemblyStation2	0.54%	451	303:10:00.0000	10:00.0000
BG130parts	0.00%	0	0.0000	0.0000
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000
OuterParts	0.00%	1	30:00.0000	30:00.0000
Line1	0.00%	0	0.0000	0.0000
FlexibleProduction	0.00%	0	0.0000	0.0000
QualityControl	0.00%	0	0.0000	0.0000
PowerTrain	0.00%	0	0.0000	0.0000
Buffer2	0.00%	0	0.0000	0.0000
Buffer3	0.00%	0	0.0000	0.0000
AssemblyStation311	1.23%	512	702:40:00.0000	20:00.0000
AssemblyStation21	1.17%	648	6:18:00.0000	15:00.0000
AssemblyStation	2.86%	953	16:13:05.0000	25:00.0000

Set-up Time

Object	Portion/Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.31%	19	1:19:19.208133	2:16:48.4639
Drain	100.00%	2525578:16:53:20.0000	3:00:1.9802	28:59:2671
FinalLine	81.48%	2525471:12:05:52.4530	4:28:53.8426	21:41.6209
Line2	81.82%	2525473:12:30:00.0000	4:30:02.8515	16:29.6599
Line3	72.74%	2525420:22:33:00.0000	4:00:04.1166	18:04.4518
FinalAssembly	75.26%	635435:12:53:39.3992	16:27:40.3345	38:34.9493
Preparation	72.72%	2525420:20:00:00.0000	4:00:00.0000	0.0000
Source	100.00%	2526578:16:53:20.0000	3:29:54.1409	4:54:47.27
OuterPartSources	0.26%	10	1:12:18.10357	3:37:49.5036
InnerPartSources	1.84%	58	10:16:00.0000	4:24:48.6552
InnerParts	75.45%	635436:15:27:29.9541	16:30:10.6296	35:59.0231
LastThingSources	1.81%	58	10:12:00.0000	4:20:04.1793
Buffer	100.00%	2526578:16:53:20.0000	3:29:54.1409	4:46.6213
Station130	58.89%	662340:19:50:33.4732	12:21:22.5279	15:16:49.5585
Station150	21.14%	366122:08:23:36.4176	8:01:22.5585	11:03:54.5358
AssemblyStation2	53.27%	403308:06:35:01.9020	18:21:31.5680	11:41:48.7849
BG130parts	0.17%	6	2:25:16.12416	3:49:21.0736
BG150Parts	0.02%	4	7:18:18.3865	1:49:34.5951
OuterParts	73.56%	633425:16:33:29.2037	16:08:21.8239	33:05.1364
Line1	9.10%	2472	52:15:53.20000	30:40:61.48
FlexibleProduction	3.30%	250	19:01:47.459463	1:49:52.2638
QualityControl	79.76%	2525461:13:56:37.8517	4:23:14.2962	30:54.2627
PowerTrain	0.13%	11	17:34:30.7762	1:35:51.8887
Buffer2	1.49%	14	8:15:30.50000	14:49:20.7148
Buffer3	1.54%	14	8:21:30.00000	15:15:00.0000
AssemblyStation311	50.55%	428292:12:14:20.9916	16:24:08.7271	9:27:27.6638
AssemblyStation21	38.72%	327122:01:10:28.0493	16:26:38.2448	14:55:50.4133
AssemblyStation	10.89%	216	6:23:51.19320	6:59:57.5904

Waiting Time

Object	Portion/Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	99.69%	2555576:2:13:59.1867	5:25:08.4302	4:40:27.0576
Drain	0.00%	0	0.0000	0.0000
FinalLine	0.35%	64	2:00:47:27.5470	45:44:49.29
Line2	0.00%	0	0.0000	0.0000
Line3	0.00%	0	0.0000	0.0000
FinalAssembly	15.61%	620	90:07:59:20.6008	9:29:48.3235
Preparation	0.00%	0	0.0000	0.0000
Source	0.00%	0	0.0000	0.0000
OuterPartSources	99.74%	633577:04:35:04.9643	21:53:02.4723	1:13:29.1958
InnerPartSources	98.16%	623566:00:53:20.0000	21:52:57.5281	11:81:16.6081
InnerParts	24.54%	620	141:23:45:10.0469	5:29:46.9517
LastThingSources	98.19%	623566:04:53:20.0000	21:53:20.6421	11:16:32.2708
Buffer	0.00%	0	0.0000	0.0000
Station130	37.15%	674214:23:02:46.5268	7:39:15.7367	4:24:51.1236
Station150	70.95%	1303410:13:44:43.5824	7:33:44.4694	3:51:08.2472
AssemblyStation2	34.63%	429200:10:18:01.2742	11:12:46.1568	8:04:59.8524
BG130parts	89.70%	1097519:02:38:47.8946	11:21:25.2579	7:07:23.8398
BG150Parts	89.50%	1466517:23:08:06.0558	8:28:46.6617	5:31:50.8275
OuterParts	21.08%	631122:00:05:19.8141	4:38:25.4197	12:34.8828
Line1	0.00%	0	0.0000	0.0000
FlexibleProduction	91.52%	2459529:14:48:23.6690	5:10:08.7457	26:48.3782
QualityControl	0.00%	0	0.0000	0.0000
PowerTrain	77.81%	159845:00:16:19.7645	6:45:46.7958	3:46:01.9205
Buffer2	98.51%	2490570:01:22:30.0000	5:29:40.3012	10:55.7260
Buffer3	98.46%	2489569:19:23:20.0000	5:29:39.5042	17:50.4669
AssemblyStation311	38.55%	491223:02:30:06.8470	7:05:18.0771	7:11:02.8375
AssemblyStation21	43.57%	617252:03:20:06.4426	9:48:27.6279	6:40:52.3380
AssemblyStation	46.71%	801270:07:10:21.7756	8:05:55.8324	4:20:32.0263

