

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜRETİMDE PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME
YÖNTEMLERİ:
BİR GIDA İŞLETMESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End. Müh. Fatma KOCA

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ayten YILMAZ YALÇINER

Haziran 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜRETİMDE PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME
YÖNTEMLERİ:
BİR GIDA İŞLETMESİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End. Müh. Fatma KOCA

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 30 / 06 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Harun TAŞKIN

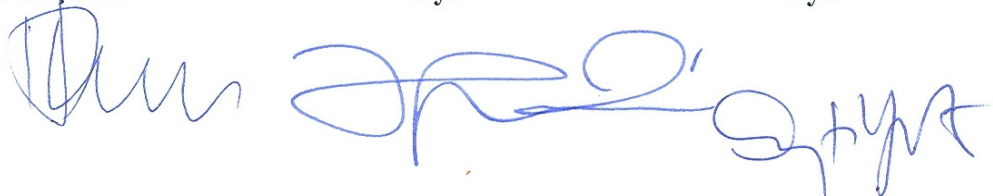
Yrd. Doç. Dr.
Osman H. METE

Yrd. Doç. Dr.
Ayten Y. YALÇINER

Jüri Başkanı

Üye

Üye



ÖNSÖZ

Giderek artan rekabet koşullarında, tekelleşmenin nerdeyse tamamen ortadan kalkması ve globalleşme süreci sonunda, pazardan pay alabilmek için firmalar artık dünya üzerindeki diğer firmalarla rekabet etmek durumundadırlar. Benzer özellikteki ürünlerin satış fiyatları üzerinde çok fazla değişiklik yapma imkanı olmaması nedeni ile firmaların ayakta kalabilmelerinin ve kar marjlarını arttırmalarının yolu kaliteden ödün vermeden maliyetleri düşürmekten geçmektedir. Bu noktada maliyet üzerinde etkili olan kısıtlar göz önüne alınarak üretim miktarlarının belirlenmesi işletmelere zaman, para ve işgücü tasarrufu olarak geri dönmektedir.

Bu amaçla hazırlanan bu tez çalışmasında, bir gıda işletmesine ait veriler kullanılarak bozulabilen ürünler için, yaygın olarak kullanılan parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin verdiği sonuçlar ile çok seviyeli bir inceleme için kurulan optimizasyon denklemi yardımı ile yapılan hesaplamaların sonuçları karşılaştırılarak, işletme yapısına en uygun parti büyüklüğü belirleme yöntemi tespit edilmeye çalışılmıştır.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖNSÖZ | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ | vii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | viii |
| TABLolar LİSTESİ | x |
| ÖZET | xii |
| SUMMARY..... | xiii |
| | |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2. | |
| PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME YÖNTEMLERİ | 3 |
| 2.1. Tek Seviyeli Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemleri..... | 6 |
| 2.1.1. Kapasite açısından kısıtlandırılmamış tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri | 6 |
| 2.1.2. Kapasite açısından kısıtlandırılmış tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri..... | 7 |
| 2.1.1. Tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme ile ilgili varsayımlar | 13 |
| 2.1.2. Başlıca tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri ... | 15 |
| 2.1.2.1. Sabit sipariş miktarı yöntemi | 15 |
| 2.1.2.2. Ekonomik sipariş miktarı yöntemi | 16 |
| 2.1.2.3. Kesikli sipariş miktarı (lot-4-lot) yöntemi | 19 |
| 2.1.2.3. Sabit dönem algoritması | 20 |
| 2.1.2.4. En düşük birim maliyet algoritması..... | 21 |
| 2.1.2.5. En düşük toplam maliyet yöntemi | 22 |

| | |
|--|----|
| 2.1.2.6. Değiştirilmiş en düşük toplam maliyet algoritması.... | 23 |
| 2.1.2.7. Parça dönem dengeleme algoritması | 23 |
| 2.1.2.8. McLaren sipariş anı algoritması | 24 |
| 2.1.2.9. Wagner Whitin algoritması | 25 |
| 2.1.2.10. Silver-Meal algoritması | 27 |
| 2.1.3. Tek Seviyeli Parti Büyüklüğü Belirlemede Kullanılan Yöntemlerin Değerlendirilmesi | 30 |
| 2.2. Çok Seviyeli Miktar Belirleme Yöntemleri | 30 |
| 2.4. Stokastik Miktar Belirleme Yöntemleri | 38 |
| 2.5. Bozulabilen Ürünlerde Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemleri | 45 |
| 2.5.1 Sabit Ömürlü Bozulabilen Ürünlerde Parti Büyüklüğü Belirleme | 47 |
| 2.5.1.1. Sabit ömürlü bozulabilen ürünlerde deterministik parti büyüklüğü belirleme..... | 47 |
| 2.5.1.2. Sabit ömürlü bozulabilen ürünlerde olasılıklı parti büyüklüğü belirleme | 48 |
| 2.5.1.3. Değişken ömürlü bozulabilen ürünlerde periyodik gözden geçirme yöntemi ile parti büyüklüğü belirleme..... | 50 |
| 2.5.1.4. Değişken ömürlü bozulabilen ürünlerde üstel dağılım yöntemi ile parti büyüklüğü belirleme | 50 |
| 2.5.2. Kuyruk modelleri | 50 |
| 2.5.3. Bozulabilen ürünlerde parti büyüklüğü belirleme yöntemlerine genel bakış..... | 51 |
| 2.6. Parti Büyüklüğü Belirlemenin Aksayan Yönleri | 52 |
| 2.7. Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Süreç Zamanı Ve Stok Miktarları Üzerindeki Etkileri | 54 |
| 2.8. Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Performanslarının İncelenmesi | 56 |

BÖLÜM 3.

| | |
|--|----|
| BİR GIDA İŞLETMESİNE PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI | 62 |
| 3.1. Raf Ömrü Kısıtsız Parti Büyüklüğü Belirleme Uygulaması | 65 |

| | |
|--|----|
| 3.1.1. Sabit sipariş miktarı yöntemi | 65 |
| 3.1.2. İhtiyaç kadar sipariş verme yöntemi (lot-4-lot) | 65 |
| 3.1.3. Ekonomik sipariş miktarı yöntemi | 66 |
| 3.1.4. Periyodik sipariş miktarı yöntemi | 69 |
| 3.1.5. Değiştirilmiş ekonomik sipariş miktarı yöntemi | 70 |
| 3.1.6. En düşük birim maliyet yöntemi | 71 |
| 3.1.7. En düşük toplam maliyet yöntemi | 73 |
| 3.1.8. Parça periyot dengeleme yöntemi | 76 |
| 3.1.9. Wagner Whitin yöntemi | 77 |
| 3.1.10. Silver Meal yöntemi | 81 |
| 3.1.11. Çok seviyeli optimizasyon yöntemi..... | 84 |
| 3.2. Raf Ömrü Kısıdına Bağlı Olarak Parti Büyüklüğü Belirleme Uygulaması | 85 |
| 3.2.1. Değiştirilmiş ESM yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi..... | 86 |
| 3.2.2. En düşük birim maliyet yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi | 86 |
| 3.2.3. En düşük toplam maliyet yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi | 86 |
| 3.2.4. Parça periyot dengeleme yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi | 87 |
| 3.2.5. Wagner Whitin yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi..... | 88 |
| 3.2.6. Silver Meal yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi | 89 |
| 3.2.7. Çok seviyeli optimizasyon yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi..... | 89 |
| 3.3. Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Performanslarının İncelenmesi..... | 90 |

BÖLÜM 4.

| | |
|---------------------------------|----|
| SONUÇ ve ELEŞTİRİLER | 97 |
| 4.1 Sonuç | 97 |
| 4.2. Tartışma ve Öneriler | 98 |

| | |
|-----------------|-----|
| KAYNAKLAR | 99 |
| EKLER..... | 109 |
| ÖZGEÇMİŞ | 133 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|---------|-------------------------------------|
| MİP | : Malzeme ihtiyaç planlaması |
| ESM | : Ekonomik sipariş miktarı |
| SSM | : Sabit sipariş miktarı |
| KSM | : Kesikli sipariş miktarı |
| SDA | : Sabit dönem algoritması |
| EDBM | : En düşük birim maliyet |
| EDTM | : En düşük toplam maliyet |
| PDDA | : Parça dönem dengeleme algoritması |
| WW | : Wagner-Whitin |
| SM | : Silver-Meal |
| FOQ | : Fixed order quantity |
| EOQ | : Economic order quantity |
| L-4-L | : Lot for lot |
| POQ | : Periodic order quantity |
| LUC | : Least unit cost |
| LTC | : Least total cost |
| PPB | : Part period balancing |
| NP-Hard | : Nonpolynomial hard |
| Q | : Ekonomik sipariş miktarı |
| S | : Sipariş maliyeti |
| D | : Yıllık talep |
| h | : Elde bulundurma maliyeti |
| Pb | : Para birimi |
| TM | : Toplam maliyet |
| P | : Birim maliyet |
| ESAS | : Ekonomik siparişler arası süre |

| | |
|-------|--|
| EPP | : Ekonomik parça periyot |
| SAH | : Sipariş anı hedefi |
| Ft | : T donemine ait toplam maliyet |
| KİP | : Kapasite ihtiyaç planlaması |
| SMBY | : Çok seviyeli miktar belirleme yonemleri |
| X | : Üretim miktarı |
| L | : Stok miktarı |
| Y | : 0 veya 1 tamsayı değeri |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 2.1. | Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sınıflandırılması | 4 |
| Şekil 2.2. | Talebin yapısına göre miktar belirleme yöntemleri | 5 |
| Şekil 2.3. | Tek seviyeli parti büyüklüğü modelleri..... | 13 |
| Şekil 2.4. | Sipariş miktarı ve elde bulundurma maliyeti..... | 17 |
| Şekil 2.5. | Sipariş miktarı ve sipariş maliyeti..... | 17 |
| Şekil 2.6. | Sabit dönem algoritmasında stok durumu..... | 21 |
| Şekil 2.7. | Örnek çok seviyeli ürün ağacı yapısı..... | 37 |
| Şekil 2.8. | Örnek çok seviyeli ürün ağacı yapısı..... | 37 |
| Şekil 2.9. | Steinberg ve Napier'in şebeke modeli | 37 |
| Şekil 2.10. | Genel şebeke modeli..... | 39 |
| Şekil 2.11. | Çok seviyeli stokastik senaryo ağacı..... | 43 |
| Şekil 2.12. | Talep matrisi..... | 44 |
| Şekil 2.13. | $T \geq 2$ için durum uzayları..... | 45 |
| Şekil 2.14. | Bozulabilen ve bozulmayan ürünler için optimum sipariş miktarı Parti büyüklüğünün fonksiyonu olarak ortalama kuyrukta | 49 |
| Şekil 2.15. | bekleme süresi | 61 |
| Şekil 3.1. | İncelemeye konu olan ürünlerin ürün ağacı yapısı..... | 65 |
| Şekil 3.2. | Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin toplam maliyetlerine göre kıyaslanması..... | 92 |
| Şekil 3.3. | Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sipariş sayısına göre kıyaslanması | 93 |
| Şekil 3.4. | Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sipariş maliyetlerine göre kıyaslanması..... | 94 |
| Şekil 3.5. | Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin elde bulundurma maliyetlerine göre kıyaslanması..... | 95 |

TABLolar LİSTESİ

| | | |
|-------------|--|----|
| Tablo 2.1. | Tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri üzerine yapılan bazı araştırmalar..... | 12 |
| Tablo 2.2. | Algoritma performanslarının karşılaştırılması | 31 |
| Tablo 2.3. | Çok seviyeli miktar belirleme yöntemleri üzerine yapılan bazı çalışmalar..... | 36 |
| Tablo 2.4. | Sipariş verme yöntemlerinin karşılaştırılması..... | 56 |
| Tablo 2.5. | Hazırlık sayısı açısından sonuçların değerlendirilmesi..... | 58 |
| Tablo 2.6. | Stok miktarı açısından sonuçların değerlendirilmesi..... | 58 |
| Tablo 2.7. | Toplam Stok maliyeti açısından sonuçların değerlendirilmesi..... | 58 |
| Tablo 2.8. | Yok satma durumu açısından sonuçların değerlendirilmesi..... | 59 |
| Tablo 2.9. | Kapasite açısından sonuçların değerlendirilmesi..... | 59 |
| Tablo 3.1. | Ürünlere ait 6 aylık talep miktarları..... | 63 |
| Tablo 3.2. | Elde bulundurma maliyetleri..... | 64 |
| Tablo 3.3. | Hazırlık süreleri..... | 64 |
| Tablo 3.4. | İhtiyaç miktarı kadar sipariş verme yöntemine ait üretim Miktarları..... | 66 |
| Tablo 3.5. | Ürün bazına ekonomik sipariş miktarları..... | 67 |
| Tablo 3.6. | ESM yöntemine ait üretim miktarları..... | 67 |
| Tablo 3.7. | ESM yöntemine ait dönem sonu stok miktarları..... | 68 |
| Tablo 3.8. | Ürün bazına ekonomik sipariş miktarları..... | 68 |
| Tablo 3.9. | ESM yöntemine ait üretim miktarları..... | 68 |
| Tablo 3.10. | ESM yöntemine ait dönem sonu stok miktarları..... | 69 |
| Tablo 3.11. | PSM yöntemine ait üretim miktarları..... | 69 |
| Tablo 3.12. | Düzenlenmiş ESM yöntemine ait üretim miktarları..... | 70 |
| Tablo 3.13. | En düşük birim maliyet yöntemine ait üretim miktarları 1.hesaplama adımı..... | 71 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tablo 3.14. | En düşük birim maliyet yöntemine ait üretim miktarları..... | 73 |
| Tablo 3.15 | En düşük toplam maliyet yöntemi için EPP miktarları..... | 73 |
| Tablo 3.16 | En düşük toplam maliyet yöntemine ait parça periyot hesaplanmas 1.basamak..... | 74 |
| Tablo 3.17. | En düşük toplam maliyet yöntemine ait üretim miktarları..... | 75 |
| Tablo 3.18. | Parça periyot dengeleme yöntemine ait üretim miktarları..... | 76 |
| Tablo 3.19. | Wagner Whitin yöntemine ait optimum çözüm hesaplaması..... | 79 |
| Tablo 3.20. | Wagner Whitin yöntemine ait üretim miktarları..... | 80 |
| Tablo 3.21. | Silver Meal yöntemine ait sipariş miktarı hesaplaması 1.basamak | 81 |
| Tablo 3.22. | Silver Meal yöntemine ait üretim miktarları..... | 83 |
| Tablo 3.23. | Çok seviyeli optimizasyon yöntemine ait üretim miktarları..... | 85 |
| Tablo 3.24. | Değiştirilmiş ESM yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları..... | 86 |
| Tablo 3.25. | En düşük birim maliyet yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları..... | 87 |
| Tablo 3.26. | En düşük toplam maliyet yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları..... | 87 |
| Tablo 3.27. | Parça periyot dengeleme yönteminin raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları..... | 88 |
| Tablo 3.28. | Wagner Whitin yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları..... | 88 |
| Tablo 3.29. | Silver Meal yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları... | 89 |
| Tablo 3.30. | Çok seviyeli optimizasyon yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları..... | 90 |
| Tablo 3.31. | Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin toplam maliyetlerine göre kıyaslanması..... | 91 |
| Tablo 3.32. | Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sipariş sayısına göre kıyaslanması..... | 93 |
| Tablo 3.33. | Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sipariş maliyetlerine göre kıyaslanması..... | 94 |
| Tablo 3.34. | Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin elde bulundurma maliyetlerine göre kıyaslanması..... | 95 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: Parti büyüklüğü belirleme yöntemleri, Raf ömrü, Çok seviyeli parti büyüklüğü belirleme.

İşletme yönetiminin en önemli çalışma konularından biri olan parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin üzerinde durulan bu çalışmada, ekonomik sipariş miktarı veya parça dönem dengeleme gibi MİP’de sıklıkla kullanılan birçok yöntemin tek seviyeli olarak hesaplama yapmaları nedeniyle elde edilen sonuçların gerçek hayatta en iyi sonucu vermekten uzaklaşmaları ve bozulabilen ürün üreten firmalarda elde edilen sonuçların uygulanabilirliği incelenmiştir.

Parti büyüklüğü belirleme algoritmalarının hepsinin dayandığı bazı varsayımlar vardır. İlerleyen zaman ve artan çalışmalar ile beraber bu varsayımlar, varsayım olmaktan çıkarılıp hesaplamalara dahil edilerek sonuçlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yapılan bu çalışma ile ürünlerin etkileşimleri de göz önünde bulundurularak hem alt seviye hem de üst seviyelerin ihtiyacını dikkate alarak, sistemin yalnızca bir parçasının değil tamamının eniyenilmesi hedeflenmiştir. İlave olarak modele eklenen üretim miktarının raf ömründen daha uzun süreyi kapsamamasını engelleyen kısıtlar sayesinde yöntemin bozulabilen ürünlerde de uygulanabilirliği sağlanmıştır.

PRODUCTION LOT SIZING TECHNIQUES : AN APPLICATION AT A FOOD COMPANY

SUMMARY

Keywords: Lot sizing techniques, Shelf life, Multi level lot sizing.

One of the most important subject of facility management is to decide lot sizes for production lines. In this study, the most common algorithms which have been used to define both multi level and single level lot size and their applicability at a company which is producing perishable products are investigated.

All of the lot sizing techniques that published in literature has so many suppositions. In paralel with increasing quantities of study at this area most of these suppositions are started to be taken in to acoount at lot sizing problems and thus effect of these suppositions have been started to be investigated.

In this study, with the consideration of interactivity of products and requirements of different levels, it is aimed to optimize whole system instead of optimization of small parts. Additionally by the extra constraints added to optimization formula it is aimed to adapt the lot sizing techniques to facilities which are producing perishable products.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İşletmelerin ulusal ve uluslar arası alanda rekabet içerisinde olduğu mevcut piyasa koşullarında varlığını sürdürebilme ve ilerlemeleri maliyetlerde sağlanacak düşüşler ile doğrudan ilintilidir. Aynı özelliklerdeki ürünü daha düşük maliyetlerde üretebilmenin işletmelere rekabet avantajı sağlayacağı yadsınamaz bir gerçektir.

İhtiyaç duyulan miktarın yanı sıra imalat esnasında katlanılan bir dizi maliyet unsurunun dikkate alınması ve yalnızca doğru miktarları, doğru zamanda üreterek işletme ekonomisine ciddi katkılarda bulunulabileceğinin fark edilmesi ile birlikte 1900'lü yılların ilk çeyreğinden günümüze kadar gelen, üretim yönetiminin en önemli sorularından bir tanesi “ne zaman, ne kadar üretmeliyiz” veya “ne zaman ne kadar sipariş vermeliyiz” sorusudur.

Bu çalışmada ise, bu soruya literatüre kazandırılmış mevcut yöntemler ve ardından doğrusal programlama ile bir gıda işletmesi verileri kullanılarak cevap aranmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu amaçla tezin birinci bölümünde, yapılan çalışma ile ilgili genel bilgilere ve tezin hazırlanış amacına yer verilmiştir.

Gerek konu ile ilgili yapılan çalışmaların artışı gerekse hesaplama alanında bilişim yöntemlerinden faydalanmanın artışı ile beraber konuya farklı açılardan çok fazla yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu nedenle ikinci bölümde, tek seviyeli ve çok seviyeli ve stokastik (olasılıklı) miktar belirleme yöntemleri üzerinde durularak, bu alanda yapılmış çalışmalara yer verilmiş ve en çok kabul gören yöntemlerden bir kısmı detaylı olarak anlatılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise incelenen yöntemlerin bir gıda işletmesi verileri ışığında analizi yapılmış, her yöntem için hesaplama basamaklarına ve hesaplama sonuçlarına yer verilmiştir.

Bu bölümün ikinci aşamasında ayrıca son yıllarda dikkate alınmaya başlanan fakat mevcut birçok üretim planlama ve çizelgeleme kitabında yer almayan bir konu olan ürünlerin bozulma ömürleri de dikkate alınarak daha önce hesaplanmış değerler bu bakış açısı ile tekrar değerlendirilmiş ve ilk aşamada en iyi çözüm olarak sunulan çözümlerin bu kısıdın ilavesi ile değişebildiği ve ilk aşamada hesaplanan değerlerin uygulanabilirliğinin olmadığı tespit edilmiştir.

Bu bölümde dikkati çeken bir diğer nokta ise 0. seviye talebinden yola çıkılarak diğer aşamalar için yapılacak hesaplamanın kendi içerisinde tutarlılığının olmayabileceği, ayrıca tek seviyeli hesaplamalarda en iyi çözümü veren yöntemlerin sistemin bir bütün halinde, çok seviyeli olarak ele alındığı durumlarda en iyi sonuç olmaktan uzaklaşabileceğidir.

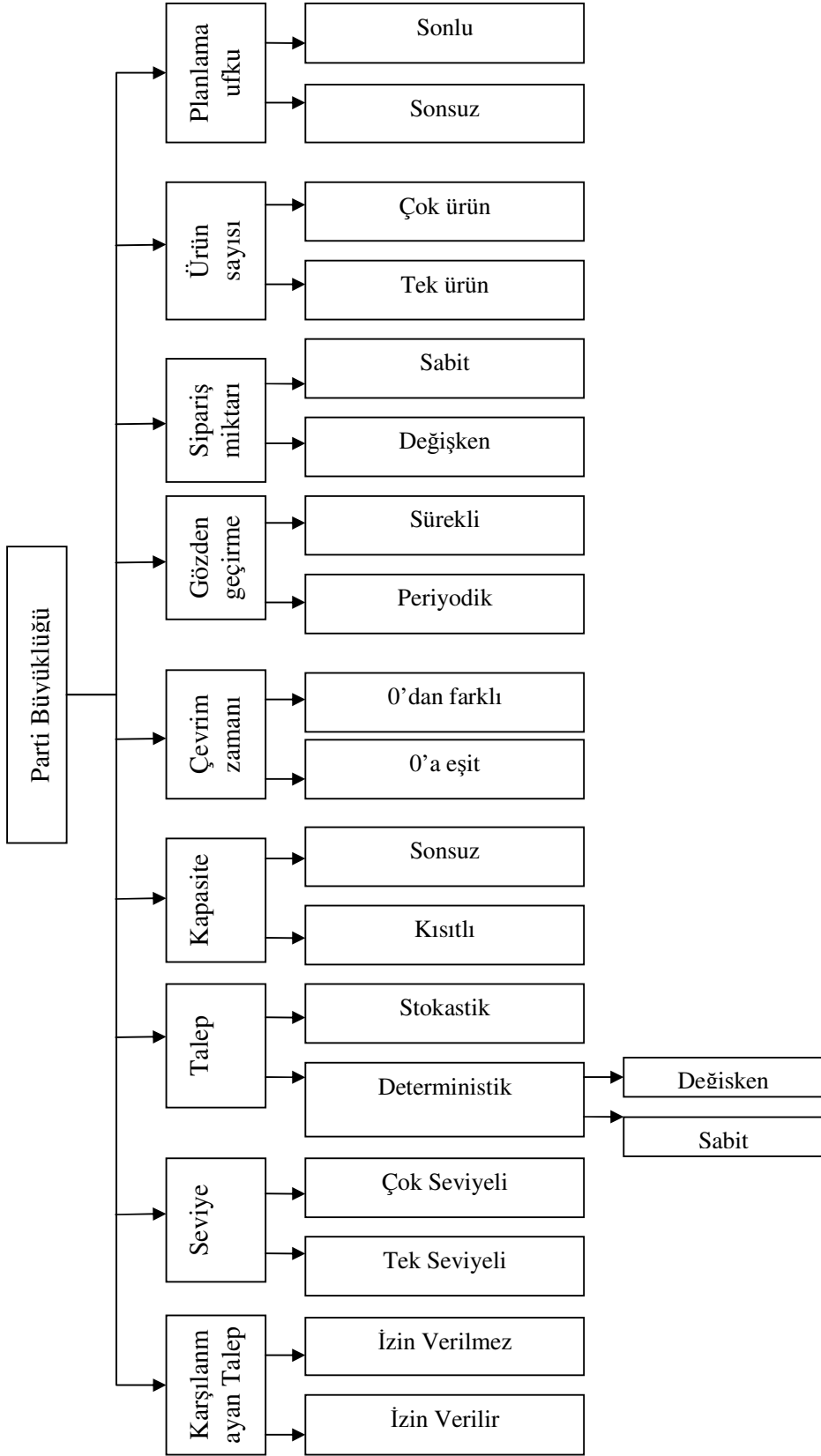
Son bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlara ve bu konuda daha ileride yapılabilecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

BÖLÜM 2. PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Malzeme ihtiyaç planlaması sistemi, ana üretim çizelgesini tüm ara fazlar ve bileşenler için zaman bazlı çizelgeye dönüştürür. Bu detaylı çizelge iki parçadan oluşur; çizelgelenmiş açık siparişler ve planlanan siparişler. Açık olarak sistemde bulunan bu siparişler, iş merkezinde üretilmek üzere serbest bırakılacağı miktar ve zamana göre öncelik sırasına konulmuştur. Planlı durumdaki siparişlerin zaman ve miktarların tespiti ise Malzeme İhtiyaç Planlaması (MİP) mantığı ile, stok miktarı ve toplam ihtiyaç miktarı göz önüne alınarak, karar vermeye yardımcı bazı özel prosedürler yardımı ile yapılır [1]. Şekil 2.1 bu yöntemlere ait genel sınıflara yer verilmiştir [2].

MİP kavramının ortaya atılmasını müteakiben 20. yy boyunca pek çok araştırmacı gelişimine ciddi katkılarda bulunmuştur. Konu ile ilgili olarak, ilk araştırmacılarından biri olan Ford W. Haris'in 1913 yılında geliştirdiği ve bazı matematiksel hesaplara dayanan Ekonomik Sipariş Miktarı (ESM) yöntemi üzerinde daha sonra yıllar boyunca birçok araştırmacı tarafından çalışılmış, yöntemin farklı varyasyonları ortaya atılmış ve Haris'in ESM modeli yöneylem araştırması kitaplarından, stok yönetimi konusun ele alan tüm kaynaklara kadar birçok yayında değişik varyasyonlarıyla yer almıştır [3]. Başlangıçta envanter problemleri olarak ortaya çıkmış ve satın alma yapılan ürünler için düşünülmüş olsa da öne sürülen yöntemlerin hemen hemen hepsi üretim için parti büyüklüğü belirlemede de kullanılabilirler. Fakat üretim ortamının getirdiği ilave kısıtlar göz önüne alındığında, ilave uyarlamalara ve değişikliklere gidilmesi de kaçınılmaz olmuştur.

Bu noktada bu çalışmada incelenecek olan, üretimde parti büyüklüğü belirlemenin özel bir hali olan bozulabilen ürünler/raf ömrü kısıtlı ürünler için üretim parti büyüklüğü belirlemedir.

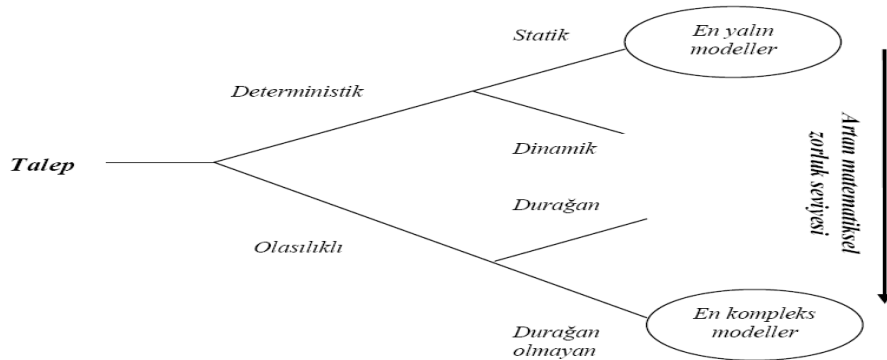


Şekil 2.1. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sınıflandırılması

İşletmelerde miktar belirleme yöntemini etkileyen, genellikle bağımsız talep ve bağımlı talep olmak üzere iki tür talep söz konusudur. Bağımsız talep, ürüne işletme dışı alıcılar tarafından olan taleptir (Nihai ürüne olan talep gibi). Diğer talep türü ise, bağımlı talep olup hammadde talebi, yarı işlenmiş ürün talebi gibi başka bir ürünün talebine bağlı olarak ortaya çıkan ve işletme içinde oluşan taleptir. Bağımsız talep işletme dışı faktörlerce belirlendiğinden sürekli bir yapı sergilerken, bağımlı talep kesikli bir yapı göstermektedir [4].

Bu sınıflandırmaya göre; talep miktarının kesinlikle bilinmesi durumunda deterministik modeller ve talebin olasılıklı dağılıma uyması durumunda da olasılıklı modellerden söz edilmektedir. Deterministik talep, yani tüketim oranının zamanla değişmemesi durumunu ele alan modeller, deterministik statik modeller olarak bilinirken, talep oranının bir dönemden (periyottan) diğerine değişken olması durumunu ele alan modeller ise deterministik dinamik modeller olarak nitelendirilmektedir. Olasılıklı talep durumunda ise; talebin olasılık yoğunluk fonksiyonu zamanla değişmiyorsa durağan modeller, olasılık yoğunluk fonksiyonu zamanla değişiyorsa durağan olmayan modeller karşımıza çıkmaktadır. Bahsi geçen yöntemlere ait sınıflandırma şekli 2.2’de verildiği gibi özetlenebilir [5].

Bağımlı ve bağımsız stok kalemlerinin sipariş miktarlarının belirlenmesinde kullanılan parti büyüklüğü teknikleri farklılık göstermektedir. Bağımsız talebe sahip



Şekil 2.2. Talebin yapısına göre miktar belirleme yöntemleri [5]

ürünler için klasik stok kontrol yöntemleri kullanılarak sipariş miktarları hesaplanabilir. Ancak bağımlı talep yapısına sahip alt parçalar ve ara ürünler için sipariş miktarının klasik stok kontrol yöntemleri ile hesaplanması uygun olmamaktadır [6]. Stok yönetiminde ana amaç sipariş verme ve stokta taşıma maliyetlerini minimize etmektir. MİP sisteminde çalışılan planlama aralığı daha kısa ve talepte bir kesiklik söz konusu olduğundan parti büyüklüklerini belirlemek daha zor olmakta ve uygulanabilecek yöntemler bitmiş ürün için uygulanan parti büyüklüğü yöntemlerinden daha farklı olmaktadır [7].

2.1. Tek Seviyeli Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemleri

2.1.1. Kapasite açısından kısıtlandırılmamış tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri

Parti büyüklüğü belirleme yöntemleri ile ilgili çalışmaların kökeni Harris'in "bir defada ne kadar üretilmeli" sorusuna cevap bulmak amacı ile Ekonomik Sipariş Miktarı yöntemini geliştirdiği tarih olan 1913 yılına kadar uzanmaktadır. Ardından Tersine ve Price 1981 yılında miktar indirimlerini de dikkate alacak şekilde yöntemi geliştirdiler. 1984 yılında ise Hax ve Candea satış kayıplarına ve geç teslimat izin verecek yeni bir yöntem önerisinde bulundular [2].

1958 yılında Wagner ve Whitin [8] tarafından yapılan çalışmada T dönemli, tek ürünli, tek aşamalı dinamik parti büyüklüğü belirleme problemleri için optimal bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Söz konusu çalışmada talepler deterministik, üretim kapasite limitsiz, her dönem için üretim, hazırlık ve elde bulundurma maliyetleri sabit olarak dikkate alınmıştır.

1966 yılında Zangwill [9], Wagner ve Whitin'in prosedürüne benzeyen ancak yok satma durumunun da söz konusu olduğu çözümün baştan sona veya sondan başa doğru hesaplanabildiği deterministik bir yöntem geliştirmiştir.

Silver ve Meal [10] 1973 yılında kapasite açısından kısıtlandırılmamış, T dönemli parti büyüklüğü problemlerinin çözümü için sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu

yöntemde talepler deterministik, üretim maliyetleri, hazırlık maliyetleri, stok tutma maliyetleri her dönemde sabit kabul edilmiştir. Böylelikle optimale yakın çözüm veren fakat hesaplama yöntemi olarak Wagner Whitin'den daha kolay bir yöntem geliştirilmiş oldu

Erol ve Erol [11] 1993 yılında tek aşamalı dinamik parti büyüklüğü problemlerinin çözümü için bir karar şebekesi algoritması geliştirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında algoritmalarının aynı tip problemlere uygulanan diğer algoritmalarından daha kolay, çözüme daha kısa zamanda ulaşan ve gözle takip edilebilmesi nedeniyle karar vericiye çabuk karar verme olanağı sağlayan bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Denizel, Erengüç ve Benson [12] 1997 yılında yayınlanan çalışmalarında, hazırlık maliyetlerini azaltmayı amaçlayan parti büyüklüğü problemini, en kısa yol yöntemini kullanarak çözmüşlerdir.

2.1.2. Kapasite açısından kısıtlandırılmış tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri

Şu ana kadar bahsi geçen yöntemlerin hepsi kapasite kısıtını dikkate almaksızın sonsuz kapasite varsayımı ile hesaplama yapmışlardır. Sonsuz kapasite varsayımı altında elde edilen parti büyüklükleri işletme kaynaklarının kapasite durumu dikkate alındığında uygulanabilirliğini kaybedebilmekte ve yapılan hesaplamaların tümü boşa gidebilmektedir. Bu konu PBBY'ne yöneltilen en büyük eleştirilerden bir tanesini, gerçek hayatta uygulanabilir olamamalarını doğrulamaktadır. Fakat 1970'lerde gelindiğinde üretim işletmelerindeki en büyük kısıtlardan biri olan kapasite durumu da incelemelere dahil edilmiştir.

Florian ve Klein [13] 1971 yılında üretim kapasitesinin değişmediği varsayımı altında yok satmanın da mümkün olduğu bir algoritma önerisinde bulunmuşlardır.

1973 yılında Jagonathan ve Rao, Florian ve Klein'in modellerini konveks ve konkav maliyet fonksiyonları için geliştirmişleridir [14].

Swoveland 1975 yılında ise yine Florian ve Klein'in yöntemini kullanarak, üretim ve stok maliyetlerinin konkav olduğu problemler için en kısa yol algoritması geliştirmiştir [14].

1975 yılında Newson [16] tek aşamalı, çok ürünlü, kapasite açısından kısıtlandırılmış dinamik parti büyüklüğü probleminin çözümü için ilk olarak sabit daha sonra değişken kapasite kısıtlı durum için sezgisel bir algoritma geliştirmiştir [15]. İkinci çalışmasında kısıtlandırılmış, çok ürünlü problem, hazırlık, üretim, stok, iş gücü değişimi, normal mesai ve fazla mesai maliyetlerinin toplamını minimize edecek şekilde matematiksel olarak ifade edilmiştir. Daha sonra maliyet fonksiyonu ayrıştırılarak hazırlık zamanları ve üretim zamanları toplamı minimize edilmeye çalışılırken her t dönemi için bir üretim hızı hesaplanmıştır. İkinci aşamada iş gücü değişimi, normal ve fazla mesai maliyetleri toplamı, birinci aşamada hesaplanan üretim hızı değerinin normal mesai ve fazla mesai kapasitelerinin toplamı ile kısıtlandırılarak problem çözülmüş ve parti büyüklükleri bulunmuştur. Bu sayede tek ürünlü yapıdan çıkılarak çok ürünlü sistemler incelenmeye başlanmıştır.

1978 yılında Baker ve arkadaşları [17] üretim kapasitesinin zaman içinde değiştiği dinamik parti büyüklüğü problemlerinin çözümü için dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir. Burada amaç toplam hazırlık ve stok maliyetlerini minimum yapan optimal parti büyüklüklerini belirlemektir. Bu çalışmanın yayınlanması ile önceleri sabit varsayılan kapasite durumunun değişken olması durumu da incelenmiş oldu.

Doğramacı, Ponoyiotopoulos ve Adam [18] 1981 yılında kısıtlandırılmış tek aşamalı çok ürünlü sistemler için bir dinamik programlama algoritması geliştirmişlerdir.

1981 yılında Dixon ve Silver tek aşamalı, çok ürünlü kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemleri için bir sezgisel metot geliştirmişlerdir. Her t dönemi için bir kapasite kısıdının olduğu durum için algoritmalarını çalıştırmışlardır [14].

1982 yılında Bitran ve Yanasse [19] doğrusal üretim ve stok maliyetli, tek ürünlü dinamik parti büyüklüğü problemleri için Florian ve Klein'in çalışmasını genişleterek yeni bir sezgisel algoritma geliştirmişlerdir.

Karni ve Roll [20] 1982 yılında çok ürünli, tek aşamalı kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemleri için sezgisel bir metot geliştirmişlerdir.

Barany, Van Ray ve Wolsey [21] 1984'te çok ürünli kısıtlandırılmış, parti büyüklüğü problemlerinin çözümünü için optimal çözüm veren yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Kısıtlandırılmış tek aşamalı parti büyüklüğü problemi, üretim ve stok miktarını gösteren karar değişkenleri kullanılarak yeniden formüle edilmiştir. Çalışmada 20 ürünli, 13 dönemli bir sistem ele alınarak model kurulmuş ve dal sınır tekniği kullanılarak optimal çözüm elde edilmiştir.

1985 yılında Epen ve Martin [22] yapmış oldukları çalışmada çok ürünli, tek aşamalı kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemlerinin optimal çözümünü, yeniden değişken tanımlayarak bulan bir algoritma geliştirmişlerdir.

1985 yılında Thizy ve Wassenhove [23] parti büyüklüğü problemleri için Lagrange tekniğine dayanan bir sezgisel geliştirmişlerdir. Bu sezgiselin matematiksel ifadesinin karmaşık olmasına rağmen, çözümün kolay anlaşılır olduğunu belirtmişlerdir.

Maes ve Maessenhove [24] 1986'da kısıtlandırılmış, çok ürünli tek aşamalı parti büyüklüğü problemi için sezgisel bir metot geliştirmişlerdir. Bu çalışmada her periyotta bütün ürünler için kısıtlandırılmış kapasite kısıdı dikkate alınarak maliyetler hesaplanmıştır. Geliştirdikleri sezgiselin diğer sezgisellerden farklı olarak daha basit ve hızlı olduğunu belirtmişlerdir.

1988 yılında Chung ve Lin, Bitran ve Yanesse'nin [25] tek ürünli doğrusal üretim ve stok tutma maliyetli modelini geliştirerek parti büyüklüğünün belirlenmesi için optimal çözüm veren bir algoritma geliştirmişlerdir.

