

Malzeme Taşıma Odaklı Planlama için Üretim Sistemlerindeki Tezgah Yerleşim Düzenlerinin Benzetim Analizi ile Karşılaştırılması

The Comparison of Layout Arrangements for the Material Flow Ordering Planning in Production Systems through Simulation Analysis

Mehmet AKSARAYLI ^{a,*} ve Serkan ALTUNTAŞ ^b

^a Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, 35160, İzmir

^b Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 69000, Bayburt

Geliş Tarihi/Received : 13.04.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 22.06.2009

ÖZET

Günümüzde işletmeler üretim maliyetlerini azaltmak ve verimliliklerinin artırmak için uygun tesis planları yapmak zorundadırlar. Çalışma, üretim sistemlerindeki tesis içi yerleşim problemlerinin çözümüne ulaşmakta kullanılan temel tezgâh yerleşim şekilleri ve ürüne göre yerleşim için önerilen yeni bir yaklaşımı birbirleriyle karşılaştıran bir çalışmadır. Çalışmada özellikle tezgâhlar arasındaki malzeme taşıma süreleri ve bu sürelerin toplam üretim süresi içerisindeki oranları ile ilgilenilmiştir. Buna ek olarak, incelenen tüm tezgâh yerleşim şekillerine göre benzetim modelleri sonucunda elde edilen tezgâhların kullanım yüzdeleri ve ürünlerin üretim miktarları da bu çalışma kapsamında aktarılmıştır. Çalışmada ilk olarak tesis planlamasında kullanılan temel yerleşim şekilleri için bir üretim sistemi tanımlanmıştır. Daha sonra tanımlanan üretim sistemi, her bir yerleşim şekli için tezgâh yerleşimi yapılmıştır. Ardından ürüne göre yerleşim şekli için önerilen yaklaşım aktararak üretim sistemi için tezgâh yerleşimi yapılmıştır. Daha sonra tezgâh yerleşim şekilleri "PROMODEL" benzetim yazılımı ortamına aktarılmıştır. Son olarak yapılan analizler ile farklı tezgâh yerleşim şekillerinin malzeme taşıma süreleri ve toplam üretim süresi içerisindeki oranları karşılaştırılmış ve analizlerden elde edilen sonuçlar yorumlanarak aktarılmıştır.

Anahtar kelimeler : *Yerleşim düzeni, Malzeme akış düzeni, Fabrika düzeni, Benzetim, PROMODEL.*

SUMMARY

Enterprises have to make suitable location planning to decrease their product cost and to increase their productivity in our time. The aim of this study is to compare the basic layout types used in arranging inside facility layout with each other by using simulation. Especially in this study, material handling times between machines and ratio of these times in total times were interested. First of all a new production system is designed to the basic layout types used in arranging inside facility layout. And then in the designed production system, machines are arranged for each machine layout types. Machine layout types are transferred to PROMODEL simulation software. Then with the results of analysis, material handling times of different machine layout types and ratio of material handling times in total production time were compared and the results obtained from this analysis were given after commented on this study.

Keywords : *Layout arrangement, Material flow ordering, Plant ordering, Simulation, PROMODEL.*

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail adress: mehmet.aksarayli@deu.edu.tr (M. Aksaraylı)

1. GİRİŞ

İşletmeler, kullarımlarına sunulan olanaklardan en iyi şekilde yararlanmayı amaçlarlar (Su ve Aslan, 1997). Bu amaçla sanayi ortamında faaliyet gösteren işletmelerin hedeflerinden biri birim zamanda ürettikleri ürün miktarlarını artırmaktır. Birim zamanda üretilen ürün miktarını artırmak için mühendisler ve işçiler, üretim sürecini olabildiğince sadeleştirmek, bazı faaliyetleri birleştirmek, üretim esnasında karşılaşılan ve ürüne değer katmayan faaliyetleri ortadan kaldırmak ve bazen de yapılan işe ait faaliyetlerin yapılışını başka bir yöntemle değiştirmek gibi yollara başvururlar. Gösterilen tüm bu çabalar, üretim sistemini iyileştirmek ve rekabet ortamında işletmelerin ayakta kalmalarını sağlamak içindir. Bu doğrultuda işletmeler tesis içindeki tezgâh yerleşim düzenlerini değiştirerek birim zamanda üretim miktarlarını arttırma ve maliyetlerini azaltma yolları ararlar.

Şirketlerin işyeri düzenlemesinde temel amacı, öngörülen kapasite ve kalite gereklerini en ekonomik biçimde karşılayan bir üretim veya hizmet sistemi geliştirmek olarak ifade edilmektedir (Su ve Aslan, 1997). Bir başka ifade ile klasik tesis içi yerleşim düzenlemesinin temel amacı belli ölçütler çerçevesinde sistemin performansının eniyilenmesi için yerleşim planı geliştirmektir (Foulds v.d., 1998).

Tesis Planlaması problemlerinin çözümünde temel olarak tesis alanının ve tezgâh uzaklıklarının gösterilmesi amaçların belirlenmesinde önem taşır. Kullanılan modele bağlı olarak, eniyilenmesi istenen amaçlar; toplam malzeme taşıma maliyetlerinin enküçüklenmesi ve en büyük uzaklığın enküçüklenmesi şeklindedir (İşler, 1997).

Yapılan çalışmanın amacı; ele alınan üretim sisteminin malzeme taşıma odaklı tesis içi yerleşim planını gerçekleştirmek ve ürünlerin taşıma mesafeleri ile sistem içerisinde taşımada geçirdikleri süre oranları, tezgâhların kullanım oranları ve birim zamanda üretilen ürün miktarları açısından yerleşim şekillerini karşılaştırmaktır. Bu amaçla yazında kabul görmüş temel üç tür tesis içi yerleşim düzeni olan Hücresel Üretime Göre Yerleşim, Sürece Göre Yerleşim ve Ürüne Göre Yerleşim şekilleri için üretim sistemi düzenlenmiş ve benzetim modelleri oluşturulduktan sonra yapılan analizler ile yerleşim şekilleri karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda problemin yapısı-

na uygun olarak, benzer problemlerde kullanılmak üzere, Ürüne Göre Yerleşim Şekli için yeni bir yaklaşım önerilmiş ve aynı şekilde benzetim modeli ve analizleri yapılarak sonuçlar diğer yerleşim şekilleri ile karşılaştırılmıştır.

Özellikle bu çalışmada ele alınan üretim sitemi, farklı ürün rotaları üzerinde olan tezgâhların oluşturduğu bir sistemdir. Bir başka ifade ile ele alınan üretim sistemi eş zamanlı bir şekilde bir tezgâhın birden fazla ürünün rotası üzerinde bulunabildiği bir üretim sitemidir. Dolayısıyla yazında karşılaşılan sistemlerden farklı olması açısından önem arz etmektedir. Ele alınan problem ayrıca birçok üretim işletmesinde karşılaşılmaması muhtemel bir problemdir. Bunlara ek olarak, oluşturulan probleme getirilen çözüm yaklaşımlarında benzetim teknikleri kullanılmış ve üretim sürecine ait süreler de hesaba katılmıştır. Tüm bu açılardan çalışma özgün bir çalışma niteliğindedir.

