

SİMULASYON DESTEKLİ TESİS TASARIMI: BİR İMALAT SİSTEMİNDE UYGULANMASI

Gülçin CANBULUT* 

Nisa Bahar VURAL* 

Gaye KAVAK* 

Alınma: 16.12.2020; düzeltme:12.07.2022; kabul: 22.07.2022

Öz: Sistem simülasyonu gerçek sistem üzerinde değişiklik yapılmasının mümkün olmadığı ya da oldukça maliyetli olduğu durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Simülasyon, araştırmacılar tarafından birçok alanda uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada; üretim yapan bir işletmede tesis yerleşiminden kaynaklı problemlerin çözümü için simülasyon yönteminden yararlanılacaktır.

Üretim yapan bir işletmede sistematik bir yerleşim düzeni çalışmasının bulunmaması halinde işletmeye ait iş akışı süreçlerinde makine ve iş beklmeleri, makine ve işçilerin aşırı yüklenmesi vb. durumlarla karşılaşmayı kaçınılmaz kılar. Ayrıca yerleşim düzeninin yeterli olmaması bölümler/makineler arasında gereksiz taşıma maliyetlerinin oluşmasına sebebiyet verir. Eğer işletme tesis yerleşimi sistematik bir biçimde düzenlenirse; taşıma maliyetlerinin azalmasıyla birlikte üretim maliyetleri de azalma gösterecektir.

Bu çalışmada; üretim yapan bir işletmenin yanlış yerleşiminden kaynaklanan maliyet artışlarının ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. İlk olarak işletmenin tesis yerleşimi incelenerek; sistematik bir şekilde iyileştirme önerileri yapılacaktır. Daha sonra mevcut durum ve önerilen durum simüle edilerek taşıma maliyetleri, darboğaz kaynaklar, vb. açıdan karşılaştırma yapılacaktır. Ayrıca yine mevcut sistemde darboğaz oluşturan kaynaklar belirlenip; farklı senaryolar ile kaynak planlaması için önerilerde bulunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon; Kesikli Simülasyon, Tesis Yerleşimi, Üretim

Simulation Supported Facility Design: Application in a Manufacturing System

Abstract: System simulation is a very useful method when it is not possible to make changes on the real system or it is very costly. Simulation has been applied by researchers in many fields and successful results have been obtained. In this study, the simulation method will be used to solve the problems arising from the facility layout in a manufacturing enterprise.

Lack of a systematic layout study in a manufacturing enterprise; it makes it inevitable to encounter situations such as machine and job waiting, overloading of machinery and workers in the workflow processes of the enterprise. Insufficient layout causes unnecessary transportation costs between departments/machines. If business facility layout is systematically arranged; with the reduction of transportation costs, production costs can be reduced, and the competitiveness of the company can be increased.

In this study, it is aimed to eliminate the cost increases caused by settlement in a manufacturing enterprise. The production system is first examined by examining the facility layout; systematic suggestions for improvement will be made. Due to the difficulty of implementing it on the real system; the comparison of the current situation and the proposed situation can be made by using simulation method. Also, through the simulation of the existing system, resources that create a bottleneck in the system are determined. Suggestions will be made for resource planning with different scenarios.

Keywords: Simulation, Discrete simulation, Facility planning, Production

* Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erkiilet, Kocasinan/KAYSERİ
İletişim Yazarı: Gülçin CANBULUT (gcanbulut@nny.edu.tr)

1. GİRİŞ

Sistem simülasyonu gerçek sistem üzerinde değişiklik yapılmasının mümkün olmadığı ya da oldukça maliyetli olduğu durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Simülasyon, araştırmacılar tarafından birçok alanda uygulanmıştır: hastane acil departmanlarının simülasyonu, tesis yerleşimi, ürün karışımı, teknoloji seçimi vb. amaçlarla sistemin simülasyonu gibi [Greasley, A., (2008); Söyler, H., Koç, A., (2014); Guseva, E., Varfolomeyeva, T., Efimova, I., Movchan, I., (2018); Persson, F., Araldi, M., (2009)].

Üretim yapan işletmelerin temel problemlerinden bir tanesi de süreçler arasındaki dengenin tam olarak sağlanamamasıdır. Bu durumda; işçi ve makine beklentileri veya aşırı yüklenmeleri, gereksiz taşımalar, vb. olumsuzluklarla karşılaşmaktadır. Bu olumsuzlukların en temel sebeplerinden bir tanesi tesis yerleşiminin sistematik bir biçimde yapılmamış olmasıdır.

Tesis yerleşimi sadece üretim yapan işletmelerde değil; hizmet veren işletmelerde de başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. İşletme yöneticileri genellikle kurulum aşamasında tesis yerleşimi ile ilgili çalışmalar yürütmeyip; herhangi bir problemle karşılaşmaları halinde tesis yerleşimindeki aksaklıkları giderme çalışmalarına başlamaktadırlar. Bu durumda tesis yerleşiminin yeniden düzenlenip denenmesi hem çok maliyetli hem de zaman alıcı bir duruma gelmektedir. Bu sebeple tesis yerleşimindeki değişikliklerin sisteme olan etkisini değerlendirebilmek amacıyla; sistem simülasyonundan yararlanılmaktadır.

Kuvvetli ve diğ., (2017); ağaç ürünleri üretimi yapan bir işletmedeki istasyonlar arasındaki taşıma sistemini incelemiş ve taşıma sistemleri ile ilgili alternatifleri değerlendirmek amacıyla kesikli olay simülasyonundan yararlanmıştır. Konveyör sistemlerini içeren taşıma alternatiflerinin kullanım açısından daha faydalı olduğunun istatistiksel olarak da anlamlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Sabeghi ve diğ., (2015); proje kontrol noktalarının optimum zamanlarını bulabilmek amacıyla ilk olarak tesis yerleşim modeli üzerine çalışmışlardır. Daha sonra, projenin başlangıcı ile ilk kontrol noktası arasındaki periyoda ait zaman dilimindeki muhtemel duraksamaları tahmin etmek amacıyla kullanmışlardır.