Blocked Time

Şekil 4.23. Kurulum/Bekleme/blok süreleri

Object	Portion	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.06%	3	8:15:00.0000	2:45:00.0000	0.0000
Drain	100.00%	244	578:16:53:20.0000	2:08:55:18.0328	19:20:49:40.4942
FinalLine	0.11%	1	15:30:00.0000	15:30:00.0000	0.0000
Line2	0.11%	7	14:49:41.9776	2:07:05.9968	5:21:00.2356
Line3	0.10%	1	13:30:10.0000	13:30:10.0000	0.0000
FinalAssembly	0.04%	2	5:00:00.0000	2:30:00.0000	0.0000
Preparation	0.43%	15	2:12:00:00.0000	4:00:00.0000	0.0000
Source	0.63%	16	3:16:00:00.0000	5:30:00.0000	0.0000
OuterPartSources	0.13%	4	17:30:00.0000	4:22:30.0000	15:00.0000
InnerPartSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000	0.0000
InnerParts	0.06%	2	8:59:40.0000	4:29:50.0000	0.0000
LastThingSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000	0.0000
Buffer	0.05%	2	7:00:00.0000	3:30:00.0000	2:49:42.3376
Station130	24.25%	223	140:08:17:44.9746	15:06:16.0761	21:38:22.3028
Station150	66.87%	132	387:00:05:13.8948	2:22:21:51.4689	27:02:07:06.3483
AssemblyStation2	0.09%	31	13:06:45.5244	25:22.7589	23:19.3195
BG130parts	0.04%	1	5:50:00.0000	5:50:00.0000	0.0000
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterParts	0.00%	1	30:00.0000	30:00.0000	0.0000
Line1	0.01%	1	1:30:00.0000	1:30:00.0000	0.0000
B150BGx	1.42%	12	8:05:15:57.1365	16:26:19.7614	12:25:42.5538
QualityControl	96.18%	244	556:14:56:37.8517	2:06:44:59.1715	19:11:05:56.3185
PowerTrain	0.03%	2	4:00:00.0000	2:00:00.0000	0.0000
Buffer2	0.10%	1	13:30:10.0000	13:30:10.0000	0.0000
Buffer3	0.11%	1	15:30:00.0000	15:30:00.0000	0.0000
AssemblyStation311	63.54%	48	367:16:38:19.9990	7:15:50:47.9166	42:22:58:33.6188
AssemblyStation21	70.72%	162	409:05:37:10.4285	2:12:37:38.2125	23:21:48:21.1446
AssemblyStation	58.23%	27	336:23:13:41.7174	12:11:31:37.1006	58:10:53:34.6311
B130BGx	86.78%	191	502:04:45:00.5617	2:15:06:12.2542	22:15:16:29.6222
A130BGx	22.54%	144	130:10:57:11.2479	21:44:33.8281	18:56:02.8264
A150BGx	87.51%	191	506:10:34:10.9088	2:15:38:11.3660	22:11:54:50.9118

Empty Time

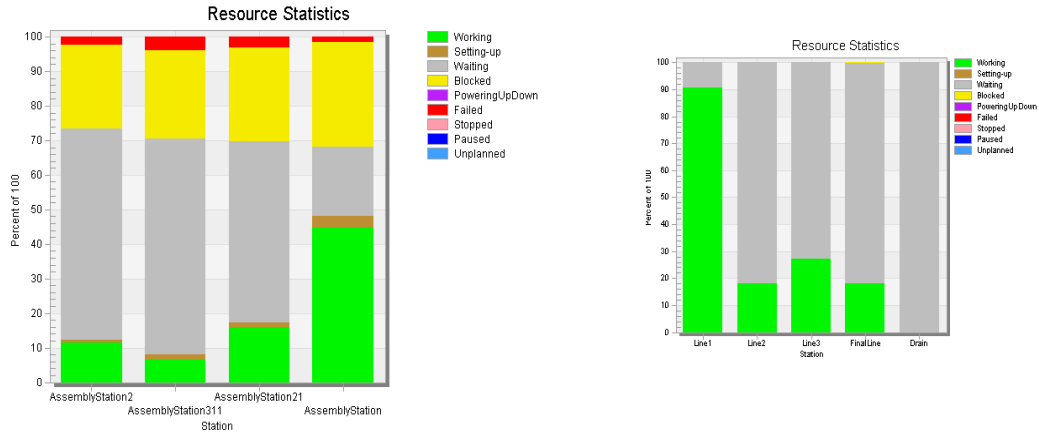
Şekil 4.24. Referans süre içerisinde boş bekleme süreleri

Object	Waiting for Parts	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
FinalLine	98.10%	244	567:16:25:57.0905	2:07:50:16.2176	19:20:57:30.1286
Line2	98.14%	244	567:23:03:38.0224	2:07:51:54.0083	19:21:06:59.6513
Line3	97.28%	244	562:22:53:10.0000	2:07:22:20.9426	19:21:03:07.6702
FinalAssembly	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Preparation	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Source	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
InnerPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
InnerParts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
LastThingSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Station130	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Station150	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
AssemblyStation2	22.10%	110	127:21:28:31.8464	1:03:54:15.5622	18:53:24.2972
BG130parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterParts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Line1	91.24%	216	528:00:23:20.0000	2:10:40:06.4815	21:03:10:53.7065
B150BGx	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
QualityControl	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
PowerTrain	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer2	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer3	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
AssemblyStation311	29.69%	197	171:19:56:02.0580	20:56:01.2287	1:03:11:28.6202
AssemblyStation21	21.24%	94	122:21:53:22.0634	1:07:22:54.4900	19:01:23.8990
AssemblyStation	8.13%	99	47:01:04:03.5653	11:24:17.0057	17:14:09.3922
B130BGx	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
A130BGx	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
A150BGx	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000

Waiting Times for Parts

Şekil 4.25. Referans süreç içerisinde istasyonların bekleme süreleri ve yüzdeleri

Çıktı incelendiğinde Line1 için %8,75 olan ilk durum çalışma yüzdesi (Şekil 4.11) %10,94'e (Şekil 4.21) çıkarılmıştır. Buda dar boğaz içerisinde Line1 ve arkasından bekleyen diğer hatların aslında rahatladığını göstermektedir.

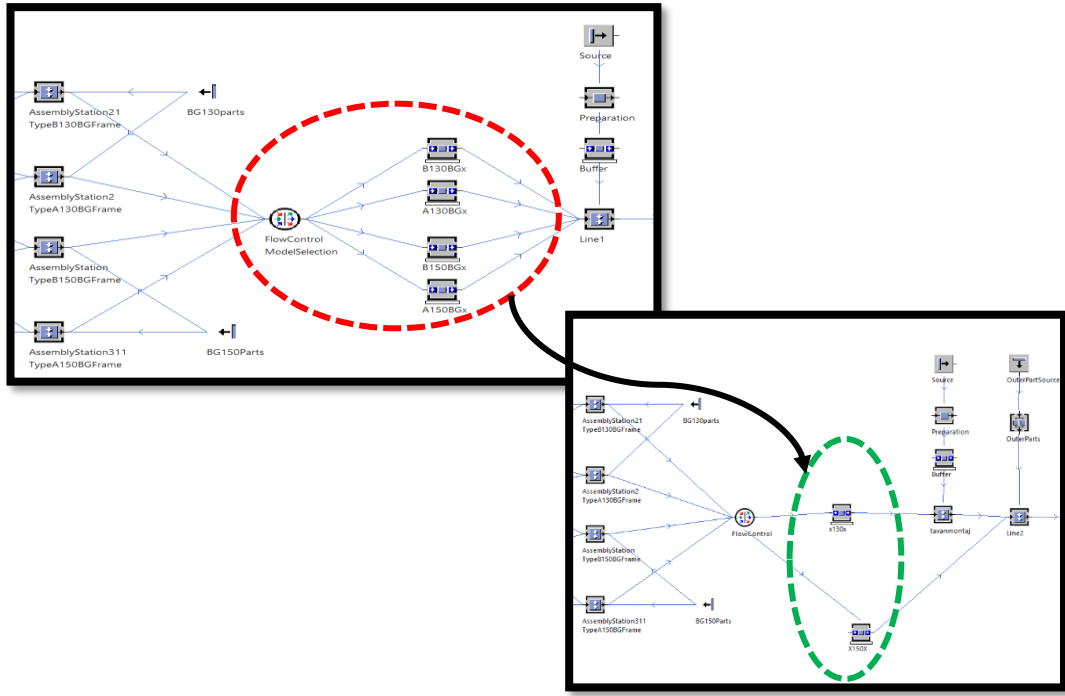


Şekil 4.26. İyileştirmenin ardından ana istasyon çalışmalarının kendi iç yüzdeleri

