

# İŞ YÜKLEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE TOPLAM HAZIRLIK SÜRELERİNİ EN AZA İNDİRGEMEYE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

Nihat AYDENİZ\*

**Özet:** Üretim hazırlık sürelerinin düşürülmesi, üretim sisteminin etkili olarak işletilmesi için önemli bir koşuldur. Bu bakış açısından, bu çalışmada, bir sezgisel model seçilerek, sıra bağımlı hazırlık işlerini belirlemek için bir makine fabrikasında yerleşik torna tezgahına uygulanmıştır. Yükleme yaklaşımında başvuru açıklamada, sıra bağımlılığını azaltma vasıtası ile her bir parça sırasında toplam hazırlık sürelerinin azaltılması değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımda hazırlık işleri benzerliklerine dayalı olarak parçalar, parça aileleri (hücreler) içinde bir araya toplanmış ve bu ailelerin (hücrelerin) makinelerin kısıtlılığına bağlı olarak makinelere yüklenmeleri önerilmiş ve makinelerdeki iş yükü dengelenmiştir. Ayrıca önemle belirlenen ve elimine edilen gereksiz hazırlık işleri vurgulanmıştır.

## I. Giriş

Günümüzde modern işletmecilik stratejileri ile yoğun rekabet koşullarında üretimde bulunan endüstri işletmeleri, üretimlerinde ve ürünlerini pazarlamalarında kısa teslim sürelerinde fiyat ve kalite yönünden rekabet gücü yüksek ürünleri piyasaya sunmak durumundadırlar.

Üretimdeki tedarik süreleri düşürülmek suretiyle teslim sürelerinin kısaltılmasını başarabilen işletmeler, rakiplerine göre bir avantaj elde etmeyi başarabilmektedirler. İşletmelerde ürün çeşitleri ile ilgili bilinçler arttığında; hem maliyetleri minimize etme hem de talep tahminleri azalırsa, elde fazla stok bulundurarak hızlı teslim sorunlarını gidermek zorlaşacaktır. Bu nedenle tedarik sürelerinin kısaltılması ile ilgili çalışmalar üzerinde durulması daha uygun olacaktır.

Bu açıdan temin zamanlarını azaltabilmek için başarılması gereken ilk adım, her türlü hazırlık sürelerini minimize etmektir. İşletmelerde hazırlık sürelerinin azaltılması özellikle iş yükleme sorunlarına bir çözüm bulmak için de oldukça önemli olmaktadır. Hazırlık sürelerinin kısaltılması ile işletmelerde küçük parti üretimlerinin gerçekleştirilmesi olanaklı olabilecektir. Küçük parti üretimleri işlem süreci içerisindeki dönüşüm stoklarının da azaltılmasını sağlayarak, ürünlerin temin sürelerinin kısaltılmasına yardımcı olur.

İşletmelerde küçük parti üretimlerinin önemli avantajlarından birisi de, çok çeşitli ürünlerin aynı periyotta üretilmelerine olanak tanınmasıdır. Böyle bir durumda, aynı zaman sürecinde birçok ürünün işlenmek üzere bir makine önünde toplanması kaçınılmaz olacaktır. O zaman da makine önünde toplanan

\* Doc.Dr. Dicle Üniversitesi Diyarbakır MYO İktisadi ve İdari Programlar Bölümü

ürünlerin sıralanması sorunuyla karşılaşılacaktır. Ürünlerin sıralanmasındaki esas amaç ise, toplam hazırlık sürelerini minimize etmek olmalıdır.

## II. Endüstri İşletmelerinde Ürün Sıralama ve İş Yükleme Problemleri

Endüstri işletmelerinde sorun oluşturan ürün sıralamanın esas amacı, ürün sıralamasına bağlı olarak ortaya çıkan toplam hazırlık sürelerinin kısaltılmasıdır. Bu sorunu çözmek için bir çok yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yaklaşımların içinde optimum çözüm veren yaklaşımlar, dinamik programlama, tamsayı programlama, dal ve sınır teknikleridir (White, Wilson, 1987, 191-202).

Ürün (iş) sıralama ve makinelerdeki ürün hazırlık sürelerinin minimize edilmesi ile ilgili sorun, ürün öncelik kısıtlarını da ele alacak şekilde tasarımı olarak dal sınır tekniği yardımıyla çözülebilmektedir (Kusiak, Finke, 1987, 1-12). Bu tip işletmelerin endüstriyel sorunlarında optimum çözüme yakın sonuçlar veren sezgisel yöntemler de kullanılmaktadır (Baker, 1984, 38). Sezgisel yöntem yaklaşımları diğer yaklaşımların hesaplama karmaşıklığının sakıncalarını ortadan kaldırabilmek amacıyla da bu tür işlem sıralama ve yükleme problemlerinde uygulanmaktadır (Charles, Lambert, 1992, 15).