Rezaei ve diğ., (2011); bulanık mantıktan da yararlanarak sürekli bir tesis yerleşim önerisi sunmuşlardır. Bulanık modelleme ile önerilen yöntemin etkinliği sayısal örneklerden de yararlanılarak, simülasyon aracılığı ile kanıtlanmıştır.

Shahrour ve Padmini, (2022); bir gıda fabrikasında, güvenliği sağlamak amacıyla yerleşimin nasıl olması gerektiğini inceleme üzerine odaklanmıştır. Aktiviteler arasındaki uzaklığı azaltarak; toplam üretim süresinin düşürülmesi hedeflenmiştir.

Gosende ve diğ. (2021); fabrika yerleşim problemi üzerine detaylı bir literatür araştırması yapmıştır. 232 araştırma incelenmiş ve problemlerin çözüm yöntem sınıflandırmışlardır.

Pourhassan ve Raissi (2017); matematiksel olarak malzeme taşıma vb. maliyetlerin minimizasyonunu sağlayacak şekilde fabrika yerleşimini düzenlemenin ve değişen talep değerlerine göre yeniden yerleşim çalışmalarını yapmayı hedeflemiştir. Optimum yerleşim planını belirlemek için simülasyon yönteminden yararlanmışlardır.

Azadeh ve diğ. (2014); atölye tipi bir işletmenin yerleşim problemini çözmek amacıyla simülasyon tabanlı stokastik veri zarflama analizi yöntemini kullanmışlardır. İlk olarak uygun alternatif yerleşim planları; uzmanlar tarafından belirlenmiş ve bu yerleşim planlarına göre simülasyon aracılığı ile sistemde geçirilen ortalama süre, ortalama kuyrukta bekleme süresi ve ortalama makine kullanım oranı gibi parametre değerleri incelenmiştir.

Garcia ve diğ. (2018); yüksek belirsizlik durumlarında fabrika yerleşimi için simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemi geliştirmiştir. Yapılan çalışmanın; belirsizliği azaltmak amacıyla üretim sistemlerinin karakteristik kriterlerinin nasıl kullanılacağı ile ilgili yöneticilere fikir oluşturduğu düşünülmektedir.

Ordu ve Korhan (2022); bir tekstil atölyesinde tesis yerleşim çalışmaları yürütmüş ve geliştirilen yerleşim planının mevcut durum ile karşılaştırılması amacıyla simülasyon

yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; atölyenin verimliliğinin %14 oranında artış gösteriş olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada; bir üretim sisteminde makine yerleşim problemi için ilk olarak tesis yerleşim düzenlemesi çalışması yapılacaktır. Daha sonra önerilen durum ile mevcut durum kesikli olay simülasyonundan yararlanılarak analiz edilecek ve gerçek sisteme uygulanabilirliği üzerine tartışılacaktır. Ayrıca yine mevcut sistem üzerinde darboğaz oluşturan kaynaklar belirlenip; farklı senaryolar ile kaynak planlaması için önerilerde bulunulacaktır.

Çalışmanın ilerleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde; çalışmada kullanılacak olan simülasyon yönteminden bahsedilecektir. Üçüncü bölümde; uygulamanın yapılacağı işletme hakkında bilgi verildikten sonra; mevcut ve önerilen durum için oluşturulmuş simülasyon modelleri anlatılacaktır. Son bölümde ise sonuçlar analiz edilecek, gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilecektir.

2. SİMULASYON(BENZETİM)

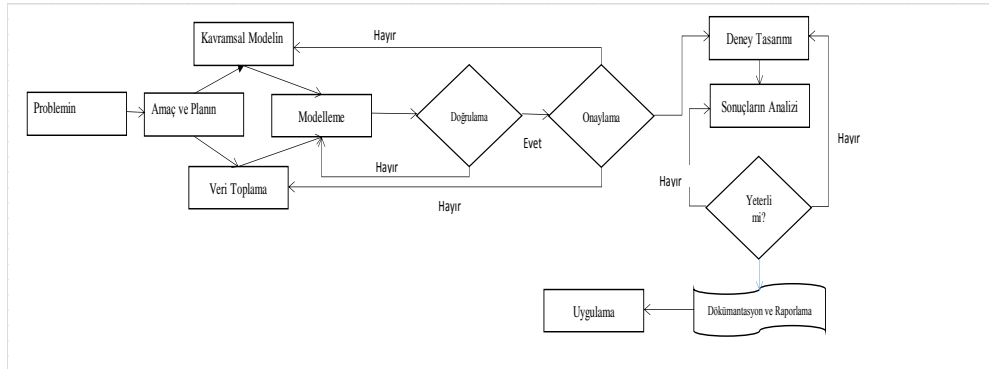
Simülasyon, bir sistemin davranışlarının, sisteme ait parametrelerin izlenebilmesi ve izleme sonuçlarının değerlendirilebilmesi amacıyla bilgisayar ortamında modeller oluşturma süreci olarak tanımlanabilir. Gelişen teknoloji sayesinde olaylar ve sistemler gerçeğine çok yakın bir şekilde modellenebilmektedir. Simülasyon sayesinde; gerçek sistem üzerinde herhangi bir maliyet, zaman ve risk kaybına uğramadan, sistem üzerinde değişiklikler yapıp değerlendirilebilmektedir.

Bir sistemin simülasyon sürecinde ilk ve en önemli aşama; bu sistemin simülasyonunun ne amaçla oluşturulmuş olduğunun belirlenmesidir. Simülasyonun kullanılmasında en önemli nokta; mevcut sistem üzerinde değişiklik yapılmasının mümkün olmadığı ya da çok maliyetli olduğunun anlaşılmasıdır.

Ardından belirlenmiş olan problemin kavramsal modelinin oluşturulması ve kavramsal model için gerekli parametreler ile ilgili verilerin neler olacağı, bu verilerin nereden ve nasıl toplanacağı belirlenmesi gerekmektedir. Modelin oluşturulmasındaki önemli noktalardan biri de kurulan modelin mümkün olduğunca gerçek sistemi yansıtır olmasıdır. Bunu saptayabilmek için farklı senaryolar oluşturularak sistem değişik açılardan incelenmelidir.