Trigerio, Thomas ve McClain [26] 1989'da hazırlık zamanlarını da dikkate alan kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemleri için bir algoritma geliştirmişlerdir. Çalışmada hazırlık zamanlarının değişken olduğu durum için incelemişlerdir. Bu

algoritmanın büyük boyutlu problemlerin çözümünde küçük boyutlu problemlere göre daha etkin olduğunu göstermişlerdir.

1990 yılında Kırca [27] tek ürünlü, kapasite açısından kısıtlandırılmış, dinamik parti büyüklüğü problemlerinin çözümü için dinamik programlama temeline dayanan, dönem başı ve dönem sonu stoklarının sıfır olduğu varsayımı ile bir algoritma geliştirmiştir.

Kırca ve Kökten [28] 1992 yılında kısıtlandırılmış çok ürünlü, tek aşamalı parti büyüklüğü problemlerinin çözümü için yeni bir sezgisel metot geliştirmişlerdir. Çalışmada her dönemde her ürün için talebin bilindiği, yok satma durumunun söz konusu olmadığı ve kısıtlı üretim kapasitesi bulunduğu durum dikkate alınmıştır.

1994 yılında Heady ve Zhu [29], Wagner Whitin çözüm prosedürüne benzer, optimal sipariş politikasını belirleyen bir algoritma geliştirmişlerdir.

1997 yılında Ganas ve Panachristos [30] kısıtlı talep altında tek aşamalı parti büyüklüğü belirleme problemi için bazı sezgisel tekniklerin performanslarını değerlendiren bir çalışma yapmışlardır.

2006 yılında Radzi, Haron ve Johari [31] yapay sinir ağı yöntemi ile tek seviyeli bir parti büyüklüğü belirleme problemini çözmeye çalışmışlardır. Model 3 tane en iyi bilinen yöntemle (Periyodik sipariş miktarı, ihtiyaç kadar sipariş verme ve Silver Meal) dayandırılarak oluşturulmuştur.

2008 yılında Salvietti ve Smith [32] kar maksimizasyonu ile beraber fiyat optimizasyonu da dikkate alan bir yöntem geliştirmiş ve bu yöntemle çok kısa zamanda optimale oldukça yakın sonuçlar elde etmeyi başarmışlardır.

Madan ve arkadaşları [33] ise 2010 yılında kapasite kısıtlı, hazırlık zamanlı, karşılanmayan talep durumuna izin verilmeyen, tam sayılı programlamaya dayanan bir yöntem önerisinde bulunmuştur. Yöntemin özelliği ise farklı kapasite yapılarına uyum sağlayabilecek esneklikte olmasıdır.

Narayanan ve Robinson [34] ise 2010 yılında kapasite kısıdı altında, dinamik talep durumu için sezgisel bir algoritma önermişlerdir. Bu yöntemde amaç tüm talebi karşılamak ve toplam maliyeti minimize etmektir. Problem çözümü içinse benzetimli tavlama yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 2.1’de tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri ile ilgili olarak literatürde yer alan bazı çalışmalara yer verilmiştir.

Malzeme ihtiyaç planlama sisteminde kullanmak amacı ile, yukarıda da belirtildiği gibi uygun parti büyüklüğünü bulan tek seviyeli değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanları aşağıda verilmiştir [35].

Sık kullanılan tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri;

- a. Sabit sipariş miktarı yöntemi (SSM) (Fixed order quantity) (FOQ)
- b. Ekonomik sipariş miktarı yöntemi (ESM) (Economic order quantity) (EOQ)
- c. Kesikli sipariş miktarı yöntemi/ihtiyaç miktarı kadar sipariş verme (KSM) (Lot for lot) (L-4-L)
- d. Sabit dönem algoritması (SDA) (Periodic order quantity) (POQ)
- e. En düşük birim maliyet yöntemi (EDBM) (Least unit cost) (LUC)
- f. En düşük toplam maliyet yöntemi (EDTM) (Least total cost) (LTC)
- g. Parça dönem dengeleme algoritması (PDDA) (Part period balancing) (PPB)
- h. Wagner-Whitin algoritması (WW)
- i. Silver-Meal yöntemi (SM)

Planlama ufku, sipariş miktarının dağılımı, stokta tutma maliyeti, sipariş verme maliyeti gibi ölçütlere göre bu yöntemler farklı performanslar gösterebilmektedir.

Yukarıda belirtilen modeller talebin değişkenlik özelliğine göre iki ana başlık altında toplanabilir;

Statik Parti Büyüklüğü Modelleri ya da
Dinamik Parti Büyüklüğü Modelleri.

Statik parti büyüklüğü modelleri; talebin planlama dönemi boyunca sabit olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu tip modellerde sipariş miktarı bir kez hesaplanır ve dönem boyunca aynı değer kullanılır.

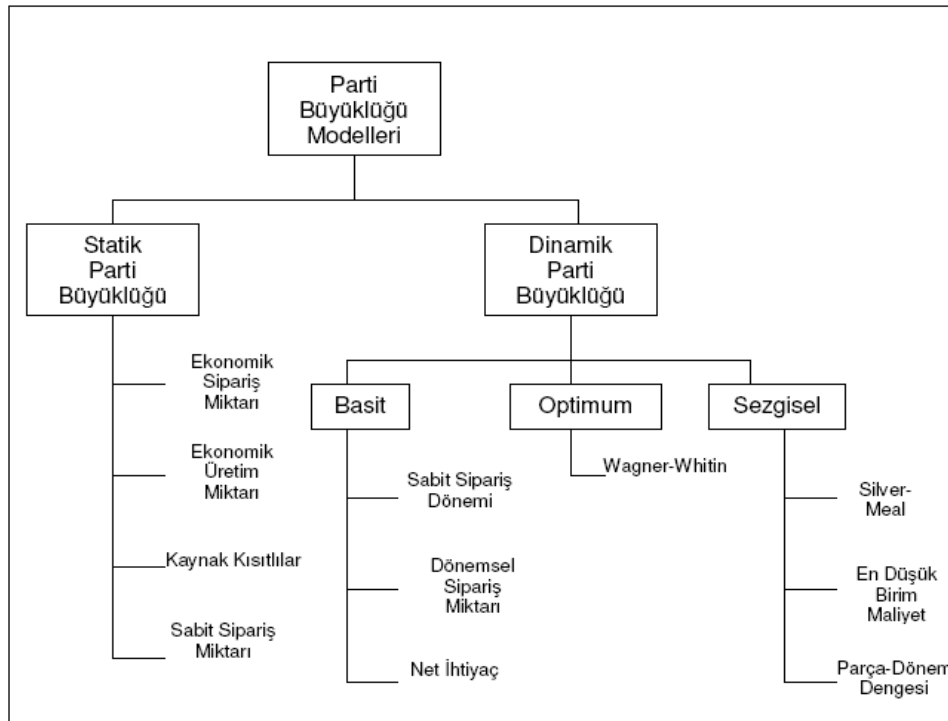
Tablo 2.1. Tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri üzerine yapılan bazı araştırmalar

| <u>Kapasite açısından kısıtlandırılmış</u> | <u>Kapasite açısından kısıtlandırılmamış</u> |
|--|--|
| Florian ve Klein (1971) | Harris (1913) |
| Jagonathan ve Rao (1973) | Wagner ve Whitin (1958) |
| Swoveland (1975) | Zangwill (1966) |
| Newson (1975) | Silver ve Meal (1973) |
| Lambrech ve Van der Ecken (1978) | Tersine ve Price (1981) |
| Baker ve arkadaşları (1978) | Hax ve Candea (1984) |
| Doğramacı ve arkadaşları (1981) | Erol ve Erol (1993) |
| Dixon ve Silver (1981) | Denizel ve arkadaşları (1997) |
| Bitran ve Yanasse (1982) | Radzi, Haron ve Johari (2006) |
| Karni ve Roll (1982) | Salvietti ve Smith (2008) |
| Barany ve arkadaşları (1984) | |
| Epen ve Martin (1985) | |
| Thizy ve Wassenhove (1985) | |
| Maes ve Wassenhove (1986) | |
| Thomas ve Weiss (1986) | |
| Chung ve Lin (1988) | |
| Thriggerio ve arkadaşları (1989) | |
| Kırca (1990) | |
| Kırca ve Kökten (1992) | |
| Heady ve Zhu (1994) | |
| Ganas ve Papachristos (1997) | |
| Madan ve arkadaşları ise 2010 | |
| Narayanan ve Robinson ise 2010 | |

Dinamik parti büyüklüğü modelleri; talebin deterministik olup, planlama dönemi boyunca değişiklik gösterdiği durumlarda kullanılmaktadır. Sipariş miktarı esnek bir yapıya sahiptir ve net ihtiyaç verilerindeki değişmelere paralel olarak değişebilmektedir [35]. Sekil 2.3'te parti büyüklüğü modelleri sınıflarına göre gösterilmiştir.

2.1.1. Tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme ile ilgili varsayımlar

Daha önce bahsedilen parti büyüklüğü belirleme yöntemleri hesaplama esasları bakımından bazı varsayımlara dayanırlar. Bu varsayımlar genel bir bakış açısı sağlaması amacı ile verilmiş olup literatürde bu varsayımların birçoğunu teker teker veya çoklu olarak varsayım olarak kabul etmek yerine ölçmeye veya hesaplamaya



Şekil 2.3. Tek seviyeli parti büyüklüğü modelleri [35]

dayalı yöntemler önerilmiştir. Fakat çözüm aranan problemin karmaşıklık derecesi dikkate alındığında her yöntemin bazı varsayımlara dayandığı görülebilir. Son yıllarda daha fazla kısıdı dikkate alacak NP-hard olarak nitelendirilen problemlerin genetik algoritma, benzetim gibi yöntemler ile çözülmesi konusunda literatürde çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür.

1. Talep bilinir, fakat dönemden döneme değişir ve her zaman dönemin başında oluşur.
2. Planlanan süre bellidir ve eşit uzunluktaki birkaç dönemin birleşimidir.
3. Parti büyüklükleri, planlanan sürenin kronolojisi ile aynı sıradan alınan, bir ya da daha fazla ve tam sayı olan zaman dönemi içerir.
4. Talebi sıfır olan dönemin başlangıcında hiçbir sipariş alınmak üzere çizelgelenmez. Pozitif talepli sonraki dönemin siparişlerini çizelgeleyerek maliyetler her zaman düşürülebilir.
5. Dönemin basındaki siparişlerin o dönemin ihtiyaçlarını karşılayabilecek zamanda uygun olacakları varsayılır. Bu varsayım ciddi bir kısıtlama değildir. Çünkü ön süreler hesaplanarak siparişler verilebilir.
6. Verilen tüm siparişler bir defada ve dönemin basında ele geçer. Yeniden siparişlerin tümü sıfır envanter ile biten dönemden öncedir.
7. Tüm gereksinimler her dönemin basında elde edilebilir. Kıtık ve stoksuzluğa genelde izin verilmez fakat literatüre yeni kazandırılan çalışmalarda stoksuzluğa izin veren ve bu durumu maliyet fonksiyonuna yansıtan yöntemlerde önerilmiştir.
8. Dönemde ihtiyaç duyulan kalemler, dönemin basındaki envanterden çekilir. Böylece elde bulundurma maliyeti dönem sonundaki envantere ve sadece bir dönemden diğerine geçen envantere uygulanır. Bir dönem boyunca tüketilen kalemlerde bu hesaplanmaz.
9. Tüm kalemlere birbirinden bağımsızmış gibi davranılır. Toplu siparişlerin ve gözden geçirmelerin faydaları göz ardı edilir.
10. Bazı yöntemler dışında genel olarak miktardan dolayı bir indirim yoktur. Dolayısıyla bir kalemin birim maliyeti sabittir.
11. Envanter maliyeti ve ön süreler kesin olarak bilinir ve zamana karşı duyarsızdır.
12. Planlanan süreden sonraki son dönemden sonra envanter bulundurmak için hiçbir hazırlık yapılmaz.
13. Başlangıç envanter seviyesi sıfırdır. Eğer sıfır değilse talepten çıkarılarak ilk dönem için ayarlanmış gereksinim elde edilir. Eğer ilk envanter seviyesi ilk dönem talebinden fazla ise, tüketilene kadar diğer dönemlerde de kullanılır. Bu düzeltme mantığı herhangi bir çizelgelenmiş alınış için uygulanabilir. Bir MİP sistemi için her dönemin talebi lot-for-lot mantığı kullanan net gereksinimdir [36].

14. Ürünlerin bozulma ihtimalleri veya kullanım ömürlerini doldurmaları ihtimali elde bulundurma maliyeti dışında hesaba katılmaz.

15. Tek seviyeli yöntemlerde belirlenen yöntemin bir sonraki aşama üzerindeki etkisinin toplam maliyet üzerindeki etkisi göz ardı edilir.

2.1.2. Başlıca tek seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri

Önceki bölümde tek seviyeli PBBY üzerinde durulmuş ve bu alanda literatüre kazandırılan çalışmalardan birkaç tanesinden kısaca bahsedilmiştir. Fakat uygulama noktasına gelindiğinde bu yöntemlerden yalnızca birkaç tanesi ancak kendisine yer bulabilmiş ve üretim planlama ve stok yönetimi kitaplarında değinilmiştir.

2.1.2.1. Sabit sipariş miktarı yöntemi

Bu uygulamanın, net ihtiyacın periyottan periyoda büyük değişiklikler gösterdiği bir talep yapısı için çok uygun olmadığı açıktır. Sistemin yüksek envanter taşıma maliyetleri getireceği görülmektedir. Bu yüzden standart hacmin periyot ihtiyacını karşılamadığı hallerde, parti hacminin katları kadar sipariş açılması gereklidir.

Genelde bu yöntem, malzeme ihtiyaç planlama sistemi içindeki bazı özel envanter birimleri için kullanılır. Örneğin belirli hacimlerdeki standart paketler halinde satın alınan malzemeler için gerekli olabilir. Bazen de yönetim standart is emirleri veya satın alma siparişleri hazırlayarak, bunların sadece tarihlerini değiştirerek kullanma kolaylığını sağlamak amacıyla bu yöntem tercih edebilir [37].

Bu politikanın uygulanabilmesi için söz konusu birimlerin sipariş verme maliyetlerinin oldukça yüksek olması gerekmektedir. Belirlenen sabit sipariş miktarı, net ihtiyaçları karşılayacak şekilde dönemlere dağıtılır. Eğer herhangi bir dönemde net ihtiyaç, sabit sipariş miktarından fazla olursa, sipariş miktarı bu değere yükseltilir.

2.1.2.2. Ekonomik sipariş miktarı yöntemi

En eski ve en yaygın kullanılan modellerden biri ekonomik sipariş miktarı modelidir. İlk olarak 1913'te Ford W. Harris [38] tarafından ortaya konan bu model günümüzde kullanılan pek çok modelin temelini oluşturmaktadır. Kullanımı çok kolay ve hızlı olan bu teknik pek çok varsayımı da içinde barındırmaktadır.

Bu yöntem belirli bazı talep yapıları için toplam maliyetin azaltılması bakımından iyi sonuçlar vermektedir. Bu uygulamada önce bilinen yöntemle ESM hesaplanır. Siparişler ESM'ye eşitlenir. Eğer ESM dönem talebini karşılamaya yetmiyorsa, bu talep karşılanana kadar artırılır.

Ekonomik sipariş miktarı politikası, malzeme ihtiyaç planlama sisteminde kullanılmak üzere geliştirilmemiştir. Kolaylıkla üretim ve satın alma sistemlerine uygulanabilecek bir yapıya sahiptir.

Burada;

Q : Ekonomik Sipariş Miktarı

S : Sipariş Maliyeti (pb/sip)

D : Yıllık Talep (adet/yıl)

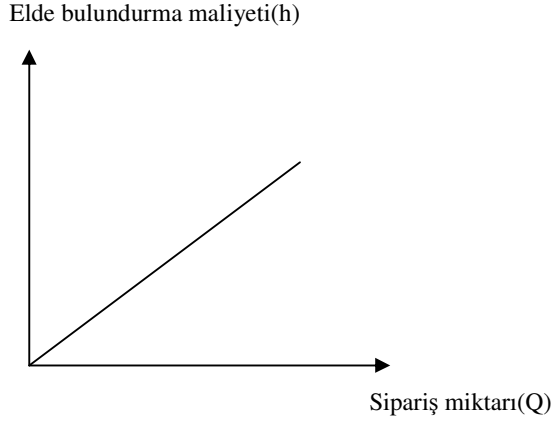
h : Bir birimi 1 yıl elde buldurmanın maliyetini (pb/yıl) göstermektedir.

$$\text{Yıllık toplam sipariş maliyeti} = S \times \frac{D}{Q}$$

$$\text{Yıllık elde buldurma maliyeti} = h \times \frac{Q}{2}$$

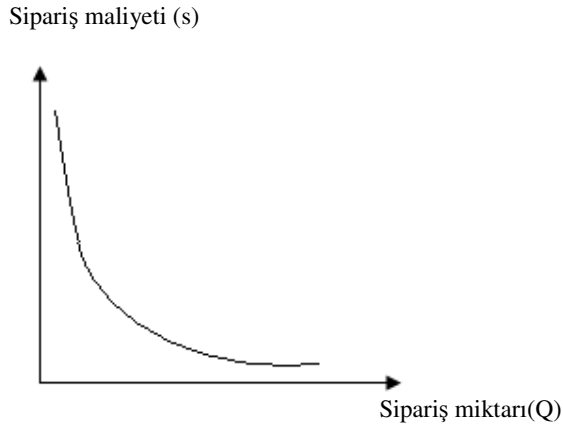
$$\text{Toplam stok maliyeti} = S \times \frac{D}{Q} + Ch \times \frac{Q}{2}$$

Şekil 2.4'te elde buldurma maliyetinin (h) sipariş miktarı (Q) ile ilişkisi görülmektedir. İkisinin arasındaki ilişki şekilde görüldüğü üzere doğrusaldır [39].



Şekil 2.4. Sipariş miktarı ve elde bulundurma maliyeti

Şekil 2.5'te ise sipariş maliyeti ile sipariş miktarı arasındaki ilişkinin grafiksel ifadesi yer almaktadır.



Şekil 2.5. Sipariş miktarı ve sipariş maliyeti

Ekonomik sipariş miktarı modeli yok satmaya izin verilen ve verilmeyen koşullarda aşağıdaki şekillerde ifade edilir.

Yok satmasız ekonomik üretim miktarı modeli:

Bu modelin varsayımları:

- Talep belirli ve her dönemde sabittir.
- Üretim miktarı belirlidir.
- Tedarikler belli bir süre zarfında gecikmesiz olarak karşılanabilmektedir.

- Yok satmaya izin verilmemektedir.

TM = Sipariş Verme Maliyeti + Stokta Bulundurma Maliyeti

$$TM = Sx \frac{D}{Q} h \times \bar{l}$$

$$TM = Sx \frac{D}{Q} + h \times \frac{Q}{2} \times \left(1 - \frac{D}{P}\right)$$

$$\frac{\partial(TM)}{\partial Q} = 0$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{h\left(1 - \frac{D}{P}\right)}}$$

Yok satmalı ekonomik üretim miktarı modeli:

Varsayımlar yok satmasız ekonomik üretim parti büyüklüğü modeli ile aynı olup yok satmaya izin verilmektedir [40].

TM = Sipariş Verme Maliyeti + Stokta Tutma Maliyeti + Yok Satma Maliyeti

$$TM = Sx \frac{D}{Q} + h \times \frac{[Q(1 - \frac{D}{P}) - YS]^2}{2Q(1 - \frac{D}{P})} + \left(\pi \frac{(YS)^2}{2Q(1 - \frac{D}{P})}\right)$$

$$\frac{\partial(TM)}{\partial Q} = 0$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{h}} \sqrt{\frac{p}{P-D}} \sqrt{\frac{\pi+h}{\pi}}$$

Ekonomik sipariş/üretim miktarı modeli aradan geçen zamana ve önerilen yöntemlere rağmen popülaritesini korumaktadır. Birçok araştırmacı tarafından farklı

kısıtlar ilave edilerek yeniden düzenlenmiştir. Birim maliyetler, ürün bozulma süreleri, olasılıklı talep gibi farklı durumlar için yorumlanmıştır [41].

2.1.2.3. Kesikli sipariş miktarı (lot-4-lot) yöntemi

Aslında bu yöntem, MİP sisteminin bir diğer temel özelliğinin gerçekleşmesi söz konusu ise, özellikle uygulanmalıdır. Bu özellik tam zamanında üretim olarak ifade edilmelidir. Üretimin tam zamanında yapılması demek; iş akışı sırasında gerekli olan parça ve malzemenin, tam anında ve gerekli miktarda istenen yerde olmasını temin etmektir. Bu amaçla periyot uzunlukları kısa olmalı ve her sipariş periyot ihtiyacına eşit olmalıdır. İdeal olarak böyle bir sistemin sıfır stokla çalışması arzu edilir. Bu takdirde periyot uzunluğu üretim hızını belirleyen çevrim zamanı kadar olmalıdır. İhtiyaç kadar sipariş verme yöntemi bu nedenlerle MİP tasarımında yaygın bir şekilde kullanılır.

En basit parti büyüklüğü belirleme yaklaşımlarından olan bu yöntemde talep oluştuğu zaman sipariş çizelgelenir. Her dönemin talebi aynı dönemde tam olarak karşılanır. Böylece hiçbir kalem bir dahaki dönem için elde tutulmaz. Bu yaklaşım sipariş verme maliyetlerini elemine eder. Öte yandan bu yaklaşım sipariş verme maliyetlerini dikkate almaz ve çok çeşitli sipariş miktarları içerir. Sipariş maliyetlerinin düşürüldüğü bir ortamda lot-for-lot optimum çözüm olabilir.

Yöntemin özellikleri dolayısıyla hazırlık maliyetine her periyotta bir kere katlanır, fakat bu yöntem için standart bir formülasyon geliştirmek mümkün değildir. Tüm dönemlerin siparişleri ele alınarak ihtiyaçlar belirlenir [42]. Bu yöntem yüksek elde tutma ve düşük sipariş verme maliyetine sahip kalemler ve talebi sürekli olmayan birimler için uygundur

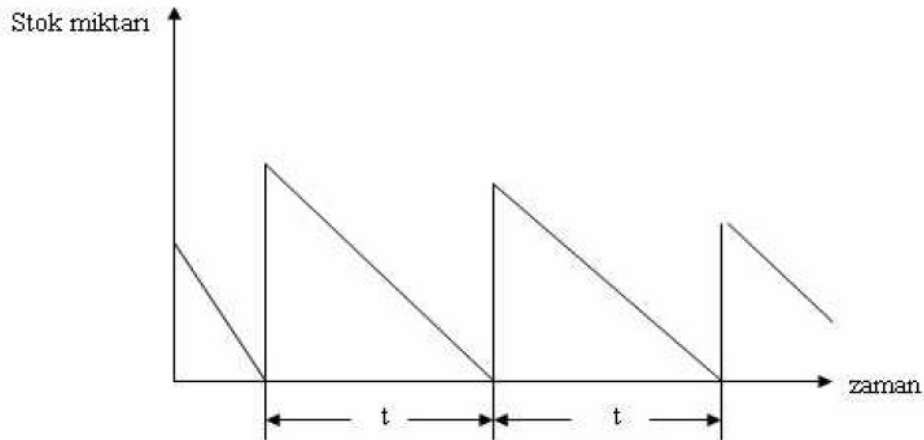
Envanter taşıma maliyetlerini minimize eden bu yaklaşımda, net ihtiyaçların miktar ve zamanına eşit olarak siparişler belirlenir. Böylelikle ihtiyaçtan fazla üretim gerçekleşmediği gibi bazı yöntemlerin (sabit sipariş miktarı gibi) aksine her dönemin ihtiyacının karşılanması da garanti edilir [43].

Bu yöntemin farklı bir yorumu olarak algılanabilecek bir diğer yöntem de sabit dönem ihtiyacı adı ile bilinen yöntemdir. Sipariş miktarı, bir dönem yerine birden fazla dönemin toplam net ihtiyacı olarak belirlenir. Dönem sayısı sezgisel olarak, uygulamadan gelen bazı etkenlere göre veya ekonomik periyot uzunluğu olarak seçilebilir.

Bu yöntem farklı sipariş miktarları içerdiği için sabit bir sipariş miktarının avantajlarına ulaşamaz, talebin olduğu her dönemde sipariş verileceği için, her bir sipariş için yeni bir hazırlık maliyeti içerir. Bu da hazırlık maliyetlerinin yüksek olduğu durumlarda toplam maliyeti oldukça yükseltecektir [44].

2.1.2.3. Sabit dönem algoritması

Bu yöntem ekonomik sipariş miktarı teoreminin, periyodik kontrol sistemi olarak kullanılması esasına dayanır. Başka bir deyişle ekonomik periyot sayısı hesaplanır ve her seferinde bu sayıya eşit periyot ihtiyacını karşılayacak şekilde sipariş verilir. Dönemlik sipariş miktarı tayini ile her siparişle kaç dönemin talebinin karşılanacağı hesaplanır. Ekonomik sipariş miktarı ile aynı mantığı kullanır fakat ekonomik sipariş miktarını tam sayıya dönüştürür. Sonuç sabit bir sipariş miktarı yerine sabit siparişler arası süredir. Ortalama talep oranı kullanılır ve en yakın tam sayıya yuvarlanır. Şekil 2.6'da sabit dönem algoritmasına ait stok durumunun zamanla değişimine ait grafiğe yer verilmiştir [45].



Şekil 2.6. Sabit dönem algoritmasında stok durumu

Ekonomik siparişler arası süre :

$$ESAS = \frac{ESM}{R} = \sqrt{\frac{2S}{\bar{D}Ph}}$$

S = sipariş verme maliyeti

h = her dönem için elde tutma maliyeti

P = birim maliyet

\bar{D} = her dönem için ortalama talep oranı

Dönemlik sipariş miktarı ekonomik sipariş miktarının gelişmişidir. Çünkü atıkları engeller ve parti büyüklüğünün değişmesine izin verir. Fakat ilerideki dönemlerdeki talep değişmelerini göz ardı eder. Bu yöntemin etkinliği, kesikli ve düzgün olmayan talep koşulları karşısında önemli derecede azalacaktır [45].

2.1.2.4. En düşük birim maliyet algoritması

En düşük birim maliyet yöntemi; üretilen bir birim başına düşen sipariş maliyeti ile envanter taşıma maliyetinden oluşan toplam maliyet değerini en az yapan dönem ihtiyacını sipariş ederek çalıştırılır.

En düşük birim maliyet yaklaşımı, bir tür deneme-yanılma yöntemidir. Bu yöntemde, sipariş miktarı tespit edilirken, bu miktarın sadece ilk dönem net ihtiyaçlarını yada bir sonraki dönem veya ondan sonraki dönemlerin de ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamayacağı sınıranır. Burada karar vermek için, birim maliyetler (birim başına hazırlık+envanter taşıma maliyeti) incelenir. Bu maliyeti minimize eden miktar, sipariş miktarı olarak belirlenir.

Planlanabilen dönemler içindeki net ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak envanter taşıma ve hazırlık maliyetleri hesaplanarak en düşük birim maliyetleri veren seçenek kullanılır.

En düşük birim maliyet Silver-Meal yöntemine benzer. Dönemlik ortalama

maliyetler yerine birimlik ortalama maliyetleri esas alır. Ortalama birim maliyetin ilk artış gösterdiği dönem tekrar sipariş verilir. Tüm planlanan zaman boyunca işlem devam ettirilir [46].

$$\frac{TRS(T)}{\sum_{K=1}^T D_k} = \frac{S + T \cdot \text{dönemsonunakadare detutmamaliyeti}}{\sum_{K=1}^T D_k}$$

$$= \frac{S + Ph \sum (k-1) D_k}{\sum_{K=1}^T D_k}$$

2.1.2.5. En düşük toplam maliyet yöntemi

Bu yaklaşımda kullanılan ana varsayım şöyledir: Planlama dönemindeki tüm partiler için hazırlık + envanter tasıma maliyetleri toplamının minimize edilmesi için, partilerin toplam maliyetlerinin birbirine eşit olması gerekmektedir. En düşük toplam maliyet yaklaşımı bu amaca ulaşmak için, birim başına hazırlık maliyeti ile envanter tasıma maliyetinin eşit olduğu miktarlarda sipariş verir. Bu yaklaşım, maliyetlerin eşitliğini sağlamak için ekonomik parça-dönem faktörü (EPP) olarak tanımlanan bir araçtan yararlanır. Ekonomik parça-dönem faktörü, envantere bir dönem taşındığı zaman, hazırlık maliyetine eşit taşıma maliyeti verecek olan birim miktarı olarak tanımlanır.

En düşük toplam maliyet yaklaşımı, parça-dönem maliyetinin EPP değerine en yakın olduğu sipariş miktarını seçer [47].

Bu yöntem ile en düşük birim maliyet gibi sipariş ve envantere taşıma maliyetlerini değerlendirerek, toplam değer olarak maliyeti en az yapmak amaçlanır.

Bu amaçla ekonomik parça-periyot (EPP) adı verilen bir büyüklük hesaplanır. Parça-dönemin ekonomik parça-döneme en yakın olduğu durum bulunur ve bu

durumu sağlayan sipariş miktarı kullanılır. Parça-dönem tanım olarak stoklarda bir dönem taşınan bir birim malzemedir. Ekonomik parça-dönem ise envanter taşıma ve hazırlık maliyetlerinin eşit olduğu durumlardaki parça-dönem miktarına eşittir.

2.1.2.6. Değiştirilmiş en düşük toplam maliyet algoritması

En düşük toplam maliyet yöntemine ek bir kural koyarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu değişiklik özellikle birbirini izleyen periyotlarda ani talep artışları olduğunda daha iyi sonuç vermektedir. Ek kural sudur;

$D(i0+1)$: ilk kurala göre sipariş kararına göre verildiği periyodu izleyen periyot talebini göstermek üzere,

$$D_{i0+1} > EPP$$

ise, yalnız i . dönemin talebi sipariş edilmelidir.

EPP ve parça-dönem maliyeleri hesaplanır ve en düşük toplam maliyet algoritmasına göre sipariş noktaları ve miktarları belirlenir. Yöntemdeki yenilik sudur: eğer sipariş miktarı EPP'den büyükse o dönemde yalnız önceki sipariş miktarlarının siparişi verilir. Böylece toplam maliyet düşürülmüş olur. Çünkü envanteri L dönem daha stokta tutma maliyeti çoğu zaman ek hazırlık maliyetinden daha küçüktür [48].

2.1.2.7. Parça dönem dengeleme algoritması

Parça dönem dengeleme yöntemi, en düşük toplam maliyet yöntemine benzemle beraber, sipariş zamanları ve sipariş miktarlarının belirlenmesi konularında farklılık göstermektedir. Bu yöntemde her bir döneme ait maliyetler kümülatif olarak toplanır. Bu toplamın EPP değerini geçtiği dönemden bir önceki döneme kadar olan taleplerin toplamı sipariş miktarı olarak belirlenir.

Bu yöntemde ana amaç sipariş verme maliyetleri ile envanter taşıma maliyetlerini eşitlemektir [49]. İlk haftadan itibaren farklı parti büyüklüğü seçeneklerini göz önüne alarak bu noktaya ulaşılmaya çalışılır.

Bu yöntem aynı anda hem parti büyüklüğü hem de siparişler arası zamanın değişimini hesaba kattığı için talebin düşük olduğu dönemlerde düşük miktarlarda ve uzun aralıklarla sipariş vermeyi önereceğinden stok maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olur.

Parça periyot dengeleme algoritması hesaba katılması gereken bilgilerin bir çoğunu kullanıyor olmasına rağmen her zaman en düşük maliyeti sağlamaz. Bir çok yönteme göre daha düşük maliyet sağlamakla beraber tüm seçenekleri değerlendirmede için optimal çözümü sunmaması olasıdır [1].

2.1.2.8. McLaren sipariş anı algoritması

McLaren sipariş anı yöntemi de parça periyot dengeleme yönteminde olduğu gibi sipariş verme maliyetleri ile ilgilenir fakat bu yöntem de farklı olarak, sipariş maliyetlerini envanter taşıma maliyetlerine eşitlemek yerine parça periyot birikimini direk olarak kullanır.

Parça periyot bir parçanın bir periyot boyunca taşınması olarak ifade edilir. Parça periyotların kümülatif toplamı stok taşıma maliyeti ile orantılıdır. Bu yöntem sabit talep altında ekonomik sipariş miktarı yönteminin maliyeti ile kümülatif parça periyodu sayısını karşılaştırarak her bir sipariş için parti büyüklüğünü belirlenmesini sağlar. Bunun için öncelikle hedef parça periyot belirlenir ve ardından mevcut parça periyotların kümülatif toplamı hedef değere ulaşıncaya kadar alınır. Sipariş anı hedefi ise aşağıdaki gibi belirlenir [1]:

$$SAH = \bar{D} = \left[\sum_{t=1}^{T^*-1} t + (TBO - T^*)T^* \right]$$

SAH = Sipariş anı hedefi

\bar{D} = Periyot başına ortalama talep

TBO = Ekonomik sipariş miktarı / \bar{D}

T* = TBO'dan küçük veya eşit en küçük tamsayı

Mclaren sipariş anı, ardışık periyotların ihtiyaçlarını SAH ulaşana kadar aşağıdaki denklemi kullanarak toplar.

$$\left[\sum_t^k (t-1)D_t \geq SAH \right]$$

Sipariş anına ulaşıldığında lot miktarını belirlemeden önce ikinci bir test yapılması gerekir. Bu test ile bir sonraki periyodun ihtiyacının karşılanıp envanter taşıma maliyetine katlanılması gerekip gerekmediği belirlenir. Karşılaştırma için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$h(k-1)D_k \leq S$$

h = Envanter taşıma maliyeti

k = Değerlendirmeye konu olan periyot

Dk = k periyodu için ihtiyaç miktarı

S = Sipariş verme maliyeti

2.1.2.9. Wagner Whitin algoritması

Bu yöntem dinamik programlama modeline dayalı matematiksel bir optimizasyon işlemidir. t dönemli tek ürünlü tek aşamalı dinamik parti büyüklüğü problemleri için optimal çözüm verir. Temel olarak Wagner- Whitin yöntemi, planlama döneminin her bir dönemindeki net ihtiyaçları karşılamak için mümkün olan tüm alternatifleri değerlendirir. Wagner-Whitin yöntemi de sipariş verme ve elde bulundurma maliyetlerinin toplamını en küçükmeye çalışır. Bu yöntem diğer sipariş büyüklüğü yöntemlerinin etkinliğini ölçmede bir standart olarak kullanılabilir [8].

Bu algoritmanın varsayımları ise aşağıdaki gibidir:

- Talepler ve maliyetler dönemler itibari ile değişkendir,
- Siparişler gecikmesiz olarak bir anda karşılanmaktadır,
- Yok satmaya izin verilmez,
- Dönem başı ve dönem sonu stok miktarı sıfırdır.

Eğer dönem başı stok sıfır ise, bu stok değeri ilk talepten düşülerek algoritma öyle çalıştırılır. Dönem sonunda stok olması isteniyorsa ise bu miktar son dönem talebine eklenerek algoritma çalıştırılır.

Burada sorun n dönemi süresince satın alma ve stokta tutma maliyetlerini en küçükleyecek Q_1, Q_2, \dots, Q_n miktarlarını bulmaktır.

Belirlenen bir dönem için talep miktarı bütün olarak dönem içindeki bir alımla veya önceki dönemde yapılan bir alımla karşılanmaktadır. Bu durum optimum bir çözüme ulaşmak için, alım işlemlerinde $QT=0$ veya $D_t+D_{t+1}+\dots+D_k$ olduğunda ihtiyaç olduğunu belirtmektedir.

Formülasyon ise şu şekilde olmaktadır:

$$F_k = \min\{F_j + M_{jk}\}$$

$$M_{jk} = a_{j+1} + c_{j+1}Q_{j+1} + \sum_{t=j+1}^{k-1} h_t l_t$$

$$F_0 = 0$$

$F_k = 1$. dönemden k. döneme kadar olan maliyetler

$M_{jk} = (j+1)$. dönemden k. döneme kadar olan maliyetler

K'dan önceki son yeniden üretim (rejenerasyon) noktası j'dir. j'de stok sıfıra inmekte, j+1'de ise üretime başlanmaktadır. K'ya kadar olan üretim buradan karşılanmaktadır. Yani (j+1),(j+2),.....k'nın talebi karşılanmaktadır.

j+1, j+2,.....k periyodundaki ihtiyaçlar j+1 dönemindeki üretimle karşılanacağı için ;

$$X_{j+1} = D_{j+1} + D_{j+2} + \dots + D_k$$

1966 yılında Zangwill [50], Wagner – Whitin'in algoritmasına benzer ancak yok

satma durumunda söz konusu olduğu çözümün baştan sona veya sondan başa doğru yapılabilirdi deterministik üretim planlaması modeli geliştirmiştir.

Florian ve Klein [13] 1971 yılında Wagner-Whitin'in yöntemine benzer her dönemde üretim kapasitesinin değişmediği, yok satmanın söz konusu olduğu durumda tek aşamalı üretim sistemlerinde parti büyüklüğünün belirlenmesi için bir algoritma geliştirmişlerdir.

Love [46] 1972 'de üretilecek ve stokta tutulacak miktarlar için alt ve üst sınırların olduğu, kapasite için herhangi bir kısıtlamanın olmadığı durum için parti büyüklüğünü hesaplayan ve en iyi çözüm veren bir algoritma geliştirmiştir.

Wanger-Whitin tek seviye için en iyi sonucu vermekle beraber hesaplaması oldukça zor ve gerçek hayattaki değişken sayısı ile kısıt sayısı dikkate alındığında neredeyse imkansızdır.

2.1.2.9. Silver-Meal algoritması

Bu algoritma sezgisel bir yaklaşım olup, birim zamana düşen toplam maliyeti en küçükleyerek sipariş miktarını bulmaya çalışır [51].

Amaç, zaman değişkenliğinden kaynaklanan karmaşıklığı çözerek, P dönemlik bir planlama aralığında toplam maliyeti azaltacak şekilde siparişlerin hangi dönem başlarında ve ne miktarlarda verilmesi gerektiğini belirlemektir [10].

