

# HALI DOKUMA TEZGAH YÜKLEMESİNDE BULUŞSAL TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA KULLANIMI

**Yrd. Doç. Dr. Mert C. Demir**

Marmara Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul

**İbrahim Sencar, İbrahim Ergen, Uğur Serli, Murat Kaya**

Marmara Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul

**Fahrettin Yücel**

Üretim Planlama Şefi, İstanbul

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, halı dokuma siparişlerinin tezgahlara, teknolojik kısıtları ve termin kısıtlarını göz önüne alarak ve boş dokunan alanı ( ıskarta miktarını ) en aza indirgeyerek yüklenmesini sağlamaktır.

Bildiri metninde öncelikle bazı temel bilgiler aktarılmış ve çizelgeleme işleminin kısıtları açıklanmıştır. Sonrasında bazı varsayımların gerçekleşmesi durumunda çalışacak bir algoritma geliştirilmiş ve son olarak da problemin önce bu varsayımlara uygun hale getirilip bu algoritma ile çözülmesi sağlanmıştır.

Algoritma ilk olarak siparişteki halıların tezgaha yan yana ve önceden belirlenmiş tezgah eni performans kriterini karşılayabilir şekilde verilebileceği bütün olası durumları tespit eder. İkinci aşamada bu olası durumların her birinden çizelge boyundaki önceden belirlenmiş performans kriterini karşılayabilen olası tüm çizelgeleri türetir. Böylece elde edilen sipariştan üretilebilecek tüm olası çizelgeler elde edilmiş olur. Bu olası çizelgelerin her biri için bir tamsayı değişken tanımlanarak ıskarta miktarını en azlayan bir doğrusal tamsayılı amaç fonksiyonu oluşturulur ve GAMS yazılımı ile çözülür. Algoritma çoğu durum için tezgahlardaki optimum boş dokuma miktarını bulmakta ve boş dokuma miktarını önceki sezgisel çalışma sistemine göre yaklaşık 10 kat azaltmaktadır.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. PROBLEM TANIMI

Doğrusal tamsayı programlaması, sıralama ve çizelgeleme bu projenin ana temasını oluşturmaktadır. Proje satış departmanından planlama departmanına gelen siparişlerin halı dokuma tezgahlarına gerek teknolojik kısıtlara, gerekse termin kısıtlarına uygun ve en yüksek verimliliği elde edebilecek şekilde yüklenmesini kapsamaktadır. Yükleme işlemi hali hazırda tamamen sezgisel metotlarla yapılmakta olup, bu da yüksek miktarda üretim kaybına neden olmaktadır. Proje ile amaç, buluşsal bir algoritma geliştirmek, bu algorithmadan yola çıkarak bir yazılım oluşturmak ve bunu İstanbul'daki bir halı fabrikasında kullanarak üretim verimliliğini olabildiğince artırmaktır.

### 1.2. TEZGAHLAR

Tezgahlar yüz yüze dokuma teknolojisini kullandıkları için, bir halı dokunurken onunla aynı desende ve ebatda olan eşdeğer bir halı ile eşzamanlı olarak dokunur. Dokuma işleminin ardından özel bir bıçakla kesilirler ve birbirinin aynısı olan iki halı elde edilir. Bahsedilen halı fabrikasında birbirlerinden farklı özelliklere sahip halı tezgahları vardır.

Tezgahların değişken özelliklerinin başlıcaları şunlardır:

1. Tarak Sıklığı: 10 cm.'ye düşen tarak dişi sayısıdır. Bazılarında 48 tarak dişi / 10 cm. iken bazılarında 28 tarak dişi / 10 cm.dir.
2. Tezgahların Enleri: Örnek uygulamalarda tezgah eni 400 cm. olarak alınmıştır.
3. Alabileceği En Fazla Renk Sayısı: Tezgahlar arkalarında yer alan bobinler vasıtasıyla beslenir. Her tezgaha bağlanabilecek en fazla renk sayısı da farklıdır.
4. Rapiyer Sayıları: Rapiyer jüt denen atkı ipliklerin dokumasını yapan bir tezgah parçasıdır. Bazı tezgahlarda 2 bazı tezgahlarda 3 adet rapiyer bulunur.

Bu farklılıkların problemimizin çözümü açısından önemi ve sebep oldukları kısıtlar ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır.

Tablo 1.1: Tezgah özellikleri

Tezgah	Tarak Sıklığı (/ 10 cm)	En Fazla Renk Sayısı	Tezgah Eni	Rapiyer Sayısı
1	28	6	405	2
2	28	6	408	2
3	28	6	408	2
4	28	8	408	2
7	48	5	408	3
..	..	..	..	..
n	..	..	..	..