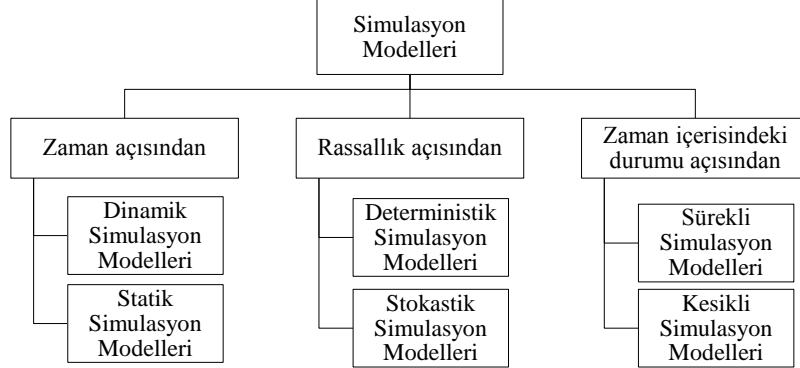
Modelleme sürecinin bir diğer adımı; modellere görselliğin katıldığı ileri teknoloji ürünlerden ve bilgisayar desteğinden faydalandığı modeli geliştirme adımıdır. Geliştirilmiş modellerin kullanımına geçilmeden modelin doğrulanması gerekmektedir. Bunun için bilinen sistem parametreleri ile oluşturulan modeldeki parametre değerleri karşılaştırılmalıdır.

Bir sonraki aşamada oluşturulan model çalıştırıldıktan sonra elde edilen bilgiler kaydedilmeli ve alternatif oluşturulan senaryolar da modele uygulanarak elde edilen sonuçlar analiz edilmelidir. Bir simülasyon sürecine ait akış diyagramı Şekil 1’de gösterilmiştir:



Şekil 1:
Simulasyon Modeli Oluşturma Süreci

Modellenecek olan sistemin özelliğine göre sistemler farklı şekilde modellenebilmektedir. Simülasyon modellerinin farklı kriterlere göre sınıflandırılması Şekil 2’de gösterildiği gibidir:



Şekil 2:
Simülasyon Modellerinin Sınıflandırılması

Statik-Dinamik Benzetim Modelleri

Statik Model: Zamanın herhangi bir anındaki sistem davranışlarını gösteren modeldir. Statik modeller zamandan etkilenmez. Özellikle Monte Carlo Benzetim yönteminde yaygın olarak statik modeller kullanılmaktadır.

Dinamik Model: Dinamik modeller zaman içerisinde değişen sistem durumlarını gösteren modeldir. Dinamik modeller zamandan etkilenir ve sistem modellenirken bütün süre ya da belirli zaman aralığı dikkate alınır. Sistemin çalışma zamanına göre modelleme yapılır. Bir sistemin belirli zaman aralığı arasındaki davranışlarının değerlendirilmesi için geliştirilen bir modeldir. Çünkü günün değişik zamanlarında sistem davranışı değişmektedir.

Deterministik-Stokastik Benzetim Modelleri

Deterministik Model: Tesadüfi değişken içermeyen ve bilinen girdilerden bir çıktı seti oluşturan modeldir. Deterministik modellerin girdi parametreleri değişmez, sabittir.

Stokastik Model: Stokastik model en az bir tesadüfi değişken yani olasılıklı parametre içerir ve tesadüfi değişkenler olasılıklı sonuçlara yol açar. Girdi olarak bir veya daha fazla rassal değişken içerir. Rassal girdiler, rassal çıktılar oluştururlar. Stokastik modellere örnek olarak gerçek hayattaki sistemler verilebilir.

Kesikli-Sürekli Benzetim Modelleri

Kesikli Model: Sistem davranışlarının belirli zaman dilimlerinde değiştiği durumları yansıtan modeldir. Kesikli modellere banka sistemleri örnek verilebilir. Bankada bulunan müşteri sayısı bankaya gelen ve bankadan ayrılan müşteri sayılarına göre değişiklik arz eder.

Sürekli Model: Sistemin davranışlarının zaman içerisinde sürekli değişmesi durumunu yansıtan modeldir. Bir kimyasal prosesin kontrol edilmesi için geliştirilecek olan herhangi bir model sürekli model niteliği taşıyabilmektedir.