Endüstri işletmelerinde ürün sıralama problemlerinde sıralama işlemi belirli bir ürün ile başlayıp bir başka ürün ile tamamlanıyorsa, dönüşüm süreci aynı ürünle tamamlanacak demektir (Aydeniz, 1998, 48). Böylece ikinci üretim çevriminde başlangıç, ilk çevrimdeki ürünle başlamak durumunda kalmayacaktır. Böyle bir sıralama problemiyle karşılaşılması sıkça olası olduğundan, bu çeşit ürün sıralama işlemi, çevrim dışı grup çizelgeleme olarak adlandırılmaktadır (Foo, Wager, 1993, 67). Eğer işletmedeki ürün sıralama problemi, böyle bir çevrim dışı grup çizelgeleme problemi ise, bunun optimum çözümü bir dinamik programlama yaklaşımı ile gerçekleştirilebilir (Durmuşoğlu, 1990, 5).

İş yükleme problemi, ürünlerin işlenmek üzere mevcut makinelere atanmasıyla ilgili makine yükleme problemidir. Burada makinelerin kapasiteleri, atanacak ürünler için önemli bir sınırlayıcı şart oluşturmaktadır (Tekin, 1996/I, 273). “n” sayıda ürünün her biri “m” sayıda makinede değişik maliyetlerde işlenebiliyorsa ve tek bir ürünün tek bir makineye atanması söz konusu oluyorsa, böyle bir iş yükleme problemi temel bir atama sorunu olmaktadır. Fakat bir iş bir makineye atandığında, makinenin belirli olan sınırlı işleyebilme süresinde, bir işten fazlasının işlenmesi gerçekleştirilebiliyorsa, o zaman genelleştirilmiş bir atama problemi ile karşı karşıya kalınmış demektir. Böyle bir problemin ise dal sınır tekniği ile optimum çözüme ulaştırılabilmesi olasıdır (Ross, Soland, 1985, 94).

Genelleştirilmiş atama probleminin değişik bir şekli yükleme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. İş yükleme probleminde, üretim maliyeti ölçütünün yanısıra, iş yükü dengesi, geciken iş sayısı gibi ölçütlerin de çözüm için ele alınmaları gerekebilir. Özellikle atölye tipi işletmelerde siparişe dayalı üretim gerçekleştirildiğinden, bu çeşit işletmelerde makineler arasındaki iş yükü dengesinin sağlanması, atölye iş girdisinin kontrolü, iş gecikmeleri, ortalama akış süreleri ve makinelerin kullanımı gibi ölçütler üzerinde durulması önemli olmaktadır ( Isoda, Awane, 1994, 597).

Ayrıca Grup Teknolojisi (Ham, Hitomi, 1988) ve Esnek Üretim Sistemleri (Aydeniz, 1998, 43-53; Steeke, Solberg, 1991, 482) ile ilgili olarak ta yükleme problemlerinin çözümü için birçok araştırmalar yapılmıştır (Durmuşoğlu, Hekimbaşı, 1987, 53). İş yükleme problemleri üzerine yapılan benzeri çalışmalarda genellikle hazırlık süreleri ölçütü temel alınmıştır (Shanker, Srinivasulu, 1989, 1025).

### III. Uygulama Çalışması

Diyarbakır Sanayi Bölgesinde faaliyette bulunan bir makine fabrikasında (TEMSAN) işlem hazırlık sürelerinin minimize edilmesi ve iş yükleme ile ilgili sorunlara çözüm bulmak amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiş ve işletmede mevcut hazırlık sürelerini en aza indirmek için grup teknolojisi yöntemlerinden faydalanılmıştır. Uygulamada işlerin alternatif makinelere yüklenmesi ve işlem sıralaması çalışmaları için iş yükü dengelerinin kısmen de olsa göz önünde bulundurulması amaçlanarak optimum çözüm önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır.

#### A. Makine Hazırlık Süreleri Matrisinin Oluşturulması

Oluşturulacak hazırlık süreleri matrisi için “k” makineye gelen “i” işin işlenmesinden sonra “j” işin aynı makinedeki hazırlık süreleri Skij notasyonu ile ifade edilecektir. Böylece bir makine için Skij değerleri, makine hazırlık süresi matrisini oluşturacaktır. Uygulanacak model, sadece iş parçası sırasına bağımlı olan hazırlık işlerinin sürelerini dikkate alacak ve bu işlerle ilgili süreleri hesaplayacaktır. Çalışmada elektromekanik sanayi işletmesi olan TEMSAN'daki işler ve bu işlerin bir torna tezgahında işlenmesi ele alınacaktır.

**1. Aşama:** Bunun için öncelikle torna tezgahına gelen iş parçalarının tasarım özellikleri belirlenmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesinde, iş parçaları arasında bazı ortak özelliklerin, hazırlık işlerini azaltacak nitelikte olmalarına dikkat edilmiştir. Çalışmamızda torna tezgahına gelen iş parçalarının şu tasarım özellikleri seçilerek Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Makineye Gelen İş Parçalarının Tasarım Özellikleri

Parça No	Parça	İş Parçasının Tasarım Özellikleri				
		1	2	3	4	5
1	K3-42-029	3"	143	YHT 0,0007	Mil	Dolu
2	K3-26-001	3 ½"	140	YHT 0,0007	Çatal	Dolu
3	K2-42-035	2"	139	YHT 0,0007	Mil	Dolu
4	K2-26-001	4"	87	YHT 0,0007	Çatal	Boş
5	K2-57-003	2 ¾"	138	YHT 0,0007	Mil	Dolu
6	K1-42-023	2"	151	YHT 0,0007	Mil	Dolu
7	K2-26-010	2 ¾"	90	YHT 0,0007	Çatal	Boş
8	K3-42-010	3 ½"	135	YHT 0,0007	Çatal	Dolu
9	K4-42-005	3 ½"	175	YHT 0,0007	Mil	Dolu
10	K3-26-001	3"	105	YHT 0,0007	Çatal	Dolu
11	K4-57-002	3 ½"	152	YHT 0,0007	Mil	Dolu
12	K4-26-009	3 ½"	140	YHT 0,0007	Çatal	Dolu