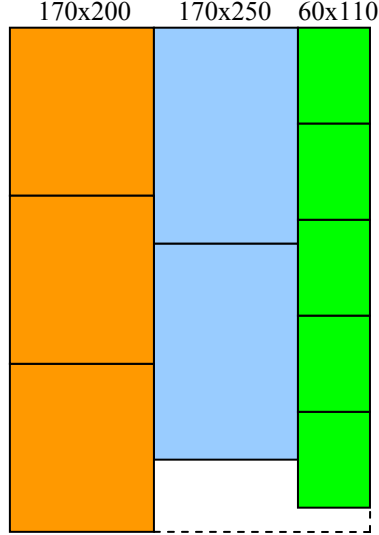
### 1.3. CAĞLIK

Cağlık tezgahları besleyen bobinlerin yerleştirildiği, tezgahın arka kısmında bulunan yerdir. Tezgahlarda (tarak sayısı) x (renk sayısı) kadar bobin bulunur. Bir cağlık belli bir anda bir renk grubuna ayarlıdır. Bir tezgahta yalnızca o tezgahın cağlığında bulunan renkleri kullanan halılar dokunabilir. Dolayısıyla bir tezgaha halı yüklemesi yapılırken desenin ve cağlığın renk gruplarının uyumlu olmasına dikkat edilir. Cağlıkta ayarlı olan renk grubunu değiştirmek mümkün olmakla birlikte yalnızca bir rengin değişmesi yaklaşık 6 işçi saatine mal olduğundan renk değişimi zorunlu olmadıkça yapılmaz.

### 1.4. ÇİZELGE

Tezgah programlandığı halı dokuma işlemini bitirdiğinde bıçaklar vasıtasıyla kesim işlemi yapılır ve yeni bir program için üretime başlanır. İki kesim arasında kalan her program parçasına "çizelge" denir. Tezgahların enleri yaklaşık 4 metre civarındadır fakat çok değişik ebatlarda halılar siparişlerde yer almaktadır. Tezgah her koşulda eninin tamamını dolduracak şekilde dokuma yapar ve gereksiz kısım sonradan kesilerek atılır. Tezgahın en yüksek verimlilikle kullanılabilmesi, malzeme ve

zaman kaybının en aza indirilebilmesi için değişik ebatlardaki halıların yan yana verilmesi ve tezgahın eninin olabildiğince doldurulması gerekmektedir. Bu şekilde yan yana verilen parçaların her birine “şerit” ismi verilir. Ayrıca kesim işleminin yapıldığı yerde şeritlerin boylarının birbirine yakın olması istenir çünkü tezgah en uzun şeridin bittiği yere kadar dokuma yapar. Diğer şeritler çok kısa kalırsa çizelgenin boyunda da fazla boş dokuma meydana gelmiş olur. Şekil 1.1’de örnek bir çizelge görülmektedir.



\*Kesikli çizgi ile halılar arasında kalan kısım iskartadır.

Şekil 1.1: Örnek çizelge

## 2. YÜKLEME KISITLARI

### 2.1. ÜRÜN GRUBU KISITLARI

Söz konusu halı fabrikasında farklı ürün gruplarında halılar dokunmakta ve bunlara kalite denmektedir. Her ürün grubunda birçok değişik desen ve ebatlardan yüzlerce ürün vardır.

#### 2.1.1. Tek Ürün Grubu Kısıdı

Bir çizelge içerisinde farklı ürün gruplarından halılar dokunamaz. Çünkü tezgahların her ürün grubundan halı için farklı ayarları vardır. Dolayısıyla belli bir çizelgede yalnız bir ürün grubundan halılar bulunabilir.

#### 2.1.2. Tarak Sıklığı Kısıdı

Halıdaki bir ilme tezgahtaki tarağın bir dişine karşılık gelir. Her 10 cm.’de bazı tezgahların 28 bazı tezgahların 48 tarak dişine sahip olduğu daha önce belirtilmişti. Farklı ürün gruplarındaki halılar da farklı ilme sıklığına sahiptir. Buradaki kısıt şudur ki; 28 düğüm sıklığına sahip halılar sadece 28 tarak dişi sıklığına sahip tezgahlarda; 48 düğüm sıklığına sahip halılar da yalnızca 48 tarak dişi sıklığına sahip tezgahlarda dokunabilir.

### 2.2. RENK GRUBU KISIDI

Bir tezgaha belli bir anda yalnızca o tezgahın çağlığında o anda ayarlı olan renk grubuna uyumlu halılar yüklenebilir. Çağlıkta bulunmayan bir rengi gerektiren bir halı o tezgaha yüklenemez. Renk grubunu değiştirmek mümkün olmakla birlikte aşırı zaman kaybına neden olduğu için mümkün oldukça bu işlemin yapılmadığı daha önce belirtilmişti.

### 2.3. RAPIER KISIDI

Tezgahlarda 2 veya 3 rapier bulunmaktadır. Ayrıca bazı ürün grupları 2 rapier bazlılarsa 3 rapier gerektirmektedir. Yükleme yapılırken dikkat edilecek hususlardan birisi de budur.