3. UYGULAMA

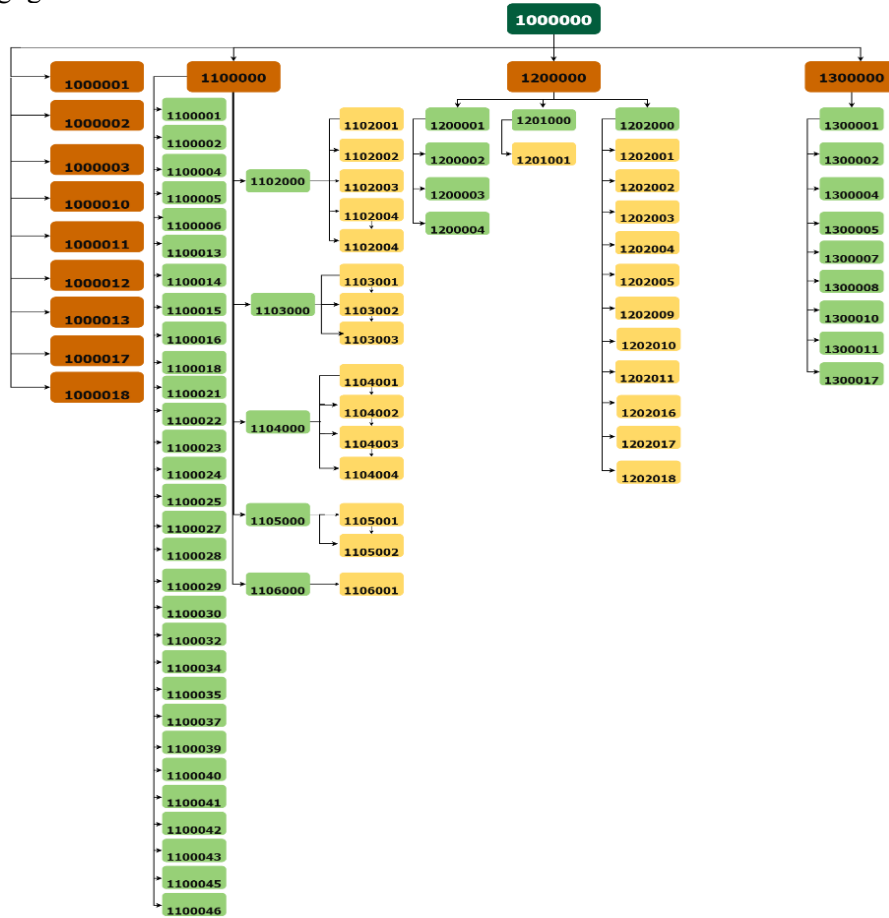
Çalışma; Kayseri’de faaliyet gösteren bir makine imalat işletmesinde yapılmaktadır. İşletme ilk olarak tesis yerleşimi açısından incelenmiş ve makine yerleşimi ile ilgili olarak birtakım iyileştirmeler yapılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla; problem gezgin satıcı problemi gibi düşünülerek atama problemi çözüm yöntemlerinden birisi olan Macar algoritması kullanılarak çözüm elde edilmiş ve bir yerleşim önerisinde bulunulmuştur. Ardından bu çözüm önerisi ile oluşturulmuş olunan durum ile mevcut durum simülasyon yöntemi ile karşılaştırılmış ve sonuçları analiz edilmiştir.

İşletmenin ürün gamı içerisinde üç ürün bulunmaktadır. Bu üç ürüne ait son bir yıl içerisindeki üretim miktarları Tablo 1’de gösterildiği gibidir:

Tablo 1. Ürünlerin Yıllık Üretim Miktarları

Ürün	Üretim Miktarı(adet/yıl)
A makinesi	25
B makinesi	9
C makinesi	2

Bu ürünler arasında A makinesi üretim hacminin yaklaşık %70’ini kapsamı sebebiyle çalışma A makinesi baz alınarak gerçekleştirilmiştir. A makinesine ait ürün ağacı Şekil 3’te gösterildiği gibidir.



Şekil 3:
A Makinesine Ait Ürün Ağacı

Ürün ağacı oluşturulduktan sonra elde edilen işlem süreleri; işlem gördükleri iş istasyonlarına göre ayırım yapılarak listelenmiştir.

Tesis planlama kapsamında malzeme taşıma sürelerini minimize etmek en önemli hedeflerden biridir. Bu sebeple iş istasyonları arasındaki transfer süreleri de simülasyon modelinde dikkate alınmıştır. Bu aşamada işletmenin ölçekli yerleşim planından yararlanılarak iş istasyonları arasındaki uzaklıklar belirlenmiş ve işletmede kullanılan farklı taşıma araçları göz ardı edilerek bir malzemeyi bir birimlik mesafe taşımak için bir dakikalık süreye ihtiyaç olduğu kabul edilmiştir. Makineler arasında hesaplanmış olan transfer süreleri Şekil 4’te gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A			36			12										19
B			31	11				20			8	5	54			17
C		2		8				35		7	7	20	28			42
D																
E	9		12			14	10		5							13
F			27									18				11
G								10								20
H	10	25			19	10										20
I																
J												9				
K				8												
L			24		13											45
M	45	27	8													23
N																
O																
P					5		24	21	9							

Şekil 4:

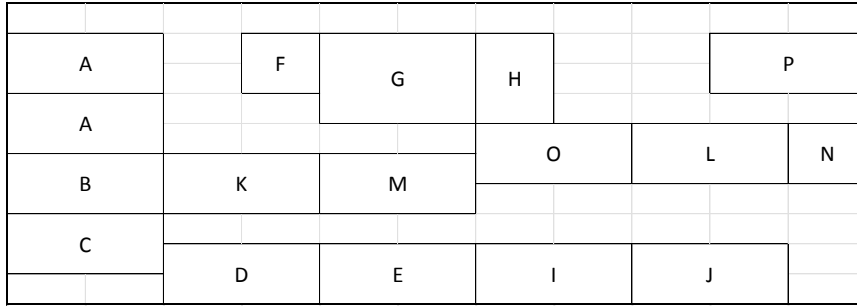
Makineler Arası Transfer Süreleri

Yine A makinesini oluşturan alt bileşenlerin bazılarında ait iş akış süreçleri örnek olması açısından Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. İş Akış Süreçleri

Parça No	İş Akışı	Parça No	İş Akışı
1000001	P-G	1100005	B
1000002	G-L-C-P	1100006	B
1000003	G-P-E-N	1100013	B
1000010	L-E-P	1100014	C-K
1000011	L	1100015	B
1000012	E-F-L-P	1100016	B
1000013	F-P	1100018	B

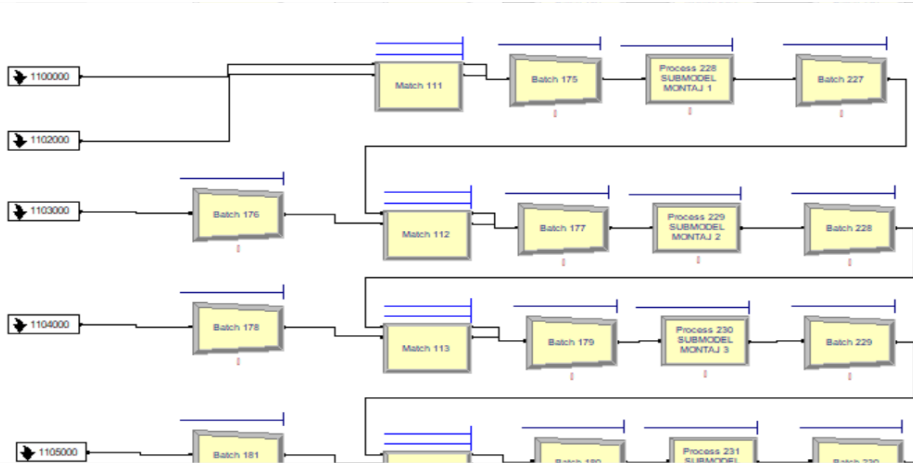
Makineler arası transfer sürelerinin maliyet değerlerini oluşturduğu kabul edilerek; hangi lokasyona hangi makinenin yerleştirilmesinin daha uygun olacağına karar vermek amacıyla; problem atama problemine dönüştürülmüştür. Atama problemi çözüm yöntemlerinden Macar Algoritması kullanılarak alternatif bir yerleşim düzeni çalışması yapılmıştır. Problem boyutunun büyük olması sebebiyle hem yapılacak atama işleminin kolay olmasını sağlamak, hem de hatalı