Varsayımlar:

- Talep ve maliyetler dönemler itibari ile değişkendir ve bilinmektedir,
- Tedarik süresi biliniyor ve sabittir,
- Siparişler gecikmesiz olarak bir anda teslim alınır,
- Yok satmaya izin verilmez,

Bu yöntemle iki şekilde çözüme gidilebilir:

- Siparişlerin dönem başlarında verildiği durum

- Siparişlerin dönem aralarında verildiği durum

Siparişlerin dönem başlarında verildiği durum:

İki dönem birleştirilirse, dönem başına düşen maliyet, hazırlık maliyeti ile stokta tutma maliyetinin toplanıp taşınan periyot sayısına bölünmesiyle elde edilecektir [10].

$$F_t = \frac{S + h \sum_{j=2}^t D_j (j-1)}{t}, t \geq 2$$

$F_{t+1} > F_t$ olana kadar devam edilir.

Eğer dönem maliyeti, bir önceki dönemin maliyetinden büyükse sipariş verilir.

Sipariş miktarı ise aşağıdaki gibi olur:

$$Q = \sum_{j=1}^t D_j$$

Siparişlerin dönem aralarında verildiği durum;

Siparişlerin dönem aralarında verildiği kabul edilip, ekonomik sipariş miktarı incelenip, aşağıdaki eşitlik çıkarılabilir.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{ic}}$$

buradan,

$$T = \sqrt{\frac{2SD}{ic/D}} = \sqrt{\frac{2SD^2}{ic}} = \sqrt{\frac{2S}{icD}}$$

Bu özellikteki, sistemlerde talep oranı genellikle sabit kabul edilir. Ancak, gerçekte talep oranı ait olduğu dönem için sabittir.

Bu nedenle siparişlerin kapsadığı dönem ;

$$T = \sqrt{\frac{2S}{icD}} \text{yerine}$$

$$T = \sqrt{\frac{2S}{ic / D_k}}$$

$$T^2 D t = \frac{2S}{ic} \text{ olur.}$$

Buradan T 'yi bulmak için tamsayı değerleri T kullanılarak ilk k dönemindeki

$T^2 D t \geq \frac{2S}{ic}$ durumu sağlanıncaya kadar T artırılır. Bu şart sağlandıktan sonra

$$T = \sqrt{\frac{2S}{ic / D_k}} \text{ işlemi yapılır.}$$

Bu sezgisel yöntemi kullanmanın avantajı basitliği ve maliyet performansının iyiliğidir. Çoğu durumda Wagner-Whitin'e göre ceza maliyeti %1'den daha azdır veya yoktur.

Bu yöntemin iyi performans göstermeyeceği iki durum söz konusudur:

1. Talep oranı çok hızlı düşüyorsa,
2. 0 talepli dönem çoksa, bu yöntemin performansı düşmektedir.

2.1.3. Tek Seviyeli Parti Büyüklüğü Belirlemede Kullanılan Yöntemlerin Değerlendirilmesi

İncelenen yöntemlerin değerlendirilmesi yapılırken, algoritmaların performanslarının kullanılan net ihtiyaç verileri ile hazırlık ve birim maliyetler oranına göre değiştiğinin göz ardı edilmemesi gerekir.

Tablo 2.1’de, bu yöntemlerin verilen örnek problem üzerinde uygulanması halinde ortaya çıkacak toplam maliyetler ile bunları oluşturan diğer maliyet öğeleri özetlenmiştir. Bu şekilde yöntemleri karşılaştırmak mümkün olabilecektir [52].

Örnek: A malzemesi için bu yöntemi uygulayalım. Bu yöntem ve diğer parti hacim yöntemlerinde kullanılan bu malzemenin başlangıç stoğu 0 olarak kabul edilmektedir. Yıllık talep 3335 birimdir. Diğer veriler ise şu şekildedir.

$S = 30\text{pb/yıl}$ (sipariş maliyeti)

$h = 8,5\text{pb/yıl}$ (elde bulundurma maliyeti)

$h = 0,16\text{pb/hafta}$

Tedarik Süresi (TS) : 1 hafta olmak üzere

2.2. Çok Seviyeli Miktar Belirleme Yöntemleri

Bölüm 2.1’de incelenen tek seviyeli yöntemler hesaplama açısından basit olmakla beraber bütünün her bir parçasının tek tek ele alınmasını öngörür. Fakat üretim sistemleri çok az sayıdaki istisna dışında çok seviyelidir ve ürünler arası etkileşim mevcuttur. Bu nedenle her biri tek başına ele alınmış parçaların daha sonra bir araya getirilmesi ile elde edilen sonuç optimallikten ve uygulanabilirlikten çok uzak olabilir. Bu nedenle çok seviyeli PBBY önem arz etmektedir.

Kurumsal kaynak planlaması yazılımlarının ortaya çıkması ile beraber öncelikle malzeme ihtiyaç planlaması (MİP), ardından çizelgeleme (MİP II ile beraber) ve

Tablo 2.2. Algoritma performanslarının karşılaştırılması [52]

| Algoritma | Sipariş sayısı | Sipariş maliyetleri | Stok miktarı | Envanter Taşıma maliyeti | Toplam maliyeti |
|-----------------------------|----------------|---------------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| Artımlı sip. | 2 | 60 | 610 | 97,6 | 157,6 |
| Sabit Dönem Algoritması | 4 | 120 | 250 | 40 | 160 |
| Dönem sip. Miktarı | 3 | 90 | 470 | 75,2 | 165,2 |
| Değiştirilmiş ESM | 3 | 90 | 510 | 81,6 | 171,6 |
| Parça-dönem Algoritması | 4 | 120 | 330 | 52,8 | 172,8 |
| ESM | 3 | 90 | 550 | 88 | 178 |
| En Düş. Bir. Maliyet | 4 | 120 | 390 | 62,4 | 182,4 |
| Sabit sipariş Miktarı | 3 | 90 | 670 | 107,2 | 197,2 |
| En Düş. Top. Maliyet | 2 | 60 | 1120 | 179,2 | 239,2 |
| Kesikli sipariş algoritması | 9 | 270 | 0 | 0 | 270 |

kapasite ihtiyaç kaynakları planlaması yazılımları yaygınlaştı. Fakat bu kavramların çok önemli bazı eksiklikleri vardır [53].

Yukarıda sayılan işlemler genelde temel seviyede yapılmaktadır. Parti büyüklükleri genelde tek seviyeli yaklaşımlar yardımıyla belirlenmekte, kapasite değerlendirmesi ise, çizelgeleme işlemi ile paralel yapılması gerekmesine rağmen sonradan kapasitenin aşıp aşılmadığını kontrolü için kullanılmakta, böylece karar vermede yardımcı değil bilgi verici bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle kapasite kısıdı altında çok seviyeli parti büyüklüğü belirleme yöntemleri de Billington [54], Tempelmeier ve Derstroff veya, Tempelmeier ve Helber [55]'in çalışmalarında incelenmiştir.

Çevrim süreleri her ne kadar ürünün karmaşıklığı, iş merkezi yoğunluğu ve kapasite kavramlarından bağımsız olmasa da çizelgeleme prosedürü içerisinde girdi olarak değil çıktı olarak yer almalıdır.

Genel olarak MİP sistemleri mümkün olan en basit parti büyüklüğü belirleme yöntemlerini kullanırlar.

Çok seviyeli miktar belirleme yöntemleri ürün yapısına göre farklı alt sınıflara (tek seviyeli, seri, montaj, genel) ayrılabilen kombinasyonel bir hesaplama yöntemidir.

Kapasite kavramı MİP ve MİPII'de ortak önemli bir kavram olmuş ve genelde kapasite ihtiyaç planlaması (KİP) yazılımları veya modülleri aracılığı ile takip edilmiştir. Fakat bu durum kapasite kısıdını dikkate almayan yöntemlerin daha az önemli olması anlamına gelmemektedir. Bunu en önemli nedeni ise kapasite kısıdını dikkate almadan hesaplama yapan yöntemler için veri toplamanın ve saklamanın kolaylığıdır [56].

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı tez çalışması içerisinde bu maddelerden üçüncüsü üzerinde durulmuştur.

Parti büyüklüğü belirleme yöntemleri planlama ufku açısından literatürde iki gruba ayrılır. Küçük kova (small bucket) ve büyük kova (big bucket) problemleri. Küçük kova problemleri büyük kova problemlerinin planlama ufkunu eşit uzunluktaki birkaç alt periyoda bölen yaklaşımına ilave olarak bu periyotları da detaylı birçok küçük alt periyoda böler [57].

Küçük kova yöntemleri, çok seviyeli ve çok ürünlü olanlar için çok seviyeli kesikli (MLDLSP) [58] ve çok seviyeli sürekli miktar belirleme (MLPLSP) [59] yöntemleridir. Her iki grup da simültane olarak lot miktarı belirlenmesini olanaklı kılar fakat aksayan yönü planlama ufku içerisindeki ürün sayısını kısıtlamasıdır. Büyük kova problemlerinden biri olan çok seviyeli kapasite kısıtlı parti büyüklüğü belirleme yöntemleri (MLCLSP) ise böyle bir kısıt içermezler fakat bu yöntemlerde de simültane olarak lot miktarı ve çizelgelerin belirlenmesi olanaklı olamamaktadır.

Literatürde bu iki yöntemin aksaklıklarını gidermek için ise tek seviyeli yaklaşımlardan yola çıkan çok seviyeli genel parti büyüklüğü belirleme yöntemi (MLGLSP) ortaya konulmuştur. İzleyen kısımda çok seviyeli yöntemler ile ilgili literatürdeki bazı çalışmalara yer verilmiştir.

Zangwill [60] 1969 yılında her bileşenin tek girdisi ve çıktısının olduğu bir ağ yaklaşımı ile, dinamik programlama kullanarak hesaplama yaptığı çalışmasını yayınladı.

Love [61] 1972 yılında üretilecek ve stokta tutulacak miktarlar için alt ve üst limitin olduğu fakat kapasite kısıtlamasının yer almadığı, optimal çözüm veren bir yöntem geliştirmiştir.

Crowston ve Wagner [62] 1973 yılında benzer bir yöntemle bu defa birden fazla bileşenden oluşabilen ürün yapılarını inceledi fakat onların çalışmasında ise bileşenlerden oluşabilen ürün sayısı en fazla bir olabiliyordu.

Nihayet 1980 yılında Steinberg ve Napier [63] genel ürün yapılarına hitap eden bir ağ yaklaşımı modeli ile tam sayılı programla kullanan bir yöntem geliştirdiler.

1981 yılında ise Graves [64] kendi adıyla anılan, sadece üretim ve stoklamaya izin verilen, talebin herhangi bir aşamada oluşabileceği, iteratif bir yöntem geliştirmiştir.

Billington ve McClain [65] 1986 yılında yayınlanan çalışmalarında tesisteki darboğaz üzerinde Lagrange yöntemi ile dal sınır algoritması kullanarak, kapasite kısıdı altında minimum maliyeti elde edecek üretim çizelgesini oluşturmayı hedefleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışma primal ve dual olmak üzere iki safhadan oluşur. Dual safhasında deneme yoluyla maliyetleri minimize edecek bir çözüm bulunur. Primal aşamasında ise bu çözüm iterasyon yoluyla geliştirilir.

Yine Billington, Blackburn, Maes, Millen ve Wassenhove [66] hazırlık ve stokta taşıma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan çalışmalarında kapasite açısından

kısıtlandırılmış ÇSMBY kullanmışlardır. NP-Hard problemler olarak bilinen bu problemler için alternatif bir yöntem önerisinde bulunmuşlardır.

1991 yılında Roll ve Karni [67] bütünleşik kapasiteli, çok ürünlü, çok aşamalı modeller için parti büyüklüğü belirleme algoritması geliştirmişlerdir. Bütün ürünlerin tek bir bütünleşik kapasite altında üretildiği ve yok satmanın söz konusu olmadığı varsayımları altında algoritma çalıştırılmıştır.

1994 yılında ise Billington, Blackburn, Maes, Millen ve Wassenhove [68] çok aşamalı, çok ürünlü, kapasite açısından kısıtlandırılmış problemler için Lambrecht ve Vander Eecken Metodu (LV) Dixon ve Silver Metodu (DS), Doğramacı, Panoyiotopulos ve Adam Metodu (DPA), ve Maes ve Wassenhove Metodu'nu (MW) etkinlikleri açısından değerlendirmiş ve küçük boyutlu problemlerde DS ve MW algoritmalarının daha hızlı sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Barabarosoğlu ve Özdamar [69] 2000 yılında yayınlanan çalışmalarında benzetimli tavlama yöntemi kullanarak ÇSMBY dört farklı optimizasyon kısıdı kombinasyonu ile test etmişlerdir;

- Sadece kapasite optimizasyonun karşılandığı durum,
- Sadece stok optimizasyonun sağlandığı durum,
- Her ikisinin beraber sağlandığı durum,
- İkisinin de sağlanma kısıdının olmadığı durum.

Çalışma sonucunda ortaya çıkan durum ise her alanda optimal sonucun istendiği ve hiçbir alanda kısıtlama yapılmayan durumlara göre tek bir alanda kısıtlama yapılmasının daha düşük maliyetli bir sonuç verdiği yönündedir. En iyi çözüm ise kapasite kısıdının olmadığı fakat stok optimizasyonu kısıdının yer aldığı yöntemle elde edilmiştir.

Pitakaso ve arkadaşları [53] 2006 yılında yayınladıkları makalelerinde Dellaert ve Jeunet [70] tarafından önerilen yöntemi geliştirerek tek seviyeli miktar belirleme yöntemlerinden Wagner Whitin'i karınca kolonisi yöntemi ile birleştirerek daha kısa

zamanda sonuca ulaşmayı sağlayan hibrid bir yöntem önerisinde bulunarak, yöntemin daha geniş çaplı problemlerde uygulanabilmesini sağlamayı amaçlamışlardır.

Fandel ve Hegene [71] 2006 yılında yayınlanan çalışmalarında üretim maliyeti, ayar maliyeti ve envanter taşıma maliyetlerine ilaveten iş sıralamasından doğan ilave ayar zamanlarının maliyetlerini ve makineyi bu ayarlarda durağan bir şekilde tutabilmenin maliyetlerini de çalışmalarında dikkate almışlardır.

Xiao ve arkadaşları [72] 2011 yılında yayınlanan çalışmalarında değişken komşuluk araması (variable neighborhood search (VNS)) bazlı bir yöntem kullanarak genel bileşen ve çok sayıda son ürün kısıtlarının göz önüne alındığı, kapasite kısıtsız bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde arama etkinliğini arttırabilmek adına yeni bir kural önerisinde bulunmuş ve test ettikleri yöntemin küçük ve orta ölçekli problemlerde etkin bir çözüm aracı olduğunu göstermişlerdir.

Fakat bu yöntemlerin birçoğu hesaplanması açısından oldukça zor, uzun süreler ve maliyet gerektiren yöntemlerdir. Hatta bu nedenlerden dolayı Changa ve Chyr [73] 2010 yılında yayınlanan çalışmalarında çok seviyeli miktar belirleme çalışmalarında hesap süresinin düşürülebilmesi için veri tabanı optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Stadler [74] ise 2011 yılında tam sayılı programlama kullanarak çevrin zamanlarını 0 olarak kabul ettiği, kapasite kısıdı altında hesaplama yapılan, tek makine çok seviyeli durumlarda geçerli olabilecek bir algoritma önermiştir. Tablo 2.3'te ÇSPBBY'ine ait literatür çalışmalarından bazılarına özet olarak yer verilmiştir.

Çok seviyeli ürün yapısı için Şekil 2.7'deki gibi bir örneği ele alırsak, a5, a6, a7, a8, a10 ve a11 numaralı bileşenler tedarikçiden satın alınan bileşenler, diğerleri ise bu bileşenlerin işlenmesi veya birleştirilmesi sonucu üretilen ürünler/yarı ürünlerdir.

Şekil 2.7'deki gibi bir yapıda kullanılan hammaddeler veya yarı ürünler birden fazla ürünün bileşeni olarak kullanılabilirler. Bu nedenle kullanılacak her parça için P gösterimini kullanırsak, ürün ağacının değişik seviyelerinin gösterimi için de benzer

bir şekilde l gösterimini kullanacak olursak, herhangi bir parçanın herhangi bir seviyedeki kullanımını pl olarak ifade edebiliriz.

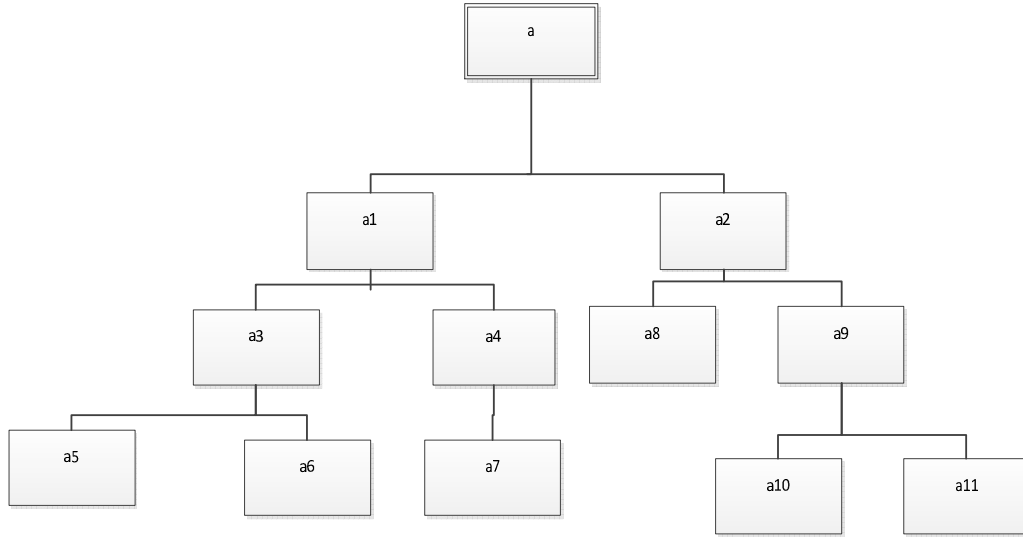
Şekil 2.8'deki örnekte de görüldüğü üzere aynı hammadde iki farklı üründe farklı miktarlarda kullanılabilir. Burada Bitmiş ürün seviyesinden başlanarak alt seviyelere indikçe l değeri yükselir (ilk seviye için 0'dan başlar). Burada pl seviyesindeki bir ürün, üretim, hazırlık, ve sabit maliyetler gibi maliyetlere katlanılarak bir üst seviyede (pl^+) kullanılırlar. Burada önemli olan nokta üst

Tablo 2.3 Çok seviyeli miktar belirleme yöntemleri üzerine yapılan bazı çalışmalar

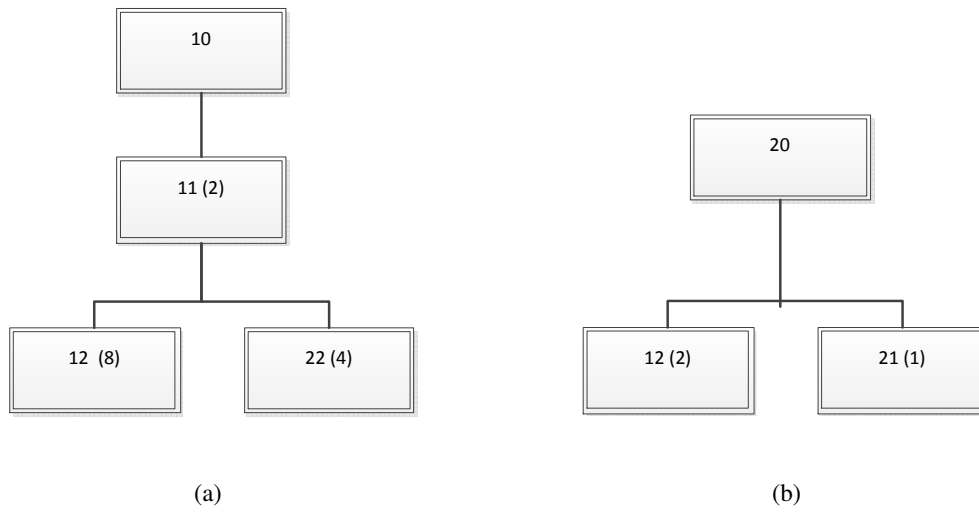
| Kapasite açısından kısıtlandırılmış | Kapasite açısından kısıtlandırılmamış |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Steinberg ve Napier (1980) | Zangwill (1966) |
| Billington ve arkadaşları (1983,1986) | Love (1972) |
| Blackburn ve Millen (1985) | Crowston ve arkadaşları (1972) |
| Billington ve arkadaşları (1988) | Crowston ve arkadaşları (1973) |
| Maes ve Wassenhove (1991) | Crowston ve Wagner (1974) |
| Maes ve arkadaşları (1991) | Graves (1981) |
| Roll ve Karni (1991) | Blackburn ve Millen (1982) |
| Billington ve arkadaşları (1994) | Barbarosoğlu ve Özdamar (2000) |
| Barbarosoğlu ve Özdamar (2000) | Pitakaso ve arkadaşları (2006) |
| Stadler (2011) | Fandel ve Hegene (2006) |
| | Xiao ve arkadaşları (2011) |

seviyeden başlayarak alt seviyeye doğru bu maliyetleri göz önüne alarak ayrıştırma yapmak ve parti büyüklüğünü uyumlu olarak belirleyebilmektir.

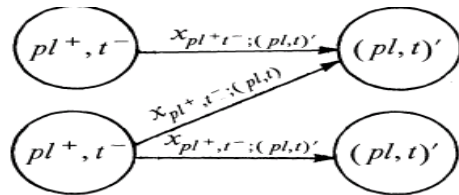
Steinberg ve Napier [63] malzeme ihtiyaç planlaması için çok seviyeli miktar belirleme çalışmaları kapsamında, temeli doğrusal programlamaya dayanan bir şebeke ağı yöntemi önerdiler. Bu ağ yapısında Pl parça seviye yapısını, t ise periyodu ifade edecek şekilde, Pl^+,t^- seviyesinden (pl,t)' seviyesine geçişi bir düğümlerle göstererek bir şebeke modeli şeklinde ifade etmişlerdir. (Bkz. Şekil 2.9)



Şekil 2.7. Örnek çok seviyeli ürün ağacı yapısı



Şekil 2.8. Örnek çok seviyeli ürün ağacı yapısı



Şekil 2.9. Steinberg ve Napier'in şebeke modeli [63]

Burada $X_{pl^+,t^-};(pl,t)$ bir önceki seviye ve periyottan bir sonraki seviye ve periyoda akışı ifade eder. A şebeke ağında M adet düğüm ve N adet ok olduğunu düşünürsek Bir düğümün girişleri aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$a_{ij} = \begin{cases} -1 & \text{eğer } j \text{ oku } i \text{ düğümünden başlıyorsa} \\ 0 & \text{eğer } j \text{ oku } i \text{ düğümüne değmiyorsa} \\ +1 & \text{eğer } j \text{ oku } j \text{ düğümünde son buluyorsa} \end{cases}$$

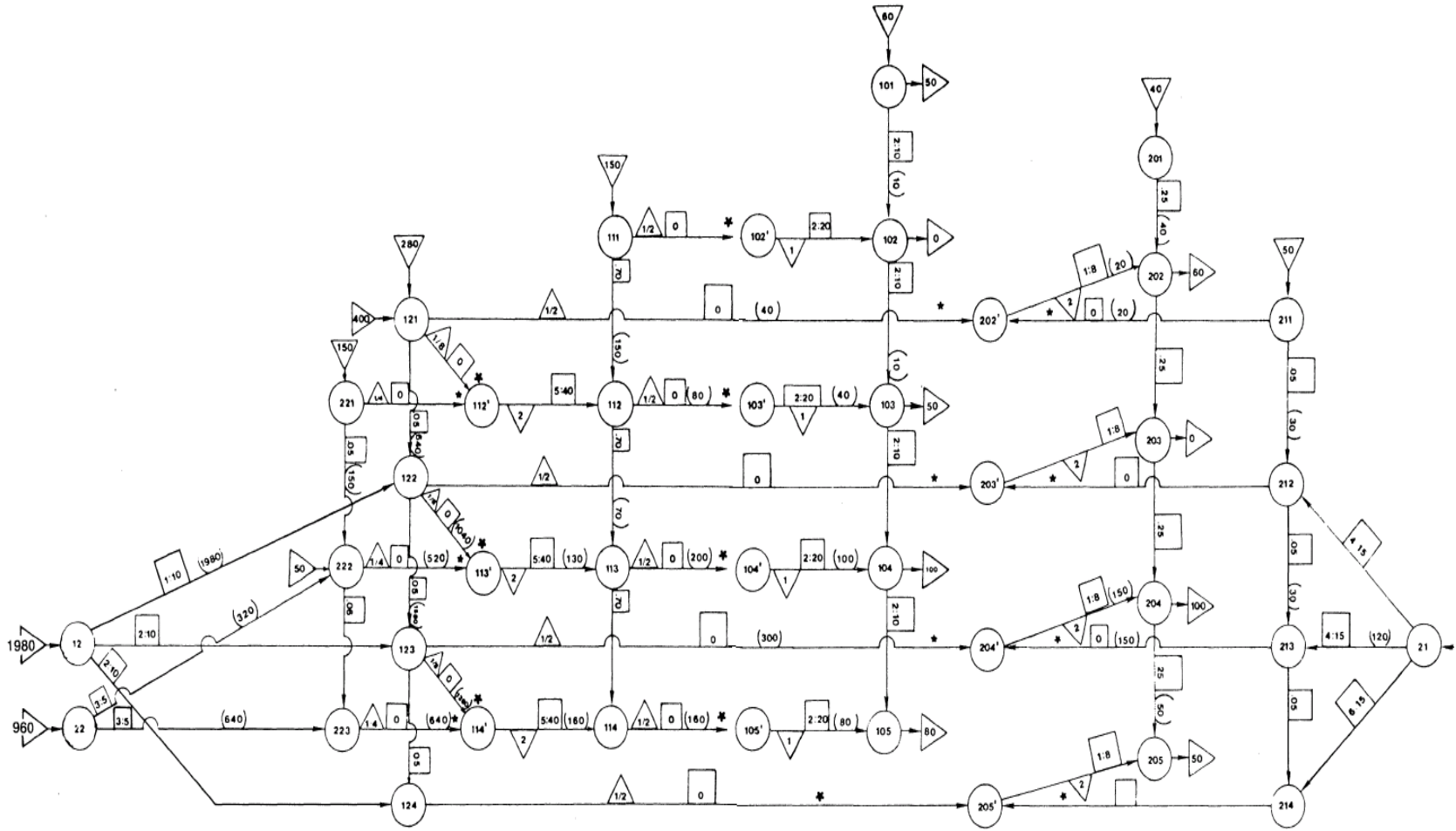
Bu akışta X_{ij} i düğümünden j düğümüne akışı, c_{ij} i,j boyunca bir birim akışın maliyetini, b_i i düğümünde pozitif veya negatif tedarik miktarını ifade eder. Bu durumda amaç fonksiyonu $\sum c_{(i,j)}x_{(i,j)}$ toplamını minimize etmek olacaktır.
(i,j \in N)

Şekil 2.10'da Şekil 2.8'de verilen örnek ürün ağaçlarına ait akışa yer verilmiştir. Bu akışta dikdörtgenlerle gösterilen şekillerdeki ilk rakamlar birim başına akış maliyetini – birim başına üretim veya satın alma olarak düşünülebilir-, ikinci rakamlar ise akışın 0 olmaması durumunda katlanılacak sabit maliyeti ifade eder. Piramit içerisindeki kesirli sayılar ise akış esnasındaki malzeme ihtiyacını ifade eder.

Örneğin (112, 103') düğümündeki $\frac{1}{2}$ ibaresi (düğüm oluşturmadaki pl t yapısını hatırlarsak) 3 periyotta 1 birim 10'dan üretmek için 2 periyotta 2 birim 11'e ihtiyacımız olduğunu ifade eder. Periyotlar arası taşımalarda yer alan ve tek sayı içeren dikdörtgenler ise bir birim ürünü bir periyot taşıma maliyetini ifade etmektedir. Parantez içerisindeki rakamlar ise o dönemde tedarik edilecek olan veya elde bulunan malzemeyi ifade eder. Üzerinde parantez içerisinde ifade olmayanlar ise bu noktaların değerini 0 olduğunu ifade etmektedir.

2.4. Stokastik Miktar Belirleme Yöntemleri

Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin bir çoğunun kabullerinin aksine, gerçek üretim ortamlarında müşteri talepleri, stok limitleri ve maliyetlerin deterministik



Şekil 2.10. Genel şebeke modeli [63]

değil olasılıklı olması ve hatta daha da kötüsü birbiri ile bağlantılı olması nedeniyle, olasılıklı yöntemler büyük önem arz etmektedir. Örnek vermek gerekirse yüksek talep miktarlarının gerçekleştiği bir periyodun ardından düşük talepli bir periyot gelmesi veya yüksek yakıt maliyetli bir dönemin peşi sıra daha yüksek maliyetli bir dönemin gelmesi çok sık karşılaşılabilen durumlardır. Envanter ve üretim politikalarını, olasılıklı ve bağımlı parametreleri göz önüne alarak belirleyebilmek şirketlere operasyonel verimlilik artışı olarak geri dönecektir.

Örnekleme yöntem olarak pratikte toplam maliyetlerin tahmin edilmesinde sık kullanılmasına rağmen Ruszczyński ve Shapiro [75] örneklemenin sadece beklenen maliyet için bir alt limit sağlayabileceğini göstermiştir. Stokastik programlama ise talep belirsizliklerine de talepler arasındaki bağlantıya olduğu kadar ışık tutabilmektedir.

Stokastik yöntemler için izlenen politikalar ve yöntemler deterministik yöntemler için olandan çok daha farklıdır. Bu nedenle Wagner Whitin gibi deterministik koşullar altında optimal sonucu verdiği düşünülen yöntemler stokastik koşullar altında uygulanabilirliğini yitirmektedir [76].

Stokastik yöntemlerin literatürde incelenmeye başlanması 1960 yılında Scarf [77] ile başlar. Scarf bu tarihte olasılıklı ve bağımsız talep altında hazırlık maliyetini de dikkate alan çalışmasında beklenen maliyet fonksiyonu değerinin her periyotta K -konvekslik özelliğini gösterdiğini ve sonlu planlama ufku için durağan olmayan optimal çözüm yollarının varlığını göstermiştir. Bu yöntemde S_k sipariş verildiğinde ulaşılabilecek seviyeyi, yani üst envanter limitini, s_k ise k periyodu için yeniden sipariş verme noktasını, başka bir deyişle alt stok limitini ifade etmektedir.

Iglehart [78] 1963 yılında Scarf'ın önerdiği (S,s) modelinin sonsuz planlama ufku için azalan zaman ve ortalama zaman maliyetleri gibi iki farklı durumda uygulanabilirliğini ispatlamıştır. Ardından Veinott ve Wagner [79] 1965 yılında optimal (S,s) hesaplamasında kullanılmak üzere bir algoritma geliştirdiler. 1991 yılında ise Zheng ve Federgruen [80] yine sonsuz planlama ufku için daha etkin bir algoritma geliştirdiler ve 1992 yılında yayınlanan çalışmalarında sürekli gözden

geçirme (r,Q) politikası geliştirerek optimal r ve Q seviyelerinin hesaplanması için bir algoritma geliştirdiler[81].

1996 yılında ise Chen ve Lambrecht [82] sonlu planlama ufku için hazırlık maliyeti ve sabit kapasite kısıdı altında sonlu planlama ufku için yaptıkları hesaplamada (s_k, S_k) politikasının optimal sonuç vermediğini göstermişlerdir. Geliştirdikleri X-Y yöntemine göre eğer stok miktarı Y'nin üzerinde ise herhangi bir işleme gerek yoktur, stok miktarı X'in altında ise Y seviyesine kadar sipariş verilmeli fakat stok miktarı X ile Y arasında ise herhangi belirli bir yöntem yoktur.

Chan ve Song [83] ise 2003 yılında X-Y yöntemini geliştirerek α - β konveksliği dedikleri bir yöntem önerisinde bulundular. Bu yöntemde envanter limitlerinin yansıra kapasite kısıtlarını da incelediler. Bu yöntemde X ve Y limitlerinin yanı sıra α hazırlık maliyetini β ise kapasiteyi ifade etmektedir. Bu yöntemde araştırma uzayını dinamik programlama çerçeveleri ile daraltmış böylece optimum sonuca ulaşabilecek daha etkin bir algoritma geliştirmişlerdir.

Dellaert ve Melo [84] ise 2003 yılında yayınlanan çalışmalarında Markov yöntemini kullanarak tek ürünli ve stoka üretimin yapıldığı, talebin kısmen bilindiği bir sistemde müşteri ihtiyaçlarını zamanında karşılamayı hedefleyen bir yöntem önermişlerdir. Bu amaçla çok boyutlu durum uzayında x ihtiyaç miktarını, T periyodu ve w emniyet stokuna üretilecek miktarı ifade edecek şekilde (x, T, w) ihtiyaç duyulan miktarın o periyotta karşılandığı ve ikincil olarak ise ilk yöntemden farklı olarak bilinen talebi, bilinmeyen periyotlarda karşılamayı hedefleyen bir yöntem kullanılmış ve performansları daha önce önerilmiş olan (s,S) yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

2007 yılında ise Zhao ve arkadaşları Federgruen ve Zheng'in [85] (r,Q) yöntemini geliştirerek (\bar{r}, \bar{Q}) dan başlayarak optimal (r^*, Q^*) 'ya ulaşan ve polinomiyal zamanda çalışan bir algoritma geliştirmişlerdir.

Bu algoritmaların yanı sıra senaryo bazlı stokastik programlama yöntemleri de önerilmiştir. Bu yöntemlerin genel yapısı ise gelecekte gerçekleşmesi mümkün tüm

senaryoları analiz ederek toplam maliyeti minimize etmeye çalışmak şeklindedir. Burada odak noktası senaryoya uygun olarak optimal maliyeti bulacak dal sınır algoritmasını oluşturmaktır. Guan ve Miller'in [86] 2008 yılında yayınladıkları çalışmalarında hazırlık zamanını da dikkate alarak, c her düğüme ait en fazla çocuk düğümü ifade edecek şekilde $O(n^2 \max\{C, \log n\})$ zaman algoritması geliştirmişleridir.

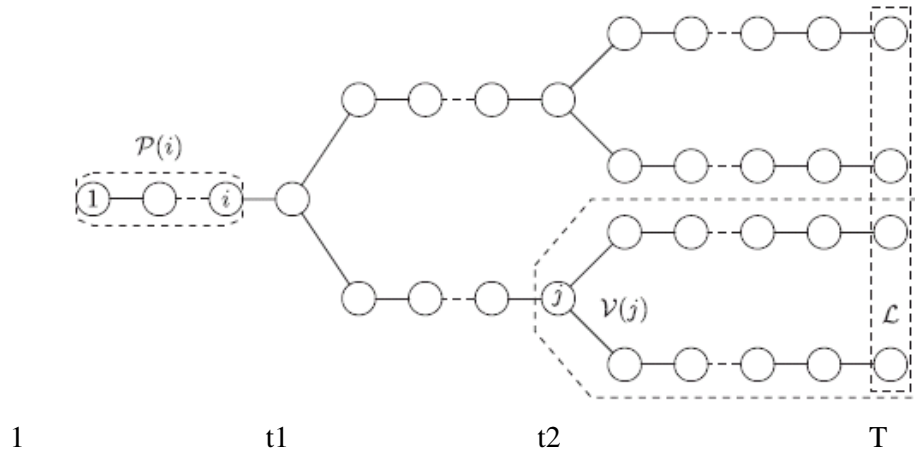
2010 yılında ise Guan ve Liu [87] Atamtürk ve Küçükyavuz'un 2008 yılında önerdikleri envanter limitli, stokastik parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin özel bir durumu olarak her periyot için tek senaryonun olduğu $O(T^2)$ zamanlı yöntemi biraz daha değiştirerek aynı zamanlı çalışan, yok satma durumuna izin verilen daha genel bir algoritma önerisinde bulunmuşlardır.

2010 yılında Guan ve Zhou [88] 2 aşamalı, kapasite açısından kısıtlandırılmamış, deterministik talepleri ve Wagner Whitin algoritmasının maliyetlerini göz önünde bulundurarak, çok boyutlu uzayda integral bir çözüm önermişlerdir.

İzleyen paragraflarda Dellaert ve Melo'nun [89] çalışmalarından alınan (x, T, w) kuralına ilişkin bir geniş açıklamaya yer verilmiştir.

D_1, D_2, \dots, D_N bir periyoda ait talebi ifade edecek şekilde, her sipariş kategorisindeki birbirinden bağımsız ürün tipi i ($1 \leq i \leq N$), t periyodu için pozitif kesikli rastsal ve olasılık dağılımları; $d_i(l) = P(D_i = l)$, l ise $t+1$ periyodunda teslim edilecek siparişler, olarak tanımlanırsa ve kolaylık sağlaması açısından her siparişin bir birim ürün içerdiği varsayılırsa bir periyotta gerçekleşecek olaylar şunlar olacaktır. Şekil 2.11'de çok seviyeli stokastik senaryo ağacı yapısının gösterimine yer verilmiştir.

1. Parti büyüklüğü belirlenmesi
2. Varsa eğer o periyot için üretimin yapılması
3. Üretim olması durumunda stokların güncellenmesi
4. Yeni talebin alınması
5. Sistemin ve maliyetin gözden geçirilmesi



Şekil 2.11. Çok seviyeli stokastik senaryo ağacı

Her durumu N boyutlu bir vektör olarak ifade edersek, $r = (r_1, r_2, \dots, r_N) \in R$ sipariş uzayı, t periyodu sonundaki durum r_t şu şekilde ifade edilebilir.

$r_t = r_{t+1}$ periyodu için ihtiyaç duyulan miktar + gecikmiş siparişler – stok

Bu formülde negatif çıkacak r değeri elde kalan stok, pozitif r değeri ise karşılanamayan siparişe karşılık gelecektir. $A(r)$ aksiyon setleri ise $a \in A(r)$ üretim miktarını göstermektedir. Bu durumda $-r_i > 0$ olması durumunda t periyoda ait stok miktarı pozitifdir dolayısı ile $a_i = 0$ yani üretime gerek yoktur.

