

**KONFEKSİYONDA ASORTİ PLANI
OPTİMİZASYONU**

Alime DERE YÜKSEL

**Namık Kemal Üniversitesi
Yüksek Lisans Tezi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Danışman: Doç. Dr. Can ÜNAL
2018**

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONFEKSİYONDA ASORTİ PLANI OPTİMİZASYONU

Alime DERE YÜKSEL

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. Can ÜNAL

TEKİRDAĞ-2018

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Can ÜNAL danışmanlığında, Alime DERE YÜKSEL tarafından hazırlanan “Konfeksiyonda Asorti Planı Optimizasyonu” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Özer GÖKTEPE

İmza :

Üye : Doç. Dr. Can ÜNAL

İmza :

Üye : Doç. Dr. Senem KURŞUN BAHADIR

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KONFEKSİYONDA ASORTI PLANI OPTİMİZASYONU

ALİME DERE YÜKSEL

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Can ÜNAL

Günümüzde konfeksiyon işletmeleri faaliyetlerinin devamlılığını sağlamak ve büyüebilmek için maliyetlerini en aza indirmek zorundadırlar. En önemli maliyetlerden biri kumaş maliyetidir. Kumaş maliyetlerinin minimizasyonu için, işletmelerde bulunan kesimhane departmanı incelenmiş ve kumaşların verimli kesilmediği saptanmıştır. Bu amaçla, problemin çözümü için doğrusal programlama tekniğinden yararlanılarak uygulama yapılmıştır. Uygulama yapılan işletmelerden gömlek, mont, pantolon, sweatshirt için örnekler alınmış ve işletmeler için değiştirilemeyecek masa uzunluğu, sipariş adetleri, serilebilecek kumaş kat sayısı, her bir ürün grubu için hesaplanan ortalama boy, fazla kesilebilecek adet gibi parametreler belirlenmiştir. Manuel olarak yapılan kesim asorti planı için doğrusal programlama yöntemiyle bir model geliştirilerek oluşturulan model için LINGO bilgisayar programı kullanılmıştır. Kullanılan program ile çalışan tarafından manuel olarak hesaplanamayacak tüm ihtimaller hesaplanabilmektedir. Model, alınan örnekler üzerinde uygulanarak manuel çözüm ile program sonucunda kullanılan kumaş miktarları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda program ile kumaş kullanımı azaltılarak kumaş maliyeti minimizasyonu sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: konfeksiyon, kesimhane, asorti planı, doğrusal programlama, LINGO.

2018, 52 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

CUT ORDER PLANNING OPTIMIZATION IN APPAREL INDUSTRY

Alime DERE YÜKSEL

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Textile Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Can ÜNAL

Nowadays, apparel businesses have to cut down on their costs in order to ensure the continuity of their activities and to grow. One of the most important costs is the fabric cost. For the minimization of fabric costs, the cutting department in the enterprises was investigated and it was detected that the cut order plans could be developed. For this purpose, the solution was applied by using linear programming technique. Examples were taken from the enterprises that were implemented. A model was developed by linear programming method for the manual cut order plan and LINGO computer program was used for the created model. With the program used, all possibilities that cannot be manually calculated by the employee can be calculated. The amounts of fabric used as the result of the cut order plan were applied on the samples taken from the enterprises and the manual solution and the developed model were compared. As a result of the comparisons made, the developed model reduced the usage of the fabric and minimized the cost of the fabric.

Key Words: apparel industry, cutting department, cut order plan, linear programming, LINGO

2018, 52 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1 Kaynak Araştırması	3
2.2 Doğrusal Programlama	8
2.2.1.1 Problemin Tanımlanması.....	9
2.2.1.2 Modelin Değişkenlerinin Belirlenmesi.....	9
2.2.1.3 Modelin Genel Olarak Gösterilmesi.....	9
2.2.2 Doğrusal Programlama Modellerinin Matematiksel Gösterimi	9
2.2.3 Doğrusal Programlama Çözüm Teknikleri.....	11
2.2.3.1 Grafik Metodu	11
2.2.3.2 Simpleks Metodu.....	11
2.2.4 Simpleks Algoritması Örnek Çözümü.....	13
2.2.5 Simpleks Metodunda Özel Durumlar	19
2.2.5.1 Çözumsuz Problemler.....	19
2.2.5.2 Sınırsız Çözümler	19
2.2.5.3 Çoklu Optimal Çözümler	19
2.2.5.4 Bozuk Çözümler	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1 Problem Tanımlaması.....	21
3.2 LINGO (Language for Interactive General Optimization) Programı	26
3.2.1 Kümeleme.....	27
3.2.1.1 Kök Küme	28
3.2.1.2 Türetilmiş Küme.....	28
3.2.1.3 Veriler bölümü.....	31
3.2.1.4 Dizin Döngülü İşlemcileri	32

4. ARAŞTIRMA BULGULARI	33
4.1 Problemin matematiksel ifadesi	33
4.2 Çözüm Kodu için geliştirilen uygulama algoritması	34
4.3 Farklı ürünlerde elde edilen bulgular	36
4.3.1 Gömlek üretiminde elde edilen bulgular	37
4.3.2 Mont üretiminde elde edilen bulgular	40
4.3.3 Pantolon üretiminde elde edilen bulgular	42
4.3.4 Sweatshirt üretiminde elde edilen bulgular	43
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	46
6. KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	52

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Özet tablo	15
Çizelge 2.2 Kesişim noktası	15
Çizelge 2.3 Anahtar sayısı.....	16
Çizelge 2.4 Yeni temel çözüm.....	17
Çizelge 2.5 Çıkan değişkenin belirlenmesi	17
Çizelge 2.6 Optimum çözüm	18
Çizelge 2.7 Örnek problemin sonuçları	18
Çizelge 3.1 Örnek kesim planı	23
Çizelge 3.2 Ana dizin kombinasyonları	29
Çizelge 3.3 Dizin işlemcileri	32
Çizelge 4.1 Örnek sonuç gösterimi	37
Çizelge 4.2 Gömlek 1' nolu sipariş örneği	37
Çizelge 4.3 Gömlek 1' nolu sipariş LINGO çözümü	38
Çizelge 4.4 Gömlekte 2 no' lu siparişin çözümü	38
Çizelge 4.5 Gömlekte 3 no' lu siparişin çözümü	39
Çizelge 4.6 Gömlekte 4 no' lu siparişin çözümü	39
Çizelge 4.7 Gömlekte 5 no' lu siparişin çözümü	40
Çizelge 4.8 Gömlekte 6 no' lu siparişin çözümü	40
Çizelge 4.9 Mont problem örneği.....	41
Çizelge 4.10 LINGO çözümü.....	41
Çizelge 4.11 Pantolon 1 no' lu sipariş örneği.....	42
Çizelge 4.12 Pantolon 1' nolu sipariş LINGO çözümü.....	43
Çizelge 4.13 Pantolon 2 no' lu siparişin çözümü	43
Çizelge 4.14 Sweatshirt 1 no' lu sipariş örneği	44
Çizelge 4.15 Sweatshirt 1' nolu sipariş LINGO çözümü	44
Çizelge 4.16 Sweatshirt 2 no' lu siparişin çözümü	45
Çizelge 5.1 Manuel çözüm ve program çözümü karşılaştırılması.....	46
Çizelge 5.2 Pastal uzunluğu açısından karşılaştırma.....	47

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Hazırgiyim ve konfeksiyon ihracatının genel ihracat performansına göre seyri.....	1
Şekil 2.1 Cut order plan ekran görüntüsü	6
Şekil 2.2 Cut plan solver ekran görüntüsü 1	7
Şekil 2.3 Cut plan solver ekran görüntüsü 2.....	7
Şekil 2.4 Optimum çözümün grafik çözümü.....	18
Şekil 3.1 Kesimhane iş akışı.....	22
Şekil 3.2 Örnek kesim föyü	23
Şekil 3.3 Pastal planı örneği	24
Şekil 3.4 Serim masası	24
Şekil 3.5 Kesim makinası	25
Şekil 3.6 Kesim ekranı	25
Şekil 3.7 Kesilen parçaların toplanması	26
Şekil 3.8 LINGO dizin tipleri	30
Şekil 4.1 Çözüm algoritması	35
Şekil 4.2 LINGO çözüm tablosu	36

ÖNSÖZ

Tez konumun belirlenmesinden sonuçların analizine dek çalışmam süresince görüş ve önerileriyle beni yönlendirerek desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Can ÜNAL' a,

Çalışmam sırasında veri toplama ve uygulama konusunda işletmelerinde imkân sağlayan Eren Tekstil ve Promar Tekstil çalışanlarına,

Tez taslağımı son derece dikkatle inceleyip, çalışmama sağladığı değerli katkıları için Prof. Dr. Özer GÖKTEPE'ye,

Tez sunumum sırasında fikirleriyle katkıda bulunduğu için Doç. Dr. Senem KURŞUN BAHADIR'a

Her daim yanımda olan ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ailem ve eşime en içten saygılarım ile teşekkür ederim.

Şubat 2018

Alime DERE YÜKSEL

1. GİRİŞ

Büyüme ve gelişme çabaları, giderek karmaşıklaşan bilgi akışlarının yönetilmesindeki zorluklar, teknolojiye hızlı değişim, uluslararası rekabet şartlarında başarılı olmak, tekstil sektörünü, ürün maliyetinin azaltılması değişen iş koşullarının önceden tahmin edilmesi ve kârlılığın sağlanması gibi hedeflere zorlanmıştır (Batuk 2010).

Firmalar son yıllarda büyüebilmek, müşteri beklentilerini karşılamak ve kendi devamlılıklarını sağlayabilmek için maliyetlerini en aza indirmek zorundadırlar. Maliyeti etkileyen faktörler ise; piyasa, hammadde, fiyat ve müşteri değişkenleridir. İşletmelerin ayakta kalabilmeleri için maliyet dışında bir de uluslararası rekabet şartlarında başarılı olması gerekmektedir.

Tekstil ve konfeksiyon sektörü de benzer bir rekabet ortamında ticaret ve üretim yapmak zorundadır. Tüketici tercihleri ve buna bağlı olarak rekabet koşullarına bağlı unsurlar, sürekli değişmektedir.

Ülkemizde Hazır giyim ve Konfeksiyon sektörünün 2017 yılında %0,5 oranında artarak 17 milyar dolar olarak hesaplanmıştır. 2017 yılı için tekstil ve konfeksiyon ihracatı, otomotiv sanayinden sonra % 10,9'luk bir pay ile ülkemizde ikinci sıradadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Hazır giyim ve konfeksiyon ihracatının genel ihracat performansına göre seyri (İTKİB 2017)

Konfeksiyon sanayi ürünlerinin maliyetlerinin yaklaşık olarak %30-40'nı hammadde, diğer bir deyişle kumaş maliyetleri oluşturmaktadır. Bu açıdan bakıldığında kumaşların tasarruflu kullanımının ürün maliyetlerinin düşürülmesi açısından ne kadar önemli bir kaynak oluşturduğu ortadadır. Diğer taraftan kumaş masraflarının düşürülmesini yalnızca ürün

maliyetlerinin dűşürűlmesi olarak kabul etmek de dođru olmaz. Konfeksiyon űrűnlerinde kumaű masrafları azaltıldıđında, kumaűın űrűn olarak ortaya ıkmasına kadar gerekleűtirilmiű olan iűilik, enerji, ham madde, tarım, evre korunması vs. ile bađlı birok űretim masrafları da dűşürűlműş olur (Bilgi 2009).

Bu alıűmada, yukarıdaki bilgiler ıűıđında űncelikle kesim bűlűmű incelenmiű ve kumaűların daha verimli kullanılması iin neler yapıldıđına dair literatűr araűtırması gerekleűtirilmiűtir. Őzellikle manuel olarak gerekleűtirilen asorti planı sűrecinin, bilimsel yűntemlerle geliűtirilerek kullanılan kumaűın minimize edilmesi amalanmıűtır. Bu ama dođrultusunda daha ok endűstri műhendislerinin kullandıđı 1946 yılından itibaren kullanılan dođrusal programlama yűntemi kullanılmıű ve bu yűntemle optimizasyon sađlama yoluna gidilmiűtir. Matematiksel forműllerle ifade edilen problemin özűmű iin LINGO (Language for Interactive General Optimization) bilgisayar programı kullanılmıűtır. Araűtırma sonucunda mevcut durumda ve optimizasyon sonucunda kullanılan kumaű miktarı, farklı űrűn ve sipariű adedi űrnekleri iin karűılaűtırılmıűtır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Kaynak Araştırması

Çalışma başlangıcından bu zamana kadar, konuyla ilgili literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Ancak ülkemizde gerçekleştirilen konfeksiyon üretimine yönelik doğrusal programlama çalışmasının sayısı oldukça azdır. Literatür taramaları sırasında öncelikle farklı sektörlerde olmak üzere şu çalışmalara rastlanmıştır;

Kara ve Savaş 2015 yılında yaptıkları çalışmada, Diyarbakır ili gıda sektöründe tatlı üretimi yapan bir işletmenin doğrusal programlama modellerinden simplex metoduyla üretimini arttırmayı amaçlamışlardır. Tasarlanan model, QM for Windows 4.0 programıyla çözümlenmiştir (Kara ve Savaş 2015).

Elevli ve arkadaşlarının 2006 yılında yaptıkları çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesi'nde 6 farklı noktada üretilen kömürün 4 farklı tüketim merkezine dağıtım problemi planlanmıştır. Doğrusal programlama yöntemlerinden simpleks metodundan yararlanılmıştır. Problemin çözümünde işletmenin değişik birimlerinde üretilen değişik özelliklerdeki kömürün maksimum fayda için hangi tüketim noktalarına gönderilmesi gerektiği tespit edilmiştir (Elevli ve ark 2007).

Bircan ve Kartal'ın 2003 yılında yaptıkları çalışmada, doğrusal programlama ile bir çimento işletmesinde en uygun kapasite belirlenmesine çalışılmıştır. QSA bilgisayar paket programı kullanılmıştır (Bircan ve Kartal 2003).

Yılmaz'ın 2010 yılında yaptığı çalışmada, bir mobilya fabrikasında fabrikanın verileri talep tahminleri doğrultusunda kullanılarak kârı maksimum yapacak ürünlerin yıllık üretim planını verecek doğrusal programlama modeli oluşturulmaktadır. Problemin çözümünde WinQSB paket programı kullanılmıştır (Yılmaz 2010).

Çelik ve arkadaşlarının, 2002 yılında yaptıkları çalışmada, x-y düzleminde hareket eden bir kumaş kesme makinası tasarlanmış ve imal edilmiştir. Çalışma sonucunda kumaş kesme zamanı minimize edilmiş ve hatasız kesme işlemi sağlanmıştır (Çelik ve ark 2002).

Batuk'un 2010 yılında yaptığı çalışmada, boya terbiye işletmesinde kumaşların satışından elde edilen kâr maksimize edilecek şekilde optimum üretim miktarının bulunması hedeflenmiş ve doğrusal programlama yöntemi ile sonuca ulaşılmıştır. Buna göre incelenen plan döneminde maksimum kar 2,196 milyon TL/ay olarak bulunmuştur (Batuk 2010).

Çetindere'nin 2009 yılında yaptığı çalışmada, bir konfeksiyon işletmesinde, makine, işgücü ve hammadde gibi kısıtlı kaynakların en verimli şekilde kullanılabilmesi ve bu kaynaklarla maksimum kârı sağlayacak optimum ürün üretiminin belirlenebilmesi için kapasite planlamasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada bahsedilen kısıtlı kaynaklara ait sayısal verilerden yola çıkılarak kapasite planlama probleminin matematiksel modeli doğrusal programlama yaklaşımı ile kurulmuştur. Sonuç olarak, işletmenin kaynaklarını optimal kullanması için daha fazla taşeron firmayla çalışabileceği yada kendi markasını oluşturarak analizler sonucunda tespit edilen ve en çok kâr getiren ürün çeşidinden üretim yapabileceği önerilmiştir (Çetindere 2009).

Bilgiç'in 2009 yılında yaptığı çalışmada, pantolon üretiminde kumaşı en verimli kullanarak, ürün maliyetinde çok büyük bir yer tutan kumaş masraflarının azaltılmasını, kumaş kayıplarının düşürülmesini hedeflemiştir. Geliştirilen yöntemle, bir işletmenin rastgele kumaş eni kullanmasıyla oluşan kumaş kayıplarının, Türkiye'deki tüm konfeksiyon işletmeleri için genelleme yaparak, mevcut kaybın ne kadar olduğunu ortaya konulmuştur (Bilgiç 2009).