Şekil 7:
Mevcut Durum Yerleşim Planı

3.1. Mevcut Durumun Simüle Edilmesi

Yeni tesis yerleşim önerisinin ardından sistemin mevcut ve önerilen durumlarının Rockwell ARENA yazılımı aracılığı ile simülasyonu yapılmıştır. Ürün ağacına göre belirlenen her bir alt bileşen için programda “Submodel”ler oluşturulmuştur. Modelin tamamının kapsamlı olması sebebiyle genel görüntüsünden bir kesit Şekil 8’de gösterildiği gibidir.

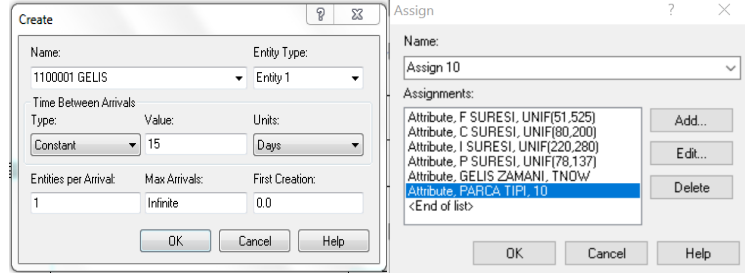


Şekil 8:
Modelin Genel Görüntüsü

Alt bileşenler, submodel olarak tanımlandıktan sonra her alt bileşeni oluşturan parçalar iş akışlarına göre submodel içlerine ilgili modüller kullanılarak aktarılmıştır.

Genel olarak alt bileşenlerin modelleme sürecinden bahsedecek olursak; sisteme parça gelişleri parça çeşidinin fazla olması sebebiyle net olarak belirlenemeyeceği için temel alınan ürünün yıllık talep miktarı bir yıla oranlanmış ve elde edilmiş olunan değer; her bir “Create” modülüne sabit 15 gün gelişler arası süre olarak tanımlanmıştır.

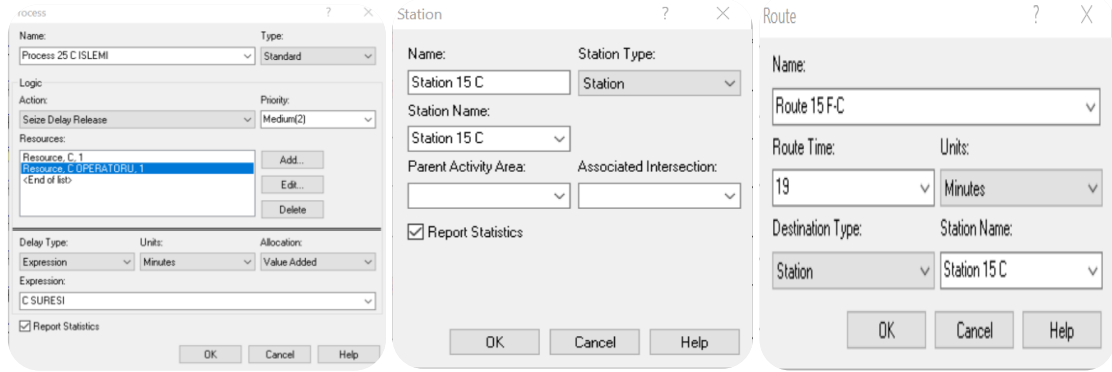
Gelişler arası süreyi tanımladığımız “Create” modülü sonrasında her parçanın işlem gördüğü iş istasyonlarındaki işlem süreleri “Assign” modülüne Attribute ataması yapılarak tanımlanmıştır. Örnek olması açısından bir bileşen için tanımlanan Create modülü ve Assign modülü Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9:
Create Modülü ve Assign Modülü

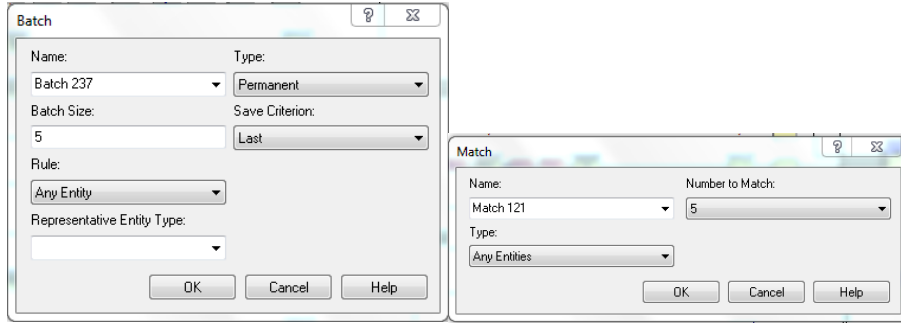
Her bileşen işlem gördüğü iş istasyon sırasına göre işlem sürelerini tanımlamak için “Process” modülü kullanılmıştır. Parçanın gördüğü işlemi belirten her Process modülüne Assign modülünde tanımlanan süreler sırasıyla Expression olarak tanımlanmıştır. İşlem sürelerinin tamamı dakika cinsindedir. İşlem sürelerinin belirlenebilmesi amacıyla; ilk olarak her bir istasyonda zaman etüdü çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ardından ROCKWELL ARENA programı yardımcı araçlarından olan Input Analyzer aracı aracılığıyla bu süreler olasılık dağılımlarına dönüştürülmüş ve ROCKWELL ARENA programında ilgili alanlarda girdi olarak kullanılmıştır.