Burada belirtilmesi gereken bir nokta Dellaert ve Melo'nin çalışmalarında kapasite kısıdı dikkate alınmadığından her periyodun ihtiyacı bir önceki periyotta karşılanabilir olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada teslim edilemeyen siparişleri önlemek amacı ile $K =$ sabit hazırlık maliyeti ve $p =$ siparişin karşılanmaması durumunda katlanılacak ceza olarak ifade edilirse, $r \in R$ uzayı şu şekilde tanımlanabilir.

$A(r) = \{0\}$ eğer $r_1 \leq 0$

$A(r) = \{r_1, r_1 + 1, \dots, \sum_{i=1}^N r_i, \dots\}$ eğer $r_1 p > K$,

$$A(r) = \{0, r_1, r_1 + 1, \dots, \sum_{i=1}^N r_i, \dots\} \quad \text{eğer } r_1 p \leq K,$$

Talebin karşılanamadığı durumlarda $Q_q(r)$ yeni talep öncesi durumu ifade edecek şekilde $\underline{Q}_a(r) = (r_1 - a + r_2, r_3, \dots, r_N, 0)$ olur.

h = elde bulundurma maliyeti, C_r^a ise o periyottaki maliyeti tanımlarsa;

$$C_r^a = \begin{cases} -hr_1 & \text{eğer } a = 0 \text{ ve } r_1 \leq 0 \\ pr_1 & \text{eğer } a = 0 \text{ ve } r_1 > 0 \\ K + h(a - r_1) & \text{eğer } a \geq r_1 \end{cases}$$

Böylece tekrarlanan değer fonksiyonu aşağıdaki gibi olur:

$$v_n(r) = \min_{a \in A(r)} \left[C_r^a + \sum_{z \in \mathfrak{R}} P_{r_z}^a v_{n-1}(z) \right], \quad r \in \mathfrak{R}, \quad n = 1, 2, \dots$$

Talep matrisi ise şekil 2.12'de verildiği gibi olacaktır.

| | t | $t+1$ | $t+2$ | $t+3$ | \dots | $t+N$ | $t+N+1$ | $t+N+2$ | \dots | Talep Dönemi |
|-------|-----|-------------|---------------|---------------|---------|---------------|-----------------|-----------------|---------|--------------|
| t | | $D_{t,t+1}$ | $D_{t,t+2}$ | $D_{t,t+3}$ | \dots | $D_{t,t+N}$ | | | | |
| $t+1$ | | | $D_{t+1,t+2}$ | $D_{t+1,t+3}$ | \dots | $D_{t+1,t+N}$ | $D_{t+1,t+N+1}$ | | | |
| $t+2$ | | | | $D_{t+2,t+3}$ | \dots | $D_{t+2,t+N}$ | $D_{t+2,t+N+1}$ | $D_{t+2,t+N+2}$ | | |

Üretim Dönemi

Şekil 2.12. Talep matrisi

Böylece r_{t+2} için olasılık dağılımı şu şekilde olacaktır:

$$\begin{aligned} r_{t+2} &= \left(-w + D_{t+1,t+2}, D_{t+1,t+3}, \dots, D_{t+1,t+T}, \sum_{i=T}^N D_{t+1,t+1+i}, \sum_{i=T+1}^N D_{t+1,t+1+i}, \dots, D_{t+1,t+1+N} \right) \\ &= \left(-w + D_1, D_2, \dots, D_{T-1}, \sum_{i=T}^N D_i, \sum_{i=T+1}^N D_i, \dots, D_N \right). \end{aligned}$$

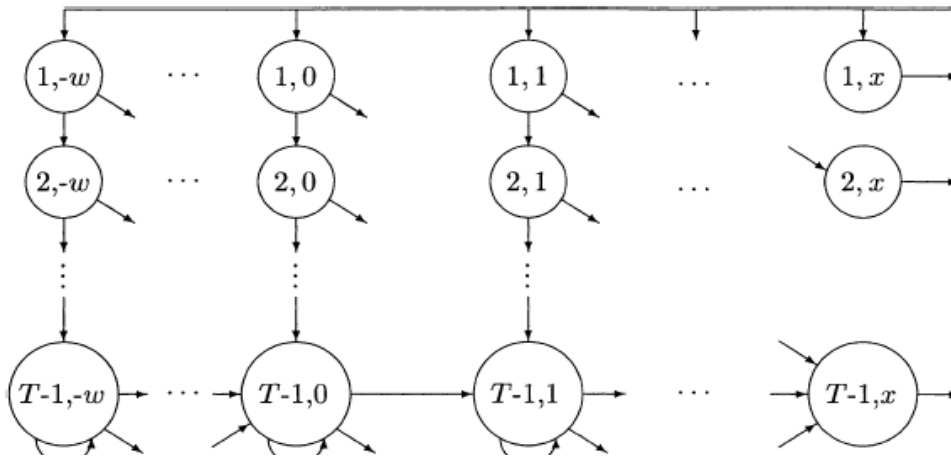
$t+2$ periyodunda üretim yapılmadığını düşünürsek $a=0$ olacak ve

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_0(\mathbf{r}_{t+2}) &= \left(-w + D_{t+1,t+2} + D_{t+1,t+3}, D_{t+1,t+4}, \dots, D_{t+1,t+T}, \sum_{i=T}^N D_{t+1,t+1+i}, \sum_{i=T+1}^N D_{t+1,t+1+i}, \dots, D_{t+1,t+1+N} \right) \\ &= \left(\underbrace{-w + D_1 + D_2, D_3, \dots, D_{T-1}}_{T-1 \text{ components}}, \sum_{i=T}^N D_i, \sum_{i=T+1}^N D_i, \dots, D_N, 0 \right), \end{aligned}$$

t+2 periyodu sonundaki talep ise ;

$$\mathbf{r}_{t+3} = \left(-w + (D_1 + D_2) + D_1, D_2 + D_3, \dots, \sum_{i=T-1}^N D_i, \sum_{i=T}^N D_i, \dots, D_N \right).$$

$T \geq 2$ periyot için durum uzayları ise şekil 2.13'teki gibi ifade edilebilir.



Şekil 2.13. $T \geq 2$ için durum uzayları

2.5. Bozulabilen Ürünlerde Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemleri

Sanayide üretilen birçok ürün raf ömrü kısıdı gibi birçok kısıdın etkisi ile çok kısa geçerlilik veya kullanım sürelerine sahiptirler. Bunun nedeni ürünün fiziksel koşulları olabildiği gibi rekabetçi piyasadaki etkinlik veya pazar payı gibi koşullar da olabilir. Bu tür durumlarda işletmeler üretim maliyeti, elde bulundurma maliyeti, hazırlık maliyeti ve yok satma maliyetleri gibi temel maliyetleri minimize etmeye çalışır ve bunun için de genellikle üç farklı yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi

üretim oranını düşürmek, ikincisi üretim çevrim periyotlarını daraltmak ve sonuncusu ise bu iki yöntemi kombine olarak kullanmaktır [89].

Literatür de tek seviyeli ve çok seviyeli miktar belirleme yöntemleri ile ilgili araştırmalara sıklıkla rastlanmakla beraber bu tarz bir kısıdı ele alan çalışmalara nadiren rastlanmaktadır. Oysa bazı üretim tiplerinde sorun olmayabilen parti içerisinde üretilen miktarın kullanılabilceği periyodu aşması durumu aslında birçok sektör için ciddi bi problem arz etmektedir. Gıda, ilaç, kozmetik vb. raf ömrü kısıdı olan sektörlerin dışındaki sektörlerde bile kullanıcı taleplerinin değişime uğraması veya mevsimsel trend gibi nedenlerden dolayı ürün kullanılamaz duruma gelebilmektedir.

Huang ve Yao [90] 2006 yılında daha önce hazırlanmış çalışmaları kullanarak, tedarikçinin elde bulundurma maliyetini bulmak için Fourier serisi kullandıkları çalışmalarında tek tedarikçi çok müşteri sisteminde bozulabilen ürünler için toplam maliyeti minimize etmeye çalıştıkları bir arama algoritması geliştirmişlerdir.

Silver [91] 1989 yılında raf ömrü kısıdını da göz önünde bulunduran çalışmasında üretim oranlarını düşürmenin ilave maliyet getirmeyeceğini varsaydığı modelinde, üretim oranlarının düşürmenin çevrim periyodun azaltmaktan daha iyi sonuç verdiğini kanıtladı. Ardından ESM modelinin yeni bir yaklaşımı üzerinde çalıştı fakat bu çalışmasında raf ömrü kısıdını göz önüne almadan üretim maliyetleri üzerinde durdu [92].

Bu konuda yapılan önemli çalışmalardan biri ise 1994 yılında Raafat [93] tarafından yayınlanan ve kayıp siparişler ile gecikmiş siparişlerin maliyetlerini de dikkate alarak toplam maliyeti minimize etmeye çalışan çalışmasıdır. Bu çalışmada sabit bir bozulma oranı altında çevrim zamanları ve toplam maliyet hesaplanmaya çalışılmıştır. Envanterin zaman değerini ise 3 farklı kategoride toplamıştır.

- Zamanla beraber değeri değişmeyen ürünler (Sıvı ilaçlar gibi)
- Zamanla beraber değeri artan ürünler (Bazı alkollü içecekler gibi)
- Zamanla değerini yitiren ürünler (Sebze gibi)

Nahmias [94] ise ürünleri iki farklı gruba ayırmıştır.

- Sabit ömürlü ürünler; raf ömrü önceden belli olan ve bozulmaları zamandan bağımsız olarak ele alınabilen ürünlerdir. Ürünlerin sağladığı fayda zamanla azalmakta ve en sonunda ürün ömrünü tamamlamaktadır. Kan, sebze gibi ürünler bu gruba örnek teşkil edebilirler.
- Rastsal ömürlü ürünler; kullanım ömrü önceden belirlenemeyen, bozulma olasılık dağılımı gama dağılımı ile ifade edilen ürünlerdir. Bu gruptaki ürünlere örnek olarak elektronik cihazlar ve kimyasallar verilebilir.

Abad [95] 2000 yılında bozulabilen ürünlerde ürünün bozulmasının maliyetine katlanmaktansa siparişlerde gecikmeye izin verilebileceği varsayımı ile bir model önerisinde bulunmuştur, bu modelde farklı olan ise müşterilerin beklemeye karşı sabırlı olmayacağı düşüncesi ile siparişin bir kısmında, gecikme durumunun ekonomik olarak daha uygun olduğu koşullarda, gecikmeye izin verilmesidir.

Sarker ve Babu [96] 1993 yılında aynı yöntemle işleme maliyetlerinin hesaba katılmaması durumunda bazen çevrim periyodunu düşürmenin daha etkili sonuç verdiğini gösterdi. Viswanathan ve Goyal [97] 1997 yılında benzer bir şekilde raf ömrünün de göz önünde bulundurarak çevrim periyodunu ve üretim oranını optimize etme çalıştıkları çalışmalarında ise yok satma durumunu göz ardı etmişlerdir.

2.5.1 Sabit Ömürlü Bozulabilen Ürünlerde Parti Büyüklüğü Belirleme

Sabit ömürlü ürünlerde, talebi karşılamak için ürünler belirli bir süre stoklarda tutulur ve bu sürenin ardından ıskartaya ayrılır. Bu tarz ürünlerde raf ömrü dolana kadar ürünün sağladığı faydanın azalmadığı varsayılır.

2.5.1.1. Sabit ömürlü bozulabilen ürünlerde deterministik parti büyüklüğü belirleme

Raf ömrünün sabit ve talebin deterministik olduğu durumlarda genellikle bozulmaya hiçbir zaman izin verilmeyen algoritmalar kullanılır. Örnek olarak en çok kullanılan

yöntemlerden biri olan ESM yöntemini ele alırsak $Q = \sqrt{\frac{2SD}{h}}$ formülünde Ch, elde bulundurma maliyeti, S sipariş verme maliyeti, D ise talep olursa ve ürünün raf ömrünü s olarak alırsak, üretim/sipariş miktarının $\min(Q, Ds)$ olacağı açıkça görülebilir. Şekil 2.14'te bozulabilen ve bozulmayan ürünlere ait parti büyüklüklerine ait örnek bir grafiğe yer verilmiştir [98].

Veinott [99] 1960 yılında yayınlanan çalışmasında periyodik gözden geçirme ve bilinen talep durumlarında optimum miktarı belirlemeye yönelik çalışmasında FIFO kullanılması durumunda talep miktarı kadar sipariş vermenin uygun olacağını göstermiştir.

2.5.1.2. Sabit ömürlü bozulabilen ürünlerde olasılıklı parti büyüklüğü belirleme

Olasılıklı modeller deterministik modellere göre çok daha karmaşık yöntemlerdir. Periyodik gözden geçirme durumlarında raf ömrü periyoda eşit ise bu durumda problem biraz daha basite indirgenmiş olacaktır. Fakat bu çok sık karşılaşılan bir durum değildir. Raf ömrünün periyottan büyük olması durumunda her periyot için her yaştan ürüne ait durum uzayı ile başlamak gerekir çözüme [97].

Fries [100] tarafından öne sürülen modelde, R elde bulundurma ve yok satma maliyetini ifade eden fonksiyon, x başlangıç stoğu, y ise üretim miktarı olacak şekilde aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Bu ifade de dikkat edilmesi gereken noktalar son terimin y üretim miktarından bağımsız olarak son kullanma tarihinin geçmesi durumunu ifade ettiği ve karar verme esnasında tek başına sipariş miktarını değil toplam elde bulundurulan stoku dikkate almasıdır.

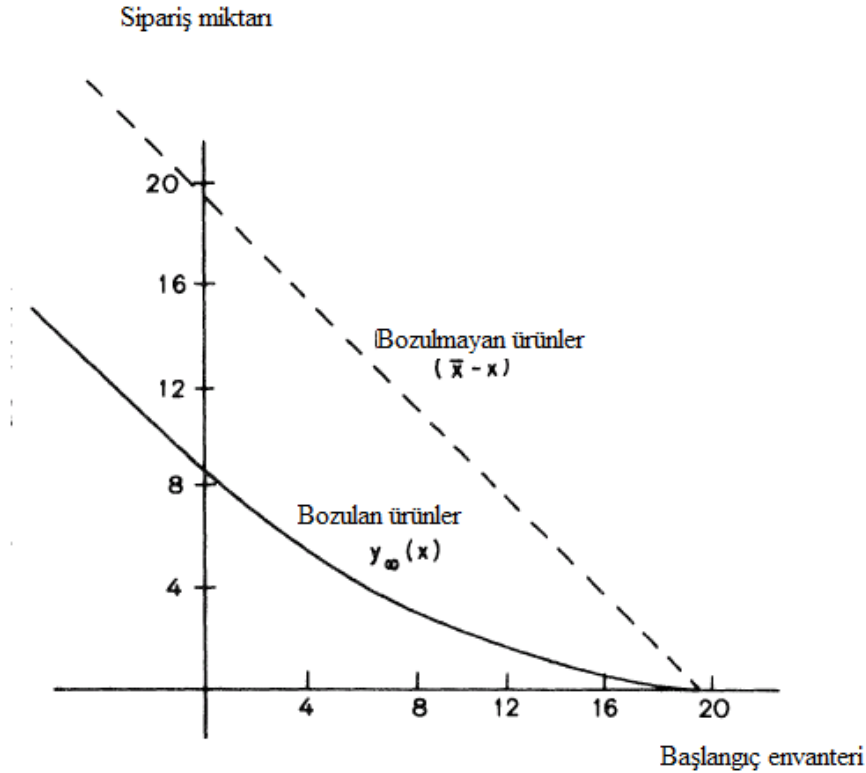
$$L(\mathbf{x}, y) = cy + R(x + y) + \theta \int_0^{x_1} (x_1 - t)f(t)dt$$

Weiss [101] ise 1980 yılında taleplerin Poisson dağılımına uygun bir şekilde geldiğini kabul ettiği sürekli gözden geçirme esaslı modelde, optimum çözümün stok

miktarı sıfır olduğunda sipariş vermek olduğunu ispatlamıştır. Bu durumda bozulma için endişelenmeye gerek yoktur.

2.5.1.2 Değişken Ömürlü Bozulabilen Ürünlerde Parti Büyüklüğü Belirleme

Bilindiği üzere tüm ürünlerin raf ömürleri her zaman sabit olmaz. Özellikle taze ürün üretiminde ürünün değeri zamana bağlı olarak değişir. Ürünün raf ömrünün θ parametrelili negatif üstel dağılıma uyduğunu düşünürsek ve $I(t)$ t süresi sonunda talep harici elde sağlam kalan stoku ifade ederse, bu ürünlerin bir s zaman kadar daha sağlam kalması olasılığı $e^{-\theta s}$ olduğundan t+s süre boyunca sağlam kalacak ürün



Şekil 2.14. Bozulabilen ve bozulmayan ürünler için optimum sipariş miktarı [98]

sayısı $n = I(t)$ parametrelili binomial bir değişken ve $p = e^{-\theta s}$ olacaktır. Dolayısı ile t+s süre sonunda sağlam kalan ürün sayısı np yani $I(t) \exp(-\theta s)$ olacaktır [98].

2.5.1.3. Değişken ömürlü bozulabilen ürünlerde periyodik gözden geçirme yöntemi ile parti büyüklüğü belirleme

1978 yılında Freidman ve Hoch'un [102] çalışmalarında i birim ürünün bir sonraki periyoda kalma ihtimallerini r_i ; $0 \leq r_i \leq 1$ olarak tanımladıkları çalışmalarında daha önce ortaya konulan stok miktarını sıfır olması durumunda sipariş verilmesinin optimum çözüm olduğu ifadesini çürütmüşlerdir.

Nahmias [103] ise 1977 yılında yayınladığı çalışmasında sipariş gelme sıralamasıyla stokların bozulmasını aynı alarak n_1 periyodunda siparişi verilen ürünlerin n_2 periyodunda yeni bir sipariş gelmeden önce bozulacağını düşünmüştür. Böylelikle elimizdeki mevcut periyoda ait stok miktarının ne zaman bozulacağını gelecek talep ve mevcut stok miktarından hareketle hesaplayabilmektedir.

2.5.1.4. Değişken ömürlü bozulabilen ürünlerde üstel dağılım yöntemi ile parti büyüklüğü belirleme

Ghare ve Schrader [104] 1963 yılında standart ESM modelini üstel dağılıma göre bozulma gösteren ürünlere uyarladı. T zamanında talebin $D(t)$, siparişler arasındaki dönemde eldeki stok miktarının $I(t)$ olarak ifade edilmesi durumunda aşağıdaki diferansiyel denkleme ulaşılır.

$$dI(t)/dt + \theta I(t) = -D(t).$$

Bu denklemden yola çıkılarak farklı koşullar için, birçok araştırmacı tarafından ilaveler ve düzenlemeler yapılmıştır.

2.5.2. Kuyruk modelleri

Müşterinin sabırsızlığı ve ürünü almaktan vazgeçmesi durumu raf ömrü kısıtlı olan ürünlerde önemli bir kısıttır. Tek seviyeli bir hizmet kuyruğunu ele alırsak, müşterinin ortalama L süresi kadar bekleyip sonra sistemi terk edeceğini, kuyruğu

belirleyen diğer etkenlerin ise eldeki stok miktarı, talep, ve müşterilerin gelişleri olduğunu düşünürsek zamanlama ve miktarlar kuyruğa girişler rastsal olsa da kontrol edilebilir olacaktır [97].

Graves [105] 1982 yılında yayınladığı çalışmada bu sürecin Markov süreci ile uyumlu olduğunu göstermiş ve bu yöntemle sisteme ait birçok performans ölçütünün ortaya konulabileceğini göstermiştir. Stok yenilemenin sabit bir oranda olduğu varsayımından hareketle, birim zamandaki bozulma, yok satma, eldeki en eski ürün ve stok miktarının bulunabileceği analitik bir ifade geliştirmiştir.

2.5.3. Bozulabilen ürünlerde parti büyüklüğü belirleme yöntemlerine genel bakış

Yukarıda başlıca örnekleri verilen yöntemlerde görüldüğü gibi raf ömrü kısıtlı olan ürünlerde farklı etkilere bağlı olarak, farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile ilgili aşağıdaki gibi özet bir sınıflandırma yapılabilir [106].

- a. Tek ürün veya çok ürüne göre karar verme: Günümüze kadar yayınlanan çalışmaların birçoğu tek ürüne göre yapılmış olduğundan, farklı ürünler arasındaki etkileşim ve bunların stok politikası üzerindeki etkileri çok fazla incelenmemiştir. Bu durumda miktar indirimleri, bütçe kısıdı, stok alanı gibi faktörler göz ardı edilmiş ve üretilen yarı mamulün tek bir tip ürün üretiminde kullanıldığı varsayılmıştır.
- b. Talebin olasılıklı veya deterministik olması durumu: Talebin ne zaman meydana geleceğinin tam olarak bilinmediği durumlarda bu belirsizliği ortadan kaldırmak için bazı analitik çözüm yolları geliştirilmiştir. Nahmias'ın çalışması dışındaki çalışmaların birçoğunda talebin oranının bilindiği ve sabit olduğu kabul edilmiştir.
- c. Durağan veya değişken talep: Literatürdeki çalışmalarda sabit eğilimli talebin yanı sıra çeşitli dış etkiler veya sürecin doğası gereği talepte meydana gelen değişimleri bir fonksiyon olarak ifade eden çalışmalarda yer almaktadır. Örnek vermek gerekirse, stok miktarına bağlı, fiyat değişimlerine

bağlı veya mevsimsel etkiyi bağlı talep değişimlerini göz önüne alan çalışmalar yapılmıştır.

- d. Tek periyot veya çok periyot: Bozulma etkisini görebilmek için birden fazla periyodun dikkate alındığı çalışmalar daha doğru sonuçlar vermektedir. Newsboy problemi gibi tek periyot üzerinden değerlendirme yapan yöntemler devamlı bozulma durumunu açıklamakta yetersiz kalmaktadır.
- e. Üretim ve satın alma modelleri: Sipariş verme kavramı hem satın alma hem de üretim siparişleri için geçerlidir. Dolayısı ile sipariş miktarı periyot içindeki tek seferde veya periyot boyunca düzenli olarak stoklara girebilmektedir.
- f. Miktar İndirimleri: Daha çok satın alma siparişleri için geçerli olan miktar indirimleri talep edilen miktar arttıkça birim fiyatta meydana gelen düşüştür. Fakat mevcutta bozulabilen ürünler için böyle bir kısıdın dikkate alındığı bir model mevcut değildir.
- g. Yok satmaya izin verilen ve verilmeyen modeller: Geliştirilen modellerin bir kısmı siparişlerin geç teslim edilmesine veya edilememesine belirli bir ceza maliyeti dahilinde izin vermekte, bazı modeller ise talebin periyot içinde karşılanmasını zorunlu kılmaktadır.
- h. Sabit ve değişken bozulma oranları: Ürünlerin doğal yapısına bağlı olarak ürünün bozulması sabit bir süre sonunda gerçekleştiği gibi zamanla bağlı olarak değerinin azalması ve değişken ömürlü olması da mümkündür. Bu bağlamda bu değişim artı veya eksi yönde olabilir. Ürünün değerinde zamanla artış veya azalma olabilir. Literatürdeki çalışmaların çoğu raf ömrünü sabit almaktadır, bunun nedeni ise bozulma durumunun da denklemle ifade edilmesinin problemi daha da karmaşık hale getirip çözümü güçleştirmesidir fakat her iki duruma ait çalışmalarda yapılmış ve yayınlanmıştır.

2.6. Parti Büyüklüğü Belirlemenin Aksayan Yönleri

Miktar belirleme yöntemlerinin hemen hepsi belirlenen bir T periyodu için yapılan hesaplamaları içerir. Planlama ufku T'den N'e değiştirildiğinde bu sonuçlar optimal olmaktan çıkabilir. Çünkü hedef T periyodunun sonunda stok miktarını sıfırlamaktır

ve bu sonraki periyotlar göz önüne alındığında optimalliği sağlamayabilir. Bu durum son etkisi olarak (end effect) olarak bilinir [107].

Bu etkiyi ortadan kaldırmak için Fisher ve arkadaşları [108] periyot sonu stoğun talebe ve periyot içerisindeki üretimin talebi karşılayabilme oranına da bakılarak sıfır olması gerekemeyebileceğini ortaya koydu. Stadler [109] ise planlama ufkunun dışında kalan dönemler için taleplerden yararlanarak periyotlar arası süre hesaplaması yapmış ve formüldeki maliyet katsayılarını bu doğrultuda güncellemiştir.

Anlatılan klasik tüm yaklaşımlar tek bir kalem için planlanan süre boyunca sipariş verme noktalarını ve parti büyüklüklerini belirlemeye çalışır. Birçok yaklaşım çok kalemlili veya çok aşamalı planlama yapılarında parti büyüklüğü sonuçlarının önemi üzerinde durmaz.

Mesela birçoğu ürün yapısındaki yüksek seviyeli kalemlerin düşük seviyeli kalemlere etkisini araştırmaz. Parti büyüklüğü belirlemenin son ürün seviyesinde düşük seviyelere göre daha etkili olduğu düşünülmesine rağmen yüksek seviyelerdeki faydası alt seviyelere inildikçe genişleterek artan olumsuz etkilere sahip olabilir. Çok seviyeli ürünler için ürün yapısının yüksek seviyelerdeki parti büyüklüklerindeki değişimler ve dalgalanmalar düşük seviyelerdeki parti büyüklükleri için zorluklar çıkarabilir. Üst seviyelerdeki değişimler aşağılara doğru aktarılır.

Çok basamaklı bir sistemde, parti büyüklüğü belirleme politikasının tüm sistem üzerindeki etkisi düşünülmalıdır. Sistem üzerinde her politikanın maliyetlere dayalı faydalarının ne kadar farklı olduğunu gözlemlememiz gerekir. Bütün yaklaşımlar anlatıldığı gibi miyopiktir. Sadece bir kalemi bir zamanda düşünürler ve bağımlı kalemlerle ilgili maliyetlere aldırılmazlar.

Parti büyüklüğü belirleme tekniklerinin bir diğer düşünülecek yönü de dinamik çevrelere uygunluğudur. Uygulamada parti büyüklüğü belirleme politikaları genelde dönen zaman çevrenli ve ardışık olarak yapılır. Bir dönemin sonunda tüketilen dönem silinerek, sona yeni bir dönem eklenir. Silinenden sonraki dönemde, eklenen

döneme kadar taleplere tepki verebilmesi için çizelge ayarlanıp güncellenir. Bu yolla planlanan zamandaki dönem sayısı çizelge her ilerletildiğinde zamanı geçen dönem ayarlanarak sabitlenir. Parti büyüklüğü belirleme tüm plan zamanı için hesaplanabilse bile genelde sadece en acil karar uygulanır.

Güncellemeler problem çıkarabilir. Durağan şartlarda elde edilen sonuçlar dönen çizelgeler için gerçekçi değildir. Bu genelde zamana karşı duyarlı parti büyüklüğü belirleme için doğrudur. Zamanın sonundaki yeni gereksinimlerin düzeltilmesi ve yeni siparişlerin eklenmesi erken kararlara sebebiyet verebilir.

Wagner-Whitin algoritması güncel planlanmış siparişler elde etmek için tüm zaman çevrenini kapsar ve planlanan zamanın ileriki aşamalarına duyarlıdır. Optimal sonucu vermeyen tüm yaklaşımlar siparişleri sadece gelecekteki acil ihtiyaçları düşünerek planlar. Daha ileriki dönemlerdeki talep değişikliklerine karşı daha az duyarlıdır. Bu miyopluk duyarsızlığı azaltmak için avantajlı ve ilerleyen çizelgeli çevrenler için çekicidir. Wagner-Whitin algoritması optimaldir ve diğer sezgisel yöntemlerle birlikte kullanılabilir. Bu ilerleyen çizelge çevreni MİP'de sıkça kullanılır. Bir kalem için talep çizelgesi zaman fazlı net gereksinimdir. Seçilen parti büyüklüğü belirleme yöntemiyle elde edilen çizelge bir ürün için planlanmış sipariş almış haline gelir [105].

Seçilen bu yöntemlerin toplu bir değerlendirmesi Tablo 2.2'de özet olarak sunulmuştur.

2.7. Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Süreç Zamanı Ve Stok Miktarları Üzerindeki Etkileri

Ekonomik sipariş miktarı yöntemi ile birlikte ortaya atılan elde bulundurma maliyeti ve hazırlık zamanlarına dayanan yöntemlerin yanı sıra bazı çalışmalarda göze çarpan bir diğer nokta ise ayar zamanı sıklığıdır. Lot miktarlarında yapılan düşürmeler ortalama stok devir hızını düşürüyorsa da, hazırlık zamanı sıklığı artışı bir noktadan sonra kuyrukta beklemelerin ve teslim sürelerini uzamasına neden olacaktır. Bu noktadan sonraki düşüşler kümülatif stok miktarını arttıracaktır [108].

Lot miktarı belirlerken yalnızca süreç içi stoklar ve çevrimdeki stokları dikkate alan bir model ise daha küçük lot miktarları önerecek fakat bu da kuyrukta bekleme zamanı ve teslim süresi aşımalarını arttıracaktır. Yok satmanın engellenmesi durumunda lot miktarlarında artış meydana gelecektir [109].

Bilindiği gibi lot sayısı düştükçe makine kullanım oranlarının artacağı bilinen bir durumdur. Fakat bu durum bekleme zamanlarını artmasına neden olacaktır. Parti miktarları çok büyük olursa makine uzun zaman aynı parçayı işleyecek ve bu doğru zamanda doğru parçaların üretilmesi ve parçalar arası koordinasyonu etkileyerek yüksek stoklara neden olabilecektir [110].

Bilindiği gibi MİP'nin doğru çalışabilmesi için doğru ve uyumlu teslim tarihi ve lot miktarları belirlenmelidir. Aksi halde artan stok miktarları ve geciken teslimatlarla karşılaşılması kaçınılmazdır.

Lot miktarlarının MİP üzerindeki etkilerinden biri de MİP'nin durağanlığını etkilemesidir. Özellikle talebin değişken olduğu durumlarda optimallik ve durağanlık arasında negatif korelasyon vardır. Siparişleri değiştirmek maliyetli bir iş olduğu için sadece yüksek oranda esnek sistemlerde optimal lot miktarları çok fazla ilave maliyet yaratmadan uygulanabilecektir. Esnek olmayan sistemlerde basit ve durağan bir lot belirleme uygulaması maliyeti göz önüne alındığında daha karmaşık sistemlere tercih edilmelidir [111].

Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin bir diğer etkisi ise iş merkezindeki iş yükü değişkenliğini doğrudan etkileyebilmesidir. Her ihtiyaç için kullanılan zamanın ortalaması ve standart sapması dikkate alınarak hesaplama yapıldığında, en düşük maliyeti garanti ettiği düşünülen yöntemlerin geniş çaplı bakıldığında üretim merkezindeki iş yükünde değişkenliğe sebep olması ile beraber aslında düşünüldüğü gibi düşük maliyetli bir çözüm olmadığının anlaşılması da muhtemeldir [112].

2.8. Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Performanslarının İncelenmesi

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda önerilen parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin pratikte neden olabileceği problemler birçok yönetici için ciddi çekince nedenidir. Bazı yazarlar seçilecek yöntemin toplam üretim sistemi üzerinde çok az bir etkisi olacağını savunmuştur [113]. Tablo 2.3'te parti büyüklüğü belirleme yöntemleri ve bu yöntemler ile ilgili özet bir değerlendirmeye yer verilmiştir.

Tablo 2.4 Sipariş Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

| TÜRÜ | YORUM |
|--------------------------------|---|
| Ekonomik sipariş miktarı | Genellikle tipik olarak ayrı parçaların malzeme ihtiyacı hesaplanmasının gerektiğinden MİP sistemi için etkili değildir. |
| Değiştirilmiş ESM | ESM yönteminin geliştirilmiş halidir. Siparişten önce talep yapısını incelediği için siparişlerin karşılanmasında daha duyarlıdır. |
| Sabit sipariş miktarı | Genellikle sadece karakteristikleri uygun olarak diğer kitle büyüklüğü teknikleriyle hesaba alınmayan parçalara uygundur. |
| Kesikli sipariş algoritması | Sipariş verme ve/veya hazırlık maliyetlerinin düşük olduğu durumlarda yüksek derecede etkilidir. |
| Sabit dönem algoritması | Belirlenmiş periyodun ötesinde ihtiyaçlar kesin belli değilken kullanılır. |
| Dönemsel sipariş miktarı | Klasik ekonomik sipariş miktarı mantığının modifiye edilmiş aynı talebi ele almak için kullanılır. |
| Değiştirilmiş en düşük maliyet | Birbirini izleyen periyotlarda ani talep artışları olduğunda daha iyi sonuç vermektedir. Yüksek oranlarda daha performans geliştirir. |
| Minimum birim maliyet | Tüm planlama ufkunu ilgilendirmez. |
| Parça dönem algoritması | Dönemsel talep patlamaları için çok uygundur. |
| Wagner Whitin algoritması | Dinamik programlamaya dayandığı için MİP sistemi için fazla komplekstir. |
| Silver Meal algoritması | 0 dönemli talep çoksa ve talep oranı çok hızlı değişiyorsa iyi performans göstermez. |
| Minimum toplam maliyet | Planlama ufkundaki ihtiyaç duyulan kitle büyüklüklerinin analizini içerir |

Bazı yazarlar birbirinden farklı yöntemlerin deneysel sonuçlarına göre performanslarını kıyaslayarak bu konuda bir değerlendirme yapmaya çalışmışlardır.

Berry [115] 1972 yılında yayınlanan çalışmasında envanter taşıma maliyetleri ve hesaplama zamanlarını baz alarak bir performans değerlendirme yapmıştır. Kaimann [116] ise değişik işlem koşulları altında birkaç farklı yöntemin performanslarını test etmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelenecek olursa bu yöntemlerin her birinin belirli varsayımlar altında önerildiği görülecektir. Fakat bu varsayımlar bazen sonucu çok ciddi anlamda etkileyebilmektedir. Aşağıda bu varsayımlardan en çok kullanılan birkaç tanesinin incelemesine yer verilmiştir [117].

Öncelikli olarak yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu ya kapasite kısıdını dikkate almamaktadır, ya da kapasite seviyesi sistem performansı üzerine etkisi olmayan sabit bir değer olarak düşünülmüştür. Fakat Vergin [118] 1977 yılında yayınlanan çalışmasında başlangıç durumu, kapasite, stok seviyesi, iş gücü miktarı, üretim oranı gibi faktörlerin yöntemlerin performansları üzerinde önemli derecede rol oynadığını belirtmiştir.

İkincil olarak ise bu yöntemlerin incelemesi yapılırken genellikle sabit bir değişken seti ile işlem yapılmasıdır. Envanter taşıma maliyeti, hazırlık maliyeti gibi kriterler sabit tutularak hesaplama yapılır. Berry'nin [115] 1972 yılında yayınladığı çalışmada değişik veri setleri ve talep miktarları ile hesaplama yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Göz ardı edilen bir diğer önemli kavram ise seçilen yöntemlerin kapasite durumunu etkileyebileceğidir. Değişik yöntemler farklı kapasite ihtiyaçları ve kapasite kullanım oranları doğurabileceğinden performans değerlendirme noktasında bu yöntemlerin de göz önüne alınması gerekir [96].

Biggs, Hahn ve Pinto [117] 1980 yılında yayınlanan çalışmalarında talebin sabit olduğu, her işin işlem ve hazırlık zamanlarının sabit olduğu ve iş sıralamasından

etkilenmediği, her iş merkezinin bir defada ancak bir işlem yapabileceği, mamul, yarımamul ve hammadde şeklinde 3 seviyeden oluşan bir sistemde, 3 farklı işlem parametresi, 3 farklı kapasite seviyesi altında en çok rağbet gören tek seviyeli miktar

Tablo 2.5. Hazırlık sayısı açısından sonuçların değerlendirilmesi [117]

| | Düşük Kapasite | | | Normal Kapasite | | | Yüksek Kapasite | | |
|--------|----------------|------|------|-----------------|------|------|-----------------|------|------|
| | Stok Maliyeti | | | | | | | | |
| Yöntem | 112% | 24% | 36% | 12% | 24% | 36% | 12% | 24% | 36% |
| ESM | 1336 | 1570 | 1696 | 1247 | 1505 | 1634 | 1220 | 1494 | 1598 |
| KSM | 1918 | 1919 | 1919 | 1920 | 1920 | 1920 | 1920 | 1920 | 1920 |
| W-W | 1498 | 1684 | 1736 | 1415 | 1641 | 1665 | 1399 | 1633 | 1660 |
| PDD | 1472 | 1639 | 1724 | 1370 | 1503 | 1574 | 1297 | 1452 | 1574 |

Tablo 2.6. Stok miktarı açısından sonuçların değerlendirilmesi [117]

| | Düşük Kapasite | | | Normal Kapasite | | | Yüksek Kapasite | | |
|--------|----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|
| | Stok | | | | | | | | |
| Yöntem | 12% | 24% | 36% | 12% | 24% | 36% | 12% | 24% | 36% |
| ESM | 954 | 731 | 615 | 915 | 655 | 556 | 903 | 644 | 527 |
| KSM | 487 | 484 | 457 | 367 | 369 | 379 | 371 | 370 | 374 |
| W-W | 723 | 579 | 553 | 641 | 517 | 468 | 626 | 517 | 472 |
| PDD | 745 | 584 | 531 | 645 | 459 | 395 | 610 | 414 | 393 |

Tablo 2.7. Toplam Stok maliyeti açısından sonuçların değerlendirilmesi [117]

| | | Derece | | | |
|----------|---------|--------|-----|-----|-----|
| Kapasite | Maliyet | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Düşük | 12% | W-W | PDD | KSM | ESM |
| | 24% | KSM | PDD | W-W | ESM |
| | 36% | KSM | PDD | W-W | ESM |
| Normal | 12% | PDD | W-W | KSM | ESM |
| | 24% | PDD | KSM | W-W | ESM |
| | 36% | PDD | KSM | W-W | ESM |
| Yüksek | 12% | PDD | W-W | KSM | ESM |
| | 24% | PDD | KSM | W-W | ESM |
| | 36% | PDD | KSM | W-W | ESM |

belirleme yöntemlerinden, ekonomik sipariş miktarı, ihtiyaç kadar sipariş verme, parça dönem dengeleme ve Wagner Whitin yöntemlerinden her biri için 4 tekrar yapılacak şekilde simülasyon çalıştırmışlardır. Performans kriteri olarak, hazırlık sayısı, ortalama stok maliyeti, toplam stok maliyeti, toplam yok satma sayısı, ve işgücü gereksinimlerini kullanan araştırmacıların elde ettiği değerler ise Tablo 2.5'ten Tablo 2.10'a kadar olan tablolarda verildiği gibidir.