Ertuğrul'un 2005 yılında yaptığı çalışmada, uygulamanın yapıldığı fabrikada aylık üretim planını ve elde edeceği kârı doğrusal programlama ve bulanık mantık yardımıyla bulmak ve bunlar arasında kıyaslama yapmak amaçlanmıştır. Üretilen pantolon ve şort miktarı doğrusal programlama yardımıyla belirlendiğinde 2500 pantolon, 750 şort, 45000 TL kâr, bulanık hedef programlama ile 2750 pantolon, 625 şort, 47500TL kâr elde edilmiştir. Aynı şekilde ev tekstili grubunda konfeksiyon fabrikasından farklı olarak kâr hedefi değil de, doğrusal programlama modeli ile elde edeceği kâr hedefini sabit tutarak, sadece çarşaf ve yastık kılıfı için satış hedeflerini belirli tolerans aralıklarıyla belirleyip bulanık hedef programlama modelini kullandığında, daha az çarşaf, daha fazla yastık kılıfı üretmenin daha uygun bir karar olacağını görecektir. Kısaca, kesin doğrusal programlama modeli yerine bulanık hedef programlama modeli kullanmak, firma için daha faydalı olmuştur (Ertuğrul 2005).

Çetindere ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları çalışmada, siparişe göre çalışan ve çok farklı niteliklerde ürün üretimi gerçekleştiren bir konfeksiyon işletmesinin kısıtlı kaynaklarına (makine, işgücü, hammadde) ait sayısal verilerle üretim planlama probleminin matematiksel modeli doğrusal programlama yaklaşımı ile kurulmuştur. Problemin çözümlenmesiyle amaç fonksiyonu olan maksimum kârın işletmenin, tek tip ürün üretmesiyle ya da daha fazla sipariş almasıyla sağlanacağı sonucuna ulaşılmıştır (Çetindere ve ark 2010).

Türköz'ün 2001 yılında yaptığı çalışmada ise temel amaç bir iplik fabrikasının, iplik boyhanesinde üretilen renkli iplik üretiminden yola çıkarak boyahanelerde; zaman, maliyet ve kalite açısından optimal bir çözüme ulaşarak üretimi planlamaktır. Bu çalışmada, her iplik

boyahanesine kolayca uygulanabilecek iki ayrı model önerisinde bulunulmuştur ve bu iki model karşılaştırılmıştır.

Birinci modelde, gelen sipariş, “eldeki kaynaklarla en kısa zamanda nasıl müşteriye ulaştırılır” sorununa cevap getirilmiştir. İkinci modelde ise, kalite ön planda, zaman ikinci planda olmak üzere “kaliteli iplik üretimi nasıl sağlanır” sorununa çözüm bulunmuştur. İlk modelde, 20 saatte boyama işlemi tamamlanırken; ikinci modelde, 30 saatte fakat daha kaliteli bir boyama işlemi yapılmaktadır (Türköz 2001).

Söz konusu çalışmaya benzer nitelik taşıyan yurtdışı uygulamaları ise aşağıda verilmektedir.

Wong ve Leung yaptıkları çalışmada, konfeksiyonda kullanılan malzemelerin maliyetinin toplam maliyetin %50’sinden fazla olduğunu saptamışlar ve bu maliyetleri azaltabilmek için genetik algoritma kullanmışlardır. Problemin temel amacı, minimum maliyeti sağlayacak en uygun asorti planını belirlemektir. Ancak maliyeti azaltabilmek için, kumaş verimliliği, kumaş fiyatı, çalışan maliyeti, elektrik maliyeti, serim süresi, kullanılan makinaların gücü, dikimhane çizelgesi gibi birçok parametre devreye girmiştir. Sonuçta kumaş metresinde %2,61’lik bir kâr sağlanmıştır. Fakat problemin kapsamı çok geniş ve çalışmanın amacı maliyet minimizasyonu olduğu için, genetik algoritma ile elde edilen sonuçları bu tez çalışması sonuçlarıyla karşılaştırmak mümkün olmamıştır (Wong ve Leung 2006).

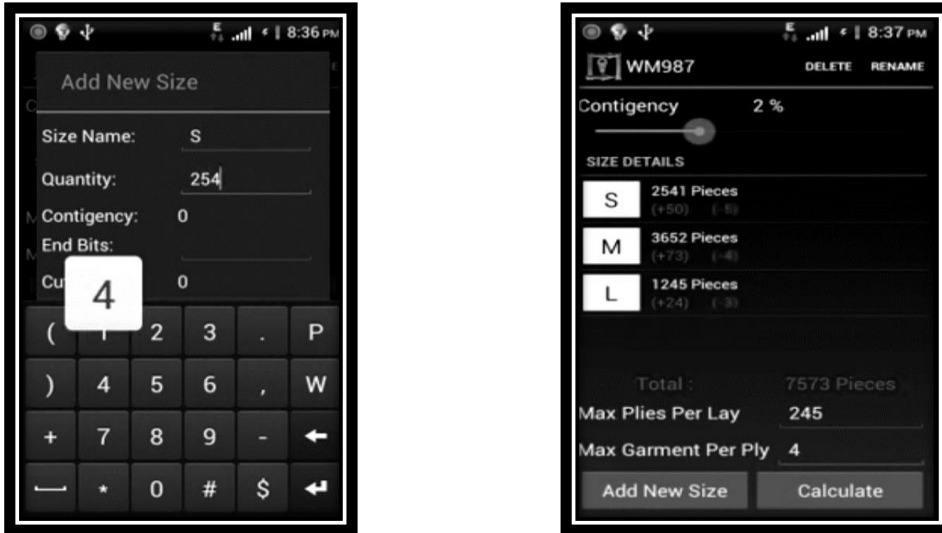
Frency ve Patrick yaptıkları çalışmada, kumaş kaybını en aza indirmenin toplam maliyeti düşüreceğini saptamışlardır. Geleneksel kullanılan yöntemlerin bilimsel olmadığı iddiası ile matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Problemin amacı, sürecin kontrol altına alındığı ve kumaşta herhangi bir hata olmadığı durumlar için, matematiksel model ile kumaş kaybını önceden tahmin edebilmektir. Toplam kumaş kaybı, kumaş kenarı, pastal uzunluğu, ek yeri çizgi sayısı, elde kalan kumaş, kumaşın top uzunluğu gibi parametreler de modele dâhil edilmiştir. Sonuç olarak, söz konusu matematiksel modelin sektör için uygulanabilir nitelik taşıdığı belirtilmiştir. (Frency ve Patrick 1999).

Blecha ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, müşteri siparişine bağlı olarak kesilen kumaşın, kumaş sermenin, kesimin ve pastal hazırlamanın maliyetinin tanımlayacak matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Kurulan modelin, pastal planı hazırlanmasında kullanılan üç farklı sezgisel algoritmaya verdiği sonuçları incelemişlerdir. Temsili sanayi problemleri üzerinde uygulanan çalışma sonucunda, piyasada bulunan ticari yazılımlarla, geliştirdikleri algoritmaları karşılaştırmışlardır. Geliştirdikleri algoritmanın sektörde kolayca uygulanabileceğini vurgulamışlardır (Blecha ve ark. 1996).

Nascimento ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, farklı modelde, renkte ve bedendeki giysiler için masa uzunluğu, bıçak yüksekliği ve müşteri sipariş adetleri gibi kısıtları göz önüne alarak en düşük kumaş serme ve kesim çizelgeleme maliyetini belirlemeyi hedeflemişlerdir. Problemi çözmek için birkaç çözüm algoritması ve sezgisel yöntem önerilmiş, test edilerek Brezilyada bir konfeksiyon şirketinde 4 farklı giysi için örnek bir uygulama yapılmıştır. Farklı giysiler için hangi algoritmanın en iyi sonuç verdiğini saptamışlardır (Nascimento ve ark. 2010).

Literatürde rastlanan bu çalışmaların dışında, asorti planı optimizasyonu konusunda piyasada yer alan ticari yazılımlarda incelenmiştir;

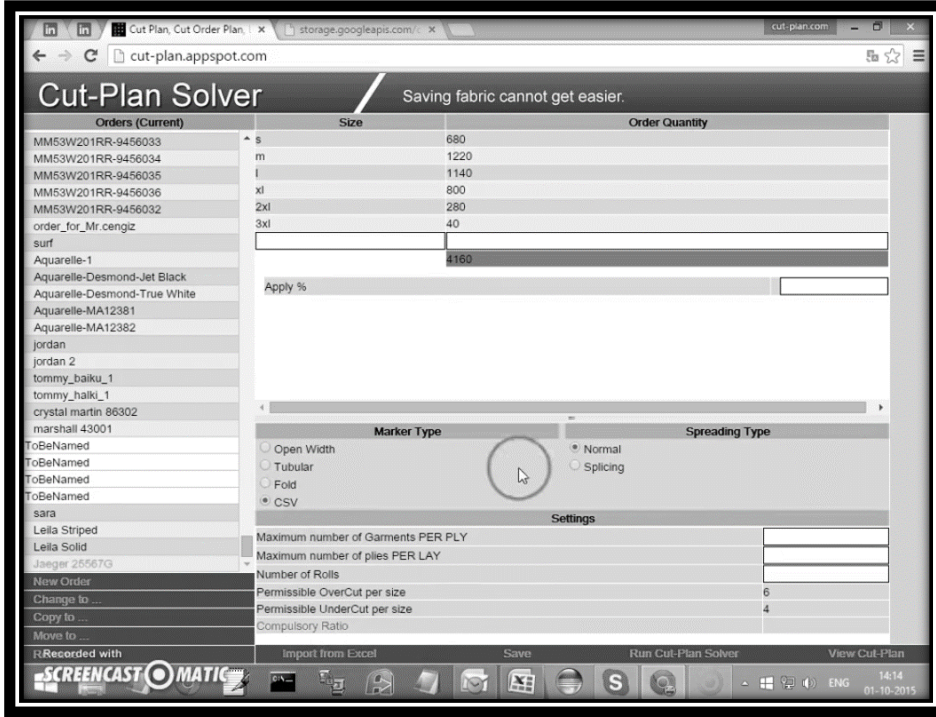
Konu hakkında Android tabanlı uygulama sunan yurtdışı menşeli ticari yazılımlardan biri Şekil 2.1’de yer alan “Cut Order Plan”dir. Bu yazılımda kullanılan optimizasyon algoritması açıklanmadığı için bilimsel olarak incelemek mümkün olmamıştır. Yazılım hakkında verilen bilgiler ve yapılan program incelemesi sonucunda, bu tez çalışmasından farklı olarak ve beden uzunluğu kavramına değinilmediği, pastalda yer alacak maksimum beden adedi kavramının kullanıldığı görülmüştür. Uygulama akıllı telefona indirilip, elde edilen sonuçlar incelendiğinde hazırlanan bu tez mevcut çalışması ile daha verimli sonuçların elde ettiği saptanmıştır (<http://www.maarusolns.com/>).



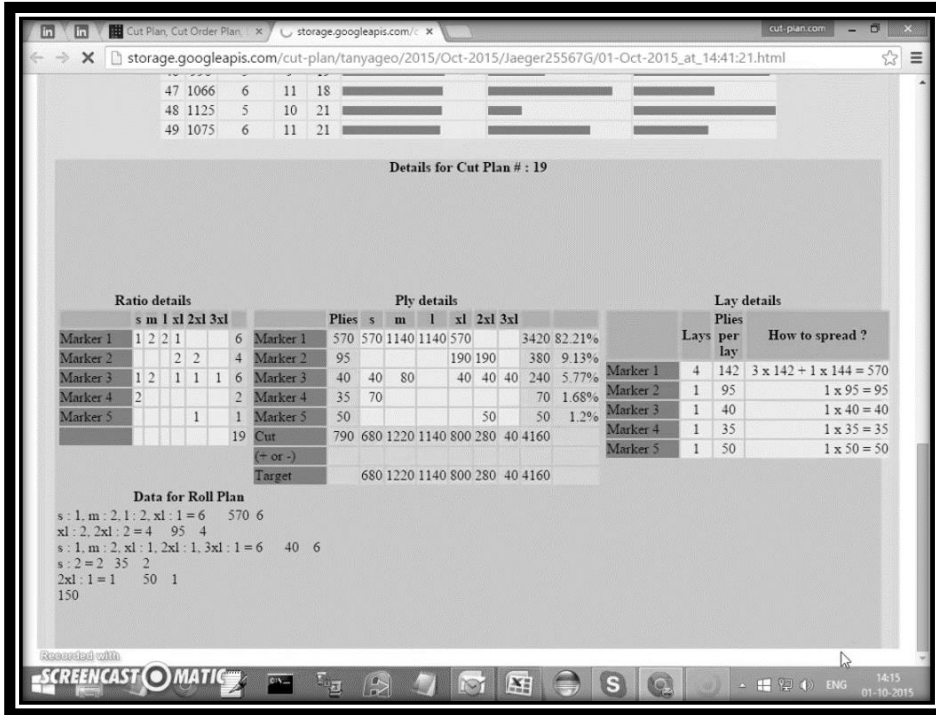
Şekil 2.1 Cut order plan ekran görüntüsü

Konu hakkında hazırlanmış diğer bir yazılım “Cut-Plan Solver” programıdır (Şekil 2.2, Şekil 2.3). Bir önceki çalışmaya benzer şekilde, bu yazılımda da her beden için ayrı ayrı uzunluk kavramına yer verilmiş ancak masa uzunluğu tanımlaması, bir pastala sığabilecek beden adedi kavramı kullanılarak yapılmıştır. Program tanıtım videoları örnekleri incelenerek

gerçekleştirilen, mevcut çalışma ile kıyaslamada, mevcut çalışma sonuçlarının söz konusu programdan daha verimli çözümler elde ettiği belirlenmiştir (<http://www.cut-plan.appspot.com/>).



Şekil 2.2 Cut plan solver ekran görüntüsü 1



Şekil 2.3 Cut plan solver ekran görüntüsü 2

2.2 Doğrusal Programlama

Yöneylem Araştırması ilk kez İngilizler tarafından 1940 yılında 2. Dünya savaşında Alman hava hücumlarının İngiltere'yi büyük kayıplara uğrattığı dönemde başlamıştır. Bu duruma önlem almak isteyen İngiliz Genel Kurmay Başkanlığı bir araştırma ekibi kurmuştur. Öncelikle Alman hava hücumlarının dağılımını olasılık kurallarına göre saptamış ve elindeki var olan savunma silahlarını buna göre konuşlandırılmıştır. Bunun sonucunda uçak sayısı bakımından İngilizlere karşı üstün olan Alman hava kuvvetleri hücumlarında başarısızlığa uğramışlardır. Ülkemizde ilk Yöneylem Araştırma çalışmaları Türk ordusu tarafından başlatılmıştır. İlk Y.A. ekibi 1956 yılında bugün adı Araştırma ve Geliştirme olan (ARGE) Başkanlığı olan Genel Kurmay İlgi İstişari Geliştirme Başkanlığında kurulmuştur. Yöneylem Araştırması eğitimleri ilk kez İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesinde başlamıştır. Daha sonra 1964-1965 öğretim yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesi Matematik Bölümünde 'Doğrusal Programlama' dersleri verilmeye başlanmıştır (Turan 2013).

Doğrusal programlama, problemlerin çözümü için büyük katkı sağlamaktadır. Bunun altında problemlere optimum çözüm arayışında olması yatmaktadır. Öncelikle optimum sonuç ortaya çıkabilmesi için problemin doğru tanımlanması çok önemlidir. Daha sonra verilerle problemin doğru ifade edilebilmesi için çözüme uygun bir model oluşturulur.

Model, bir sonucun elde edilebilmesini hangi değişkenlerin etkilediğinin belirlenmesi ve gerçeğin bazı sembollerle gösterimi olarak açıklanmaktadır. Matematiksel bir modelin kurulmasında, öncelikle problem belirlenir, ikinci aşamada varsayım ve kabuller belirlenir, üçüncü aşamada da problemi en iyi şekilde temsil edebilecek bir model kurulur. Model ele aldığı konunun tüm görünümünü belirlemekten çok, konu ile ilgili ve özelliği olan ilişkileri gösterir. Model kurma uygulama süreci aşağıda açıklanan aşamalardan oluşmaktadır:

- Karar probleminin belirlenmesi,
- Modelin formüllerle açıklanması,
- Problemin formüllerle açıklanması,
- Modelden çözüm elde edilmesi,
- Modelin geçerliliğinin denenmesi,
- Modelin uygulanması,
- Modelin kontrol altına alınması ve
- Sonuçların yorumu.

