KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KESME KAYBI VE STOK MALİYETLERİNİN OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ

FATMA SERAB ONURSAL

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

KESME KAYBI VE STOK MALİYETLERİNİN OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ

FATMA SERAB ONURSAL

Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof. Dr. Semra BİRGÜN
Jüri Üyesi, Beykent Üniv.

Yrd. Doç. Dr. Celal ÖZKALE
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Yrd. Doç. Dr. Gülşen AYDIN KESKİN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr.Alparslan Serhat DEMİR
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 19.09.2014

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Ambalaj sektörünün en büyük maliyet kalemlerinden kabul edilen kesme kaybı ve bobin çeşitliliği, en küçüklenmeyi bekleyen problemlerden biridir. Yapılan ve sürdürülecek olan optimizasyon çalışmaları ile elde edilen sonuçların sektöre katkı sağlayacağı ve yaygınlaştırılabileceği öngörülmektedir.

Beni, son derece önemli olan bu çalışmaya yönlendiren, yol gösteren, tüm sorularıma sabırla çözüm bulan daima anlayışlı davranan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI' ya, her koşulda, hastalığımda, sağlığımda bana destek olan daima gözetip, kollayan Doktora Tez İzleme Komitesi üyesi Sayın hocam Prof. Dr. Semra BİRGÜN' e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Celal ÖZKALE' ye yapmış olduğu olumlu katkılarından dolayı teşekkür ederim. Doktora çalışmalarım esnasında en sıkışık anlarında dahi hiç tereddüt etmeden verdiği katkılardan dolayı Sayın Ar. Gör. Yekta KAYMAN' a, Dr. Ayşegül TEPE' ye içten teşekkür ederim. Yoğunlukları arasında bıkmadan sorularıma cevap veren ve araştırmama destek çıkan Şişecam-Camiş Ambalaj San. A.Ş'den Sayın Oya KAŞOĞLU, Sayın Gül İPÇİ ve Sayın Poyraz KANIK'a teşekkür ederim. Çalışmam sırasında göstermiş oldukları anlayış, destek ve verdikleri moral için İstanbul Ticaret Üniversitesi Meslek Yüksekokulu ailesine ve Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği ailesine teşekkürü borç bilirim. Hayatımın her döneminde yaptıkları fedakarlıkları ve her türlü destekleri için annem Mukime KOLBAŞI, babam M. Cemal KOLBAŞI' ya minnetlerimi sunarım. Ablam Refika KOLBAŞI ile eşim Fahri ONURSAL'a da gösterdikleri sabır için teşekkür ederim.

Temmuz – 2014 Fatma Serab ONURSAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
GİRİŞ 1
1. KAĞIT KARTON AMBALAJ SEKTÖRÜ VE SORUNLARI 3
1.1. Ambalajın Alt Sektörleri 3
1.1.1. Kağıt/ karton ambalaj 3
1.1.2. Kağıt/ karton üretimi 4
1.1.3. Mukavva kutu üretimi 4
1.1.4. Oluklu mukavva yapımı 5
1.1.5. Oluklu mukavva üretiminde kullanılan kâğıtlar 7
1.1.6. Oluklu mukavvada dalga cinsleri 9
1.2. Kağıt/ Karton Ambalaj Sektörü 10
1.3. Türkiye'nin Kağıt/ Karton Üretiminde Dünya'daki Yeri 10
1.4. Ambalaj Sektörünün Büyümesi 11
1.5. Kağıt / Karton Ambalaj Sektörünün Sorunları 13
2. KESME VE PAKETLEME PROBLEMLERİ 14
2.1. Kesme ve Paketleme Problemi 14
2.2. Kesim Planı Tanımı 16
2.2.1. Kesim planları karakteristikleri 17
2.2.2. Stok kesme problemlerinin sınıflandırılması 20
2.3. Literatürde C&P Problemlerinin Sınıflandırılması 21
2.3.1. Genel türleri 21
2.3.2. Ana malzeme seçim problemleri 24
2.4. Kesme Problemlerinde Kullanılan Çözüm Yöntemleri 25
2.5. Literatür Taraması 26
3. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU 33
3.1. Optimizasyon Tanımı 33
3.1.1. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması 35
3.1.2. Kombinatoryal optimizasyon problemleri 35
3.2. Parçacık Sürü Optimixasyonunun Tanımı 38
3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonunun Genel Yapısı 39
3.4. Parçacık Sürü Optimizasyonunun Algoritması ve Akış Şeması 40
3.5. Parçacık Sürü Optimizasyonu Parametreleri 43
3.6. Parçacık Sürü Optimizasyonu İçin Literatür Taraması 47
4. AMBALAJ SEKTÖRÜNDE BOBİN ÇEŞİTLİLİĞİNİN AZALTILMASI VE KESME KAYBININ OPTİMİZASYONU PROBLEMİ 51
4.1. İşletmenin Tanıtımı 52
4.2. Problemin Tanımı 53

4.3. Çözüm Yöntemi Kararı 53
4.3.1. Üretim ile ilgili kısıtlar 54
4.3.2. Matematiksel model 55
4.4. Problemin Çözüm Yönteminin Tanımı 55
4.4.1. Parçacık sürü optimizasyonu tanımlamaları 56
4.4.2. Kullanılan algoritma 57
4.4.3. Kullanılan fire hesabı 60
4.4.4. Kullanılan algoritmanın akış şeması 60
4.5. Uygulama 61
4.5.1. Örnek veri seti ile uygulama 62
4.5.2. 2 ve 3 Yıllık verilerle uygulama 65
4.5.3. Algoritmada yeni bir model uygulama 72
4.6. PSO Parametrelerinin Optimal Çözüm Üzerindeki Ana Etkileri 79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 83
KAYNAKLAR 85
EKLER 90
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 100
ÖZGEÇMİŞ 101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Oluklu mukavva örnekleri 10
Şekil 1.2. Malzeme grubuna göre 2011 yılı üretim dağılımı 12
Şekil 1.3. Yıllara göre ambalaj sektör büyüklüğü.....12
Şekil 2.1. Boru kesme 16
Şekil 2.2. Giyotin ve yuvalanmış kesim planları 19
Şekil 2.3. Bir, iki ve üç aşamalı giyotin kesim planları 19
Şekil 2.4. 1- Boyutlu giyotinli kesim örneği.....22
Şekil 2.5. Problem türüne göre çalışmaların dağılımı.....29
Şekil 2.6. Ana malzeme türüne çöre çalışmaların dağılımı 30
Şekil 2.7. Çalışmalarda benimsenen amaçlar.....30
Şekil 2.8. Çalışmalarda uygulama yapılma oranı.....31
Şekil 2.9. Sık kullanılan çözüm yaklaşımlarının dağılımı 31
Şekil 3.1. Optimizasyon işlemi 34
Şekil 3.2. Sezgisel yöntemler.....36
Şekil 3.3. Parçacığın iki boyuttaki hareketi 40
Şekil 3.4. Genel PSO algoritması 41
Şekil 3.5. PSO akış diyagramı 43
Şekil 3.6. Halka topolojisi 47
Şekil 4.1. Algoritmanın akış şeması.....61
Şekil 4.2. Kesime hazır bobin 73
Şekil 4.3. Bobinin ortadan kesilmesi 73
Şekil 4.4. Tabakaların oluşturulması.....73
Şekil 4.5. Bobin sayısına göre fire yüzdeleri grafiği.....75
Şekil 4.6. Minitab'da Taguchi analiz sonucu 81
Şekil 4.7. Minitab'da Taguchi analiz sonucu grafiği 81

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Dalga cinsine göre oluk sayısı 9
Tablo 1.2. Malzeme grubuna ve yıllara göre üretim miktarı 11
Tablo 2.1. C&P problemlerinin mantıksal yapıya dayalı sınıflandırılması 20
Tablo 2.2. C&P problemlerinin gerçekliğe dayalı sınıflandırılması 21
Tablo 2.3. Parça çeşitliliği ve atama türüne Göre C&P problemi türleri 23
Tablo 2.4. C&P problemlerinin genel türleri 24
Tablo 4.1. Karton kutu ambalaj örnek veri seti 63
Tablo 4.2. Sezgisel yöntemlerden PSO kullanılarak elde edilen sonuçlar 64
Tablo 4.3. Aylara göre 4 grup 7 çeşit bobinden çıkan fire yüzdeleri dağılımı 65
Tablo 4.4. 2010-2011 Yılı talep verilerinden örnek 67
Tablo 4.5. 2009-2010-2011 Yılları verileri ile 14 bobin için saptanan enler 68
Tablo 4.6. 2010-2011 Yılları verileri ile 14 bobin için saptanan enler 69
Tablo 4.7. 2012 Yılı verileriyle yapılan sınama sonuçları 70
Tablo 4.8. 2013-2014 Yılı verileriyle yapılan sınama sonuçları 71
Tablo 4.9. 2010-2011 Yılı verilerinin ilk ve son uygulamaya göre örneği 74
Tablo 4.10. Bobin çeşit sayısındaki artış ile fire yüzdelerindeki değişim oranı 75
Tablo 4.11. 2009-2010-2011 Yılı verileriyle 14 bobin için saptanan enler 76
Tablo 4.12. 2010-2011 Yılı verileriyle 14 bobin için saptanan enler 77
Tablo 4.13. 2012 Yılı verileriyle yapılan sınama sonuçları 78
Tablo 4.14. 2013-2014 Yılı verileriyle yapılan sınama sonuçları 78
Tablo 4.15. Kümedeki 14 bobin çeşidi için saptanan standart bobin enleri 79
Tablo 4.16. Taguchi faktör ve düzeyleri 80
Tablo 4.17. L9 Deseni hesaplanmış ortalama fire değerleri 80

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

BP : Bin Packing (Paketleme)
C&P : Cutting and Packing (Kesme ve Paketleme)
CS : Cutting Stock (Stok Kesme)
GA : Genetic Algorithms (Genetik Algoritma)
Gbest : Global Best (Küresel En İyi)
KEP : Kombinatoryal Eniyileme Problemi
KS : Knapsack (Sırt Çantası)
Pbest : Personal Best (Lokal En İyi)
PL : Pallet Loading (Palet Yükleme)
PSO : Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyonu)
SKP : Stok Kesme Problemleri

KESME KAYBI VE STOK MALİYETLERİNİN OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ

ÖZET

Malzeme kesim problemlerinde genellikle ana malzeme boyutunun bilindiği varsayılarak küçük parçaların büyük parçalardan en küçük fireyle nasıl kesileceği üzerinde durulmuş ya da bu malzemenin en etkin nasıl kesilebileceği araştırılmış buna karşılık büyük parçaların nasıl etkin elde edilebileceği, ana malzemenin hangi ebatlarda temin edilmesi gerektiği üzerinde neredeyse hiç çalışılmamıştır.

Oysa probleme baştan başlayarak öncelikle en uygun ebatlardaki ana malzemeyi belirleyip sonra diğer adımlara geçilmesi israfı önleme ve maliyetleri düşürme adına oldukça önem taşımaktadır.

Kağıt karton ambalaj sektörü üreticilerinin temel isteği bobin enlerini doğru belirleyerek fireyi en küçükleyecek eni olan bobinden tabakaların kesilmesi, kesme firesinin optimize edilmesidir. Depoda her enden bir bobin bulundurulması kesme kaybını sıfırlayacaktır ancak bu kadar çok çeşidin depoda tutulması envanteri ve dolayısıyla elde bulundurma maliyetlerini arttıracaktır. Bu çalışmada fireyi en küçüklerken bir yandan da bobin çeşitliliğini en küçükleyecek işletmelere tasarruf sağlatacak modelin geliştirilebilmesi amaçlanmıştır. Bu modelin malzeme planlama ve kontrolü ile aylık sipariş çeşit ve miktarını düzenleyebilmek, depoyu etkin kullanabilmek, başarılı bir stok yönetimi ile stok miktarını optimum düzeye çekmek ve maliyetleri minimize etmek gibi faydalar sağlaması beklenmektedir. Böylelikle çalışmanın hem işletmeye hem de ülke ekonomisine çok büyük kazanımlar sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ana Malzeme Çeşitliliği, Kesme Kaybı, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Stok Kesme Problemleri.

A PROPOSAL FOR A MODEL OPTIMIZING STOCK COSTS THROUGH REDUCED TRIM LOSSES

ABSTRACT

On issues about trimming material, it has generally been presupposed that the size of the raw material will be a known quantity. Either how to have least waste in the form of unusable small material has been studied or how to cut the material most effectively has been focused on. However, almost no research has looked into how to obtain the raw material most effectively in the most efficient sizes.

However, starting the issue from its beginning and determining the most efficient sizes for the raw material and then going onto the other stages has an importance in preventing waste and lowering costs.

Paper and cardboard manufacturers need to know the suitable spool widths so that they can cut the layers out of the most efficient spool width thereby reducing and then optimizing wastage. Keeping all sizes in the depot will give zero wastage but the inventory will be larger and the inventory costs will increase. The purpose of this study is to develop a model which will keep wastage low while helping businesses who will keep spool widths lowest gain most. This model is further expected to provide benefits such as regulating the assortment and quantity of monthly orders through materials planning and control, using the depot most effectively, keeping an optimal amount of stock through successful depot management and minimizing costs. Hence, it is predicted that the study will bring important earning both to the manufacturer and to the country.

Keywords: Material Assortment, Trim Loss, Particle Swarm Optimization, Stock Cutting Problems.

GİRİŞ

Malzeme çeşitliliğinin optimizasyonu problemleri, özellikle fazla çeşidi gerektiren kesme, dilme yapan işletmelerde, bu işlemler sırasında çıkan hurda ve kesme kayıpları ürün maliyetlerini çok artırdığından son derece önemsenmektedir. Hurda miktarını, makine, işçi ve diğer üretim faktörlerinden dolayı kullanılamayan malzeme miktarı oluştururken, fire miktarını ise önceden bilinen ve stok malzemelerinin tam verimli kullanılamamasından kaynaklanan hatalar oluşturmaktadır. Hurda miktarı, toplam kalite ana başlığı altında yer alan 5S, Kaizen, Toplam Verimli Bakım, 6Sigma v.b. kalite iyileştirme çalışmaları ile azaltılabilirken, fire miktarı matematiksel modellerden ya da sezgisel yöntemlerden faydalanarak oluşturulan çözümler ile minimize edilebilmektedir (Adakçı, 2010).

Taşınacak kolilerin palet üzerine yerleştirilmesi, bir satıcının bir noktadan çıkarak en kısa güzergahı belirlemesi, palet üzerine yerleşecek koli sayısının belirlenmesi, tezgahta işlenecek parçaların en kısa sürede atölyeden çıkması için nasıl sıralanması gerektiği, tekstilde patronların en az fire verecek şekilde kumaş üzerine oturtulması, saç levha kesimleri, mermer kesimleri, ahşap mobilya kesimleri hep aynı yapıdaki problemlerdir. Bu tip problemlere Kombinatoryal Problemler denir ve çok sayıda çözümleri olduğu bilinir. Çözüm uzayının taranarak en iyi çözüme ulaşılması için çalışmaların sürdürülmesi gerekmektedir. Bu da ancak geliştirilen bazı algoritmaları kullanarak sağlanmaktadır. Bu nedenle bu tür problemler için en iyiye yakın çözümler veren Sezgisel tekniklerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır (Dengiz ve Altıparmak, 1998).

Kombinatoryal en iyileme problemlerinin çözümünde rassal arama teknikleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Son derece karmaşık problemleri bile çözebilen bu sezgisel tekniklerden biri de Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasıdır. Kuş ve balık sürülerinin hareketlerinden esinlenilerek geliştirilen bu sezgisel algoritma en iyi ya da en iyiye yakın çözümler üretmektedir.

Bu çalışmada, oluklu mukavva kutu üreten bir işletmenin stokta bulundurması gereken standart bobinin kaç adet ve enlerinin neler olması gerektiği, kesme kayıplarının en küçüklenmesi ile ilgili önerilen model Parçacık Sürü Optimizasyonu kullanılarak belirlenmiş ve oluklu mukavva kutu üreten bir işletmede gerçek verilerle çalışılarak ana malzeme çeşitliliği ve fireler optimum seviyeye çekilebilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde kağıt- karton Ambalaj Sektörü tanıtılmış, oluklu mukavva üretimi anlatılmış ve sorunları ele alınmıştır.

İkinci bölümde Kesme ve Paketleme Problemlerinin tanımı, literatürdeki sınıflandırılması, çözüm yöntemleri anlatılmıştır. Yine bu bölümde ana malzeme seçimi problemlerinin önemine değinilerek bu alanda yapılan çalışmalardan bazıları açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde optimizasyon ve ana hatlarıyla meta sezgisel yöntemler tanıtılmış, Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması tanımı, genel yapısı, akış şeması açıklanarak parametrelerine değinilmiştir. Literatürdeki çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Dördüncü bölümde sektörde bilinen bir firma tanıtılarak ambalaj sektöründe Standart Bobin enlerinin belirlenmesi probleminin çözümünde izlenen yol, kullanılan PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) Algoritması yaklaşımı ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Beşinci bölümde sonuç ve öneriler kısmında genel değerlendirmeler yapılarak gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

1. KAĞIT KARTON AMBALAJ SEKTÖRÜ VE SORUNLARI

Ambalajlama, ürünleri dışardan gelecek etkilere karşı korumak, kolay taşımak ve depolamak, tanıtmak, çevreyi korumak amacıyla ürünün sarılması işlemidir. Bu amaçla kullanılan ağaç, kil, cam, kağıt/karton, mukavva, metal, plastik gibi malzemelerden yapılmış kap ya da sargılara ise ambalaj denir. Ambalaj ürünleri kullanım yeri ve amaçlarına göre çeşitlilik göstermekteyse de, hepsi bir arada Ambalaj Sektörünü oluştururlar.

Ambalajlamada kullanılan ve ambalajın üretimine hizmet eden maddelere "ambalaj maddeleri" denir. Ambalaj maddeleri "Ambalaj Malzemesi" ve "Ambalaj yardımcı malzemesi" olarak ikiye ayrılır. Ambalaj malzemesi, ambalajın meydana gelmesi için gerekli olan mamulü örten, saran malzemedir (örneğin, kağıt, karton, alüminyum, vs). Yardımcı ambalaj malzemeleri ise etiket, bant, ip tutkal gibi malzemelerdir (Bayraktar, 2005).

1.1. Ambalajın Alt Sektörleri

Malzeme itibariyle ambalaj alt sektörleri:
a) Karton/ Kağıt ambalaj
b) Cam ambalaj
c) Plastik ambalaj
d) Ahşap ambalaj
e) Metal ambalajdır.

1.1.1. Kağıt/ karton ambalaj

Bu alt sektörlerden en fazla gelişim gösteren karton/ kağıt ambalaj sektörüdür zira hafif, esnek, çevre dostu ve grafik tasarıma uygundur. Karton esaslı ambalaj malzemelerinin ana hammaddesi işlenmesi kolay olan kâğıttır. Kâğıttan ambalaj kâğıdı olarak çok çeşitli üretim yapılmaktadır. Çok ekonomik ambalaj çeşitlerindendir. Daha az hammadde kullanarak daha dayanıklı ancak ince, hafif,

ekonomik karton üretimi yapılmaktadır. Kâğıt ve karton ambalajın üretim kolaylığı ve ekonomikliği bakımından oldukça tercih edilen bir ambalaj türüdür.

1.1.2. Kağıt/ karton üretimi

Kâğıt ve karton ambalajın biraz daha dayanıklı olması istenirse çeşitli işlemlere tabii tutulur. Bir başka iç ambalaj ile desteklenerek kullanılan karton emprenye ya da lamine edilebilir. Oluklu mukavva, iki kâğıdın arasına oluklu şekli verilmiş bir diğer kağıt ile desteklenmesi ile üretilir.

Kağıt- karton üretiminin ana bölümlerinde, Hamur Hazırlama Bölümü sırasıyla; açma, temizleme, dövme, parçalama, öğütme ve katkı maddeleri ilavesi işlemlerini kapsamaktadır. Hazırlanan hamurun Kağıt Makinesi Öncesi İşlemleri bölümü; seyreltme ve temizleme kademelerini, Kağıt Makinesi bölümü ise süzme, presleme ve kurutma işlemlerini kapsamaktadır. Üretimdeki bu ana bölümler kağıt - karton alt gruplarının üretim teknolojileri kullanılan hammadde çeşidi ve kağıt makinesi özellikleri açısından farklılıklar göstermektedir. Hazırlanan hamur, yatay hamur teknesi, elek ve dağıtma kasasından sonsuz süzgece gelir. Burada suyunun bir kısmını bırakarak yaş safiha (Oluklu makinasında istenilen boyutlarda kesilmis oluklu mukavva levhalara, sektörde çok eski bir terim olan safiha adı verilir) halini alır. Daha sonra bu yaş safiha yaş preslerde suyunun bir kısmını daha bırakarak safiha halini alır ve buradan da kurutma silindirlerine, ardından da perdah valslerine giderek perdahlanmış olarak tamponlara sarılır. Bundan sonraki aşamada safihalar ya istenilen boyutlarda kesilerek veya bobin haline getirilerek ambalajlanır ve satılır. Ambalaj üreticileri genellikle karton hammaddeyi çeşitli genişlikte bobinler halinde tedarik eder ve tabakaları kendi işletmelerinde keserler (Usta, 2006).

1.1.3. Mukavva kutu üretimi

Kâğıt ve karton ambalajın biraz daha dayanıklı olması istenirse çeşitli işlemlere tabii tutulur. Bir başka iç ambalaj ile desteklenerek kullanılan karton emprenye ya da lamine edilebilir. Oluklu mukavva, iki kâğıdın arasına oluklu şekli verilmiş bir diğer kağıt ile desteklenmesi ile üretilir.

Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Araştırma Müdürlüğünün 2002 yılında yaptığı Sektörel Araştırmalardan "Oluklu Mukavva Ambalaj Ürünleri" yayınında oluklu mukavva üretimi, evreleri, kullanılan kağıtlar ve dalga tanımları şöyle anlatılmaktadır:

Oluklu mukavva bakır ya da dönüştürülmüş selüloz liflerinden oluşan kâğıtlardan yapılır. Oluklu mukavva (kaplama) astar adı verilen iki düz levha ile bu levhaların ortasında yiv adı verilen oluklu kısmın birbirine yapıştırılmasından meydana gelir.

Bu üç tabakanın bir araya gelmesiyle oluşan ürün her bir tabakanın tek tek sahip olduğu güçten daha fazlasına sahiptir. Peş peşe oluklardan oluşan yapısı, oluklu mukavvaya sertlik ve dayanıklılık verir. Oluklar arasındaki hava dolaşımı yalıtım görevi yaparak sıcaklık değişimlerine karşı koruyucu rol oynar.

Oluklu mukavva, çeşitli ürünleri paketleyerek, korumak ve sunmak için tasarlanmış yüksek performanslı bir ambalaj malzemesidir.

1.1.4. Oluklu mukavva yapımı

Hammadde Seçimi:

Oluklu mukavvayı oluşturan strüktürel elemanlar, yüzlerde kullanılan "Liner", ondülede kullanılan "Fluting "cinsi kâğıtlardır. Liner olarak adlandırılan kâğıtlar, istenildiğinde esmer, beyaz veya renklendirilmiş olabilen "Kraft Liner", "Test Liner" ve "Schrenz", ondüle kullanılanlar ise "NSSC Fluting", "Saman Fluting" ve "Schrenz"dir.

Oluklu mukavvayı oluşturacak dış, iç, ara kâğıtların gramaj, cins ve özellikleri, kutu performansıyla doğrudan ilişkili olmaları nedeniyle, büyük önem taşırlar. Kullanılan kâğıtların yanı sıra tutkalın, katkı maddelerinin cinsi de amaca uygun olarak seçilmelidir. Açık renk baskılı kutular için koyu renkli karftlar, nemli ortamda bulunacak kutular için düşük gramajlı zayıf fluting kâgıtları seçilmemelidir.

Üretim Evreleri:

Yaklaşık 100 metre boyunda olan oluklu makinesi, çeşitli işlemlerin yapıldığı ünitelerden meydana gelmiştir. Çok dar ölçülerden 2,5 metreye kadar çeşitli enlerde olabilir, gelişmiş ülkelerde 2 metreden geniş makine sayısı çoktur.

Oluklu mukavva üretim işlemi, üretimi yapılacak mukavvaya uygun cins ve miktarda lider ve fluting kağıdın, kâğıt ambarından alınarak oluklu makinesine takılması ile başlar. Tek dalga oluklu mukavva yas kısmındaki en önemli birim olan single facer grubu (ondüle makinesi) birçok üniteden oluşur. Isı ve buharla preconditioner'larda (ön şartlandırıcı) yumuşatılan fluting kağıdı, single facer'da ondüle valsleri arasından geçerek dalga şeklini alır ve ondüle haline getirilir. Çift dalga oluklu mukavva üreten makinelerde iki tane, üç dalga üretenlerde ise üç tane single facer grubu bulunur. Oluklu makinesinin yas kısmındaki ikinci önemli birimi olan "duble facer" (kurutma) grubunda, ısıtılmış ve bu kez diğer yüzündeki oluk tepeleri tutkallanmış olan tek yüzlü tabakasına, ön ısıtıcılarda ısıtılan liner yapıştırılarak tek dalga oluklu mukavva elde edilir. Çift dalga istenmesi halinde, ikinci tek yüzlü de eklenerek beş kat kâğıt ile çift dalga oluklu mukavva üretilir. Oluklu makinesinin kuru kısmında, oluklu mukavvanın kenar ıskartası (trim) kesilir ve planlandığı şekildeki hat sayısında boyuna kesimi yapılır. Bu işlemin ardından enine kesimi yapılarak, bazen aynı, bazen farklı boyutlarda oluklu mukavva levhalar elde edilir ve tablalı istif arabası (stacker)'ında istiflenerek palete alınır ve ara stok alanına götürülür.

Oluklu makinasında, bu işlemlerin dışında, isteğe bağlı olarak eklenecek ünitelerle: kaplama (coating), yüzey boyama, yırtık banılama (tear tape) ve takviye edici (reinforcing tape) uygulamaları; önceden baskı yapılmış liner bobinleri ile preprinting yapılabilir.

Dönüştürme Prosesi: Dönüştürücü:

Bu proses baskı, delme, katlama ve yapıştırmadan oluşarak oluklu mukavva ambalaj elde edilen son işlemdir. Dönüştürme prosesi ambalajın tipine göre değişiklik gösterir. Ambalajın türü ne olursa olsun üzerine baskı yapmak mümkündür.

Oluklu mukavva ambalajın üzerine genellikle kabartmalı baskı tekniği ile baskı yapılır. Bu teknik, yüksek hız, yüksek kalite ve mükemmel kalite/fiyat oranına sahiptir. Baskı, işlenme zincirinde veya sonrasında yapılabilir.

Ambalaja dönüştürme prosesi tamamlandığında müşteriye sevk edilecek hale gelir.

1.1.5. Oluklu mukavva üretiminde kullanılan kâğıtlar

Oluklu Mukavvaların özellikleri, cinslerine, üretimlerinde kullanılan kâğıtlara ve yardımcı malzemeye bağlı olarak belirlenir.

Oluklu mukavvaları niteleyebilmek için öncellikle üretildikleri kâğıtları tanımak gerekir. Kullanılan hammadde ve üretim yöntemleri, kâğıtlara birbirinden farklı özellikler kazandırmaktadır ve bu özelliklerin amaca uygun olarak seçilmesi başarılı ambalaj üretimi için çok büyük önem taşımaktadır.

Oluklu Mukavva üretiminde kullanılan kâğıtlar; odundan, saman ve benzeri bitkilerden, atık kâğıttan elde edilen, cinsine göre farklı oranlarda kullanılan elyaf, su, katkı maddeleri ve kâğıt yapım yöntemleri kullanılarak üretilirler.

Elyaf: elyaflar, ağaç veya bitkinin yapısında bulunan esnek, ipliksi elemanlardır ve boyları uzadıkça kâğıtların mukavemeti artar. Yumuşak ağaçların elyaf boyları 4-6 mm. arasında, sert ağaçların elyaf boyları ise 1-2 mm. arasında değişir.

Her çeşit ağaç, oluklu mukavva kâğıtları üretiminde kullanılamaz.

Kağıdın mekanik özelliklerini iyileştirmek; neme, yağa direncini artırmak; yüzey düzgünlüğünü sağlamak; renklendirmek amacı ile nişasta ve renklendirici maddeler kullanılabilir. Oluklu mukavva kâğıtları; iç, dış yüzler ve ara katlarda kullanılan Lider; ondülede kullanılan Fluting kâğıtlar olarak iki ana gruba ayrılırlar. KRAFT LINER; TEST LINER; isimlerinden de anlaşılacağı gibi lider, NSSC, SAMAN FLUTING ise fluting kâğıtlardır.

SCHRENZ veya Geri Kazanılmış Kâğıt (RECYCLED) olarak adlandırılan ve üretilen kâğıtlar ise cinslerine göre lider veya fluting olarak kullanılabilir.

Kraft Liner:

Uzun elyaflı olan, çam, köknar, ladin gibi yumuşak odunlu ağaçlardan, sülfat prosesi ile üretilen yüksek mukavemetli bir kâğıt türüdür.

Kraft kâğıtlar, genellikle esmer (doğal rengi) renkte üretilirler, ancak istenirse tamamen beyaz veya sadece üst yüzeylerinde beyaz selüloz kullanılarak, White top adıyla da üretilebilirler. Ağırlıkları ise 125-450 gr/m2 arasında değişebilir.

Test Liner:

İkincil elyaf üzerine esmer veya beyaz birincil veya ikincil elyaf eklenerek üretilen iki veya üç katlı liner kâğıtlarıdır. Geri kazanmanın büyük önem taşıdığı günümüzde yaygın kullanımları vardır. Ağırlıkları 125-350 gr/m2 arasında değişebilir. Katkı maddeleri kullanılarak neme mukavemetleri artırılabilir.

NSSC:

Odunu kısa elyaflı olan akağaç, hus, okaliptüs gibi sert ağaçlardan, kısmen mekanik, kısmen kimyasal yolla üretilen bu kâğıt türü; oluklu mukavvaların ondüle tabakasının üretiminde kullanılır. Bu tür kâğıtlar elyaf yapıları nedeniyle nem ve ısı ile aldıkları şekli korurlar. Üretim yöntemlerini tanımlayan Neutral Sulfite Semi Chemical sözcüklerinin baş harfleri ile tanımlanan bu kâğıtlar, 85-200 gr/m2 olarak üretilebilirler. En yaygın kullanılan gramajları ise 112-127 gr/s2'dir.

Schrenz:

Her çeşit eski kâğıt elyafından yararlanılarak üretilen, genellikle gri görünümlü, istenirse renklendirilerek liner ve fluting olarak kullanılabilen düşük mukavemetli kâğıtlardır. Ağırlıkları 100-350 gr/m2 arasında değişir.

Geri Kazanılmış Kâğıt (Recycled):

Tamamı ikincil elyaftan üretilen kâğıtlardır, mukavemetleri düşüktür, ancak çeşitli katkı maddeleri kullanılarak artırılabilir. Ağırlıkları 85-220 gr/m2 arasında değişebilir. Bu kâğıtlar, farklı katkı maddeleri ve farklı elyaf kullanılarak üretildiklerinde, liner kağıdı olarak da artan oranlarda kullanılmaktadırlar.

Saman Fluting:

Samanın yarı kimyasal olarak işlenmesi ile elde edilen birincil elyafa, yaklaşık % 60 oranında ikincil elyaf katılarak, genellikle 140-160 gr/m2 olarak üretilen fluting kâğıtlarıdır. Yüzey ezilme değerleri yüksek olmasına karşın, nemden kolay etkilenirler. Ülkemizde 1977 yılından beri üretilmekte olan bu cins kâğıtların kullanımı yaygındır.

