

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Fahriye UYSAL

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE TOPLU ÜRETİM PLANLAMA İÇİN HMMS
MODELİN ZAMAN SKALASINDA ÇÖZÜMÜ VE BİR UYGULAMA

Danışman

Prof. Dr. Orhan KURUÜZÜM

İşletme Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Antalya, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
ÖNSÖZ	ix
GİRİŞ	1
1. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİM SİSTEMİ	3
1.1.Tedarik Zinciri Kavramı ve Yapısı	3
1.2.Tedarik Zinciri Süreci	8
1.2.1. İtme Temeline Dayalı Tedarik Zinciri	12
1.2.2. Çekme Temeline Dayalı Tedarik Zinciri	13
1.2.3. Darboğaz Temeline Dayalı Tedarik Zinciri	14
1.3. Tedarik Zinciri Bütünleşme Kavramı	16
1.4. Tedarik Zinciri Yönetim Sistemi Tanım ve Kapsamı	29
1.5. Tedarik Zinciri Yönetimi Gelişimi	37
2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE ÜRETİM PLANLAMA VE KONTROL SİSTEMİ	42
2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi ile Üretim Planlama ve Kontrol İlişkisi	42
2.1. Üretim Kontrol Sistemi Kavramı ve Yapısı	46
2.2. Üretim Planlama Kontrol Sistemi ve Düzeyleri	49
2.3. Tedarik Zinciri Yönetiminde Yeni Üretim Planlama ve Kontrol Sistemi Bağlantıları	56
3. TEDARİK ZİNCİRİNDE TOPLU ÜRETİM PLANLAMA	59
3.1. Toplu Üretim Planlama Kavramı	59
3.2. Tedarik Zincirinde Toplu Üretim Planlamanın Önemi	61
3.3. Toplu Üretim Planlama Stratejileri	63
3.3.1. Talep Seçenekleri için Proaktif Stratejiler	65
3.3.2. Kapasite Seçenekleri için Reaktif Stratejiler	66

3.3.3. Karma Stratejiler	68
3.4. Toplu Üretim Planlama Aşamaları	70
3.5. Toplu Üretim Planlama Problemi ve Maliyetleri	71
3.6. Toplu Planlama Yöntemleri	74
3.6.1. Olanaklı Çözüm Yöntemleri	75
3.6.2. Matematiksel Optimizasyon Yöntemleri	78
3.6.2.1. HMMS Modelinin Genişletilmesi	83
3.6.3. Sezgisel Karar Kuralları	87
3.7. Tedarik Zincirinde Toplu Üretim Planlama Uygulamaları	91
4. HMMS MODELİN ZAMAN SKALASI ANALİZİNDE ÇÖZÜMÜ	94
4.1. Zaman Skalası Analizi	94
4.2. Zaman Skalasının Temel Tanımları	96
4.3. Zaman Skalasında HMMS Modeli	99
4.4. Örnek Verilerle Çözüm Modelinin Yorumu	101
5. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE TOPLU ÜRETİM PLANLAMA İÇİN HMMS MODELİN ZAMAN SKALASINDA ÇÖZÜMÜ VE BİR UYGULAMA	106
5.1. Firmanın Tedarik Zincirindeki Konumu	106
5.2. Firmanın Üretim Planlama ve Kontrol Yapısı	108
5.3. Firmanın Toplu Üretim Planlama Yapısı	115
5.4. Metodoloji	117
5.4.1. Verilerin Toplanması	117
5.4.2. Modelin Çalıştırılması ve Sonuçların Karşılaştırılması	121
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	132
KAYNAKÇA	136
EKLER	145
EK-1: Planlanan Üretim ve Stok ile Fiili Talep Verileri	145
EK-2: Fiili Üretim ve Stok Verileri	146
EK-3: 30 Aylık Verilerle Modelin Çalıştırılması	147
EK-4: 36 Aylık Verilerle Modelin Çalıştırılması	151

EK-5: Parçalı Olarak Modelin Çalıştırılması	153
EK-6: 3'er Aylık Dönemler Halinde Modelin Çalıştırılması	156
EK-7: Maliyet Karşılaştırması için Modelin Çalıştırılması	158
EK-8: Farklı α Katsayıları için Modelin Çalıştırılması	163
ÖZGEÇMİŞ	170

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Tedarik zinciri	5
Şekil 1.2. Tedarik zincirinde akışlar	6
Şekil 1.3. Tipik bir tedarik zinciri yapısı	7
Şekil 1.4. Tedarik zinciri süreci	8
Şekil 1.5. Bütünleşik lojistik ve temel bileşenleri	11
Şekil 1.6. İtme temeline dayalı tedarik zinciri	13
Şekil 1.7. Çekme temeline dayalı tedarik zinciri	14
Şekil 1.8. Darboğaz temeline dayalı tedarik zinciri	15
Şekil 1.9. Tedarik zinciri bütünleşme düzeylerini sağlama	18
Şekil 1.10a. İşbirliğinin olmadığı tedarik zinciri	21
Şekil 1.10b. İnternette sipariş verme ile müşteri satıcı işbirliği	22
Şekil 1.10c. İnternette form tabanlı sipariş verme	22
Şekil 1.10d. İşbirliğinin var olduğu tedarik zinciri	22
Şekil 1.11. Tedarik zincirinde ortaklaşa planlama, tahmin ve yenileme yapısı	23
Şekil 1.12. OPTY süreci	26
Şekil 1.13. Tedarik zinciri yönetimi: Tedarik zinciri boyunca yönetilen ve bütünleşen iş süreçleri	34
Şekil 1.14. Tedarik zinciri yönetimi kavramının gelişimi	37
Şekil 2.1. Tedarik zinciri yönetimi evrimi	44
Şekil 2.3. Üretim kontrol sisteminde akış	48
Şekil 2.4. Üretim kontrol sistemi için fonksiyonel ilişki şeması	49
Şekil 2.5. Üretim planlama ve diğer planlama faaliyetleri ile ilişkisi	51
Şekil 2.6. Tedarik zinciri yönetimi ve üretim planlama ve kontrol sistemi ilişkisi	57
Şekil 3.1. Toplu üretim planı ilişkileri	60
Şekil 3.2. Tedarik zincirinde toplu üretim planlama sürecinin veri akışı	62
Şekil 3.3. Toplu üretim planlama stratejileri karşılaştırma tablosu	64
Şekil 3.4. Toplu üretim planlama prosedürü	70
Şekil 3.5. Toplu üretim planlama sistemi	71
Şekil 3.6. Tahmini ve ortalama talep tahmini grafiği	76
Şekil 3.7. Kümülatif grafik	77
Şekil 3.8. Düzenli ödeme maliyeti grafiği	81
Şekil 3.9. İşe alma ve işten çıkarma maliyeti grafiği	82
Şekil 3.10. Sabit işgücü için fazla mesai maliyetleri	82

Şekil 3.11. Beklenen fazla mesai maliyeti grafiği	82
Şekil 3.12. Beklenen stok, sipariş yenileme kurulum maliyetlerinin grafiği	83
Şekil 3.13. Arama karar kuralının geleneksel ve önerilen yaklaşım farkı	89
Şekil 4.1. Üretim $p(t)$ grafiği	103
Şekil 4.2. Stok $I(t)$ grafiği	103
Şekil 4.3. Üretim grafiği	104
Şekil 5.1. Firmanın tedarik zinciri yapısı	108
Şekil 5.2. İş akışını ifade eden fonksiyonel iş akışı	112
Şekil 5.3. Firmanın toplu üretim planlama sürecinin veri akışı	115
Şekil 5.4. Türkiye’de yıllara göre X hasta sayısı dağılımı	116
Şekil 5.5. Türkiye’de X hastalarına göre yaş dağılımı	117
Şekil 5.6. Planlanan üretim verilerine uygun grafik	118
Şekil 5.7. Planlanan stok verilerine uygun grafik	119
Şekil 5.8. Fiili talep verilerine uygun grafik	120
Şekil 5.9. Modelden elde edilen fiili üretim grafiği	121
Şekil 5.10. Firmanın fiili üretim verilerinden elde edilen grafiği	122
Şekil 5.11. Modelden elde edilen fiili stok grafiği	123
Şekil 5.12. Firmadan alınan fiili stok verilerinin grafiği	124
Şekil 5.13. Modelden elde edilen 36 aylık fiili üretim grafiği	125
Şekil 5.14. Firmadan alınan 36 aylık fiili üretim grafiği	126
Şekil 5.15. Modelden elde edilen 36 aylık fiili stok verileri grafiği	127
Şekil 5.16. Firmadan alınan 36 aylık fiili stok verileri grafiği	127
Şekil 5.17. Modelin 36 aylık parçalı fiili üretim grafiği	128
Şekil 5.18. Modelin 36 aylık parçalı fiili stok grafiği	128
Şekil 5.19. Modelin 3’er aylık fiili üretim grafiği	129
Şekil 5.20. Firmadan alınan 3’er aylık fiili üretim verileri grafiği	129
Şekil 5.21. Modelin 3’er aylık fiili stok grafiği	130
Şekil 5.21. Firmadan alınan 3’er aylık fiili stok verileri grafiği	130

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Tedarik zinciri kavramının kavramsal gelişimi	4
Tablo 1.2.. Tedarik, üretim ve dağıtım stokları, talep ve stok sistemi	9
Tablo 1.3. Tedarik zinciri bütünleşme boyutları	20
Tablo 1.4. Tedarik zinciri yönetimi tanımlarının sınıflandırılması	29
Tablo 2.1. Üretim planlama kontrol sistemi dönemsel düzeyleri	55
Tablo 3.1. Toplu üretim planlama seçenekleri avantaj ve dezavantajları	69
Tablo 3.2. Toplu üretim planlama yöntem ve modellerinin sınıflandırılması	75
Tablo 5.1. Maliyet minimizasyonu karşılaştırması	130
Tablo 5.2. Farklı α değerleri için maliyet minimizasyonu karşılaştırması	131

ÖZET

Günümüz rekabet ortamında işletmelerin kendilerini sürekli geliştirme çabaları, işbirliği ile hareket etmeyi gerekli kılan tedarik zinciri yönetimi uygulama ve modellerinin yaygınlaştırılması ile mümkündür. Tedarik zinciri yönetimi anlayışı, rekabet unsurları ve yönetim anlayışlarındaki gelişime paralel olarak, lojistik yönetimini de içine alacak şekilde geniş ve bütünleşik bir ağ yapısını ifade eden yönetim sistemi anlayışına dönüşmüştür. Bu yeni anlayışla tedarik zinciri yönetim sistemi, ürünlerin tedarikinden üretimine dağıtımına ve müşteriye teslimine kadar geçen süreçlerle, üretim planlama ve kontrol sistemi uygulamalarında bütünleştirici bir işlev üstlenmiştir. Tedarik zinciri yönetimi içinde yer alan üretim planlama ve kontrol sisteminin sınırları, malzeme ve bilgi akışını kontrol ederek firma içindeki performansı optimize eden işletme kaynakları planlaması ve ilgili sistemlerinde üzerine çıkmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, tedarik zinciri yönetimi kapsamında, üretim planlama ve kontrol sisteminde toplu üretim planlama performansını değerlendirmek ve geliştirmektir. Bu amaçla, küresel ortamda faaliyet gösteren bir firmanın planlama çalışmalarının performansını ölçme ve iyileştirmeye yönelik bir yol izlenmiştir. Öncelikle toplu üretim planlama yöntemlerinden HMMS modeli, zaman skalası analizinin genelleştirici ve birleştirici iki önemli özelliğinden yararlanılarak çözülmüştür. Elde edilen çözüm modeli planlama performansını ölçmeye odaklıdır.

Modelde, önceden planlanan üretim ve stok ile fiili talep verilerini temsil eden en iyi regresyon denklemi kullanılarak, fiili üretim ve stok değerlerini ifade edecek grafiklere ulaşılmaktadır. Modelde aynı zamanda talep tahminleri kullanarak gelecek dönemlere ait gerçekleşecek üretim ve stok değerlerine ulaşılmaya çalışılarak, geçmiş dönem planlama performansını ölçmekle birlikte gelecek dönemlere ait planlama performansı öngörüsünde bulunmak mümkündür. Uygulamada ortaya çıkan senaryolardan en iyi maliyet minimizasyonunu veren durum seçilmiştir.

SUMMARY

SOLVING MODEL OF HMMS ON TIME SCALES AND AN APPLICATION FOR AGGREGATE PRODUCTION PLANNING IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

The continuous effort of improvement in today's competitive environment is possible for firms by using supply chain management applications and models which needs collaborative actions. Supply chain management concept is a transformation parallel to the competitiveness and changes in the management thoughts including logistic management to become a wide and an integrative management system. With this new epoch, supply chain management system takes upon the role of integration including all the stages from procurement to the shipping of products to the customers with production planning and control system applications. Borders of the production planning and control systems in supply management are spread to control the material and information flow to optimize the firm performance.

The aim of this study is, in the view of supply chain management, to evaluate and improve master production planning performance in production planning and control system. For this reason, a method of measurement and improvement for an international firm's performance is studied. First of all HMMS model, one of the master production models, is solved by using the generalization and unifying properties of time scale analysis. The solution model is focusing on the performance measurement of the planning.

In the model, by using the regression equation which predicts the previously planned production and inventory demand data best, graphs reflecting actual production and inventory values are gained. Also using the demand forecasting, future period's production and inventory values are forecasted. It's possible to obtain not only the past periods planning performance but also to predict the future period's planning performance. Of all the scenarios, the one giving the minimum cost is chosen.

ÖNSÖZ

Tedarik zincirinde toplu üretim planlama için HMMS modelin zaman skalasında çözümünün uygulamasını gerçekleştirdiğim doktora tez çalışmamda hiçbir konuda desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Orhan KURUÜZÜM'e tez izleme komitelerindeki katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Şükrü ÖZEN ve Yrd. Doç. Dr. Hakan ER'e, tez dönemim boyunca her türlü desteklerini hissettiğim hocalarıma, çalışma arkadaşlarıma ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

GİRİŞ

Tedarik zinciri yönetimi kavramının temelini stok yönetimi ve teslimi ile ilgili bir aracı fonksiyon olarak görülen lojistik yönetimi oluştururken, kavramın gelişim sürecini malzeme akışını, tedarikenden başlayıp üretimi ve müşteri ilişkileri yönetimi ile devam eden, fiziksel dağıtım ve satış sonrası müşteri hizmeti yönetimi ile bütünleşen bir yapı izlemektedir. Günümüzde bilgi teknolojileri ve internetten yararlanma kıyaslama ve iş süreçlerinin yeniden yapılanmasını ve bütünleşme eğilimini artırmaktadır. Özellikle çok ortaklı firmaların oluşturduğu ağ yapısı bilgi teknolojileri ve ağ yapısı ile güçlendirilerek tedarik zinciri yönetimi modellerinde başarının anahtarı olarak görülmektedir. Tedarik zinciri modellemeleri ağ yapısının oluşturduğu girdi çıktı ilişkilerini birbirine bağlayarak sistemi bir bütün olarak ele almaktadır.

Bu çalışmada, tedarikten üretime dağıtım ve müşteriye kadar oluşan tedarik zinciri yönetimi ağ yapısı içinde üretim planlama ve kontrol sistemi odak noktayı oluşturmaktadır. Konuya bakış açısı itibariyle üretim planlama, temel bir üretim fonksiyonu olarak uzun, orta ve kısa dönemler halinde ele alınmaktadır. Sorunlar sistemi, orta dönem planlamayı ifade eden toplu üretim planlama ile yapılan çalışmaların kontrol altında tutulabilmesi amacıyla, matematiksel optimizasyon yöntemlerinden doğrusal karar kurallarından yararlanılmıştır. Tedarik zinciri ağ yapısına sahip küresel bir ortamda faaliyet gösteren firmanın toplu üretim planlama adına yaptığı çalışmanın performansını ölçmek ve izlemek amaçlanmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, tedarik zinciri kavramı ve yapısı, süreçleri, bütünleşme aşamaları ve tedarik zinciri yönetimi kavramının gelişimi sistem yaklaşımı içerisinde ortaya konmaya çalışılmıştır.

İkinci bölümde, öncelikle tedarik zinciri yönetimi ile üretim planlama kontrol sistemi arasındaki ilişkiye yer verilmiş ve tedarik zincirini yönetme ve yöneltme konusu değerlendirilmiştir. Daha sonra üretim kontrol sistemi kavram ve yapısı, üretim planlama tanım ve düzeyleri üzerinde durulmuş ve tedarik zinciri yönetiminde yeni üretim planlama kontrol sistemi bağlantıları ortaya konmaya çalışılmıştır.

Üçüncü bölümde, toplu üretim planlama kavramı, tedarik zincirinde toplu üretim planlamanın önemi, toplu üretim planlama stratejileri ve aşamaları incelenmiştir. Daha sonra toplu üretim

planlama problemi ve maliyetleri ile toplu üretim planlama yöntemlerine yer verilmiştir; tedarik zincirinde toplu üretim planlama uygulamalarının nasıl gerçekleştiği anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, ekonomi alanında yeni uygulamaları yer alan zaman skalası analizi genel modelleriyle anlatılmıştır. Daha sonra zaman skalasının genel tanımlarına yer verilmiştir. Sorunlar sistemi olarak belirlenen toplu üretim planlama için yapılan çalışmaların kontrol altında tutulabilmesi amacıyla, HMMS kvadratik amaç fonksiyonu zaman skalasında çözülmüştür. Bu çözüm sayısal bir örneğe uygulanmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, HMMS modelin zaman skalası analizi ile elde edilen çözümü, küresel ortamda faaliyet gösteren bir firmanın verilerine uygulanmıştır. Öncelikle veriler toplanarak model çalıştırılmak üzere en uygun regresyon denklemleri elde edilmiştir. Modelin çalıştırılması ile elde edilen grafiklerle planlama performansı değerlendirilmiştir. Talep tahminleri kullanılarak gelecek dönemler için çalışma genişletilmiştir. En iyi maliyet minimizasyonunu veren senaryo belirlenmiştir.

1. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİM SİSTEMİ

İşletmelerin günümüzde, etkin olarak kendilerini sürekli geliştirme çabaları işletme dışına taşarak, ürettikleri ürün veya hizmetleri daha iyi sunma girişimleri ile rekabet ortamında yerlerini koruyabilmeleri, üretim için gerekli hammaddelerin tedarikinden son müşteriye ulaşıncaya kadar geçen süreçte yer alan diğer firmalarla işbirliği içinde hareket etmeleri, ve tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılması ile mümkündür.

Tedarik zincirinin tarihsel gelişiminde zincir yapısından ağ yapısına dönüşümü firmalar arasındaki ilişkilerin karmaşıklığını ön plana çıkarmaktadır. Bu bölümde, tedarik zinciri kavramı ve yapısı, süreçleri, bütünleşme aşamaları ve tedarik zinciri yönetimi kavramının gelişimi sistem yaklaşımı içerisinde ortaya konmaya çalışılmıştır.

1.1. Tedarik Zinciri Kavramı ve Yapısı

Tedarik zinciri, hammaddelerin tedarikinden üretimine ve dağıtımına kadar olan dönüşümündeki faktörlerin bir ağıdır. Bir firma için tedarik zincirinin tanımı; hammadde üreticilerini, hammadde ve yarı mamulleri işlenmiş ürüne dönüştürme anlamında imalat işlemleri sırasında tedarik işleri ile uğraşanlar ve bitmiş ürünleri dağıtım kanalları vasıtasıyla son tüketiciye kadar ulaştırılmasında değer yaratan bütün unsurları içerir. Bu tanıma tüketici tarafından bakılırsa, tedarik zinciri bir ürün veya hizmet için talepleri karşılamak üzere gereken değeri ortaya çıkaran aşamaların veya unsurların tamamıdır.

Tedarik zincirinin başlangıç noktası tüketici, uç noktası ise hammadde tedarikçileri olan bir yığın işletme yerine bunların tamamını ifade eden tek bir firma görünümünde, sistem düzeyinde bir yaklaşım olduğu açık olarak anlaşılmaktadır. Bu yaklaşım, firmaların içsel çalışmalarını basit ve uygun şekle getirirken, aynı zamanda tüm tedarik zincirinin çalışma yapısını incelemekte ve çalışmalarını iyileştirmek suretiyle de firmaların tüketiciye karşı yapmaları gerekenleri en uygun duruma getirme olanaklarını da sağlamaktadır (Ganeshan ve Harrison, 1995, s.1).

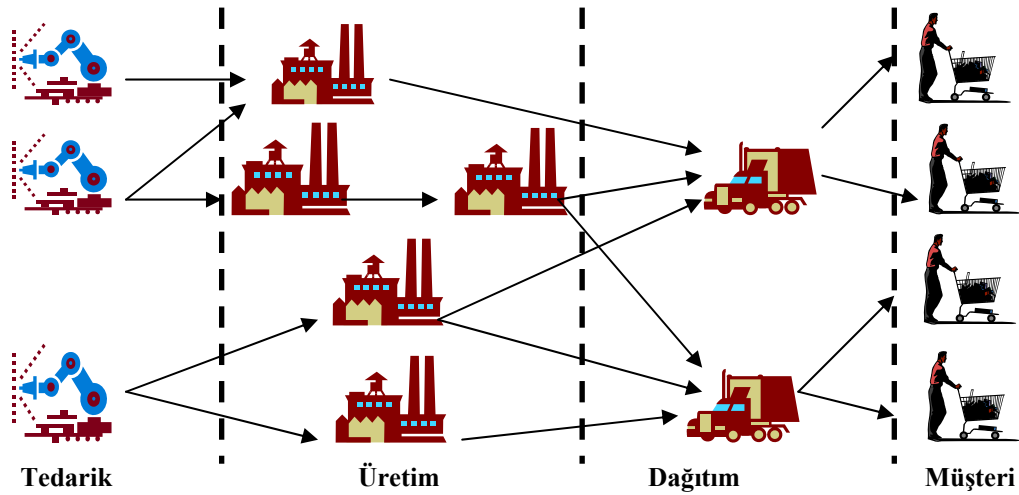
Literatürde tedarik zinciri kavramı, uzun yıllar geleneksel bir zincir olarak ve uzun dönemli yukarıya doğru işbirliği akımının bir biçimi olarak düşünülmüştür. 1990'lı yıllarda, tedarik zincirleri işletmelerin doğrusal zincirleri olarak görülürken (Kemppainen ve Vepsäläinen, 2003, s.701) 2000'li yıllardan günümüze, bir zincirden daha çok bir ağı ifade

etmektedir. Tedarik zinciri kavramının yıllar itibariyle kavramsal gelişimi Tablo 1.1.'de derlenmiştir.

Tablo 1.1. Tedarik zinciri kavramının kavramsal gelişimi

YIL	YAZARLAR	TANIM
1989	Stevens, s.3	Malzemelerin ve parçaların planlaması, koordinasyonu, kontrolü ve tedarikçilerden müşteriye bitmiş ürünlerle ilgili faaliyetlerin bağlantılı serisidir.
1994	La Londe ve Masters, s.35	Firmanın malzemelerinin ileriye doğru akışının bir setidir.
1997	Quinn, s.43	Hammadde düzeyinden başlayarak son kullanıcıya kadar ürünlerin hareketi ile ilgili faaliyetlerin tümüdür.
1998	Institute of Logistics, s.8	Müşteri tatmini sağlamak amacıyla olayların birbirini izlemesidir. Satın alma, üretim, dağıtım, taşımacılık, depolama ve bilgi teknolojilerini içerebilir.
1998	Lambert vd., s.6	Ürünlerin ve hizmetlerin pazarlanmasında ortaya çıkan firmaların dizilimidir.
1999	Lummus ve Vokurka, s.11	Bir ürünün hammadde halinden son müşteriye ulaştırılmasında yer alan, hammadde ve malzemelerin kaynağını bulma, üretim ve montaj, depolama ve envanter izleme, sipariş girişi ve yönetimi, dağıtım, müşteriye teslim aktivitelerinin kontrol edilmesi için gerekli bilgi sistemlerinin tasarlanmasıdır.
2000	Committee on SCI, s.2	Spesifik bir ürünün oluşturulmasında aralarında satın alma, dönüştürme, dağıtım ve mal ve hizmetlerin satışında iyi ilişkilerin kurulduğu birlikte çalışan müşteri ve tedarikçilerin ağıdır.
2002	Bone vd, s.363	Satıcı firmadan malzemeleri satın alma fonksiyonu, bu malzemelerin ara mamullere dönüşümü, bitmiş ürünler ve bu bitmiş ürünlerin müşteriye dağıtımını başaran firmanın faaliyetleri, organizasyonları ve teknolojilerinin bir ağıdır.
2004	Huang, s.3	Tedarikçiler/ üreticiler ve müşteriler arasında kalan toptancılar ve perakendeciler ile çoklu ticari ortaklar malzeme ve/veya bilgi akışı ile birbirine bağlılığı ifade eder.

Tedarik zinciri, hammaddelerden bitmiş ürünler elde etmek üzere, üretimden müşteriye teslimine kadar geçen bütünleşik bir süreci kapsar. Tipik bir tedarik zinciri Şekil 1.1.'de görülmektedir. Tedarik zinciri genel kapsamda, tedarik, üretim, dağıtım ve müşteriler olmak üzere dört aşamayı içerir. Tedarik zincirinin karmaşıklığını her bir aşamadaki hizmet sayısı ve zincirdeki aşamaların sayısı oluşturur (Beamon, 1999, s.276). Basit bir tedarik zinciri doğrusal yapıda gösterilebilir. Tedarik zincirleri doğrusal olsun veya olmasın teorik olarak sunulan modellerden daha karmaşıktır. Tedarik zinciri, uygulamalarda doğrusal değildir. Her bir üye çaprazlama tedarik zincirinin bir bağı olarak hareket eder (Lawrence, 2002, s.17).

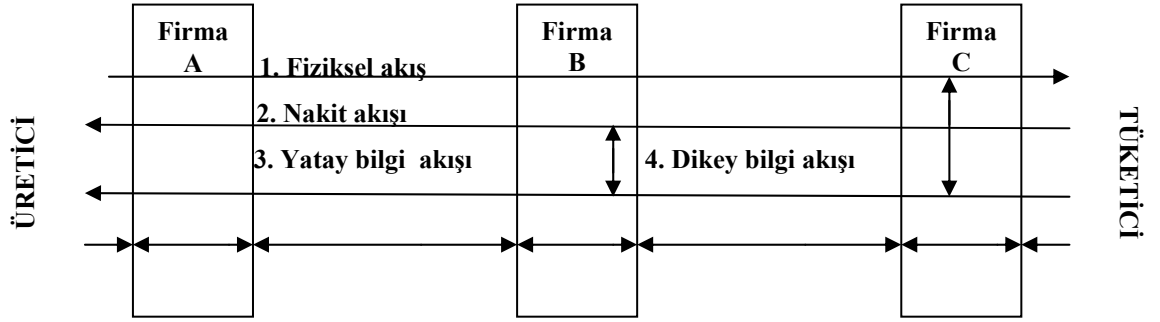


Şekil 1.1. Tedarik zinciri (Kaynak: Beamon, 1999, s.276)

Tedarik zincirinde etkinliğin sağlanabilmesi, doğru bilgiye zamanında ulaşmayı gerektirir ve zincir karmaşıktıkça bu ihtiyaç daha da artar. İşletmelerin aynı anda birden fazla tedarik zinciri üyesi olması mümkündür. Bu işletmenin tedarik zincirinde içsel ve dışsal bağlantılarının belirlenmesi gerekir. Bu bağlantılardan en kritik olanlar üzerine odaklanma işletmeye rekabet avantajı sağlama ve başarısının devamına katkıda bulunmak konusunda büyük potansiyel yaratır. İçsel tedarik zinciri firmanın sınırları içinde gerçekleşen kısımdır. Dışsal tedarik zincirinde ise farklı firmalar ve bunların temsilcileri dahil olmakta ve zincir yapısının karmaşıklığı artmaktadır.

Forrester (1961) sistem içinde tedarik zinciri olarak adlandırılan herhangi bir ekonomik faaliyetin; para, siparişler, malzemeler ve bilgi ağı ile ilişkili dört akışını ifade ederken Lumsden (1998)'e göre tedarik zinciri beş farklı akışı içerir (Şekil 1. 2.) :

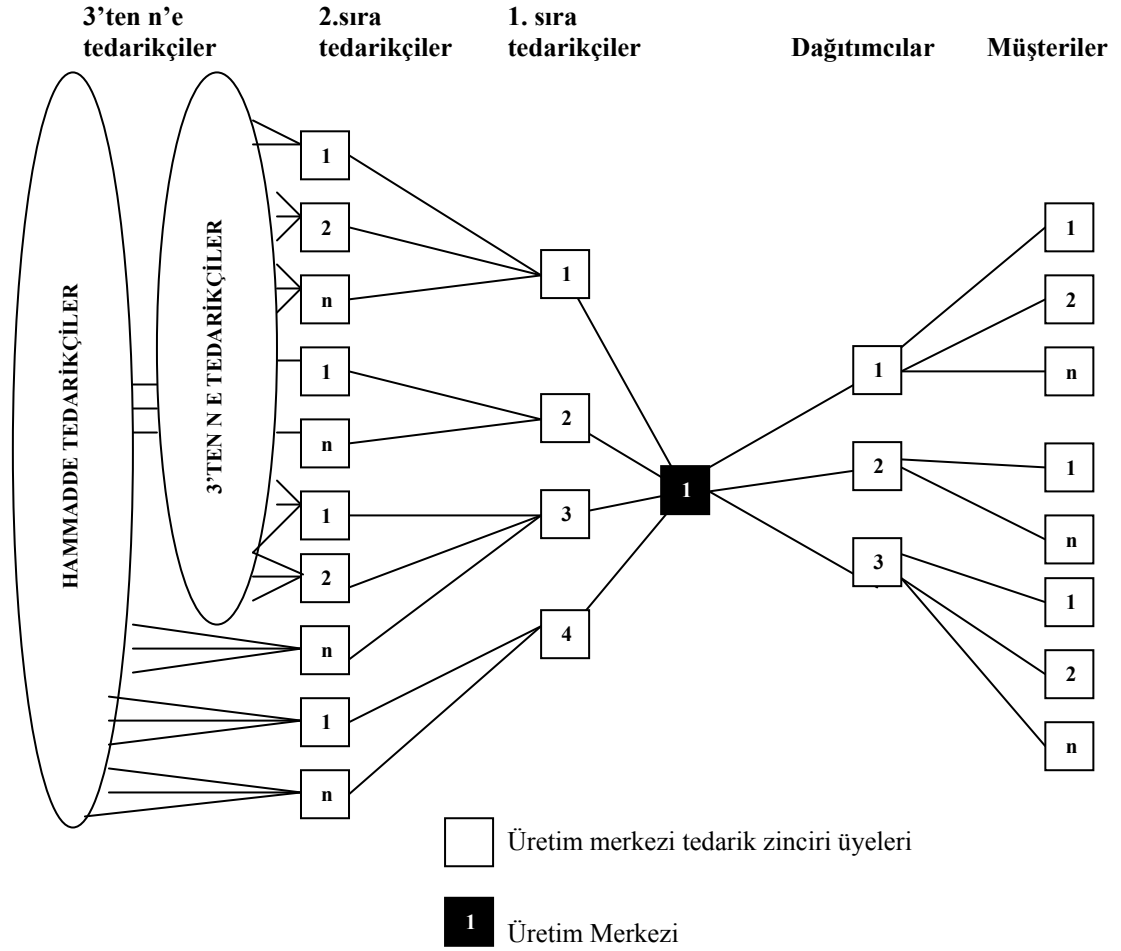
- i. Malzemelerin fiziksel akışı, üreticiden müşteriye taşınan ürünleri içerir.
- ii. Nakit akışı, genellikle tedarik zincirinde müşteriden üretici organizasyonlar boyunca geriye doğru gider.
- iii. Yatay bilgi akışı, doğru ürünleri üretmek veya teslim zamanı ile ilgili olarak, müşteriden üreticiye ve üreticiden müşteriye doğru olmak üzere iki yönlüdür.
- iv. Dikey bilgi akışı dört yatay akış arasında gider. Örneğin, kamyon izleme sistemi.
- v. Diğer bir fiziksel akış kaynak akışıdır. Konteyner, ürünleri bir yerden diğer bir yere taşımak üzere kullanılır.



Şekil 1.2. Tedarik zincirinde akışlar (Lumsden, 1998, s.59)

Tedarikçilerden müşterilere uzanan fiziksel ürün akışı, iade, servis, geri dönüşüm ve imhalden oluşan ters yönlü olarak oluşur. Malzeme akışında, taşıma şekli ve taşıyıcıların tedarik zinciri süreci ile uyumlu olarak belirlenmesi gerekir. Bilgi akışı, sipariş iletimi ve sevkiyat durum bilgisini kapsar. Hızlı, güvenilir ve müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilen bir yapıya sahip olmalıdır. Finansal akış, kredi bilgileri, ödeme çizelgeleri, konsinye ve isim hakkı düzenlemelerini içerir. Bu akışlar, işletme içinde ve işletmeler arasındaki birçok fonksiyonla iç içe çalışmaktadır. Bu akışların koordinasyonu ve bütünleşmesi etkin bir tedarik zinciri için kritik bir öneme sahiptir.

Üretim işlemleri, artan bir şekilde uzmanlaşarak karmaşık bir yapıya büründüğü için, tedarikçiler kendi tedarikçileri ile olan ilişkilerini de organize etmek durumundadır. Bu uzatılmış ilişkiler, şirketlerin son tüketicilerinin talebini tam olarak karşılamak üzere bir zincir gibi sistemli çalışmalarını nedeniyle “tedarik zinciri” adıyla ifade edilirler. Şekil 1.3.’te böyle tipik bir tedarik zinciri yapısını görülmektedir. Her firma en az bir tedarik zinciri parçasına ihtiyaç duyar. Bu bir seçim konusu değildir. Bir firmanın katıldığı zincir, son ürünü oluşturmak ve desteklemek için gereken tüm yetenekleri birlikte sağlayan üretim merkezini, tedarikçilerini ve müşterilerini de içine alacak şekilde tanımlanmalıdır(Lambert vd., 1998, s.6).



Şekil 1.3. Tipik bir tedarik zinciri yapısı (Lambert, 1998, s.7)

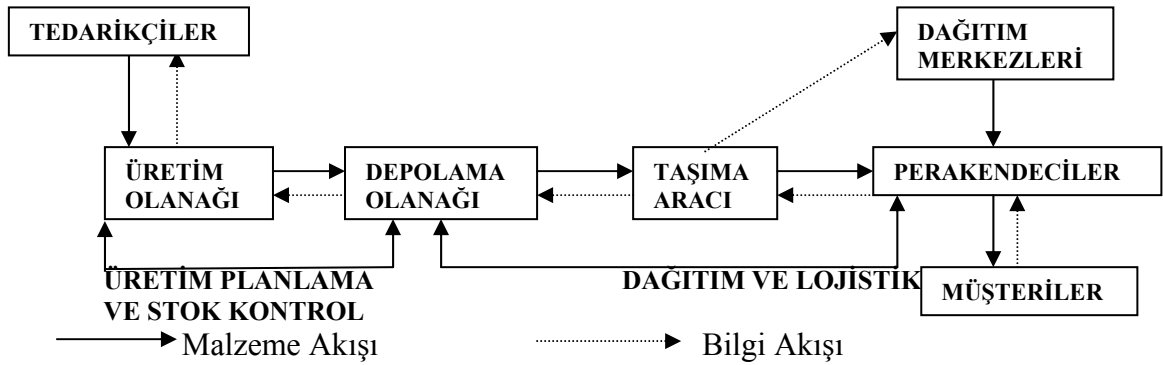
Tedarik zinciri, zincir boyunca aşağı ve yukarı bilginin birleştirici özelliğinin yanında tasarım, fabrikasyon, dağıtım, satış, destek, kullanım ve bir ürünün geri kazanımı veya yok edilmesi için ihtiyaç duyulan bütün yetenekleri ve fonksiyonları içerir. Tedarik zincirleri, aralarında taşımacılık ve iletişim ağları ile oluşan bağlar kadar, hammadde kaynaklarını, ürün tasarımını ve mühendislik organizasyonlarını, üretim fabrikalarını, dağıtım merkezlerini, perakende mağazalarını ve müşterileri de içeren, faaliyetlerin ve yeteneklerin coğrafi olarak dağıtılmasından oluşturulmaktadır. Üretim merkezleri genellikle her bir ürün hattı için bir tedarik zincirine sahiptir, ancak benzer yetenekler çoklu zincirlerde de kullanılabilir. Üretim merkezi tek tedarik zincirinde yer alabilirken, tedarikçiler birden fazla tedarik zincirine katılabilmektedir (National Research Council Staff, 2000, s.22). İlk sıra tedarikçi üretim sistemine doğrudan parçaları ve hizmetleri sağlarken ikinci sıra tedarikçiler ilk sıra tedarikçilere parçaları sağlar. Aynı şekilde, üçüncü sıra tedarikçi, ikinci sıra tedarikçiye girdileri sağlayacaktır.

Sonuç olarak tedarik zincirinde yer alan firmaların ileri ve geriye doğru bilgi, kaynak, malzeme ve nakit akışlarının kesintisiz sağlanması ağ yapısındaki bütünselliği koruma açısından önemlidir.

1.2. Tedarik Zinciri Süreci

Tedarik zinciri, hammaddelerin bitmiş ürünlere dönüşümünden müşteriye teslimine kadar bütünleşik bir üretim sürecini ifade eder. Bu süreçte, üretim planlama ve kontrol ile dağıtım ve lojistik yer alır (Min ve Zhou, 2002, s.232).

Hammaddelerin nihai ürüne dönüşümü ve akımı için temel yapı sağlayan bu süreçler ile malzemelerin ileriye ve bilginin geriye doğru akışını ifade eden tedarik zinciri süreci Şekil 1.4.'te görülmektedir.



Şekil 1.4. Tedarik zinciri süreci (Kaynak: Min ve Zhou, 2002, s.32 ve Beamon 1998, s.282)

a) Üretim Planlama ve Stok Kontrol

Planlama, imal edilecek olan ürün ve üretim kaynakları hakkındaki verilerin analizi ile başlar. Bu veriler sayesinde belirlenmiş olan hedeflere verimli şekilde ulaşmak üzere firma kaynaklarının kullanımı, bir program hazırlanarak ana hatları ile verilir. Üretim planı, çeşitli imalat kısımları için alt hedefleri, önceden tespit edilmiş zaman devreleri cinsinden ortaya koyar. Bu alt hedeflere ulaşılmasında üretim sisteminin ana hedefinin gerçekleşmesini destekler. Operasyonlar sırasıyla ve üretim planında tespit edilmiş olan detaylara göre yerine getirilir (Acar, 1989, s.19). Geniş anlamda üretim planlama, imal edilen ürünün tüm aşamalarını kapsayan bir fonksiyondur. Burada temel amaç, yönetimin hedeflerini başaracak

üretim hızını saptamak ve sürdürmektir (Kuruüzüm, 1992, s.48). Üretim planlamada kullanılan bir teknik; önce imalat prosedürüne girecek bütün faktörler hakkında mümkün olan tüm bilgiler elde edilir sonra projede belirtilen tamamlanma tarihinde gerçekleştirmek koşuluyla, kısa sürede ve iyi usulde operasyonlar zamanlanır, detaylı plan ortaya çıkar. Üretim planlama, planlanan satış ve stok düzeylerinde en iyi tatmini sağlamak için imalat çıktılarının genel düzeyini ayarlama sürecidir (Oden vd., 1993, s.43).

Bir üretim sisteminde üretilen mamule dolaysız veya dolaylı olarak katılan bütün fiziksel varlıklar ve mamulün kendisi stok kavramı içinde düşünülür (Kobu, 2003, s.341). Bazı işletmelerde yeterli hammadde stoğu olduğu bilindiği halde, birkaç önemsiz parça yüzünden tüm imalatın aksaması gibi durumlara rastlanabilir. Bunun gibi olumsuz durumların önlenmesi etkin bir stok kontrolü ile sağlanır. Doğru ürünleri, yeterli miktarda, doğru yerde ve doğru zamanda sağlayarak müşteri hizmet düzeyini maksimize etmek ve stok tutma maliyetleri, kurulum maliyetleri, sipariş maliyetlerini içeren müşteri hizmet düzeyinde sağlanan maliyetleri minimize etmek stok kontrolün iki temel amacını oluşturur (Oden vd., 1993, s.43). Stok kontrol, stok politikası geliştirmek için mekanik bir prosedürdür. Kontrol ölçüm birimleri miktar temellidir. Sorumluluk ve izleme, el veya bilgisayar teknikleri ile yapılabilir. Başlıca farkları hız, doğruluk ve maliyetten oluşur (Bowersox ve Closs, 1996, s.282).

Tedarik zincirinde stoklar; hammadde stokları (tedarik stokları), iş süreci (süreç içi) stokları (üretim stokları) ve bitmiş ürün stokları (dağıtım stokları) olarak sınıflandırılır. Talep ve stok sistemleri arasındaki farklar Tablo 1.2. de özetlenmiştir.

Tablo 1.2.. Tedarik, üretim ve dağıtım stokları, talep ve stok sistemi

ÖZELLİK	TEDARİK STOKLARI	ÜRETİM STOKLARI	DAĞITIM STOKLARI
Stoktaki maddeler	Hammaddeler, bileşenler	İş sürecindeki malzemeler	Bitmiş ürünler Hizmet partileri Tamir takımları
Talep türü	Bağımlı-bağımsız talep	Bağımlı talep	Bağımsız talep
Talep kaynağı	Tedarikçiler	Ana Üretim Çizelgeleme	Tahmin edilmiş ve gerçek müşteri siparişleri
Talep niteliği	Tedarikçiler için bağımlı talep	A:Ü.Ç. için bağımlı talep Talep hesaplanabilir.	Her bir madde için bağımsız talep Talep tahmin edilmeli
Stok sisteminin tipi	Tedarik İhtiyaçları Planlama	Malzeme İhtiyaç Planlama sistemi veya Tam zamanında üretim	İstatistiksel Sipariş noktası sistemi veya dağıtım kaynakları planlama

Hammadde stoklarının başlıca fonksiyonları; ihtiyaç duyulan hammaddeleri güvenli olmayan teslimlere karşı korumak, uygun zamanda ve büyük miktarlarda satın alma durumunda maliyetleri aşağıda tutmaktır.

İş sürecindeki stokların başlıca fonksiyonları; üretim sürecinde malzemeleri güvenli olmayan teslimlere karşı korumak, sürecin herhangi bir bölümünden farklı üretim plan ve çizelgeleri ile ortaya çıkacak duruma hazır olmak, küçük partilerden ziyade oldukça büyük partilerde ürünlerin üretimi için bireysel istasyon ve makine merkezlerine izin vermek, sonuç olarak iş süreci boyunca üretim akış hızını düzenlemektir.

Bitmiş ürün stoklarının başlıca fonksiyonları; müşteriler için hızlı ürün teslimatına hazırlıklı olmak, müşteri taleplerinin belirsizliğine karşı koruma sağlamak, talep dengesiz olsa dahi süreçteki talepleri (bitmiş ürün stoklarının birikmesi) düzeltmektir.

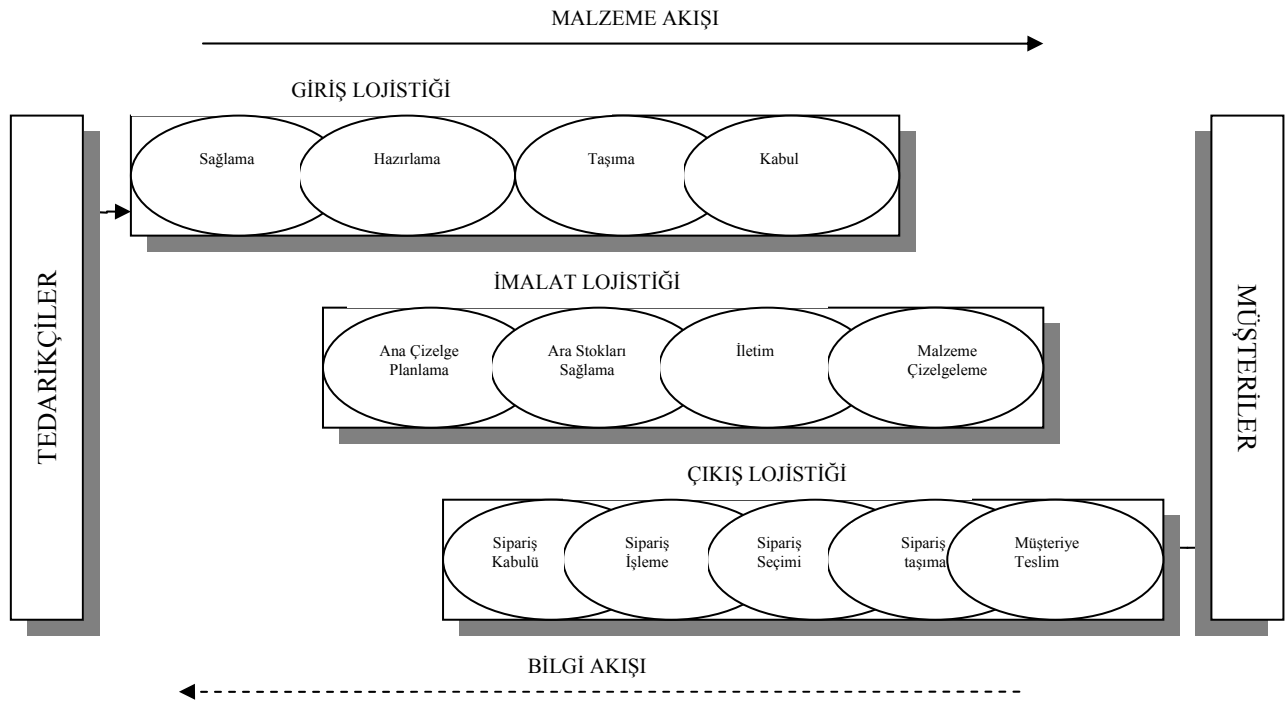
İş süreç stoklarının kontrolünde kullanılan araçlar, hammadde ve bitmiş ürün stoklarının kontrolünde kullanılan araçlardan çok farklıdır. Bitmiş ürün stokları ve hammadde stoklarının kontrolü için kullanılan teknikler göreceli olarak gelişmekte ve yayılmaktadır. Üretim yöneticilerinin büyük bir kısmı, stok yönetmeyi sadece iş süreçlerindeki stokları yönetmek olarak düşünür. Bunun sebebi ise yönetim araçlarının uygun tanımlanmamış olmasıdır. Azalan iş süreç stoğu genel olarak bilgi akışı ve onun üretim süreci ile mücadelesidir. İş süreç stok düzeylerini kontrol etmek için yöneticiler, bilgi akışını geliştirmek ve üretim darboğazını aşmanın yollarını veya üretim çevrim zamanını azaltmanın yollarını arayabilirler (Schmenner, 1990, s.451).

b) Lojistik ve Dağıtım

Lojistik, doğru ürünlerin, doğru miktarda, doğru yerde ve doğru zamanda mümkün olan en düşük maliyetle ulaştırılmasıdır. Lojistik, tüketici ihtiyaçlarını tatmin etmek için hammaddelerin, süreç içerisindeki envanterin, nihai mamulün veya ilgili bilginin çıkış noktasından nihai tüketim noktasına kadar etkin ve masrafları en aza indirilmiş bir şekilde varabilmesi için yapılan planlama, uygulama ve kontrol süreci olarak, The Council of Logistics Management (CLM) tarafından tanımlanmıştır.

Lojistik, tedarik, taşıma, depolama ve teslim edilen tedarik zinciri malları(imalatın tüm aşamasındaki ürünler, hizmetler ve bilgi) ile ilgili faaliyetlerin bir bütünüdür. Bütünleşik

lojistik süreci, giriş lojistiği, imalat lojistiği ve çıkış lojistiği olarak Şekil 1.5.'te görülen temel bileşenleri içerir. Giriş lojistiği, imalat veya dağıtım karmaşası içinde malzemelerin, parçaların ve bitmiş ürün stoklarının düzenli akışını kolaylaştırmak için çeşitli faaliyetlere ihtiyaç duyar. Bunlar, sağlama, hazırlama, taşıma ve kabuldür. İmalat lojistiğinin firmanın giriş ve çıkış lojistiği arasında konumlandığı söylenebilir. Amacı, üretim programına destek için stok sürecinde çalışma ve malzemelerin düzenli ve ekonomik akışını sağlamaktır. İmalat lojistiği, ana çizelge programlama, ara stokları sağlama, malzeme iletimi ve malzeme çizelgeleme olarak dört faaliyeti içerir. Çıkış lojistiği, müşteri siparişlerini işleme ve teslim etme faaliyetlerini içerir. Fiziksel dağıtım kapsamında, sipariş kabulü, sipariş işleme, sipariş seçimi, sipariş taşıma ve müşteriye teslim faaliyetlerini kapsar.



Şekil 1.5. Bütünleşik lojistik ve temel bileşenleri (Kaynak: Uysal, Kuruüzüm, 2006, s.204)

Dağıtım müşteri hizmeti ile ilgilidir ve sipariş alma ve işleme, envanter paylaşımı yapma, envanter depolama ve taşıma ile dağıtım kanalı içinde nakletme faaliyetlerini içerir. Temel amacı, düşük maliyetle stratejik kararlar doğrultusunda belirlenen müşteri hizmeti seviyesini sağlayarak, elde edilen gelirden katkı yaratmaktır. Ürünün elde edilebilirliği, ancak kanaldaki her katılımcının çabaları ile sağlanabilir. Dağıtım, kanal ile müşterileri birbirine bağlar ve lojistik sürecinin bütünleşik bir parçasıdır (Bowersox ve Closs, 1996, s.35).

Tedarik zinciri sürecinin yapısal özellikleri büyük ölçüde üretim merkezinin sahip olduğu baskın üretim tipine bağlıdır. Örneğin ürün değişkenliğini yüksek ve genellikle üretim hacminin genellikle düşük olduğu doğrudan siparişe yönelik üretim tipinde, müşteri tatmini, zamanlama ve maliyet performansı ön plandadır. Ürün standardizasyonunun yoğun ve üretim hacminin yüksek olduğu doğrudan stoğa yönelik üretim tipinde ise daha çok ekonomik parti büyüklükleri, atıl kapasite minimizasyonu ve üretim akışının düzgünleştirilmesi üzerine kurulur.

Üretim sistemlerinde planlama ve kontrol prensipleri itme “push”, çekme “pull” ve darboğaz “squeeze” olarak adlandırılır (Kuruüzüm, 1992, s.46). Bu prensiplerin genel işleyişi tedarik zinciri içinde geçerlidir. Chopra ve Meindl (2007) tedarik zincirindeki çekme sürecini, müşteri talebine cevap verdiği için tepkisel süreçler olarak, itme sürecini, gerçek talep yerine tahmin edilmiş veya spekülative kelimesine karşılık gelmesinden dolayı spekülative süreçler olarak adlandırmaktadır. Tedarik zincirinde, darboğaz süreci ise itme ve çekme sürecinin ayırımında yer alır. Söz konusu prensipler, özellikle gelen malzeme ve süreç içindeki malzeme ve parça akışının yönetiminde farklılaşmaktadır. Ancak imalatın herhangi bir aşaması için gereken malzeme veya parça talebinin belirli olması varsayımı ortaktır. Talebin belirli veya belirsiz olması koşulları ise bağımlı ve bağımsız talep kavramları ile açıklanır.

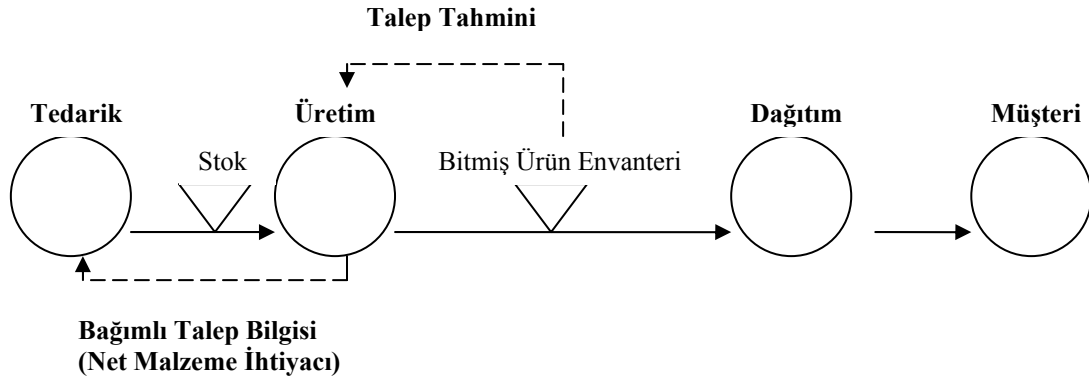
Talebin bağımsız olması durumu, herhangi bir envanter kaleminin bir ihtiyaçlar hiyerarşisinde veya öncelik ilişkisine bağlı olmaksızın, genellikle geçmiş dönem seyrinin gelecekte de devam edeceği varsayımı ile veya sübjektif değer yargılarıyla tahmin edilmesi halinde söz konusudur.

Bağımlı talep daha çok, imalat sürecindeki malzeme ve parça ihtiyaçlarının belirlenmesinde ortaya çıkar. Zira buradaki envanter kalemleri, miktar ve üretim sırası itibarıyla bir ihtiyaçlar hiyerarşisine veya öncelik ilişkisine tabidir. Bu bağımlılık tüm imalat süreci boyunca malzemeler, parçalar ve işlemler bazında devam eder ve ilgili nihai ürün ile son bulur (Kuruüzüm, 1992, s.47).

1.2.1. İtme Temeline Dayalı Tedarik Zinciri

İtme prensibi ile işleyen süreç, hammadde ve malzemedan ürüne yani ileriye doğru bir yönlendirme ile çalışır. Belirli bir dönem içerisinde imalat sürecinde üretilecek parçalar ve miktarları, merkezi planlamanın ilgili programları doğrultusunda hazırlanan iş emirleri ile

saptanır. Dönem sonunda iş emirleri, gerçekleşen değerleriyle geri besleme ve kontrol bilgisi olarak planlamaya döner. Böylece uygun performans analizleri ve raporları için bir temel oluşturulur. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi itme sistemi, bilgi temeline (knowledgebase) dayalıdır ve veri tabanı (data-base) desteğine büyük ölçüde ihtiyaç duyar.



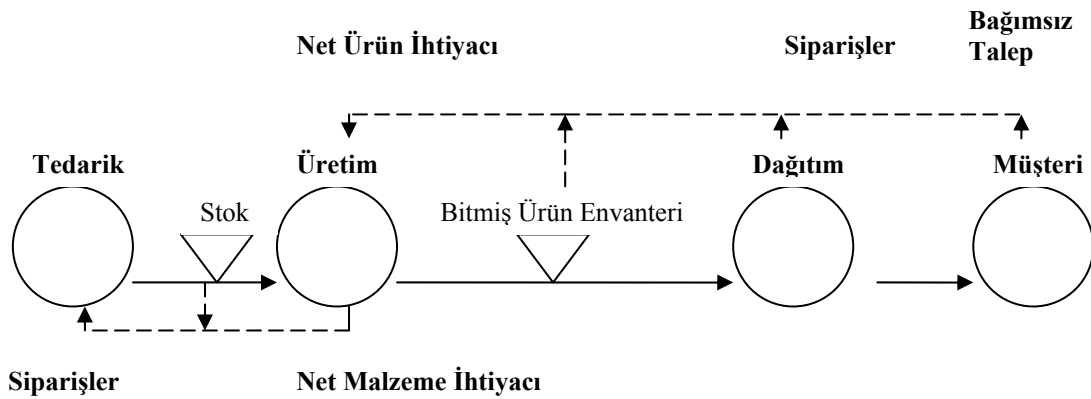
Şekil 1.6. İtme temeline dayalı tedarik zinciri

Üretim planlama ve kontrol sisteminde itme prensibinin en yaygın ve tipik uygulaması 1960'lı yıllarda geliştirilen ve amacı, çok aşamalı imalat süreçlerinde daha düşük envanter düzeyi ile çok bileşenli ürünlerin üretimini programlamak olan Malzeme İhtiyaç Planlama (Material Requirements Planning) (MRP) sistemidir. İtme sisteminin diğer bir uygulaması, imalat kaynakları planlaması (Manufacturing Resource Planning) (MRP II) satın alma ve imalat sistemlerini bütünsel bir yaklaşımla sürekli izleyerek etkin bir geri besleme sistemi yaratmak amacı ile geliştirilmiştir.

Üretim planlama ve kontrol sisteminde itme prensibinin, veri tabanı ve bilgisayar desteği ile bilgi temeline dayalı planlama mantığını kullanması dolayısıyla karmaşıklaştığı, üretimin partiler ya da yığınlar halinde olması yerine birime indirgenmesi gerektiği konularında eleştirilmesi, bir takım yeni arayışları da beraberinde getirmiştir. Nitekim 1980'li yılların başında ürün esnekliğini artırmak, imalat sürecinde artık veya yük olarak tanımlanan süreç içi envanterden kurtulmak amacıyla çekme sistemi geliştirilmiştir (Kuruüzüm, 1992, s.47).

1.2.2. Çekme Temeline Dayalı Tedarik Zinciri

Çekme temeline dayalı tedarik zincirlerinde üretim ve dağıtım için yön belirleyen taleptir. Bu sistem, dağıtım kanalları boyunca ürünü çeken kanal üyeleri için stok ihtiyaçlarına cevap verir. Tedarik zinciri süreci tahminle değil gerçek müşteri talebi ile ilişkilidir. Çekme temeline dayalı tedarik zinciri yapısı Şekil 1.7.'de görülmektedir.



Şekil 1.7. Çekme temeline dayalı tedarik zinciri

Üretim planlama ve kontrol sisteminde çekme prensibi ürün esnekliğinin yüksek ve çok aşamalı imalat süreçleri için kullanışlıdır. Çekme sisteminde bir ana üretim programı vardır, imalat ve sevkiyat listeleri tepeden hazırlanmış bir programa bağlı değildir. Herhangi bir iş merkezi parçayı, onu kullanacak olandan gelecek bir işaretle imal etmeye başlar. Söz konusu işaret index kart sistemi ile sağlanır. Çekme sisteminin en yaygın uygulaması tam zamanında üretim, ürünün tasarımından, çekme prensipleriyle imalatına ve müşteriye teslimine kadar olan tüm faaliyetleri kapsar. Tam zamanında üretim sisteminde index kartlara kanban denir.

Çekme sisteminde zaman periyotları daha kısadır. Geniş bir veri tabanına ve bilgisayar kullanımına gerek duymadan üretim akışını basite indirgeyerek manuel bir biçimde sağlar. Sistem genel olarak müşteri bayiliklerini, imalat sürecini, fasoncuları, hammadde ve malzeme satıcılarını kapsayan sistemi bir bütün olarak ele alır. Sistemin işleyiş etkinliğinin en önemli göstergelerinden biri olan temin süreleri, belirlilik koşullarında saptanmalıdır (Kuruüzüm, 1992, s.48).

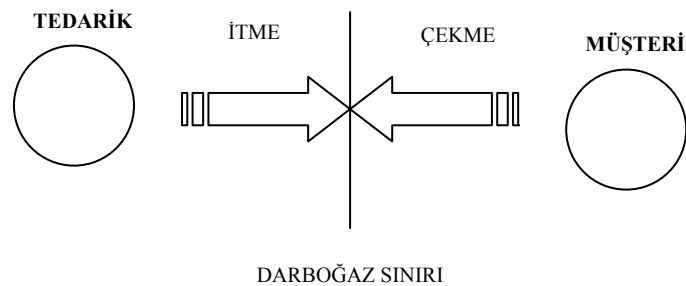
1.2.3. Darboğaz Temeline Dayalı Tedarik Zinciri

Üretim planlama ve kontrol sisteminde itme prensibine reaksiyon olarak geliştirilen diğer bir yaklaşım darboğaz sistemidir. 1970'li yıllarda Birleşik devletlerde bir üretim planlama ve programlama aracı olarak geliştirilmiştir. Aslında itme sisteminin birçok özelliğini üzerinde taşır. Ancak kısıtlı kaynaklarla ilgili malzeme akışı ve darboğaz niteliğindeki makineler konusunda yoğunlaşan bir yapısı vardır. İmalat sisteminin tümü üzerinde aynı yoğunluğu göstermek yerine sistemin akışında dalgalanmalara neden olan bu akışı sıkıştıran veya bozan

nedenleri araştırmak, böylece kıt kaynakları ve sıklıkla neden olan makineleri (veya iř merkezlerini) saptamak, sonuçta bunların neden olduğu dalgalanmaları ve sıklıkla engelleyecek politikaları ve matematik modelleri üretmek mantığına dayalıdır. Bu sistemin tipik uygulaması, Goldratt tarafından geliştirilen OPT (Optimized Production Technology) tekniğidir. Teknik, imalat sürecindeki faaliyetleri sebep sonuç ilişkisi arasındaki farklarla inceler. OPT prensipleri darboğaz teorisinin temelini oluşturur. Buna göre, imalat akışının dengelenmesi, kapasite kullanımından önce gelir.

Darboğaz oluşturmeyen bir faktörün (bileşenin) kullanım düzeyi, sadece kendi potansiyeli ile değil sistemdeki diğer kaynaklar tarafından da belirlenir. Bir kaynaktan yararlanma ile onu aktif hale getirme eşanlımlı değildir. Darboğaz durumunda bir saatlik kayıp, sistem bütününde de en az bir saatlik kayıptır. Sistemdeki malzeme ve parça akışını darboğaz yönlendirir. Üretim sürecindeki parti büyüklüğü ile süreçte transfer edilen parti büyüklükleri farklı ve değişken olmayı gerektirir. Sistemin genel olarak bilgi temeline dayalı ve modüler bir yapıda olması, yazılım ve bilgisayar desteğini gerekli kılmakta ya da çalışmayı kolaylaştırmaktadır (Kuruüzüm, 1992, s.49).

Simchi Levi (2002)'e göre tedarik zincirinde darboğaz stratejinin tipik olarak başlangıcı itme temelli, geri kalanı çekme temelli, bölümler arasında kalan ara yüzü ise Şekil 1.8.'de görüldüğü üzere darboğaz sınırı oluşturur.



Şekil .1.8. Darboğaz temeline dayalı tedarik zinciri

Darboğaz sınırı, tedarik zinciri tasarımı için düşünölen stratejik kararlarla ilişkilendirildiği zaman oldukça kullanışlıdır ve amaç, yaklaşık bir darboğaz sınırı tanımlamaktır (Chopra ve Mendl., 2007, s.12).

1.3. Tedarik Zinciri Bütünleşme Kavramı

Tedarik zinciri bütünleşmesi, son ürünün oluşturulması, dağıtımı ve desteklenmesinde ortak performansları optimize etmek için birlikte çalışan müşteri ve tedarikçilerin bir ağı olarak tanımlanabilir. Bütünleşmenin amacı, zincirin bütününde performansı optimize etmek ve tedarik zincirindeki her bir katılımcının ilgili kaynaklarını koordine etmektir. Katılımcılar, dikey olarak bütünleşen bir işletmenin bölümleri olarak düşünülürse zincir boyunca güven duygusu ile hedefleri paylaşarak ve gönüllülük esası ile zincire katılarak birlikte çalışmalarını söz konusudur (Commite on SCI, 2000, s.27).