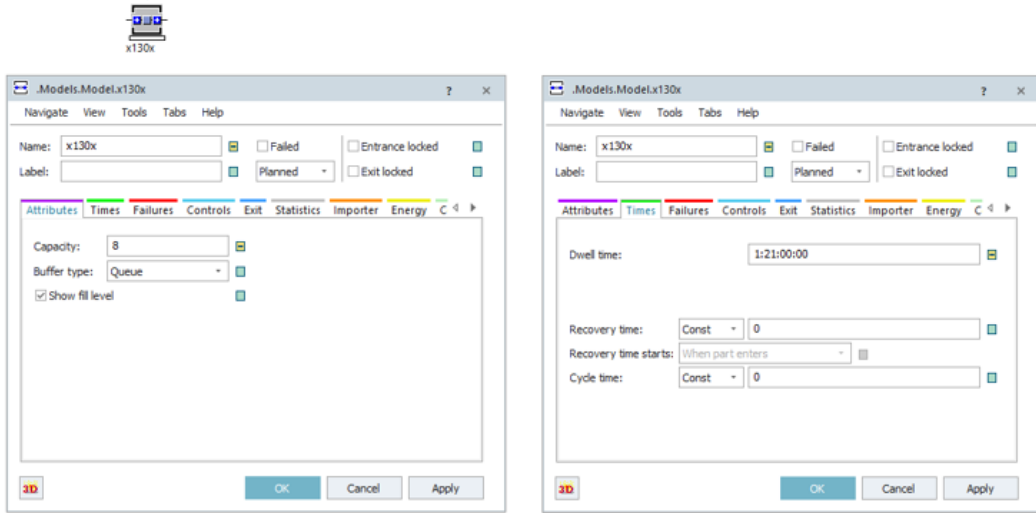
Şekil 4.26 üzerinden incelediğimizde Line1 çalışma oranı anlık durumlarda %90'a yaklaşmış ve bloklanması ortadan kalkmış olmaktadır. Şekil 4.11 üzerinde bakıldığında %10-%20 civarlarında olan verim durumu çok yüksek bir kazanımla beraber %90 oranına çekilmiştir. Ayrıca AssemblyStation isimli istasyon üzerindeki baskı azalmış çalışma set-up süreleri ve oranları değişmezken önceki istasyon tarafından bloklanma miktarı azaltılarak dolaylı yoldan kazanım elde edilmiştir.

4.3.2. Motor gücüne bağlı esnek üretim hücrelerine geçiş

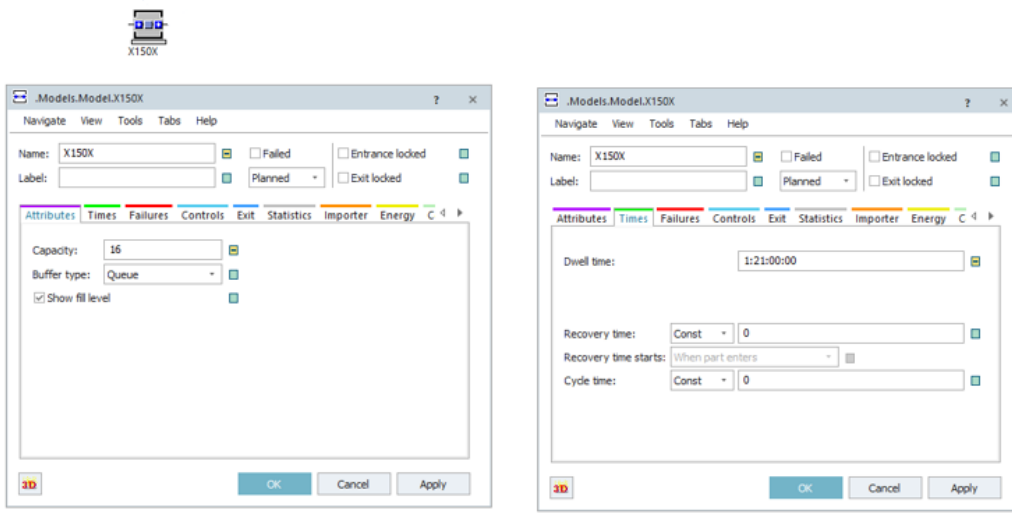
Mevcut durum ile birlikte Darboğaz oluşturan nokta için inceleme yapılarak ilgili kapasitesi ve süreç zamanı aşağıdaki Şekil 4.27 ile verilen yeni bir istasyon yapısı dijital ikiz programı üzerinde mevcut duruma eklenerek dar boğaz oluşturan istasyonlar kaldırılır.



Şekil 4.27. Şekil 4.4’te verilen ilk durumun iyileştirilmiş alternatifi

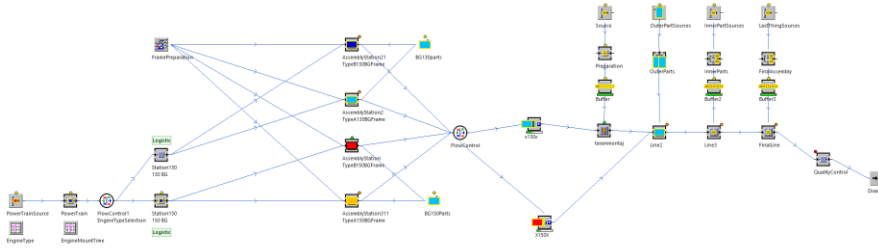


Şekil 4.28. 130 BG için esnek üretim hücresi değerleri ve gösterimi



Şekil 4.29. 150 BG için esnek üretim hücresi değerleri ve gösterimi

Bu iyileştirmelere ek olarak Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 belirtilen şekilde 3D içerisinde takip edilmeyi kolaylaştıracak renklendirme burada da yapılmıştır.