Tablo 2.8. Yok satma durumu açısından sonuçların değerlendirilmesi [117]

| | Düşük Kapasite | | | Normal Kapasite | | | Yüksek Kapasite | | |
|--------|----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|
| | Stok | | | | | | | | |
| Yöntem | 12% | 24% | 36% | 12% | 24% | 36% | 12% | 24% | 36% |
| ESM | 98 | 124 | 155 | 11 | 2 | 17 | 6 | 3 | 5 |
| KSM | 227 | 234 | 191 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| W-W | 188 | 190 | 195 | 56 | 80 | 84 | 49 | 78 | 76 |
| PDD | 184 | 203 | 175 | 39 | 34 | 12 | 26 | 11 | 7 |

Tablo 2.9. Kapasite açısından sonuçların değerlendirilmesi [117]

| Periyot | Limitsiz Kapasite | | Limitli Kapasite | |
|---------|-------------------|-----|------------------|-----|
| | ESM | KSM | ESM | KSM |
| 1 | 280 | 100 | 280 | 100 |
| 2 | 0 | 100 | 190 | 100 |
| 3 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 4 | 280 | 100 | 280 | 100 |
| 5 | 0 | 100 | 190 | 100 |
| 6 | 0 | 100 | 100 | 100 |

Tablolar incelendiğinde optimal çözümü verdiği düşünülen Wagner-Whitin algoritmasının birçok koşul altında ihtiyaç miktarı kadar sipariş verme yöntemine göre daha düşük verim düzeyinde kaldığı görülmektedir. Ayrıca hazırlık maliyetinin envanter taşıma maliyetine göre çok yüksek olmadığı durumlarda bu yöntemin etkin sonuç verdiği fakat hazırlık maliyetlerinin yükselmesi durumunda parça dönem dengeleme yönteminin daha etkin olduğu görülebilmektedir.

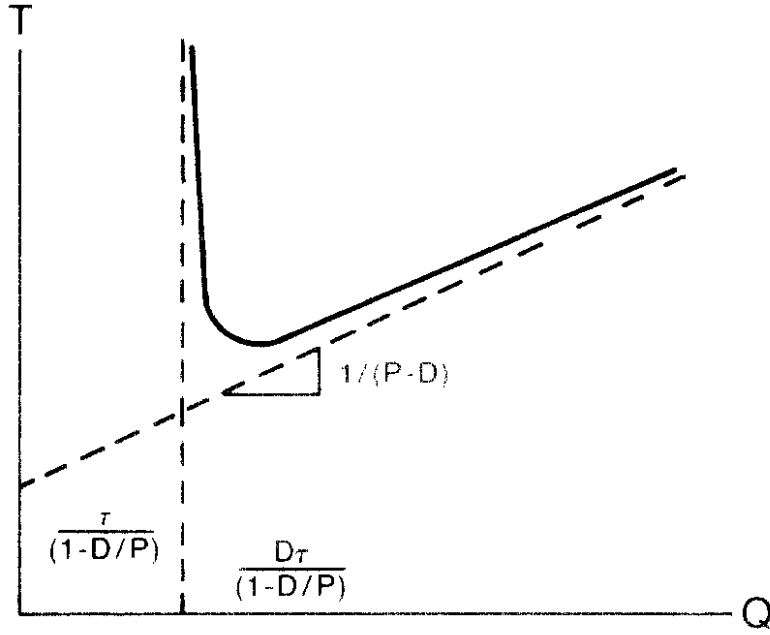
Ayrıca seçilen yöntemin kapasite ve işgücü ihtiyacı üzerindeki etkisi de göz önüne alınması gereken bir diğer konudur. Tablolardan ikisi arasındaki bağlantı rahatça gözlenebilmektedir. Dolayısı ile birbirinde bağımsız olarak ele alınmamaları gerekir.

Seçilen yöntemin kapasite üzerindeki etkileri yok satma durumunda artışa neden olduğu için stok seviyelerini yükseltme ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Bu da parti büyüklüğü, kapasite seviyesi, stok miktarı ve yok satma durumlarının birbiri ile bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Pujawan [119] ise en düşük birim maliyet ve Silver Meal algoritmalarını kullanarak yaptığı çalışmada parti büyüklüklerinin sipariş miktarı değişimi üzerindeki etkileri incelemiş ve farklı yöntemlerin farklı sonuçlarından hareketle sipariş miktarlarındaki değişimin kamçı etkisi yaparak bütün tedarik zinciri aşamaları üzerinde etkili olacağını ifade etmiştir.

Karmarkar ve arkadaşları [120] 1985 yılında yayınladıkları çalışmalarında, parti büyüklüklerinin karmaşık ve büyük hacimli sistemlerde koltuk altı stoklarının artması, uzayan çevrim süreleri ve yetişmeyen siparişlere sebep olduğu görülmektedir. Bu çalışmada nispeten büyük parti miktarları ile başlanarak bu miktarlar bir simülasyon programı yardımı ile azaltılmış ve çıkan sonuçlar incelenmiştir. Burada vurgulanan en önemli noktalardan biri, parti miktarları çok büyükse her defasında o iş merkezine gelen ürünler önlerinde işlenmeyi bekleyen başak ürünler bulacak ve bu beklentiler zamanla Şekil 2.15'de görüldüğü gibi artacaktır.

D= Toplam yapılması gereken iş, P= makinedeki işlem oranı, τ = Ayar zamanı, Q= parti büyüklüğü)



Şekil 2.15. Parti büyüklüğünün fonksiyonu olarak ortalama kuyrukta bekleme süresi [120]

Yukarıda bahsedilen yığılma sorununu önlemek için parti büyüklüklerini düşürmeye başladığımızı düşünelim. Bu durumda belirli bir noktadan sonra ayar zamanlarının sayısı çok fazla olacağından makine performansında herhangi bir düşüş olmamasına rağmen işlem için harcanan zaman azalacak ve makine önünde kuyruklar oluşmaya başlayacaktır. Bu durumda parti büyüklüğü için bir alt limit olması gerekliliği de açıktır. İşlem zamanı ve ayar zamanı toplam kullanılabilir zamanı geçmeyecek şekilde miktar belirlemeleri gerçekleştirilmelidir [116]. Bu hesaplamalar yapılırken, makine sayısı, üretim süreleri, ayar süreleri, ürün rotaları, vardiya ve fazla mesai düzenleri hesaplamaya kriter olarak dahil edilmelidir.

BÖLÜM 3. BİR GIDA İŞLETMESİNE PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

Bu bölümde, ikinci bölümde anlatılan yöntemlerin bir gıda işletmesi verileri kullanılarak uygulamalı örnekleri incelenecektir. Problemin yapısı ise, Şekil 2.1'i tekrar hatırlarsak;

- 6 aydan daha uzun süreli talepler için üretim yapılamaması nedeniyle planlama ufku açısından sonludur.
- Birbiri ile etkileşim içerisinde olan 3 farklı ürünün ele alınması nedeniyle çok ürünlüdür.
- İncelenen yöntemlerin tümünde sipariş miktarı değişkendir.
- Gözden geçirme periyodu mevcut değildir, stok ve ihtiyaçlar sürekli olarak kontrol edilmektedir.
- Üretilen ürünlerin yapıları aynı olduğu için çevrim zamanında ciddi bir değişim gözlemlenmemektedir. Bu nedenle çevrim zamanı 0 olarak kabul edilmiştir.
- Sistemde kapasite darboğazı yer almadığından kapasite kısıtsız alınmıştır.
- Talep örneklerde de yer verildiği üzere deterministik değişken yapıdadır.
- İşletme yapısı gereği üretim çok aşamalı olduğundan problemin çözümüne de çok seviyeli inceleme yoluyla varılmaya çalışılmıştır.
- Müşteri politikası ve sözleşmelerde yer alan cezai yaptırımlar nedeni ile karşılanamayan talep durumuna izin verilmez.
- Ürünlerin raf ömürleri kısıtlıdır.

Uygulama noktasında uygulamada kullanılan tek seviyeli yöntemler ile analiz yapıldıktan sonra çok seviyeli analiz için ise Steinberg ve Napier'in [63] genel ağ yaklaşımı ile tam sayılı programlama yardımı ile çözdükleri probleme benzer bir

problem üzerinde durulduğundan bu yöntem kullanılmıştır. Kullanılacak yönteme karar verilirken göz önünde bulundurulmuş bir diğer kriter ise diğer algoritma performanslarını ölçebilmek adına optimal sonucu verebilecek bir yaklaşıma ihtiyaç duyulması ve hedeflenen kriterlerin bu yöntem ile içerilebilecek olmasıdır. Hedef programlama ile de çözülebilecek olan problem de doğrusal programlama kullanılmasının nedeni hedefin uygun üretim miktarları belirlenerek maliyetin enküçülenmesi gibi bir tek satırda ifade edilebilmesi ve amaç denkleminin her bir bölümü için ortaya çıkan saptımadan çok genel maliyet toplamının önemli olmasıdır.

Tek seviyeli ve çok seviyeli olarak iki farklı grup altında incelemenin ilk aşamada karşılaşılan 0. seviyedeki ürünün talebine bağlı olarak diğer seviyelerin hesaplanması sonucu yarımamul ve mamuller arasında çıkan uyumsuzluk dikkate alınarak çok aşamalı bir yöntemle sipariş miktarları adım adım hesaplanarak devam edilecektir.

Yapılan incelemenin ardından, ürün/yarı ürün raf ömürleri sonunda kullanılamaz duruma gelecekleri bilgisi ışığında tekrar değerlendirileceklerdir.

Değerlendirilen ay üretim hattında üretilen üç ürüne ait talepler Tablo 3.1 de verilmiştir. İşletme yapısı gereği 6 aydan daha uzun süreli ürünlerin bir arada üretilmesine izin verilmemesi ve müşterinin 6 aydan daha eski ürünleri kabul etmemesi nedeniyle daha uzun süreli taleplere yer verilmemiş planlama ufku 6 ay ile sınırlandırılmıştır.

Tablo 3.1. Ürünlere ait 6 aylık talep miktarları

| ÜRÜN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Genel Toplam |
|--------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 30.960 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 17.460 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 | 3.360 |
| Genel Toplam | 6.792 | 15.144 | 7.356 | 7.440 | 7.524 | 7.524 | 51.780 |

Tablo 3.2. Elde bulundurma maliyetleri

| Ürün | Elde Bulundurma Maliyeti |
|---------|--------------------------|
| 4015016 | 0,64 TL / Koli |
| 4015017 | 0,64 TL / Koli |
| 4015018 | 1,61 TL / Koli |
| 4011575 | 0,40 TL / Kg |
| 4011574 | 0,42 TL / Kg |
| 4011588 | 0,37 TL / Kg |
| 4011587 | 0,39 TL / Kg |

Tablo 3.3. Hazırlık Süreleri

| Ürün | Hazırlık Süresi |
|---------|-----------------|
| 4015016 | 0,5 saat |
| 4015017 | 0,5 saat |
| 4015018 | 0,5 saat |
| 4011575 | 1,2 saat |
| 4011588 | 1,2 saat |
| 4011574 | 1,5 saat |
| 4011587 | 1,5 saat |

Tablo 3.2’de ürünler ve yarı ürünlere ait elde bulundurma maliyetleri TL/ stok birimi cinsinden verilmiştir.

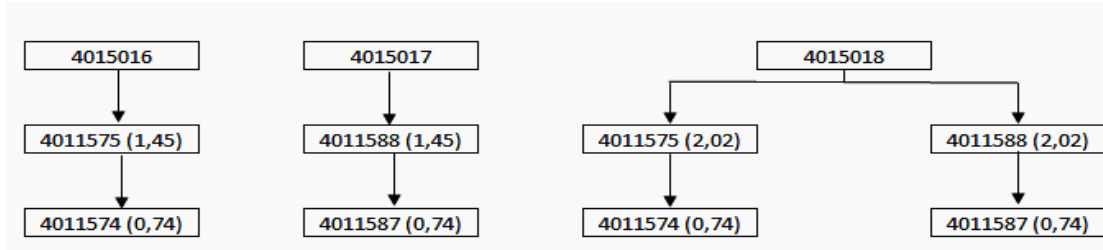
Tablo 3.3’te ürün değişimlerinde ihtiyaç duyulan hazırlık sürelerine ait değerlere yer verilmiştir. Son ürünlerde ürünler arası geçiş yarım saat sürmektedir. 1. seviyedeki yarı ürünlerde temizlik ve geri yükleme işlemleri için 1,2 saat 2. seviyedeki yarı ürünlerde ise benzer işlemler için 1.5 saat hazırlık süresi öngörülmektedir.

Sipariş verme süresi ise hazırlık zamanı dikkate alınmaksızın sipariş başına 0. seviye için 13 TL 1. seviye için 15 TL ve 2. seviye için 16 TL olarak hesaplanmıştır. Fakat hazırlık sürelerinin maliyeti de her yeni sipariş verildiğinde tekrar ettiği için sipariş verme maliyeti dahilinde ele alınmıştır. Dolayısı ile 0. seviye için sipariş verme

maliyeti 227 TL, 1. seviye için 1200 TL ve 3. seviye için 4560 TL olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.1 de incelemeye konu olan ürünlerin ürün ağacı içerisindeki yerleşimleri ve 1 birim ürün üretmek için ihtiyaç duyulan miktarlara yer verilmiştir. 1 birim 4015016 üretmek için 1.45 gr. 4011575 ve 1 gram 4011575 üretmek için ise 0,74 gram

4011574'e ihtiyaç duyulmaktadır. Ürün ağacı yapısı incelendiğinde kolaylıkla fark edilebileceği üzere 4015018, 4015016 ve 4015017'de kullanılan yarı mamullerin beraber kullanılmasıyla elde edilmektedir.



Şekil 3.1. İncelemeye konu olan ürünlerin ürün ağacı yapısı

3.1. Raf Ömrü Kısıtsız Parti Büyüklüğü Belirleme Uygulaması

3.1.1. Sabit sipariş miktarı yöntemi

Bu yöntem taleplerde meydana gelen dalgalanmalara karşı duyarlı olmadığı ve diğer analitik yöntemlerin aksine tecrübelerle dayanarak verilen kararların etkili olduğu, özel durumlarda uygulanabilecek bir yöntem olması nedeniyle uygulamada yer verilmemiştir.

3.1.2. İhtiyaç kadar sipariş verme yöntemi (lot-4-lot)

Bu yöntemde her bir dönemin gereksinimi o dönem içinde veya bir önceki dönemde verilecek sipariş ile karşılanır. Burada incelenen örnekte talepler genellikle ayın başında karşılanmak zorunda olduğundan bir önceki dönem içerisinde temin edilmesi

gerekmektedir. Dolayısı ile bu yöntemle göre oluşacak üretim miktarları Tablo 3.4.'te verildiği gibi olacaktır.

Tablo 3.4. İhtiyaç miktarı kadar sipariş verme yöntemine ait üretim miktarları

| Ürünler | Dönemler | | | | | |
|---------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7.112 | 7.282 | 7.282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4.763 | 4.933 | 4.933 |
| 4011574 | 6.026 | 11.038 | 5.138 | 5.263 | 5.389 | 5.389 |
| 4011587 | 2.550 | 6.982 | 3.399 | 3.525 | 3.650 | 3.650 |

Toplam Maliyet = Sipariş Maliyeti + Elde Bulundurma Maliyeti

TM = 18*227+12*(1.200+4.560) + 0 = 73.206 TL olacaktır.

3.1.3. Ekonomik sipariş miktarı yöntemi

Ekonomik sipariş/üretim miktarı modeli en eski ve yaygın kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Yöntem elde bulundurma maliyetleri ve sipariş maliyetlerini göz önünde bulundurarak toplam talebin karşılanması için hangi büyüklükte sipariş verilmesi veya üretim yapılması gerektiğini hesaplama esasına dayanır.

Bu yöntemde ihtiyaç miktarları tablosunu oluşturmadan önce ekonomik sipariş miktarı (Q) belirlenmelidir.

$$\bar{D} = \frac{D_{Toplam}}{6}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * S * D}{H}}$$

Yukarıdaki formüllerde veriler yerine yazılırsa Ekonomik sipariş miktarları aşağıdaki gibi elde edilir. Tablo 3.5, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’de yer alan veriler 0.seviye verilerinden yararlanılarak elde edilen verilerdir.Bu şekilde yapılan hesaplamamın hatalara neden olacağı tablolardan açıkça görüldüğü için bu yöntemin maliyetini hesaplamaya gerek duyulmamış ve devam eden hesaplamalarda aşamalı olarak hesaplama yöntemi tercih edilmiş, 1. seviyenin talebi 0. seviye üretim miktarları belirlendikten sonra hesaplanmıştır.

Tablo 3.5. Ürün bazına ekonomik sipariş miktarları

| Ürün | ESM |
|---------|--------|
| 4015016 | 1.913 |
| 4015017 | 1.436 |
| 4015018 | 397 |
| 4011575 | 7.189 |
| 4011588 | 5.891 |
| 4011574 | 11.765 |
| 4011587 | 9.623 |

Tablo 3.6. ESM yöntemine ait üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 5.739 | 9.565 | 3.826 | 3.826 | 3.826 | 5.739 |
| 4015017 | 2.872 | 4.308 | 2.872 | 2.872 | 2.872 | 2.872 |
| 4015018 | 794 | 1.191 | | 794 | 397 | 397 |
| 4011575 | 14.377 | 14.747 | 7.189 | 7.189 | 7.189 | 7.189 |
| 4011588 | 5.891 | 11.782 | | 5.891 | 5.891 | 5.891 |
| 4011574 | 11.765 | 11.765 | | 11.765 | | 11.765 |
| 4011587 | 9.623 | | 9.623 | | 9.623 | |

Tablo 3.8, Tablo 3.9, Tablo 3.10 ise 1.seviye talebinin 0.seviye taleplerine değil belirlenen sipariş miktarlarına göre yeniden hesaplanması ile oluşturulmuştur.

Tablo 3.7. ESM yöntemine ait dönem sonu stok miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|
| rnler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 1.059 | 1.624 | 1.130 | 636 | 142 | 1.561 |
| 4015017 | 1.432 | 520 | 692 | 864 | 1.036 | 1.208 |
| 4015018 | 122 | 389 | 53 | 427 | 320 | 213 |
| 4011575 | 4.452 | 2.924 | 4.566 | 4.603 | 5.443 | 3.508 |
| 4011588 | 123 | 3.252 | -912 | -789 | 135 | 1.060 |
| 4011574 | 1.126 | 1.978 | -3.342 | 3.103 | -2.217 | 4.228 |
| 4011587 | 5.264 | -3.455 | 6.168 | 1.809 | 7.072 | 2.713 |

Tablo 3.8. rn bazına ekonomik sipariş miktarları

| rn | ESM |
|---------|--------|
| 4015016 | 1.913 |
| 4015017 | 1.436 |
| 4015018 | 397 |
| 4011575 | 7.373 |
| 4011588 | 6.088 |
| 4011574 | 12.568 |
| 4011587 | 10.263 |

Tablo 3.9. ESM yöntemine ait üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| rnler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 5.739 | 9.565 | 3.826 | 3.826 | 3.826 | 5.739 |
| 4015017 | 2.872 | 4.308 | 2.872 | 2.872 | 2.872 | 2.872 |
| 4015018 | 794 | 1.191 | | 794 | 397 | 397 |
| 4011575 | 14.747 | 14.747 | 7.373 | 7.373 | 7.373 | 7.373 |
| 4011588 | 6.088 | 12.176 | 6.088 | | 6.088 | 6.088 |
| 4011574 | 12.568 | 12.568 | 12.568 | | 12.568 | 5.456 |
| 4011587 | 10.263 | | 10.263 | | 10.263 | |

2.seviyedeki yarı mamullerin talepleri ise 1. seviyedeki ürünlerin taleplerinin ekonomik sipariş miktarlarına göre yeniden düzenlenmesinin ardından ortaya çıkan ihtiyaçlara göre yeniden düzenlenmesi ile oluşturulmuştur. Bu veriler doğrultusunda ihtiyaç tablosu düzenlendiğinde Tablo 3.9'daki sonuca ulaşılır.

Sipariş sayısı sipariş maliyeti ile çarpılıp envanter taşıma maliyetleri ile toplanırsa;

TM = Sipariş Maliyeti + Elde Bulundurma Maliyeti = 35.299+ 70.746 =106.045 TL olarak gerçekleşecektir.

Tablo 3.10. ESM yöntemine ait dönem sonu stok miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 1.059 | 1.624 | 1.130 | 636 | 142 | 1.561 |
| 4015017 | 1.432 | 520 | 692 | 864 | 1.036 | 1.208 |
| 4015018 | 122 | 389 | 53 | 427 | 320 | 213 |
| 4011575 | 4.822 | 3.294 | 5.119 | 5.341 | 6.364 | 4.614 |
| 4011588 | 320 | 3.843 | 5.767 | | 1.122 | 2.243 |
| 4011574 | 6.542 | 8.072 | 15.502 | 10.239 | 17.418 | 12.029 |
| 4011587 | 7.713 | 731 | 7.595 | 4.070 | 10.682 | 7.032 |

3.1.4. Periyodik sipariş miktarı yöntemi

Tablo 3.11. PSM yöntemine ait üretim miktarları

| Ürünler | Dönemler | | | | | |
|---------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7.112 | 7.282 | 7.282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4.763 | 4.933 | 4.933 |
| 4011574 | 6.026 | 11.038 | 5.138 | 5.263 | 5.389 | 5.389 |
| 4011587 | 9.531 | | 6.924 | | 7.300 | |

Bu yöntem ESM yönteminin değişik bir uygulaması olarak algılanabilir. Aynı şekilde öncelikle ESM hesaplanır ve ardından hesaplama yapılan planlama ufku içerisindeki toplam talep ESM bölünerek bu dönem içerisinde kaç defa sipariş verilmesi gerektiği bulunur. ESM bir önceki uygulamadan alırsak verilmesi gereken sipariş sayıları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\text{Sipariş Sayısı} = \text{Toplam Talep} / \text{ESM}$$

TM = Sipariş Maliyeti + Elde Bulundurma Maliyeti = 59.526 + 5.521 = 65.047 TL olarak hesaplanır.

3.1.5. Değiştirilmiş ekonomik sipariş miktarı yöntemi

Daha öncede bahsedildiği üzere bu yöntemde talep oluşana kadar sipariş verilmez ve talep kümülatif olarak toplanarak ESM yakın ilk miktarda sipariş verilir. Bu yöntemin kullanılması ile elde edilen sipariş miktarları tablosu ise aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.12. Düzenlenmiş ESM yöntemine ait üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7.112 | 7.282 | 7.282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4.763 | 4.933 | 4.933 |
| 4011574 | 17.064 | | 10.401 | | 10.777 | |
| 4011587 | 9.532 | | 10.575 | | | 3.650 |

TM = Sipariş Maliyeti + Elde Bulundurma Maliyeti = 45.846 + 16.055 = 61.901 TL olarak hesaplanır.

Tabloda görüldüğü üzere 2.seviye yarı mamuller için algoritmanın sonucu 3 periyot öncesinden üretim yapılmasını öngörmektedir. Raf ömrü 60 gün olan bu yarı ürünler için çıkan sonucun uygulanabilirliği mümkün olamayacaktır.

3.1.6. En düşük birim maliyet yöntemi

En düşük birim maliyet yönteminde ilk periyottan başlanarak taleplerin kümülatif olarak karşılanması durumu incelenir. Sonraki periyotların ihtiyaçlarını önceden üretilip üretim maliyetine karar vermek ile her ürünü ihtiyaç duyulan periyot içerisinde üretilerek sipariş maliyetine katlanma arasında karar vermek için tüm periyotlar incelenerek en düşük birim maliyeti veren miktar sipariş miktarı olarak seçilir. Ardından geriye kalan periyotlar için aynı hesaplama devam edilerek hangi periyotların ihtiyaçlarının beraber hangilerinin ayrı olarak üretilmesi gerektiği belirlenir.

Tablo 3.13. En düşük birim maliyet yöntemine ait üretim miktarları 1.hesaplama adımı

| Periyot | Ürün | Talep | Elde Bulundurma Maliyeti | Sipariş Maliyeti | Toplam Elde Bulundurma Maliyeti | Toplam Maliyet | Sipariş Büyüklüğü | Birim Maliyet |
|---------|---------|-------|--------------------------|------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---------------|
| 0 | 4015016 | 4.680 | 0,64 | 227 | 0 | 227 | 4.680 | 0,05 |
| 1 | 4015016 | 9.000 | 0,64 | 227 | 5.797 | 6.024 | 13.680 | 0,44 |
| 2 | 4015016 | 4.320 | 0,64 | 227 | 11.362 | 11.589 | 18.000 | 0,64 |
| 3 | 4015016 | 4.320 | 0,64 | 227 | 19.709 | 19.936 | 22.320 | 0,89 |
| 4 | 4015016 | 4.320 | 0,64 | 227 | 30.840 | 31.067 | 26.640 | 1,17 |
| 5 | 4015016 | 4.320 | 0,64 | 227 | 44.752 | 44.979 | 30.960 | 1,45 |
| | | | | | | | | |
| 0 | 4015017 | 1.440 | 0,64 | 227 | 0 | 227 | 1.440 | 0,16 |
| 1 | 4015017 | 5.220 | 0,64 | 227 | 3.326 | 3.553 | 6.660 | 0,53 |
| 2 | 4015017 | 2.700 | 0,64 | 227 | 6.767 | 6.994 | 9.360 | 0,75 |
| 3 | 4015017 | 2.700 | 0,64 | 227 | 11.929 | 12.156 | 12.060 | 1,01 |
| 4 | 4015017 | 2.700 | 0,64 | 227 | 18.811 | 19.038 | 14.760 | 1,29 |
| 5 | 4015017 | 2.700 | 0,64 | 227 | 27.414 | 27.641 | 17.460 | 1,58 |
| | | | | | | | | |
| 0 | 4015018 | 672 | 1,61 | 227 | 0 | 227 | 672 | 0,34 |

Tablo 3.13. En düşük birim maliyet yöntemine ait üretim miktarları 1. hesaplama adımı

| Periyot | Ürün | Talep | Elde Bulundurma Maliyeti | Sipariş Maliyeti | Toplam Elde Bulundurma Maliyeti | Toplam Maliyet | Sipariş Büyüklüğü | Birim Maliyet |
|---------|---------|--------|--------------------------|------------------|---------------------------------|----------------|-------------------|---------------|
| 1 | 4015018 | 924 | 1,61 | 227 | 1.489 | 1.716 | 1.596 | 1,07 |
| 2 | 4015018 | 336 | 1,61 | 227 | 2.571 | 2.798 | 1.932 | 1,45 |
| 3 | 4015018 | 420 | 1,61 | 227 | 4.601 | 4.828 | 2.352 | 2,05 |
| 4 | 4015018 | 504 | 1,61 | 227 | 7.849 | 8.076 | 2.856 | 2,83 |
| 5 | 4015018 | 504 | 1,61 | 227 | 11.909 | 12.136 | 3.360 | 3,61 |
| | | | | | | | | |
| 0 | 4011575 | 8.143 | 0,40 | 1200 | 0 | 1.200 | 8.143 | 0,15 |
| 1 | 4011575 | 14.916 | 0,40 | 1200 | 5.984 | 7.184 | 23.060 | 0,31 |
| 2 | 4011575 | 6.943 | 0,40 | 1200 | 11.555 | 12.755 | 30.003 | 0,43 |
| 3 | 4011575 | 7.112 | 0,40 | 1200 | 20.116 | 21.316 | 37.115 | 0,57 |
| 4 | 4011575 | 7.282 | 0,40 | 1200 | 31.802 | 33.002 | 44.397 | 0,74 |
| 5 | 4011575 | 7.282 | 0,40 | 1200 | 46.410 | 47.610 | 51.679 | 0,92 |
| | | | | | | | | |
| 0 | 4011588 | 3.445 | 0,37 | 1200 | 0 | 1.200 | 3.445 | 0,35 |
| 1 | 4011588 | 9.435 | 0,37 | 1200 | 3.510 | 4.710 | 12.881 | 0,37 |
| 2 | 4011588 | 4.594 | 0,37 | 1200 | 6.929 | 8.129 | 17.475 | 0,47 |
| 3 | 4011588 | 4.763 | 0,37 | 1200 | 12.245 | 13.445 | 22.238 | 0,60 |
| 4 | 4011588 | 4.933 | 0,37 | 1200 | 19.587 | 20.787 | 27.171 | 0,77 |
| 5 | 4011588 | 4.933 | 0,37 | 1200 | 28.763 | 29.963 | 32.104 | 0,93 |
| | | | | | | | | |
| 0 | 4011574 | 6.026 | 0,42 | 4560 | 0 | 4.560 | 6.026 | 0,76 |
| 1 | 4011574 | 11.038 | 0,42 | 4560 | 4.614 | 9.174 | 17.064 | 0,54 |
| 2 | 4011574 | 5.138 | 0,42 | 4560 | 8.909 | 13.469 | 22.202 | 0,61 |
| 3 | 4011574 | 5.263 | 0,42 | 4560 | 15.509 | 20.069 | 27.465 | 0,73 |
| 4 | 4011574 | 5.389 | 0,42 | 4560 | 24.519 | 29.079 | 32.854 | 0,89 |
| 5 | 4011574 | 5.389 | 0,42 | 4560 | 35.781 | 40.341 | 38.243 | 1,05 |
| | | | | | | | | |
| 0 | 4011587 | 2.550 | 0,39 | 4560 | 0 | 4.560 | 2.550 | 1,79 |
| 1 | 4011587 | 6.982 | 0,39 | 4560 | 2.711 | 7.271 | 9.532 | 0,76 |
| | | | | | | | | |
| 2 | 4011587 | 3.399 | 0,39 | 4560 | 5.350 | 9.910 | 12.931 | 0,77 |
| 3 | 4011587 | 3.525 | 0,39 | 4560 | 9.455 | 14.015 | 16.456 | 0,85 |
| 4 | 4011587 | 3.650 | 0,39 | 4560 | 15.123 | 19.683 | 20.107 | 0,98 |
| 5 | 4011587 | 3.650 | 0,39 | 4560 | 22.209 | 26.769 | 23.757 | 1,13 |

Tablo 3.14. En düşük birim maliyet yöntemine ait üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7.112 | 7.282 | 7.282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4.763 | 4.933 | 4.933 |
| 4011574 | 17.064 | | 10.401 | | 10.777 | |
| 4011587 | 9.532 | | 10.575 | | | 3.650 |

Tablo 3.14’de görüldüğü üzere 2. seviye yarı mamuller için algoritmanın sonucu 3 periyot öncesinden üretim yapılmasını öngörmektedir. Raf ömrü 60 gün olan bu yarı ürünler için çıkan sonucun uygulanabilirliği mümkün olamayacaktır.

TM = Sipariş Maliyeti + Elde Bulundurma Maliyeti = 45.846 + 16.055 = 61.901 TL olarak hesaplanır.

3.1.7. En düşük toplam maliyet yöntemi

Bu yaklaşımda planlama dönemindeki tüm partiler için hazırlık ve envanter taşıma maliyetleri toplamının minimize edilmesi için, partilerin toplam maliyetlerinin birbirine eşit olması gerekmektedir. En düşük toplam maliyet yaklaşımı bu amaca ulaşmak için, birim başına hazırlık maliyeti ile envanter taşıma maliyetinin eşit olduğu miktarlarda sipariş verir.

Tablo 3.15 En düşük toplam maliyet yöntemi için EPP miktarları

| Ürün | Elde Bulundurma Maliyeti | Sipariş Maliyeti | EPP |
|---------|--------------------------|------------------|--------|
| 4015016 | 0,64 | 227 | 352 |
| 4015017 | 0,64 | 227 | 356 |
| 4015018 | 1,61 | 227 | 141 |
| 4011575 | 0,40 | 1200 | 2.991 |
| 4011588 | 0,37 | 1200 | 3.225 |
| 4011574 | 0,42 | 4560 | 10.909 |
| 4011587 | 0,39 | 4560 | 11.747 |

Bu yöntemin başlangıç noktası EPP (ekonomik parça periyot) hesaplanmasıdır.

$$EPP = \text{Sipariş Maliyeti} / \text{Elde Bulundurma Maliyeti}$$

Tablo 3.16 En düşük toplam maliyet yöntemine ait parça periyot hesaplaması 1. basamak

| Periyot | Ürün | Talep | Elde Bulundurma Maliyeti | Sipariş Büyüklüğü | Parça Periyot |
|---------|---------|--------|--------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | 4015016 | 4.680 | 0,64 | 4.680 | 0 |
| 1 | 4015016 | 9.000 | 0,64 | 13.680 | 5.797 |
| 2 | 4015016 | 4.320 | 0,64 | 18.000 | 11.362 |
| 3 | 4015016 | 4.320 | 0,64 | 22.320 | 19.709 |
| 4 | 4015016 | 4.320 | 0,64 | 26.640 | 30.840 |
| 5 | 4015016 | 4.320 | 0,64 | 30.960 | 44.752 |
| | | | | | |
| 0 | 4015017 | 1.440 | 0,64 | 1.440 | 0 |
| 1 | 4015017 | 5.220 | 0,64 | 6.660 | 3.326 |
| 2 | 4015017 | 2.700 | 0,64 | 9.360 | 6.767 |
| 3 | 4015017 | 2.700 | 0,64 | 12.060 | 11.929 |
| 4 | 4015017 | 2.700 | 0,64 | 14.760 | 18.811 |
| 5 | 4015017 | 2.700 | 0,64 | 17.460 | 27.414 |
| | | | | | |
| 0 | 4015018 | 672 | 1,61 | 672 | 0 |
| 1 | 4015018 | 924 | 1,61 | 1.596 | 1.489 |
| 2 | 4015018 | 336 | 1,61 | 1.932 | 2.571 |
| 3 | 4015018 | 420 | 1,61 | 2.352 | 4.601 |
| 4 | 4015018 | 504 | 1,61 | 2.856 | 7.849 |
| 5 | 4015018 | 504 | 1,61 | 3.360 | 11.909 |
| | | | | | |
| 0 | 4011575 | 8.143 | 0,40 | 8.143 | 0 |
| 1 | 4011575 | 14.916 | 0,40 | 23.060 | 5.984 |
| 2 | 4011575 | 6.943 | 0,40 | 30.003 | 11.555 |
| 3 | 4011575 | 7.112 | 0,40 | 37.115 | 20.116 |
| 4 | 4011575 | 7.282 | 0,40 | 44.397 | 31.802 |
| 5 | 4011575 | 7.282 | 0,40 | 51.679 | 46.410 |
| | | | | | |
| 0 | 4011588 | 3.445 | 0,37 | 3.445 | 0 |
| 1 | 4011588 | 9.435 | 0,37 | 12.881 | 3.510 |

Tablo 3.16. En düşük toplam maliyet yöntemine ait parça periyot hesaplaması 1.basamak devamı

| Periyot | Ürün | Talep | Elde Bulundurma Maliyeti | Sipariş Büyüklüğü | Parça Periyot |
|---------|---------|--------|--------------------------|-------------------|---------------|
| 2 | 4011588 | 4.594 | 0,37 | 17.475 | 6.929 |
| 3 | 4011588 | 4.763 | 0,37 | 22.238 | 12.245 |
| 4 | 4011588 | 4.933 | 0,37 | 27.171 | 19.587 |
| 5 | 4011588 | 4.933 | 0,37 | 32.104 | 28.763 |
| | | | | | |
| 0 | 4011574 | 6.026 | 0,42 | 6.026 | 0 |
| 1 | 4011574 | 11.038 | 0,42 | 17.064 | 4.614 |
| 2 | 4011574 | 10.401 | 0,42 | 27.465 | 13.309 |
| 3 | 4011574 | | 0,42 | 27.465 | 13.309 |
| 4 | 4011574 | 10.777 | 0,42 | 38.242 | 31.328 |
| 5 | 4011574 | | 0,42 | 38.242 | 31.328 |
| | | | | | |
| 0 | 4011587 | 9.532 | 0,39 | 9.532 | 0 |
| 1 | 4011587 | | 0,39 | 9.532 | 0 |
| 2 | 4011587 | 6.924 | 0,39 | 16.456 | 5.376 |
| 3 | 4011587 | | 0,39 | 16.456 | 5.376 |
| 4 | 4011587 | 7.301 | 0,39 | 23.757 | 16.713 |
| 5 | 4011587 | | 0,39 | 23.757 | 16.713 |

Tablo 3.17. En düşük toplam maliyet yöntemine ait üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 14.055 | | 14.564 | |
| 4011588 | 12.881 | | 9.357 | | 9.866 | |
| 4011574 | 27.465 | | | | 10.777 | |
| 4011587 | 16.456 | | | | 7.301 | |

Tablo 3.16’de yer alan hesaplama adımlarının sonucu olarak elde edilen Tablo 3.17, üretim verileri ışığında yapılan hesaplama sonucu aşağıda verildiği gibidir.

TM = Sipariş Maliyeti + Elde Bulundurma Maliyeti = 30.726 + 34.287= 65.013 TL olarak hesaplanır.

3.1.8. Parça periyot dengeleme yöntemi

Bu yöntemin hesaplama tekniği en düşük toplam maliyet yöntemine çok benzerdir. Aynı şekilde öncelikli olarak EPP değerleri hesaplanır ardından bu değere en yakın miktarlarda sipariş verilir. Bu yöntemin farkı ise EPP' miktarının geçilmesine izin verilmeden eşit veya küçük değerın sipariş miktarı olarak kabul edilmesi esasına dayanır. Bu nedenle bir önceki yöntemde hazırlanan veri ve tablolar kullanılarak çözüme gidilebilir.

Tabloda görüldüğü üzere önceki bazı yöntemlerde yaşanan problem bu yöntemde de tekrar etmiştir. Raf ömrü 60 gün olan 2. seviye yarı mamuller için algoritmanın sonucu 4 periyot öncesinden üretim yapılmasını öngörmektedir.

Tablo 3.18. Parça periyot dengeleme yöntemine ait üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 14.055 | | 14.564 | |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 9.357 | | 9.866 | |
| 4011574 | 17.064 | | 21.178 | | | |
| 4011587 | 16.455 | | | | 7.301 | |

TM = Sipariş Maliyeti + Elde Bulundurma Maliyeti = 31.926 + 32.840= 64.765 TL olarak hesaplanır.