Tedarik zinciri bütünleşmesi, tedarik zincirindeki çeşitli oyuncuları kapsayan faaliyetler için birlik sağlamaktır. Bu kavram yalnızca, performans geliştirme, maliyetleri azaltma ve son kullanıcılar için hizmet düzeyinde artış sağlamak anlamına gelmediği gibi üretim, taşıma ve stok kararlarının koordinasyonu kapsamında aynı zamanda müşteri talepleri, imalat ve tedarik zincirini baştan sona ve sondan geriye bütünleştirir (Simchi-Levi vd., 2003, s.3).

Bütün tedarik zincirleri genişlemek amacıyla bütünleşir. Bütünleşik süreç, yönetim uygulamalarına, süreçlere, elde edilebilir anahtar fonksiyonlara ve iş fırsatlarında avantaj yaratmaya ihtiyaç duyar. Hedef, tüm katılımcılar için risklerde azalma ve yüksek kar sağlamaktır. Bu amaçların gerçekleştirilmesi sonucunda bütünleşmenin sağladığı faydalar artacaktır. Tedarik zincirinin tüm bölümleri için ortak amaçların oluşması esastır. Bu amaçları başarmak için gerçek işbirliği sağlanır. Tedarik zinciri boyunca daha az belirsizlik, hatalar ve gecikmelerde azalma, müşteriler için katma değeri olmayan işlemlerin ayıklanması, etkin ve verimli ilerleme, düşük maliyetler, kısa yanıt verme zamanı, müşteri talepleri için daha hızlı ve esnek yanıt verme öne çıkan özelliklerdir. Kolay planlama yapma, elde edilebilir teknoloji kullanımı (e-ticaret), lojistiğin önemine odaklanma ön plana çıkar (Waters, 2003, s.6).

Tedarik zinciri bütünleşme kavramı arkasında yer alan ana fikir, fonksiyondan sürece doğru bir harekettir. Fonksiyonel ve süreç arasında göze çarpan denge, tedarik zinciri yönetiminin kritik boyutlarıdır. Tedarik zinciri bütünleşmeyi sağlamak ve geliştirmek için fonksiyonlar arasındaki engelleri ortadan kaldırmak fonksiyonel mükemmelliği garantilemez. İşletmeler, tedarik zincirindeki tüm fonksiyonlarda rekabetlerini korumaya ve geliştirmeye ihtiyaç duyar (Waters, 2003, s.177).

Birçok firma bütünleşmeye fonksiyon temelli yaklaşır. Odak endüstriden endüstriye farklılık gösterir. Stoklar, satın alma, giriş lojistiği, imalat işlemleri, ürün ve hizmetlerin dağıtımını çoğunlukla bütünleşmiş fonksiyonlardır. Tüm bu yaklaşımlar müşteriden geriye dağıtım ve üretim boyunca ve hammaddelerden müşteriye çekme fonksiyonunu içerir. Tedarik zinciri üyeleri için fonksiyonel tepkiler, kısa çevrim zamanında veya düşük maliyetlerde tüm fonksiyonları başarmak için konumlanmıştır. İyi bir bütünleşik tedarik zinciri fonksiyonel değişebilirliğe açık olmalıdır.

Süreç ile bütünleşmede içsel ilişkileri ve fonksiyonel faaliyetleri tanımlamak için gösterilen çaba, firmalarda değişime neden olabilir. Tedarik zinciri ilişkilerini ve süreçlerini analiz etmek için detaylı ve birbirini izleyen düzeylerde tipik olarak iç süreç mimarisi kullanılır. Ayrı fonksiyonlardan ziyade, bütünleşik süreç olanaklarının bütünü ile performans geliştirmede kullanılacak bir anlayış elde edilir. Karmaşık faaliyetler ise avantaj sağlayacak şekilde koordine edilebilir. Bütünleşme, tedarik zinciri performansına önemli etkileri olan bilgi, teknoloji, pazarlama ve finans gibi çoklu süreçlere karşı oluşturulduğu zaman fayda sağlar (National Research Council Staff, 2000, s.36).

Tedarik zinciri bütünleşme, konu ile ilgili yazarlar tarafından farklı aşamalarda değerlendirilmiştir. Stevens (1989) tedarik zinciri bütünleşmesini, dört farklı aşamada sunmuştur:

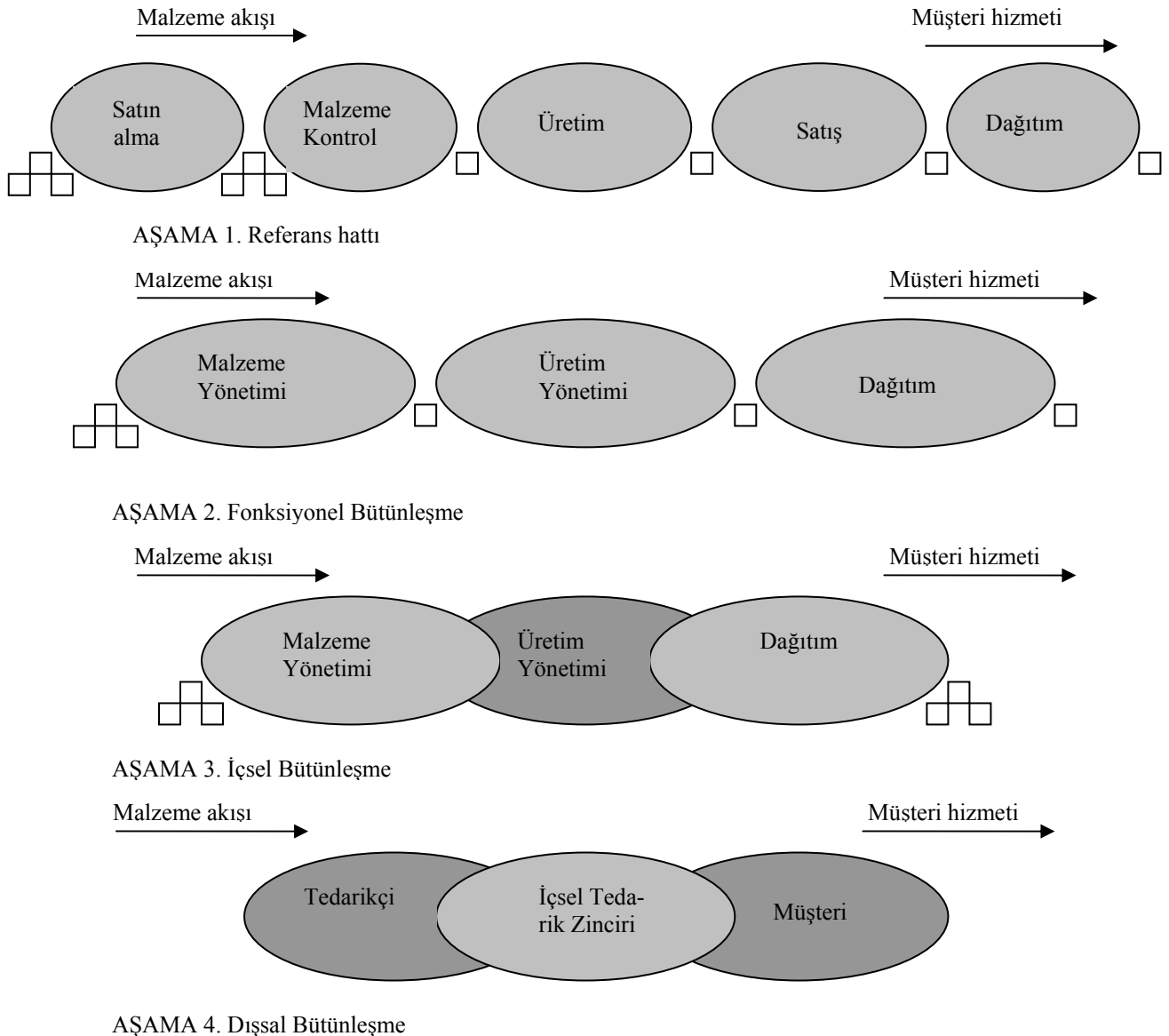
1.Aşama: İşletmeler kendi içlerindeki süreçleri optimize etmeye çalışan içsel bölümlere sahiptir. Bunu yaparak bölümler, biri diğeri ile rekabet eder hale gelir. Tedarik zinciri bütünleşmesinin sağlanan düzeyleri Şekil 1.9.'de görülmektedir.

2.Aşama: Fonksiyonel bütünleşme firma genelinde bütünleşmeye doğru bir adımdır. Departmanlar arası iletişim sağlayarak fonksiyonlar, bütünleşmiş parçaları oluşturacak şekilde biri diğeriyle bağımlıdır. Bu fonksiyonlar, (tedarik ve malzeme kontrol gibi) fonksiyonlar arası pazar bilgileri paylaşımı, müşterilerin ihtiyaçları veya problemleri ve rekabet tehdidi için daha iyi ve daha hızlı cevap vermek amacıyla firmaya rehberlik edebilir (Martin ve Grbac, 2003, s.26).

3.Aşama: İçsel bütünleşme olarak sunulmuştur. Firma içindeki fonksiyonlar ortak amaçları başarmak üzere bütünleşmiştir. Firma içsel bütünleşme için tedarikçiler müşteriler gibi dışsal ortaklar ile bilgi paylaşımını sağlamadan önce bir kültüre sahip

olmalıdır. Departmanlar arası sınırlanmamış iletişim bu aşamayı başarmada gereklidir ve modern bilgi sistemlerini kullanarak sağlanabilir.

4.Aşama: Dışsal bütünleşme koordine edilen süreçlerin son hedefi olarak gösterilir. Tedarik zinciri yönetimi, tüm tedarik zinciri ve paydaşlarını koordine edilen süreçler boyunca optimize etmek için çaba gösterir.



Şekil 1.9. Tedarik zinciri bütünleşme düzeylerini sağlama (Stevens,1989 ve Christopher, 1998, s.17).

Bilgi sistemleri ve diğer haberleşme teknolojileri dışsal tedarik zinciri bütünleşmesi çabalarını destekler. Stok maliyetlerinde azalma ve sevkiyat performansında gelişme, tedarik zinciri aktörleri arasında daha iyi bilgi akışını sağlamak üzere yazarlar tarafından sık olarak vurgulanmaktadır (Rungtusanatham vd., 2003, s.1084).

Towill (1992), Stevens'in bütünleşme yaklaşımına benzer yapı sunmuş, Hewitt (1994) ise Stevens'in bütünleşme aşamalarını bir basamak daha genişletmiştir. Küresel işletme süreçlerinin en iyi şekilde yönetimi ve yeniden yapılandırılması, bu süreçlerin toplam etkinliğini ve etkenliğini sağlamak üzere oluşturulmuştur.

Ellram ve Cooper (1993), bütünleşik tedarik zincirinin parçası olan şirket kararlarını etkileyen özellikleri bütün olarak tanımlamıştır. Bu özellikler bütünleşme sürecinin farklı aşamaları için fark yaratıcı düzeydedir.

Scott ve Westbrook (1991) bütünleşik tedarik zincirini, başlangıç, konumlandırma ve harekete geçirme olarak 3 aşamada önermişlerdir.

Bowersox ve Closs (1996) bütünleşmeyi içsel ve dışsal olarak ikiye ayırmaktadır. Firmalar, tedarik zinciri içinde geniş dışsal bütünleşme gösterebilmek için yüksek düzeyde içsel bütünleşmeye ihtiyaç duyar.

Bu yazarların, tedarik zinciri bütünleşme çatısı altında, endüstri uygulamalarına bakış açıları temel ve gelişmiş olarak iki şekildedir. Temel bütünleşme konusu, tedarik zincirinde müşteriler ve tedarikçiler ile işbirliğini geliştirmek amacıyla anlaşmalar geliştirilmesi anlamındadır. Bilgi paylaşımı ve ortak tahmin ve planlama avantajı sağlar. Gelişmiş bütünleşme ise daha karmaşık boyutlara ulaşan yatay işbirliğini gerektirir. Amaç son müşteriye odaklı değer yaratma süreçlerini bütünleştirmektir. Gelişmiş bütünleşme çabaları firmalar arası uzun dönem anlaşmaları gerektirir ve tedarik zincirinde etkili rekabet edebilen bir pozisyon sağlamak içindir.

Lee (2000) tedarik zinciri bütünleşmede Tablo 1.3.'te görülen üç boyutun altını çizmektedir: Bilgi bütünleşme ve senkronize planlama, işbirliği ve kaynak paylaşımı, örgütsel ilişki bağlantıları. Bilgi bütünleşme ve senkronize planlama; tedarik zincirinde üyeler arasında satış tahminleri, üretim planları, stok durumları ve promosyon planlarını kapsayan veri ve bilginin paylaşılmasını, işbirliği ve kaynak paylaşımı; tedarik zincirinde kararların ve sorumlulukların yeniden düzenlenmesini anlatır. Örgütsel ilişki bağlantıları tedarik zincirinde üyeler arasında performans ölçümü ve ortak vizyon ve amaçların paylaşan iletişim kanallarını kapsar.

Tablo 1.3. Tedarik zinciri bütünleşme boyutları

BOYUTLAR	DEĞİŞİM	BİLEŞENLER	FAYDALAR
Bilgi Bütünleşme ve Senkronize Planlama	Bilgi, Tecrübe	Bilgi paylaşımı ve şeffaflık Doğrudan ve tam zamanlı erişebilirlik Ortaklaşa planlama tahmin ve yenileme Birleşik tasarım	Darboğaz etkisinin azalması Problemlerin erken teşhisi Daha hızlı cevap verebilme Güvenin kurulması Maliyetlerin azalması Kapasite kullanımının optimize edilmesi Geliştirilmiş hizmet düzeyi
Koordinasyon ve Kaynak Paylaşımı	Kararlar, İş	Koordine üretim planlama ve operasyon Satın alma Mühendislik değişimi,tasarımı Entegre ve otomatize iş süreçleri	Etkinlik doğruluk düzeyinin artması Hızlı cevap Gelişmiş hizmet düzeyi Pazara erken girebilme Genişletilmiş ağ yapısı
Örgütsel İlişki Bağlantıları	Sorumluluk, Risk/Maliyet/ Kazanç	Genişletilmiş iletişim ve performans ölçümleri, teşvik edici yeniden düzenleme	Sinerji Etkinliğin artması Daha iyi kaynak kullanımı Performansın artması

(Kaynak: Lee ve Whang, 2001, s.3)

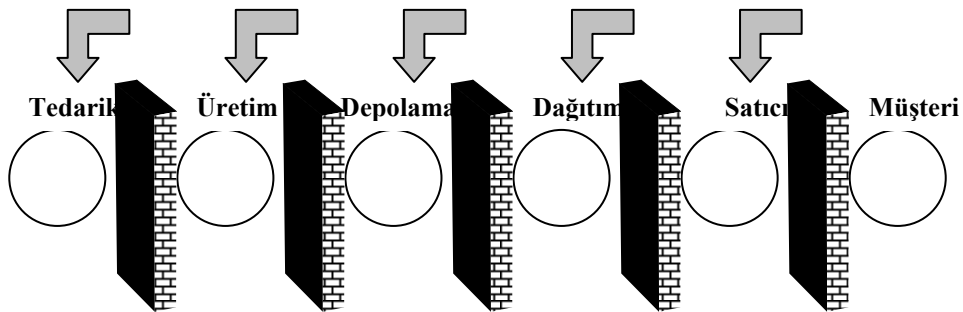
İlk boyutta yer alan bilgi bütünleşme, daha geniş bir tedarik zinciri bütünleşmesinin temelini oluşturur. Firmaların malzeme, bilgi ve nakit akışlarını koordine edebilmeleri için gerçek tedarik zinciri resmini yansıtan bilgiye sürekli erişimlerinin bulunması gerekir. Bilgi bütünleşme olmadan tedarik zinciri bütünleşmesinde elde edilecek faydalar oldukça azdır. Bütünleşmenin ilk aşaması talebin yönlendirdiği bilginin tedarik zinciri üyeleri arasındaki paylaşımı, ikinci aşaması ise taraflar arası bilgi paylaşımıdır. Ortaklardan birinin yerel bilgiye dayalı talep tahmini yapması ve bunu ağda yer alan ortaklarına göndermesi, sipariş kararını verirken yerel ekonomik faktörleri yerel kısıt veya performansı dikkate alarak gerekenden fazla sipariş ederek tedarik zincirindeki belirsizliklerden korunma ile bilgi bozulması meydana gelir. Bilgi paylaşımı, talep bilgisinin zincir boyunca yaşadığı (darboğaz etkisi olarak ta bilenen) bozulmaya karşı koymanın en etkin yoludur. Bilgi paylaşımı kapsamı arttığı oranda zararlı darboğaz etkisinin potansiyeli azalmaktadır (Lee, 2000, s.30).

Planın senkronize edilmesi ortak planlama, faaliyet gösterme, tahmin çalışmaları ve stok yenileme süreçlerini kapsayarak bilgi paylaşımı sonucunda neyin yapılacağını belirler. Paylaşılan bilgilerle hangi faaliyetlerin gerçekleştirileceği karşılıklı anlaşma sonucu taraflar

arasında belirlenir. Böylece taraflar ortak amaca ulaşabilmek için sipariş karşılama planlarını koordine edebilir. Ortaklaşa planlama, tahmin ve yenileme (OPTY) yöntemiyle alıcı ve satıcı internet üzerinden bilgi paylaşımı yolu ile yaşanan değişim ve dalgalanmaları daha iyi görebilir (Lee, 2000, s.31).

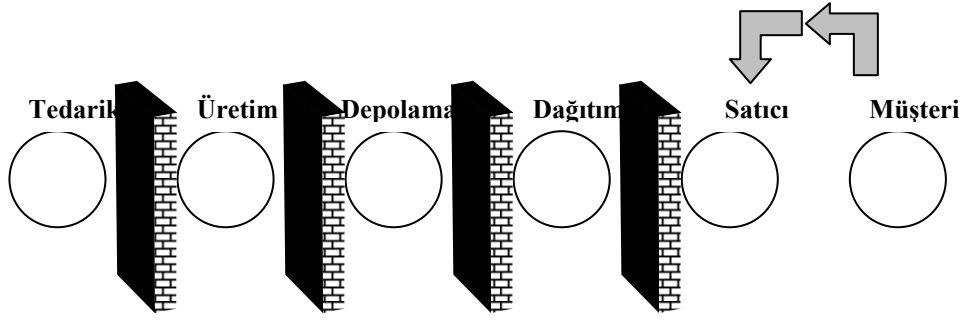
İşbirliği veya ortaklık nedir sorusunu Intelligence Community Collaboration (1999) açıkça, “İletişim, bilgi paylaşımı, koordinasyon, birlikte çalışma, problem çözme ve uzlaşma gibi pek çok davranışı kapsayan iki veya daha çok birey arasındaki etkileşim” olarak tanımlamaktadır (Ashayeri vd., 2003, s.8).

İşletmelerde, işbirliği olarak tanımlanamayacak pek çok girişim mevcuttur ve aynı zamanda birçok yazar buna olan ihtiyacı vurgulamaktadır. “In search for excellence” (Peters ve Waterman, 1988)’in yazarı Tom Peters, bir firmanın kurtuluşunun onun iş ortaklarıyla nasıl iş birliği yaptığına bağlı olduğuna inanmaktadır. “Reengineering” (Hammer, 2001)’in yazarı Michael Hammer organizasyonların bölümleri arasına “duvarlar” ve hatta müşterileriyle aralarına daha büyük duvarlar ördüklerini ifade etmektedir dolayısıyla bu durum yüksek maliyetleri ortaya çıkarmaktadır (Şekil 1.10a.).



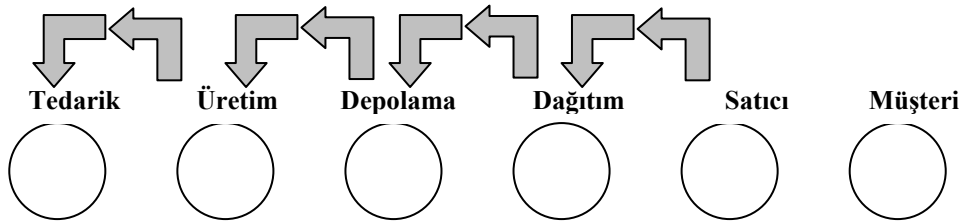
Şekil 1.10a. İşbirliğinin olmadığı tedarik zinciri (VICS, 2001)

Şekil 1.10b.’de, müşteri siparişleri için geleneksel form tabanlı ve EDI-(Elektronik Veritabanı Değişimi) yaklaşımlarının yerini İnternet almaktadır. Sipariş süreci, daha hızlı ve kolay hale gelmekte ve müşterilerin hizmet siparişleriyle devam etmektedir. Süreç, tedarik zinciri etkinliği açısından yerinde saymaktadır (VICS Association, 2001).



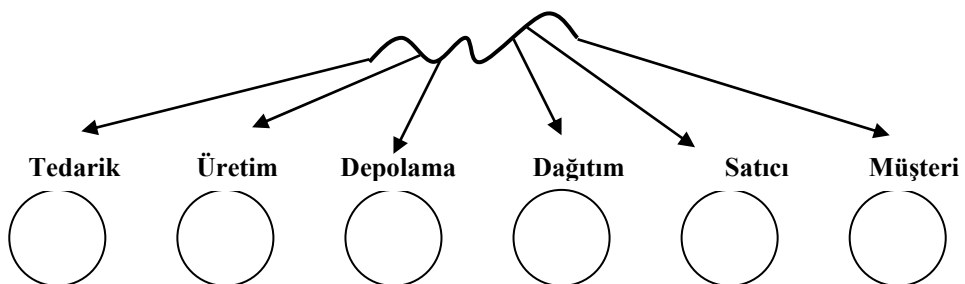
Şekil 1.10b. İnternette sipariş verme ile müşteri-satıcı işbirliği (VICS, 2001)

Duvarlar kalkıp iç ve dış ağlar sağlandıktan sonra, Şekil 1.10c.'de ortaya çıkan soru "müşteriye veya tedarikçiye iç işlemlerle ilgili planlama faaliyetlerini içeren bilgilere erişim hakkı tanımının getireceği fayda ne olacaktır?". Bu durum henüz işbirliğini ifade etmemektedir.



Şekil 1.10c. İnternette form tabanlı sipariş verme (VICS, 2001)

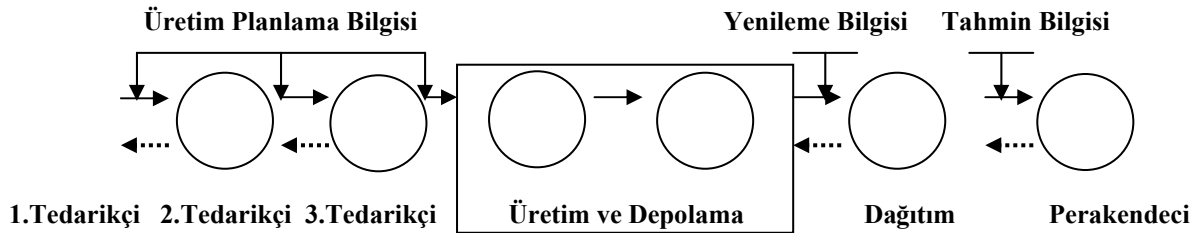
İşletmelerde, belirli bir ürünün talebindeki değişiklik dağıtım merkezine ulaşmakta, bu bilgi üreticiye, üreticiden de tedarikçilerine iletilmektedir. Tüm bu süreç, üretim emirlerinin verilmesiyle sağlanır. OPTY'nin ana fikri, tahminlerde oluşabilecek değişikliklere daha kolay uyum gösterebilmek için zincirdeki herkesin bilgi alışverişine açık olmasıdır. Bu bilgi sayesinde tedarik zinciri üyeleri, iş süreçlerini geliştirebilmek ve daha güvenilir ve görünür çözümler üretebilmek için işbirliği içinde olacaktır (Şekil 1.10d.).



Şekil 1.10d. İşbirliğinin var olduğu tedarik zinciri (VICS, 2001)

İşbirlikçi ortaklık, tedarik zinciri içerisinde dikey ilişkiler çerçevesinde çoklu bağımsız işletmeler arasında gelişen bir kavramdır. Ortaklığın faydaları, tedarikçinin ne tür bir ortaklığa katılmak istediğine karar verdikten sonra ortaya çıkmaktadır. Ortaklığın yönelimine ve iş birliğinin derinliğine göre; ortaklık, “stratejik ortaklık” ve “operasyonel ortaklık” olarak ikiye ayrılabilir. Tedarik zinciri yönetimi genellikle tedarik zincirinin akışı, akış süresi, bekleme zamanı, maliyet ve esneklik gibi operasyonel açılara odaklanır (Mentzer vd., 2000, s.549).

OPTY, geçmişteki kavramsal yaklaşımlardan çok daha geniş içerikli bir yaklaşımdır ve planlama, tahmin ve yenileme süreçlerini içerir (Skjoett-Larsen vd., 2003, s.532). OPTY, başlangıçta ticari ortaklar arasında erken tahmin beklentilerinin sunumu ve değişimi kavramı olarak anılan ‘işbirlikçi tahmin’ olarak bilinirdi. Daha sonra ticari ortaklar arasında ilişkileri içeren yaklaşım, işbirlikçi tahmin ve yenileme hedeflerini içeren, ‘işbirlikçi planlama ve yenileme’ olarak anılmaya başlandı (Schenck, 1998, s.51). Gelişen haliyle OPTY, üretim faaliyetlerine, satın alma planlarına, talep tahminlerine ve stok yenilemelerine, tüm tedarik zinciri iş ortaklarının iş birliği aracılığıyla önem vermektedir (Şekil 1.11.).



Şekil 1.11. Tedarik zincirinde ortaklaşa planlama, tahmin ve yenileme yapısı (Flieder, 2003, s.14).

VICS (2002) tarafından ortaya konulan OPTY'nin tanımı: ortak bir plan ve tahmin üzerinde anlaşmak, başarıyı yenileme sayesinde izlemek ve tutarsızlıkları tanımlamak ve karşılık vermek için iki ticari ortak arasındaki süreçleri formüle eden işbirlikçi bir tekniktir. Daha geniş bir açıdan, OPTY; insan, süreç ve teknoloji konularını ve aynı zamanda gelişim, kültürel adaptasyon, standartlar, değişim yönetimi ve eğitimi de içermektedir.

OPTY yaklaşımına üç prensip ve resmi bir süreç modeli yön verir (VICS, 2002, s.2):

1. Katılımcılar arasında bir ticaret ortaklığı çerçevesi oluşturulur. Bu çerçeve duruma özeldir ve katılımcıların yetkinliklerini göz önüne bulundururken aynı zamanda

katılımcıların geçmişleri, yetenekleri ve ihtiyaçları doğrultusunda ana OPTY süreç faaliyetlerinin sorumluluklarını da paylaşırır.

2. Katılımcılar, OPTY ile talebin operasyonel bir sürecini paylaşmayı kabul ederken aynı zamanda hangi bilgi paylaşım teknolojilerini ve tahmin tekniklerini kullanacaklarına ve ayrıca tahminlerdeki olası bakış ayrılıklarını nasıl çözeceklerine karar verirler. Fakat sonuçta planlamayı hızlandıracak tahmin sonuçlarıdır.
3. Katılımcılar, tedarik sürecindeki engelleri kaldırmak için işbirliği yaparlar. Tahminin önemi planlama sürecini birleştirmesidir. Bu önem, tedarik zinciri maliyetlerinde olası tasarruflarda sağlar. Örneğin, ara stoklara boğulan bir üretici, üretim çevrim zamanı ve bütünlük tahminlerle bunları azaltabilir. OPTY olmadan tedarikçi tahmin ve sipariş çevrimleri oldukça kısa dönemlidir ve önemli oranda ara stok ortaya çıkar.

OPTY süreci, ardışık üç aşamadan oluşmaktadır: planlama, tahmin ve yenileme (VICS, 2002).

1. Aşama: Planlamanın basit tanımı; bir şeyin etkili bir biçimde gerçekleştirilebilmesi için hangi ihtiyaçların gerektiğinin belirlenmesi sürecidir. Geleneksel olarak, planlama sığ ve yalıtılmış bir bakış açısıyla yapılmaktadır. Genellikle planlar, tedarik zinciri katılımcılarından direkt ve dolaylı yollardan alınan çok az bilgi veya girdiyle yapılırken işbirlikçi planlama ile, ilgili veya paylaşılan süreçlerin düzenlenmesi, koordinasyonu ve senkronizasyonu için bir fırsat oluşturulmaktadır.

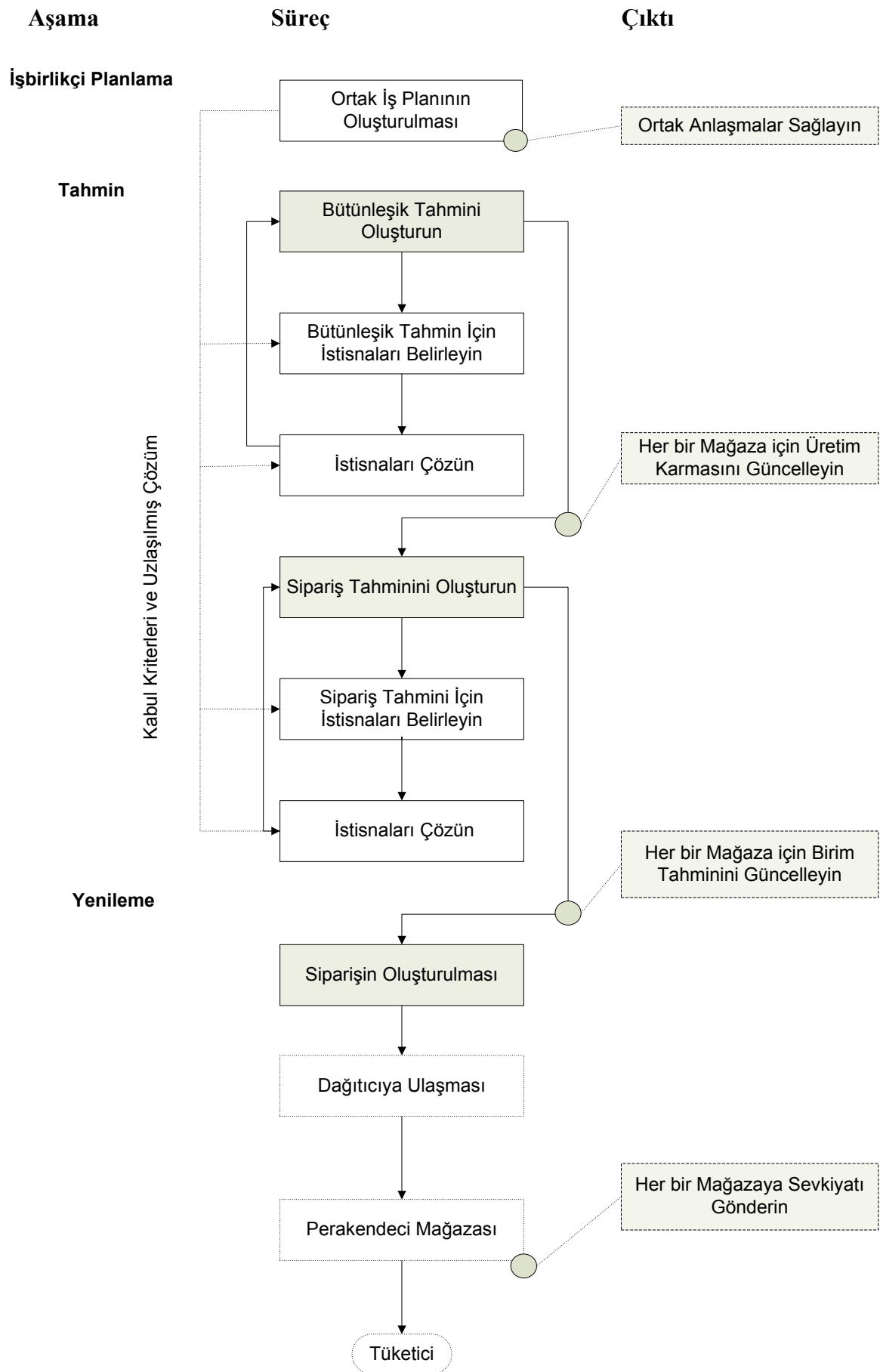
2. Aşama: Ortaklaşa tahminde, hangi bilgiler gereklidir? İhtiyaç duyulan veri nasıl değerlendirilmeli? Tahminler için sorumluluğu kim üstlenmeli? gibi sorulara cevap arandığı için gerçekleştirilmesi zordur. Tahmin fonksiyonlarının bölümlenmesi, firma dışı kişilerin işletme veri ve bilgilerine ulaşabilmelerine olanak sağlanacağı için oldukça önemlidir. Çoklu tahmin fonksiyonlarının varlığı bunu daha da karışık hale getirmektedir.

3. Aşama: Yenileme iki unsuru içerir: Sipariş verilmesi ve siparişin dağıtımı.

OPTY uygulamasıyla elde edilen en önemli değişiklik, merkezi bir şekilde toplanan tüm farklı siparişlerin ana siparişi oluşturmasıdır.

OPTY süreci oluşturan 9 adım VICS (1998) tarafından tanımlanmıştır(Şekil 1.12);

- i. Başlangıç ön tanımlı anlaşmasını oluşturun: katılan gruplar ortaklaşa ilişkinin ana hatlarını ve kurallarını tanımlasınlar.
- ii. Ortak iş planları oluşturun: katılımcılar bireysel firma stratejilerini içeren bir iş planı oluştursunlar ve kategori rollerini, hedeflerini ve taktiklerini tanımlasınlar.
- iii. Bütünleşik tahmini oluşturun: tedarikçi satış verileri, resmi bilgiler ve planlanan faaliyetler hakkındaki veriler ile her bir parti için bütünleşik tahminleri oluşturun
- iv. Bütünleşik tahmin için istisnaları belirleyin: başlangıç ön tanımlı anlaşmasında belirlenen bütünleşik tahminin sınırları dışına çıkabilecek ürünleri tanımlayın.
- v. İstisnaları çözün/işbirliği yapın: partiler arasında anlaşmalar yapın ve ayarlanmış bir tahmin oluşturun.
- vi. Sipariş tahmini oluşturun: paylaşılmış satış hedeflerini ve ortak iş planlarını destekleyen satış verileri, resmi bilgiler ve stok stratejilerinin birleşiminden oluşan sipariş talebini oluşturun.
- vii. Sipariş tahmini için istisnaları belirleyin: ilgili sipariş partilerince belirlenen sipariş tahmini sınırları dışına çıkabilecek ürünleri tanımlayın.
- viii. İstisnaları çözün/işbirliği yapın: ayarlanmış bir sipariş tahmini için gerekirse partiler arasında uzlaşmaya gidin.
- ix. Siparişin oluşturulması: sipariş tahmini ilgili partilerin birisi tarafından firma siparişine çevrilir.



Şekil 1.12. OPTY süreci (Ashayeri vd., 2003, s.10)

OPTY yaklaşımı interaktif ve iteratif bir süreç olarak geliştirilmiştir. Aksi halde planlama büyüklükleriyle ilgili tahminlerde bulunulmadan önce planlamanın yapılması gibi bir durum ortaya çıkardı ki bu anlamsız bir çabayı tanımlardı. Planlama-Tahmin-Yenileme sürecinin, işbirlikçi firmaların ortak bir zeminin üretilmesine kadar süren dinamik bir yapıda olduğu ve başlangıcın ise her firmanın bireysel planlarının sonuçları olduğu unutulmamalıdır.

İkinci boyutta yer alan koordinasyon ise, bir işletmenin faaliyetleri arasındaki bağımlılıkların yönetilmesi ve sistemin bütününde söz konusu olan tutarlı bir operasyonun başarılmasını ifade eder. Genel koordinasyon değişik fonksiyonların bütünleşmesidir. Çok firmalı koordinasyon ise yatay olarak bütünleşen firmalarda yer alan çeşitli planların koordine edilmesi ve böylece toplam performansın geliştirilmesidir. Bu tür bir koordinasyonun etkin olabilmesi için son müşteri talep belirsizliklerinin ve kapasite kısıtlarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu iki koordinasyon yapısı arasında oldukça fazla kesişim ve etkileşim noktası söz konusudur.

İnternet sayesinde firmalar işbirliğini bir adım daha ileri götürerek koordinasyon safhasına ulaşırlar. İş akışının koordine edilmesi, tedarik zinciri ortakları arasında iş akış faaliyetlerinin otomasyonu ve birbirine bağlanması anlamını taşır (Lee ve Wang, 2001, s.2). İş akışının koordinasyonu satın alma, siparişi yerine getirme, mühendislik değişimleri, tasarım optimizasyonu ve finansal alış-veriş faaliyetlerini kapsamaktadır. Örneğin, satın alma faaliyetleri üretici ve tedarikçi için birebir bağlandığında doğruluk, zamanlama, maliyet etkinliklerini artırabilir. Daha önceden stok yenileme planlarını oluşturmuş bir firma karar yetkisini tedarikçiye devrederek sistemi optimize edebilir. Tedarikçi, ürünle ve pazarla ilgili daha üst düzeyde bilgiye sahip olduğundan stokların yenilenmesi konusunda daha iyi bir konuma sahiptir. Bu durum, satıcı yönetimli envanter (Vendor Managed Inventory-VMI) (tedarikçinin müşteriden gelen talep doğrultusunda ürünün müşteriye doğru akış sorumluluğunu üstlenmesi) ve sürekli yenileme programı (Continuous Replenishment Program-CRP) gibi programların temelini oluşturur (Lee, 2000, s.31). Yeni ürünlerin satın alınmasında firmalar parça listesi yönetimi, fiyat verme, karar verme, sipariş etme, sipariş değişimi ve onayı gibi karmaşık işlemler yerine internet vasıtasıyla günlerce sürecektir işlemleri birkaç dakikada gerçekleştirebilir. Aynı zamanda internet daha fazla tedarikçi tabanına ulaşmaya olanak tanıdığından güvenilir tedarik ve yedek kaynak fırsatı yaratır. Tedarikçinin seçimi, sipariş fiyatlandırma ve kabulü satın alma gibi kararların firmanın işletme kaynakları planlaması (Enterprise Resource Planning-ERP) sistemiyle entegre edilmesi, özellikle yeni ürünün pazara girmesinde büyük değer taşır.

Tedarik zinciri bütünleşmenin üçüncü boyutunu oluşturan örgütsel ilişkilerin bağlantıları, zincirin etkin bir şekilde yönetilebilmesi açısından önemlidir. Diğer boyutlar, günümüz teknolojilerinin sunduğu olanaklarla istenilen bir düzeye gelmiş olsa da, bunları destekleyen bir örgütsel ilişki sistemi kurulmadıkça, diğer iki boyutun ve bunlara bağlı olarak tedarik zinciri yönetiminin başarısından söz etmek mümkün değildir (Handfield ve Nichols, 2002, s.9).

Örgütsel bütünleşme tedarik zinciri ağında yer alan üyelerin daha kalıcı olması için ortaklarına cesaret verir. Bu durum, bütünleşik tedarik zincirinde ortaklar arasındaki güven yaratmada kolaylık sağlar. Güven, işbirliği ve karar delegasyonunun değerini artırır ve tedarik zinciri üyeleri arasındaki şüphe ve anlaşılamayan davranışları azaltır ve bu suretle güven stokuna olan ihtiyaç azalır. Doğru örgütsel bütünleşme fikir paylaşımı yetenekler ve kültür gibi konularda zincir üyelerinin bireysel davranışları için yol belirler. Tedarik zinciri bütünleşme, tedarik zinciri üyeleri arasında örgütsel bütünleşme olmadan gelişiminde başarılı olamaz. Tedarik zinciri yönetimi ortak amaçlara ulaşmak için birlikte çalışan çoklu organizasyonların tüm hiyerarşik düzeylerinde çeşitli aktörlere ihtiyaç duyabilir. Koordinasyon bu açıdan önemlidir.

Tedarik zincirinde diğer bir örgütsel konu yeniden düzenleme faaliyetleridir. İşbirliği içinde olan firmalara ayrılan süreçler ve faaliyetler nerede yer almalıdır? Kararların sorumluluğunu kimler almalıdır? Hangi durumlarda dış kaynak kullanılmalı gibi sorular ön plana çıkar. Dönüşüm maliyet yaklaşımı (Williamson, 1996) bu konu ile ilgili kurallara uygun bazı talimatlar verir. Böylece faaliyetler firma içinde dikey bütünleşme hiyerarşisi içinde başarılabilir. Ortaklar arasındaki özel ilişkileri tümüyle göstermeyen bu değerler, fiziksel veya bilgi temeline dayalıdır (Jespersen ve Larsen., 2005, s.4).

Sonuç olarak, bütünleşme, tedarik zincirinde yer alan firmalarda maliyetleri düşürmenin yanı sıra rekabet, pazar payı ve karlılık açısından değer yaratacaktır. Bütünleşmenin temelinde bilgi paylaşımı önemli bir yere sahip olmasına rağmen koordinasyon ve örgütsel ilişkilerin varlığı da kaçınılmazdır. Bütünleşme sağlanmadan tedarik zinciri yönetiminden bahsetmek güçleşecektir.

1.4. Tedarik Zinciri Yönetim Sistemi Tanım ve Kapsamı

Farklı yazarlar tarafından yapılan tedarik zinciri yönetiminin tanımları genel olarak üç kategoride sınıflandırılabilir: 1. Yönetim Felsefesi, 2. Yönetim Felsefesi Uygulaması 3. Yönetim Sürecinde bütünleşme (Mentzer vd., 2001, s.3). Tedarik zinciri yönetimi terimini netleştirmek amacıyla alternatif tanımlar ve kategoriler Tablo 1.4.'te ele alınmıştır.

Tablo 1.4. Tedarik zinciri yönetimi tanımlarının sınıflandırılması

KATEGORİ	YAZARLAR	TANIM
YÖNETİM FELSEFESİ	Ellram ve Cooper(1993)	Tedarikçiden son müşteriye kadar bir dağıtım kanalının toplam akışını yöneten bütünleştirici bir felsefedir.
	Ross(1998)	İşletme içinde ve tedarik zincirinde yer alan ticari ortakların işletme fonksiyonlarında, üretken yeteneklerini ve kaynaklarını birleştirmeye çalışan, üstün müşteri değeri yaratmak için yaratıcı çözümler geliştirmeye odaklanmış ve ürünler, hizmetler ve bilginin eş zamanlı akışını başarmış rekabetçi tedarik zincirine dönüşmelerini sağlamak amacıyla sürekli gelişen bir yönetim felsefesidir.
YÖNETİM FELSEFESİ UYGULAMASI	Rahman ve Raisinghani (2000)	Genel anlamda sipariş alımı, üretim ve siparişlerin karşılanması ürünlerin hizmetlerin ve bilginin dağıtımı gibi siparişin gerçekleştirilmesine yönelik koordinasyon ve yönetim faaliyetlerini içermektedir.
	Kemppainen ve Vepsalainen (2003)	Fonksiyonel ve müşterek sınırlara karşı iş süreçlerinin merceğini bir bütün olarak ele alan tedarik zincirinde performans artışı sağlayacak malzeme ve dağıtım yönetiminin bir stratejik görüntüsüdür.
YÖNETİM SÜRECİNDE BÜTÜNLEŞME	www.bettermanagement.com (2007)	Tüm tedarik zinciri faaliyetlerini sınırları belirsiz süreçlerle koordine eden, zincirde yer alan farklı ortakları bir araya getirerek bağlayan, fonksiyonel stratejiler, organizasyon yapısı, karar verme, kaynak yönetimi, destek fonksiyonlar, sistemler ve prosedürler gibi tedarik zinciri ile ilgili kritik konuları kapsayan bütünleşik bir yaklaşımdır.

a)Tedarik zinciri yönetimini felsefe yaklaşımıyla tanımlayan çalışmalar

La Londe ve Masters (1994) bir felsefe olarak tedarik zinciri yönetimini, fonksiyonlarını başarmada bölümlenmiş parçaların bir bütünü olmaktan ziyade temel bir varlık olarak tedarik zincirine bakışta, bir sistem yaklaşımına dikkatleri çekmektedir. Sistem en yalın haliyle, birbiriyle etkileşimli parçaların oluşturduğu bütündür. Detaya inildiğinde sistem, “önceden saptanan bir veya daha fazla amacı gerçekleştirmeye yönlendirilmiş, birbiriyle etkileşimli alt elemanlardan oluşan ve yaşamını devam ettirebilmek için kendi yapısındaki veya çevresindeki kaynakları kullanan organize bütün” olarak tanımlanmaktadır (Kuruüzüm, 1986, s.4). Tanımda ön plana çıkan birinci unsur, belirli parçaların oluşturduğu organize bütünlüktür. Bütünlük, sistemin her bir parçasının diğer tüm parçalara ve sisteme, herhangi bir parçadaki değişikliğin diğer tüm parçaları ve sistemin bütününe etkileyecek şekilde bağlanmış olmasını ifade etmektedir (Barutçugil, 1983, s.5). Diğer bir ifade ile tedarik zinciri yönetimi felsefesi, çoklu firmayı tedarikçilerden nihai müşterilere kadar yönetme çabası içinde ortaklık kavramı kapsamında ele alır. Tedarik zinciri yönetimini bir yönetim felsefe yaklaşımıyla ortaya çıkan özellikleri;

- Tedarikçiden son müşteriye ürün stoğunun toplam akışını yöneten ve tedarik zincirine bir bütün olarak bakan bir sistem yaklaşımını ele alır.
- Stratejik uyuma doğru işbirliği çabaları ve bütünleşme, firma içi operasyonel ve stratejik olanakların beraber hareket etmeleri içindir.
- Müşteri odağı müşteri değeri ve müşteri tatmini yaratmaya odaklanır. Fiziksel ürünlerin ve bunlarla ilgili bilgilerin kaynaktan tüketimine doğru eş zamanlı yönetimi ile güçlendirilen müşteri değeri ve ekonomik değeri açığa çıkarmaktır (Mentzer vd., 2001, s.7).

Literatürde tedarik zincirini kesin olarak kimin yönettiği konusunda değişik yorumlar yapıldığı görülür. Cooper vd. (1997) göre bir üretim veya hizmet firması küçük bir tedarik zincirine sahip olabilir. Tedarik zinciri yönetimi uygulamaları nasıl zincirin ucu ucuna yönetildiğinin göstergesidir. Tedarik zincirleri baskın bir üyenin temel bir varlığı olarak ve iyi geliştirilmiş işbirliği ve koordinasyonu sağlayan firmaların bir sistemi olarak yönetilebilir. Yönetim kontrolün kapsamı, firma içi her bir ilişkinin katma değeri olarak tanımlanabilir. Tedarik zinciri yönetme sorumluluğu, tedarikçiler, satıcılar ve müşteriler ile ilişkilerin çok sayıda olduğu firma için önemli bir yere sahiptir (Tayur vd.,1999, s.843).

Tedarik zinciri yönetimi, geniş anlamda, bir firmanın rekabet edilebilirliğini ve verimliliğini geliştirmek amacıyla kapsamlı olarak müşteri tatminini artırmak için kullanılan bir stratejik yönetim aracıdır. Tedarik zinciri yönetiminin birçok tanımı olmasına rağmen, aralarında ortak noktalar söz konusudur (Cooper, Lambert ve Pagh, 1997, s.4). Bu ortak hususlar; çok sayıda bağımsız organizasyon ile ilgili olarak içsel ve dışsal örgütsel ilişkilerin yönetimi, ürün, finans ve bilginin doğrudan akışı, yüksek müşteri değeri yaratmadır. Etkinlik ve etkenlik tüm tedarik zinciri boyunca önemlidir.

Tedarik zinciri yönetiminde hizmet düzeyinde ihtiyaçlar tatmin edilirken sistemdeki maliyetleri minimize etmek amacıyla 7 doğruyu (doğru ürün yaratma, doğru zamanda, doğru yerde, doğru kalitede, doğru müşteri için doğru maliyette üretilen ve dağıtılan mallar) hedefleyen tedarikçiler, imalatçılar, depolar ve mağazaların bütünsel etkinliği için kullanılan yaklaşımların bütünü esastır (Kapoor ve Kansal, 2003, s.200).

Tedarik zinciri yönetimi, tedarik zincirindeki işletme faaliyetlerini tüm açılardan kapsayan bir işletme felsefesi olarak görülür. Bu görüşün ana odağı, rekabet avantajı sağlamak için, yatay(çapraz endüstri sektörleri) ve dikey(bir endüstri bölümü) koordinasyondur. Tedarik zinciri yönetiminin temel yapısı tedarik zinciri üyelerini daha etkin ve verimli birlikte çalışabilecekleri ortak çevreye teşvik etmektir. Tedarik zinciri yönetiminin diğer bir özelliği, tedarik zinciri üyeleri arasında karşılıklı bilgi değişimi ve planlama zinciridir. Nihayet tedarik zinciri yönetiminin özel hedefi, müşteri tatmininin artırmak ve tedarik zincirinin genel verimlilik ve rekabet edilebilirliğini sağlamaktır. Örneğin, iyi organize edilmiş, iyi planlanmış ve yakından izlenen yönetim süreçleri ile gereksiz stokları, kesin olmayan ve optimize kaynakları ortadan kaldırmak mümkündür. Tedarik zincirinin işbirliği yönetiminde başlıca iki faaliyeti malzeme akışı ve bilgi sistemlerinin gelişimidir (Burgess, 1998, s.1142).

Bu tanımlar, tedarik zincirlerinde üç veya dört şirketin doğrusal bağlarından daha fazla olabileceğini vurgular bunlar satıcı-tedarikçi veya satıcı-satıcı arakesitinde bilgi ve ürünlerin akışını geliştirmek için kritik öneme sahiptir (Waters, 2003, s.35).

b) Tedarik zinciri yönetimi felsefesini uygulamayla tanımlayan çalışmalar

Tedarik zinciri yönetimi felsefesinin kabulünde firmalar, hareket veya davranışlarında felsefe ile sürekliliğe izin verecek yönetim uygulamalarını oluşturmak zorundadır. Birçok yazar tedarik zinciri yönetimini oluşturan faaliyetlere odaklanmıştır. Lambert (1998)'in

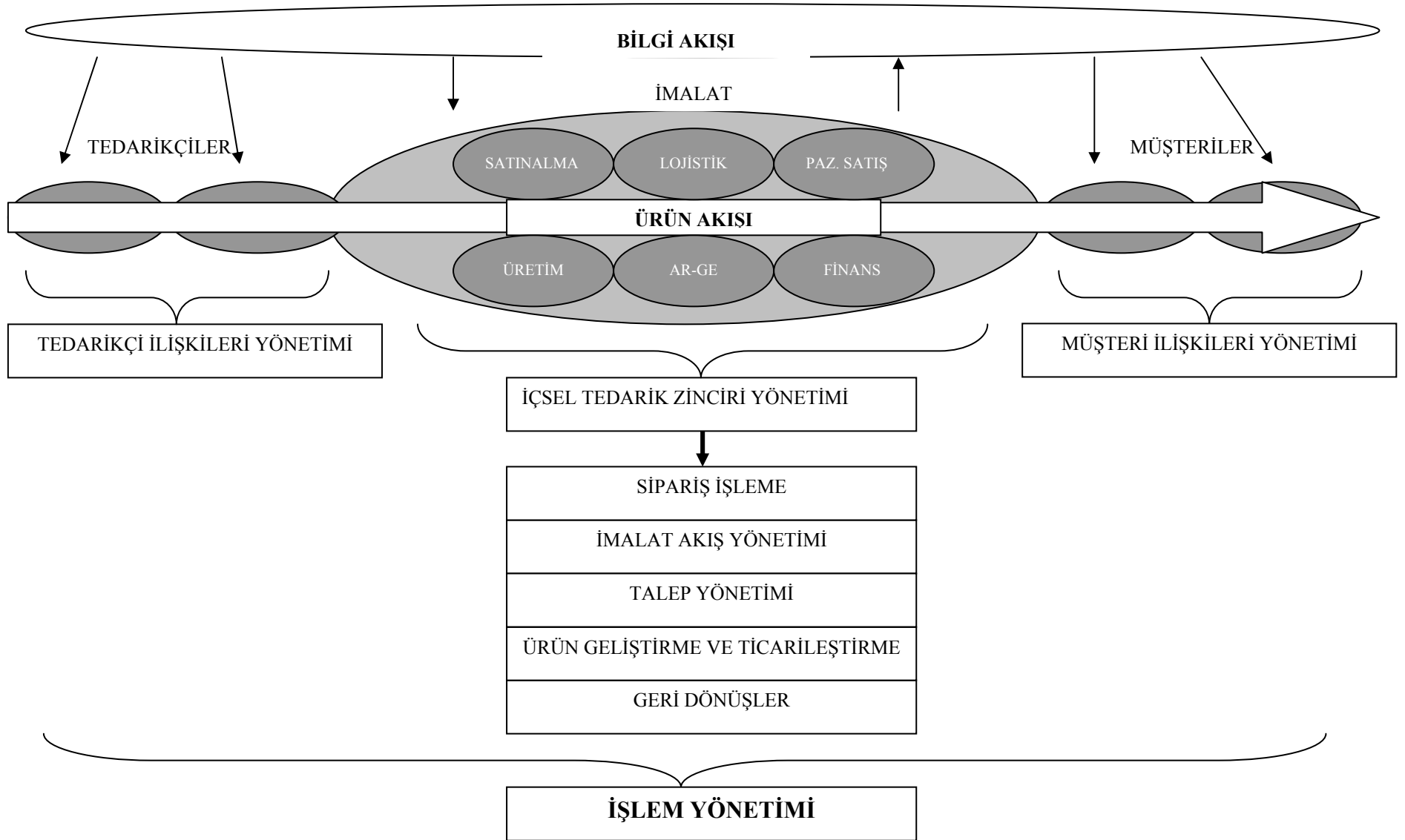
çalışması tedarik zinciri yönetimi felsefesini başarıyla uygulamak için gerekli görülen çeşitli faaliyetlerin önerildiği ilk araştırmadır. Bu faaliyetler;

- *Bütünleşik Davranış*: Tedarik zinciri ortakları (tedarikçiler, taşıyıcıları üreticiler ve son müşterilerin ihtiyaçlarına dinamik olarak cevap verenler) arasındaki koordinasyon çabalarıdır.
- *Karşılıklı Bilgi Paylaşımı*: Bilgi paylaşımına açık olma, stok düzeyleri, tahminler, satış özendirme stratejileri gibi pazarlama stratejileri tedarik ortakları ve geliştirilen performans sonuçları arasındaki belirsizliği azaltır.
- *Karşılıklı Risk ve Ödüllerin Paylaşımı*: Tedarik zinciri üyeleri arasında uzun dönemli odaklanma ve işbirliği için önemlidir.
- *İşbirliği*: Tek taraflı veya karşılıklı çıktıları üretmek için iş ilişkilerinde firmalar tarafından koordine edilen veya başarılan aktiviteler benzer veya tamamlayıcıdır.
- *Müşterilere Hizmet eden Amaç ve Odaklar*: Tedarik zinciri üyeleri arasında bazı amaç ve odakları oluşturma bütünleşme politikasının bir biçimidir. Bütünleşme politikası tedarik zinciri üyeleri arasında uygun kültürler ve yönetim teknikleri varsa mümkündür.
- *Süreçlerin Bütünleşmesi*: Bütünleşme, çapraz fonksiyonel takımlar, fabrika içi tedarik personeli ve üçüncü parti hizmet sağlayıcılar boyunca oluşturulabilir.
- *Ortaklar için uzun dönem ilişkileri oluşturmak ve sürdürmek*:
Şeklinde sıralanabilir.

c) *Tedarik zinciri yönetimini bütünleşik süreçlerle tanımlayan çalışmalar*

Tedarik zincirleri arasında rekabette firmanın başarısı, işletmenin iş ilişkileri ağlarını bütünleştirmek için yönetimin yeteneğine bağlıdır. Hammaddelerden son kullanıcılara kadar anahtar iş süreçlerinin bütünleşmesi olarak tanımlanan tedarik zinciri yönetimi Şekil 1.13'de görülmektedir. Bir işletmenin rekabet avantajı, büyük ölçüde bu bütünleşmiş yönetim fonksiyonuna bağlıdır. Tedarik zinciri yönetimi büyük işletmelerin ölçeğini, düşük maliyetle, esneklikle ve küçük işletmelerin yaratıcılığı ile koordine etmeye çalışır. İyi planlanan tedarik

zinciri yönetim sistemi organizasyon başarısına; düşük maliyetler, rekabet avantajı, teslimat güvenilirliği, sipariş gerçekleştirme doğruluğu, ikmalde esneklik, dokümantasyon doğruluğu, tedarikin sürekliliği, şirket satışları, mesleki ve hizmet sunumlarında kalite sağlayarak yardım eder (Kehal, 2004, s.364).



Şekil 1.13. Tedarik zinciri yönetimi: Tedarik zinciri boyunca yönetilen ve bütünleşen iş süreçleri(Lambert 1998, Chopra, 2007)

Başarılı tedarik zinciri yönetimi, anahtar tedarik zinciri yönetim süreçleri içinde bireysel fonksiyonların yönetiminden bütünleşik faaliyetlere doğru bir değişime ihtiyaç duyar. Anahtar tedarik zinciri süreçleri aşağıda tanımlanmıştır. Bunlar;

- *Müşteri İlişkileri Yönetimi*: Bir firmanın, doğru ürünü ya da doğru hizmeti doğru müşteriye, doğru zamanda, doğru kanaldan, doğru fiyatla ulaştırmak suretiyle giderek artan düzeyde sadık ve karlı müşterileri belirleme, nitelendirme, kazanma, geliştirme ve elde tutma yolunda gerçekleştirdiği tüm faaliyetlerdir. Girişimciler, müşteriler, iş ortakları, satıcılar ve işverenler arasındaki ilişkileri düzenler (Galbreath ve Rogers 1999, s.162). Böylece şahısları, süreci ve teknolojileri entegre etmek ve interneti kullanmak yoluyla e-müşteriler, dağıtım kanalı üyeleri, içsel müşteriler ve satıcılarda dahil olmak üzere tüm müşteri ilişkileri en üst düzeye taşınır (Xu vd., 2002, s.442).
- *Müşteri Hizmet Yönetimi*: Firmanın müşterisiyle yüz yüze gelmesidir. Ürünün elde edilebilirliği, yükleme zamanı ve sipariş durumu gibi konularda müşterileri bilgilendirmede ilk sırada yer alır. Müşteriye sağlanan bilgiler imalat ve lojistik gibi bir takım ara yüzlerle elde edilir. Müşteri hizmet süreci ürünün kullanımıyla ilgili müşterilere yardımcı olmayı da içine alabilir (Lambert vd., 2005, s.25).
- *Talep Yönetimi*: Tedarik zinciri olanakları ile müşterilerin ihtiyaçlarının dengelendiği bir süreçtir. Talep tahmini ve bu tahminle üretim dağıtım ve satın almayı uyumlaştırmayı kapsar (Croxtton, 2003, s.19). Süreç sadece tahminle sınırlı değildir, arz talep dengesi, artan esneklik ve azalan değişkenliği de içerir.
- *Sipariş İşleme*: Toplam taşıma maliyetini minimize ederken müşteri ihtiyaçlarını karşılayan firmanın bir ağ tasarlamak ve müşteri ihtiyaçları tanımlamak için gerek duyulan tüm faaliyetleri içerir. Etkin bir sipariş işleme sürecinde firmanın imalat, lojistik ve pazarlama planlarını bütünleştirmesi gerekir (Croxtton, 2003, s.19).
- *İmalat Akış Yönetimi*: Ürün üretimi ve hedef pazara en iyi hizmeti sağlayacak şekilde gerekli olan imalat esnekliğini sağlama ve geliştirme ile ilgilidir. Tedarik zincirinde, imalat faaliyetleri ve ürünün elde edilmesi, esnekliğin uygulama ve yönetilmesi ile ilgili tüm faaliyetleri kapsar (Goldsby ve Garcia, 2003, s.33).

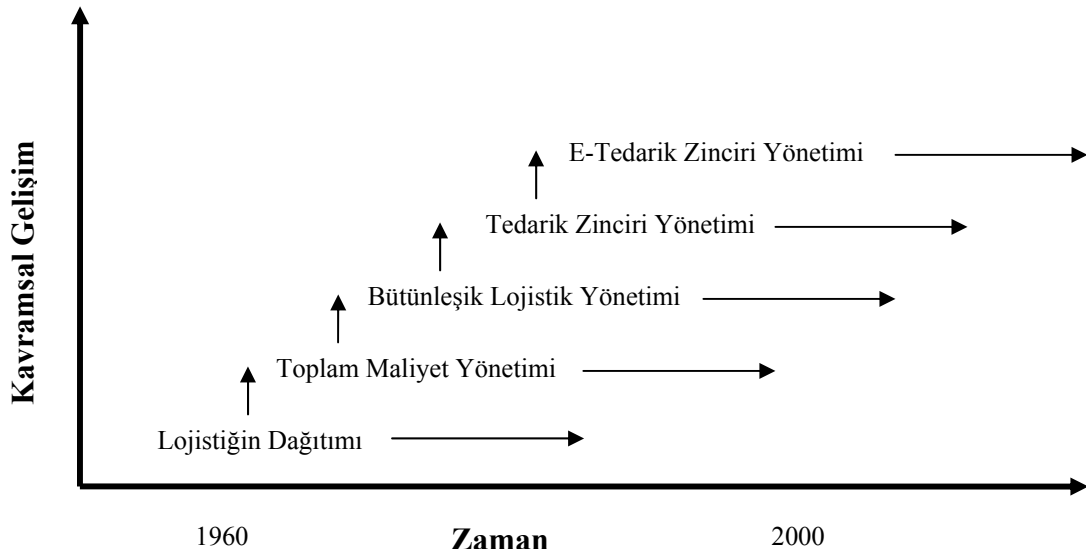
- *Tedarikçi İlişkileri Yönetimi*: Firmanın tedarikçileri ile nasıl ilişkiler geliştireceğini tanımlayan bir süreçtir. Tedarikçi ilişkileri ve yönetimi, her bir firmanın organizasyon dışı becerilerine bağlı olan tasarım ve üretim bileşenlerinin yan sözleşme kısımları için çok önemlidir. Yöneticiler, verilen bir fiyat üzerinden en iyi kalitede parçalar elde etmek için, kısa dönemli bağlantılarda güven ve rekabet artımı gibi ürün geliştirmeden imalata uzanan süreçte tedarikçiler ile karşılıklı işbirliği ve uzun dönemli ilişkileri sürdürüp sürdürmeyeceğine karar vermelidir (Cusumano ve Takeishi, 1991, s.563).
- *Ürün Geliştirme ve Ticarileştirme*: Yeni ürünler geliştiren ve pazara sunan bir yapı sağlar. Amaç pazara zamanında girmektir. Burada pazara yeni ürün sunma sürecini azaltmak amacıyla ürün geliştirme sürecine müşterilerin ve tedarikçilerin de dahil edilmesi önemlidir.
- *İadelerin Yönetimi*: İadelerle ilgili tüm faaliyetleri kapsar. Etkin iade yönetimi sürdürülebilir rekabet avantajını başarmak için bir fırsat yaratabilir. Aynı zamanda verimlilik artırma yollarını bulma ve projeleri gerçekleştirme imkanı sağlar (Goldsby ve Garcia, 2003, s.33).
- *İşlem Yönetimi* : İşlem yönetimi büyük kurumsal yazılım firmalarını kapsar. 1990'lı yıllarda tedarik zinciri yönetiminde ERP yazılımları hızlı bir şekilde popüler hale geldi. Ancak tedarikçi ilişkileri yönetimi, müşteri ilişkileri yönetimi ve kararlar geliştirmeye yönelik yazılım uygulamalarına daha az önem verilmekteydi. Ana odak noktası gelecekteki karar destek uygulamalarına temel oluşturacak işlem yönetimi ve süreç otomasyon sistemlerini geliştirmektir. Günümüzde ERP yazılımları ne gördüğümüzü ve gelecekte ne göreceğimizi gösterecektir. ERP firmalarının tedarik zincirinin üç bütünleşik süreci ile işbirliğine geçişi söz konusudur (Chopra vd. 2007, s.492).