### 2.4. DETAYLI TEKNİK KISITLAR

Projenin içeriğini aşan ve ancak tekniklerin anlayabileceği daha birçok kısıt mevcuttur.

### 2.5. ARA SONUÇ

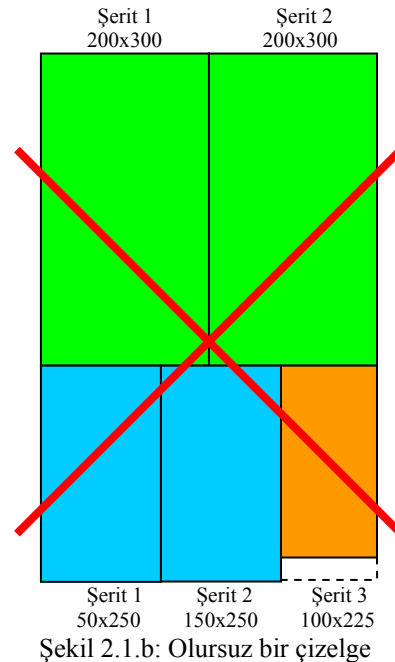
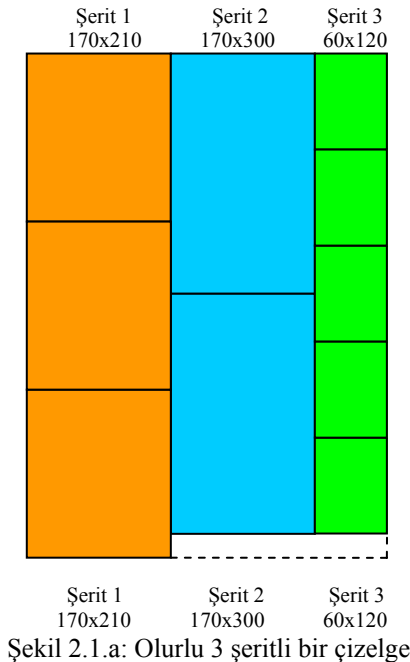
Bölüm 2.1.2’de anlatılan tarak sıklığı kısıdı bölüm 2.3’te anlatılan rapier kısıdı ve bölüm 2.4’te anlatılan detaylı teknik kısıtlar birleştirildiğinde ürün gruplarının dokunabileceği tezgahlar farklılık gösterir.

### 2.6. BOYUTSAL KISITLAR

Çizelgeleme işleminde karşılaşılan en zor ve önemli kısıtlar boyutsal kısıtlardır. Bölüm 1.4.’de çizelgenin ne olduğu hem yazılı olarak hem de Şekil 1.1 vasıtasıyla anlatılmıştı. Bu bölümde çizelgelerde boş dokuma (ıskarta) miktarını en aza indirme amacıyla belirlenmiş performans kısıtlarının yanı sıra boyutlarla ilgili bazı teknolojik kısıtlara da yer verilecektir.

#### 2.6.1. Aynı Şerit İçerisindeki Halıların Enleri Değişmez

Bu kısıda göre bir çizelge dokuma işlemine başladığı şerit ebatlarıyla çizelgenin sonuna kadar devam etmek zorundadır. (bkz. Şekil 2.1)



#### 2.6.2. Çizelge Boyu Kısıdı

Taşıyıcıların kapasitesi bir çizelgenin uzunluğunun alabileceği en büyük değeri kısıtlamaktadır. Çizelgenin boyu belli bir uzunluktan önce bitirilmezse halıların ağırlığı ve hacmi taşıyıcı kapasitesini aşar. Bu kısıt halının birim ağırlığı ile ilgili olduğundan farklı ürün grupları için en büyük çizelge uzunluğu da farklı olmaktadır.

### 2.6.3. Bir Çizelge İçin En Fazla Şerit Sayısı Kısıdı

Tezgahın eni boyunca yan yana verilen halı parçalarının her birine şerit dendiği belirtilmişti. Merkezi bilgisayar ile tezgahlar arasında iletişimi sağlayan ve tezgahları üreten firmanın sağladığı mevcut yazılım tezgahlara yan yana en fazla 7 şerit yüklenebilmesine izin vermektedir. Bu yüzden yan yana 50 cm.'lik 8 şerit yükleyerek 4 metrenin doldurulması matematiksel olarak mümkün görünmesine rağmen bu kısıt böyle bir yükleme işlemine izin vermez.

### 2.6.4. Tezgah Enini Doldurma Kısıdı

Bu kısıt önceden program kullanıcısı tarafından belirlenen bir performans kriteridir ve örnekte tezgahın eninin en az % 97,5'inin doldurulması gerektiği öngörülmüştür. Dolayısıyla eni 400 cm olan bir tezgahın en az 390 cm'si doldurulmalıdır.