3.1.9. Wagner Whitin yöntemi

Bu yöntemde ilk periyottan itibaren tüm seçenekler incelenerek o periyot için en iyi seçenek seçildikten sonra bir sonraki periyodun tüm seçeneklerinin incelenmesi için kullanılır.

İlk ürün olan 4015016 için yapılan hesaplama adımları aşağıdaki gibidir.

$$F_0 = 227$$

$$F_1 = F_0 + 227 = 454^*$$

$$F_1 = 227 + 9000 * 0,64 = 6251$$

$$F_2 = F_1 + 227 = 681^*$$

$$F_2 = F_0 + 227 + 4320 * 0,64 = 3237$$

$$F_2 = 227 + 9000 * 0,64 + 4320 * 0,64 * 2 = 11589$$

$$F_3 = F_2 + 227 = 908^*$$

$$F_3 = F_1 + 227 + 4320 * 0,64 = 3464$$

$$F_3 = F_0 + 227 + 4320 * 2 * 0,64 + 4320 * 0,64 = 8802$$

$$F_3 = 227 + 4320 * 0,64 * 3 + 4320 * 0,64 * 2 + 9000 * 0,64 = 19936$$

$$F_4 = F_3 + 227 = 1135^*$$

$$F_4 = F_2 + 227 + 4320 * 0,64 = 3691$$

$$F_4 = F_1 + 227 + 4320 * 0,64 + 4320 * 0,64 * 2 = 9029$$

$$F_4 = F_0 + 227 + 4320 * 0,64 * 3 + 4320 * 0,64 * 2 + 4320 * 0,64 = 17149$$

$$F_4 = 227 + 4320 * 4 * 0,64 + 4320 * 3 * 0,64 + 4320 * 0,64 * 4 + 9000 * 0,64 = 31067$$

$$F_5 = F_4 + 227 = 1362^*$$

$$F5=F3+227+4320*0,64=3918$$

$$F5=F2+227+4320*0,64*2+4320*0,64=9256$$

$$F5=F1+227+4320*0,64*2+4320*0,64+4320*0,64*3=17376$$

$$F5=F0+227+4320*0,64+4320*0,64*2+4320*0,64*3+4320*0,64*4=28279$$

$$F5=227+4320*0,64*2+4320*0,64*3+4320*0,64*4+4320*0,64*5+9000*0,64=44979$$

Elde edilene değerler incelendiğinde bu ürün için her periyodun siparişinin o dönem içerisinde karşılanmamsının en düşük maliyetli seçenek olacağı açıkça anlaşılmaktadır.

0. seviyedeki diğer ürünler içinde aynı hesaplama yapıldığında sonuç değişmemekte ve her ürünün kendi periyodu içerisinde üretilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. 2. aşamaya geçildiğinde ise aşağıdaki gibi tekrar hesaplama adımları tekrarlanır. Örnek olarak 4011575 için yapılan hesaplama yer verilmiş diğer değerler ise tablo olarak sunulmuştur.

$$F0= 1200$$

$$F1=F0+1200= 2400*$$

$$F1= 1200+9435*0,37=5109$$

$$F2=F1+1200 = 3600*$$

$$F2=F0+1200+4594*0,37=4109$$

$$F2= 1200+9435*0,37 + 4594*0,37*2=8129$$

$$F3 =F2+1200 = 4800*$$

$$F3=F1+1200+ 4763*0,37=5372$$

$$F3= F0+1200+4594*0,37+4763*0,37*2=7654$$

$$F3=1200+9435*0,37+4594*0,37*2+4763*0,37*3=13445$$

$$F4=F3+1200=6000*$$

Tablo 3.19. Wagner Whitin yöntemine ait optimum çözüm hesaplaması

| Ürün | F0 | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4015016 | 227 | | | | | |
| 4015016 | 454 | 6.251 | | | | |
| 4015016 | 681 | 3.237 | 11.589 | | | |
| 4015016 | 908 | 3.464 | 8.802 | 19.936 | | |
| 4015016 | 1.135 | 3.691 | 9.029 | 17.149 | 31.067 | |
| 4015016 | 1.362 | 3.918 | 9.256 | 17.376 | 28.279 | 44.979 |
| | | | | | | |
| 4015017 | 227 | | | | | |
| 4015017 | 454 | 3.780 | | | | |
| 4015017 | 681 | 2.175 | 6.994 | | | |
| 4015017 | 908 | 2.402 | 5.616 | 12.156 | | |
| 4015017 | 1.135 | 2.629 | 5.843 | 10.777 | 19.038 | |
| 4015017 | 1.362 | 2.856 | 6.070 | 11.004 | 17.659 | 27.641 |
| | | | | | | |
| 4015018 | 227 | | | | | |
| 4015018 | 454 | 1.943 | | | | |
| 4015018 | 681 | 995 | 2.798 | | | |
| 4015018 | 908 | 1.358 | 2.349 | 4.828 | | |
| 4015018 | 1.135 | 1.720 | 2.982 | 4.784 | 8.076 | |
| 4015018 | 1.362 | 1.947 | 3.344 | 5.417 | 8.032 | 12.136 |
| | | | | | | |
| 4011575 | 1.200 | | | | | |
| 4011575 | 2.400 | 8.384 | | | | |
| 4011575 | 3.600 | 5.185 | 12.755 | | | |
| 4011575 | 4.800 | 6.453 | 10.892 | 21.316 | | |
| 4011575 | 6.000 | 7.722 | 12.297 | 19.657 | 33.002 | |
| 4011575 | 7.200 | 8.922 | 13.565 | 21.061 | 31.343 | 47.610 |
| | | | | | | |
| 4011588 | 1.200 | | | | | |
| 4011588 | 2.400 | 4.710 | | | | |
| 4011588 | 3.600 | 4.109 | 8.129 | | | |
| 4011588 | 4.800 | 5.372 | 7.654 | 13.445 | | |
| 4011588 | 6.000 | 6.635 | 9.043 | 13.160 | 20.787 | |
| 4011588 | 7.200 | 7.835 | 10.306 | 14.549 | 20.501 | 29.963 |
| | | | | | | |
| 4011574 | 4.560 | | | | | |
| 4011574 | 9.120 | 13.734 | | | | |
| 4011574 | 13.680 | 11.268 | 13.469 | | | |
| 4011574 | 15.828 | 15.880 | 15.668 | 20.069 | | |
| 4011574 | 20.228 | 18.080 | 20.385 | 22.425 | 25.719 | |
| 4011574 | 22.640 | 22.480 | 22.585 | 27.142 | 28.075 | 40.341 |
| | | | | | | |
| 4011587 | 4.560 | | | | | |
| 4011587 | 9.120 | 11.831 | | | | |
| 4011587 | 13.680 | 10.440 | 9.910 | | | |
| 4011587 | 14.470 | 15.048 | 13.176 | 14.015 | | |
| 4011587 | 17.736 | 15.887 | 17.883 | 17.428 | 19.683 | |
| 4011587 | 20.447 | 19.153 | 18.721 | 22.134 | 23.096 | 26.769 |

$$F4=F2+1200+4933*0,37 =6635$$

$$F4=F1+1200+4763*0,37+4933*0,37*2=9043$$

$$F4= F0+1200+4594*0,37+4763*0,37*2+4933*0,37*3=13160$$

$$F4=1200+9435*0,37+4594*0,37*2+4763*0,37*3+4933*0,37*4=20787$$

$$F5=F4+1200=7200*$$

$$F5=F3+1200+4933*0,37=7835$$

$$F5=F3+1200+4933*0,37+4933*0,37*2=10306$$

$$F5= F1+1200+4763*0,37*1+4933*0,37*2+4933*0,37*3=14599$$

$$F5= F0+1200+4594*0,37+4763*0,37*2+4933*0,37*3+4933*0,37*4=20501$$

$$F5=1200+9435*0,37+4594*0,37*2+4763*0,37*3+4933*0,37*4+4933*0,37*5 =26769$$

Tablo 3.19’da verilen hesaplama adımları ışığında her ürün için üretim miktarları tablosu Tablo 3.20’deki gibi olacaktır. Tabloda açıkça görüleceği üzere diğer yöntemlerde karşılaşılan sorunla burada da karşılaşmıştır. Hesaplanan parti miktarlarının karşılık geldiği periyot sayısı ürün raf ömründen daha uzun olduğu için 2. basamak için bulunan optimum değerlerin uygulanabilirliği mümkün olamayacaktır.

Tablo 3.20. Wagner Whitin yöntemine ait üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7112 | 7.282 | 7.282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4763 | 4.933 | 4.933 |
| 4011574 | 6.026 | 21.439 | | | 10.777 | |
| 4011587 | 12.931 | | | 10.826 | | |

Tablo 3.21. Silver Meal yöntemine ait sipariş miktarı hesaplaması 1.basamak devamı

| Periyot | Ürün | Talep | Elde Bulundurma Maliyeti | Sipariş Maliyeti | Toplam Elde Bulundurma Maliyeti | Toplam Maliyet | Ortalama Toplam Maliyet |
|---------|---------|--------|--------------------------|------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------|
| 0 | 4015018 | 672 | 1,61 | 227 | 0 | 227 | 227 |
| 1 | 4015018 | 924 | 1,61 | 227 | 1.489 | 1.716 | 858 |
| 2 | 4015018 | 336 | 1,61 | 227 | 2.571 | 2.798 | 933 |
| 3 | 4015018 | 420 | 1,61 | 227 | 4.601 | 4.828 | 1.207 |
| 4 | 4015018 | 504 | 1,61 | 227 | 7.849 | 8.076 | 1.615 |
| 5 | 4015018 | 504 | 1,61 | 227 | 11.909 | 12.136 | 2.023 |
| | | | | | | | |
| 0 | 4011575 | 8.143 | 0,40 | 1200 | 0 | 1.200 | 1.200 |
| 1 | 4011575 | 14.916 | 0,40 | 1200 | 5.984 | 7.184 | 3.592 |
| 2 | 4011575 | 6.943 | 0,40 | 1200 | 11.555 | 12.755 | 4.252 |
| 3 | 4011575 | 7.112 | 0,40 | 1200 | 20.116 | 21.316 | 5.329 |
| 4 | 4011575 | 7.282 | 0,40 | 1200 | 31.802 | 33.002 | 6.600 |
| 5 | 4011575 | 7.282 | 0,40 | 1200 | 46.410 | 47.610 | 7.935 |
| | | | | | | | |
| 0 | 4011588 | 3.445 | 0,37 | 1200 | 0 | 1.200 | 1.200 |
| 1 | 4011588 | 9.435 | 0,37 | 1200 | 3.510 | 4.710 | 2.355 |
| 2 | 4011588 | 4.594 | 0,37 | 1200 | 6.929 | 8.129 | 2.710 |
| 3 | 4011588 | 4.763 | 0,37 | 1200 | 12.245 | 13.445 | 3.361 |
| 4 | 4011588 | 4.933 | 0,37 | 1200 | 19.587 | 20.787 | 4.157 |
| 5 | 4011588 | 4.933 | 0,37 | 1200 | 28.763 | 29.963 | 4.994 |
| | | | | | | | |
| 0 | 4011574 | 6.026 | 0,42 | 4560 | 0 | 4.560 | 4.560 |
| 1 | 4011574 | 11.038 | 0,42 | 4560 | 4.614 | 9.174 | 4.587 |
| 2 | 4011574 | 5.138 | 0,42 | 4560 | 8.909 | 13.469 | 4.490* |
| 3 | 4011574 | 5.263 | 0,42 | 4560 | 15.509 | 20.069 | 5.017 |
| 4 | 4011574 | 5.389 | 0,42 | 4560 | 24.519 | 29.079 | 5.816 |
| 5 | 4011574 | 5.389 | 0,42 | 4560 | 35.781 | 40.341 | 6.724 |
| | | | | | | | |
| 0 | 4011587 | 2.550 | 0,39 | 4560 | 0 | 4.560 | 4.560 |
| 1 | 4011587 | 6.982 | 0,39 | 4560 | 2.711 | 7.271 | 3.635 |
| 2 | 4011587 | 3.399 | 0,39 | 4560 | 5.350 | 9.910 | 3.303* |
| 3 | 4011587 | 3.525 | 0,39 | 4560 | 9.455 | 14.015 | 3.504 |
| 4 | 4011587 | 3.650 | 0,39 | 4560 | 15.123 | 19.683 | 3.937 |
| 5 | 4011587 | 3.650 | 0,39 | 4560 | 22.209 | 26.769 | 4.461 |

Tablo 3.22. Silver Meal yöntemine ait üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7112 | 7.282 | 7282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4763 | 4.933 | 4933 |
| 4011574 | 22.202 | | | 16041 | | |
| 4011587 | 12.931 | | | 10826 | | |

TM = Sipariş maliyeti +elde bulundurma maliyeti = 39.726 + 25.387 = 62.113 TL olarak gerçekleşecektir.

3.1.11. Çok seviyeli optimizasyon yöntemi

Bu yöntemin özelliği ulaşılmak istenen hedefin matematiksel ifadesi olan ençok veya en az ile başlayan bir amaç denklemi ve bu denklemin sonucuna ulaşmak için kullanılan bir dizi eşitlik ve/veya eşitsizlikten oluşan bir yöntem olmasıdır. Amaç fonksiyonu ve kısıtların doğru kurgulanması halinde optimal sonuca ulaşılmasını sağlar.

Çözüm ise, toplam 216 kısıt ve 144 (168 olan değişken sayısı programın versiyonunun kısıtlamaları nedeniyle formüller girilirken raf ömrü gibi belirli olan 25 tanesinin sayı olarak girilmesi ile 144'e düşürülmüştür.) kısıt ile 17 dakika süresince ve 1.233.304 iterasyonun sonucunda elde edilmiştir.

Uygulama örneğinde kullanılan yöntemin özet matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibidir.

Değişkenler:

A: 4015016 numaralı ürün

B: 4015017 numaralı ürün

C: 4015018 numaralı ürün

D: 5011575 numaralı yarı ürün
 E: 4011588 numaralı yarı ürün
 F: 4011574 numaralı yarı ürün
 G: 4011587 numaralı yarı ürün
 S: Hazırlık maliyeti
 h: Elde bulundurma maliyeti
 D: Talep
 X: Üretim miktarı
 L: Stok miktarı
 Y: Üretim durumu (0 veya 1)
 m: Yarı ürünün bir üst seviye için kullanım miktarı

İndisler:

i: A'dan D'ye kadar mamul/yarımamul
 j: 0'dan 5'e kadar periyot sayısı
 k: E'den D'ye kadar yarımamul kodu
 r: Raf ömrü

Amaç fonksiyonu: $\min \sum SiYij + \sum hiLij$

Kısıtlar:

$Xij + Lij-1 - Dij \Rightarrow 0$ “Üretim miktarı + dönem başı stok - talep $\Rightarrow 0$ ”
 $Lij-1 + Xij - Lij - Dij = 0$ “Dönem başı stok + üretim miktarı – dönem sonu stok - talep = 0”
 $Dkj = \sum mik * Xij$ “Yarı ürün ihtiyacı = Yarı mamul kullanım miktarı * Bir üst seviye üretim ihtiyacı”
 $Xij - Myij \leq 0$ “Üretim yok ise hazırlık maliyeti 0'dır”
 $Xij, Lij, Dij \Rightarrow 0$ “Hiçbir kısıt negatif değer alamaz”
 Integer Yij “Hazırlık maliyeti var ya da yoktur.”

Tablo 3.23. Çok seviyeli optimizasyon yöntemine ait üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.096 | 21.726 | | 7.069 | 14.478 | |
| 4011588 | 3.431 | 13.950 | | 4736 | 9.812 | |
| 4011574 | 5.992 | 21.308 | | | 10.714 | |
| 4011587 | 12.862 | | | 10.766 | | |

TM = Sipariş maliyeti +elde bulundurma maliyeti = 36.846 + 19368 = 55.864 TL olarak gerçekleşecektir.

3.2. Raf Ömrü Kısıdına Bağlı Olarak Parti Büyüklüğü Belirleme Uygulaması

Yukarıdaki örneklerde yapılan incelemelerde göze çarpan en önemli noktalardan biri daha öncede belirtildiği gibi özellikle 2. seviye yarı ürünler için elde edilen sonuçların büyük ölçüde kullanmaya uygun olmayışıdır. Bu problemin giderilebilmesi için önerilen görüşlere daha önce bölüm 2.5' de yer verilmişti. Uygulama noktasında ise Nahmias'ın 1982 [102] yılında yayınlanan çalışmasında belirttiği üzere uygulama açısından pratik olan bir yöntem olan ve uygulanan yöntemin önerdiği parti büyüklüğü ile ürünün raf ömrü içerisindeki talebinin karşılaştırılıp en küçüğünün seçilmesine yönelik yaklaşım belirlenerek hesaplama yapılmıştır.

Uygulama esnasında modellerin kendi varsayımlarının yanı sıra raf ömrünün sabit olduğu ve zamana bağlı olarak bozulma oranını değişmediği, bozulan ürünlerin tekrar onarılması veya kullanılmasının mümkün olmadığı varsayılmıştır.

İhtiyaç kadar sipariş verme, periyodik sipariş miktarı ve ekonomik sipariş miktarı yöntemlerinde elde edilen veriler raf ömrünü aşacak süredeki talebi kapsamadığı için bu yöntemlerin tekrar incelenmesine gerek duyulmamıştır.

Mamul ve yarımamullerin raf ömürleri ise;

- 0. seviye için 18 ay
- 1. seviye için 90 gün
- 2. seviye için 60 gündür.

3.2.1. Değiştirilmiş ESM yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi

Yönteme ait hesaplama tekniği ve adımları daha önceki bölümde açıklandığı için tekrar yer verilmeyecektir. İlk hesaplama esnasında 4. seviyede karşılaşılan raf ömrünü aşacak süreyi kapsayan talep durumunu düzelterek tekrar hesaplama yapılırsa yönteme ait talep miktarları aşağıdaki gibi olacaktır.

Tablo 3.24. Değiştirilmiş ESM yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7.112 | 7.282 | 7.282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4.763 | 4.933 | 4.933 |
| 4011574 | 17.064 | | 10.401 | | 10.777 | |
| 4011587 | 9.532 | | 6.924 | | 7.300 | |

$$TM = \text{Sipariş maliyeti} + \text{elde bulundurma maliyeti} = 45.846 + 20.640 = 66.486 \text{ TL}$$

3.2.2. En düşük birim maliyet yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi

En düşük birim maliyet yönteminin uygulanması ile elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibidir. Tabloda dikkati çeken en önemli özellik değiştirilmiş ekonomik sipariş miktarı yöntemi ile aynı sonucu vermiş olmasıdır.

3.2.3. En düşük toplam maliyet yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi

En düşük toplam maliyet yönteminin uygulanması ile elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibidir. Diğer yöntemlerde olduğu gibi bu yöntemde de 0. ve 1. Seviyelerde

farklılık oluşmamış fakat 2. seviye yarı ürünlerde meydana gelen değişiklik dikkat çekici ölçüdedir.

Tablo 3.25. En düşük birim maliyet yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7.112 | 7.282 | 7.282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4.763 | 4.933 | 4.933 |
| 4011574 | 17.064 | | 10.401 | | 10.777 | |
| 4011587 | 9532 | | 6924 | | 7300 | |

$$TM = \text{Sipariş maliyeti} + \text{elde bulundurma maliyeti} = 45.846 + 20.640 = 66.486 \text{ TL}$$

Tablo 3.26. En düşük toplam maliyet yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 14.055 | | 14.564 | |
| 4011588 | 12.881 | | 9.357 | | 9.866 | |
| 4011574 | 17.064 | | 10.401 | | 10.777 | |
| 4011587 | 9.532 | | 6.924 | | 7.301 | |

$$TM = \text{Sipariş maliyeti} + \text{elde bulundurma maliyeti} = 39.846 + 19.379 = 59.225 \text{ TL}$$

olarak gerçekleşecektir.

3.2.4. Parça periyot dengeleme yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi

Parça periyot dengeleme yönteminin raf ömrüne bağlı olarak yeniden incelenmesi sonucu elde edilen tablo aşağıdaki gibidir. Burada ilginç olan nokta ise optimal sonucu verdiği düşünülen Wagner Whitin yönteminden daha düşük maliyetli bir sonuç elde edilmiş olmasıdır. Buna neden olarak ise Wagner Whitin yönteminin tek aşamalı olarak tasarlanmış olması ve bir üst seviyede sağlanan optimizasyonun bir alt

seviyenin talebini etkilemesi nedeni ile tüm sistem için en iyi sonucu veremeyebilmesidir.

Tablo 3.27. Parça periyot dengeleme yönteminin raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 14.055 | | 14.564 | |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 9.357 | | 9.866 | |
| 4011574 | 17.064 | | 10.401 | | 10.777 | |
| 4011587 | 9.532 | | 6.924 | | 7.300 | |

TM = Sipariş maliyeti +elde bulundurma maliyeti = 44.910+ 30.007 = 74.917 TL olarak gerçekleşecektir.

3.2.5. Wagner Whitin yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi

Wagner Whitin yöntemi daha öncede belirtildiği gibi tüm seçenekleri değerlendirmesi nedeniyle optimal sonucu verdiği ifade edilen bir yöntemdir. Fakat tüm diğer yöntemler de olduğu gibi bu yöntemde de sonucun doğruluğu yöntemin varsayımları altında sağlanabilir. Bu örnekte olduğu gibi ilave kısıtlar yöntemin sonucu üzerinde etkili olmaktadır. Wagner Whitin yöntemine ait raf ömrüne bağlı olarak yeniden hesaplanmış parti büyüklüğü değerleri aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

Tablo 3.28. Wagner Whitin yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7.112 | 7.282 | 7.282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4.763 | 4.933 | 4.933 |
| 4011574 | 6.026 | 16.176 | | 10.651 | | 5.388 |
| 4011587 | 9.532 | | 6.924 | | 7.300 | |

TM = Sipariş maliyeti +elde bulundurma maliyeti = 50.436+ 9.896 = 60.301 TL olarak gerçekleşecektir.

3.2.6. Silver Meal yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi

Silver Meal yöntemine ait raf ömrüne bağlı olarak yeniden hesaplanmış değerler aşağıdaki tabloda verildiği gibidir.

TM = Sipariş maliyeti +elde bulundurma maliyeti = 45846+ 14563 = 60.408 TL olarak Wagner Whitin ile bulunana çok yakın bir değerde gerçekleşecektir.

Tablo 3.29. Silver Meal yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 5.220 | 2.700 | 2.700 | 2.700 | 2.700 |
| 4015018 | 672 | 924 | 336 | 420 | 504 | 504 |
| 4011575 | 8.143 | 14.916 | 6.943 | 7.112 | 7.282 | 7.282 |
| 4011588 | 3.445 | 9.435 | 4.594 | 4763 | 4.933 | 4.933 |
| 4011574 | 17.064 | | 10.401 | | 10.777 | |
| 4011587 | 9.532 | | 6.924 | | 7.300 | |

3.2.7. Çok seviyeli optimizasyon yönteminin raf ömrüne bağlı tekrar incelenmesi

Daha önce raf ömrü dikkate alınmadan yapılan hesaplama ilişkin formüller ve sonuçlara yer verilmişti. Bu aşamada ise ürün veya yarı ürünün raf ömrünün ötesindeki talepleri üretmeye müsaade etmeyecek şekilde formüllere ilave bir kısıt eklenerek aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Burada n periyot cinsinden raf ömrünü ifade eden sayıdır.

Çözüm ise, toplam 240 kısıt ve 145 (173 olan değişken sayısı programın versiyonunun kısıtlamaları nedeniyle formüller girilirken raf ömrü gibi belirli olan 25 tanesinin sayı olarak girilmesi ile 145'e düşürülmüştür.) kısıt ile 16 dakika süresince ve 932.174 iterasyonun sonucunda elde edilmiştir.

Bu düzenleme sonucu üretim miktarları ve elde bulundurma, sipariş maliyetleri değişmiş fakat toplam maliyet çok az miktarda değişmiştir.

$$\min \sum SiYij + \sum hiLij$$

Kısıtlar:

$$Xij + Lij-1 - Dij \Rightarrow 0$$

$$Lij-1 + Xij - Lij - Dij = 0$$

$$Dzj - \sum miz * Xij = 0$$

$$Xij \leq \sum_{r=0}^n Di(j+r)$$

$$Xij - Myij \leq 0$$

$$Xij, Lij, Dij \Rightarrow 0$$

Integer Yij

Tablo 3.30. Çok seviyeli optimizasyon yöntemini raf ömrü kısıdına göre üretim miktarları

| Dönemler | | | | | | |
|----------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| Ürünler | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4015016 | 4.680 | 9.000 | 4.320 | 4.320 | 4.320 | 4.320 |
| 4015017 | 1.440 | 7.920 | | 2.700 | 5.400 | |
| 4015018 | 672 | 1260 | | 420 | 1008 | |
| 4011575 | 8.096 | 21.726 | | 7069 | 14.478 | |
| 4011588 | 3.431 | 13950 | | 4736 | 9.812 | |
| 4011574 | 5.992 | 16067 | | 15944 | | |
| 4011587 | 12862 | | | 10766 | | |

TM = Sipariş maliyeti + elde bulundurma maliyeti = 35578 + 20286 = 55.864 TL olarak gerçekleşecektir.

3.3. Parti Büyüklüğü Belirleme Yöntemlerinin Performanslarının İncelenmesi

Bir önceki kısımda parti büyüklüğü belirlemede kullanılan başlıca yöntemler raf ömrüne bağlı olarak ve raf ömründen bağımsız olarak iki farklı şekilde ele alınmış ve sonuçlar incelenmiştir. Bu bölümde ise bu yöntemlerin hesaplama sonuçlarına özet

olması amacı ile genel bir bakışa yer verilmiştir. Değerlendirmeye konu olarak seçilen kriterler ise aşağıda verildiği gibidir:

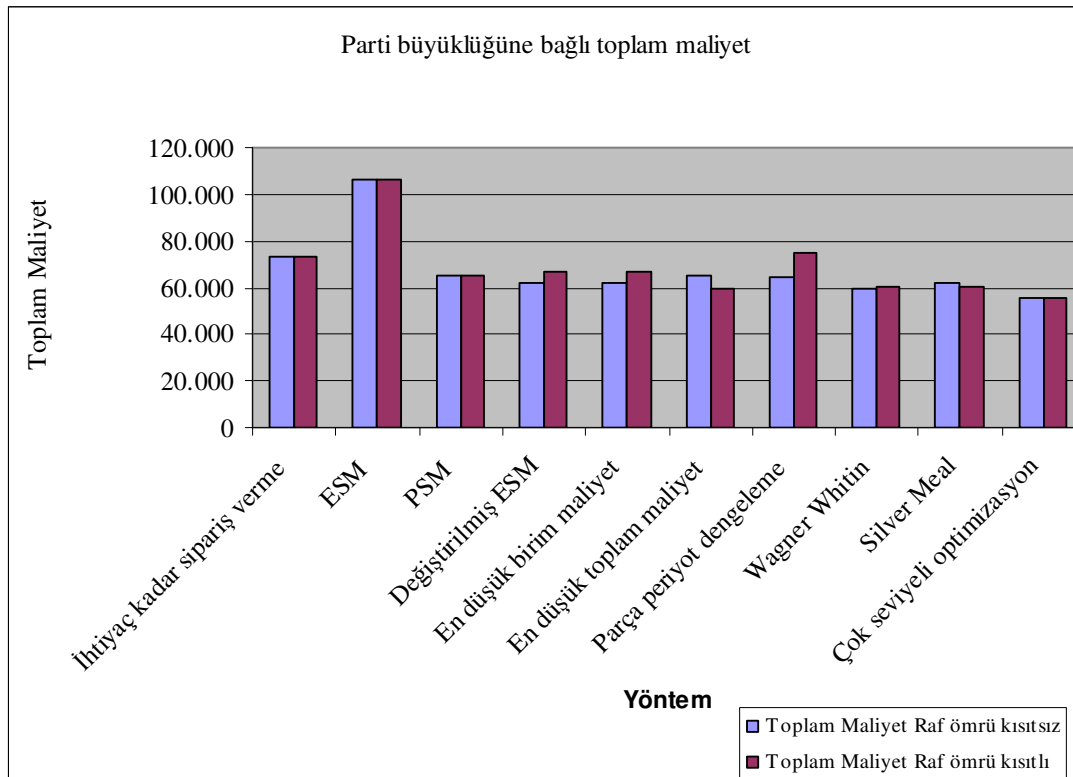
- Toplam maliyet: Kar amacı güden işletmelerin en çok üzerinde durdukları konulardan birisi de toplam maliyettir. Bu nedenle birincil amaç toplam maliyet enküçülenmesidir.
- Sipariş verme maliyeti: Büyük miktarlarda az sayıda parti halinde üretim yapmanın avantajı sipariş verme maliyetini düşürmesidir. Ürüne değer katmayan tüm diğer maliyetlerde olduğu gibi sipariş verme maliyeti de işletmeler tarafından katlanılmak istenmeyen bir unsurdur.
- Elde bulundurma maliyeti: Stok taşıma veya elde bulundurma maliyeti sipariş verme maliyetinin aksine parti büyüklüklerinin arttırılıp parti sayısının azaltılması sonucu artar. Özellikle bozulabilen ve depolama koşullarına çok hassas ürünler üreten işletmelerde mümkün olduğunca istenmeyen bir maliyet türüdür.
- Sipariş sayısı: Sipariş sayısının artışı ilave sipariş maliyetine katlanması ve ürün değişimi anlamına geleceği için en küçüklenilmeye çalışılan bir diğer maliyet unsurudur. Sipariş sayısının artması ve hatta üretilen ürünün değişimi ilave temizlik, hazırlık ve makine ayarlanması, kalıp değişimi, hammadde değişimi gibi bir dizi işlemi daha beraberinde getirdiği için istenmeyen bir prosestir. Bu nedenle değerlendirme kriterleri arasında yer verilmiştir.

Tablo 3.31. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin toplam maliyetlerine göre kıyaslanması

| Yöntem | Toplam Maliyet | |
|-----------------------------|-------------------|------------------|
| | Raf ömrü kısıtsız | Raf ömrü kısıtlı |
| İhtiyaç kadar sipariş verme | 73.206 | 73.206 |
| ESM | 106.045 | 106.045 |
| PSM | 65.047 | 65.047 |
| Değiştirilmiş ESM | 61.901 | 66.486 |
| En düşük birim maliyet | 61.901 | 66.486 |
| En düşük toplam maliyet | 65.013 | 59.225 |
| Parça periyot dengeleme | 64.765 | 74.917 |
| Wagner Whitin | 59.773 | 60.301 |
| Silver Meal | 62.113 | 60.408 |
| Çok seviyeli optimizasyon | 55.864 | 55.957 |

Tablo 3.31 ve Şekil 3.2’de görüleceği üzere ESM yöntemi toplam maliyet açısından en yüksek maliyetli yöntem olarak dikkati çekmektedir. Bunun nedeni 0. seviye için sipariş verme maliyetlerinin elde bulundurma maliyetine göre düşük olması nedeniyle çıkan ekonomik sipariş miktarlarının çok düşük olması, diğer seviyelerde ise çok yüksek sipariş maliyetleri nedeniyle ESM değerlerinin çok yüksek çıkması ve elde bulundurma maliyetlerinin artışıdır. En düşük toplam maliyet değeri ise Wagner Whitin değil, kurulan optimizasyon denklemi tarafından sağlanmıştır.

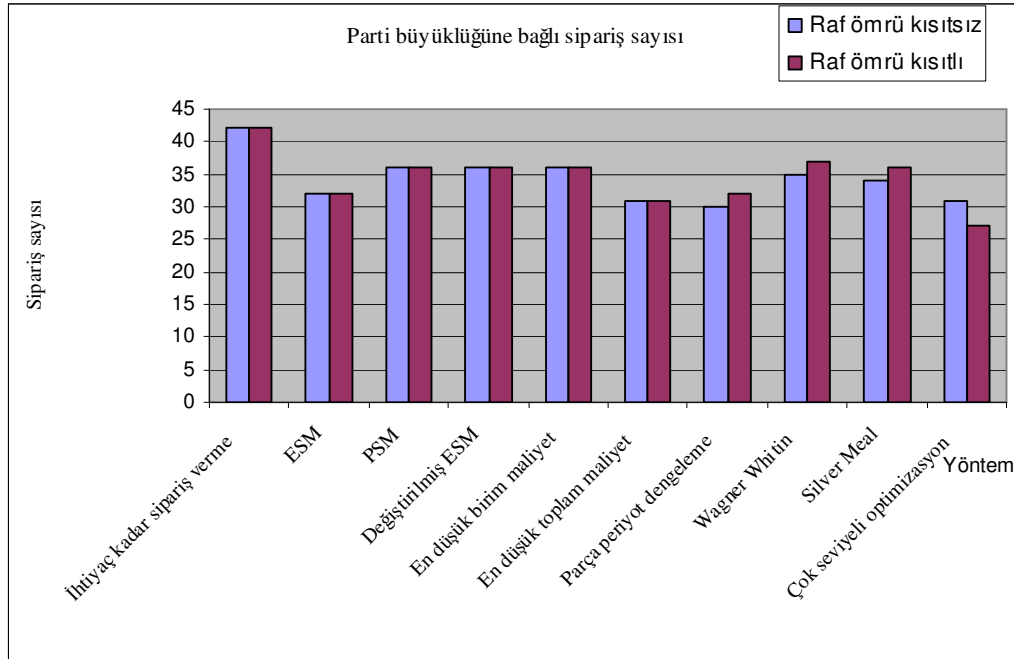
Şekil 3.3 ve Tablo 3.32’de ise yöntemlere göre sipariş sayılarına yer verilmiştir. Şaşırtıcı olan ESM yönteminin önerdiği sipariş sayısını kesikli sipariş miktarı/ihtiyaç kadar sipariş verme yönteminden fazla oluşudur. Bunun nedeni toplam maliyet grafiği açıklanırken verilmiştir. Burada dikkati çeken nokta diğer yöntemlere raf ömrü kısıdı eklenmesi durumunda sipariş sayısında artış gözlemlenirken optimizasyon ile elde edilen sonuçlara raf ömrünün kısıt olarak eklenmesi durumunda sipariş sayısında azalma olmasıdır.



Şekil 3.2. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin toplam maliyetlerine göre kıyaslanması

Tablo 3.32. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sipariş sayısına göre kıyaslanması

| Yöntem | Sipariş Sayısı | |
|-----------------------------|-------------------|------------------|
| | Raf ömrü kısıtsız | Raf ömrü kısıtlı |
| İhtiyaç kadar sipariş verme | 42 | 42 |
| ESM | 32 | 32 |
| PSM | 36 | 36 |
| Değiştirilmiş ESM | 36 | 36 |
| En düşük birim maliyet | 36 | 36 |
| En düşük toplam maliyet | 31 | 31 |
| Parça periyot dengeleme | 30 | 32 |
| Wagner Whitin | 35 | 37 |
| Silver Meal | 34 | 36 |
| Çok seviyeli optimizasyon | 31 | 27 |



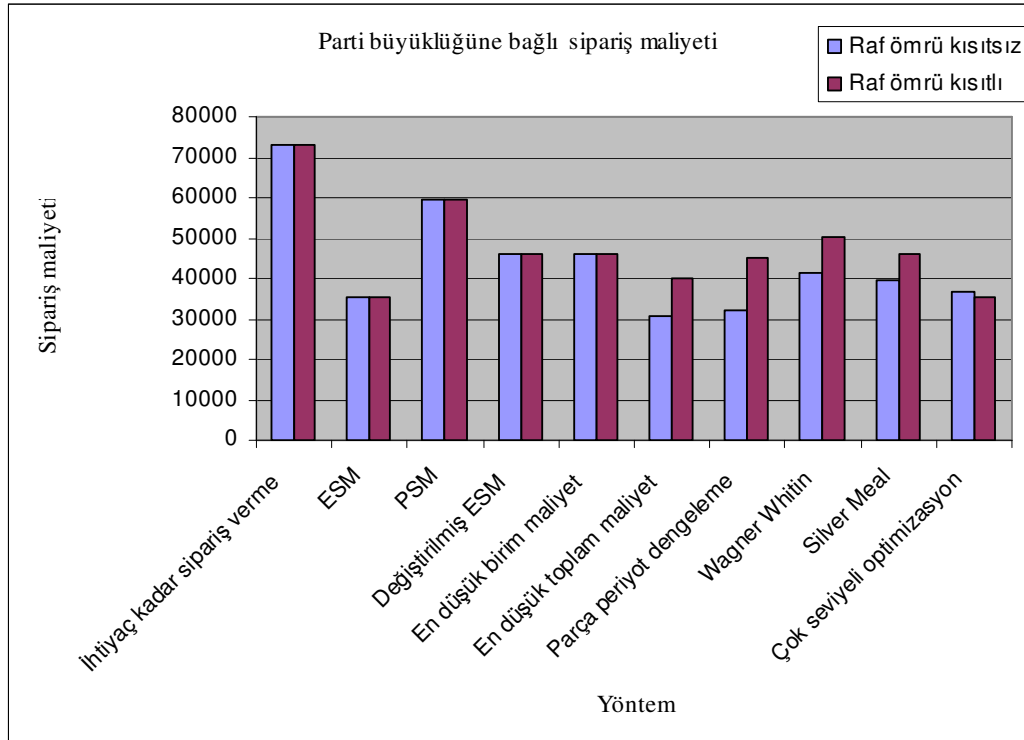
Şekil 3.3. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sipariş sayısına göre kıyaslanması

Sipariş verme maliyetlerine göre kıyaslama yapıldığında beklendiği gibi her periyotta ihtiyaç miktarı kadar sipariş verilemesinin sipariş maliyeti diğer yöntemlere göre çok daha yüksek olmaktadır. Ardından ise PSM yöntemi en yüksek sipariş verme maliyetine sahip yöntem olarak gözlemlenmektedir. Sipariş verme maliyetinin en

Tablo 3.33. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sipariş maliyetlerine göre kıyaslanması

| Yöntem | Sipariş maliyeti | |
|-----------------------------|-------------------|------------------|
| | Raf ömrü kısıtsız | Raf ömrü kısıtlı |
| İhtiyaç kadar sipariş verme | 73.206 | 73.206 |
| ESM | 35.299 | 35.299 |
| PSM | 59.526 | 59.526 |
| Değiştirilmiş ESM | 45.846 | 45.846 |
| En düşük birim maliyet | 45.846 | 45.846 |
| En düşük toplam maliyet | 30.726 | 39.846 |
| Parça periyot dengeleme | 31.926 | 44.910 |
| Wagner Whitin | 41.286 | 50.436 |
| Silver Meal | 39.726 | 45.846 |
| Çokseviyeli optimizasyon | 36.846 | 35.578 |

düşük olarak gerçekleştiği durum raf ömrünün dikkate alınmaması durumunda en düşük birim maliyet yöntemi iken, raf ömrünün dahil edilmesi durumunda optimizasyon sonucu elde edilen maliyet en düşük değer olarak hesaplanmıştır.