Müşteri ilişkileri yönetimi ve tedarikçi ilişkileri yönetimi, tedarik zinciri sürecindeki kritik bağlantıları oluşturur ve diğer süreçler bunlar aracılığı ile koordine edilir. Fonksiyonlar ve firmalar arası olan her bir süreci yönetmek üzere anahtar tanımlar içeren stratejik alt süreçler ve bu süreçlerin gerçekleştirildiği bir dizi operasyonel alt süreçler bulunmaktadır. Her bir alt süreç faaliyetler kümesi ile tanımlanır. Süreçleri hem stratejik seviyede yönetmek hem de operasyonel seviyede uygulamak için çapraz fonksiyon takımlarından oluşan bir yapı tanımlanır (Lambert vd., 2005, s.28).

1.5. Tedarik Zinciri Yönetimi Gelişimi

Tedarik zinciri yönetimi kavramının gelişimindeki alt yapı, lojistik yönetimi gelişimi ile oluşmaya başlamıştır. Son 50 yılda lojistik, sadece operasyonel bir fonksiyon olarak değil aynı zamanda tedarik, üretim, dağıtım firmalarının temel stratejik bileşenlerinden biri olarak görülmektedir (Lambert vd., 2005, s.3).

Tedarik zinciri yönetimi kavramının gelişim aşamaları yazarlar tarafından değişik zamanlarda verilmesine rağmen en güncel ve kapsamlı çalışmayı Ross (2003), beş farklı yönetim aşamasında değerlendirerek açıklamıştır (Şekil 1.14):



Şekil 1.14 Tedarik zinciri yönetimi kavramının gelişimi

a) Lojistiğin Dağıtımı (19 y.y. sonlarından 1960'ların ilk yıllarına)

Bu dönemde lojistik, stok yönetimi ve teslim ile ilgili aracı bir fonksiyondur. Bu yüzden lojistik, karlılığa önemli bir katkı olarak görülüyordu. Lojistik fonksiyonlar arasındaki içsel bağlantılar zayıftı (Zhao, 2005, s.33). Firmalar lojistik yönetimi faaliyetlerini parçalara bölüp, birden çok bölüme dağıtmışlardı. Firma için üretim süreçlerini gerçekleştirmek daha öncelikli iken lojistik, üretime bağlı bir fonksiyon olarak görülüyordu. Lojistik, depolama ve taşımayı içeren fiziksel dağıtım faaliyetleri olarak anlaşılıyor, hız hesapları ve envanter takibi olarak görülüyordu. Bu yönetim yaklaşımında, eğer bir bölüm etkinlik ve performans hedeflerini gerçekleştirirse tüm süreçlerin en yüksek performansla gerçekleşeceği düşünülüyordu. Toplam lojistik maliyetinin ne olduğu bilinmiyor bu maliyetler bölümler için ayrılan bütçelerle karşılanıyordu (Ross, 1998, s.77). Bu yıllarda lojistik gelişiminin yavaş olması iki

temel nedene bağlanabilir. Birincisi, o yıllarda bilgisayar ve kantitatif tekniklerin kullanımı yaygın değildi. İkincisi ise, iktisadi durgunluk daha sıkı bir maliyet kontrolü gerektirmişti (Bowersox ve Closs, 1996, s.280).

b) *Toplam Maliyet Yönetimi(1960'ın sonlarından 1980'in ilk yıllarına)*

1960'lı yıllarda lojistiğin dağıtımının etkin olmadığı anlaşılmaya başlamıştır. Bu dönemde lojistik yönetim otoritesinin büyüyen gücü ve lojistik fonksiyonlarının merkezileştiği görüldü. Taşımacılık, stok ve fiziksel dağıtım ile ilgili maliyetlerde azalma ve lojistik toplam maliyetinin minimizasyonu yaşanan değişimlerdi (Zhao, 2005, s.33).

1970'li yıllarda bilgi teknolojilerini gelişimi ve lojistik yönetimde sayısal analizlerin uygulanması, rekabet ve ekonomik baskıların artmasının etkisi ile merkezileşme başladı. Firmalar malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtım, pazarlama satış ve üretimden ayırıp, tek bir yönetim altında topladılar. Lojistiğin fiziksel dağıtım fonksiyonları bütünleştiğinde, elde edilecek maliyet avantajı ile, müşteriye taşıma ücretinin azaldığı fark edildi. Lojistik bir dizi ayrı faaliyetler yerine, stok planlama ve alımlardan, firmanın dağıtım kanallarına kadar uzanan ve müşteriye zamanında teslimat ile ulaşan malzeme ve bilginin sürekli akışı olarak algılanmaya başladı.

Lojistik maliyetleri ve hedeflenen müşteri hizmeti karşılığı olduğu için toplam lojistik sistem maliyetlerinden toplam maliyet kavramı ortaya çıkmıştır. Toplam maliyet kavramı, her faaliyetin maliyeti yerine tüm lojistik maliyetlerini azaltmayı amaçlıyordu. Lojistiğin toplam maliyet kavramı, tedarik, üretim ve dağıtım maliyetleri arasındaki ilişkilere bağlıdır. Başka bir deyişle, sipariş, envanter, ulaştırma, üretim hazırlama, depolama, müşteri hizmeti ve diğer lojistik maliyetler arasında bağımlılık vardır. Bu faaliyetlerden herhangi birindeki değişim diğerini etkilemektedir ve bunlardan birinin maliyet unsurunu minimize etme çabası daha yüksek lojistik maliyetleri ile sonuçlanabilmektedir (Copacino, 1997, s.8). Doktora tezi. Yalnızca bir alanda maliyeti azaltmak toplam maliyetin artmasına sebep olabilmektedir. Toplam maliyet yönetimi etkinliği lojistiğin bütünleşik yaklaşımıyla sağlanabilir (Ross, 1998, s.83).

c) Bütünleşik Lojistik Yönetimi(1980 ortalarından 1990'lara)

Bu dönem boyunca, firmalar lojistikte ticari ortaklarının rollerini tanımaya başladılar. Lojistik fonksiyonları ve genişleyen lojistik yönetimi fonksiyonları ortakların bütünleşme çabalarıdır. Toplam kalite yönetimi felsefesi ortaya çıktı ve tedarik zinciri yönetimine uygulandı (Zhao, 2005, s.33).

Bu dönemde lojistiğin amacı, tüm malzeme akışının, tedarikten başlayıp, üretim ve müşteri ilişkileri yönetimi ile devam edip, fiziksel dağıtım ve satış sonrası müşteri hizmeti yönetimi ile son buluncaya kadar bütünleşmesidir. Tüm içsel malzeme akışının bütünleşmesi ile firmalar stoklarının %80-100 oranında daha etkin yönettiler(Ross, 1998, s.89). İşletme kaynaklarına odaklanmış stratejik planlarla en iyi fırsatlar en düşük maliyetle sağlandı. Bu yönetsel değişim hızla yayıldı.

d) Tedarik Zinciri Yönetimi (1990 ortalarından 2000 yıllarına)

Gelişimin 4. dönemi, işletme operasyonları ve lojistik bilgi teknolojilerinin büyümesine tanıklık etmiştir. Firmalar, sanal organizasyonlar ve ticari ortak ağları geliştirmek için internet teknolojisinin avantajlarından yararlandılar. Bu aşamada kıyaslama ve iş süreçlerinin yeniden yapılması tedarik zincirine stratejik bir bakış kazanan yönetim tarafından karakterize edildi.

Bu dönemde ilişkilerin, bilginin ve malzeme akışının işletme sınırları ötesinde yönetilmesiyle tedarik zinciri yönetimi kavramı ortaya çıkmıştır. Yine bu dönemde ana üretim planı ve çizelge oluşturma(işletme kaynak planlaması ve iş süreçlerinin yeniden yapılması aracılığı ile dönüşümün sağlanması yaygınlaşmıştır. Tedarik zinciri planlama ve uygulaması daha bütünleşmiş ve çapraz fonksiyonlar arası takımlarla yönetilir hale gelmiştir. İnternetin ve web tabanlı teknolojilerin gelişimiyle birlikte tedarik zinciri yeniden şekillenmekte, bütünleşme eğilimi daha da hızlanarak işletme içinden tedarikçilere ve müşterilere doğru kaymaktadır (Muzumdar ve Balachandran, 2001, s.102). 1990'larda temel odak, kurumsal kaynak planlaması, kurumsal uygulamaların bütünleşmesi, işbirliğine dayalı çalışma ortamları ve operasyonel süreç yönetimi üzerinde yoğunlaşırken 2000'lere gelindiğinde, elektronik veri transferi ve internetin sağladığı olanaklar, ortaya çıkan kavramların uygulamasında anahtar bir rol üstlenmiştir. Böylece birçok firma yeni üretim tekniklerini kullanabilecek duruma gelerek faaliyetlerindeki gereksiz işlemleri ortadan kaldırmış, gerçek zamanlı bilgi entegrasyonu sayesinde etkinliğini artırmıştır (Lee, 2000, s.34).

e) E Tedarik Zinciri Yönetimi(2000'den günümüze)

Bu dönemde gelişen yönetim, tedarik zinciri yönetimi kavramını internet uygulamalarına ve tedarik zinciri yönetimi senkronizasyon özelliğine odakladı. Ağ yapılı ve çok şirketli tedarik zincirleri organizasyonel tasarım, e-tailers ve e-pazar değişimleri ve dotcom'un her iki biçimi popüler hale geldi. Ross (2003) tanımladığı gibi tedarik zinciri yönetimi “radikal olarak yeni müşteri değeri tekliflerine yol açan güçlü stratejik fonksiyon içinde e-işletme teknolojileri uygulamaları” ile gelişti. E-tedarik zinciri yönetimi, internetin sağladığı kanal ortaklarının işbirliği yani e-ortaklık gibi konularla büyük oranda ilgilidir. Bugün tedarik zincirinde başarının anahtarı, ortaksız hayatta kalmaya çalışan basit bir organizasyon ile çelişirken, bilgi teknolojisi ve web uygulamaları ile güçlendirilen tedarik zinciri ağ yapısını yönetmeyi kapsar.

Günümüzde büyük firmaların birçoğu internete ilave olarak içsel organizasyonel (bilgi) sistemlerini(IOS) ülke çapında, tedarik ve dağıtım bağlantıları ve tedarik zincirini yönetmek için kullanmaktadır. IOS, örgütsel sınırlara karşı elektroniksel etkileşim ve bilgi paylaşımına izin verir (Warkettin vd., 2001, s.150). Bu sistemler, ürünlerin akışı ile bütünleşebilen bilgi akışını artırır ve ürünlerin akışı arasındaki sinerjinin temelinde hizmetler ve pazarlar vardır, yeni ürün yaratmaya odaklı bir yaklaşım sunar (Van Hoek, 1998, s.510). İnternet teknolojileri sayesinde ürün, elden ele dolaşmaz.

Geçerli bilgi, ilgili kişilerce yeni gelişmeler doğrultusunda ayarlanarak güncellenir. Talep tahminleri satış temsilciliklerince son bilgiler dikkate alınarak yada müşterilerden elde edilen bilgilerle yenilenmektedir. Ürün mevsimselliği, promosyonlar ve yeni ürünlerin devreye girmesiyle ilgili bilgiler bayilerle üretici arasında paylaşılır. Tedarik zinciri itme sisteminden (stoğa üretme) çekme sistemine (talebe göre üretim) geçtikçe operasyonel başarı için dört temel faktöre gereksinim duyulur; tüm tedarik zinciri boyunca tam zamanlı görülebilirlik, tedarik ve temin seçeneklerinde esneklik, müşteri talebindeki değişim ve ürün temin süresini baz alarak cevap verebilme, pazarın eğilimi ve yeni tasarımlar dikkate alınarak yeni ürün tanıtımının hızla geliştirilebilmesi (Muzumdar, 2001, s.21). Tedarik zincirlerinin karmaşıklaşan yapısı ve üretim süreçlerindeki artan sanallaşma organizasyonel dinamiklerin eğilimini değiştirmektedir. Bu değişimde küreselleşme önemli bir yere sahiptir. Ürünler artık aynı coğrafi bölgede üretilip satılmayıp, bir ürünün farklı parçaları dünyanın farklı yerlerinde üretilmektedir. Bu durum daha uzun ve karmaşık tedarik zinciri yapıları oluştururken aynı zamanda tedarik zinciri yönetim ihtiyaçlarını da etkilemektedir. Küreselleşme yerel pazarı

uluslar arası rekabete açarak ulusal firmaların üretim kabiliyetlerini ve tedarik zinciri yönetimlerini geliştirmeye zorlamaktadır. Bhatnagar (1993)'e göre, stok seviyelerini azaltma ve kısalan teslim süreleri ile artan esnekliğe doğru önceliklerin kaydığını belirtmiştir. Aynı zamanda sektörün, stok yönetimi ve yüksek müşteri tatminini sağlayacak esnekliğe odaklandığı görülmektedir.

Küresel tedarik zincirleri çeşitli şekillerde ortaya çıkar. Örneğin, uluslar arası dağıtım sisteminde üretim yereldir, fakat dağıtım ve bazı pazarlama faaliyetleri uluslar arasıdır. Uluslar arası tedarikçi sisteminde ise, hammadde ve bileşenler yabancı tedarikçilerden elde edilir fakat son montaj yerel olarak yapılır. Bazı durumlarda nihai ürün dış pazara gönderilir. Vergi muafiyeti olan bir ülkede iş yapan ticari bir kuruluş için ürünün kaynak temini ve üretimi yapılırken satış ve dağıtım için yerel perakendeciler kullanılır. Tamamen bütünleşmiş küresel tedarik zincirinde ise, ürünlerin hammadde tedariki, üretimi ve dağıtımı farklı ülkelerde yapılır. Tedarik zinciri ulusal sınırlar göz önüne alınmadan oluşturulur. Bu durum gerçekten uzaktır, küresel tedarik zincirinin gerçek değeri ulusal sınırlar dikkate alındığında ortaya çıkar (Simchi-Levi, 2003, s.224).

2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE ÜRETİM PLANLAMA VE KONTROL SİSTEMİ

Çalışmanın uygulama alanını oluşturan toplu planlamaya ilişkin tanımlamalar literatürde üretim planlama ve kontrol sistemi içinde yer almaktadır. Bu bölümde öncelikle tedarik zinciri yönetimi ile üretim planlama kontrol sistemi arasındaki ilişkiye yer verilmiş ve tedarik zincirini yönetme ve yöneltme konusu değerlendirilmiştir. Daha sonra üretim kontrol sistemi kavram ve yapısı, üretim planlama tanım ve düzeyleri üzerinde durulmuş ve tedarik zinciri yönetiminde yeni üretim planlama kontrol sistemi bağlantıları ortaya konmaya çalışılmıştır.

2.1.Tedarik Zinciri Yönetimi ve Üretim Planlama Kontrol İlişkisi

Tedarik zinciri yönetiminin ana odak noktası, dışsal bütünleşmeden içsel bütünleşmeye yoğunlaşan üretim planlama ve kontrol sistemleridir. Günümüz üretim planlama ve kontrolün sınırları, malzeme ve bilgi akışını koordine ederek firma içinde performansı optimize eden işletme kaynakları planlaması (ERP) ve ilgili sistemleri aşmaktadır. Tedarik zinciri yönetimi, tam bir kontrolün başlıca gelişime yol açacağı farkındalığı içinde firma bünyesinde de bu akışları yönetme amacına sahiptir.

İşletme faaliyetlerinde, malzeme ihtiyaç planlaması/işletme kaynakları planlaması (MRP/ERP) ve diğer işletme veya iş birimi odaklı sistemler sayesinde gelişmeler sağlanmıştır. Fakat günümüzde başlıca fırsatlar, işletme birimlerinde tedarikçi-müşteri arasındaki sinerjiyi sağlayan üretim planlama ve kontrol sistemleri gibi daha global ilerlemelerde yer alır. Bunlara, firma tedarikçi tabanının modernleşmesi, tedarik zinciri stoklarının azaltılması, zincir cevap süresinin azaltılması, zincir elde bulundurma maliyetinin düşürülmesi, pazara ulaştırma süresinin kısaltılması, pazar taleplerine daha hızlı cevap verme, firmalar arası çizelgelemeyi senkronize etme ve firmalar arası geçişleri ortadan kaldırmak örnek olarak verilebilir.

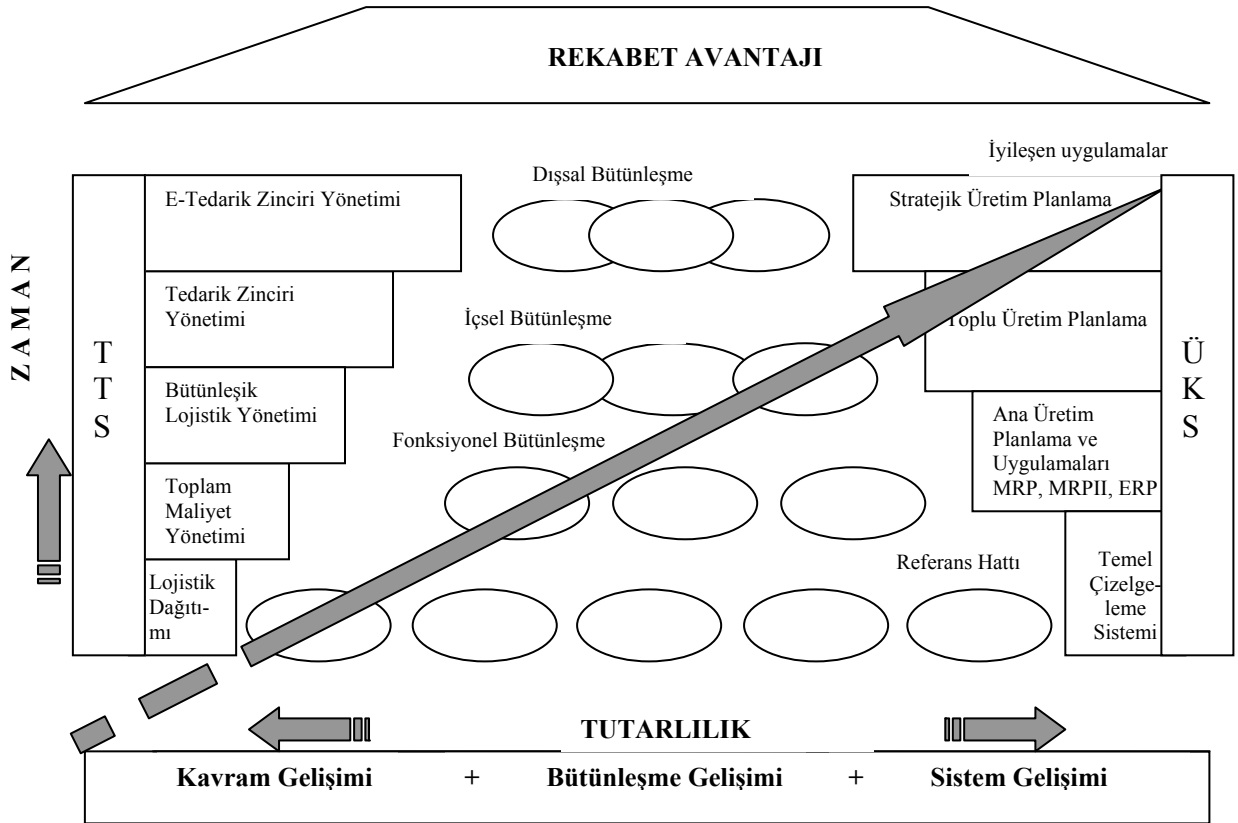
Tam zamanında üretimde olduğu gibi tedarik zinciri yönetimi, içsel firma hedefini üretim planlama ve kontrol sisteminin de ötesine taşır. Sonuçta, “dünya lideri tedarik zincirleri” en iyi değer/maliyet çözümünü nihai tüketiciye sunarak rekabet koşullarını belirlerler. Buradaki en önemli nokta, tedarik zincirinde bu tür sonuçlara ulaşabilmek için ayrıntılı üretim planlama ve kontrol sistemi gerekliliğidir. Tedarik zincirinde işbirliği fonksiyonunu kurabilmek için

firma-müşteri ve tedarikçi arasında ortak çalışmayı sağlayacak üretim planlama ve kontrol sistemine gerek vardır.

Tedarik zinciri yönetimi, klasik üretim planlama ve kontrol düşüncesinde sıçrama yansıtır. Firma faaliyetlerinde daha fazla bütünleşik yaklaşım sonucu, üretim planlama ve kontrol yaklaşımlarında da sürekli bir gelişim söz konusudur. Dolayısıyla stok kontrolü için basit araçlardan ERP sistemleri yardımıyla çapraz fonksiyonel bütünleşmeye geçiş sağlanmıştır. Bu evrim öncelikle firma içi bütünleşmeye ve iki veya daha fazla ürünlerdeki gelişime odaklıdır.

Tedarik zinciri yönetme, koordinasyondan ve bütünleşmiş üretim planlama ve kontrol tasarımından daha farklı bir anlam taşır. Bu fikirlere ilave olarak güç konusu ortaya çıkar. Hangi kararları alırken ön plana kim çıkacak? Kim yöneten kim yönetilen olacak? Yönetmenin başarıya ulaştığına, nasıl gelişeceğine ve gelişimi kimin sürdüreceğine nasıl karar verilecek? Maalesef pek çok durumda bu bir güç oyunudur. Kesin doğru yoktur; yönetmenin doğal sonuçları vardır ve ürün yaşam döngüsünün farklı evrelerinde olduğu gibi zamanla nasıl değiştiği gösterilebilir. Tedarik zincirinde üretim planlama ve kontrol oluşumu firma boyutuna yayılmalı, hızlı ve etkili çalışmalıdır. Yanıt süresi, karar alma sürecini azaltan veya ortadan kaldıran yönetme ile daha kolaydır. Öncelikle zincirdeki firmalar tarafından zincir ölçütlerinin kararlaştırılması ve geliştirilmesi önemlidir, daha sonra devreye girecek mantıksal oyuncular bu ölçütleri yönetme ile optimize eder. Birçok durumda, firmalar arası çalışma zaman alıcı ortak karar alma gerektirir. Bu ancak uzun tedarik süreli programlanmış görüşmelerle mümkündür. Firmalar genellikle yeni bir ürün üzerinde çalıştığında oluşur.

Yönetme, tedarik zincirindeki gelişme/bütünleşme/koordinasyon aşamalarıyla yakından ilgilidir. Yönetmenin oyuncuların hedefleriyle, ortak hareket bağlılığına ve faaliyete destek olan üretim planlama ve kontrol sistemleriyle uyumu gerekir. Şekil 2.1. kavram geliştirme, bütünlük geliştirme ve sistem geliştirme ile dört aşamalı süreci gösteren bir tedarik zinciri yönetimi evrimidir. Her bir aşama üç gelişme evresi arasındaki tutarlılığa dikkat çekecek şekilde ok ile bağlanmıştır (Vollmann, 2007, s.484).



Şekil 2.1. Tedarik zinciri yönetimi evrimi

İlk içsel aşamada temel hedef lojistiği geliştirmek ve yalın üretime ulaşmaktır. Yalın üretim bir bütünleşik sosyo-teknik sistemdir ve temel amacı, tedarikçi, müşteri ve iç değişimi aynı zamanda azaltarak veya minimize ederek israfı ortadan kaldırmaktır (Shah ve Ward, 2007, s.791). Bu durum, firma içinde çapraz fonksiyonel yetki hatlarına sahip iş süreçlerine odaklanmayı gerektirir. Tedarik zincir gelişiminin bu aşamasını temel çizelgeleme sistemleri destekler. Çizelgeleme bir alanda tanımlanan performans kriterini karşılamak amacıyla zaman üzerinde mevcut kaynakların dağıtımını olarak ifade edilebilir. Çizelgeleme işin bütünü tanımlamak için kullanılır ve her bir iş üretimin bütünü kapsar (Jeong, 2000, s.299). Yönetme, geleneksel zincir ölçütlerinin gözden çıkarılması pahasına çapraz fonksiyonel bütünleşmeyi ve sonucundaki sürecin optimizasyonunu hedefler.

Şekildeki 2. aşamanın ana noktası, tedarik zinciri yönetimi olarak ta adlandırılan, içsel işbirliğinin ilk seviyesini oluşturur ve aynı zamanda firma dışı bağlantılar ve tedarikçilerle daha iyi bir işbirliğini destekleyecek bilgi sistemlerini de içerir. Tedarikçilerin müşterilerdeki MRP, MRPII, ERP ve DRP tabanlı sistemlerden gelen geçişlerin elektronik olarak işlenmesiyle bilgi temin etmesini sağlayan elektronik veri değişimini(EDI) içerir. Hedef, klasik ÜPK sistemleriyle sağlanan içsel planlamayı tedarikçilere genişleterek zincir stoklarını

azaltırken geçiş maliyetleri de azaltmak ve bilgi akışını hızlandırmaktır (Nollmann, 2007 s.485).

2. aşamadaki yönetme, çoğunlukla bireysel firmalar içindedir fakat her firma kendi ERP tabanlı planlarını kusursuz olarak yerine getireceği hedefleriyle gelen tedarik zinciri faaliyetleriyle koordinelidir (Vollmann, 2007, s.485). İşletme kaynaklarını planlama(ERP) sistemi işletmenin kaynaklarının her birini yönetmek için kullanılan bütünleşik yazılım çözümleridir. Amaç yalnızca kaynak planlama yapmak değil, aynı zamanda tüm farklı bölüm ihtiyaçlarına hizmet edebilen bir bilgisayar sistemi içinde şirketin bölümlerini ve fonksiyonlarını bütünleştirmektir (Basoglu vd, 2007, s.). Tedarikçi firmalardaki yönetme kendilerine aittir. Uzun dönemli planlama amaçları için ana üretim çizelgeleme kadar gerçek zamanlı nihai montaj çizelgeleme içinde EDI kullanılabilir. İşletmeler arası bilgi sisteminin bir şekli olan elektronik veri değişimi (EDI) sistemleri, kurumların değişim evrakları ile ilgili internet tabanlı bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişimi ile kabul görmüş, standardize edilmiş formları kullanan iletişim ağları üzerinde elektronik olarak bilgi değişimini mümkün kılan telekomünikasyon anlamındadır (Kim vd.,2007, s.). Bu aşama ile diğer aşamalar arasında tutarlılığa ihtiyaç vardır.

3. aşamada geçen kavram “talep zinciri yönetimi” olarak adlandırılır. Bütünleşme gelişimi e tabanlı koordineli çizelgelemedir ve sistem geliştirme mass customization ı desteklemeye odaklanmıştır. Kitle kişiselleştirme özellikle yüksek maliyetli emek-yoğun yaklaşımlardan ziyade kitle üretiminin faydalarından hareketle, farklı müşterilerin kesin ihtiyaçlarına uygun bireyselleşmiş çözümler uygulama anlamındadır. E tabanlı koordineli çizelgeleme, müşteri ve tedarikçi arasındaki klasik JIT bağı, müşteri isteklerinin tedarikçi tarafından tamamen görüldüğü durumlar ve müşteri planlarının desteklendiği doğrultuda yanıt vermede esneklik sağlayan 3. parti lojistik sağlayıcısı gibi farklı firmalarda yer alabilir (Vollmann, 2007, s:485). 3. parti lojistik sağlayıcı, işletmenin malzeme yönetimi ve mamul dağıtım fonksiyonlarının tamamının veya bir kısmının dışarıdan bir firmaya devredilmesidir(Simchi-Levi vd.,2000, s.126). Temel olarak değinilen müşteri diliminin veya mümkünse bireysel müşterinin daha kesin ihtiyaçlarına ortak bir şekilde düzenli olarak hizmet etmektir. Müşteriler çok sayıdaki ürün arasında seçimini yaparken tüm bunları hızlı bir şekilde ve en düşük zincir stoğu ile yapabilmektedir. Bunu gerçekleştirmek için firmalar (müşteri ve tedarikçiler) arası bütünleşme e tabanlı olmalıdır. ÜPK sistemlerinin firma içi bütünleşme derecesine bağlı olarak firma ve tedarikçileri arasında farklı yönetme ve kurallara sahip bire çok (one-to-many) ilişkiyi içerir. Yönetme için merkezi nokta, son müşteri ve onların kesin ihtiyaçlarıdır. Firma

operasyonlarında müşteri taleplerini minimum stokla en hızlı biçimde karşılamayı hedeflemektedir. Özellikle yeni modeller sunulacağı zaman zincir maliyetini azaltmak için tüm zincirin stok seviyesi düşük tutulmalıdır.

Son aşama firmalar ağını yönetmedir. Gerekli olan ağın optimizasyonudur. E tabanlı ağ senkronizasyonu yukarı zincir tedarikçilerine, yalnızca en yakın müşterilerini değil tüm aşağı zincir ihtiyaçlarını görünür yapacak web tabanlı sistemler olmalıdır. Ağ optimizasyonu zincirdeki aşamalar arasında merkezi bağlantı (hub) kullanarak arttırılabilir. Merkezi bağlantı, fiziksel bir depo olarak görülebilir veya 3. parti tedarik sağlayıcısının herhangi bir yerde tutacağı malların durumunu gösteren sanal depo da denilebilir. Merkezi bağlantı kullanımı özellikle nihai ürün üreticilerinde kullanışlıdır. Tüm stoklar kullanıma yakın bir yerde muhafaza edilir. Merkezi bağlantı kullanımı mantık değişimi ve genel zincir maliyetlerine ve faydalarına odaklanmayı gerektirir.

Sonuç olarak, zaman içinde evrim sürekli öğrenme ihtiyacı ve tedarik zinciri inisiyatifi geliştikçe, yeni ve ayrıntılı ÜPK sistemlerini destekleyecek yöntemler ve bu konudaki çalışmalar ve ulaşılabilecek hedeflerde büyük değişiklikler ortaya çıkacaktır. Tedarik zinciri yönetimi, müşteri ve tedarikçilerle olan sıfır toplamlı bir oyun olarak görülmemelidir (Nollmann, 2007, s.487).

2.2. Üretim Kontrol Sistemi Kavramı ve Yapısı

Etkin ve etken olarak çalışan üretim firmaları üzerindeki artan baskı, uluslararası rekabet ve müşteri taleplerinden dolayı ortaya çıkan tehlike ile birlikte hızlı teslim zamanı, tutarlı kalite, düşük maliyet ve müşteriye özel ürün tasarımı ve fonksiyonelliği için daha rekabetçi hale gelen çevresel etkilere (Slack, 1995, s.). Üreticiler, yalın üretim (atıklar ve temelde yer almayan faaliyetlerin minimize edilmesi) ve çevik üretim (pazar talebindeki değişim için tepkisizlik ve yüksek esneklik) için “dünya-sınıfı” ındaki konumlarını korumak üzere desteklenmektedir. Bu konumun pazarlama, satış, üretim planlama, üretim programlama, satın alma, üretim kontrol, stok kontrol ve dağıtım gibi fonksiyonları koordine eden, üretim planlama ve kontrol sistemleri ile başarılabilirliği geniş ölçüde kabul görmüştür (Howard, 1998, s.710).

Üretim kontrol faaliyeti bir sistemdir ve bütün olarak ele alınması gerekir. Bu durum, salt üretim kaynaklarının boş kalmaması, stok maliyetlerinin minimize edilmesi veya tüm

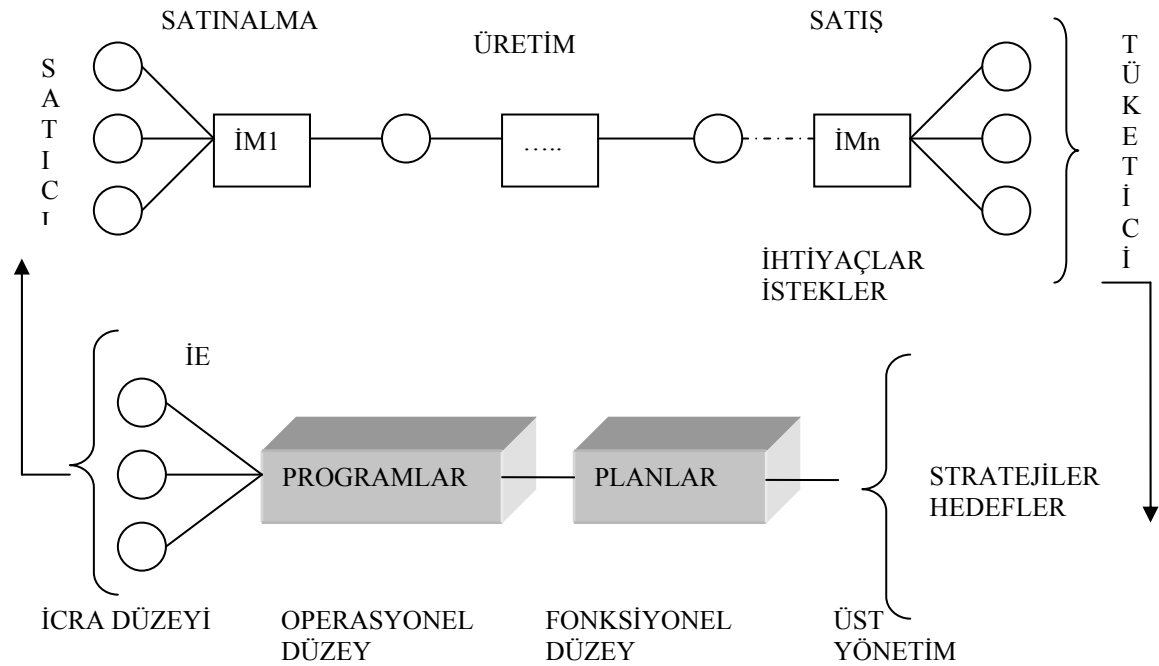
tarihlerin karşılanması ihtiyaçlarının dengelenmesi anlamına gelmemelidir. Üretim kontrol sisteminin amacı bir bütün olarak organizasyonun amacı olmalıdır (Bedworth ve Baley, 1999, s.4). Geniş anlamda üretim kontrol sistemi imal edilen ürünün tüm aşamalarını kapsayan bir fonksiyonlar bütünüdür.

Üretim faaliyetlerinin amaçlara uygun olarak planlanması ve kontrolü için bilgi desteğinden yararlanmak kaçınılmaz bir zorunluluk arz eder. Zira, artan rekabet, hatalı karar vermenin ya da karar vermede geç kalmanın maliyetini katlanılamaz boyutlarda artırır. Her iki maliyet kaleminden de kaçınmanın yolu, doğru ve güncel bilgiye tam zamanında erişimden geçmektedir. Üretim kontrol sistemlerinin bilgi temeline (knowledge) dayalı olma özelliği, sistemin sahip olduğu bütünleşik ve esnek bir veri-tabanı sistemi ile ondan yararlanma etkinliğine bağlıdır. Bu tür sistemlerde üretim faaliyetlerine yönelik karar verme sürecinde, veri tabanı ve bilişim sistemlerinin belirleyici ve yönlendirici bir yeri vardır (Kuruüzüm, 1999, s.2).

Yıllarca, operasyonların etkin planlanması ve kontrolü için ihtiyaç duyulan fonksiyonelliği kullanıcılara sağlayan üretim planlama kontrol sisteminin başarısızlığı geniş açılarda görülmüştür. Genel olarak bilgi sistemi için başarı oranı, kullanıcıların büyük oranda neye ihtiyaç duyduğunu anlamak ve karşılamaktır. Bilgi teknolojilerini yanlış uygulayan endüstriler için etkin olmayan işlemlerin sonuçları olarak, teknoloji ve kayıp maliyetleri yükselecektir. Problemler çeşitlidir ve literatürde birçok araştırma, çözümler geliştirme ve tanımlama çabası (özellikle yazılım mühendisliği) içindedir. Başarısızlığın büyük ölçüde fonksiyonel özelliklerin azlığına bağlı olduğu savunulmaktadır (Howard, 1998, s.711). Literatürde sistem gelişimi boyunca hatalı fonksiyonel özellikler için çeşitli sebeplerin varlığı tespit edilmiştir. Bunlar;

- Kullanıcıların genel olarak gerçek ihtiyaçlarının neler olduğu bilinmez,
- Analistler çevreyi anlayamaz,
- Etkin süreci engelleyen bilgisizlik, gelenek ve politikalar,
- Kullanıcılar, analistler ve tedarikçiler arasındaki iletişim azlığı,
- İhtiyaçlar sürekli olarak değişmektedir,
- Sosyal çerçeve düşüncesi zayıftır,
- Etkin biçimsel yöntemlerin yaygın olarak kullanımı azdır,
- İş süreçleri ile bütünleşme ve işbirliği düşüncesinin zayıflığı ve fonksiyonel ayrıntı için geçici bir yaklaşımın varlığı söz konusudur.

Üretim sistemlerinde genel olarak amaçlara yönlendirilmiş iki ana tip akıştan söz edilebilir. Bunlardan ilki nesnel niteliklidir. Hammadde, malzeme, işlenmiş ve işlenmekte olan parçalar, ürünler, para ve emek gibi alt bileşenler bu grupta yer alır. İkincisi ise kavramsal niteliklidir. Sistem faaliyetleri ile ilgili veri ve belirli amaçları gerçekleştirmek üzere verinin işlenmesi sonucu oluşan bilgi akışları bu grupta yer alır. Şekil 2.3.'de söz konusu yapı verilmektedir.

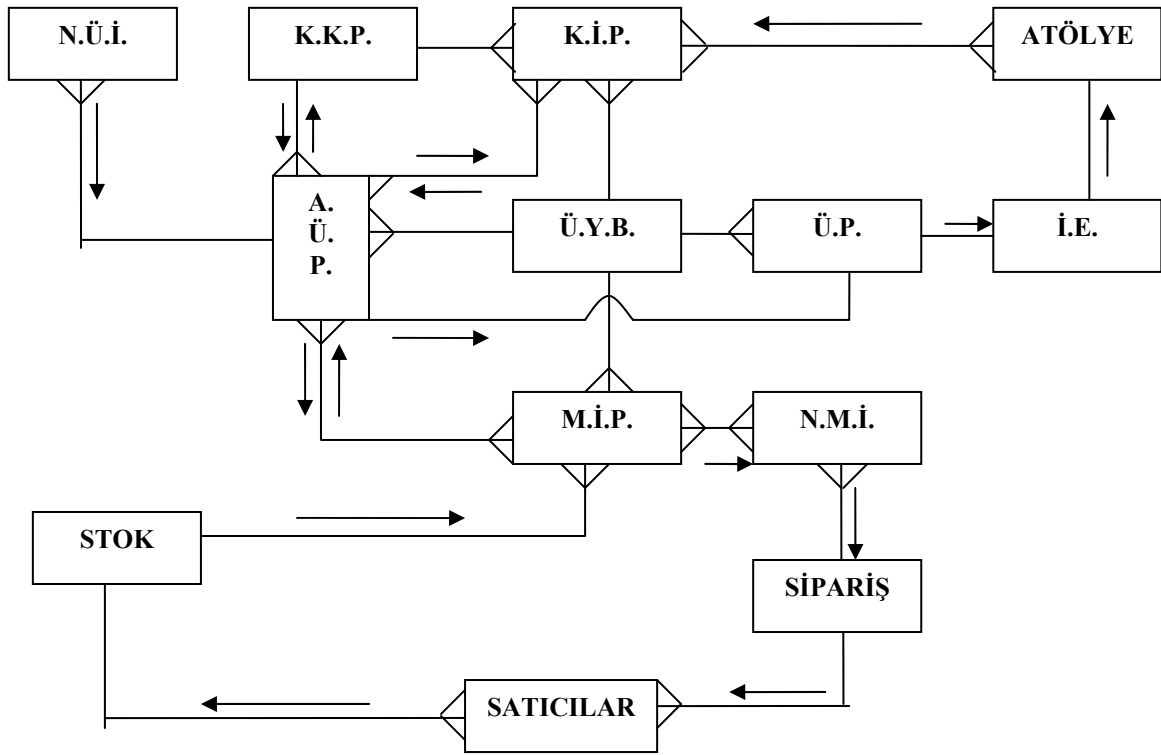


İM1 = 1. İş Merkezi, İE = İş Emri

Şekil 2.3. Üretim kontrol sisteminde akış (Kaynak:Kuruüzüm, 1999, s.2)

Üretim kontrol sistemi fonksiyonel düzeyde, özellikleri, miktarları ve teslim tarihleri belirli ürünleri üretmek için işletmenin, tanımlanmış parçalar düzeyindeki imalat faaliyetlerinin bir ifadesi olan ana üretim programının (AÜP) koordinasyonunda çalışmaktadır. Onunla doğrudan etkileşimli olan diğer modüller, bağımlı talep ilişkilerine, satın alınan ve imal edilen parçalar için temin sürelerine, sipariş politikalarına, mevcut ve siparişi verilmiş envanter durumlarına ait bilgileri temel girdi olarak alan malzeme ihtiyaç planlamadır (MİP). Ölçülen potansiyel kapasite ile hesaplanan gerekli kapasite karşılaştıran yeterlilik testi, diğer bir modül olan kapasite ihtiyaç planlamanın (KİP) temel fonksiyonlarından biridir. Diğer modüller, kaba kapasite planlama (KKP), ürün yapısı bilgileri (ÜYB), net ürün ihtiyacı (NÜİ)'dir. Dolaylı etkileşim içinde olan diğer modüller ise üretim programları (ÜP), iş emirleri (İE), atelye kontrol, net malzeme ihtiyacı (NMI),

sipariş, satıcılar ve stoktur. Şekil 2.4. te ana üretim programı ve diğer modüller arasındaki fonksiyonel ilişki gösterilmektedir. Bu şemalar bazı kaynaklarda blok ilişki şeması olarak da ifade edilmektedir (Kuruüzüm, 1999, s.4).



Şekil 2.4. Üretim kontrol sistemi için fonksiyonel ilişki şeması (Kaynak:Kuruüzüm,1999, s.4)

Üretim planlama ve kontrol sisteminin sürdürülebilirliği talep, ürünler ve imalat özelliklerine bağlıdır (Jonsson, 2003, s.873). Bilişim teknolojisi sisteminin çekiciliği güçlü fakat başarı oranı zayıftır. Kullanıcı ihtiyaçları ve temini konusunu tanımlamada büyük zorluk vardır ve süreci destekleyecek araçlara ihtiyaç vardır (Howard, 2002, s.8).

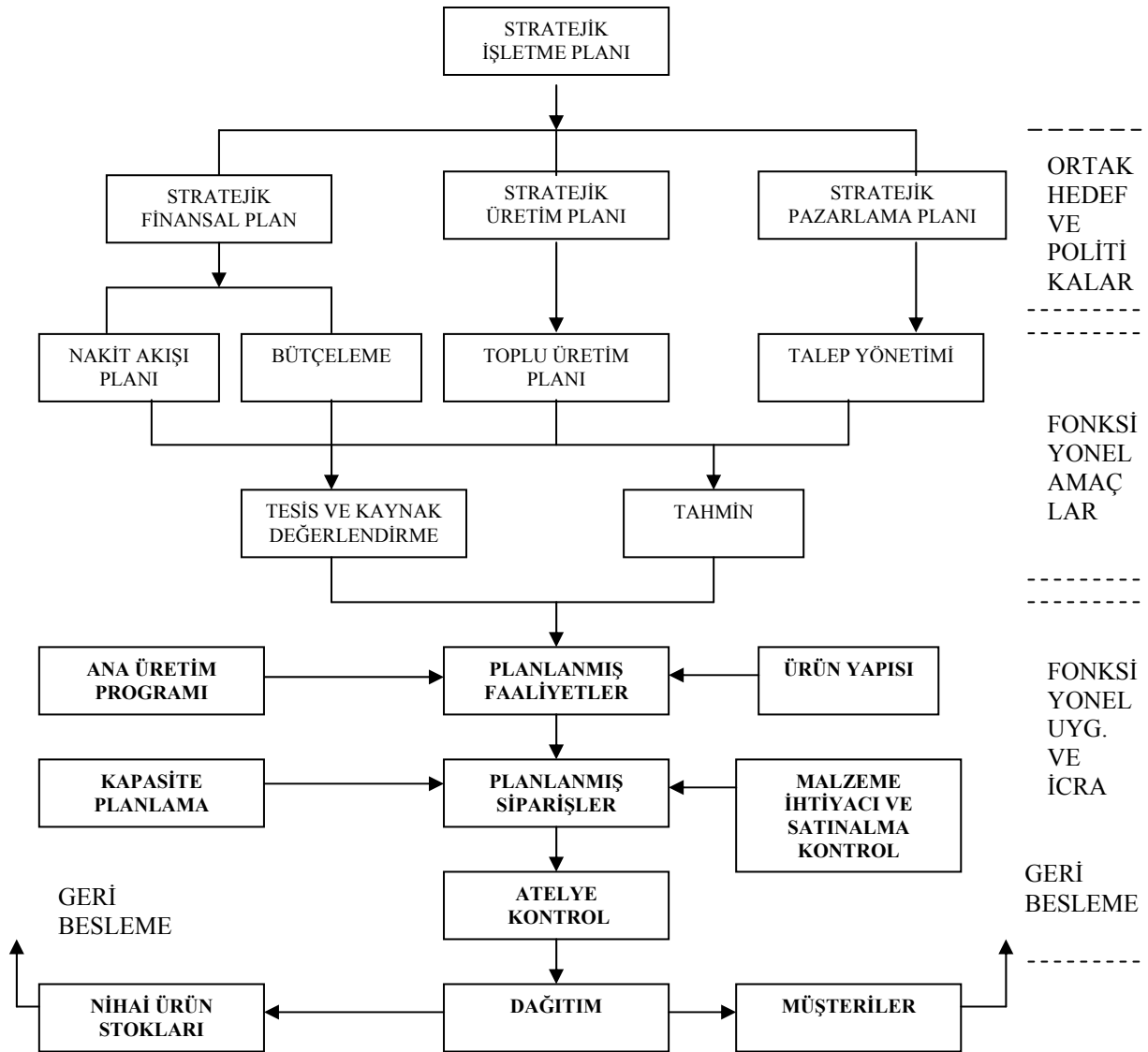
2.3. Üretim Planlama Kontrol Sistemi ve Düzeyleri

Üretim planlaması, gelecekte üretim faaliyetlerinin nitel ve nicel yönleriyle ve sınırlarıyla belirlenmesi fonksiyonudur. Üretim planı belirli bir ürünün imalının başlangıç ve bitiş tarihlerini kesin olarak belirler ve buna bağlı bilgileri ortaya koyar(Çelikçapa, 2000, s.120). Bir üretim planı hazırlamak, her bir sipariş için, üretim zamanı ihmal ediliyor veya talep hızı sabit ise oldukça kolaydır. Gerçek hayatta bu durumların her ikisi de nadir olarak görülür. Böylece yönetim, üretim zamanı ve talep tahminini çevreleyen, tedarikçilerin teslim zamanı ve içsel üretim hızları gibi bir takım belirsizliklerle başa çıkmak zorundadır(Dervitsiotis, 1981,s.475).

Üretim planlamanın amacı, gerek duyulan (tahminlerle saptanmış) mal ve hizmetlerin üretiminde kullanılacak tüm kaynakların istenen yer ve zamanda, istenen miktarda bulundurulmasını garanti etmek ve daha da önemlisi kaynak israfını (boş zaman, aşırı hammadde ve ürün stoku tutma) en aza indirmektir.

Üretim planlama sadece uygulanacak belirli faaliyetlerin genel çerçevesini çizer. Bu plan belli bir faaliyetin belli bir zamanda ve belli bir araçta(veya kolaylıkla) yerine getirilmesi gereğini göstermez. Bu gibi detaylar üretim programları ile saptanır. Ancak üretim planlama belli bir dönemde bazı kolaylıklar(aracı gereç ve işgücü gibi) kendilerine verilen görevleri yerine getirebilmeleri için ilave vardiya gerektiğini gösterebilir(Toraman,1984:106). Üretim planlama kontrol sistemi düzeyleri itibariyle fonksiyonel düzeyler ve dönemsel düzeyler olarak iki grupta incelenebilir.

Fonksiyonel Düzeyler: Üretim planlaması, üretim konusunu her yönü ile kapsayan ve işletme planlamasının bir bölümünü oluşturan temel bir üretim fonksiyonudur. Üretim planlamasını işletme planlamasının diğer ilgi alanlarından ayıran bir özellik, teknik ve bilimsel gelişmelerle daha yakından ilgilenmek zorunluluğunda olmasıdır. Yeni üretim yöntemleri, hammadde, malzeme türleri ve kaynakları, çalışma koşulları, yeni kontrol ve yönetim teknikleri ve dış çevresel faktörlerdeki gelişmeler üretim planlamasını yakından ilgilendirir (Çelikçapa, 2000, s.120). Programlama temeline dayalı tüm sistemlerde üretim planlama, politika ve hedeflerden icraya (yürütmeye) ve kontrole kadar devam eden bir süreçtir. Kontrol sonucunda yapılacak güncelleştirmelerle süreç, kapalı bir çevrim özelliği kazanır. İşletmelerde politika ve hedefler, stratejik planlar ile sağlanırken bunların somut kararlara indirgenmesi, daha kısa zaman dilimleri (genellikle 1 yıla kadar) için hazırlanan taktik planlarla sağlanır. Şekil 2.5. de üretim planlama ve diğer planlama faaliyetleri ile ilişkileri görülmektedir. Malzeme temini ile başlayıp üretim planlama ve kontrol ile devam eden ürünlerin dağıtımını ve müşteriye ulaşması ile ortaya çıkan ilişkiler günümüzde tedarik zinciri ağ yapısı içinde değerlendirilmektedir.



Şekil 2.5. Üretim planlama ve diğer planlama faaliyetleri ile ilişkisi (Kuruüzüm, 1992, s.52)

Üretim planlamanın giderek artan bir şekilde önem kazanmasının temel nedenleri şunlardır:

- Üretim sistemlerinin karmaşıklığı ve faaliyetlerin yoğunluğu,
- İşletme içi koordinasyon zorluğu,
- İşletmeler arası ilişki ve bağımlılık,
- Talebin büyümesi ve çeşitlilik kazanması,
- Tedarik ve dağıtım faaliyetlerinin geniş bir alana yayılması,
- Kalite, fiyat, hizmet rekabetinde artış,
- Malzeme, makine, işgücü kayıplarının en düşük düzeye indirilme zorunluluğu (Çelikçapa, 2000, s.121).

Sonuç olarak, üretim planlama elde bulunan kaynakların çeşitli üretim gereksinimlerine genel bir şekilde tahsisi eylemidir. Bu plan, genelde yapılacak detaylı iş tahsislerini olanaklı kılacak esnekliğe sahiptir (Toraman, 1984, s.106).

Dönemsel Düzeyler: Üretim planları; çok geniş kapsamdan çok detaylı üretim programlarına ve uzun dönemden (bir veya iki yıldan daha fazla), orta döneme (3-12 ay) ve kısa döneme (0-3 ay) kadar değişik sürelerde olmaları itibariyle farklılık gösterirler. Bakış açısı, genişten daraya doğru ilerledikçe, işletme faaliyetlerini ölçmekte kullanılan birimlerde daha özellikli hale gelir.

Uzun dönemde planlama faaliyeti; toplam gelir, toplam işçi sayısı veya toplam faaliyet hacmi gibi toplam rakamlarla ölçülür. Zaman kısaldıkça bu ölçüler; malların gelirleri, işlere göre işçilik saatleri ve faaliyetlerde de iş yükünün belirli miktardaki bir üretim için hesaplanması şekline dönüşür. Uzun dönem planlarında, genel ekonomik durum ve demografik tahminler ve işletmenin üretim faaliyetleri üzerinde etki yaratan projelerin değerlendirilmesi etkilidir. Bazı durumlarda, yönetim çevrenin politik ve sosyal açıdan muhtemel değişimlere ve rakiplerinin gelişim kalıpları gibi etkisini inceler. Uzun dönem üretim planları, sistemin amacı üzerinde geleceği ürünler, hizmetler ve süreçlerin değişiminde büyüme ve hayatta kalma gerekliliği gibi nelerin etkileyeceği ile ilgilenir (Dervitsiotis, 1981, s.478).

Orta dönem planlar; işgücü büyüklüğü, stok miktarı, ilave araçları, fazla mesai veya alt sözleşme yapmayı içerir (Weiss, Gershon, 1993, s.549). Fogarty ve Hoffman (1983) orta dönem için 3 temel üretim kararını tanımladı;

- Toplu stok ve üretim düzeylerini planlama, müşteri hizmetini istenen düzeye ulaştırma ve taşınan stoğun maliyeti ve değişen üretim hızının maliyetleri toplamına minimum bir yaklaşım sağlar. Bu toplu üretim planlama problemi olarak adlandırılır.
- Ayırıştırma veya farklı ürün grupları için üretim hızı ve stok düzeylerini planlama, bu değerlerin toplamı toplam değere eşit olmalıdır.
- Ürün grupları arasında farklı üretim kaynaklarının tahsisi yapılabilir.

Çoğu işletme, uzun dönem ve orta dönem planlamayı kapsayan bir işletme planı geliştirir. İşletme planı, örgütün strateji ve politikalarını, ürünler ve hizmetler için talep tahminlerini, rekabet durumlarını hesaba katarak rehberlik görevi yapar. İşletme planının amacı, işletmenin

pazarlama, üretim, finans gibi fonksiyonlarının orta dönem planları için koordinasyon sağlamasıdır. İmalat firmalarında koordinasyon aynı zamanda mühendislik ve malzeme yönetimini içerir. Sonuç olarak bu fonksiyonel alanların tümü, toplu planı formüle etmek üzere bir araya gelir.

Toplu üretim planlama, işletmede orta vadeli planlama aracıdır ve belirli kriterleri yerine getirmek durumundadır. Bu kriterleri beş ana başlık altında toplamak mümkündür:

- Talebi karşılamak,
- Kapasite sınırları içinde kalmak,
- İşletme politikalarına uygun olmak,
- Plan dönemi sonunda işletmeyi iyi bir pozisyonda tutmak,
- Maliyetleri minimize etmek(Kuruüzüm, 1992, s.51).

İşletme planında değerlendirme kriteri gelir ve gider iken, toplu planlarda üretim miktarıdır. Planlama prosesi, işletme planları oluşturularak başlatılırsa, toplu planların amacında üretim oranını işletme planlarının hedeflerine uygun şekilde belirlemek olacaktır. Bunu da envanter seviyesini arzu edilen seviyelerde tutarak gerçekleştirir. Bu plan, özellikle, üretime çeşitli nedenlerle ara verilmesi veya satışların mevsimlere göre dalgalanma gösterdiği ürün imalatlarında yararlıdır.

Toplu üretim planlama müşterilerin taleplerini karşılamak amacıyla, farklı açılardan tüm üretim faaliyetleri süreçlerini planlar ve kontrol eder. Diğer bir ifadeyle talepte değişim meydana geldiğinde kapasite ve potansiyelin en iyi kullanımınıdır. Toplu üretim planlamada yönetim, karışık dönem plan evresinde üretim hızına karar vermek zorundadır. Bir toplu üretim planlama çıktısı, üretim detaylarında yer alan üretim hızıdır. Toplu planda veriler aylık veya üçer aylıktır. Toplu plan için en önemli veri girdisi talep tahminidir. Çünkü amaç, uygun bir şekilde talepteki dalgalanmaları karşılamaktır (Moghaddam vd., 2006, s.2851). Toplu planın başarısı, talep tahmininin doğruluk derecesine bağlıdır. Toplam dönemin geçerli olduğu orta dönemde haftalık veya aylık değişimler, birbiriyle yakından ilişkilidir. Dolayısıyla, yönetimin faaliyetlerle ilgili olarak bir ay aldığı kararlar, gelecek aylardaki faaliyetlerinde şeklini belirler. Bundan dolayı yöneticilerin, şimdi verecekleri kararların, gelecekteki sonuçlarını düşünmeleri lazımdır (Doğruer, 2005, s.205).

Toplu planlama kararları, stratejik ve operasyonel kararların alındığı çatı içinde değerlendirilir. Bu durum üretim kontrol sistemi ve çizelgeleme için başlangıç noktasıdır. Sisteme girdi sağlayacak, finansal planlar, talep tahminleri ve işgücü düzeylerindeki değişimlere ihtiyaç duyar. Üretim fonksiyonunda ana programlar detaylı planlamaya rehberlik etmek üzere geliştirilir (Stevenson, 2002, s.604). Toplu planlama aşağıda belirtilen sebeplerden dolayı üretim planlama ve kontrol sistemi için gereklidir:

- Toplu planlama ile makine ve teçhizat tam olarak yüklenir, aşırı ve eksik yükleme asgariye indirilir. Böylece üretim maliyeti düşük tutulur.
- Toplu planlama, beklenen toplam planı karşılamak için uygun üretim kapasitesi oluşturur.
- Toplu plan, müşteri taleplerinde muhtemel yükselme ve alçalmaları karşılamak için, üretim kapasitesinin düzgün olarak çalışmasını sağlar.

Toplu plan, üretim kaynaklarının az olduğu durumlarda, mevcut kaynaklarla en fazla çıktı alma imkanını sağlar (Doğruer, 2005, s.205).

Kısa dönem üretim planları; ana üretim programları/çizelgeleri, mamullerin ve nihai parçaların üretimini kapsar. Bir aydan daha az zamanda yönetim, hazırladığı kısa dönemli planlar, ana üretim programlamaya eşittir. Toplu üretim planlama ile üretilen kararların gerçekleştirilmesi, bir alt düzeydeki ana üretim programı ve onun bileşenleri ile sağlanır. Ana üretim programı modüler yapıli üretim planlama sistemlerinde bütünleşikliği sağlamak açısından anahtar rol oynayarak bu modüller arası etkileşimi sağlayacak nitelikte olmalıdır. Üretim planlama kontrol sisteminin dönemsel düzeylerini içeren Tablo 2.1. konuyu özetleyecek niteliktedir.

Tablo 2.1. Üretim planlama kontrol sistemi dönemsel düzeyleri (Dervitsiotis, 1981, s.477).

Planlanan Girdiler	Karar Değişkenleri			Planlanan Çıktılar
	Kaynak tahsisi için uzun dönem kapasite: Ürünler Süreçler Pazarlar	Üretim alternatifleri Kullanım düzeyi: İşgücü büyüklüğü Üretim hızı Stok Alt sözleşmeler	İşgücü büyüklüğü Üretim hızı Sipariş takibi	
Temel teklif Genel amaçlar Genel tahminler Ekonomik Teknolojik Diğer Sermaye Rekabet	UZUN DÖNEM PLANLAMA 5-10 YIL			Kapasite artırma planları Yeni ürünler Yeni teknolojiler Yeni pazarlar Yeni fabrikalar
Uzun dönemli planlama Şu anki kapasite sınırları Periyot olarak yıllık talep tahmini Görülebilir üretim alternatifleri ve maliyetleri		ORTA DÖNEM PLANLAMA 1-24 AY		Toplu üretim planlama talebin üretken kaynaklardan nasıl karşılanacağını belirleme
Toplu üretim planlama Sipariş sağlama İstenen teslim zamanı			KISA DÖNEM PLANLAMA 1-30 GÜN	Üretim programları Sipariş karşılama Bölümler Vardiya Personel Ekipman
Planlama Amaçları	Özel örgütsel amaçları başarmak, uzun dönemde finansal kapasite ve gelişimi artırmak	Varolan kaynaklarla elde edilen kapasite kullanımını daha etkin hale getirme	Müşteri tatmini sağlamak için acil teslim zamanları Üretim faktörlerinin kullanımında maks. faydayı sağlamak	

Üretim planlama kontrol sistemi düzeylerindeki kararlar kapsamında karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılan modeller kavramsal olarak başlıca üç kategoride sınıflandırılmıştır (Saad, 1990, s.609): toplu planlama modelleri, fonksiyonel ara yüz modelleri ve hiyerarşik modeller.

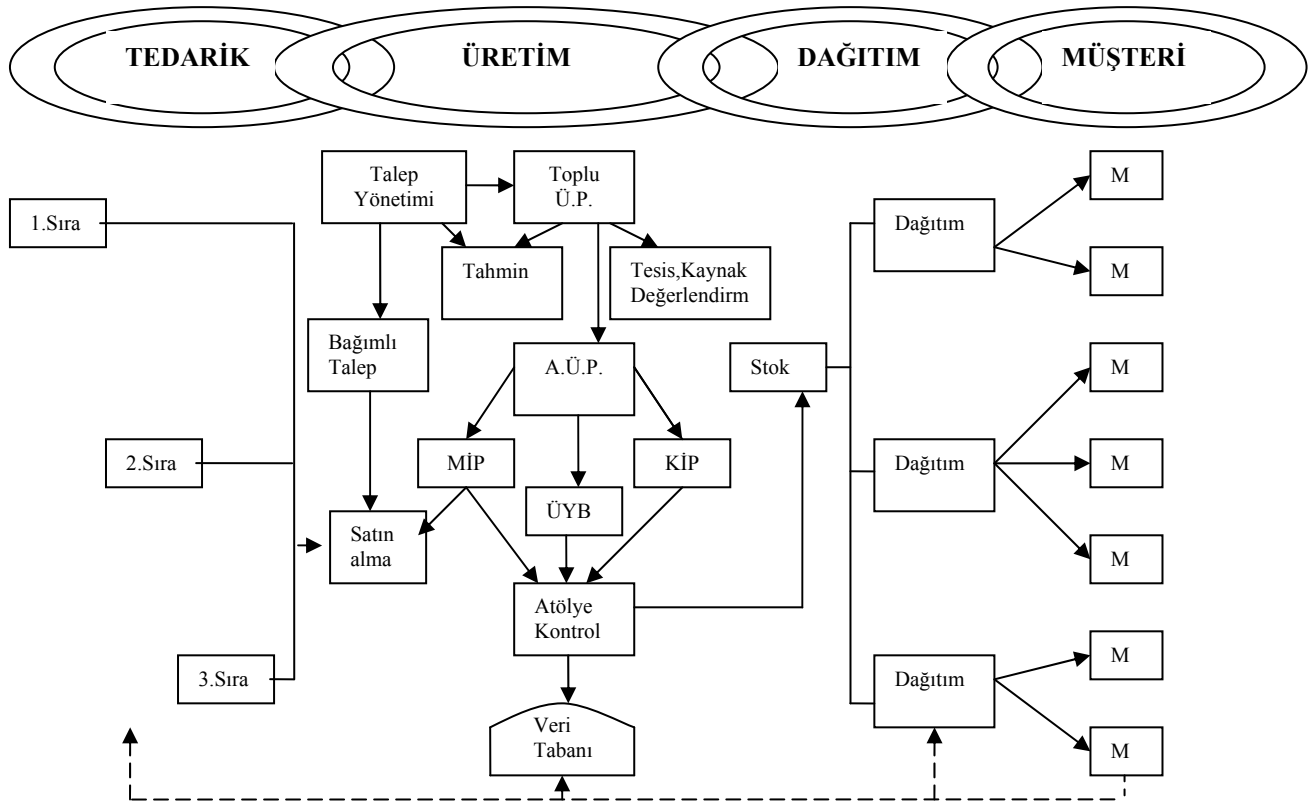
Toplu üretim planlama modelleri, gelecek planlama evreni tipik olarak bir yıl için toplu üretim kompozisyonunu belirleme üzerine odaklıdır. Çözüm yöntemleri kesin veya sezgiseldir. Fonksiyonel ara yüz modelleri, firmanın özellikle pazarlama ve finans gibi üretim ve diğer fonksiyonel politik alanlarında birbirine bağımlılığı tanımlar. Hiyerarşik üretim planlama modelleri ise sürecin hiyerarşik yapısı ile ilgilidir. Dar açılı olarak stratejik ve taktik düzeyleri arasındaki kararlara, geniş açılı olarak taktik ve operasyonel düzey arasındaki ara yüze odaklanır.