### 2.6.5. Boydaki Boş Dokuma Kısıdı

Bir çizelgenin eni tezgahı tamamen doldurabilir fakat bazı istisnai durumlar haricinde çizelgede boylamasına boş dokumayı (ıskartayı) engellemek çok zordur. Çizelge içinde birden fazla şerit varsa ve bu şeritlere yüklenecek halıların boyları farklı değerlerde ise genellikle bunlardan biri diğerlerinden daha uzun olur. Bu kısıt da önceden program kullanıcısı tarafından belirlenen bir performans kriteridir ve örnek uygulamada bu fazlalığın 40 santimetreyi aşmaması istenmektedir.

Tablo 3.1: Sipariş örneği

				SIZE	2,00	1,70	1,50	1,25	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	0,50	0,80
QUALITY	DESIGN	COLOR	COLOR	FRINGE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(Kalite)	(Desen)	GROUP	(Renk)	(Kenar)	3,00	2,56	2,30	2,00	4,00	3,00	2,00	3,00	1,50	2,00	4,00	1,00	0,80	30,00
A1	D1	C1	R1	Y														
A1	D1	C1	R2	Y														
A1	D1	C1	R3	Y														
A1	D1	C1	R4	Y														
A1	D1	C1	R5	Y														
A1	D2	C2	R1	Y	50	40	80	30		30	30	50	100				30	
A1	D2	C1	R6	Y														
A1	D2	C1	R2	Y														
A1	D3	C2	R3	Y	50	40	80	30		30	30	50	100				30	
A1	D3	C2	R4	Y	50	40	80	30		30	30	50	100				30	
A1	D4	C2	R3	Y	50	40	80	30		30	30	50	100				30	
A1	D5	C2	R2	Y	50	40	80	30		30	30	50	100				30	
A1	D6	C1	R1	Y														
A1	D7	C1	R7	Y														
		TOPLAM ADET		2.200	250	200	400	150	0	150	150	250	500	0	0	0	150	0
		TOPLAM M2		6.135,40	1.500,00	870,40	1.380,00	375,00	0,00	450,00	300,00	600,00	600,00	0,00	0,00	0,00	60,00	0,00

### 3. ALGORİTMA

Problemin en zor kısmı boyutsal kısıtlar olduğu için öncelikle boyutsal kısıtlara uygun çizelgeler oluşturabilen bir algoritma geliştirildi. Yalnızca boyutsal kısıtların göz önüne alınabilmesi için siparişlerdeki halıların aynı ürün grubuna ve aynı renk grubuna ait oldukları varsayımı yapılarak algoritma geliştirildi. Ayrıca örnek uygulamada tezgahın eni 4 metre olarak kabul edildi. Algoritma anlatılırken her basamakta temel bilgiler verildikten sonra bu varsayıma uyan ve Tablo 3.1’de görülen sipariş için uygulanacak ve sonunda bu sipariş algoritmaya göre çizelgelenmiş olacaktır. Yine aynı sipariş algoritma uygulanarak elde edilen çözümden habersiz olan üretim şefi tarafından sezgisel olarak çizelgeleme işlemine tabi tutulacaktır. Sonuçlar kıyaslandığında algoritmanın verimliliği yaklaşık ne kadar arttırdığı hakkında yorum yapılabilecektir.

#### 3.1. BİRİNCİ AŞAMA

Şimdilik bir siparişteki bütün halıların aynı kalite ve renk grubuna ait olduğunun varsayılacağı belirtilmişti. Bu durumda halıların birbirlerinden tek farkları desenleri ve boyutlarıdır. Algoritmanın birinci aşamasında farklı desenlerden olan fakat ebatları aynı olan halılar birleştirilecektir (adetleri toplanacaktır), çünkü farklı desenleri de olsa aynı renk grubu ve kaliteye ait oldukları müddetçe aynı çizelge içine yüklenebilirler. Bu aşamanın amacı hangi ebatlardan kaç tane halı üretileceğinin bulunmasıdır. Bu işlemden sonra toplam üretilecek halı sayısı 2’ye bölünür. Bunun sebebi ise yüz yüze dokuma teknolojisinde aynı anda iki eşit çizelgenin üretiliyor olmasıdır. Sonuç olarak siparişteki ebatlar ve bu ebatlardan istenen halı sayılarının yarısı bulunmuş olur. Örnek sipariş için birinci aşamanın sonucu Tablo 3.2’de görülmektedir.

