

Mustafa Yurdakul

Doç.Dr.

Makine Mühendisliği Bölümü, Gazi
Üniversitesi, Ankara

Kadir Gökhan Güçlü

Mak. Yük. Müh.

Halkbank Genel Müdürlüğü,
Söğütözü, Ankara

Yusuf Tansel İç

Dr.

T.C. Ziraat Bankası A.Ş., Altındağ,
Ankara

Bir Traktör Fabrikasında Hücresel İmalat Uygulaması

Bu makalede, Ankara da bulunan bir traktör fabrikasında hücresel üretim uygulamasının nasıl yapılacağı incelenmiştir. Hücresel imalat uygulamasında, öncelikle üretim akış analiz yöntemi kullanılarak hücreler (makina grupları) elde edilmiştir. Hollier-2 yöntemi ile hücre içi makina yerleşimi yapıldıktan sonra oluşturulan hücreleri de kapsayan fabrika içi yerleşim planlaması yapılmıştır. Çalışmada ayrıca traktör fabrikasında hücresel imalatın makina yerleşiminden bir sonraki aşaması olan montaj hattı ile imalat hücreleri arasındaki parça akışının yeniden düzenlenmesi kanban sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fabrikada hücresel imalat uygulamasıyla toplam malzeme taşıma mesafesi ve maliyetinde %70'in üzerinde kazanç elde edilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hücresel imalat, hücresel yerleşim, fabrika yerleşimi, kanban.

1. GİRİŞ

İmalatları açısından benzer özellikler taşıyan parçaların aynı makineler, aparatlar ve ekipmanlarla bir imalat hattı mantığında üretilebilmeleri için oluşturulan imalat sistemleri "hücre" olarak tanımlanmaktadır. Bir hücrede benzer parça ailesini üretmek için çalışanların, makinelerin ve gerekli teçhizatın bir takım olarak bir araya getirilmesi (gruplaşma) ve işletilmesi ise "hücresel imalat" olarak tanımlanmaktadır [1]. Hücresel imalat, her hücrede hangi parçaların üretileceği ve hangi makinelerin yer alacağına ilişkin kararın verilmesi ile başlar. Hücrelerin kendi içlerinde bulunan makinelerin yerleştirilmesi ve oluşturulan hücrelerin fabrika içerisinde konumlandırılması ise ikinci aşamayı oluşturur. Üçüncü aşama ise hücreler ve montaj hatları arasında parça akışını kontrol etmek amaçlı kullanılan kanbanların sayılarını ve özelliklerini belirlemeyi kapsar [2-3]. Kanbanlar sadece parça akışını kontrol etmekle kalmaz aynı zamanda üretim sırasında oluşan anormalliklerin saptanmasında görsel kontrol araçları olarak da kullanılırlar. Örneğin, stok sahasına ulaşmış ve üzerinde kanban olmayan parçalar, gereğinden fazla üretimin bir göstergesi olarak kabul edilir [4].

Hücresel imalat, çeşitlilik gösteren ürünleri mümkün olan en kısa sürede ve en az maliyetle üretmeye çalışan bir yaklaşımdır. Her bir hücre; iş istasyonlarının, makinelerin veya ekipmanların bir ürün veya birbirine benzer parça ailesinin üretilebilmesi için bir araya getirildiği, beklemeleri ve taşımayı minimize eden bir yapıdadır. Hücreler, bir süreci, bir parçayı, tüm bir ürünü veya bir parça gurubunu imal etmek için tasarlanabilir [3].

Hücreler sayesinde tüm üretim kaynakları birbirlerine yakın olmalarının getirdiği kolay

izlenebilme ve iletişim avantajlarından faydalanmaktadır. Hücreler, değişken üretim ihtiyaçlarının en hızlı şekilde karşılanabilmesi için esnek olarak tasarlanırlar [2].

Ankara'da faaliyet gösteren bir traktör fabrikası çok sayıda parçanın üretilerek bir araya getirilmesi işleminde yukarıda belirtilen avantajlardan faydalanmak üzere hücresel imalat sistemini üretim sisteminde uygulamaktadır. Traktör Fabrikasının mevcut yerleşiminde hücresel imalatın yerine fonksiyonel yerleşimin görüldüğü kısımları da hücresel bir yapıya çevirmek, bir başka ifadeyle, traktör fabrikasında hali hazırda uygulanan hücresel imalat uygulamasının kapsamının tüm yerleşim planına yayılmasını sağlamak bu çalışmanın temel amacıdır.

Bu amaçla çalışmada öncelikle traktör fabrikasının mevcut yerleşim planı çizilmiş (Ek-1), fabrikadaki tüm parçalar ve makineler gözden geçirilerek fabrikanın sürekli ürettiği parçalar ile işlendikleri makineler kullanılarak örnek bir hücresel imalat uygulaması yapılmıştır. Makalede ilk olarak hücrelerin oluşturulmasında, parçaların hangi makinelerde işlendiğini gösteren parça-makina matrisini kullanan ROC algoritmasının [5,6] kullanılması açıklanmıştır. ROC algoritması uygulaması sonucu 13 hücrenin oluştuğu sonuç parça-makina matrisi elde edilmiştir. İkinci aşamada, Hollier-2 metodu [5,7] kullanılarak hücrelere atanan makinelerin hücre içerisinde yerleşimi yapılmıştır. Oluşturulan hücrelerin birbirleri ile olan ilişki durumlarına göre yakın olması gerekenler belirlenerek yeni yerleşim planı (Ek-2) elde edilmiştir. Son olarak ise, kanban uygulamasına örnek teşkil etmesi için 10. Hücre ve montaj hattı arasında olan parça akışlarını düzenleyen kanban sisteminin oluşturulması verilmiştir. Uygulamada

kullanılan ROC algoritması, Hollier-2 Metodu ve Den-E tabloları yöntemlerinin kullanım ve uygulanma esaslarına ilişkin detaylı bilgiler için [5-8] numaralı kaynaklara bakılabilir.

2. TRAKTÖR FABRİKASINDA HÜCRELERİN OLUŞTURULMASI VE YENİ YERLEŞİM PLANININ ELDE EDİLMESİ

Çalışmamızda uygulamanın gerçekleştirildiği traktör fabrikasında şanzıman kutusu, transmisyon kutusu, motor bloğu, silindir kafası, diferansiyel kutusu, hidrolik kaldırıcı, redüktör kovanları, cer ve zaman dişlileri, ayna mahrutu dişlileri olarak sıralayabileceğimiz parçaların üretimi gerçekleştirilmektedir. Çalışmada fabrikada üretilen tüm parçalar incelenmiş ve sürekli olarak üretilen 150 adet parça ve bunların işlem gördüğü 128 adet

makina hücresel imalat uygulaması için öncelikle seçilmiştir.