Kurulan model, bilinen bir sistemi veya sistemleri bağıntı ve parametrelerle tanımlayarak, gerçek değerleri mümkün olduğunca en iyi şekilde temsil edebilmelidir (Ergülen ve Gürbüz 2006).

Doğrusal programlama modellerinin temel kurulum aşamaları ve bu aşamalarda yerine getirilen faaliyetler aşağıda verilmiştir:

2.2.1.1 Problemin Tanımlanması

Elde edilen sayısal bilgiler (örneğin; süre, hammadde, maliyetler, vb. gibi) belirlenir. Ayrıca, kullanılacak üretim yöntemleri ve her birinin uygulanmasıyla üretilebilecek mamullerin birim maliyetleri veya her bir birimin satışından firmanın sağlayacağı kâr saptanır.

2.2.1.2 Modelin Değişkenlerinin Belirlenmesi

İşletme problemlerinde genellikle, üretim hacmi, makinelerin çalışma süreleri, üretimde kullanılan hammadde miktarları ve üretim için yapılan masraflar değişken olarak alınır. Değişkenler belirlenirken dikkat edilmesi gereken noktalar;

- Üretimde yapılacak herhangi bir değişikliğin modele yeni değişkenleri getireceği,
- Değişkenler için kabul edilen ölçülerin aynı olacağına, dikkat edilmelidir.

2.2.1.3 Modelin Genel Olarak Gösterilmesi

Modele girecek olan değişkenler x_1, x_2, \dots, x_n ile değişkenler arasındaki ilişkileri kuran parametreler ise $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{mn}$ biçiminde gösterilir. Verilen sabit değerler (hammadde miktarları veya makine kapasiteleri v.b. gibi) b_1, b_2, \dots, b_m ile ifade edilir. İlişkilerde kullanılan, x_1, x_2, \dots, x_n değişkenleri pozitif veya sıfır olabilirler. Fakat negatif olmaları olanaksızdır. Değişkenler arasındaki ilişkiler genellikle eşitlik veya eşitsizlik sistemi halinde gösterilir. Değişkenler arasındaki kurulan diğer bir doğrusal denklem de, amaç fonksiyonudur. Modelin bütün değişkenleri bu fonksiyonda yer alır (Çetindere 2009).

2.2.2 Doğrusal Programlama Modellerinin Matematiksel Gösterimi

- a. Karar Değişkenlerinin Belirlenmesi:** Bir problemin doğrusal programlama modelinin kurulmasına öncelikle karar değişkenlerinin tanımlanmasıyla başlanır. Herhangi bir doğrusal programlamada, karar değişkenleri alınacak kararları tamamen betimlemesi

gerekir. Genellikle karar değişkenleri alınacak kararlara ilişkin faaliyetlerin düzeyini gösterir ki çoğu kez x_j ($j=1, 2, \dots, n$) simgesiyle ifade edilir.

b. Amaç fonksiyonunun belirlenmesi: Herhangi bir doğrusal programlama probleminde, karar verici karar değişkenlerinin bazı fonksiyonunu en büyükmek (genellikle gelir ve kârın) veya en küçükmek (genellikle maliyetlerin) ister. En büyükmek (maksimize edilen) veya minimum kılınan (en küçükmek) fonksiyonuna amaç fonksiyonu denir. Beklenen sonucun alınabilmesi için amacın açık olarak bilinmesi ve matematiksel olarak ifade edilmesi gerekir.

Modelin amaç fonksiyonunda karar değişkenleri $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$ ve kâr veya maliyet kat sayıları da $c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_n$ ile gösterilirse amaç fonksiyonu:

max veya min (z) = $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j + \dots + c_nx_n$ şeklinde yazılır.

c. Kısıtlayıcıların belirlenmesi: ekonomide üretim kaynakları veya üretim faktörleri sınırlıdır. Bir işletmenin elindeki makine kapasitesi, teknolojis, işgücü, enerji, sermaye, hammadde, yarı mamul madde, malzeme gibi üretim faktörleri ile ürünlerine olan talep de sınırlıdır. Dolayısı ile karar değişkenlerin miktarı da sınırlı olacaktır.

İşletmenin faaliyetlere dağıtabileceği kaynak miktarı b_i ($i = 1, 2, \dots, m$) ve ürünlerin seçenekli yolların (teknolojik yapısı) veya teknoloji kat sayıları da (a_{ij}) sembolü ile gösterilirse, bu durumda kısıtlayıcı denklem takımı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n & \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n & \leq b_2 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mj}x_j + \dots + a_{mn}x_n & \leq b_m \end{cases}$$

d. İşaret Kısıtlaması: doğrusal programlama probleminin formülasyonunu tamamlamak için her bir karar değişkeninin sadece pozitif yani negatif olmayan veya karar değişkenlerin hem pozitif hem de negatif değerli olabileceği varsayılmalıdır. Karar değişkeni x_j sadece pozitif değerli olduğu varsayılsa $x_j \geq 0$ işaret kısıtlamasını modele eklenir.

Maksimum (z) = $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$

$$\text{Kısıtlayıcılar} \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n & \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n & \leq b_2 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n & \leq b_m \end{cases}$$

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0$$

Bu doğrusal programlama problemi maksimum amaçlı kısıtlayıcıları da “ \leq ” biçimde ise buna normal maksimizasyon doğrusal problemi de denir. $c_j, b_j,$ ve a_{ij} modelin parametreleri

olup $x_j \geq 0$ kısıtlamasına da negatif olmama kısıtlayıcısı adı verilir. Normal Minimizasyon doğrusal programlama probleminde ise amaç fonksiyonu ve minimum ve kısıtlayıcılarda “ \geq ” yapısındadır (Öztürk 2009).

2.2.3 Doğrusal Programlama Çözüm Teknikleri

Doğrusal programlama modellerinin çözümünde genellikle grafik metodu ve simpleks metodu kullanılmaktadır. Her iki metodun da kendine özgü bazı özellikleri vardır. Grafik yöntemi en fazla üç değişkenli problemlerin çözümünde elverişlidir. Gerçek doğrusal programlama problemlerinin çözümü ise simpleks yöntemi ile sağlanmaktadır.

2.2.3.1 Grafik Metodu

Bu yöntem iki dağıtım merkezi olan eşitsizliklerde, parametrik bir denklemden oluşan doğrusal sistemin analitik olarak çözümü ve bunun geometrik olarak gösterilmesinden oluşmaktadır. Bu yöntem en fazla üç dağıtım yeri için anlam taşımakta olup görünebilir bir çözüm elde edilmektedir.

Grafik yöntemde iki temel adım bulunmaktadır:

- Modelin tüm kısıtlarının sağlandığı uygun çözümleri içeren çözüm alanının belirlenmesi,
- Belirlenen bu çözüm alanındaki bütün noktalar arasından optimum çözümün belirlenmesi

2.2.3.2 Simpleks Metodu

Simpleks yöntemi problemin çözümünü bulmak için uygulanması gereken kural ya da izlenmesi gereken sistematik süreçtir. Simpleks bir hesaplama yöntemidir. Doğrusal denklemler sistemi için temel olanaklı çözümler aramaktadır. Çözümlerin optimal çözümler olup olmadığını test etmektedir.

Simpleks metodu optimum sonuca ulaşılan kadar veya optimal değer bağımsız olduğundan emin olana kadar çözümleri geliştirmek için kullanılmaktadır (Yılmaz 2010). Simpleks metodunda izlenecek sıra aşağıdaki gibidir;

1. Sorunun çözümlüyle elde edilmek istenen amaç sözel olarak tanımlanmakta ve tek bir amaç seçilmektedir.

2. Verilmesi gereken kararların bir listesi yapılmaktadır. Bu liste sözel bir listedir, fakat kararların kesin sınırı çizilmeye çalışılmaktadır.

3. Bu kararları kısıtlayan faktörler belirlenmekte ve bir listesi yapılmaktadır. Yine bu sözel listenin tam olması gerekmektedir. Birçok sorunda ortaya çıkabilecek genel kısıtlar aşağıdadır. Doğal olarak, sorunda bunlardan başka kısıtlar olabileceği gibi bu kısıtların tümü de yer almayabilir.

Kapasite kısıtları: Bu tür kısıtlar eldeki ekipman, tesis, yer, işçilik miktarları nedeniyle ortaya çıkan kısıtlamalardır.

Pazar kısıtları: Bu kısıtlar mamulün satılabilmesine ilişkin alt ya da üst limitlerdir.

Arz kısıtları: Hammadde, işçi ya da fonların kıt olması nedeniyle ortaya çıkan kısıtlardır.

Kalite ya da karışım kısıtları: Bu tür kısıtlar genellikle kalite gereksiniminden kaynaklanan ve nihai üründe kullanılan malzeme karışımlarına konan kısıtlamalardır.

Üretim teknolojisi ya da malzeme dengesi kısıtları: Bu tür kısıtlar herhangi bir süreçten geçerek (genellikle bir miktar kayıpla) ortaya çıkan çıktıyı, girdilerin fonksiyonu olarak tanımlayan kısıtlardır.

Tanımlayıcı kısıtlar: Bu tür kısıtlar belirli bir değişkeni tanımlayan kısıtlardır. Bu tür kısıtlar çoğunlukla muhasebe tanımlarından ortaya çıkarlar.

4. Karar değişkenleri tanımlanmaktadır. Bu aşama genellikle en zor aşamadır. x'lerin bir listesi, tanımları ve ölçümlene birimleri gerekmektedir. Bazı sorunlarda değişkenleri tanımlamanın değişik yolları olabilir. Burada ikinci aşamada oluşturulmuş, verilmesi gereken kararların sözel tanımından yola çıkılması önerilmektedir.

5. Kısıtlar karar değişkenlerini kullanarak açık bir biçimde tanımlanmaktadır. 3. aşamada sözel olarak listelenen kısıtları, 4. aşamada tanımlanan karar değişkenlerini kullanarak formel biçime getirilmektedir.

6. Amaç fonksiyonu açık bir biçimde tanımlanmaktadır. Daha önce tanımlanan her karar değişkeni için maliyet ya da kazanç kat sayısı tanımlanmalıdır. Bu aşamada sadece verilecek karardan etkilenen değişken maliyetlerin dikkate alınması, sabit maliyetlerin hesaba katılmaması önemlidir.

2.2.4 Simpleks Algoritması Örnek Çözümü

Simpleks yöntem daima uygun bir temel çözümle başlamakta ve sonra amaç fonksiyonunun daha da iyileştirildiği başka bir uygun temel çözüm aramaya devam etmektedir. Daha iyi başka bir çözüm ise, mevcut temel dışı değişkenlerden birisinin sıfır olan değerinde bir artış olmasıyla mümkündür. Mevcut sıfır değerli değişkenin değerinin pozitif olabilmesi, mevcut temel değişkenlerden birinin çözümden çıkması ile mümkündür. Çünkü yeni çözümün mutlaka 'm' temel değişkeni içermesi ancak böyle mümkün olabilmektedir. Simpleks yöntemde, seçilmiş olan sıfır değerli değişkene çözüme giren değişken, çözüm dışı kalması istenen temel değişkene de çıkan değişken adı verilmektedir. Aşağıda simpleks yöntemine ait bir örnek verilmektedir (Türköz 2001).

Örnek: Renk Ltd. Şti., M_1 ve M_2 hammaddelerinin karışımından elde edilen iç ve dış duvar boyaı üretmektedir. Aşağıda problemin temel verileri sunulmuştur:

	Ton başına hammadde miktarı (ton)		Günlük maksimum kullanılabilirlik (ton)
	Dış boyada	İç boyada	
M_1 hammaddesi	6	4	24
M_2 hammaddesi	1	2	6
Ton başına kâr (1000birim)	5	4	

Ayrıca yapılan bir pazar araştırmasından da günlük iç boya talebinin en çok 2 ton olduğu belirlenmiştir. Yine aynı araştırmadan, günlük iç boya talebinin günlük dış boya talebinden fazla olduğu ve bu fazlalığın günde en çok 1 ton olduğu saptanmıştır. Renk Ltd. Şti. günlük kârını maksimum kılacak şekilde dış ve iç boyanın optimum üretim miktarlarını belirlemek istemektedir.

Mevcut problemin üç temel elemanı olacaktır:

1. Belirlenecek karar değişkenleri
2. Optimum kılınacak amaç
3. İçinde bulunulan kısıtlar

Modeli geliştirmede ilk adım karar değişkenlerinin açıkça tanımlanmasıdır. Önce değişkenler tanımlanır. Üretilcek iç ve dış boya miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla modelin değişkenleri;

$$x_1 = \text{Dış boyanın günlük üretim miktarı (ton)}$$

x_2 = İç boyanın günlük üretim miktarı (ton)

Amaç fonksiyonu oluşturulur. Amaç, İç ve dış boyadan elde edilecek günlük karı olabildiğince arttırmak olmalıdır. Z'nin günlük karı gösterdiği kabul edilirse,

Maks. $z = 5x_1 + 4x_2$ şeklinde yazılabilir.

Modelin son elemanı ise, hammadde ve taleple ilgili olarak içinde bulunulan duruma ait kısıtlardır.

$$M_1 \text{ hammaddesinin kullanımı} = 6x_1 + 4x_2 \leq 24$$

$$M_2 \text{ hammaddesinin kullanımı} = x_1 + 2x_2 \leq 6$$

Ayrıca iç duvar boyasına ait talebin günde en çok 2 tonla sınırlı olması, iç boyanın günlük üretiminin dış boyanınkinden fazla olması ve bu fazlalığın 1 tona ulaşması olmak üzere, iki kısıt daha bulunmaktadır. Modelde doğrudan yer almayan negatif olmama koşulunu sağlayan 1 kısıt daha bulunmaktadır.

$$\text{Maks. } z = 5x_1 + 4x_2$$

$$6x_1 + 4x_2 \leq 24$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 6$$

$$-x_1 + x_2 \leq 1$$

$$x_2 \leq 2$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Şeklinde ifade edilir.

Problem standart hale getirildiğinde aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\text{Maks. } z = 5x_1 + 4x_2 + 0s_1 + 0s_2 + 0s_3 + 0s_4$$

$$6x_1 + 4x_2 + s_1 = 24 \text{ (} M_1 \text{ hammaddesi)}$$

$$x_1 + 2x_2 + s_2 = 6 \text{ (} M_2 \text{ hammaddesi)}$$

$$-x_1 + x_2 + s_3 = 1 \text{ (talep sınırlaması)}$$

$$x_2 + s_4 = 2 \text{ (talep sınırlaması)}$$

$$x_1, x_2, s_1, s_2, s_3, s_4 \geq 0$$

Kısıtların dördü de \leq şeklinde olduğundan standart hale getirebilmek için s_1, s_2, s_3, s_4 dolgu değişkenleri kullanılmaktadır. Standart hal Çizelge 2.1' ifade edilebilmektedir:

Çizelge 2.1 Özet tablo

Temel	Z	x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	s_4	Çözüm	
Z	1	-5	-4	0	0	0	0	0	Z satırı
s_1	0	6	4	1	0	0	0	24	s_1 satırı
s_2	0	1	2	0	1	0	0	6	s_2 satırı
s_3	0	-1	1	0	0	1	0	1	s_3 satırı
s_4	0	0	1	0	0	0	1	2	s_4 satırı

Tablonun alttan dört satırının her biri bir kısıt denklemi göstermektedir, bu denklemlerin sağ tarafları ise çözüm sütununda yer almaktadır. z satırının değerleri,

$$z - 5x_1 - 4x_2 = 0 \text{ eşitliğinden elde edilmektedir.}$$

s_1, s_2, s_3 ve s_4 dolgu değişkenleri, başlangıç uygun temel çözümündeki değişkenlerdir. x_1 ve x_2 temel dışı değişkenlerine sıfır değerleri atanmış olduğundan, çözüm sütununda dolgu değişkenlerinin aldığı $s_1=24, s_2=6, s_3=1, s_4=2$ değerleri görülmektedir. Bu sonuç sütunların özel yapısı nedeniyle dolgu değişkenleriyle ilişkili olup z'nin bu esnadaki değeri 0 olmaktadır.