Tablo 3.2.: Örnek sipariş için birinci aşamanın sonucu

En	200	170	150	125	100	100	80	80	50
Boy	300	256	230	200	300	200	300	150	80
Adet	250	200	400	150	150	150	250	500	150

#### 3.2. İKİNCİ AŞAMA

İkinci aşamada 400 cm. eninde bir tezgahın en az 390 (% 97.5 hedefinden daha önce bahsedilmişti) cm.’sini doldurabilen bütün en şablonları çıkarıldı. En şablonu halıların yan yana verilebileceği en kombinasyonlarıdır. En şablonu kavramının daha iyi anlaşılabilmesine aşağıdaki örnekler yardımcı olacaktır.

$$\begin{aligned} 300+100 &= 400 && (2 \text{ şeritli ve } 400 \text{ cm. eninde bir en şablonu}) \\ 250+100+50 &= 400 && (3 \text{ şeritli ve } 400 \text{ cm. eninde bir en şablonu}) \\ 150+80+80+80 &= 390 && (4 \text{ şeritli ve } 390 \text{ cm. eninde bir en şablonu}) \text{ vs..} \end{aligned}$$

Algoritma, bir döngü içinde belli iki değer arasında olan tüm en şablonlarını çıkarır ve bunları “en şablonları” matrisinde saklar. Bu matriste satırlar en şablonlarını sütunlarsa ebatları göstermektedir. Bu yüzden satır ve sütun sayıları siparişe bağlı olarak değişebilir. Hatırlanacağı üzere şerit sayısı 7’yi aşamaz. (bkz. bölüm 2.6.3). Algoritma en şablonlarını çıkarırken bu kısıdı da göz önüne alır. Örnek sipariş için ikinci aşamanın sonucu Tablo 3.3’de görülmektedir.

Tablo 3.3: Örnek sipariş için ikinci aşamanın sonucu

En	200	170	150	125	100	100	80	80	50	Toplam
Boy	300	256	230	200	300	200	300	150	80	En
1	0	0	0	0	0	0	0	3	3	390
2	0	0	0	0	0	0	0	5	0	400
3	0	0	0	0	0	0	1	2	3	390
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
68	1	0	1	0	0	0	0	0	1	400
69	2	0	0	0	0	0	0	0	0	400

### Matrisin Matematiksel Gösterimi

Tablo 3.3’de siparişteki en değerlerinin bulunduğu ilk satır  $\mathbf{e}$  vektöründe, tablonun girdileri  $\mathbf{S}$  matrisinde, şablonların toplam enlerinin bulunduğu son sütun ise  $\mathbf{w}$  vektöründe saklanır. Bu üç matris arasında aşağıdaki ilişki söz konusudur.

$$\mathbf{e}^T \mathbf{S} = \mathbf{w}$$

veya

$$\sum (e_j * s_{ij}) = w_i \text{ her } j \text{ için}$$

$\mathbf{w}$  vektörünün girdileri en şablonlarının toplam en büyüklüğü olduğuna göre bu girdilerin tamamı 390 ile 400 arasında kalmak zorundadır.

### 3.3. ÜÇÜNCÜ AŞAMA

Üçüncü aşamada matris şeklinde oluşturulan en şablonları için boy şablonları çıkarılır. Boy şablonu bir en şablonunu kullanarak her şeride kaç adet halı yüklenebileceği bilgisini veren ve aşağıdaki üç koşulu sağlayan tam bir çizelgedir.

1. Üretilen halı adedi siparişte istenen miktarın en fazla % 5 altında veya üstünde olabilir.
2. Örnek uygulama için çizelgenin boyu ile (şerit boylarının en büyüğü) şeritlerin tek tek boyları arasındaki fark 40 cm.’yi aşmamalıdır. Bu kısıt daha önce de bölüm 2.6.5’te açıklanmıştı. 40 cm. değeri program kullanıcısı tarafından performans kriteri olarak belirlenmiştir.
3. Çizelgenin boyu mümkün olan en büyük değerini aşmamalıdır. Bu kısıt daha önce bölüm 2.6.2’te açıklanmıştı.

Algoritmanın çalışması kısaca özetlenecek olursa; ilk olarak en şablonları matrisinin ilk satır alınır ve yukarıdaki birinci şartı sağlayan tüm kombinasyonlar türetilir ve tek tek bunların ikinci ve üçüncü şartları da sağlayıp sağlamadığı kontrol edilerek, bu en şablonuna ait tüm boy şablonları çıkartılır. Aynı işlem sırasıyla en şablonları matrisindeki her satır için uygulanarak sipariştten çıkabilecek tüm boy şablonları elde edilir. Algoritma, ayrıca her boy şablonu için atılacak iskarta miktarını cm<sup>2</sup> cinsinden hesaplar.

Bu uygulamaya bir örnek vermek gerekirse, A1 ürün grubundan 16 adet 150x230 ve 32 adet 125x200 ebatlarında halılar içeren bir sipariş olduğu varsayıldığında; bu sipariştten elde edilebilecek en şablonlarından birisi de 125+125+150 şeklinde 3 şeritli bir en şablonudur. Tablo 3.4’de bu en şablonundan türetililecek bütün boy şablonları gösterilmiştir. Şerit kolonlarındaki sayılar o şeritte art arda kaç halı olacağını göstermektedir.