Tablo 1'de iş parçalarının tasarım özellikleri;

1. İş parçasının boru çapı,
2. İş parçasının uzunluğu,
3. Yüzey hassasiyeti ve toleransı (YHT),
4. İş parçasının cinsi,
5. İş parçasının iç şekli olarak gösterilmiştir.

3. Özellik hepsinde YHT 0,0007 olarak görülmektedir. Bu ise her parçanın aynı yüzey hassasiyeti ve tolerans aralığında işlenmesi gerektiğini göstermektedir.

**2. Aşama:** Makineye gelen iş parçalarının makinede işlenmesi aşamasına gelinceye kadar yapılacak olan işler bir liste halinde belirlenmektedir. Çalışmamızda torna tezgahına gelen iş parçaları için yapılması gerekli 35 adet hazırlık işleri belirlenerek Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hazırlık İşleri

İş Sıra No	Hazırlık İşleri
1	Takımhaneden gerekli araç-gereç ve takımların alınması,
2,3,4,5,6	Sırasıyla 2", 2 ¼", 3", 3 ½" ve 4"lık işlerle ilgili parçanın mildeki puntodan sökülmesi,
7,8,9,10,11	Sökülen parçanın sırasıyla aynı çaptaki işlere ait millerdeki puntoya montajı,
12,13	Aynanın sökülüp, bağlanması,
14,15	Sivri uçlu karşı puntunun sökülmesi ve bağlanması,
16,17,18,19,20,21, 22,23,24, 25	Sırasıyla 2", 2 ¼", 3", 3 ½" ve 4"lık işlere küt uçlu karşı puntunun sökülmesi ve takılması,
26	İki punto arası uzaklığın işe göre ayarlanarak. baskı basınç ayarının yapılması ve işin bağlanması,
27	Mevcut şablonun sökülerek, işe göre bağlanması ve ayarlanması,
28	Makinenin el konumunda çalıştırarak bir adet tüp çatal yapılması,
29	Makinenin el konumunda çalıştırılarak bir adet ara yatak mili yapılması,
30	Yapılan parçanın ölçü kontrolü ve ilerleme değerinin seçimi,
31	Tüp çatalın bağlanıp. devir sayısı ve ilerleme değerinin iş boyunca belirlenmesi,
32	Ara yatak milin bağlanıp, devir sayısı ve ilerleme değerinin belirlenmesi,
33	Ayar için bağlanmış işin sökülerek yeni bir tüp çatalın bağlanıp işlenmesi,
34	Ayar için bağlanmış işin sökülerek yeni bir ara yatak milin bağlanıp işlenmesi,
35	Yapılan işin muayenesi ve sökülen parçalarla, araç-gereç ve takımların takımhaneye teslimi.

Tablo 2'de görülen 1,27,28,29,30,33,34 ve 35 nolu hazırlık işleri, iş parçası sırasına bağımlı olmayan işleri oluşturmaktadır. Bu işler parçanın tasarımı özelliği ne olursa olsun elimine edilemeyecek olan işlerdir.

**3. Aşama:** Bu aşamada makine hazırlık işleri ile iş parçası tasarım özellikleri matrisinin hazırlanması gerekmektedir. "k" makinedeki "x" hazırlık işi, "y" tasarım özelliğindeki benzerlik nedeniyle elimine edilebilirse  $q_{kxy}$  olarak belirtilen değişken 1 değerini, elimine edilemez ise 0 değerini alacaktır. Çalışmamızda makine hazırlık işleri ile iş parçası tasarım özellikleri matrisi Tablo 3'teki gibi elde edilmiştir.

Tablo 3. Hazırlık İşleri Parçası Tasarım Özellikleri Matrisi

Sıra No	İş No	Tasarım Özellikleri				
		1	2	3	4	5
1,2,3,4,5	2,3,4,5,6	1	0	0	0	0
6,7,8,9,10	7,8,9,10,11	1	0	0	0	0
11	12	0	0	0	1	0
12	13	0	0	0	1	0
13	14	0	0	0	1	0
14	15	0	0	0	1	0
15,16,17,18,19	16,17,18,19,20	1	0	0	0	1
20,21,22,23,24	21,22,23,24,25	1	0	0	0	1
25	26	0	0	1	0	1
26	31	0	1	0	0	1
27	32	1	1	1	1	0

Tablo 3'teki matriste 12 ve 13 nolu aynanın sökülmesi ve bağlanması hazırlık işleri ile 14 ve 15 nolu sivri uçlu karşı puntunun sökülmesi ve bağlanması işleri 4 nolu tasarım özelliği arasında 1 değeri verilmiştir. Bu 1 değeri, 4 nolu tasarım özelliği olan iş parçası cinsi mil ve çatal parçaları ile sivri uçlu karşı puntolarda 12, 13 ve 14, 15 nolu hazırlık işlerinin kendi aralarında makine hazırlıklarında elimine edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 3'te görülen 27 adet sıra no'lu iş parçası için belirlenen standart süreler ise sırası ile 6,6,6,6,6,6,6,6,6,6,12,12,11,11,11,11,11,11,11,2,2,2,2,15,2,10 dakikadır.