Şekil 4.30. Düzenleme yapılmış durum görseli (Çalışır durum)

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
PowerTrainSource	0.00%	0.00%	0.06%	99.94%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Drain	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
FinalLine	1.19%	0.00%	98.78%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Line2	1.19%	0.00%	98.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Line3	1.78%	0.00%	98.22%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
FinalAssembly	0.63%	0.00%	95.29%	4.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Preparation	1.93%	0.00%	0.38%	97.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Source	0.00%	0.00%	0.59%	99.41%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
OuterPartSources	0.00%	0.00%	0.13%	99.87%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
InnerPartSources	0.00%	0.00%	0.39%	99.61%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
InnerParts	0.00%	0.00%	95.35%	4.65%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
LastThingSources	0.00%	0.00%	0.39%	99.61%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Buffer	0.00%	0.00%	0.49%	99.51%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Station130	0.59%	0.00%	91.79%	7.61%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Station150	1.00%	0.00%	5.43%	93.57%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation2	8.00%	0.00%	88.07%	1.85%	0.00%	2.08%	0.00%	0.00%	0.00%	
BG130parts	0.00%	0.00%	0.04%	89.83%	0.00%	10.13%	0.00%	0.00%	0.00%	
BG150Parts	0.00%	0.00%	0.00%	89.56%	0.00%	10.44%	0.00%	0.00%	0.00%	
OuterParts	0.23%	0.00%	93.49%	4.34%	0.00%	1.94%	0.00%	0.00%	0.00%	
tavanmontaj	17.82%	0.00%	82.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
QualityControl	1.19%	0.00%	96.75%	0.00%	0.00%	2.07%	0.00%	0.00%	0.00%	
PowerTrain	2.34%	0.00%	0.03%	92.94%	0.00%	4.69%	0.00%	0.00%	0.00%	
Buffer2	0.00%	0.00%	0.36%	99.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Buffer3	0.00%	0.00%	0.37%	99.63%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation311	0.84%	0.00%	91.39%	3.62%	0.00%	4.14%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation21	1.66%	0.00%	93.37%	2.03%	0.00%	2.94%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyStation	11.72%	0.00%	4.38%	82.08%	0.00%	1.81%	0.00%	0.00%	0.00%	
x130x	0.00%	0.00%	93.72%	6.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
X150X	0.00%	0.00%	10.84%	89.16%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Şekil 4.31. Referans süreç içerisinde genel dağılım yüzdeleri

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty Ratio	Relative Full Ratio	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
PowerTrainSource	252	251	0	1	0.99%	-	99.94%	99.24%
Drain	166	165	0	1	100.00%	-	0.00%	0.00%
FinalLine	166	165	0	1	0.11%	-	99.89%	99.69%
Line2	166	165	0	1	0.11%	-	99.89%	99.59%
Line3	166	165	0	1	0.10%	-	99.90%	99.90%
FinalAssembly	176	174	0	4	0.04%	-	92.53%	92.53%
Preparation	176	176	0	1	0.00%	-	99.62%	99.62%
Source	180	179	0	1	0.59%	-	99.41%	99.41%
OuterPartSources	169	168	0	1	0.13%	-	99.87%	99.87%
InnerPartSources	177	176	0	1	0.39%	-	99.61%	99.61%
InnerParts	176	174	0	4	0.06%	-	92.49%	92.49%
LastThingSources	177	176	0	1	0.39%	-	99.61%	99.61%
Buffer	176	165	0	12	0.05%	99.51%	99.73%	99.73%
Station130	165	165	0	1	91.79%	-	8.21%	8.21%
Station150	183	184	0	1	5.43%	-	94.57%	94.57%
AssemblyStation2	87	86	0	1	0.04%	-	99.56%	99.56%
BG130parts	166	167	0	1	0.05%	-	89.95%	89.95%
BG150Parts	165	164	0	1	0.00%	-	100.00%	100.00%
OuterParts	166	168	0	4	0.00%	-	92.59%	92.59%
tavanmontaj	166	165	0	1	0.01%	-	99.99%	99.99%
QualityControl	165	165	0	1	96.75%	-	1.21%	1.21%
PowerTrain	281	290	0	1	0.03%	-	99.87%	99.87%
Buffer2	174	166	0	8	0.10%	99.64%	99.61%	99.61%
Buffer3	174	166	0	8	0.11%	99.63%	99.79%	99.79%
AssemblyStation311	79	79	0	1	4.07%	-	95.94%	95.94%
AssemblyStation21	80	79	0	1	3.90%	-	94.10%	94.06%
AssemblyStation	105	104	0	1	3.13%	-	96.67%	96.67%
x130x	165	165	0	8	81.00%	6.28%	13.50%	13.50%
X150X	162	166	0	16	0.16%	89.16%	96.76%	96.76%

Material Flow Properties

Object	Portion/Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.00%	0	0.0000	0.0000
Drain	0.00%	165	0.0000	0.0000
FinalLine	1.19%	165	6.210000000	1.000000000
Line2	1.19%	165	6.210000000	1.000000000
Line3	1.78%	165	10.070000000	1.300000000
FinalAssembly	0.63%	44	3.160000000	2.000000000
Preparation	1.93%	179	11.040000000	1.300000000
Source	0.00%	0	0.0000	0.0000
OuterPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000
InnerPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000
InnerParts	0.00%	0	0.0000	0.0000
LastThingSources	0.00%	0	0.0000	0.0000
Buffer	0.00%	0	0.0000	0.0000
Station130	0.59%	165	3.100000000	3.000000000
Station150	1.00%	183	5.184000000	45.000000000
AssemblyStation2	8.00%	86	46.060000000	2.550000000
BG130parts	0.00%	0	0.0000	0.0000
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000
OuterParts	0.23%	42	1.070000000	45.000000000
tavanmontaj	17.82%	165	103.000000000	15.000000000
QualityControl	1.19%	165	6.210000000	1.000000000
PowerTrain	2.34%	351	15.130000000	35.530000000
Buffer2	0.00%	0	0.0000	0.0000
Buffer3	0.00%	0	0.0000	0.0000
AssemblyStation311	0.84%	79	4.210000000	1.300000000
AssemblyStation21	1.66%	79	9.142500000	2.550000000
AssemblyStation	11.72%	165	67.190000000	15.500000000
x130x	0.00%	0	0.0000	0.0000
X150X	0.00%	0	0.0000	0.0000