1.1.6. Oluklu mukavvada dalga cinsleri

Oluklu mukavva, ondüle edilmiş kağıdın, iki düz tabaka arasına yapıştırılması ile oluşur. Oluklu mukavvanın omurgasını meydana getiren oluklar; düşeyde bakıldığında kolonlara; yatayda ise bir açıklığı geçmenin en basit ve güvenli yolu olan kemerlere benzerler. Bu güçlü strüktüre karşın oluklu mukavvalar, her yönde kolayca kesilip katlanabilir.

Dalga:

Oluklara dik olan kesitte görülen ondüle, şekli nedeniyle dalga adıyla tanımlanır ve yüksekliğine, boyuna, metre'deki sayısına göre sınıflandırılır. Dalga şekli, oluklu mukavvanın fluting tabakasında liner'a oranla daha fazla kâğıt kullanılmasına neden olur. 1 metre liner'a karşın, dalga cinsine bağlı olarak kullanılan fluting miktarı, ondüle katsayısı (take-up faktörü) ile belirlenir.

Tablo 1.1. Dalga cinsine göre oluk sayısı (Türkiye Kalkınma Bankası, 2012)

Dalga cinsi	**Dalga yüksekliği**	**Dalga boyu (b)**	**Oluk sayısı/m**	**Ondüle katsayısı**
A-iri	4,0-4,8	8,0-9,5	105-125	1,48-1,53
B-ince	2,2-3,0	5,5-8,5	153-181	1,28-1,43
C-orta	3,2-4,0	6,8-8,0	125-147	1,42-150
E-mikro	1,0-1,8	3,0-3,5	285-334	1,22-1,29

Ondüle: Çeşitli dalga cinslerinde ondüle edilmiş kağıda verilen isimdir.
Oluklu Mukavva: En az üç tabaka kağıdın geometrik bir formla birleştirilerek elde edilen tabakadır. Şekil 1.1. de tek, çift ve üç dalga oluklu mukavva örnekleri görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 1.1. Oluklu Mukavva Örnekleri (a) Dalga çeşitleri, (b) Tek, çift, üç dalga

1.2. Kağıt/ Karton Ambalaj Sektörü

Son yıllarda değişen teknolojik ve ekonomik göstergelerle birlikte yaşam standartlarının yükselmesi, hızlı nüfus artışı, giderek artan şehirleşme oranı ve tüm bunlara bağlı olarak şekillenen tüketim alışkanlarının etkisiyle sadece Türkiye'de değil tüm dünyada ambalaj sektörünün piyasadaki değeri artmıştır. Bu durumla birlikte ambalaj, sadece ürünleri dış etkenlerden koruyan ve bozulmasını önleyen materyal olmaktan çıkmış özellikle ihracatta ürünlerin pazarlanmasını önemli ölçüde etkileyen bir faktör konumuna gelmiştir. Bu gelişmelerin sonucunda ise, kişi başına düşen ambalaj tüketim oranı hızla artmıştır. 2011 yılı ekonomik büyüklükleri temel alınarak değerlendirilen Türkiye'nin ilk 1000 sanayi kuruluşu arasında ambalaj dalında 55 firma bulunmaktadır (Türkiye Ambalaj Sanayi Raporu, 2012).

Değişen koşullara göre tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve ürünlere erişim kolaylaşmasıyla birlikte ambalaj tüketimi de artmıştır. Kişi başına düşen ambalaj tüketimi göstergelerine bakıldığında, 2010 yılı dünya ortalaması kişi başına 100$ olarak tespit edilmiştir. Bu değer, Japonya'da 550$, Kuzey Amerika ve Kanada'da 350-400$ arasında ve Batı Avrupa'da 250-300$ civarındadır. Türkiye'de ise 2010 yılında kişi başına düşen ambalaj tüketimi 140$'dır. 2011 yılında ise bu değerin 160$ olduğu tespit edilmiştir. Türkiye Ambalaj Sanayi Raporuna (2012) göre, kişi başına düşen ambalaj tüketiminin yaşam standardının gelişmesine bağlı olarak 300$'a ulaşması beklenmektedir (Yorulmaz, 2014).

1.3. Türkiye'nin Kağıt/ Karton Üretiminde Dünya'daki Yeri

Dünya kağıt-karton üretimi 390,7 milyon tondur. 2,5 milyon ton kağıt-karton üretimi ile Dünya sıralamasındaki yerimiz 25. sıra, 5,1 milyon ton kağıt-karton tüketimi ile

Dünya sıralamasındaki yerimiz 16. sıra ve 68,6 kg kişi başına kağıt-karton tüketimi ile Dünya sıralamasındaki yerimiz 50. sıradadır. Tüketimde 16. sırada ve üretimde 25. sıralarda olmak Türkiye'nin net kağıt-karton ithal eden bir ülke konumunu ortaya koymaktadır. Rakamların yansıttığı gerçek, Türkiye'nin kağıt-karton sanayiinin büyümeye açık bir ülke olduğudur. (URL-2).

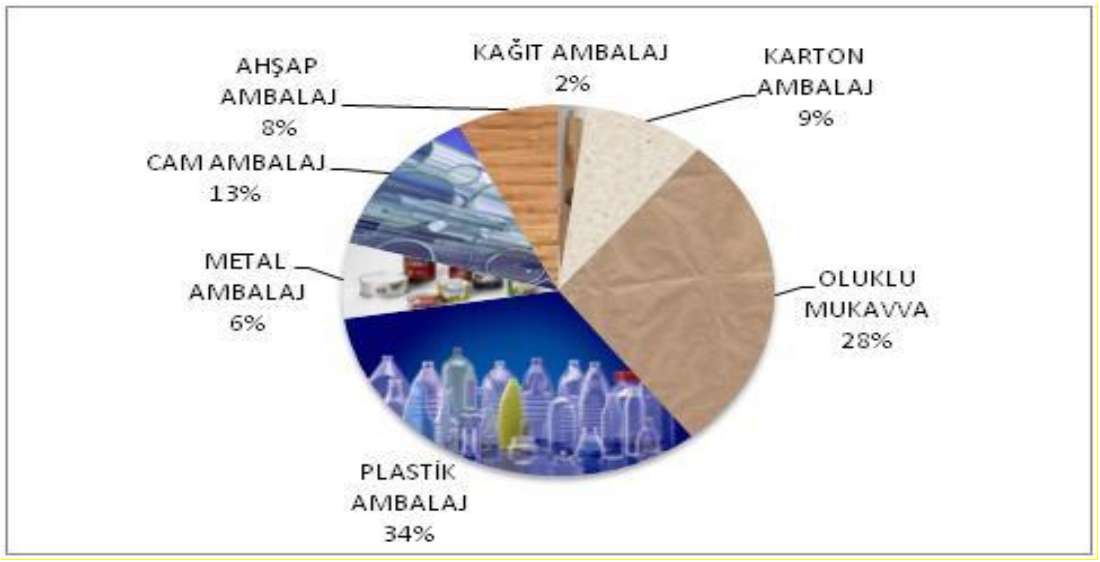
1.4. Ambalaj Sektörünün Büyümesi

Türkiye'deki gelişime bakılacak olursa alışveriş merkezlerinin çoğalmasına, yurtdışına satışların artışına ve kalite anlayışının değişmesine bağlı olarak yıldan yıla ambalaj üretiminin arttığı izlenir (Tablo 1.2).

Tablo 1.2. Malzeme Grubuna ve Yıllara Göre Üretim Miktarı (ton) (Ambalaj Sanayicileri Derneği, 2012)

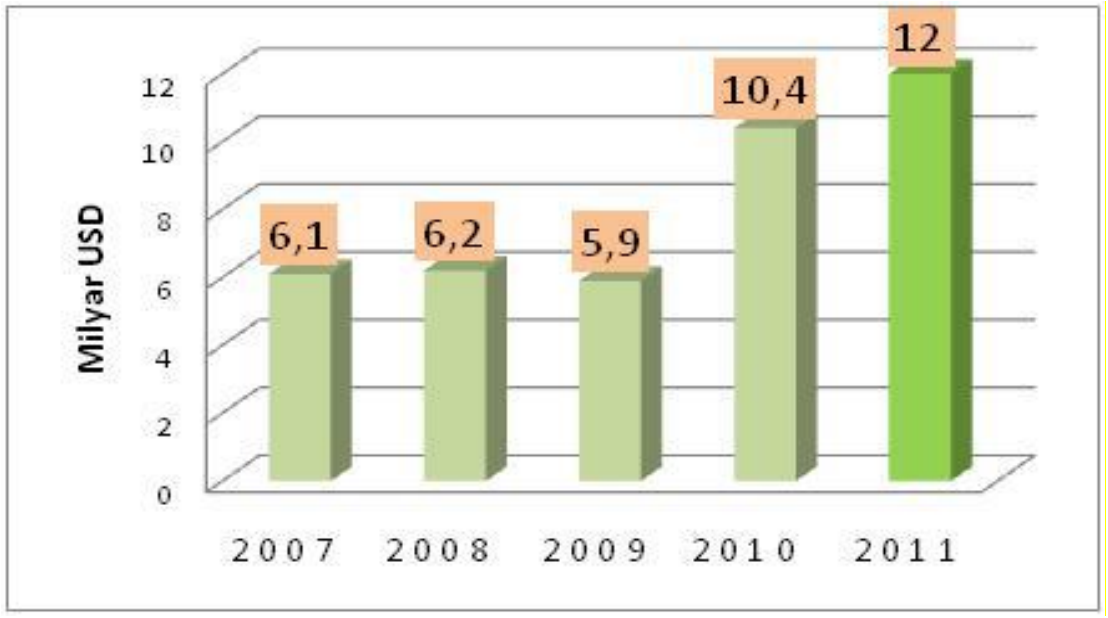
ÜRETİM DALI	2007	2008	2009	2010	2011
KAĞIT AMBALAJ	60.000	80.000	80.000	117.000	106.200
KARTON AMBALAJ	415.000	395000	418.000	503.000	564.000
OLUKLU MUKAVVA	1.370.000	1.387.000	1.389.000	1.564.000	1.702.500
PLASTİK AMBALAJ	1.470.000	1.530.000	1.560.000	1.834.500	2.012.700
METAL AMBALAJ	299.500	328.000	309.000	365.500	364.000
CAM AMBALAJ	659.000	697.000	567.000	734.000	772.000
AHŞAP AMBALAJ	385.000	385.000	385.000	420.000	453.600
TOPLAM	4.658.500	4.802.500	4.708.500	5.538.000	5.975.000

Malzeme gruplarına göre dağılım incelendiğinde ise kağıt, karton, oluklu mukavva ambalajın % 38 ile diğer ambalaj çeşitleri içinde yüzdesinin büyüklüğü Şekil 1.2. de görülmektedir.



Şekil 1.2. Malzeme Grubuna Göre 2011 Yılı Üretim Dağılımı (URL-1)

Şekil 1.3.'de ambalaj sektörünün büyümesi yıllar bazında gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Yıllara Göre Ambalaj Sektör Büyüklüğü (URL-1)

Türkiye Ambalaj Sanayi 2011 yılında 12 milyar dolara yakın bir boyuta erişmiştir. Dış ticaret göstergeleri dikkate aldığında Ambalaj Sektör büyüklüğünün gittikçe daha artacağı öngörülmektedir (URL-1).

1.5. Kağıt / Karton Ambalaj Sektörünün Sorunları

Sektör, dünyadaki teknolojik gelişmeler, lojistik gereksinimler ve çağımızın gerekleri göz önüne alındığı zaman giderek daha da büyüyecektir.

Ülkemizde şehirleşmenin çoğalması, tüketicinin bilinçlenmesiyle beklentilerinin artması, büyük mağazaların gösterdiği gelişme ve lojistik sektörünün büyümesi ambalaj sektörüne ayrı bir ivme kazandırmıştır.

Ancak sektörün sorunları vardır. En önemlisi üretim maliyetleridir. Hammadde ve malzemelerde kalite ve standart sorunu yaşanmaktadır. Ayrıca yetişmiş eleman sıkıntısı da mevcuttur. Yetişmiş eleman için meslek yüksekokulları düşünülürken, hammaddedeki kalite sorunu, ithalat yapılarak çözülmeye çalışılmaktadır. İthalattaki tedarik sürelerinin uzun oluşu ise üretim planlamada problem olarak sıkıntı yaratmaktadır.

Basit anlamda problem, müşteri talepleri karşılanıyorken kesim işleminin en ekonomik şekilde tamamlanmasıdır.

Üretici, müşterisini kaybetmemek için, zorunlu olarak, ya çeşitli enlerde karton bobinlerini stokta tutmakta ya da daha küçük genişlikteki ambalaj kalıplarını, kesme kaybını göze alarak, geniş bobinlerden kesmektedir. Bu da maliyeti artırmaktadır. Az karla çalışmakta olan sektörün üretim maliyetlerinin, mutlaka düşürülmesi gerekmektedir (Demircioğlu, 2003). Bu tür problemlerde asıl amaç müşteri sipariş şartlarını karşılarken kesme kaybını, artıkları en küçüklemektir.

2. KESME VE PAKETLEME PROBLEMLERİ

Küçük ebatlardaki parçaların büyük boyutlu malzemelerden elde edilebilmesi için yapılan işleme "kesme" denir. En uygun şekilde kesilmesi problemi ise "stok kesme problemi" olarak adlandırılır.

2.1. Kesme ve Paketleme Problemi

Cam, kağıt, tekstil, metal, mobilya, mermer ve benzeri sektörlerde, üretim sürecinin büyük bir kısmını, büyük boyuttaki ana stok malzemesinden çeşitli miktar ve boyutta daha küçük parçaların uygun şekilde kesilmesi işlemi oluşturur. Ya da tersini düşündüğünüzde tüm küçük parçaların en az bir ana malzemeye atanması işlemidir. Bu tür endüstrilerde ana malzemenin en verimli şekilde kullanılması ve kesme kaybının en küçüklenmesi temel amaçlardan biridir. Alınan siparişlere göre uygun boyuttaki ana malzemenin seçimi ve uygun kesim planlarının oluşturulması problemleri ortaya çıkar.

Bir seferde daha fazla ürünü bir yerden diğerine taşımak isteyen nakliye firmalarında da ürünleri palet, konteynır, kutu, araç vb. içerisine en uygun şekilde yerleştirerek araç kapasitesini en iyi kullanıp araç sayısını en aza indirmek çok önemlidir, böylece farklı boyuttaki birçok parçanın belirli bir alan üzerine en uygun şekilde yerleştirme problemleri ile karşılaşılır.

Kesilecek malzemeye, ana malzeme, kesilen küçük parçalara ise sipariş parçası denmektedir (Saraç, 2001). Kesme işlemini, stok malzemesi hacmi içerisinde küçük parçaların paketlenmesi olarak; paketleme işlemini de küçük parçalar için stok malzemelerin kesilmesi olarak ele aldığımızda ambalaj sektöründeki paketleme işlemi ile benzerlik ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle kesme problemleri literatürde genellikle kesme ve paketleme problemi (cutting and packing problem, C&P) olarak ele alınmaktadır (Adakçı, 2010).

Konuya, kısıtlı kaynaklardan amaca yönelik en büyük verimi elde etmek diye bakılacak olursa kısıtlı bir alana küçük nesnelerin yerleşimi: tesis planlaması, raf düzenlemesi, bellek tahsisi, devre kartlarının tasarlanması, kutu istifleme, palet ve konteynır yükleme, sırt çantası yükleme gibi problemler; kısıtlı kaynak olarak ana malzemeye zaman olarak bakılacak olursa: hat dengeleme, çizelgeleme; para olarak bakılacak olursa sermaye bütçeleme gibi problemler de örnekler arasına girmektedir. Tekstilde, giyimde kağıtlar üzerine çizilen model patronları kumaşın üzerine kumaş kaybını en azlayacak şekilde yerleştirilerek kesim yapılmakta, kesme fireleri azaltılmaya çalışılmaktadır. Örneklerin hepsinin kendilerine has karakteristikleri olsa da aynı mantıksal yapıya sahip C&P problemleri sınıfına girmektedir.

Problem tam sayılı programlama formunda modellenebilir ve zor bir kombinatoryal yapıyı desteklemektedir. Bobin kesme problemi, Yöneylem araştırmasında bir boyutlu stok kesme problemi (SKP) veya kesme kaybı problemi olarak ortaya çıkar. Formül 1939 yılında bir lineer programlama formunda Nobel ödüllü Kantorovich tarafından ortaya konmuşsa da kombinatoryal optimizasyon modeli olarak bir boyutlu paketleme daha iyi bir çözüm sağlar. Pratikte, kolaylaştırmak için problem, talebin arttığı ve müşteri teslimatlarının minimum kesme kaybı ve maksimum memnuniyet ile karşılandığı bir üretim çizelgeleme problemi olarak varsayılabilir (Aydın ve Taylan, 2013).

Kesme ve paketleme problemleri, Kombinatoryal Optimizasyon Problemleri sınıfında yer almaktadır ve bu konudaki ilk yayınlar Gilmore ve Gomory tarafından 1961 ve 1965'te yapılmıştır (Ergün, 2004).

Kesme ve Paketleme problemleri literatürde aynı mantıksal yapıya sahip farklı başlıklar altında incelenmektedir (Dyckhoff, 1990):

1) Stok kesme (cutting stock) ve kesme kayıpları (trim loss) problemleri,

2) Paketleme problemleri (bin packing, dual bin packing, vector packing) ve sırt çantası (knapsack) problemleri,

3) Araç yükleme (vehicle loading), palet yükleme (pallet loading), konteyner yükleme (container loading) problemleri,

4) Ana malzeme seçimi (assortment), boşaltma (depletion), tasarım (design), bölme (dividing), tesis yerleşimi (layout) problemleri,

5) Sermaye bütçelemesi (capital budgeting), hat dengeleme (line balancing), hafıza tahsisi (memory allocation) problemleridir.

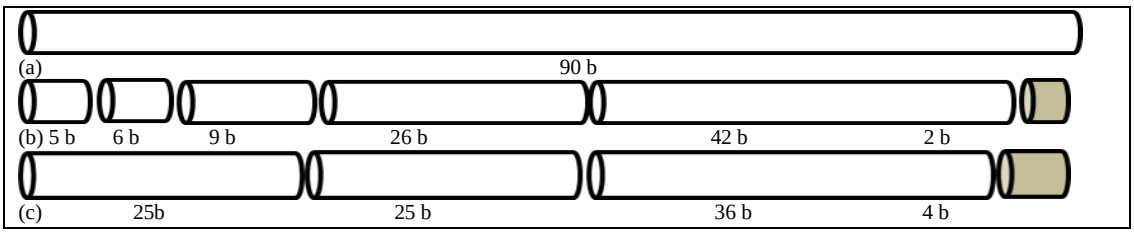
Malzeme kesme problemleri incelendiğinde göz önüne alınması gereken birçok unsur olduğu görülmektedir. Bunlar: problemin boyutu, kullanılan ana levhanın türü, kesilecek olan nesnelerin türü, kesme işleminin çeşidi, benimsenen kısıtlar ve hedeflenen amaçlardır (Akın ve Aras, 2009).

C&P problemlerindeki benzerlik ve farkları kategorilere ayırarak bakmak, çözümleri aynı çatı altında toplayıp kıyaslamak böylece örnek uzayını genişletip daha anlaşılabilir hale getirerek araştırmacıların önünü açmak fikriyle 1992 yılında Dyckhoff ve Finke bir kitap yayımlamışlardır ve hazırladıkları kitapta tüm kategorileri ve sınıflamaları tanımladıktan sonra her konu ile ilgili yayım yapanların isimlerini tablolarda belirtmişlerdir (Dyckhoff ve Finke, 1992).

2.2. Kesim Planı Tanımı

Küçük parçaları büyük parça üzerine yerleştirme şekline yerleşim veya kesim planı tanımı yapılmaktadır. Yerleşim planında kullanılmayan alana veya yerleşim sırasında olup da yerleşim planında yer almayan parçalara ise fire denir (Söke ve Bingül, 2004). Kesme problemlerinin amacı yerleştirmenin yapılacağı büyük parçanın kullanılabilirliğini arttırmak ve böylelikle kullanılmayan alanı başka bir deyişle firesi en az olan yerleşim planını bulmaktır (Hopper ve Turton, 1997).

Kesme planları kesme kaybını en küçükleyecek ölçüde oluşturulmalıdır. Yaratılan kesme planı daha sonra stoktaki ana malzemeyi kesmede bir kural olarak atanır. Örneğin Şekil 2.1 de a), b) ve c)'de ayrı ayrı "5 ile 42 birim arasında olan siparişler, 90 birimlik radyatör borusundan, fire en küçüklenerek nasıl kesilir?" problemine örnek bir gösterimdir.



Şekil 2.1. Boru kesme (Dyckhoff ve Finke, 1992)

Plandaki kesme kaybı ise 4 birim olarak görülmektedir.

Kesme problemleri, yerleştirilecek parça sayısı 10 -15 arasında olduğunda kolay problemler, parça sayısı 25-30 arasında olduğunda zor problemler olarak adlandırılır. Fire değerleri kolay problemler için %0'dan başlayan zor problemler için %8'e kadar artan miktarlarda değiştiğinde kabul edilebilir standartlar arasındadır (Leung, Yung, Trout, 2001). Ancak üretim maliyetlerini artırması nedeniyle fire oranlarını düşürme ve seçilecek ana malzeme ebatlarının hesaplanması çalışmaları halen sürdürülmektedir.

2.2.1. Kesim planları karakteristikleri

Oluşturulan kesim planlarının geometrik kombinasyon esaslarına uyması gerekir. Belirli bir kesim planı oluşturmak üzere bir araya getirilen parçalar, atandıkları malzemelerin geometrik sınırlarını asmamalıdır. Bunun yanında, kesim planları oluşturulurken göz önünde bulundurulması gereken bazı kısıtlar söz konusu olabilir (Yavuz, 2005).

Mesafe/ Aralık Kısıtı:

Bazı kesme ve yerleştirme problemlerinde, stok malzemeleri daha küçük parçalara bölünürken, parçalar veya kesimler arasında bırakılması gereken en az ya da en büyük mesafe kısıtlarına uyulması gerekir. Özellikle cam levhalar gibi malzemelerin kesilmesi sırasında kesici disklerin kayma riskine karsı parçalar arasında belirli bir mesafe bırakılmaktadır. Malzemelerin kenarlarındaki düzensizlikler için de kesim sırasında paylar bırakılması gerekebilir. Yükleme problemlerinde, parçalar arasında bırakılması gereken en az ve en büyük mesafeler dengenin sağlanabilmesi açısından önemlidir.

Pozisyon (Çevirme) Kısıtı:

Kesim planında yer alan parçaların birbirine veya malzemeye göre yerleşimi ile ilgili kısıtlar bulunabilir. Bu kısıtlar genellikle tekstil, kağıt, maden ve ağaç endüstrilerinde yaygındır. Desenli kumaşların kesiminde veya kırılabilir parçaların yüklenmesinde parçaların pozisyonları önemli olabilmektedir. Kağıt endüstrisinde, kağıt bobinlerden

kesilecek parçaların yerleşiminin, kağıdın su yönü denilen lifleri doğrultusunda olması gerekmektedir.

Parça Çeşidi Kısıtı:

Bir kesim planında yer alabilecek parça çeşidi kısıtlanmış olabilir. Bu kısıtlar özellikle yerleştirme problemlerinde, konteynır içerisine belirli siparişlerin yüklenmesi gerektiği durumlarda ya da kesimde kullanılan makinalarla ilgili olarak, kesim planında yer alan parça çeşidini sınırlandıran teknik kısıtların söz konusu olduğu şartlarda ortaya çıkmaktadır.

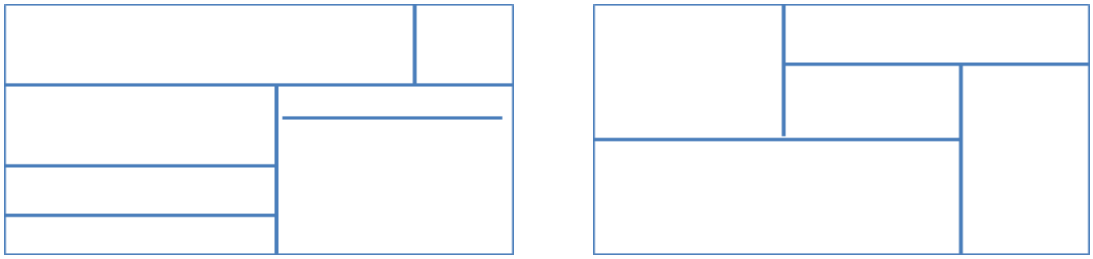
Kesim Planı Çeşidine İlişkin Kısıtlar:

Stok malzemelerinden nihai parçaları elde etmek üzere hazırlanan kesim planları sayısına ilişkin kısıtlar söz konusu olabilmektedir. Kesim planlarını değiştirme sıklığını-kesim düzeneklerini değiştirmeye ilişkin hazırlık maliyetlerini- azaltmak amacıyla, aynı çeşit kesim planları için en az uygulanma sıklığı belirlenmekte ya da kesim süreci boyunca uygulanacak kesim planı çeşidi sınırlandırılmaktadır. Aynı amaçla, belirli bir kesim planında bulunan parça çeşidi için üst sınır belirlenebilmektedir.

Kesim Türü:

Parçaların stok malzemeleri üzerindeki yerleşim düzeni ile ilgilidir. Dikdörtgen şeklindeki malzemeler, dik (ortogonal) veya farklı açılarda kesilebilir. Ortogonal kesim planlarında parçalar, stok malzemelerinin kenarlarına paralel bir şekilde yerleştirilmektedir. Kesim açısının 90° den farklı olduğu durumlarda ortogonal olmayan kesim planlarından söz edilir. Ortogonal kesim planlarında giyotin veya yuvalanmış (iç içe geçmiş) kesim türleri söz konusu olabilir. Kesim makinalarına ilişkin teknik kısıtlardan dolayı kesme problemlerinde genellikle giyotin tarzı kesimle karşılaşılmaktadır. Giyotin kesim yönteminde, her bir kesim işlemi başladığı doğrultuda devam etmekte; kesim işlemi boyunca kesim yönü değiştirilmemektedir. Yuvalanmış kesim planlarında ise, kesme işlemi herhangi bir noktada kesintiye uğratılarak kesim doğrultusu değiştirilebilmektedir Şekil 2.2. Bu tür kesim planları, kesme problemlerinden ziyade yerleştirme/yükleme problemlerinde söz konusudur;

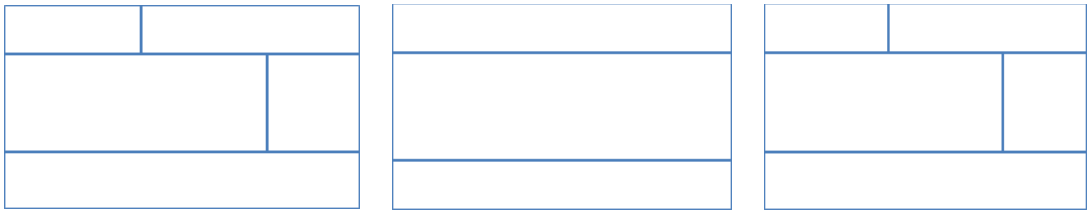
denge şartının sağlanabilmesi amacıyla, uygulamada özellikle tercih edilen bir yöntemdir.



(a) (b)

Şekil 2.2. Kesim Planları: (a) Giyotin, (b) Yuvalanmış

Stok malzemesinden bir parçayı elde etmek üzere uygulanması gereken kesim sayısına bağlı olarak giyotin kesim planları bir ya da daha fazla aşamalı olabilmektedir. Şekil 2.3'de bir, iki ve üç aşamalı giyotin kesim planlarına örnek verilmektedir.



(a) (b) (c)

Şekil 2.3. Giyotin Kesim Planları: (a) Bir, (b) İki, (c) Üç Aşamalı

Kesim Süreci:

Tek aşamalı kesim süreçlerinde, gerçekte ardışık işlemlerden meydana gelen sürecin, tüm işlemlerin aynı anda kesintisiz bir şekilde yerine getirilmesiyle tek bir aşamada tamamlandığı düşünülmektedir. Çok aşamalı kesim süreçlerinde ise birbirinden bağımsız birden fazla kesim aşaması bulunmaktadır. Bir kesim aşamasını oluşturulan işlemler tamamlandıktan sonra, kesim sürecinin bir sonraki aşamasına geçilmektedir. Stok malzemelerinden nihai ürünleri elde etmek üzere birbirinden farklı birden fazla makinada kesim işleminin yapılması gerekiyorsa çok aşamalı kesim sürecinden bahsedilebilir (Yavuz, 2005).

2.2.2. Stok kesme problemlerinin sınıflandırılması

C&P problemleri iki kategoriye ayrılmaktadır (Dyckhoff ve Finke, 1992):

a) Mantıksal yapıya dayanan karakteristikler

b) Gerçekliğe dayanan karakteristikler.

C&P problemlerinin tanımlanmasında mantıksal yapıya bağlı sınıflandırmalarda çoğunlukla Dyckhoff ve Finke (1992) tarafından geliştirilen sınıflandırma esas alınmaktadır, Tablo 2.1.

Tablo 2.1. C&P Problemlerinin Mantıksal Yapıya Dayalı Sınıflandırılması

Karakteristik	**Özellikler**
Boyut	Bir boyutlu İki boyutlu Üç boyutlu N boyutlu
Atama Türü	Tür I : Tüm stok malzemeleri, Tüm parçalar Tür II : Tüm stok malzemeleri, Parça kümesinden seçilen elemanlar Tür III: Stok malzemesi kümesinden seçilen elemanlar, Tüm parçalar Tür IV: Stok malzemesi kümesinden seçilen elemanlar, Parça kümesinden seçilen elemanlar
Stok Malzemelerinin Çeşitliliği	1)Miktar ölçüm türü (kesikli, sürekli) 2)Desen(Şekli): Form(dikdörtgen, dikdörtgen olmayan) Oryantasyon(sabit, seçmeli, 90 paralel, 90 seçmeli) 3)Ana mlz çeşidi: Homojen (sabit, değişken) Heterojen(sabit, değişken, her desen için az nesne, her desen için çok nesne) 4)Uygunluk: Her desen için sayı(limitli, limitsiz, karma) Sıralama(sırasız, kısmi sıralı, tamamı sıralı) Zaman(benzer zaman, farklı zaman)
Plan kısıtları	1)Geometrik özellikler: Mesafe kısıtları(parçalar arası, köşelere olan uzaklık) Sıklık limitleri(desenlerin limitli kombinasyonları, desenlerin limitli Sayıları, parçaların limitli sayıları) Ayırma kısıtları(ortagonal olmayan örnekler, yuvalanmış örnekler, sabit sayıda aşamalı giyotinli örnekler, limitsiz sayıda aşamalı giyotinli örnekler 2)Operasyonel özellikler(organizasyonel): Aşama sayısı (tek, çok) Örnek sırası (tercihe bağlı, kısıtlı) Örnek sıklığı (sınırlı sayıda değişik örnek, en az sayıda benzer örnek) 3)Yerleşim dinamikleri: Dinamik Statik (süreksiz, sürekli)
Amaçlar	Girdi minimizasyonu Kesme kaybı en küçüklenmesi(mutlak) Kesme kaybı en küçüklenmesi(göreceli) Değer en büyüklenmesi Maliyet en küçüklenmesi(malzeme/alan) Değişim maliyeti en küçüklenmesi Envanter maliyeti en küçüklenmesi…v.s.
Veri türü	Bilgi durumu (deterministik, olasılıksal, belirli olmayan) Veri değişkenliği (sabit veri, değişken veri)
Çözüm Metodları	Nesne tabanlı metotlar Örnek tabanlı metotlar(tek örnekli, çok örnekli)

Tablo 2.2 ise gerçek temelli sınıflandırmayı özetlemektedir. Burada gerçek uygulamada arka planda olan ve dikkat edilmesi gereken hususların sınıflandırılması yapılmaktadır.