Başlangıç çözümü optimum olmamaktadır. Çünkü $z = 5x_1 + 4x_2$ amaç fonksiyonundaki kar x_1 'in başına 5 birim, x_2 'nin başına da 4 birim arttırmaktadır. Her iki değişken de kârı arttırmaktadır ancak $5 > 4$ olduğundan z'deki artış daha hızlı olacağından x_1 seçilmektedir. Bu durumda x_1 giren değişken olmaktadır. $z = 5x_1 + 4x_2$ burada temel dışı değişkenlerden negatif katsayılı olanlar içinde mutlak değerce en büyük değişkenin giren değişken olarak seçildiği, bunun da z satırındaki negatif katsayılı değişkenler içinden mutlak değerce en büyüğüne karşılık geldiği anlaşılmaktadır.

Bu durumda x_1 giren değişkenin değeri sıfırın üstüne çıkmış olmalıdır. Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi, başlangıç orjindeki ($x_1=0, x_2=0$) noktasıdır. x_1 'e atanabilecek en büyük değer ($x_1=4, x_2=0$) noktasıyla tanımlanmış olan uygun çözüm bölgesinin dışında kalmaktadır. Bu da, ($x_1=0, x_2=0$) en uç noktasından bir başka en uç nokta olan ($x_1=4, x_2=0$) doğru kayacağını ve bu noktada daha iyi bir çözümün olacağı anlamına gelmektedir.

Çizelge 2.2 Kesişim noktası

Temel	x_1	Çözüm	Oran (veya kesişim)
s_1	6	24	$24 \div 6 = 4$ (min)
s_2	1	6	$6 \div 1 = 6$
s_3	-1	1	$-1 \div 1 = -1$ (atlanır)
s_4	0	2	$2 \div 0 = \infty$ (atlanır)

Çizelge 2.2’de ($x_1=4, x_2=0$) noktası kısıtların x_1 eksenine kesiştiği noktadır. Simpleks algoritmaya göre ele aldığımızda, bu kesişim noktası, bir eşitliğin sağ tarafını o eşitlikteki x_1 katsayısına bölerek elde edilir.

Çizelge 2.2’de bu durum tüm eşitlikler için gösterilmektedir: Burada x_1 ’deki artışın yönünü göstermesi nedeniyle sadece negatif olmayan oranlarla ilgilenilmektedir. Çözüm sütunundaki katsayılar simpleks algoritmanın kuralı gereği negatif değer almaz. Bu durumda üçüncü ve dördüncü ait oranlar dikkate alınmamaktadır.

Negatif olmayan oranların minimumu x_1 giren değişkenin yeni çözümdeki değerini göstermektedir. Bu değer $x_1=4$ olup, z amaç değerinde sağlayacağı artış 5 birim * 4 ton =20 birim olmaktadır. Bunun ardından mevcut s_1, s_2, s_3, s_4 temel değişkenleri içinden çıkan değer belirlenmektedir. Çıkan değişken x_1 ’in girmesiyle sıfır değer almaya zorlanacak olan değişkendir. s_1 en küçük oranla ilişkili olduğundan ($x_1=4, x_2=0$) noktasındaki değeri 0 olmaktadır. Dolayısıyla, s_1 çıkan değişken olmakta ve bu değişken x_1 ’ide otomatik olarak 4’e yükseltir. s_1 çıkan değişkeniyle x_1 giren değişkeninin yer değiştirmesi sonucunda yeni temel çözüm (x_1, s_1, s_2, s_3, s_4) olmaktadır.

Yeni temel çözümün hesaplanması Gauss-Jordan satır işlemlerine dayanır. Çizelge 2.3’te giren değişkenle ilgili olarak anahtar sütun, çıkan değişkenle ilgili olarak da anahtar satır belirlenmiştir. Anahtar sütun ve anahtar satırın kesiştiği yerdeki sayı ise “anahtar sayı” adını almaktadır.

Çizelge 2.3 Anahtar sayı

Temel	Z	x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	s_4	Çözüm
Z	1	-5	-4	0	0	0	0	0
s_1	0	6	4	1	0	0	0	24
s_2	0	1	2	0	1	0	0	6
s_3	0	-1	1	0	0	1	0	1
s_4	0	0	1	0	0	0	1	2

Anahtar satır

Anahtar
sütun

Yeni temel çözümün oluşturulmasında Gauss-Jordan yöntemiyle iki tip hesaplama yapılmaktadır.

1. Anahtar satır

Yeni anahtar satır = Mevcut anahtar satır ÷ Anahtar sayı

2. Anahtar satır dışında kalan diğer satırlar

Yeni satır = (mevcut satır)-(mevcut satırın anahtar sütun elemanı)*(yeni anahtar satır)

Birinci hesaplamada anahtar satır anahtar sayıya bölünür. Çözüm sütununda x_1 'in yeni değeri okunmaktadır.

Yeni temel çözüm (x_1, s_1, s_2, s_3, s_4 içeren yeni çizelge) Çizelge 2.4'teki gibi olacaktır.

Çizelge 2.4 Yeni temel çözüm

Temel	Z	x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	s_4	Çözüm
Z	1	0	-2/3	5/6	0	0	0	20
x_1	0	1	2/3	1/6	0	0	0	4
s_2	0	0	4/3	-1/6	1	0	0	2
s_3	0	0	5/3	1/6	0	1	0	5
s_4	0	0	1	0	0	0	1	2

Çizelge 2.4'de, z satırında x_2 temeldışı değişkenin negatif katsayısıyla yer alması nedeniyle çözümün optimum olmadığı görülmektedir. Bu başlangıç tablosundaki çıkarımla aynıdır. z satırını aşağıdaki gibi yazdığımızda durum daha da açıklık kazanmaktadır:

$$z = 2/3x_2 - 5/6s_1 + 20$$

x_2 'deki bir artış, z'nin değerini arttıran bir avantajdır. Dolayısıyla, x_2 giren değişkendir. Daha sonra x_2 giren değişkeninin negatif olmayan doğrultusunu dikkate alarak ve buna uyan kısıtlarla ilgili oranları hesaplayarak çıkan değişken belirlenir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 Çıkan değişkenin belirlenmesi

Temel	x_2	Çözüm	Oran
x_1	2/3	4	4/2÷3=6
s_2	4/3	2	2/4÷3=3/2
s_3	5/3	5	5/5÷3=3
s_4	1	2	2/1=2

Hesaplamalar sonunda s_2 'nin çıkan değişken olacağı x_2 'nin de yeni temel çözüme 3/2 değeriyle gireceği anlaşılmaktadır. Buna karşılık gelen z'deki artış $\frac{2}{3} * \frac{3}{2} = 1$ 'dir. Dolayısıyla, yeni $z = 20 + 1 = 21$ 'dir. Bu durumda yeni anahtar satır s_2 satırı, yeni anahtar sütun da x_2 sütunu olacaktır. Anahtar eleman ise 4/3'e eşittir. Ardından aşağıdaki gibi Gauss-Jordan satır işlemleri uygulanır.

1. Yeni anahtar s_2 satırı = mevcut s_2 satırı / (4/3)
2. Yeni z satırı = mevcut z satırı - (-2/3) * yeni anahtar satır
3. Yeni x_1 satırı = mevcut x_1 satırı - (2/3) * yeni anahtar satır
4. Yeni s_3 satırı = mevcut s_3 satırı - (5/3) * yeni anahtar satır
5. Yeni s_4 satırı = mevcut s_4 satırı - (1) * yeni anahtar satır

Bu hesaplamaların sonucunda Çizelge 2.6 ortaya çıkmaktadır.

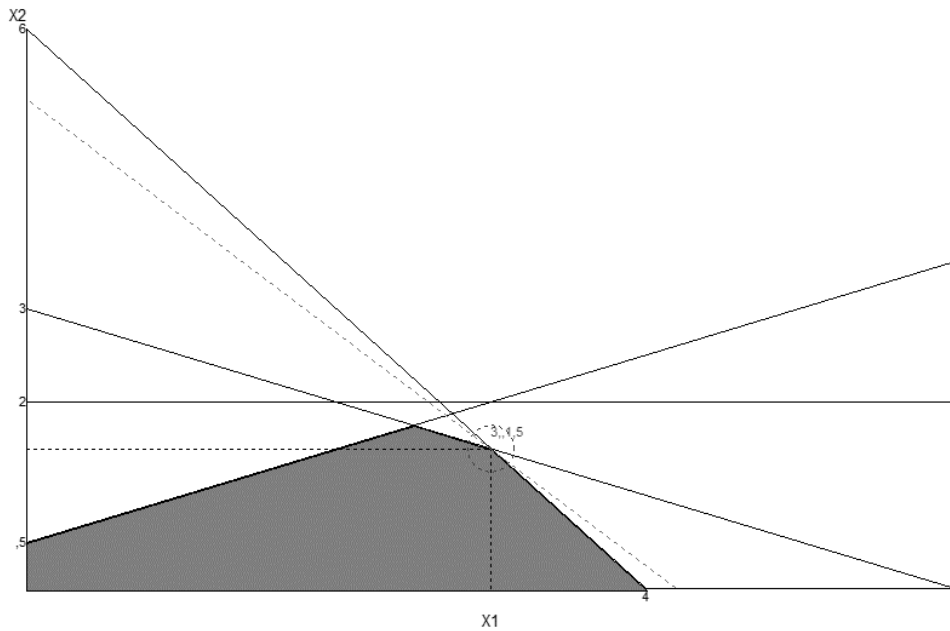
Çizelge 2.6 Optimum çözüm

Temel	Z	x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	s_4	Çözüm
Z	1	0	0	3/4	1/2	0	0	21
x_1	0	1	0	1/4	-1/2	0	0	3
x_2	0	0	1	-1/8	3/4	0	0	3/2
s_3	0	0	0	3/8	-5/4	1	0	5/2
s_4	0	0	0	1/8	-3/4	0	1	1/2

Z satırında bulunan temel dışı s_1 ve s_2 değişkenlerinin katsayılarının negatif olmamasından dolayı Çizelge 2.6'daki çözüm optimumdur. Çizelge 2.7'de optimum çözümün simpleks tabloya aktarılmış şekli verilmiştir. Mevcut problemin grafiksel çözümü ise Şekil 2.4'te gösterilmektedir (Taha H. 2007).

Çizelge 2.7 Örnek problemin sonuçları

Karar değişkeni	Optimum değer	Öneri
x_1	3	Günde 3 ton boya üret
x_2	3/2	Günde 1.5 ton boya üret
Z	21	Günlük kar 21000 birimdir.



Şekil 2.4 Optimum çözümün grafik çözümü

2.2.5 Simpleks Metodunda Özel Durumlar

2.2.5.1 Çözumsuz Problemler

Değişken sayısı bakımından büyük olan bir doğrusal programlama probleminin hiçbir uygun çözümünün bulunmaması, simpleks yönteminin verdiği bir işaret sayesinde anlaşılır. Bir orijinal problemin hiçbir uygun çözümünün bulunmamasının işareti, ilgili standart problem üzerinde simpleks yöntemi uygulanırken, çözüm sürecinin ön iterasyonlar tamamlanamadan durması demektir. Çözüm sürecinin bu şekilde durması karşısında, orijinal problemin uygun çözümünün bulunmadığına karar verilir. O zaman, ilgili karar problemi yeniden incelenmeli ve orijinal doğrusal programlama problemi kurulurken formülasyon hatası yapıp yapılmadığı araştırılmalıdır.

2.2.5.2 Sınırsız Çözümler

Uygun çözüm alanlarının amaç fonksiyonlarının optimize edildikleri yönde sınırlandırılmamış olmaları, doğrusal programlama problemlerinde ortaya çıkan bir başka teknik sorundur. Bir maksimizasyon probleminde uygun çözüm alanının yukarıdan sınırlandırılmamış olması halinde, karar değişkenlerinin ve amaç fonksiyonunun değerini sonsuza kadar arttırmak ve tersine bir minimizasyon probleminde uygun çözüm alanının aşağıdan sınırlandırılmamış olması halinde, karar değişkenlerinin ve amaç fonksiyonunun değerini sonsuza kadar azaltmak mümkün olur. İşte bu durumda sınırsız çözümlere tanık olunmaktadır.

2.2.5.3 Çoklu Optimal Çözümler

Bir doğrusal programlama probleminde karar değişkenlerinin amaç fonksiyonundaki katsayıları sınırlardan herhangi birindeki katsayılarının 'k' katı ise, çoklu çözüm durumu ortaya çıkmakta, söz konusu problemin sonsuz sayıda optimum çözümü bulunmaktadır.

2.2.5.4 Bozuk Çözümler

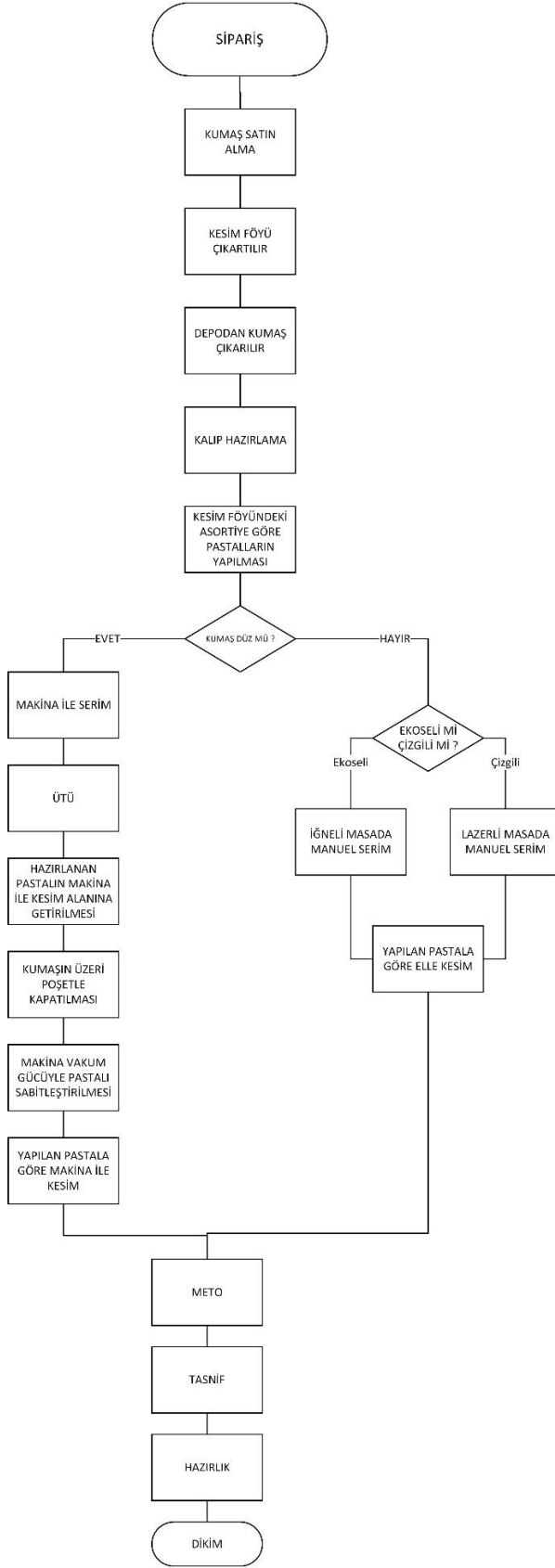
Bir standart doğrusal programlama probleminin sınır denklemlerinin bir temel çözümünde sıfırdan farklı değişkenlerin sayısı denklem sayısından az ise veya aynı anlama gelmek üzere temel değişkenlerden en az biri sıfır ise, o temel çözüme dejenere çözüm denir (Türköz 2001).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Problem Tanımlaması

Kumaş verimliliğini etkileyen en önemli departman kesimhane olduğu için, bu departmanda yapılacak tüm iyileştirme çalışmaları işletme genelini dolaylı yoldan etkileyecektir. Bu amaç doğrultusunda, konfeksiyon üretimi yapan iki farklı işletmeden veri toplanmıştır. 1. işletmenin 450 çalışanı olup tişört, mont ve gömlek üretimi yapmaktadır. 2. İşletme ise 250 çalışana sahiptir ve sweatshirt üretimi yapmaktadır.