İnceleme sonucu, operasyon planları ile beraber parçaların işlendiği makinaların; temel teknik özellikleri, parçaların genel olarak geometrik şekli ve boyutları, taşıma sistemleri, parçaların ara stok durumları, depolanmaları, herhangi bir makinede arıza oluştuğunda parçaların başka hangi alternatif makinalarda üretileceği, parçaların üretim süreleri, makina hazırlık süreleri ve işçilik zamanı gibi bilgilere ulaşılmıştır. Ayrıca hangi parçanın hangi traktör tipinde kaç adet kullanıldığı bilgisi kullanılarak parçaların aylık üretim miktarları elde edilmiştir. Çizelge 1’de “1.48.106” kodlu parçaya ait operasyon bilgileri verilmiştir. Bu parça ayda ortalama 440 adet üretilmektedir. Çizelge 1’e benzer şekilde fabrikada üretilen tüm parçalar için operasyon sayfası özeti hazırlanmıştır.

Çizelge 1. “1.48.106” kodlu parçaya ait operasyon sayfası özeti

PARÇA NO	OPERASYON NO	TEZGAH NO	BÖLÜM NO	OPERASYON TANIMI	STANDART SÜRE (Dakika)	İŞÇİLİK SÜRESİ (Dakika)	HAZIRLIK SÜRESİ (Dakika)
1.48.106	20	080-001	IB04	ISLAH ET	7,06	3,17	-
1.48.106	40	089-003	IB04	KUMLA	0,60	0,27	-
1.48.106	50	007-007	B01	PARÇANIN BİR TARAFINI VE DELİĞİNİ İŞLE	4,72	2,36	30
1.48.106	60	007-008	B01	PARÇANIN DİĞER TARAFINI VE DELİĞİ İŞLE	5,13	2,76	30
1.48.106	70	020-003	C01	M=2,58, Z=26 FORMUNDA BROŞ ÇEK	3,00	3,00	45
1.48.106	80	042-004	B01	M=5,5, Z=68 FORMUNDA DİŞLİ AÇ	15,00	7,50	60
1.48.106	90	047-001	B01	M=5,5, Z=68 FORMUNDAKİ DİŞLİYİ RASPALA	6,32	3,16	45
1.48.106	100	067-012	B03	YIKA VE HAVA TUT	1,00	2,00	-
1.48.106	110	083-005	IB04	KARBÜRLE	31,92	7,17	-
1.48.106	120	086-013	IB04	TEMPERLE	4,50	4,11	-
1.48.106	140	089-004	IB04	KUMLA	2,14	1,11	-

Parçalara ait operasyon sayfalarından yararlanılarak başlangıç parça-makina matrisi oluşturulmuştur. Başlangıç parça-makina matrisinde parçalar satırlara, makinalar ise sütunlara yerleştirilmiş ve her parçanın işlem gördüğü makinalara ilişkin kısım "1" ile kodlanmıştır. Parçaların işlem görmedikleri makinalara ilişkin değerler ise "0" ile kodlanmıştır. Oluşturulan parça-makina matrisinin boyutları 150×128 (150 parça, 128 makina) dir. Ancak az sayıda bulunan ve çok sayıda parça tarafından kullanılan makinalar matristen çıkarılarak daha kolay ayrışır bir matris elde edilmiştir. Ayrıca ısıl işlem, broş, yıkama, testere ve el işçiliği gibi hücre içinde yer almasına gerek olmayan operasyonlar matris kapsamına alınmamışlardır. Böylece oluşan başlangıç parça-makina matrisinin yeni boyutları 150 × 110 olmuştur (Çizelge 2). Matriste kullanılan makinalar kodları ile birlikte gruplanarak Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3 de aynı satırda verilen makinalar, parçaların imalat sürecinde birbirlerinin yerine kullanılabilir alternatifleri olan makinalardır. Çizelge 3'te aynı satırda birinci rakam makinanın tipini ve devamındaki

sayılar ise makina numaralarını vermektedir. Örneğin 17. sıradaki CNC İşleme Merkezine ait makinalar incelendiğinde, 7 adet makina bulunmaktadır (makina numaraları: 6, 26, 38, 39, 40, 50, 70). Bu makinaların marka, model, üretim yılı, devir sayısı özellikleri aynıdır ve birbirlerinin alternatifleridir.

2.1. ROC Algoritması Kullanarak Hücrelerin Elde Edilmesi Süreci

Hücrelerin elde edilmesi için parça-makina matrisine Microsoft Excel'de ROC algoritmasını uygulayan makrolar hazırlanmıştır. ROC algoritması matriste herhangi bir değişiklik olmayana kadar uygulanmıştır. Elde edilen sonuç matrisi incelendiğinde parça ailelerinin belirlendiği ve bu parçaları işleyecek 13 imalat hücrenin olduğu görülmüştür [9]. Sonraki aşamada, oluşan 13 hücrede parçaların gerektirdiği işlem sırasına göre hücre içi yerleşiminin yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu parçaları üreten makinaların kullanım sürelerine göre her makina tipinden kaç adet yerleştirileceği belirlenmelidir.

Çizelge 2. Başlangıç parça-makina matrisi

Sıra No	Parça No	Resim No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	..	109	110
			11-(6,7,9,10,19,20,23,25	12-6	18-1	26-(1,2,4	30-(13,14	32-(3,4	36-(1,5,6,8	47-(1,2	6-(1,3,5,7,9,10,11	70-(4,7,11,18,20,22,23,26,27,30,31,38,39	73-(7,8,9,12,16,17,23,24,26,28,29	75-(5,6,7,13,15	99-1	10-(1,2,3,5,6,7	11-(6,7,9,10,19,20,23,25		18-1	10-(19,20,22
1	1.10.052	5085945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1.21.008	5157941	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1.21.008	5089413	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	1.21.009	5149253	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1.21.009	599824	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1.21.009	5088887	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1.21.015	5195411	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1.26.213	4993814	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1.26.213	5124803	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1.26.214	5089355	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
149	1.32.608	5088893	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1.65.315	5085930	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3. Makinalar ve kodlarının anlamları