Tablo 2.2. C&P Problemlerinin Gerçekliğe Dayalı Sınıflandırılması (Dyckhoff ve Finke, 1992)

Karakteristikler	**Özellikler**
Nesne ve parçaların çeşitleri ve sanayi dalı	Büyük nesnelerin çeşitleri Küçük parçaların çeşitleri Sanayi dalı
Plan kapsamı	1)Kesme problemleri: Sipariş yönetimi Zamanlama Kapasite planlaması Sıralama Üretim metodu seçimi Sayısal kontrol Envanter planlama Malzeme ihtiyaç planlama Tedarik planlama… v.s… 2)Paketleme problemleri: Dengeleme koşulları Kararlılık koşulları Paketleme(ambalaj) planlaması Taşıma planlaması…v.s….
Yazılım	Pratik uygulamalar Simülasyon

2.3. Literatürde C&P Problemlerinin Sınıflandırılması

Literatürde C&P problemlerinin sınıflandırılması iki grupta toplanmaktadır: 1) Genel Türleri, 2) Ana Malzeme Seçim Problemleri.

2.3.1. Genel türleri

Dyckhoff ve Finke (1992), C&P problemlerinin genel türlerini

a) Boyut,

b) Atamanın türü ve

c) Parçaların çeşitliliği

karakteristikleri ile tanımlamışlardır.

a) Boyut

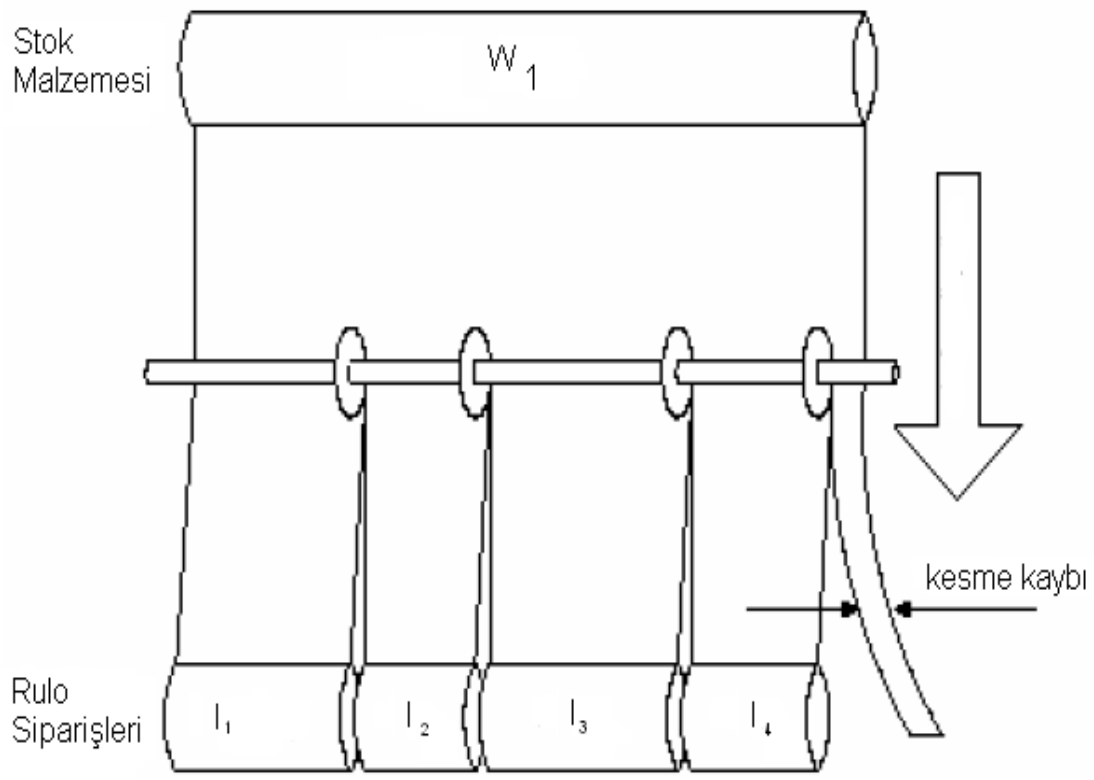
1 Boyutlu,

2 Boyutlu,

3 Boyutlu.

Kağıt bobinleri, metal çubuklar gibi parçaların kesimi genellikle “bir boyutlu”, palet yerleştirme, büyük dikdörtgen ana malzemelerden küçük dikdörtgen sipariş

parçalarının kesilmesi “iki boyutlu”; konteyner yerleştirme, ambalaj kutularına yerleştirme gibi problemler “üç boyutlu” dur. Boyut sayısı üçten fazla olduğunda “çok boyutlu” olarak adlandırılır. Dört boyutlu problemler, üç boyutlu bir paketleme probleminin zaman boyutunun da katılmasıyla dört boyutlu bir uzayda gerçekleşmesi ile ortaya çıkabilir (Dyckhoff, 1990). Bir buçuk boyutlu problemler, iki boyutlu problemlerin özel bir durumudur. Dikdörtgen malzemeler çok uzun bobinler üzerine yerleştirileceği zaman bu tip problemler ortaya çıkar (Chauny ve diğerleri, 1991). Dikdörtgen parçalar kesiliyor olmasına rağmen problem iki boyutlu değildir çünkü ana malzeme boyunca uzanan yan fire, bir boyutu ile tanımlanabilmektedir. Problem, kesilecek parçaların yerleştirilmesi sırasında hem boy hem de enlerinin göz önünde bulundurulma zorunluluğu nedeniyle bir boyutlu problemden daha karmaşıktır (Haessler ve Sweeney, 1991). Dyckhoff’un yaptığı sınıflandırmada 1.5 boyutlu stok kesme problemi olarak tanımlama olmasına rağmen literatür incelendiğinde özellikle son zamanlardaki bu tür problemlerin bir boyutlu çeşitli endeki stok malzemeli stok kesme problemi olarak tanımlandığı görülmüştür (Adakçı, 2010).



Şekil 2.4. 1 Boyutlu Giyotinli Kesim Örneği

Şekil 2.4'te çeşitli W1 eninde stok malzemesinden l1, l2, l3, l4, enlerindeki siparişlerin giyotinli olarak kesilmesi ve kesme kaybı da belirtilmektedir.

b) Atama biçimi

Stok kesme probleminin karmaşıklığını etkileyen diğer önemli karakteristiği atama biçimidir. Üç tip atama biçimi kabul edilmiştir. Birincisi (2.tür), tüm stok malzemeleri tüketilecek ve buna karşılık tüm siparişlerin karşılanması zorunlu değildir. İkincisinde (3.tür) ise tüm siparişleri karşılanırken stok malzemelerinin belirli miktarı kullanılacaktır. Üçüncüsünde (4.tür) ise hem stok malzemelerinin hem de küçük parçaların belirli kısmı seçilecektir.

c) Küçük parçaların çeşitliliği

Homojen : tek çeşit parça
Heterojen: her desen çeşidi için az sayıda parça
Heterojen : her desen çeşidi için çok sayıda parça

C&P problemlerinin 4 genel türü aşağıdaki isimlerle tanımlanmıştır ve bu sınıflandırma atama türü ve parça çeşitliliğine bakarak yapılmıştır:

Paketleme problemi (Bin packing….: BP),
Stok kesme problemi (Cutting stock..: CS),
Sırt çantası problemi (Knapsack……: KS),
Palet yükleme problemi (Pallet loading..: PL).

Tablo 2.3 C&P problemlerini, atama türü ve parçaların çeşitliliğine göre genel özellikleri ile göstermektedir (Dychkhoff ve Finke, 1992).

Tablo 2.3. Parça çeşitliliği ve Atama türüne göre C&P problemi Türleri

			Atama Türü	
			2.tür atama	**3.veya 4. Tür Atama**
Parçaların Çeşitliliği	**Homojen**		PL	
	Heterojen	Her desen için az sayıda parça	KS	BP
		Her desen için çok sayıda parça	KS	CS

BP problemlerinde çeşitli parçaların tamamının veya seçilmiş bir kısmının, seçilmiş ana malzemeye atanması söz konusudur. Bu tip problemlerin genellikle kompleks bir yapısı vardır, NP-tam problemlerdir ve basit sezgisel yöntemlerle çözülürler.

CS problemlerinde BP problemlerine nazaran daha az çeşit ile çalışılmaktadır ama her çeşitte çok parça vardır. Çeşit az olduğu için grupların oluşturulması mümkündür ve küçük parçaların ana malzemeye atanmasında "plan tekrarı" söz konusudur. Problem bu şekliyle daha basitleşir ve tam çözüm elde edilebilir (simpleks-algoritmaları vb).

KS problemlerinde stoktaki ana malzeme kısıtlı olduğundan bu malzemelere atanacak parçaların seçimi söz konusudur ve genellikle tek ana malzeme vardır. Dal-sınır algoritması ve dinamik programlama bu tip problemlere hizmet eder.

PL problemlerinde homojen yani tek çeşit olan parçalar genellikle yine homojen olan ana malzemeye atandığından tek temsili çözüm yeterli olmaktadır.

Problemlere boyutun da ilave edilmesiyle literatür incelendiğinde Tablo 2.4'teki 12 ayrı genel analiz grubu elde edilmektedir (Dychkhoff ve Finke, 1992).

Tablo 2.4 C&P Problemlerinin Genel Türleri

	BP	**CS**	**KS**	**PL**
1 Boyutlu	BP1	CS1	KS1	PL1
2 Boyutlu	BP2	CS2	KS2	PL2
3 Boyutlu	BP3	CS3	KS3	PL3

2.3.2. Ana malzeme seçim problemleri

Kesme süreci ile ilgili olarak elde edilmesi gereken sipariş parçalarına uygun ana malzemenin belirlenmesi problemidir. Ana malzeme seçim problemi (assortment problem) işletmelere çeşitli ebatta, kalitede, bilinen veya beklenen miktarda talebin gelmesiyle başlar. Depolama ve üretim kısıtları, finansman zorlukları ve değişik boyutlarda stok tutma maliyetleri nedeniyle azaltılmış çeşitlilikte stok vardır. Talepler stokta olmayan ebatlardan geliyorsa çaresiz en yakın ebatlardan üretim gerçekleştirilmektedir. Ancak bu durumda fire miktarlarının artması kaçınılmazdır.

Problem, maliyetleri minimize etmek amacıyla elde bulundurulması gereken ve fireyi minimize edecek stok çeşit sayısının saptanabilmesidir (Pentico, 2008).

2008 yılında Pentico tarafından yapılan bir araştırmada "Malzeme çeşitliliği problemleri" tanımlamasını ilk kez, stoklanacak çelik kirişlerin ağırlık ve güçlerini belirleyen çalışmayı yapan Sadowski (Sadowski, 1959) 1959 yılında kullanmıştır. Bu tanımlamayı kullanmadan benzer bir malzeme çeşitliliği çalışması yapan Hannssmann 1957 yılında boş koltuklardan dolayı maliyetleri minimize etmek için otobüslerdeki koltuk sayısının ne olması gerektiği ile ilgili bir çalışma yapmıştır.

1971 yılında Rutenberg ürün tasarımında meşale başlıkları ve araba mafsalları ölçülerindeki çeşitlilik probleminden bahsetmiştir.

1980 lerde malzeme çeşitliliği ve kesme kaybı problemleri üzerinde ilk çalışanlardan biri Hinxman (Hinxman, 1980) ağırlıklı olarak büyük bir parçadan birçok küçük parça en az kesme kaybıyla nasıl kesilebilir problemi üzerinde çalışmış, ana malzeme çeşitliliği ile de ilgilenmiştir.

Gasimov ve ark. (2007): Çok amaçlı karma doğrusal programlama modeline sırasıyla kesme kaybı ve toplam stok maliyetlerini en küçüklemeyi ilave amaç olarak ekleyerek çözüm bulmuşlar. Aynı problem doğrusal olmayan şekilde de modellenerek üreticinin belirli genişlikteki bobinleri seçmesi durumu da çalışılmıştır.

Literatürde malzeme çeşitliliği problemleri bazı özellikleriyle birbirlerinden ayrılmaktadır, şöyleki (Pentico, 2008):

1. Talebe göre : Sezgisel ve Deterministik
2. Talep modeline göre : Sürekli, kesikli,…
3. Boyuta göre : 1,…çok boyutlu
4. Stoklanacak boyut sayısına göre: sabit sayı, belirlenecek sayı
5. Mali yapısının değişimine göre: Doğrusal, doğrusal olmayan…
6. Stoklanacak modellerdeki kararlılığa göre: Hareketsiz, hareketli…

2.4. Kesme Problemlerinde Kullanılan Çözüm Yöntemleri

Kesme problemlerinde hedef ana malzeme çeşitliliğinin en küçüklenmesi, kesme kayıplarının en küçüklenmesi, kapasite kullanımının en büyüklenmesi ve stok

maliyetlerinin optimize edilmesidir. Çözümlerde kullanılan yöntemleri 3 ana başlık altında toplamak olasıdır:

1. Analitik yöntemler
2. Sezgisel Yöntemler
3. Karma Yöntemler

2.5. Literatür Taraması

İşletmelerin, değişik genişlik ve uzunluktaki tabakaları bobinlerden keserken atık kağıt miktarını, fireyi azaltabilmek için uygun genişlikteki bobinleri seçmeleri gerekir. Stokta çok çeşitli bobin tutmak ise stok oluşturmakta ve stok maliyetlerini çok yükseltmektedir.

Stokta hem az çeşit bobin tutmak hem de kesme kayıplarını yok edebilmek için araştırmalar yapılmaktadır. Çalışmaların bazıları en çok kullanılan bobin genişliklerini araştırarak sadece onları depoda bulundurma üzerine bazıları ana bobinden, istenilen genişlikte, alt bobinler kesme sırasındaki kesme kayıplarını yok etme üzerine bazıları ambalaj kalıplarını müşterinin istediği ölçülerde keserken oluşacak kesme kayıplarını en küçükleme üzerine bazıları en uygun kesme planını oluşturma bazıları da kesme planlarını sıraya sokma üzerinedir.

Amaç, stok bulundurma maliyetleri ve kesme kaybı maliyetlerini de içine alan toplam maliyetleri en küçükleyebilmektir.

Stok Kesme problemi, ilk olarak 1939'da Rus matematikçi Kantorovich tarafından ele alınmıştır. 1960'da Batı'da yayınlanan bu çalışmada, tek boyutlu stok kesme problemi, her biri n adet makinada işlenebilecek m adet işin çizelgelenmesi probleminin bir uzantısı olarak tanımlanmış ve bu doğrultuda firenin en küçüklenmesine yönelik tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.

Literatürde Stok Kesme probleminin temeli, Gilmore ve Gomory'nin (1961, 1963, 1964, 1966) çalışmalarına dayandırılmaktadır. Gilmore ve Gomory (1964), 1961 ve 1963'te yayınlanan çalışmalarında tek boyutlu stok kesme problemleri için geliştirdikleri sütun oluşturma tekniğini iki ve üç boyutlu problemler için de kullanmışlardır.

Harjunkoski I. ve Westerlund T., (1998) kağıt kesme işleminde en önemli sorunlardan biri müşterinin istediği genişlikte kağıtları kesip bobinleri oluştururken ortaya çıkan kesme kayıplarıdır diyerek makalelerinde kağıt kesme fabrikası ile kağıt üretim fabrikalarının birlikteliğinin oluşturacağı ana konular tartışmışlardır. En önemli güçlük müşterilerin istediği genişlikler ile fabrikanın bobin genişliklerini bir arada formüle ederek firelerin önlenmesidir. İki problem vardır: 1. Kağıt kesme makinelerinin belirli genişlikte olması 2. Bu genişlikten bir seferde kesilebilecek makara sayısı. Zor bir kombinatoryal problemdir. Bu çalışmada doğru bir model kurularak kesme kaybının en aza hatta sıfıra indirgenebileceği gösterilmiştir.

Correia M. H., (2004) yaptığı bir çalışma ana bobinden kağıt tabaka ve bobin kesimi sırasında oluşacak kesme kaybının minimize edilmesi üzerinedir. İki doğrusal programlama modeli oluşturularak test edilen modelde bir uygulama örneği verilmiştir: Portekiz'de bir kağıt fabrikasında ortaya çıkan stok kesme problemine bağlı olarak COOL sistemi geliştirilmiş ve kesme kaybının minimizasyonu sağlanmıştır.

Kesme kayıplarını yok edebilmek için büyük sayılarda bobin çeşitlerine ihtiyaç vardır ki bu kadar çeşidi envanterde tutma olanağı yoktur. Envanterdeki bobin çeşitlerinden tabakalar kesilirken kesme kaybı ortaya çıkmaktadır. Uygun bobinin seçimi ise performansı artıracaktır tezini savunan Chauhan, Martel ve D'Amour (2008) yazdıkları bir makalede kurdukları modelde bazı varsayımlarla, talebe göre ana bobin çeşidine, istenen kesme kaybı ve envanter maliyetine karar vererek değişkenleri atayabileceklerini göstermişlerdir.

Raffensperger J. F., (2009) yazdığı bir makalede iki yeni tek boyutlu kesim stoğu modelini tanıtmıştır. Bunlardan birincisi genelleştirilmiş çeşitler ve ikincisi ise kesim stoğu uzunluğu problemidir.

Tombus ve diğ., (2010) yaptıkları bir çalışma da ambalaj sektöründe bobin tipleri çeşitlerine karar vermede ışık tutacak yeni bir modelin oluşturulmasıdır. Yapılmak istenen envanterdeki bobin çeşitlerine karar verirken fire maliyeti ile envanter tutma maliyeti arasındaki geçişin göz önünde bulundurulmasıdır. Bu çalışmanın iki noktaya katkısı vardır: 1) Mevcut şebeke akış modelini genişleterek var olan yapıyı korurken içine maliyeti de dahil etmiştir; 2) Bobin türlerine karar vereceklere geliştirilen

modelin çözümlerinin nasıl kullanılacağı gösterilmiştir. Amaç, bobin türleri sabitse ve türler kısıt olarak alındığı zaman stok bulundurma ve fire kağıt maliyetlerinden oluşan toplam maliyetin minimize edilmesidir. Mukavva ambalajda tek boyutlu stok kesme problemi üzerinde çalışma yapılmıştır. Yeni bir novel şebeke akış modeli oluşturulmuş ve grafik gösterimde maliyetler arası geçiş vurgulanmıştır.

Kesme kayıpları saç levha kesimi yapan metal sektöründe, giysiler için patronun oturduğu tabakaları kesen hazır giyim sektöründe, perde sektöründe ve benzer başka sektörlerde de problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Gradisar ve diğ., (1997) hazır giyim sektöründe bobinden kesme optimizasyonu çalışmalarına örnek gösterilebilecek bir makalede tahmini ve sezgisel bir yaklaşımla çözüm aramıştır. Bir algoritma geliştirerek COLA programında kullanmış, program bu algoritma ile kesme kaybını %0,1 e düşürebilmiştir. Üretimde siparişi işleme süresi de önemli bir rol oynamaktadır. Programın ikinci bir yararı da, çözümün hızının program sayesinde artırılmasıyla üreticiye, ayrıca "ne-eğer" analizleri yapmaya vakit kazandırmak olmuştur.

Alfieri A., Velde S. ve Woeginger G., (2006) perde sektöründeki toptancı ve distribütörün karşılaştığı bobin kesme optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Perde sektöründeki sorunlardan biri n çeşit bobinden aynı uzunluktaki parçaları kalan kısım başka bir kesimde kullanılabilecek yeterlikte uzun veya atılacak yeterlikte kısa kalacak şekilde kesebilmektir. Çalıştıkları makalede toptancılardan itibaren çözüme odaklanılması gerektiğini ve hiyerarşik bir yapıyla adım adım çeşitlerin gruplanarak bir sonraki ilgiliye aktarılması gerektiğini bunun için de toptancıları ERP sistemini kullanmaya teşvik ederek bobin kesme planlamasına nasıl katkıda bulunacaklarını göstermişlerdir.

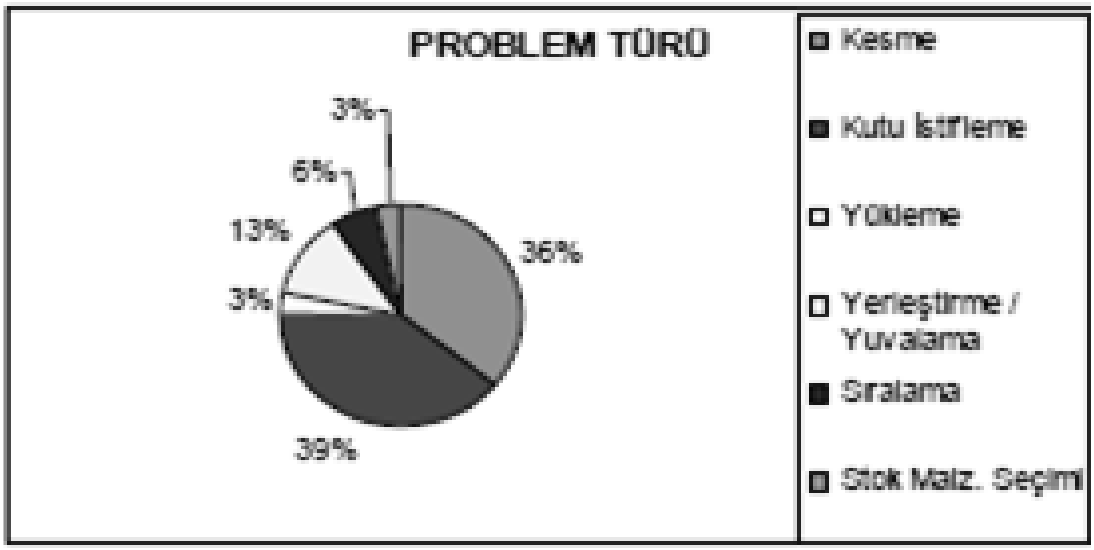
Bu iki çalışmada dikkat edilecek husus bobinlerdeki firede genişliğe değil boya odaklanılmış olmasıdır. Tekstilde bobin enlerindeki çeşitlilik özel üretim olmadıkça son derece az olmasına karşın kağıt, karton, mukavva bobin enlerindeki çeşitlilik çok fazladır. Ambalaj üreticileri ise stoklarında bu kadar çeşide maliyet ve depo alanı kısıtı nedeniyle yer verememektedir.

Bir ve iki boyutlu stok kesmede, özellikle kağıt (Pierce 1964, Johnson; Rennick; Zak 1997, Menon; Schrage 2002; Correia; Oliveira; Ferreira 2004), metal (Tokuyama; Ueno 1985, Thorsen; Vidal 1991, Chu, Antonio 1999, Hung; Sumichrast, Brown 2003), ağaç ve mobilya (Carnieri; Mendoza; Gavinho 1994, Rönnqvist 1995, Wagner 1999), cam (Chambers; Dyson 1976, Farley 1983) ve tekstil (Farley 1988, Martens 2004) sektörüne yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Akın ve Aras (2009) dikdörtgen şekilli stok kesme problemleri üzerine yapılmış mevcut onlarca çalışmanın analizi sonucu şu sınıflandırmayı öngörmüşlerdir:

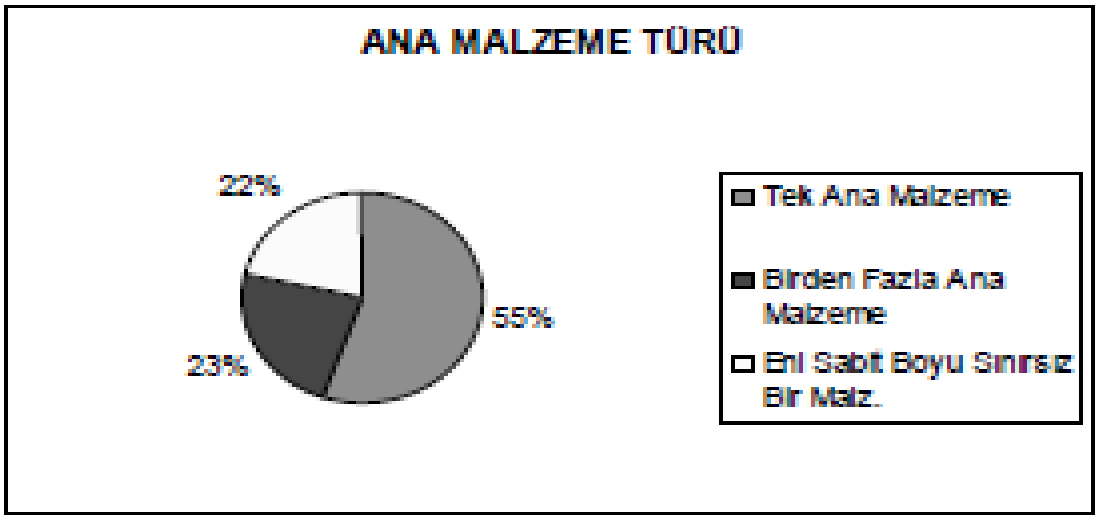
1. Kesme,
2. Kutu istifleme,
3. Yükleme,
4. Yerleştirme ve Yuvalama,
5. Sıralama,
6. Stok malzeme seçimi (assortment).

İnceleme sonucu Şekil 2.5'te görüldüğü gibi %36'lık oranla kesme, %39'luk oranla kutu istifleme incelenen çalışmaların büyük kısmını oluşturmakta, stok malzeme seçimi ya da ana malzeme seçimi problemleri üzerine çalışmalar %3'lük bir oranla son derece düşük kalmaktadır.



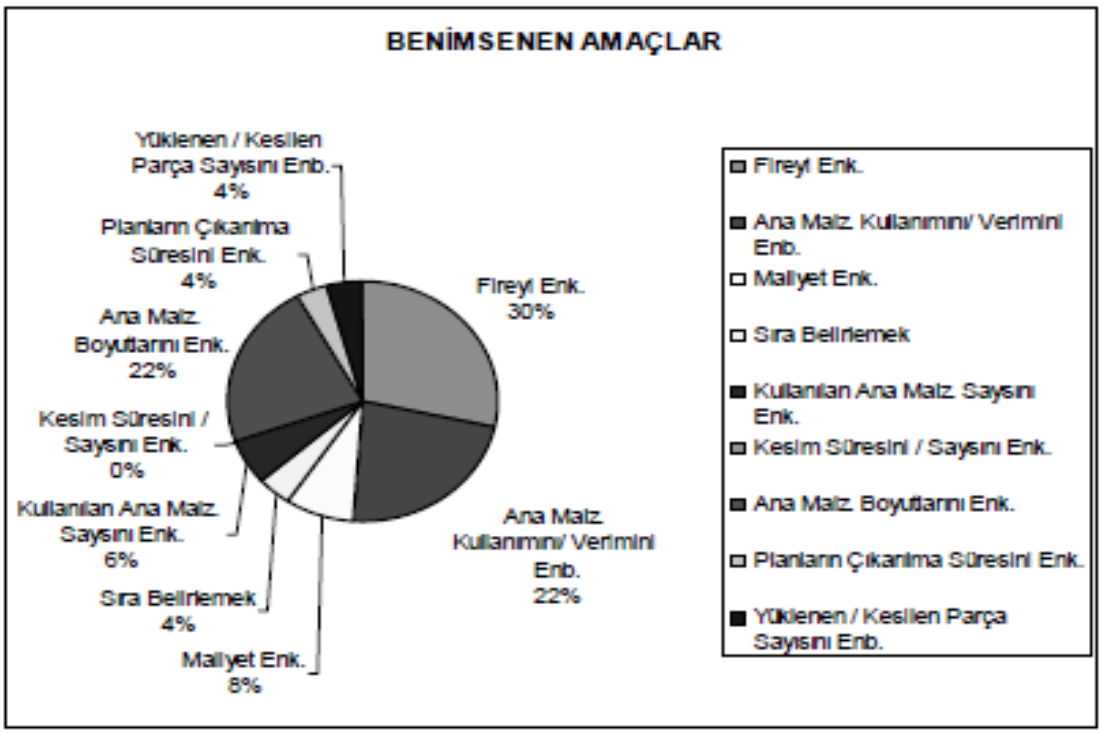
Şekil 2.5. Problem Türüne Göre Çalışmaların Dağılımı (Akın ve Aras, 2009)

Problem türünden sonra bir alt başlık olan ana malzemeye göre yapılan sınıflandırmada ise yapılan çalışmaların yarısından fazlasının tek ana malzeme kullanımı üzerine yoğunlaştığı görülmüştür; Şekil 2.6.



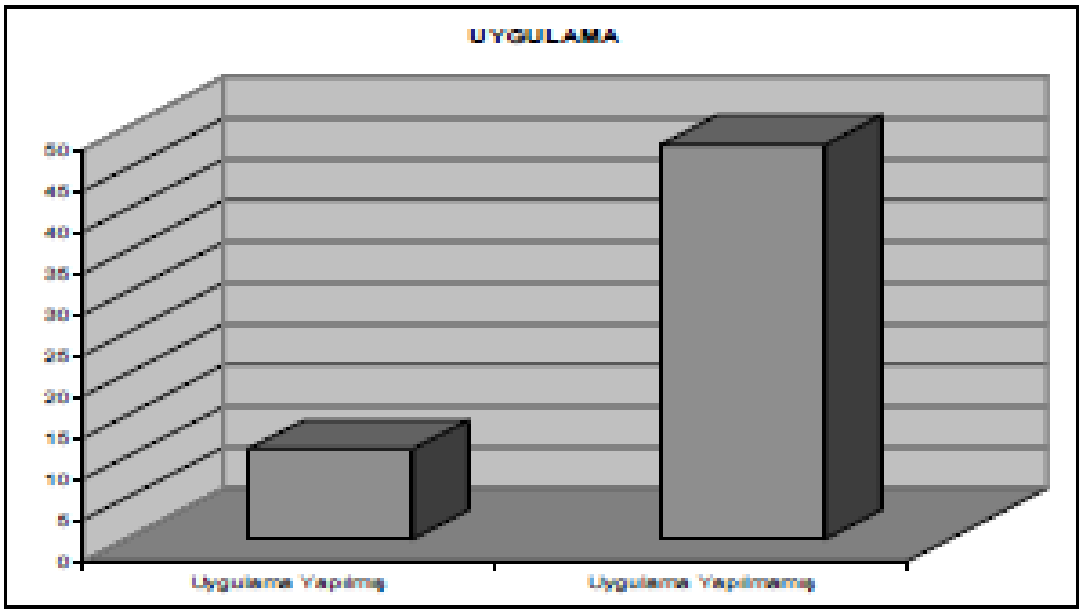
Şekil 2.6. Ana Malzeme Türüne Göre Çalışmaların Dağılımı(Akın ve Aras, 2009)

Problemlerin büyük çoğunluğunda tek amaçlılık benimsenmiş olup Şekil 2.7 de amaçlara göre dağılım yüzdeleri verilmiştir (Akın ve Aras, 2009):

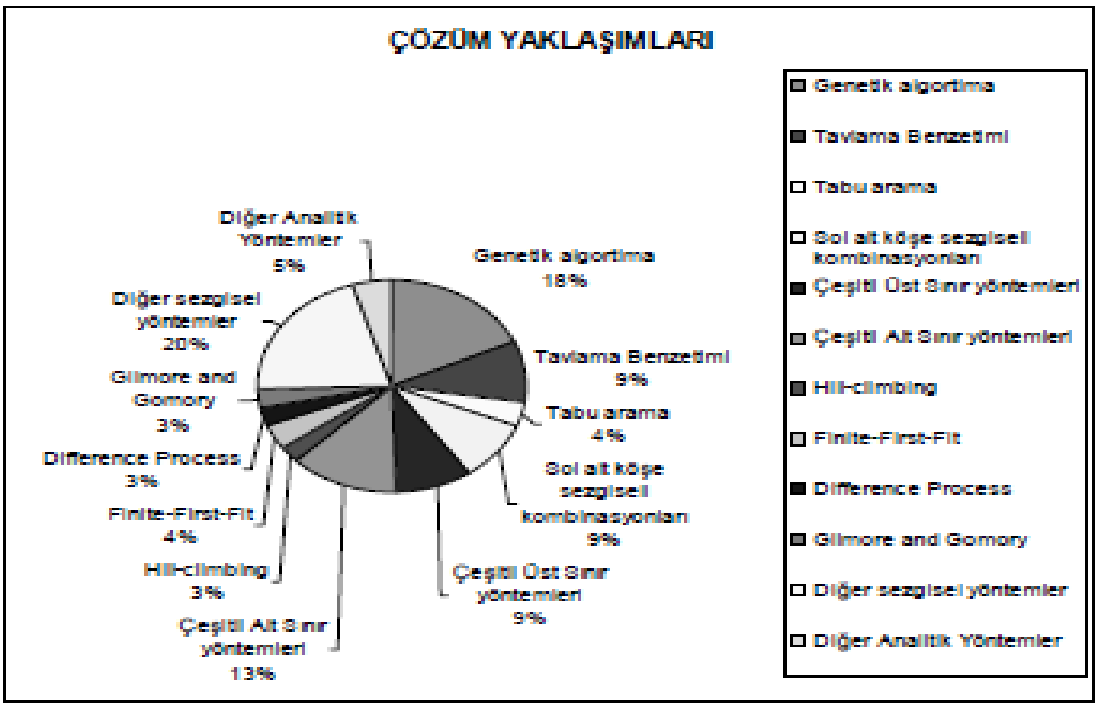


Şekil 2.7. Çalışmalarda Benimsenen Amaçlar(Akın ve Aras, 2009)

Fireyi en küçükleme ve ana malzeme kullanımı üzerine çalışmalar yoğunlaştığı halde kullanılan ana malzeme sayısını en küçükleme yüzdesi %6 da kalmıştır. Şekil 2.8 de görüldüğü gibi gerçek hayat verileri ile sınama yapılmamış, literatürde var olan test problemleri kullanılmıştır. Şekil 2.9 da ise benimsenen çözüm yöntemlerinin dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.8 Çalışmalarda Uygulama Yapılma Oranı (Akın ve Aras, 2009)



Şekil 2.9. Sık Kullanılan Çözüm Yaklaşımlarının Dağılımı(Akın ve Aras, 2009)

Akın ve Aras, bu incelemenin sonuçlarını dikkate alarak potansiyel araştırma önerileri vermiş ve önceden belirlenmiş tek ana malzeme yerine sipariş parçalarına uygun ana malzemelerin kullanılmasının kullanım verimliliğini artırarak fire miktarını azaltacağını, büyük bir kalem olan malzeme maliyetini en küçükleyeceğini ve verimli bir çözüm elde etmek için üzerinde durulması gereken konulardan biri olabileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca kısıtların farklılaştırılması, kesme planlarının sıralanması yöntemleri, farklı çözüm yöntemleri önerileri, çözümlerde kullanılan parametre seçiminde deney tasarımından yararlanılabileceğini, birden fazla amaç benimsendiğinde ağırlıklandırılmasında, AHP gibi, karar yöntemleri kullanılabileceğini vurgulayan sekiz ayrı çıkarım daha yaparak yeni araştırmacılara yol göstermişlerdir (Akın ve Aras, 2009).

3. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Parçacık sürü optimizasyonunun temelleri Reynolds' un 1987 yılında yapmış olduğu kuş sürülerine benzer parçacıkların modellenmesine yönelik çalışmasına dayanır. Daha sonra 1995 yılında, Russel Eberhart ve James Kennedy tarafından geliştirilmiştir. PSO, "yiyecek araştırma" hedefi olan, popülasyon tabanlı, evrimsel bir optimizasyon algoritmasıdır.

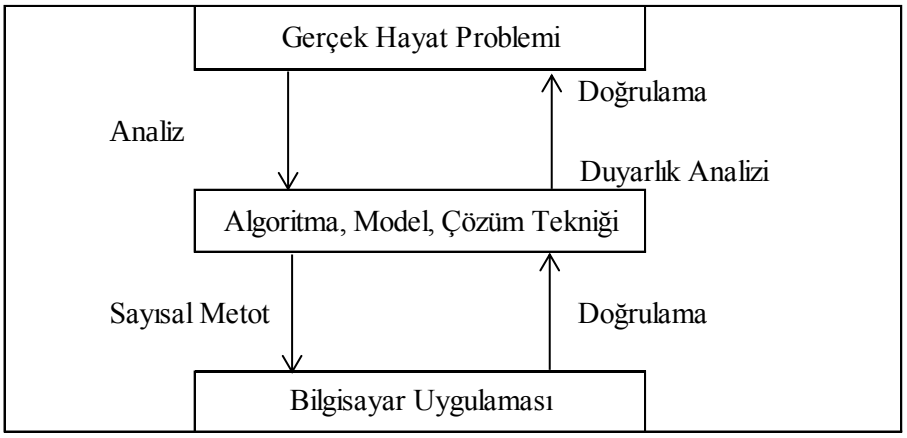
3.1. Optimizasyon Tanımı

İşletmelerin çözüm getirmek zorunda oldukları problemleri, esas itibariyle kıt kaynaklarını faaliyetleri arasında en iyi şekilde nasıl dağıtılması gerektiği problemidir. Karar verilmesi gereken alternatifler arasında optimum (en iyi) sonuca ulaşabilmektir ve bu işleme "Optimizasyon" denilmektedir. Optimizasyon, bir amaç için verilen şartlara uygunluk gözetilerek en uygun çözümün elde edilmesi yöntemidir. Üretilen arabalarda yakıt tüketimini en aza indirgemek, maliyetleri en küçüklemek, üretim süresini düşürmek ve benzer problemlerde optimizasyon çalışmaları son derece önemsendiğinden yeni yöntemlerle, yeni teknikler geliştirilerek araştırmalar sürdürülmektedir. Bir bilgisayar terimi olan optimizasyonu şu şekilde ifade etmek çok daha anlaşılabilirdir:

Algoritma: Belirli bir problemin çözümünde izlenilen yoldur.

Kod: Algoritmanın bilgisayar dilindeki ifadesidir.

Optimizasyon: Bir algoritma veya kodun daha hızlı veya daha az yer kaplayacak şekilde düzenlenerek bir amaç için kısıt kaynaklarla en kısa sürede en iyi çözüme ulaşılmasıdır.



Şekil 3.1. Optimizasyon İşlemi (Chinneck, 2000)

Günümüzde iş hayatında, endüstride, yönetimde, mühendislikte ve bilgisayar biliminde kullanılan optimizasyon işlemi Şekil 3.1' deki gibi özetlenebilir.

Gerçek problemde algoritma, model veya çözüm tekniğine geçiş aşamasına analiz denir ve bu aşamada problemle ilgili olan olmayan detaylar çıkartılarak önemli elemanlar üzerinde yoğunlaşılır. Optimizasyon yapılmasa dahi bir anlam ifade eden önemli aşamadır. Algoritma, model veya çözüm tekniğinden bilgisayar uygulamasına sayısal metotla geçilir. Bu aşama hesapların doğruluğu ve verimliliğin tartışılıp, değerlendirildiği bir aşamadır. Doğrulama ve duyarlık analizi gerçek probleme dönerken en önemli aşamadır. Sonuçların veriler karşısında nasıl değiştiği durumunun değerlendirilmesi yapılır (Chinneck, 2000).

Sınırlı kaynakları kullanarak amaçlanan fonksiyon ve/veya fonksiyonlar için en iyi sonucun elde edilmesini hedefleyen optimizasyon kavramının matematiksel anlamı f(x) amaç fonksiyonunun (objective function) minimizasyonu ya da maksimizasyonudur. Bu gerçekleşirken çeşitli kısıtlamalardan (constraints) söz edilebilir. Bunlar a) Eşitlik ve b) Eşitsizlik kısıtlamalarıdır.

Optimizasyon problemlerinin Matematiksel gösterimi:

Amaç fonksiyonu : (maks/min) f(x)

Kısıtlar:

$c_i(x) = 0 \qquad i = 1, 2, \ldots, m \qquad$ Eşitlik kısıtı (2.1)

$k_j(x) \geq 0$ $j = 1, 2, \ldots, n$ Eşitsizlik kısıtı (2.2)

Amaç bir takım algoritmaları kullanarak tanımlanan problemi verilen kısıtlar altında çözmektir.

3.1.1. Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması

x ile verilen sınırlamalara bağlı olarak şayet x te sınırlama varsa sınırlamalı optimizasyon, sınırlama yoksa sınırlamasız optimizasyon problemi olarak isimlendirilir.

Başka bir sınıflandırma ise amaç fonksiyonunun ve kısıt fonksiyonunun lineer olup olmama durumuna göre yapılır. Şayet fonksiyonlar lineer ise lineer programlama problemi; fonksiyonlardan biri nonlineer ise nonlineer programlama problemi olarak adlandırılır.

Diğer bir sınıflandırma sürekli (continuous) veya ayrık (combinatorial) optimizasyon problemi şeklindedir. Tasarım değişkenlerinin veya parametrelerinin alacağı değerler sürekli değerler ise sürekli optimizasyon değilse ayrık optimizasyon problemi şeklinde isimlendirilir.

3.1.2. Kombinatoryal optimizasyon problemleri

Kombinatoryal eniyileme problemlerin özel bir sınıfında kullanılır. İsim nesnelerin sıralanması ve seçilmesi ile ilgilenen matematiğin bir dalı olan "Combinatorics" kelimesinden türetilmiştir. "Nesnelerin sıralaması var mı? Farklı grup genişliği ile kaç farklı sıralama yapılabilir?" soruları ile ilgilenir ve sıralamadan ziyade eniyi sıralamanın belirlenmesi hedeftir.

Çoğu eniyileme problemi kombinatoryal yapıdadır. Eniyileme problemlerine örnekler:

1. Enkısa yol Problemi
2. Gezgin Satıcı Problemi
3. Atama Problemi
4. Atolye Çizelgeleme Problemi
5. Araç Rotalama Problemi

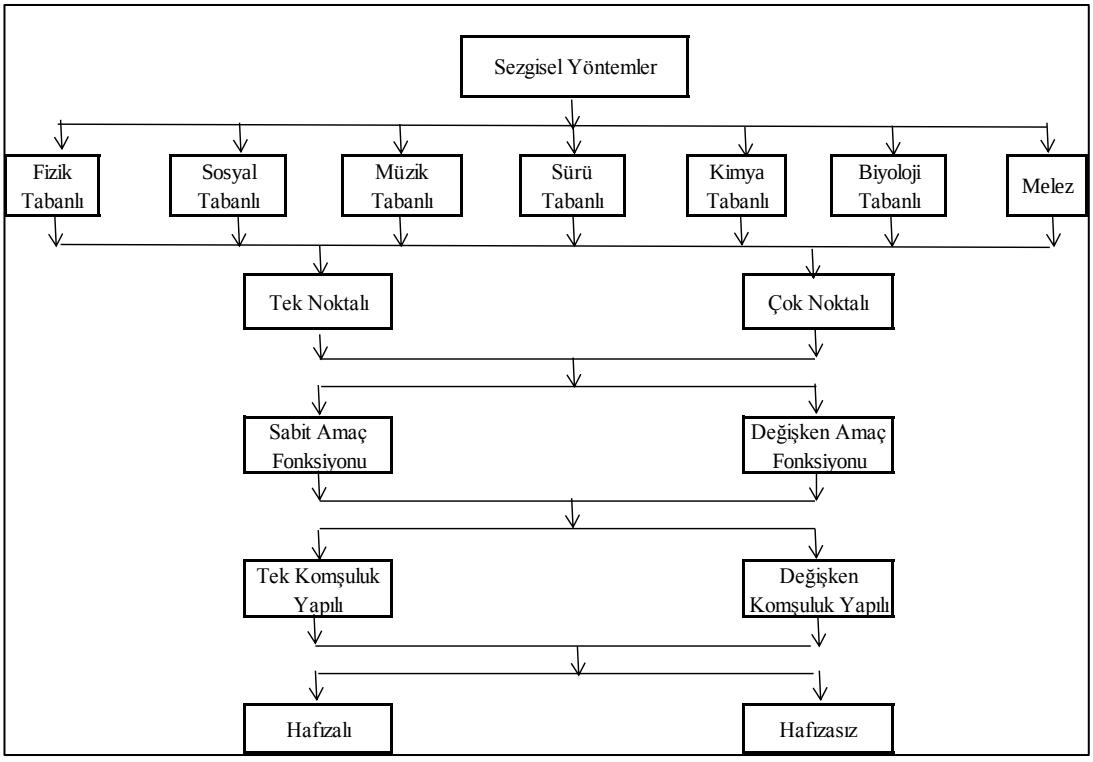
Kombinatoryal Eniyileme Problemleri (KEP) iki konuyla ilgilenir:

1. Enküçükleme (minimization)
2. Enbüyükleme (maximization)

Kombinatoryal eniyileme problemlerinde kullanılan algoritmalar 2 sınıfa ayrılırlar:
1. Kesin Algoritmalar (Exact Algorithms)
2. Yaklaşık Algoritmalar (Approximate Algorithms).

Ayrık problemlerin çoğunluğu oldukça zor problemlerdir. Bundan dolayı, büyük boyutlu problemlerin çözümünde uygun hesaplama süresinde optimal çözümleri bulabilen Yaklaşık Algoritmaları geliştirmek ve kullanmak önemli hale gelmiştir. Bu nedenle zeki ve etkili sezgisel yaklaşımlar zor problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmış ve bu şekilde araştırmaların sayısı artmıştır (Karaboğa, 2011).

Genel amaçlı sezgisel yöntemler: biyoloji, fizik, müzik, sürü, kimya, sosyal tabanlı olmak üzere altı grupta toplanırlar ayrıca bunların birleşimi olan melez yöntemler de vardır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Sezgisel Yöntemler (Akyol ve Alataş, 2012)

Sezgisel algoritmalar çeşitli alternatifler arasından en uygun olana karar vermek için kullanılan bilgisayar metotlarıdır. Bu tür algoritmalar yakınsama özellikleri sayesinde kesin çözümün yakınındaki çözümü garanti ederler ve performansları yüksektir ve doğadaki olaylardan esinlenmektedirler. İleri sezgisel yöntemler, Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms), Tavlama Benzetimi Yöntemi (Simulated Annealing Method), Tabu Arama Yöntemi (Tabu Search Method), Değişken Komşu Arama (Variable Neighborhood Search), Karınca Kolonisi yöntemi (Ant Colony Optimization), ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) başlıkları altında toplanabilir.

Tabiattaki olaylar temel alınarak geliştirilen sezgisel yöntemler Genetik Algoritmalar(GA), Diferansiyel evrim algoritması ve Parçacık Sürü optimizasyonu algoritmaları, optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genetik Algoritmalar (GA), canlılardaki genetik kalıtımı örnek alarak geliştirilen popülasyon tabanlı bir evrim algoritmasıdır. Her bir jenerasyonda en iyiye ulaşmayı amaçlar. Diferansiyel Evrim Algoritması(DEA), genetik çaprazlama işlemi, bireysel farklar-dan yola çıkılarak geliştirilmiştir. Bu bilinçli çaprazlama en iyiye ulaşmada oldukça etkilidir. Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması temelde sürüdeki bireylerin birbirini geliştirmesine dayanan yeni bir algoritmadır. Yakınsama hızı, sezgisel optimizasyon tekniklerinin performansını en iyi ölçen kriterlerden biridir. (Özsağlam ve Çunkaş, 2008). Örneğin bir kuş sürüsünün uçuşu her bir kuşun hedefe ve anlık komşularına olan mesafesini koruma eğilimine göre basit bir şekilde, kabaca modellenebilir. Bu mesafe sürülerin boyutuna ve istenen davranışın ne olduğuna göre değişir.

Literatürde, PSO'nun ayarlanacak parametre sayısının az olması, uygulama kolaylığı sağlaması, daha hızlı araştırma prosesine sahip olması ve etkili performans sunması açısından GA'dan üstün olduğu belirtilmiştir (Zhang ve ark. 2006). Ayrıca PSO, hesaplama açısından oldukça etkin ve yerel en iyiden sıçrayabilme açısından da oldukça başarılıdır, diğer algoritmalara göre yakınsama hızı ve performansının da daha iyi olduğu görülmektedir (Özsağlam ve Çunkaş, 2008).

Bu nedenle ele alınan problemin çözümünde PSO algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir.

3.2. Parçacık Sürü Optimixasyonunun Tanımı

PSO, kuş ve balık sürülerinin yerini bilmedikleri bir yiyeceği ararken ya da belli bir yere giderken birbirleriyle iletişim kurarak o yere ulaşmaları sırasında sürdürdükleri iki boyutlu davranışlarının bir benzetimidir.

Bazen tek başlarına hiçbir iş yapamayan canlılar, toplulukla birlikte çok zeki davranışlar sergileyebilmektedir. Bir topluluğa ait bireyler, en iyi bireyin davranışından ya da diğer bireylerin davranışlarından ve kendi deneyimlerinden yararlanarak karar vermekte ve edindikleri bilgileri ileride karşılaşacakları problemlerin çözümleri için kullanmaktadırlar. Örneğin, bir canlı sürüsünü oluşturan bireylerden birisi bir tehlike sezerek tepki verdiği zaman, bu tepki sürü içinde öğrenilerek ortak davranış sergilenmesini sağlar; sürü zekâsı tabanlı optimizasyon algoritmaları da, sürü içerisindeki bireylerin bu tip hareketleri gözlemlenerek geliştirilmiş algoritmalardır.

PSO'nun hedefi, popülasyondaki bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını (social sharing of information) geliştirmektir. Bireylere parçacık, parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü (swarm) ismi verilir. PSO'da arama işlemi popülasyondaki bireyler tarafından ve belirlenen parçacık sayısınca yapılır. Kuşların uzayda, yerini bilmedikleri yiyeceği aramaları, bir problem için optimum çözüm aramaya benzetilmiştir. Kuşlar yiyecek ararken aralarında iletişim kurarak yiyeceğe en yakın olan kuşu takip ederler. Her bireysel çözüm, arama uzayındaki bir kuştur. Parçacık her bireyin hareketinin sonunda bulunduğu koordinatlarını bir uygunluk fonksiyonuna gönderir. Böylece parçacığın uygunluk fonksiyonu değeri belirlenir. Bir parçacık, pozisyonunu (koordinatlarını), hızını (çözüm uzayındaki her boyutta ne kadar hızla ilerlediği), şimdiye kadar elde ettiği en iyi uygunluk değerini ve bu değeri elde ettiği pozisyonu hafızasında tutar (Bali, 2009).

Parçacığın, her iterasyonda çözüm uzayında hangi yönde ve hangi hızda hareket edeceği diğer parçacıkların (komşular) en iyi koordinatları ve kendi kişisel en iyi koordinatlarının bir birleşimi olacaktır. Parçacık optimuma ulaşırken bir sonraki adımını hem kendi en iyi pozisyonuna (optimuma en yakın) hem de sürüdeki en iyi uygunluk değerine sahip parçacığın pozisyonuna göre ayarlar (Bali, 2009).

Sürüdeki her bir parçacık çok boyutlu arama uzayında bir çözümü yani pozisyonu temsil eder. Parçacıklar, ilk pozisyonlarını rasgele belirler, daha sonra arama uzayı içinde adım adım hareket eder ve verilen amaç fonksiyonu için çözümleri arar. PSO, parçacıklar arasındaki bilgi paylaşımını esas almaktadır. Her bir parçacık optimuma ulaşmak isterken yeni pozisyonunu, kendi önceki tecrübelerinden ve bir önceki iterasyondaki en iyi pozisyonu dikkate alarak bulur. Global komşular, her iterasyonda sürü içerisindeki en iyi uygunluk fonksiyonu değerini veren parçacığın değerleridir. Her iterasyonda bir global komşu değeri belirlenir. Yerel komşular ise ilk iterasyonda her bir parçacığın aynı zamanda pozisyon değerleridir ve her iterasyonda parçacık sayısı kadar yerel en iyi ortaya çıkar. Her bir parçacık, global ve yerel komşu değerlerini kullanarak bir önceki iterasyonda en iyi değere sahip parçacığın pozisyonuna doğru hareket eder. Durdurma kriteri genellikle parçacıklardan en az birinin optimuma ulaşması ya da belirlenen iterasyon sayısıdır. PSO'da parçacıklardan en az birinin optimuma ulaşması beklenir. Başka bir deyişle, optimum sonuca her parçacığın ulaşması beklenmez, önemli olan sürü içerisinden bir parçacığın optimuma ulaşmasıdır (Bali, 2009).

3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonunun Genel Yapısı

PSO'da her bir parçacık konum (X) ve hız (V) vektörü olmak üzere iki vektörel bileşeni vardır. Konum vektörü parçacığın konum bilgisini, hız vektörü ise parçacığın konum değiştirme miktarı ve yön bilgisini tutar. İteratif bir algoritma olan PSO'nun her bir iterasyonunda parçacıkların hız bileşenleri ile konum bileşenleri güncellenir. Bir parçacığın yeni hız vektörü ve pozisyonu daha önceki iterasyonlarda elde ettiği tecrübeden, sürünün genel tecrübesinden ve rastgelelikten faydalanılarak Eşitlik (3.1)'e ve (3.2)'ye göre hesaplanır (Alataş ve diğ. 2009).

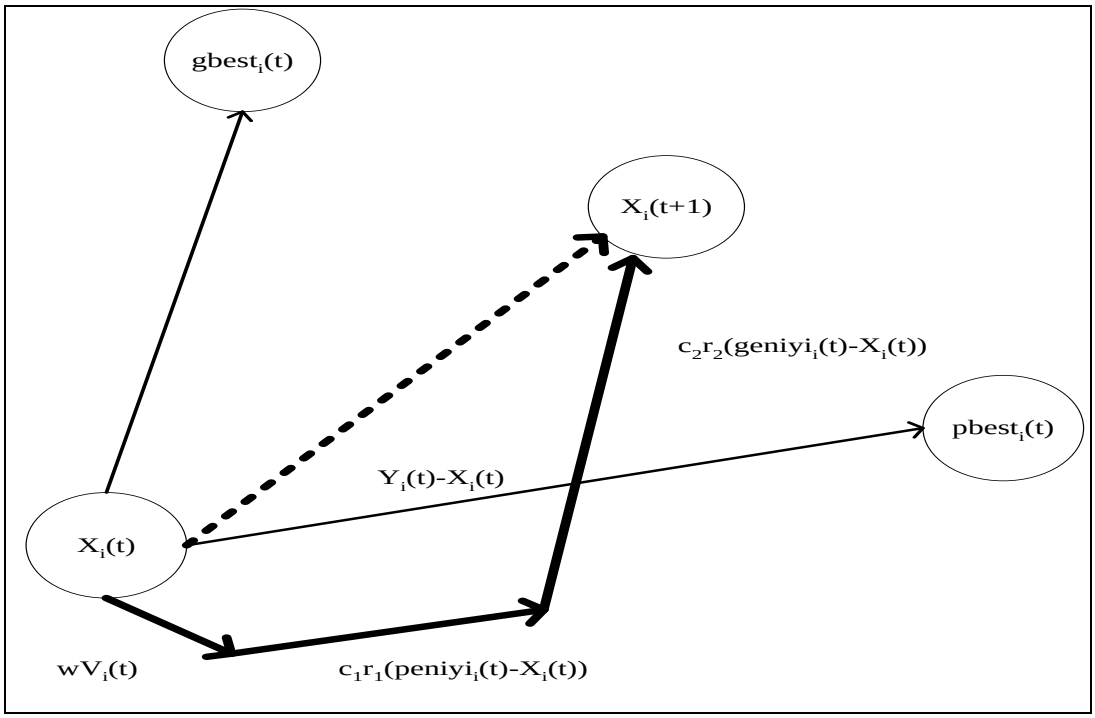
$$v_{i,j}(t+1) = wv_{i,j}(t) + c_1 r_{1,j}(t)\left(peniyi_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)\right) + c_2 r_{2,j}(t)\left(geniyi_j(t) - x_{i,j}(t)\right) \quad (3.1)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (3.2)$$

$i = 1,2\ldots,\mathrm{N} \qquad j = 1,2,\ldots,\mathrm{n}$

Eberhard & Kennedy 1995 yılındaki çalışmalarında ilk olarak bu denklemleri ileri sürmüşlerdir.

Bir parçacığın üç terime bağlı hareketi Şekil 3.3'de gösterilmiştir (Alataş ve diğ. 2009).



Şekil 3.3. Parçacığın iki boyuttaki hareketi

3.4. Parçacık Sürü Optimizasyonunun Algoritması ve Akış Şeması

Genel PSO algoritmasının örnek kodu Şekil 3.4'de gösterilmektedir. PSO kodundan da anlaşıldığı gibi, algoritmada öncelikle kullanılacak parametreler belirlenir. İkinci olarak popülasyon değerleri rassal oluşturulduktan sonra bu değerlere karşılık gelen amaç fonksiyon değeri hesaplanır. Başlangıç çözümündeki her bireye ait çözüm aynı zamanda o parçacığın yerel en iyi değeri kabul edilir. Amaç fonksiyon değeri, en iyi olan parçacık global en iyi olarak atanır ve bu parçacık değerleri global komşular olarak saklanır. Aynı şekilde başlangıçtaki her bir parçacığın amaç fonksiyon değerleri yerel en iyiler olarak saklanıp parçacık değerleri de yerel komşular olarak saklanır. Genellikle başlangıç çözümünde başlangıç hızları rasgele belirlenmektedir. Her bir iterasyonda hız ve konum değerleri güncelenip uygunluk fonksiyonunda uygunluk değeri üretilir. Yine her bir iterasyonda parçacıkların yerel en iyi değeri ve

sürünün global en iyi değeri güncellenir. Belirli bir iterasyon sonucunda sürünün en iyi değeri PSO'nun probleme sunduğu çözüm olur (Ortakçı, 2011).

t : İterasyon sayısı;
c1,c2 : Hızlandırma katsayıları;
r1, r2 : [0-1] aralığındaki rastgele üretilen sayılar;
w : Atalet ağırlığı;
Pbest (Peniyi) : Parçacığın yerel en iyi değeri;
Gbest (Geniyi): Sürünün global en iyi değeri;

Peniyi, parçacığın son iterasyonda bulduğu en iyi konum değeridir ve yerel en iyi değer olarak adlandırılır, Geniyi ise sürüdeki o ana kadar bulunmuş en iyi konum değeridir ve global en iyi değer olarak adlandırılır. Parçacığın yeni hız değeri, bir önceki hız değeri ile yerel en iyi değerinden ve global en iyi değerinden faydalanarak bulunur.

```
BEGIN

FOR her parçacık için
        Parçacığı başlangıç konumuna getir
END
DO
        FOR  1 TO  M her parçacık için
        Uygunluk Değerini Hesapla;
                Eğer uygunluk değeri Pbest ten daha iyi ise
                Şimdiki değeri yeni Pbest olarak ayarla (Pbest Değerini Güncelle);
        END
        Tüm parçacıkların bulduğu Pbest değerlerinin en iyisini
        tüm parçacıkların Gbest i olarak ayarla (Gbest Değerini Güncelle);
        FOR
                Hız ve Pozisyon Değerlerini Güncelle;
        END
WHILE  maksimum  iterasyon sayısı veya en iyi sonuca yakınsama koşulu
        sağlanana kadar devam et (Sonlandırma Kriteri)
END
```

Şekil 3.4. Genel PSO Algoritması

Genel hatlarıyla PSO algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir:

1) Her bir parçacık için, kısıtlara uygun bir şekilde başlangıç değerleri üretilir ki bunlar ilk pbest' lerdir.

2) Parçacığın en iyi konumu (pbest) belirlendikten sonra daha önce anlatılan kurallara ve fonksiyonlara uygun bir şekilde bir gbest belirlenir. Gbest hesabı komşuluk yönteminin kullanılıp kullanılmamasına göre değişiklik göstereceğinden dikkat edilmelidir..

3) Atanan başlangıç değerlerine göre konum vektörleri belirlenir.

4) Parçacıkların hız vektörleri belirlenir. Kuşların başlangıçta durdukları varsayıldığından normalde bir önceki iterasyona göre şekillenecek olan bu vektör, ilk iterasyonda sıfır alınır.

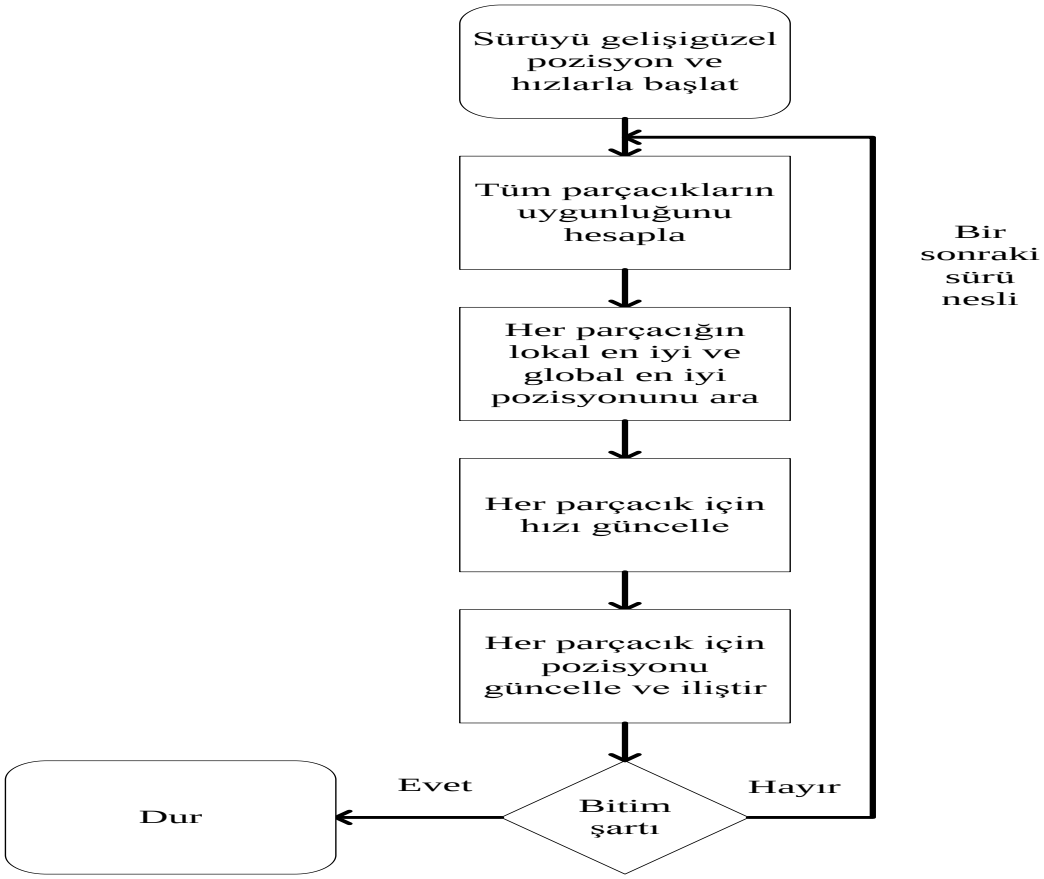
5) Fonksiyon içerisinde kullanılmak üzere "c1, c2" ve "R1, R2" katsayıları belirlenir, C1 ve C2 katsayıları her iterasyonda sabit kalırken R1, R2 katsayıları her iterasyonda ve iterasyon içerisindeki her bir işlemde rastgele belirlenmektedir.

6) Tüm değişkenler belirlendikten sonra daha önceden belirtilmiş olan hız ve konum denkleminde yerlerine yazılarak parçacığın iterasyon sonundaki hız ve konumları bulunur.

7) Bu işlemler durdurma kriteri sağlanana kadar sürer. Durdurma kriterleri iterasyon sayısı veya en iyi sonuca yakınsama olarak belirlenebilir.