Kesimhanede süreç analizi ve iyileştirmesi amacıyla gerçekleştirilmesi planlanan bu çalışmada ilk olarak iki işletme içinde iş akışı oluşturulmuştur. 1. İşletmenin ürün ve süreç çeşitliliği daha fazla olduğu için Şekil 3.1’de ayrıntılı iş akışı belirtilmiştir. 2. İşletmenin kesimhane iş akışı benzer nitelikler taşımakta ancak sadece örme konfeksiyon ürünleri üretmektedir.



Şekil 3.1 Kesimhane iş akışı

Sipariş geldikten sonra ilk yapılan şey kumaşın satın alınması ve sipariş miktarına göre kesim foyunun çıkarılmasıdır. Kesim foyu ilgili bedenlere ait sipariş miktarlarının ne şekilde kesileceğini belirlemek amacıyla kullanılır. Bu işlem, işletme içerisindeki bir usta tarafından gerçekleştirilmekte ve herhangi bir bilimsel yöntem kullanılmamaktadır (Şekil 3.2).

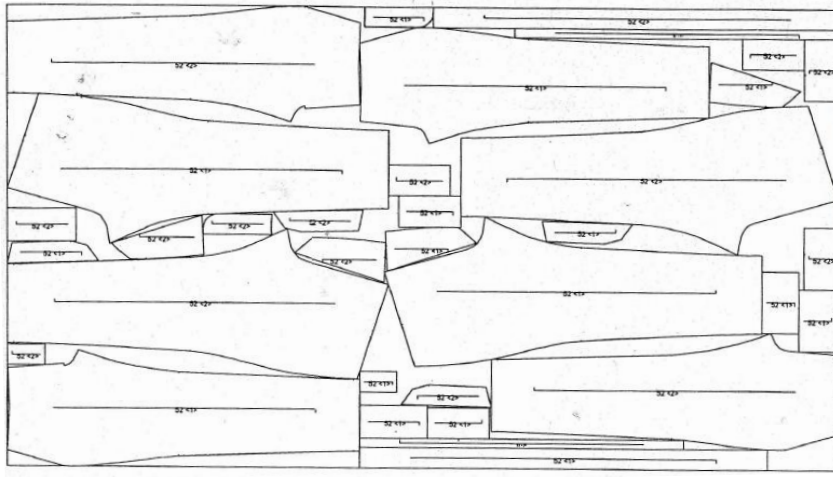
KESİM FOYU				KESİM FOYU BARCODE					
Model	BH1618	Sezon	15-16 KIS	EK43030v1					
Kesim No	43030	Numune							
Tarih	01/04/2015								
Üretim Yeri	İAŞ A?retim								
Numune Notları									
		T48	T50	T52	T54	T56	T58	T60	
18L - .	1-V.Kesim	60	140	160	150	130	70	40	750
18L - .	2-TR	60	140	160	150	130	70	40	750

Şekil 3.2 Örnek kesim foyu

Şekil 3.2’de yer alan kesim foyünden, kesim planını gerçekleştiren usta, toplam 4 kesimde işlemi gerçekleştirmeyi planlamıştır (Çizelge 3.1). Pastaldaki beden adedine bağlı olarak, az sayıda kesim yapacak şekilde kumaş katları hesaplanmaktadır (Şekil 3.2). Pastaldaki beden adedi arttıkça pastal boyu uzamakta, kumaş katı arttıkça kumaş kalınlığı artmaktadır. Bu iki parametreyi etkileyen kısıtlar ise masa uzunluğu ile bıçak yüksekliği ve kumaş kalınlığıdır.

Çizelge 3.1 Örnek kesim planı

Kumaş Katı \ Bedenler	Bedenler						
	48	50	52	54	56	58	60
75 kat			2	2			
65 kat		2			2		
60 kat	1					1	
10 kat		1	1			1	4



Şekil 3.3 Pastal planı örneği

Hazırlanan pastalın tahmini uzunluğuna bağlı olarak depodan kumaş çıkartılmaktadır. Şekil 3.3'te pastal planı örneği verilmiştir. Daha sonra modelhane tarafından kalıp hazırlanır ve hazırlanan kalıbın kontrolünden sonra serim işlemine geçilmektedir. Kesim föyündeki adede göre pastal planı belirlenmekte ve buna göre serim işlemi yapılmaktadır. Kumaş ekoseli ise kareleri çakıştırabilmek için iğneli masada, çizgili ise çizgileri kesiştirmek için lazerli masada kesim gerçekleştirilmektedir. Düz ise makine ile serim ve kesim yapılır. 1. İşletmede 3 adet 16 metre uzunluğunda, 2. İşletmede ise 1 adet 20 metrelik serim masası bulunmaktadır (Şekil 3.4).



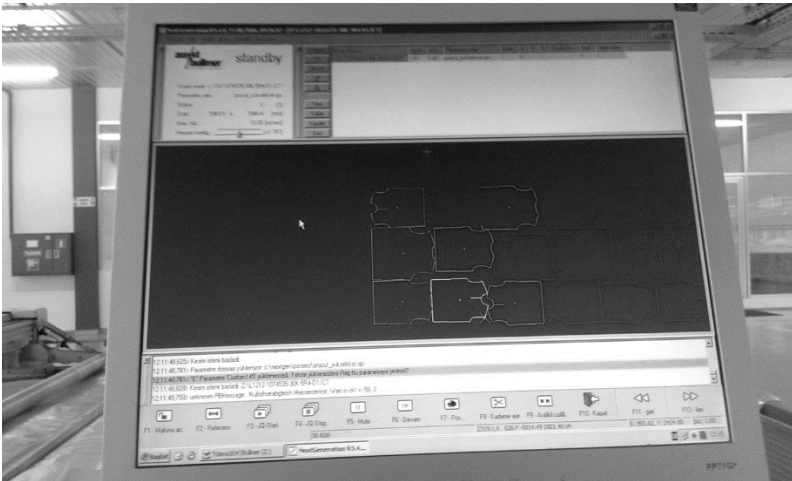
Şekil 3.4 Serim masası

Masa üzerine serilmiş kumaşa, kalıbın yapışması ve kaymaması için ütü yapılmaktadır. Üzerine pastal planı yapıştırılmış kumaş kesim alanına getirilmekte, kumaşın kesim alanında sabit kalması vakum gücüyle sağlanmaktadır. Kumaşın üzeri hava almaması için poşetle kapatılmaktadır (Şekil 3,5).



Şekil 3.5 Kesim makinası

Kesime başlayabilmek için kesim ekranına kesilecek pastalın görüntüsü pastalın hazırlandığı bilgisayardan gönderilmekte ve hazırlanan pastal için ekrandan seçim yapılmaktadır. Kesilecek pastalın görüntüsü Şekil 3.6'da ki ekrana çıkmakta ve o anda makinanın hangi bölgeyi kestiği, hangi bölgelerin kesileceği ekranda izlenebilmektedir.



Şekil 3.6 Kesim ekranı

Kesim işlemi biten parçalar kesim alanı dışarısına çıkarılmakta, buradan da dikimde parçaların birbirine karışmaması için metolama işlemiyle numaralandırma yapılmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Kesilen parçaların toplanması

Tasnif bölümünde, metolama işlemiyle numaralandırılarak birbirinden ayrılan parçaların kontrolü yapılır. Hazırlanan parçaların üzerlerine tela yapıştırılarak hazırlık işlemi tamamlanır kesim işlemi tamamlanan parçalar dikim işlemi için bantlara gönderilir.

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere kesimhane iş akışı farklı birçok işlemin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Tüm bu işlemler arasında en değerli nokta hiç şüphesiz ki kumaş maliyetini azaltmaya yönelik alınabilecek tedbirlerdir. Çalışmanın odak noktası bu konuyu ele almakta, kesim planında bir çalışan tarafından yapılan asorti işleminin doğrusal programlama yardımıyla çözümlenmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, en çok siparişin geldiği, düz kumaşlı ürünlere odaklanılmıştır. Herhangi bir kesim işlemini daha az kumaşla tamamlayabilmek için, doğrusal programlama ile kesim optimizasyonu gerçekleştirilmiş, geçmiş dönemlere ait gerçek verilerle optimizasyon verileri karşılaştırılmıştır.

3.2 LINGO (Language for Interactive General Optimization) Programı

Doğrusal, tamsayı, doğrusal olmayan ve global optimizasyon modellerinin hızlı, etkin, kolay kurulmasında ve çözümünde kullanılan çok amaçlı bir modelleme dilidir. LINGO kullanıcılarına problemlerin açıklanmasında güçlü bir modelleme dili, tam özellikli bir modelleme ortamı ve güçlü çözümleniciler sunmaktadır. En güçlü özelliklerinden biri de

matematiksel modelleme dilidir. Benzer kısıtların aynı tek ifadeyle gösterilebilmesi modelin sadeliğini ve anlaşılabilirliğini arttırarak modelleme süresinin kısılmasına yardımcı olmaktadır. LINGO, her bir üye için birer kısıt yazmak yerine kısıtların bir bütün halinde ifade edilmesine olanak sağlamaktadır. Çok büyük modeller, çoğu zaman kısa ve düzenli şekilde ifade edilebilmektedir. Bu şekilde modeller geliştirici tarafından daha kolay düzeltilmekte, diğer kullanıcılar için ise kolay anlaşılır hale getirilmiş olmaktadır. LINGO sayesinde model kolayca “ölçeklenebilir” hale getirilebilmektedir. Bu, problemin ifadesinin değiştirilmeksizin modelin boyutlarının değiştirebileceği anlamına gelmektedir (Narlı 2007).

Öncelikle karar modelinin programa tanıtılması gerekmektedir. Bir matematiksel modelin programa basit olarak yazımı aşağıdaki şekildedir:

MODEL:

MAX ya da MIN =Amaç Fonksiyonu;

Kısıt1;

.....

Kısıt n;

END

Amaç fonksiyonu ve kısıtların yazımı yer değiştirebilir. Ancak LINGO’daki en önemli koşul bütün matematiksel ifadelerin birbirinden “;” işareti ile ayrılmış olmasıdır. LINGO “;” işareti ile ayrılmış ifadeleri tanımaktadır.

Kısıt sayısını azaltmak için değişkenin sınır değerlerinin belirlenmesi mümkündür. Bu tür tanımlamaları yapabilmek için LINGO’da kullanılacak fonksiyonlar verilmiştir:

@GIN(değişken adı)	tamsayı değişken
@BIN(değişken adı)	0-1 tamsayı değişken
@FREE(değişken adı)	her türlü reel değişken
@BND(alt sınır, değişken-adı, üst sınır)	alt veya üst sınır değeri olan değişken

3.2.1 Kümeleme

Bir modeli açık halde yazarak çözüm bulmak oldukça kolaydır. Ancak modeldeki kısıt sayısı elle yazılamayacak kadar çoksa modeli kapalı formda yazmak büyük avantaj sağlayacaktır. Çünkü büyük boyutlu problemlerde çok sayıda kısıt yazımında hata yapma riski olmaktadır ve de sonrasında modelde değişiklik yapmak da zorlaşmaktadır. LINGO aynı zamanda bir modelleme dili olduğu için, modelin kapalı formda ifade edilmesine olanak

tanımlanmaktadır. Modeli LINGO’da kullanabilmek için tanımlamak gerekir. Model ‘SETS’ kelimesi ile başlar ‘ENDSETS’ kelimesi ile sona erer.

3.2.1.1 Kök Küme

Kök kümeyi tanımlayabilmek için belirlenmesi gerekenler;

- Kümenin ismi
- Üyeler (kapsama giren nesnelere)
- Dizideki diğer özellikler

Dizinin programa tanıtımı aşağıdaki şekildedir:

Dizinin ismi [/üye listesi/][:özellik listesi];

Dizinin ismi: Dizin için seçilen bir isimdir. İsimlerde kullanılan büyük ve küçük harfler ayrıştırılmamaktadır.

Üye listesi: Dizini oluşturan elemanların listesidir. Dizin elemanları açık ya da kapalı şekilde sıralanabilir. Elemanlar açık şekilde sıralanırken, her eleman için farklı isim girilmesi gerekir.

DEPO / DP1 DP2 DP3 DP4 DP5 DP6 /: KAPASİTE;

Dizinin kapalı eleman listesi kullanılırken, her dizin elemanı için bir isim yazmaya gerek yoktur.

DEPO / 1..6/: KAPASİTE; şeklinde tanımlanabilir.

Örnek: Veriler bölümünde bir başlangıç dizini:

SETS:

DEPO: KAPASİTE;

ENDSETS

VERİ:

DEPO = DP1 DP2 DP3 DP4 DP5 DP6;

ENDDATA

3.2.1.2 Türetilmiş Küme

Türetilmiş dizinin tanımı için;

- dizinin adı,
- ait olduğu ana dizinler,
- üyeler ve
- dizin elemanlarının bazı özellikleri ile verilir.

SETS:

ÜRÜN : A B;

MAKİNA : M N;

HAFTA :1..2;

İZİNLİ (ÜRÜN, MAKİNA, HAFTA);

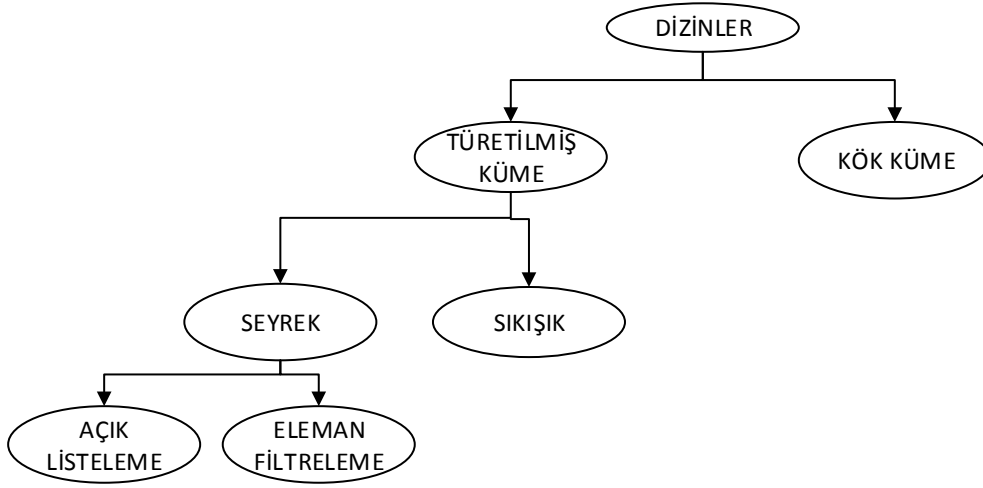
ENDSETS

ÜRÜN, MAKİNA ve HAFTA dizinleri başlangıç dizinleridir. İZİNLİ daha önce tanımlanmış olan ÜRÜN, MAKİNA ve HAFTA dizinlerinden oluşturulmuştur. Bu üç ana dizinin elemanlarının tüm kombinasyonları İZİNLİ dizini için Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Ana dizin kombinasyonları

İNDEKS	ÜYE
1	A,M,1
2	A,M,2
3	A,N,1
4	A,N,2
5	B,M,1
6	B,M,2
7	B,N,1
8	B,N,2

Eğer üye listesi yazılmamış ise türetilmiş dizin ana dizin elemanlarının tüm kombinasyonlarından oluşturulmalıdır. Böyle bir durumda sıkışık dizin elde edilmiş olur. Eğer dizin, yoğun durumun alt dizinini oluşturan üye listesi içeriyorsa bu dizine seyrek dizin denilir. Elde edilen dizinin üye listesi hem açık eleman listeleme hem de eleman filtreleme kullanılarak oluşturulabilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 LINGO dizin tipleri

Eleman filtreleme yöntemine örnek olarak, Kamyonlar isimli bir dizin oluşturulduğu ve her kamyonun kapasitesi özellik olarak verilebilir, sadece büyük miktarda yük kapasitesine sahip kamyonlardan oluşacak bir alt dizin oluşturulmak istenilirse ağır yük taşıyabilen her kamyonun ismi açık olarak sıralanabilir.

AĞIR YÜK (KAMYON) | KAPASİTE (&1) #GT# 50000:

Ağır yük isimli bir dizini KAMYON isimli tanımlı dizinden elde edilir. Buradaki dik çubuk karakteri (|) eleman filtrelemenin başlangıcını işaretlemek için kullanılmıştır. Eleman filtreleme metodu Ağır yük dizini için sadece kapasitesi (KAPASİTE(&1)) daha büyük (#GT#) 50000 kg olan kamyonlara izin verir. Filtre özellik için &1 simgesi o özelliği dizin içeriği numarası için kullanılır. Bu eleman filtresi ile bir dizin oluştururken, LINGO önceki dizinlerin elemanlarının tüm kombinasyonlarını oluşturur. Daha sonra her kombinasyon eleman filtresinde şartı sağlayıp sağlamadığı test edilir. İlk başlangıç dizinindeki elemanlar sırasıyla &1 sonra &2 şartına ve devamına konularak kontrol edilir. Bu örnekte sadece tek bir şart vardır bu yüzden &2 şartına bakmak anlamsız olacaktır.