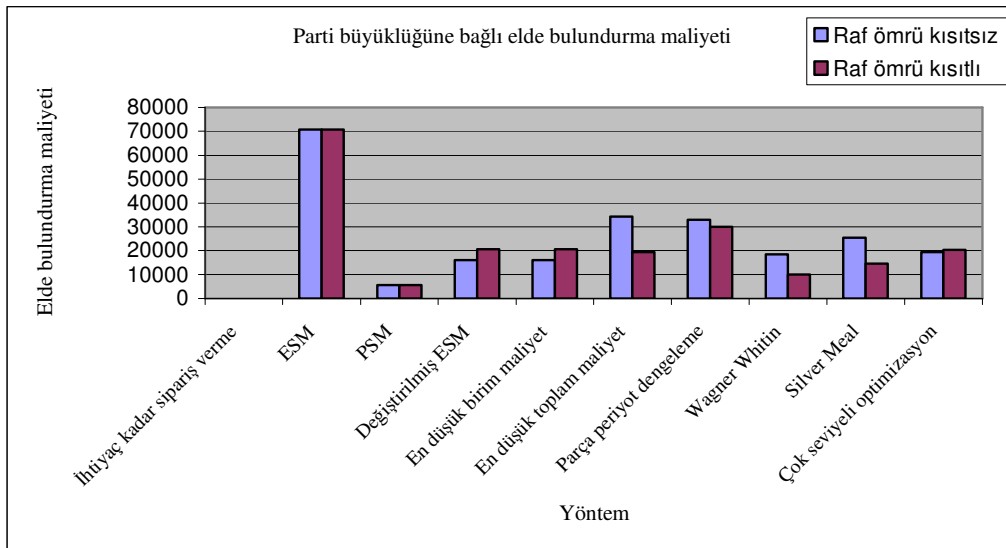


Şekil 3.4. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin sipariş maliyetlerine göre kıyaslanması

Tablo 3.34. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin elde bulundurma maliyetlerine göre kıyaslanması

| Yöntem | Elde bulundurma maliyeti | |
|-----------------------------|--------------------------|------------------|
| | Raf ömrü kısıtsız | Raf ömrü kısıtlı |
| İhtiyaç kadar sipariş verme | 0 | 0 |
| ESM | 70.746 | 70.746 |
| PSM | 5.521 | 5.521 |
| Değiştirilmiş ESM | 16.055 | 20.640 |
| En düşük birim maliyet | 16.055 | 20.640 |
| En düşük toplam maliyet | 34.287 | 19.379 |
| Parça periyot dengeleme | 32.840 | 30.007 |
| Wagner Whitin | 18.487 | 9.896 |
| Silver Meal | 25.387 | 14.563 |
| Çok seviyeli optimizasyon | 19.368 | 20.379 |

Elde bulundurma maliyetine göre yapılan incelemede ise her periyodun ihtiyacını o periyot içerisinde karşılanması durumunda elde bulundurma maliyeti 0 sıfır olarak gerçekleşeceğinden en iyi sonucu ihtiyaç miktarı kadar sipariş verme yöntemi ile



Şekil 3.5. Parti büyüklüğü belirleme yöntemlerinin elde bulundurma maliyetlerine göre kıyaslanması

elde edilmiştir. ESM yöntemi dönem planlama dönem sonu stokların yüksekliği ve planlama ufku sonunda elde bulunan ürün/yarı ürün miktarının fazlalığı nedeniyle çok yüksek maliyet değerleri vermiştir. PSM ve Wagner Whitin yöntemleri elde bulundurma maliyetinin düşük olduğu diğer yöntemlerdir.

BÖLÜM 4. SONUÇ ve ELEŞTİRİLER

4.1. Sonuç

Hangi üründen ne miktarda ve ne zaman üretileceği kararı imalat işletmesi yönetiminin en önemli kararlarından biri olmaya devam etmektedir. Doğru kriterler eşliğinde yapılacak analiz ve bu analizlerin sonucunda alınacak rasyonel kararlar ile işletmede maliyet düşürme, işgücü tasarrufu, zaman tasarrufu ve bunun sonucunda gelecek kar artışı sağlanabilir.

Bu çalışmada ise belirtilen nedenlerden hareketle çok ürünlü ve ürünlerin belirli bir süre sonunda bozulmaya uğradığı, çok seviyeli bir sistem üzerinde, sipariş verme maliyetleri ve elde bulundurma maliyetleri göz önünde bulundurularak toplam maliyetler eniyenilmeye çalışılmıştır.

Uygulamadan elde edilen veriler ışığında yapılan tespitlerden ilki, nihai üründen alt seviye ihtiyaçları hesaplanırken, seviyeler arasındaki uyumun sağlanması gerekliliği hususun ne derece önemli olduğudur. Böylelikle tüm seviyeleri birden hesaba katmayan yöntemlerde, ilk seviyeden başlanarak parti büyüklüklerinin tespit edilmesinin ardından, ancak bir sonraki seviyelere geçilmesi anlamlı sonuçlar verebilmektedir.

Elde edilen bir diğer önemli sonuç ise en iyi sonucu verdiği düşünülen yöntemlerin tüm firmalar için birebir uygulanabilirliklerinin olmadığı, firma özelliklerine göre ilave düzenlemelere ihtiyaç duyulabileceğidir. Bu noktada ise bir gıda işletmesinin verilerinden yola çıkılarak, hesaplama konu olan yöntemlerin önerilerinin bozulma ve ürün kaybı ile sonuçlanabileceği görülmüştür.

Çalışmanın sonuçlarından birisi diğeri ise tek seviyeli hesaplamaların sistemin tamamını değil bir kısmını eniyilemeye yönelik olduğu ve en iyi sonucu verdiği düşünülen Wagner Whitin algoritmasının çok seviyeli ve ürünlerin etkileşim içerisinde olduğu bir sistemde en iyi sonucu vermediğidir.

Steinberg ve Napier'in önerdiği yöntemden yola çıkılarak geliştirilen çok seviyeli, çok ürünlü, ürünlerde bozulmaya izin verilmeyen bir doğrusal programlama algoritması yardımı ile sistemin bir bütün olarak maliyetleri enküçüklenilmiş ve bahsi geçen olumsuzluklar algoritmaya dahil edilen kısıtlar yardımı ile giderilmeye çalışılmıştır.

4.2. Tartışma ve Öneriler

Tez kapsamında değerlendirilemeyen fakat ilerleyen dönemlerde incelenerek geliştirilebilecek yönleri ise şu şekilde özetlenebilir:

Mevcut sistemde kapasite darboğazı bulunmadığından sisteme dahil edilmeyen kapasite kısıdı, incelemeye konu olan ürünlerin işlendiği hatların kapasitesi kısıt olarak programa ilave edilerek, önerilen yöntemlerin kapasite açısından olurluğu incelenebilir.

Tezin hazırlanması esnasında kabul edilen raf ömrünün sabit olduğu ve ürünün bu süre sonuna kadar değer kaybetmediği varsayımı her ürün türü için geçerli olmayabilir. Bu nedenle bozulma oranı veya raf ömrünün sabit olmadığı ve ürünün stokta beklediği süre içerisinde değer kaybettiği sistemlere uygun olarak geliştirilmesi mümkündür.

Bir diğer geliştirilebilecek yön olarak talebin kesin değil olasılıklı olduğu sistemler incelemeye dahil edilerek belirsizliğin daha yüksek olduğu sistemler için yöntemin yeniden düzenlenmesi faydalı olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] VOLLMAN, T., BERRY W. L., WHYBARK, D. C., Manufacturing planning and control systems, 3rd Edition, McGraw-Hill, pp. 440-468, Boston, 1991.
- [2] ULLAH, H., ;PARVEEN, S., A literature review on inventory lot sizing problems, Global Journal of Researches in Engineering, 10 (5), pp. 21-36, 2010.
- [3] SCHROEDER, R. G., Operations management: Decision making in the operations functions, 4th Edition, McGraw-Hill, pp. 586, New York, 1993.
- [4] MABERT, V. A., The early road to material requirements planning, Journal of Operations Management, 25, pp. 346–356, 2007.
- [5] EROĞLU, A., Deterministik envanter modelleri, Fakülte Kitabevi, sf. 6, Isparta, 2002.
- [6] RUSSEL, R., TAYLOR, B.W., Operation management 5th edition, Prentice Hall International, Inc., s. 531-542, U.S.A, 2006.
- [7] SIPPER, D., BULFIN, R.L., Production: Planning, control and integration, McGraw-Hill, pp. 205-261, U.S.A, 1997.
- [8] WAGNER, H.M., WHITIN, T., Dynamic version of economic lot sizing model, Management Science, 5(1), pp. 89-96, 1958.
- [9] ZANGWILL, W.J., Deterministic multi product, multi period production scheduling model with backlogging, Management Science,13(1), pp. 105-109, 1996.
- [10] SILVER, E., MEAL, H., A heuristic for selecting lot size quantities for deterministic time-varying demand rate and discrete opportunities for replenishment, Journal of Production and Inventory Management, 4(2), pp. 64-74, 1973.
- [11] EROL, S., EROL, Y., A decision network approach to solve single stage dynamic lot size problems, International Conference on Modeling and Simulation, pp. 569-577, 1993.

- [12] DENİZEL, M., ERENGÜÇ, D., BENSON, H., Dynamic lot sizing with set up cost reduction, *EJOR*, 48(2) pp.129-139, 1997.
- [13] FLORIAN, M., KLEIN, M., Deterministic production planning with concave costs and capacity constraints., *Management Science*, 18(1), pp.12-19, 1971.
- [14] MAES, J., VAN WASSENHOVE, L.N., Capacitated dynamic lot sizing heuristics for serial systems, *International Journal of Production Research*, 29(6), pp.1235-1249, 1991.
- [15] NEWSON, P.P., Multi-item lot size scheduling by heuristic part I: With fixed resources, *Management Science*, 21(10), pp.1186-1193, 1975.
- [16] NEWSON, P.P., Multi-item lot size scheduling by heuristic part II: With variable resources, *Management Science*, 21(10), pp.1194-1202, 1975.
- [17] BAKER, K.R., DIXON, P., An algorithm for the dynamic lot size problem with time varying production capacity constraints, *Management Science*, 24(16), pp.1710-1720, 1978.
- [18] DOĞRAMACI, A., PANAYIOTOPULOS, J.E., ADAM, N.R., The dynamic lot sizing problem for multiple items under limited capacity, *AIIE Transactions*, 13(4), pp.294-303, 1981.
- [19] BITRAN, G., YANASSE, H., Computational complexity of the capacitated lot size problem, *Management Science*, 28(10), pp.1174-1186, 1982
- [20] KARNI, R., ROLL, Y.A., A heuristic algorithm for the multi-item lot-sizing problem with capacity constraints, *IIE Transactions*, 14(4), pp.249-256, 1982.
- [21] BARANY, I., RAY, T.J., WOLSEY, L.A, Strong formulations for multi-item capacitated lot sizing, 30(10), pp.1255-1261, 1984.
- [22] EPPEN, G.D., MARTIN, R.K., Solving multi item capacitated lot sizing problems using variable definition, *Operation Research*, 35(6), pp.832-846, 1987
- [23] THIZY, J.M., VAN WASSENHOVE, L.N., Lagrange relaxation for multi item capacitated lot sizing problem: A heuristic implementation. *IIE Transactions*, 17(4), pp.308-313, 1985

- [24] MAES, J., VAN WASSENHOVE, L.N., A simple heuristic for the multi item single level capacitated lot sizing problem, *Operation Research Letters*, 29(6), pp.265-273,1986.
- [25] CHUNG, C., LIN, C.M., An $O(T^2)$ Algorithm for the NI/GNI/ND/capacitated lot size problem, *Management Science*, 34(3), pp.420-426, 1988.
- [26] TRIGERIO, W.W., THOMAS, L.J., MCCLAIN J. G., Capacitated lot sizing with setup times, *Management Science*, 3(3), 1989.
- [27] KIRCA, Ö., An efficient algorithm for capacitated single item dynamic lot sizing, *European Journal of Operation Research*, 92(26), pp.26-37, 1992.
- [28] KIRCA, Ö., KÖKTEN, M., A new heuristic approach for the multi item dynamic lot sizing problem, *European Journal of Operation Research*, 45, pp.15-24, 1990.
- [29] HEADY, R., ZHU, Z., An improved implementation of the Wagner-Whitin algorithm, *Production and Operation Management*, 3(1), pp.55-63, 1994.
- [30] GANAS, I., PAPACHRISTOS, S., Analytical evaluation of heuristics performance for single level lot sizing problem for products with constant demand, *International Production Economics*, 48, pp.1299-1398, 1997.
- [31] RADZI, H.M., HARON, H., Lot sizing using neural network approach, *Second IMT-GT Regional Conference on Mathematics, Statistics and Applications*, Universiti Sains Malaysia, Malaysia, pp. 13-15, 2006.
- [32] SALVIETTI, L., SMITH, N.R., A profit-maximizing economic lot scheduling problem with price optimization purchase, *European Journal of Operational Research*, 184(3), pp. 900-914, 2008.
- [33] MADAN, M.S. CHENG, C.H., YIP, E., MOTWANI, J., An improved heuristic for the capacitated lot-sizing problem, *International Journal of Operational Research*, 7(1), pp. 90-108, 2010.
- [34] NARAYANAN, A., ROBINSON, P., Efficient and effective heuristics for the coordinated capacitated lot-size problem, *European Journal of Operational Research*, 203(3), pp. 583-592, 2010.
- [35] ŞENYİĞİT, E., YILDIRIM, F., Siparis büyüklüğü belirleme yöntemleri, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 13(3), sf. 8-18, 2000.
- [36] TERSINE, R. J., RENDER, B., *Principle of Inventory and Materials Management*, Prentice Hall, New Jersey, pp.300-307, 1994.

- [37] Wilkes, Michael. Operational Research; Analysis and Applications, Mc-Graw –Hill Book Comp., New York, 1989.
- [38] ZIPKIN, P. H., Foundations of Inventory Management, McGraw-Hill, pp.30-33, 2000.
- [39] WINSTON, W. L., Operations Research: Applications and Algorithms, Duxbury Press, 3rd edition, California, pp. 869-900, 1997.
- [40] SIPPER, D., BULFIN, R., Production Planning, Control and Integration, McGraw Hill Companies Inc., pp.205-261, 1997.
- [41] MOON, I., LEE, S., The effects of inflation and time-value of money on an economic order quantity model with a random product life cycle, European Journal of Operation Research, 125, pp. 588-601, 2000.
- [42] GRUBBSTRO R,W., BOGATAJ, M., BOGATAJ, L., Optimal lot sizing within MRP Theory, Annual Reviews in Control, pp.89-100, 2010.
- [43] GRUBBSTRO, R. W., & HUYNH, T. T. T., Analysis of standard ordering policies within the framework of MRP theory, International Journal of Production Research, 44, pp.3759–3773, 2006.
- [44] SIPPER,D.,BULFIN,R., Production Planning, Control and Integration, McGraw Hill Companies,Inc., pp. 205-261, New York, 1997.
- [45] TRUEMAN, R.E.: Quantitative Methods For Decision Making in Business, The Dryden Press, pp. 607-655, New York, 1981.
- [46] WINSTON, W.L., Operations Research: Applications and Algorithms third edition, Duxbury Press, pp.869-900, Califonia, 1994
- [47] ACAR, N., Üretim Planlama Yöntem ve Uygulamaları, 3.Baskı, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1989.
- [48] TATAR, T., İşletmelerde Üretim Yönetim Teknikleri, Ankara D.M.M. Akademisi Yayını, No: 4, 1982
- [49] HSIEH H., LAM, K.F., ChOO, E.U., Comparative study of dynamic lot sizing heuristics with backlogging, Computers Operations Research, 19(5), PP.395, 1991.
- [50] ZANGWILL, W.J., Deterministic multi product, facility, production and inventory model, Operation Research,14(3), s. 486-507, 1966.
- [51] NARASIMHAN, S.L., MCLEAVY, D.W., BILLINGTON,P.J., Production Planning and Control, Prentice-Hall Inc., pp. 176-189, New Jersey, 1995.

- [52] DOĞAN, G., Envanter ve stok kontrol modellerinin incelenmesi ve en iyi sipariş miktarının belirlenmesi üzerine bir uygulama, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, SBE, sf. 74-80, İstanbul, 2006.
- [53] PITAKASO, R., ALMEDER, C., DOERNER, K.F., HARTL, R.F., A MAX_MIN ant system for unconstrained multi-level lot-sizing problems, *Computers and Operations Research*, 34, pp. 2533-2552, 2007.
- [54] BILLINGTON, P.J., McCLAIN, J.O., THOMAS L. J., Mathematical programming approaches to capacity-constrained MRP systems: review, formulation and problem reduction, *Management Science*, 29, pp. 1126–1141, 1983.
- [55] TEMPELMEIER, H, HELBER, S., A heuristic for dynamic multi-item multi-level capacitated lot sizing for general product structures, *European Journal of Operational Research*, 75, pp.296–311, 1994.
- [56] XIE, J., DONG, J.F., Heuristic genetic algorithm for general capacitated lot-sizing problems, *Computer and Mathematics with Applications*, 44, pp. 263-276, 2002.
- [57] FANDEL, G., STAMMEN-HEGENE, C., Simultaneous lot sizing and scheduling for multi-product multi-level production, *International Journal of Production Economics*, 104, pp.308-316, 2006.
- [58] KIMMS, A., Multi-level, single-machine lot sizing and scheduling (with initial inventory), *European Journal of Operational Research*, 89, pp. 86–99, 1996.
- [59] KIMMS, A., Multi-level, single-machine lot sizing and scheduling (with initial inventory). Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, pp. 329, 1993.
- [60] ZANGWIL, W.I., A backlogging model and a multi-echelon model of a dynamic economic lot size production system- a network approach, *Management Science*, 15, pp. 506–527, 1969.
- [61] LOVE, S.F., Bounded production and inventory models with piecewise concave costs, *Management Science*, 20, pp. 313-318, 1972.
- [62] CROWSTON, W.B., WAGNER, H.M., Dynamic lot size models for multi-stage assembly systems, *Management Science*, 20, pp. 14–21, 1973.
- [63] STEINBERG, E., NAPIER, A., Optimal multi-level lot sizing for Requirements planning systems, *Management Science*, 26, pp. 1258-1271, 1980.

- [64] GRAVES, S., Multistage lot sizing: An iterative procedure multi level production and inventory control systems, theory and practice, North-Holland, pp.95-110, 1981.
- [65] BILLINGTON, P., McCLAIN, J.O., THOMAS, L.J., Heuristic for multi-level lot sizing with a bottleneck, *Management Science*, 32, pp. 989-1006, 1986.
- [66] BILLINGTON, P., BLACKBURN, B.J.D, MAES, J., MILLEN, R., WASSENHOVE, L., Multi product scheduling in multi stage serial system, *The Economics of Inventory Management*, pp. 344-355, 1988.
- [67] ROLL, Y., KARNI, R., Multi item, multi-level lot sizing with an aggregate capacity constraints, *International Journal of Operation Research*, 51, pp. 73-87,1991.
- [68] BILLINGTON, P., BLACKBURN, B.J.D, MAES, J., MILLEN, R., WASSENHOVE, L., Multi item lot sizing in capacitated multi stage serial systems, *IIE Transections*, March, pp. 13-19, 1994.
- [69] BARBAROSOĞLU, G., ÖZDAMAR, L., Analysis of solution space-dependent performance of simulated annealing: The case of the multi-level capacitated lot sizing problem, *Computers & Operations Research*, 27, pp. 895-903, 2000.
- [70] DELLAERT, NP, JEUNET, J. Solving large unconstrained multilevel lot-sizing problems using a hybrid genetic algorithm, *International Journal of Production Research*, 38, pp. 1083–99, 2000.
- [71] FANDEL, J., HEGENE, G., Simultaneous lot sizing and scheduling for multi-product multi-level production, *International Journal of Production Economics*, 104, pp. 308–316, 2006.
- [72] XIAO, Y., ZHANG, R., ZHAO, Q., A variable neighborhood search based approach for uncapacitated multilevel lot-sizing problems, *Computers and Industrial Engineering*, 60, pp. 218–227, 2011.
- [73] CHANGA, D.,CHYR, F., YANGA, F., Incorporating a database approach into the large-scale multi-level lot sizing problem, *Computers and Mathematics with Applications*, 60, pp. 2536-2547, 2010.
- [74] STADLER, H., Multi-level single machine lot-sizing and scheduling with zero lead times, *European Journal of Operational Research*, 209, pp. 241-252, 2011.
- [75] RUSZCZYŃKI, A., SHAPIRO, A., Stochastic programming, *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 10, pp. 1-64, 2003.

- [76] AHMED, S., KING, A.J., PARIJA, G., A multi-stage stochastic integer programming approach for capacity expansion under uncertainty, *Journal of Global Optimization*, 26, pp.3-24, 2003.
- [77] SCARF, H., The optimality of (s,S) policies for the dynamic inventory problem, *Proceedings of the first Stanford symposium of mathematical methods in the social sciences*, Stanford University Press, Stanford, pp.196-202, 1960.
- [78] IGLEHART, D.L., Dynamic programming and stationary analysis in inventory problems,, *Multi-Stage Inventory Models and Techniques*. Stanford University, Stanford, pp. 1–31, 1963.
- [79] VEINOTT, A.F., WAGNER, H.M., Computing optimal (s,S) inventory policies, *Management Science*, 11, s. 525–552, 1965
- [80] FEDERGRUEN, A., TZUR, M., A simple forward algorithm to solve general dynamic lot sizing models with n periods in $O(n \log n)$ or $O(n)$ time, *Management Science*, 37, pp. 909-925, 1991.
- [81] FEDERGRUEN, A., ZHENG, Y.S., An efficient algorithm for computing an optimal (r,Q) policy in continuous review stochastic inventory systems, *Operations Research*, 40, pp. 808–813, 1992.
- [82] CHEN, S., LAMBRECHT, M., X–Y band and modified (s, S) policy, *Operations Research*, 44, pp. 1013-1019, 1996.
- [83] CHAN, G.H., SONG, Y., A dynamic analysis of the single-item periodic stochastic inventory system with order capacity, *European Journal of Operational Research*, 146, pp. 529–542, 2003.
- [84] DELLAERT, N. P., MELO, M.T., Approximate solutions for a stochastic lot-sizing problem with partial customer-order information, *European Journal of Operational Research*, 150, pp.163–180, 2003.
- [85] ZHAO, X., FAN, F., LIU, X., XIE, J., Storage-space capacitated inventory system with (r,Q) policies. *Operations Research*, 55, pp.854–865, 2007.
- [86] GUAN, Y., MILLER, A.J., Polynomial-time algorithms for stochastic uncapacitated lot-sizing problems, *Operations Research*, 56, pp.1172–1183, 2008.
- [87] GUAN Y., LIU, T., Stochastic lot-sizing problem with inventory-bounds and constant order-capacities, *European Journal of Operational Research*, 207, pp.1398–1409, 2010.

- [88] ZHOU, Z., YONGPEI, G., Stochastic lot-sizing problem with deterministic demands and Wagner-Whitin costs, *Operations Research Letters*, 38, pp. 414-419, 2010.
- [89] YI, X., BHABA, R. S., Models for a family of products with shelf life, and production and shortage costs in emerging markets *Computers & Operations Research*, 30, pp. 925-938, 2003.
- [90] HUANG, J.Y., YAO, M.J., A new algorithm for optimally determining lot-sizing policies for deteriorating item in an integrated production-inventory system, *Computers and Mathematics with Applications*, 51, pp. 83-104, 2006.
- [91] SILVER, E. A., Shelf-life considerations in a family production context, *International Journal of Production Research*, 27, pp. 2021-2026, 1989.
- [92] SILVER, E. A., Deliberately slowing down output in a family production context, *International Journal of Production Research* 28, pp.17-27, 1990.
- [93] RAAFAT, F., WOLFE, P., ELDİN, H., An inventory model for deteriorating items, *Computers and Industrial Engineering*, 20, pp. 89-94, 1991.
- [94] NAHMIAS, S., Perishable inventory theory: A review, *Operation Research* 30, pp. 680-708, 1978.
- [95] ABAD, P.L., Optimal pricing and lot-sizing under conditions of perishability, finite production and partial backordering and lost sale, *European Journal of Operational Research* 144, pp. 677-685, 2003.
- [96] SARKER, B, BABU, P. Effect of production cost on shelf-life, *International Journal of Production Research*, 31, pp.1865-72, 1993.
- [97] VISWANATHAN, S, GOYAL, S. K., Optimal cycle time and production rate in a family production context with shelf-life constraints, *International Journal of Production Research*, 35, pp. 1703-11, 1997.
- [98] NAHMIAS, S., Perishable inventory theory: A review, *Operations Research*, Vol. 30, pp. 680-708, 1982.
- [99] VEINOTT, A. F., JR., Optimal policy for a multi-product, dynamic, nonstationary inventory problem, *Management Science*, 12, pp. 206-222, 1965.

- [100] FRIES, B., Optimal order policy for a perishable commodity with fixed lifetime, *Operation Research*, 23, pp. 46-61, 1975.
- [101] WEISS, H. J., Optimal ordering policies for continuous review perishable inventory models, *Operaitons Research*, 28, pp. 365-374, 1980.
- [102] FRIEDMAN, Y., HOCH, Y., A dynamic lot-size model with inventory deterioration, *Infor*, 16, pp.183-188, 1978.
- [103] NAHMIAS, S, otimal ordering policies for perishable inventory-II, *Operations Research*, 23, pp. 735-749, 1975.
- [104] GHARE, P., SCHRADER, G., A model for exponentially decaying inventories. *Journal of Industrial Engineering*, 14, pp. 238-243,1963.
- [105] GRAVES, S. C., Simple analytical models for perishable inventory systems, *Management Science*, 28, pp. 400-406, 1982.
- [106] RAFAAT, F., Survey of literature on continuously deteriorating inventory models, *Journal of Opeartion Research*, 42(1), pp. 27-37,1991.
- [107] GRINOLD, R.C., Model building techniques for the correction of end effects in multistage convex programs, *Operation Research*, 31, pp. 407-431, 1983.
- [108] FISHER, M, RAMDAS, K., ZHENG, Y., Ending inventory valuation in multiperiod production scheduling, *Management Science*, 47, pp. 679-692, 2001.
- [109] STADLER, H., Proved rolling schedules for the dynamic single-level lot-sizing problem, *Management Science*, 46, pp. 318-326, 2000.
- [110] VAUGHAN, Timothy S., Lot size effects on process lead time, lead time demand and safety stock, *International Journal of Production Economics*, pp.1-9, 2006.
- [111] ENNS, S.T., The effect of batch size selection on Mrp performance, *Computers & Industrial Engineering*, pp.15-19, 1999.
- [112] JEUNET, J., JEONARD, N., Measuring of lot -sizing techniques in uncertain environments, *International Journal of Production Economics*, pp. 197-208, 2000.
- [113] ASKIN, R. G., RAGHAVAN, M., The effect of lot-sizing on workload variability, *Journal of Operation Management*, 4, pp. 53-71, 1983.

- [114] ORLICKY, J.A., Material requirements planning, New York, McGraw Hill, pp. 139-141, 1975.
- [115] BERRY, W . L., Lots izing proceduresf or requirementsp lanning systems: A framework for analysis, Production and Inventory Management, 2, pp. 19-34, 1972.
- [116] KAIMANN, R. A., A comparison of the EOQ and dynamic programming inventory models with safety stocks considerations, Production and Inventory Management,3, pp. 72-91, 1972.
- [117] BIGGS J.R., HAHN, C.K., PINTO, P.A., Performance of Lot-Sizing Rules In an MRP System With Different Operating Conditions, Academy of Management Review, 5(1), pp. 89-96, 1980.
- [118] VERGIN, R. C., Production planning under seasonal demand. Journal of Industrial Engineering, pp. 260-266,1966.
- [119] PUJAWAN, N., The effect of lot sizing rules on order variability, European Journal of Operational Research, 159, pp. 617–635, 2004.
- [120] KARMARKAR, U.S., KEKRE, S., KEKRE, S., FREEMAN, S., Lot sizingand lead time performance in manufacturing cell, Interfaces, 15(2), pp.1-9, 1985.

EK-A OPTİMİZASYON DENKLEMİ FORMÜLASYONU

*****Amaç fonksiyonu*****

Min 227YA0+227YA1+227YA2+227YA3+227YA4+227YA5
 +227YB0+227YB1+227YB2+227YB3+227YB4+227YB5
 +227YC0+227YC1+227YC2+227YC3+227YC4+227YC5
 +1200YD0+1200YD1+1200YD2+1200YD3+1200YD4+1200YD5
 +1200YE0+1200YE1+1200YE2+1200YE3+1200YE4+1200YE5
 +4560YF0+4560YF1+4560YF2+4560YF3+4560YF4+4560YF5
 +4560YG0+4560YG1+4560YG2+4560YG3+4560YG4+4560YG5
 +0.64LA0+0.64LA1+0.64LA2+0.64LA3+0.64LA4+0.64LA5
 +0.64LB0+0.64LB1+0.64LB2+0.64LB3+0.64LB4+0.64LB5
 +1.61LC0+1.61LC1+1.61LC2+1.61LC3+1.61LC4+1.61LC5
 +0.40LD0+0.40LD1+0.40LD2+0.40LD3+0.40LD4+0.40LD5
 +0.42LE0+0.42LE1+0.42LE2+0.42LE3+0.42LE4+0.42LE5
 +0.37LF0+0.37LF1+0.37LF2+0.37LF3+0.37LF4+0.37LF5+
 0.39LG0+0.39LG1+0.39LG2+0.39LG3+0.39LG4+0.39LG5

SUBJECT TO

*****Üretim miktarını hesaplar*****

XA0=>4680
 XA1+LA0=9000
 XA2+LA1=>4320
 XA3+LA2=>4320
 XA4+LA3=>4320
 XA5+LA4=>4320
 XB0=>1440
 XB1+LB0=>5220
 XB2+LB1=>2700
 XB3+LB2=>2700
 XB4+LB3=>2700
 XB5+LB4=>2700
 XC0=>672
 XC1+LC0=>924
 XC2+LC1=>336
 XC3+LC2=>420
 XC4+LC3=>504
 XC5+LC4=>504
 XD0-1.44XA0-2.02XC0=>0
 XD1+LD0-1.44XA1-2.02C1=>0

$XD2+LD1-1.44XA2-2.02XC2=>0$
 $XD3+LD2-1.44XA3-2.02XC3=>0$
 $XD4+LD3-1.44XA4-2.02XC4=>0$
 $XD5+LD4-1.44XA5-2.02XC5=>0$
 $XE0-1.44XB0-2.02XC0=>0$
 $XE1+LE0-1.44XB1-2.02C1=>0$
 $XE2+LE1-1.44XB2-2.02XC2=>0$
 $XE3+LE2-1.44XB3-2.02XC3=>0$
 $XE4+LE3-1.44XB4-2.02XC4=>0$
 $XE5+LE4-1.44XB5-2.02XC5=>0$
 $XF0-0.74XD0=>0$
 $XF1+LF0-0.74XD1=>0$
 $XF2+LF1-0.74XD2=>0$
 $XF3+LF2-0.74XD3=>0$
 $XF4+LF3-0.74XD4=>0$
 $XF5+LF4-0.74XD5=>0$
 $XG0-0.74XE0=>0$
 $XG1+LG0-0.74XE1=>0$
 $XG2+LG1-0.74XE2=>0$
 $XG3+LG2-0.74XE3=>0$
 $XG4+LG3-0.74XE4=>0$
 $XG5+LG4-0.74XE5=>0$

*****Dönem sonu stoku hesaplar*****

$XA0-LA0=4680$
 $LA0+XA1-LA1=9000$
 $LA1+XA2-LA2=4320$
 $LA2+XA3-LA3=4320$
 $LA3+XA4-LA4=4320$
 $LA4+XA5-LA5=4320$
 $XB0-LB0=1440$
 $LB0+XB1-LB1=5220$
 $LB1+XB2-LB2=2700$
 $LB2+XB3-LB3=2700$
 $LB3+XB4-LB4=2700$
 $LB4+XB5-LB5=2700$
 $XC0-LC0=672$
 $LC0+XC1-LC1=924$
 $LC1+XC2-LC2=336$
 $LC2+XC3-LC3=420$
 $LC3+XC4-LC4=504$
 $LC4+XC5-LC5=504$
 $XD0-LD0-1.44XA0-2.02XC0=0$
 $LD0+XD1-LD1-1.44XA1-2.02XC1=0$
 $LD1+XD2-LD2-1.44XA2-2.02XC2=0$
 $LD2+XD3-LD3-1.44XA3-2.02XC3=0$
 $LD3+XD4-LD4-1.44XA4-2.02XC4=0$
 $LD4+XD5-LD5-1.44XA5-2.02XC5=0$
 $XE0-LE0-1.44XB0-2.02XC0=0$

LE0+XE1-LE1-1.44XB1-2.02XC1=0
 LE1+XE2-LE2-1.44XB2-2.02XC2=0
 LE2+XE3-LE3-1.44XB3-2.02XC3=0
 LE3+XE4-LE4-1.44XB4-2.02XC4=0
 LE4+XE5-LE5-1.44XB5-2.02XC5=0
 XF0-LF0-0.74XD0=0
 LF0+XF1-LF1-0.74XD1=0
 LF1+XF2-LF2-0.74XD2=0
 LF2+XF3-LF3-0.74XD3=0
 LF3+XF4-LF4-0.74XD4=0
 LF4+XF5-LF5-0.74XD5=0
 XG0-LG0-0.74XE0=0
 LG0+XG1-LG1-0.74XE1=0
 LG1+XG2-LG2-0.74XE2=0
 LG2+XG3-LG3-0.74XE3=0
 LG3+XG4-LG4-0.74XE4=0
 LG4+XG5-LG5-0.74XE5=0

*****Problemin raf ömrünü dikkate almasını sağlar*****

XG0-0.74XD0-0.74XD1=<0
 XG1-0.74XD1-0.74XD2=<0
 XG2-0.74XD2-0.74XD3=<0
 XG3-0.74XD3-0.74XD4=<0
 XG4-0.74XD4-0.74XD5=<0
 XG5-0.74XD5=<0
 XH0-0.74XE0-0.74XE1=<0
 XH1-0.74XE1-0.74XE2=<0
 XH2-0.74XE2-0.74XE3=<0
 XH3-0.74XE3-0.74XE4=<0
 XH4-0.74XE4-0.74XE5=<0
 XH5-0.74XE5=<0
 XD0-1.44XA0-1.44XA1-2.02XC0-2.02XC1=<0
 XD1-1.44XA1-1.44XA2-2.02XC1-2.02XC2=<0
 XD2-1.44XA2-1.44XA3-2.02XC2-2.02XC3=<0
 XD3-1.44XA3-1.44XA4-2.02XC3-2.02XC4=<0
 XD4-1.44XA4-1.44XA5-2.02XC4-2.02XC5=<0
 XD5-1.44XA5-2.02XC5=<0
 XE0-1.44XB0-1.44XB1-2.02XC0-2.02XC1=<0
 XE1-1.44XB1-1.44XB2-2.02XC1-2.02XC2=<0
 XE2-1.44XB2-1.44XB3-2.02XC2-2.02XC3=<0
 XE3-1.44XB3-1.44XB4-2.02XC3-2.02XC4=<0
 XE4-1.44XB4-1.44XB5-2.02XC4-2.02XC5=<0
 XE5-1.44XB5-2.02XC5=<0

*****Üretim olması durumunda hazırlık maliyetinin hesaba katılmasını sağlar*****

XA0-999999999YA0=<0
 XA1-999999999YA1=<0
 XA2-999999999YA2=<0
 XA3-999999999YA3=<0

XA4-999999999YA4=<0
XA5-999999999YA5=<0
XB0-999999999YB0=<0
XB1-999999999YB1=<0
XB2-999999999YB2=<0
XB3-999999999YB3=<0
XB4-999999999YB4=<0
XB5-999999999YB5=<0
XC0-999999999YC0=<0
XC1-999999999YC1=<0
XC2-999999999YC2=<0
XC3-999999999YC3=<0
XC4-999999999YC4=<0
XC5-999999999YC5=<0
XD0-999999999YD0=<0
XD1-999999999YD1=<0
XD2-999999999YD2=<0
XD3-999999999YD3=<0
XD4-999999999YD4=<0
XD5-999999999YD5=<0
XE0-999999999YE0=<0
XE1-999999999YE1=<0
XE2-999999999YE2=<0
XE3-999999999YE3=<0
XE4-999999999YE4=<0
XE5-999999999YE5=<0
XF0-999999999YF0=<0
XF1-999999999YF1=<0
XF2-999999999YF2=<0
XF3-999999999YF3=<0
XF4-999999999YF4=<0
XF5-999999999YF5=<0
XG0-999999999YG0=<0
XG1-999999999YG1=<0
XG2-999999999YG2=<0
XG3-999999999YG3=<0
XG4-999999999YG4=<0
XG5-999999999YG5=<0
XH0-999999999YH0=<0
XH1-999999999YH1=<0
XH2-999999999YH2=<0
XH3-999999999YH3=<0
XH4-999999999YH4=<0
XH5-999999999YH5=<0

*****Üretim miktarının negatif değer almasını önler*****

XA0>=0

XA1>=0

XA2>=0

XA3>=0
XA4>=0
XA5>=0
XB0>=0
XB1>=0
XB2>=0
XB3>=0
XB4>=0
XB5>=0
XC0>=0
XC1>=0
XC2>=0
XC3>=0
XC4>=0
XC5>=0
XD0>=0
XD1>=0
XD2>=0
XD3>=0
XD4>=0
XD5>=0
XF0>=0
XF1>=0
XF2>=0
XF3>=0
XF4>=0
XF5>=0
XG0>=0
XG1>=0
XG2>=0
XG3>=0
XG4>=0
XG5>=0
XH0>=0
XH1>=0
XH2>=0
XH3>=0
XH4>=0
XH5>=0