Taşıma süreleri tesis planlamada ihmal edilemeyecek kadar önemli olduğu için parçaların işlem gördüğü iş istasyonları arasındaki taşıma sürelerini sisteme aktarabilmek amacıyla “Station”, “Route” modülleri konulmuştur. Örnek olması açısından Şekil 10’de Process, Station ve Route modülleri gösterilmiştir.



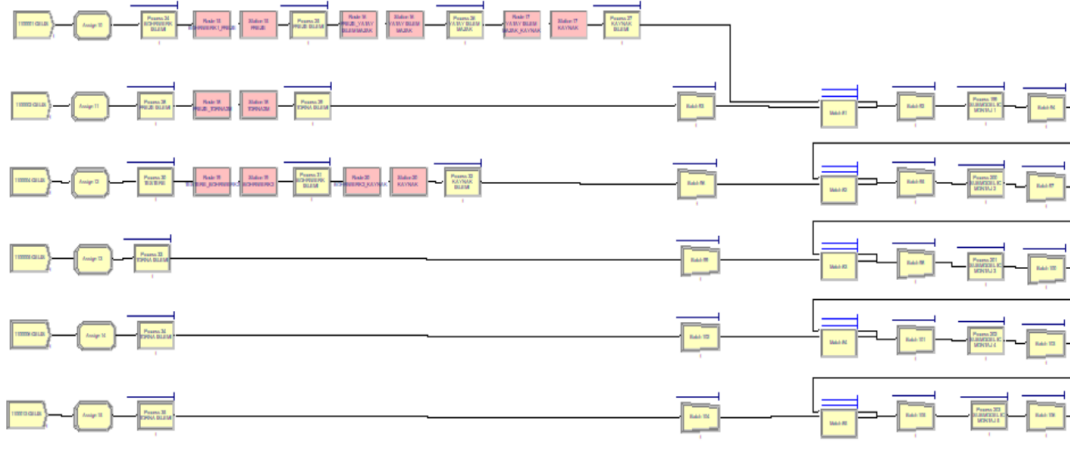
Şekil 10:
Process Modülü, Station Modülü ve Route Modülü

A makinesini oluşturan her bileşenin kaçar adet olması gerektiği işletmeden alınan bilgiler ve analiz edilen imalat verileri sonucunda belirlenmiştir. Gerçek sistemde makineyi oluşturabilmek için her bileşenin ve bileşenlerin oluşturduğu alt bileşenler montaj işlemine tabii tutularak nihai ürün elde edilmektedir. Simülasyon modelinde gerçek sistemi yansıtmak amaçlandığı için, montaj işlemi gerekli olan bileşen adedine göre “Batch” ve “Match” modülleri kullanılarak montaj işlemi sisteme tanımlanmıştır. Şekil 11’de Batch ve Match modüllerine ait birer örnek eklenmiştir.



Şekil 11:
Batch Modülü ve Match Modülü

Sistemde parçalar Batch ve Match modülleri ile gruplandırılarak birleştirilmiştir. Gruplandırmalar sonrasında tek bir Process kullanılarak montaj süresini tanımlanıp Submodel'den çıkış yapılmıştır. Şekil 12'de bir örneği verilmiştir.



Şekil 12:
Submodel Örneği

3.2. Önerilen Modellerin Oluşturulması

Çalışmanın bu kısmında ilk olarak; işletmede bulunan makinelerin yerleşimi ile ilgili yapılan değişikliğin simülasyon modeline aktarılması durumunda sistem parametrelerinin durumları incelenecektir. Ardından mevcut sisteme ait simülasyon modelinin çalıştırılması ile oluşan rapor üzerinden darboğaz oluşturan kaynaklar incelenecek ve bu kaynaklara ait farklı senaryoların karşılaştırılması durumunda parçaların sistemde geçirmiş oldukları süreler göre analizler yapılacaktır.

POM-QM yazılımından elde edilen atama sonucundaki iş istasyonlarından E makinesinin D tezgâhının yanına taşınması uygun görülmüştür, diğer iş istasyonlarında herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir. Bu değişiklik neticesinde; makineler arasında oluşan transfer süreleri güncellenmiştir. Elde edilmiş olan makineler arası transfer süreleri Şekil 13'te gösterildiği gibidir:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	-		8		29	12		11					15			25
B		-	17	18				20			17	18	24			24
C	8	17	-	2	27	19		6		12	6	4	12			28
D		18	2	-							6					
E	29		27		-	32	37	24				25		19		23
F	12		19			-						22				17
G					37		-	23								28
H	11	20	6		24		23	-								25
I									-							28
J			12							-		15				
K		17	6	6							-					
L		18	4		25	22				15		-				18
M	15	24	12										-			30
N					19									-		
O															-	
P	25	24	28		23	17	28	25	28			18	30			-

Şekil 13:
Güncellenmiş Makineler Arası Transfer Süreleri

Mevcut sistemin simülasyon modelinde değişikliklerin yapılabilmesi için E makinesinin yerinin değiştirilmesi sonucunda yeni konumunun diğer iş istasyonları ile aralarındaki güncel mesafeleri baz alınarak bu iş istasyonlarından diğer iş istasyonlarına geçiş için gerekli süreler güncellenerek ilgili modüllere tanımlanmıştır.