LINGO aşağıdaki mantık operatörlerini tanır:

#EQ# (eşit olanı seç)

#NE# (eşit olmayanı seç)

#GE# (büyük ya da eşit olanı seç)

#GT# (büyük olanı seç)

#LT# (küçük olanı seç)

#LE# (küçük ya da eşit olanı seç)

Veriler kısmında elde edilmiş dizinin kullanımını örneği:


```

SETS:
    ÜRÜN;
    MAKİNA;
    HAFTA;
    İZİNLİ ( ÜRÜN, MAKİNA, HAFTA);
ENDSETS
DATA:
    ÜRÜN = Ü1..U3;
    MAKİNA = M1..M3;
    HAFTA = H1..H4;
    İZİNLİ =      U1 M1 H1
                  U2 M1 H3
                  U3 M1 H2
                  U3 M3 H4;
ENDDATA

```

3.2.1.3 Veriler bölümü

Bu bölümde belli dizin özellikleri belirtilmek istenilir. Bu amaçla, LINGO veriler bölümü adında ikinci bir seçenek kullanmaktadır.

‘DATA:’ anahtar sözcüğü ile başlar ‘ENDDATA’ anahtar sözcüğü ile biter.

Aşağıdaki model incelenirse;

```

MODEL:
SETS:
    DİZİ1: X, Y;
ENDSETS
DATA:
    DİZİ1 = A B C;
    X = 1 2 3;
    Y = 4 5 6;
ENDDATA
END

```

İki özellik X ve Y DİZİ1’de tanımlanmıştır. LINGO girilen değerleri satır üzerinden değil kolon üzerinden verildiğini kabul etmektedir.

3.2.1.4 Dizin Döngülü İşlecileri

Dizin döngü işlecileri dizinde bulunan tüm elemanlar üzerine bir etki uygulamaya olanak tanır. Bunların isimleri Çizelge 3.3'te verilmiştir (<http://www.lindo.com/index.php/ls-downloads/user-manuals>).

Çizelge 3.3 Dizin işlecileri

İŞLEMCİ	KULLANIMI
@FOR	Dizin döngü fonksiyonlarının en kuvvetlisidir ve dizindeki elemanlara sınırlamalar üretir.
@SUM	Dizindeki tüm elemanların toplanmasını sağlar.
@MIN	Dizindeki tüm elemanlara uygulanan işlemden sonra en küçük olan ifadeyi hesaplar.
@MAX	Dizindeki tüm elemanlara uygulanan işlemden sonra en büyük olan ifadeyi hesaplar.
@PROD	Dizindeki tüm elemanlarla bir ifadenin çarpımını hesaplar.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde problemin matematiksel ifadesi, çözüm kodu, çözüm için geliştirilen algoritma, firmadan alınan sonuçlar ve çalışma için geliştirilen algoritma sonuçları sunulmaktadır.

4.1 Problemin matematiksel ifadesi

Optimizasyon modelinde kullanılan değişkenlerin açıklamaları aşağıda verilmektedir.

K_i : i. serimin kumaş kat sayısı,

K_{max} : kesilebilecek maksimum kumaş kat sayısı,

T_i : i. serimin toplam serim boyu,

A_{ij} : i. serime ait j. bedenin asorti adedi,

S_j : j. bedene ait sipariş adedi,

P: % olarak verilecek fazla kesim payı,

B_j : j. bedeninin pastal planındaki tahmini boyu,

M: Masa uzunluğu,

Söz konusu problemin matematiksel ifadesi ise şu şekildedir;

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n K_i * T_i \quad (4.1)$$

Kısıtlar

$$K_i - K_{max} \leq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n K_i * A_{ij} \geq S_j \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n K_i * A_{ij} \leq S_j \left(1 + \frac{P}{100}\right) \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij} * B_j \leq M \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.5)$$

$$i > j \text{ için } K_i - K_j \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij} * B_j - T_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.7)$$

$$A_{ij}, K_i, T_i, S_j, B_j, K_{max}, P, B, M \geq 0 \quad (4.8)$$

Formül 4.1'de amaç fonksiyonu yazılmıştır. Çalışmanın temel amacı en kumaş kullanarak, öngörülen pay doğrultusunda istenilen tüm kesimin gerçekleştirilmesi ve siparişin karşılanmasıdır.

Formül 4.2'de her kesime ait kumaş katının maksimum kumaş katından küçük olması koşulu belirtilmektedir.

Formül 4.3 ve 4.4'te, yapılacak olan kesimin, işletmeye gelen sipariştten büyük ancak öngörülen payda küçük olacak şekilde gerçekleştirilmesi koşulu sağlanmaktadır.

Formülde 4.5'te, serilecek kumaşın kesim yapılacak masaya sığabilmesi için bedenlere ait asorti adediyle beden boyu çarpımının, masa boyundan küçük olması koşulu verilmektedir.

Formül 4.6'da, kumaş katının bir önceki kesim katından daha küçük olması koşulu belirtilmektedir.

Formül 4.7'de her serime ait, serim uzunluğunun hesaplanması istenmektedir.

Formül 4.8'de kumaş kat sayısı ve asorti dağılımının tamsayı olması koşulu gösterilmektedir.

4.2 Çözüm Kodu için geliştirilen uygulama algoritması

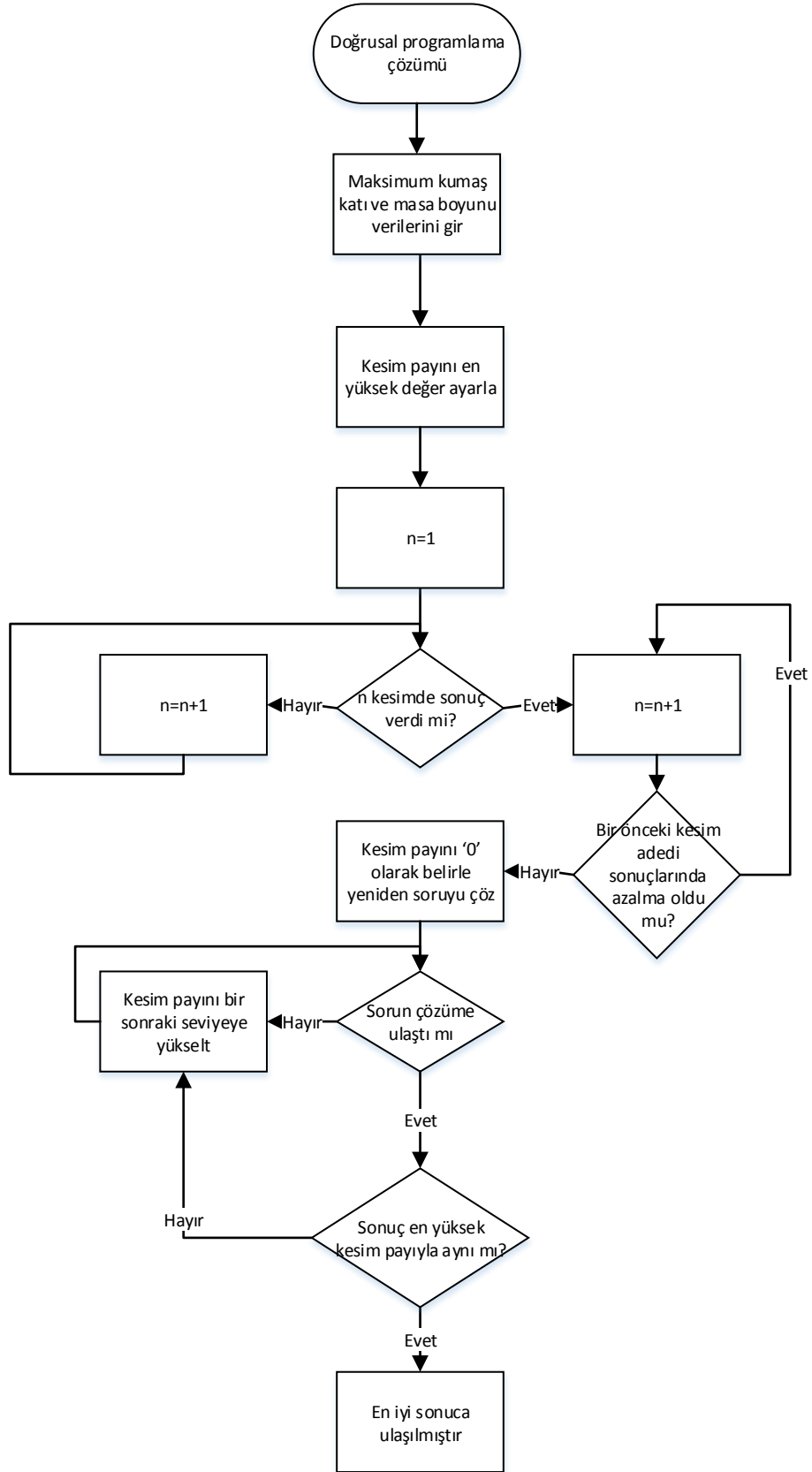
Çalışmanın uygulaması için geliştirilen ancak bu tez kapsamında sunulmayan LINGO uygulama kodu için, kullanıcıların uygulaması gereken Şekil 4.1'deki algoritmanın açıklaması şu şekildedir;

Programda ilk olarak sipariş gelen beden çeşitleri ve adetleri yazılmalıdır. Her bir kumaşın kalınlığı birbirinden farklı olduğundan dolayı her bir siparişe ait serim kat sayısı birbirinden farklıdır. Öncelikle kumaş cinsimize göre belirlenen kat sayısı programa girilmelidir. Daha sonra kesim için kullanılan masaların boyu firmalara göre farklılık göstereceği için masa boyu kendi uygulama yapacağımız firmaya göre ayarlanmalıdır.

Algoritmanın başlangıcında, kesim yüzde payı, gerçekleştirilmiş olan asorti planındaki en yüksek değere göre ayarlanmalıdır. Daha sonra programa mümkünse tek kesimde çözüm üretebilmesi için kesim sayısı $n=1$ olacak şekilde giriş yapılır. Eğer kesim sayısı $n=1$ seçildiğinde sonuç vermiyorsa kesim sayısı artırılarak devam edilir. Eğer kesim sayısı $n=1$ seçildiğinde problem çözümü sonuç veriyorsa, farklı kesim sayısının daha iyi çözüm verme olasılığını kontrol etmek için kesim sayısı yine "1" artırılır. Kesim adedi sonuçlarında (toplam serim uzunluğunda) azalma oldu ise tekrar kesim sayısı artırılarak devam edilir. Bu döngü kesim sonuçları değişmeyene kadar sürdürülür.

Kesim adedi sonuçlarında azalma olmuyor ise kesim yüzde payı "0" olarak belirlenir ve soru tekrar çözülür. Sorun çözümsüzse, kesim payı bir sonraki seviyeye yükseltilerek tekrar deneme yapılır. Sorun çözüldüyse, elde edilen çözüm (toplam serim uzunluğu) en yüksek kesim payıyla aynı ise en uygun çözüme ulaşılmıştır. Değilse tekrar kesim payı bir sonraki seviyeye yükseltilerek aynı işlem tekrarlanır. Burada bahsedilen "seviye" kavramı kullanıcının

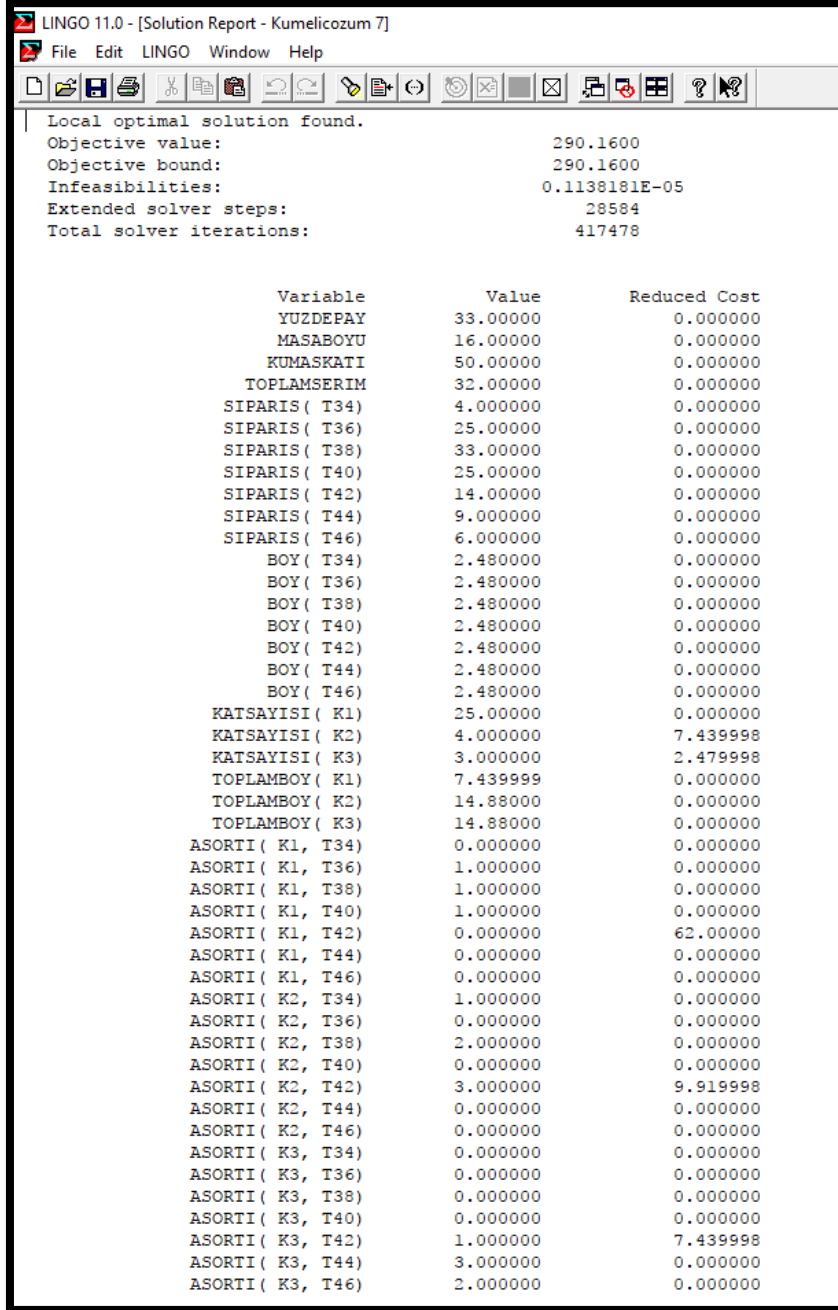
programda harcamak istediği süreyle ilişkilidir. Kısa sürede çözüm üretmek isteyen kullanıcılar, kesim payında aralıkları daha geniş tutmalıdırlar.