2.4. Tedarik Zinciri Yönetiminde Yeni Üretim Planlama ve Kontrol Sistemi Bağlantıları

Tedarik zinciri yönetimi, firma sınırları içinde fiziksel akışta, koordinasyonda ve üretim planlama kontrol sistemlerinde bir dönüşümü harekete geçirir. İş ve onu destekleyen üretim planlama ve kontrol sistemleri çoğunlukla firma düzeyi süreçlere daha az fonksiyonlarına ve hatta müşteri ve müşteri dilimlerine göre sınıflandırılabilir. Örgütsel bakış açısındaki bu değişimi destekleyecek üretim planlama ve kontrol sistemlerine ihtiyaç vardır. Şekil 2.6. da tanımlanan problemde her biri dışsal bütünleşmeye/optimizeasyona odaklanmış, klasik organizasyon yapısına sahip ERP tabanlı üretim planlama ve kontrol sistemi kullanan iki firma vardır. İki firma birlikte değerlendirilirse, uzun cevap verme süresine, yüksek zincir stoklarına ve ihtiyaçların giderilmesinde olası aksaklıklara yol açabilecek oldukça karmaşık ilişkiler kümesi görülür. Burada müşteri tatminini, üretim planlama ve kontrol sistemine giren ve ayrıntılı üretim faaliyetlerine yardımcı olacak malzeme ihtiyaç planlama kaydı oluşturur. Bu sistem tedarikçi firmanın satış fonksiyonu ile ilişkili olan satın alma faaliyeti ile tedarikçisine bağlıdır. Tedarikçi de firma müşterisine benzer ERP tabanlı üretim planlama ve kontrol sistemi kullanır.

Müşteri tarafında imalata dayanan bir sorun oluştuğunda yanıt verme süresi nedir? Firma içinde problem çözülünceye kadar geleneksel üretim planlama ve kontrol sistemi ile farklı fonksiyonlar arasında yukarı ve aşağı hareket ne kadar zaman alır? Bu soruların cevabı genellikle haftalarla ifade edilir. İhtiyaç Şekil 2.6. da altta okla ifade edilen, müşteri üretiminin tedarikçi ortağı ile internet üzerinden elektronik üretim planlama ve kontrol ile birleştirmektir. Sonuçta yanıt süresi saatler veya günlerle ifade edilecektir.

Şekil 2.6. daki sistemlerin eski elektronik veri değişimi (EDI) sistemlerinden farkı internet veya web tabanlı olmasıdır. Elektronik veri değişimi sistemleri mevcut akış süreçlerini otomatikleştirirler. Bu durumda, EDI sistemleri klasik aşağı yukarı akışları fonksiyonel hiyerarşi içinde daha hızlı işlerler. En iyi e-tabanlı sistemlerde mevcut müşteri durumu tedarikçi tarafından görülür ve bu sistemler duruma en iyi ortak cevabı bulmak için müşteri ve tedarikçi arasında iletişimi sağlar. Bu üretim planlama ve kontrol sistemleri, klasik ÜPK sistemlerinde olduğu gibi sınırlar ve akış engelleri ile karşılaşmazlar. Bunun yerine tedarikçi hareketi sırasında çözülebilecek problemleri görmesine olanak tanıyan yukarı ve aşağı bakış açısına sahiptir. Bunu müşteri ortağına ihtiyaç duymadan yapar.



Şekil 2.6. Tedarik zinciri yönetimi ve üretim planlama ve kontrol sistemi ilişkisi

İşletmeler arası iletişim ve iş görme, değer zincirindeki tüm ticari ortaklar arasındaki veri göçünün sağlanması ve işlerin birleştirilmesi için elektronik süreçleri ve teknolojinin kullanılması anlamında E tabanlı B2B sistemi, müşteri ve tedarikçi firmalar tarafından toplam stoğun azaltılmasına olanak sağlar. Klasik üretim planlama ve kontrol sistemi ile müşteri son ürünü, tedarikçi de aynı malı hammadde olarak taşır. Ayrıca tedarikçide ihtiyaçlar sipariş ve tahmine dayanır. E tabanlı sistemlerin müşteri planları ile ilgili ayrıntılı bilgi elde etmesi, planlara karşılık verme süresinde kısaltmalara ve tampon stoğun azalmasına yol açmıştır. E tabanlı üretim planlama kontrol sistemlerinde nihai müşteriyi doğrudan etkileyen sorunların çözümü için ortaklar arasında kesin/doğru bilgi paylaşımı vardır. E tabanlı sistem tedarikçiye ne kadar üreteceğini ve ne zaman teslim edeceğini belirlemede kolaylık sağlar. Müşterinin zaman içinde ne istediği zaman içinde sürekli olarak tedarikçiye akar, bu sayede bunları nasıl karşılayacağına tedarikçi karar verirken kapasite ve lojistik kullanımını optimize etmeye çalışır. Tek kısıt, tedarikçinin müşteriyi desteklemeyi kabul etmesi ve sorunlara ortak çözüm aramalarıdır. Müşteri tedarikçinin erken teslimini önemsemez, çünkü tedarikçiye müşterinin satıcı yönetimli stok (VMI) ile gelen parçaların son ürüne dönüştürülmesiyle ödeme yapılır. VMI, tedarikçilerin müşterilerden gelen talep bilgisi doğrultusunda müşteriler için sipariş yaratmalarına dayanır. Bu süreçte tedarikçiler, karşılıklı olarak kararlaştırılan stok seviyesi hedeflerini, karşılama oranlarını ve maliyetlerini dikkate alır.

Şekil 2. 6. tedarik zinciri yönetimi için başka bir önemli kavramı daha açıklamaktadır. Tedarikçiyle başlayıp ileri doğru giden sistemler yerine nihai müşteri ihtiyaçları ile başlayıp geriye doğru giderek karşılama temeliyle tasarlanan üretim planlama ve kontrol sistemlerinden en yüksek fayda sağlanır. Burada tedarik zinciri yerine talep zinciri ifadesi daha uygundur. Zincirdeki tüm oyuncular tarafından nihai müşteri istekleri kusursuz olarak anlaşılmalı ve her bir oyuncunun amacı nihai müşteriye verilen değerini maksimizasyonu olmalıdır. Bir bütün olarak zincir değerini geliştirmek için organizasyonlar arası üretim kontrol sistemleri ve ortak firma ÜPK sistemleri sürekli değişim mühendisliği ile koordineli olmak durumundadır. Tedarik zinciri optimizasyonunda zincirdeki bir halkadaki gelişim ilave bir çaba gerektirirken bu durum diğerlerinde fayda artışına yol açar. Eğer fayda artışı gelişim çabaları ile aynı yerde oluşuyorsa çoğu firma bunun avantajlarını kullanacak kadar zekidir. Bir zincir kazancı, sınırsız düşünme, fırsatların açıkça tartışılması, zincir performansının ölçülmesi, ortak çabayı ve paylaşımı gerektirir. Ortaklık karşılıklı güven ister ve firmalar arası ÜPK sistemlerinin kurulabilmesi için önemli miktarda para enerji ve zamana ihtiyaç vardır (Vollmann, 2007, s.478).

3. TEDARİK ZİNCİRİNDE TOPLU ÜRETİM PLANLAMA

Tedarik zinciri yönetiminde üretim planlama ve kontrol sistemlerinin odaklandığı temel konulardan biri toplu üretim planlamadır. Bu bölümde öncelikle, toplu üretim planlama kavramı, tedarik zincirinde toplu üretim planlamanın önemi, toplu üretim planlama stratejileri ve aşamaları incelenmiştir. Daha sonra toplu üretim planlama problemi ve maliyetleri ile toplu üretim planlama yöntemlerine yer verilmiştir; tedarik zincirinde toplu üretim planlama uygulamalarının nasıl gerçekleştiği anlatılmıştır.

3.1. Toplu Üretim Planlama Kavramı

İmalat, taşıma, depolama ve bilgi kapasitesinin sınırsız ve özgür olduğu bir dünyada, ürünlerin anında üretilerek teslim edilmesine (sıfır teslim zamanı) izin veren bir yapıda, talebin öngörüsü için plan yapmaya ihtiyaç duyulmaz. Çünkü her zaman bir müşteri bir ürün talep eder ve anında karşılanır. Böyle bir dünyada toplu planlamanın rolü yoktur. Gerçekte ise kapasite bir maliyete sahiptir ve teslim zamanları genellikle uzundur. Ayrıca işletmeler, kapasite düzeyleri, üretim düzeyleri, dış kaynak kullanımı ve promosyon gibi konularda karar vermek durumundadır. Kararların alınmasında toplu üretim planlamanın katkısı büyüktür (Chopra ve Meindl, 2007, s.220).

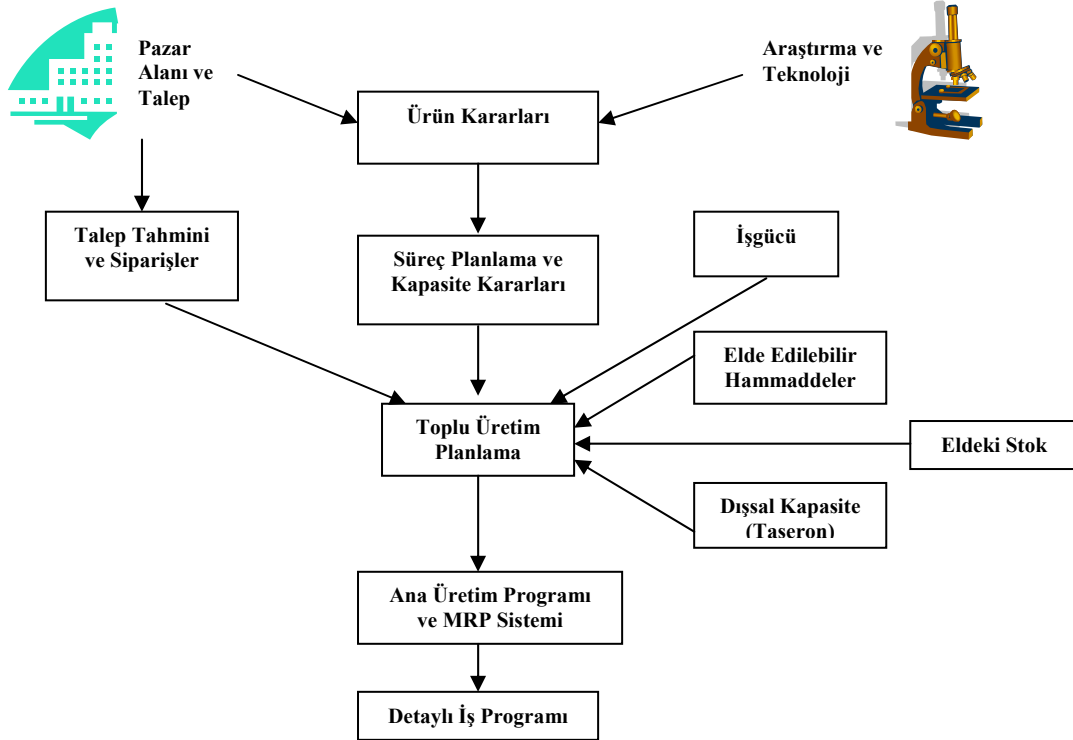
Toplam kelimesi, hizmetlere tahsis edilen sınırlı kaynakları paylaşan tüm ürünlerin toplam talebini karşılamak için bütün düzeyde yürütülen planlama anlamına gelir (Bedworth ve Bailey, 1982, s.121).

Toplu üretim planlama için 4 maddeye ihtiyaç vardır:

- Satışlar ve çıktının ölçümü için bütünü kapsayan mantıksal bir birim,
- Bu toplam dönemde orta dönem periyodu için talebin tahmini,
- Maliyetleri tanımlamak için bir yöntem,
- Programlama kararlarının planlama periyodu için yapılabilmesi amacıyla tahminleri ve maliyetleri birleştiren bir model (Heizer ve Render, 2004, s.490).

Toplu üretim planlama metodolojisi, önceden tanımlanan planlama ekseninde, firma için personel ve üretim düzeylerini planlamak üzere detaylı bir proje kapsamında talep tahminlerine dönüştürmeye dizayn edilmiştir. Toplu üretim planlama metotları tek üründen

ziyade ürün gruplarını yöneten bir kavram olmasına rağmen hemen her düzeyde uygulanabilir(Şekil 3.1.) (Nahmias, 2005, s.110).



Şekil 3.1. Toplu üretim planı ilişkileri (Heizer ve Render, 2004, s.492).

Toplu üretim planlama amacıyla, ürün grup ve ailelerinin bir araya getirilmesi sağlanır. Bu gruplama 3 şekilde yapılır: ürün kategorileri ile gruplama, operasyonların süreçleri ile gruplama, işgücü gereksinimleri ile gruplama (Vonderembse ve White, 1991, s.400). Kısa dönem değişimleri minimize etmek için temel yaklaşım toplam birimlerle çalışmaktır. Bir toplu üretim plan geliştirmek için ilk olarak çıktının anlamlı bir ölçümü tanımlanır (Adam ve Ebert, 1989, s.341). Toplam işgücü sayısı, makine-saat, hammadde miktarı ve çıktıların toplamı gibi toplam kaynaklar kullanılır. Kaynaklar ve çıktılar daha özel kategorilere ayrılamaz. Bu durumda çıktılardaki değişimler fazla ise birimler toplamını tanımlamak zordur (Meredith, 1992, s.372). Toplu üretim planlama, üretim hızı ve zamanın birim yüzdesi ile belirlenen birimlerin sayısına ihtiyaç duyar. İşgücü düzeyi, üretim için ihtiyaç duyulan çalışanların sayısıdır. Eldeki stok, önceki periyottan aktarılan kullanılmamış stoktur (Chase vd., 2004, s.514).

Toplu üretim planı yapmak için belirli bir yöntem yoktur. Bunun önemli bir sebebi, farklı işletmelerin, farklı hedefleri olmasıdır. Bu planlama hedefleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Müşteri hizmetinde belirlenen bir seviyenin tutturulması,
- Stok yatırımında belirlenen bir üst limiti aşmamak,
- Belirlenen bir istihdam seviyesini korumak,
- İşgücü maliyetlerini minimize etmek,
- Stok maliyetlerini minimize etmek,
- Makine teçhizat kullanımını maksimize etmek,

Görüldüğü gibi bu hedefler, birbiriyle çelişmektedir ve özel bir hedefin seçilmesi, toplu plan için kritik bir önem arz eder (Doğruer, 2005, s.215).

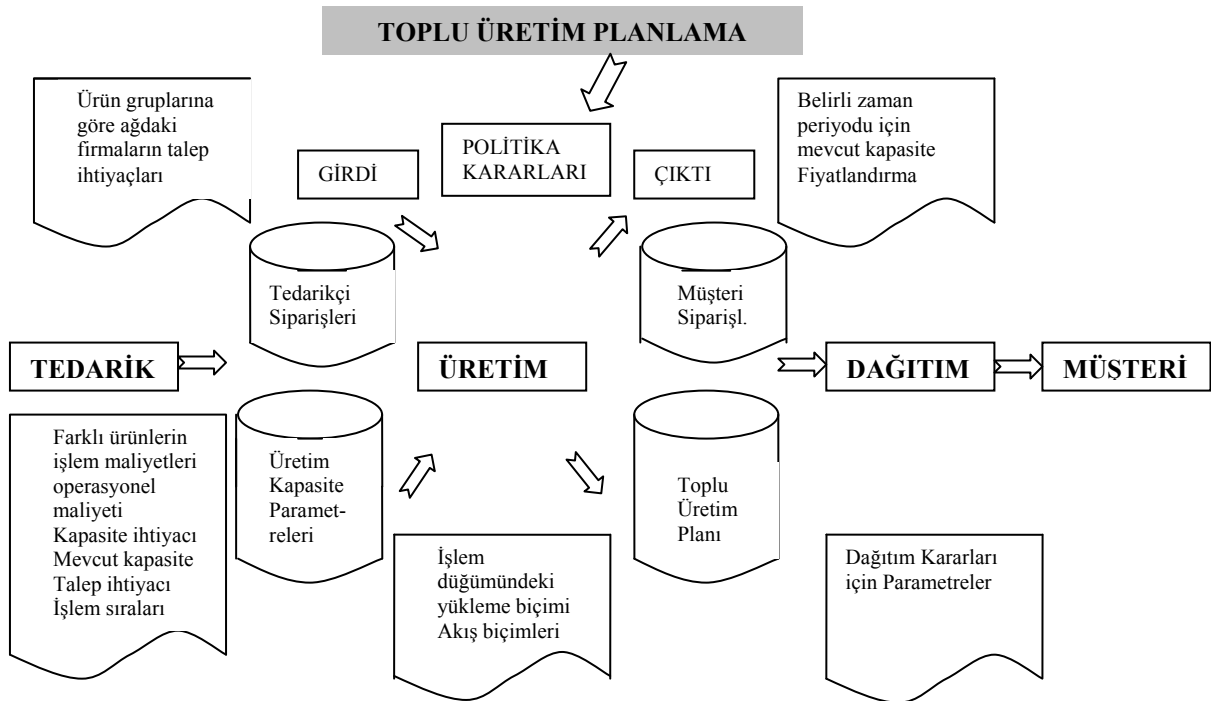
3.2. Tedarik Zincirinde Toplu Üretim Planlamasının Önemi

Toplu planlama, belirli bir zaman eksenini üzerinde, stok, alt sözleşme, ideal düzeyde üretim kapasitesi ve fiyatlandırmayı da tanımlayan bir işletmenin süreçleri arasında önemli bir yere sahiptir. Toplu planlama çoğu zaman işletme içi kararlara odaklıdır ve daimi olarak tedarik zinciri yönetiminin bir parçası olarak görülmeyebilir. Toplu planlama, tedarik zinciri ve işletmenin diğer fonksiyonları ile bağlanarak, üretim yönetiminin merkezi rolünün de önüne çıkmaktadır (Singhal ve Singhal, 2006, s.10). Toplu planlama etkin olmak üzere, tedarik zinciri boyunca girdilere ihtiyaç duyar ve tedarik zinciri performansı üzerinde büyük etkisi vardır. Talep tahminleri geriye akan tedarik zinciri ortakları ile işbirliğine ihtiyaç duyar. Toplu planlamada bir çok kısıt işletme dışı tedarik zinciri ortaklarından gelir. Bu kısıtlar, anahtar girdileri oluşturur. Tedarik zincirinde geriye ve ileriye doğru bu girdiler olmaksızın toplu planlama, değer yaratmak üzere tam potansiyelini kullanamaz. Toplu planlamadan elde edilen çıktı, ileri ve geriye akan ortaklar için bir değer ifadesidir. Bir firma için üretim planları, tedarikçiler için talebi ve müşteriler için tedarik kısıtları oluşturmak üzere tanımlar.

Toplu üretim planı, kısa dönem üretim ve dağıtım kararları için parametreler oluşturur ve program için detaylı bir proje sunar. Tedarik zinciri bütünüyle planlama süreci ile koordine edilmelidir. Bir imalatçı, verilen dönem üzerinde üretimde bir artış planlarsa, tedarikçi, taşıyıcı ve depocu bu plandan haberdar olmalı ve artışı kendi planları ile birleştirmelidir. İdeal olarak, tedarik zincirinin tüm aşamaları tedarik zinciri performansını optimize etmek üzere toplu üretim planı üzerinde birlikte çalışmalıdır. Eğer toplu üretim planı her bir aşamada bağımsız gelişirse tüm planlara kuşku ile bakılacaktır. Bu koordinasyon eksikliği fazlalık veya azlık ile sonuçlanır. Bu yüzden, tedarik zincirinin geniş kapsamı içinde, toplu üretim planlarını koordineli gerçekleştirmek önemlidir (Chopra ve Meindl,2007, s.220). Maliyetler,

teçhizat kullanımı, işgücü düzeyleri ve müşteri tatmininin etkilediği toplu üretim planlama, tedarik zinciri boyunca birlikte hareket etmeyi sağlar (Stevenson, 2002, s.605).

Tedarik zinciri sürecinin ilk aşamasında, tedarikçi üretim kapasitesini değerlendirecek bir toplu üretim planı hazırlamak zorundadır. Bu işe, atanacak takımın seçimini, üretim sisteminde parçaların iş programını, gerekli işgücü ve kapasitenin tahmini ve net olarak tüm operasyonların maliyetlerinin tahminini içerir. Olivier vd. (1994) tarafından geliştirilen model bu bilgilerin çoğunu bütünleştirir. Örneğin, bireysel takımlar veya iş birimleri ağdaki düğümler olarak ele alınırsa, modeli kullanarak bütün bileşkedeki işin ihtiyaçlarını karşılayacak doğru iş setlerini belirlemek mümkün olabilir. Dolayısıyla tedarikçi öncelikle, toplu üretim planlama modelini uygulayarak verebileceği kapasiteyi değerlendirir. Daha sonra ürünlerin zaman ve talep dönemlerinin yer aldığı genel bir doğrusal programlama modeli çözümler (Nahmias, 2001, s.111). Bu sürecin küresel yaklaşımı çok ürünlü, çok aşamalı bir doğrusal optimizasyon modeli olmasında yatar. Amaç, ürüne olan toplam talebi karşılarken, kapasite kısıtı altında çok ürünlü üretim maliyetlerini ve toplam iş istasyonları arasındaki taşıma maliyetlerini minimize etmektir.



Şekil 3.2. Tedarik zincirinde toplu üretim planlama sürecinin veri akışı

Şekilde toplu üretim planlama modelinin tedarik zincirinde veri akışı görülmektedir. Gereken girdi parametreleri tedarikçinin üretim ve kapasite parametreleri ve potansiyel üretim birimleri düğümleridir. Tedarikçinin üretim ve kapasite parametreleri ve müşteriden gelen talep bilgilerini, operasyon maliyetlerini, kapasite ihtiyaçlarını kullanabilirliği ve işlem

listelerini içerir. Bütünleşik modellerle oluşturulan bilgiler geçici bakış açılarını ve operasyon sıralarını dikkate almayan toplu üretim planını oluşturur. Toplu üretim planı iş akış biçimlerini, üretim birimleri düğümleri arasındaki iş yükü dağılımını ve bu düğümlerin planlanmış faydalarını içerir. İş yükü kalıbı, verilen zaman aralığında her bir üretim birimi tarafından tamamlanması gereken görevlerden oluşur. Toplu üretim planlamada, yalnızca bir tane zaman aralığı vardır. Bu aralık, her bir üretim birimlerinde işlenecek özel ürünler grubunu içerir. İş akış biçimi üretim birimleri arasındaki planlı malzeme gidiş gelişlerini belirler (Hurtubise vd., 2004, s.768).

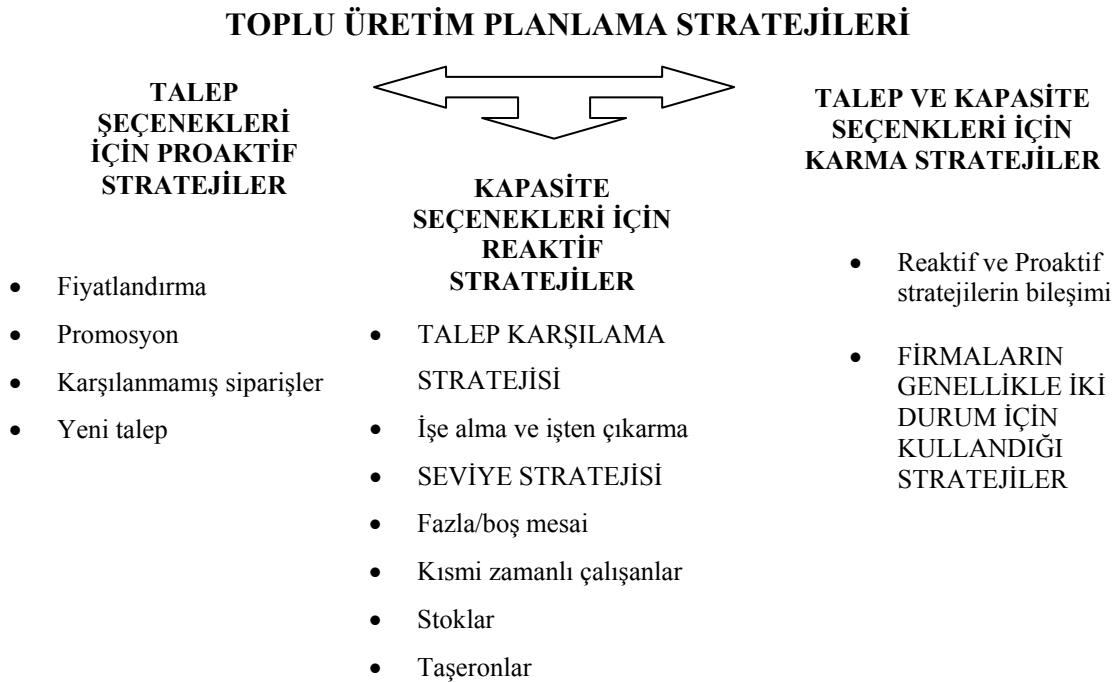
3.3. Toplu Üretim Planlama Stratejileri

Toplu üretim plan hazırlayan yöneticiler, beklenen talebin miktar ve zamanlaması ile ilgilenirler. Planlama periyodu için toplam beklenen talep, bazı periyotlar üzerinde elde edilebilir kapasiteden oldukça farklı ise, planlamacının temel yaklaşımı değişen kapasite, talep veya her ikisinde dengeyi sağlama denemeleri olacaktır. Diğer yandan, kapasite ve talep bir bütün olarak planlama eksenine yaklaşık olarak eşit ise, planlama yapanlar planlama aralığı içinde düzensiz taleple ilgili problemlerle karşı karşıya kalabilirler. Bazı periyotlarda beklenen talep, tahmini kapasiteyi aşabilir, diğer bir durumda beklenen talep tahmini kapasiteden düşük veya eşit olabilir. Toplu üretim planlamacıların görevi, tüm planlama ekseninde talep ve kapasitenin yaklaşık olarak eşitliğini sağlamaktır (Stevenson, 2002, s. 607).

Toplu plan hazırlanırken üretim yöneticileri çeşitli sorulara cevap vermelidir;
 Stoklar, planlama periyodu boyunca talepteki değişimleri karşılayabiliyor mu?
 İşgücü büyüklüğündeki değişimler tavsiye edilen değişimler midir?
 Fazla mesai ve boş zaman dalgalanmaları yerine, kısmi zamanlar kullanılabilir mi?
 Fiyatlar veya diğer faktörler talebi etkilemek üzere değiştirilebilir mi?

Bu soruların tümü yasal planlama stratejileridir ve stoklar, üretim hızı, işgücü düzeyleri, kapasite ve diğer kontrol edilebilir değişkenlerin çalıştırılmasını kapsar. Planlar stratejik, taktik ve operasyonel boyutlarda yapılır. Geleneksel olarak toplu üretim planlama açıkça karmaşık strateji seçenekleri üzerine odaklıdır. Sonuç olarak bu durum yalnızca taktiklerle ilgilidir. Uygun stratejilerin sayısı literatürden ve çalışmalardan çıkarılabilir (Buxey, 2003, s.334). Detaylı olarak, toplu planlama stratejileri, talep seçeneklerine göre proaktif stratejiler,

kapasite seçeneklerine göre reaktif stratejiler ve talep ve kapasite seçeneklerini birlikte içeren karma stratejiler olmak üzere üçe ayrılır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Toplu üretim planlama stratejileri karşılaştırma tablosu

Toplu üretim planlamacılar, kapasite, stok ve karşılanmayan sipariş maliyetleri arasında denge kurmak zorundadır. Bir toplu üretim planında ikisinin maliyetleri azalırken diğerinin maliyetleri artmaktadır. Bu anlamda, maliyetler düşük stok maliyetleri için bir denge sunar. Bir planlamacı, kapasite veya karşılanmamış sipariş maliyetleri için stok maliyetlerini dengeler. Bu maliyetler kar maksimizasyonu için kullanılır. Şayet kapasite değişim maliyeti düşük ise stok oluşturmaya veya karşılanmayan siparişleri karşılamaya ihtiyaç duymaz. Eğer kapasite değişim maliyeti yüksek ise, stok oluşturmaya veya karşılanmayan siparişleri karşılamaya ihtiyaç vardır. Genellikle bir şirket, talebi en iyi şekilde karşılamak için üç maliyetin kombinasyonunu kullanma girişimindedir (Chopra ve Meindl, 2007, s.221). Tüm satış tahminleri, stok düzeyleri, işgücü girdileri ve üretim hızları uygun toplu bir format üzerinde belirtilir. Amaç, çok fazla sayıdaki hesapları kolaylaştırmaktır (Buxey, 2003, s.331).

3.3.1. Talep Seçenekleri için Proaktif Stratejiler

Toplu üretim planlama yaklaşımı talep karşılama yollarına odaklı, işgücü ve stok düzeylerindeki değişimleri veren talep tahminlerini konu alır. Yönetim, toplu üretim planlama amacı için kullanacağı geniş oranda karar seçeneğine sahiptir. Bunlar, değişen fiyatlar, promosyon, karşılanmayan siparişler, fazla mesai kullanımı, kısmi zamanlı çalışanlar, taşeronlar, vardiya ekleme veya çıkarma ve stokları içerir. Talep seçenekleri ise fiyatlandırma, promosyon, karşılanmamış siparişler ve yeni taleptir.

Fiyatlandırma: fiyatlandırma farklılığı genellikle, uç periyotlardan düşük periyotlara talepteki değişim için kullanılır. Örneğin, bazı oteller, hafta sonu kalışları, bazı havayolları gece uçuşları, sinema salonları matinelere ve bazı restoranlar öğle yemeği talebi için fiyatları düşürmeyi tercih ederler. Talep, kapasite ile yakın ilişkili karşılandığı oranda etkindir. Fırsat maliyetleri olsa da, belirli periyotlar boyunca talebi karşılamak için yetersiz kapasite satış kaybını anlatır. Ürün ve hizmet için düşünülen en önemli faktör fiyat esnekliği derecesidir. Daha etkin fiyatlandırma talep şeklini etkileyecektir.

Promosyon: Reklam ve doğrudan pazarlama gibi promosyonun diğer şekilleri, kapasiteyle çok yakın uyumda olan değişken talebi daha çok etkileyebilir. Açık olarak, arzu edilen sonuçları başarmak için çabaların zamanlanması, tepki oranını anlama ve tepki şekline ihtiyaç duyacaktır. Fiyatlandırma politikasının tersine talebin zamanlanması üzerinde çok daha az kontrol olması, gelişme amacına sahip promosyon için bir risk oluşturur.

Karşılanmamış Siparişler: Siparişler bir periyot için alınır ve vaad edilen sonraki periyotta teslim edilir. Bu yaklaşımın başarısı, talep ederek bekleyen müşteriye nasıl teslim edileceğine bağlıdır. Karşılanmamış siparişlerle ilgili maliyetleri, satış kaybı, müşteri tatminsizliği gibi durumlardan dolayı aşağı çekmek zor olacaktır.

Yeni Talep: Birçok işletme, talebin düzensiz olduğu durumlarda, zirve talep için ürün veya hizmet sağlama problemi ile karşı karşıyadır. Örneğin otobüsün taşıma talebi sabah ve akşam saatlerinde diğer zamanlara göre daha yoğundur. Diğer zamanlar için talep yaratmak üzere kapasite kullanılır. Benzer olarak hazır gıda restoranlarında kapasitenin tamamını kullanmak üzere kahvaltı hizmeti verilir. Belirli ürünler için mevsimsel talep deneyimleri olan firmalar tamamlayıcı bir ürün talebini, işgücü, teçhizat ve olanaklarını kullanarak geliştirebilirler (Stevenson, 2002, s.608).

3.3.2. Kapasite Seçenekleri için Reaktif Stratejiler

Müşteri talebindeki değişimde, tepkiden ziyade, çoğu şirketler kapasite için reaktif stratejileri kullanırlar. Bu stratejiler, elde edilebilir kapasite çizgisi üzerinde ortaya çıkan ve düzgünleşen talebi desteklemektedir. Bu stratejiler iki başlık altında toplanmaktadır. 1. Talep karşılama stratejisi, 2. Seviye kapasite stratejisi.

Talep Karşılama Stratejisi : Talep karşılama, toplam planlamada her zaman dilimindeki üretim kapasitesi, aynı zaman dilimindeki tahmini toplam talebi karşılayacak şekilde değiştirilir. Bu şekildeki bir yaklaşımla, her zaman dilimindeki işgücü; yeni işçiler istihdam etmek, mevcut işçileri işten çıkarmak veya işten çıkarılan işçileri tekrar işe almak suretiyle değiştirilir. Bu planın en önemli avantajı mamul stokuna hiç ihtiyaç olmamasıdır. Böylece, stok bulundurma maliyetleri veya toplam maliyetlerin büyük bir kısmından tasarruf edilmiş olur. Ancak, işgücünün ve malzeme temininin sık değişmesinin sebep olduğu kesikliklerden dolayı, işgücü ve malzeme maliyetleri yüksektir (Doğruer, 2005, s.221).

İşe alınan ve işten çıkarılan işçiler: Geniş anlamda, üretim işgücü yoğundur ve işgücü düzeyindeki değişim kapasiteye bağlı olarak tanımlanır. İşgücü kaynaklarını, mevcut işçiler, yeni alınan işçiler, işten çıkarılmış ancak tekrar işe alınmasına karar verilen işçiler oluşturur. Sendikalarla yapılmış olan toplu iş sözleşmeleri, yeni işçilerin işe alınması ve mevcut işçilerin işten çıkarılmasında yönetimin esnekliğini azaltabilir. Diğer bir düşünce, işgücünün yetenek düzeyidir. Vasıflı çalışanları bulmak zordur ve büyük maliyet gerektirebilir. Bu seçeneğin kullanışsızlığı, yüksek vasıflı işçi ihtiyacı ile sınırlıdır.

İşe alma ve işten çıkarma belirli maliyetleri kapsar. İşe alma maliyetleri; personel alma, ön görüşme, sorulara yanıt veren yeni işçiler almak için staj gibi ve kalite sayılabilir. Bazı işçiler işten çıkarılıp tekrar alınabilir. İşten çıkarma maliyetleri; kesilen ödeme, kalan işçileri işten çıkarma maliyeti, işten çıkarılan bazı işçilerin firmaya karşı kötü hisleri, şirket güvencesine rağmen bazı işçiler işten çıkarılacaklarını düşünerek moral bozukluğu yaşayabilir. İşletmeler artan oranda, değişken maliyetlerden ziyade işgücünü varlık olarak görür. Bu durumda işletme boş zamanları kullanma yolunu seçer.

Seviye Kapasite Stratejisi; plan döneminde üretim kapasitesi sabit tutulur. Sabit üretim miktarıyla değişen talep miktarı arasındaki fark; stok, karşılanmayan talep, fazla mesai veya

taşeronluk ile kapatılır. Bu tip bir plan, her ay üretim miktarını değiştirme maliyetinin çok yüksek olduğu durumlarda uygulanır (Doğruer, 2005, s.221).

Fazla/boş mesai: Fazla veya boş zamanın kullanımı, kapasite değişimi için işe alma ve çıkarmadan belirli ihtiyaçlara göre kullanılan biraz daha kolay ve hızlı uygulanabilen bir metottur. Fazla mesai kullanımı mevsimsel talep durumunda cazip olabilir. Fazla mesai aynı zamanda, kazançları artırırken, işgücünün pozisyonunu koruma imkanı verir. Dışarıdan işgücü sağlamak yerine mevcut ekip ile çalışılır. Bazı sözleşmelerde çalışanlar fazla mesaiyi kabul etmez. Bu durumda fazla mesaide çalışmak için tüm ekibi bir araya getirmek zor olabilir. Çalışanlar için fazla mesai ilave gelir yaratabilir. Boş zaman makinelerin ve diğer sabit varlıkların etkin kullanımı ile sonuçlanırken, fazla mesai düşük verimlilik, düşük kalite, daha çok kaza ve geri ödeme maliyetlerinde artışa neden olabilir.

Talep kapasiteden daha düşük olduğunda boş zaman kullanımı ortaya çıkar. Bazı işletmeler bu zamanı eğitim için kullanarak çalışanlara problem çözme ve süreç geliştirme konusunda fırsat verir.

Kısmi zamanlı çalışanlar: Kısmi zamanlı çalışanlar işin doğasına bağlıdır. Mevsimsel işler, düşük vasıflı işçilere gereksinim duyar. Genellikle maliyetler düzenli işçilere göre daha düşüktür. Depolama bölümleri, restoranlar ve süper marketler kısmi zamanlı işçi çalıştırır. Parklar, eğlence merkezleri, seyahat acenteleri, oteller ve diğer hizmet işletmeleri mevsimsel talep kullanır. Başarı sağlamak için bu işletmeler kısmi zamanlı işçilere gereksinim duyar. Bazı şirketler çalışanlarla temel ihtiyaçlarını karşılamak üzere bağımsız sözleşme adı altında anlaşmalar yapar. Kısmi zamanlı çalışanlar, düzenli çalışanların yanında çalışarak onlardan farklı ödeme ölçeklerine sahiptir ve düzenli çalışanlara kolayca eklenebilir veya çıkarılabilir.

Stoklar: Bitmiş ürün stoklarının kullanılması, her ne kadar bunların ihtiyaç duyuluncaya kadar stokta bekletilmesinin, elde tutma veya taşıma maliyeti olsa da, firma bunlar sayesinde bir dönem ürün üretirken diğer dönemde ürünlerini satabilir. Maliyet, sadece başka bir yerde harcanabilecekken stoğa bağlanan para depolama maliyetini içermez, ayrıca sigorta, yıpranma, engel olma, israf, kırılma gibi maliyetleri de içerir. Gerçekte stoklar üretim kapasitesinin talebi aştığı dönemlerde yapılırken, talebin kapasiteyi aştığı dönemlerde de stoklar azaltılır. Bu metot imal edilen ürünün fiziksel depolanmasının mümkün olduğu imalat sektöründe, hizmet sektörüne göre daha yaygındır. Fakat hizmet sektöründe kullanılan analog bir yaklaşımla hizmetleri standartlaştırabiliriz veya hizmetlerin bir kısmını boş dönemlere

kaydırabiliriz. Bu olasılıklar dışında hizmetler stok açısından kapasiteyi aşmazlar. Stokla seviye kapasitesinin en önemli avantajları; düşük üretim maliyetleri, yüksek ve tatmin edici mamul kalitesi ve uygun üretim miktarlarıdır (Stevenson, 2002, s.609).

Taşeronlar: Geleneksel olarak taşeron doğrusal üretim planlama çatısı altında iyileşme ve dış tedarikçiler tarafından üretilen ürünler için sabit bir değer ödeme fırsatı olarak tanımlanır. (Morton vd.,1990, s.1352). Taşeron hizmeti planlamacılara çıktı üzerinde daha az kontrol, maliyet ve kalite sorunlarına yol açmasına rağmen geçici kapasiteye sahip olmalarına imkân sağlar. Soru, al veya üret(imalat endüstrisinde) hizmeti gerçekleştir veya o işi yapacak birisini kirala şeklindedir ve çoğunlukla, kapasite imkânlarına, uzmanlığa, kalite ihtiyaçlarına, maliyete talebin miktarına ve istikrarına bağlıdır. Bazı durumlarda, firmalar esneklik sağlamak ve taşeron hizmeti elde tutmayı garantilemek için işin bir kısmını kendileri yapıp geri kalanını başkalarına verebilirler. Bu aynı zamanda taraflarla görüşme olanağı sağlar. Taşeron hizmete alternatif olarak, dış kaynak kullanımı, düzenli aralıklarla ihtiyaç duyulan hizmet ve parçaların temini için başka organizasyonlarla anlaşma düşünülebilir (Stevenson, 2002, s.608). Özellikle taşeron, stok elde bulundurma, fiyatlandırma ve promosyon gibi diğer üretim düzeyi stratejileri için ikame olarak kullanılabilir (Morton vd.,1990, s.1352).

Fazla mesai veya taşeronlukla seviye kapasitesi, bir üretim kapasitesini elde etmek için kullanılan işgücünün normal çalışma süresi ile ilgilidir. Normal çalışma süresinin temin ettiği üretim kapasitesi, minimum tahmini talep miktarına eşittir. Fazla mesai veya taşeronluk, herhangi bir talebin arzını minimum üzerine çıkarmaktır. Bu yaklaşım, hem stoka çalışan, hem de sipariş üretim yapan işletmelerde uygulanabilir. Bu yaklaşımın iki avantajı vardır; i) hiç mamul stoku yoktur ve ii) yeni işçi alınması, mevcut işçilerin işten çıkarılması ve işten çıkarılan işçilerin tekrar işten alınması durumları yoktur. Böylece, düşük stok maliyeti ve durgun bir işgücü seviyesi elde edilebilecektir. Yaklaşımın dezavantajları ise; talebin çok yüksek olduğu durumlarda, fazla mesainin talebi karşılayamaması ve sürekli olarak uygulanan fazla mesainin, işçiler ve mallar/hizmetler üzerinde çeşitli olumsuz etkiler yapmasıdır. (Doğruer, 2005, s.221).

3.3.3. Karma Stratejiler

Kapasite ve talep seçeneklerinin her biri etkin toplu program oluşturmasına rağmen, bazen kapasite ve talep seçeneklerinin oluşturduğu birleşim daha iyi olabilir. Çoğu imalatçı, talep seçenekleri için pazarlama departmanından gelecek talep tahminlerini kullanır. Üretim

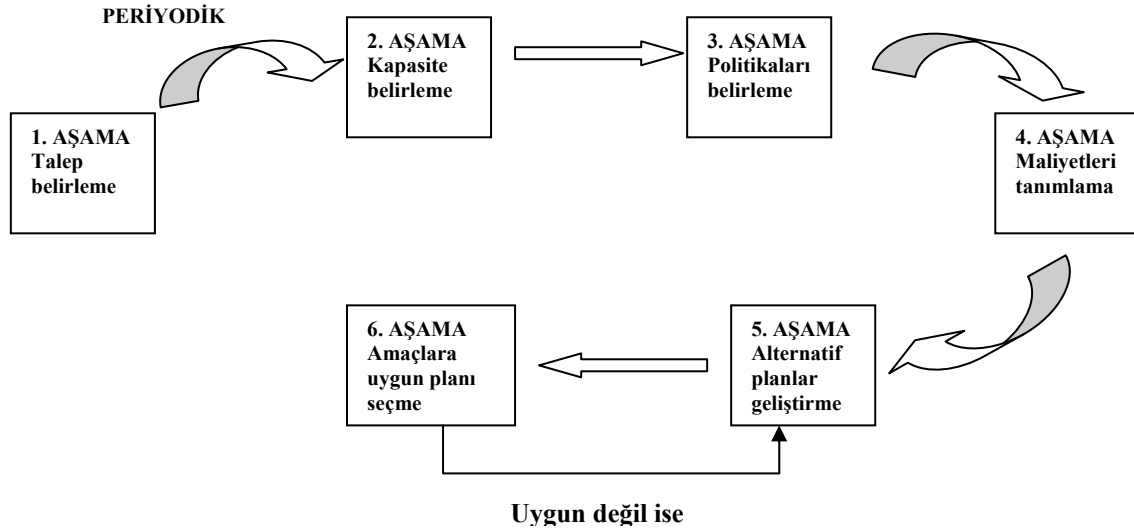
yöneticileri tahmin temeline dayalı olarak toplu planı oluşturur (Heizer ve Render, 2004,s.495). Uygulamada üretim kapasitesiyle ilgili olarak normal işgücü, fazla mesai, stok ve taşeronluk gibi kaynaklarla müşteri talebini karşılamak için en fazla talep karşılama stratejisi ve seviye kapasite stratejisi(stok, karşılanmamış müşteri siparişleri, fazla mesai veya taşeronluk ile) kullanılır. Tablo 3.1. de özet olarak bazı toplu üretim planlama seçeneklerinin avantaj ve dezavantajları sunulmuştur.

Tablo 3.1. Toplu üretim planlama seçenekleri avantaj ve dezavantajları (Heizer ve Render, 2004, s.495)

SEÇENEK	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR	AÇIKLAMALAR
Stok düzeylerinde değişim	İnsan kaynaklarında değişimler dereceli veya değil, üretim değişimi ani değil	Stok elde bulundurma maliyetleri artabilir.yokluk satış kaybı ile sonuçlanabilir.	Temelde, hizmetler operasyonlar hariç imalat için uygulanır.
İşe alma ve işten çıkarma ile işgücü büyüklüğünde değişim	Diğer alternatif maliyetlerden kaçınılabilir	İşe alma, işten çıkarma ve eğitim maliyetleri daha önemli hale gelebilir.	İşgücünün fazla olduğu yerde kullanılır.
Fazla mesai veya boş zamanlar ile üretim hızında değişim	İşe alma/eğitim maliyetleri olmaksızın mevsimsel dalgalanmalar	Fazla mesai primleri, yorulan işçiler, talebi karşılamayabilir.	Toplu plan içinde esnekliğe izin verir.
Taşeron	Firma çıktılarını düzgülneştirmeye ve esnekliğe izin verir	Kalite kontrol kayıpları, azalan karlar, gelecek işlerde kayıplar.	Başlıca imalat içinde uygulanır.
Kısmi zamanlı işçi kullanımı	Tam zamanlı çalışanlardan daha az maliyetli ve esnek	Yüksek devir/eğitim maliyetleri, kalite kayıpları, programlama hataları	Büyük geçici işgücü havuzları ile yetenek gerektirmeyen işler
Dalgalanan talep	Kapasiteyi aşmayı dener, indirimler yeni müşteriler sağlar	Talepte belirsizlik, tam olarak talep ile tedarigi eşleştirmek zordur.	Kapasiteyi aşan durumlarda pazarlama alanları yaratma
Yüksek talep periyodu boyunca karşılanmayan siparişler	Fazla mesaiden kaçınılabilir, sabit kapasiteyi sürdürür.	Müşteri beklemek isteyebilir fakat hoşgörüsü azalır.	Birçok şirket siparişleri karşılayamaz.
Mevsimsel ürün ve hizmet karışımı	Kaynakları tam kullanır, istikrarlı işgücüne izin verir.	Firma dışı uzmanlık alanlarına, yeteneklere veya teçhizata ihtiyaç duyulabilir.	Talep kalıplarına karşı risk içeren ürünler ve hizmetler

3.4. Toplu Üretim Planlama Aşamaları

Toplu üretim planı geliştirirken şekilde görüldüğü gibi 6 aşamayı içeren bir prosedür izlenir. Bu prosedürler birbirini takip eden aşamalar halinde sıralanmıştır.



Şekil 3.4. Toplu üretim planlama prosedürü

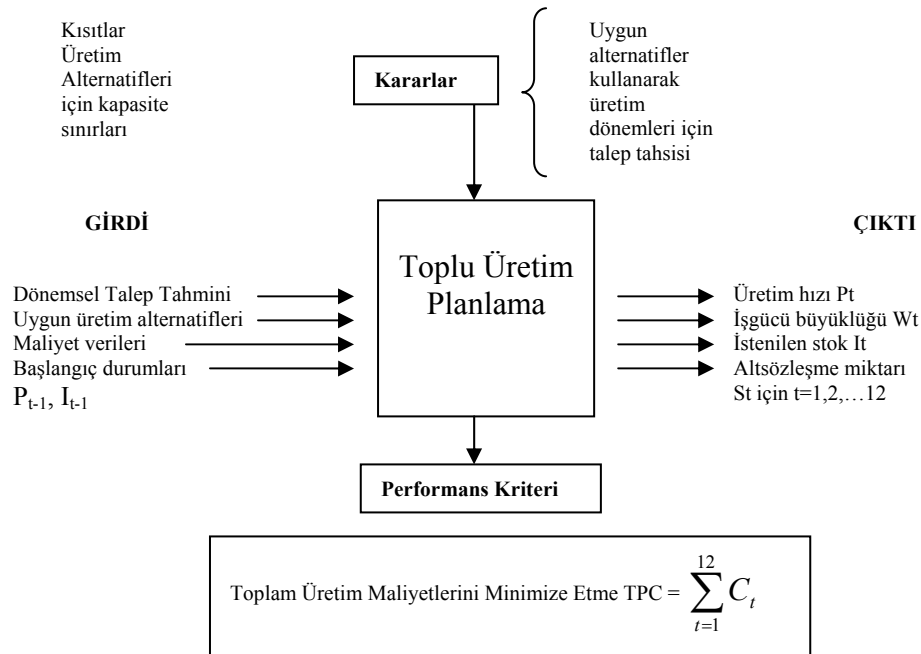
1. Aşama: Her bir dönem için talep belirleme: Bir toplu talep tahmini sunulan hizmet türleri veya üretilen tüm ürünler için planlama ekseninde her bir dönemde ortak bir birimle beklenen talebi anlatır. Bir meyve suyu fabrikası için toplu talep şişe boyutlarına bakılmaksızın ölçü birimi ile ifade edilebilir. Bir otel veya hastanenin günlük yatak ihtiyaçları tek oda veya çoklu oda isteklerinden bağımsız olarak talebi belirler. Belirli ürün veya hizmet türleri için talep biliniyorsa, gerçek siparişler belirli bölümlere veya vardiyalara atandığında programlama öngörüsü için önemi ortaya çıkar. Toplu talep tahmini, zaman serileri analizi, hareketli ortalamalar veya diğer teknikleri kullanarak bulunabilir (Dervitsiotis, 1981, s.480).
2. Aşama: Her bir dönem için kapasite belirleme: Bu kapasite fazla mesai veya taşeron kapsamında ihtiyaç duyulabilir anlamında talebi karşılamalıdır.
3. Aşama: Şirket, bölüme ait veya birlik politikalarını belirleme. Örneğin, belirlenen güvenli stok düzeyini sağlama, kararlı bir yapıda işgücünü, sipariş politikaları, fazla mesai politikaları vs. sürdürme.
4. Aşama: Üretilmiş ürünler için maliyetleri tanımlama. Bu maliyetler temel üretim maliyetlerini içerir(Sabit ve değişken maliyetlere ek olarak dolaylı ve dolaysız işgücü maliyetleri). Bu maliyetler, stok elde bulundurma maliyetleri gibi kapasitedeki değişiklikler ile ilgilidir. Sonuç olarak karşılanmayan siparişlerin maliyetleri hesaplanmalıdır.

5. Aşama: Alternatif planlar geliştirme ve her biri için maliyet hesaplama.
6. Aşama: Ortaya çıkan planlar tatmin edici ise en tatmin edici amaçlardan biri seçilir. Bu maliyet genellikle asgari düzeydedir. Aksi durumda 5. aşamaya geri dönlür.

3.5. Toplu Üretim Planlama Problemi ve Maliyetleri

Toplu üretim planlama problemi, minimum toplam üretim maliyetlerinde beklenen talebi karşılamak için her bir dönemde uygun üretim alternatiflerinin nasıl çalışılması gerektiğini tanımlar (Dervitsiotis, 1981, s.486). Alternatif üretim planlarını karşılaştırmak için kullanılan maliyet fonksiyonunun biçimi optimal çözümü araştırmada sonuca götüren bir faktördür (Kogan ve Khmelnsky,1995, s.851).

Toplu üretim planlama sisteminin bütününde, istenen girdi ve çıktı bilgisini tanımlama, varolan kapasite kısıtları, karar değişkenleri ve performans ölçümünü belirlemeye ihtiyaç duyulur(Şekil 3.5.)



Şekil 3.5. Toplu üretim planlama sistemi (Dervitsiotis, 1981, s.487)

Bir toplu üretim planı oluştururken, firma düzeyleri için toplu birimler yaklaşık olarak nasıl tanımlanacağı saptanırken toplu üretim birimlerinin belirtildiği belirli bir planlama ekseninde talep tahmininin var olduğu varsayılır. Toplu üretim planlama problemi ile ilgili esas olan konular;

1. Düzeltme: Bir dönemden sonraki döneme üretim ve işgücü düzeylerindeki değişimle sonuçlanan maliyetleri anlatır. Düzeltme maliyetlerinin ana bileşenlerinden ikisi, işe alma ve işten çıkarma maliyetleridir. Toplu planlama metodolojisi, öngörü için zor olabilir. Bu durum maliyetleri belirlemeye ihtiyaç duyar. Çoğu firma, işgücü alma ve çıkarma konusunda, yapılan anlaşmalarla sınırlı olabilir.
2. Darboğaz problemleri: Darboğaz terimi, kapasite kısıtlarının bir sonucu olarak, talepteki ani değişimlere tepki veren sistemin yetersizliğini anlatmak için kullanılmıştır. Örneğin, darboğaz, talep tahmini nadiren bir ayda yükseldiği zaman ortaya çıkabilir ve fabrika talebi karşılamak için yetersiz kapasiteye sahiptir. Bir teçhizatın hayati bir parçası bozulduğunda, yine darboğaz ile sonuçlanabilir.
3. Planlama evreni: İşgücü ve stok düzeylerini tanımlamak için talep tahmini dönem sayılarının belirtilmesi gerekir. T tahmin ekseninin değerinin seçimi toplu planın faydalarını tanımlamada önemli olabilir. T çok küçükse, üretim düzeyleri eksen boyunca talebi karşılamak için yeterli olmayabilir. T çok büyük ise, gelecekteki tahminlerin hatalı hazırlanacağı muhtemeldir. Eğer gelecek talep, tahminlerden çok farklı olursa, toplu planlama kararlarında hata yapılacağını gösterir. Planlama ekseninin içerdiği diğer bir konu eksen sonundaki etkidir. Elde tutma maliyetlerini minimize etmek için eksen sonunda stok tavsiye edilebilir. Zamana göre talep artarsa bu strateji yetersiz kalacaktır. Ancak bu özel problem, minimum bitiş stok seviyesini belirleyen bir kısıt ilavesi ile bertaraf edilebilir.
4. Talep iyileştirme: Toplu planlama metodolojisi, talep belirliliği bilindiği varsayımına ihtiyaç duyar. Bu eş zamanlı olarak yaklaşımın güçlü ve zayıflığıdır. Zayıflığı tahmin hatalarının ihmal edilmesinden dolayıdır. Toplu planlama, beklenmeyen tahmin hatalarına karşı herhangi bir tampon sağlamaz. Toplu planlama, yöneticiye, sistematik değişimler üzerine odaklanmaya izin verir (Nahmias, 2005, s.113).

Optimal plan sınırlı kaynaklarla belirli planlama dönemi için toplam satış talep tahminini karşılamak üzere üretim, stok ve işgücü düzeylerini içerir. Toplu düzeyde yer alan planlamada bireysel ürünler için detaylı malzeme ve kapasite kaynak ihtiyaçları ile detaylı programlama yapmaya gerek yoktur (Leung vd., 2006, s.124).

Toplu üretim planlama kararlarından etkilenen maliyetlerin ölçümü zordur ve muhasebe kayıtlarında ayrı olarak gösterilmemektedir. Maliyet elemanlarının bazıları ölçülebilir, bazıları ise ölçülemez niteliktedir. Ölçülemeyen maliyetler karar vericiler tarafından tahmin

edilebilir. Toplu planlama probleminin çözümü için kullanılan stratejilerin maliyetleri iki grupta toplanabilir; Üretim düzeyini değiştirme maliyetleri ve envanter düzeyini değiştirme maliyetleri.

Üretim düzeyini değiştirme maliyetleri: Genel olarak işgücünde yapılan değişiklikler, işçi dönüşü maliyetlerini etkilemektedir. Yeni işçiler işe alındığında, seçme, eğitime, düşük üretkenlik nedeniyle maliyetler yükselmektedir. İşçilerin işten çıkarılma durumlarında kamu ilişkileri ve kamu imajı gibi elle tutulmayan etkiler yanında işsizlik sigortası ve işten çıkarmanın diğer maliyetleri söz konusudur. İşgücünde yapılan büyük değişiklikler, yeni bir vardiya eklenmesi veya çıkarılması anlamına gelebilir; artan denetleme veya diğer genel masrafların yanında vardiya primi de ilgili artan maliyetlerdendir. Dalgalanmalar, üretim düzeyinde değişiklikler yapılarak karşılanıyorsa, artışlar halinde fazla mesai maliyetleri, düşüşler halinde ise aylak işçilik maliyetleri (birim başına daha yüksek ortalama emek maliyeti) söz konusudur. Ancak, genellikle yöneticiler çalışılan saatleri normal düzeyleri altına düşürmek suretiyle aynı ortalama işçilik maliyetini sürdürmeye çalışmaktadırlar.

Aşağıda üretim düzeyini değiştirme maliyetleri sıralanmıştır;

a) Araştırma maliyetleri

İşe alma ve eğitim: Görüşme ve seçim, yeni personel kayıtları, doktor muayenesi, bordro hazırlığı, yeni işçilerin eğitimi

Hizmet ve kurmay fonksiyonlar: Üretim ve envanter kontrolü, satın alma, teslim alma, muayene ve taşıma

İlave vardiyalar: Nezaret, vardiya maliyetleri

Artış düzeyine göre fazla mesai maliyetleri

b) Üretim düzeyini azaltma maliyetleri: İşten çıkarma tazminatları, sendika primi, işçi dağıtımında değişme ve yeniden eğitim maliyetleri, halkla ilişkilerdeki olumsuz etkiler, yeniden programlama maliyetleri, karar ve gerçekleştirme anı arasındaki gecikmeden dolayı atıl zaman maliyetleri

Envanter düzeyini değiştirme maliyetleri: Talepteki mevsimsel dalgalanmaların karşılanmasında envanter kullanıldığı takdirde depolama, sigorta, taşıma-yerleştirme maliyetlerinin yanında sermaye ve yıpranma maliyetleri de yükselecektir. Mevsimlik nedenlerden başka, kısa dönemdeki dalgalanmaların karşılanmasında kullanılan envanterler, ideal veya üretim sürecini aksatmamak için gereken minimum envanter düzeyi ile karşılaştırıldığında, aynı maliyetlerin yükselmesine neden olmaktadır. Envanterler, bu ideal

veya minimum düzeyin altına düştüğünde, envanter bulundurmama maliyetleri ve kısa dönemle ilgili bütün maliyetler yükselmektedir.

a) Elde bulundurma maliyetleri: Kapital bağlama, sigorta, vergi, nakliye, malzemenin muhafazası

b) Elde bulundurmama maliyetleri: Siparişlerin beklemesi, satış kaybı, müşteriler üzerinde olumsuz etki, olarak sıralanabilir (Kuruüzüm, 1990).

3.6. Toplu Üretim Planlama Yöntemleri

Toplu üretim planlama yöntemleri, değişen üretim dönemlerinde talebi karşılamak için yapılan varsayımlar, uygun alternatifler ve maliyetler konusundadır. Yöntemler, varsayımlar altında, optimalliği garanti edip etmemeye bağlı olarak değişir. Böylece yöntemlerden bazıları oldukça basit ve deneme yanılma üzerine kurulu iken, diğerleri gelişmiş yüksek matematik formülleri ile ifade edilir (Dervitsiotis, 1981, s.488). Literatürde araştırmacılar, çeşitli sayısal yöntemlerin faydalarını göstermek amacıyla toplu üretim planlama stratejilerini bir platform olarak kullanmaya devam etmiştir (Buxey, 2003, s.331). Toplu planlama yöntemleri üç grupta sınıflandırılabilir (Tablo 3.2): 1) Olanaklı çözüm yöntemleri 2) Matematiksel optimizasyon yöntemleri 3) Sezgisel Karar Kuralları

Tablo 3.2. Toplu üretim planlama yöntem ve modellerinin sınıflandırılması (Silver, 1985, s.532 ve Dervitsiotis, 1981, s.504).

YÖNTEM/MODEL		AVANTAJLAR	SINIRLAMALAR
Olanaklı Çözüm Yöntemleri	Grafik Yöntemi	Kullanımı kolay anlaşılır ve basittir. Çözüm optimalliği garanti etmez.	Analistin veya yöneticinin yargılarına güçlü olarak bağlıdır. Genelleştirilemez.
Matematiksel Optimizasyon Modelleri	Doğrusal Prog. Modelleri	Bilgisayar desteği ile büyük problemlere uygulanabilir.	Doğrusal fonksiyonlar gerçekçi olmayabilir. Doğrusal maliyet ilişkilerinden dolayı Ölçek ekonomileri için hesaplanamaz.
	Ulaştırma Modeli	Duyarlılık analizi ve yeni kısıtlara izin verir.	
	Amaç programlama		
	Simplex algoritması		
	Doğr. Karar Kuralları		
Sezgisel Karar Prosedürleri	Simülasyon Arama P.	Bir problem için yöneticinin tepkisini daha gerçekçi yansıtır. Matematik yöntemlerden daha kolay kabul görür.	Bir yöneticinin verdiği geçmiş kararlar ürün kararlarını yansıtmaz. Personel durumları değişebilir. İstatistiksel analiz insan performansını açıklamada hata ile sonuçlanabilir.
	Yönetici Katsayısı Y.		
	Kapasite Kull. Oranı		
	Arama Karar Kuralı		
	Parametrik Üretim.P.		
	Üretim Değiştirme S.		

3.6.1.Olanaklı Çözüm Yöntemleri

Olanaklı çözüm yöntemleri, maliyetler arasında belirtilen dönüşüm biçimini başarmada karşı sınırlı bir çaba gösterir. Bu yaklaşımın temel amacı, günlük siparişleri karşılamayı garanti eden mevcut kaynakların olanaklı dağılımını sağlamaktır.