Çalışmada ilk olarak temel yerleşim şekilleri tanıtılmıştır. Ardından, tasarlanan üretim süreci aktarılmıştır. Sonrasında temel yerleşim şekillerine göre tesis içi yerleşim planları gerçekleştirilmiş ve ürünlerin sistem içindeki taşıma mesafeleri verilmiştir. Hemen ardından önerilen yaklaşım aktarılmış ve yerleşim şekli oluşturularak taşıma mesafeleri elde edilmiştir. Son olarak her bir yerleşim şekli için PROMODEL ortamında benzetim modelleri oluşturularak yapılan benzetim uygulamalarının sonuçları yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde tezgâh yerleşim düzenleri, Tesis Planlaması veya Tesis Yerleşimi başlıkları altında incelenmektedir. Dolayısı ile yazında tezgâh yerleşimi ile ilgili problemler de tesis planlama problemi olarak adlandırılmaktadır. Tesis yerleşimi ile ilgili geliştirilmiş modeller geniş uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Hale ve Moberg, 2003). Tesis planlaması problemleri sıklıkla statik ve deterministik model yaklaşımları ile çözümlür (Askın ve Standridge, 1993).

Tesis içi tezgâh yerleşimi için literatürde "ürüne göre yerleşim", "sürece göre yerleşim", "sabit konumlu yerleşim" olarak bilinen yerleşim şekilleri konusundaki çalışmalar son yıllarda azalmış olmasına karşın "hücresel yerleşim" olarak bilinen yerleşim şekli son yıllarda çok yoğun bir şekilde üzerinde çalışılan bir alan olmuştur. Hücresel

yerleşim konusunda hücre şeklinin oluşturulması, hücreler arası taşımaların enküçüklenmesi ve hücre için taşımaların enküçüklenmesini amaçlayan çalışmalar artmıştır.

Jaydeep v.d., (2003) yılında, kullanımı kolay FACOPT adını verdikleri MS Windows ortamı altında çalışan ve Visual BASIC arayüzüne sahip bir yazılım geliştirmişlerdir. Yazılım, benzetim tavlama ve genetik algoritma kullanarak tesis yerleşimi yapmaktadır.

Kulak ve Durmuşoğlu'nun (2004)'te, yaptıkları çalışmada fonksiyonel olarak oluşturulmuş bir üretim sürecini hücresele üretime dönüştürmek isteyen tasarımcılara aksiyomlarla tasarım prensiplerine göre hazırlanmış bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem, hücresele üretim sisteminin değerlendirilmesini ve geliştirilmesi sağlayan geri besleme sistemini de içermektedir.

Lahma ve Benjaafar (2005)'teki çalışmalarında, ürünlerin ve ürün taleplerinin dönemden döneme değişebildiği ve her dönem başında yeniden yerleşimin yapıldığı ortamda dağıtılmış yerleşim dizaynı için bir prosedür göstermişlerdir. Gösterilen prosedürde amaç, her dönemdeki malzeme akış verimi ile dönemler arası yeniden yerleşim maliyetini dengede tutan bir yerleşim dizaynı etmektir. Önerilen prosedür ile talep değişkenliğinin yüksek veya ürün çeşitliliğinin düşük olduğu zamanlarda dağıtılmış yerleşimin çok önemli olduğunu göstermişlerdir.

Saraç ve Özçelik (2006) yılında, hücresele üretim için hücre oluşturma problemini ele almışlar ve alternatif rotaların varlığı durumunda, hücre oluşturma problemini çözmek için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma, eniyi hücre sayısını da belirleyebilmektedir. Ayrıca yaptıkları çalışma ile sadece alternatif rotaların var olduğu hücre oluşturma problemlerinde değil, genel hücre oluşturma problemlerinde de geliştirdikleri algoritmanın başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Banerjee v.d. (2006) yılında yaptıkları çalışma ile nicel bir model geliştirmişler ve bir konaklama tesisinin malzeme akış yönünden tesis yerleşim alternatiflerini değerlendirmişlerdir. Malzeme akış tabanlı nicel modeli tesis yerleşiminde yazılım kullanarak uygulamışlardır. Yazılımın verdiği sonuçları olurluluk ve maliyet açısından karşılaştırmışlar ve sonuçta malzeme taşıma tabanlı tesis yerleşim alternatiflerinin değerlendirilmesi için karşılaştırmalı işlem adımlarını bir akış di-

yagramında geliştirmişlerdir.

Anjos ve Vannelli (2006) yılında tesis yerleşim problemleri için yeni bir algoritma önermişlerdir. Önerilen algoritma iki yeni matematiksel programlama modeline dayanmaktadır. İlk algoritma, ikinci algoritmada kullanılmak üzere iyi bir başlangıç çözüm noktası bulmak içindir. İkinci algoritma ise tesis yerleşim probleminin denge kısıtlarının varlığında bir içbükey matematiksel program olarak tam bir formülasyondur. Ayrıca yaptıkları çalışma ile literatürdeki diğer yöntemlerle karşılaştırmalı sonuçlar vermişler ve geliştirilen algoritmanın maliyetinin tesis yerleşim problemleri için daha düşük olduğunu bulmuşlardır.

Wu v.d. (2007) yılında hücre şekillerini ve grup yerleşimine karar veren bir hiyerarşik genetik algoritma önermişlerdir. Önerilen algoritma hiyerarşik kromozom yapısını ve grup mutasyon operatörünü içermektedir.

Chan v.d., (2002) yılında yaptıkları çalışmada hücresele yerleşim için hücre içi taşımaları minimize eden bir hücresele yerleşim algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritma iki bölüme ayrılmıştır. Birinci bölümde hangi tezgahın hangi sırayla hücre içine yerleştirileceği sorusuna cevap verirken, ikinci bölümde ise sırası belirlenen tezgahların hücre içinde nereye yerleştirileceği sorusuna cevap vermektedir.

Lei ve Wu (2006) yılında yaptıkları çalışmada hücresele yerleşimde çok amaçlı makine-parça gruplama problemleri için pareto eniyileme tabanlı bir tabu araştırma algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritma ile genetik algoritma sonuçları çok amaçlı hücresele yerleşim için karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonucu önerilen algoritmanın genetik algoritmadan daha üstün olduğu görülmüştür.

Hachicha (2007) yılında yaptıkları çalışmada simülasyon tabanlı bir metodoloji önermişlerdir. Önerilen metodoloji hücresele üretimde, olasılıksal bir bakış açısıyla daha iyi bir hücre yerleşimi oluşturmaya yöneliktir. Önerilen yöntem, ilk hücre yerleşimi elde edildikten sonra hücreler arası taşıma miktarını azaltacak bir yöntemdir.

Pinto Wilsten ve Shayan (2007) yılında yaptıkları çalışmada, bir mobilya üretim şirketinde farklı sezgisel yaklaşımları gerçek hayat problemine uygulamışlardır. Uygulamalar sonucunda elde edilen veriler, çok ölçütlü karar verme teknik-

lerinden biri olan AHP ile birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu en iyi yerleşim şeklinin BLOCPLAN algoritmasıyla elde edilen yerleşim olduğu görülmüştür.

Wei ve Mejabim (2008) yılında yaptıkları çalışmada 0-1 tamsayılı dağrusal olmayan bir problem tanımlamış ve bu problemin çözümünü hücre içi taşımaları enküçükleyecek bir kümeleme algoritması önermişlerdir. Önerdikleri algoritma, tanımladıkları problem için uygun bir çözüm vermektedir. Geliştirdikleri algoritma özellikle makineler arası taşımaların AGV ile yapıldığı üretim sistemleri için iyi sonuçlar vermektedir.