Sıra	Makina Grupları	Makinaların Adı
1	8-32	ÖZEL SIVAMA TEZGAHI
2	13-1	DUBLEX İKİ MİLLİ FREZE TEZGAHI
3	18-1	CNC DİKEY İŞLEME MERKEZİ
4	25-1	KAMA KANALI AÇMA TEZGAHI
5	12-2	DİKEY FREZE TEZGAHI
6	20-(1,2)	YATAY BROŞ TEZGAHI
7	12-3	İKİ KAFALI FREZE TEZGAHI
8	20-3	DİK BROŞ TEZGAHI
9	12-4	DİK FREZE TEZGAHI
10	6-6	PROGRAM KONTROLLU AĞIR TORNA TEZGAHI
11	12-6	DÖNER TABLALI ÖZEL FREZE TEZGAHI
12	26-6	PUNTA DELİK VE ALIN TEMİZLEME TEZGAHI
13	10-(1,2,3,5,6,7,8,9,10,15,17)	CNC YATAY TORNA TEZGAHI
14	10-(19,20,22)	CNC İKİ KAFALI TORNA TEZGAHI
15	11-(7,9,10,19,20,23,25)	YATAY FREZE TEZGAHI
16	17-(1,2,3,4)	CNC İŞLEME MERKEZİ
17	17-(6,26,38,39,40,50,70)	CNC İŞLEME MERKEZİ
18	26-(1,2,4)	PUNTA VE ALIN TORNA TEZGAHI
19	30-(13,14)	DIŞ ÇAP TAŞLAMA TEZGAHI
20	30-(16,17,24,27)	CNC DIŞ ÇAP TAŞLAMA TEZGAHI
21	32-(3,4)	PUNTASIZ TAŞLAMA TEZGAHI
22	33-1	ÖZEL TAŞLAMA TEZGAHI
23	34-1	YÜZEY TAŞLAMA TEZGAHI
24	34-2	YÜZEY TAŞLAMA TEZGAHI
25	34-3	YÜZEY TAŞLAMA TEZGAHI
26	36-(5,6,8)	ZIMPARA TAŞ TEZGAHI
27	40-2	DİŞLİ PAH KIRMA TEZGAHI
28	42-(2,3,4,5,6,7,8,9,10)	AZDIRMA İLE DİŞ AÇMA TEZGAHI
29	45-3	KONİK DİŞ AÇMA TEZGAHI
30	47-(1,2,3,4)	CNC RASPA TEZGAHI
31	5-(4,5)	KOPYA TORNA TEZGAHI
32	6-(1,3,5,7,9,10,11)	PROGRAM KONTROLLU TORNA TEZGAHI
33	7-(7,8)	CNC DİK TORNA TEZGAHI(EMAG)
34	70- (4,7,11,18,20,22,23,26,27,30,31,38,39)	RADYAL MATKAP TEZGAHI
35	x73-(5,18,20)	SÜTUNLU MATKAP TEZGAHI ÇOK MİLLİ
36	73-(7,8,9,12,16,17,23,24,26,28,29)	SÜTUNLU MATKAP TEZGAHI
37	74-2	CNC DERİN DELİK TEZGAHI
38	75-(5,7,15)	HİDROLİK PRES TEZGAHI
39	75-14	CNC HİDROLİK PRES TEZGAHI
40	97-1	ALIN KAYNAK MAKİNESİ
41	99-(1,2)	GAZALTI KAYNAK MAKİNESİ

2. Hücre İçi Yerleşimin Yapılması

Elde edilen 1 nolu hücrenin hücre içi yerleşiminin yapılması örnek olarak aşağıda sunulmuştur. Çizelge 4'de başlangıç parça-makina matrisinden ROC algoritması kullanılarak elde edilen sonuç parça-makina matrisinin 1. hücresine ait kısmı sunulmaktadır.

2.2.1. Birinci hücreye ait makinaların yükleri

Traktör fabrikası ayda ortalama 22 gün çalışmaktadır. Makinaların kullanım sürelerini belirlemek için Çizelge 5 oluşturulmuştur. Bu çizelgede, hücredeki her parçanın işlenmesi sırasında gerekli makinaların kullanım süreleri belirlenmiştir. İşlem zamanları ve makina ayar zamanları ile birlikte aylık toplam çalışma süresi dakika olarak hesaplanmış ve ortalama olarak günlük çalışması gereken süre saat olarak belirtilmiştir. Buna göre makinalarda, parçaların günlük olarak toplam kullanım süresine göre hücre içerisinde makina tipinden kaç adet bulunması gerektiği belirlenmiş ve Çizelge 5'de son satırda sunulmuştur. Hesaplamalarda fabrika da fazla sayıda bulunmayan bazı makinaların iki vardiya gerekirse üç vardiya şeklinde çalışabilmeleri mümkündür.

2.2.2. Birinci hücrenin makina yerleşiminin yapılması

Parça rotalarını göstermek için Çizelge 6 oluşturularak parçaların işlem sıraları ve aylık üretilmesi gereken miktarlar gösterilmiştir. Örneğin parça no: 182533A ve resim no: 5190221 olan ilk parça sırasıyla ilk işlem Hidrolik Pres (75), ikinci işlem Radyal Matkap (70) ve üçüncü işlem Taşlama Tezgahı (30) makinalarında işlem görmektedir ve ayda 900 adet üretilmektedir. Birinci hücreye ait tüm parçaların işlem sıralarını ve aylık üretim adetleri Çizelge 6'da mevcuttur ve sonraki aşama olan "Den-E" tabloları ise Çizelge 6 kullanılarak oluşturulacaktır [5-8].

Çizelge 7'de birinci hücreye ait makinalar arası parça akışlarını gösteren "Den-E" tablosu verilmektedir. "Hollier-2" metoduna göre makinalara ait "Den / E" oranları hesaplanmış ve bu oranlar büyüktür küçüğe doğru sıralanarak makinaların en uygun sıra ile dizilmeleri sağlanmıştır. Sonraki aşamada "Den-E" tablosundaki parça akışlarına göre hücrenin iş akış diyagramı çizilmiştir. Çizelge 8'de ise "Den/E" değerlerine göre sıralama gösterilmiştir. Örneğin; Taşlama (no:30) için en küçük değer "0,03" ve punta tezgahı (no:26) için en büyük değer "∞" dur.

Çizelge 4. Sonuç parça-makina matrisinde 1. Hücreyi oluşturulan kısım

Sıra No	Parça no	Resim no	Hücreyi oluşturulan kısım									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			75-(5,6,7,13,15	30-(16,17,24,27	70-(4,7,11,18,20,22,23,26,27,30,31,38,39	17-(38,39,40	10-(1,2,3,5,6,7	26-(1,2,4	74-2	11-(6,7,9,10,19,20,23,25	42-(2,4,5,3,6,7,8,9,10	6-(1,3,5,7,9,10,11
1	1.82.533A	5190221	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1.89.650	5146784	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1.29.004	598293	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	1.82.550A	5088959	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
5	1.82.506A	5089121	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
6	1.82.550B	5089122	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
7	1.82.550	5190215	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
8	1.80.107	4959916	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0
9	54-1004	98414013	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
10	1.28.104	598174	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
11	1.33.133	5124329	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
12	1.82.530	5146616	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
13	1.26.530	5087033	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
14	1.26.530	5087034	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
15	1.26.530	5089370	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
16	1.82.812	5125647	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
17	1.82.812	5121221	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
18	1.82.550	5089245	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