Yöntem uygulanırken sürü içerisindeki parçacıkların sürüden sapma durumlarının önüne geçebilmek için çeşitli önlemler almak gerekmektedir.

PSO'nun temel adımlarını gösteren akış şeması Şekil 3.5'de verilmiştir (Alataş ve diğ. 2009).



Şekil 3.5. PSO Akış Diyagramı

3.5. Parçacık Sürü Optimizasyonu Parametreleri

Parçacıkların, hangi yöne hareket edecekleri sürü içindeki konumlarına(x), boyutlarına(n), hızlarına(v), ataletlerine(w), ve hız - konum denklemlerinin en iyi sonucu vermesini sağlayan bazı katsayılara (c, K) bağlıdır.

Atalet Ağırlığı (inertia weight) – w:

Bir önceki hız vektörünün mevcut hız vektörü üzerindeki etkisini kontrol eden parametredir ve w şeklinde gösterilir. Atalet ağırlığının parçacıkta global ve yerel araştırma yeteneği arasında değişim etkisi vardır. Eğer atalet ağırlığı yüksek bir değer alınırsa parçacık global bir şekilde arama yapar, eğer küçük alınırsa yerel bir arama gerçekleştirir (Kennedy ve diğ., 2001). Atalet ağırlığı yerel ve global arama arasındaki dengeyi sağlayarak en etkin optimal sonuca daha az iterasyonla ulaşılır. Bu yüzden uygun değerinin belirlenmesi kritik önem arz edebilir. Hızın optimal çözümün bulunmasında, parçacıkların optimalin bulunduğu pozisyonu geçmelerini önlemek amacıyla bazı problemlerde önemli bir rolü olduğu izlenebilmektedir.

Pbest- gbest:

İçgüdüsel olarak her bir parçacık 2 şekilde hareket etme eğilimi gösterir:
Birincisi, sürünün tamamı için en iyi pozisyon (gbest)'e yaklaşma,
İkincisi, kendi en iyi poziyonu (pbest)'i koruma eğilimidir.

Sürü içindeki parçacıkların pbest (bireysel en iyi) değerleri şu şekilde belirlenir: Başlangıçtaki pbest, rassal atanmış başlangıç değerlerine eşittir. Sonraki aşamalarda ise, eğer t. iterasyonadaki pbest değeri, (t+1). iterasyondaki değerden büyük ise yeni pbest (t+1). iterasyondaki değerdir değilse, yeni pbest t. iterasyondaki değer olacaktır, Denklem (3.3).

$$y_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t), f\big(x_i(t+1)\big) \geq f(y_i(t)) \\ x_i(t+1), f\big(x_i(t+1)\big) < f(y_i(t)) \end{cases} \quad (3.3)$$

Sürünün gbest (küresel en iyi) değeri ise şu şekilde belirlenir:
Her bir iterasyon için pbest değerlerinden fonksiyonu minimum yapan değer, gbest'tir ve ŷ(t) sembolüyle gösterilmektedir. Her iterasyonda bu işlem tekrarlanarak gbest güncellenir ve sürü içerisindeki parçacıkların tüm boyutları için pbestler ve gbest ayrı ayrı hesaplanır. Parçacıkların en iyi pozisyonları argmin fonksiyonu kullanılarak belirlenmektedir. Argmin fonksiyonu, bir optimizasyon probleminde amaç fonksiyonunun minimum değeri almasını sağlayacak olan argümanları veren fonksiyondur. En basit ifadesiyle minimumu veren değişken değeridir. Sürü içerisindeki parçacıklar sezgisel olarak birbirlerini takip ettiklerinden, sürüdeki en iyi pozisyona sahip olan parçacık takip edilecektir. Bunun için pbestler arasından, argmin fonksiyonu kullanılarak minimum değer seçilir ve bu değer global en iyi pozisyon (gbest) olarak adlandırılır

$$p_g(t) = \arg_i \min f(p_i(t)) \quad (3.4)$$

şeklinde de ifade edilebilir.

r değeri:

Parçacıkların boyutları optimizasyon sonuçlarını etkilemektedir. PSO tekniği doğadan esinlenilerek geliştirilmiş bir yöntem olduğu için parçacıkların boyutları göz

ardı edilememektedir. Yapılan araştırmalara göre bu boyut değerlerinin [0,1] aralığında olması problemlerin çözümünde en iyi sonucu vermektedir.

C sabiti:

Hız denkleminde yer alan C1- C2 değerleri parçacıkların sürü içerisindeki konumlarını etkilemektedir ve parçacıkların yayıldıkları alanı değiştirmektedir. C1=C2=1 alındığında parçacıklar daha dar alanda konumlanırlar, C1=C2=2 alındığında ise daha geniş alana serpilirler. Yapılan araştırmalar C1=C2=2 değerinin en uygun sonucu verdiğini göstermektedir. Ancak bilişsel katsayı olarak da isimlendirilen c1'in biraz daha büyük seçilmesi ve c1 + c2 = 4 durumunun sağlanması halinde daha iyi sonuçların alınabileceği gösterilmiştir. Buradan c1'in bu parçacığın kişisel en iyi pozisyonunun yönünde adım büyüklüğünü ayarladığı, c2'nin de global en iyi parçacığın yönünde maksimum adım büyüklüğünü ayarladığı açıktır.

Konum(x):

Sürü içerisindeki parçacıkların konumu başlangıçta rastgele belirlenmektedir. Rassal üretilen bu başlangıç değerleri sapmayı azaltmak için belirli sınır koşullarına bağlanır. Parçacıkların konumu bir önceki iterasyondaki konumlarına ve o iterasyondaki hızlarına göre belirlenmektedir. Parçacığın pozisyonu, mevcut pozisyonuna $v_i(t)$ hızı ilave edilmek suretiyle değiştirilir (Engelbrecht, 2006):

$$\mathbf{x}_{ij}(t+1) = \mathbf{x}_{ij}(t) + \mathbf{v}_{ij}(t+1) \tag{3.5}$$

$i = 1,2,..,N$ $j = 1,2,\ldots,n$

Hız (v):

Sürü içerisindeki parçacıkların t anındaki hızları, bir sonraki iterasyondaki yeni konum ve yeni hızın belirlenmesinde etkilidir. Hız vektörü optimizasyon işlemini yönlendirir ve hem parçacığın deneysel bilgisini hem de sosyal olarak komşularından elde etmiş olduğu bilgiyi yansıtır. Sosyal bilgi sürü tarafından bulunan en iyi pozisyondur ve i. parçacığın hızı Formül (3.6) da belirtildiği gibi hesaplanır (Engelbrecht, 2006):

$$v_{i,j}(t+1) = v_{i,j}(t) + c_1 r_{1,j}(t)\left(peniyi_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)\right) + c_2 r_{2,j}(t)\left(geniyi_j(t) - x_{i,j}(t)\right) \quad (3.6)$$

i = 1,2,..,N j = 1,2,…,n

K Sabiti (K):

Çok karmaşık optimizasyon problemlerinde W kullanıldığı halde doğru sonuca ulaşılamadığından K sabitine ihtiyaç duyulmuştur. PSO'nun yakınsama oranının artırılmasında sıklıkla kullanılan daralma faktörü K, Clerc ve Kennedy (2002) tarafından ortaya atılmıştır. Aşırı geribildirim etkisinin azaltılması için kullanılmaktadır.

W ve K'nın küçük değerleri algoritmanın küresel araştırma kabiliyetini düşürüp, bölgesel araştırma kabiliyetini iyileştirirken büyük değerleri ise tersine neticeler verir. Hız engelleme sınırlama modelinde gerekli değildir. Sınırlama modeli, verilen kısıtlar altında yakınsamayı garantiler. Bu sabit ile sapma sayısı azaltılarak doğru sonuca ulaşılması sağlanmıştır. Yeni denklem Formül (3.7) ve Formül (3.8)'de belirtildiği gibidir (Karaboğa, 2011).

$$v_{i,j}(t+1) = K\left[\ v_{i,j}(t) + c_1 r_{1,j}(t)\left(peniyi_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)\right) + c_2 r_{2,j}(t)\left(geniyi_j(t) - x_{i,j}(t)\right)\ \right] \quad (3.7)$$

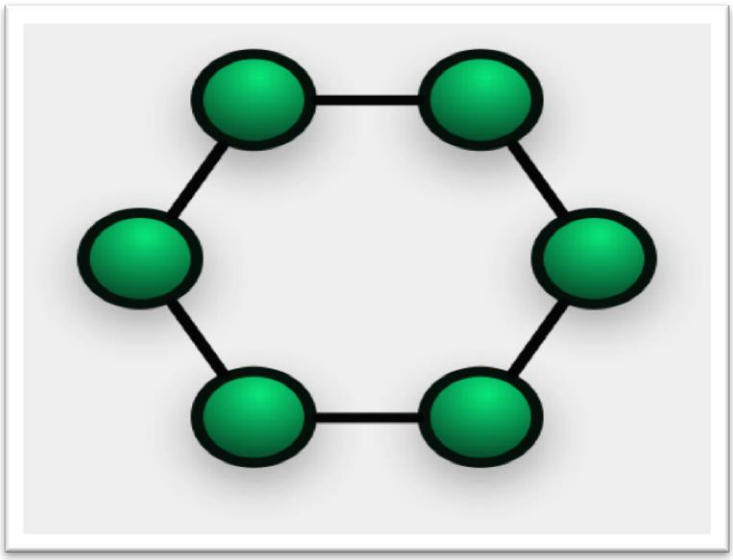
$$K = \frac{2k}{\left|2-\Phi-\sqrt{\Phi(\Phi-4}\right|} \qquad \Phi = c1r1 + c2r2 \qquad \Phi \geq 4 \qquad k \in [0,1] \quad (3.8)$$

Komşuluk kavramı:

Parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarında kavuşma kabiliyeti iyi olan parçacıklarla birlikte atalet değişkeni de işleme alınmıştı. Ancak bu durum daha kompleks problemlerde istenilen sonucu verememektedir. Parçacıklardaki kayıp nedeniyle ilerleyen iterasyonlarda sürüde çöküş meydana gelmektedir. Bu çöküş incelemelerin devamını kısıtlamıştır ve parçacıkların sadece yerel pozisyonda iyi sonuç vermelerine sebep olmuştur.

PSO'yu yönlendiren özellik sosyal etkileşimdir. Sürü içerisindeki parçacıklar birbirlerinden öğrenirler ve elde edilen bilgiye dayanarak daha uygun komşularına daha çok benzeyecek şekilde hareket ederler. PSO için farklı sosyal ağ yapıları belirtilmiştir. Bunlar, yıldız (star), halka (ring), piramit (pyramid), dört küme (four

clusters), Von Neumann sosyal yapıları gibi (Karaboğa, 2004). Yıldız yapıda tüm parçacıklar birbiriyle bağlantı halindedir. PSO'nun ilk uygulaması yıldız ağ yapısını kullanmış olup bu yapı Gbest-PSO'dur (Engelbrecht, 2006). Gbest-PSO, diğer ağ yapılarına nazaran çok daha hızlı yakınsayabilmekte ancak bölgesel minimaya takılma ihtimali artmaktadır. Halka yapıda ise her parçacık en yakınındaki komşularla iletişim kurarak komşuluğundaki en iyi çözüme doğru hareket eder. Bu davranış, halka yapının çok modlu problemlerde yıldız yapıdan daha iyi bir performans sergilemesini sağlar; Şekil 3.6. Bu PSO algoritması genellikle Pbest-PSO olarak adlandırılır (Karaboğa, 2011).



Şekil 3.6. Halka Topolojisi

Herhangi bir x parçacığının komşuluğu şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$NB_{i} = \{x_{n1}, x_{n2}, \ldots, x_{ns}\} \quad \{n_1\, n_2 \ldots\ldots n_s\} \text{ içerir } \{1,2,\ldots,N\} \tag{3.9}$$

Bu komşuluk kümesinden amaç fonksiyonunu en küçük yapan değer o parçacık için yerel gbest' i ifade etmektedir.

3.6. Parçacık Sürü Optimizasyonu İçin Literatür Taraması

PSO, kuş ve balık sürülerinin iki boyutlu hareketlerinden esinlenerek ilk olarak 1995'te Kennedy ve Eberhart, (1995) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra 1998 ve 1999'da Shi ve Eberhart, 2001' de Kennedy ve ark. tarafından çalışmalar sürdürülmüştür.

Eberhart ve Kennedy'nin (1995) çalışmasında yeni bir optimize edici olan PSO metodoloji kullanılarak doğrusal olmayan fonksiyonların optimizasyonu açıklanmaktadır. Global ve yerel en iyi kavramları tartışılmaktadır. Her iki kavram, test problemleriyle, sinir ağları eğitimi ve robot görev öğrenmesini içeren uygulamalarda sunulmaktadır. PSO ile yapay zeka ve evrimsel hesaplama arasındaki ilişkiler gözden geçirilmektedir.

Shi ve Eberhart'ın (1998) çalışmasında, orijinal parçacık sürü optimize ediciye atalet ağırlığı olarak adlandırılan yeni bir parametre tanıtılmaktadır. Simülasyonlar bu yeni parametrenin PSO üzerinde anlamlı ve etkili olduğunu göstermektir.

Shi ve Eberhart'ın (1999) çalışmasında, PSO'nun performansı deneysel olarak denenmektedir. Asimetrik başlangıç aralık ayarları ile dört farklı karşılaştırma fonksiyonu test fonksiyonu olarak seçilmiştir. Deney sonuçları PSO'nun avantaj ve dezavantajlarını göstermektedir. Tüm test durumlarında, PSO her zaman çok hızlı bir şekilde optimal pozisyonlara doğru yakınsamaktadır fakat minimuma yaklaştıkça yakınsama hızı yavaşlamaktadır. Buna rağmen, deney sonuçları uygun bir atalet ağırlığı ile PSO'nun iyi bir performans verdiğini göstermektedir.

Özcan ve Mohan (1999) PSO'nun bir optimizasyon metodu olarak doğrusal olmayan fonksiyonlardaki ve sinir ağı eğitimindeki başarısını anlatmaktadırlar. Basit tek boyutlu PSO sistemindeki bir parçanın gittiği yol sinüzoidal bir dalga ile tanımlanır ve çok boyutlu arama uzayında parçacıkların yörüngesinde yakın form eşitlikleri elde etmek amaçlanmaktadır.

Salman ve arkadaşlarının (2002) çalışmasında PSO prensiplerini esas alan yeni bir görev atama algoritması anlatılmaktadır. Atama problemi için önerilen PSO algoritması Genetik Algoritma ile karşılaştırılmakta ve simülasyon sonuçlarına göre PSO'yu esas alan algoritmanın görev atama problemleri için daha geçerli bir yaklaşım olduğu sonucuna varılmaktadır.

Taşgetiren ve Liang'ın (2003) çalışmasında parti büyüklüğü problemi için 0-1 PSO algoritması kullanılmaktadır. Ele alınan problem toplam sipariş verme ve elde tutma maliyetlerini en küçükleyecek sipariş miktarının saptanmasıdır. Test problemleri Wagner-Whitin algoritması ile çözülerek optimal sonuçlar bulunduktan sonra

problem PSO ve geleneksel Genetik Algoritma ile kodlanarak karşılaştırılmış ve 0-1 PSO algoritmasının hemen bütün sonuçlarda optimal çözüme ulaştığı görülmüştür.

Shi ve arkadaşları (2004) çalışmasında genelleştirilmiş gezgin satıcı problemi için yeni bir kesikli PSO metodu geliştirmişlerdir.

Jerald ve arkadaşlarının (2005) çalışmasında optimum çizelgeleme üretmek için farklı çizelgeleme mekanizmaları ortaya konmuştur. Bu mekanizmalar, Genetik Algoritma, Tavlama Benzetimi, Memetik ve PSO algoritmaları gibi geleneksel olmayan yaklaşımlar içermektedir ve makine boş zamanı ile toplam ceza maliyetini minimize etmek amaçlanmaktadır. Burada da algoritmaların karşılaştırması yapılmıştır.

Andres ve Lozano'nun (2006), PSO algoritmasını ilk kez hücre oluşturma problemi için kullanmışlardır. Hücredeki makineler gruplanırken hücreler arası hareketlerin en küçüklenmesi esas alınmıştır. Problemler üzerindeki deneyler PSO algoritmasının optimal sonucu bulmada başarılı olduğunu göstermektedir.

Şevkli ve Yenisey (2006), atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde bir PSO modelini değişken komşuluk arama yöntemi ile birlikte kullanmışlardır. Oluşturulan bu model, iyi sonuçlar veren diğer sezgisel yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve genel olarak önerilen modelin diğer yöntemlere göre daha iyi veya eşdeğer seviyede olduğu anlaşılmıştır.

Zeng ve arkadaşları (2006) silah-hedef atama problemini ele almışlardır. Bu problemi çözmek için kesikli PSO önerilmekte ve daha iyi aday çözümler bulmak için Açgözlü (Greedy) Arama Stratejisi kullanılmaktadır.

Taşgetiren ve arkadaşları (2007) çalışmalarında, çevrim zamanı ve işlerin maksimum gecikmelerini en küçüklemek amacıyla permütasyon akış tipi sıralama problemini çözerken PSO algoritması kullanmışlardır. PSO algoritmasına, değişken komşuluk arama (variable neighborhood search) metodunu esas alan basit fakat çok etkili bir yerel arama eklemişlerdir.

Özsağlam ve Çunkaş (2008), makalelerinde PSO ile Genetik Algoritma (GA) ve Diferansiyel Evrim Algoritmasının (DEA) performanslarını test fonksiyonları

kullanarak karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçta PSO'nun her iki algoritmaya göre yakınsama hızı ve performansının daha iyi olduğu görülmektedir.

4. AMBALAJ SEKTÖRÜNDE BOBİN ÇEŞİTLİLİĞİNİN AZALTILMASI VE KESME KAYBININ OPTİMİZASYONU PROBLEMİ

Türkiye'de ambalaj sektörünün % 38-40'ı (Tablo 2.1) karton-kağıt-oluklu mukavva kutularından oluşmaktadır. Yüzdenin de gösterdiği gibi konunun önemi nedeniyle "standart hale getirilebilecek en uygun bobin sayısı ve bulunan bobin sayısı ile en küçüklenebilecek yan fire miktarını bulma" problemi çözüm beklemektedir.. Yılda 40.000 ton kağıt kullanan bir işletme için %2,5'luk bir yan fire, 1000 ton kağıdın israfı anlamına gelir ki bu da yılda en az 325.000 $'lık bir kayıp (Cloud, 1994) demek olduğuna göre sonuçların işçilik, üretim, üretim süresi, tedarik ve envanter maliyetlerinde büyük ölçüde tasarruf sağlayacağı açıktır.

Çeşitlilik problemi, stok belirleme problemi, değişik boyutlardaki bobinlerden en uygun karmayı seçme problemidir. Başka deyişle amaç fonksiyonlarını minimize edecek envanter çeşitlerinin saptanması problemidir.

Kesme kaybı (yan fire) problemi ise tabakanın kesileceği en uygun endeki bobini bulma problemidir. Bu sorun, enleri talep eni ile aynı olan bobinleri stokta tutmakla kolayca önlenebilir, ancak bu sefer de kesme kaybı önlenirken stok çeşitliliği artırılmış olur ki çeşitliliğin azaltılabilmesi envanter açısından çok büyük önem taşımaktadır (Kasımbeyli ve diğ., 2011).

Önemine rağmen, problem çeşidine göre yapılan çalışmaların dağılımında stok malzeme seçimi ya da ana malzeme seçimi problemleri üzerine çalışmalar %3'lük bir oranla son derece düşük kalmaktadır (Şekil 2.5).

Bu çalışmada, kağıt/karton ambalaj üretiminde stokta bulundurulması gereken standart bobin sayısı ve genişliği, Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması kullanılarak modellenmiş ve ana malzeme çeşitliliği ve firelerin optimum seviyeye çekilmesi amacı ile oluklu mukavva kutu üreten bir işletmede gerçek veriler üzerinde test edilmiştir. .

Bölümün bundan sonraki başlıklarında sırasıyla işletmenin tanıtımı, üretimle ilgili kısıtlar, problemin çözümü için kullanılan PSO parametrelerinin açıklanması, uygulamanın algoritması ve sonuçları tartışılacaktır.

4.1. İşletmenin Tanıtımı

Camiş Ambalaj Sanayii A.Ş. Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. topluluğu içinde yer alan şirketlerden biridir. 1987 yılında Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları bünyesinde üretilmekte olan cam ev eşyası ürünlerinin ambalajında ihtiyaç duyulan kutuları üretmek üzere kurulmuştur ve tesis Tuzla'dadır. 1997 yılında fabrika büyütülerek Eskişehir Organize Sanayii bölgesinde ikinci fabrika tesis edilmiştir. Zamanla bir yandan topluluğun ihtiyaçları karşılanırken bir yandan da diğer işletmelerin ihtiyaçlarını karşılayacak hatta ihracat yapacak aşamaya gelinmiştir. Ürün yelpazesi müşteri ihtiyaçlarına göre gitgide genişlemiştir. Bugün İstanbul ve Eskişehir işletmelerinde, ofset baskılı lamine karton ambalajlar, flekso baskılı tüketici ve taşıma ambalajları, otomatik dolum hatları için tavalar, teşhir amaçlı kutular ve promosyon kutu üretimleri yapılmaktadır. Bağlı olduğu topluluk dışında, Anadolu Endüstri Holding, Ege Seramik, Evyap v.s. gibi değişik sektörlerden müşterilere de hizmet vermektedir.

İşletmede üretimler sipariş üzerinedir ve müşteri talepleri çok farklılık göstermektedir. Yaklaşık 173000 ürün çeşidi vardır ve sadece bir grupta (kağıt-karton grubunda) bir ayda ortalama 300 iş emri açılmaktadır. Bunun da yılda 3500 – 4000 ürüne karşılık geldiği düşünülecek olursa diğer çeşitler de dahil edildiğinde yaklaşık 10000 çeşit talebin karşılanması demektir. Her geçen gün farklı ebatlarda yeni siparişler alınmaya devam edildiğinden ürün çeşitliliğinin gitgide daha da artacağı açıktır.

Karton – kağıt pahalı ürünler olduğundan maliyetleri düşürmek için yurt dışı ile çalışılmaktadır. Yurt dışından yüzlerce tonun gelmesi için ihtiyacın belirlenmesi, üretim ve yolda geçen süre 3 aydan fazla tutmaktadır. Her aya değişik bobin eni bulundurma önceden siparişler bilinemediği ve türlü sürpriz ebatlar çıkabileceği için son derece riskli bir çözümdür. Ambara son gelen bobin en önde durmakta önceden gelenler ise arkada yer almaktadır. Az fire verilecek bobin arkada olsa da forkliftçinin bu bobini bulma şansı çok düşüktür. İşin rotası yaratılırken kullanılacak

bobin eni de ana rotaya tanıtıldığından her ay değişik bobin geldiğinde iş emri de değişmek zorunda kalmaktadır. Bu uygulayıcının istemediği bir vakit kaybıdır. Ayrıca depo alanı kısıtlı olduğundan sürekli standart enlerle çalışmak hem alanı etkin kullanmak, kolay ulaşabilmek hem de ana rotayı yaratmada büyük kolaylık sağlayacaktır. Camiş Ambalaj Sanayii A.Ş.'nin Tuzla tesislerinin depo kapasitesi 5900 ton/ay dır ve deponun etkin kullanılması zorunluluğu vardır.

4.2. Problemin Tanımı

Yılda 40.000 ton kağıt kullanan bir işletme için %2,5'luk bir yan fire, 1000 ton kağıdın israfı anlamına gelir, bu da yılda en az 325.000 $'lık bir kayıp demektir (Cloud, 1994).

Türkiye'de ambalaj sektörünün % 38-40'ının (Bölüm 2, Tablo 2.1) karton-kağıt-oluklu mukavva kutularından oluşmaktadır. Yüzdenin de gösterdiği gibi konunun önemi nedeniyle: "S*tandart hale getirilebilecek en uygun bobin sayısı nedir ve bulunan bobin sayısı ile yan fire ne kadar en küçüklenebilir?* " problemi çözüm beklemektedir. Sonuçların işçilik, üretim, üretim süresi, tedarik ve envanter maliyetlerinde büyük ölçüde tasarruf sağlayacağı açıktır.

İşletme yönetimi yan fireleri olabildiğince en küçükleyecek ve olabildiğince az çeşidi sürekli stokta tutarak müşteri taleplerini karşılayacak bir çözümü beklemektedir. Bu çalışmada bu problem üzerinde tartışılmış ve belirli bir sonuca ulaşılmıştır.

4.3. Çözüm Yöntemi Kararı

PSO, hesaplama açısından oldukça etkin ve yerel en iyiden sıçrayabilme açısından da oldukça başarılıdır, diğer algoritmalara göre yakınsama hızı ve performansının da daha iyi olduğu görülmektedir (Özsağlam ve Çunkaş, 2008). Ayrıca, ayarlanacak parametre sayısının az olması, uygulama kolaylığı sağlaması, daha hızlı araştırma prosesine sahip olması ve etkili performans sunması açısından PSO'nun GA'dan üstün olduğu belirtilmiştir (Zhang ve ark. 2006).

Bu çalışmada, problemin çözüm yöntemine karar verirken,sezgisel algoritmalardan PSO kullanılarak bir yöntem geliştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bölümün bundan sonraki başlıklarında sırasıyla üretimle ilgili kısıtlar, problemin çözümü için

kullanılan PSO parametrelerinin açıklanması, uygulamanın algoritması ve sonuçları tartışılacaktır.

4.3.1. Üretim ile ilgili kısıtlar

Oluklu mukavva, ara kağıt ondüle edildikten sonra (bakınız 2. Bölüm) dış kağıtlara yapıştırılır sonra da oluklu makinasında ayarlanabilir boy ve en bıçakları ile kesilerek istenilen ebatta tabakalar elde edilir. Tabakalar kesilip katlanarak kutuların üretimi tamamlanmış olur. Bahsi geçen dış kağıt "liner", ara kağıt "fluting" olarak sınıflandırılmaktadır.

Üretimde kullanılan bu kağıtlar çeşidine göre yurt içinden veya yurt dışından tedarik edilmekte yurt içi temin süresi bir hafta iken yurt dışı temin süresi 2-3 aya çıkmakta hatta "Bristol karton", "Mead karton" gibi kağıtlar 5-7 ay aralığında temin edilebilmektedir. Müşteri siparişleri ise bir haftadan daha önceye çekilememektedir. Talepleri zamanında karşılayabilmek için yeterli stoğun bulunması kadar depoların kapasitesi ve fireyi artırmayacak ebatta kağıdın bulunması da önemlidir. Bu nedenle bazı işletmeler üç beş tip kutu üretimi dışına çıkmayı reddetmekte siparişleri geri çevirmektedirler.

Problem ile ilgili belirlenen kısıtlar iki grupta toplanabilir:

A) Makine kısıtları :

1. İşletmede kullanılan oluklu mukavva makinası kağıdı en fazla iki parçaya (boydan) ayırabilmektedir.
2. Oluk yönünün önemi dolayısıyla ters elyaf çalışılamamaktadır. Yani en boy yapılamamakta aksi taktirde kutular kolayca esneyebilmekte ve patlamaktadırlar.
3. Makinanın çalışabileceği en büyük kağıt eni 1400mm'dir.
4. Makinanın özelliği bobin 2 parçaya bölünebilmekte ve 2 tabaka aynı anda kesilebilmektedir.
5. Malzeme boyu sonsuz kabul edilebilir zira sürekli beslenebilmektedir.
6. Malzemenin toplandığı depo kapasitesi 5900 ton/ ay dır.

B) Talep kısıtları:

1. Talepler düzenli değil, haftalık hatta günlük

2. Geçmiş ile birebir tutarlılık yok.

4.3.2. Matematiksel model

B_k = k. bobin eni (k = 1…p)

C_k = k. bobin boyu

X_i = tabaka eni (i=1…….n)

Y_{ij} = i. ene ait tabaka boyu (j=1…….m)

T_{ij} = ij. tabakadan talep miktarı

F_{ki} = i. tabakanın k. kümedeki bobin Fire eni

k = küme sayısı

Kesme Kaybı (Yan fire) : $F_{ki} = B_k - X_{ki}$

Talebe bağlı Gerekli boy : $\sum\sum Y_{ij}\, T_{ij}$

Amaç fonksiyonu:

Toplam Kesme Kaybının Optimizasyonu

$$Z_{min} = \Sigma_i \Sigma_j F_{ki}\, Y_{ij}\, T_{ij} / \Sigma_i \Sigma_j (X_{ki} + F_{ki}) Y_{ij}\, T_{ij}$$

Kısıtlar:

$$F_{ki} = B_k - X_{ki}$$

$$X_{ki} \leq B_k$$

$$X_{ki}\, Y_{ij}\, T_{ij} \leq B_k\, C_k$$

Bundan sonra bobin çeşit sayısı belirlenecek ve sezgisel yöntemlerden Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması kullanılarak mevcut verilerin hangi bobin enine daha çok yakınsadığı bulunarak standart bobin enleri saptanacaktır.

4.4. Problemin Çözüm Yönteminin Tanımı

Fire ve çeşitliliği azaltabilmek için sezgisel algoritmalardan Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması kullanılarak MATLAB da bir yazılım geliştirilmiş ve

örnek veriler üzerinde denemeler yapılmıştır. Alınan sonuçlar memnuniyet verici olmuştur.

Bobinlerde boydan doğacak fireler göz ardı edilmiş ve artan bobinin saklandığı varsayılmıştır.

Kullanılan parametreler, değişkenler, kullanılan programın algoritması ve akış şeması sonraki bölümlerde sırasıyla tanıtılmıştır.

4.4.1. Parçacık sürü optimizasyonu tanımlamaları

PSO algoritmasında, literatürde kullanılan PSO parametreleri probleme uyarlanmış ve Matlab programı ile yapılan yazılımda kullanılan karşılıkları açıklanmıştır. Yazılımın hesaplama kodu ise Ek-2 de verilmiştir.

Bobin sayısı ve iterasyon sayısı ekrandan girilmektedir.

Başlangıç popülasyon sayısı : yazılımda istenirse değiştirilebilmektedir.

W (atalet ağırlığı) : yazılımda istenirse değiştirilebilmektedir.

C1, C2 (hızlandırma katsayıları) : yazılımda istenirse değiştirilebilmektedir.

R1, R2 : [0-1] aralığında rasgele üretilen sayılardır.

X_{ij}^{t} : t. iterasyonda i. parçacığın j. tabaka enini hangi bobin enine atadığını gösterir. Bir iterasyonda bir parçacık için bobin-en atama vektörü kullanılır. Bir popülasyon matrisi oluşturulur. Şimdiki konum Eşitlik (4.1) gibidir:

simdiki-konum = int64(repmat(ayk,n,1)') (4.1)

V_{ij}^{t} : t. iterasyonda i. parçacığın j. tabaka enini bir bobin enine atama isteğidir. Hız değeri Vmin ve Vmax arasında sınırlandırılmıştır. Başlangıç hız 1 ile 10 arasında rasgele bir sayıdır Eşitlik (4.2) de verilmiştir:

Hız = (10 x rand;(dim,n)) (4.2)

Pbest(i): i. parçacığın o zamana kadar elde ettiği en iyi uygunluk fonksiyonu değerini veren tabaka_en-bobin_en atama vektörüdür. Matlab'da başlangıçta yerel en iyi konum şimdiki konuma eşit alınmıştır, Eşitlik (4.3), (4.4) ve (4.5).

$$Pbest(i) = (p_{i1}, p_{i2}, \ldots\ldots, p_{ij}) \quad (4.3)$$

$$P_{ij} = (k_{i1}, k_{i2}, \ldots\ldots, k_{iN}) \quad (4.4)$$

Yerel en iyi uygunluk = şimdiki uygunluk (4.5)

Gbest(t): t. iterasyondaki parçacıkların arasında en iyi (minimum) uygunluk fonksiyonu değerini veren tabaka_en- bobin_en atama vektörüdür.