**4. Aşama :** Bu aşamada her iş parçası için, iş parçası sırasına bağlı, yapılmayan hazırlık işleri ayrı ayrı belirlenerek elimine edilmesi gerekmektedir. Ele alınan örnekteki 12 iş parçası için yapılmayan hazırlık işleri belirlenerek tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Her İş Parçası İçin Yapılmayan Hazırlık İşleri

Parça No	Her İş Parçası İçin Yapılmayan Hazırlık İşleri											
	İŞ NUMARALARI											
1	4	7	8	10	13	14	21	22	23	24	25	31
2	7	8	9	10	11	12	21	22	23	24	25	32
3	3	7	9	10	13	14	21	22	23	24	25	31
4	7	8	9	10	11	12	21	22	23	24	25	32
5	3	7	9	10	11	17	21	22	23	24	25	31
6	3	7	10	11	13	14	21	22	23	24	25	31
7	7	8	9	11	14	15	21	22	23	24	25	32
8	7	8	9	11	14	15	21	22	23	24	25	31
9	4	7	8	9	11	14	20	21	22	23	24	32
10	7	8	9	11	12	14	20	21	22	23	24	32
11	5	7	8	9	11	14	17	21	22	23	24	32
12	7	8	9	10	11	14	17	21	22	23	24	32

Tablo 4'te görülen hazırlık işleri, işlerin yapılmasında benzerliklerinden faydalanılarak, yapılması gerekmeyip elimine edilebilecek olan işlerdir. Burada "i" iş parçası makinede işlendikten sonra "j" iş parçası için yapılan makine hazırlıklarında "x" hazırlık işinin durumu  $e_{ijx}$  olarak ifade edilebilir. Eğer "x" işi, "i" iş parçasından "j" iş parçasına değiştirme sırasında gerçekleştirilebiliyorsa, 1 değerini alacaktır. Ancak "x" işi, "j" iş parçası için yapılmıyorsa ya da "i" iş parçası ile "j" iş parçasının benzerliği  $d_{ijx}$  olarak ifade edilip sıfıra (0) eşit oluyorsa, bu durumda "x" işi elimine edilebilir ve sıfır (0) değerini alacaktır.

**5. Aşama :** Makine hazırlık süresi matrisi olan  $Sk_{ij}$ 'nin bulunması için, her iş için belirlenen sürelerle  $e_{ijx}$ 'lerin kümesini oluşturan işler matrisinin çarpımı gerçekleştirilebilir.  $Sk_{ij}$  değerlerinin son şeklini alması için ise, iş parçası sırasına bağımlı olmayan hazırlık işleri (elimine edilemeyecek hazırlık işleri) ile ilgili sürelerin de matrise eklenmeleri gerekecektir. Elimine edilemeyecek hazırlık işlerinde, çatal tipi iş parçaları için 35 dakika ve mil parçaları için ise 37 dakika matrise eklenecek toplam süreler olarak belirlenmiştir. Ancak matristeki satır ve sütunları eşit olan yerler için bu değerler eklenmeyecektir. Çünkü bu gözeler, makine hazırlığı gerektirmeyen ve bir önceki iş parçasına göre aynı tipte bir başka iş parçasının makineden geçtiğini temsil etmektedir.

Çalışmamızda toplanan verilerin değerlendirilmesi bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiş ve BASIC dili ile programlanmış olup, program sonucunda yapılan uygulama çalışmasında elde edilmiş olan  $Sk_{ij}$  makine hazırlık süresi matrisi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. *Makine Hazırlık Süresi Matrisi*

Toplam Makine Hazırlık Süreleri												
j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	159,0	149,0	149,0	149,0	159,0	159,0	149,0	159,0	159,0	159,0	159,0	151,0
1	0,0	148,0	147,0	148,0	67,0	143,0	148,0	143,0	143,0	143,0	143,0	150,0
2	158,0	0,0	135,0	37,0	157,0	157,0	135,0	157,0	82,0	157,0	157,0	135,0
3	157,0	135,0	0,0	133,0	158,0	158,0	47,0	157,0	158,0	158,0	157,0	121,0
4	157,0	37,0	135,0	0,0	158,0	158,0	133,0	157,0	72,0	157,0	157,0	135,0
5	67,0	147,0	148,0	147,0	0,0	142,0	148,0	142,0	142,0	142,0	142,0	148,0
6	142,0	147,0	148,0	147,0	142,0	0,0	148,0	57,0	142,0	57,0	57,0	123,0
7	158,0	135,0	47,0	135,0	157,0	157,0	0,0	158,0	158,0	158,0	158,0	121,0
8	142,0	147,0	148,0	147,0	142,0	67,0	148,0	0,0	142,0	67,0	67,0	123,0
9	142,0	62,0	148,0	62,0	142,0	142,0	148,0	142,0	0,0	142,0	142,0	148,0
10	142,0	147,0	148,0	147,0	142,0	57,0	148,0	57,0	142,0	0,0	57,0	123,0
11	142,0	147,0	148,0	147,0	142,0	57,0	148,0	57,0	142,0	57,0	0,0	123,0
12	158,0	133,0	121,0	133,0	158,0	133,0	121,0	133,0	158,0	133,0	133,0	0,0

Tablo 5'te gösterilen değerlerin anlamı, örneğin Sk01 'de gösterilen 159,0 değeri, makinenin çıplak konumundan 1 nolu iş parçası için hazırlanmasında gerekli olan toplam süreyi dakika olarak vermektedir.