Working Time

Şekil 4.32. Akıştaki ürün adetleri ve Çalışma süreleri

Object	Portion/Count	Sum	Mean Value/Standard Deviation	Object	Portion/Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation	Object	Portion/Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation	
PowerTrainSource	0.00%	0	0.0000	0.0000	PowerTrainSource	0.06%	3	8:15:00.0000	2:45:00.0000	PowerTrainSource	99.94%	349:57:08:38:20.0000	1:15:46:21.3754	24:22:06:04.1292
Drain	0.00%	0	0.0000	0.0000	Drain	100.00%	166	578:16:53:20.0000	3:11:40:04.8193	Drain	0.00%	0	0.0000	0.0000
FinalLine	0.00%	0	0.0000	0.0000	FinalLine	98.78%	166	571:16:53:20.0000	3:10:28:42.5139	FinalLine	0.03%	4	4:47:42.6664	1:11:55.8741
Line2	0.00%	0	0.0000	0.0000	Line2	98.81%	166	571:16:53:20.0000	3:10:40:26.5060	Line2	0.00%	0	0.0000	0.0000
Line3	0.00%	0	0.0000	0.0000	Line3	98.22%	166	568:09:23:20.0000	3:10:10:37.3494	Line3	0.00%	0	0.0000	0.0000
FinalAssembly	0.00%	0	0.0000	0.0000	FinalAssembly	99.29%	45	5:11:05:56.6371	2:06:06:35.9252	FinalAssembly	4.07%	41	23:13:56:23.3873	13:48:12.7773
Preparation	0.00%	0	0.0000	0.0000	Preparation	0.38%	14	2:04:31:22.9340	3:45:05.9239	Preparation	0.76%	15	6:56:07:15:57.0660	3:09:44:02.9759
Source	0.00%	0	0.0000	0.0000	Source	0.59%	15	3:10:30:00.0000	5:30:00.0000	Source	99.41%	165	575:06:23:20.0000	3:11:40:30.3030
OuterPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	OuterPartSources	0.13%	4	17:30:00.0000	4:22:30.0000	OuterPartSources	99.87%	43	577:23:23:20.0000	13:10:35:25.5814
InnerPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	InnerPartSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000	InnerPartSources	99.61%	43	576:10:53:20.0000	13:17:40:07.6190
InnerParts	0.00%	0	0.0000	0.0000	InnerParts	91.25%	45	5:11:03:37.4027	2:12:06:16.5219	InnerParts	4.65%	41	26:22:08:19.8254	15:43:34.1445
LastThingSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	LastThingSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000	LastThingSources	99.61%	43	576:10:53:20.0000	13:17:40:07.6190
Buffer	0.00%	0	0.0000	0.0000	Buffer	0.49%	13	2:19:30:00.0000	5:11:32.3077	Buffer	99.51%	166	575:21:23:20.0000	3:11:15:40.9639
Station130	0.00%	0	0.0000	0.0000	Station130	91.79%	90	531:04:55:11.0087	5:21:39:16.7890	Station130	7.61%	106	440:1:28:08.9913	5:58:34.0471
Station150	0.00%	0	0.0000	0.0000	Station150	1.43%	61	31:10:25:55.9545	12:22:03.8681	Station150	91.57%	151	541:11:42:24.0453	3:14:03:51.4175
AssemblyStation2	0.00%	11000.0000	10300.0000	0.0000	AssemblyStation2	88.07%	43	509:16:04:53.1130	2:00:28:00.1054	AssemblyStation2	1.85%	28	10:16:23:58.6426	9:09:25.6656
BG130parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	BG130parts	0.04%	1	5:50:00.0000	5:50:00.0000	BG130parts	89.83%	167	575:19:18:45.0036	3:02:42:18.1254
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	BG150Parts	89.56%	185	580:06:26:24.4364	2:19:14:05.2213
OuterParts	0.00%	13000.0000	3090.0000	0.0000	OuterParts	93.49%	43	541:00:34:48.8420	12:15:58:01.1359	OuterParts	2.44%	41	25:02:35:57.1777	14:41:51.1507
tavanmontaj	0.00%	0	0.0000	0.0000	tavanmontaj	82.18%	94	75:13:53:20.0000	5:20:12:33.5556	tavanmontaj	0.00%	0	0.0000	0.0000
QualityControl	0.00%	0	0.0000	0.0000	QualityControl	96.75%	166	559:20:56:37.8517	3:08:56:43.6015	QualityControl	0.00%	0	0.0000	0.0000
PowerTrain	0.00%	0	0.0000	0.0000	PowerTrain	0.03%	2	4:00:00.0000	2:00:00.0000	PowerTrain	92.94%	212	537:20:25:50.5407	2:12:53:19.7667
Buffer2	0.00%	0	0.0000	0.0000	Buffer2	0.36%	3	2:07:30:00.0000	4:63:00.3333	Buffer2	99.64%	166	576:15:23:10.0000	3:11:22:11.2651
Buffer3	0.00%	0	0.0000	0.0000	Buffer3	0.37%	3	2:03:30:00.0000	17:10:00.0000	Buffer3	99.63%	166	576:13:23:20.0000	3:11:21:27.9518
AssemblyStation311	0.00%	12000.0000	20:00.0000	0.0000	AssemblyStation311	91.39%	67	528:20:54:05.2199	7:21:26:46.6451	AssemblyStation311	3.62%	26	20:23:10:16.8370	19:21:09.8783
AssemblyStation21	0.00%	11500.0000	15:00.0000	0.0000	AssemblyStation21	93.37%	36	540:07:28:25.8134	9:19:33:43.3181	AssemblyStation21	2.03%	22	11:18:22:06.6783	12:50:05.7581
AssemblyStation	0.00%	13550.0000	25:00.0000	0.0000	AssemblyStation	4.38%	30	25:03:53:51.2706	30:17:47.3990	AssemblyStation	82.08%	244	530:16:10:07.1910	16:00:40:41.82
x130x	0.00%	0	0.0000	0.0000	x130x	93.72%	118	542:08:18:33.1661	4:18:18:24.6878	x130x	62.38%	68	36:08:40:46.8336	12:50:00.6887
X150X	0.00%	0	0.0000	0.0000	X150X	10.84%	133	62:17:22:14.8613	11:19:06.8787	X150X	89.16%	775	152:33:05.1387	6:16:49:26.6771