Şekil 4.1 Çözüm algoritması

4.3 Farklı ürünlerde elde edilen bulgular

Çalışmanın bu bölümüne gömlek, mont, pantolon ve sweatshirt'ten elde edilen bulgular verilmiş, mevcut çözümle program çözümü toplam serim uzunluğu açısından karşılaştırılmıştır. Problem için LINGO programının üretilen çözüm Şekil 4.2'de verilmiştir.



```
Local optimal solution found.
Objective value:                290.1600
Objective bound:                290.1600
Infeasibilities:                0.1138181E-05
Extended solver steps:         28584
Total solver iterations:       417478

Variable          Value          Reduced Cost
YUZDEPAY          33.00000      0.000000
MASABOYU          16.00000      0.000000
KUMASKATI         50.00000      0.000000
TOPLAMSERIM       32.00000      0.000000
SIPARIS ( T34)    4.000000      0.000000
SIPARIS ( T36)    25.00000      0.000000
SIPARIS ( T38)    33.00000      0.000000
SIPARIS ( T40)    25.00000      0.000000
SIPARIS ( T42)    14.00000      0.000000
SIPARIS ( T44)    9.000000      0.000000
SIPARIS ( T46)    6.000000      0.000000
BOY ( T34)        2.480000      0.000000
BOY ( T36)        2.480000      0.000000
BOY ( T38)        2.480000      0.000000
BOY ( T40)        2.480000      0.000000
BOY ( T42)        2.480000      0.000000
BOY ( T44)        2.480000      0.000000
BOY ( T46)        2.480000      0.000000
KATSAYISI ( K1)   25.00000      0.000000
KATSAYISI ( K2)   4.000000      7.439998
KATSAYISI ( K3)   3.000000      2.479998
TOPLAMBOY ( K1)   7.439999      0.000000
TOPLAMBOY ( K2)   14.88000      0.000000
TOPLAMBOY ( K3)   14.88000      0.000000
ASORTI ( K1, T34) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K1, T36) 1.000000      0.000000
ASORTI ( K1, T38) 1.000000      0.000000
ASORTI ( K1, T40) 1.000000      0.000000
ASORTI ( K1, T42) 0.000000      62.00000
ASORTI ( K1, T44) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K1, T46) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K2, T34) 1.000000      0.000000
ASORTI ( K2, T36) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K2, T38) 2.000000      0.000000
ASORTI ( K2, T40) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K2, T42) 3.000000      9.919998
ASORTI ( K2, T44) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K2, T46) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K3, T34) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K3, T36) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K3, T38) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K3, T40) 0.000000      0.000000
ASORTI ( K3, T42) 1.000000      7.439998
ASORTI ( K3, T44) 3.000000      0.000000
ASORTI ( K3, T46) 2.000000      0.000000
```

Şekil 4.2 LINGO çözüm tablosu

Şekil 4.2’de verilen örnekte görüldüğü üzere, problemin optimum çözümü 290,16 metre olarak bulunmuştur. Toplamda tamsayılı çözüm için 28584 fazladan adım kullanılmış, ulaşılan çözüm 417478 iterasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen problem sonucunu Çizelge 4.1’de toplu halde göstermek mümkündür.

Çizelge 4.1 Örnek sonuç gösterimi

Kesimler	Bedenler						
	T34	T36	T38	T40	T42	T44	T46
K1	0	1	1	1	0	0	0
K2	1	0	2	0	3	0	0
K3	0	0	0	0	1	3	2

4.3.1 Gömlek üretiminde elde edilen bulgular

Firmadaki masa uzunluğu maksimum 16 metredir. Gömlek kumaşı için en fazla 200 kat serilebilmektedir. Çizelge 4.2’de firmaya gelen, beden bazında sipariş adetleri ve çalışan tarafından üretilmiş olan çözüm gösterilmektedir. Mevcut durumda pastal planı 2 kesimde olacak şekilde hazırlanmıştır. 1. kesimde, 39 bedenden 1 adet, 41 bedenden 2 adet, 43 bedenden 2 adet, 45 bedenden 1 adet olmak üzere ve kat sayısı 45 kat olacak şekilde kesim planlanmıştır. 1. kesim için hazırlanan pastal boyu 792,19 cm’dir. 2. Kesimde ise kat sayı 8 olarak belirlenmiş 39 bedenden 3 adet, 41 bedenden 2 adet olacak şekilde, 619 cm boyunda pastal planı uygulanmıştır. Toplam serim boyu ise $45 \cdot 792,19 + 8 \cdot 619 = 40600,55$ cm’dir. Kesim için verilen en büyük pay ise $\frac{106-96}{96} = \%10,41$ ’dir.

Çizelge 4.2 Gömlek 1’ nolu sipariş örneği

Bedenler	T39	T41	T43	T45	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	69	96	90	45		
1. Kesim	1	2	2	1	45	792,19
2. Kesim	3	2	0	0	8	619
Kesilen Adet	69	106	90	45	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	0	10,41	0	0	40600,55	

Çizelge 4.3’de ise mevcut problem örneği için LINGO programında 3082 iterasyon sonucunda elde edilen bulgular verilmektedir. Buradaki kritik nokta çözüm için tek bir beden

boyunun pastalda ne kadar uzunlukta yer tuttuğunun hesaplanmasıdır. Ortalama boyu hesaplayabilmek için; farklı örnekler alınıp her bir serim için kullanılan kumaş boyu o serimdeki her bir bedenden kesilecek miktarların toplamına bölümüyle elde edilir. Ortalama boy aynı ürün grubu (gömlek) için 127,28 cm olarak alınmıştır.

Çizelge 4.3’de görüldüğü üzere toplam %0 pay ile, 2 kesimde gerçekleştirilen kesim planı sonucunda toplam serim uzunluğu 38100 cm olarak hesaplanmıştır. 1 kesimin pastal planı boyu 889 cm, 2 kesimin pastal planı boyu 1270 cm’dir.

Çizelge 4.3 Gömlek 1’ nolu sipariş LINGO çözümü

Bedenler	T39	T41	T43	T45	Kat sayısı	Boy(cm)
Sipariş Adedi	69	96	90	45		
1. Kesim	2	2	3	0	30	889*
2. Kesim	1	4	0	5	9	1270*
Kesilen Adet	69	96	90	45	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)		0				38100

*Bir beden boyu 127,28 cm kabul edilmiştir.

Firmadan alınan farklı gömlek siparişleri için verilen çözüm önerileri Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 Gömlekte 2 no’lu siparişin çözümü

Bedenler	T39	T41	T43	T45	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	33	44	39	23		
1. Kesim	2	1	0	0	5	383,61
2. Kesim	1	0	0	1	24	274,73
3. Kesim	0	1	1	0	41	276,38
Kesilen Adet	34	46	41	24	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	3,03	4,5	5,1	4,3		19843,15
LINGO Çözümü						
1. Kesim	3	4	3	1	11	1397*
2. Kesim	0	0	1	2	6	381*
Kesilen adet	33	44	39	23	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)		0				17653

*Bir beden boyu 127,28 cm kabul edilmiştir.

Çizelge 4.5 Gömlekte 3 no'lu siparişin çözümü

Bedenler	T39	T41	T43	T45	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	47	102	65	30		
1. Kesim	1	0	1	0	5	265,13
2. Kesim	1	1	0	0	12	254,63
3. Kesim	1	3	2	1	30	946,37
Kesilen Adet	47	102	65	30	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	0	0	0	0		32772,31
LINGO Çözümü						
1. Kesim	2	6	0	1	17	1143*
2. Kesim	1	0	5	1	13	889*
Kesilen adet	47	102	65	30	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)		0				30988

*Bir beden boyu 127,28 cm kabul edilmiştir.

Çizelge 4.6 Gömlekte 4 no'lu siparişin çözümü

Bedenler	T39	T41	T43	T45	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	58	80	75	37		
1. Kesim	1	0	0	1	37	261,1
2. Kesim	0	1	1	0	80	262,55
3. Kesim	2	0	0	0	11	238,43
Kesilen Adet	59	80	80	37	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	1,72	0	6,66	0		33287,43
LINGO Çözümü						
1. Kesim	2	3	5	2	15	1524*
2. Kesim	4	5	0	1	7	1270*
Kesilen adet	58	80	75	37	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)		0				31750

*Bir beden boyu 127,28 cm kabul edilmiştir.

Çizelge 4.7 Gömlekte 5 no’lu siparişin çözümü

Bedenler	T39	T41	T43	T45	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	110	190	150	50		
1. Kesim	3	0	1	0	5	517,95
2. Kesim	0	0	1	1	52	288,39
3. Kesim	1	2	1	0	98	530,64
Kesilen Adet	113	196	155	52	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	2,72	3,15	3,33	4	69588,75	
LINGO Çözümü						
1. Kesim	1	5	3	1	38	1270*
2. Kesim	6	0	3	1	12	1270*
Kesilen adet	110	190	150	50	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)		0			63500	

*Bir beden boyu 127,28 cm kabul edilmiştir.

Çizelge 4.8 Gömlekte 6 no’lu siparişin çözümü

Bedenler	T39	T40	T41	T42	T43	T44	T45	T46	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	77	42	98	35	56	14	21	7		
1. Kesim	0	0	0	0	1	2	0	1	7	565,51
2. Kesim	0	2	0	0	0	0	1	0	23	394,1
3. Kesim	1	0	0	1	0	0	0	0	39	255,48
4. Kesim	1	0	2	0	1	0	0	0	54	514,08
Kesilen Adet	93	46	108	39	61	14	23	7	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	20,7	9,52	10,2	11,4	8,9	0	9,5	0	50746,91	
LINGO Çözümü										
1. Kesim	2	1	3	1	2	0	0	0	28	1143
2. Kesim	0	2	1	0	0	2	3	1	7	1143
3. Kesim	3	0	1	1	0	0	0	0	7	635
Kesilen adet	77	42	98	35	5	14	21	7	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)					6				44450*	

*Bir beden boyu 127,28 cm kabul edilmiştir.

4.3.2 Mont üretiminde elde edilen bulgular

Firmadaki masa uzunluğu maksimum 16 metredir. Mont kumaşı için en fazla 50 kat serilebilmektedir. Çizelge 4.9’da firmaya gelen sipariş ve çalışan tarafından üretilmiş olan

çözüm gösterilmektedir. Mevcut durumda pastal planı 4 kesimde olacak şekilde hazırlanmıştır. 1. kesimde, 56 bedenden 2 adet, 62 bedenden 1 adet olmak üzere ve kat sayısı 8 kat olacak şekilde kesim planlanmıştır. 1. kesim için hazırlanan pastal boyu 615 cm'dir. 2. kesimde kat sayı 24 olarak belirlenmiş 56 bedenden 2 adet, 60 bedenden 1 adet olacak şekilde, 615 cm boyunda pastal planı uygulanmıştır. 3. kesimde kat sayısı 21 kat olarak belirlenmiş 48 bedenden 2, 58 bedenden 2 adet olacak şekilde 820 cm boyunda pastal planı uygulanmıştır. 4. kesimde ise kat sayısı 42 kat olarak belirlenmiş 50 bedenden 2, 52 bedenden 2 adet, 54 bedenden 2 adet olacak şekilde 1230 cm boyunda pastal planı uygulanmıştır. Toplam serim boyu ise $8*615+24*615+21*820+42*1230=88560$ cm'dir. Kesim için verilen en büyük pay ise $\frac{42-37}{37} = \%13,51$ 'dir.

Çizelge 4.9 Mont problem örneği

Bedenler	T48	T50	T52	T54	T56	T58	T60	T62	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	37	84	84	84	59	38	22	8		
1. Kesim	0	0	0	0	2	0	0	1	8	615
2. Kesim	0	0	0	0	2	0	1	0	24	615
3. Kesim	2	0	0	0	0	2	0	0	21	820
4. Kesim	0	2	2	2	0	0	0	0	42	1230
Kesilen Adet	42	84	84	84	64	42	24	8	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	13,5	0	0	0	8,47	10,5	9,1	0		88560

Çizelge 4.10'da ise mevcut problem örneği için program 3087495 iterasyon sonucunda elde edilen bulgular verilmektedir. Çizelge 4.10'da görüldüğü üzere toplam %0 pay ile, 4 kesimde gerçekleştirilen kesim planı sonucunda toplam serim uzunluğu 852800 cm olarak hesaplanmıştır. 1. kesimin pastal planı boyu 1435 cm, 2. kesimin pastal planı boyu 1435 cm, 3. kesimin pastal planı boyu 1230 cm, 4. kesimin ise 1025 cm'dir.

Çizelge 4.10 LINGO çözümü

Bedenler	T48	T50	T52	T54	T56	T58	T60	T62	Kat sayısı	Boy(cm)*
Sipariş Adedi	37	84	84	84	59	38	22	8		
1. Kesim	0	2	1	2	1	1	0	0	38	1435
2. Kesim	2	0	2	0	1	0	2	0	11	1435
3. Kesim	0	1	3	1	0	0	0	1	8	1230
4. Kesim	3	0	0	0	2	0	0	0	5	1025
Kesilen Adet	37	84	84	84	59	38	22	8	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)					0					85280*

* Bir beden boyu 205,49 cm kabul edilmiştir.

4.3.3 Pantolon üretiminde elde edilen bulgular

Firmadaki masa uzunluğu maksimum 16 metredir. Pantolon kumaşı için en fazla 100 kat serilebilmektedir. Çizelge 4.11’de firmaya gelen sipariş ve çalışan tarafından üretilmiş olan çözüm gösterilmektedir. Mevcut durumda pastal planı 3 kesimde olacak şekilde hazırlanmıştır. 1. kesimde, 26 bedenden 2 adet, 30 bedenden 1 adet, 32 bedenden 1 adet olmak üzere ve kat sayısı 11 kat olacak şekilde kesim planlanmıştır. 1. kesim için hazırlanan pastal boyu 472,09 cm’dir. 2. kesimde kat sayı 30 olarak belirlenmiş 26 bedenden 4 adet olacak şekilde 435,22 cm boyunda pastal planı uygulanmıştır. 3. kesimde kat sayısı 44 kat olarak belirlenmiş 24 bedenden 1, 26 bedenden 2 adet, 28 bedenden 1 adet olacak şekilde 433,28 cm boyunda pastal planı uygulanmıştır. Toplam serim boyu ise $11*472,09+30*435,22+44*433,28=37313,91$ cm’dir. Kesim için verilen en büyük pay ise $\frac{44-35}{35} = \%25,71$ ’dir.

Çizelge 4.11 Pantolon 1 no’lu sipariş örneği

Bedenler	T24	T26	T28	T30	T32	Kat sayısı	Boy(cm)
Sipariş Adedi	40	205	35	10	10		
1. Kesim	0	2	0	1	1	11	472,09
2. Kesim	0	4	0	0	0	30	435,22
3. Kesim	1	2	1	0	0	44	433,28
Kesilen Adet	44	230	44	11	11	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	10	12,19	25,71	10	10		37313,91

Çizelge 4.12’de ise mevcut problem örneği için program 2549 iterasyon sonucunda elde edilen bulgular verilmektedir.

Çizelge 4.12’de görüldüğü üzere toplam %0 pay ile, 2 kesimde gerçekleştirilen kesim planı sonucunda toplam serim uzunluğu 33600 cm olarak hesaplanmıştır. 1 kesimin pastal planı boyu 1344 cm, 2 kesimin pastal planı boyu 1344 cm’dir.

Çizelge 4.12 Pantolon 1' nolu sipariş LINGO çözümü

Bedenler	T24	T26	T28	T30	T32	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	40	205	35	10	10		
1. Kesim	2	9	1	0	0	15	1344*
2. Kesim	1	7	2	1	1	10	1344*
Kesilen Adet	40	205	35	10	10	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)			0				33600*

* Bir beden boyu 112,22 cm kabul edilmiştir.

Firmadan alınan farklı bir pantolon siparişi için verilen çözüm önerisi Çizelge 4.13'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.13 Pantolon 2 no'lu siparişin çözümü

Bedenler	T42	T44	T46	T48	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	6	10	10	12		
1. Kesim	0	1	1	0	10	226
2. Kesim	1	0	0	2	6	338,95
Kesilen Adet	6	10	10	12	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	0	0	0	0		4293,7
LINGO Çözümü						
1. Kesim	0	2	2	0	5	448*
2. Kesim	2	0	0	4	3	672*
Kesilen adet	6	10	10	12	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)			0			4256*

*Bir beden boyu 112,22 cm kabul edilmiştir.

4.3.4 Sweatshirt üretiminde elde edilen bulgular

Firmadaki masa uzunluğu maksimum 20 metredir. Sweatshirt kumaşı için en fazla 45 kat serilebilmektedir. Çizelge 4.14'de firmaya gelen sipariş ve çalışan tarafından üretilmiş olan çözüm gösterilmektedir. Mevcut durumda pastal planı 3 kesimde olacak şekilde hazırlanmıştır. 1. kesimde, M bedenden 2 adet, L bedenden 3 adet, XL bedenden 2 adet, XXL bedenden 1 adet olmak üzere ve kat sayısı 160 kat olacak şekilde kesim planlanmıştır. 1. kesim için hazırlanan pastal boyu 800 cm'dir. 2. kesimde kat sayısı 13 olarak belirlenmiş S bedenden 1 adet, M bedenden 1 adet, L bedenden 1 adet, XXL bedenden 1 adet olacak şekilde 400 cm boyunda pastal planı uygulanmıştır. 3. kesimde kat sayısı 35 kat olarak belirlenmiş S bedenden 4, M

bedenden 1 adet olacak şekilde 500 cm boyunda pastal planı uygulanmıştır. Toplam serim boyu ise $160*800+13*400+35*500=150700$ cm'dir. Kesim için verilen en büyük pay ise $\frac{153-130}{130} = \%17,6$ 'dır.