### B. İş Sıralamasının Oluşturulması ve Makine Hazırlık Sürelerinin Azaltılması

Makine hazırlık sürelerinin azaltılarak tasarruf edilmesi iş sıralamasının oluşturulmasında önemli olmaktadır. Skoj ile Skij arasındaki fark, "k" makinesinde, "i"den hemen sonra "j" işinin işleme alınması sonucunda oluşacak olan değer olup, bu değer makine hazırlık sürelerini azaltarak tasarruf edilecek olan değerdir. Tasarruf edilecek değeri Şkij notasyonu ile ifade edecek olursak,  $\text{Şkij} = \text{Skoj} - \text{Skij}$  şeklinde formüle edilebilir. Ancak Şkij değerinin 0 (sıfır)'a eşit ya da 0 (sıfır)'dan büyük olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Skij elemanları arasındaki tasarruf değerinin düşük olması durumunda, sıralama probleminin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanımı daha uygun olacaktır. Diğer taraftan özellikle grup teknolojisine dayalı üretim sistemlerinde, oluşturulmuş olan gruplar ya da hücreler içerisinde üretilecek parçalar arasında benzerlik olması durumunda, Skij değerleri arasındaki farklılığın (tasarruf edilecek sürelerin) fazla olmaması beklenen bir özelliktir (King, 1980, 220). Bu özellikten dolayı gruplanmış olan parçalar (parça aileleri ya da hücreler) için iş sıralama problemlerinin çözümünde sezgisel yöntemlerin kullanımı yeğlenebilir (King, Nakornchai, 1982, 125). Ayrıca Şkij'deki farklılığın (tasarruf edilen süreler) Skij ile karşılaştırıldığında daha az olduğu görülebilir. Bu durumda ise Şkij 'yi esas alacak olan sezgisel yöntemlerle çözüme gidilmesi daha uygun olacaktır. Bu nedenle çalışmamızda, uygulamaların etkinliğini artırabilmek için aşağıda belirtilen iki sezgisel yöntem seçilerek sıralama probleminin çözümüne gidilmesi yeğlenmiştir.

a) Gelecek En İyi Kuralı Yöntemi

b) Maksimum Skij'li Gelecek En İyi Kuralı Yöntemi.

Gelecek en iyi kuralı yönteminde; işlem sıralaması tamamlanana kadar makinenin çıplak (sıfır) konumundan başlanarak, çizelgelenmemiş olan en küçük Skij'li bir "j" parçasının gelecek en iyi pozisyon için seçilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Ancak birden fazla en küçük değer olduğu takdirde, bunların içinden en küçük sütun sayısına karşılık gelen değer seçilerek işlem gerçekleştirilecektir.

Maksimum Skij'li gelecek en iyi kuralı yöntemine göre; sıra tamamlanana kadar makinenin çıplak (sıfır) konumundan başlanarak, çizelgelenmemiş olan en büyük Skij'li bir "j" parçasının gelecek en iyi pozisyon için seçilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Ancak birden fazla maksimum değer olduğu takdirde, bunların içinden en büyük sütun sayısına karşılık gelen değer seçilerek işlem gerçekleştirilecektir. Fakat bu yöntemde sıraya alınacak ilk iş parçası için, iş parçası çeşidi olan 12 adet farklı tipte parça seçilir. Parça seçiminden sonra yöntem 12 defa uygulanarak 12 farklı sıra elde edilir. Bu farklı sıralardan hangisi minimum toplam hazırlık zamanını verirse, o sıra en iyi sıra olarak seçilir. Bu yöntemin çalışmamızda uygulanması için gerekli makine hazırlık sürelerinin azaltılması ile ilgili tasarruf edilecek süre matrisi, Tablo 5'teki makine hazırlık süresi matrisinden faydalanılarak elde edilerek Tablo 6'ta gösterilmiştir.