Set-up Time

Waiting Time

Blocked Time

Şekil 4.33. Kurulum/Bekleme/blok süreleri

Object	Portion	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.06%	3	8:15:00.0000	2:45:00.0000	0.0000
Drain	100.00%	166	578:16:53:20.0000	3:11:40:04.8193	36:02:22:03.6980
FinalLine	0.11%	1	15:30:00.0000	15:30:00.0000	0.0000
Line2	0.11%	7	14:41:49.8047	2:05:58.5435	5:21:29.3326
Line3	0.10%	1	13:30:10.0000	13:30:10.0000	0.0000
FinalAssembly	0.04%	2	5:00:00.0000	2:30:00.0000	0.0000
Preparation	0.38%	14	2:04:31:22.9340	3:45:05.9239	55:45.3266
Source	0.59%	15	3:10:30:00.0000	5:30:00.0000	0.0000
OuterPartSources	0.13%	4	17:30:00.0000	4:22:30.0000	15:00.0000
InnerPartSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000	0.0000
InnerParts	0.06%	2	8:59:40.0000	4:29:50.0000	0.0000
LastThingSources	0.39%	12	2:06:00:00.0000	4:30:00.0000	0.0000
Buffer	0.05%	2	7:00:00.0000	3:30:00.0000	2:49:42.3376
Station130	91.79%	90	531:04:55:11.0087	5:21:39:16.7890	49:11:10:06.3161
Station150	5.43%	61	31:10:25:55.9545	12:22:03.8681	21:47:27.0834
AssemblyStation2	0.04%	10	5:47:28.0292	34:44.8029	40:39.5169
BG130parts	0.04%	1	5:50:00.0000	5:50:00.0000	0.0000
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterParts	0.00%	1	30:00.0000	30:00.0000	0.0000
tavanmontaj	0.01%	1	1:30:00.0000	1:30:00.0000	0.0000
QualityControl	96.75%	166	559:20:56:37.8517	3:08:56:43.6015	35:07:41:40.1059
PowerTrain	0.03%	2	4:00:00.0000	2:00:00.0000	0.0000
Buffer2	0.10%	1	13:30:10.0000	13:30:10.0000	0.0000
Buffer3	0.11%	1	15:30:00.0000	15:30:00.0000	0.0000
AssemblyStation311	3.90%	20	22:13:51:27.7509	1:03:05:34.3875	1:05:10:03.5470
AssemblyStation21	5.72%	35	33:02:56:09.8590	22:42:44.8531	1:08:07:08.4900
AssemblyStation	3.27%	15	18:22:17:47.6073	1:06:17:11.1738	22:36:54.9923
x130x	81.00%	5	468:17:34:24.3915	93:17:54:52.8783	208:10:02:50.0798
X150X	0.16%	1	21:40:31.2647	21:40:31.2647	0.0000

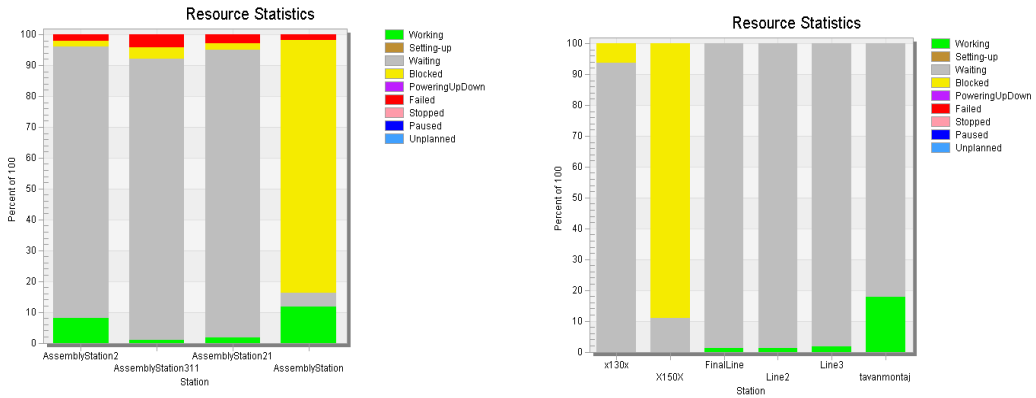
Empty Time

Şekil 4.34. Referans süre içerisinde boş bekleme süreleri

Object	Waiting for Parts	Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation
PowerTrainSource	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
FinalLine	98.67%	166	570:23:35:37.3036	3:10:33:06.3693	36:02:31:35.0946
Line2	98.71%	166	571:05:11:30.1953	3:10:35:07.7723	36:02:43:06.6293
Line3	98.12%	166	567:19:53:10.0000	3:10:05:44.5181	36:02:38:25.3630
FinalAssembly	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Preparation	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Source	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
InnerPartSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
InnerParts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
LastThingSources	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Station130	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Station150	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
AssemblyStation2	88.03%	35	509:10:16:36.5044	14:13:19:19.9001	77:10:36:49.5388
BG130parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
BG150Parts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
OuterParts	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
tavanmontaj	82.17%	9	475:12:23:20.0000	52:20:02:35.5556	154:22:06:00.4775
QualityControl	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
PowerTrain	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer2	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
Buffer3	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
AssemblyStation311	87.49%	51	506:07:02:37.4690	9:22:15:20.7347	62:14:04:08.2440
AssemblyStation21	87.64%	37	507:04:32:15.9544	13:16:59:15.0258	74:17:21:47.9590
AssemblyStation	1.11%	28	6:10:36:03.6633	5:31:17.2737	8:48:59.9752
x130x	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000
X150X	0.00%	0	0.0000	0.0000	0.0000

Waiting Times for Parts

Şekil 4.35. Referans Süre içerisinde istasyonların bekleme süreleri ve yüzdeleri



Şekil 4.36. Düzenlemenin ardından ana istasyon çalışmalarının kendi iç yüzdeleri

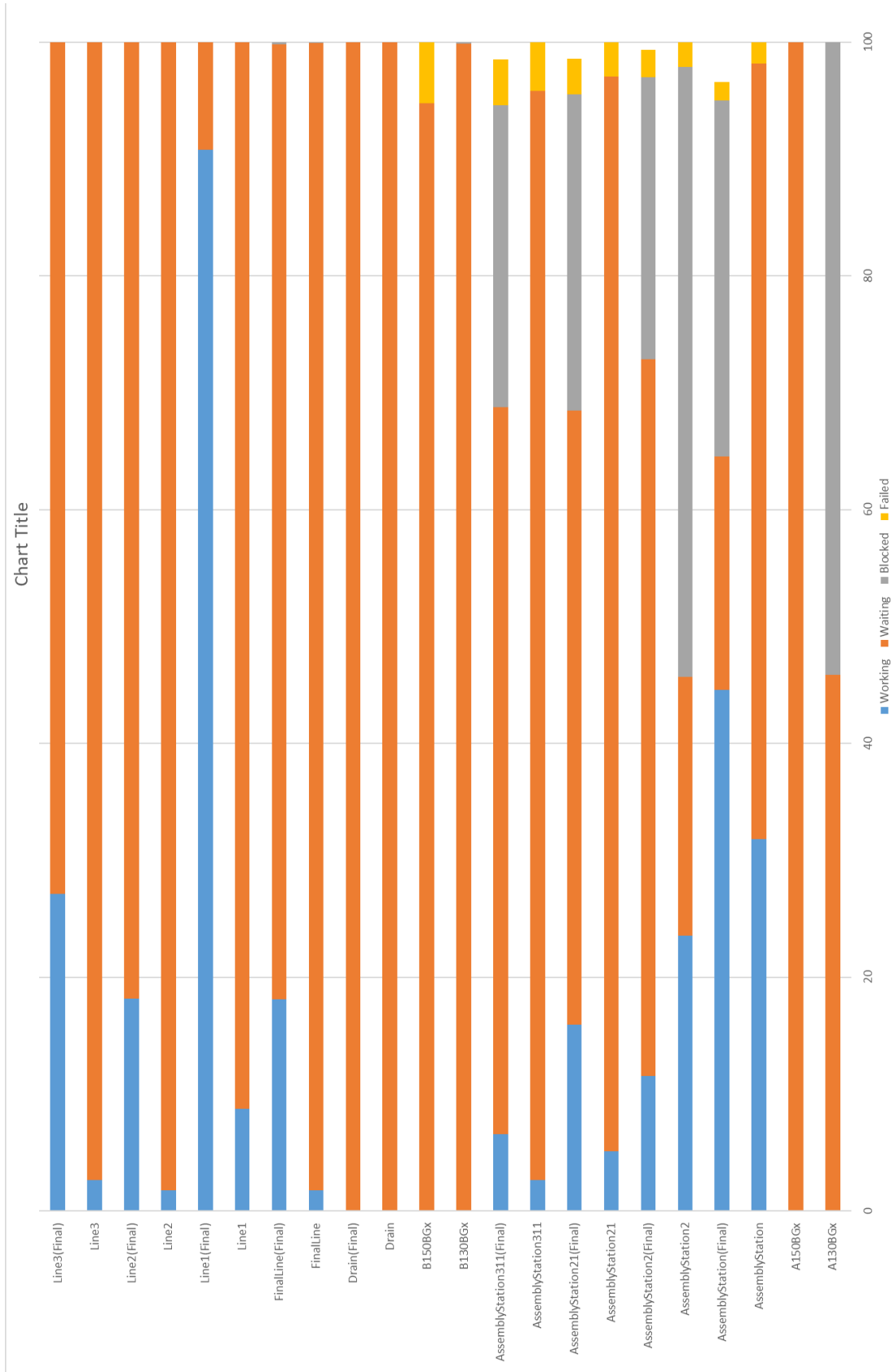
Şekil 4.36 incelendiğinde Line1'in kaldırılıp tavanmontaj istasyonunun eklendiğini ve sadece Üstü kapalı olan Pa ve Pb modelleri için çalıştığı alternatif bir yapı geliştirildiği görülmektedir. Hat yoğunluklarına bakıldığından AssemblyStation bloklanma oranı %82,08, x150BGx adlı yeni konumlandırılan istasyonun bloklanma oranının da %89,16 olduğu ve bu oranların ilk durum çıktıklarına kıyasla daha düşük verime sahip oldukları hem çıktı raporundaki bu yüzdeler ile hemde Drain istasyonunda üretilmiş olarak görülen ürün sayısına bakıldığında açıkça görülmektedir.