Makine yer değişimi sonrası oluşturulmuş olan önerilen simülasyon modeli ile mevcut simülasyon modeli istatistiksel olarak daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla 20 kere çalıştırılmıştır. İş akış süreçlerinde E makinesi bulunan alt bileşenlerin sistemde geçirmiş oldukları süreler karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar Tablo 3'te görüldüğü gibidir:

Tablo 3. İş Akışlarında E Makinesi Bulunan Alt Bileşenlerin Mevcut ve Önerilen Durumda Sistemde Geçirdiği Süreler

PARÇA NO	MEVCUT DURUM	ÖNERİLEN DURUM
100003	36.6653	34.2208
1000010	9.1924	8.6472
1000012	16.2167	15.9722
1100004	14.0882	13.8986
1102005	8.8542	9.4660
1200001	37.5986	37.8229
1202001	31.3896	31.4583
1202005	33.1278	32.2194
1202016	5.8701	4.5597

Parçaların mevcut durumdaki sistemde geçen süreleri ile önerilen durumdaki sistemde geçen sürelerinin mutlak değerce farkları alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda önerilen sistemde geçirdikleri toplam süre, mevcut durumda geçirdikleri toplam süreye göre **5.6426 saat azalma** görülmüştür. Bu sonuca göre, E makinesinin mevcut konumunun D tezgâhının yanına konumlandırılmasıyla parçaların sistemde geçirdikleri toplam sürede azalma gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca mevcut simülasyon modelinin çalıştırılması sonucunda elde edilen rapor sonuçlarına göre; A, B ve C makinelerine ait kuyrukta bekleyen ürün miktarlarının ve bekleme sürelerinin yüksek olduğu görülmüştür. Bu kaynaklar önündeki durumun incelenmesi amacıyla 2 farklı senaryo oluşturulup; Rockwell ARENA yazılımının deneysel tasarım aracı olan Process Analyzer Tool ile oluşturulmuş olan bu senaryolar incelenmiştir. Process Analyzer yardımcı aracı bir simülasyon modelinde yer alan girdi parametrelerinin farklı değerlerinin oluşturduğu modellerin aynı anda çalıştırılarak sonuçlarının karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Bu amaçla; A makinesi miktarı ve operatör miktarı, B makinesi miktarı ve operatör miktarı ile C makine miktarı ve operatör miktarı parametrelerinin almış olduğu farklı değerlere göre; sistemde geçirilen süre çıktı parametresinin değeri incelenmiştir. Bu duruma göre oluşturulan senaryoların ve mevcut duruma ait senaryonun (3. Senaryo) bilgileri Tablo 4'te verildiği gibidir:

Tablo 4. Process Analyzer'da Oluşturulan Senaryolar Tablosu

Senaryo No	Girdi Parametreleri						Çıktı parametreleri
	A makinesi miktarı	A operatör miktarı	B Makinesi miktarı	B operatör miktarı	C makinesi miktarı	C operatörü miktarı	Sistemde geçirilen süre
1	2	2	1	1	2	2	-
2	3	3	2	2	1	1	-
3	2	2	1	1	1	1	-

Process Analyzer Tool'dan elde edilen sonuçların daha iyi analiz edilebilmesi amacıyla Tablo 5 oluşturulmuş ve her bir senaryo için alt bileşen bazlı sistemde geçirilen süreler verilmiştir.

Tablonun son satırına her bir senaryo için parçaların saat cinsinden sistemde geçirdikleri toplam süreleri gösteren bir satır eklenmiştir. Bu değerlere göre; mevcut durumda belirtilen parçaların sistemde geçirmiş oldukları toplam süre yaklaşık 92.756 saat iken; alternatif senaryolardan en iyi sonucu veren 2. Senaryoya göre sistemde geçirilen toplam süre yaklaşık 81.775 saat olarak elde edilmiştir. Bu durumda işletmeye; bir adet A makinesi ve bir adet B makinesi alması önerilebilir. Ancak bu öneri gerçekleştirilirken aynı zamanda fayda-maliyet analizlerinin de yapılması gerekliliği gözden kaçırılmamalıdır.

4. SONUÇLAR

Sistem simülasyonu gerçek sistem üzerinde değişiklik yapılmasının mümkün olmadığı ya da oldukça maliyetli olduğu durumlarda kullanılan; oldukça yararlı bir yöntemdir. Simülasyon, araştırmacılar tarafından birçok alanda uygulanmıştır:

Bu çalışmada, gezgin satıcı probleminde yer alan mevcut yerleşim problemi atama problemi olarak düşünülüp, çözümlenmiştir. Problemin büyük ve kapsamlı olmasından dolayı Macar algoritması temel alınarak POM-QM yazılımına çözdürülmüştür. Çözüm sonucuna göre elde edilen alternatif atama listesinde bulunan iş istasyonları değerlendirilerek C makinesi ile D tezgahının mevcut konumlarının yan yana olmasına karar verilmiştir. Simülasyon modeli oluşturulan mevcut sistem üzerinde yer değiştirilecek iş istasyonu olan C makinesi için yeni transfer süreleri tanımlanarak önerilen simülasyon modeli oluşturulmuştur. Her iki model çalıştırılarak parçaların sistemde geçen süreleri karşılaştırılmıştır ve C makinesinin yer değiştirilmesiyle sistemde geçen sürelerde 5,6426 saat azalma gerçekleşmiştir.

Tablo 5.Process Analyzer Sonuç Tablosu

	SENARYO 1	SENARYO 2	SENARYO 3 (MEVCUT DURUM)
1100001	9.521	9.936	9.936
1100002	3.657	2.436	3.655
1100004	2.682	5.136	5.141
1100005	1.420	0.755	1.417
1100006	8.245	8.302	8.515
1100013	0.995	0.793	0.995
1100014	3.902	4.322	4.640
1100015	7.011	6.662	6.994
1100016	2.711	2.424	2.717
1100018	2.884	2.578	2.888
1100021	1.561	1.562	1.562
1100022	2.649	3.957	4.219
1100023	7.435	8.276	8.171
1100024	0.958	0.533	0.956
1100025	0.918	0.708	0.916
1100027	1.130	0.896	1.128
1100028	1.468	0.889	1.463
1100029	0.934	0.722	0.933
1100030	0.667	0.443	0.662
1100032	1.478	1.265	1.477
1100034	4.702	5.158	5.225
1100035	0.747	0.748	0.748
1100037	8.312	8.311	8.311
1100039	0.204	0.203	0.203
1100040	1.230	0.626	1.228
1100041	1.496	1.238	1.493
1100042	1.117	0.951	1.115
1100043	6.455	7.014	7.014
1100045	2.283	1.226	2.283
1100046	2.165	1.972	2.164
TOPLAM	85.514	81.775	92.756

Aynı zamanda mevcut benzetim modelinin çalıştırılması sonucunda darboğaz kaynaklar A, B ve C makineleri olarak belirlenmiştir. Süreci farklı senaryolar ile değerlendirebilmek için Process Analyzer’da üç farklı senaryo oluşturulmuştur.