Tablo 6. Makine Hazırlık Sürelerini Azaltma (Tasarruf) Matrisi

i	Makine Hazırlık Sürelerinin Azaltılması (Tasarrufu)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,0	1,0	2,0	1,0	92,0	16,0	1,0	16,0	16,0	16,0	16,0	1,0
2	1,0	0,0	14,0	112,0	2,0	2,0	14,0	2,0	77,0	2,0	2,0	16,0
3	2,0	14,0	0,0	16,0	1,0	1,0	102,0	2,0	1,0	1,0	2,0	20,0
4	2,0	112,0	14,0	0,0	1,0	1,0	16,0	2,0	87,0	2,0	2,0	16,0
5	92,0	2,0	1,0	2,0	0,0	17,0	1,0	17,0	17,0	17,0	17,0	3,0
6	17,0	2,0	1,0	2,0	17,0	0,0	1,0	2,0	17,0	102,0	102,0	28,0
7	1,0	14,0	102,0	14,0	2,0	2,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	30,0
8	57,0	2,0	1,0	2,0	17,0	92,0	1,0	0,0	17,0	92,0	92,0	28,0
9	17,0	87,0	1,0	87,0	17,0	17,0	1,0	17,0	0,0	17,0	17,0	3,0
10	17,0	2,0	1,0	2,0	17,0	102,0	1,0	102,0	17,0	0,0	102,0	28,0
11	17,0	2,0	1,0	2,0	17,0	102,0	1,0	102,0	17,0	102,0	0,0	28,0
12	1,0	16,0	28,0	16,0	1,0	26,0	28,0	26,0	1,0	26,0	26,0	0,0

Tablo 6, tablo 5'te makinenin çıplak (sıfır) konumunda iş parçası için gerekli olan Skoj değerlerinden Skij değerlerinin çıkarılması ile elde edilmiştir. Örneğin tablo 5'teki "j2" değeri olan 149.0'dan "i1" in kesiştiği noktadaki 148

değeri çıkarılarak tasarruf edilen süre 1.0 olarak gösterilmiştir. Çalışmamıza konu alan her iki sezgisel yöntemin uygulanması sonucu elde edilen iş sıraları ile, toplam hazırlık zamanları ve toplam hazırlık zamanını azaltacak olan tasarruf değerleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Sezgisel Yöntemlere Göre Belirlenen İşlem Sıralaması ve Hazırlık Süreleri

Sezgisel Yöntem	İşlem Sıralaması	Toplam Hazırlık Süresi	Toplam Hazırlık Süresi Tasarrufu
A	0-3-7-1-5-12-2-4-9-6-10-11-8	1248	878
b	0-8-10-11-6-4-9-2-12-5-1-7-3	1230	996

Tablo 7'de görülen toplam hazırlık süresi tasarruf değeri, makinenin sadece çıplak konumunda iken, her iş parçası için gerekli hazırlık süreleri toplamı ile elde edilen iş sırasına ait hazırlık süreleri toplamı arasındaki farktır. Bu fark iş etkinlik ölçüsü olarak ta iş sıralamasının etkinliğini ortaya koymaktadır.

### C. Hazırlık İşleri Benzerliğine Göre İş Parçalarının Gruplandırılması

İş parçalarına ait hazırlık işlerinin birbirleri ile benzer niteliklerinin olduğu belirlenen çalışmamızın bu kısmında; iş parçalarının hazırlık işlerinin benzerliklerinden faydalanmak üzere, bir gruplama yapılması amacı ile çözüme bir temel oluşturmak için, iş parçası - hazırlık işleri matrisi veri olarak ele alınacaktır. İş parçası - Hazırlık işleri ile ilgili matris düzeulenecek Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. İş Parçası - Hazırlık İşleri Matrisi

İş Parçası No	Hazırlık İşleri No																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25									
1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	
3	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	
4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	
5	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	
6	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	
7	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	
8	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	
9	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	
10	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
11	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	
12	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	

Tablo 8’de görülen matristeki 1 değeri, iş parçasının ilgili makinede hazırlık işine gereksinim gösterdiğini 0 değeri de hazırlık işine gereksinim göstermediğini belirtmektedir. Matristeki 0 değerleri Tablo 4 ‘teki verilere göre düzenlenmiştir. Matriste karışık olarak görülen ‘ 0,1’ değerlerinin, iş parçalarının makinelerde gerekli hazırlık işleri benzerliklerine göre gruplandırılmasının uygun olacağı düşünülerek, grup teknolojisine göre bir düzenleme yapılmasına gerek duyulmuştur. Grup teknolojisine göre yapılan gruplandırma sonucu elde edilen yeni matris ise Tablo 9’da görülmektedir.

Tablo 9. Hazırlık İşlerinin Gruplandırılması

İş Parçası No	Hazırlık İşleri No																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 9’da hazırlık işleri gruplandırması ile ilgili matriste görüldüğü gibi 1, 2, 6, 16, 18, 19, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 34 ve 35 no’ lu hazırlık işleri, her iş parçası için gerekli olup, vazgeçilemeyecek olan hazırlık işleridir. Bunun yanı sıra matriste görülen 7, 23 ve 24 no’ lu hazırlık işleri de hiçbir iş parçası için gerekli olmayıp, elimine edilebilecek hazırlık işleridir. Bunların dışında kalan hazırlık işleri ise, farklı iş parçası grupları için yapılmakta olan işleri göstermektedir. Buna göre matris incelendiğinde 3 farklı gruplandırılmış parça ailesinin (hücrelerin) elde edildiği görülmektedir. Bu parça aileleri (hücreler) ile ilgili hazırlık işleri ise Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Gruplandırılmış Parça Aileleri (Hücreler) ile İlgili Hazırlık İşleri