Gbest : Tüm iterasyonlar arasında en iyi uygunluk fonksiyonu değerini veren Gbest(t) tabaka_en- bobin_en atama vektörüdür; Eşitlik (4.6).

[global en iyi uygunluk, g] = min (yerel en iyi uygunluk) (4.6)

Uygunluk fonksiyonu: i'inci parçacığın uygunluk fonksiyonu 0 matris Eşitlik (4.7) deki gibi oluşturulur.

Şimdiki uygunluk = 0 x ones(n,1) (4.7)

4.4.2. Kullanılan algoritma

Kullanılan algoritmanın akışı şöyle planlanmıştır:

Başlangıç tanımlarının yapılması:

1) Belirli bir zaman dilimindeki siparişlerden aynı olanları bir araya getir ve sipariş miktarlarını topla.

2) Bobin sayısını ve iterasyon sayısını ekrandan al.

3) Toplam sipariş miktarlarına göre büyükten küçüğe doğru sıraya diz ve başlangıç sürüsünü oluştur.

4) En büyük sipariş mıktarına sahip olan eni Max, en küçük sipariş miktarına sahip eni ise Min konum sınırları olarak belirle.

5) Sürü büyüklüğü yani popülasyonu belirle.

6) Maksimim nesil kaç iterasyona kadar gidileceğini belirle.

7) Problemin boyutu, c1 ve c2 öğrenme katsayısı ve w atalet ağırlığını belirle.

8) R1 ve R2, matrisi rasgele sayılardan oluştur.

9) Şimdiki uygunluk için 0 matris yarat.

Başlangıç değerlerinin atanması:

10) Başlangıç sürüsünün ilk değerlerini şimdiki konum olarak ata.

11) Yerel en iyi konum = şimdiki konum

12) Başlangıç hız matrisini rasgele sayılardan oluştur.

Başlangıç sürüsünün değerlendirilmesi:

13) Şimdiki uygunluk = sürünün tüm elemanları için tüm bobinlerin şimdiki konumlarını sırasıyla ata

14) Yerel en iyi uygunluk = şimdiki uygunluk.

15) Global en iyi uygunluk = Minimum yerel en iyi uygunluk.

16) Tüm popülasyon için: global en iyi konum = yerel en iyi konum.

Hız ve konum güncellemeleri:

17) Pozisyon ve hızlar yenile:

Hız=w.hız+c1(R1.double(yerel_eniyi_konum–simdiki_konum))+
c2(R2.double(global_eniyi_konum–simdiki_konum)) (4.8)

simdiki_konum=simdiki_konum+int64(hiz)simdiki_konum (4.9)

18) Tüm popülasyon için:

Eğer şimdiki uygunluk < yerel en iyi uygunluk ise yer değiştirme yap: yerel en iyi uygunluk = şimdiki uygunluk ;

Yerel en iyi konum = şimdiki en iyi konum olarak al.

19) Şimdiki global en iyi uygunluk = Minimum yerel en iyi uygunluk.

20) Eğer Şimdiki global en iyi uygunluk < global en iyi uygunluk ise yer değiştirme yap: global en iyi uygunluk = Şimdiki global en iyi uygunluk.

21) Tüm popülasyon için: global en iyi konum = yerel en iyi konum olarak al.

22) Hız ve konum güncelle.

23) Aralık sınırlandırılması: Eğer şimdiki konum < en küçük bobin eni ise şimdiki konum = en küçük bobin eni. Eğer şimdiki konum > en büyük bobin eni ise şimdiki konum = en büyük bobin eni.

24) Fire yüzdesi hesapla:

Fire yüzdesi = (global en iyi uygunluk/ (global en iyi uygunluk + tabaka alan))100

25) Dur kriteri (maksimum nesil) sağlanana kadar 13. adımdan itibaren döngüyü tekrar et.

Yazılım sonucunda istenilen adetteki bobin için toplam fire yüzdesi ve en çok yakınsanan bobin enlerinin değerleri elde edilmektedir.

Bobin çeşit sayısının saptanmasında farklı sektörlerde karar vericinin tercihi esas alınır. Her ilave bobin eni için fire oranında yapılacak tasarruf bir öncekine oranla istenene eşit veya üzerinde ise ilave olarak yeni bir bobin boyutunun kullanılması tercih edilir.

İzlenecek yol, stokta bulundurulacak bobin çeşit sayısı aralığı tek tek denenerek fire oranlarındaki kazanç saptanır. Karar vericinin tercihi altında kalan kazançlar elenerek eşikteki bobin çeşit sayısına karar verilir.

Farklı sektörlerde karar vericilerin bobin çeşit sayısına bağlı olarak oluşabilecek envanter maliyetleri, stok alanı kullanım maliyetleri ile fireden kazanç oranları değerlendirilerek uygun çeşit sayısı belirlenebilir.

4.4.3. Kullanılan fire hesabı

İstenilen adetteki bobin için bulunan bobin eninden en yakın olandan verilen sipariş enleri çıkarılarak fire belirlenir.

Gerekli boy ile fire eni çarpılarak toplam fire alanı hesaplanır.

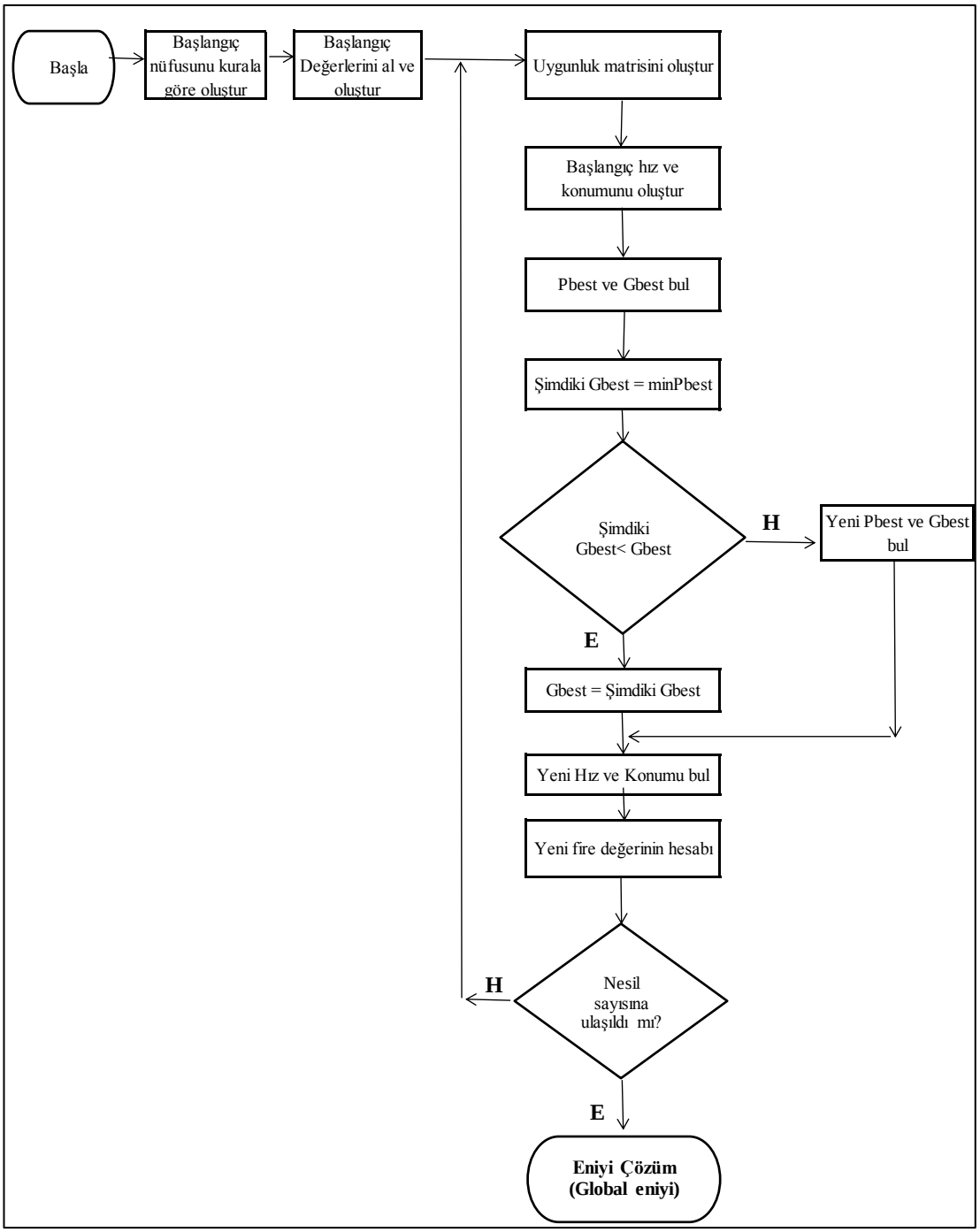
Toplam fire alanı toplam alana bölünüp 100 ile çarpılarak fire yüzdesi hesaplanır.

4.4.4. Kullanılan algoritmanın akış şeması

Algoritma örnek veriler üzerinde sınanmıştır. Elde edilen sonuçlar fabrika değerlerinin altında çıkmasına rağmen çalışmalar sürdürülerek daha etkin bobin kümelerine ve her kümede de farklı düşük fire yüzdelerine erişilebilmiştir.

Modelde yapılmasına karar verilen başlangıç değerlerinin farklı bir şekilde konumlandırılmasıdır.

Kullanılan algoritmanın akış şeması Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Algoritmanın akış şeması

4.5. Uygulama

PSO algoritması kullanılarak ayrı ayrı önce 20 daha sonra 40 populasyonlu ve maksimum nesil 250 alınarak yapılan araştırmada minimum fireyi veren 4 ayrı grup tespit edilmiştir.

Başlangıç veri seti farklılaştırılarak 93 adet farklı eni içeren siparişlerle yeni bir araştırma yapılmış, bu araştırmada 7 çeşit bobin eni için sonuçlar izlenerek firenin %3'ler seviyesine indiği gözlenmiştir.

4, 5, 6 veya 7 bobin çeşidinin içinde en düşük fireyi veren 7 bobin çeşitli gruplar olmuştur. Bobin çeşidinin çoğalmasıyla firenin küçülmesi bobin sayısının artırılmasının gerektiğini göstermiştir. Diğer aylarla sınamaların yapılması standart bobin enlerinin saptanması sonucunu netleştirecektir.

4.5.1. Örnek veri seti ile uygulama

Yapılan çalışmada kullanılan örnek veri setinden bir kısım, işletmenin bir ay içinde aldığı, karton kutu ambalaj siparişleri için gerekli karton tabaka eni, tabaka boyu ve alınan müşteri sipariş miktarı Tablo 4.1'de verilmiştir. Gerekli Miktar sütunu boy ile sipariş miktarının çarpılmasıyla elde edilen malzemede ihtiyaç duyulacak toplam boyu göstermektedir.

Her satır bir araya getirilmiş siparişlerden oluşan iş emirlerini göstermektedir. Tabloda aynı enler yer alsa da çalışmalar sırasında bu satırların toplanması ve uygunluk matrisinin toplam miktarlar ile oluşturulmasına özen gösterilmiştir.

Fabrikadan 2009-2011 yılları arasında ki tüm veriler alınmıştır. Önce aylık sonra yıllık daha sonra da ikişer ve üçerli yılların verileri ile uygulamalar sürdürülmüştür.

Aylık çalışmalarda bobin çeşidi yıla nazaran daha az olduğundan fire oranları genelde düşük çıkmış ancak tespit edilen enler bir sonraki aya uygulandığı zaman fireler yükselmiştir. Araştırmalar şunu göstermiştir: mevsimlere göre ürün satışları farklılaşmakta paralelinde de değişik ebatlarda ambalaj ihtiyacı doğmaktadır. Aynı şekilde teknolojik değişiklikler, beslenme alışkanlıklarındaki değişimler, modadaki farklılaşma gibi nedenlerle ambalaj ebatları da değişmektedir.

Yıllık çalışmalar tüm istekleri bir araya toplayacağından doğru sonuca yakınlaşmayı sağlayacaktır.

İlk uygulamada kullanılan bu verilerden elde edilen sonuçlar tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Karton kutu ambalaj örnek veri seti

KARTON_EN	KARTON_BOY	MIKTAR	GEREKLİ MIKTAR
900	1.068	5.582	5961576
1.300	900	25.482	22933800
1.025	1.206	75.120	90594720
670	910	31.096	28297360
900	1.330	18.515	24624950
950	1.213	5.192	6297896
650	1.185	1.376	1630560
1.200	863	100	86300
1.250	895	14.072	12594440
600	1.052	479	503908
1.200	791	8.659	6849269
1.100	741	13.750	10188750
750	1.115	1.490	1661350
900	1.068	1.344	1435392
709	1.160	83	96280
1.200	863	432	372816
831	868	69	59892
885	1.015	17	17255
1.119	824	7.850	6468400
1.114	881	1.480	1303880
600	1.052	0	0
1.100	777	6.980	5423460
1.135	913	2.088	1906344
1.100	810	3.582	2901420
1.200	906	10.231	9269286
1.025	1.206	50.747	61200882
1.000	1.218	5.276	6426168
691	1.055	749	790195
729	1.087	1.840	2000080
1.080	818	11.325	9263850
715	950	2.249	2136550
725	1.018	24.275	24711950
800	1.196	55.344	66191424
650	1.102	723	796746
1.074	811	1.394	1130534
926	1.168	1.709	1996112
1.300	811	5.285	4286135
985	948	4.280	4057440
800	1.172	611	716092
1.065	610	3.053	1862330
1.050	841	3.980	3347180
1.237	885	166.863	147673755
1.140	610	13.031	7948910
972	1.075	3.001	3226075
650	1.185	13.327	15792495
919	1.194	5.255	6274470
905	785	2.610	2048850
720	1.140	6.975	7951500
661	1.124	1.506	1692744

Tablo 4.2 de sezgisel yöntemlerden Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması kullanılarak 93 farklı bobin eninin yakınsadığı sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.2 Sezgisel yöntemlerden PSO kullanılarak elde edilen sonuçlar

PSO İLE ALINAN ÇÖZÜM SONUÇLARI				
İSTENEN BOBİN ÇEŞİDİ SAYISI:	7	7	7	7
GLOBAL EN İYİ UYGUNLUK DEĞERİ	36350778	46718030	42253375	40397682
SONUÇLAR :	1118	1244	864	967
	964	973	642	855
	1037	620	1241	1109
	813	873	1250	811
	860	810	965	1250
	1258	1095	810	653
EN BÜYÜK BOBİN ENİ	1400	1400	1400	1400
FİRE YÜZDESİ :	3,0211	3,8267	3,3587	3,381
POPULASYON :	20	40	40	40
MAKSİMUM NESİL :	250	250	250	250

Bobin enlerinde işletmenin Standardizasyona gidip gidemeyeceğini araştırma:

Aylar itibariyle sipariş verilecek bobin enlerinin aynı olması aynı ürünlerin tekrarlı ve miktar olarak fazla siparişi, sipariş maliyetlerini düşüreceğinden diğer aylardaki fire oranlarının araştırılması da yapılmıştır. Aynı gruplarla ve aynı bobin çeşitleriyle diğer 14 ay için yapılan fire araştırması sonuçları Tablo 4.3 de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre fire yüzdesi 1.aydaki veriler üzerinde %3 civarında çıkmışken diğer aylarda bu yüzde %5 civarına yükselmiştir.

Yedi bobin çeşidiyle firelerin yüksek çıkması üzerine standarta gidilemeyeceği anlaşılmaktadır. Karar verici, yapılan görüşmelerde fireyi %1,5 seviyelerine çekecek bobin karmasının uygun olacağını belirtmiştir., Ayrıca ilave edilecek her yeni bobinin bir önceki çeşit sayısına oranla sağlayacağı kazanç %10'un altında kaldığı taktirde bir önceki sayı ile çalışmaların uygun olacağını bu oranın altına düşülmemesi gerekliliğini vurgulamıştır. Bunun da en fazla 15 çeşidi içermesinin kabul edilebilir bir sayı olduğuna karar verilerek araştırmalar sürdürülmüştür.

Tablo 4.3 Aylara göre, 4 grup 7 çeşit bobinden çıkan fire yüzdeleri dağılımı

AYLAR	TABAKA	BOBİN	BOBİN GRUPLARI			
			1.GRUP(mm)	2.GRUP(mm)	3.GRUP(mm)	4.GRUP(mm)
	SİPARİŞE GÖRE GEREKEN KARTON TABAKA ENİ ÇEŞİT SAYISI	SİPARİŞLER İÇİN ÖNGÖRÜLEN BOBİN ÇEŞİT SAYISI	813 860 964 1037 1118 1258 1400	620 810 873 973 1095 1244 1400	642 810 864 965 1050 1241 1400	653 811 855 967 1109 1250 1400
			YUKARIDAKİ BOBİN ÇEŞİTLER İÇİN BULUNMUŞ FİRE YÜZDELERİ			
1	62	7	3,021129845	3,826720152	3,358794339	3,381063847
2	79	7	5,049853191	5,095950726	5,393357517	5,348507363
3	99	7	4,824103403	6,083706072	5,439887053	6,484371952
4	39	7	4,938571187	9,401002158	9,124859947	5,935406883
5	72	7	5,474218408	6,308772695	6,199267297	5,856803242
6	150	7	4,879192098	5,679504737	5,100937501	5,940114662
7	155	7	5,350486176	5,909737776	6,158902123	6,644211504
8	152	7	5,392281776	5,828885302	5,508092589	5,76755336
9	147	7	6,014583094	5,828871622	5,860266342	5,817224222
10	151	7	6,235748872	6,401812901	6,930735086	6,766143216
11	158	7	5,283642046	5,760025452	5,742182662	6,152061899
12	177	7	6,026883879	6,642195835	6,343689209	7,159749333
13	175	7	6,811307662	7,149138995	7,300356299	7,430278274
14	155	7	4,867968921	5,925980876	5,299784339	6,041439408
15	178	7	5,859185841	5,972220495	6,164192312	6,393750829

Program her ay için çalıştırıldığında çok düşük (%1,3'ler civarında) fire yüzdeleri hesaplanabilmektedir ancak müşteri taleplerinin anlık olması ve ana malzemenin bir kısmının ithal zorunluluğu ve tedarik süresinin 3 ay civarında olması sebebiyle ihtiyaca cevap verememektedir. Geleceğe yönelik talep tahminleri de yapılamadığından aylık sonuçlar kullanılamamaktadır. Standart enlerle çalışmak kaçınılmazdır.

4.5.2. 2 ve 3 Yıllık verilerle uygulama

Hedef tüm aylarda kullanılabilecek standart bobin enlerini saptamak olduğundan geçmiş iki yıllık ve üç yıllık gerçek veriler kullanılarak araştırmalar sürdürülmüştür.

2009-2010-2011 yıllarını kapsayan verilerden elde edilen sonuçlar ile 2010-2011 yılları verilerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına ve en uygun bobin eni karmasının 2012 ve 2013-2014 yılları verileri ile sınanması planlanmıştır.

Kağıt karton grubunda diğerlerinden çok daha fazla olan 210 gr ve 225 gr ‘lık KK210 ve KK225 grubuyla çalışılmıştır. 2009-2010-2011 yılı verisi 10301 satırdan, 2010-2011 yılı verisi 7413 satırdan oluşmaktadır. Her satır birleştirilmiş müşteri taleplerini içeren iş emirlerini tanımlamaktadır.

PSO parametrelerinde literatüre en uygun parametre değerleri tercih edilmiş ancak diğer alternatifler de sınanmıştır. 60 populasyonla başlatılan çalışmalarda programın çalışma süresinin, yaklaşık 7500 veri için, 5 dakika olduğu halde popülasyon 150 alındığında 15 dakikaya (3 misli) çıktığı gözlenmiştir. Çalışmalara popülasyon = 100 alınarak devam edilmiştir.

Bobin çeşit sayısı 7 ila 16 arasında çalışılarak fire yüzdelerindeki değişim araştırılmıştır. Bobin sayısı arttıkça fire yüzdelerinin düştüğü gözlenmiştir. Depoda bulundurulacak standart bobin sayısının kaç olması gerektiği saptanırken firedeki kazanca bakılmıştır. Bobin sayısındaki artışa bağlı olarak bulunan fire düşüşündeki kazanç oranının seviyesi karar vericinin tercihine bırakılmıştır.

Kullanılan parametre değerleri:

İterasyon : 30

Populasyon (p) : 100

Hızlandırma katsayısı (c1,c2) : c1= c2= 1,9

Atalet ağırlığı (w) : 0,6

alınmıştır.

Hesaplamalarda her bobinden kesilecek tabakaların eni (Karton En), boyu (Karton Boy) ve müşteri taleplerinin her iş emrindeki toplam miktarı (Miktar) kullanılmıştır.

Bobin enlerindeki kümelenme daha çok talep edilen kutu ebatlarındaki benzerliğe bağlı olarak değişmektedir. Veriler incelendiği zaman aylara, mevsimlere göre miktarlarda da zıplamalar veya düşüşler izlenmektedir. Örneğin yaz aylarında içecek tüketimi çok fazlalaştığından içecek firmalarının talepleri de yoğunlaşmakta ve aynı tip kutu üretimi artmaktadır. Kış aylarında bu talep düşmekte bu sefer farklı bir

sektör ağırlık kazanmaktadır. Tablo 4.4'te 2010-2011 yılı talep verilerinden bir kısmı örnek olarak verilmiştir.

Tablo 4.4. 2010-2011 Yılı talep verilerinden örnek

KARTON ENİ	KARTON BOYU	MIKTAR
1317	713	8098
1010	805	1785
1236	728	18007
900	1038	10766
1400	734	2429
964	1200	6577
750	1322	8184
730	954	2834
725	998	4454
1025	1206	44777
912	1324	3990
725	1164	5362
850	1140	2402
920	779	352
735	1200	22056
840	950	2726
1050	841	4277
700	1014	22387
1114	759	5439
889	1155	2878
800	958	2309
900	1027	3004
705	850	709
1034	777	2073
1339	880	13227
784	1113	4148
1000	800	3453
1268	610	1386
865	813	2837
817	850	2905
725	1164	5362
920	1100	1469
920	1190	1523
1138	642	1534
700	1239	24063
1030	761	8602
780	1074	18576
835	1012	2337
650	1022	538
655	980	1465
900	1070	1480
1035	1232	29371
1140	610	13258
972	1276	11794
1300	907	1861

2009-2010-2011 yılları verilerine göre 14 bobin çeşidi için hesaplanan fire Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. 2009-2010-2011 Yılları verileri ile 14 bobin için saptanan enler

2009-2010-2011 YILI BOBİN ENİ BELİRLEME İLK ÇALIŞMA	
POPULASYON = 100 C1= 1,9 c2= 1,9 w= 0,6 BOBİN SAYISI = 14 ITERASYON SAYISI = 30	
ÜÇ YILLIK VERİLERLE ÇALIŞMA	
YAN FİRE YÜZDESİ	1,99
BOBİN NO	BOBİN EN (mm)
BOBİN 1	600
BOBİN 2	668
BOBİN 3	750
BOBİN 4	810
BOBİN 5	850
BOBİN 6	900
BOBİN 7	973
BOBİN 8	1000
BOBİN 9	1035
BOBİN 10	1100
BOBİN 11	1158
BOBİN 12	1237
BOBİN 13	1300
BOBİN 14	1400

2010-2011 yılları verilerinden elde edilen 30 iterasyonun sonucu EK-3'te örnek olarak gösterilmiştir. Ek-3'te koyu renk ile belirtilen kolon en düşük fireyi veren bobin karmasıdır ve Tablo 4.6'da açıklanmıştır.

Tablo 4.6. 2010-2011 Yılları verileri ile 14 bobin için saptanan enler

2010-2011 YILI BOBİN ENİ BELİRLEME İLK ÇALIŞMA	
POPULASYON = 100 C1= 1,9 c2= 1,9 w= 0,6 BOBİN SAYISI = 14 ITERASYON SAYISI = 30	
İKİ YILLIK VERİLERLE ÇALIŞMA	
YAN FİRE YÜZDESİ	1,95
BOBİN NO	BOBİN EN (mm)
BOBİN 1	600
BOBİN 2	670
BOBİN 3	750
BOBİN 4	810
BOBİN 5	850
BOBİN 6	900
BOBİN 7	975
BOBİN 8	1000
BOBİN 9	1035
BOBİN 10	1100
BOBİN 11	1158
BOBİN 12	1240
BOBİN 13	1313
BOBİN 14	1400

2009-2010-2011 yılları ve 2010-2011 yılları verilerinden ayrı ayrı bulunan ve standart olabilirlikleri saptanmaya çalışılan bobin enleri ayrı ayrı 2012 ve 2013-2014 yılları verilerine de uygulanarak sonuçları sırasıyla Tablo 4.7 ve Tablo 4.8 de verilmiştir.

Tablo 4.7. 2012 Yılı verileriyle yapılan sınama sonuçları

2012 YILI VERİLERİ İLE SINAMA İLK ÇALIŞMA		
POPULASYON = 100 C1= 1,9 c2= 1,9 w= 0,6 BOBİN SAYISI = 14 ITERASYON SAYISI = 30		
İKİ VE ÜÇ YILLIK VERİLERLE ÇALIŞMA		
YAN FİRE YÜZDESİ	2,043832912	2,01801102
BOBİN NO	2 yıllık veri 2010-2011	3 yıllık veri 2009-2010-2011
BOBİN 1	600	600
BOBİN 2	670	668
BOBİN 3	750	750
BOBİN 4	810	810
BOBİN 5	850	850
BOBİN 6	900	900
BOBİN 7	975	973
BOBİN 8	1000	1000
BOBİN 9	1035	1035
BOBİN 10	1100	1100
BOBİN 11	1158	1158
BOBİN 12	1240	1237
BOBİN 13	1313	1300
BOBİN 14	1400	1400

2012 yılında farklı verilerle çalışılmış olmasına rağmen 2010-2011 ve 2009-2010-2011 yılları verilerinden elde edilen aynı 14 bobin çeşidi, fire yüzdesini benzer seviyede koruyabilmiş ve çoğu işletmenin kabul edebileceği sınırlar içinde kalmıştır. İşletmenin bu yıllarda fire yüzdesi %2,5 civarlarında hesaplanmaktaydı.

2013-2014 verilerinde sınanınca yüzdenin biraz daha arttığı görülse de kullanılabilir seviyelerde kaldığı izlenmiştir.

Tablo 4.8. 2013-2014 Yılı verileriyle yapılan sınama sonuçları

2013-2014 YILI VERİLERİ İLE SINAMA İLK ÇALIŞMA		
POPULASYON = 100 C1= 1,9 c2= 1,9 w= 0,6 BOBİN SAYISI = 14 ITERASYON SAYISI = 30		
İKİ VE ÜÇ YILLIK VERİLERLE ÇALIŞMA		
YAN FİRE %	2,29	2,27
BOBİN NO	2 yıllık veri 2010-2011	3 yıllık veri 2009-2010-2011
BOBİN 1	600	600
BOBİN 2	670	668
BOBİN 3	750	750
BOBİN 4	810	810
BOBİN 5	850	850
BOBİN 6	900	900
BOBİN 7	975	973
BOBİN 8	1000	1000
BOBİN 9	1035	1035
BOBİN 10	1100	1100
BOBİN 11	1158	1158
BOBİN 12	1240	1237
BOBİN 13	1313	1300
BOBİN 14	1400	1400

Tablolardan görüldüğü üzere yüzdeler ne yazık ki % 2,01 den aşağıya çekilememiştir Bazı ambalaj fabrikalarında % 1,7 – 2,5 kenar firesi yüzdesi son derece mükemmel kabul edilmesine rağmen tonlarca mukavva kullanıldığı göz önüne alınınca firenin %0,1 düşürülmesinin bile israfı ne kadar önleyeceği ve maliyetleri düşüreceği açıktır.

Optimizasyon çalışmaları sırasında taleplerin çeşitliliği arttıkça, küme sayısını sabit tuttuğumuzdan, hesaplanan fire yüzdesi de artmaktadır. Yine dikkati çeken bir nokta da 600-700 mm aralığında, 1200-1300 mm ve 1300-1400 mm aralığında bobin çeşitliliği 150 adet ile diğer 700-1200 mm aralığında bulunan 350 adete oranla düşük kalmaktadır. Çeşit sayısını azaltabilmek için 600-700 mm aralığındaki taleplerin 1200-1400 mm aralığındaki babinlerden üretilmesi öngörülmüştür.

4.5.3. Algoritmada yeni bir model uygulama

Üretimde kullanılan kesme makinasının bir özelliğinden yararlanılarak müşteri taleplerinin çeşitliliğinin azaltılması yönünde yeni veriler oluşturulmuştur. İlk 600-700 mm grubunda bulunan çeşitlerin 1200-1400 mm grubundaki bobinlerden de kesilebileceği öngörülerek veriler üzerinde yeniden çalışılmıştır.

Kullanılan kesme makinalarının bobini eninden ikiye ayırabilecek giyotini bulunması nedeniyle büyük endeki bobinlerin yarısı ve yarısından az olan tabakaların tek bobinden kesilmesi düşünülmüştür. Bu şekilde, en geniş bobin eni 1400 mm olduğundan eni 701 mm den az olan tabaka enleri geniş bobin enlerinden kesilebilecektir. Örneğin eni 600 mm olan iki tabaka çok rahatlıkla ve hiç fire vermeden 1200 mm bobinden kesilebileceklerdir.

Bütün 2009-2010-2011 verileri ve 2010-2011 verileri 701 mm den küçük olanlar 2 ile çarpılıp hangi büyük endeki bobine yakınsarsa o bobinden kesilebileceği varsayılarak yeniden düzenlenmiştir. Yeni veriler üzerinden çalışmalara aynı şekilde devam edilmiş ve hesaplamaların son derece memnuniyet verici çıkması öngörülerin doğruluğunu kanıtlamıştır.

Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir husus vardır. Verilerde 701 mm altında kalan enler 2 ile çarpılırken müşteri talep miktarlarının da 2 ye bölünmesi gereğidir. Aksi halde, örneğin 20 adet 600 mm eni olan tabaka 1200 mm' lik bobinden kesilirse ve adet yine aynı kalacak olursa ortadan bölündüğü zaman 40 adet tabaka elde edilecek bu da talebin 2 misli tabaka olacaktır. Yeni verilerde karton tabaka enleri 2 ile çarpılırken tabaka miktarı da 2 ye bölünmüştür.

Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te ortadan kesilmiş bir bobinin tabakalara ayrılmış hali görülmektedir.