Çizelge 5. Birinci hücreye ait makina yüklerinin hesaplanması

PARÇA NO	RESİM NO	75	30	70	17	10	26	74	11	42	6
1.82.533A	5190221	414,0 ^a	1148,4	1542,6							
1.89.650	5146784	895,0 ^b	1167,1								
1.29.004	598293	450,0 ^c			7499,7						
1.82.550A	5088959		540,4	1050,4		1235,0	217,0	966,7			
1.82.506A	5089121		580,0		3000,0	790,0	145,0				
1.82.550B	5089122		580,0		9780,0	435,0	271,0				
1.82.550	5190215		3948,8			8972,0	1580,0	7019,3	2177,6		
1.80.107	4959916		2160,0			3375,0	843,3		900,0	4500,0	
54-1004	98414013		8342,0			8644,0	2840,0		1216,9		
1.28.104	598174		3728,0			1900,8	870,3		900,0		
1.33.133	5124329		500,0			312,5	117,1			555,5	
1.82.530	5146616		1384,0			1255,0	580,0				
1.26.530	5087033		1917,1			2565,0					1219,9
1.26.530	5087034		2174,1			3393,0					1383,4
1.26.530	5089370		471,2			628,0					299,9
1.82.812	5125647				2347,2	657,9					
1.82.812	5121221				4070,6	902,8					
1.82.550	5089245					9096,0	1601,3				
Makina Ayar Süresi (Dakika)		50	850	63	285	935	620	100	245	115	190
Aylık Toplam Süre (Dakika)		1809	29491	2656	26982	45097	9685	8086	5439	5170	3093
Günlük Toplam Süre (Saat)		1,4	22,3	2,0	20,4	34,2	7,3	6,1	4,1	3,9	2,3
Gereken Makina Sayısı		1	2	1	2	2	1	1	1	1	1

^a1.82.533A parçası için, 414 dk (işlem zamanı 0,46 dakika x aylık 900 adet), ^b 1.89.650 parçası için, 895 dk (işlem zamanı 1,0 dakika x aylık 895 adet), ^c1.29.004 parçası için, 450 dk (işlem zamanı 0,50 dakika x aylık 900 adet)

Çizelge 6. Birinci hücreye ait parçaların rota bilgisi

Aylık Adet (Parça)	PARÇA NO	RESİM NO	75	30	70	17	10	26	74	11	42	6
900	1.82.533 A	5190221	1	3	2							
895	1.89.650	5146784	1	2								
900	1.29.004	598293	2			1						
290	1.82.550 A	5088959		5	4		2	1	3			
290	1.82.506 A	5089121		3		4	2	1				
290	1.82.550 B	5089122		4		3	2	1				
2106	1.82.550	5190215		5			2	1	4	3		
900	1.80.107	4959916		5			2	1		4	3	
1420	54-1004	98414013		6			2,4,5	1		3		
900	1.28.104	598174		4			2	1		3		
125	1.33.133	5124329		4			2	1			3	
900	1.82.530	5146616		3			2	1				
895	1.26.530	5087033		4			1,3					2
1015	1.26.530	5087034		4			1,3					2
220	1.26.530	5089370		4			1,3					2
900	1.82.812	5125647				2	1					
1235	1.82.812	5121221				2	1					
2135	1.82.550	5089245					2	1				

Çizelge 7. Birinci hücreye ait "Den-E" tablosu

		E										"DEN" Toplamı	"DEN / E"
MAKİNEL		75	30	70	17	10	26	74	11	42	6		
DEN	75		895	900								1795	1,99
	30				290							290	0,03
	70		1190									1190	1,00
	17	900	290									1190	0,44
	10		4740		2425			290	4426	1025	2130	15036	1,17
	26						9356					9356	∞
	74		2106	290								2396	1,00
	11		1800			1420		2106				5326	1,00
	42		125						900			1025	1,00
	6						2130					2130	1,00
	"E" Toplamı	900	1114 6	1190	2715	1290 6	0	2396	5326	1025	2130	<u>39734</u>	

2.2.3. Birinci hücre makina yerleşiminin gösterilmesi

Çizelge 8 de hücre içinde sıralamaları verilen makineler doğrusal hat veya U tipi yerleşim biçiminde dizilirler. Doğrusal hat yerleşimi otomatik taşıma sistemlerinin kullanıldığı veya geriye dönük taşımalarının olmadığı durumlarda kullanılır. U tip yerleşimi ise taşımaların operatörler tarafından yapıldığı ve normal akış yönünün tersine malzeme taşımalarının olduğu durumlarda tercih edilir. U tipi yerleşimde operatörler tüm makinalara daha kolay ve çabuk ulaşabilmektedir [10].

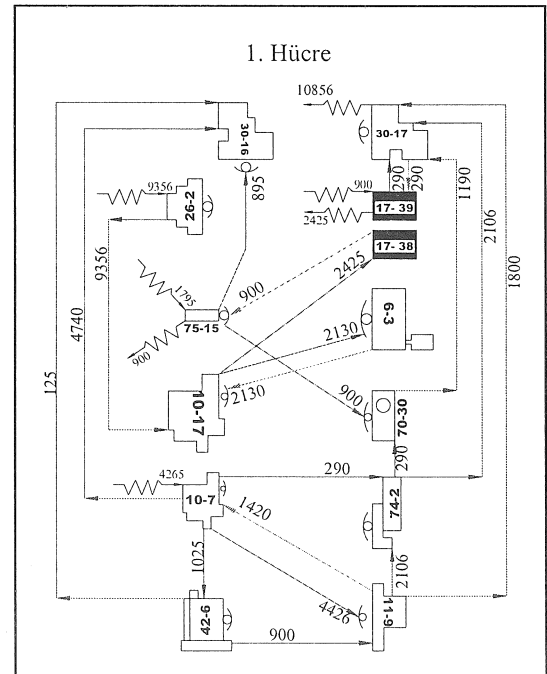
Çizelge 8. Birinci hücreye ait makinelerin "Den/E" oranlarına göre sıralanması

Sıralama	"Den / E" Oranı	Makina Kodları
1	∞	26
2	1,99	75
3	1,17	10
4	1,00	42
5	1,00	11
6	1,00	74-2
7	1,00	70
8	1,00	6
9	0,44	17
10	0,03	30

Birinci hücredeki makina sayısının çokluğu, operatörlerin varlığı ve geri dönüş oranının büyüklüğü nedeniyle U tipi yerleşim tercih edilmiştir (Şekil 1). Şekil 1 incelendiğinde her makina için gelen parça miktarı ile çıkan parça miktarı eşittir.

Ayrıca geri dönüşlü olan taşımalar kesikli çizgilerle ve ilk girişler ile son çıkışlar ise kırık çizgilerle belirtilmiştir. Şekilde işleme merkezleri (17-38, 39) hücre içinde yer almadığından taralı olarak gösterilmiştir.

Geri dönüş oranının hesaplanmasında ise doğal akışın tersine taşınan toplam parça sayısı hesaplanarak hücre içi taşınan toplam parça sayısına bölünmektedir. Freze Tezgahından (11-9) CNC Torna Tezgahına (10-7) 1420 parça, Program Kontrollü Torna Tezgahından (6-3) CNC Torna Tezgahına (10-17) 2130 parça, Taşlama Tezgahından (30-17) İşleme Merkezine (17-38,39) 290 parça ve İşleme Merkezinden Hidrolik Pres'e (75-15) 900 parça geri dönüş yapmaktadır. Toplam geri dönüş yapan parça miktarı 4740 ve toplam transfer miktarı 39 734 parçadır. Oranlandığında; (ters yönde taşınan toplam parça sayısı / toplam taşınan parça sayısı) = "%11,9" değeri hesaplanmıştır.



Şekil 1. Birinci hücre yerleşim planı.

Diğer 13 hücrenin de hücre içi yerleşimleri benzer olarak oluşturulmuştur. Diğer hücrelerde de makina sayılarına ve geri dönüş oranına göre doğrusal hat tipi veya U tipi yerleşim biçimi tercih edilmiştir [9].