3. TESİS İÇİ TEMEL YERLEŞİM ŞEKİLLERİ

Üretim sistemleri için tesis içi yerleşim düzenlemeleri yapmak, verimli bir üretim sürecine sahip olmak, planlanmış bir sürecin etkinliğini arttırmak ve düzgün bir iş akışını sağlamak önemlidir. Yazında üretim sistemleri için geliştirilmiş dört tip yerleşim düzenleme şekli bulunmaktadır. Bunlar; Sabit Konumlu Ürüne Göre Yerleşim, Hücresel Üretime Göre Yerleşim, Sürece Göre Yerleşim ve Ürüne Göre Yerleşim şekilleridir. Sayılan bu yerleşim şekillerinin bire bir sanayi ortamında kurulmuş işletmelerde görmek mümkün olmayabilir. Bunun nedeni; belli bir üretim sürecine sahip bir işletmenin sayılan yerleşim şekilleri açısından tesis yerleşimini yapması durumunda istenen akış düzgünlüğünü, verimi ve etkinliği elde edemeyeceğine olan inancıdır. Dolayısı ile üretim sürecinde görevli üreticiler, kendi üretim süreçlerinin ve tesis oturma alanı kısıtlarına uygun yerleşim düzenlerini geliştirmektedir. Bazen de yerleşim şekillerinin bir karması şeklinde tesis içi tezgâh yerleşimi yapmaktadırlar.

3. 1. Sabit Konumlu Ürüne Göre Yerleşim

Çok büyük ürünlerin üretimi için kullanılan yerleşim şeklidir. Bu yerleşim şekline göre üretimi

gerçekleştirilecek olan ürünün temel iskelet parçası ortaya konur. Bu iskelet parçaya, montajı gerçekleştirmek üzere ya da üretimi yapılacak diğer malzemeleri parça çevresinde bulunan iş istasyonlarında yapılarak üretim gerçekleştirilir (Erkut ve Baskak, 2003).

3. 2. Hücresel Üretime Göre Yerleşim

Hücresel üretime göre yerleşim şeklinde, işletmenin sahip olduğu parça ailelerine göre her bir ürün bir hücrede üretilecek şekilde tezgâhlar yerleştirilir. Bu yerleşim sayesinde hücre merkezinde yer alan işgörenler, birden fazla tezgâhla ilgilenmektedir (İşlier, 1997).

3. 3. Sürece Göre Yerleşim

Sürece göre yerleşim şekli aynı türden tezgâhların birbirlerine yakın yerlerde konulmaları ile elde edilen bir yerleşim şeklidir. Burada, benzer nitelikteki işlemlerin hepsi bir araya toplanmıştır (Erkut ve Baskak, 2003). Bu yerleşim şekli ürünlerin rotalarından bağımsız bir yerleşim şeklidir. Sadece tezgâh tiplerinin göz önünde bulundurulması ile elde edilen bir yerleşim şeklidir.

3. 4. Ürüne Göre Yerleşim

Ürüne göre yerleşim şekli temel olarak ürün rotalarına göre yerleşim mantığına dayanmaktadır. Ürünlerin sahip olduğu rotalara göre, tezgâhlar birbiri ardına sıralanır. Bu yerleşim şeklinde asıl amaç bir üretim hattı oluşturarak düzgün bir iş akışı sağlamaktır.

4. UYGULAMA

4. 1. Tasarlanan Üretim Süreci

Çalışma kapsamında incelenen üretim sistemi Ürün1, Ürün 2, Ürün 3, Ürün 4 ve Ürün 5 olmak üzere beş farklı ürünün üretildiği bir sistemdir. Sistemde farklı çeşitlerde toplam on dokuz tezgâh bulunmaktadır. Bunlar; iki adet torna, dört adet bükme, iki adet punta kaynak, iki adet asetilen kaynak, üç adet kesme, üç adet boya ve iki adet montaj tezgâhidir. Ürünlere ait rotalar

Tablo 1. Ürünlerin rotaları.

	Ürün1	Ürün2	Ürün3	Ürün4	Ürün5
TEZGÂHLAR	Torna_1	Torna_2	Torna_2	Asetilen Kaynağı_1	Kesme_3
	Bükme_3	Bükme_2	Bükme_2	Kesme_2	Bükme_4
	Asetilen Kaynağı_1	Punta Kaynağı_1	Kesme_1	Punta_Kaynağı_3	Boya_3
	Boya_1	Bükme_1	Punta Kaynağı_2	Asetilen Kaynağı_2	Montaj_2
	Montaj_1	Boya_2	Boya_2	Montaj_1	
		Montaj_2	Montaj_2		

Tablo 1’de gösterildiği gibi ürünün işlem gördüğü tezgâh sırasına göre yukarıdan aşağıya doğru sıralanmıştır. Malzemelerin sisteme geliş sıklıklarına ait dağılımlar ise Tablo 2’deki gibidir.

Üretim sürecinde, üretimi gerçekleştirilen ürünlerin tezgâhlarda gördüğü sürelerle ait dağılımlar Tablo 3’deki gibidir.

Tablo 2. Ürünlerin sisteme geliş dağılımları.

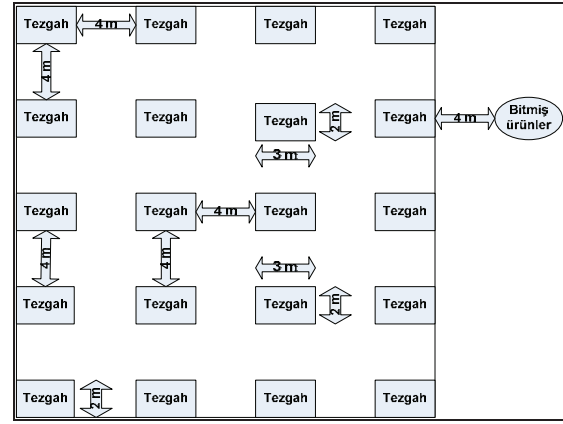
Ürünler	Sıklık Dağılımları
Ü1	Üstel (20) dakika
Ü2	Üstel (15) dakika
Ü3	Üstel (10) dakika
Ü4	Üstel (16) dakika
Ü5	Üstel (12) dakika

Tablo 3. Ürünlerin rotaları üzerindeki tezgâhlarda gördüğü işlem sürelerine ait dağılımlar ve değerleri.

Ürün	Tezgah	İşlem Süre Dağılımı
Ürün 1	Torna_1	N (4;1)
Ürün 1	Bükme_3	N (5;2)
Ürün 1	Asetilen Kaynak_1	N (3.5;0.9)
Ürün 1	Boya_1	N (8;1.4)
Ürün 1	Montaj_1	N (7.2;0.7)
Ürün 2	Torna_2	N (5;1.7)
Ürün 2	Bükme_2	N (2.5;0.4)
Ürün 2	Punta_Kaynak_1	N (9.5;1.5)
Ürün 2	Bükme_1	N (9.9;1.9)
Ürün 2	Boya_2	N (6;2)
Ürün 2	Montaj_2	N (4.6;1.4)
Ürün 3	Torna_2	N (5.3;2.2)
Ürün 3	Bükme_2	N (3.3;1.3)
Ürün 3	Kesme_1	N (7.2;3.1)
Ürün 3	Punta_Kaynak_2	N (5.2;3)
Ürün 3	Boya_2	N (3.2;1)
Ürün 3	Montaj_2	N (3;1)
Ürün 4	Asetilen Kaynak_1	N (8;5)
Ürün 4	Kesme_2	N (9;3)
Ürün 4	Punta_Kayna_3	N (5;2)
Ürün 4	Asetilen Kaynak_2	N (4;2)
Ürün 4	Montaj_1	N (7;1)
Ürün 5	Kesme_3	N (5.5;2.1)
Ürün 5	Bükme_4	N (5.2;1)
Ürün 5	Boya_3	N (3.7;1)
Ürün 5	Montaj_2	N (7.6;3)

Tanımlanan üretim sisteminde her tezgâhın boyutlarının eşit bir şekilde eni 2m, boyu 3 metre ve tezgâhlar arası mesafe yatayda ve dikeyde 4 metre olarak ele alınmıştır. Dolayısıyla oturma alanı 624 m² olarak kısıtlanmıştır. Bu kısıtlar altında tesisin oturma alanı Şekil 1’de gösterildiği gibidir.