Bir organizasyon içinde her bir grup, farklı sebeplerle üretim düzgunleştirme ve işgücü dengeleme gibi uygun stok yatırımlarını tanımlama çabası içindedir. Finans yöneticileri ile üst yönetim, stok yatırımları minimum seviyede tutulabilirse memnun olur. Üretim yöneticileri, düzgun üretim ve işgücü düzeylerini dengeleyecek stok yatırımlarını tercih eder. Pazarlama yöneticileri ise genellikle büyük stok yatırım kararları alırlar.

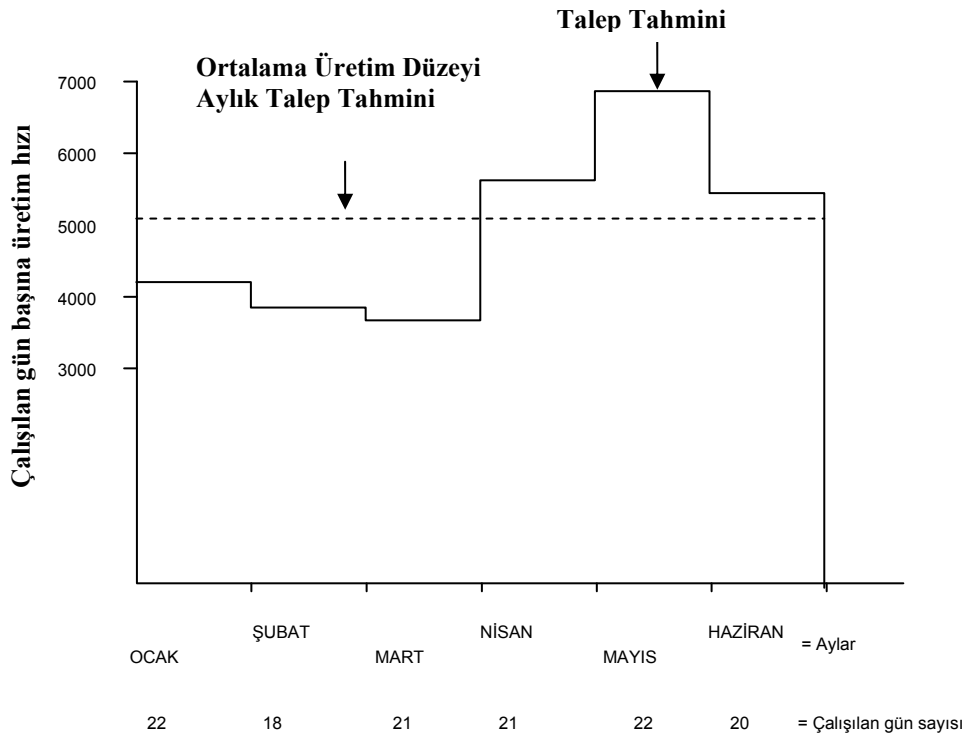
Olanaklı çözüm yöntemleri, içerdiği bölümlerin farklı istekleri arasında uzlaşma sağlamaya çalışır. Birçok şirkette, toplu üretim planlamayı etkileyen, uygun değişim kümesi üzerinde anlaşan ve çeşitli alternatifleri değerlendiren, programlama üst kurulu vardır.

Olanaklı çözüm yöntemlerinden grafik ve tablo yaklaşımı, toplu üretim planlama yaparken, anahtar dönüşüm üzerinde dikkatleri toplayabilir. Harrison (1976) modelde maliyet

parametresine girmeksizin toplu strateji oluşturan zamana karşı, fiziksel etkilerin(stok düzeyi, işgücü düzeyi ve kapasite kullanımı gibi) kalıplarına benzer izler taşıyan, deterministik simülasyon programı kullanma gereğini savunmuştur. Duersch ve Wheeler (1981) etkileşimli bilgisayar modu üzerinde bu kavramı geliştirmiştir (Silver, 1985, s.542).

Grafik Yöntemi: Bu yöntem, kullanımı ve anlaşılma kolaylığı nedeniyle popülerdir. Planlamacılar bu yöntem ile zaman ekseninde kapasite ile talep tahminini karşılaştırma imkanı bulurlar. Optimum üretim planını garanti etmeyen deneme ve yanılma yaklaşımlarından biridir. Sınırlı olarak bilgisayar kullanımı ve kırtasiye gerektirir. Grafik yöntemi 5 adımda uygulanır (Vonderembse ve White, 1991, s.395);

1. Her bir dönemdeki talebi tanımlama
2. Her bir dönemde normal mesai, fazla mesai ve taşeron için kapasite tanımlama
3. İşgücü, işe alma ve işten çıkarma maliyetleri ve stok elde bulundurma maliyetlerini bulma.
4. Stok düzeyleri ve işgücü üzerinde uygulanabilecek işletme politikasını düşünme,
5. Toplam maliyetleri açıklama ve alternatif planlar geliştirme.

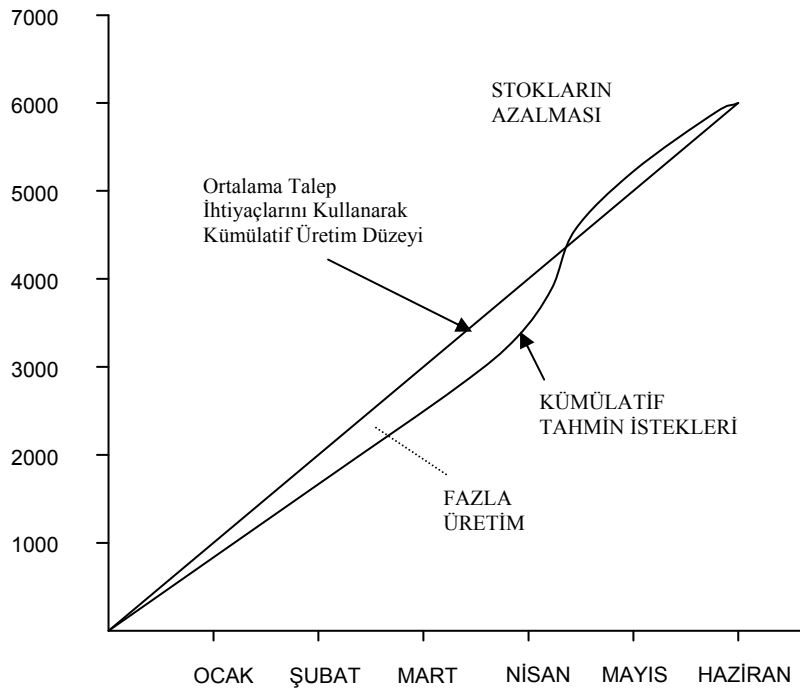


Şekil 3.6. Tahmini ve ortalama talep tahmini grafiği (Heizer ve Render, 2004, s.497)

Şekildeki grafik ortalama talebin, tahminlerden olan farkını gösterir. Bazı planlamacılar ise, ortalama ihtiyaçlardan tahminlerin nasıl saptığını gösteren kümülatif grafikleri tercih eder.

Şekilde tahmin ve üretim çizgisi birlikte görülmektedir. Karma strateji geliştirme amacıyla kullanılan kümülatif grafiğin adımları ;

1. Yatay eksen zamanı ve dikey eksen birim sayıları gösteren bir grafik geliştirme,
2. Planlama ufkunun başından sonuna, beklenen talebi kümülatif olarak gösterecek grafik.
3. Planlama ufku boyunca kümülatif üretim grafiği için önceki adımlarda geliştirilen grafiği kullanarak bir üretim planı geliştirme,
4. Kümülatif talep ile kümülatif üretimi karşılaştırarak, üretimin talebi aştığı durumlarda da stokları görme,
5. Tatmin edici üretim planı geliştirinceye kadar, adımlar üzerinde çalışma.



Şekil 3.7. Kümülatif grafik(Heizer ve Render, 2004, s.498)

Grafik yöntemler, basit ve uzun bir planlama döneminde alternatif programların oluşmasını sağladıkları için yararlıdır. Yöntemin durgun özelliği ve optimizasyonu sağlamaması karşılaşılan zorluklardır. Yöntem yeni programlar geliştirmemekte, sadece yapılan önerileri ve geliştirilen alternatifleri grafik üzerinde görsel olarak karşılaştırma imkanı sunmaktadır.

3.6.2. Matematiksel Optimizasyon Yöntemleri

Toplu üretim planlama problemlerinin bir kısmı doğrusal programlama modelleri ile formüle edilir. Bu kapsamda, amaç programlama, karışık tamsayı programlama ve simplex yöntem kullanılır. Bu yöntemler firma uygulamalarından çok daha karmaşık yapıdadır. Ortak özellikleri, alternatif üretim programları için hesap tablosu programları kullanmalarındır. Ancak bu programlar uygun çözüme ulaşmayı garantilemez. Firmaların fonksiyonel alanları arasında önemli diyaloglar için odak nokta oluşturur ve firmanın içsel değişimleri daha iyi anlamasını sağlar. Bu yöntemler, işgücü, verimlilik, fazla mesai ve stok düzeyleri ile ilgili faktörler ve talep tahminlerini kullanarak, alternatif senaryoları değerlendirerek ve üretim planları oluşturmaya yardım eder (Vollman, 2004, s.344).

Akademik literatürde, toplu üretim planlama problemleri için biçimsel karar modellerinin gelişimi 1950'li yıllarından beri devam etmektedir. Toplam planlamada matematiksel modellerin kullanılması henüz pek yaygın değildir. Ancak, gelecekte bu modellerin gerçek hayata uygulanmasında önemli bir artış beklenmektedir (Doğruer, 2005, s.224).

Doğrusal Programlama: Optimizasyon problemlerini genel bir sınıfta tanımlamak için kullanılan bir kavramdır (Nahminas, 2005, s.125) ve talebin karşılanması için kıt kaynakların optimal olarak kullanılması tekniğidir. Doğrusal programlama modelleri, plan dönemindeki toplam işletme maliyetleri ile işgücünün normal çalışma maliyetlerini, fazla mesai maliyetlerini, yeni işçi istihdam maliyetini ve toplam stok maliyetini minimize etmeyi amaçlar. Modellerin kısıtları genel olarak; normal işçilerden, fazla mesaiden, yani işçilerden ve taşeronlardan belirli bir zaman döneminde elde edilebilecek maksimum kapasite ile plan dönemindeki minimum kümülatif (birikmiş) toplam taleptir (Doğruer, 2005, s.223). Tüm maliyet fonksiyonları doğrusal olduğunda, genel olarak toplu üretim planlama probleminin doğrusal programlama formülasyonu söz konusudur. Ticari doğrusal programlama kodlarının etkinliğinden dolayı, çok büyük problemler için optimal çözümler elde edilebilir (Nahmias, 2005, s.125).

Aşağıdaki değerlerin bilindiği varsayımı ile doğrusal programlamanın genel formülü;

C_H = Bir işçinin işe alınma maliyeti

C_F = Bir işçinin işten çıkarılma maliyeti

C_R = Normal zamanda üretimin işçi-saat başına maliyeti

C_O = Fazla mesai üretimin işçi-saat başına maliyeti

C_I = Bir işçi-saat çalışarak taşımanın aylık maliyeti

C_U = boş normal zaman üretiminin işçi-saat başına maliyeti

H_t = t ayında işe alınanların sayısı

F_t = t ayında işten çıkarılanların sayısı

X_t = t ayında programlanan normal zaman üretim

O_t = t ayında programlanan fazla mesai üretim saatleri

I_t = t ayı sonunda depolanan stok saatleri

U_t = t ayında normal üretim saatlerinde boş zamanın sayısı

D_t = t ayında bulunan üretim saatleri

B_t = t ayında depolanan stoklar için saatlerin minimum sayısı

A_{1t} = aylık işgücü normal zaman saatlerinin maksimum sayısı

W_t = t ayında çalışan sayısı

A_{2t} = aylık çalışan işgücü fazla mesai saatlerinin maksimum sayısı

S_t = İşçi başına aylık kullanılmayan fazla mesai saatlerinin sayısı

A_3 = Başlangıç işgücü düzeyi

A_4 = Başlangıç stok düzeyi

A_5 = m ayında arzu edilen işçi sayısı

m = planlama evreninde ayların sayısı

1. Stok kısıtları:

$$I_{t-1} + X_t + O_t - I_t = D_t$$

$$I_t \geq B_t$$

2. Normal zaman üretim kısıtları:

$$X_t - A_{1t}W_t + S_t = 0$$

3. Fazla mesai üretim kısıtları:

$$O_t - A_{2t}W_t + S_t = 0$$

4. İşgücü düzeyindeki değişim kısıtları

$$W_t - W_{t-1} - H_t + F_t = 0$$

5. Başlangıç kısıtları:

$$W_0 = A_3$$

$$I_0 = A_4$$

$$W_m = A_5$$

Minimizasyon:

$$\sum_{t=1}^m (C_h H_t + C_F F_t + C_R X_t + C_0 O_t + C_I I_t + C_u U_t)$$

Benzer modeller, üretim planlama problemlerinin çeşitli dönüşümleri için başarıyla formüle edilebilir. Ancak genelde, çok az gerçek dünya toplu üretim planlama kararları doğrusal varsayımlara uyumlu olarak ortaya çıkar. Birçok firma için, çok sayıda işçiyi işe alma ve işten çıkarmanın birim maliyeti, işgücü ile ilgili küçük değişimlerden çok daha büyüktür (Vollmann, 2004, s.345).

Doğrusal programlamanın, zaman boyunca kullanılması, üretim ve stok bulundurma maliyetlerinin birleşimini en küçükleme için Ulaştırma modeli de kullanılır. Bowman (1956) tarafından geliştirilen matriste, satırlarda planlama dönemi boyunca her ay için olası üretim kapasitesi gösterilir. Doğrusal programlama probleminin ulaştırma modeli ile çözümü, üretimin tek tip üründen oluşması durumunda geçerlidir. Birden fazla çeşit ürün varsa bunların tek ürün cinsinden ifade edilmesi gereklidir. Bu da oldukça zor bir işlemdir ve bazen de olası değildir. Öte yandan bu tip model üretim oranının azaltılıp çoğaltılması durumunda bir ceza (penalty) oluşup oluşmadığını belirlemez. Ancak bu gibi güçlükler daha genel bir doğrusal programlama formülasyonu ile giderilebilir. Bu genel model, simplex veya diğer tekniklerle çözümlenebilir (Aslan, 1985, s.191).

Bir organizasyonun amaçları yönetimin tipine, felsefesine ve karakterine göre çeşitlilik gösterir. Genellikle karın en çoklanması başlıca amaç gibi görünür. Çünkü işletmeler ekonomik amaçlarla kurulur ve çalıştırılır düşüncesi üstün gelmektedir. Ancak modern işletmecilikte ekonomik olmayan amaçlarda vardır ve karın en çoklanması yanı sıra bu amaçlarda gözetilir. Bu tür amaçlar daha çok kamu kesimi ve amacı yalnızca kar olmayan işletmelerde daha fazla gözlenir. Dolayısı ile birden çok amaçlı problemler klasik tekniklerle çözümlenemezler. Örneğin doğrusal programlama tekniği uygulanmak istenirse amaç fonksiyonundan başka, diğer amaçları da yan şart olarak modele eklemek gerekir. Amaç programlama bu nedenlerle ortaya konmuştur. Ve ilk kez A. Charnes ve W. W. Cooper tarafından uygun olmayan doğrusal programlama problemlerinin çözümü için araç olarak geliştirilmiştir. Sonraları Y. Ijiri, Sang M. Lee, V. Jaaskelainen ve diğerleri tarafından katkılarda bulunulmuştur. Doğrusal programlamadaki ençoklama ve enazlama çabalarının tersine, amaç programlama da amaçlar arasındaki sapmaların, kısıtlamalar setine uygun olarak, enazlanmasına çalışılır (Aslan, 1985, s.213).

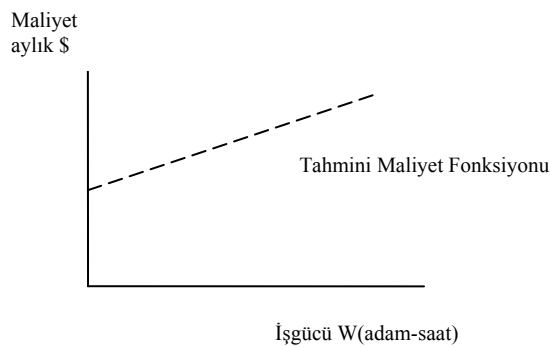
Doğrusal Karar Kuralları: Holt ve Modigliani'nin (1960) geliştirdikleri doğrusal karar kuralı yöntemi Muth ve Simon'un katılmasıyla HMMS adıyla toplu üretim planlamanın doğrusal quadratik bir modelini anlatır. HMMS modeli, t dönemi üzerinde toplam maliyet

minimizasyonunu sağlarken, sipariş yenilemede tatmin ile t üzerinde her bir dönemde seçilen üretim ve işgücü düzeylerini kapsar. P_t , W_t , I_t ve St t dönemi için sırasıyla üretim hacmi, işgücü düzeyi, dönem sonu stoğu ve sipariş yenilemeyi verir. I_0 ve W_0 başlangıç stoğu ve başlangıç işgücünün seçilmiş değerlerini sunar. T dönemindeki maliyet elemanları; Normal çalışmadaki işgücü (bordro) maliyeti, fazla mesai maliyeti, boş zaman maliyeti, stok, noksan stok maliyetleri, işe alma ve işten çıkarma maliyetleridir. Bu maliyetler, altı yada oniki aylık gibi uygun zaman dönemleri sayısını da içerir. Maliyet fonksiyonlarının önce stoklara göre türevleri alınır ve bir dize yerine koyarak ardışık doğrusal denklemler seti elde edilir. Bu doğrusal denklemler çözülerek sayısal katsayılar bulunur. Bu katsayılar belli bir maliyet parametresi için karar kurallarını verir. Hesaplamalar uzun ve karmaşık olduğu için HMMS çalışma grubu bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Sonuçta elde olunan çözüm iki en iyi karar kuralını verir. Kurallardan biri, üretim oranının saptanmasında, diğeri ise işgücü kapasitesinin belirlenmesinde kullanılır (Aslan,1985, s.251).

Düzenli ödeme, işe alma ve işten çıkarma maliyetleri: Kararların sürekli değil düzenli zaman aralıkları ile alındığı varsayılır. Sipariş dalgalandığında işgücü, düzenli ödeme, işe alma ve işten çıkarma maliyetlerinin artan ve azalan etkilerini absorbe eder.

Düzenli ödeme maliyeti

$$C_1 W_t - C_{13} \quad W_t: \text{işgücü büyüklüğü} \quad C: \text{sabit}$$

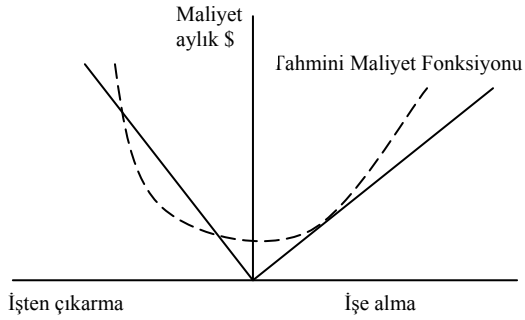


Şekil 3.8. Düzenli ödeme maliyeti grafiği (Holt vd.,1960, s.52)

Diğer sözü edilen işçilik maliyetleri işgücü büyüklüğü ile ilgili değildir fakat onun büyüklüğü ile değişebilir.

$$\text{İşe alma ve işten çıkarmanın maliyeti: } C_2(W_t - W_{t-1} - C_{11})^2$$

$W_t - W_{t-1}$: işin büyüklüğündeki aylık değişimler

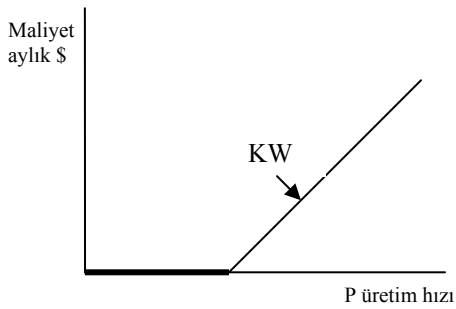


Şekil 3.9. İşe alma ve işten çıkarma maliyeti grafiği (Holt vd.,1960, s.53)

Bu maliyetlerin artış ve azalış hızını tanımlamak zordur.

Sabit işgücü için fazla mesai maliyetleri: Fazla mesai maliyetleri iki karar değişkenine bağlıdır. W işgücü büyüklüğü ve P toplu üretim hızı.

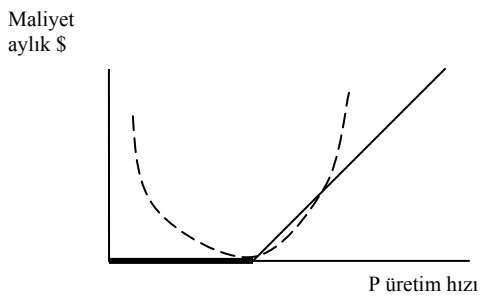
W_t : işgücü K : ortalama işgücü verimliliği KW_t fazla mesaisiz bir ayda üretimin maksimum miktarı



Şekil 3.10. Sabit işgücü için fazla mesai maliyetleri (Holt vd.,1960, s.54)

Üretim sürecinde rasgele karmaşıklık ve süreksizlik yok ise bu şekil görülebilir. Rasgele karmaşıklığın fazla mesai eğilimini düzeltme etkisi vardır.

Beklenen Fazla mesai maliyeti: $C_3(P_t - C_4W_t)^2 + C_5P_t - C_6W_t + C_{12}P_tW_t$



Şekil 3.11. Beklenen fazla mesai maliyeti grafiği (Holt vd.,1960, s.54)

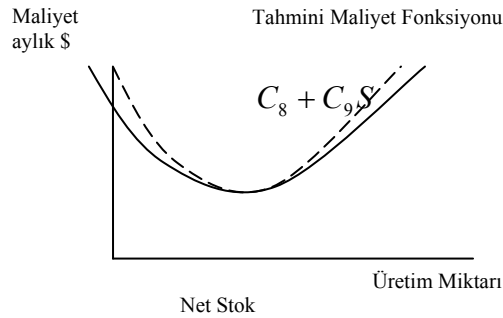
Quadratik eğim, farklı ürün hızları için işgücü W_t büyüklüğü fazla mesainin beklenen maliyetini tahmin etmeye yarar.

Sabit işgücü için fazla mesai maliyeti:

$$\text{Optimal net stok} = C_8 + C_9 S_t$$

Beklenen stok, sipariş yenileme kurulum maliyetleri: $C_7 [I_t - (C_8 + C_9 S_t)]^2$

S_t : toplu sipariş hızıdır.



Şekil 3.12. Beklenen stok, sipariş yenileme kurulum maliyetlerinin grafiği (Holt vd.,1960, s.55)

Maliyet fonksiyonu;

$$C_t = \sum_{t=1}^T C_t \quad C_t = [C_1 W_t + C_{13} + C_2 \dots$$

$$I_{t-1} + P_t - S_t = I_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

Muth (2004) teoremin sonuçlarının önemli olduğunu, beklenen değerlerin yeterli bir istatistiksel bilgi olduğunu ve DKK'nın belirsizlik altında quadratik kriter fonksiyonu için uygun olduğunu açıklayarak, doğrusal programlama ve diğer tekniklerin bu özelliği paylaşmadığını ilave etti. Holt (2002) modelin çözümünün statik ve dinamik açıdan optimal olduğunu ve teoremin belirsizlik altında büyük dinamik sistemlerle ilgili güçlü bir araç olduğunu vurguladı.

3. 6.2.1. HMMS Modelinin Genişletilmesi

Literatürde yer alan ilk yayınlardan günümüze kadar HMMS'nin doğrusal karar kuralları toplu planlama problemlerinin başlangıcı olarak kabul edilir. Toplu üretim, işgücü ve stok kararlarının koordine eden optimizasyon kavramı olarak doğrusal karar kuralları (DKK) basit ve zevklidir. DKK'ya karşı boya şirketi yönetiminin benzetim yoluyla karşılaştırmasında, DKK toplam maliyetleri yaklaşık %25 düşürmüştür.

DKK'nın yayınlanmasından günümüze oldukça uzun bir süre geçmiştir. DKK standart karşılaştırma olarak toplu planlama problemlerine yeni yaklaşımlar önermek için kullanılmış ve test edilmiştir. DKK çeşitli şekillerde genişletilerek çalışmalarda yer almıştır. Bunlar; 1) çoklu ürünleri içeren, 2) taşımaları içeren, 3) pazarlama değişkenlerini içeren, 4) finansal değişkenleri içeren, 5) öğrenmeyi içeren şekillerdedir. Diğer çalışmalar ise, DKK ile elde edilen performansın X şirketi veya X yöneticisinin performans modeli ile karşılaştırmasıdır. DKK çalışmaları kapsamında dürüstçe söylemek gerekirse, hiçbir şirket karar verme konusunda bu yöntemi kullanmamıştır. Literatürde sadece boya şirketi için DKK nin bir kısmının uygulaması vardır.

Yönetim bilimi literatüründe DKK'nın uygulama başarısızlığından dolayı çeşitli olası sebepler gösterilmiştir: 1) DKK'nın tamsayı değişkenler ve/veya kısıtlar ile başa çıkmadaki başarısızlığı, 2) Üretim ve/veya işgücü uygun ölçüm yapısı ve toplam maliyet fonksiyonu yapısı ile ilgili problemlerin zorluğu 3) Ayrıştırma problemidir (Schwarz ve Johnson, 1978, s.844).

Bergstrom ve Smith (1970), gelecek dönemler için optimum satış, üretim ve stok düzeylerini tek üründen çok ürünlü formüle dönüştürerek doğrusal karar kurallarını genişletmişlerdir. Belirli talep şartını kaldırmak için, gelir eğimleri her bir zaman periyodu üzerinde her bir ürün için tahmin edilmiştir. ÇDR (çoklu karar kuralı) modeli adı altında, elektrik motorlarının bir hattını üreten firmaya uygulanarak zaman ekseninde karı maksimize edecek bir çözüm sunulmaktadır. ÇDR'nin sonuçları yönetimin önerdiği planlarla karşılaştırıldığında önemli farklar ortaya çıkmıştır.

Toplam kar fonksiyonunun optimizasyonu

$$(TP) = \sum_{t=1}^T [R_t - (VC)_t - (IC)_t - (WC)_{t,t-1}]$$

IC : stokla ilgili maliyetler

Üretimle ilgili maliyetler Sabit (FC) ve Değişken (VC)

WC : İşe alma ve işten çıkarma maliyetleri

R : satışlardan sağlanan toplam gelir

$$(TP) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n [r_{1it} + r_{2it} S_{it} + r_{3it} S_{it}^2] \quad \text{toplam gelir}$$

$$\begin{aligned}
& -C_{i7}(I_{it} - (C_{i8} + C_{i9}S_{it}))^2 \text{ stokla ilgili maliyet} \\
& -C_3(L_t - C_4(L_t))^2 - C_5(L_t) \\
& + C_6W_t - C_{12}(L_t)W_t \text{ de\u0131işken üretim maliyeti} \\
& -C_2(W_t - W_{t-1} - C_{11})^2 \text{ işe alma ve işten çıkarma maliyetleri}
\end{aligned}$$

S_t : t periyodu boyunca toplu satış hızı

$$I_{it} = I_{it-1} + P_{it} - S_{it} \quad i=1, \dots, n \quad t=1, \dots, T$$

Gaalman (1978) HMMS modelinde gerek koşulları, tek ürünlü modelden çok ürünlü modele geçiş için kullanmıştır. Modelin stok-üretim kısmının yapısal özelliklerini kullanmıştır. Toplulaşmış modelin optimal kararlarını ayrıştırarak çok ürünlü modelin optimal kararlarına ulaşmıştır. HMMS modeli uygulamada gerekli ayrıştırma düzeyleri için uygun toplu kararları çözmek üzere bir prosedür geliştirir. Maliyetlerin toplamı, toplu kararlara bağımlı olan tek ürün ve stok kararlarının her biri ile ilgili kısıt konusunda minimize edilir. Bu maliyetlere kuadratik toplu stok maliyet fonksiyonu ile yaklaşılabılır. Toplam maliyetler stok maliyetleri olarak görülebilir. Bu maliyet ve diğer maliyet fonksiyonları (işe alma, işten çıkarma, fazla mesai vs.) ile uygun toplu kararları veren karar kuralları elde edilebilir. Krajewski vd. (1973) kuadratik tahminin uygunluğunu değerlendirmiştir. Değişken satışların olduğu durumlarda, toplu stok maliyetlerinin maliyet parametreleri toplu stok ve toplu satışın fonksiyonlarıdır.

Singhal (1990) kesikli optimal kontrol teoriiyi, kuadratik maliyet fonksiyonu ile çok ürünlü üretim ve işgücü planlama problemlerini çözmek için etkin tekrarlanmayan bir algoritma geliştirmek üzere kullanmıştır. Kuadratik maliyet modelleri belirsizliği, beklenen maliyet objektif talep tahminini verirse minimize edilmesi sebebiyle doğrudan elde etmeye izin verir. Optimal kontrol teori üretim planlama problemlerinde geniş oranda uygulama alanı bulmuştur.

$$C = \sum_{t=1}^T [C_I(I_t - \hat{I})^2 + C_p(P_t - \hat{P})^2]$$

Bu koşullar altında, ardışık kararlar arasında zamanın uzunluğu sıfıra yaklaştığı gibi denklemin sınırlı biçimi maliyet fonksiyonunu değerlendirebilir. Maliyetlerin üç faktörden türetildiği varsayılmıştır: elde bulunan stok, stoksuz kalma ve üretim oranından sapma. Burada $C_I(I(t) - \hat{I})^2$ ve $C_p(P(t) - \hat{P})^2$ kuadratik olarak hesaplanabilir. Marjinal maliyet fonksiyonu doğrusal ve birim maliyet fonksiyonu U şeklindedir.

Modelin 0-T zaman aralığında sürekli biçimi ise;

$$C = \int_0^T [C_I (I(t) - \hat{I})^2 + C_p (P(t) - \hat{P})^2] dt$$

Dobos (1998) makalesinde, bir firmanın üretim stok kararlarına etkileyen, emisyon değişimi veya sınırlarının biçimi üzerine çevre politikalarının nasıl alındığını araştırmaktır. Optimal üretim politikalarını analiz etmek için kontrol teori uygulaması ile HMMS model genişletilmiştir.

[0,T] aralığında optimal kontrol problemi,

$$\int_0^T e^{-\rho t} \left[\frac{h}{2} (I(t) - I_1(t))^2 + \frac{c}{2} (P(t) - P_1(t))^2 \right] dt \min$$

$$I(t) = P(t) - S(t), I(0) = I_0$$

$$I(t) \geq 0$$

$$P(t) \geq 0$$

Burada, $I(t)$ t zamanda stok düzeyi (kontrol değişkeni)

$P(t)$ t zamanda üretim hızı

$S(t)$ t zamanda talep hızı ; pozitif ve sınırlı

$\hat{I}(t)$ t zamanda stok büyüklüğü hedef düzeyi

$\hat{P}(t)$ t zamanda üretim hızı hedef düzeyi

ρ : sabit negatif olmayan indirim oranı

h : pozitif sabit, ekstra stok elde bulundurma maliyeti

c : pozitif sabit, ekstra üretim maliyeti katsayısı

T planlama evresinin uzunluğu

Modele kirlilik masrafları eklenmiştir. τ :birim başına doğrusal masrafı ve P' kirliliği göstermektedir.

Bu durumda model,

$$\int_0^T e^{-\rho t} \left[\frac{h}{2} (I(t) - I_1(t))^2 + \frac{c}{2} (P(t) - P_1(t))^2 + \tau (P'(t)) \right] dt$$

$$I(t) = P(t) - S(t), I(0) = I_0$$

$$I(t) \geq 0$$

$$P(t) \geq 0$$

Olarak ifade edilmiştir.

Dobos (2003) makalesinde özel yapıda ters lojistik sistemi üzerinde optimal stok politikalarını bulmak amacıyla HMMS modelin sürekli formunu kullanmıştır. Modele iki durum değişkeni (stok ve depo durumu) ile üç kontrol değişkeni (üretim, yeniden üretim ve atık hızı) eklenmiştir.

3.6.3. Sezgisel Karar Kuralları

Yönetim ve özellikle toplu üretim planlama problemleri için sezgisel yöntemler geliştirme sebebi, yöneticilerin anlayış ve hassasiyetinde seçim kriteri ile modeldeki karar değişkenlerini birleştirmektir. Önerilen karar kurallarının özel biçimi dikkatli analiz edilerek tanımlanabilir ve bilinmeyen parametreler regresyon analizi ve simülasyonla tahmin edilebilir. Toplu üretim planlama için birçok sezgisel model (yönetim katsayıları, arama karar kuralları, simülasyon vs.) geliştirilmiştir. Sezgisel modeller, kullandıkları karar kuralları ile, karmaşık durumları basitleştirme eğilimindedir (Derivitsiotis, 1981, s.501).

Yönetim Katsayıları Modeli

Bowman (1963), üretim seviyelerinin planlanması konusunda karar kuralları ile ilgili, yöneticilerin geçmiş başarılarına dayalı olarak bu modeli geliştirmiştir (Nahminas, 2005, s.137). Bu model, bir kapasite planlama tekniği olup, yapılacak işlerle ilgili sezgisel sonuçlar verir. Bu yaklaşım, yöneticilerin uygulamada karışık kriterler ve cesaretlerini kullanarak kapasite planlaması yaptıklarını varsayar. Teknikte, bir yöneticinin geçmiş dönemlerde kapasite planlaması ile ilgili olarak verdiği kararlar kullanılır ve gelecekteki kapasite planlarının formüle edilmesinde kullanılmak için bir regresyon eşitliği geliştirir. Bu yaklaşımda, yöneticilerin kapasite planlaması ile ilgili kararları irdelenmez; piyasa ve işlemler veri kabul edilir. Burada yapılan, sadece bir yöneticinin karar sürecini belirlemektir (Doğruer, 2005, s.224).

$$P_t = D_t \quad 1 \leq t \leq T$$

D_t : talep tahmini

P_t : üretim düzeyi

$$P_t = D_t + \alpha(P_{t-1} - D_t) \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

α : üretim için düzgünleştirme faktörüdür

$$P_t = D_t + \alpha(P_{t-1} - D_t) + \beta(I_N - I_{t-1}) \quad 0 \leq \beta \leq 1$$

β : stok düzgünleştirme faktörüdür.

$$P_t = \sum_{i=t}^{t+n} a_{t-i+1} + D_t + \alpha(P_{t-1} - D_t) + \beta(I_N - I_{t-1})$$

Bazı durumlarda model çok iyi çalışmasına rağmen, uygulamada çeşitli engellerle karşılaşılmaktadır. Modelin zayıf yönleri arasında en önemlisi, yöneticinin karar vermesine etki edecek bir regresyon modelinin kurulmasında, analistin şahsi tecrübesine bağımlı olunmasıdır (Doğruer, 2005, s.224).

Arama Karar Kuralı

Bu model, 1968 yılında William H. Taubert tarafından geliştirilmiştir. Şekil 3.13'te Arama karar kuralı yaklaşımının toplu üretim planlama probleminin çözümü için geliştirilen geleneksel yaklaşımlardan farkı görülmektedir. Modelin çözümü, problemin maliyet yapısının doğrusal, quadratik veya başka biçimde olma şartını gerektirmemektedir. Bu nedenle karmaşık endüstriyel yapıyı daha gerçekçi olarak değerlendirmektedir. Modelin çözümü, amaç fonksiyonunun en uygun değerinin bilgisayar arama prosedürü yardımı ile bulunması esasına dayanmaktadır. Amaç fonksiyonu, n boyutlu bir tepki yüzeyi oluşturmakta ve optimum nokta bu yüzey üzerinde aranmaktadır. İlk karar değişkenli (üretim ve işgücü düzeyi) ve tek dönemli bir problem için amaç fonksiyonu iki boyutludur. Aynı arama değişkenleri ve 10 dönemli bir problem boyut sayısını 20'ye çıkarır. Taubert çeşitli bilgisayar arama yöntemleri içinde bilgisayar zamanı açısından en uygun olanı "örnek arama yöntemi" olarak belirlemiş ve bu yöntemi modelinde kullanmıştır.

Modelin formülasyonu

P_t : t dönemindeki üretim hızı

W_t : t dönemindeki işgücü düzeyi

S_t : t dönemindeki satışlar

I_t : t dönemi sonundaki net stok düzeyi

$$I_t = I_{t-1} + P_t - S_t \text{ kısıtı ile } M_n = \sum_{t=1}^n m$$

$$m_t = (c_1 - c_6)W_t + c_2(W_t - W_{t-1} - c_{11})^2 + c_3 (P_t - c_4W_t)^2 + c_5P_t + c_{12} P_t W_t + c_7 (I_t - c_8 - c_9S_t + c_{13})$$

M_n : n dönem için toplam maliyet

m_t : t dönemi için toplam maliyet

n : dönem sayısı

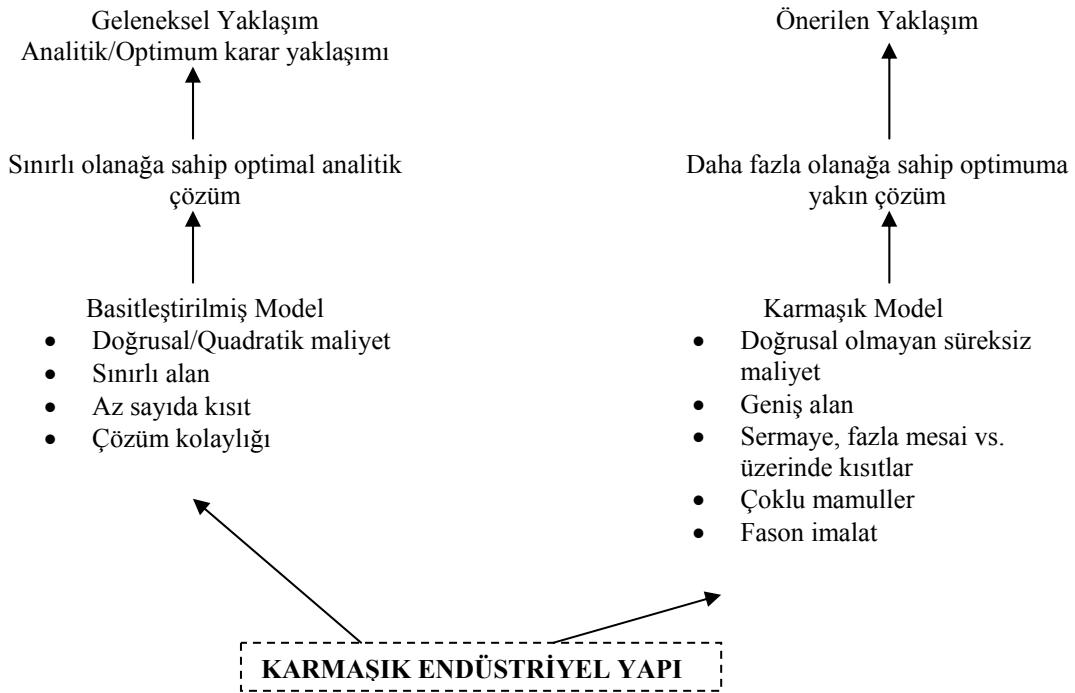
W_t : t dönemi için işçi sayısı

P_t : t dönemi için üretim miktarı

I_t : t dönemi için envanter miktarı

St : t dönemi için talep tahmini

c1,c2, ...c13 : sabitler



Şekil 3.13. Arama karar kuralının geleneksel ve önerilen yaklaşım farkı (Kaynak: Taubert, 1968)

Parametrik Karar Kuralı

“Parametrik üretim planlama” adı verilen model, Curtis H. Jones tarafından geliştirilmiştir. Modelin temel karakteristikleri Jones (1967) tarafından şöyle açıklanmıştır; Parametrik üretim planlama iki doğrusal geri besleme kuralının varlığını düşünür. Bunlardan birincisi, işgücü sayısını diğeri ise üretim hızını verir. Her bir kural kapsamında iki parametre bulunur. Bu kurallar, mümkün bütün kararları kapsayacak şekilde formüle edilir. Modelin formülünde işgücü hesabı önce gelir, sonra bu işgücü en düşük maliyeti verecek şekilde üretim hızına dönüştürülür. Bu dönüşüm, üretim kuralının esası olarak kullanılır.

Modelin formülasyonu;

$$\text{İşgücü miktarı için, } W_t = W_{t-1} + A(W^* - W_{t-1})$$

Burada, A : bir parametre ve değeri $0 < A < 1$

W_t : kuralın uygulama sonucu işgücü

W_{t-1} : eldeki işgücü

W^* : arzu edilen işgücü

$$W = \sum_{t=1}^T (b_t K(P_t) + b_t K(I_t - I_{t-1}))$$

P_t : t dönemine ait talep tahmini

$K(P_t)$: P_t üretimi gerçekleştirmek için optimum işgücü miktarı

b_t : t döneminde talebi ve envanteri karşılamaya verilen parametre $b_t = \frac{B^t}{\sum_{t=1}^T B^t}$, $0 < B < 1$

I_t : dönem sonu optimal envanter miktarı

I_{t-1} : mevcut envanter miktarı

Üretim düzeyi için, $U_t = K^{-1} * W_t - c * K^{-1} * W_t + c * U_d$

$K^{-1}(W_t)$: İşgücü düzeyi ile en düşük maliyette üretim miktarı

U_d : Talebi karşılamak için gerekli üretim hızı

c : 0 ile 1 arasında değer alan bir parametre

$$U_D^T = \sum_{t=1}^T (d_t F_t) + d_t (I_t - I_{t-1})$$

d_t : t dönemindeki talebi karşılamaya ve envanter düzeyini optimal düzeye getirmeye verilen

önemi gösteren bir katsayıdır. $d_t = \frac{D^t}{\sum_{t=1}^T D^t}$

Parametrelerin her biri 0.0 dan 1.0 a değerler alabilir. Bu düşünce, karar kaydı ve parametrelerin değerlerinin birleşimini açıklamak içindir. Gerçekçi maliyet denklemi bu kararlardan sonuçlanan toplam maliyetleri oluşturmak için kullanılır. Maksimum kar veya minimum maliyetle sonuçlanan değerlerin test edilerek en iyi değerler olduğu söylenir. Maalesef parametrelerin tüm olası değerleri değerlendirilemez ve test etmeden düşük maliyet durumlarını bulma yolu yoktur. Diğer bir ifade ile Jones yaklaşımı tek ürün sunar, fakat minimum maliyet çözümünü garantilemez. Garanti etmediğine karşı eleştiriler; minimal çözüme çok yakın sonuç veren çözüm durumları test edilmiştir. Problemin daha gerçekçi optimal çözümü iyi mühendislik kararları olabilir. Açıkça, maliyet denkleminin minimuma yaklaştığı kesin ise analist için önemli olan mutlak minimuma yakın olan sonuçların gerçekçi ve inandırıcı olmasıdır (Bedworth ve Bailey, 1999, s.143).

3.7. Tedarik Zincirinde Toplu Üretim Planlama Uygulamaları

Toplu üretim planların çoğu hedef olarak sadece işletmeyi alır. Fakat, işletme dışında tedarik zinciriyle ilgili pek çok faktör vardır ve bunlar optimal toplu üretim planlamayı önemli ölçüde etkiler. Dolayısıyla planlama sırasında, sadece firmayı düşünme tuzağından kurtulmak gerekir. Tahminleri belirlemek için aşağı akım ortaklarıyla, kısıtları belirlemek için yukarı akım ortaklarıyla ve diğer tedarik zinciri bünyesinde yer alan tüm birimlerle toplu planlama girdilerinin kalitesini artırmak için ortaklaşa çalışılır. Belirli bir mal veya hizmetten bir birim üretmek için gerekli girdi miktarı, talebi, üretim kapasitesi cinsinden ifade eder. Plan, girdilerin kalitesi ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla tedarik zincirini girdi kalitesini artırmak için kullanmak toplu planın kalitesini oldukça artırır. Ayrıca toplu planlama yaparken tedarik zincirinde etkilenecek tüm kişilerle iletişim içinde olunmalıdır.

Planları esnek yapmak gerekir çünkü tahminler her zaman hatalıdır. Toplu üretim planları gelecekteki talebin tahminlerine dayanır. Tahminler her zaman belirli hataları içerdiği için toplu plana esneklik katmak faydalı olabilir. Gelecekteki talep ve maliyet artışı gibi değişikliklerde önlem olarak plana esneklik eklemek yeni durumlarla baş edebilmeyi sağlar. Esnekliği sağlamak için yöneticinin toplu plandaki girdiler üzerinde duyarlılık analizi yapması tavsiye edilir. Örneğin, eğer plan belirsiz talep altında kapasiteyi aşıyorsa, talebin beklenenden daha yüksek veya düşük olduğu zamanlarda yeni toplu planın sonuçları incelenir. Eğer bu inceleme yüksek talep döneminde az kazanç, düşük talep döneminde daha büyük bir maliyet artışı ortaya çıkarıyorsa kapasite artışı kararını vermek daha etkili olacaktır.

Toplu üretim planlama, gelecek 3–18 ayın yol haritasını verir. Bu durum, firmanın 3-18 ayda bir toplu plan çalıştıracağı anlamına gelmez. Talep tahmini gibi girdiler değiştikçe, yöneticiler son değerleri kullanıp toplu planı tekrar çalıştırmalıdır. Son gelen girdilerle plan, eski verilere dayanan alt-optimizasyonu önleyerek daha iyi sonuçlar üretir.

Çoğu firma toplu plan oluşturma yolunu seçmez bunun yerine sadece dağıtıcılardan ve perakendecilerden gelen siparişlere güvenerek üretim çizelgelerini oluşturur. Bu siparişler aslında gerçek talep veya stok yönetim algoritmaları sayesinde oluşur. Eğer bir firma talebi bu yöntemle etkili bir biçimde karşılayabiliyorsa, toplu planlama eksikliği firmaya ciddi bir zarar vermez. Fakat kullanım oranı arttıkça ve kapasite önem kazandıkça, siparişlere güvenerek üretim çizelgeleme kapasite sorunları yaratır. Planlama, tahmin edilen talebi en iyi

karşılıyacak kapasiteyi tespit etmek için yapılır. Dolayısıyla, kapasite kullanımını arttırdıkça, toplu planlama daha da önem kazanır (Chopra vd.2007).

Tedarik zinciri literatüründe toplu üretim planlama ile ilgili uygulama sayısı oldukça azdır. Tedarik zincirini konu alan kitaplarda ise küçük çapta toplu üretim planlama yöntemlerinin kullanıldığı örnekler yer almaktadır.

Hurtubise, Oliver ve Gharbi (2004) çalışmalarında, tedarik zincirinde esnek imalat ağlarını yönetmek için bir yol ortaya koymuşlardır. Büyük ölçekli çizelgeleme problemlerinin karmaşıklığı, taşıma ve üretim maliyetleri minimize edilirken planlama ve çizelgeleme operasyonları için kullanılan toplu ve detaylı matematik modellerin birleşimi olan iki aşamalı hiyerarjik üretim planlama yaklaşımının kullanımını azaltmıştır. Bu çalışma toplu planlama sonuçlarının kesinliği üzerine dayanan detaylı bir plan üretmenin mümkün olduğunu gösterir. Aynı zamanda uygulama problemi için seçilen otomotiv endüstrisi için iyi ve esnek çözümler üreten bir yaklaşım önermektedir. Bu yaklaşım, üretim planlama aşamasını kolaylaştırarak esnek ağları yönetmek için tedarik zinciri tedarikçilerine yardım edebilir. Toplu model, işlemci düğümlerinin kullanıldığı üretim kapasite ve tanımlarını hızla değerlendirmeye izin verecektir. Detaylı model, operasyonların daha iyi kontrolü için kesin bir plan sağlar. Detaylı model için girdi olarak toplu plan kullanmak problem formülasyon çabalarını oldukça azaltır. Bu yolda, detaylı modellerin doğruluk düzeyi artırılabilir ve uygun bilgisayar zamanı içinde gerçekçi büyüklükteki problemleri çözmek mümkün olur sonucuna varılmıştır.

Singhvi, Madhavan ve Shenoy (2004) çalışmalarında, tedarik zincirinde toplu planlama için pinch analizi ile sözel bir yaklaşım sunmuşlardır. Pinch analizi arzı ve talebi bileşen olarak göstermesiyle, tedarik zinciri yönetimi sürecinde planlayıcılara daha iyi bakış açısı sağlar ve yeniden planlamayı kolaylaştırırken karar almayı hızlandırır. İki vaka çözülmüştür, tek bir işlemci üzerinde tekli ve çoklu ürünler için birinci vakada elde edilen optimal üretim planları, GAMS ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı. Kağıt endüstrisinden bir firmanın verilerinin kullanıldığı ikinci vakada çoklu ürünlerin üretimlerinin sıralanması için bir algoritma oluşturulmuştur. Uygulamada hesaplama zamanları diğer çözümlerin 1/6 kadar olduğu görülmüştür.

Uysal, Tosun ve Kuruüzüm (2007) çalışmalarında, tedarik zincirinde pinch analizi ile ilgili çalışmayı tedarik aşamasına uygulamışlardır. Tekstil sektöründen bir firmanın verilerinin

kullanıldığı uygulamada, tedarik edilen malzeme sıralamasının analiz sonucu değişebileceği sonucuna varılmıştır.

4. HMMS MODELİN ZAMAN SKALASI ANALİZİNDE ÇÖZÜMÜ

Dördüncü bölümde, ekonomi alanında yeni uygulamaları yer alan zaman skalası analizi genel modelleriyle anlatılmıştır. Daha sonra zaman skalasının genel tanımlarına yer verilmiştir. Sorunlar sistemi olarak belirlenen toplu üretim planlama için yapılan çalışmaların kontrol altında tutulabilmesi amacıyla, HMMS kuadratik amaç fonksiyonu zaman skalasında çözülmüştür. Bu çözüm sayısal bir örneğe uygulanmıştır.

4.1. Zaman Skalası Analizi

Zaman skalası analizi, dinamik modellerin iki ana kaynağı olan fark ve diferansiyel denklemler teorilerini birleştiren yeni bir teoridir (Hilger, 1988). Fark ve diferansiyel denklemler “zaman skalasında dinamik denklemler” olarak adlandırılan genel bir çerçevede birleşmektedir. Bu teori, dinamik modellemeye çok daha genel bir yaklaşım sağlamasından dolayı, tam sayılar kümesi (kesikli) veya reel sayılar kümesinden (sürekli) çok daha karmaşık zaman dilimlerinden oluşan dinamik süreçleri modellemek için kullanılabilir. Bu özelliğinden dolayı, zaman skalası analizi entomoloji (Thomas ve Urena, 2005), bilgisayar bilimleri (Atici ve Atici, 2005), tıp bilimi (Thomas ve Jones, 2005) ve diğer alanlarda uygulamaları ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Ekonomide alışlagelmiş dinamik modeller sürekli veya kesikli zaman modelleridir. Bu iki tip model, genelde benzer sonuçları vermesine rağmen çözümleri farklı çözüm teknikleri kullanmayı gerektirir. Ekonomide pek çok model dinamik model olduğundan zaman skalası analizinin sonuçları ekonomiye doğrudan doğruya uygulanabilir. Ancak ekonomide zamana bağlı değişkenlerin gelişimini tasvir eden dinamik model uygulamalarının, zaman skalasında az çalışılmış olması şaşırtıcıdır.

Ekonomi, zaman skalası uygulamaları için en ideal disiplindir. Standart dinamik ekonomi modelleri sürekli veya kesikli zamanı göz önünde bulundurarak oluşturulur. Örneğin, bir kesikli modelde, tüketici bir zaman aralığında gelir elde eder ve bu gelirin aynı zaman aralığında ne kadarını harcayacağına ve ne kadarını banka hesabında tutacağına karar verir. Böylece, verilen tüm kararların eşit aralıklı zaman dilimlerinde olduğu kabul edilir.

Yukarıda açıklanan problemi maksimize etmek için zaman skalası yaklaşımı daha esnek ve daha gerçekçidir. Ekonomide alışlagelmiş sürekli veya kesikli modellerin üzerine böyle bir yaklaşımın avantajları oldukça fazladır. Zaman skalası analizi, karar zamanlamasının kararları etkilemesi gibi pek çok durumu açıklamaya ve çalışmaya izin verir (Atici vd., 2006, s.718).

Zaman skalası analizine girişte aşağıdaki örnekler verilerek diferansiyel denklemler, fark denklemlerin zaman skalaları üzerinde tanımlı dinamik denklemler ile nasıl tek türlü ifade edilebileceğinin altı çizilmektedir.

Model 1. Bir radyoaktif madde, örneğin isotop thrium-234, şu anki miktarına nispi bir oranda parçalanır. Şayet $Q(t)$, t zamanda madde miktarı ise, bu halde maddenin zamana göre azalım oranı aşağıdaki birinci mertebe diferansiyel denklem ile ifade edilir:

$$dQ/dt = -rQ,$$

burada $r > 0$ maddenin azalma oranıdır.

Model 2. Şayet $y(0)$ dolar yıllık %7 çeyrek katlanma faizi ile bankaya yatırılmış ve $y(t)$ yılın çeyrek t zamanında hesaptaki para miktarı ise, bu halde hesaptaki para miktarı aşağıdaki birinci mertebe fark denklemini sağlar:

$$y(t+1) - y(t) = 0.0175y(t), \quad t = 0, 1, 2, \dots$$

Model 3. Bir serada t zamanda özel türde bir bitkinin sayısı $N(t)$ 'dir. Deneylerle elde edilen $N(t)$ sayısı Nisandan Eylül ayına kadar $N' = N$ şeklinde üstel olarak büyümektedir. Ekim ayının başında tüm bitkiler ölmekte fakat tohumları yerde kalarak Nisan ayının başında tekrar büyümeye başlamaktadır. Dolayısıyla böyle bir model aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$N'(t) = N(t), \quad t \in [2k, 2k+1) \text{ ve}$$

$$N(2k+2) - N(2k+1) = N(2k+1) \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Bu üç modelin her birinde zamanın tanımlı olduğu bölge farklıdır. Model 1 için \mathbb{R} gerçel sayılar kümesi, Model 2 için \mathbb{Z} tam sayılar kümesi ve Model 3 için $\bigcup_{k=0}^{\infty} [2k, 2k+1]$ kümesidir.

Ancak bu zaman bölgelerinin tümü en az bir ortak özelliğe sahiptir. Tümü \mathbb{R} 'nin kapalı alt kümesidir. Kapalı küme, tüm limit noktalarını içeren kümeye denir. Zaman skalası \mathbb{R} 'nin boştan farklı kapalı bir alt kümesi olarak tanımlanır ve zaman skalası analizinin amacı, dinamik modellerin genel teorisi içinde sürekli ve kesikli analizleri birleştirmektir. Bu yeni teorinin birleştirme yanında genelleştirme özelliği de vardır. Bu halde zaman skalasında elde edilen herhangi bir sonuç yalnızca sürekli ve kesikli analizi birleştirmez, bunun yanında aynı sonuç başka zaman bölgeleri için de elde edilmiş olur. Böylece birleştirme ve genelleştirme zaman skalası analizinin iki önemli unsurudur. Bu özelliği ise matematikçiler ve matematiği araç olarak kullanan diğer bilim dallarına önemli bir kolaylık getirir. Literatürde pek çok

modelin sürekli ve kesikli zaman aralıklarında ayrı ayrı çalışılmış olduğu görülür. Modelin zaman skalasında yazılarak çalışılması iki yayını bir yayında toplayacak ve bunun yanında aynı modelin periyodik olmayan bir zaman diliminde de anlam kazandığını ortaya koyacaktır.

4.2. Zaman Skalasının Temel Tanımları

T bir zaman skalası (\mathbb{R} 'nin kapalı bir alt kümesi) olsun. $[a,b]$ T 'de kapalı ve sınırlıdır, yani; $[a,b] := \{t \in T : a \leq t \leq b\}$ ve $a, b \in T$. Zaman skalasında temel tanım ve kavramlar Bohner ve Peterson (2001, 2003)'te daha detaylı sunulmuştur.

Zaman skalası analizinde noktaların sınıflandırılması önemlidir. O halde temel tanımlara noktalama sınıflarının tanımları ile başlayarak:

T ' den T ye tanımlı ileri atlama σ ve geri atlama ρ operatörleri aşağıdaki gibi tanımlıdır;
 $\sigma(t) = \inf\{s \in T : s > t\}$ ve $\rho(t) = \sup\{s \in T : s < t\}$,

burada \inf =infimum eğer küme sonlu ise kümenin minimum elemanı, \sup =supremum eğer küme sonlu ise kümenin maksimum elemanı anlamındadır.

Eğer $\sigma(t) = t$, $\sigma(t) > t$, $\rho(t) = t$, $\rho(t) < t$ ise, $t \in T$ sırasıyla sağ-yoğun, sağ-yayılmış, sol-yoğun, sol-yayılmış olarak adlandırılır. T_κ kümesi T 'den türetilerek aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Eğer T 'de sağ-yayılmış minimum t_1 varsa, $T_\kappa = T - \{t_1\}$, aksi halde $T_\kappa = T$ dir. Geriye dağılım fonksiyonu $\nu : T_\kappa \mapsto [0, \infty)$, $\nu(t) = t - \rho(t)$ olarak tanımlıdır.

Aşağıdaki iki tanım ve ilgili özellikler Atıcı ve Guseinov (2000) makalesinde bulunmaktadır.

Tanım 1. Eğer $f : T \mapsto \mathbb{R}$ bir fonksiyon ve $t \in T_\kappa$ ise, bu halde f fonksiyonunun t noktasında nabla türevi $f^\nabla(t)$ (sonlu bir sayı olması koşuluyla) her bir $\varepsilon > 0$ için t nin öyle bir U komşuluğu vardır, öyle ki

$$|[f(\rho(t)) - f(s)] - f^\nabla(t)[\rho(t) - s]| < \varepsilon |\rho(t) - s|,$$

Eşitsizliği tüm $s \in U$ için mevcuttur.

Not: $T = \mathbb{R}$ olması durumunda, $f^\nabla(t) = f'(t)$, nabla türev \mathbb{R} deki türev ile çakışır.

Pozitif h gerçel sayısı için $T = h\mathbb{Z}$ olması durumunda ise, nabla türev geriye fark operatörüne karşılık gelir, yani $f^\nabla(t) = \nabla f(t) = f(t) - f(t-h)$ dir.

Tanım 2. F ve f zaman skalası T üzerinde tanımlı ve reel değerli fonksiyonlar olsunlar ve tüm $t \in T_\kappa$ için $F^\nabla(t) = f(t)$ sağlansın. f 'nin a 'dan t 'ye Cauchy ∇ -entegrali aşağıdaki şekilde tanımlıdır:

$$\int_a^t f(s) \nabla s = F(t) - F(a)$$

Burada $t \in T$ dir.

$T = \mathbb{R}$ olması durumunda, $\int_a^b f(t) \nabla t = \int_a^b f(t) dt$.

$T = h\mathbb{Z}$ ve $h > 0$ olması durumunda ise, $\int_a^b f(t) \nabla t = \sum_{k=(a+h)/h}^{b/h} f(kh)h$, burada $a, b \in T$ ile $a < b$.

Tanım 3. $f : T \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonuna sol-yoğun süreklidir denir, eğer f 'nin T 'de sol yoğun noktalarda sürekliliği ve sağ yoğun noktalarda sağ limiti mevcut ise.

$T = \mathbb{R}$ halinde süreklilik ve sol-yoğun süreklilik kavramları denktir.

Tanım 4. $p : T \mapsto \mathbb{R}$ bir fonksiyonuna ν -gerileyen adi verilir eğer,

$$1 - \nu(t)p(t) \neq 0$$

koşulu tüm $t \in T_\kappa$ için sağlanıyorsa.

T_κ da fonksiyonların ν -gerileyen sınıfı tanımı,

$$R_\nu = \{p : T \rightarrow \mathbb{R} : p \text{ sol-yoğun sürekli ve } \nu\text{-gerileyen'dir.}\}.$$

Tanım 5. Eğer $p \in R_\nu$ nabla üstel fonksiyonu

$$\hat{e}_p(t,s) := \exp\left(\int_s^t \xi_{\nu(\tau)}(p(\tau)) \nabla \tau\right)$$

burada $s, t \in T$, olarak tanımlanır. ξ_{ν} ν -silindir dönüşümü ile ifade edilir (Bohner ve Peterson, 2003, s.49).

Not: $T = \mathbb{R}$, durumunda $\hat{e}_{\alpha}(t, s) = e^{\alpha(t-s)}$, ve eğer $T = \mathbb{Z}$ ise $\alpha \in \mathbb{R} \setminus \{1\}$ olduğunda

$$\hat{e}_{\alpha}(t, s) = \frac{1}{(1-\alpha)^{t-s}} \text{ dir.}$$

Nabla üstel fonksiyonu ile ilgili birçok özellikler ve örnekler Martin Bohner ve Allan Peterson (2001) yazarlı kitapta bulunabilir.

Tanım 6. B fonksiyonu $n \times n$ reel değerli matris, T zaman skalasında ν -gerileyen olsun.

$I - \nu(t)B(t)$ matrisinin tüm $t \in T_{\mathbb{K}}$ için tersi mevcuttur,

ve ν -gerileyen ve sol yoğun matris fonksiyonlarının sınıfı,

$$R_{\nu} = R_{\nu}(T) = R_{\nu}(T, \mathbb{R}^{n \times n})$$

ile ifade edilir.

Tanım 7. (Nabla Üstel Matris fonksiyonu) $t_0 \in T$ 'de ve $B \in R_{\nu}$ $n \times n$ gerçel değerli bir matris fonksiyonu olduğu varsayılır. Başlangıç değer probleminin matris değerli tek çözümü,

$$Y^{\nabla} = B(t) Y$$

$$Y(t_0) = I,$$

burada I $n \times n$ birim matris olarak ifade edilir, t_0 da nabla üstel matris fonksiyonu olarak adlandırılır ve $\hat{e}_B(t, t_0)$ ile ifade edilir.

Not: B matrisi sabit ve ν -gerileyen ise, $\hat{e}_B(t, t_0)$ yi bulmak için Putzer algoritması kullanılabilir. Putzer algoritması (Bohner ve Peterson, 2001), delta türevli dinamik denklemin çözümü yardımı ile elde edilir. Modelde nabla türevi kullanıldığı için Putzer algoritmasının nabla türev ile ifade edilmesi gereklidir. Bunun ifadesi aşağıdaki gibidir. İspatı ise diğerine benzer şekilde yapılır.