2.3. Fabrikanın Yeni Yerleşim Planının Oluşturulması

Hücrelerin belirlenmesi ve hücre içi yerleşimlerin gerçekleştirilmesinin ardından, hücrelerin fabrika içerisinde yerleştirilmeleri gerekmektedir. Çizelge 9'da hücreler arası parça taşımaları gösterilmektedir. Gösterimde parçanın gideceği hücrede; kaç saat çalışması gerektiği, hangi makinada işlem göreceği, kaç adet parçanın işlenmesi gerektiği bilgisi sıra ile verilmiştir. Fabrikada bulunan FMS hattına oluşturulan 1. Hücreden parça taşınması olduğu için Çizelge 9 da FMS 1 olarak gösterilmiştir.

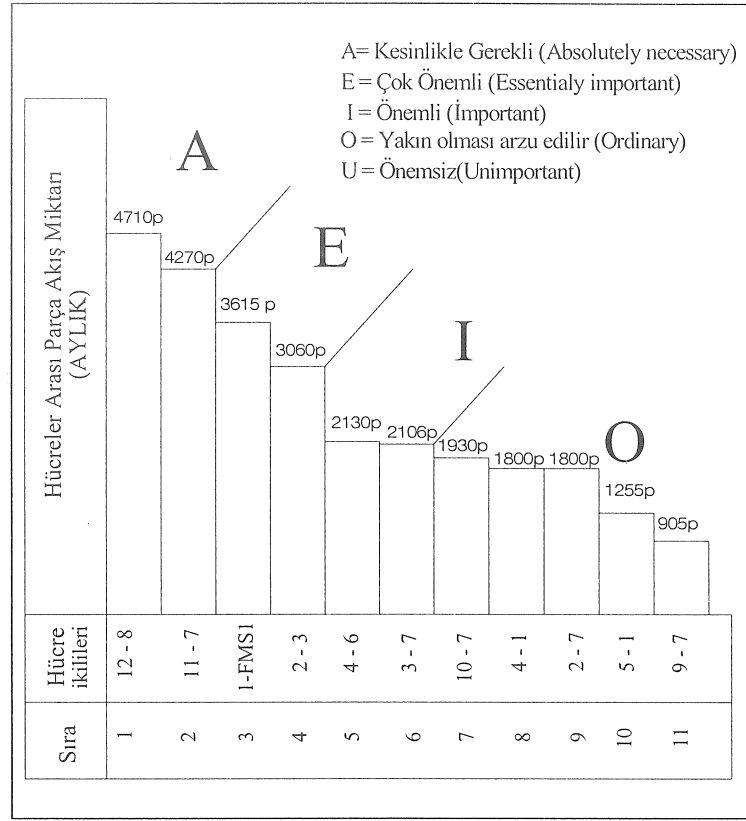
Şekil 2'de çizilen grafikte her hücre ikilisi için, o ikiliyi oluşturan makinaların arasında taşınan

toplam parça sayısına göre yakınlık ilişkisini gösteren "A", "E", "I", "O" harflerinden birisi atanmıştır [11]. Yeni oluşturulan yerleşim planında (Ek 2) aralarında "A" ve "E" ilişkisi olan hücreler yan yana getirilmiştir. Diğer hücreler arası ilişkiler "I" ve "O" ise traktör fabrikasının mevcut yerleşim planının izin verdiği ölçüde dikkate alınmıştır.

Mevcut yerleşim planı (Ek 1) ve yeni oluşturulan yerleşim planı (Ek 2) için makinalar arası mesafeleri gösteren iki matris oluşturularak mevcut ve önerilen yerleşim planları toplam taşıma maliyeti hesaplanarak karşılaştırılmışlardır [9]. Mevcut yerleşim planı için toplam taşıma maliyeti "52.876.452", önerilen hücresel yerleşim planı için "7.026.429" olarak hesaplanmıştır. Rakamlar karşılaştırıldığında taşıma maliyetinde taşıma mesafelerindeki azalmaya paralel olarak önemli bir azalma olduğu görülmektedir [9]. Hesaplama detayları [9] numaralı kaynakta yer almaktadır.

Çizelge 9. Hücreler arası ilişki tablosu

HÜCRELER	H 1	H 2	H 3	H 4	H 5	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 11	H 12	H 13	FMS 1
Hücre 1														20,2saat (17-38,39) 3615 p
Hücre 2			2,3saat (26-4) 3060 p				1,2saat (32-4) 900 p							
							1 saat (75-15) 900p							
Hücre 3							1,8 saat (25-1) 2106 p							
Hücre 4	1,3saat (75-15) 1800 p					4,4saat (30-13) 2130 p								
Hücre 5	0,5saat (75-15) 1255 p													
Hücre 6														
Hücre 7														
Hücre 8														
Hücre 9							0,2saat (75-5) 905 p							
Hücre 10							1,5saat (75-5) 1930 p							
Hücre 11							4saat (75-14) 4270 p							
Hücre 12								10,7saat (20-3) 4710 p						
Hücre 13														
FMS 1														



Şekil 2. Hücrelerin önem sırasına göre sıralanması

3. TRAKTÖR FABRİKASINDA KANBAN UYGULAMASI

Traktör fabrikası için önerilen kanban sisteminin oluşturulması Şekil 3 de gösterilen Şanzıman Montaj Hattı ile 10. İmalat Hücresi arasındaki parça transferini düzenleyen çekme kanban sisteminin kurulması örneği ile açıklanmıştır [9]. Ardından aynı örnek içerisinde kanban sayılarının hesaplanması da verilmiştir.

Kanban sisteminin çalışmasında ilk olarak, 10. İmalat Hücresinden Şanzıman Montaj hattına gelen parçaların içinde bulunduğu kutuların her birinin üzerinde; parçanın ne olduğunu, hangi ürün modeline ait olduğunu, kutu kapasitesini ve kutuların hangi hücreden geldiğini belirten bir çekme kanban kartı bulunmaktadır. Parçalar kutulardan alınıp şanzımana monte edildikçe ve her bir kutu boşaldıkça, üzerindeki çekme kanbanları çıkarılıp çekme kanbanı kutusuna yerleştirilir. Ardından, bu kutudaki çekme kanbanları önceden belirlenmiş bir sayıya ulaşıncaya, montaj hattındaki bir işçi boşalmış kutularla birikmiş çekme kanbanlarını alıp, bir forklifle 10. İmalat Hücresinin önündeki ambara gider. 10. İmalat Hücresinde ise ilk iş olarak getirdiği boş kutuları bırakır ve ardından 10. İmalat Hücresine ait olan ambarda hazır beklemekte olan işlenmiş parça kutularına yönelir. Burada elindeki kanban sayısı kadar kutuyu alır ve forklifte yerleştirir. Bu

arada, aldığı her bir parça kutusunun üzerinde yine parçanın ne olduğunu, hangi şanzıman modeline ait olduğunu, hangi işlem sürecinden geçtiğini, kutu kapasitesini belirten bir üretim kanban kartı bulunmaktadır. Kutuları forklifte yerleştirirken üretim kanbanlarını çıkarır ve yerlerine beraberinde getirdiği çekme kanbanlarını yerleştirir. Elindeki çekme kanbanlarının tümü bitene kadar bu işlemi sürdürür. Ardından, ambardaki dolu parça kutuları çekme kanbanları takılı olarak alınıp montaj hattına götürülür.