Şekil 4.2. Kesime hazır bobin



Şekil 4.3. Bobinin ortadan kesilmesi



Şekil 4.4. Tabakaların oluşturulması

Tablo 4.9 da 2010-2011 verileri üzerinde yapılan çalışmalardan örnek bir kesit verilmiştir. Burada 650 mm eni olan 538 adet tabaka 1300 mm enli bobinden 269 adet tabaka (650 x 2 = 1300 mm, 538 / 2 = 269 adet) olarak kesilmiş, giyotin ile üretim sırasında ortadan bölünüp 650 mm x 538 adet elde edilmiştir. Diğer 655 mm 600 mm ve 625 mm olan örnekler de de aynı uygulama yapılmıştır. Tam bölünemeyen sayılar da bir üste yuvarlanmıştır

Tablo 4.9. 2010-2011 Yılı verilerinin ilk ve son uygulamaya göre örneği

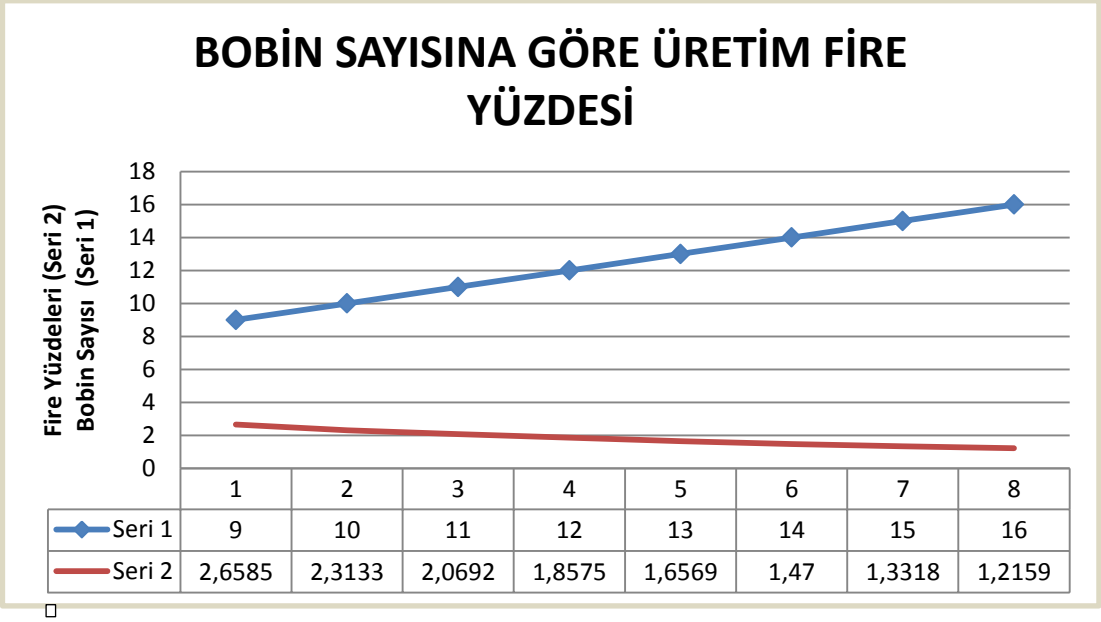
İLK UYGULAMA VERİLERİ			SON UYGULAMA VERİLERİ		
KARTON_EN	KARTON_BOY	MIKTAR	KARTON_EN	KARTON_BOY	MIKTAR
1317	713	8098	1317	713	8098
1010	805	1785	1010	805	1785
1236	728	18007	1236	728	18007
900	1038	10766	900	1038	10766
1400	734	2429	1400	734	2429
964	1200	6577	964	1200	6577
750	1322	8184	750	1322	8184
730	954	2834	730	954	2834
725	998	4454	725	998	4454
1025	1206	44777	1025	1206	44777
912	1324	3990	912	1324	3990
725	1164	5362	725	1164	5362
850	1140	2402	850	1140	2402
920	779	352	920	779	352
735	1200	22056	735	1200	22056
840	950	2726	840	950	2726
1050	841	4277	1050	841	4277
700	1014	22387	1400	1014	11194
1114	759	5439	1114	759	5439
889	1155	2878	889	1155	2878
800	958	2309	800	958	2309
900	1027	3004	900	1027	3004
705	850	709	705	850	709
1034	777	2073	1034	777	2073
1339	880	13227	1339	880	13227
784	1113	4148	784	1113	4148
1000	800	3453	1000	800	3453
1268	610	1386	1268	610	1386
865	813	2837	865	813	2837
817	850	2905	817	850	2905
725	1164	5362	725	1164	5362
920	1100	1469	920	1100	1469
920	1190	1523	920	1190	1523
1138	642	1534	1138	642	1534
700	1239	24063	1400	1239	12032
1030	761	8602	1030	761	8602
780	1074	18576	780	1074	18576
835	1012	2337	835	1012	2337
650	1022	538	1300	1022	269
655	980	1465	1310	980	733
900	1070	1480	900	1070	1480
1035	1232	29371	1035	1232	29371
1140	610	13258	1140	610	13258
972	1276	11794	972	1276	11794
1300	907	1861	1300	907	1861
1280	621	11563	1280	621	11563
600	1068	1459	1200	1068	730
1335	719	5483	1335	719	5483
625	898	1010	1250	898	505

Bobin çeşit sayısı saptanırken karar vericinin firedeki kazancı %10 ve üzerinde istemesi üzerine küme sayısı yükseltilerek firelerdeki değişim izlenmiştir. Fire yüzdesi gittikçe düşmüş ancak 13 bobinden 14 bobine çıkıldığında fire %1,47'ye düşmüştür ve firedeki kazanç %11 iken 14 bobinden itibaren 15 bobine çıkıldığında fire %1,3318'e düşmüş ancak bir öncekine oranla firedeki kazanç %9; 15 bobinden 16 bobine çıkıldığında ise fire %1,2159 olmuş firedeki kazanç ise %8'e düşmüştür. Sırasıyla 9, 10, 11, 12 ve 13 bobinde gittikçe fire oranlarında düşme tespit edildiyse de firedeki kazanç uygunluğu karar vericinin de onayı ile 14 bobin eninde yakalanmıştır. Tablo 4.10 bobin sayısına bağlı fire yüzdeleri ve değişim oranlarını vermektedir.

Tablo 4.10. Bobin çeşit sayısındaki artış ile fire yüzdelerindeki değişim oranı

No:	1	2	3	4	5	6	7	8
Bobin sayısı	9	10	11	12	13	14	15	16
Fire %	2,6585	2,3133	2,0692	1,8575	1,6569	1,47	1,3318	1,2159
Bir önceki bobin çeşit sayısına göre yan fire yüzdesindeki değişim oranı	0,130175	0,10552	0,10231	0,107995	0,112801	0,09401	0,08702	

Şekil 4.5'de de bobin sayılarına bağlı bulunan firelerin grafiği izlenmektedir.



Şekil 4.5. Bobin sayısına göre fire yüzdeleri grafiği

Veriler düzenlendikten ve bobin çeşit sayısına karar verildikten sonra PSO algoritması uygulanan yazılım tekrar çalıştırılarak Tablo 4.11 deki neticeler alınmıştır. Fire derhal %1,49 seviyesine düşmüştür. Diğer yüksek neticeler elenerek bu bobin karması sınanmak üzere saklanmıştır.

Tablo 4.11. 2009-2010-2011 Yılı verileriyle 14 bobin için saptanan enler

2009-2010-2011 YILI BOBİN ENİ BELİRLEME	
POPULASYON = 100 C1= 1,9 c2= 1,9 w= 0,6 BOBİN SAYISI = 14 ITERASYON SAYISI = 30	
ÜÇ YILLIK VERİLERLE ÇALIŞMA	
YAN FİRE YÜZDESİ	1,49
BOBİN NO	BOBİN EN (mm)
BOBİN 1	750
BOBİN 2	810
BOBİN 3	850
BOBİN 4	900
BOBİN 5	939
BOBİN 6	973
BOBİN 7	1000
BOBİN 8	1035
BOBİN 9	1100
BOBİN 10	1150
BOBİN 11	1200
BOBİN 12	1285
BOBİN 13	1332
BOBİN 14	1400

2010-2011 yılları verileriyle çalışıldığı zaman sonuç yine fazla değişmemiş ve firenin %1,5 seviyesinde kaldığı saptanmıştır. İzlenen yolun doğruluğu diğer yıllara da uygulandığı zaman irdelenmiştir. Tablo 4.12 2010-2011 yılı için bulunan bobin karmasını ve bu kümeye ait yan fire yüzdesini vermektedir.

Önceki çalışmalarda %2 civarında çıkan yan fire yüzdelerinin yapılan matematiksel bir öngörü ile %1,5 lara çekilebilmesi memnuniyet vericidir.

Elde edilen sonuçların sınanarak doğrulanması için üzerinde hiç çalışılmayan 2012 ve 2013-2014 verileri alınmıştır.

Tablo 4.12. 2010-2011 Yılı verileriyle 14 bobin için saptanan enler

2010-2011 YILI BOBİN ENİ BELİRLEME	
POPULASYON = 100 C1= 1,9 c2= 1,9 w= 0,6 BOBİN SAYISI = 14 ITERASYON SAYISI = 30	
İKİ YILLIK VERİLERLE ÇALIŞMA	
YAN FİRE YÜZDESİ	1,5
BOBİN NO	BOBİN EN (mm)
BOBİN 1	750
BOBİN 2	810
BOBİN 3	850
BOBİN 4	900
BOBİN 5	950
BOBİN 6	1000
BOBİN 7	1035
BOBİN 8	1100
BOBİN 9	1150
BOBİN 10	1200
BOBİN 11	1250
BOBİN 12	1300
BOBİN 13	1350
BOBİN 14	1400

Tablo 4.13. de sonuçların 2012 verileri ile sınanmasından elde edilen sonuçlar verilmiştir. Görülüyor ki 2010-2011 verileriyle bulunan bobin enlerinin 2012 yılı üretiminde kullanılması yan fire yüzdesini % 1,44 seviyesine çekerek işletmeye gerçekten hem maliyetler açısından hem de envanter açısından kazanç sağlayabilmektedir.

Tablo 4.14 de ise aynı sonuçların 2013-2014 verileri ile sınanmasından elde edilen sonuçlar verilmiştir. Burada 2 yıllık veriden alınan neticeler 3 yıllık veriye nazaran çok daha uygundur ve yan fire yüzdesi %1,37 ler seviyesine indirilebilmiştir.

İşletme ile yapılan görüşmelerde yan firenin onlarda yapılan çalışmalarla 1,6 ile 2 arasında seyrettiği söylenmiştir.

Tablo 4.13. 2012 Yılı verileriyle yapılan sınama sonuçları

2012 YILI VERİLERİ İLE SINAMA		
İKİ VE ÜÇ YILLIK VERİLERLE SAPTANAN ENLERİ 2012 YILI verilerine uygulama		
YAN FİRE YÜZDESİ	1,44	1,57
BOBİN NO	2 yıllık veri 2010-2011	3 yıllık veri 2009-2010-2011
BOBİN 1	750	750
BOBİN 2	810	810
BOBİN 3	850	850
BOBİN 4	900	900
BOBİN 5	950	939
BOBİN 6	1000	973
BOBİN 7	1035	1000
BOBİN 8	1100	1035
BOBİN 9	1150	1100
BOBİN 10	1200	1150
BOBİN 11	1250	1200
BOBİN 12	1300	1285
BOBİN 13	1350	1335
BOBİN 14	1400	1400

Tablo 4.14. 2013-2014 Yılı verileriyle yapılan sınama sonuçları

2013-2014 YILI VERİLERİ İLE SINAMA			
İKİ VE ÜÇ YILLIK VERİLERLE SAPTANAN ENLERİ 2013-2014 YILI verilerine uygulama			
YAN FİRE YÜZDESİ	1,37	1,68	1,54
BOBİN NO	2 yıllık veri 2010-2011	3 yıllık veri 2009-2010-2011	2 yıllık veri 2011-2012
BOBİN 1	750	750	750
BOBİN 2	810	810	810
BOBİN 3	850	850	851
BOBİN 4	900	900	900
BOBİN 5	950	939	950
BOBİN 6	1000	973	1000
BOBİN 7	1035	1000	1035
BOBİN 8	1100	1035	1100
BOBİN 9	1150	1100	1150
BOBİN 10	1200	1150	1200
BOBİN 11	1250	1200	1250
BOBİN 12	1300	1285	1300
BOBİN 13	1350	1335	1350
BOBİN 14	1400	1400	1400

Sonuç: en düşük fireyi veren kümenin standart kabul edilerek üretimde kullanılması öngörülmektedir ve 14 bobin çeşidi için standart kabul edilmesi önerilen bobin enleri Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15. Kümedeki 14 bobin çeşidi için saptanan standart bobin enleri

EN DÜŞÜK FİREYİ VEREN STANDART BOBİN ENLERİ	
BOBİN NO	BOBİN EN (mm)
BOBİN 1	750
BOBİN 2	810
BOBİN 3	850
BOBİN 4	900
BOBİN 5	950
BOBİN 6	1000
BOBİN 7	1035
BOBİN 8	1100
BOBİN 9	1150
BOBİN 10	1200
BOBİN 11	1250
BOBİN 12	1300
BOBİN 13	1350
BOBİN 14	1400

4.6. PSO Parametrelerinin Optimal Çözüm Üzerindeki Ana Etkileri

PSO algoritmasında kullanılan parametrelerin sınanarak hangisinin daha etkin olduğu araştırılmıştır. Etkinlik sırasına göre yapılacak ufak değişikliklerin sonucu ne kadar etkileyeceği sınanacaktır.

Parametrelerinin optimal çözümün bulunmasındaki ana etkileri ve ikili etkileri Deney Tasarımı yapılarak incelenmiştir. Taguchi, 4 faktör ve 3 seviyeli L9 kullanılmıştır. L9 desenine göre 9 deney yapılarak sonuçlar hem Minitab 17 hem de Design Expert kullanılarak irdelenmiştir. Yorum yapılırken fire oranının en küçük değere yakın olmasına dikkat edilmiştir. Hangi PSO parametrelerinin sonucu daha çok etkilediği üzerinde durulmuştur.

Minitab 17 ile Üç ayrı deney yapılmıştır.

Birinci deney: PSO ile saptanan 14 bobin eni için 30 iterasyon çalıştırılmış ve bulunan fire değerlerinin ortalaması ile sonuç araştırılmıştır. Tablo 4.16'da Taguchi faktör ve düzeyleri görülmektedir.

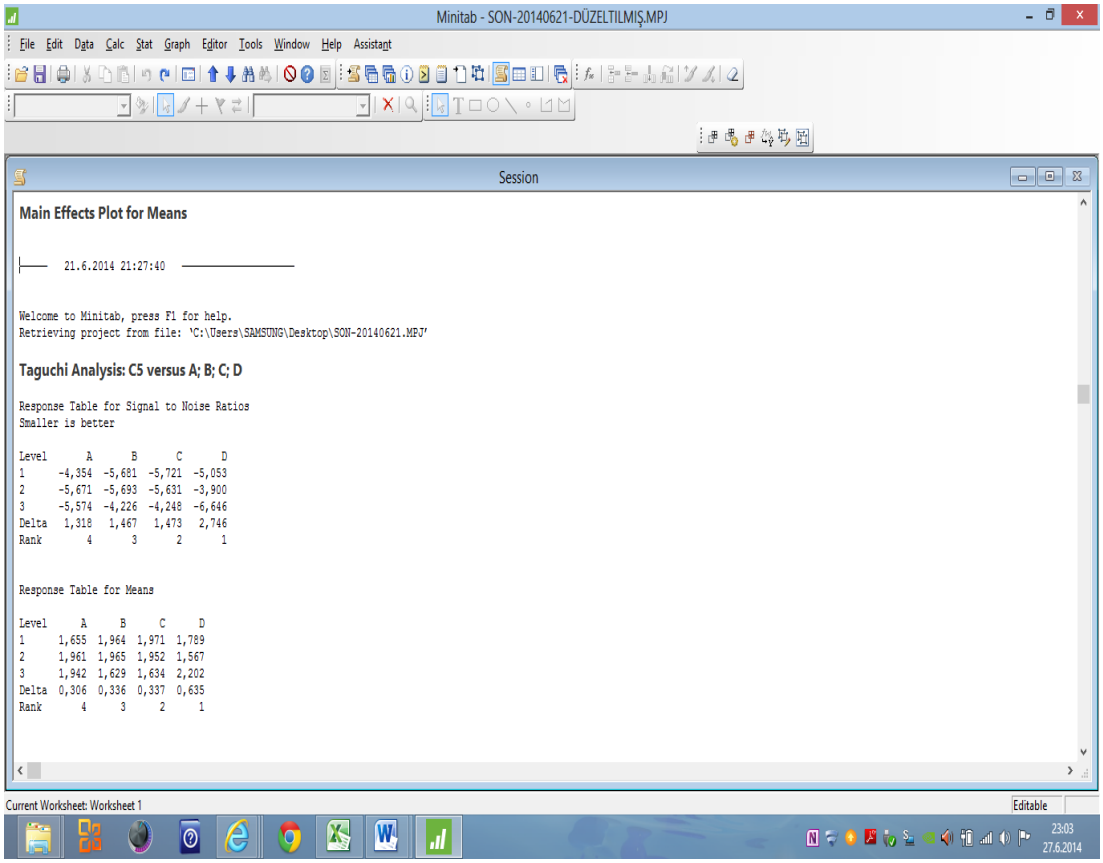
Tablo 4.16. Taguchi faktör ve düzeyleri

TAGUCHI FAKTOR VE DÜZEYLERİ				
FAKTÖRLER		SEVİYELER		
		1	2	3
POPULASYON	A	60	100	150
C1	B	1,5	1,9	2,2
C2	C	1,5	1,9	2,2
W	D	0,3	0,6	0,9
FİRE= 2010- 2011 VERİLERİ KULLANILARAK 14 BOBİN İÇİN PSO İLE BULUNAN 30 İTERASYONDAKİ FİRE DEĞERLERİ ORTALAMASI				

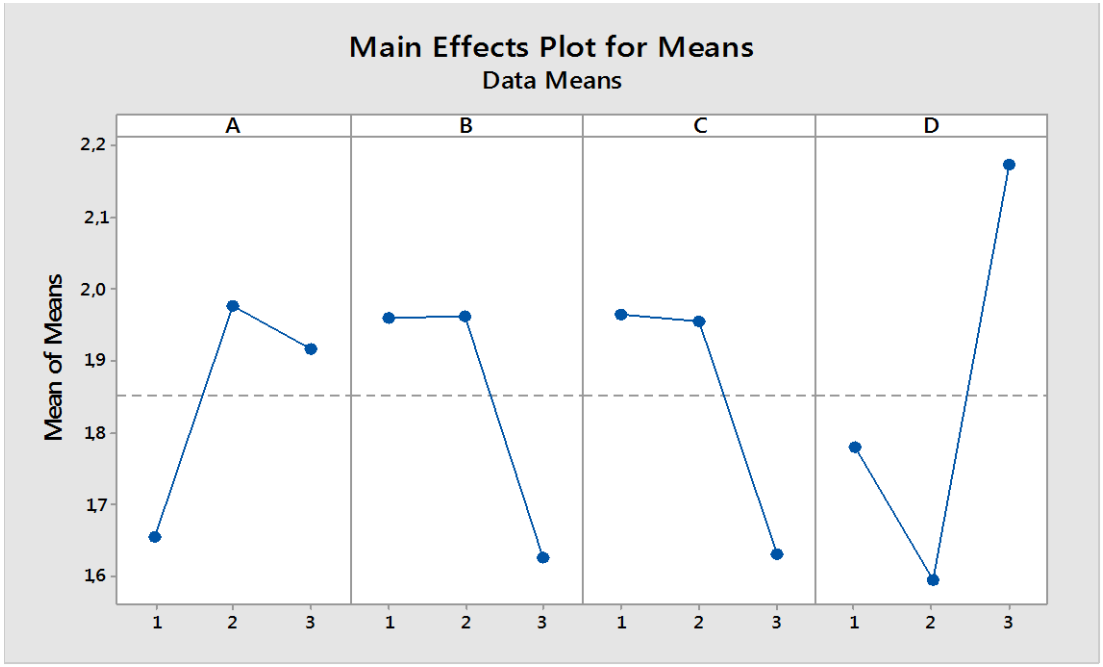
Hesaplanan veri seti değerleri Tablo 4.17 verilmiştir. Taguchi analiz sonuçları ve grafiği ise sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de görülmektedir.

Tablo 4.17. L9 deseni hesaplanmış ortalama fire değerleri

DENEY TASARIMI TAGUCHI L9						
2 YILLIK (2010- 2011)	A	B	C	D	FİRE (Ortalama)	FİRE (Minimum)
1. set	3	3	2	1	1,7309133	1,5976
2. set	2	2	3	1	1,8005867	1,5455
3. set	3	1	3	2	1,55386	1,4649
4. set	2	1	2	3	2,5186767	2,4732
5. set	1	2	2	2	1,6213033	1,4734
6. set	1	1	1	1	1,8102333	1,5826
7. set	2	3	1	2	1,6142967	1,4748
8. set	3	2	1	3	2,4702067	2,0252
9. set	1	3	3	3	1,5380767	1,4657



Şekil 4.6. Minitab'da Taguchi analiz sonucu



Şekil 4.7. Minitab'da Taguchi analiz sonucu grafiği

İkinci deney: PSO ile 2009-2010-2011 verilerinden bulunan 14 bobin eni için 30 iterasyon tekrar çalıştırılmış ve bulunan fire değerlerinin minimumu ile aynı sonuçlar alınmıştır (EK-D, EK-E).

Üçüncü deney: Minimum fire değerleriyle yapılan deney sonuçları. PSO ile 14 bobin eni için 30 iterasyon çalıştırılmış ve bulunan fire değerlerinin içindeki Minimum değer alınarak sonuç araştırılmıştır (EK-F, EK-G).

Sonuçlar en önemli parametrenin w atalet ağırlığı olduğunu bunu sırasıyla c2 sürünün öğrenme hızı, c1 bireyin öğrenme hızının takip ettiğini ve en sonuncusunun da popülasyon olduğunu göstermiştir. İkili etkileşimlerin olmadığı görülmüştür. Tüm parametreler birbirinden bağımsız hareket etmektedir. Düzeylere bakıldığı zaman Populasyonun = 60, w = 0,6 seçilmesinin sonuçlar üzerinde daha etkin olacağı görülmüştür.

Çıkan sonuçlar yazılım üzerinde sınanmış kullanılan parametreler hemen hemen benzer olduğundan yeni hesaplamalar da benzer neticelenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ana malzeme çeşitliliğinin optimizasyonu problemleri, özellikle fazla çeşidi gerektiren kesme, dilme yapan işletmelerde, bu işlemler sırasında çıkan hurda ve kesme kayıpları ürün maliyetlerini çok artırdığından son derece önemsenmektedir.

Ana malzeme tedarik sürelerinin ve maliyetlerinin yüksek oluşu, depo maliyetleri, depolardaki yer sıkıntısı, taleplerin kısa süreli, haftalık hatta günlük oluşu nedeniyle üreticiler müşteri siparişlerini karşılamada zorluk çekmektedirler. Temel istekleri ise talepleri geri çevirmeden zamanında karşılamak, düşük maliyet ile üretimleri gerçekleştirmek için ana malzeme çeşitlerini doğru belirleyerek standarta gidilebilmesi ve kesme firesinin optimize edilebilmesidir.

Çalışmada kullanılan Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritması temelde sürüdeki bireylerin birbirini geliştirmesine dayanan, yakınsama hızı, sezgisel optimizasyon tekniklerinin performansını en iyi ölçen kriterlerden biri olması (Özsağlam ve Çunkaş, 2008), ayarlanacak parametre sayısının az olması, uygulama kolaylığı sağlaması, daha hızlı araştırma prosesine sahip olması ve etkili performans sunması açısından (Zhang ve ark. 2006) tercih edilmiştir.

Geliştirilen yöntem ise son derece kolay anlaşılır ve kolay uygulanabilirliği sebebiyle işletmede farklı ortamların gelişmesi halinde süratle doğru bilginin üretilmesine yardımcı olacaktır. Ambalaj sektörünün dışında kesme yapılan diğer metal, tahta kesme, tekstil, deri, mermer gibi sanayiilerde de kullanılabileceği öngörülmektedir.

Sağlanacak yarar: yan fire oranlarını önemli ölçüde düşürerek fire düzeylerini minimuma indirmek, malzeme planlama ve kontrolü ile aylık sipariş çeşit ve miktarını optimize edebilmektir. Standart ölçülerin saptanmasıyla tüm ara ölçülerdeki taleplerin minimum kayıpla karşılanabilmesi, deponun etkin kullanılabilmesi, stok devir hızının optimizasyonu, başarılı bir stok yönetimi ile stok miktarını optimum düzeye çekebilmektir. Üretim planlamada çizelgeleme ve rota çalışmalarında zaman ve işgücü tasarrufu sağlamak, doğru ölçü bulundurarak talep

ve gelirin yükselmesini sağlamak, fire düzeylerini optimize ederek maliyetleri düşürmek, stok ve ürün maliyetlerini minimize etmektir.

Uygulamada konjonktürel dalgalanmaların ve kırılmaların yaşanacağı öngörüldüğü taktirde ilgili aylar itibariyle yıl ikiye bölünerek iki farklı ana malzeme grubu oluşturulabilir.

Mevsimlere ve modaya göre farklı taleplerin izlenmesi durumunda standart malzeme çeşitliliği çalışması için baz alınacak verilerin tarihlerinin mevcut yıla yakınsaması sorunu ortadan kaldırabilecektir.

Bu çalışmanın hem işletmeye hem de ülke ekonomisine fayda ve kazanımlar sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Adakçı S., Stok Kesme Problemi: Alüminyum Sektöründe Uygulaması, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 293958.

Akın G., Aras N., Dikdörtgen Şekilli Malzeme Kesme Problemleri Üzerine Yapılan Mevcut Çalışmaların Analizi ve Sınıflandırılması, *2.Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu*, Çankaya Üniversitesi, Ankara, 30 Nisan-1 Mayıs 2009.

Akyol S., Alataş B., Güncel Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları, *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2012, **1**, 36-50.

Alataş B., Akın E., Özer A.B., Chaos Embedded Particle Swarm Optimization Algorithms, *Science Direct, Chaos, Solitons&Fractals,* 2009, **40**(4), 1715-1734.

Ambalaj Sanayicileri Derneği, Türkiye Ambalaj Sanayi Raporu, *Ambalaj Sanayicileri Derneği*, 9, 2012.

Andres C., Lozano S., A Particle Swarm Optimization Algorithm for Part- machine Grouping, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2006, 468-474.

Aydın M. E., Taylan O., Scheduling Cutting Process for Large Paper Rolls, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 2013, **I-I**, 1-6.

Bali Ö., Stokastik U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Parçacık Sürü Optimizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009, 245621.

Bayraktar F., Ahşap Ambalaj Malzemeleri Sektör Araştırması, *Türkiye Kalkınma Bankası, Araştırma Md.*, Ankara, 2005.

Chauhan S. S., Martel A., D'Amour S., Roll assortment optimization in a paper mill: An integer programming approach, *Computers and Operations Research*, 2008, 614-627.

Chauny F., Loulou R., Sadones S., Soumis F., A Two-phase heuristic for the Two-dimensional *Cutting-Stock Problem, Journal of The Operational Research Society*, 1991, **42**, 39-47.

Chinneck J. H., Practical Optimization: A Gentle Introduction, *System and Computer Engineering*, Carleton University, Canada, 2000.

Clerc M. and Kennedy J., The Particle Swarm—Explosion, Stability, and Convergence in a Multidimensional Complex Space, *IEEE Transaction Evolutionary Computation*, 2002, **6**, 58-73.

Cloud F. H., Analysis of Corrugator Side Trim, *Tappi Journal*, 1994, **77**(4), 199-205.

Correia M. H. ve diğ., Reel and sheet cutting at paper mill, *Computers and Operations Research*, 2004, 1223-1243.

Demircioğlu İ., Ambalaj Sektör Profili, *İstanbul Ticaret Odası Etüt ve Araştırma Şubesi*, 2003.

Dengiz B., Altıparmak F., Genetik Algoritmalara Genel Bir Giriş, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 1998, **9**, 3-14.

Dyckhoff H., A Typology of Cutting and Packing Problems, *European Journal of Operational Research*, 1990, **44**, 145-159.

Dyckhoff H., Finke U., *Cutting and Packing in Production and Distributions*, Physica Verlag, Heidelberg, 1992.

Engelbrecht A. P., Fundamentals of Computational Swarm Intelligence, *J. Wiley*, 2006.

Ergün K., Kesme ve Paketleme Problemleri ve Araştırmaya Yönelik bir Metot Geliştirilmesi ve Bu Metodun Etkinliğinin Sınanması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2004, 149871.

Gasimov R. N., Sipahioğlu A., Saraç T., A multi-objective programming approach to 1.5 dimensional assortment problem, *European Journal of Operational Research*, 2007, **179**, 64-79.

Gradisar M., Jesenko J., Resinovic G., Optimization of Roll Cutting in Clothing Industry, *Computers Ops. Res.*, 1997, **24**(10), 945-953.

Haessler R. W., Sweeney P. E., Cutting Stock Problems and Solution Procedures , *European Journal of Operational Research*, 1991, **54**(2), 141-150.

Harjunkoski I., Westerlund T., Enlarging the Trim-Loss Problem to Cover the Raw Paper Mill, *Computers chem.Eng.*, Great Britain, 1998, **22**, 1019-1022.

Hinxman A. I., The trim-loss and Assortment problems: A survey, *European Journal of Operational research*, 1980, **5**(1), 8-18.

Hopper E. and Turton B., Application of Genetic Algorithms to Packing Problems – A Review, *Proceedings of the 2nd On-line World Conference on Soft Computing in Engineering Design and Manufacturing*,Springer Verlag, 1997, 279-288.

Jerald J., Asokan P., Prabaharan G. and Saravanan R., Scheduling Optimisation of Flexible Manufacturing Systems using Particle Swarm Optimization Algorithm, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2005, **25**, 964-971.

Karaboğa D., *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*, Nobel Yayınevi, Ankara, 2011.

Kasımbeyli N., Saraç T., Kasımbeyli R., A two-objective mathematical model without cutting patterns for one-dimensional assortment problems, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2011, **235**, 4663-4674.

Kennedy J. and Eberhart, R.C., Particle swarm optimization, *Proc. of the IEEE International Conference on Neural Network*, 1995, 1942-1948.

Kennedy J. and Eberhart R.C., A discrete version of the particle swarm algorithm, *Proc. of the Con. on Systems, Man and Cybernetics SMC97*, 1997, 4104-4109.

Kennedy J., Small Worlds and Mega-Minds Effects of Neighborhood Topology on Particle Swarm Performance, *Proceedings of the 1999 Congress of Evolutionary Computation*, 1999, 1931-1938.

Kennedy J., Eberhart R. C. and Shi Y., Swarm intelligence, *San Francisco, CA: Morgan Kaufmann*, 2001, 15-50.

Leung T. W., Yung C. H. and Trout M. D., Applications of Genetic Search and Simulated Annealing to The Two-Dimensional Non-Guillotine Cutting Stock Problem, *Computers & Industrial Engineering*, 2001, **40**, 201-214.

Ortakçı Y., Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemlerinin Uygulamalarla Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2011, 287420.

Önen O., Sektörel Araştırmalar, Oluklu Mukavva Ambalaj Ürünleri, *Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. – Araştırma Müdürlüğü,* 2002.

Özgüven C., Çalışkan F., Siparişe göre üretim yapan işletmelerde kısıtlı malzeme çeşidi durumunda fireyi minimize eden parça kesim planının belirlenmesi-Matematiksel Model Önerisi, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fak. Dergisi,* 2002, **19**, 1-16.

Özcan E. and Mohan C. K., Particle Swarm Optimization: Surfing the Waves, *Proc. Congress on Evolutionary Computation,* 1999, 1939–1944.

Özsağlam M. Y., Çunkaş M., Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması, *Politeknik Dergisi*, 2008, **11**(4), 299-305.

Pentico D. W., The assortment problem: A survey, *European Journal of Operational Research*, 2008, **190**, 295-309.

Raffensperger J. F., The generalized assortment and best cutting stock length problems, *Intl. Trans. İn Op. Res*., 2010, **17**, 35-49.

Sadowski W., A few remarks on the assortment problem, *Management Science*,1959, **6**(1), 13-24.

Salman A., Ahmad I. and Al-Madani S., Particle Swarm Optimization for Task Assignment Problem, *Microprocessors and Microsystems*, 2002, 363-371.

Saraç T., Bir Kutu Fabrikası için Standart Kağıt Enlerinin Belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2001, 114448.

Shi Y. and Eberhart R., A Modified Particle Swarm Optimizer, *IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Anchorage*, Alaska, 1998, 69-73.

Shi Y. and Eberhart R. C., Empirical study of particle swarm optimization, *Proceeding of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 1999, 1945-1950.