Tezgâhlar arasında malzeme akışı olurken, yatay ve dikey eksenlerinin her biri için mesafelerin dörder metre olduğu düşünülmüştür ve malzeme taşıma mesafeleri ise dik doğrusal olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Tesisin oturma alanı.

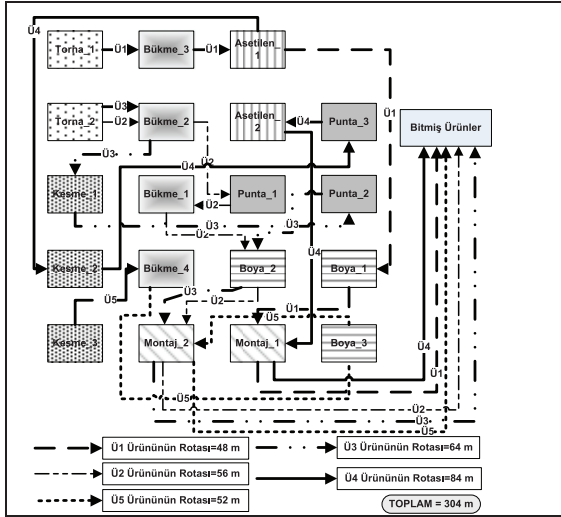
4. 2. Yerleşim Şekillerine Göre Planlama

Üretim sistemindeki tezgâhlar, tüm tezgâh yerleşim şekillerine göre yerleştirilmiştir. Aşağıda sırasıyla "Sürece", "Ürüne" ve "Hücreyel" yerleşim şekillerine göre düzenlemeler verilmiştir. Hücreyel yerleşime göre düzenlemede farklı iki yerleşim ayrı ayrı incelenmiştir. Oluşturulan yerleşim şekilleri aşağıda görülmektedir. Ardından modellerin PROMODEL yazılımında benzetim modelleri oluşturulmuş ve sırasıyla aktarılmıştır.

4. 3. Sürece Göre Yerleşim

Beş ürünlü üretim sistemi, Şekil 1’de verilen tesis oturma alanı için ilk olarak sürece göre yerleşim düzenlemesi yapılmıştır. Bu düzenlemede aynı işleve sahip tezgâhların bir arada olması kuralı temel alınarak, yerleşim düzeni Şekil 2’de verildiği gibi elde edilmiştir. Tesis oturma alanının sol tarafı ürünlerin ilk işlem tezgâhları, sağ tarafı ise ürünlere ait son işlem tezgâhları olarak yerleştirilmiştir. Buna göre sol tarafta torna ve kesme tezgâhları, en sağ tarafta ise boya ve punta tezgâhları yerleştirilmiştir.

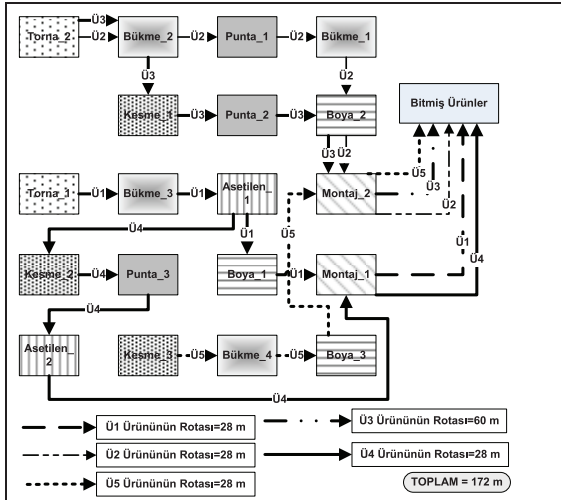
Sürece göre yerleşim şekli incelendiğinde ürünlerin sistemde taşıma mesafeleri Şekil 2’nin içinde verilen tablodaki gibi olmaktadır. Buna göre Ürün1 sistemde 48 metre, Ürün2 56 metre, Ürün3 64 metre, Ürün4 84 metre ve Ürün5 de 52 metre taşınmaktadır. Dolayısıyla sistemde ürünlerin Sürece Göre Yerleşim şeklinde toplam 304 metre taşındığı görülmektedir.



Şekil 2. Sürece göre yerleşim planı.

4. 4. Ürüne Göre Yerleşim

Ürüne göre yerleşimde her ürün rotasına uygun olarak bir akış hattı boyunca tezgâhların tesis oturma alanına yerleştirilmesi temel alınarak, yerleşim düzeni Şekil 3'de verildiği gibi elde edilmiştir.



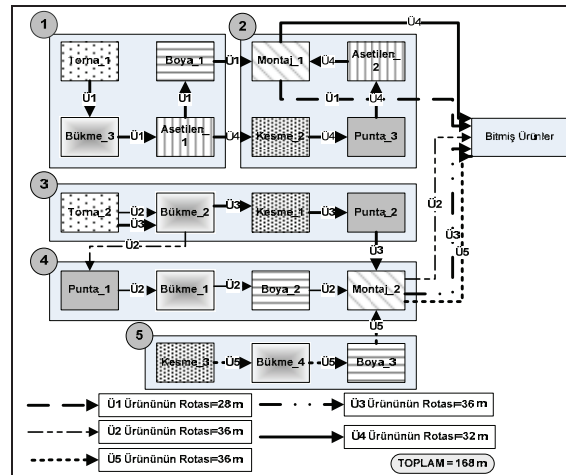
Şekil 3. Ürüne göre yerleşim planı.

Ürüne göre yerleşimde tesis oturma alanının sol tarafı ürünlerin ilk işlem tezgâhları, sağ tarafı ise ürünlere ait son işlem tezgâhları olarak yerleştirilmiştir. Ancak ele alınan problemde tezgâhların birden fazla ürünün rotaları üzerinde olmasından ötürü ürüne göre yerleşim düzeninde her ürün akışının oluşturulduğu hat diğer ürün hatlarından ayrı olarak elde edilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla ürün rotalarının uygun bir şekilde akışının sağlanması için örneğin Kesme1 tezgâhında olduğu gibi tezgâhlar ürün rotalarına uygun olacak şekilde sezgisel olarak yerleştirildiler. Elbette sezgisel yerleştirmeler

farklı tesis içi yerleşim düzenlemelerini ortaya çıkarabilmektedir. Çalışmada ürüne göre yerleşim düzenlemesi Şekil 3'de verildiği gibi elde edilmiştir. Yerleşim şekli incelendiğinde ürünlerin sistemde taşıma mesafeleri Şekil 3 içinde verildiği gibi olmaktadır. Sistemde ürünlerin Ürüne Göre Yerleşim şeklinde toplam 172 metre taşındığı görülmektedir.