10. İmalat Hücresinde ise kutulardan çıkarılan üretim kanbanları üretim kanbanı kutusuna yerleştirir. Sonuç olarak çekilen parça kutusu kadar üretim kanbanı kutuya yerleştirilmiş olur. Bu kanbanlar belirli bir parti büyüklüğüne ulaşıncaya toplanır ve kutudaki yerleştirme sırasına göre üretim kontrol panosuna kaydedilir. Üretim panosundaki kayıtların sırasına göre parça üretimi gerçekleştirilir. İşlenen parçalar üretim kanbanları ile beraber parça kutularına yerleştirilir ve ambara konulur.

3.1. Kanban Sayısının Hesaplanması

Sistemdeki kanban sayısı sistem içerisindeki stok miktarını belirler. Maksimum stok düzeyi standart kutu başına düşen birim sayısı ile çarpılarak toplam kanban sayısı oluşturulur. Örneğin, her kutuda

50 parça bulunuyorsa ve 3 kutu varsa, toplam stok 3 x 50=150 parça ile sınırlı olur.

Her parçanın üretimi için gerekli toplam kanban kartı sayısı (N) aşağıda verilen Eşitlik 1 ile hesaplanabilir [12]. Formülde, D günlük üretim miktarını, T toplam döngü süresini, S güvenlik katsayısını ve Q bir standart kutunun alabileceği en fazla parça sayısını temsil etmektedir.

$$N = \frac{D \times (T) \times (1 + S)}{Q} \quad (1)$$

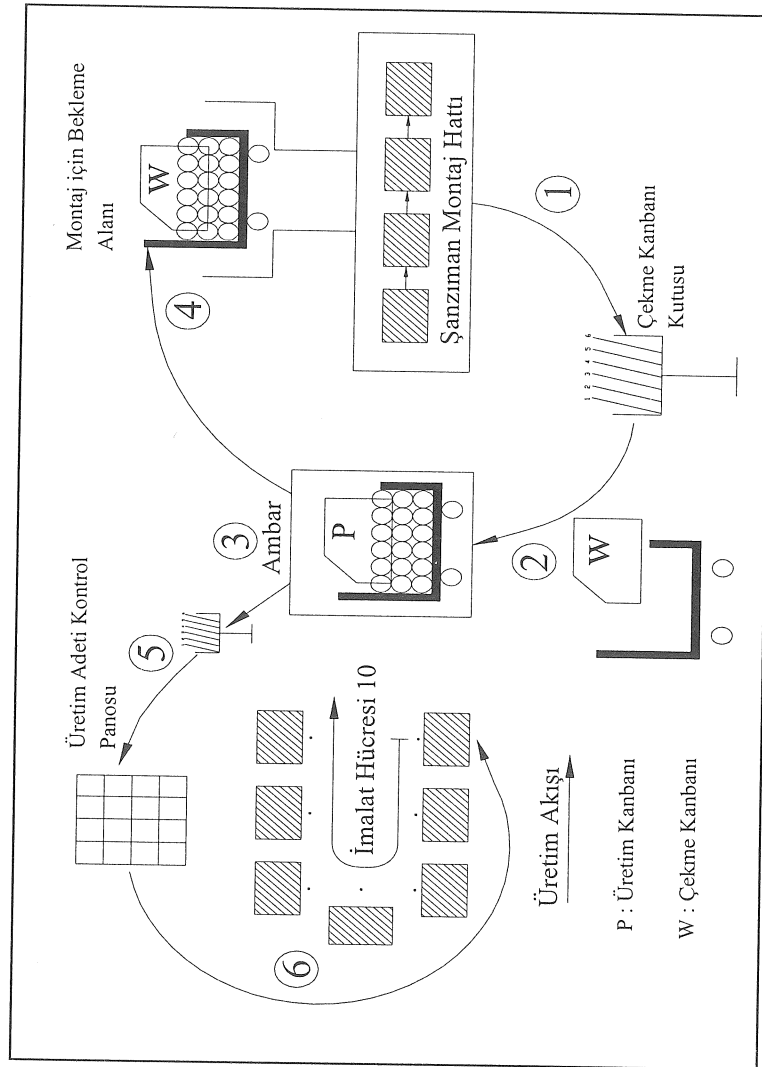
Eşitlik 1 kullanılarak 10. Hücrede üretilen 12 farklı parça tipinin üretilmesi için gerekli olan kanban sayılarının hesaplanması için öncelikli olarak günlük üretim miktarları ve toplam döngü sürelerinin hesaplanması gerekmektedir.

İlk olarak her parçanın ortalama günlük üretim miktarı aylık üretim talebinin aylık iş gününe bölünmesi ile hesaplanmıştır (Çizelge 10). Ayrıca her

parçanın büyüklüğüne göre standart bir kutunun ilgili parçadan en fazla kaç adet alabileceği (Q) belirlenerek Çizelge 10 un son sütununda sunulmuştur.

Ardından döngü sürelerini hesaplamak için gerekli olan parçaların işlem süreleri (Çizelge 11) ve makina ayar süreleri (Çizelge 12) toplanarak hücre içi toplam geçen süre (Çizelge 13) hesaplanmıştır. Parçalar hücreden ayrıldıktan sonra montaj hattına gitmektedir. Montaj hattında parçaların montajı için gerekli süreler (Çizelge 14) hesaplanmıştır. Montaj ve hücre içi toplam geçen sürelerin toplamı kanbanların sayılarını hesaplamada kullanılan döngü sürelerini vermektedir (Çizelge 15). Süre hesaplamalarında parçaların taşınma süreleri ihmal edilmiştir. Ayrıca, bir günlük çalışma süresi 1380 dakika olarak alınmıştır.

Tüm bu hesaplamaların ardından Eş.1 kullanılarak 10. Hücrede üretilen 12 farklı parça için gerekli kanban sayıları aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Kanban hesaplamalarında güvenlik katsayısı olarak 0,05 gün alınmıştır.