Teorem 8. $B \in R_{\nu}$ de 2×2 sabit bir matris ve $t_0 \in T$ olsun. Eğer λ_1, λ_2 B nin özdeğerleri ise,

$$\hat{e}_B(t, t_0) = s_1(t) H_0 + s_2(t) H_1,$$

burada $H_0 = I$, $H_1 = (B - \lambda_1 I)$ ve $s(t) := (s_1(t), s_2(t))^T$ başlangıç değer probleminin çözümüdür,

$$S^\nabla(t) = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 1 & \lambda_2 \end{bmatrix} s, \quad s(t_0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

İzleyen teorem ve ispatı Bohner ve Peterson (2003) kitabında bulunabilir.

Tanım 9. $B \in R_\nu$ T 'de tanımlı bir $n \times n$ matris fonksiyonu ve $f: T \rightarrow \mathbb{R}^n$ sol-yoğun sürekli olduğu varsayılır. $t_0 \in T$ ve $y_0 \in \mathbb{R}^n$ için başlangıç değer problemi

$$y^\nabla = B(t)y + f(t)$$

$$y(t_0) = y_0$$

$y: T \rightarrow \mathbb{R}^n$ de tek çözümü vardır. Çözüm,

$$y(t) = \hat{e}_B(t, t_0)y_0 + \int_{t_0}^t \hat{e}_B(t, \rho(\tau)) f(\tau) \nabla \tau$$

ile verilir.

Gelecek bölümde modelin minimum yapacak fonksiyonu bulmak için izleyen teorem ile birlikte zaman skalasında (Atıcı vd., 2006) Pontryagin maksimum prensibini kullanılacaktır.

$L(t, u, v)$ her $t \in [\rho^2(a), \rho(b)] \subseteq T$ için (u, v) 'nin fonksiyonu ve C^2 kümesinin bir elemanı olduğu varsayılır.

Teorem 10. Aşağıdaki fonksiyonelin minimum veya maksimuma sahip olması için gerek koşul,

$$J[y_1, \dots, y_n] = \int_{\rho^2}^{\rho(b)} L(t, y_1^\rho, \dots, y_n^\rho, y_1^\nabla, \dots, y_n^\nabla) \nabla t,$$

burada, $y_i \in C^2[\rho^2(a), \rho(b)]$, $y_i(\rho^2(a)) = A$, $y_i(\rho(b)) = B$, Euler-Lagrange denklemini $L_{y_i^\rho} - L_{y_i^\nabla} = 0$ sağlayan $y_i(t)$ fonksiyonun mevcut olmasıdır.

4.3. Zaman Skalasında HMMS Modeli

$$C = \int_0^{\sigma(T)} \hat{e}_{-\alpha}(\rho(s), 0) \left(\frac{a}{2} (I - \hat{I})^2 + \frac{b}{2} (P - \hat{P})^2 \right) \nabla s$$

maliyeti $I^\nabla(t) = P(t) - S(t)$ koşulu ve $I(0) = I_0$ ve $P(0) = P_0$ başlangıç değerleri ile göz önüne alarak optimize edilecektir.

Bu modelin $T = Z$, $\alpha = 0$ iken kesikli modeli, $T = R$ iken ise sürekli modeli içerdiğini not etmek gerekir. Burada Hamilton fonksiyonu,

$$H(s, I, I^\nabla, P, P^\nabla) = \hat{e}_{-\alpha}(\rho(s), 0)K(\rho(s), I, P) + \mu(\rho(s))[P - S - I^\nabla]$$

ile tanımlıdır $s \in T$, $K(s, I, P) = \left(\frac{a}{2}(I - \hat{I})^2 + \frac{b}{2}(P - \hat{P})^2\right)$, $\mu(\rho(t))$ T üzerinde nabla türevlenebilir olmak üzere geneli $\rho(s)$ ile t yer değiştirirse, bu halde,

$$H(t, I, I^\nabla, P, P^\nabla) = \hat{e}_{-\alpha}(t, 0)K(t, I, P) + \mu(t)[P - S - I^\nabla]$$

elde ederiz. Teorem 2.10'un kullanımından Euler-Lagrange denklemleri aşağıdaki şekildedir:

$$\hat{e}_{-\alpha}(t, 0)a(I - \hat{I}) + \mu^\nabla(t) = 0 \text{ hemen hemen her yerde } t \quad (4.1.)$$

$$\hat{e}_{-\alpha}(t, 0)b(P - \hat{P}) + \mu(t) = 0 \text{ hemen hemen her yerde } t \quad (4.2.)$$

burada ∇ - ölçümünü ve (Bohner ve Peterson, 2003) kitabında tanımlı “hemen hemen her yerde” kavramını ele alabiliriz.

(4.2) yi $\mu(t)$ için çözer (4.1) de yerine koyarsak,

$$\hat{e}_{-\alpha}(t, 0)a(I - \hat{I}) + (\hat{e}_{-\alpha}(t, 0)b(P - \hat{P}))^\nabla = 0$$

Elde ederiz. Nabla üssel fonksiyonunun ve nabla türev için çarpım kuralını kullanarak,

$$\hat{e}_{-\alpha}(t, 0)a(I - \hat{I}) - \hat{e}_{-\alpha}(t, 0)a(P - \hat{P}) + (1 + \alpha\nu(t))\hat{e}_{-\alpha}(t, 0)b(P^\nabla - \hat{P}^\nabla) = 0.$$

Elde ederiz. Bu ise,

$$a(I - \hat{I}) - ab(P - \hat{P}) - (1 + \alpha\nu(t))bP^\nabla + (1 + \alpha\nu(t))b\hat{P}^\nabla = 0.$$

Denklemini verir. Böylece aşağıdaki doğrusal birinci derece dinamik denklem sistemi elde edilir,

$$P^\nabla - \frac{\alpha}{1 + \alpha\nu(t)}P = \frac{a(I - \hat{I}) - ab\hat{P}}{b(1 + \alpha\nu(t))} + \hat{P}^\nabla.$$

$$\begin{bmatrix} P^\nabla \\ I^\nabla \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & a \\ 1 + \alpha\nu(t) & b(1 + \alpha\nu(t)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ I \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a\hat{I} + ab\hat{P} \\ b(1 + \alpha\nu(t)) \end{bmatrix} - \hat{P}^\nabla \quad (4.3.)$$

Başlangıç değer koşulu ile, $\begin{bmatrix} P(0) \\ I(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0 \\ I_0 \end{bmatrix}$.

Katsayı matrisi,

$$A(t) = \begin{bmatrix} \alpha & a \\ 1 + \alpha v(t) & b(1 + \alpha v(t)) \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ sabittir eğer } v(t) \text{ sabit veya } \alpha = 0 \text{ ise,}$$

diğer durumda $A(t)$ matris fonksiyonudur.

Bu bölümün kalan kısmında zaman skalası üzerinde tanımlı matematiksel analizi kullanarak

(3.3) dinamik denklem sistemini çözülebilir. (3.3) sistemi için, $I - v(t)A(t)$ ve $v(t) \neq \sqrt{\frac{b}{a}}$

$t \in T$.

$$Y^\nabla(t) = \begin{bmatrix} \alpha & a \\ 1 + \alpha v(t) & b(1 + \alpha v(t)) \\ 1 & 0 \end{bmatrix} Y(t), \quad Y(t_0) = I$$

başlangıç değer probleminin tek bir çözümüdür. Böylece (3.3) dinamik denklemin tek çözümü

$$\begin{bmatrix} P(t) \\ I(t) \end{bmatrix} = \hat{e}_A(t, t_0) \begin{bmatrix} P_0 \\ I_0 \end{bmatrix} - \int_{t_0}^t \hat{e}_A(t, \rho(\tau)) \begin{bmatrix} a\hat{I} + \alpha b\hat{P} \\ b(1 + \alpha v(t)) \\ S(t) \end{bmatrix} \nabla \tau \quad (4.4.) \text{ ile elde edilir.}$$

4.4. Örnek Verilerle Çözüm Modelinin Yorumu

HMMS modelinin çözümü çeşitli zaman skalaları üzerinde grafiklerle ve sayısal örneklerle analiz edilebilir. Daha öncede işaret edildiği gibi $v(t)$ sabitten farklı ve α sıfırdan farklı olduğu takdirde $A(t)$ sabit olmayan bir matris oluyor ve böylece $\hat{e}_A(t_1, t_0)$ in hesabı güçleşiyor. Böyle bir durumda hali hazırda geliştirilen bir teori olarak zaman skalalarında çözüm davranışı analizi kullanılabilir.

Önce periyodik zaman skalası tanım bölgesi olarak alınırsa $\pi: =hZ$ $h \neq \sqrt{\frac{b}{a}}$ ile. A matrisinin öz değerleri,

$$\lambda_{1,2} = \frac{\alpha \mp \sqrt{\alpha^2 + 4ab^{-1}(1 + \alpha h)}}{2(1 + \alpha h)}$$

Başlangıç değer probleminin Putzer algoritması (teorem 2.8) ile çözümü ile,

$$S_1(t) = (1 - h\lambda_1)^{\frac{t_0-t}{h}}, \quad S_2(t) = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left((1 - h\lambda_1)^{\frac{t_0-t}{h}} - (1 - h\lambda_2)^{\frac{t_0-t}{h}} \right)$$

elde edilir. Böylece nabla matris fonksiyonu,

$$e_A(t, t_0) = \begin{bmatrix} (1 - h\lambda_1)^{\frac{t_0-t}{h}} + \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha h} - \lambda_1 \right) S_2(t) & \frac{a}{b(1 + \alpha h)} S_2(t) \\ S_2(t) & (1 - h\lambda_1)^{\frac{t_0-t}{h}} - \lambda_1 S_2(t) \end{bmatrix}$$

elde edilir.

Bu elde edilen sonuçları Dobos (1998) elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırıldığında,

$$S(t) = (1 + .05t)(1 + .2 \sin(2\pi t))$$

$$\hat{P}(t) = 1 + .05t, \quad \hat{I}(t) = .2 + .2 \sin(2\pi t), \quad \alpha = 0, a = 20, b = 4, I(0) = 0, T = 5, P(5) = 1.25$$

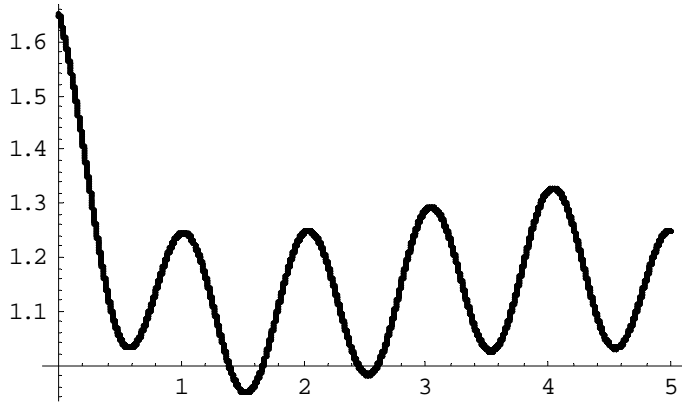
$\pi = hZ$ ve $h \neq \sqrt{\frac{1}{5}}$ ise, dinamik denklem sistemi

$$\begin{bmatrix} P(t) \\ I(t) \end{bmatrix} = e_A(t, t_0) \begin{bmatrix} P(0) \\ I(0) \end{bmatrix} - \sum_{k=\frac{t_0+h}{h}}^{\frac{t}{h}} e_A(t, kh-h) \begin{bmatrix} .95 + \sin(2\pi kh) \\ (1 + .05kh)(1 + .2 \sin(2\pi kh)) \end{bmatrix} h$$

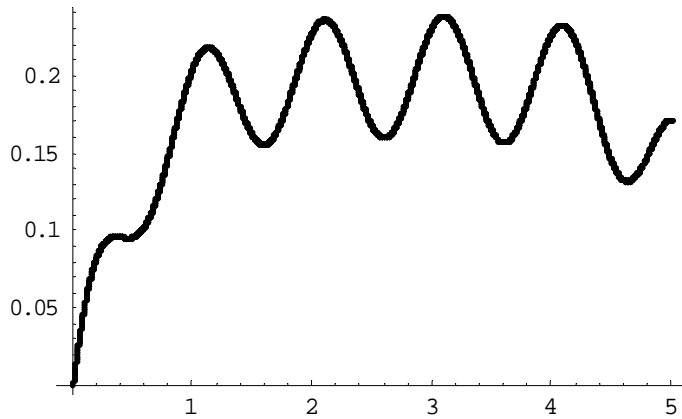
formunu alır, burada

$$\hat{e}_A(t, t_0) = \begin{bmatrix} .5(1 - \sqrt{5}h)^{\frac{t_0-t}{h}} + .5(1 + \sqrt{5}h)^{\frac{t_0-t}{h}} & \frac{\sqrt{5}}{2}(1 - \sqrt{5}h)^{\frac{t_0-t}{h}} - \frac{\sqrt{5}}{2}(1 + \sqrt{5}h)^{\frac{t_0-t}{h}} \\ \frac{1}{2\sqrt{2}}(1 - \sqrt{5}h)^{\frac{t_0-t}{h}} - \frac{1}{2\sqrt{5}}(1 + \sqrt{5}h)^{\frac{t_0-t}{h}} & .5(1 - \sqrt{5}h)^{\frac{t_0-t}{h}} + .5(1 + \sqrt{5}h)^{\frac{t_0-t}{h}} \end{bmatrix}$$

bulunur.



Şekil 4.1. Üretim P(t) grafiği



Şekil 4.2. Stok I(t) grafiği

Şekil 4.1. ve Şekil 4.2. de optimal üretim ve stok hZ için $h=0.001$, $h=0.1$ ve $h=0.3$ için verilmiştir..

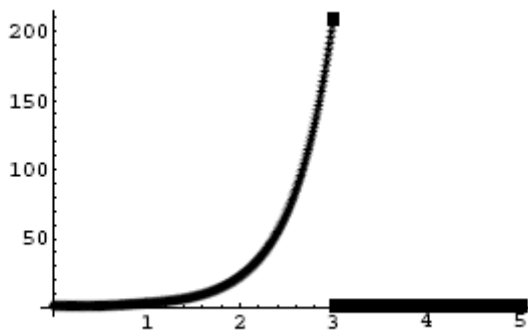
$T := ([0,1] \cap 2hZ) \cup ([1,3] \cap hZ) \cup ([3,5] \cap 2hZ)$ periyodik olmayan zaman skalasında talep fonksiyonu,

$$(0.025 + 0.2\pi)t^2 + (1 - (0.025 + 0.2\pi)), \quad t < 1$$

$$S(t) = (1 + 0.05(t-1))(1 + 0.2\sin(2\pi(t-1))), \quad 1 \leq t \leq 3$$

$$0.5 + 0.2t, \quad 3 < t \leq 5$$

ile $P(5) = 1,25$ olarak üretim düzeyi $t=3$ den sonra Şekil 4.3.'te görüldüğü üzere düşer. A ve b katsayıları daha da küçük alınarak 3'ten sonraki ani düşme yok edilebilir (Atıcı ve Uysal, 2008, s.243).



Şekil 4.3. Üretim grafiği

Bu çalışmada, doğrusal programlama, dinamik programlama veya başka yaklaşımlar yerine kuadratik amaç fonksiyonu HMMS modeli kullanılmıştır? Konuya dinamik programlama açısından yaklaşırsa, bu yöntem basitleştirilmiş çizelgeleme problemlerinin optimal çözümlerini bulmak için oldukça etkilidir. Kullanışlılığına rağmen, Bellman (1962) göre, durum değişkenlerinin ve/veya kontrol değişkenlerinin sayılarını artırarak modele daha fazla gerçekçilik katılmak istenirse ciddi sınırlamalar ile karşılaşılacağı, Hadley (1964) göre ise, tipik iki parametrelili bir problemin tek durumlu probleminden 100 kat daha fazla bilgisayar süresine gerek duyduğunu ve parametre sayısındaki artışla problem zorluğunun üstel arttığını vurgulamışlardır. Konuya doğrusal programlama açısından yaklaşırsa, bu yöntem işgücü ve üretim-stokun optimal düzleştirilmesi için oldukça kullanışlıdır ancak, analiste doğrusal programlama ile ilgili güçlü teknikler sağlamadığı gibi (parametrik programlama ile duyarlılık analizi, gölge fiyatlarla kıt kaynakların dağıtımı v.s.) kullanıcının kendi yazılımını tasarlama ihtiyacını da azaltır. HMMS modelin ise doğrusal programlama formülasyonu ile gösterilemeyen önemli bir özelliği vardır. Eğer talep stokastik ise (olmadığı pek fazla durum yoktur) ve maliyetler kuadratik terimlerle gösterilebiliyorsa, planlama döneminde minimum beklenen maliyet için HMMS modeliyle ilişkili doğrusal karar kuralları optimaldir. Bu amaç fonksiyonunun kuadratik doğası, kesinlik denkliği temel yapısından ve tahmin edilen talebin beklenen mükemmel tahmin yapmasındandır. Tahminler mükemmel olmasa bile modelle verilen karar kuralları optimal olabilir ve toplam beklenen maliyet gerçek beklenen maliyetin alt sınırı olarak alınır. HMMS modelin diğer avantajları ise; amaç fonksiyonu kuadratik olduğu için entegralde doğrusal karar denklemlerine dönüşerek uygulama kolaylaşacaktır. Fonksiyonda gerçek minimum için gerekli şartların sağlanması göreceli olarak kolaydır (Kioulafas ve Kapralos, 2001, s.66).

Holt ve ark. (1960) HMMS modeli ile üretim ve tedarik zinciri yönetimi alanlarında bir yenilik başlatmışlardır. Toplu üretim planlama konularını referans alan bu çalışmaları, temelde bir firmanın stratejik ve taktiksel kararları arasındaki bağı ifade etmekte ve operasyonları stratejilerle bağlamaktadır. Aynı zamanda operasyonlar, tedarik zincirinde aşağı ve yukarı akışları bağlayarak organizasyonlar arası koordinasyonu sağlamaktadır.

Tüm bu gerekçelerden hareketle HMMS model, ilk olarak zaman skalası analizinde çözüldükten sonra toplu planlama için tedarik zincirinde yer alan bir firmanın verilerine uygulanmak suretiyle literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

5. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE TOPLU PLANLAMA İÇİN HMMS MODELİN ZAMAN SKALASINDA ÇÖZÜMÜ VE BİR UYGULAMA

Bu çalışmada, tedarik zinciri yönetimi kavramsal bir bütünlük içinde ele alınarak üretim planlama kontrol sistemi ve toplu üretim planlamanın yapısal özellikleri üzerinde durulmuştur. Daha sonra tedarik zincirinde toplu planlama bu çalışma için bir sorunlar sistemi olarak tanımlanmış ve toplu üretim planlama tüm boyutlarıyla ve yöntemleriyle genel olarak incelenmiştir. Bu tezde toplu üretim planlamada matematiksel optimizasyon yöntemlerinden biri olan HMMS modelin zaman skalası analizinde çözümü sağlık sektöründe yer alan bir firmanın toplu üretim planlama adına yaptığı çalışmanın performansını ortaya koymak amacıyla uygulanmıştır. Modelin çözümünde ve daha önceki teorik açıklamalarda sistem yaklaşım mantığı temel alınarak sorunlar sistemine, bütünsellik açısından yaklaşılmıştır.

Bu çalışmanın odak noktasını tedarik zinciri planlamada uzun dönem planlama ile kısa dönem planlama arasındaki bağı ifade eden toplu üretim planlama oluşturmaktadır. Sorunlar sistemi olarak belirlenen toplu üretim planlama için yapılan planların kontrol altında tutulabilmesi amacıyla HMMS kuadratik amaç fonksiyonu iki ana başlık altında değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki, modelin çözümünde kullanılan zaman skalası analizinin birleştirici ve genelleştirici özelliğinden yararlanmaktadır. İkincisi ise modelin zaman skalası analizinde çözümü ile elde edilen denklemin ilgili firmada uygulanabilme özelliği ile ilgilidir.

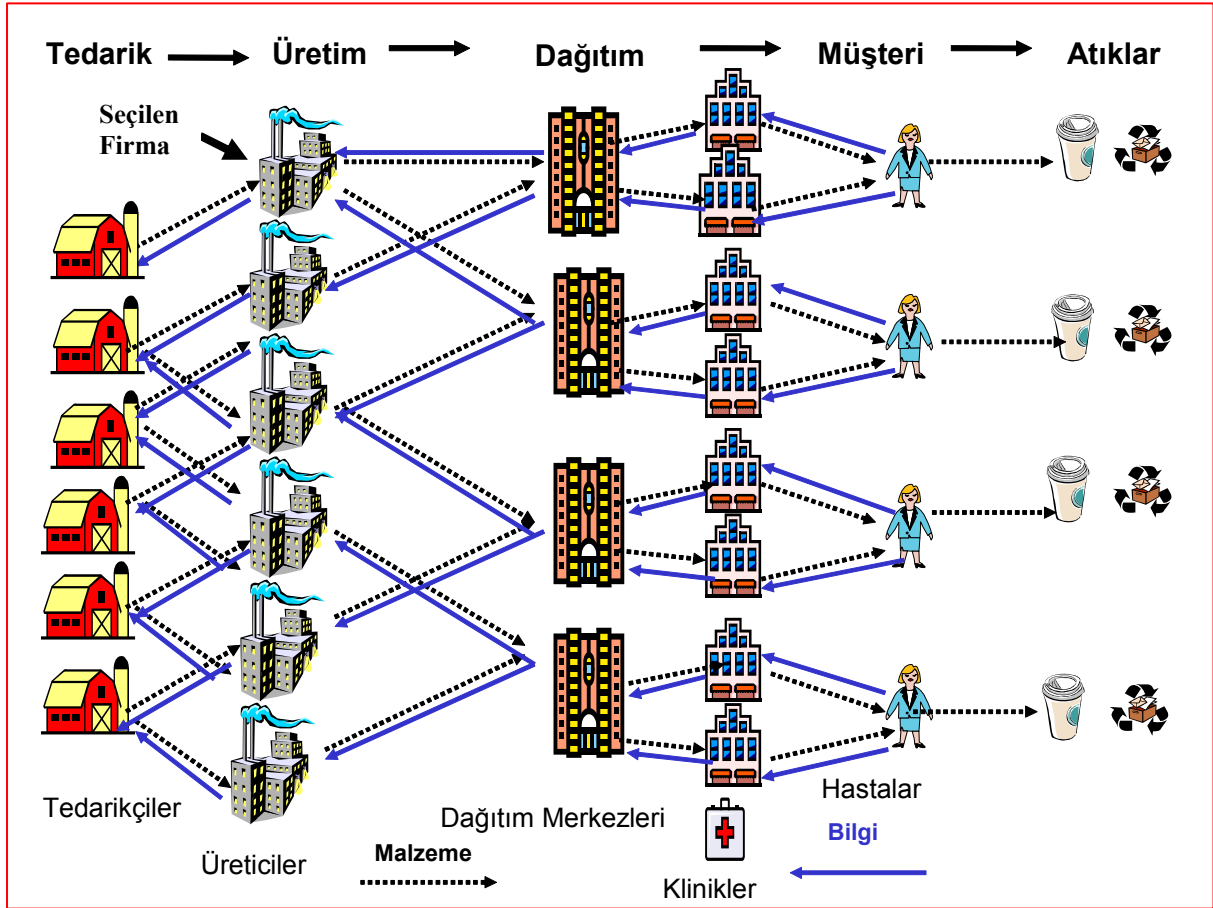
5.1. Firmanın Tedarik Zincirindeki Konumu

Seçilen firma sağlık sektörü için bir set üretmek üzere 2000 yılında Antalya'da faaliyete başlamıştır. Bu tarihten itibaren firma üretimini ve istihdamını sürekli arttırarak, 2 üretim hattı ve üç vardiyalı çalışma düzeniyle haftada 6 gün çalışarak 2005 yılında toplam 7.800.000 set üretimine ve 275 çalışana ulaşmıştır. Bu rakam 2006 yılı hedeflerine göre 8.200.000 ürün seti olarak belirlenmiştir. Firma, ürün seti üretimi için en son teknoloji ile donatılmış bir tesistir. Üretilen setlerin sterilizasyonu, kalite kontrolü, testleri yine aynı tesis içinde gerçekleştirilmektedir.

Firma, 9.800 m² 'lik bir alan üzerine kurulmuştur. Bunun 3.900 m² 'si üretim alanı, hammadde ve bitmiş ürün deposu, 1.000 m² 'si bağlı olduğu firma, 1.200 m² 'si sterilizasyonu

işlemlerine tahsis edilmiş olup 3.700 m² lik boş alan gelecekte yapılması planlanan projeler için rezerve edilmiştir.

Firmanın içinde bulunduğu tedarik zinciri küresel ve bütünleşik bir yapıdadır. Bölüm 1’de değinildiği üzere, farklı coğrafi bölgelerde artan rekabet, ürün değeri için artan müşteri beklentileri ve ürün çeşitliliğinde büyüme çok uluslu şirketlerin payları üzerinde yeni rekabet stratejilerinin kabulü ile karşılaşır. Bu strateji, küresel tedarik zinciri olarak bilinen yüksek derecede bütünleşik işbirlikçi yapının ortaya çıkışına dayanır. Firmanın yer aldığı küresel çalışma ortamında malzeme ve bileşenler Şekil 5.1.’de görüldüğü üzere 6 üretim merkezi 4 dağıtım merkezinden oluşan tedarik zinciri yapısı ile birden fazla ülkeden temin edilmektedir. Montaj veya üretim birimleri coğrafi olarak yayılmıştır. Küreselleşme, yerel pazara yabancı rekabeti beraberinde getirmektedir. Bu durumda firmalar tedarik zinciri yönetim etkinliğini geliştirmek zorundadır. Firma için bunun anlamı, pazarını geliştirerek iş sahasını büyütme ve aynı zamanda satın alma, üretim ve/veya montaj faaliyetlerinde ölçek ekonomisinden yararlanarak maliyetleri düşürmeyi hedeflemek ve dünya çapında ürünlerini pazarlamaktır. Küreselleşme ile birlikte üretimin daha az noktada gerçekleştirilmesi envanterin merkezileşmesi sonucunu ortaya çıkarmıştır. Daha az noktada stok tutulması istatistiksel olarak gerekli envanter miktarını toplamda azaltacağından, firmalar yerel depolarını kapatarak bölgesel dağıtım merkezlerinde birleşmişlerdir. Envanterin fiziksel olarak müşteriye veya üretim noktasına yakın bir yerde birleşmesinde fayda sağlayan unsur, envanterin merkezi olarak yönetilmesi ve kontrol edilmesidir.



Şekil 5.1. Firmanın tedarik zinciri yapısı

Firmada genel olarak üretim süreci, ana süreç olan imalat ve destek süreçleri ile tanımlanır. Üretim, hammaddelerin işlendiği ve bileşenlerin tanımlara göre montaj edildiği ve nihai ürünün elde edildiği bir aşamadır. Destek süreçleri, ana üretim gerçekleştirme sürecini kolaylaştıracak bir faaliyet ağı oluşturur. İmalat için temel destek süreçleri; hammadde, bileşen, ürün ve hizmetlerin temini, stok ve alt yapı ile ilgili teknik operasyonlar, süreçlerin, ekipman, yazılım ve donanımların doğrulanması, hammadde, bileşen, ürün ve hizmetlerin tanımlanması ve izlenmesi, hammadde, bileşen, ürün ve hizmetlerin muayene ve kontrolü, lojistik ve depolama, emisyon ve atıklarla ilgili çevresel faaliyetlerdir. Firma için lojistik ve depolamanın önemi, sipariş edilen hammadde, bileşen, yarı bitmiş ve bitmiş ürünlerin belirlenen hedefe istenen miktarda, kalitede ve sürede taşınırken korunmasını depolanmasını ve temin edilmesini hasar, hata ve karışımları önleyerek güvence altına almaktır.

5.2. Firmanın Üretim Planlama ve Kontrol Yapısı

Firma için üretimin amacı, ürünlerin elde edildiği süreçte, müşteri tarafından istenen belirli ürünlerin doğru miktarda, istenen kalitede ve zamanda üretebilmektir. Üretimin Planlanması

ise müşteri talepleri ışığında yapılmaktadır. Yıllık bütçe planlama süreci boyunca, gelecek bütçe dönemi için gereken ürün çeşidi ve miktar tahminleri pazarlama ve satış tarafından yapılmaktadır. Bu tahminlerden müşteri taleplerini zamanında karşılayacak üretim emirleri oluşturulur. Üretim emirlerinden ayrıntılı ürün sıralarını içeren üretim planı oluşturulur. Üretim sırasını oluşturmada kullanılacak en etkili unsurlar; Stoktaki hammadde, bileşen ve yardımcı ürünler, ihtiyaç olduğunda alınacak ve test edilecek hammadde, bileşen ve yardımcı ürün, uygun ekipman ve binalar, uygun personeldir.

Üretimin süreç operasyonları; İstenen özellikte hammadde, bileşen ve yardımcı ürünler, mevcut üretim siparişini karşılayacak şekilde uygun miktarlarda stoktan çekilmelidir. Daha sonra hammadde işlenir ve bileşenler ürün talimatlarına uygun montaj edilir. Eğer gerekirse üretim ekipmanlarının parametreleri kontrol edilir ve doğru operasyonu gerçekleştirdiklerinden emin olunması için kayıt edilir. Önceden belirlenmiş üretim aşamalarında ve üretimin sonunda kontroller yapılarak ürünün özelliklerini sağladığı kontrol edilir. Kontrol sonuçları yetkili personel tarafından kayıt edilir gözden geçirilir ve sonunda nihai ürünün çıkmasına izin verilir. Uygun testlerin tamamlanmasından önce ilave işleme maruz kalacak ürünler açıkça belirlenmelidir, bu sayede hatalı kullanım ve müşteriye hatalı teslim önlenir. Üretim sırasında belirlenen özelliklerden sapmalar, kayıt altına alınmalıdır ve bunları giderecek uygun düzeltici tedbirler uygulamaya konmalıdır. Sapma durumunda, üretilen ürünler tespit edilmeli, bu ürünlerin ne yapılacağı yetkili kişi tarafından belirlenmelidir. Bu kararlar tartışılmalı ve kayıt altına alınmalıdır. Gerekirse sapmanın sebebi araştırılmalı ve uygun önleyici tedbirler alınmalıdır.

Üretimin Süreç çıktısı; Sipariş edilen ürünün oluşumu ve ilgili üretim dokümanlarının tamamlanmasıdır. Kaydedilmesi gereken üretim dokümanları; kritik süreç parametreleri, süreç içi kontrol sonuçları, üretim koşullarından sapmalar, sapma koşullarındaki ürünlerin telafisi, gerektiği zaman üretimden sapmalara karşı alınacak düzeltici faaliyetler, nihai kontrol sonuçları, yetkili ürün kabulü/reddidir. İhtiyaçları karşılamayan ürünler açıkça tanımlanmalı ve müşteriye ulaşması önlenmelidir. Uygun olmayan ürünler gözden geçirilmeli ve gelecek kullanımları yetkili personelce karara bağlanmalıdır. Uygun olmayan ürünler; koşulları sağlayabilecek derecede tamir edilebilir, kullanım için kabullü veya kabulsüz sağlanabilir, farklı uygulamalar için kullanılabilir, ret edilir veya hurdaya çıkartılır. Uygun olmayan ürünlerin kullanımı ile ilgili kararlar kayıt edilmeli, kullanım riski açısından değerlendirilmeli ve yetkilendirilmelidir. Ürünler uygun depolara taşınmalıdır. Atıklar ayrılmalı, biriktirilmeli ve uygun çevre kanunları ışığında arıtılmalıdır.

Firmada iş akışı Şekil 5.2.'de görüldüğü üzere genel olarak 9 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar;

1. Aşama: Sipariş alımı

1a. Müşteri siparişini yazılı olarak müşteri hizmetlerine gönderir.

1b. Müşteri hizmetleri siparişin üretilebilir olduğunu tespit için üretim bölümüne siparişi mail ile yada yazılı olarak iletir. Üretim bölümü üretim planına ve parça stoklarına bakarak istenilen malın hangi tarihlerde üretilebileceğini tespit eder ve üretimde kullanılacak malzemelerin temininin lojistik tarafından yapılabileceğinin onayını alır. Malın istenilen tarihlerde teslim edilip edilemeyeceğini müşteri servisine bildirir.

2. Aşama: Üretim için hazırlık

2a. Müşteri servisi müşteri ile mutabakat sağlar ve kesin siparişi üretim servisine bildirir.

2b. Üretim servisi bu sipariş için yapacak olduğu üretimin, batch ve lot numaralarını, miktarlarını üretim tarihlerini ve gerekli olan malzemelerin tespitini yapar. Üretim planlaması yaparken SAP üzerinde % 2 oranında genel fire oranını hesaplar ve bu hesaba göre parça ihtiyacını belirler. Bu ihtiyacı lojistik servisine bildirir, üretim planlarını kalite ve lojistik departmanlarına gerekli hazırlıkların yapılması için mail ile gönderir.

2c. Üretim servisi üretimde kullanılacak malzemenin çizimini, üretim kontrol formunu, sipariş formunu, ek parça istem formunu, karton kutu etiketlerini, blisterde basılacak olan etiketin örneğini, SAP üzerinde siparişi ve tüm dokümantasyonu hazırlar ve dosyayı üretim alanına gönderir.

3. Aşama: Parça ve Malzeme Temini

3a. Lojistik ve satın alma bölümü üretimde kullanılacak parça ve malzemeleri temin eder.

3b. Lojistik departmanı günlük üretilmesi gereken setlerde kullanılacak parçaları SAP üzerinden kanban eksiklerini tespit eden programı çalıştırır ve çıkan eksikleri depo elemanı hazırlayarak kanban alanı önüne götürür. Eğer üretimde kullanılacak bazı parçalar el ile takip ediliyor ise bunların ihtiyaçları müşteri ilişkileri sorumlusu tarafından doldurulan malzeme dengeleme formu ile depodan istenir.

4. Aşama: Üretim

4a. Clean room içerisinde istenilen ürün gelen çizimlere uygun bir şekilde üretilir. Üretim sırasında üretim şefleri tarafından gerekli olan proses kontrolleri yapılır ve kayıt altına alınır.

5. Aşama: Kalite Kontrol

5a. Üretim sırasında ve bitiminde kalite kontrol numuneler alır ve teknolojik kontroller yapar.

6. Aşama: Paketleme ve Ambalaj

6a. Üretilen ürünler blister makinesinde paketlenir ve clean room dışına gönderilir. Burada karton kutulara konur, kutular bantlanır, etiketlenir ve paletlere konular sterilizasyona gitmek üzere depo alanı içerisinde uygun bekleme yerlerine gönderilir.

7. Aşama: Sterilizasyon

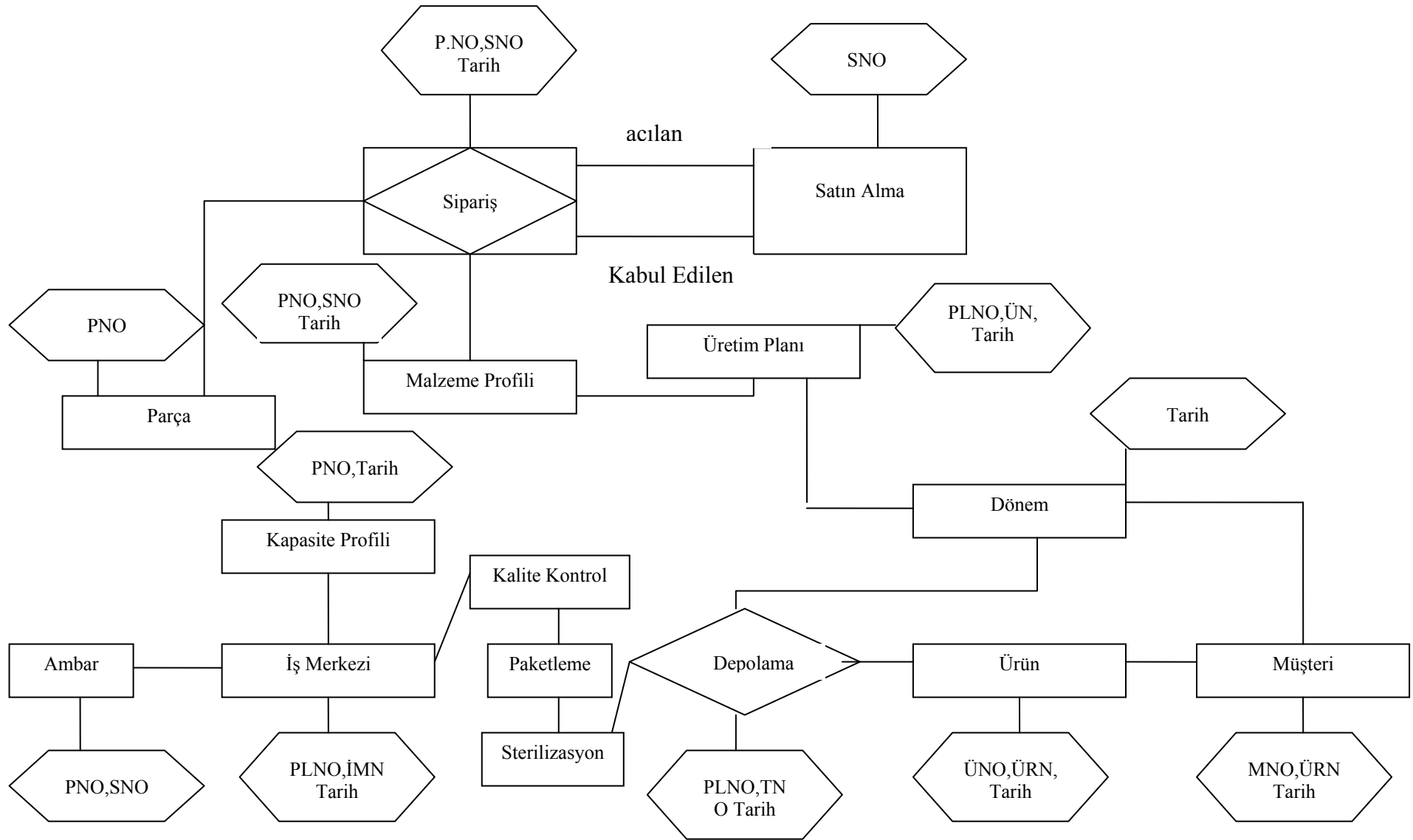
7a. Ürünlerin sterilizasyonu bu alandaki görevliler tarafından yapılır. Tüm sterilizasyon testleri sonuçlandırılır ve depolama için depoya gönderilir.

8. Aşama: Depolama ve Saklama

8a. Depolama ve saklama prosedürlerde yazıldığı şartlara uygun yerlerde yapılır.

9. Aşama: Müşteriye Teslim

9a. Ürünler siparişi veren firmaya gönderilir.



Sekil 5.2. İş akışını ifade eden fonksiyonel iş akışı

İş akışında kalite kontrol ve sterilizasyon önemli bir yere sahiptir. Kalite kontrol faaliyetleri girdi ürün, ara ürün ve bitmiş ürün için yapılmaktadır ve yapılan testler, kalite güvence bölümüne bağlı teknolojik kalite kontrol ve kimyasal-biyolojik kalite kontrol laboratuvarlarında gerçekleştirilmektedir.

Teknolojik Kalite Kontrol Laboratuvarı: Bileşenlerin kontrolünün, sterilizasyon için alınan kutuların ağırlıklarının ölçümünün yapıldığı yerdir. Ayrıca tüm teknolojik performans çalışmalarının yapıldığı laboratuvardır.

Kimyasal–Biyolojik Kalite Kontrol Laboratuvarı: Kalite Güvence bölümü bünyesinde iki kişi yönetici ve üç kişi operatör olarak çalışmaktadır. Operatörlerden iki kişi laboratuvarlarda sürekli bulunurken bir kişi fabrikanın çeşitli bölümlerinde yapılması gereken testler ile meşgul olmaktadır. Laboratuvarında bir adet laminar flow, iki adet inkübatör, bir adet autoclave bulunur. Validasyon için seçilen setler 121°C’de 30 dakikada buhar basıncı ile steril edilir. Ayrıca bir adet mikroskop ve kuru ısı sterilatörü vardır.

Laboratuvarlarda yapılan sterilizasyon testleri aşağıda anlatılmaktadır.

ETO Kalıntı Testi: Gaz Kromatograf adı verilen bir makine yardımı ile yapılmaktadır. Laboratuvarında diyaliz olayını simüle eden bir sistem kurulmuştur. ETO sterilizasyonuna tabi tutulan bir adet set bu sisteme bağlanır ve beş saat boyunca su çevrimi yapılır. Bu su çeşitli zamanlarda alınır ve içindeki ETO miktarının tespiti yapılır. Suyu vücut sıcaklığında tutabilmek için su banyosu kullanılır. 1ml su alınır ve içerisindeki ETO seviyesinin 4,6 miligramdan aşağı olup olmadığı kontrol edilir. Eğer ETO seviyesi bu sınır değerinden fazla çıkarsa gaz giderme aşamasında bir sorun var demektir. Tekrar gaz giderme işlemi için sterilizasyon ünitesine geri gönderilir. Firma da şimdiye kadar yapılan testler sonucunda ETO seviyesi set başına ortalama 1.5 miligramı geçmemektedir.

Biyolojik İndikatör Sterilite Testi: Sterilizasyon aşamasından sonra kalite bölümüne getirilen dummy’lerin kontrolüdür. Sporların besi yerlerine ekimi yapılır ve 7 gün beklenir. Eğer sporlarda üreme görülür ise sterilizasyon geçersizdir. Üreme görülmemesi durumunda sterilizasyonun geçerliliği onaylanır.

Bioburden Testi: Őu anda yapılmasa bile firmanın ilerideki hedefleri arasındadır. Őu anda bu test tedarik zincirinde yer alan başka bir firmaya yaptırılmaktadır. Sterilizasyon öncesinde ürün içinde yaşayan toplam mikroorganizma sayısının belirlenmesidir. Sterilizasyona girmemiş ürünlerden örnekleme yapılır. Bakteriler için 32,5°C’de 3 gün, mayalar için 22,5°C’de 4 gün bekletilir. Bu test sterilizasyon parametrelerinin geliştirilmesinde kullanılır ve bu test sayesinde üretim aşamasında operatörlerden setlere ne oranda bulaşma olduğu anlaşılabilir.

Biyolojik İndikatör Populasyon Testi: Biyolojik indikatörün satın alındığı tedarikçinin sertifikasında bulunan sayının kontrolüdür. Populasyon sayımı yapılır.

Broth Fertilité Testi: Besi yerlerinde mikroorganizmaların üreyip üreyemediğinin kontrolüdür. Yapılan tüm testlerde biri mantar diğeri bakteri üretiminde etkili olan iki adet besi yeri kullanılır.

Gram Testi: Biyolojik indikatör sterilite testinde herhangi bir kültürde üreme olursa bu üremenin biyolojik indikatörden mi yoksa operatörden mi kaynaklandığını anlamak için yapılan testtir. İnsanlardan bulaşan bakteriler gram (+) pozitifdir.

LAL Testi: Endotoksin tayinidir. Gram(-) negatif mikroorganizmaların hücre duvarlarında endotoksin bulunur. Bir çeşit protein olduğu için sterilizasyon ile öldürülemez, toksit etkiye sahiptir, hastada ateşe neden olur.

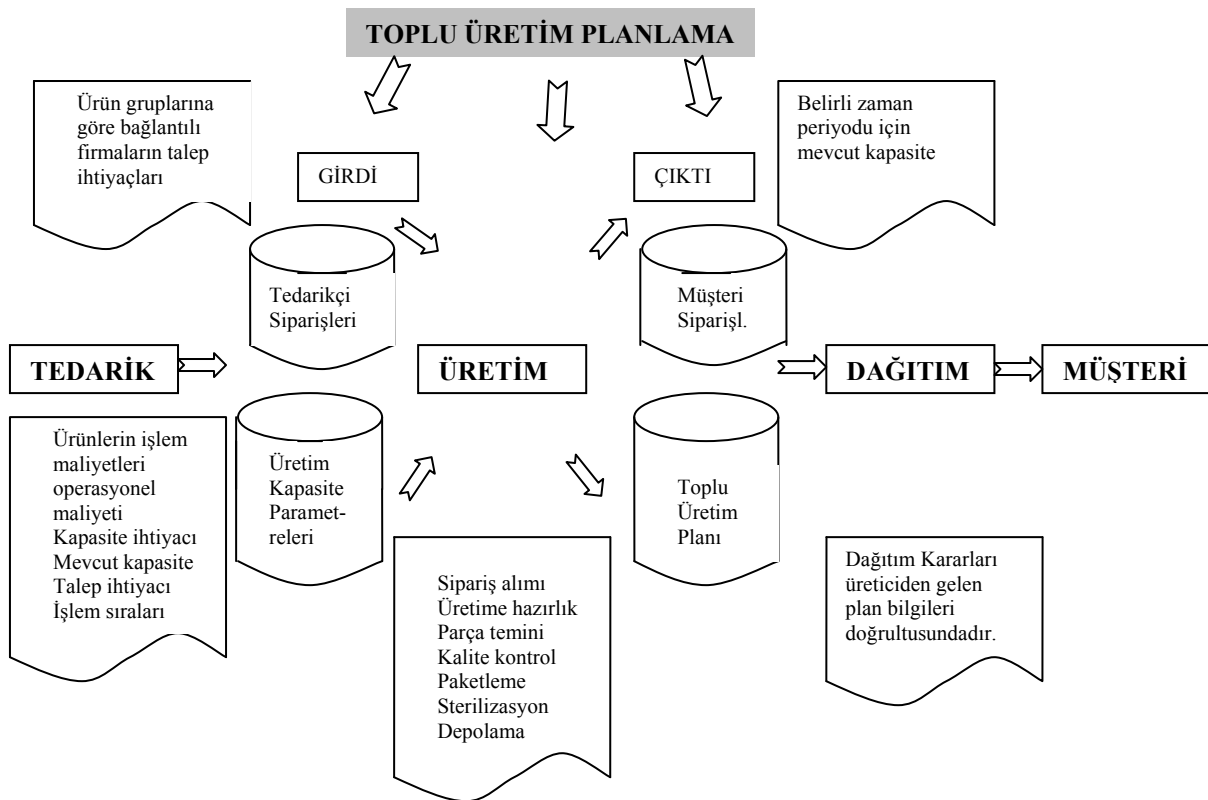
Partikül Sayım Testi: Koşullandırılmış odada yapılan bir testtir. Class-100000’ göre 1ft³ havada 0,5 mikron metre ve üstü partiküller 100000 adet in altında olmalıdır. İkinci bir kısıt ise 5 mikron metre büyüklüğündeki partikül sayısının 700 adedi geçmemesi gerekir. Özel bir teknik kullanılarak partikül sayımı yapılır. Kritik durumlarda Teknik bölüm haberdar edilir ve acil olarak önlem alınır.

SAS Testi: Koşullandırılmış odadaki yüzeylerin ve havanın mikrobiyolojik kontrolünde uygulanan bir testtir. Aplikatör denilen cihaz ile yüzeylerdeki ve havadaki mikroorganizma sayısı tespit edilir. Ayrıca koşullandırılmış odada ürünün yapıştırma etkinliğı ve sızıntı etkinliğini ölçmek için testler yapılır. Kalite bölümü ayrıca laboratuarlarda bulunan cihazların kalibrasyonundan da sorumludur.

5.3. Firmanın Toplu Üretim Planlama Yapısı

Toplu üretim planlama etkin olmak üzere, tedarik zinciri boyunca girdilere ihtiyaç duyar, ilk başta firmanın girdilerini müşteri siparişlerinin alımı oluşturur. Bu girdilerin tedarik zinciri performansı üzerinde büyük etkisi vardır. Toplu üretim planlarını yapmak üzere firmanın planlama bölümü etkindir ve koordineli çalışmaktadır. Planlamacılar verilen dönem üzerinde, üretimde bir artış planlarsa, tedarikçi, taşıyıcı ve depocu bu plandan haberdar olup artışı kendi planları ile birleştirir.

Tedarik zinciri sürecinin ilk aşamasında, tedarikçi üretim kapasitesini değerlendirerek bir toplu üretim plan hazırlamaktadır. Burada malzeme seçimi, parçaların iş programları, işgücü-kapasite tahmini ve tüm operasyonların maliyetleri esastır ve bütünlük gerektirir.

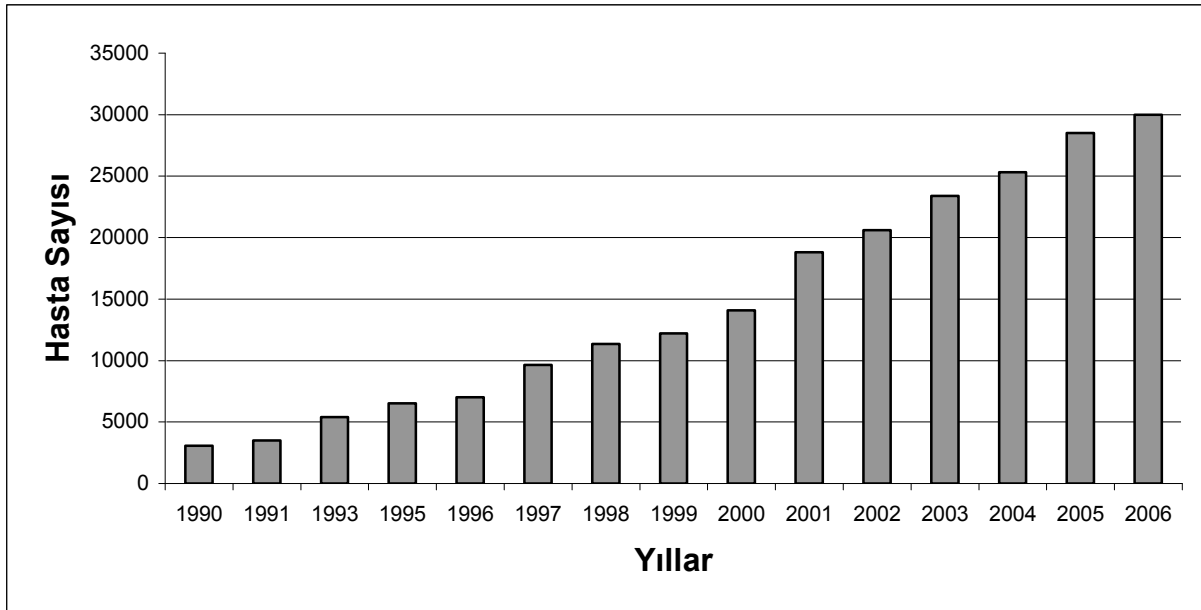


Şekil 5.3. Firmanın toplu üretim planlama sürecinin veri akışı

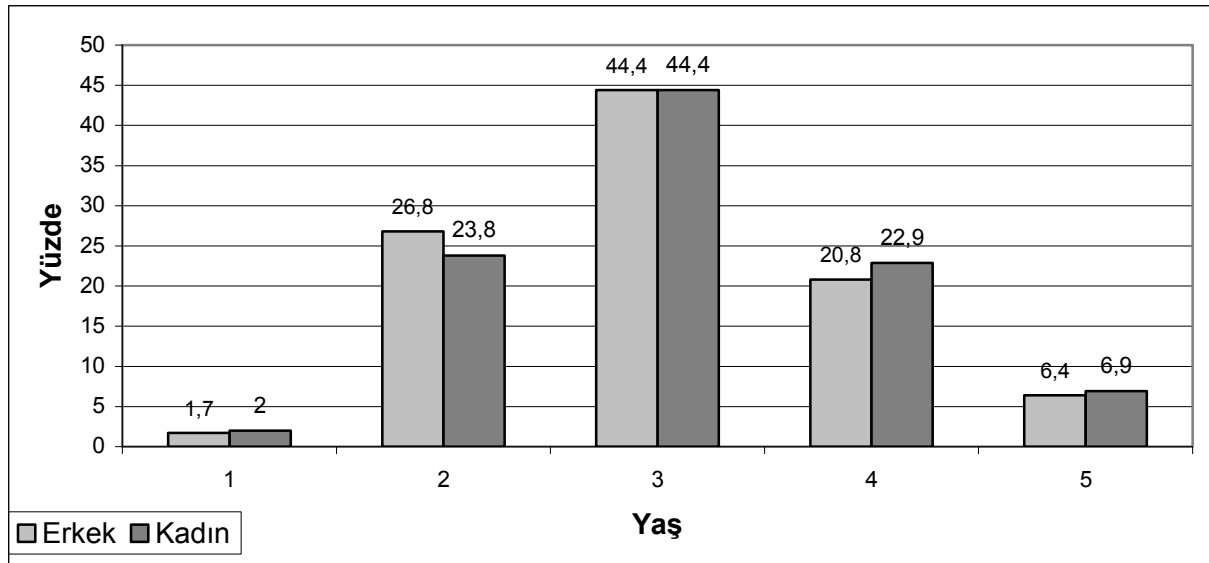
Şekil 5.3. tedarik zincirinde yer alan firmanın toplu üretim planlama sürecinin veri akışını vermektedir. Tedarikçinin üretim ve kapasite parametreleri ve müşteriden gelen talep bilgilerini, operasyon maliyetlerini kapasite ihtiyaçlarının kullanılabilirliği ve işlem listelerini

oluşturur. Tüm bu bilgiler toplu üretim planlama sürecinde gözden geçirilir. İş akış biçimi üretim birimleri arasındaki planlı malzeme geliş gidişlerini belirler.

Toplu üretim planı hazırlayan firma yöneticileri, beklenen talebin miktar ve zamanlaması ile ilgilenirler amaç tüm planlama ekseninde talep ve kapasitenin yaklaşık olarak eşitliğini sağlamaktır. Kapasite ve talep seçeneklerinin her biri etkin toplu plan oluşturmasına rağmen, üretici firma kapasite ve talep seçeneklerinin kullanıldığı karma stratejileri uygulamaktadır. Talep seçenekleri için pazarlama departmanından gelecek talep tahminleri esas alınır. Türkiye’de X hastaları için kullanılan setlerin üretimi iki firma tarafından gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.4. Türkiye’de yıllara göre X hasta dağılımını ve Şekil 5.5. Türkiye’deki X hastalarının yaşlarına göre dağılımını vermektedir. Bu tablolar talep bilgisini oluşturmak açısından önemlidir. Kapasite seçenekleri için bitmiş ürün stoklarının kullanılması, her ne kadar bunların ihtiyaç duyuluncaya kadar stokta bekletilmesi elde bulundurma maliyetini artırsa da firma bunlar sayesinde talebi karşılamaya çalışmaktadır.



Şekil 5.4. Türkiye’de yıllara göre X hasta sayısı dağılımı



Şekil 5.5. Türkiye’de X hastalarına göre yaş dağılımı

5.4. Metodoloji

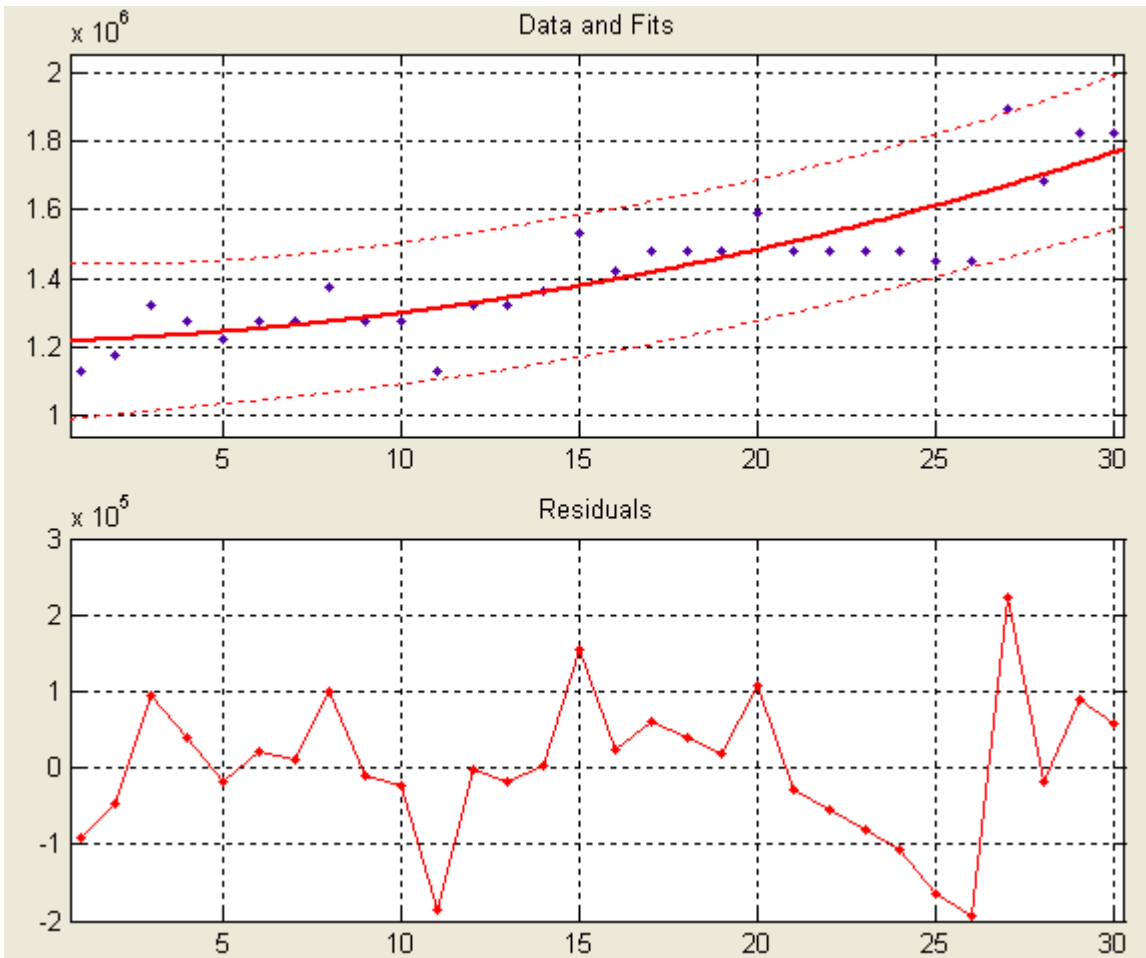
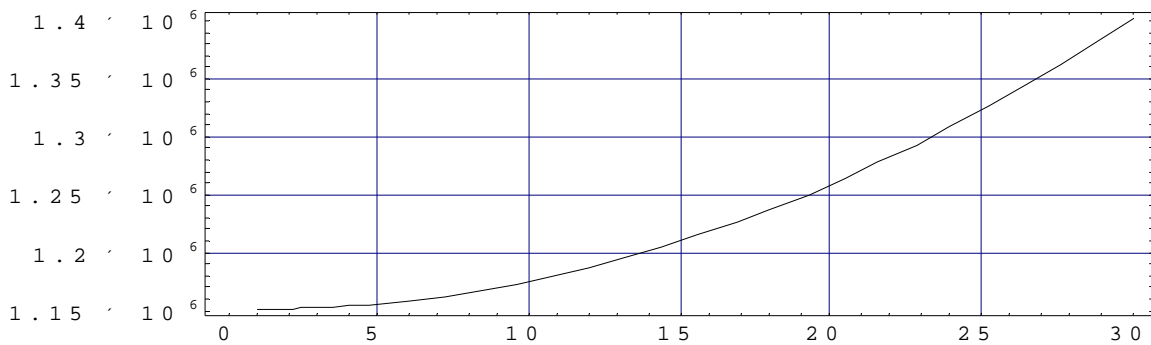
Çalışmada izlenen metodoloji genel olarak 6 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama verilerin toplanarak analiz ve model çalışması için uygun veri setlerine dönüştürülmesidir. İkinci aşamada veriler model üzerinde çalıştırılmıştır. Üçüncü aşamada modelin ürettiği sonuçlar ile mevcut durumun karşılaştırması yapılmıştır. Dördüncü aşamada model talep tahminleri kullanılarak gelecek 6 aylık dönem için çalıştırılmıştır. Beşinci aşamada model parçalı dönemlerle ifade edilerek fiili durumu temsil etme gücü yorumlanmıştır. Altıncı aşamada model 3’er aylık dönemler halinde çalıştırılmak suretiyle maliyet karşılaştırmaları yapılmak üzere kullanılmıştır.

Çalışma için firmanın özel veri tabanından temin edilen veriler, Microsoft Excel ortamına aktarılmıştır. Verilerin dağılımına ilişkin grafik ve fonksiyonlar Matlab 7.3.0. ve diğer analizler ise Mathematica 5.2 paket programları kullanılarak hazırlanmıştır.

5.3.1. Verilerin Toplanması

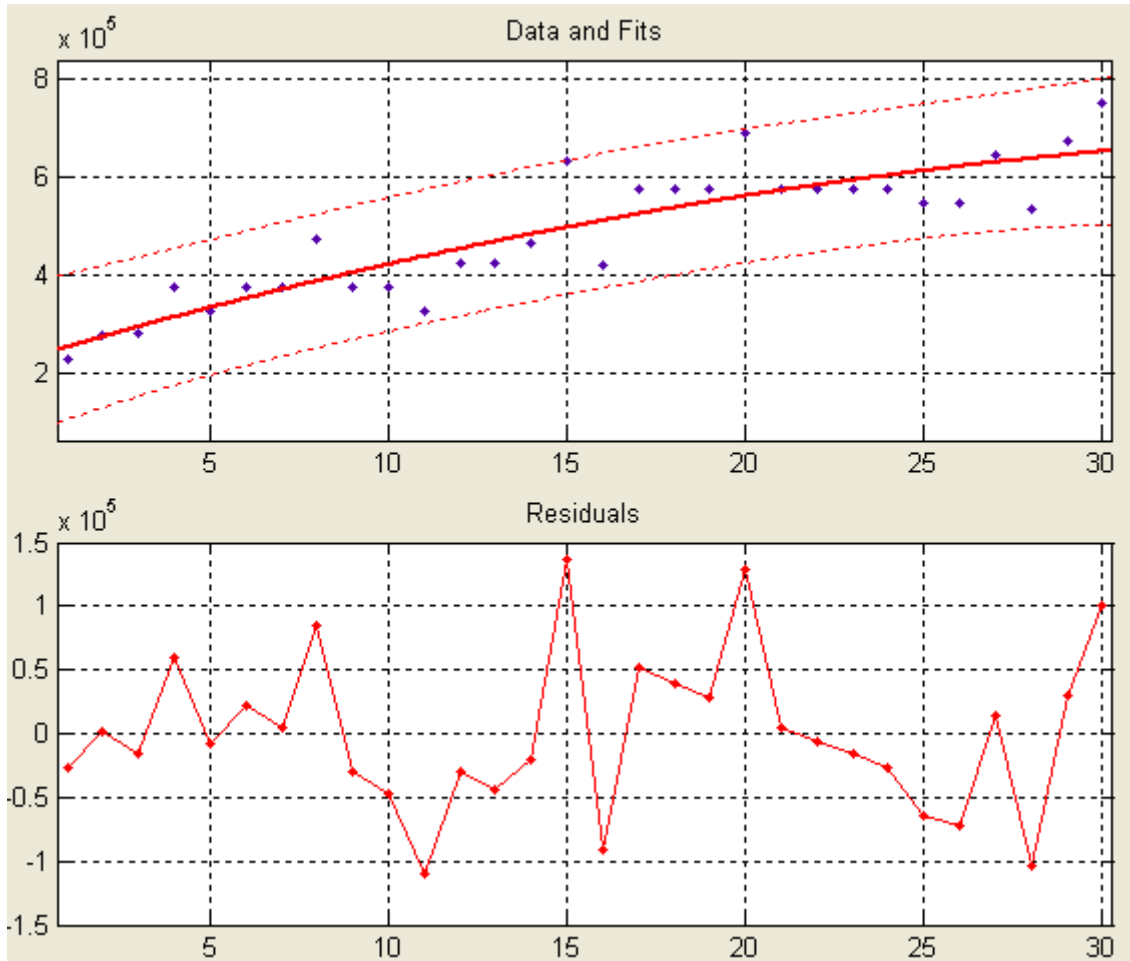
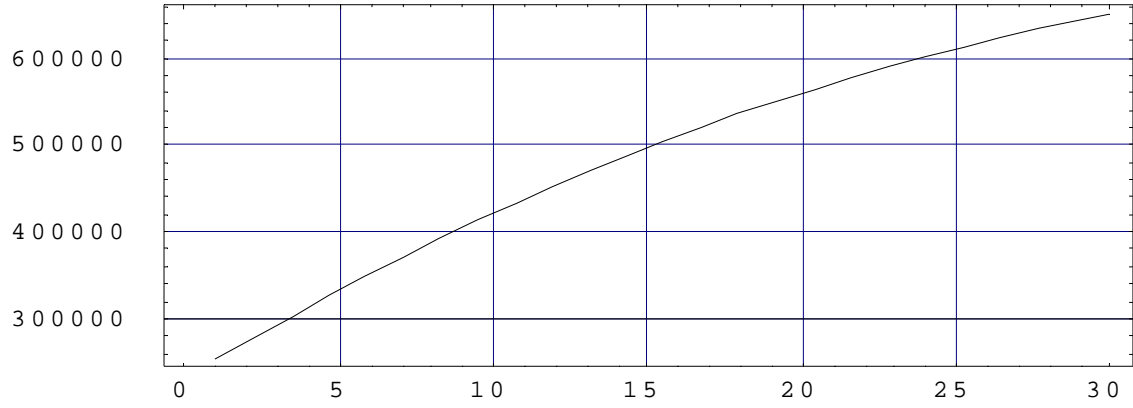
Toplanan veri Ocak–2005 ve Haziran–2007 tarihlerin arasını kapsayan 30 aylık bir döneme aittir. Firmada planlama ile ilgili veriler her yılın Ocak ayında yapılarak bir yılı kapsamaktadır. Fiili veriler ise her ay için girilmiştir. Özel bir paket programda kullanılan veriler Microsoft Excel ortamına aktarılmıştır(EK 1.).