*****Dönem sonu stokun negatif değer almasını önler*****

LA0>=0
LA1>=0
LA2>=0
LA3>=0
LA4>=0
LA5>=0
LB0>=0
LB1>=0

LB2>=0
LB3>=0
LB4>=0
LB5>=0
LC0>=0
LC1>=0
LC2>=0
LC3>=0
LC4>=0
LC5>=0
LD0>=0
LD1>=0
LD2>=0
LD3>=0
LD4>=0
LD5>=0
LF0>=0
LF1>=0
LF2>=0
LF3>=0
LF4>=0
LF5>=0
LG0>=0
LG1>=0
LG2>=0
LG3>=0
LG4>=0
LG5>=0
LH0>=0
LH1>=0
LH2>=0
LH3>=0
LH4>=0
LH5>=0
END

****Üretim durumunun “0” ya da “1”; “üretilecek” veya “üretilmeyecek” olmasını

sağlar
INTYA0
INTYA1
INTYA2
INTYA3
INTYA4
INTYA5
INTYB0
INTYB1
INTYB2
INTYB3
INTYB4

INTYB5
INTYC0
INTYC1
INTYC2
INTYC3
INTYC4
INTYC5
INTYD0
INTYD1
INTYD2
INTYD3
INTYD4
INTYD5
INTYF0
INTYF1
INTYF2
INTYF3
INTYF4
INTYF5
INTYG0
INTYG1
INTYG2
INTYG3
INTYG4
INTYG5
INTYH0
INTYH1
INTYH2
INTYH3
INTYH4
INTYH5
INTYE0
INTYE1
INTYE2
INTYE3
INTYE4
INTYE5

EK-B1 RAF ÖMRÜ KISIDI DAHİL EDİLMEMİŞ DOĞRUSAL PROGRAM ÇÖZÜMÜ

ENUMERATION COMPLETE. BRANCHES=250824 PIVOTS= 1233247

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 55864.89

| VARIABLE | VALUE | REDUCED COST |
|----------|----------|----------------|
| YA0 | 0.000000 | 227.000000 |
| YA1 | 1.000000 | 227.000000 |
| YA2 | 1.000000 | 227.000000 |
| YA3 | 1.000000 | 227.000000 |
| YA4 | 1.000000 | 227.000000 |
| YA5 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB0 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB1 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB2 | 0.000000 | -34972.964844 |
| YB3 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB4 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB5 | 0.000000 | -68050.156250 |
| YC0 | 1.000000 | 227.000000 |
| YC1 | 1.000000 | 227.000000 |
| YC2 | 0.000000 | 227.000000 |
| YC3 | 1.000000 | 227.000000 |
| YC4 | 1.000000 | 227.000000 |
| YC5 | 0.000000 | 227.000000 |
| YD0 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YD1 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YD2 | 0.000000 | -124999.875000 |
| YD3 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YD4 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YD5 | 0.000000 | -124999.875000 |
| YF0 | 1.000000 | 4560.000000 |
| YF1 | 1.000000 | 4560.000000 |
| YF2 | 0.000000 | -365439.625000 |
| YF3 | 0.000000 | -735439.250000 |
| YF4 | 1.000000 | 4560.000000 |
| YF5 | 0.000000 | -365439.625000 |

| | | |
|-----|-------------|----------------|
| YG0 | 1.000000 | 4560.000000 |
| YG1 | 0.000000 | -385439.625000 |
| YG2 | 0.000000 | 4560.000000 |
| YG3 | 1.000000 | 4560.000000 |
| YG4 | 0.000000 | -385439.625000 |
| YG5 | 0.000000 | 4560.000000 |
| YH0 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH1 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH2 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH3 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH4 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH5 | 0.000000 | 0.000000 |
| YE0 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YE1 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YE2 | 0.000000 | -995999.000000 |
| YE3 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YE4 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YE5 | 0.000000 | -973028.750000 |
| LA0 | 0.000000 | 0.640000 |
| LA1 | 0.000000 | 0.000000 |
| LA2 | 0.000000 | 0.427456 |
| LA3 | 0.000000 | 1.428544 |
| LA4 | 0.000000 | 0.064000 |
| LA5 | 0.000000 | 1.216000 |
| LB0 | 0.000000 | 0.224416 |
| LB1 | 2700.000000 | 0.000000 |
| LB2 | 0.000000 | 1.695584 |
| LB3 | 0.000000 | 0.224416 |
| LB4 | 2700.000000 | 0.000000 |
| LB5 | 0.000000 | 1.695584 |
| LC0 | 0.000000 | 1.027028 |
| LC1 | 336.000000 | 0.000000 |
| LC2 | 0.000000 | 2.696820 |
| LC3 | 0.000000 | 2.133180 |
| LC4 | 504.000000 | 0.000000 |
| LC5 | 0.000000 | 3.802972 |
| LD0 | 0.000000 | 0.400000 |
| LD1 | 6220.799805 | 0.000000 |
| LD2 | 0.000000 | 0.252400 |
| LD3 | 0.000000 | 0.000000 |
| LD4 | 6220.799805 | 0.000000 |
| LD5 | 0.000000 | 0.800000 |
| LE0 | 0.000000 | 0.131400 |
| LE1 | 0.000000 | 0.000000 |
| LE2 | 0.000000 | 1.128600 |
| LE3 | 0.000000 | 0.131400 |
| LE4 | 0.000000 | 0.000000 |
| LE5 | 0.000000 | 0.000000 |
| LF0 | 0.000000 | 0.370000 |

| | | |
|-----|--------------|----------|
| LF1 | 5231.208008 | 0.000000 |
| LF2 | 5231.208008 | 0.000000 |
| LF3 | 0.000000 | 1.110000 |
| LF4 | 0.000000 | 0.000000 |
| LF5 | 0.000000 | 0.000000 |
| LG0 | 10323.000000 | 0.000000 |
| LG1 | 0.000000 | 1.170000 |
| LG2 | 0.000000 | 0.000000 |
| LG3 | 7260.998535 | 0.000000 |
| LG4 | 0.000000 | 0.000000 |
| LG5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XA0 | 4680.000000 | 0.000000 |
| XA1 | 9000.000000 | 0.000000 |
| XA2 | 4320.000000 | 0.000000 |
| XA3 | 4320.000000 | 0.000000 |
| XA4 | 4320.000000 | 0.000000 |
| XA5 | 4320.000000 | 0.000000 |
| XB0 | 1440.000000 | 0.000000 |
| XB1 | 7920.000000 | 0.000000 |
| XB2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XB3 | 2700.000000 | 0.000000 |
| XB4 | 5400.000000 | 0.000000 |
| XB5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XC0 | 672.000000 | 0.000000 |
| XC1 | 1260.000000 | 0.000000 |
| XC2 | 0.000000 | 0.046400 |
| XC3 | 420.000000 | 0.000000 |
| XC4 | 1008.000000 | 0.000000 |
| XC5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XD0 | 8096.640137 | 0.000000 |
| XD1 | 21726.000000 | 0.000000 |
| XD2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XD3 | 7069.200195 | 0.000000 |
| XD4 | 14477.759766 | 0.000000 |
| XD5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XE0 | 3431.040039 | 0.000000 |
| XE1 | 13950.000000 | 0.000000 |
| XE2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XE3 | 4736.399902 | 0.000000 |
| XE4 | 9812.160156 | 0.000000 |
| XE5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XF0 | 5991.513672 | 0.000000 |
| XF1 | 21308.447266 | 0.000000 |
| XF2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XF3 | 0.000000 | 0.000000 |
| XF4 | 10713.541992 | 0.000000 |
| XF5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XG0 | 12861.969727 | 0.000000 |
| XG1 | 0.000000 | 0.000000 |

| | | |
|-----|--------------|----------|
| XG2 | 0.000000 | 0.390000 |
| XG3 | 10765.934570 | 0.000000 |
| XG4 | 0.000000 | 0.000000 |
| XG5 | 0.000000 | 0.390000 |
| XH0 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH1 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH3 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH4 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH5 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH0 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH1 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH2 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH3 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH4 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH5 | 0.000000 | 0.000000 |

| ROW | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|-----|------------------|-------------|
|-----|------------------|-------------|

| | | |
|-----|-------------|-----------|
| 2) | 0.000000 | 0.000000 |
| 3) | 0.000000 | 0.000000 |
| 4) | 0.000000 | 0.000000 |
| 5) | 0.000000 | 0.000000 |
| 6) | 0.000000 | 0.000000 |
| 7) | 0.000000 | 0.000000 |
| 8) | 0.000000 | 0.000000 |
| 9) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 10) | 0.000000 | 0.000000 |
| 11) | 0.000000 | 0.000000 |
| 12) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 13) | 0.000000 | 0.000000 |
| 14) | 0.000000 | 0.000000 |
| 15) | 336.000000 | 0.000000 |
| 16) | 0.000000 | 0.000000 |
| 17) | 0.000000 | 0.000000 |
| 18) | 504.000000 | 0.000000 |
| 19) | 0.000000 | 0.000000 |
| 20) | 0.000000 | 0.000000 |
| 21) | 6220.799805 | 0.000000 |
| 22) | 0.000000 | 0.000000 |
| 23) | 0.000000 | 0.000000 |
| 24) | 6220.799805 | 0.000000 |
| 25) | 0.000000 | 0.000000 |
| 26) | 0.000000 | 0.000000 |
| 27) | 0.000000 | 0.000000 |
| 28) | 0.000000 | 0.000000 |
| 29) | 0.000000 | 0.000000 |
| 30) | 0.000000 | -0.022970 |
| 31) | 0.000000 | -1.105630 |

| | | |
|-----|--------------|-----------|
| 32) | 0.000000 | 0.000000 |
| 33) | 5231.208008 | 0.000000 |
| 34) | 5231.208008 | 0.000000 |
| 35) | 0.000000 | 0.000000 |
| 36) | 0.000000 | 0.000000 |
| 37) | 0.000000 | 0.000000 |
| 38) | 10323.000000 | 0.000000 |
| 39) | 0.000000 | 0.000000 |
| 40) | 0.000000 | 0.000000 |
| 41) | 7260.998535 | 0.000000 |
| 42) | 0.000000 | -1.170000 |
| 43) | 0.000000 | 0.000000 |
| 44) | 0.000000 | 0.000000 |
| 45) | 0.000000 | 0.000000 |
| 46) | 0.000000 | -0.576000 |
| 47) | 0.000000 | -0.788544 |
| 48) | 0.000000 | 0.000000 |
| 49) | 0.000000 | -0.576000 |
| 50) | 0.000000 | 0.000000 |
| 51) | 0.000000 | -0.415584 |
| 52) | 0.000000 | -1.055584 |
| 53) | 0.000000 | 0.000000 |
| 54) | 0.000000 | -0.415584 |
| 55) | 0.000000 | -1.055584 |
| 56) | 0.000000 | 0.000000 |
| 57) | 0.000000 | -0.582972 |
| 58) | 0.000000 | -2.192972 |
| 59) | 0.000000 | -1.106152 |
| 60) | 0.000000 | -0.582972 |
| 61) | 0.000000 | -2.192972 |
| 62) | 0.000000 | 0.000000 |
| 63) | 0.000000 | 0.000000 |
| 64) | 0.000000 | -0.400000 |
| 65) | 0.000000 | -0.547600 |
| 66) | 0.000000 | 0.000000 |
| 67) | 0.000000 | -0.400000 |
| 68) | 0.000000 | 0.000000 |
| 69) | 0.000000 | -0.288600 |
| 70) | 0.000000 | -0.708600 |
| 71) | 0.000000 | 0.000000 |
| 72) | 0.000000 | -0.265630 |
| 73) | 0.000000 | 0.420000 |
| 74) | 0.000000 | 0.000000 |
| 75) | 0.000000 | 0.000000 |
| 76) | 0.000000 | -0.370000 |
| 77) | 0.000000 | -0.740000 |
| 78) | 0.000000 | 0.000000 |
| 79) | 0.000000 | -0.370000 |
| 80) | 0.000000 | 0.000000 |

| | | |
|------|---------------|-----------|
| 81) | 0.000000 | -0.390000 |
| 82) | 0.000000 | 0.390000 |
| 83) | 0.000000 | 0.000000 |
| 84) | 0.000000 | 0.780000 |
| 85) | 0.000000 | 0.390000 |
| 86) | 990999.000000 | 0.000000 |
| 87) | 995679.000000 | 0.000000 |
| 88) | 995679.000000 | 0.000000 |
| 89) | 995679.000000 | 0.000000 |
| 90) | 995679.000000 | 0.000000 |
| 91) | 998559.000000 | 0.000000 |
| 92) | 992079.000000 | 0.000000 |
| 93) | 0.000000 | 0.035200 |
| 94) | 997299.000000 | 0.000000 |
| 95) | 994599.000000 | 0.000000 |
| 96) | 0.000000 | 0.068277 |
| 97) | 999327.000000 | 0.000000 |
| 98) | 998739.000000 | 0.000000 |
| 99) | 0.000000 | 0.000000 |
| 100) | 999579.000000 | 0.000000 |
| 101) | 998991.000000 | 0.000000 |
| 102) | 0.000000 | 0.000000 |
| 103) | 991902.375000 | 0.000000 |
| 104) | 978273.000000 | 0.000000 |
| 105) | 0.000000 | 0.126200 |
| 106) | 992929.812500 | 0.000000 |
| 107) | 985521.250000 | 0.000000 |
| 108) | 0.000000 | 0.126200 |
| 109) | 996567.937500 | 0.000000 |
| 110) | 986049.000000 | 0.000000 |
| 111) | 0.000000 | 0.997200 |
| 112) | 995262.625000 | 0.000000 |
| 113) | 990186.812500 | 0.000000 |
| 114) | 0.000000 | 0.974230 |
| 115) | 994007.500000 | 0.000000 |
| 116) | 978690.562500 | 0.000000 |
| 117) | 0.000000 | 0.370000 |
| 118) | 0.000000 | 0.740000 |
| 119) | 989285.437500 | 0.000000 |
| 120) | 0.000000 | 0.370000 |
| 121) | 987137.000000 | 0.000000 |
| 122) | 0.000000 | 0.390000 |
| 123) | 0.000000 | 0.000000 |
| 124) | 989233.062500 | 0.000000 |
| 125) | 0.000000 | 0.390000 |
| 126) | 0.000000 | 0.000000 |
| 127) | 0.000000 | 0.000000 |
| 128) | 0.000000 | 0.000000 |
| 129) | 0.000000 | 0.000000 |

| | | |
|------|--------------|-----------|
| 130) | 0.000000 | 0.000000 |
| 131) | 0.000000 | 0.000000 |
| 132) | 0.000000 | 0.000000 |
| 133) | 4680.000000 | 0.000000 |
| 134) | 9000.000000 | 0.000000 |
| 135) | 4320.000000 | 0.000000 |
| 136) | 4320.000000 | 0.000000 |
| 137) | 4320.000000 | 0.000000 |
| 138) | 4320.000000 | 0.000000 |
| 139) | 1440.000000 | 0.000000 |
| 140) | 7920.000000 | 0.000000 |
| 141) | 0.000000 | 0.000000 |
| 142) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 143) | 5400.000000 | 0.000000 |
| 144) | 0.000000 | 0.000000 |
| 145) | 672.000000 | 0.000000 |
| 146) | 1260.000000 | 0.000000 |
| 147) | 0.000000 | 0.000000 |
| 148) | 420.000000 | 0.000000 |
| 149) | 1008.000000 | 0.000000 |
| 150) | 0.000000 | 0.000000 |
| 151) | 8096.640137 | 0.000000 |
| 152) | 21726.000000 | 0.000000 |
| 153) | 0.000000 | 0.000000 |
| 154) | 7069.200195 | 0.000000 |
| 155) | 14477.759766 | 0.000000 |
| 156) | 0.000000 | 0.000000 |
| 157) | 5991.513672 | 0.000000 |
| 158) | 21308.447266 | 0.000000 |
| 159) | 0.000000 | 0.000000 |
| 160) | 0.000000 | 0.000000 |
| 161) | 10713.541992 | 0.000000 |
| 162) | 0.000000 | 0.000000 |
| 163) | 12861.969727 | 0.000000 |
| 164) | 0.000000 | 0.000000 |
| 165) | 0.000000 | 0.000000 |
| 166) | 10765.934570 | 0.000000 |
| 167) | 0.000000 | 0.000000 |
| 168) | 0.000000 | 0.000000 |
| 169) | 0.000000 | 0.000000 |
| 170) | 0.000000 | 0.000000 |
| 171) | 0.000000 | 0.000000 |
| 172) | 0.000000 | 0.000000 |
| 173) | 0.000000 | 0.000000 |
| 174) | 0.000000 | 0.000000 |
| 175) | 0.000000 | 0.000000 |
| 176) | 0.000000 | -0.064000 |
| 177) | 0.000000 | 0.000000 |
| 178) | 0.000000 | 0.000000 |

| | | |
|------|--------------|-----------|
| 179) | 0.000000 | 0.000000 |
| 180) | 0.000000 | 0.000000 |
| 181) | 0.000000 | 0.000000 |
| 182) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 183) | 0.000000 | 0.000000 |
| 184) | 0.000000 | 0.000000 |
| 185) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 186) | 0.000000 | 0.000000 |
| 187) | 0.000000 | 0.000000 |
| 188) | 336.000000 | 0.000000 |
| 189) | 0.000000 | 0.000000 |
| 190) | 0.000000 | 0.000000 |
| 191) | 504.000000 | 0.000000 |
| 192) | 0.000000 | 0.000000 |
| 193) | 0.000000 | 0.000000 |
| 194) | 6220.799805 | 0.000000 |
| 195) | 0.000000 | 0.000000 |
| 196) | 0.000000 | -0.947600 |
| 197) | 6220.799805 | 0.000000 |
| 198) | 0.000000 | 0.000000 |
| 199) | 0.000000 | 0.000000 |
| 200) | 5231.208008 | 0.000000 |
| 201) | 5231.208008 | 0.000000 |
| 202) | 0.000000 | 0.000000 |
| 203) | 0.000000 | 0.000000 |
| 204) | 0.000000 | -0.740000 |
| 205) | 10323.000000 | 0.000000 |
| 206) | 0.000000 | 0.000000 |
| 207) | 0.000000 | 0.000000 |
| 208) | 7260.998535 | 0.000000 |
| 209) | 0.000000 | 0.000000 |
| 210) | 0.000000 | 0.000000 |
| 211) | 0.000000 | 0.000000 |
| 212) | 0.000000 | 0.000000 |
| 213) | 0.000000 | 0.000000 |
| 214) | 0.000000 | 0.000000 |
| 215) | 0.000000 | 0.000000 |
| 216) | 0.000000 | 0.000000 |

NO. ITERATIONS= 1233304

BRANCHES=***** DETERM.= 1.000E 0

EK- B.2 RAF ÖMRÜ KISIDI DAHİL EDİLMİŞ PROBLEM ÇÖZÜMÜ

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 55864.89

| VARIABLE | VALUE | REDUCED COST |
|----------|----------|-----------------|
| YA0 | 0.000000 | 227.000000 |
| YA1 | 1.000000 | 227.000000 |
| YA2 | 1.000000 | 227.000000 |
| YA3 | 1.000000 | 227.000000 |
| YA4 | 1.000000 | 227.000000 |
| YA5 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB0 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB1 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB2 | 0.000000 | -34972.964844 |
| YB3 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB4 | 1.000000 | 227.000000 |
| YB5 | 0.000000 | -1849371.125000 |
| YC0 | 1.000000 | 227.000000 |
| YC1 | 1.000000 | 227.000000 |
| YC2 | 0.000000 | 227.000000 |
| YC3 | 1.000000 | 227.000000 |
| YC4 | 1.000000 | 227.000000 |
| YC5 | 0.000000 | -2498570.500000 |
| YD0 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YD1 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YD2 | 0.000000 | -124999.875000 |
| YD3 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YD4 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YD5 | 0.000000 | -124999.875000 |
| YF0 | 1.000000 | 4560.000000 |
| YF1 | 1.000000 | 4560.000000 |
| YF2 | 0.000000 | -365439.625000 |
| YF3 | 0.000000 | -735439.250000 |
| YF4 | 1.000000 | 4560.000000 |
| YF5 | 0.000000 | -365439.625000 |
| YG0 | 1.000000 | 4560.000000 |

| | | |
|-----|-------------|-----------------|
| YG1 | 0.000000 | -385439.625000 |
| YG2 | 0.000000 | 4560.000000 |
| YG3 | 1.000000 | 4560.000000 |
| YG4 | 0.000000 | -385439.625000 |
| YG5 | 0.000000 | 4560.000000 |
| YH0 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH1 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH2 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH3 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH4 | 0.000000 | 0.000000 |
| YH5 | 0.000000 | 0.000000 |
| YE0 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YE1 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YE2 | 0.000000 | -1127398.875000 |
| YE3 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YE4 | 1.000000 | 1200.000000 |
| YE5 | 0.000000 | 1200.000000 |
| LA0 | 0.000000 | 0.640000 |
| LA1 | 0.000000 | 0.000000 |
| LA2 | 0.000000 | 0.427456 |
| LA3 | 0.000000 | 1.428544 |
| LA4 | 0.000000 | 0.064000 |
| LA5 | 0.000000 | 1.216000 |
| LB0 | 0.000000 | 0.224416 |
| LB1 | 2700.000000 | 0.000000 |
| LB2 | 0.000000 | 1.695584 |
| LB3 | 0.000000 | 0.224416 |
| LB4 | 2700.000000 | 0.000000 |
| LB5 | 0.000000 | 1.695584 |
| LC0 | 0.000000 | 1.027028 |
| LC1 | 336.000000 | 0.000000 |
| LC2 | 0.000000 | 2.696820 |
| LC3 | 0.000000 | 2.133180 |
| LC4 | 504.000000 | 0.000000 |
| LC5 | 0.000000 | 3.802972 |
| LD0 | 0.000000 | 0.400000 |
| LD1 | 6220.799805 | 0.000000 |
| LD2 | 0.000000 | 0.252400 |
| LD3 | 0.000000 | 0.000000 |
| LD4 | 6220.799805 | 0.000000 |
| LD5 | 0.000000 | 0.800000 |
| LE0 | 0.000000 | 0.000000 |
| LE1 | 0.000000 | 0.000000 |
| LE2 | 0.000000 | 1.260000 |
| LE3 | 0.000000 | 0.000000 |
| LE4 | 0.000000 | 0.000000 |
| LE5 | 0.000000 | 0.000000 |
| LF0 | 0.000000 | 0.370000 |
| LF1 | 5231.208008 | 0.000000 |

| | | |
|-----|--------------|----------|
| LF2 | 5231.208008 | 0.000000 |
| LF3 | 0.000000 | 1.110000 |
| LF4 | 0.000000 | 0.000000 |
| LF5 | 0.000000 | 0.740000 |
| LG0 | 10323.000000 | 0.000000 |
| LG1 | 0.000000 | 0.000000 |
| LG2 | 0.000000 | 0.000000 |
| LG3 | 7260.998535 | 0.000000 |
| LG4 | 0.000000 | 0.780000 |
| LG5 | 0.000000 | 0.390000 |
| XA0 | 4680.000000 | 0.000000 |
| XA1 | 9000.000000 | 0.000000 |
| XA2 | 4320.000000 | 0.000000 |
| XA3 | 4320.000000 | 0.000000 |
| XA4 | 4320.000000 | 0.000000 |
| XA5 | 4320.000000 | 0.000000 |
| XB0 | 1440.000000 | 0.000000 |
| XB1 | 7920.000000 | 0.000000 |
| XB2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XB3 | 2700.000000 | 0.000000 |
| XB4 | 5400.000000 | 0.000000 |
| XB5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XC0 | 672.000000 | 0.000000 |
| XC1 | 1260.000000 | 0.000000 |
| XC2 | 0.000000 | 0.046400 |
| XC3 | 420.000000 | 0.000000 |
| XC4 | 1008.000000 | 0.000000 |
| XC5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XD0 | 8096.640137 | 0.000000 |
| XD1 | 21726.000000 | 0.000000 |
| C1 | 0.000000 | 0.000000 |
| XD2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XD3 | 7069.200195 | 0.000000 |
| XD4 | 14477.759766 | 0.000000 |
| XD5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XE0 | 3431.040039 | 0.000000 |
| XE1 | 13950.000000 | 0.000000 |
| XE2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XE3 | 4736.399902 | 0.000000 |
| XE4 | 9812.160156 | 0.000000 |
| XE5 | 0.000000 | 0.420000 |
| XF0 | 5991.513672 | 0.000000 |
| XF1 | 21308.447266 | 0.000000 |
| XF2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XF3 | 0.000000 | 0.000000 |
| XF4 | 10713.541992 | 0.000000 |
| XF5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XG0 | 12861.969727 | 0.000000 |
| XG1 | 0.000000 | 0.000000 |

| | | |
|-----|--------------|----------|
| XG2 | 0.000000 | 0.390000 |
| XG3 | 10765.934570 | 0.000000 |
| XG4 | 0.000000 | 0.000000 |
| XG5 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH0 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH1 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH2 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH3 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH4 | 0.000000 | 0.000000 |
| XH5 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH0 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH1 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH2 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH3 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH4 | 0.000000 | 0.000000 |
| LH5 | 0.000000 | 0.000000 |

| ROW | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|-----|------------------|-------------|
|-----|------------------|-------------|

| | | |
|-----|-------------|-----------|
| 2) | 0.000000 | 0.000000 |
| 3) | 0.000000 | 0.000000 |
| 4) | 0.000000 | 0.000000 |
| 5) | 0.000000 | 0.000000 |
| 6) | 0.000000 | 0.000000 |
| 7) | 0.000000 | 0.000000 |
| 8) | 0.000000 | 0.000000 |
| 9) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 10) | 0.000000 | 0.000000 |
| 11) | 0.000000 | 0.000000 |
| 12) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 13) | 0.000000 | 0.000000 |
| 14) | 0.000000 | 0.000000 |
| 15) | 336.000000 | 0.000000 |
| 16) | 0.000000 | 0.000000 |
| 17) | 0.000000 | 0.000000 |
| 18) | 504.000000 | 0.000000 |
| 19) | 0.000000 | 0.000000 |
| 20) | 0.000000 | 0.000000 |
| 21) | 8766.000000 | 0.000000 |
| 22) | 0.000000 | 0.000000 |
| 23) | 0.000000 | -0.547600 |
| 24) | 6220.799805 | 0.000000 |
| 25) | 0.000000 | 0.000000 |
| 26) | 0.000000 | 0.000000 |
| 27) | 2545.199951 | 0.000000 |
| 28) | 0.000000 | 0.000000 |
| 29) | 0.000000 | 0.000000 |
| 30) | 0.000000 | -1.260000 |
| 31) | 0.000000 | 0.000000 |

| | | |
|-----|--------------|-----------|
| 32) | 0.000000 | 0.000000 |
| 33) | 5231.208008 | 0.000000 |
| 34) | 5231.208008 | 0.000000 |
| 35) | 0.000000 | 0.000000 |
| 36) | 0.000000 | 0.000000 |
| 37) | 0.000000 | 0.000000 |
| 38) | 10323.000000 | 0.000000 |
| 39) | 0.000000 | 0.000000 |
| 40) | 0.000000 | 0.000000 |
| 41) | 7260.998535 | 0.000000 |
| 42) | 0.000000 | 0.000000 |
| 43) | 0.000000 | 0.000000 |
| 44) | 0.000000 | 0.000000 |
| 45) | 0.000000 | 0.000000 |
| 46) | 0.000000 | -0.576000 |
| 47) | 0.000000 | -0.788544 |
| 48) | 0.000000 | 0.000000 |
| 49) | 0.000000 | -0.576000 |
| 50) | 0.000000 | 0.000000 |
| 51) | 0.000000 | -0.415584 |
| 52) | 0.000000 | -1.055584 |
| 53) | 0.000000 | 0.000000 |
| 54) | 0.000000 | -0.415584 |
| 55) | 0.000000 | -1.055584 |
| 56) | 0.000000 | 0.000000 |
| 57) | 0.000000 | -0.582972 |
| 58) | 0.000000 | -2.192972 |
| 59) | 0.000000 | -1.106152 |
| 60) | 0.000000 | -0.582972 |
| 61) | 0.000000 | -2.192972 |
| 62) | 0.000000 | 0.000000 |
| 63) | 0.000000 | 0.000000 |
| 64) | 0.000000 | -0.400000 |
| 65) | 0.000000 | 0.000000 |
| 66) | 0.000000 | 0.000000 |
| 67) | 0.000000 | -0.400000 |
| 68) | 0.000000 | 0.000000 |
| 69) | 0.000000 | -0.420000 |
| 70) | 0.000000 | -0.840000 |
| 71) | 0.000000 | 0.000000 |
| 72) | 0.000000 | 0.840000 |
| 73) | 0.000000 | 0.420000 |
| 74) | 0.000000 | 0.000000 |
| 75) | 0.000000 | 0.000000 |
| 76) | 0.000000 | -0.370000 |
| 77) | 0.000000 | -0.740000 |
| 78) | 0.000000 | 0.000000 |
| 79) | 0.000000 | -0.370000 |
| 80) | 0.000000 | 0.000000 |

| | | |
|------|---------------|-----------|
| 81) | 0.000000 | -0.390000 |
| 82) | 0.000000 | 0.390000 |
| 83) | 0.000000 | 0.000000 |
| 84) | 0.000000 | -0.390000 |
| 85) | 0.000000 | 0.000000 |
| 86) | 9206.784180 | 0.000000 |
| 87) | 16077.240234 | 0.000000 |
| 88) | 5231.208008 | 0.000000 |
| 89) | 5178.815918 | 0.000000 |
| 90) | 10713.541992 | 0.000000 |
| 91) | 0.000000 | 0.000000 |
| 92) | 12861.969727 | 0.000000 |
| 93) | 10323.000000 | 0.000000 |
| 94) | 3504.936035 | 0.000000 |
| 95) | 10765.934570 | 0.000000 |
| 96) | 7260.998535 | 0.000000 |
| 97) | 0.000000 | 0.000000 |
| 98) | 15505.200195 | 0.000000 |
| 99) | 0.000000 | 0.000000 |
| 100) | 13290.000000 | 0.000000 |
| 101) | 8256.959961 | 0.000000 |
| 102) | 0.000000 | 0.000000 |
| 103) | 6220.799805 | 0.000000 |
| 104) | 13950.000000 | 0.000000 |
| 105) | 0.000000 | 0.131400 |
| 106) | 4736.399902 | 0.000000 |
| 107) | 9812.160156 | 0.000000 |
| 108) | 0.000000 | 0.131400 |
| 109) | 0.000000 | 0.000000 |
| 110) | 990999.000000 | 0.000000 |
| 111) | 995679.000000 | 0.000000 |
| 112) | 995679.000000 | 0.000000 |
| 113) | 995679.000000 | 0.000000 |
| 114) | 995679.000000 | 0.000000 |
| 115) | 998559.000000 | 0.000000 |
| 116) | 992079.000000 | 0.000000 |
| 117) | 0.000000 | 0.035200 |
| 118) | 997299.000000 | 0.000000 |
| 119) | 994599.000000 | 0.000000 |
| 120) | 0.000000 | 1.849600 |
| 121) | 999327.000000 | 0.000000 |
| 122) | 998739.000000 | 0.000000 |
| 123) | 0.000000 | 0.000000 |
| 124) | 999579.000000 | 0.000000 |
| 125) | 998991.000000 | 0.000000 |
| 126) | 0.000000 | 2.498800 |
| 127) | 991902.375000 | 0.000000 |
| 128) | 978273.000000 | 0.000000 |
| 129) | 0.000000 | 0.126200 |

| | | |
|------|---------------|----------|
| 130) | 992929.812500 | 0.000000 |
| 131) | 985521.250000 | 0.000000 |
| 132) | 0.000000 | 0.126200 |
| 133) | 996567.937500 | 0.000000 |
| 134) | 986049.000000 | 0.000000 |
| 135) | 0.000000 | 1.128600 |
| 136) | 995262.625000 | 0.000000 |
| 137) | 990186.812500 | 0.000000 |
| 138) | 0.000000 | 0.000000 |
| 139) | 994007.500000 | 0.000000 |
| 140) | 978690.562500 | 0.000000 |
| 141) | 0.000000 | 0.370000 |
| 142) | 0.000000 | 0.740000 |
| 143) | 989285.437500 | 0.000000 |
| 144) | 0.000000 | 0.370000 |
| 145) | 987137.000000 | 0.000000 |
| 146) | 0.000000 | 0.390000 |
| 147) | 0.000000 | 0.000000 |
| 148) | 989233.062500 | 0.000000 |
| 149) | 0.000000 | 0.390000 |
| 150) | 0.000000 | 0.000000 |
| 151) | 0.000000 | 0.000000 |
| 152) | 0.000000 | 0.000000 |
| 153) | 0.000000 | 0.000000 |
| 154) | 0.000000 | 0.000000 |
| 155) | 0.000000 | 0.000000 |
| 156) | 0.000000 | 0.000000 |
| 157) | 4680.000000 | 0.000000 |
| 158) | 9000.000000 | 0.000000 |
| 159) | 4320.000000 | 0.000000 |
| 160) | 4320.000000 | 0.000000 |
| 161) | 4320.000000 | 0.000000 |
| 162) | 4320.000000 | 0.000000 |
| 163) | 1440.000000 | 0.000000 |
| 164) | 7920.000000 | 0.000000 |
| 165) | 0.000000 | 0.000000 |
| 166) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 167) | 5400.000000 | 0.000000 |
| 168) | 0.000000 | 0.000000 |
| 169) | 672.000000 | 0.000000 |
| 170) | 1260.000000 | 0.000000 |
| 171) | 0.000000 | 0.000000 |
| 172) | 420.000000 | 0.000000 |
| 173) | 1008.000000 | 0.000000 |
| 174) | 0.000000 | 0.000000 |
| 175) | 8096.640137 | 0.000000 |
| 176) | 21726.000000 | 0.000000 |
| 177) | 0.000000 | 0.000000 |
| 178) | 7069.200195 | 0.000000 |

| | | |
|------|--------------|-----------|
| 179) | 14477.759766 | 0.000000 |
| 180) | 0.000000 | 0.000000 |
| 181) | 5991.513672 | 0.000000 |
| 182) | 21308.447266 | 0.000000 |
| 183) | 0.000000 | 0.000000 |
| 184) | 0.000000 | 0.000000 |
| 185) | 10713.541992 | 0.000000 |
| 186) | 0.000000 | 0.000000 |
| 187) | 12861.969727 | 0.000000 |
| 188) | 0.000000 | 0.000000 |
| 189) | 0.000000 | 0.000000 |
| 190) | 10765.934570 | 0.000000 |
| 191) | 0.000000 | 0.000000 |
| 192) | 0.000000 | 0.000000 |
| 193) | 0.000000 | 0.000000 |
| 194) | 0.000000 | 0.000000 |
| 195) | 0.000000 | 0.000000 |
| 196) | 0.000000 | 0.000000 |
| 197) | 0.000000 | 0.000000 |
| 198) | 0.000000 | 0.000000 |
| 199) | 0.000000 | 0.000000 |
| 200) | 0.000000 | -0.064000 |
| 201) | 0.000000 | 0.000000 |
| 202) | 0.000000 | 0.000000 |
| 203) | 0.000000 | 0.000000 |
| 204) | 0.000000 | 0.000000 |
| 205) | 0.000000 | 0.000000 |
| 206) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 207) | 0.000000 | 0.000000 |
| 208) | 0.000000 | 0.000000 |
| 209) | 2700.000000 | 0.000000 |
| 210) | 0.000000 | 0.000000 |
| 211) | 0.000000 | 0.000000 |
| 212) | 336.000000 | 0.000000 |
| 213) | 0.000000 | 0.000000 |
| 214) | 0.000000 | 0.000000 |
| 215) | 504.000000 | 0.000000 |
| 216) | 0.000000 | 0.000000 |
| 217) | 0.000000 | 0.000000 |
| 218) | 6220.799805 | 0.000000 |
| 219) | 0.000000 | 0.000000 |
| 220) | 0.000000 | -0.400000 |
| 221) | 6220.799805 | 0.000000 |
| 222) | 0.000000 | 0.000000 |
| 223) | 0.000000 | 0.000000 |
| 224) | 5231.208008 | 0.000000 |
| 225) | 5231.208008 | 0.000000 |
| 226) | 0.000000 | 0.000000 |
| 227) | 0.000000 | 0.000000 |

| | | |
|------|--------------|-----------|
| 228) | 0.000000 | 0.000000 |
| 229) | 10323.000000 | 0.000000 |
| 230) | 0.000000 | -1.170000 |
| 231) | 0.000000 | 0.000000 |
| 232) | 7260.998535 | 0.000000 |
| 233) | 0.000000 | 0.000000 |
| 234) | 0.000000 | 0.000000 |
| 235) | 0.000000 | 0.000000 |
| 236) | 0.000000 | 0.000000 |
| 237) | 0.000000 | 0.000000 |
| 238) | 0.000000 | 0.000000 |
| 239) | 0.000000 | 0.000000 |
| 240) | 0.000000 | 0.000000 |

NO. ITERATIONS= 932174

BRANCHES=***** DETERM.= 1.000E 0

ÖZGEÇMİŞ

Fatma KOCA, 29.09.1983 tarihinde Malatya' da doğdu. İlköğretimini Güngören Şehitler İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 1998 yılında başladığı Bayrampaşa Anadolu Lisesi'nden 2002 yılında mezun oldu. 2002 yılında İstanbul Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde eğitime başladıktan sonra 2004 yılında İÜ Makine Mühendisliği yandal programına ve Anadolu Üniversitesi İktisat bölümünde eğitime başladı. 2006 yılında Endüstri Mühendisliği ve Makine mühendisliği yandal eğitimi ile beraber İktisat bölümü önlisans eğitimini tamamladı. 2006-2008 yılları arasında El-Bi Elektrik Uluslararası A.Ş.'de MRP Sorumlusu olarak görev aldı. Şu anda halen Ülker ve Danimarkalı Gumlink firmalarının ortak kuruluşu olan CCC Gıda Uluslar arası A.Ş.'de Planlama Memuru olarak çalışmaktadır.