Şekil 3. 10. Hücre ile Montaj Hattı Arasındaki Kanban Sistemi

Çizelge 10. Parçaların günlük üretim miktarları

Aylık(22gün) Üretim Adeti	Parça No	Resim No	Ortalama Günlük Üretim Miktarı	Maksimum Parça Sayısı (Kutu Kapasitesi)
1420	54-1411	4770056	65	18
1420	54-1411	5090119	65	18
910	54-1411	98459486	42	10
510	54-1411	98459487	24	6
510	54-1055	4812932	24	6
1420	54-1002	98435129	65	18
1420	54-3509	4769592	65	18
910	54-0805	4772693	42	10
510	54-0805	4809524	24	6
1420	54-0805	5090120	65	18
510	54-1056	4600363	24	6
1420	54-1204	4769412	65	18

Çizelge 11. Parçaların toplam işlem süresi

Parça No	Resim No	Parti Büyüküğü	Parçanın Ortalama İşlem Süresi (dakika)	Parçanın Toplam İşlem Süresi (dakika)
54-1411	4770056	65	1,58	102,70
54-1411	5090119	65	2,1	136,50
54-1411	98459486	42	2,1	88,20
54-1411	98459487	24	2,1	50,40
54-1055	4812932	24	1,25	30,00
54-1002	98435129	65	1,0	65,00
54-3509	4769592	65	0,87	56,55
54-0805	4772693	42	0,94	39,48
54-0805	4809524	24	0,94	22,56
54-0805	5090120	65	0,94	61,10
54-1056	4600363	24	0,66	15,84
54-1204	4769412	65	1,1	71,50
Parçaların toplam işlem süresi				<u>739 dakika</u>

Çizelge12. 10. hücre için makina ayar zamanları

Parça No	Resim No	Makina Ayar Süresi (dakika)
54-1411	4770056	60
54-1411	5090119	60
54-1411	98459486	60
54-1411	98459487	60
54-1055	4812932	120
54-1002	98435129	120
54-3509	4769592	120
54-0805	4772693	60
54-0805	4809524	60
54-0805	5090120	60
54-1056	4600363	60
54-1204	4769412	120
TOPLAM		<u>960 dakika</u>

Çizelge13. Tüm parçalar için hücre içi toplam geçen sürelerin hesaplanması

Parça No	Parça Resim No	Hücre içi toplam geçen süreler
54-1411;	4770056	60 dk ayar süresi + 102,7 dk işlem süresi = 162,7 dk
54-1411;	5090119	60 dk ayar süresi + 136,5 dk işlem süresi = 196,5 dk
54-1411;	98459486	60 dk ayar süresi + 88,20 dk işlem süresi = 148,2 dk
54-1411;	98459487	60 dk ayar süresi + 50,40 dk işlem süresi = 110,4 dk
54-1055;	4812932	120 dk ayar süresi + 30,00 dk işlem süresi = 150,0 dk
54-1002;	98435129	120 dk ayar süresi + 65,00 dk işlem süresi = 185,0 dk
54-3509;	4769592	120 dk ayar süresi + 56,55 dk işlem süresi = 176,5 dk
54-0805;	4772693	60 dk ayar süresi + 39,48 dk işlem süresi = 99,48 dk
54-0805;	4809524	60 dk ayar süresi + 22,56 dk işlem süresi = 82,56 dk
54-0805;	5090120	60 dk ayar süresi + 61,10 dk işlem süresi = 121,1 dk
54-1056;	4600363	60 dk ayar süresi + 15,84 dk işlem süresi = 75,84 dk
54-1204;	4770056	120 dk ayar süresi + 71,50 dk işlem süresi = 191,5 dk
		Toplam İmalat Ön Süresi = 1700 dk
1700 dakika imalat ön süresi		= 1,23 gün hücre içi toplam geçen süre
1380 dakika günlük çalışma süresi		

Çizelge14. Parçaların montaj süreleri

PARÇA NO	RESİM NO	Ortalama Günlük Talep	Ortalama Montaj Süresi (dakika)	Parçalara Ait Toplam Montaj Süresi
54-1411	4770056	65	4,25	276,25 dk (0,20 gün)
54-1411	5090119	65	4,25	276,25 dk (0,20 gün)
54-1411	98459486	42	4,25	178,50 dk (0,13 gün)
54-1411	98459487	24	4,25	102,00 dk (0,07 gün)
54-1055	4812932	24	4,25	102,00 dk (0,07 gün)
54-1002	98435129	65	4,25	276,25 dk (0,20 gün)
54-3509	4769592	65	4,25	276,25 dk (0,20 gün)
54-0805	4772693	42	4,25	178,50 dk (0,13 gün)
54-0805	4809524	24	4,25	102,00 dk (0,07 gün)
54-0805	5090120	65	4,25	276,25 dk (0,20 gün)
54-1056	4600363	24	4,25	102,00 dk (0,07 gün)
54-1204	4769412	65	4,25	276,25 dk (0,20gün)

Çizelge 15. 12 parça için hesaplanan toplam döngü süreleri

54-1411	4770056:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,20 gün montaj süresi = 1,43 gün
54-1411	5090119:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,20 gün montaj süresi = 1,43 gün
54-1411	98459486:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,13 gün montaj süresi = 1,36 gün
54-1411	98459487:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,07 gün montaj süresi = 1,30 gün
54-1055	4812932:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,07 gün montaj süresi = 1,30 gün
54-1002	98435129:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,20 gün montaj süresi = 1,43 gün
54-3509	4769592:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,20 gün montaj süresi = 1,43 gün
54-0805	4772693:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,13 gün montaj süresi = 1,36 gün
54-0805	4809524:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,07 gün montaj süresi = 1,30 gün
54-0805	5090120:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,20 gün montaj süresi = 1,43 gün
54-1056	4600363:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,07 gün montaj süresi = 1,30 gün
54-1204	4769412:	1,23 gün imalat ön süresi + 0,20 gün montaj süresi = 1,43 gün

4770056, 5090119, 98435129, 4769592, 5090120 ve 4769412 resim numaralı parçalar için kanban sayısı;

$$N \equiv \frac{(65 \text{ ortalama günlük talep}) \times (1,43 \text{ gün toplam döngü süresi}) \times (1 + 0.05)}{18}$$
$$= 5,42 \approx 6 \text{ kutu,}$$

98459486 ve 4772693 resim numaralı parçalar için kanban sayısı;

$$N \equiv \frac{(42 \text{ ortalama günlük talep}) \times (1,36 \text{ gün toplam döngü süresi}) \times (1 + 0.05)}{10}$$
$$= 6 \text{ Kutu,}$$

98459487, 4812932, 4809524 ve 4600363 resim numaralı parçalar için kanban sayısı;

$$N \equiv \frac{(24 \text{ ortalama günlük talep}) \times (1,30 \text{ gün toplam döngü süresi}) \times (1 + 0.05)}{6}$$
$$= 5,46 \approx 6 \text{ kutu}$$

olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre 10. Hücrede her parça tipi için 6 kanban kartı kullanılması yeterli olacaktır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada bir traktör fabrikasının mevcut yerleşim planı çizilmiş, fabrikadaki tüm parçalar ele alınmış ve hücresele imalatın uygulanması ile yeni bir yerleşim planı oluşturulmuştur. Ayrıca hücreler ve montaj hatları arasındaki parça transferlerinin idaresi kanbanlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Hücresele imalatın en önemli faydası parçaların kat ettiği mesafelerin azalması ile taşıma süreleri ve taşıma ve üretim maliyetlerinin azaltılmasıdır. Uygulamanın sağlayacağı fayda rakamsal olarak çalışmada ifade edilmiştir. Ayrıca uygulama ile daha az sayıda parça daha hızlı üretilerek fabrika içerisindeki karmaşıklık en alt düzeye indirilebilecektir. Fabrikada oluşturulacak kanban sisteminin önemli bir avantajı da görsel denetimi sağlamasıdır. Kanban sistemi sayesinde üretim sahasında sadece dolaşarak kanban panolarına bakarak işi denetlemek mümkündür. Örneğin, kartlardaki birikme üretimdeki yavaşlamayı, azalma ise üretimdeki hızlanmayı göstermektedir.