İlk aşamada, modeli çalıştırmak üzere kullanılacak planlanan üretim ve stok verilerine ait uygun grafikler ve fonksiyonlar, önce Mathematica 5.2’de sonra Matlab 7.3.0. da karşılaştırma yapabilmek üzere oluşturulmuştur (Şekil 5.6., Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.). Elde edilen fonksiyonlar, doğrusal, kuadratik ve kubik denklem alternatiflerine göre değerlendirilmiştir. Bu alternatifler arasından içsel korelasyonu nispi olarak düşük, belirlilik katsayısı (R^2) açısından yüksek ve standart hata değerleri açısından düşük değerlere sahip en uygun fonksiyonlar seçilmiştir.



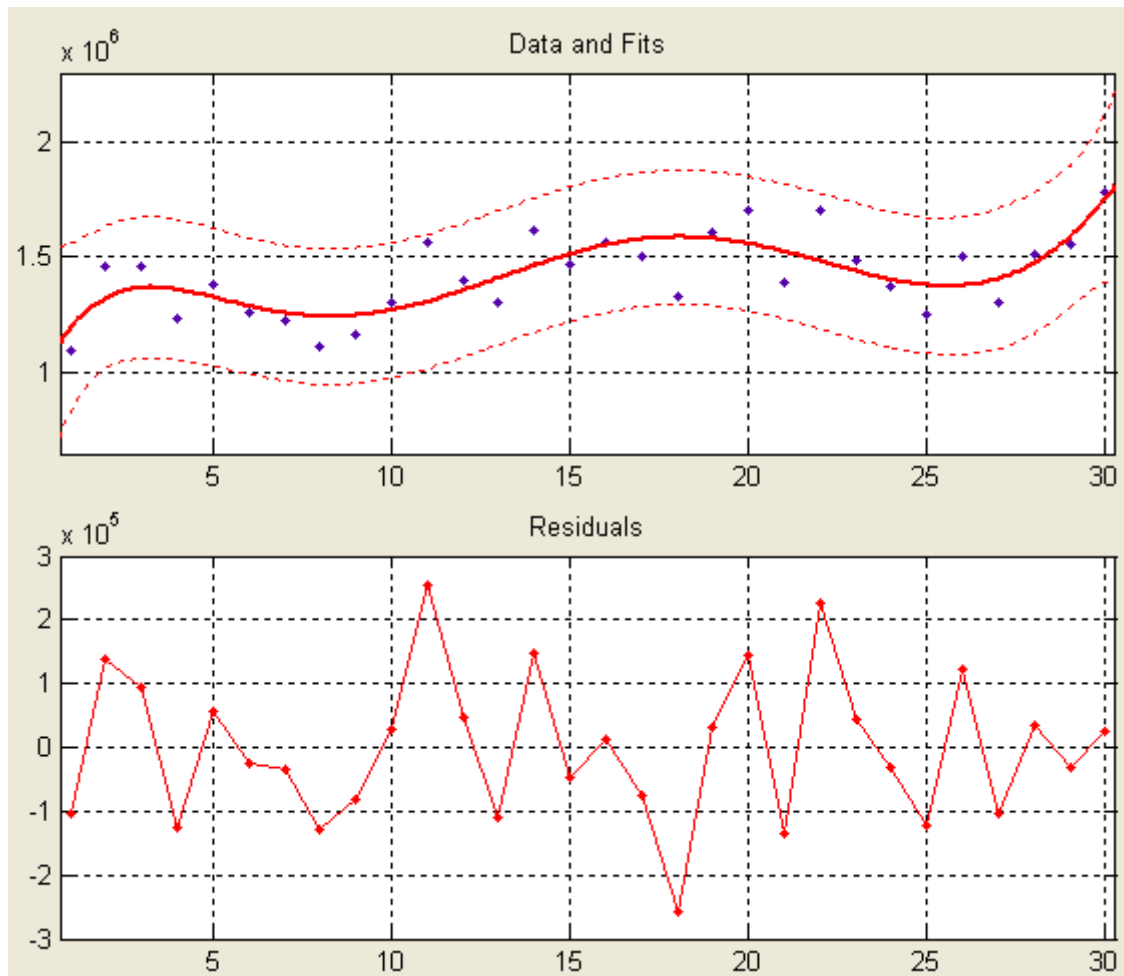
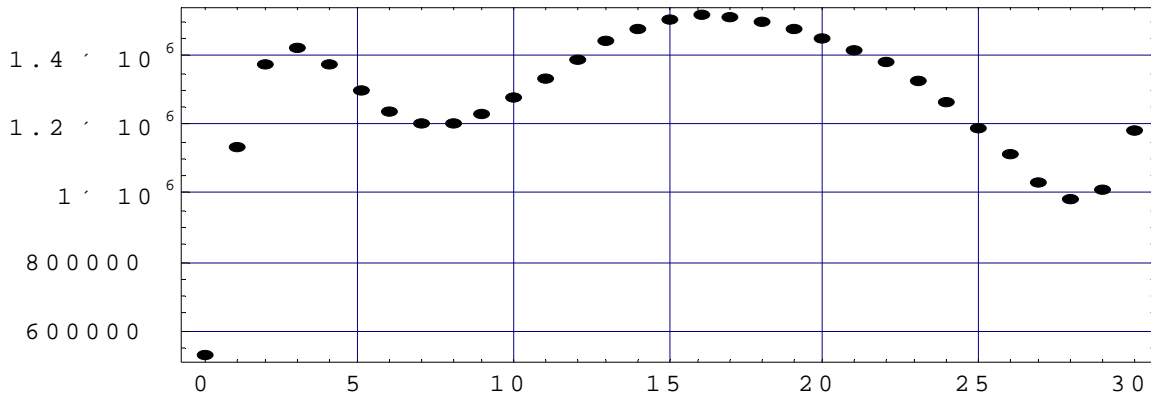
Şekil 5.6. Planlanan üretim verilerine uygun grafik

Planlanan üretim verilerinden elde edilen en uygun fonksiyon,
 $299.1849575x^2-652.117442x+1151670.095$ olarak belirlenmiştir. Fonksiyonunun R^2 değeri:
 0.76 ve standart hatası: 2.55 dir.



Şekil 5.7. Planlanan stok verilerine uygun grafik

Planlanan stok verilerinden elde edilen en uygun fonksiyon,
 $-244.7484159x^2+21265.06096x+232912.7975$ olarak belirlenmiştir. Fonksiyonunun R^2
 değeri: 0.79 ve standart hatası: 1.11 dir.



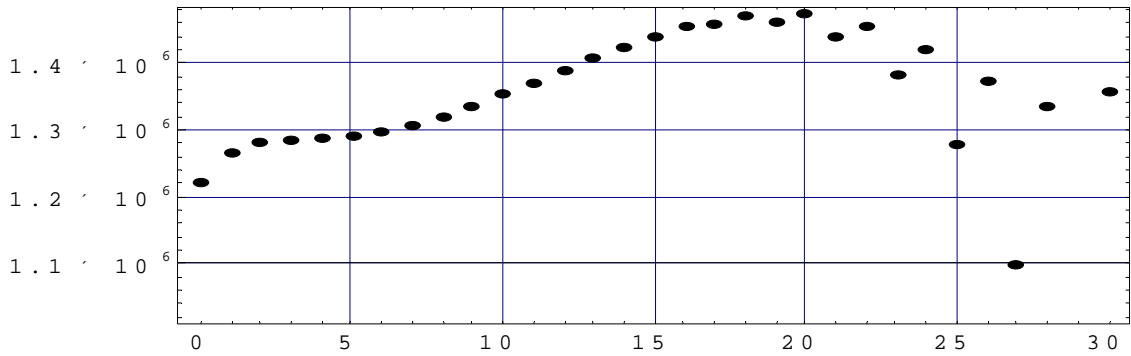
Şekil 5.8. Fiili talep verilerine uygun grafik

Fiili talep verilerinden elde edilen en uygun fonksiyon,
 $-118.4205296x^3+3999.073298x^2-25819.18214x+1315333.856$ olarak belirlenmiştir.
 Fonksiyonunun R^2 değeri: 0.56 ve standart hatası:3.96 dir. Talep verilerine zaman serileri analizi uygulanmış ve mevsimsel ve konjonktürel etkilerin görülmediği, verilerin düzensiz ve artan bir eğilime sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

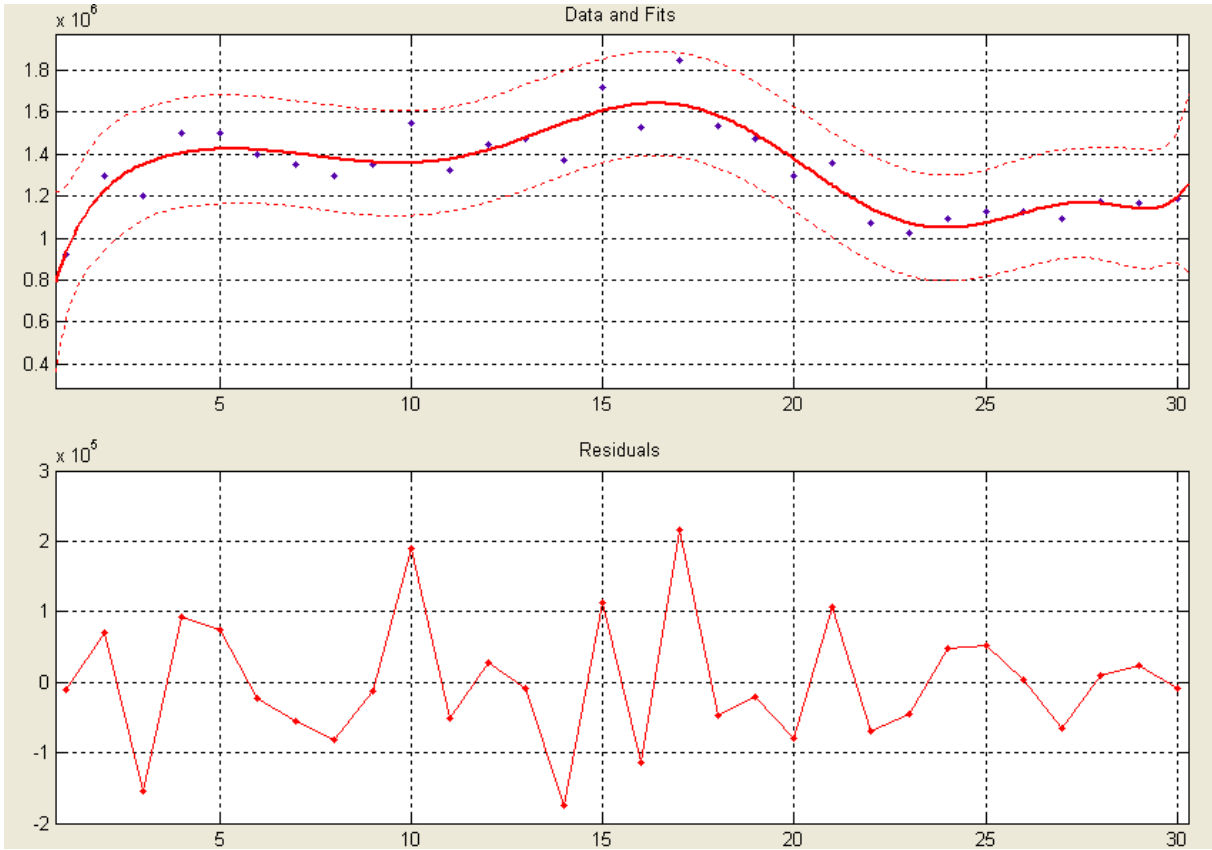
5.3.2. Modelin Çalıştırılması ve Sonuçların Karşılaştırılması

Modelin çalıştırılması ile fiili üretim ve fiili stok grafiklerine ulaşılabacaktır. Bu durumda elde edilen grafikler fiili durumu ifade eden üretim ve stok verilerine ait regresyonların oluşturduğu grafiklerle karşılaştırılması sonucu planlama performansı ortaya çıkacaktır.

Modeli 30 Aylık Verilerle Çalıştırma: Model ilk aşamada, aylık olarak alınan toplam 30 veriden elde edilen regresyon denklemleri kullanılarak Mathematica 5.2.'de çalıştırılmıştır. Modelin çözümü ile elde edilen üretim ve stok grafikleri ile fiili durumu yansıtan Matlab 7.3.0'dan elde edilen üretim ve stok grafikleri ve bunlara ait regresyon denklemleri aşağıda görüldüğü üzeredir (Grafik 5.9., 5.10., 5.11., 5.12.). Modelde iki kök denkleminin bulunması nedeniyle çözüm sonucu oluşan grafiğin seyri serinin belli bir değerinden sonra farklı gidişata sahiptir. İki durumdan hangisinin esas alınacağına fiili rakamları temsil eden grafikler yardımıyla karar verilmektedir. Şekil 5.9.'un Şekil 5.10 ile uyumuna bakılarak pozitif kök ile elde edilen sonuç dikkate alınmıştır. Firmadan alınan 30 aylık fiili üretim ve stok verileri EK 2.'dedir.



Şekil 5.9. Modelden elde edilen fiili üretim grafiği



Şekil 5.10. Firmanın fiili üretim verilerinden elde edilen grafiği

Fiili üretim verilerinden elde edilen en uygun fonksiyon seçilerek,

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

Katsayılar (%95 güven sınırlarında):

$$p1 = 0.000323 \quad (-0.0001984, 0.0008444)$$

$$p2 = -0.04316 \quad (-0.116, 0.02967)$$

$$p3 = 2.394 \quad (-1.899, 6.687)$$

$$p4 = -71.61 \quad (-210.5, 67.31)$$

$$p5 = 1262 \quad (-1427, 3951)$$

$$p6 = -1.36e+004 \quad (-4.541e+004, 1.82e+004)$$

$$p7 = 9.145e+004 \quad (-1.338e+005, 3.167e+005)$$

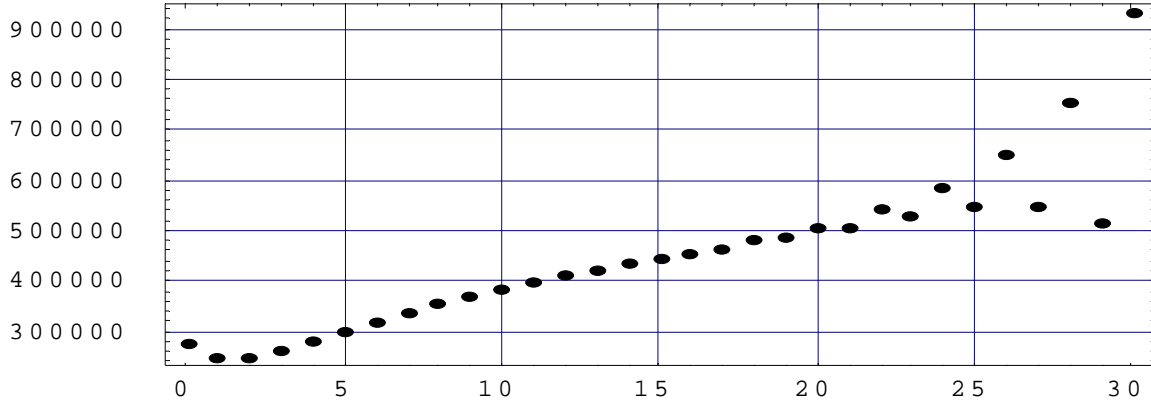
$$p8 = -3.877e+005 \quad (-1.283e+006, 5.073e+005)$$

$$p9 = 9.864e+005 \quad (-7.493e+005, 2.722e+006)$$

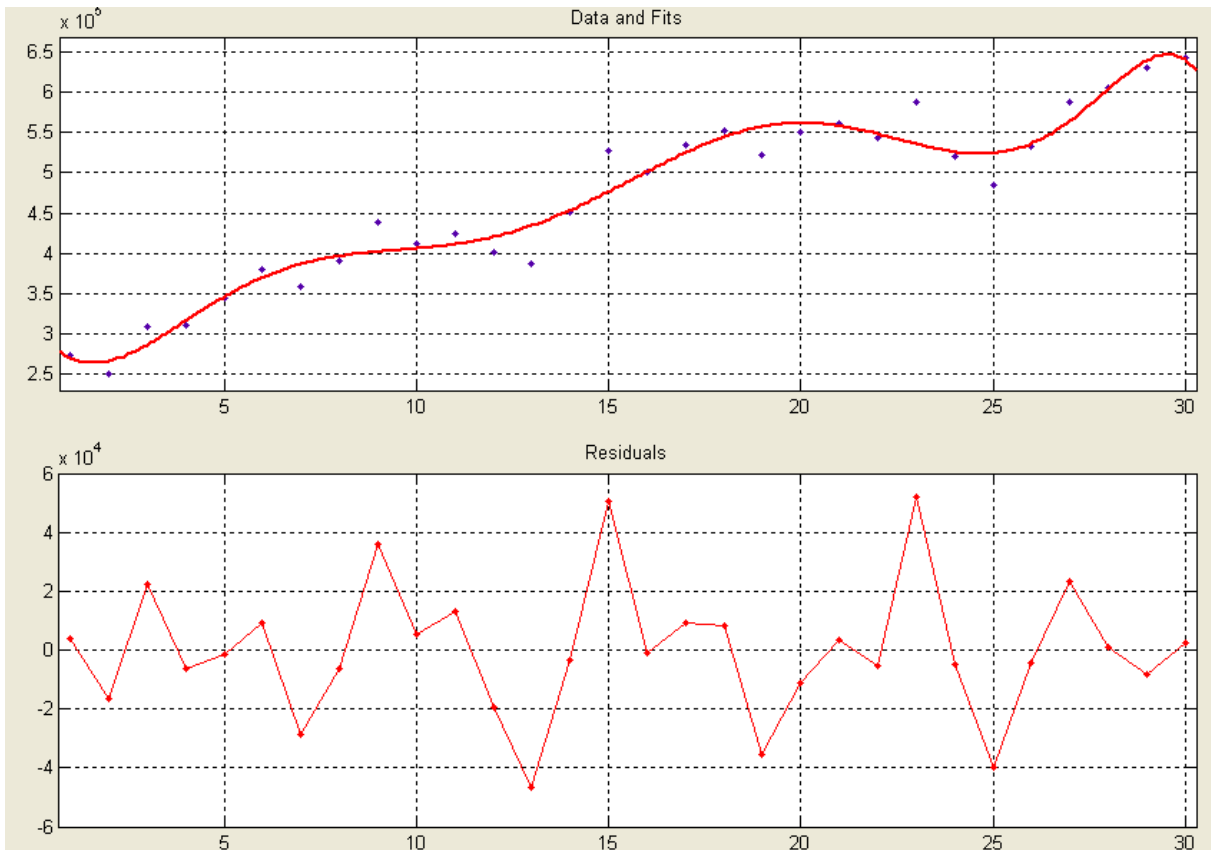
$$p10 = 2.56e+005 \quad (-9.191e+005, 1.431e+006)$$

Standart Hata: 2.333e+011

Belirlilik katsayısı: 0.8181 elde edilmiştir.



Şekil 5.11. Modelden elde edilen fiili stok grafiği



Şekil 5.12. Firmadan alınan fiili stok verilerinin grafiği

Fiili stok verilerinden elde edilen en uygun fonksiyon seçilerek,

$$f(x) = p1*x^9 + p2*x^8 + p3*x^7 + p4*x^6 + p5*x^5 + p6*x^4 + p7*x^3 + p8*x^2 + p9*x + p10$$

Katsayılar (%95 güven sınırlarında):

$$p1 = 8.906e-007 \quad (-0.0001309, 0.0001327)$$

$$p2 = -0.0004434 \quad (-0.01886, 0.01797)$$

$$p3 = 0.03645 \quad (-1.049, 1.122)$$

$$p4 = -1.11 \quad (-36.23, 34.01)$$

$$p5 = 9.553 \quad (-670.3, 689.4)$$

$$p6 = 182.4 \quad (-7858, 8223)$$

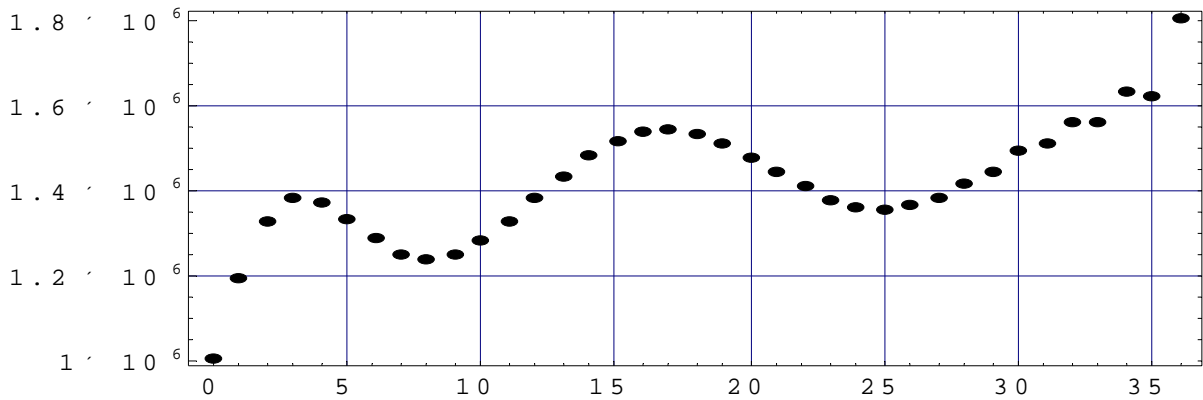
$$\begin{aligned}
 p7 &= -4546 \quad (-6.149e+004, 5.24e+004) \\
 p8 &= 3.417e+004 \quad (-1.921e+005, 2.604e+005) \\
 p9 &= -7.742e+004 \quad (-5.162e+005, 3.614e+005) \\
 p10 &= 3.181e+005 \quad (2.098e+004, 6.152e+005)
 \end{aligned}$$

Standart Hata: 1.491e+010

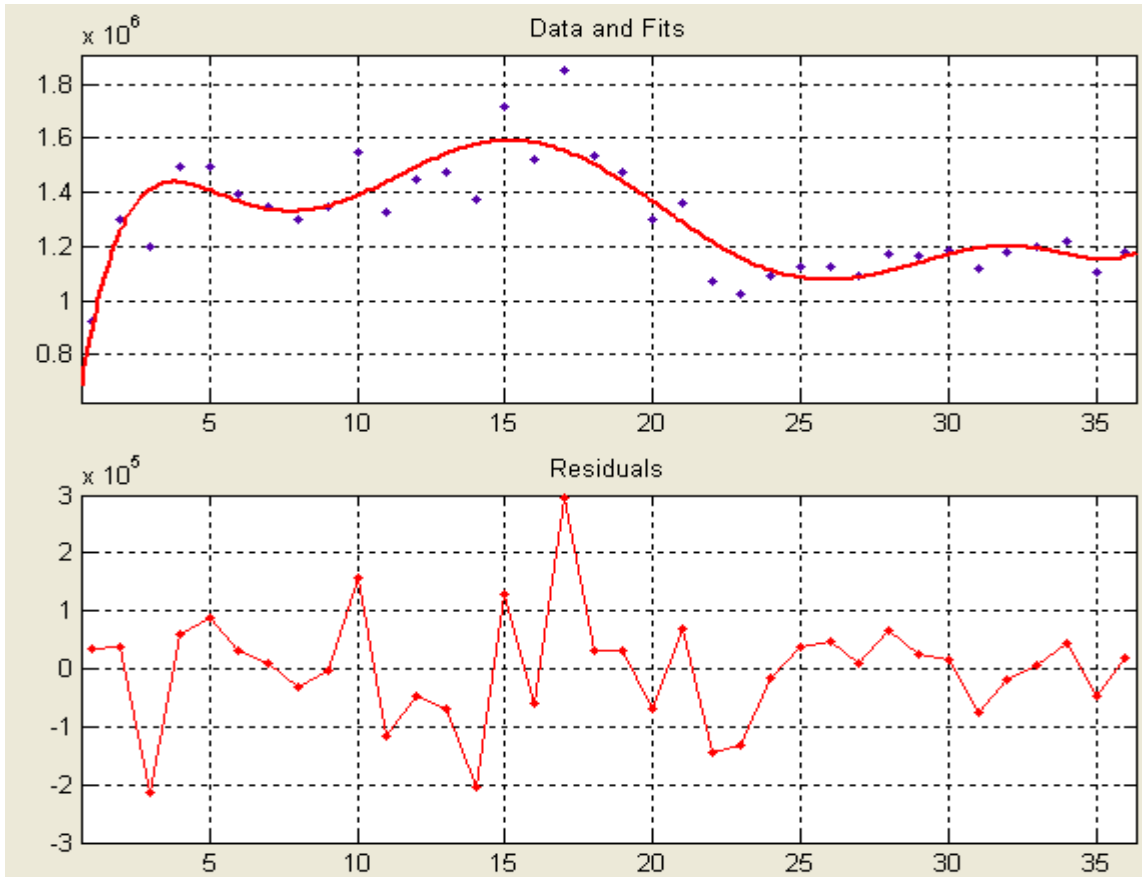
Belirlilik katsayısı: 0.9567 elde edilmiştir.

Modelin çalıştırılması ile elde edilen fiili üretim ve stok grafikleri ile firmadan alınan aynı döneme ait fiili üretim ve stok grafikleri karşılaştırıldığında uyum içinde ve bu durumda planlama performansının yüksek olduğu görülmektedir. Modelin Mathematica 5.2'de çalıştırılması sonucu elde edilen çıktılar EK 3.'tedir.

Modeli 36 Aylık Verilerle Çalıştırma: Modeli bir aşama daha ilerletebilmek üzere, 30 aylık veriden sonra 6 aylık veri daha ilave ederek tekrar çalıştırılmıştır. Ancak 6 aylık veri gelecek dönemi yansıttığı için modelde fiili talep verileri yerine 6 aylık talep tahmini verisi pazarlama bölümünü ile yapılan çalışma neticesinde alınarak kullanılmıştır. Burada amaç, modeli geçmiş dönemlerin yanı sıra gelecek dönemler içinde çalıştırmanın önemidir. Son 6 aya ait fiili talep verileri ile talep tahmini kullanılarak elde edilen grafikler performansı görmek açısından karşılaştırılmıştır. 36 aylık fiili üretim ve stok grafiği modeli çalıştırmak suretiyle Grafik 5.13., 5.14. ve 5.15., 5.16.' de elde edilmiştir.



Şekil 5.13. Modelden elde edilen 36 aylık fiili üretim grafiği



Şekil 5.14. Firmadan alınan 36 aylık fiili üretim grafiği

Fiili üretim verilerinden elde edilen en uygun fonksiyon seçilerek,

$$f(x) = p_1 * x^7 + p_2 * x^6 + p_3 * x^5 + p_4 * x^4 + p_5 * x^3 + p_6 * x^2 + p_7 * x + p_8$$

Katsayılar (%95 güven sınırlarında):

$$p_1 = 0.01048 (0.003884, 0.01707)$$

$$p_2 = -1.466 (-2.322, -0.6104)$$

$$p_3 = 81.72 (37.26, 126.2)$$

$$p_4 = -2304 (-3483, -1125)$$

$$p_5 = 3.456e+004 (1.77e+004, 5.142e+004)$$

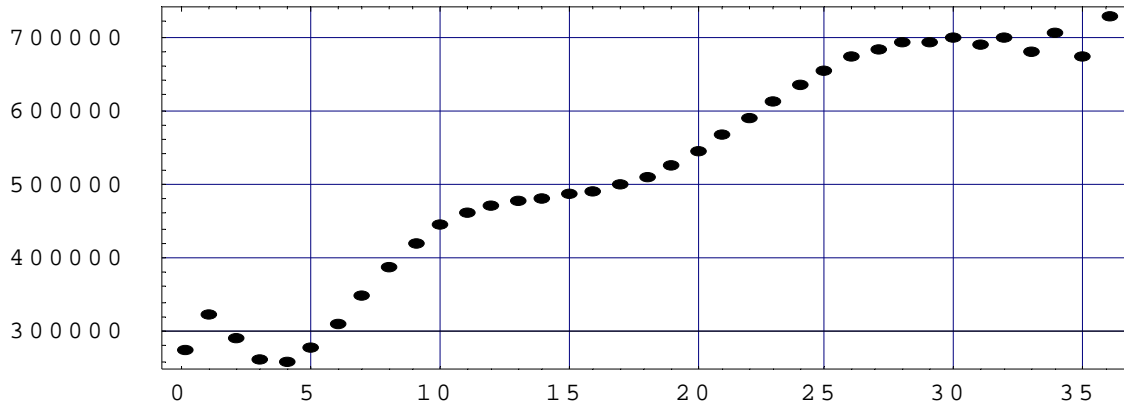
$$p_6 = -2.674e+005 (-3.931e+005, -1.416e+005)$$

$$p_7 = 9.638e+005 (5.331e+005, 1.395e+006)$$

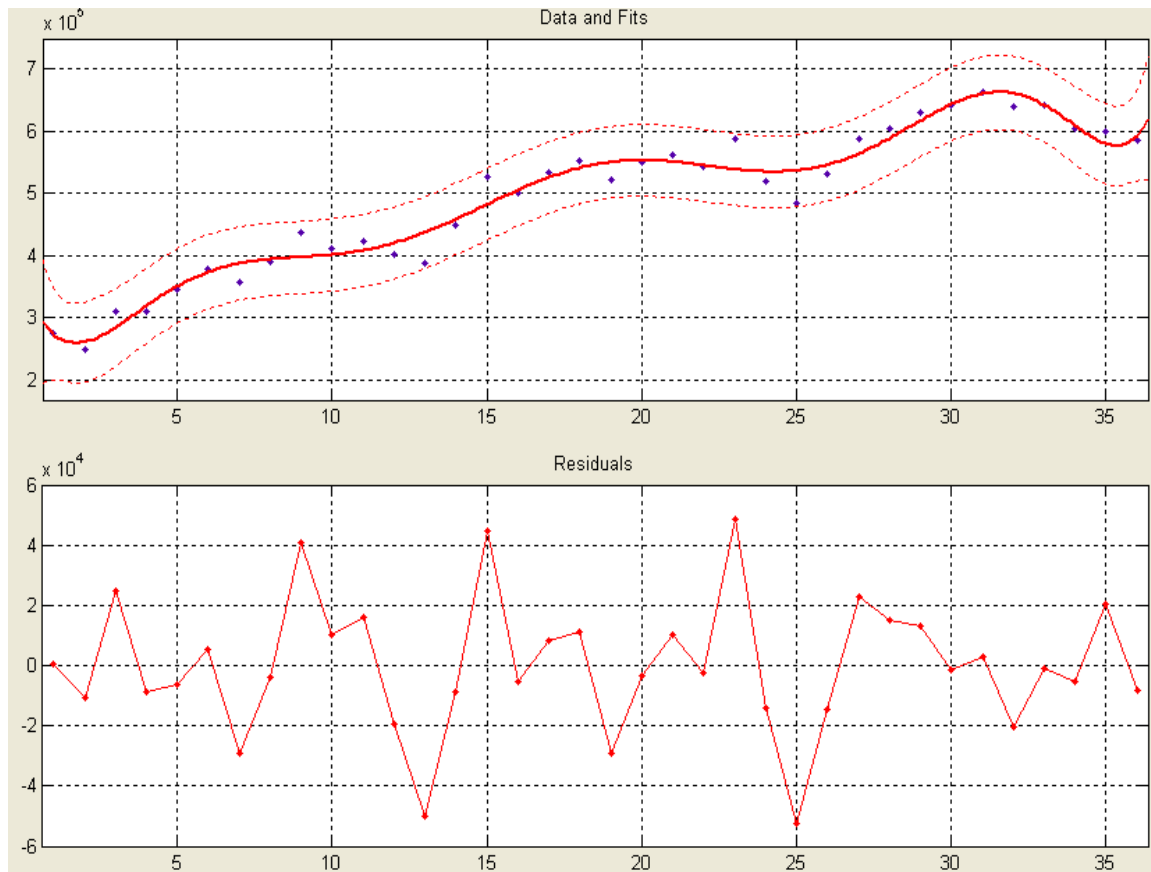
$$p_8 = 1.608e+005 (-3.259e+005, 6.475e+005)$$

Standart Hata: 3.255e+011

Belirlilik Katsayısı: 0.7706 elde edilmiştir.



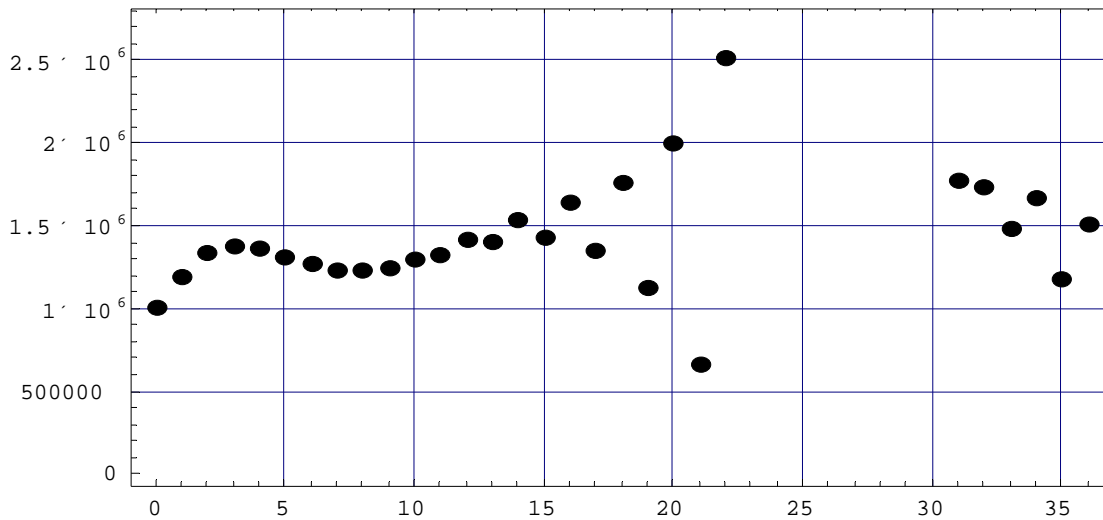
Şekil 5.15. Modelden elde edilen 36 aylık fiili stok verileri grafiği



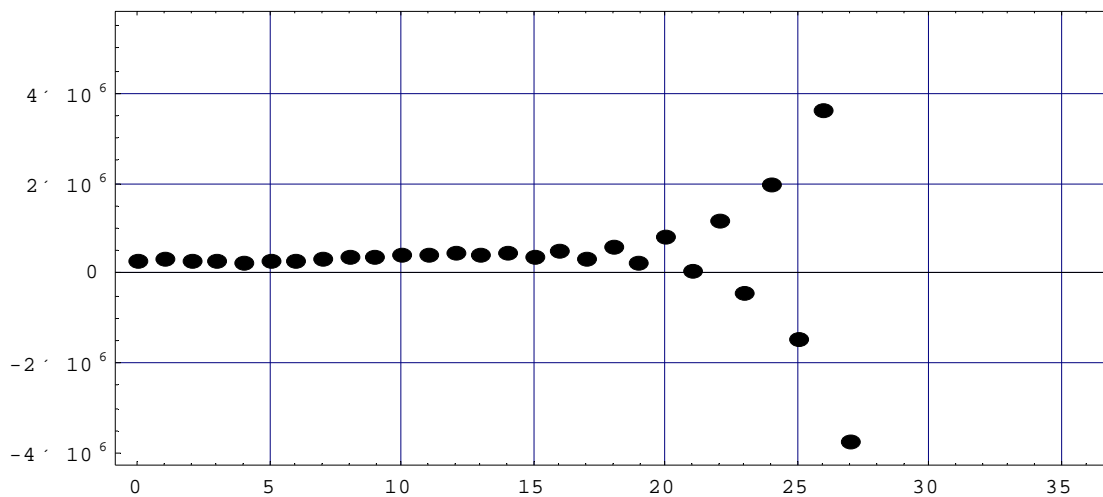
Şekil 5.16. Firmadan alınan 36 aylık fiili stok verileri grafiği

Modelin gelecek dönemler için talep tahmini verileri ile çalıştırılması ve sonuçların firmanın fiili üretim ve stok verileri ile karşılaştırıldığında grafiklerin uyum içinde olduğu ve gerçek durumu iyi bir performansla yansıttığı görülmektedir. Ancak burada son altı ay için modelin kök denklemlerinden dolayı ortaya çıkan grafiklerden de görüldüğü üzere negatif köke göre çözümü tercih etmenin daha mantıklı olacağı sonucuna ulaşılmaktadır. Modelin Mathematica 5.2'de çalıştırılması sonucu elde edilen çıktılar EK 4.'tedir.

Modelin Parçalı Çalıştırılması: Zaman skalası analizinin önemli bir özelliği elde edilen model çözümünün her dönem için ayrı ayrı çalıştırılarak bütünü görülebilmesidir. Dolayısıyla verilere yenilerinin eklenmesi ile elde edilen durumda model her seferinde baştan çalıştırılmak üzere yeni regresyon denklemleri hesaplamak yerine, her eklenen veri seti için çalıştırılacaktır. Bu amaçla 30 aylık veri için çalıştırılan modele 6 aylık veri seti daha çalıştırılarak Şekil 5.17. ve 5.18. elde edilmiştir.



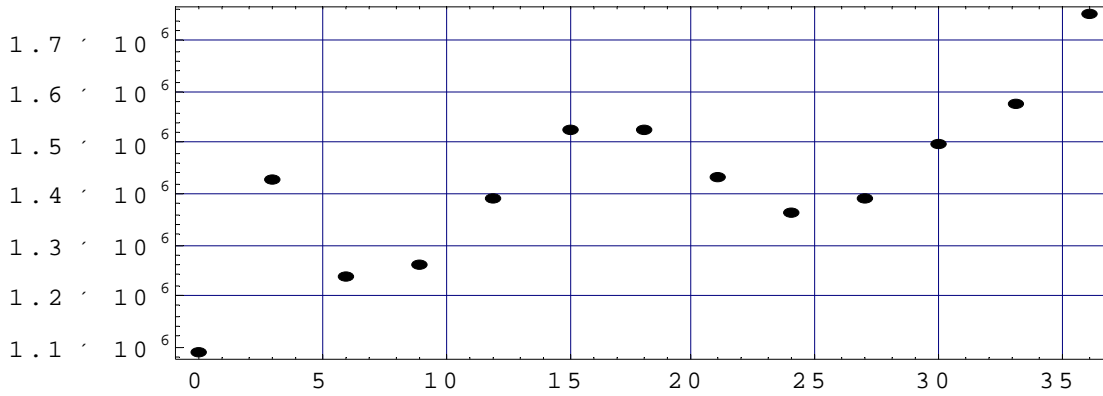
Şekil 5.17. Modelin 36 aylık parçalı fiili üretim grafiği



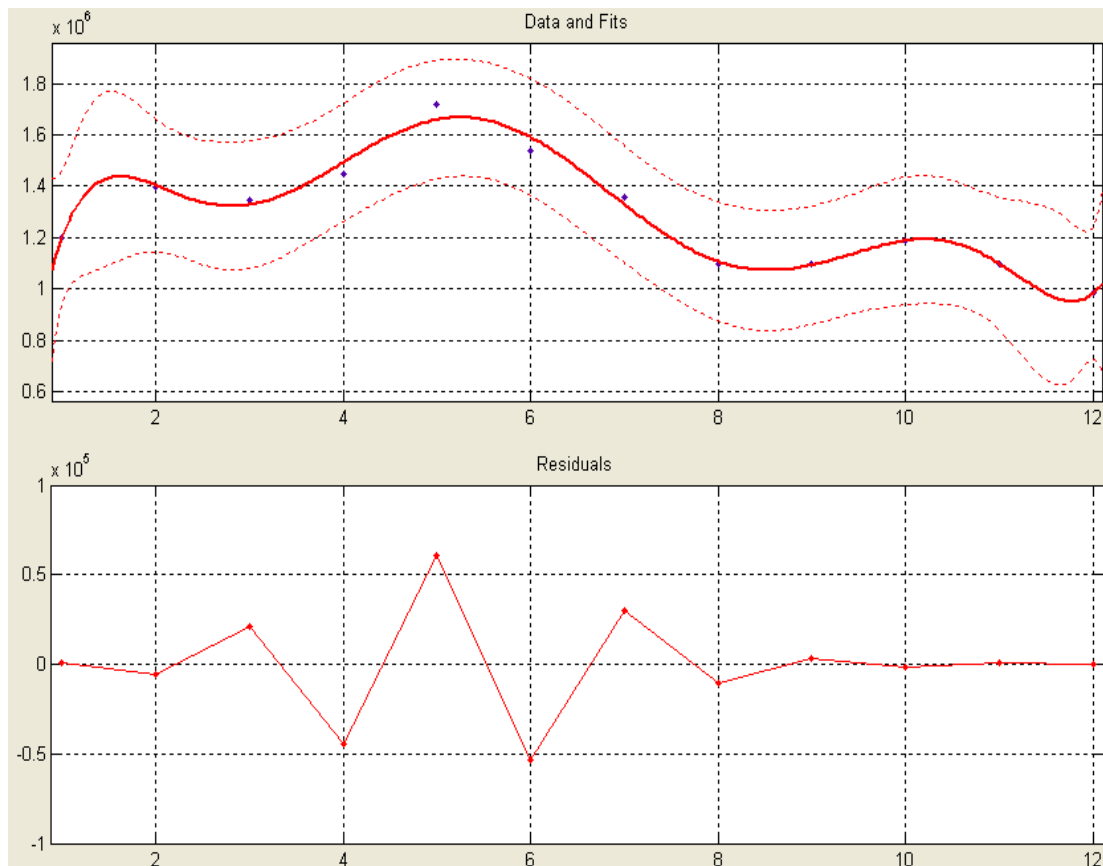
Şekil 5.18. Modelin 36 aylık parçalı fiili stok grafiği

Modelden elde edilen fiili üretim grafiğinde 15. aydan itibaren kök denklemlerinin etkisi görülmektedir. Fiili stok grafiğinde ise yine grafik 15. aydan itibaren ikiye ayrılmaktadır. Köklerin parçalı çözümde büyük sapsmaları neden olduğu görülmektedir.

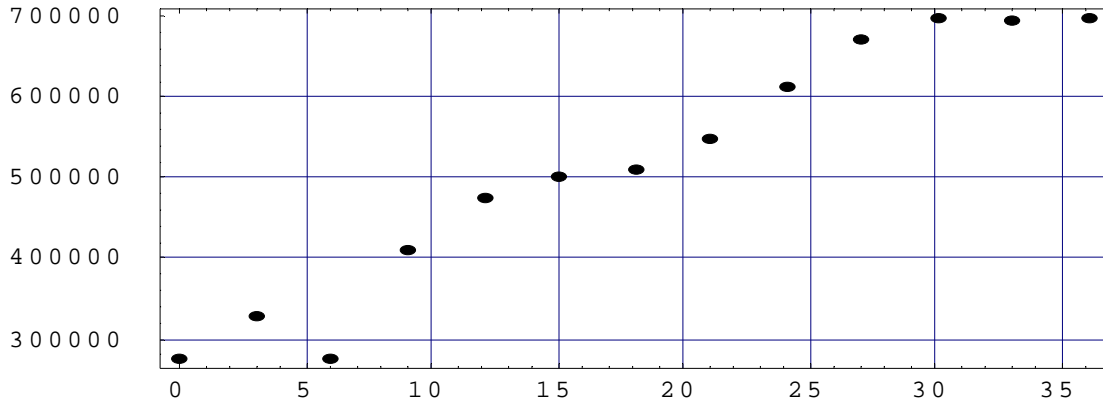
Modelin 3'er Aylık Dönemler Halinde Çalıştırılması: Modelin çalıştırılması sonucu maliyet karşılaştırmalarını yapabilmek üzere, daha önce aylık olarak alınan verilerin dönem sayısı artırılarak 3'er aylık alınmıştır. Elde edilen fiili üretim, Şekil 5.19. ve 5.20.'de ve fiili stok, Şekil 5.21. ve 5.22.'de görüldüğü üzeredir. Modelin Mathematica 5.2'de çalıştırılması sonucu elde edilen çıktılar EK 5.'tedir.



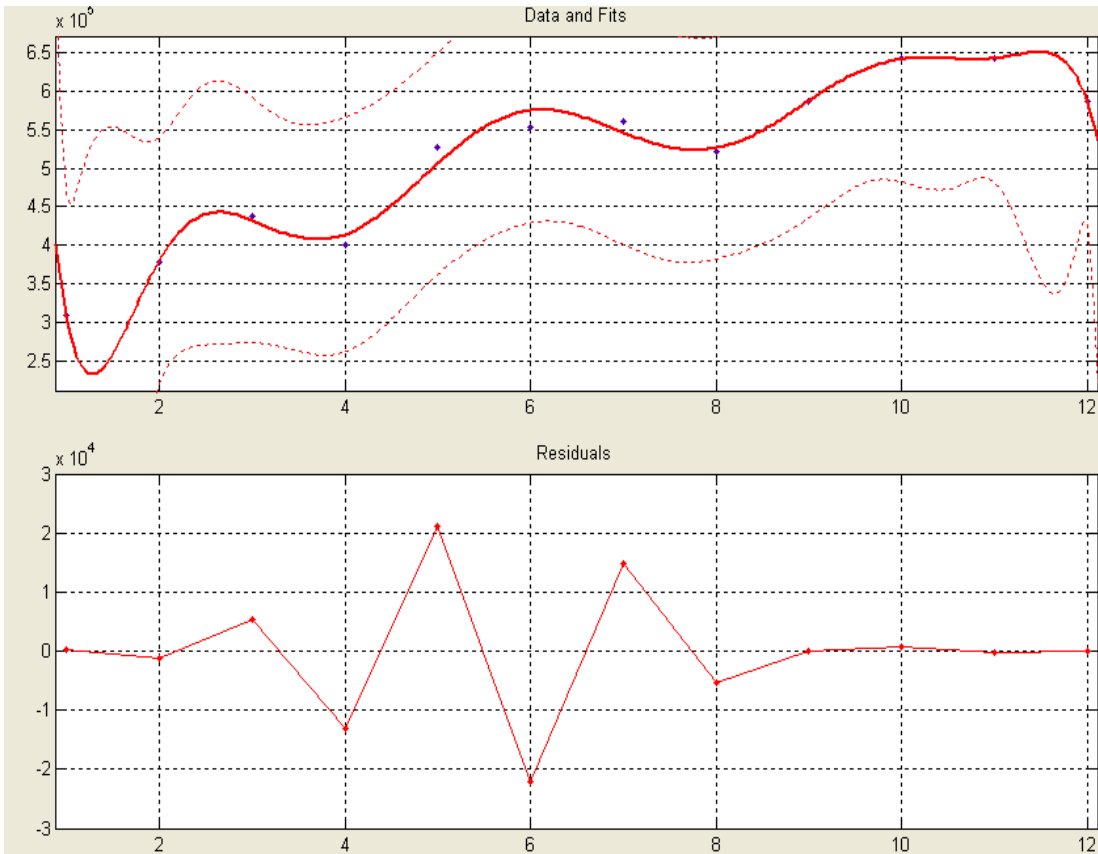
Şekil 5.19. Modelin 3'er aylık fiili üretim grafiği



Şekil 5.20. Firmadan alınan 3'er aylık fiili üretim verileri grafiği



Şekil 5.21. Modelin 3'er aylık filli stok grafiği



Şekil 5.21. Firmadan alınan 3'er aylık filli stok verileri grafiği

Üçer aylık verilerle çalıştırılan model sonucunda köklerin etkisinin kaybolduğu dikkat çekmektedir. Talep tahmini verisiyle çalışıldığında birer aylık dönemler halinde alınan seriden elde edilen çözüm grafiklerinde iki kök arasında karar verebilmek amacıyla, modelin 3'er

aylık dönemler halinde çalıştırılarak gidişatı daha net olarak görmenin mümkün olacağı sonucuna varılabilir.

Maliyet Karşılaştırmaları: Son olarak, modelin 30 aylık, 36 aylık, parçalı ve 3'er aylık dönemler için çalıştırmanın maliyetlere nasıl yansıdığını görebilmek amacıyla Tablo 5. 1. hazırlanmıştır. Toplam maliyet minimizasyonunu amaçlayan HMMS modelde üretim maliyeti ve stok elde bulundurma maliyetleri katsayıları firma tarafından belirli bir indeksleme sonucu temsili olarak verilmiştir. Modelin Mathematica 5.2'de çalıştırılması sonucu elde edilen çıktılar EK 6.'dadır.

Tablo 5.1. Maliyet minimizasyonu karşılaştırması ($\alpha = 1$ için)

30 AYLIK VERİ İÇİN MALİYET MİNİMİZASYONU	5,61176X10 ¹⁰
36 AYLIK VERİ İÇİN MALİYET MİNİMİZASYONU	5,84305X10 ¹⁰
PARÇALI MODEL İÇİN MALİYET MİNİMİZASYONU	6,6064X10 ¹⁰
3'ER AYLIK VERİ İÇİN MALİYET MİNİMİZASYONU	4,61176X10 ¹⁰

HMMS modelde verilen α indirim oranı katsayısının değiştirilmesi ile elde edilecek alternatifler bu konu ile ilgili çalışmalarda net olarak yorumlanmamıştır. Ancak Dobos (1998) makalesinde ele aldığı örnek sonucu α 'nın alacağı farklı değerlerin düzgünleştirme etkisi yaratabileceğinin araştırılması gerektiğini vurgulamıştır. Bu çalışmada 30 aylık verinin farklı α indirim oranı katsayıları için oluşturduğu çözüm grafikleri EK 7'de verilmiştir. İndirim oranı katsayısının alacağı farklı değerler için 30 aylık veri ile modelin çalıştırılması sonucu elde edilen maliyetler Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Farklı α değerleri için maliyet minimizasyonu karşılaştırması

$\alpha = 0.5$	1.07292×10^{11}
$\alpha = 1$	5.61176×10^{10}
$\alpha = 2$	2.59682×10^{10}
$\alpha = 4$	1.12651×10^{10}
$\alpha = 6$	6.9709×10^9
$\alpha = 8$	5.07292×10^9
$\alpha = 10$	4.05756×10^9
$\alpha = 50$	1.22613×10^{24}
$\alpha = 100$	2.8514×10^{37}

Tablo 5.2.'den görüldüğü üzere α indirim oranının değeri arttıkça toplam maliyet minimizasyonu azalmaktadır. Ancak α 'nın değeri 10'a kadar düzenli arttığında bu yorumu yapmak mümkün olmaktadır. α değeri 10'un üzerine çıktığında maliyet minimizasyonunda yüksek sapmalar görülmektedir. İndirim oranı katsayısının sıfır alınması modeldeki logaritmik üstel fonksiyon nedeniyle değerinin '1' olması sonucu statik bir hale dönüşmektedir. Modelin Mathematica 5.2'de çalıştırılması sonucu elde edilen çıktıları EK 8.'dedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüze kadar depolama ve taşıma fonksiyonları ile müşteri hizmet seviyelerini bütünleştirerek fiziksel dağıtım ve malzeme yönetimi ile tüm sistemin lojistiğini birleştiren ve bütünlük lojistik yönetimine geçişi sağlayan tedarik zinciri yönetimi, ağ yapısı içinde neden sonuç itibarıyla birbiriyle bağlantılı halkaları oluşturarak genişlemekte ve gelişmektedir. Önceleri üretim finansman ve pazarlama ile ilgili dağıtım faaliyetleri merkezi fiziksel dağıtımla sağlanırken her bir faaliyetin lojistiğini bütünleştirme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu bütünleşme çabaları yüksek kalite, düşük maliyet, tasarım esnekliği ve güvenilir ürünler sunmayı beraberinde getirmiştir. Sisteme yeni eklenen halkalar ile (hızlı cevap sistemi, etkin müşteri yanıtı, sürekli yenileme planlaması gibi) tedarik zinciri yönetiminin genişleyen bir ufka sahip olduğu kabul görmektedir.

Tedarik zinciri modellerine bakıldığında, üretim planlama ve taşıma rotası sorunları ilk ilgi çeken konuların başında geliyordu. Ancak bu sorunların geleneksel matematiksel optimizasyon yöntemleri ile çözümü yeterli olmamıştır. Bu durum yöntemlerin yeni analizlerle zenginleştirilmesi gerektiğini ortaya çıkararak daha karmaşık modellerin çözümüne imkan sağlamaktadır. Tedarik zinciri yönetiminde, firmalar arası işbirliği ve koordinasyona dayalı modelleme yaklaşımları, kaliteyi yükseltmede, maliyetleri düşürmede ve performansı artırmada geleceğin modelleri olarak görülmektedir.

Bu amaçla, ele alınan tedarik, üretim ve dağıtım ilişkisini küresel yapıda gerçekleştiren bir firmanın kendi pazar ihtiyaçlarını karşılamak ve rekabetçi ortamda sürdürülebilir avantaj sağlamak üzere hammadde tedarikinden, ara mal imalatından, nihai ürün üretiminden bunların teslim ve dağıtımına kadar tüm sistemi kapsayan bir tedarik zinciri modeli kurgulanmıştır. Bu kurgunun içerisinde özellikle üretim planlama kontrol sisteminin zincir yapısına uyum gösteren performansı ölçmek ve izlemek üzere, HMMS modeli olarak bilinen toplu üretim planlama modelinin son dönemde işletmecilik dünyasında yeni kullanılmaya başlayan zaman skalası analizi ile çözümlene yoluna gidilmiştir.

HMMS modelini zaman skalası analizinde çözümlenin başlıca nedeni, zaman skalası analizinin dinamik modellerin genel teorisi içinde sürekli ve kesikli analizleri birleştirmesidir. Literatürde ise HMMS modelin kesikli ve sürekli zaman aralıklarında ayrı olarak çalıştırıldığı görülmüştür. Optimizasyon yöntemleri deterministik ve stokastik olmak üzere iki grupta toplanır. Varyasyon hesabı ise her iki grupta kullanılan matematiğin önemli bir teorisidir.

İşletme ve ekonomide optimizasyon yöntemlerinin kullanılabilceği bir çok model bulunmaktadır. Modelin daha hızlı çözümünü sağlayan ve gerçeğe yakın sonuçlar veren deterministik yöntem önemli bir çözüm tekniğidir. 1988 yılında Alman matematikçi Stefan Hilger'in doktora tezinde ilk defa tanımlanan zaman skalası son yıllarda matematikçilerin ilgi odağı olmuş ve bu sayede teori hızlı bir şekilde geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Zaman skalası, geçmişte kesikli veya sürekli zaman bölgelerinde yazılmış ve incelenmiş olan bir çok dinamik model yerini birleştirici özelliğe sahip dinamik modellere bırakmaktadır. Bu sayede 'zaman' kavramı esas anlamıyla dinamik modellerde önemli bir yer alarak, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

Stokastik yöntem ise, gelecek zaman hakkında belirsizlikler ve olasılıklar göz önüne alınarak yazılan modelde varyasyon hesabı Ito analizi ile birlikte kullanılarak çözüm elde edilebilir. Matematikğin önemli bir dalı 'ölçüm teorisi' üzerine kurulu olan Ito analizi, zaman skalasında çalışan bilim adamları için yeni bir çalışma sahasıdır. Ito analizinin zaman skalasında tanımlanması ve teorinin geliştirilmesiyle HMMS modeli stokastik model olarak ifade edilip, çözümleri araştırılabilir.

HMMS modelinin temeli, üretim, stok ve talep dengesi üzerine kurulurken, temel niteliğinin dinamik yapıli modellemesi matematiksel olarak soyut olmasını sağlamaktadır. Bu model, üretim, stok ve talep ekseninde maliyet unsurları ile desteklenen planlama sistematüğının performansını ölçmeye odaklanmıştır.

Modelin çalıştırılması dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, firmanın üretim lojistik bölümünden alınan geçmiş 30 aylık planlanan üretim, stok ve fiili talep verisi kullanılmıştır. Modelde planlanan ve fiili verileri en iyi ifade eden regresyon denklemleri kullanılmıştır. Modelin çözümünde ise geçmiş dönem verileri ile yine aynı döneme ait fiili verilere ulaşılmaya çalışılmıştır. Model çözümünde kullanılan iki kök yardımıyla fiili verilere ait gidişatın artan mı yoksa azalan mı olacağı görülmüştür.

İkinci aşamada, modelin sadece geçmiş dönem verisi ile çalıştırmanın tatmin edici olmaması nedeniyle talep tahmini rakamları eklenerek gelecek altı aylık dönem içinde durum incelenmiştir. Gerçekleşmesi beklenen üretim ve stok grafiklerine ulaşılmıştır. Bu durum firmaya fiili üretim ve stok miktarları konusunda daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

Üçüncü aşamada, 36 aylık veri ile daha önce aylık dönemlerle çalıştırılan model üçer aylık dönemlerle çalıştırılarak grafiklerin uyumuna bakılmıştır. Gelecek dönemlere ait verilerle çalışıldığı için farklı periyotlarla çalıştırılan modelin fiili durumu daha iyi yansıttığı görülmüştür.

Dördüncü aşamada ise zaman skalası analizinin birleştirici özelliğinden faydalanılarak 30 aylık geçmiş dönem verilerine yenilerinin eklenmesi ile modelin her seferinde yeniden düzenlenmesine gerek olmadığı görülmüştür. 30 aylık veriler için elde edilen regresyon denklemleri ile modelin çalıştırılarak sadece ilave veriler için yeni regresyon denklemi elde edilmek suretiyle çözüme devam edilmiştir.

Elde edilen sonuçlarla planlama performansının ölçümü üretim, stok ve talep boyutları ile değerlendirilmiş ve her bir aşama için maliyetler hesaplanmıştır. Bu değerlendirmelerle maliyet yapısı, farklı indirim katsayıları için senaryolaştırılmıştır. Bu senaryodaki temel algılayış modeldeki değişkenliğin düzgünleştirilmesi ile ilgilidir. Sonunda uygun olan katsayılar belirlenmiştir. Modelde kullanılan maliyet değerleri (üretim ve elde bulundurma maliyetleri) daha önce belirtildiği gibi firma tarafından indekslenmiş değerleridir. Bu çözümlenme ile ulaşılan sonuçlar firma yetkilileri ile paylaşılmış ve toplu planlama modelinin önümüzdeki dönemden itibaren firma bünyesinde aşama aşama uygulanması öngörülmüştür.

Üretim planlama kontrol sistemine tedarik zinciri yönetimi kavramı kapsamında bakıldığında, işletme birimlerinde tedarikçi-müşteri arasında sinerji sağlayarak stokların azaltılması, zincir elde bulundurma maliyetinin azaltılması, pazara ulaştırma süresinin kısaltılması, Pazar taleplerine daha hızlı cevap verme gibi konular üretim, stok ve talep dengesi ile yakından ilgilidir. Tedarikçi ile başlayıp ileri doğru giden sistemler yerine nihai müşteri talepleri ile başlayan geriye doğru giden yapı ile tasarlanan üretim planlama ve kontrol sistemlerinde bu amaçla en yüksek fayda sağlanır. Tedarik zinciri optimizasyonunda zincirdeki halkanın birinde sağlanan gelişim, zincirin diğer halkalarında fayda artışı anlamına gelir. Ortaya çıkan zincir performansının ölçülmesi ise ortak çaba ve paylaşım olacaktır.

İşletmenin ortak hedef ve politikaları ile belirlenen stratejik planlar, fonksiyonel amaçları sağlayan toplu üretim planları, fonksiyonel amaçların uygulandığı ana üretim programı ve atölye kontrol ile yapılan geri besleme bilgisi, ortaklaşa hareket eden firmaların oluşturduğu tedarik zincirinin bütününde de aynı öneme sahiptir. Birlikte hareket etme tedarik zinciri performansını ölçmeyi kolaylaştırarak gelişmeye katkı sağlayacaktır. Toplu üretim

planlarında önemli bir denge sağlayan üretim, stok ve talep bilgisi doğrultusunda yapılan çalışma ile elde edilen performans gelişimi tedarik zincirindeki tüm halkaları olumlu yönde etkileyeceği kaçınılmazdır.

Buradaki modellemede oluşturulan tedarik zincirinin ileriye bağı, müşteri siparişlerinin dağıtım merkezi halkasında işlenmesinden sonra belirlenen bağımsız talep bilgileri ile ve toplu üretim planlamanın HMMS modelinde hesaplanan net ürün ihtiyacı ile oluşturulmuştur. Modellemenin geriye bağı ise, HMMS modelinin bağımlı talep yapısı ile hesaplanan malzeme ihtiyacının tek bir tedarik merkezinden karşılanması ile sağlanmıştır.