1. Senaryo: C makinesinin ve C makine operatörünün 2 adet olması
2. Senaryo: B makinesi ve B makinesi operatörünün 2 adet, A makinesi ve A makinesi operatörünün 3 adet olması
3. Senaryo: Mevcut durum

Her bir senaryo için sistemde geçen toplam süreler hesaplanarak Senaryo 2' de sistemde geçen toplam sürenin yaklaşık 487saat, mevcut durumda sistemde geçen toplam sürenin yaklaşık 674 saat olduğu görülmüştür. Buna göre Senaryo 2'nin mevcut sisteme göre yaklaşık %28'lik iyileşme sağladığı görülmektedir. Yani işletmenin B makinesinden 2 adet, A makinesinden 3 adet bulundurması sistemde iyileşme sağlayacaktır.

Bu çalışma uygulama yapılan firmanın en çok ürettiği ürün olan A makinesi temel alınarak yapılmıştır. Bir sonraki çalışmada firmanın ürettiği diğer iki ürün de sisteme dâhil edilmelidir. Ayrıca çalışma esnasında bazı kabuller bulunmaktadır. Bu kabuller şu şekilde özetlenebilir:

- İşletmede kullanılan farklı taşıma araçları göz ardı edilerek bir bileşeni bir birimlik mesafe taşımak için bir dakikalık süreye ihtiyaç olduğu kabul edilmiştir.
- Bu ürüne yıllık ortalama olarak yirmi beş adet talep bulunmakta dolayısıyla yaklaşık olarak on beş günde bir talebin olacağı düşünülmektedir. Buna göre de gelişler arası sürenin 15 gün olması gerektiğine karar verilmiştir.

Dolayısıyla çalışmanın; bu kabulleri de ortadan kaldıracak şekilde verileri elde ederek yeniden düzenlenmesi; modelin ve çözümün geçerliliğini de artıracaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar(lar), bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Gülçin Canbulut, Kavramsal süreç %5; Tasarım süreç %40

Nisa Bahar Vural, Kavramsal süreç %50; Tasarım süreç %35

Gaye Kavak, Kavramsal süreç %45; Tasarım süreç %25

KAYNAKLAR

1. Greasley, A., (2008) Using Simulation for Facility Design: A Case Study, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16, 670-677. DOI: [10.1016/j.simpat.2008.04.009](https://doi.org/10.1016/j.simpat.2008.04.009)
2. Söyler, H. ve Koç, A., (2014) Bir Kamu Hastanesi için Acil Servis Simülasyonu ve Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü, *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 117-132.
3. Guseva, E., Varfolomeyeva, T., Efimova, I., Movchan, I., (2018) Discrete Event Simulation Modelling of Patient Service Management with Arena, *International Conference Information Technologies in Business and Industry*. DOI: [10.1088/1742-6596/1015/3/032095](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032095)
4. Persson, F. ve Araldi, M., (2009) The Development of a Dynamic Supply Chain Analysis Tool-Integration of SCOR and Discrete Event Simulation, *International Journal of Production Economics*, 121(2), 574-583. DOI: [10.1016/J.IJPE.2006.12.064](https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2006.12.064)
5. Kuvvetli, Y. ve Erol, R., (2017) Ağaç Ürünleri Üreten Bir İşletmede Malzeme Taşıma Sisteminin Simülasyon Yaklaşımıyla İyileştirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 215-222. DOI: [10.21605/cukurovaummfd.310100](https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.310100)
6. Sabeghi, N., Tareghian, H.R., Demeulemeester, E., Taheri, H., (2015) Determining the Timing of Project Control Points Using a Facility Location Model and Simulation, *Computers and Operations Research*, 61,69-80. DOI: [10.1016/j.cor.2015.03.006](https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.03.006)
7. Rezaei, M. ve Zarandi, M.H.F., (2011) Facility Location via Fuzzy Modelling and Simulation, *Applied Soft Computing*, 11, 5330-5340. DOI: [10.1016/j.asoc.2011.05.026](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2011.05.026)

8. Shahrour, M.M.W. ve Padmini, R., (2022) Development of Facility Layout Planning and Design For Dairy Process with 3D Simulation, *AIP Conference Proceedings*, 2463. DOI: [10.1063/5.0080152](https://doi.org/10.1063/5.0080152)
9. Gosende, P.P., Mula, J. ve Madronero, M.D., (2021) Facility Layout Planning.An Extended Literature Review, *International Journal of Production Research*, 59, 3777-3816. DOI: [10.1080/00207543.2021.1897176](https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1897176)
10. Pourhassan, M.R. ve Raissi, S., (2007) An Integrated Simulation Based Optimization Technique for Multi-Objective Dynamic Facility Layout Problem, *Journal of Industrial Information Integration*, 8, 49-58. DOI: [10.1016/J.JII.2017.06.001](https://doi.org/10.1016/J.JII.2017.06.001)
11. Garcia, E.F., Zuniga, E.R., Bruch, J., Moris, M.U., Syberfeldt, A., (2018), Simulation-Based Optimization for Facility Layout Design in Conditions of High Uncertainty, *Procedia CIRP*, 72,334-339. DOI: [10.1016/j.procir.2018.03.227](https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.227)
12. Ordu, M. ve Korhan, E., (2022), Simulasyon Destekli Tesis Yerleşim Tasarımı ve İyileştirme Çalışmaları: Bir Tekstil Firması Örneği, *Osmaniye Korkut Ara University Journal of the Institute of Science and Technology*, 5,26-39. DOI: [10.47495/okufbed.1034177](https://doi.org/10.47495/okufbed.1034177)