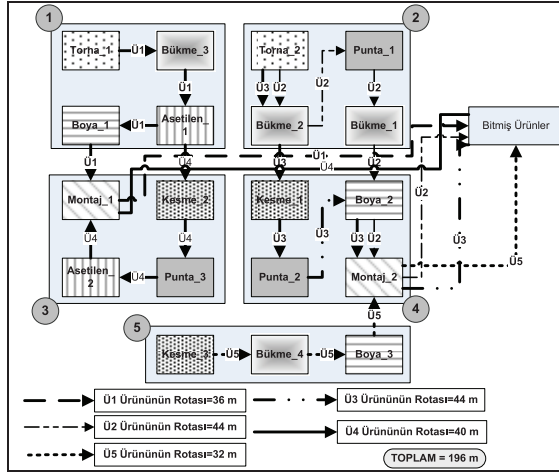
4. 5. Hücresel Yerleşim

Hücresel üretime göre yerleşimde her bir ürün ailesi birbirine yakın tezgâhların döngü de oluşturabileceği aynı üretim alanında üretilirler. Hücreler Şekil 4'te görüldüğü gibi 1 ve 2'nolu hücrelerde olduğu gibi döngüsel olabileceği gibi 3, 4 ve 5'nolu hücrelerde olduğu gibi bir akış hattı boyunca da oluşturulabilir. Çalışmada ilgilenilen problem için hücresel üretime göre yerleşim Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre beş farklı hücre oluşturulmuştur. Görüleceği gibi problemin yapısına bağlı olarak hücreler sadece bir ürün ailesinin tezgâhları tarafından oluşmamaktadır. Örneğin 1'nolu hücrede ürün 1 rotası üzerinde bulunan tezgâhlardan oluşmaktadır. Fakat ürün 1 sadece 1'nolu hücrede tamamlanamamaktadır. Ürün1, 1'nolu hücreden sonra 2'nolu hücrede bulunan tezgâhlarda da işlem görmekte ve bitmiş ürün olarak sistemden çıkmaktadır. Ancak 1'nolu hücre, Şekil 4'te de görüldüğü gibi en fazla Ürün1 tezgâhlarından oluşmaktadır ve bundan dolayı, daha çok Ürün1 için uzman bir üretim alanı oluşturduğu düşünülerek, hücresel üretim alanı olarak ele alınmıştır. Dolayısıyla benzer şekilde 2'nolu hücre, Ürün 4 için; 3'nolu hücre Ürün 3 için, 4'nolu hücre Ürün 2 için ve 5'nolu hücre Ürün 5 için uzman bir üretim alanı oluşturduğu düşünülerek, hücresel üretim alanı olarak ele alınmıştır.



Şekil 4. 1'nolu hücresel yerleşim planı.

Ancak hücrelerin oluşturulması tezgâhların yerleştirilmesine bağlı olarak değişebilmektedir. Dolayısıyla farklı hücreyel yerleşim şekillerinin elde edilmesi kaçınılmazdır. Bir başka ifade ile farklı uygulayıcılar farklı hücreyel yerleşim şekilleri elde etmeleri mümkündür. Bu çalışma kapsamında ilgilenilen yerleşim problemi için bir diğer hücreyel üretime göre yerleşim Şekil 5’de verildiği gibi oluşturulmuştur.



Şekil 5. 2'nolu hücreyel yerleşim planı.

Hücreyel üretime göre 1'nolu Yerleşim şekli incelendiğinde ürünlerin sistemde taşıma mesafeleri Şekil 4 içinde özetlendiği gibi oluşmaktadır. Sistemde ürünlerin hücreyel üretime göre 1'nolu yerleşim şeklinde toplam 168 metre taşındığı görülmektedir. Aynı şekilde hücreyel üretime göre 2'nolu Yerleşim şekli incelendiğinde ise ürünlerin sistemde taşıma mesafeleri Şekil 5 içerisinde verildiği gibi olmaktadır. Sistemde ürünlerin hücreyel üretime göre 2'nolu yerleşim şeklinde toplam 196 metre taşındığı görülmektedir.

4. 6. Geliştirilen Ürüne Göre Yerleşim Planı

Herhangi bir üretim sistemi eğer incelediğimiz üretim sisteminde olduğu gibi, bir tezgâhın birden fazla ürün rotası üzerinde olduğu tezgâhlardan oluşuyorsa, tezgâhların yerleşim şeklinin oluşturulması çok kolay olmamaktadır. Bununla birlikte aynı yerleşim şekli temelinde dayansa bile farklı yerleşim şekilleri söz konusu olabilmektedir. Bu da planlayanın dikkat ve yaklaşıma bağlı olarak değişmektedir.

Çalışmanın bu noktasında ürüne göre yerleşim şekli için benzer problemlerde kullanılacak bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım ile farklı uygulayıcıların birbirine benzer Ürüne Göre Yerleşim şekilleri elde etmeleri mümkündür. Aynı

zamanda önerilen yaklaşım ile elde edilen yerleşim şekline oluşturmak daha kolay ve ürün taşıma odaklı problemlerde daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Yöntem için ilk olarak ürünler arasında ortak kullanılan tezgâh sayıları incelenir. Üzerinde çalışılan problem için bu ilişkiler Tablo 4’de verilmiştir. İkili karşılaştırma sayısı 5 adet ürün olduğu için,

$$C_5^2 = \frac{5!}{(5-2)! \cdot 2!} = 10$$

eşitliğinden yararlanılarak 10 adet olarak bulunur. Ürünler arası ortak tezgâh sayıları içerisinde sayılar büyükten küçüğe doğru sıralanır. Ürüne göre yerleşim şekli bu sıraya göre yapılır. Ürün çiftleri arasındaki ortak tezgâh sayıları Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Ürünler arasındaki ortak tezgâh sayıları.

Ürün İlişkileri		Ortak Tezgâh Sayıları
Ürün 1	Ürün 2	0
Ürün 1	Ürün 3	0
Ürün 1	Ürün 4	1
Ürün 1	Ürün 5	0
Ürün 2	Ürün 3	4
Ürün 2	Ürün 4	0
Ürün 2	Ürün 5	1
Ürün 3	Ürün 4	0
Ürün 3	Ürün 5	1
Ürün 4	Ürün 5	0

Çalışmada “Ürün2 - Ürün3” dört ortak tezgâhla en fazla ortak tezgâha sahip ürün çiftidir. Sonrasında birer ortak tezgâha sahip olan “Ürün1-Ürün4”, “Ürün2 - Ürün5” ve “Ürün2 - Ürün5” gelmektedir. Bu sonuç bize Ürün2 ile Ürün3 tezgâhlarının birbirlerine yakın ve mümkünse yan yana olacak şekilde yerleştirilmelerinin gerekliliğini vermektedir. Sonrasında ise sırasıyla diğer ürün çiftleri birbirlerine yakın olacak şekilde yerleştirilmelidir.

Bu yaklaşıma göre çalışmada ilk adım Ürün2 ve Ürün3 tezgâhlarının birbirine yakın olarak tesisin oturma alanına atanmasıdır. Ardından gelen adım ise, diğer ürün çiftleri arasında Ürün2 ve Ürün3 ile ilişki olanları ilk atamaya göre yanlarına atamaktır. Tablo 4’e baktığımızda Ürün2 ile ortak tezgâha sahip ve diğer ortak tezgâha sahip ürün çiftleri arasında aynı sıralamada olan “Ürün2-Ürün5” çiftine göre atama yapılır. Bu atama da Ürün5 tezgâhları Ürün2 tezgâhları ile yan yana atanır. Diğer ürün çifti olan Ürün1 ve Ürün4 ise sadece kendi aralarında ortak tezgâha sahiptirler. Dolayısıyla diğerlerinden bağımsız olarak atanırlar. Yaklaşımla elde edilen tezgâh sıralamaları Tablo 5’de gösterilmiştir. Diziliş A ile diziliş B arasında diğer ürünlerle ilişkili olmayan Ürün1 ve Ürün4’ün farklı diziliş söz konusudur.

Tablo 5. Ürünler arasındaki ortak tezgâh sayıları.