Tablo 3.4: Örnekten çıkarılan boy şablonlarının çeşitli özellikleri

	Şerit 1 (150x230)	Şerit 2 (125x200)	Şerit 3 (125x200)	Şerit Boyları	Çizelge boyu	150x230 üretim adedi	125x200 üretim adedi
Boy Şablonu 1	1	1	1	238,208,208*	238	2	4
Boy Şablonu 2	6	7	7	1428,1456,1456*	1456	12	28
Boy Şablonu 3	7	8	8	1666,1664,1664*	1666	14	32

\* Bir şeritteki iki halı arasında kenar tipine göre 4-8 cm boşluk bırakılır.

Örnek olarak Boy Şablonu 3 için yukarıdaki üç şart kontrol edilir ise; şeritler arası boy farkı 2 cm. olup 40 cm.’den küçüktür. Dolayısıyla ilk şart sağlanmaktadır. Çizelgenin boyu 1666 cm.dir. A1 ürün grubu için olası en büyük çizelge boyu 80 metre olduğuna göre ikinci şart da sağlanmıştır. 14 adet 150x230 ebadında, 32 adet de 125x200 ebadında halı yüklenir ve bu miktarlar siparişteki miktarları aşmamaktadır. Dolayısıyla üçüncü koşul da sağlanmaktadır. Aynı kontroller diğer boy şablonları içinde yapıldığında onların da her üç şartı sağladığı görülebilir.

Üçüncü aşamanın sonunda iki matris elde edilir. Bunlardan birine “miktar matrisi” diğereine “şekil matrisi” adı verilir. Miktar matrisinde bir boy şablonunda hangi ebatlardaki halılardan kaç adet yüklendiği görülebilir. Bunların tezgaha nasıl verileceği ise (en şablonu) şekil matrisinde görülür. Yukarıdaki tablo için miktar matrisi Tablo 3.5’te görülmektedir. Bu matriste çizelgenin sadece bir yüzündeki yüklenen halı miktarları görülmektedir.



Tablo 3.5: Miktar matrisi örneği

Ebatlar	150x230	125x200
Boy Şablonu 1	1*	2*
Boy Şablonu 2	6*	14*
Boy Şablonu 3	7*	16*

\* a: yüklenen halı sayısı

Yine aynı tablo için şekil matrisi Tablo 3.6'da sunulmuştur.

Tablo 3.6: Şekil matrisi örneği

Ebatlar	150x230	125x200
Boy Şablonu 1	1x1*	2x1*
Boy Şablonu 2	1x6*	2x7*
Boy Şablonu 3	1x7*	2x8*

\* m x n; m: şerit sayısı, n: şeritteki art arda yüklenen halı sayısı

Örnek sipariş için üçüncü aşamanın sonucu (miktar matrisi) Tablo 3.7'de görülmektedir.

Tablo 3.7: Örnek sipariş için üçüncü aşamanın sonucu (miktar matrisi)

En	200	170	150	125	100	100	80	80	50	Çizelge	Iskarta
Boy	300	256	230	200	300	200	300	150	80	Boyu(cm)	(cm <sup>2</sup> )
1	0	0	0	0	0	0	0	3	6	176	4320
2	0	0	0	0	0	0	0	6	12	352	8640
3	0	0	0	0	0	0	0	9	15	474	5100
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
200	0	0	0	0	0	42	0	0	66	2912	800
201	0	0	0	0	0	45	0	0	70	3120	4000
202	0	0	0	0	0	4	0	0	0	208	0
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
604	56	0	0	0	0	0	0	0	0	8624	0
605	58	0	0	0	0	0	0	0	0	8932	0

### 3.4. DÖRDÜNCÜ AŞAMA

Dördüncü aşamaya gelindiğinde mevcut siparişte bulunan halılar kullanılarak üretilebilecek tüm boy şablonları (çizelgeler) bilinmektedir. Aynı zamanda bunların her biri için boş dokunan, ıskarta olacak miktar cm<sup>2</sup> cinsinden bilinmektedir. Ayrıca bunların her biri için hangi ebatlardan kaç halı içerdiği bilgisi miktar matrisinde tutulmaktadır. Bu bilgiler kullanılarak siparişte istenen miktarlardan en çok %5 fazla veya eksik dokuma yapmak koşulu ile, ıskarta miktarını en küçükleyebilmek için hangi boy şablonundan kaç tane üretim yapılması gerektiği sorusuna cevap aranmaktadır. Her bir boy şablonuna bir tamsayı değişken atandığında gerek toplam ıskarta miktarı gerekse her ebattan üretilen halı miktarları bu değişkenlerin doğrusal fonksiyonları olarak ifade edilebilir. Bu bilgiler ışığında problem tamsayılı doğrusal programlama tekniği ile çözülebilecek bir formata oturmıştır. Bu formatta amaç fonksiyonunun katsayıları her boy şablonu için hesaplanan ıskarta miktarları, kısıtların katsayıları ise miktar matrisinin girdileri olacaktır. Kısıtların sağ tarafları ise büyük eşitli eşitliksizler için siparişteki miktarın 0.95'i, küçük eşitli eşitliksizler için siparişteki miktarın 1.05 katıdır.