Çizelge 4.14 Sweatshirt 1 no'lu sipariş örneği

Bedenler	S	M	L	XL	XXL	Kat sayısı	Boy(cm)
Sipariş Adedi	130	348	444	304	152		
1. Kesim	0	2	3	2	1	160	800
2. Kesim	1	1	1	0	1	13	400
3. Kesim	4	1	0	0	0	35	500
Kesilen Adet	153	368	493	320	173	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	17,6	5,7	11	5,26	13,8		150700

Çizelge 4.15'de ise mevcut problem örneği için program 158306 iterasyon sonucunda elde edilen bulgular verilmektedir.

Çizelge 4.15'de görüldüğü üzere toplam %0 pay ile, 3 kesimde gerçekleştirilen kesim planı sonucunda toplam serim uzunluğu 137800 cm olarak hesaplanmıştır. 1 kesimin pastal planı boyu 1300 cm, 2 kesimin pastal planı boyu 1100 cm. 3.kesimin pastal boyu 2000 cm'dir.

Çizelge 4.15 Sweatshirt 1' nolu sipariş LINGO çözümü

Bedenler	S	M	L	XL	XXL	Kat sayısı	Boy (cm)
Sipariş Adedi	130	348	444	304	152		
1. Kesim	2	3	5	2	1	36	1300*
2. Kesim	0	8	3	0	0	30	1100*
3.Kesim	2	0	6	8	4	29	2000*
Kesilen Adet	130	348	444	304	152	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)			0				137800*

*Bir beden boyu 100 cm kabul edilmiştir.

Firmadan alınan farklı bir sweatshirt siparişi için verilen çözüm önerisi Çizelge 4.16'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.16 Sweatshirt 2 no'lu siparişin çözümü

Bedenler	S	M	L	XL	XXL	Kat sayısı	Boy cm)
Sipariş Adedi	141	405	476	299	84		
1. Kesim	1	2	3	2	0	150	800
2. Kesim	0	3	1	0	2	45	600
3. Kesim	0	0	1	3	0	5	400
Kesilen Adet	150	435	500	315	90	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)	6,3	7,4	5,04	5,3	7,1	149000	
LINGO Çözümü							
1. Kesim	3	10	3	2	2	37	2000*
2. Kesim	1	0	12	7	0	30	2000*
3. Kesim	0	7	1	3	2	5	1300*
Kesilen adet	141	405	476	299	84	Toplam Boy (cm)	
Verilen Pay (%)			0			140500	

*Bir beden boyu 100 cm kabul edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, konfeksiyon işletmelerinin kesim bölümü incelenmiş ve bu bölümdeki sorunlar araştırılarak, daha verimli bir çalışma için yapılması gerekenler ele alınmıştır. Bu kapsamda özellikle, üretim maliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan kumaş maliyeti üzerinde durulmuştur. Uygulama yapılan işletmelerde yapılan görüşmeler ve analizlerin sonucunda, asorti planı optimizasyonu çalışması ile kumaşın daha verimli kullanılabilceği saptanmıştır. Kumaş kayıplarının azalması ve daha verimli kumaş kullanılabilmesi için öncelikle işletmelerdeki problemi etkileyen parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler kesim masası boyu, her bir kumaş için kumaşın kat sayısı, her bir ürün grubu için hesaplanan ortalama boy, kesilecek bedenler ve müşteri siparişleridir. Söz konusu problemde optimum çözüme ulaşabilmek için doğrusal programlama yöntemiyle model oluşturulmuş ve bu modeli uygulayabilmek için LINGO bilgisayar programından yararlanılmıştır. LINGO programı, bir çalışan tarafından manuel olarak çözülemeyecek tüm ihtimalleri oldukça kısa bir süre içerisinde değerlendirmekte ve yazılımın kullandığı dallanma ve sınırlandırma (branch and bound) algoritması ile sonuca ulaşmaktadır. Algoritma, basitçe verilen bir fonksiyon için en iyi (optimum) çözümü bulmayı amaçlamaktadır. Programın verdiği sonuçlar daha kolay anlaşılabilmesi için Office Excel programına aktarılmıştır. Çalışma sonucunda, ele alınan farklı tipte ürünler için manuel yöntemle çözülen günümüz konfeksiyon uygulamasına göre kumaşın daha verimli kullanılabilmesi sağlanmıştır.

Çizelge 5.1 Manuel çözüm ve program çözümü karşılaştırılması

Ürün Grubu	Manuel çözüm (m)	Program çözümü (m)	Fark (m)	Siparişteki beden adedi	Kumaş kazancı (%)
Gömlek1	406	381	25	4	6,56
Gömlek2	198	176	22	4	11,11
Gömlek3	327	309	18	4	5,50
Gömlek4	332	317	15	4	4,51
Gömlek5	695	635	60	4	8,63
Gömlek6	507	444	63	8	12,42
Mont	885	852	33	8	3,72
Pantolon 1	373	336	37	5	9,91
Pantolon 2	42,9	42,5	0,4	4	0,93
Sweatshirt1	1500	1370	130	5	8,66
Sweatshirt2	1490	1400	90	5	6,04
Ortalama verimlilik					7,09

Çizelge 5,1’de görüldüğü üzere tüm ürünler için ortalama %7 civarında kumaş kazancı sağlanmıştır. Elde edilen kumaş kazancı %4-%13 arasında değişkenlik göstermektedir. Bu varyasyonun temel nedeni siparişin beden ve adet çeşitliliği ile çalışanın problemi ne derece etkili çözdüğüdür. Pantolona ait ikinci modelin çözümünde, sipariş adedi ve beden çeşitliliği sayısı az olduğu için operatör yaklaşık en iyi çözümü üretebilmiş, geliştirilen algoritma yaklaşık %1 iyileştirme sağlayabilmiştir. Gömlekte elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, beden çeşitliliği arttıkça (problem daha karmaşık bir hal aldıkça) çalışanın en iyi çözümü üretme olasılığı daha da azalmıştır.

Çalışmada, farklı modeller ve ürünler üzerinden kumaş kazancı optimizasyonu esas alınmış olsa da, elde edilen sonuçlarda ürün tipinden çok, asorti planının karmaşıklığı ve zorluğu sonuçların geliştirilmesinde etkin rol oynamaktadır. Ancak pastal serimi konusunda şu genel sonuca ulaşmak mümkündür; Daha uzun pastal hazırlanması, daha az kumaş kaybına neden olmaktadır. Çizelge 5.2 incelendiğinde bu sonuç daha net bir şekilde gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 Pastal uzunluğu açısından karşılaştırma

Ürün Grubu	Manuel çözüm beden adedi	Manuel çözüm uzunluk (m)	Program çözümü beden adedi	Program çözümü uzunluk (m)	Kumaş kazancı (%)
Gömlek 1	6	7,92	10	12,70	6,56
Gömlek 2	3	3,83	11	13,97	11,11
Gömlek 3	7	9,46	9	11,43	5,50
Gömlek 4	2	2,62	12	15,24	4,51
Gömlek 5	4	5,30	10	12,70	8,63
Gömlek 6	4	5,65	9	11,43	12,42
Mont 1	6	12,30	7	14,35	3,72
Pantolon 1	4	4,72	12	13,44	9,91
Pantolon 2	3	3,38	6	6,72	0,93
Sweatshirt 1	8	8	13	13	8,66
Sweatshirt 2	8	8	20	20	6,04

Çizelge 5.2’de her ürün için çalışanın ve programın oluşturduğu en uzun serim mesafeleri ve elde edilen kumaş kazançları karşılaştırılmıştır. Her ne kadar, kazanılan kumaş yüzdesi ile programın ve çalışanın oluşturduğu serim uzunluğu arasındaki fark doğrusal bir ilişki ile tanımlanamasa da, şu bir gerçektir ki; tüm uygulamalar için daha iyi sonuç veren optimizasyon programının yönelimi daha uzun pastal atmak yönündedir.

Genellikle çalışanlar, asorti planı hazırlarken hesaplama kolaylığı için daha kısa pastal boyunu tercih etmektedirler. Bunun diğer bir nedeni ise modelhanede çalışanların geçmişten beri kullandıkları şablon pastal planlarının olması, yeni ve daha uzun bir plan hazırlamanın vakit kaybı olacağını düşünmeleridir. Böylece asorti planı yapan çalışanlar da mevcut işleyişi bildikleri için, eldeki pastal planlarına uygun beden dağılımlarını tercih etmektedirler. Herhangi bir asorti planında çok sayıda beden olması, geliştirilen program için çözüm olasılıklarını genişletmekte ve çalışan için çözümü karmaşıktır.

Çalışma ile elde edilen diğer bir önemli sonuç ise, zaman kazancı sağlanmasıdır. Kullanılan mevcut sistemde daha kısa ve daha çok sayıda kumaş sermektedir. Bu da kumaşın kesilmesinden sonra masanın temizlenmesi ve tekrar serim yapılması gibi nedenlerden zaman kaybına neden olmaktadır. Ancak geliştirilen program daha az sayıda serim yapmayı sağladığı için zamandan da tasarruf edilecektir.

Tüm konfeksiyon işletmelerinde gelen siparişe göre farklılık göstermek üzere, asorti planı yapılmaktadır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında geliştirilen programın, bir çalışan tarafından beden çeşitleri, sipariş adetleri, tahmini beden boyu, maksimum kesilebilecek kumaş katı sayısı, masa boyu ve istenilen fazla kesim payı programa girildiğinde, istenilen kesim sayısına göre kolaylıkla sonuç elde etmesi mümkündür. Çalışanın programdan optimum derecede faydalanması için hangi adımları izlemesi gerektiği bir Şekil 4.2'deki algoritma ile açıklanmıştır.

Bazı durumlarda, özellikle cutter ile çalışan, kumaş maliyetlerinin görece düşük olduğu ürünler için amaç fonksiyonunu maksimum kumaş katı elde edecek şekilde modifiye etmek mümkündür. Böylece yaklaşık 1,5 metrelik alan içerisinde kesim yapan cutterdan daha fazla faydalanmak mümkün olacaktır. Ancak söz konusu çalışma kumaş maliyetlerini azaltma amacını yürüttüğü için, mevcut algoritmanın modifikasyonu konusu çalışma bütünlüğü açısından kapsam dışında bırakılmıştır.

Gelecekte bu konuda çalışacak araştırmacılara;

- Farklı renkte kumaşların üst üste serildiği kesimler için algoritmanın geliştirilmesi,
- Kesimhanedeki, tüm işlemlerin standart sürelerini belirleyerek, problemin amaç fonksiyonunu minimum zamanda serim yapacak şekilde değiştirilmesi,
- Tahmini pastal verimliliklerini de probleme dâhil ederek, minimum kumaş firesini hedefleyecek şekilde algoritmanın iyileştirilmesi,

- Söz konusu problemin (yapay sinir ağları, genetik algoritma gibi) farklı optimizasyon yöntemleriyle çözümünün sağlanması ve geliştirilen programın sonuçlarıyla karşılaştırılması tavsiye edilmektedir.

Programın mevcut haliyle işletmelerde uygulanabilmesi için LINGO yazılımında basitçe değerleri değiştirmeyi bilen bir çalışanın bulunması yeterlidir. Ülkemiz ekonomisinin lokomotif sektörü olan konfeksiyon alanında gerçekleştirilen bu çalışma ile katma değer ve yaygın etkisi yüksek sonuçların elde edilmesi temenni edilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim (2017). Cut order plan. <http://www.maarusolns.com> (04.12.2017).
- Anonim (2017). Cut plan solver. <http://www.cut-plan.appspot.com> (04.12.2017).
- Anonim (2017). Hazırgiyim ve Konfeksiyon Sektörü 2017 Aralık Aylık İhracat Bilgi Notu. İTKİB.
- Anonim(2017).LINGOTheModelingLanguageandOptimizer.<http://www.lindo.com/index.php/ls-downloads/user-manuals> (17.12.2017).
- Batuk E (2010). Boya Terbiye İşletmesinde Üretim Planlama ve Optimizasyon. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bilgiç H (2009). Pantolon Üretiminde Kesim Yerleşim (Pastal) Planlarının Kumaş Telefinin Düşürülmesi Açısından Optimize Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Bircan H, Kartal Z (2003). Doğrusal Programlama Tekniği İle Kapasite Planlaması Yaklaşımı ve Çimento İşletmesinde Bir Uygulama. Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt XXII Sayı 1:213-23.
- Blecha C.J, Ammons J. C, Schutte A, Smith T (1996). Cut Order Planning for Apparel Manufacturing. IIE Transactions, 30/1 : 79-90.
- Çelik Ş, Kayacan M, Aydoğan T, Çakır A (2002). Bilgisayar Kontrollü Kumaş Kesme Makinası Tasarımı ve İmalatı. Politeknik Dergisi, 5: 173-177.
- Çetindere A (2009). Kapasite Planlama Problemlerinde Doğrusal Programlama Tekniğinin Kullanımı: Bir Konfeksiyon İşletmesinde Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
- Çetindere A, Sevim Ş, Duran C (2010). Üretim Planlama Problemlerinde Doğrusal Programlama Tekniğinin Kullanımı: Bir Konfeksiyon İşletmesinde Uygulama. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Sayı:35:271-300.
- Dilber İ (2004). Tekstil ve Konfeksiyon Sanayinin Rekabet Gücü. Celal Bayar Üniversitesi Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Cilt:11 Sayı 2-86.
- Elevli B, Uzgören N, Sezgin A (2007). Doğrusal Programlama Tekniği İle Kömür Dağıtım Optimizasyonu. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, C.XX, S.1.
- Ergülen A, Gürbüz E (2006). İnşaat ve Enerji Sektöründe Beton Direk Üretimi Planlamasına Örnek Bir Model Önerisi: Tam Sayılı Doğrusal Programlama. Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F, Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Cilt 13 sayı:1.
- Ertuğrul İ (2005). Bulanık Hedef Programlama ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama Örneği. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,6: sayı: 2.
- Frençy Ng S.F, Patrick Hui C.L (1999). A Mathematical Model for Predicting Fabric Loss During Spreading. International Journal of Clothing Science and Techology, Vol:11 Issue:2/3:76-83.
- Kara H, Savaş H (2015). Doğrusal Programlama Metoduyla Diyarbakır İli Gıda Sektöründe Bir Üretim Planlama Uygulaması. International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic, 10/2 :491-506.

- Narlı M (2007). Hemşirelerin Çalışma Vardiyalarının Değerlendirilmesi ve Çizelgelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Nascimento D.B, Figueiredo N, Mayerle S.F, Nascimento P. R, Casali R.M (2010). A State-Space Solution Search Method for Apparel Industry Spreading. *Int. J. Production Economics*, 128:379-392.
- Öztürk A (2009). Doğrusal Programlamaya Giriş. Yöneylem Araştırması, Ekin Yayınevi, Bursa, 40-43.
- Taha H (2007). Simpleks Yöntem. Yöneylem Araştırması, Baray Ş.A, Esnaf Ş. Literatür Yayıncılık, İstanbul, 75-80.
- Turan R (2013). Hastanelerde Yöneylem Araştırması: Kent Hastanesi Ameliyathane ve Yatak Optimizasyonu Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Endüstri İşletmeciliği Programı, İzmir.
- Türköz F (2001). Doğrusal Programlama Metodu İle Üretim Planlaması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Wong W.K, Leung S.Y.S (2008). Genetic Optimization of Fabric Utilization in Apparel Manufacturing. *Int. J. Prpduction Economics*,114:376-387.
- Yılmaz H (2010). Doğrusal Programlama Tekniği İle Üretim Planlamasının Mobilya Sektöründe Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

ÖZGEÇMİŞ

22.06.1989 tarihinde Eskişehir’de doğan Alime DERE YÜKSEL, İlk-orta ve lise öğrenimini Eskişehir’de tamamladıktan sonra 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Tekstil Bölümünü kazanarak yükseköğrenimine başlamıştır. 2010 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi’nde Tekstil Mühendisliği bölümüne devam ederek 2013 yılında mezun olmuştur. 2013 yılında yüksek lisans yapmak üzere eğitimine Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalına başlamıştır. Şu anda özel bir tekstil firmasında iş hayatına devam etmektedir.