Diziliş A	veya	Diziliş B
Ürün5		Ürün5
Ürün2		Ürün2
Ürün3		Ürün3
Ürün4		Ürün1
Ürün1		Ürün4

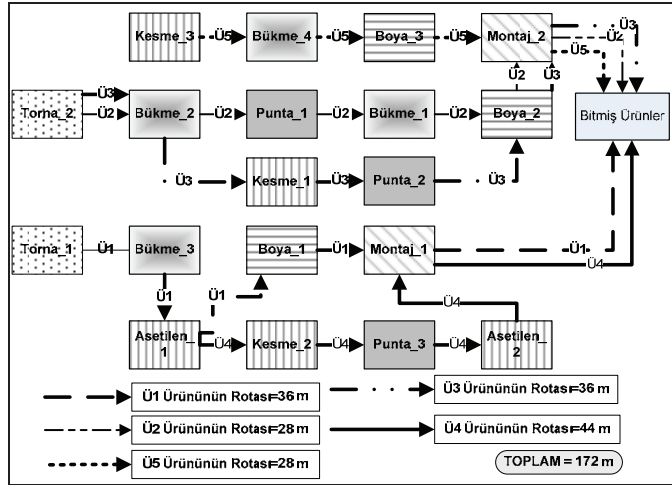
Tablo 5'te verilen Diziliş A'ya göre fabrika yerleşim alanına tezgâhların yerleşimi Şekil 6'da verildiği gibi olmaktadır. Şekil 6'da verilen dizilişe göre Ürün5'e ait ilk tezgâh olan Kesme3 tezgâhi bitmiş ürün alanına daha yakın yere konumlandırılmıştır. Aslında ilk tezgâh işlenmemiş ürün alanı olan giriş alanına yakın yere konumlandırabilirdi fakat bu seçimler arasında Ürün5'in sistemde taşıma mesafesini değiştirmektedir. Benzer şekilde Ürün4'ün içinde işlenmemiş ürün alanına veya bitmiş ürün alanına yakın olma arasında da Ürün1 ile Ürün5 birlikte düşünüldüğünde Şekil 6'daki gibi bir yerleşimin daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 6'da verilen yerleşim şekli tesisin oturma alanı kısıtını aşmaktadır. Tesiste yan yana beş ve aynı hat üzerinde dört tezgâh yerleştirebilirken bu yerleşim şeklinde aynı hat üzerinde beş tezgâh yerleştirilmiştir. Yöntemi aktarmak

için yapılan bu yerleşim incelendiğinde ise Şekil 6 içindeki tabloda verildiği gibi ürünlerin sistemde toplam 172 metre taşındıkları görülmektedir.

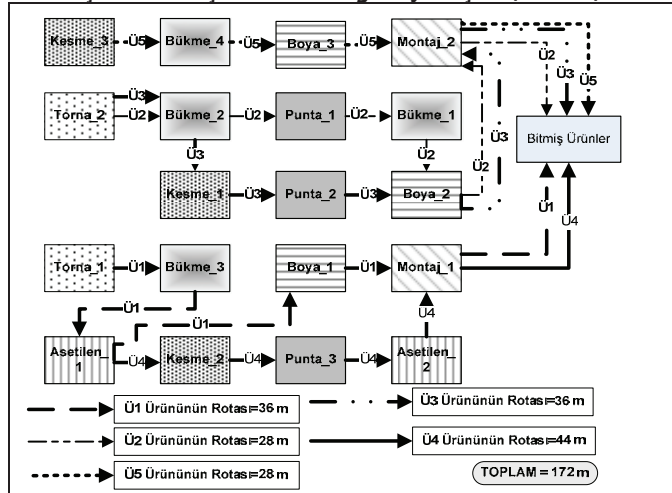
Tesisin oturma alanı kısıtını dikkate alarak aynı yönleme göre yerleşim şeklini tekrar düzenlediğimizde Diziliş B'ye göre Şekil 7'de verilen yerleşim düzenlemesi elde edilmiştir.

4. 7. Yerleşim Şekillerinin Benzetim Modelleri ve Analiz Sonuçları

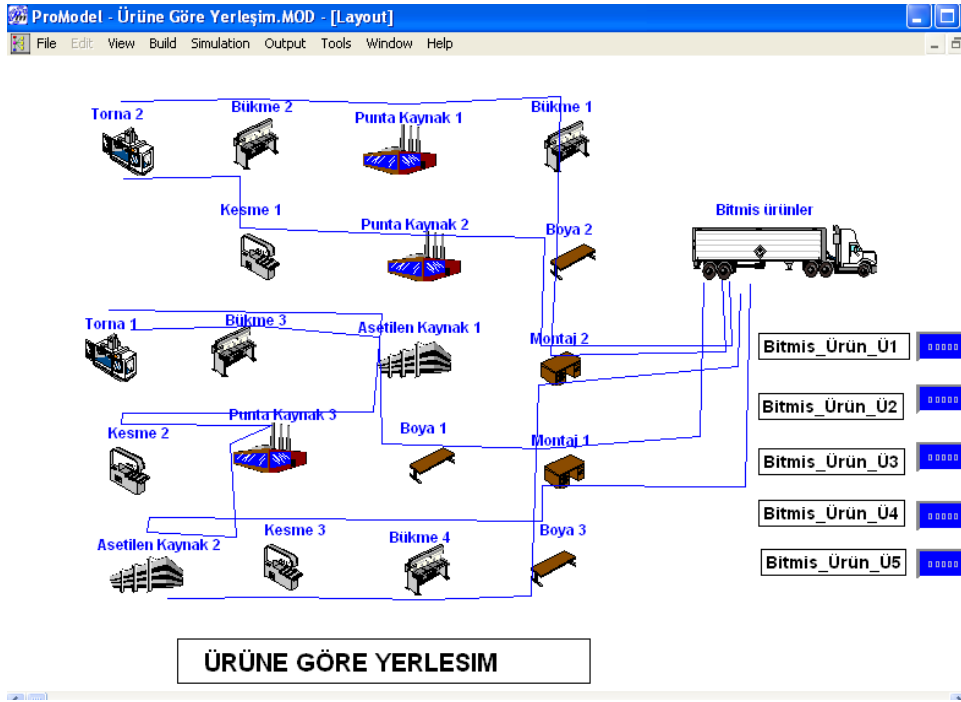
Oluşturulan yerleşim şekillerinin PROMODEL Benzetim programında benzetim modelleri oluşturulmuştur. Şekil 8'de Hücresel Üretim Göre 2 nolu Yerleşim PROMODEL Benzetim Modeli görülmektedir. Kurulan benzetim modelleri haftada beş gün ve günlük sekiz saatlik çalışma saatine göre toplam (8*5 = 40) kırk saatlik çalışma süresi için yüz tekrarlı olarak çalıştırılmıştır.



Şekil 6. Geliştirilen ürüne göre yerleşim (Kısıtsız).

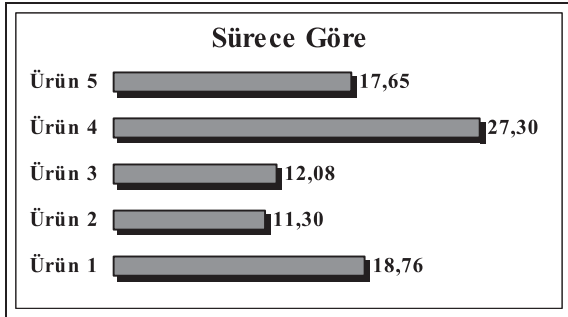


Şekil 7. Geliştirilen ürüne göre yerleşim (Kısıtlı).



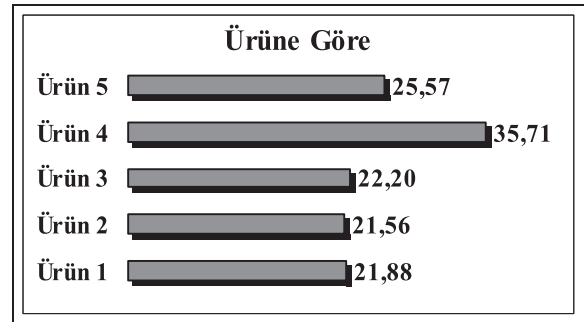
Şekil 8. Ürüne göre yerleşim PROMODEL benzetim modeli.