Grup No	Parça Ailesi (Hücre)	Yapılan Hazırlık İşleri No	Yapılmayan Hazırlık İşleri No
I	12,4,2,1,3,5	3,4,5,31,32,13,14,15,17,20,8,9,11,12	10,21,22,25
II	11,6	3,4,5,31,32,13,17,20,12,10	14,15,8,9,11,21,22,25
III	7,8,10,9	3,4,5,31,13,15,17,20,12,10,25	32,14,8,9,11,21,22
Yapılması Zorunlu Hazırlık İşleri (Her Parça İçin)		1,2,6,16,18,19,26,27,28,29,30,33,34,35	
Hiçbir Parça İçin Yapılmayan Hazırlık İşleri		7,23,24	

Tablo 10’daki gruplandırılmış parça aileleri (hücreler) ile ilgili hazırlık işleri, yapılan ve yapılmayan hazırlık işleri olarak ayrı ayrı ele alınarak Tablo 9’daki matriste yer alan bilgilere göre düzenlenmiştir. Tablo 9’daki matristen parça aileleri (hücreler) elde edilirken tablo 10’da görülen I. gruptaki hücreler

için 10, 21, 22 ve 25 no' lu hazırlık işlerinin, II. gruptaki hücreler için 14, 15, 8, 9, 11, 21, 22 ve 25 no' lu hazırlık işlerinin, III. gruptaki hücreler için ise 32, 14, 8, 9, 11, 21 ve 22 no' lu hazırlık işlerinin hiç yapılmadığı gözlemlenmiştir. Tablo 10'da ayrıca yapılması zorunlu hazırlık işleri her bir parça için belirtilirken, hiçbir parça için yapılmayan hazırlık işleri de ayrıca gösterilmiştir.

Gruplandırılmış parça ailelerine (hücrelere) ait, Tablo 10'da gösterilen bilgilere göre, iş parçalarının sıralanmasında daha önce belirtilmiş olan sezgisel yöntemler uygulanarak sonuçları tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. *Parça Ailelerine (Hücrelere) Ait İş Parçalarının Sezgisel Yöntemlere Göre Sıralanması*

Hücre Grup No	Sezgisel Yöntem	İş Sıralaması	Toplam Hazırlık Süresi	Toplam Hazırlık Süresi Tasarrufu
I	A	0-3-1-5-12-2-4	821	340
	B	0-4-2-12-5-1-3	803	354
II	A	0-6-11	198	137
	B	0-11-6	198	137
III	A	0-7-9-10-8	396	286
	B	0-8-10-9-7	396	286

Tablo 11'e göre her bir parça ailesi (hücreler) için uygulanan sezgisel yöntemler sonucu oluşan toplam hazırlık süreleri Tablo 7'de gruplandırılmamış sıralamadaki toplam hazırlık sürelerine göre her bir grup için daha düşük sonuçlar sağlanmıştır. Ancak gruplandırma yapılmadan önceki toplam hazırlık süreleri, gruplandırma yapılmasından sonra her üç grubun toplam hazırlık süreleri toplamından daha düşüktür. Çünkü gruplandırmada her bir grup için makine '0' ilk konumundan ayrı ayrı birer kez hazırlanmakta, buna karşılık gruplandırılmamış durumda ise, ilk konumdan itibaren sadece bir kez hazırlık gerçekleştirilmektedir.

#### *D. İş Sıralarının Gruplandırmadan Önce ve Sonraki Durumlarının Değerlendirilmesi*

Tablo 7'de elde edilen iyi bir iş sıralamasına uygun olarak yapılması gerekli üretim, eğer iyi bir iş sıralaması uygulanmaz ve bilinçli bir yönlendirme de olmazsa, çok yüksek hazırlık süreleri ile karşı karşıya kalacaktır. Bu durumda üretim sistemlerinde iş emirlerinin, Yeniden Sipariş Noktası ya da Malzeme Gereklerinin Planlamasının esas alınarak atölyelere verilmesi durumu göz önüne alınırsa, ürün parçalarının aynı zamanlarda üretilmemelerine neden olabilecektir. Bunun sonucu olarak da iyi iş sıraları uygulanamayacaktır. Ancak belirli bazı hazırlık işlerinin hiç yapılmaması ile iş sırası bağımlılığının azaltılmasını sağlayacak şekilde gruplandırma yapılarak iş parçalarının farklı

makinelere yüklenmeleri yöntemi yeğlenebilir. Çünkü gruplanmış iş parçalarının, Tablo 10'da belirtildiği gibi, grup içerisindeki sıraları ne olursa olsun belirli hazırlık işleri kesinlikle yapılmayacaktır. Böyle bir uygulama ile daha az toplam hazırlık süreleri ile üretim gerçekleştirilebilecektir. Böylece herhangi bir iş sıralaması için daha kısa toplam hazırlık sürelerinin gerçekleştirilmesi mümkün olabilecektir. Sonuç olarak, üretim sisteminde üç adet torna makinesi bulunuyorsa, iş parçalarının Tablo 10'da belirlenmiş olan parça aileleri (hücreler) halinde, farklı torna makinelerine yüklenmeleri önerilebilir.