Shi X. H., Xing X. L., Zhang L. H., Yang X. W., Zhou C. G. and Liang Y. C., A Discrete PSO Method for Generalized TSP Problem, Proceedings of the Third *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Shanghai, 2004, 2378- 2383.

Söke A., ve Bingül Z., Genetik Algoritmaların Farklı Çaprazlama Teknikleriyle İki Boyutlu Kesme Problemlerine Uygulanışı, *Politeknik Dergisi*, 2004, **7**(1), 1-11.

Şevkli M. ve Yenisey M. M., Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri için Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi, *İTÜ dergisi*, 2006, **5**(2), 58-68.

Taşgetiren M. F., Liang Y., A Binary Particle Swarm Optimization Algortihm for Lot Sizing Problem, *Journal of Economic and Social Research*, 2003, **5**(2), 1-20.

Taşgetiren M. F., Liang Y. C, Sevkli M. and Gencyılmaz G., A Particle Swarm Optimization Algorithm for Makespan and Total Flowtime Minimization in the Permutation Flowshop Sequencing Problem, *European Journal of Operational Research*, 2007, **177**(3), 1930-1947.

Tombus Ö. ve diğ., A New Network Flow Model for Determining the Assortment of Roll Types in Packaging Industry, *IEEE International Conferance System Man and Cybernetics SMC*2010, 2010, 1231-1235.

Usta H., Kağıt Karton Üretimi Sektör Araştırması, *İstanbul Ticaret Odası*, 2006.

URL-1: http://ambalaj.org.tr/Sayfa-9-Ambalaj-Sanayi-Raporu.htm (Kasım-2012).

URL-2: http://sksv.org/tr/turkkagit.php (Kasım-2012)

Yavuz Y., Üç Boyutlu Stok Kesme Probleminin Matematiksel Programlama Teknikleri ile Çözümü ve Mermer Endüstrisinde bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Kayseri, 2005, 186468.

Yorulmaz H., Doğu Marmara Bölgesi Kağıt Sanayi Sektör Raporu, *Doğu Marmara Kalkınma Ajansı*, 16, 2014.

Zeng X., Zhu Y., Nan L., Hu K., Niu B. and He X., Solving weapon-target assignment problem using discrete particle swarm optimization, *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, China, 2006, 3562-3565.

Zhang H., Li H., Tam C. M., Particle Swarm Optimization for Resource - Constrained Project Scheduling, *International Journal of Project Management*, 2006, **24**, 83-92.

EKLER

EK-A

2010 YILI KARTON TABAKA ENİ BOY VE MÜŞTERİ TALEP MİKTARLARI(ÖRNEK)

TARIH	MALZEME	GRAMAJ	KARTON_EN	KARTON_BOY	TALEP MIKTARI
01.01.2010	KK 225	225	1.317	713	8.098
01.01.2010	KK 225	225	1.010	805	1.785
01.01.2010	KK 225	225	1.236	728	18.007
01.01.2010	KK 225	225	900	1.038	10.766
01.01.2010	KK 225	225	1.400	734	2.429
01.01.2010	KK 225	225	964	1.200	6.577
01.01.2010	KK 225	225	750	1.322	8.184
01.01.2010	KK 225	225	730	954	2.834
01.01.2010	KK 225	225	725	998	4.454
01.01.2010	KK 225	225	1.025	1.206	44.777
01.01.2010	KK 225	225	912	1.324	3.990
01.01.2010	KK 225	225	725	1.164	5.362
01.01.2010	KK 225	225	850	1.140	2.402
01.01.2010	KK 225	225	920	779	352
01.01.2010	KK 225	225	735	1.200	22.056
01.01.2010	KK 225	225	840	950	2.726
01.01.2010	KK 225	225	1.050	841	4.277
01.01.2010	KK 225	225	700	1.014	22.387
01.01.2010	KK 225	225	1.114	759	5.439
01.01.2010	KK 225	225	889	1.155	2.878
01.01.2010	KK 225	225	800	958	2.309
01.01.2010	KK 225	225	900	1.027	3.004
01.01.2010	KK 225	225	705	850	709
01.01.2010	KK 225	225	1.034	777	2.073
01.01.2010	KK 225	225	1.339	880	13.227
01.01.2010	KK 225	225	784	1.113	4.148
01.01.2010	KK 225	225	1.000	800	3.453
01.01.2010	KK 225	225	1.268	610	1.386
01.01.2010	KK 225	225	865	813	2.837
01.01.2010	KK 225	225	817	850	2.905
01.01.2010	KK 225	225	725	1.164	5.362
01.01.2010	KK 225	225	920	1.100	1.469
01.01.2010	KK 225	225	920	1.190	1.523
01.01.2010	KK 225	225	1.138	642	1.534
01.01.2010	KK 225	225	700	1.239	24.063
01.01.2010	KK 225	225	1.030	761	8.602
01.01.2010	KK 225	225	780	1.074	18.576
01.01.2010	KK 225	225	835	1.012	2.337
01.01.2010	KK 225	225	650	1.022	538
01.01.2010	KK 225	225	655	980	1.465
01.01.2010	KK 225	225	900	1.070	1.480
01.01.2010	KK 225	225	1.035	1.232	29.371
01.01.2010	KK 225	225	1.140	610	13.258
01.01.2010	KK 225	225	972	1.276	11.794
01.01.2010	KK 225	225	1.300	907	1.861
01.01.2010	KK 225	225	1.280	621	11.563

01.01.2010	KK 225	225	600	1.068	1.459
01.01.2010	KK 225	225	1.335	719	5.483
01.01.2010	KK 225	225	625	898	1.010
01.01.2010	KK 225	225	785	1.397	19.181
01.01.2010	KK 225	225	969	969	6.383
01.01.2010	KK 225	225	900	675	1.071
01.01.2010	KK 225	225	765	1.035	2.864
01.01.2010	KK 225	225	875	904	10.562
01.01.2010	KK 225	225	731	850	10.653
01.01.2010	KK 225	225	831	872	14.098
01.01.2010	KK 225	225	950	1.170	12.799
01.01.2010	KK 225	225	717	1.196	7.642
01.01.2010	KK 225	225	1.226	923	7.499
01.01.2010	KK 225	225	879	1.162	10.749
01.01.2010	KK 225	225	700	1.050	4.627
01.01.2010	KK 225	225	635	1.208	27.570
01.01.2010	KK 225	225	1.100	826	1.076
01.01.2010	KK 225	225	726	1.042	9.118
01.01.2010	KK 225	225	740	1.280	2.271
01.01.2010	KK 225	225	864	769	5.470
01.01.2010	KK 225	225	750	1.084	10.695
01.01.2010	KK 225	225	916	1.167	1.808
01.01.2010	KK 225	225	675	1.236	770
01.01.2010	KK 225	225	700	955	899
01.01.2010	KK 225	225	890	1.219	1.081
01.01.2010	KK 225	225	871	1.310	3.166
01.01.2010	KK 225	225	950	1.260	1.747
01.01.2010	KK 225	225	1.300	993	1.854
01.01.2010	KK 225	225	750	875	1.511
01.01.2010	KK 225	225	874	883	2.844
01.01.2010	KK 225	225	1.035	1.240	2.601
01.01.2010	KK 225	225	1.145	631	21.078
01.01.2010	KK 225	225	1.200	740	4.208
01.01.2010	KK 225	225	614	920	10.703
01.01.2010	KK 225	225	1.178	753	3.725
01.01.2010	KK 225	225	1.025	672	1.761
01.01.2010	KK 225	225	700	966	920
01.01.2010	KK 225	225	735	1.076	9.543
01.01.2010	KK 225	225	1.363	743	7.897
01.01.2010	KK 225	225	990	1.147	2.827
01.01.2010	KK 225	225	600	1.076	3.995
01.01.2010	KK 225	225	911	794	2.317
01.01.2010	KK 225	225	730	998	11.100
01.01.2010	KK 225	225	1.020	907	4.543
01.01.2010	KK 225	225	1.100	723	25.519
01.01.2010	KK 225	225	840	1.232	1.591
01.01.2010	KK 225	225	935	1.179	2.869
01.01.2010	KK 225	225	700	986	420
01.01.2010	KK 225	225	1.362	861	1.618
01.01.2010	KK 225	225	985	777	2.900
01.01.2010	KK 225	225	865	924	802
01.01.2010	KK 225	225	1.020	700	5.571
01.01.2010	KK 225	225	918	918	2.848

EK-B

YAZILIMIN HESAPLAMA KODU

```
case 14

% Başlangıç sürüsünün değerlendirilmesi

for i = 1:n
   simdiki_uygunluk(i) =
Hesap_fn14(simdiki_konum(1,i),simdiki_konum(2,i),simdiki_konum(3,i),simdiki_konum(4,i),simdiki
_konum(5,i),simdiki_konum(6,i),simdiki_konum(7,i),simdiki_konum(8,i),simdiki_konum(9,i),simdik
i_konum(10,i),simdiki_konum(11,i),simdiki_konum(12,i),simdiki_konum(13,i));

end

yerel_eniyi_uygunluk  = simdiki_uygunluk ;
[global_eniyi_uygunluk,g] = min(yerel_eniyi_uygunluk) ;

for i=1:n
   global_eniyi_konum(:,i) = yerel_eniyi_konum(:,g) ;
end

% Hız güncellemesi

hiz = w *hiz + c1*(R1.*double(yerel_eniyi_konum-simdiki_konum)) +
c2*(R2.*double(global_eniyi_konum-simdiki_konum));
 simdiki_konum = simdiki_konum + int64(hiz);

% Sürü güncellemesi

% Konum Aralık Sınırlandırması
simdiki_konum(simdiki_konum() < enkucuk_bobin_eni) = enkucuk_bobin_eni;
simdiki_konum(simdiki_konum() > enbuyuk_bobin_eni) = enbuyuk_bobin_eni;

%% Ana Döngü
iter = 0 ;       % iterasyon Sayacı
while  ( iter < max_nesil )
iter = iter + 1;

for i = 1:n,
simdiki_uygunluk(i) =
Hesap_fn14(simdiki_konum(1,i),simdiki_konum(2,i),simdiki_konum(3,i),simdiki_konum(4,i),simdiki
_konum(5,i),simdiki_konum(6,i),simdiki_konum(7,i),simdiki_konum(8,i),simdiki_konum(9,i),simdik
i_konum(10,i),simdiki_konum(11,i),simdiki_konum(12,i),simdiki_konum(13,i));

end

for i = 1 : n
      if simdiki_uygunluk(i) < yerel_eniyi_uygunluk(i)
        yerel_eniyi_uygunluk(i)  = simdiki_uygunluk(i);
        yerel_eniyi_konum(:,i) = simdiki_konum(:,i)   ;
      end
 end

  [simdiki_global_eniyi_uygunluk,g] = min(yerel_eniyi_uygunluk);


if simdiki_global_eniyi_uygunluk < global_eniyi_uygunluk
```

```
   global_eniyi_uygunluk = simdiki_global_eniyi_uygunluk;

    for i=1:n
       global_eniyi_konum(:,i) = yerel_eniyi_konum(:,g);
    end

end

   hiz = w *hiz + c1*(R1.*double(yerel_eniyi_konum-simdiki_konum)) +
c2*(R2.*double(global_eniyi_konum-simdiki_konum));
 simdiki_konum = simdiki_konum + int64(hiz);

 % Konum Aralık Sınırlandırması
simdiki_konum(simdiki_konum() < enkucuk_bobin_eni) = enkucuk_bobin_eni;
simdiki_konum(simdiki_konum() > enbuyuk_bobin_eni) = enbuyuk_bobin_eni;

UYGUNLUK_TAKIP(iter)=global_eniyi_uygunluk;
UYGUNLUK_KONUMU_TAKIP(:,iter)=global_eniyi_konum(:,1);
fire_yuzde(iter)= (global_eniyi_uygunluk /(global_eniyi_uygunluk + uretim))*100;
end % itereasyon sonu

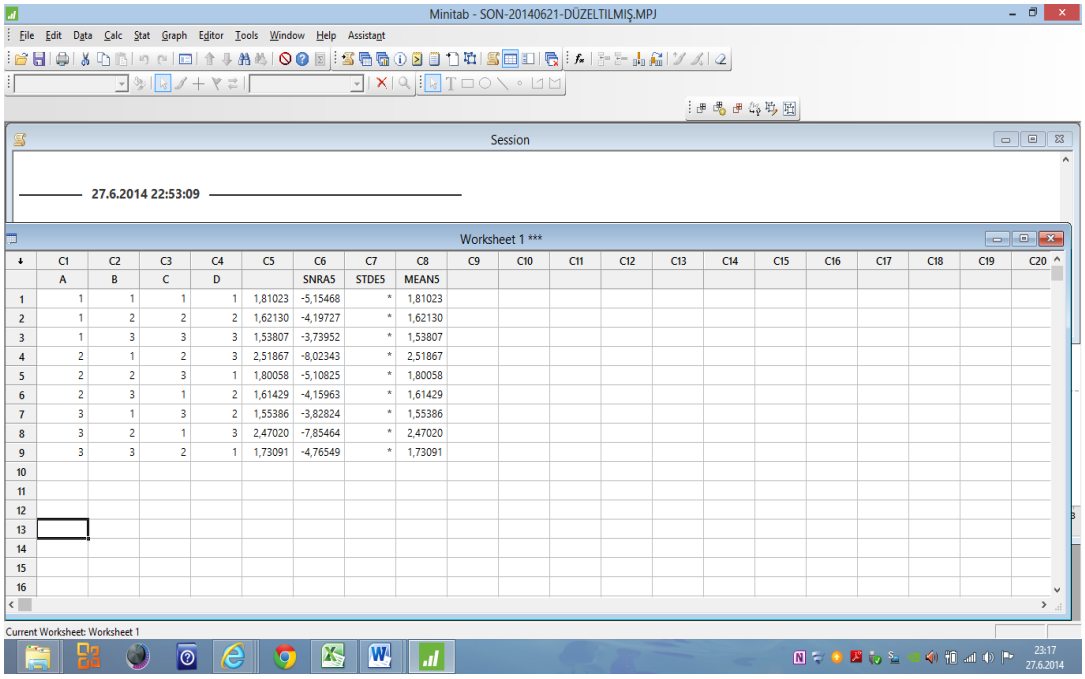
end
            ZZZZ=global_eniyi_konum (:,1);
            YYYY=enbuyuk_bobin_eni;
            TTTT= sortrows([ZZZZ;YYYY]);
             Fire_yuzdesi = min(fire_yuzde);
clc

ITERASYON_NO=deney
DENEY_UYGUNLUK(deney)=global_eniyi_uygunluk;
DENEY_FIRE_ORANI(deney)=Fire_yuzdesi
DENEY_BOBIN_OLCULERI(:,deney)=TTTT
end
```

Sonuçlar: 2010-2011 KK tüm verileri																													
C1= 1,9 c2= 1,9 w= 0,6 ITERASYON_NO = 30																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2,1	2,23	2,18	2,15	2	2,1	2,25	2,05	2,18	2,18	2,06	2,08	2,04	2,18	2,4	2,04	2,16	2,3	2,09	2,07	2,01	2,16	2,31	1,95	2,35	2,07	2,12	2	1,99	2,2
600	621	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
670	700	681	667	670	666	670	669	750	670	701	700	690	673	670	671	670	677	670	701	671	685	750	670	671	701	666	670	670	666
750	750	750	750	750	750	751	751	810	750	750	755	750	750	750	750	750	735	750	750	750	750	800	750	751	750	751	750	750	750
800	810	811	805	810	810	800	810	850	801	810	810	810	810	800	810	800	755	810	810	810	800	810	810	800	810	800	810	810	800
850	850	850	850	850	850	811	850	900	851	850	850	850	851	850	855	815	811	852	850	850	811	855	850	850	851	850	850	850	850
900	900	901	900	900	900	855	900	940	900	901	900	900	900	900	900	900	851	900	900	900	900	901	900	900	901	900	900	900	900
973	951	973	955	973	955	900	940	975	975	975	975	973	975	940	973	973	900	940	973	973	973	973	975	939	951	973	975	973	975
1000	1000	1001	1000	1001	1000	973	983	1000	1000	1000	1000	1000	1011	975	1000	1001	956	975	1000	1001	1000	1000	1000	976	1000	1001	1000	1000	1000
1035	1031	1036	1035	1035	1035	1000	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1050	1029	1035	1035	1000	1037	1035	1036	1035	1035	1035	1031	1035	1035	1035	1035	1031
1101	1051	1105	1100	1100	1100	1035	1100	1100	1100	1114	1100	1100	1114	1035	1100	1100	1036	1101	1100	1101	1100	1100	1100	1050	1100	1100	1100	1100	1101
1158	1116	1175	1150	1158	1158	1114	1150	1150	1169	1158	1150	1150	1160	1100	1150	1158	1114	1160	1152	1158	1158	1164	1158	1115	1150	1158	1158	1158	1158
1240	1186	1238	1237	1236	1190	1186	1200	1237	1240	1234	1240	1200	1256	1169	1237	1240	1174	1244	1200	1237	1237	1238	1240	1183	1200	1238	1250	1240	1237
1326	1300	1302	1312	1300	1300	1301	1300	1313	1300	1300	1313	1300	1326	1300	1313	1326	1300	1314	1301	1300	1313	1300	1313	1300	1300	1320	1324	1324	1302
1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400

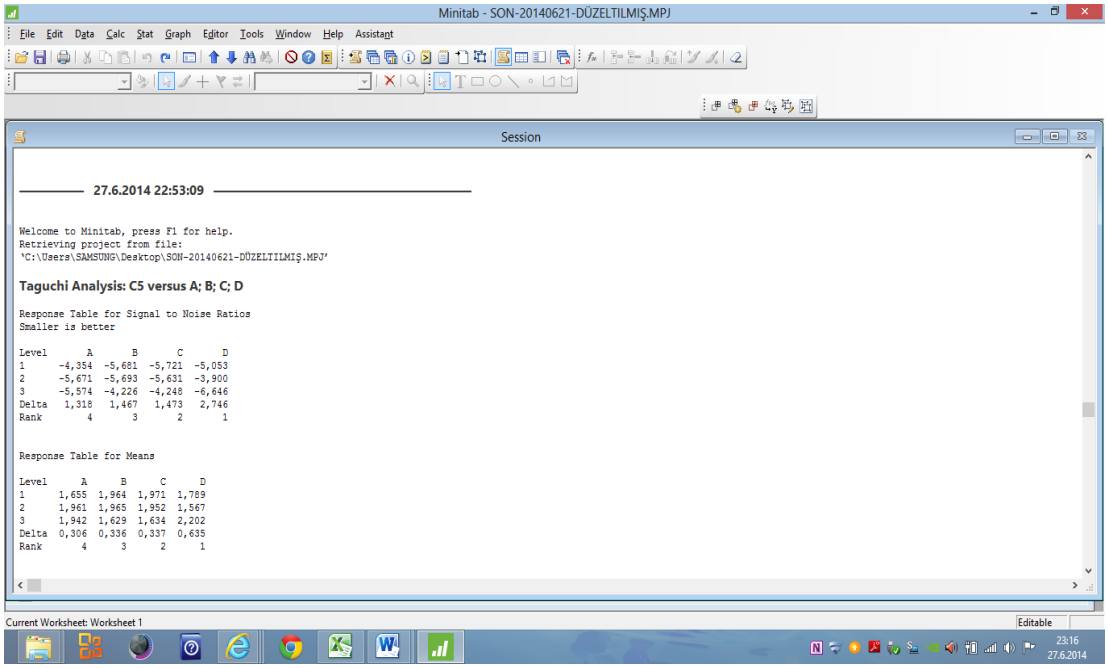
EK-D

Minitab ‘ da Araştırılacak Ortalama Değerler



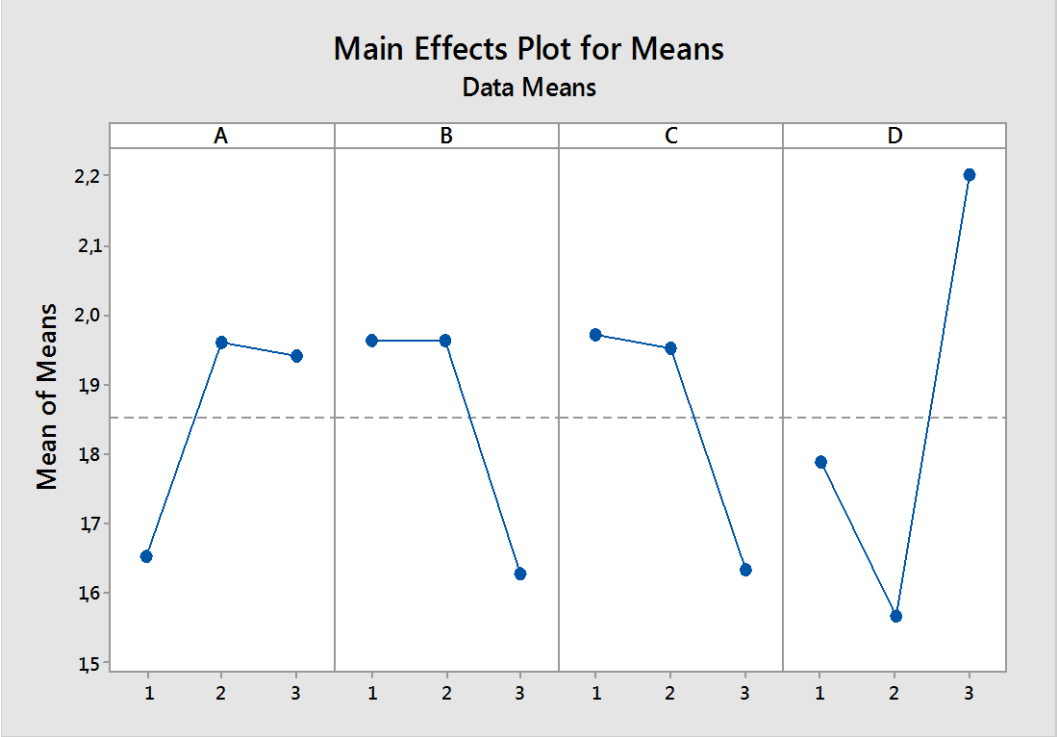
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	A	B	C	D		SNRA5	STDE5	MEAN5												
1	1	1	1	1	1,81023	-5,15468	*	1,81023												
2	1	2	2	2	1,62130	-4,19727	*	1,62130												
3	1	3	3	3	1,53807	-3,73952	*	1,53807												
4	2	1	2	3	2,51867	-8,02343	*	2,51867												
5	2	2	3	1	1,80058	-5,10825	*	1,80058												
6	2	3	1	2	1,61429	-4,15963	*	1,61429												
7	3	1	3	2	1,55386	-3,82824	*	1,55386												
8	3	2	1	3	2,47020	-7,85464	*	2,47020												
9	3	3	2	1	1,73091	-4,76549	*	1,73091												
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				

Minitab ‘ da Taguchi Analiz Sonucu 2



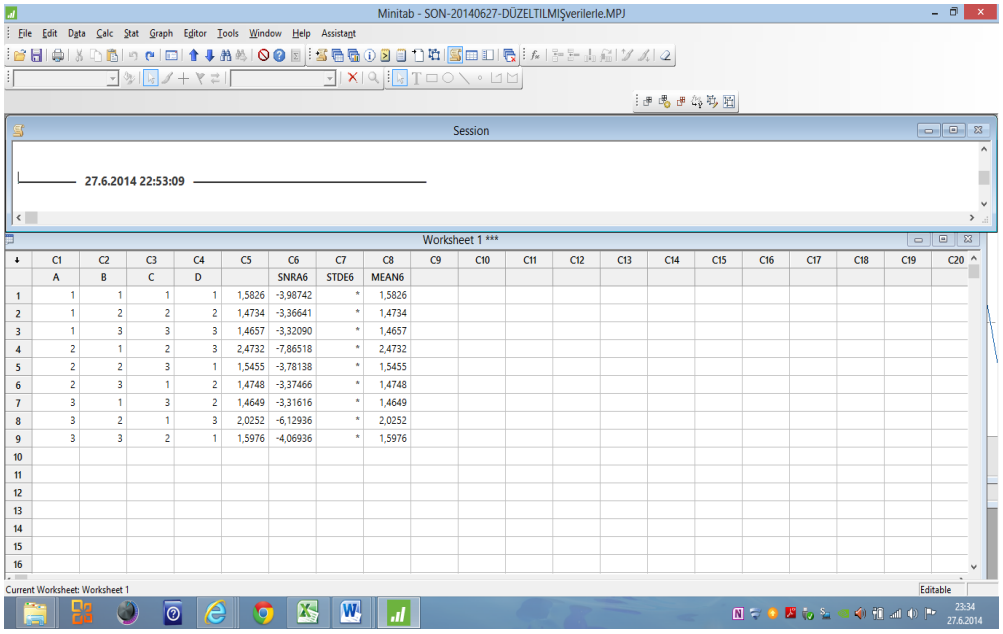
EK-E

Minitab ‘ da Taguchi Analiz Sonucu 2 Grafiği



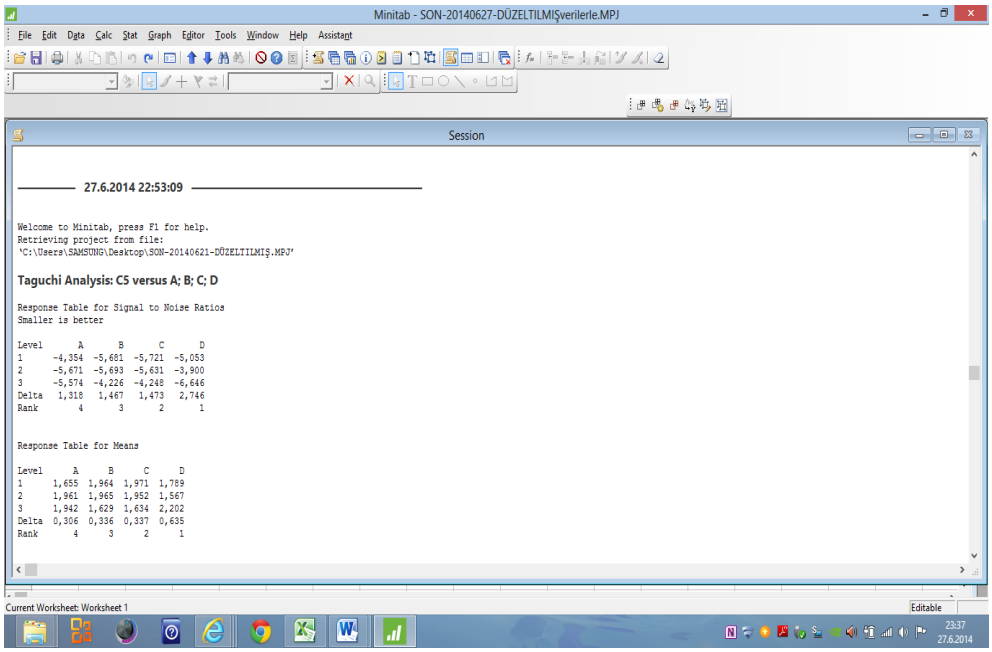
EK-F

Minitab ‘ da Araştırılacak Minimum Değerler



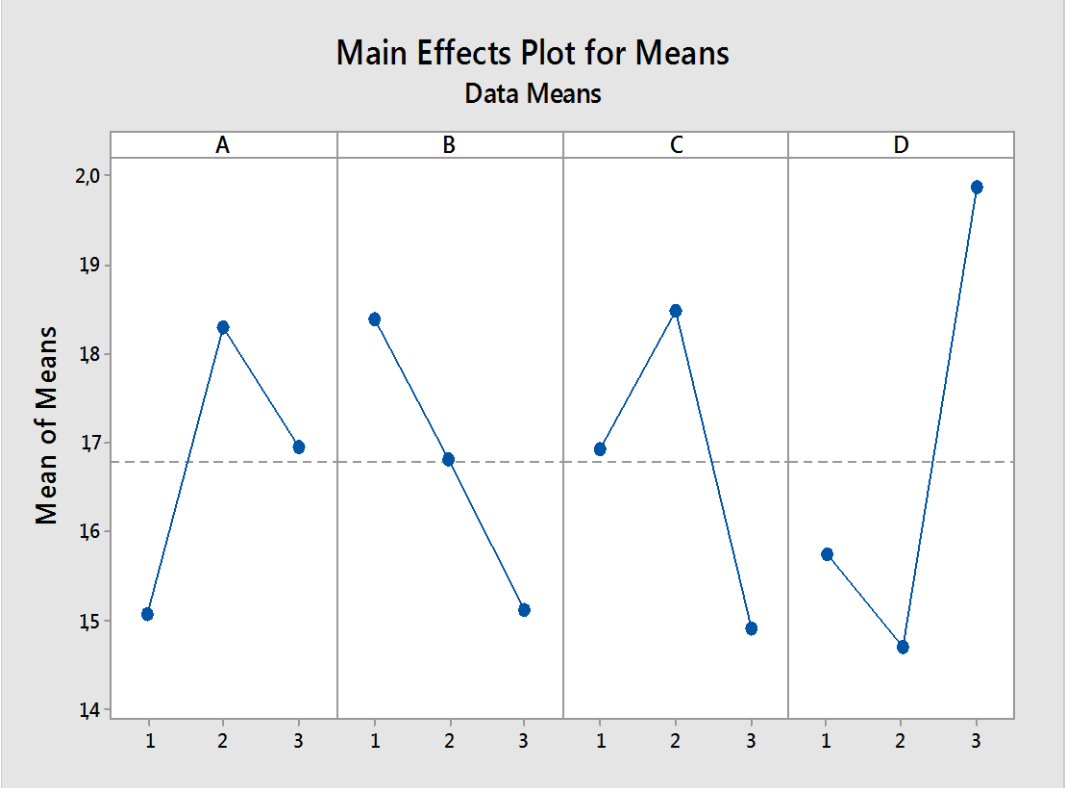
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	A	B	C	D		SNRA6	STDE6	MEAN6												
1	1	1	1	1	1,5826	-3,98742	*	1,5826												
2	1	2	2	2	1,4734	-3,36641	*	1,4734												
3	1	3	3	3	1,4657	-3,32090	*	1,4657												
4	2	1	2	3	2,4732	-7,86518	*	2,4732												
5	2	2	3	1	1,5455	-3,78138	*	1,5455												
6	2	3	1	2	1,4748	-3,37466	*	1,4748												
7	3	1	3	2	1,4649	-3,31616	*	1,4649												
8	3	2	1	3	2,0252	-6,12936	*	2,0252												
9	3	3	2	1	1,5976	-4,06936	*	1,5976												
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				

Minitab ‘ da Taguchi Analiz Sonucu 3



EK-G

Minitab ‘ da Taguchi Analiz Sonucu 3 Grafiği



KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Onursal S., Fığlalı A., Kesme ve Paketleme Problemlerinin Sınıflandırılması ve Çözüm Yöntemleri, *XIV. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 3-5 Eylül 2014.

ÖZGEÇMİŞ

1955 yılında Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da Sarar İlkokulu'nda, lise öğrenimini TED Ankara Koleji' inde tamamladı. 1974 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Temel Bilimler Fakültesi Matematik Mühendisliği Bölümü'nden 1980 yılında mezun oldu. 1980 yılında kabul edildiği İstanbul Teknik Üniversitesi FBE İşletme Mühendisliğinde yüksek lisansını tamamladı. 1981-1987 yılları arasında, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları Genel Müdürlüğünde Sistem otomasyonda Sistem Analist Ekip şefi olarak çalıştı. 1987-1995 yılları arasında Bitlis Holding'de sırasıyla Bilgi İşlem Müdür yardımcısı ve Bilgi İşlem Müdürü olarak çalıştı. 1995-2004 yılları arasında Bitlis Holding bünyesinde kurulan Polidata ve arkasından Elitdata şirketlerinin Genel Müdürlüğünü yaptı. 2004 yılından beri İstanbul Ticaret Üniversitesi Meslek Yüksekokulunda Uzman Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.