Yerleşim şekillerinin benzetim uygulamaları sonrasında her bir yerleşim şekli için ürünlerin taşımada ve işlemde harcadıkları sürenin oransal grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikleri Şekil 9 ve 13'de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 9. Sürece göre taşımada geçen süre yüzdeleri.

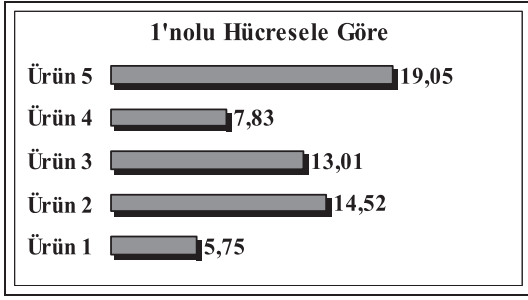
Şekil 9'da görüldüğü gibi sürece göre yerleşim şekli modellemesinde ürün 1'in sistemde geçirdiği sürenin % 18.76'sı taşımada geçmektedir. Ürün2 için bu oran % 11.30, Ürün4-5 ve 6 için ise sırasıyla %12.08, % 27.30 ve % 17.65'dir. Sürece göre yerleşimde taşımada geçen süre oranının en fazla Ürün4'de gerçekleştiği görülmektedir. Ürüne göre yerleşim modellemesi için yapılan benzetim sonuçlarına göre ise Şekil 10'da görüldüğü gibi ürünlerin taşımada geçirdikleri süre oranlarının biraz daha yüksek olduğu sonucu çıkmıştır. Bununla birlikte ürün4, bu yerleşim şeklinde de sürece göre yerleşimde olduğu gibi taşımada geçen süre oranında en büyük orana sahip olduğu görülmektedir.



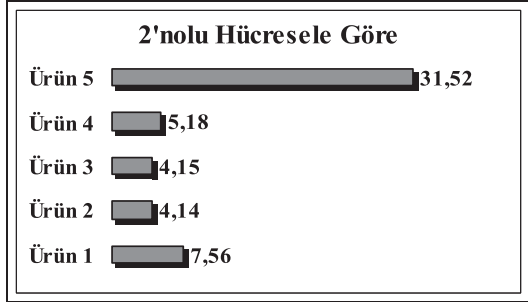
Şekil 10. Ürüne göre taşımada geçen süre yüzdeleri.

Hüresel yerleşim şekillerini karşılaştırdığımızda Şekil 11 ve Şekil 12'den de görüldüğü gibi ürünlerin taşımada geçen süre oranları arasında farklılıklar olduğu saptanmıştır. Özellikle Ürün2, 3 ve 5 için taşımada geçen süre oranları arasında büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. 1'nolu hüresel yerleşimde Ürün2 ve 3'ün taşımada geçen süre oranlarının daha büyük oldukları ancak Ürün5 için 2'nolu hüresel yerleşimde bu oranın diğer hüresel yerleşime göre çok daha büyük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte her iki yerleşim şekli içinde Ürün5 en fazla taşıma süresi oranına sahip olduğu görülmektedir.

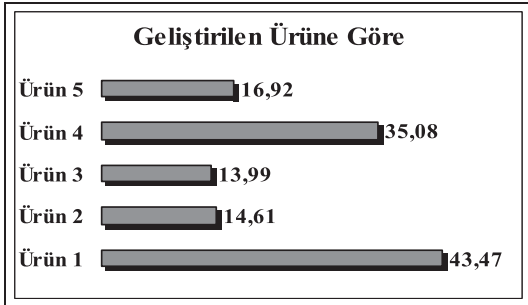
Geliştirilen ürüne göre yerleşim için taşımada geçen süre oranlarına bakıldığında Şekil 13'den de görüldüğü gibi Ürün1 için bu oranın % 43.47 oranıyla en yüksek olduğu, sonrasında Ürün3 için % 35.08 oranıyla ardından geldiği görülmektedir.



Şekil 11. 1'nolu hücresele göre taşımada geçen süre yüzdesi.



Şekil 12. 2'nolu hücresele göre taşımada geçen süre yüzdesi.



Şekil 13. Geliştirilen ürüne göre taşımada geçen süre yüzdesi.

Benzetim uygulamaları sonrasında yerleşim şekilleri için tezgâhların kullanım oranları elde edilmiş ve Tablo 6'da verilmiştir. Torna1 tezgâhı Sürece göre üretimde % 78,36'lık bir kullanım oranına sahipken bu oran Ürüne göre yerleşimde % 62,16 olarak meydana gelmiş ve 2'nolu hücresele üretimde ise % 21,19'lık oranla en düşük kullanım oranına sahip olduğu görülmüştür. Torna2 tezgâhı için kullanım oranları ise sürece göre yerleşimde %91.75 ile en yüksek, % 69,12 oranı ile Ürüne göre yerleşimde en düşük olarak meydana gelmiştir. Tablo 6'ya bakıldığında birden fazla ürünün rotası üzerinde olan "Torna2, Bükme2, Boya2, Asetilen Kaynağı1, Montaj1 ve Montaj2" tezgâhlarının kullanım oranlarının diğer tezgâhlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu tezgâhların kullanım oranlarının farklı yerleşim şekillerinde de fazla değişmediği görülmektedir. Bununla

birlikte diğer tezgâhların kullanım oranlarında yöntemler arası büyük farklılıklar olduğu bulunmuştur. Bir başka ifade ile yerleşim şekline dolaylı olarak tezgâhların kullanım oranları değişirken ortak tezgâhlarda bu değişimin daha az olduğu bununla birlikte sadece bir ürünün rotası üzerinde olan tezgâhların kullanım oranları üzerinde büyük değişimler olabildiği görülmektedir.

Bir haftalık çalışma süresi şeklinde yapılan benzetim uygulamaları sonucunda haftalık üretim miktarları verileri Tablo 7'de özet bir şekilde verilmiştir. Sürece göre yerleşim şeklinde hem toplam üretim değeri olarak hem de her bir ürün bazında en az üretimin gerçekleştiği bulunmuştur. 2'nolu Hücresele Üretime göre yerleşim şeklinde Ürün4 için 66 adet üretimle diğer yöntemlere göre en fazla üretimin gerçekleşmesine rağmen toplam üretim miktarında 146 adet üretim ile diğer yöntemlere göre daha düşük bir üretim gerçekleşmiştir. Benzer şekilde Ürüne göre yerleşim şeklinde Ürün3 için en fazla haftalık üretim gerçekleşmiş ancak toplam üretimde en fazla üretimin gerçekleşmediği sonucuna ulaşılmıştır. Geliştirilen Ürüne göre yerleşim şeklinde ise toplam üretim miktarı açısından bakıldığında en fazla haftalık üretimin gerçekleştiği bulunmuştur. Aynı zamanda Ürün1 ve Ürün5 için en fazla haftalık üretim de bu yerleşim şeklinde elde edilmiştir.

5. SONUÇ

Yerleşim şekline göre ürünlerin üretim süreci içerisinde aldığı mesafeler açısından sonuçlar değerlendirildiğinde Tablo 8'de de görüldüğü gibi Sürece göre yerleşim şeklinde toplam 304 metre taşıma ile en fazla taşımaların olduğu yerleşim şekli olmuştur. Oluşturulan iki adet hücresele yerleşim şekli karşılaştırıldığında ise farklı taşıma mesafelerinin olduğu görülmüş ve 1 nolu hücresele yerleşim daha kısa taşımaların olduğu hücresele yerleşim olmuştur. Çalışmada önerilen yaklaşımla elde edilen yerleşim şekli ise 148 metre taşımalar ile en kısa taşımaların gerçekleştiği yerleşim şeklidir. Bu sonuçla birlikte Tablo 8'de verilen toplam üretim miktarlarına bakıldığında da yine önerilen yaklaşımla elde edilen yerleşim şeklinin bir haftalık süre içerisinde en fazla üretimi gerçekleştirdiği görülmektedir. Böylece önerilen yaklaşım olan geliştirilen ürüne göre yerleşimin diğer yöntemlere göre üstünlük kurduğu söylenebilir.