#### IV. Sonuç

Modern endüstri işletmelerinde üretim sistemlerinin hedeflerine ulaşmasında en önemli koşul, toplam hazırlık sürelerinin minimize edilmesidir. Bu amaçla toplam hazırlık sürelerini azaltmaya yönelik olarak iş sıralama ve yükleme ile ilgili olarak makine sanayiinde faaliyette bulunan bir fabrikada uygulama yapılarak, bu tür sorunların çözümlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Uygulamada elde edilen verilerle oluşturulan hazırlık süresi matrisinden en iyi işlem sıralamasını bulan iki sezgisel yöntem çalışmada uygulanmış ve iş parçalarının hazırlık işi benzerliğine göre parça aileleri (hücreler) şeklinde gruplandırılarak makinelere yüklenmeleri üzerinde durulmuştur. Bu yaklaşımın uygulanması ile toplam hazırlık süreleri üzerinde iş sıralamasının etkisi azaltılmış ve herhangi bir iş sıralaması ile toplam hazırlık sürelerini düşürmeye yardımcı olmuştur.

Çalışmada bazı hazırlık işlerinin ortadan kaldırılabilmesi görülmüştür. Bu tip hazırlık işleri, gereksiz hazırlık işleri olarak nitelendirilip belirlendikten sonra ortadan kaldırılması ile makine hazırlık sürelerinin minimize edilmesi mümkün olmuştur. İlk inceleme sonucu 1 ve 35 no' lu hazırlık işlerinin gereksiz hazırlık işleri olduğu kanaatine varılarak ortadan kaldırılması önerilebilir. Çünkü bu hazırlık işleri, takımhaneden gerekli araç-gereç ve aparatların alınması ve tekrar yerine bırakılması ile ilgilidir. Bu işler, takımların ve aparatların makinelerin çok yakınında küçük bir dolapta bulundurulması, zaman kaybını önleyerek kullanılabileceğinden, ortadan kaldırılabilir. Böylece belirli hazırlık işleri elimine edilmiş olacaktır.

Çalışmada bazı hazırlık işlerinin iyi bir iş sıralamasıyla hiç yapılmayacağı görülmüştür. Gruplandırma ile de, iş parçalarının hazırlık işi benzerliğine göre parça ailelerine (hücreler) ayrılarak, hücreler halinde makinelere yüklenmelerinin sağlanması durumunda, bazı hazırlık işlerinin hangi iş sırasında olursa olsun hiç yapılmaması nedeniyle, toplam hazırlık sürelerinin iş sırası bağımlılığı azaltılmıştır. Böylece toplam hazırlık sürelerinden önemli ölçüde tasarruf sağlanmıştır.

**Summary:** One of the most important conditions for operating the production system effectively is to reduce the set-up times in manufacturing from this point of view. In this paper, a selected mathematical model is applied to the loathes located in a machine factory in order to determine sequence-dependent set-up times. A loading approach clarified by the application is improved to reduce total set-up times in any part sequence by means of reducing the sequence dependence. In this approach clusters the parts into part families (cells) based on the similarity of set-up tasks and proposes loading of these families (cells) on the machines subject to the machinery constraint and balanced workload on the machines. In addition, the importance of determining and eliminating the unnecessary set-up tasks is emphasized.

### Kaynaklar

- AYDENİZ, N.(1998), "Esnek Üretim Sistemlerinde Üretim Hattının Dengelenmesinde İşlem Sıralama Problemlerinin, Kıt Kaynakların Verimli Kullanımı Açısından İncelenmesi", *Banka ve Ekonomik Yorumlar Dergisi*, 35, 12.
- BAKER, K, R.(1984), **Introduction to Sequencing and Scheduling**, John Wiley and Sons, Inc, Newyork.
- CHARLES-OWABA, D. E; LAMBERT, B. K. (1992), "Sequence Dependent Machine Set-up Times and Similarity of Parts: A Mathematical Model", *IIE Trans.*, 20 , 1.
- DURMUŞOĞLU, M. (1990), "Toplam Hazırlık Sürelerini Düşürme ve Yükleme Sorununun Çözümüne Yönelik Bir Yaklaşım", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 2, 9.
- DURMUŞOĞLU, M. B; HEKİMBAŞI, H.(1987), **Esnek İmalat Sistemlerinde Yükleme Problemi**, Yöneylem Araştırma XI. Ulusal Kongre Bildiri Kitabı, II,XII.
- FOO,F.C., WAGER, J.G.(1993), "Set-up Times in Cyclic and Acyclic Group Technology Scheduling Systems", *Int.J.Prod.Res.*,31.1.
- HAM, I., HITOMI, K.(1988),**Group Technology**, Kluwer-Nijhoff Publishing.
- ISODA, K., AWANE, H.(1994), "Input Scheduling and Load Balance Control For A Job Shop", *Int.J.Prod.Res.*,32.4.
- KING, J.R.(1980), "Machine-Component Grouping in Production Flow Analysis, An Approach Using a Rank Order Clustering Algorithm", *Int.J.Prod.Res.*,18,2.
- KING, J.R., NAKORNCHAI, V.(1982), "Machine Component Group Formation in Group Technology :Review And Extension", *Int.J.Prod.Res.*20.2.
- KUSIAK, A., FINKE, G.(1987), "Modeling and Solving The Flexible Forging Module Scheduling Problem", *Eng., Opt.*, 12.
- ROSS, G.T., SOLAND, R.M(1985), **Branch and Bound Algorithm for the Generalized Assignment Problem**, Mathematical Prog.