İyileştirmenin alt yapısında stok miktarı ve çalışma süreleri aynı tutulmuştur. Ek olarak fazla vakit alan her ürün için geçiş hattı olan Line1 sadece ilgili ürünlere yönlendirilmiştir. Ancak elde edilen çıktılar verimin artmak yerine düştüğünü göstermektedir. Ek olarak, Farklı konumlardaki farklı durumlar için kontrol sağlanmak istendiği durumda Şekil 4.32 - 4.35 Kontrol edilerek ilk durumdaki karşılıkları ile kıyaslama yapılabilir.

4.4. Kıyaslama

Bu bölüm içerisinde 2 adet farklı yapıda kurgulanmış olan senaryo çıktılarından verim oranını iyileştirilmiş olan ele alınacaktır. Verim oranını düşürmüş olan diğer senaryo'ya kıyaslama içerisinde yer verilmeyecektir.

Bir araç üretim fabrikası için talep edilen Darboğaz analizi ve çıktı sonuçları ile birlikte iyileştirilme yapılması hususunda tekrar Şekil 4.11 ve Şekil 4.21 arasındaki yüzde değerleri ele alınacak olursa; Line1 ve AssemblyStation adlı istasyonların verim oranlarının yükseldiği bloklanma oranlarının azaldığı bariz şekilde belli olmaktadır. Genel olarak araç üretim hattında sürenin aynı tutulduğu 6 aylık period(Referans süre) için %25 oranında iyileştirme sağlandığı üretilen araç miktarı ile rahatlıkla hesaplanmaktadır. Esnek üretim hücresine geçmenin diğer hiçbir process için düzenleme yapılmadan iyileştirmeye yol açtığı yatırım yapılmadan bir dijital ikiz programı olan Tecnomatix 16 ile hızlıca tecrübe edilmiştir. Tüm istasyonlar için ilk durum ve iyileştirilmiş durum özeti Şekil 4.37 İle incelenebilir.



Şekil 4.37. Şekil 4.11(İlk durum) ve Şekil 4.21(Son durum) çıktılarının kıyaslandıkları çizelge

5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

5.1. Sonuç

Konu detaylıca incelenerek çıktılar değerlendirildiğinde Dijital ikiz için verim analizinin bu tarzda üretim yapan bir fabrika için gerekli olduğu, maliyet ve zaman kaybı oluşturmadan hızlıca çözüme ulaştırdığı gözlemlenmiştir. Gerekli görüldüğünde birden fazla farklı senaryolar ile kıyaslamaların detaylandırılması ya da çeşitlendirilmesi mümkündür. Esnek üretim hücrelerinin kullanımı ele alındığında yeterli donanım sağlanmış bir hücrenin birden fazla özelleştirilmiş hücre yerine daha verimli çalışabildiği gözlemlenmiştir. %25 civarında verim arttırımı haricinde diğer hatlar için kullanılan bölgelerin stok, kalite vb. farklı alanlara çevrilmesinde verimin farklı bir açıdan arttırılması anlamını taşımaktadır. Bu hususta Değerlendirmeye alınan üretim hattı için Dijital ikiz destekli esnek üretim hücrelerine geçiş olumlu sonuçlanmıştır. Bazı sınırlandırmalar mevcuttur ve gelecekte çalışmalarla geliştirilecektir.

Çalışma içerisinde sembolik olarak yer verilen ancak detayları bu tez içerisinde verilmeyen dijital ikiz ile bilgisayar destekli tasarım verim oranını tam yansıtmamaktadır. Gelecek çalışmalarda detaylıca çıktı değerlerine erişildikten sonra değerler yeni bir yapı ile birleştirilerek ilk durum ve son durum kıyaslaması ile verim oranı net bir şekilde ortaya konabilir.

Durum analizi yalnızca bir endüstriyel şirketi içerir, önerilen kavram ve yaklaşımın performansını doğrulamak için daha fazla deneysel testin yapılması gerekir.