Dördüncü aşamada, örnek siparişten elde edilen miktar matrisi, ıskarta miktarları, boy şablonları için tanımlanan değişkenler, her ebat için siparişte istenilen halı miktarları, GAMS yazılımının tanıyacağı .txt formatındaki dosyalara yazdırılır.

### 3.5. BEŞİNCİ AŞAMA

Her boy şablonuna atanan değişkenler bir kolon matris olan  $\mathbf{x}$  vektöründe tutulur. Her boy şablonu için iskarta miktarlarını da  $\mathbf{b}$  kolon vektöründe, siparişte her ebat için istenen halı miktarı da  $\mathbf{q}$  satır vektöründe, çizelgelerin her birinin hangi ebatlardan kaç halı içerdiği bilgisi ise  $\mathbf{M}$  miktar matrisinde tutulur. Bu durumda çözülmesi gereken tamsayılı doğrusal programlama sorusu

En küçükle  $\mathbf{b}^T \mathbf{x}$

$$0.95 * \mathbf{q} \leq \mathbf{M}\mathbf{x} \leq 1.05 * \mathbf{q}$$

veya

$$\text{En küçükle } \sum_{\text{her } i} b_i * x_i$$

$$0.95 * q_i \leq \sum_{\text{her } j} x_j * m_{ji} \leq 1.05 * q_i \text{ her } i \text{ için,}$$

$$\mathbf{M} = (m_{ji}), x_i \in Z^+$$

şeklinde ifade edilebilir.

Beşinci aşamada tamsayılı doğrusal programlama sorusu GAMS yazılımı tarafından modellenir ve çözülür. Çözüm .txt uzantılı bir dosyaya yazdırılır. Bu dosyada miktar kısıtlarının sağlanması ve toplam iskarta miktarının en küçüklenmesi için değişkenlerin alması gereken değerler görülebilir. Dolayısıyla hangi çizelgelerden (boy şablonlarından) kaç adet üretilmesi gerektiği artık bilinmektedir fakat bu dosyada çizelgelerin sadece çizelge no'ları vardır. O numaraya ait çizelgenin yükleme şekli, şekil matrisinden bulunmalıdır ki bu da 6. aşamada yapılacaktır.

Beşinci aşamada örnek sipariş için 605 değişkenli bir tamsayılı doğrusal programlama sorusu modellenmiş, çözülmüş ve .txt uzantılı çözüm dosyası elde edilmiştir.

### 3.6. ALTINCI AŞAMA

GAMS yazılımının ürettiği çözüm dosyası alınır. Çözüm kümesindeki değerleri sıfır olmayan değişkenlere ait satırlar şekil matrisinden filtrelenir ve bu satırlar yazdırılır. Bunlar kullanılacak çizelgeleri göstermektedir. Yanlarına çözüm dosyasından kaç adet üretilmeleri gerektiği de alınır. Böylece problemin çözümü elde edilmiş olur. Artık yükleme işlemine başlanabilir.

Örnek sipariş için altıncı aşamanın sonucu (şekil matrisi) Tablo 3.8'de görülmektedir.

Tablo 3.8: Örnek sipariş için altıncı aşama (şekil matrisi)

Çizelge no	Adet	200	170	150	125	100	100	80	80	50	Dokuma(m <sup>2</sup> )	Iskarta(m <sup>2</sup> )
		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
		300	256	230	200	300	200	300	150	80		
20	1								5x5*		31,60	0
60	1								5x45*		284,40	0
135	1							5x3*			36,96	0
137	1							5x5*			61,60	0
202	1						4x1*				8,32	0
209	1						4x8*				66,56	0
321	1				2x3*		1x3*			1x7*	24,96	0,04
329	1				2x11*		1x11*			1x26*	91,52	0
409	1			1x20*	2x23*						191,36	0,36
429	1			2x7*			1x8*				66,64	0,02
432	1			2x14*			1x16*				133,28	0,04
447	1			2x22*		1x17*					209,44	0
459	1		1x14*			1x12*		1x12*		1x42*	147,84	0
485	3		1x28*	1x31*				1x24*			887,04	0,63
546	1	1x2*				2x2*					24,64	0
564	1	1x20*				2x20*					246,40	0
577	12	2x1*									147,84	0
586	1	2x10*									123,20	0
605	1	2x29*									357,28	0

									Toplam	3140,88	1,09
Dokunan Halı Sayısı	124	98	199	74	73	74	124	250	75		
İstenen Halı Sayısı	125	100	200	75	75	75	125	250	75		