Tablo 6. Yerleşim şekillerine göre tezgâhların kullanım yüzdeleri.

Tezgâhlar	Sürece Göre	Ürüne Göre	Hücresele 1	Hücresele 2	Geliştirilen Ürüne Göre
Torna 1	78,36	62,16	37,60	21,19	26,60
Torna 2	91,75	69,12	84,60	74,02	82,57
Bükme 1	70,33	58,81	58,65	63,50	66,07
Bükme 2	91,97	65,55	86,38	79,89	82,93
Bükme 3	51,34	41,45	74,20	96,72	41,85
Kesme 1	76,13	60,86	77,12	72,40	75,24
Bükme 4	88,70	23,93	61,97	2,57	83,36
Kesme 2	34,83	33,78	38,34	85,93	11,68
Kesme 3	84,29	17,70	49,65	1,38	65,67
Punta Kaynak 1	46,32	42,66	72,61	41,35	45,54
Punta Kaynak 2	83,29	70,33	86,06	82,88	84,79
Punta Kaynak 3	46,26	52,61	52,22	85,53	7,12
Asetilen Kaynak 1	82,90	67,73	71,72	85,89	50,94
Asetilen Kaynak 2	76,10	68,41	70,60	86,58	11,08
Boya 1	60,72	61,45	62,85	4,04	37,47
Boya 2	88,44	76,70	82,95	78,63	87,04
Boya 3	83,97	31,35	69,81	4,47	86,55
Montaj 1	78,09	52,56	82,44	85,29	56,72
Montaj 2	79,69	68,52	82,67	85,62	65,78

Tablo 7. Yerleşim şekillerine göre haftalık üretim miktarları.

Ürünler	Sürece Göre	Ürüne Göre	Hücresele 1	Hücresele 2	Geliştirilen Ürüne Göre
Ürün1	23,75	42,81	78,93	6,54	83,96
Ürün 2	10,77	46,65	22,19	28,22	25,99
Ürün 3	15,58	68,99	32,75	41,75	38,58
Ürün 4	28,46	52,45	12,19	66,27	30,12
Ürün 5	27,20	26,56	37,00	3,63	65,10
Toplam	105,76	237,46	183,06	146,41	243,75

Tablo 8. Yerleşim şekillerine göre sistemde toplam taşıma mesafeleri.

Ürüne Göre Yerleşim	172 m
Sürece Göre Yerleşim	304 m
Hücresele Yerleşim 1	168 m
Hücresele Yerleşim 2	196 m
Geliştirilen Yerleşim	148 m

Yerleşim şekilleri taşımada geçen süre oranları açısından karşılaştırıldıklarında; geliştirilen ürüne göre yerleşimde taşımada geçen süre oranların daha yüksek olması ürünlerin sistemde daha kısa sürede kaldıkları anlamına gelmektedir. Ele alınan problemde tezgâhların birden fazla ürünün rotaları üzerinde olmasından ötürü ürüne göre yerleşim düzeninde her bir ürün hattı diğer ürün hatlarından ayrı olarak elde edilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla ürün rotalarının uygun bir şekilde akışının sağlanması için tezgâhlar ürün rotalarına uygun olacak şekilde sezgisel olarak yerleştirildiler. Elbette sezgisel yerleştirmeler farklı tesis içi yerleşim düzenlemelerini ortaya çıkarabilmektedir.

Benzer durum hücresele yerleşim için de söz konusudur. Hücrelerin oluşturulması tezgâhların yerleştirilmesine bağlı olarak değişebilmektedir. Dolayısıyla farklı hücresele yerleşim şekillerinin elde edilmesi kaçınılmazdır. Bir başka ifade ile farklı uygulayıcılar farklı yerleşim şekilleri elde etmeleri mümkündür. Böylesi bir durumda önerilen yaklaşım bu farklılığı ortadan kaldıracak bir avantaja sahiptir.

KAYNAKLAR

- Anjos, M. ve Vannelli, A. 2006. A new mathematical-programming framework for facility-layout design, *Journal On Computing*. 18 (1), 111-118.
- Askin Ronald, G. and Standridge Charles, R. 1993. Modeling and analysis of manufacturing systems, John Wiley&Sons, Inc, New York, p. 205.
- Chan, W.M., Chan, C.Y., Ip W.H. 2002. A heuristic algorithm for machine assignment in cellular layout *Computers & Industrial Engineering*. (44-73.
- Demir, M. H. 1987. Fabrika yerleşim düzeni (İşyeri Düzeni), DEU Yayınları, İzmir.
- Banerjee, D., Syal., M., Hastak, M. 2006. Material flow-based facility layout analysis of a manufactured housing production plant, *Journal of Architectural Engineering*. 12 (4), 196.
- Erkut, H., Baskak, M. 2003. "Stratejiden uygulamaya tesis tasarımı"; İrfan Yayıncılık.
- Foulds, L. R., Hamacher H. W., Wilson, J. M. 1998. Integer programming approaches to facilities layout models with forbidden areas, *Annals of Operations Research*. (81), 405-417.
- Hachicha, W., Masmoudi, F., Haddar, M. 2007. An improvement of a cellular manufacturing system design using simulation analysis. *Int j simul model*. (64), 193-205.
- Hale, T.S., Moberg Christopher, R. 2003. Location science research: A Review, *Annals of Operations Research*. (123), 21-35.
- Harrell, C., Ghols, Biman, K., Bowden, R. 2000. Simulation using promodel, Hill Companies, Inc, America.
- İşlier, A. A. 1997. Tesis planlaması, Eskişehir Osmangazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Endüstri Müh. Böl., Eskişehir. S. 83.
- Jaydeep, B., Cheng C-H., Wong, F.K. 2003. FACOPT: A user friendly FACility layout OPTimization system. *Computers & Operations Research*. (30), 1625-1641.
- Kulak, O. ve Durmuşoğlu, B. 2004. Hücresel üretim sistemleri tasarımı için aksiyomlarla tasarım prensiplerine dayalı bütünsel bir yöntem, *İTÜ dergisi /d mühendislik*. 3 (6), 33-46.
- Lahmar, M. and Benjaafar, S. 2005. Design of distributed layouts, *IIE Transactions*. (37), 303-318.
- Lei, D., Wu, Z. 2006. Tabu search for multiple-criteria manufacturing cell design. *Int J Adv Manuf Technol*. (28), 950-956.
- Pinto Wilsten, J. ve Shayan, E. 2007. Layout design of a furniture production line using formal methods. *Journal of Industrial And Systems Engineering*. 1 (1), 81-96.
- Promodel Software, Student Version 6.0.1.12, 2003 Promodel Coporation.
- Saraç, T. ve Özçelik, F. 2006. [Alternatif rotaların varlığında üretim hücrelerinin genetik algoritma kullanılarak oluşturulması](#). *Endüstri Mühendisliği Dergisi*. 17 (4), 22-36.
- Singh, S. P., Sharma, R. R. K. 2006. A review of different approaches to the facility layout problems, *Int J Adv Manuf Technol*.
- Su, B. A., Aslan, D. 1997. Tesis planlama. Dokuz Eylül Üniv., Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, s. 39.
- Wei, N-C. ve Mejabim, O-O. 2008. A clustering approach for minimizing intercell trips in cell formation. *J Intell Manuf*. (19), 13-20.
- Wu, X., Chu C-H., Wang Y., Yan, W. 2007. A genetic algorithm for cellular manufacturing design and layout. *European Journal of Operational Research*. (181), 156-167.