KAYNAKÇA

- Bai, C., Zhang, Q., Liu, J., & Guo, B. (2020). A digital twin-based approach to layout optimization for cellular manufacturing systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(2), 359-372.
- Barata, J. , ve diğ. (2019). Bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik bağlamında dijital ikiz: Bir inceleme. *Sanayide Bilgisayarlar*, 110, 63-78.
- Calp Erkan (2022, 25 Kasım). Dijital İkiz nedir? Uygulama ve örnekleri <https://www.donanimhaber.com/dijital-ikiz-nedir-uygulama-ve-ornekleri--156255> adresinden Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- Chen, W., Gao, L., & Li, Y. (2021). Cellular manufacturing system layout optimization based on a digital twin simulation. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127704
- F. Tao, L. Zhang, and S. Liu, "Digital twin and its industrial applications," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 48, pp. 117-126, 2018.
- Glaessgen, EH ., & Stargel, DS (2012). Gelecekteki NASA ve ABD Hava Kuvvetleri araçları için dijital ikiz paradigma. 53. AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Yapılar, Yapısal Dinamikler ve Malzemeler Konferansı'nda.
- GUO, Daqiang, et al. Synchronization-oriented reconfiguration of FPAI under graduation intelligent manufacturing system in the COVID-19 pandemic and beyond. *Journal of Manufacturing Systems*, 2021, 60: 893-902.
- Haifei Yu, Songjian Han, Dongsheng Yang, Zhiyong Wang, Wei Feng, "Job Shop Scheduling Based on Digital Twin Technology: A Survey and an Intelligent Platform", *Complexity*, vol. 2021, Article ID 882373, 12 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8823273>
- Han, J. , ve ark. (2021). Katmanlı üretim sürecinin optimizasyonu için dijital ikiz teknolojisi. *Akıllı Üretim Dergisi*, 32(3), 661-676
<https://vidyatec.com/blog/the-3-levels-of-the-digital-twin-technology-2/> adresinden Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- IBM (2022) What is the dijital twin? <https://www.ibm.com/search?lang=en&cc=us&lnk=mhsrch&q=How+does+a+dijital+twin+work%3F> adresinden Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- J. Ren et al. (2020). A digital twin-driven approach to optimizing the layout of a manufacturing workshop. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 101942
- J. Shi, W. Jiang, and Y. Zhang, "Research on Digital Twin Technology Application in Assembly Line Layout Optimization," in *Proceedings of the 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC)*, Chengdu, China, 2020, pp. 1193-1197.

- Jiang, Fei, et al. "Digital twin-driven framework for fatigue lifecycle management of steel bridges." *Structure and Infrastructure Engineering* (2022): 1-21.
- Jiang, P., Wang, W., Zhang, C., & Li, H. (2019). A digital twin based approach for the layout optimization of cellular manufacturing systems. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1178-1189
- Jiang, P., Wang, W., Zhang, C., & Li, H. (2019). A digital twin based approach for the layout optimization of cellular manufacturing systems. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1178-1189.
- Jiangfeng Cheng, He Zhang, Fei Tao, Chia-Feng Juang,DT-II:Digital twin enhanced Industrial Internet reference framework towards smart manufacturing,*Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*,Volume 62,2020,101881,ISSN 0736-5845,https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101881.
- Jinjiang Wang, Lunkuan Ye, Robert X. Gao, Chen Li & Laibin Zhang (2019) Digital Twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manufacturing, *International Journal of Production Research*, 57:12, 3920-3934, DOI: 10.1080/00207543.2018.1552032
- Lee, J., Lee, S., & Kim, Y. (2019). Digital twin-based design of a cellular manufacturing system for improved production efficiency. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 8-21
- LI, Yibing, et al. Digital twin-based job shop anomaly detection and dynamic scheduling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2023, 79: 102443.
- Liu, D., Wang, X., & Wu, X. (2021). A digital twin-based optimization method for the layout design of cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 1-21
- Liu, D., Wang, X., & Wu, X. (2021). A digital twin-based optimization method for the layout design of cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 1-21.
- Liu, X. , ve diğ. (2019). Bilgisayar destekli tasarımda ürün performans optimizasyonu için dijital ikiz tabanlı bir yöntem. *Uluslararası İleri Üretim Teknolojisi Dergisi*, 101(5-8), 1323-1339.
- Lu, Y., Wang, L., & Chen, H. (2020). Digital twin-based cellular manufacturing system design and optimization. *International Journal of Production Research*, 58(22), 6768-6787.
- Pandya, D., Yang, Y., Huang, G. Q., & Li, X. (2020). Digital twin technology for smart manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 157-177
- Samir Khan, Michael Farnsworth, Richard McWilliam, John Erkoyuncu, On the requirements of digital twin-driven autonomous maintenance, *Annual Reviews in Control*, Volume 50, 2020, Pages 13-28, ISSN 1367-5788, https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.08.003.
- Siemens (2019,18 Haziran).https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/formula-student-siemens-digital-twin-engineering-excellence-award-2019/ adresinden Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.

- Sundaram, D., & Malhotra, M. K. (2019). Cellular manufacturing system design: A review of research and trends. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 592-613.
- T. Li et al. (2020). A digital twin-based simulation method for layout optimization of a flexible manufacturing system. *Journal of Manufacturing Systems*, 55, 273-286
- Tao, F. , ve ark. (2018). Büyük veri ile dijital ikiz güdümlü ürün tasarımı, üretimi ve servisi . *Uluslararası Gelişmiş Üretim Teknolojisi Dergisi*, 94(9-12), 3563-3576.
- Tao, Fei, et al. "Digital twin modeling." *Journal of Manufacturing Systems* 64 (2022): 372-389.
- Vahidnia, M. H., & Alesheikh, A. A. (2014). Ontological exploration of geospatial objects in context. *Geo-spatial Information Science*, 17(2), 129-138
- Vidyatec (2022, 9 Ağustos). The 3 Levels of the Digital Twin Technology – 2023
- Wang, Y., Zhang, X., Gao, L., & Gao, L. (2020). Digital twin simulation and optimization of the manufacturing system layout design for mass customization. *Journal of Manufacturing Systems*, 57, 343-353
- Wang, Z., Huang, G. Q., & Hu, H. (2021). Digital twin-based production system design and optimization. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 166-183
- Winkler, T. , ve ark. (2020). Üretim sistemlerinin dijital ikiz optimizasyonu. *Procedia CIRP*, 87, 181-186
- Zhang X, Shen J, Saini PK, Lovati M, Han M, Huang P and Huang z (2021) Digital Twin for Accelerating Sustainability in Positive Energy District: A Review of Simulation Tools and Applications. *Front. Sustain. Cities* 3:663269. Doi : 10.3389/frsc.2021.663269
- Zhang, Chaoyang, et al. "Configuration design of the add-on cyber-physical system with CNC machine tools and its application perspectives." *Procedia Cirp* 56 (2016): 360-365.
- Zhang, Y., Liu, Y., Cheng, Y., Li, J., & Li, Y. (2021). Digital twin-based intelligent manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 1-13
- Zhang, Y., Liu, Y., Cheng, Y., Li, J., & Li, Y. (2021). Digital twin-based intelligent manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 1-13.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Necip AKAR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017-2018 yılları arasında OZ-mak Ltd. Şti firmasının' da Mühendis olarak çalıştı.
- 2019-2022 yılları arasında Özbir Vagon a.ş. firmasında Mühendis olarak çalıştı.
- 2022-2023 yılları arasında Anadolu Isuzu firmasında Mühendis olarak çalıştı.
- 2023- yılları arasında Tırsan Trailer firmasında Mühendis olarak çalışmaktadır.