\* m x n; m: şerit sayısı, n: art arda yüklenen halı sayısı

### 3.7. SONUÇ

Örnek sipariş algoritmanın verdiği çözüme göre çizelgelendiğinde toplam 3140,88 m2 dokuma yapılır ve bunun 1,09 m2 si ıskartadır. Aynı sipariş sezgisel olarak çizelgelediğinde 3180,36 m2 üretim yapılırken bunun 30,14 m2 si ıskarta olmuştur. Dolayısıyla verimlilik % 99,05'den, % 99,965'e çıkmıştır. Başka bir deyişle ıskarta miktarı % 0,95'den % 0,035'e düşmüştür. Başka siparişler için de algoritma denenmiş ve sonuç olarak ıskarta miktarı için % 0,015 ile % 0,09 arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir. Fabrikanın mevcut kabul edilebilir ıskarta miktarının % 1-1,5 olduğu düşünülürse ıskarta miktarı 10 kat kadar azaltılmaktadır.

## 4. ALGORİTMANIN GELİŞTİRİLMESİ

Üçüncü bölümde anlatılan algoritma oluşturulurken bazı varsayımlar yapıldığı gibi bazı kısıtlar da göz ardı edilmiştir. Örneğin siparişte istenen halıların tamamının aynı ürün grubu ve aynı renk grubuna ait olduğu varsayıldı. Diğer bir deyişle tarak sıklığı kısıdı, rapier kısıdı, detaylı teknik kısıtlar göz önünde bulundurulmadı. Renk grubu kısıdı da dikkate alınmadı.

### 4.1. SİPARİŞTEKİ HALILARIN AYNI ÜRÜN VE RENK GRUBUNDAN OLMASI

Bir siparişte farklı ürün gruplarından ve farklı renk gruplarından halılar bulunması sık karşılaşılan bir durumdur. O halde yapılması gereken, siparişler üzerinde bazı değişiklikler yaparak siparişleri bu varsayıma uygun hale getirmektir. Bunu yapmak için ilk olarak tüm siparişler bir havuzda birleştirilir. Bu siparişteki halılar renk grubu ve ürün grubu özelliklerine göre filtrelenir. Her iki özelliği de aynı olan halılar aynı sipariş grubunda yer alacak şekilde gruplama işlemi yapılır. Elde ettiğimiz sipariş grupları artık varsayıma uymaktadır. Üçüncü aşamada anlatılan algoritma sipariş gruplarının her biri için uygulanır.

### 4.2. TARAK SIKLIĞI KISIDI, RAPIER KISIDI VE DETAYLI TEKNİK KISITLAR

Tezgahların özellikleri Tablo 1.1'de verilmişti. Yazılım bir tezgah boşaldığında ona yükleme işlemini bu tablodaki bilgilere uygun şekilde yapar. Hatırlanacağı üzere ürün grupları ve renk grupları aynı olan siparişler aynı sipariş grubunda yer alacak şekilde gruplama işlemi yapılmıştı. Bir tezgah boşaldığında yüklenebilecek en uygun sipariş grubu bulunmaya çalışılırken ilk aşamada, bu tezgahta dokuması yapılamayacak ürün gruplarının bulunduğu sipariş grupları elenir.

### 4.3 RENK GRUBU KISIDI

Bilindiği gibi tezgahların renk grupları statik değildir. Bu nedenle geliştirilen yazılım mevcut ayarlı olan renk gruplarını tutan bir dosya ile sürekli irtibat halindedir. Ayarlar değiştikçe bu dosya kullanıcı tarafından değiştirilmelidir. Bir tezgah boşaldığında yüklenebilecek en uygun sipariş grubu bulunmaya çalışılırken o tezgahta ayarlı olan renk grubundan olmayan sipariş grupları elenir ve bu tezgaha yüklenmezler. Böylece renk grubu kısıdına bağlı kalınmış olur. Bazen tezgahta ayarlı renk grubundan yeterli sipariş yoktur ve tezgahlarda ayrı olmayan bir renk grubundan bekleyen sipariş miktarı yükselmiştir. Böyle durumlarda yazılımın renk grubu değişimi için uyarı vermesi gerekmektedir. Şu an bu özelliği eklemek için çalışmalar yapılmaktadır.

## **Kaynaklar**

**Brode Anthony, Kendrick David, Meeraus Alexander**, GAMS, *A User's Guide*, Thomson Publishing 1988,1992

**Chvatal Vasek**, *Linear Programming*, W.H. Freeman and Company, New York, 1983

**Demey Stefaan**, The new generation of carpet weaving machines combines flexibility and productivity, Nv Michel Van de Wiele, 1999

**Winston Wayne L.**, Operations Research, *Applications and Algorithms*, (Duxbury Press), Chapter 9, pp. 464-552,1993