Fabrika bu çalışmada temelleri atılan hücresele üretimi uygulamaya istekli görülmektedir. Ancak fabrika da hücresele üretime geçmeden önce hazırlık olarak, makina hazırlık sürelerinin kısaltılması yapılmalıdır. Hazırlık sürelerinin azaltılması parti büyüklüklerinin ve dolayısıyla kanban sayılarının azalmasını sağlar. Bu da çalışma

da hesaplanan faydanın da ötesinde süre ve maliyet azalmasına ve fabrikanın üretim yapılan alanın azaltılmasına yol açar.

A CELLULAR MANUFACTURING APPLICATION IN A TRACTOR FACTORY

In this study, it is shown how to apply cellular production in a Turkish tractor company based in Ankara, Turkey. As a first step in the application, Production Flow Analysis (PFA) is applied to obtain machine cells. PFA is a simple approach and obtains the part families and machine cells simultaneously. Later, the overall and in-cell layouts are obtained and a kanban pull system is developed to control the flow of parts among the assembly line and machine cells in the factory. The comparison of the previous situation and the new proposed cellular production shows that there is around 70% reduction in material handling cost and total distance travelled.

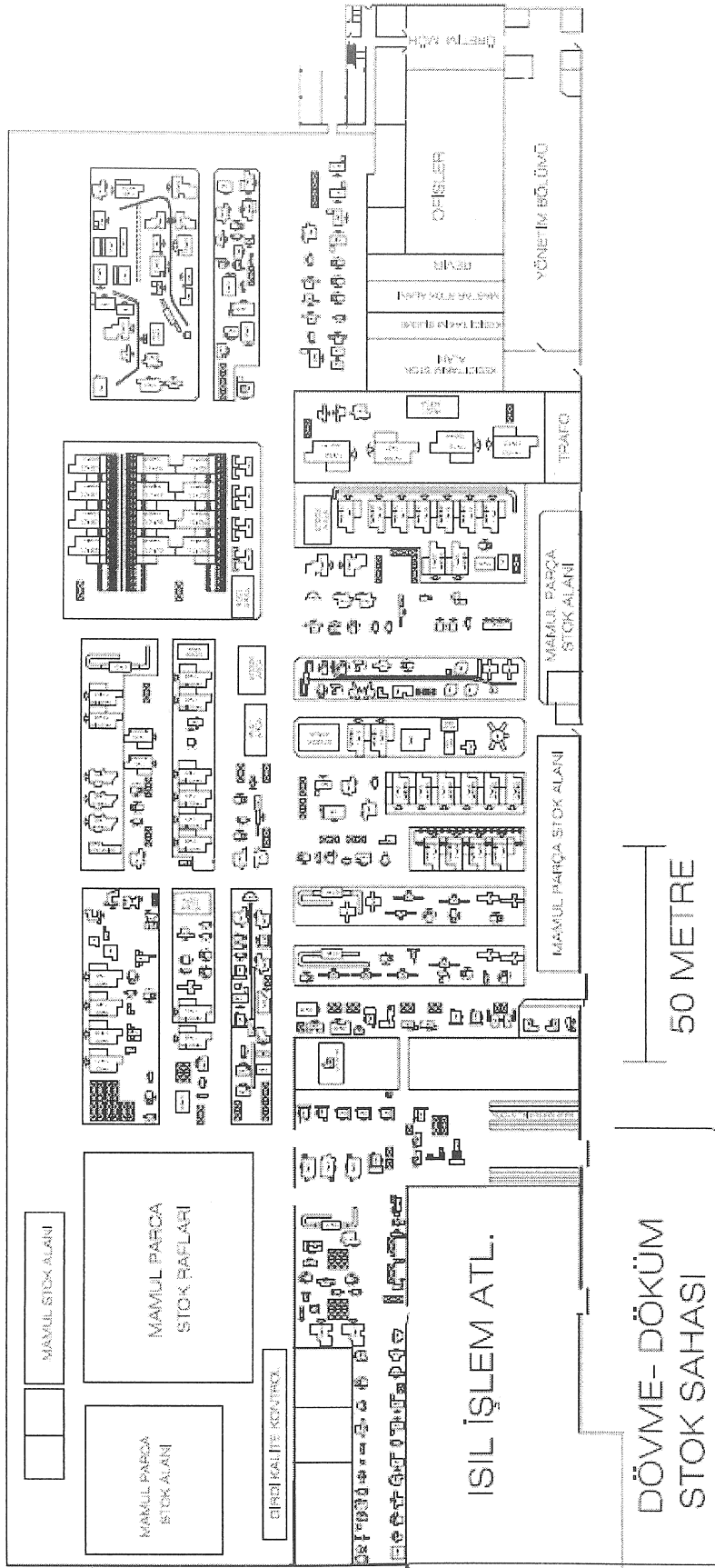
Keywords: Cellular Manufacturing, Cellular Layout, Plant Layout, Kanban.

KAYNAKÇA

1. Askın, R. G. ve Zhou, M., Formation of Independent Flow-Line Cells Based on Operation Requirement and Machine Capabilities, *IIE Transactions*, 30 (1998), 319-329.
2. Chaneski, W. S., Cellular Manufacturing Can Help You, *Modern Machine Shop*, 71(1998), 52-53.
3. Olexa, R., When Cells Makes Sense, *Manufacturing Engineering*, 128 (2002), 45-51.
4. Krajewski, Lee J., *Operations Management Strategy and Analysis*, Prentice-Hall International Inc., 6nd ed., New York., 799-810, 2002.
5. Groover, M.P., *Automation Production Systems and Computer Integrated Manufacturing*, Prentice-Hall International Inc., 2nd ed., New York., 420-453, 2001.
6. Lockyer, K., *Production and Operations Management*, Pitman Publishing, 5nd ed., London, 45-55, 1988.
7. Baran, J. J., Tips on Tackling GT Based Cells, *Manufacturing Engineering*, 106 (1991), 46-49.
8. Burbidge J.L., Change to Group Technology: Process Organization is Obsolote, *International Journal of Production Research*, 30 (1992), 1209-1219.
9. Güçlü, K.G., *Türk Traktör Fabrikasında Makina Yerleşiminde Hücresele İmalat Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2006.

10. Meyers, F.E., Stephens M.P., *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*, Prentice-Hall International Inc., 2nd ed.", New York., 56-63, 2000.
11. Slack, N., *Operations Management*, Pitman Publishing, London, 861, 1998.
12. Louis, Raymond S., *Integrating Kanban with MRP II*, Productivity Pres, New York., 21- 41, 20

Ek-1. Mevcut yerleşim planı.



Ek-2. Yeni tasarlanan yerleşim planı.