Bu çalışmada uygulanan HMMS modelin zaman skalasında çözümü ile tedarik zincirinin tek bir halkasında performans ölçme ve izlemeye odaklı çözümleme de nasıl bir yol izlenebileceği gösterilmiştir. Zincirin tek halkasında uygulama sağlayan yapı, zincirin diğer halkalarında da bu tür uygulamalara olanak tanıyacaktır. Dolayısıyla buradaki toplu üretim planlama modeli, tedarik zincirindeki tedarik, dağıtım ve müşteri halkalarına uygulanarak tüm sistemin performansını ölçme ve izlemeye yönelik hale getirilebilir.

Bu uygulamaya benzer tedarik zinciri sistemlerinin tamamını dikkate alan bütünsel bir modellemeye geçişte mümkündür. Bu durumda, burada işlenen fonksiyonel yapı sistemdeki birbirine paralel diğer zincir ve ağ yapıları ile eşanlı denklem sistemi algılayışı veya yapısal denklem modellemeleri ile kurgulanabilir. Bu tür bir bütünsel yaklaşımda gerek genetik algoritmalar gerek yapay sinir ağları yaklaşımları da sistemin bütünselliğini eşanlı etkileşimleri dikkate alacak diğer çözümlemeyi ilerletici yaklaşımlar olarak gösterilebilir.

HMMS modelin stokastik halinin zaman skalası analizinde çözümü ile modelde yer alan işgücü sayısı ve işgücü maliyetlerinin de ele alınması performansı ölçme ve izlemeye yönelik farklı bir boyut katabilir. İşgücü maliyetlerinin değerlendirilmesi ile toplam maliyetlerde artış ve azalışı görmek mümkün olacaktır. Dolayısıyla modelin stokastik halinin çözümü, üretim, stok ve talep verisi ile sağlanan dengede işgücünün de olmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Acar N., Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, No: 280, Ankara, 1989.
- Adam, E. E. Ve Ebert R.J., Production and Management Concepts Models and, Behavior, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1989.
- Ashayeri, J., Kampstra, P., Collaborative Replenishment: A step-by-step approach, Tilburg University 15, 2003.
- Aslan, D. A., Mühendisler ve İşletmeciler için Üretim Planlama, Bilgehan Basımevi, Bornova, İzmir, 1985.
- Atici, F. M., Biles, D.C., Lebedinsky, A., “An Application of Time Scales to Economics”, Mathematical and Computer Modelling, 43, (2006), 718-726.
- Atici, F.M. ve Atici, M., Master Theorem on Time Scales, in preparation, 2003.
- Atici, F.M. ve Guseinov, G. S., “On Green’s Functions and Positive Solutions For Boundary Value Problems on Times Scales”, Journal Computer Applied Mathematics, 141, (2002), 75-99.
- Atici, F.M., ve Uysal F., “ A Production- Inventory Model of HMMS on Time Scales”, Applied Mathematics Letters, Vol.21, No.3, (2008), 236-243.
- Barutçugil İ. S., Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1983.
- Basoglu, N., Daim, T., Kerimoğlu, O., “Organizational Adoption of Enterprise Resource Planning Systems: A Conceptual Framework”, The Journal of high Technology Management Research, Vol. 18-1, (2007), 73-97.
- Beamon, B. M., “ Measuring Supply Chain Performance” International Journal of Operations and Production Management , Vol.19, No.3, (1999), 276.
- Beamon, B., “Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods”, International Journal of Productions Economics, Vol: 55, (1998), 282.
- Bedworth, D.D. ve Bailey, J.E., Integrated Production Control Systems, John Wiley&Sons. Inc U.S.A.1982.
- Bellman, R., “Dynamic Programming Treatment of the Travelling Scalesman Problem”, Journal of the ACM, Vol.1, Sayı 1, (1962), 61-63.
- Bergstrom, G.L., ve Smith B. E., “ Multi-Item Production Planning an extension of the HMMS Rules”, Management Science, Vol.16,No.10,(1970), 614-629.
- Bhatnagar, R., Chandra, P. ve Goyal, S. K., “Models For Multiplant Coordination”, European Journal of Operational Research, Vol:67, (1993), 141-160.

- Bohner, M. ve Peterson, A., *Advances in Dynamic Equations on Times Scales*, Birkhauser, Boston, 2003.
- Bohner, M., "Calculus of Variations on Time Scales", *Dynamics Systems Applications*, 13, 3-4 (2004), 339-349.
- Bone, T., Ganeshan, R., Strenger, A.J., *The Benefits of Information Sharing in a supply Chain: A Explatory Simulation Study*. In J. Genues et al. (Eds.), *Supply Chain Management: Models, applications and research Directions*, Bordrect: Kluwer Academic, 2002.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., *Logistical Management The Integrated Supply Chain Process*, Mc Graw-Hill International Editions Marketing and Advertising Series, 1996.
- Bowman, E.H., "Consistency and Optimality in Managerial Decision Making" *Management Science*, No.9, (1963), 310-321.
- Burgers R., "Avoiding Supply Chain Management Failure: Lessons from Business Process Re-engineering. *International Journal of Operations&Production Management*, 23,10,(1998), 1142
- Buxey, G., "Strategy not Tactics Drives Aggregate Planning" *Int. Journal Production Economics*, 85, (2003), 331-346.
- Chase, R. B., Jacobs, F.R., Aquilano, N.J., *Operaitons Management for Competitive Advantage* Mc Graw-Hill Irwin, 2004.
- Chopra, S. ve Meindl, P., *Supply Chain Management Strategy, Planning Operations*, Prentice-Hall, 2007.
- Committee on SCI, *Surviving Supply Chain Integration*, National Academy Press, Washington D.C., 2000.
- Cooper M.C., Ellram L.M., Gardner J.T., Hanks A.M., "Meshing Multiple Allieances", *Journal of Business Logistics*, 18 (1997), 67
- Cooper M.C., Lambert D.M. ve Pagh J.D., "Supply Chain Management: More than a new name for logistics", *The International Journal of Logistics Management* 8,1, (1997),1-14
- Copacino W.C., *Supply Chain Management* CRS Press, Filorida USA Council of Logistics Management. 1997
- Croxton K. L., "The Order Fulfilment Process", *The International Journal of Logistics Management*, 14,1 (2003),19-33.
- Cusumano, M. A. ve Takeishi, A., "Supplier Relations and Management: A Survey of Japanese, Japanese-Transplant and U.S. Auto Plants", *Strategic Management Journal*, Vol.12, (1991), 563-588.
- Çelikçapa, F.O., *Üretim Yönetimi ve Teknikleri*, Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti. 2000.

- Dervitsiotis, K.N., Operations Management, Mc Graw-Hill Inc, 1981.
- Dobos, I., "Production-Inventory Control Under Environmental Constraints", International Journal Production Economics, 56-57, (1998), 123-131.
- Doğruer, İ.M. Üretim Organizasyonu ve Yönetimi, Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd.Şti. İstanbul, 2005.
- Duersch, R. ve Wheeler D.B., "An Interactive Scheduling Model for Assembly-Line Manufacturing" International Journal of Modelling&Simulation, Vol.1 No.3 (1981), 241-245.
- Ellram L., Cooper M., "Characteristics of Supply Chain Management and the Implications for Purchasing and Logistics Strategy", International Journal of Logistics Management, Vol.1, No.2, (1993), 1-10
- Fliedner, G.,(2003) CPFR: an emerging supply chain tool, *Industrial Management&Data System* 103(1) 14-21
- Fogerty, D.W., Blackstone, J. H., Hoffman, T.R., Production and Inventory Management 2nd ed. Cincinnati: South Western Publishing Company, 1991.
- Forrester J. W., Industrial Dynamics Cambridge (MA) Productivity Pres, 1961.
- Galman, G.J., "Optimal Aggregation of Multi-Item Production Smoothing Models" Management Science, Vol.24, No.16, (1978), 1733-1739.
- Galbreath, J., Rogers, T., "Customer relationship leadership: a leadership and motivation model for the twenty-first century business, The TQM Magazine, Vol.11, No.3, (1999), 162-171.
- Ganeshan, R. Ve Harrison, T. P. "An Introduction to Supply Chain Management", Pennsylvania State University, (1995), http://csa.iisc.ernet.in/scm/supply_chain_intro.html.
- Goldsby T.J. ve Garcia-Dastugue S.J., " The Manufacturing Flow Process" The International Journal of Logistics Management, 14, 2 (2003), 33-52
- Hadley, G., Nonlinear and Dynamic Programming, Adison Wesley, Reading, MA., 1964.
- Hammer, M., Reengineering the Corporation. Revised Edition: Manifesto for Business Revolution, 2001
- Handfield, R. B., Nichols, E. L., Introduction to Supply Chain Management, Prentice Hall, U.S. A., 2002.
- Harrison F.L. "Production Planning in Practice" Omega Vol.4.No.4, (1976), 447-454.
- Heizer, J. ve Render, B., Operations Management Pearson Prentice Hall, U.S.A. 2004.
- Hewitt, F., "Supply Chain Redesign", International Journal of Logistics Management, Vol. 5 No.2, (1994) s.1-9.

- Hilger, S., Ein Masskettenkalkül mit Anwendung auf Zentrumsmannigfaltigkeiten, Ph. D. Thesis, Universitaet Würzburg, 1988.
- Holt, C.C., Modigliani, F., Muth, J.F. Simon, H.A., Planning Production Inventory and Work Force, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.,1960.
- Howard, A., Kochhar, A., Dilworth J., “An Objective Approach for Generating the Functional Specification of Manufacturing Planning and Control Systems” International Journal of Operations&Production Management Vol.18,No.8, (1998), 710-726.
- Howard, A., Kochhar, A., Dilworth, J., “ A Rule Base Fort he Specification of Manufacturing Planning and Control Systems Activities”, International Journal of Operations&Production Management, Vol.22, No.1, 2002. 729.
- Huang, Z., “The Value of Information Sharing in Supply Chain Management with Demand Uncertainty. Phd Dissertation. University of Maryland, Baltimore County, (2004), 3.
- Hurtubies, S., Olivier, C., Gharbi, A.,”Planning Tools for Managing the Supply Chain”, Computers&Industrial Engineering, Vol.46,(2004), 763-779.
- Institute of Logistics, Members Directory, Institute of Logistics and Transport, Corby, 1998.
- Jeong, K., “Conceptual Frame for Development of Optimized Simulation-based Scheduling Systems”, Expert Systems with Applications, Vol.18, (2000), 299-306.
- Jespersen, B. D. Ve Larsen, T. S., Supply Chain Management: In Theory and Practice, Copenhagen Business School Pres, 2005.
- Jones, C.H., “Parametric Production Plannig”, Managenet Science, Vol.13 No.11,(1968), 843-866.
- Jones, M.A., Song, B., Thomas, D. M., “Controlling Wound Healing Through Debridement” Mathematical and Computer Modelling, 40, 9-10, (2004), 1057-1064.
- Jonsson, P. Ve Mattsson S., “The Implications of Fit Between Planning Environments and Manufacturing Planning and Control Methods”, International Journal of Operations&Production Management, Vol.23, No.8, (2003), 872-890
- Kaimen, I.M., ve Li, L., “Subcontracting Coordination, Flexibility and Production Smoothing in Aggregate Planning” The Management Sciences, Vol.36, No.11.(1990),1352-1363.
- Kapoor S. ve Kansa P.,Basic of Distribution Management: A logistics Approach New Delphi Hall of India. 2003.
- Kehal H.,Digital Economy Impacts, Influences and Challeges, Hershey, PA, USA Idea Group Publishing, 2004.
- Kemppainen, K., Vepsalainen, A. P.J., “Trends in International Supply Chains and Networks”, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 33, 8, (2003), 701-719.

- Kim, B. G. ve Lee S. "Factors Affecting the implementation of Electronic Data İnterchange in Korea" *Computers in Human Behavior*, Vol.24-2 (2008), 263-283.
- Kioulafas, K.E. ve Kapralos, K., *Production Planning of Seasonal Demanded Products, Case Study*, No:10, (2001), 63-75.
- Kobu, B., *Üretim Yönetimi*, Avcıol Basım Yayın, İstanbul, 2003.
- Kogan, K. Ve Khmelnitsky, E., "An Optimal Control Method For Aggregate Production Planning in Large-Scale Manufacturing Systems With Capacity Expansion and Deterioration" *Computers Ind. Engineering*, Vol. 28, No.4, (1995), 851-859.
- Krajewski, L.J., Mabert, V.A. Thompson, H.E., " Quadratik Inventory Cost Approximations and the Aggregation of Individual Products" *Management Science*, Vol.19, No.11, (1973), 1229-1240.
- Kuruüzüm, O., "AÜP'ye Dayalı Üretim Planlama Sistemi ve Bileşenleri", *İ.T.Ü. Dergisi*, Cilt:50, Sayı:4, (1992), 48.
- Kuruüzüm, O., "Üretimin Kontrolü için Bir Veri Tabanı Sistemi", *Çukurova Üniversitesi, İİBF Dergisi Sayı:8 Cilt 1*, 1999.
- Kuruüzüm, O., *Proses Endüstrisinde Proses Kontrolü Problemine Hedef Programlama ile Yaklaşım ve Alternatif Bir HP Algoritması Önerisinin Bir Uygulama Üzerinde Değerlendirilmesi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 1986.
- Kuruüzüm, O., *Üretim Yönetimi Ders Notları*, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi, İstanbul, 1990.
- La Londe, B. J. ve Masters, J.,M., "Emerging Logistics Strategies Blueprints for the Next Century", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 24, 7 (1994), 35-47.
- Lambert D. M., Garcia-Dastugue S.J. ve Croxton K.L., "An Evaluation of Process-Oriented Supply Chain Management Frameworks", *Journal of Business Logistics*, Vol.26, No.1 (2005), 25
- Lambert, D. M., Stock, J. R., Ellram, L. M., *Fundamentals of Lojistics Management*, Boston, MA Irwin/Mcgraw Hill, 1998.
- Lambert, D.M., *Supply Chain Management*, The Global Supply Chain Forum, 1998.
- Lawrence, F.B., Jennings, D.F., Lawrence, D. F., Lawrence, B., *E- Distribution*, South-Western, 2002.
- Lee H.L., "Creating Value Through Supply Chain Integration", *Supply Chain Management Review*, Vol.14, No.4, (2000), s.30-37.
- Lee, H. L., Whang, S., "E-Business and Supply Chain Integration", *Stanford Global Supply Chain Forum*, 2001.

- Leung SCH., Wu, Y.,Lai, KK., “A Stochastic Programming Approach for Multi- Site Aggregate Production Planning” *Journal of the Operational Research Society*, Vol:57, (2006), 123-132.
- Lumms, R. R. ve Vokurka, R. J., “Defining Supply Chain Management: A Historical Perspective and Practical Guidelines”, *Industrial Management&Data System*, 99, 1, (1999), 11-17.
- Lumsden K.,*Logistikens Grunder*, Studentlitteratur, Lund., 1998.
- Martin, J.H. Grbac, B., “Using Supply Chain Management To Leverage A Firm’s Market Orientation”, *Industrial Marketing Management*, Vol:32, (2003), 25-38.
- Mentzer, J. T., Min, S.H., Zacharia, Z. G. “ The nature of inter firm partnering in supply chain management”, *Journal of Retailing*, Vol.76, No.4, (2000) 549-568.
- Mentzer, J. T., DeWitt W., Keebler J.S., Min S., Nix W. N.,Smith, C.D.,Zacharia Z.G., “Defining Supply Chain Management”, *Journal of Business Logistics*, 22,2, (2001),3
- Meredith, J.R., *The Management of Operaitons: A Conceptual Emphasis*, John Wiley&Sons Inc. 1992.
- Min, H. ve Zhou, G., “Supply Chain Modeling: Past, Present and Future”,*Computers&Industrial Engineering*, Vol: 43, (2002), 32.
- Moghaddam, R. T., Safaei, N. “An Evolutionary Algorithm for a Single-Item Resource-Constrained Aggregate Production Problem”, *IEEE, Congress on Evolutionary Computation*, Sheraton Voncouver Wall Centre Hotel, Vancouver, BC. Canada, 2006, 2851-2858.
- Muzumdar M. ve Balachandran N., “The Supply Chain Evolution”, *APICS-The Performance Advange*, Vol. 11,No.10, (2001), 21.
- Nahmias. S., *Production and Operations Analysis*, Mc Graw Hill, 2005.
- National Research Council Staff, *Surviving Supply Chain Integration: Strategies for Small Manufacturers*, National Academics Pres, Washington D.C. U S A , 2000.
- Oden, H.W., Langenwalter, G.A., Lucier R.A., *Handbook Of Material Capacity Requirements Planning*, Mc Graw Hill, 1993.
- Olivier, C., Montreuil, B., Lefrançois, P., Maley, J. G., “Evaluating Layout for Mass Customizing Factories”, *Proceedings of 10 th ISPE/IFAC International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future Canada*,(1994), 862-869.
- Peters, T., Waterman, R., *In Search of Excellence: Lessons from America’s Best-Run Companies*. Warner Boks, 1998.
- Quinn, F.J., “What’s the buzz?” *Logistics Management*, 36, 2, (1997), 43-47.

- Rahman S.M. ve Raisinghani S.M., *Electronic Commerce: Opportunity and Challenges*, Idea Group Publishing, USA 2000.
- Ross D.F., *Competing Through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998
- Ross D.F., *Introduction to e-supply chain management: Engaging technology to build market-winning business partnerships*. Boca Raton, FL:St. Lucie Press, 2003
- Ross, D.F., *Competing Through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies Through Supply Chain Partnerships*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.
- Rungtusanatham, M., Salvador, F., Forza, C., Choi, T.Y., "Supply-Chain Linkages and Operational Performance: A Resource-Based-View Perspective", *International Journal Of Operations & Production Management*, Vol. 23, No. 9, (2003), s.1084-1099.
- Saad, G.H. "Hierarchical Production-Planning Systems: Extensions and Modifications" *Journal of the Operational Research Society*, Vol.41, No.7 (1990), 609-624.
- Schenck, J., "CPFR: a glimpse into retail's future?", *Automatic I.D. News*, Vol.14, No.12, (1998), 51.
- Schmenner, R. W., *Production/Operations Management Concepts and Situations*, Macmillan Publishing Company, U.S.A. 1990.
- Schwarz, L.B. ve Johnson R. E., " An Appraisal of the Empirical Performance of the Linear Decision Rule for Aggregate Planning", *Management Science*, Vol.24, No.8, 1978.
- Scott, C., Westbrook, R., "New Strategic Tools For Supply Chain Management", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 21 No.1, (1991), s.23-33.
- Shah, R. ve Ward, T., "Defining and Developing Measures of Lean Production" *Journal of Operations Management*, Vol.25, (2007), 785-805.
- Silver, E. A., *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, John Wiley&Sons, Inc. Canada, 1985.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky P., Simshi-Levi E., *Designing and Managing the Supply Chain*, Irwin McGraw-Hill, U.S.A. 2000.
- Simchi-Levi, D., *Managing the Supply Chain*, Blacklick, OH, USA : McGraw-Hill Professional, 2003.
- Singhal, J. ve Singhal, K., "Holt Modigliani, Muth, and Simon's Work and Its Role in the Renaissance and Evolution of Operations Management", *Journal of Operations Management*, Vol.25, No.2 (2007), 300-309.

- Singhal, K. "A Noniterative Algorithm for the Multiproduct Production and Work Force Planning Problem", Technical Notes, (1990), 620-626.
- Singhvi, A. Madhavan, K.P., Shenoy U.V., "Pinch Analysis for Aggregate Production Planning In Supply Chains", Computers and Chemical Engineering No.28, (2004), 993-999.
- Skjoett-Larsen, T., Thernoe, C., Andresen, C., "Supply chain collaboration theoretical perspectives and empirical evidence", International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, Vol.33, No.6 (2003), 201-211
- Slack, N., The Manufacturing Advantage Achieving Competitive Manufacturing Operations, Management Books Mercury London, 1991.
- Stevens, G.C., "Integrating the Supply Chain", International Journal of Physical Distribution & Materials Management 19:3, (1989), 8.
- Stevenson, W. J., Operations Management, Mc Graw-Hill Irwin, 2002.
- Stevenson, W.J., Operations Management, Mc Graw-Hill Irwin, U.S.A., 2002.
- Taubert W.H., "A Search Decision Rule for the Aggregate Scheduling Problem" Management Science, Vol.14, No.11, (1968), 843-866.
- Tayur S., Ganeshan G. ve Magazine M., Quantitative Models for Supply Chain Management, Kluwer Academic Publishers, USA, 1999.
- Thomas D. Ve Urena B., "A mathematical Model Describing the Evolution of Encephalitis in New York City", Mathematical and Computer Modelling, 34, 38, (2001), 771-781.
- Toraman, A. ve Gözülü, S., Üretim Planlama ve Kontrol, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1984.
- Towill, D.R., "Supply Chain Dynamics – The Change Engineering Challenge of The 1990s", Proceedings Institute of Mechanical Engineering Conference on Engineering Manufacture, No.206, (1992), s.233-45.
- Uysal, F., Kuruüzüm, O., "Productivity Perspective of the Integrated Logistics Process and an Application of Gab Analysis", International Logistics and Supply Chain Management Congress, İzmir, (2006), 203-211.
- Uysal, F., Tosun, Ö., Kuruüzüm o., "Planning the Supply Chain and an Application of Pinch Analysis", International Logistics and Supply Chain Congress, İstanbul, (2007), 158-164.
- Van Hoek R. I. "Logistics and virtual integration", International Journal of Physical Distribution and Logistics Management. 28, 7, (1998), 508-523
- VICS (Voluntary Inter-Industry Commerce Standards), (1998) Collaborative Planning Forecasting and Replenishment Voluntary Guidelines.
- VICS (Voluntary Inter-Industry Commerce Standards), (2001) Collaborative Planning Forecasting and Replenishment.

- VICS(Voluntary Inter-Industry Commerce Standarts), (2002) Global Commerce Initiative Recommended Guidelines: Collaborative Planning Forecasting and Replenishment.
- Vollmann, E. T., Berry, W. L., Whybark, D.C., Jacobs, F.R., Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management, Mc Graw,Hill Companies, U.S.A., 2004.
- Vonderembse, M.A. ve White, G.P. Operaitons Management Concepts, Methods, and Strategies, West Publishing Company, U.S.A., 1991.
- Warkentin M., Bapna R. ve Sugumaran V., “ E-knowledge networks for inter-organizational collaborative e-business. Logistics Information Management, 14, (2001), 149-163
- Waters D., Global Logistics and Distribution Planning , GBR: Kogan page, Limited, London, (2003).
- Weiss, H. J. ve Gershan, M.E., Production and Operations Management, U.S.A. 1993.
- Williamson, OE. "The Fading Boundaries of the Firm: Comment," Journal of Institutional and Theoretical Economics, March 1996, 152, pp. 85-88..
- www.bettermanagement.com / “What is SCM”, 2007.
- Xu, Y., Yen, D.C., Lin, B., Chou, D.C.,“Adopting customer relationship management technology, Industrial Management&Data Sysyems, (2002), 442-452.
- Zhao F., Maximize Business Profits Through E-Partnerships, Hershey, PA, USA:IRM Press 2005.

EKLER**EK 1. Planlanan Üretim ve Stok ile Fiili Talep Verileri**

Yıl/Ay	Planlanan Üretim	Planlanan Stok	Fiili Talep
Ocak-2005	1.127.284	227.284	1.087.680
Şubat-2005	1.176.297	276.297	1.461.120
Mart-2005	1.323.334	279.080	1.460.160
Nisan-2005	1.274.321	374.321	1.229.760
Mayıs-2005	1.225.309	325.309	1.378.560
Haziran-2005	1.274.321	374.321	1.259.520
Temmuz-2005	1.274.321	474.321	1.219.520
Ağustos-2005	1.372.346	472.346	1.111.840
Eylül-2005	1.274.321	374.321	1.164.320
Ekim-2005	1.274.321	374.321	1.296.000
Kasım-2005	1.127.284	327.284	1.559.680
Aralık-2005	1.323.334	423.334	1.400.320
Ocak-2006	1.323.587	423.587	1.298.240
Şubat-2006	1.362.704	462.704	1.609.920
Mart-2006	1.533.042	633.042	1.464.000
Nisan-2006	1.419.483	419.483	1.560.000
Mayıs-2006	1.476.263	576.263	1.499.520
Haziran-2006	1.476.263	576.263	1.325.520
Temmuz-2006	1.476.263	576.362	1.608.480
Ağustos-2006	1.589.822	689.822	1.699.040
Eylül-2006	1.476.263	576.263	1.385.520
Ekim-2006	1.476.263	576.263	1.704.000
Kasım-2006	1.476.263	576.263	1.479.360
Aralık-2006	1.476.263	576.263	1.367.040
Ocak-2007	1.447.681	547.681	1.251.840
Şubat-2007	1.447.681	547.681	1.496.640
Mart-2007	1.893.477	643.477	1.300.800
Nisan-2007	1.683.091	533.091	1.507.360
Mayıs-2007	1.823.348	673.348	1.556.320
Haziran-2007	1.823.348	751.245	1.777.760

EK 2. Fiili Üretim ve Stok Verileri

Yıl/Ay	Fiili Üretim	Fiili Stok
Ocak-2005	923.520	274.261
Şubat-2005	1.297.920	250.081
Mart-2005	1.198.080	309.217
Nisan-2005	1.497.600	310.322
Mayıs-2005	1.497.600	344.533
Haziran-2005	1.397.760	379.172
Temmuz-2005	1.347.840	358.058
Ağustos-2005	1.298.670	390.072
Eylül-2005	1.347.840	437.877
Ekim-2005	1.547.520	411.189
Kasım-2005	1.325.220	424.276
Aralık-2005	1.447.680	400.931
Ocak-2006	1.472.640	387.791
Şubat-2006	1.372.800	450.078
Mart-2006	1.719.360	527.231
Nisan-2006	1.525.440	500.044
Mayıs-2006	1.850.220	534.176
Haziran-2006	1.537.620	552.499
Temmuz-2006	1.473.600	521.186
Ağustos-2006	1.298.670	550.066
Eylül-2006	1.359.360	561.121
Ekim-2006	1.073.280	542.800
Kasım-2006	1.025.280	587.260
Aralık-2006	1.095.360	520.720
Ocak-2007	1.123.200	484.289
Şubat-2007	1.122.880	531.761
Mart-2007	1.095.040	587.227
Nisan-2007	1.174.880	604.419
Mayıs-2007	1.164.480	630.729
Haziran-2007	1.185.620	641.780

EK 3. 30 Aylık Verilerle Modelin Çalıştırılması

$h = 1$

$c = 1$

$y = 274261$

$z1 = (c + (c^2 + 16(1 + c \cdot h))^{(1/2)}) / (2(1 + c \cdot h))$

$z2 = (c - (c^2 + 16(1 + c \cdot h))^{(1/2)}) / (2(1 + c \cdot h))$

$s1 = (1 - h \cdot z1)^{(-t/h)}$

$s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h \cdot z1)^{(-t/h)} - (1 - h \cdot z2)^{(-t/h)})$

$f[t_] = x \cdot (s1 + s2 \cdot (c / (1 + c \cdot h) - z1)) + y \cdot (4 / (1 + c \cdot h) + s2) -$

$h \cdot$

$$\sum_{k=1}^{t/h} (((1 - h \cdot z1)^{(k-1-t/h)} + (c / (1 + c \cdot h) - z1) + 1 / (z1 - z2) ((1 - h \cdot z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h \cdot z2)^{(k-1-t/h)})) \cdot$$

$$\left((4 \cdot (-244.7484159 \cdot (h \cdot k)^2 + 21265.06096 \cdot (h \cdot k) + 232912.7975) + c \cdot (299.1849575 \cdot (h \cdot k)^2 - 652.117442 \cdot (h \cdot k) + 1151670.095)) / (1 + c \cdot h) - (2 \cdot 299.1849575 \cdot (h \cdot k) - 299.1849575 \cdot h - 652.117442) + (4 / (1 + c \cdot h) + 1 / (z1 - z2) ((1 - h \cdot z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h \cdot z2)^{(k-1-t/h)})) \cdot (0.02602 \cdot (h \cdot k)^7 - 2.947 \cdot (h \cdot k)^6 + 135.8 \cdot (h \cdot k)^5 - 3245 \cdot (h \cdot k)^4 + 42130 \cdot (h \cdot k)^3 - 282600 \cdot (h \cdot k)^2 + 843200 \cdot (h \cdot k) + 532000) \right)$$

$Solve[f[30] \Rightarrow 1401373.034, x]$

1

1

274261

$$\frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})$$

$$\frac{1}{4} (1 - \sqrt{33})$$

$$\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-x}$$

$$\frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-x} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-x}}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}$$

$$\frac{548522 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-x} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-x} \right)}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} +$$

$$1.15795 \times 10^6 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-x} \left(1. \left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^x - 0.6741 \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^x - 0.3259 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^x + \right.$$

$$1.07651 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^x t - 0.301652 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^x t^2 + 0.0410843 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^x t^3 -$$

$$0.00300556 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^x t^4 + 0.000121743 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^x t^5 -$$

$$2.58434 \times 10^{-6} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^x t^6 + 2.24707 \times 10^{-6} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^x t^7 +$$

$$\left[\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-x} + \frac{\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-x} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-x} \right)}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \right] \times$$

$\{(x \rightarrow 1.00437 \times 10^6)\}$

```

h = 1
c = 1
y = 274261
x = 1.0043727951956522 * h^6
z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
s1 = (1 - h * z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(-t/h) - (1 - h * z2)^(-t/h))

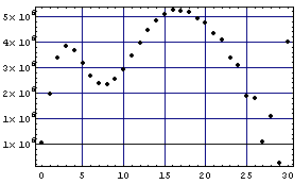
f[t_] = x * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + y * (4 / (1 + c * h) * s2) -
h *
Sum[(((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) -
(2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442)) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000))],
{h, 1, 30}]

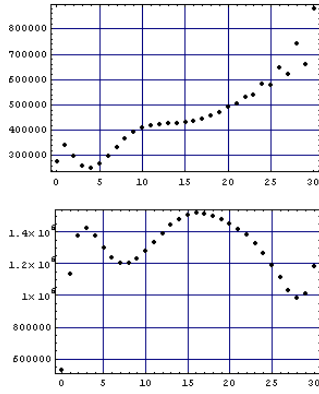
g[t_] =
x * (s2) + y * (s1 - z1 * s2) -
h *
Sum[(((1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) -
(2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442)) + ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - z1 * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000))],
{h, 1, 30}]

f[30]
m[t_] = 0.02602 * t^7 - 2.947 * t^6 + 135.8 * t^5 - 3245 * t^4 + 42130 * t^3 - 282600 * t^2 + 843200 * t + 532000
w = Table[{h+1, m[h+1]}, {1, 0, 30}];
u = Table[{h+1, g[h+1]}, {1, 0, 30}];
v = Table[{h+1, f[h+1]}, {1, 0, 30}];
plot4 = ListPlot[v, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot5 = ListPlot[u, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot6 = ListPlot[w, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
Null

1
1
274261
1.00437 * 10^6
1/4 (1 + sqrt(33))
1/4 (1 - sqrt(33))
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t
1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))
548522 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) /
(1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))) +
1.00437 * 10^6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t + (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) /
(1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))) + 1.15795 * 10^6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^t - 0.6741 (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^t - 0.3259 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t + 1.07651 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t -
0.301652 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^2 + 0.0410843 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^3 - 0.00300556 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^4 +
0.000121743 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^5 - 2.58434 * 10^-6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^6 + 2.24707 * 10^-8 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^7
349678. ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) +
274261 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + sqrt(33)) ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) /
(1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33)))) - 976234. ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^t + 0.474206 (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^t - 1.47421 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t + 0.736312 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t -
0.173814 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^2 + 0.0200661 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^3 - 0.00127572 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^4 +
0.000045577 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^5 - 8.59634 * 10^-7 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^6 + 6.66336 * 10^-9 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^7
1.40137 * 10^6
532000 + 843200 t - 282600 t^2 + 42130 t^3 - 3245 t^4 + 135.8 t^5 - 2.947 t^6 + 0.02602 t^7

```





```

h = 1
c = 4
b = 274261
z1 = (c + (c^2 + 16 (1+c*h))^(1/2)) / (2 (1+c*h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1+c*h))^(1/2)) / (2 (1+c*h))
s1 = (1-h*z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1-z2) ((1-h*z1)^(-t/h) - (1-h*z2)^(-t/h))
s22 = 1 / (z1-z2) ((1-h*z1)^(k-1-t/h) - (1-h*z2)^(k-1-t/h))

```

$$\begin{aligned}
 f[t_] = & x * (s1 + s2 * (c / (1+c*h) - z1)) + b * (4 / (1+c*h) * s2) - \\
 & h * \\
 & \left(\sum_{k=1}^{t/h} \left(((1-h*z1)^(k-1-t/h) + (c / (1+c*h) - z1) * 1 / (z1-z2) ((1-h*z1)^(k-1-t/h) - (1-h*z2)^(k-1-t/h))) * \right. \right. \\
 & \left. \left((4 * (-244.7484159 * (h*k)^2 + 21265.06096 * (h*k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h*k)^2 - 652.117442 * (h*k) + 1151670.095)) / (1+c*h) - \right. \right. \\
 & \left. \left. (2 * 299.1849575 * (h*k) - 299.1849575 * h - 652.117442) + (4 / (1+c*h) * 1 / (z1-z2) ((1-h*z1)^(k-1-t/h) - (1-h*z2)^(k-1-t/h))) * \right. \right. \\
 & \left. \left. ((0.02602 * (h*k)^7 - 2.947 * (h*k)^6 + 135.8 * (h*k)^5 - 3245 * (h*k)^4 + 42130 * (h*k)^3 - 282600 * (h*k)^2 + 843200 * (h*k) + 532000)) \right) \right)
 \end{aligned}$$

Solve[f[30] == 1401373.034, x]

1

4

274261

$$\frac{1}{10} (4 + 4\sqrt{6})$$

$$\frac{1}{10} (4 - 4\sqrt{6})$$

$$\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right)^x$$

$$\frac{\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right)^x - \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right)^x}{\frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6}) + \frac{1}{10} (4 + 4\sqrt{6})}$$

$$\frac{\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right)^{-1+k-t} - \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right)^{-1+k-t}}{\frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6}) + \frac{1}{10} (4 + 4\sqrt{6})}$$

$$\frac{1097044 \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right)^x - \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right)^x \right)}{5 \left(\frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6}) + \frac{1}{10} (4 + 4\sqrt{6}) \right)}$$

$$\begin{aligned}
 & 5.83795 \times 10^6 \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right) \right)^x \left(1. \left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right)^x - 0.150952 \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right)^x - 0.849048 \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right) \right)^x + \right. \\
 & 0.486985 \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right) \right)^x t - 0.0993226 \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right) \right)^x t^2 + 0.0111261 \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right) \right)^x \\
 & 0.000719338 \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right) \right)^x t^4 + 0.0000268052 \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right) \right)^x t^5 - \\
 & \left. 5.36 \times 10^{-7} \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right) \right)^x t^6 + 4.45704 \times 10^{-9} \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right) \right)^x t^7 \right) +
 \end{aligned}$$

$$\left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right)^x + \frac{\left(\frac{4}{5} + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right) \left(\left(1 + \frac{1}{10} (-4 - 4\sqrt{6})\right)^x - \left(1 + \frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6})\right)^x \right)}{\frac{1}{10} (-4 + 4\sqrt{6}) + \frac{1}{10} (4 + 4\sqrt{6})} \right) x$$

{(x -> 1.09254 * 10^6)}

```

h = 1
c = 4
b = 274261
a = 1.0925423806228568 * t^6
z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
s1 = (1 - h * z1)^(t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(t/h) - (1 - h * z2)^(t/h))
s22 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))

f[t_] = a * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + b * (4 / (1 + c * h) + s2) -
h *

$$\left( \sum_{k=1}^{t/h} \left( ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) * \right. \right.$$


$$\left. \left( (4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) - \right. \right.$$


$$\left. \left( 2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442 \right) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) * \right.$$


$$\left. \left( 0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000 \right) \right)$$

g[t_] =
a * (s2) + b * (s1 - z1 * s2) -
h *

$$\left( \sum_{k=1}^{t/h} \left( ((1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) * \right. \right.$$


$$\left. \left( (4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) - \right. \right.$$

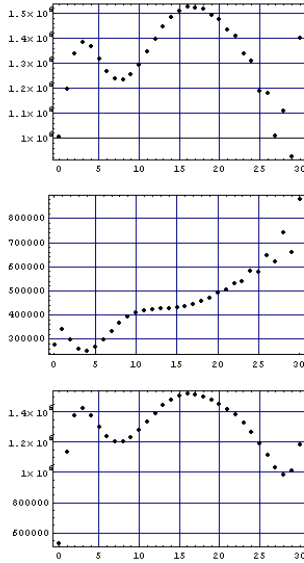

$$\left. \left( 2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442 \right) + ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - z1 * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) * \right.$$


$$\left. \left( 0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000 \right) \right)$$

f[30]
m[t_] = 0.02602 * t^7 - 2.947 * t^6 + 135.8 * t^5 - 3245 * t^4 + 42130 * t^3 - 282600 * t^2 + 843200 * t + 532000
w = Table[{h+1, m[h+1]}, {1, 0, 30}];
u = Table[{h+1, g[h+1]}, {1, 0, 30}];
v = Table[{h+1, f[h+1]}, {1, 0, 30}];
plot1 = ListPlot[v, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot2 = ListPlot[u, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot3 = ListPlot[w, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
Null

1
1
274261
1.00437 * 10^6
1/4 (1 + sqrt(33))
1/4 (1 - sqrt(33))
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t
1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-1 * k - t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-1 * k - t
1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))
548522 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) *
1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))
1.00437 * 10^6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t + (1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t) / (1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))) + 1.15795 * 10^6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t
(1. (1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^t - 0.6741 (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^t - 0.3259 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t + 1.07651 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t -
0.301652 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^2 + 0.0410843 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^3 - 0.00300556 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^4 +
0.000121743 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^5 - 2.58434 * 10^-6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^6 + 2.24707 * 10^-8 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^7)
349678. ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) *
274261 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + sqrt(33)) / (4 (1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) - 976234. ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t
(1. (1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^t + 0.474206 (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^t - 1.47421 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t + 0.736312 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t -
0.173814 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^2 + 0.0200661 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^3 - 0.00127572 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^4 +
0.000045577 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^5 - 8.59634 * 10^-7 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^6 + 6.66336 * 10^-9 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t * t^7)
1.40137 * 10^6
532000 + 843200 * t - 282600 * t^2 + 42130 * t^3 - 3245 * t^4 + 135.8 * t^5 - 2.947 * t^6 + 0.02602 * t^7

```

EK 4. 36 Aylık Verilerle Modelin Çalıştırılması

```

h = 1
c = 1
y = 274261
z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c + h))^(1/2)) / (2 (1 + c + h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c + h))^(1/2)) / (2 (1 + c + h))
s1 = (1 - h * z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(-t/h) - (1 - h * z2)^(-t/h))

f[t_] = x * (s1 + s2 * (c / (1 + c + h) - z1)) + y * (4 / (1 + c + h) + s2) -
h *
Sum[(((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) + (c / (1 + c + h) - z1) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-338.6237125 * (h + k)^2 + 24021.69345 * (h + k) + 219780.1402) + c * (47.08109802 * (h + k)^2 + 16423.80079 * (h + k) + 1153080.65)) / (1 + c + h) -
(2 * 47.08109802 * (h + k) - 47.08109802 * h + 16423.80079) + 4 / (1 + c + h) + 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
((0.008808 * (h + k)^7 - 1.222 * (h + k)^6 + 67.61 * (h + k)^5 - 1891 * (h + k)^4 + 27940 * (h + k)^3 - 207300 * (h + k)^2 + 667100 * (h + k) + 658600)))]

```

Solve[f[36] == 1805354.581, x]

```

1
1
274261
1/4 (1 + sqrt(33))
1/4 (1 - sqrt(33))
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t
1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))
548522 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) /
1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))
755269. ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t (1. (1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - 0.03625 (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t + 0.0362511 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t +
1.23787 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t - 0.328217 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t + 0.0409076 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t -
0.00265114 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t + 0.0000922815 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t -
1.63838 * 10^-6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t + 1.16621 * 10^-6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t) +
((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t + (1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) /
1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))
{x -> 1.0079 * 10^6}

```

```

h = 1
c = 1
y = 274261
x = 1.0079019619367267**6
z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c + h))^(1/2)) / (2 (1 + c + h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c + h))^(1/2)) / (2 (1 + c + h))
s1 = (1 - h * z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(-t/h) - (1 - h * z2)^(-t/h))

f[t_] = x*(s1 + s2*(c / (1 + c + h) - z1)) + y*(4 / (1 + c + h) + s2) -
h *

$$\left( \sum_{k=1}^{\lfloor t/h \rfloor} \left( ((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} + (c / (1 + c + h) - z1) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)})) * \right. \right.$$


$$\left. \left( (4 + (-338.6237125 + (h+k)^2 + 24021.69345 + (h+k) + 219780.1402) * c + (47.08109802 + (h+k)^2 + 16423.80079 + (h+k) + 1153080.65) / (1 + c + h) - \right. \right.$$


$$\left. \left( 2 * 47.08109802 + (h+k) - 47.08109802 * h + 16423.80079 \right) + (4 / (1 + c + h) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)})) * \right.$$


$$\left. \left. (0.008808 * (h+k)^7 - 1.222 * (h+k)^6 + 67.61 * (h+k)^5 - 1891 * (h+k)^4 + 27940 * (h+k)^3 - 207300 * (h+k)^2 + 667100 * (h+k) + 658600) \right) \right)$$

g[t_] =
x*(s2) + y*(s1 - z1*s2) -
h *

$$\left( \sum_{k=1}^{\lfloor t/h \rfloor} \left( (1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)})) * \right. \right.$$


$$\left. \left( (4 + (-338.6237125 + (h+k)^2 + 24021.69345 + (h+k) + 219780.1402) * c + (47.08109802 + (h+k)^2 + 16423.80079 + (h+k) + 1153080.65) / (1 + c + h) - \right. \right.$$

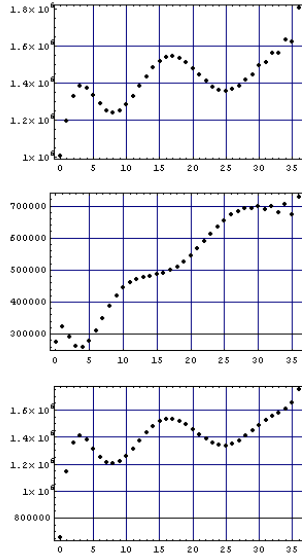

$$\left. \left( 2 * 47.08109802 + (h+k) - 47.08109802 * h + 16423.80079 \right) + ((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - z1 * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)})) * \right.$$


$$\left. \left. (0.008808 * (h+k)^7 - 1.222 * (h+k)^6 + 67.61 * (h+k)^5 - 1891 * (h+k)^4 + 27940 * (h+k)^3 - 207300 * (h+k)^2 + 667100 * (h+k) + 658600) \right) \right)$$

m[t_] = 0.008808 * t^7 - 1.222 * t^6 + 67.61 * t^5 - 1891 * t^4 + 27940 * t^3 - 207300 * t^2 + 667100 * t + 658600
w = Table[{h+1, m[h+1]}, {1, 0, 36}];
u = Table[{h+1, g[h+1]}, {1, 0, 36}];
v = Table[{h+1, f[h+1]}, {1, 0, 36}];
plot1 = ListPlot[v, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot2 = ListPlot[u, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot3 = ListPlot[w, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
Null

1
1
274261
1.0079 * 10^6
1/4 (1 + sqrt(33))
1/4 (1 - sqrt(33))
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t
(1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t
1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))
548522 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) / (1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33))) + 1.0079 * 10^6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t + (1/4 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t)) / (1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33)))
755269. ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t (1. (1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^t - 0.03625 (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^t + 0.0362511 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t + 1.23787 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t - 0.328217 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^2 + 0.0409076 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^3 - 0.00265114 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^4 + 0.0000922815 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^5 - 1.63838 * 10^-6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^6 + 1.16621 * 10^-6 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^7)
350906. ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t) +
274261 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + sqrt(33)) ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^-t - (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^-t)) / (1/4 (-1 + sqrt(33)) + 1/4 (1 + sqrt(33)))) - 636745. ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^-t
(1. (1 + 1/4 (-1 - sqrt(33)))^t + 0.728966 (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33)))^t - 1.72897 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t + 0.791635 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t - 0.179594 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^2 + 0.0189868 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^3 - 0.00107462 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^4 + 0.00003334 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^5 - 5.34251 * 10^-7 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^6 + 3.45821 * 10^-9 ((1 + 1/4 (-1 - sqrt(33))) (1 + 1/4 (-1 + sqrt(33))))^t t^7)
658600 + 667100 t - 207300 t^2 + 27940 t^3 - 1891 t^4 + 67.61 t^5 - 1.222 t^6 + 0.008808 t^7

```



EK 5. Parçalı Olarak Modelin Çalıştırılması

```

h = 1
c = 1
y = 274261
z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
s1 = (1 - h * z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(-t/h) - (1 - h * z2)^(-t/h))

m[t_] = Piecewise[{{0.02602 * t^7 - 2.947 * t^6 + 135.8 * t^5 - 3245 * t^4 + 42130 * t^3 - 282600 * t^2 + 843200 * t + 532000, 0 <= t <= 30},
{-9567.055556 * t^3 + 943459.2738 * t^2 - 31019368.5 * t + 341553593, 30 <= t <= 36}}]

f[t_] =
Piecewise[
{{ a * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + y * (4 / (1 + c * h) + s2) -
h *
( Sum[(((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-244.7484159 + (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 + (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) /
(1 + c * h) - (2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442)) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000)), 0 <= t <= 30],
{ a * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + y * (4 / (1 + c * h) + s2) -
h *
( Sum[(((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-244.7484159 + (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 + (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) /
(1 + c * h) - (2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442)) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000)), 30 <= t <= 36}}]

Solve[f[36] == 1507769, a]

```

1

1

274261

$$\frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})$$

$$\frac{1}{4} (1 - \sqrt{33})$$

$$\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t}$$

$$\frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t}}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}$$

$$\begin{cases} 532000 + 843200 t - 282600 t^2 + 42130 t^3 - 3245 t^4 + 135.8 t^5 - 2.947 t^6 + 0.02602 t^7 & 0 \leq t \leq 30 \\ 341553593 - 3.10194 \times 10^7 t + 943459. t^2 - 9567.06 t^3 & 30 \leq t \leq 36 \end{cases}$$

$$\left[\frac{540512 \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1-\sqrt{33})}{4} \right)^{-t} - \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1+\sqrt{33})}{4} \right)^{-t}}{\frac{1}{4}(-1+\sqrt{33}) + \frac{1}{4}(1+\sqrt{33})} + \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1-\sqrt{33})}{4} \right)^{-t} + \frac{\left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1-\sqrt{33})}{4} \right)^{-t} \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1-\sqrt{33})}{4} \right)^{-t} - \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1+\sqrt{33})}{4} \right)^{-t} \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1+\sqrt{33})}{4} \right)^{-t}}{\frac{1}{4}(-1+\sqrt{33}) + \frac{1}{4}(1+\sqrt{33})} \right] a + 1.15795 \times 10^6 \left(\left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1-\sqrt{33})}{4} \right) \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1+\sqrt{33})}{4} \right) \right)^{-t} \left(1 + \frac{1}{4} \right) +$$

$$-959015. \left(\left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1-\sqrt{33})}{4} \right) \right)^{1-t} - \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1+\sqrt{33})}{4} \right)^{1-t} - 991388. \left(\left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1-\sqrt{33})}{4} \right) \right)^{2-t} - \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1+\sqrt{33})}{4} \right)^{2-t} - 958273. \left(\left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1-\sqrt{33})}{4} \right) \right)^{3-t} - \left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1+\sqrt{33})}{4} \right)^{3-t} - 906238. \left(\left(\frac{1+\frac{1}{4}(-1-\sqrt{33})}{4} \right) \right)^{4-t}$$

h = 1

c = 1

b = 274261

a = 1.0048505443258177 * 10^6

$$z1 = (c + (c^2 + 16(1 + c * h))^{1/2}) / (2(1 + c * h))$$

$$z2 = (c - (c^2 + 16(1 + c * h))^{1/2}) / (2(1 + c * h))$$

$$s1 = (1 - h * z1)^{-t/h}$$

$$s2 = 1 / (z1 - z2) * ((1 - h * z1)^{-t/h} - (1 - h * z2)^{-t/h})$$

$$s22 = 1 / (z1 - z2) * ((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} - (1 - h * z2)^{-(k-1-t)/h})$$

$$m[t_] = Piecewise[{{(0.02602 * t^7 - 2.947 * t^6 + 135.8 * t^5 - 3245 * t^4 + 42130 * t^3 - 282600 * t^2 + 843200 * t + 532000, 0 <= t <= 30), {-9567.055556 * t^3 + 943459.2738 * t^2 - 31019368.5 * t + 341553593, 30 <= t <= 36}}]$$

f[t_] =

Piecewise[

$$\left\{ \left\{ a * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + b * (4 / (1 + c * h) * s2) - \right. \right.$$

h *

$$\sum_{k=1}^{t/h} \left(((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} - (1 - h * z2)^{-(k-1-t)/h})) * \right.$$

$$\left((4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) - (2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} - (1 - h * z2)^{-(k-1-t)/h})) * (0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000) \right) \right\}, 0 <= t <= 30 \},$$

$$\left\{ a * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + b * (4 / (1 + c * h) * s2) - \right.$$

h *

$$\sum_{k=1}^{30/h} \left(((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} - (1 - h * z2)^{-(k-1-t)/h})) * \right.$$

$$\left((4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) - (2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} - (1 - h * z2)^{-(k-1-t)/h})) * (0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000) \right) \right\} -$$

h *

$$\sum_{k=30/h+1}^{t/h} \left(((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} - (1 - h * z2)^{-(k-1-t)/h})) * \right.$$

$$\left((4 * (-2445.821429 * (h * k)^2 + 145218.95 * (h * k) - 1469335.414) + c * (-16279.875 * (h * k)^2 + 1035650.396 * (h * k) - 14629340.09)) / (1 + c * h) - (-2 * 16279.875 * (h * k) + 16279.875 * h - 1035650.396) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h * z1)^{-(k-1-t)/h} - (1 - h * z2)^{-(k-1-t)/h})) * (-9567.055556 * (h * k)^3 + 943459.2738 * (h * k)^2 - 31019368.5 * (h * k) + 341553593) \right) \right\}, 30 <= t <= 36 \}}]$$

```

g[t_] =
Piecewise[
{{ a * (s2) + b * (s1 - z1 * s2) -
h *

$$\left( \sum_{k=1}^{t/h} \left( (1/(z1 - z2)) \left( (1 - h * z1)^{(k - 1 - t/h)} - (1 - h * z2)^{(k - 1 - t/h)} \right) * \right. \right.$$


$$\left. \left( (4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / \right.$$


$$\left. (1 + c * h) - (2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442) + \right.$$


$$\left. \left( (1 - h * z1)^{(k - 1 - t/h)} - z1 * 1 / (z1 - z2) \left( (1 - h * z1)^{(k - 1 - t/h)} - (1 - h * z2)^{(k - 1 - t/h)} \right) \right) * \right.$$


$$\left. \left. (0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000) \right) \right\}, 0 <= t <= 30},$$

{ a * (s2) + b * (s1 - z1 * s2) -
h *

$$\left( \sum_{k=1}^{50/h} \left( (1/(z1 - z2)) \left( (1 - h * z1)^{(k - 1 - t/h)} - (1 - h * z2)^{(k - 1 - t/h)} \right) * \right. \right.$$


$$\left( (4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / \right.$$


$$\left. (1 + c * h) - (2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442) + \right.$$


$$\left. \left( (1 - h * z1)^{(k - 1 - t/h)} - z1 * 1 / (z1 - z2) \left( (1 - h * z1)^{(k - 1 - t/h)} - (1 - h * z2)^{(k - 1 - t/h)} \right) \right) * \right.$$


$$\left. \left. (0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000) \right) \right\} -$$

h *

$$\left( \sum_{k=30/h, 1}^{t/h} \left( (1/(z1 - z2)) \left( (1 - h * z1)^{(k - 1 - t/h)} - (1 - h * z2)^{(k - 1 - t/h)} \right) * \right. \right.$$


$$\left( (4 * (-2445.821429 * (h * k)^2 + 145218.95 * (h * k) - 1469335.414) + c * (-16279.875 * (h * k)^2 + 1035650.396 * (h * k) - 14629340.09) / \right.$$


$$\left. (1 + c * h) - (2 * 16279.875 * (h * k) + 16279.875 * h - 1035650.396) + \right.$$


$$\left. \left( (1 - h * z1)^{(k - 1 - t/h)} - z1 * 1 / (z1 - z2) \left( (1 - h * z1)^{(k - 1 - t/h)} - (1 - h * z2)^{(k - 1 - t/h)} \right) \right) * \right.$$


$$\left. \left. (-9567.055556 * (h * k)^3 + 943459.2738 * (h * k)^2 - 31019368.5 * (h * k) + 341553593) \right) \right\}, 30 <= t <= 36]]]$$

```

```

w = Table[{h * 1, m[h * 1]}, {1, 0, 36}];
u = Table[{h * 1, g[h * 1]}, {1, 0, 36}];
v = Table[{h * 1, f[h * 1]}, {1, 0, 36}];
plot7 = ListPlot[v, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot8 = ListPlot[u, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot9 = ListPlot[w, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
f[33]

```

1

1

274261

1.00485 * 10⁶ $\frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})$ $\frac{1}{4} (1 - \sqrt{33})$ $\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t}$

$$\frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t}}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}$$

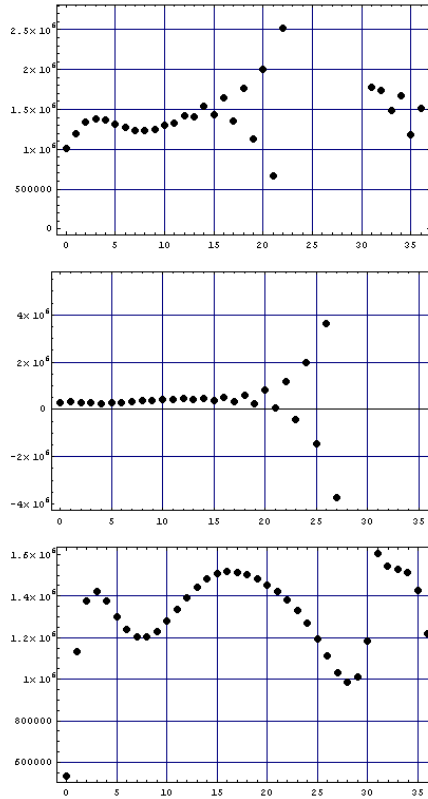
$$\frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-1+h*t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-1+h*t}}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}$$

$$\begin{cases} 532000 + 843200 t - 282600 t^2 + 42130 t^3 - 3245 t^4 + 135.8 t^5 - 2.947 t^6 + 0.02602 t^7 & 0 \leq t \leq 30 \\ 341553593 - 3.10194 \times 10^7 t + 943459. t^2 - 9567.06 t^3 & 30 \leq t \leq 36 \end{cases}$$

$$\left[\frac{540522 \left(\left(\frac{1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \right)^{-t} - \left(\frac{1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \right)^{-t} \right) + 1.00485 \times 10^6 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} + \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(\frac{1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}\right)^{-t} - \left(\frac{1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}\right)^{-t} \right)}{-959015. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{1-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{1-t} \right) - 991388. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{2-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{2-t} \right) - 958273. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{3-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{3-t} \right) - 9062. \right.$$

$$\left. \left[349844. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t} \right) + 274261 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \frac{(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})) \left(\frac{1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \right)^{-t} - \left(\frac{1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \right)^{-t} \right)}{4 \left(\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33}) \right)} \right] - 976234. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right); \right.$$

$$\left. -391488. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{1-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{1-t} \right) - 405382. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{2-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{2-t} \right) - 419038. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{3-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{3-t} \right) - 4324. \right.$$



EK 6. 3'er Aylık Dönemler Halinde Modelin Çalıştırılması

```

n = 3
c = 1
y = 274261
z1 = (c + (c^2 + 16(1+c+h))^(1/2)) / (2(1+c+h))
z2 = (c - (c^2 + 16(1+c+h))^(1/2)) / (2(1+c+h))
s1 = (1-h+z1)^(-t/h)
s2 = 1/(z1-z2) * ((1-h+z1)^(-t/h) - (1-h+z2)^(-t/h))

f[t_] = x * (s1 + s2 * (c / (1+c+h) - z1)) + y * (4 / (1+c+h) * s2) -
h *
Sum[(((1-h+z1)^(k-1-t/h) + (c / (1+c+h) - z1) * 1 / (z1-z2) * ((1-h+z1)^(k-1-t/h) - (1-h+z2)^(k-1-t/h))) *
((4 * (-338.6237125 + (h+k)^2 + 24021.69345 + (h+k) + 219780.1402) + c * (47.08109802 + (h+k)^2 + 16423.80079 + (h+k) + 1153080.65)) / (1+c+h) -
(2 * 47.08109802 * (h+k) - 47.08109802 * h + 16423.80079)) + (4 / (1+c+h) * 1 / (z1-z2) * ((1-h+z1)^(k-1-t/h) - (1-h+z2)^(k-1-t/h))) *
((0.008808 * (h+k)^7 - 1.222 * (h+k)^6 + 67.61 * (h+k)^5 - 1891 * (h+k)^4 + 27940 * (h+k)^3 - 207300 * (h+k)^2 + 667100 * (h+k) + 658600)))],
{k=1, t/h}]

Solve[f[36] == 1.7511159423881487 * x^6, x]
3
1
274261
1/8 (1+sqrt(65))
1/8 (1-sqrt(65))
(1 - 3/8 (1+sqrt(65)))^(-3/2)
- (1 - 2/8 (1-sqrt(65)))^(-3/2) + (1 - 2/8 (1+sqrt(65)))^(-3/2)
1/8 (-1+sqrt(65)) + 1/8 (1+sqrt(65))
274261 * (- (1 - 2/8 (1-sqrt(65)))^(-3/2) + (1 - 2/8 (1+sqrt(65)))^(-3/2))
1/8 (-1+sqrt(65)) + 1/8 (1+sqrt(65)) - 865808. * ((1 - 3/8 (1-sqrt(65))) (1 - 3/8 (1+sqrt(65))))^(-3/2)
(1. * (1 - 3/8 (1-sqrt(65)))^(3/2) - 2.62045 (1 - 3/8 (1+sqrt(65)))^(3/2) + 1.62045 ((1 - 3/8 (1-sqrt(65))) (1 - 3/8 (1+sqrt(65))))^(3/2) - 1.49331 ((1 - 3/8 (1-sqrt(65))) (1 - 3/8 (1+sqrt(65))))^(3/2) * t +
0.325718 ((1 - 3/8 (1-sqrt(65))) (1 - 3/8 (1+sqrt(65))))^(3/2) * t^2 - 0.0374704 ((1 - 3/8 (1-sqrt(65))) (1 - 3/8 (1+sqrt(65))))^(3/2) * t^3 + 0.00235128 ((1 - 3/8 (1-sqrt(65))) (1 - 3/8 (1+sqrt(65))))^(3/2) * t^4 -
0.0000808202 ((1 - 3/8 (1-sqrt(65))) (1 - 3/8 (1+sqrt(65))))^(3/2) * t^5 + 1.4292 * 10^(-6) ((1 - 3/8 (1-sqrt(65))) (1 - 3/8 (1+sqrt(65))))^(3/2) * t^6 - 1.01732 * 10^(-6) ((1 - 3/8 (1-sqrt(65))) (1 - 3/8 (1+sqrt(65))))^(3/2) * t
((1 - 3/8 (1+sqrt(65)))^(-3/2) + (1/4 + 1/8 (-1-sqrt(65))) * (- (1 - 2/8 (1-sqrt(65)))^(-3/2) + (1 - 2/8 (1+sqrt(65)))^(-3/2))
1/8 (-1+sqrt(65)) + 1/8 (1+sqrt(65))
(x -> 1.0916 * 10^6)
    
```

```

h = 3
c = 1
y = 274261
x = 1.0916040000061598 * h^6
z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
s1 = (1 - h * z1)^(t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(t/h) - (1 - h * z2)^(t/h))

f[t_] = x * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + y * (4 / (1 + c * h) + s2) -
  h *
  
$$\left( \sum_{k=1}^{\frac{t}{h}} \left( \left( (1 - h * z1)^{k-1-t/h} + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) \left( (1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right) \right) * \right. \right.$$


$$\left. \left( (4 * (-338.6237125 * (h * k)^2 + 24021.69345 * (h * k) + 219780.1402) + c * (47.08109802 * (h * k)^2 + 16423.80079 * (h * k) + 1153080.65)) / (1 + c * h) - \right. \right.$$


$$\left. \left( 2 * 47.08109802 * (h * k) - 47.08109802 * h + 16423.80079 \right) + (4 / (1 + c * h) + 1 / (z1 - z2) \left( (1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right)) * \right. \left. \right.$$


$$\left. \left. (0.008808 * (h * k)^7 - 1.222 * (h * k)^6 + 67.61 * (h * k)^5 - 1891 * (h * k)^4 + 27940 * (h * k)^3 - 207300 * (h * k)^2 + 667100 * (h * k) + 658600) \right) \right)$$


g[t_] =
x * (s2) + y * (s1 - z1 * s2) -
  h *
  
$$\left( \sum_{k=1}^{\frac{t}{h}} \left( \left( (1 / (z1 - z2) \left( (1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right) \right) * \right. \right.$$


$$\left. \left( (4 * (-338.6237125 * (h * k)^2 + 24021.69345 * (h * k) + 219780.1402) + c * (47.08109802 * (h * k)^2 + 16423.80079 * (h * k) + 1153080.65)) / (1 + c * h) - \right. \right.$$

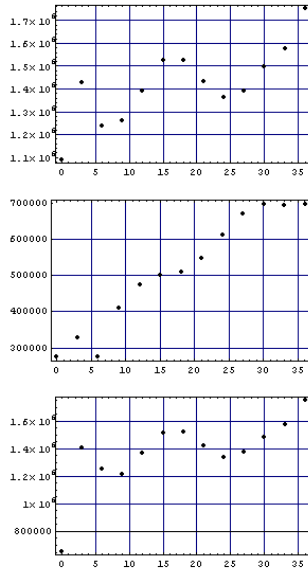

$$\left. \left( 2 * 47.08109802 * (h * k) - 47.08109802 * h + 16423.80079 \right) + \left( (1 - h * z1)^{k-1-t/h} - z1 * 1 / (z1 - z2) \left( (1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right) \right) * \right. \left. \right.$$


$$\left. \left. (0.008808 * (h * k)^7 - 1.222 * (h * k)^6 + 67.61 * (h * k)^5 - 1891 * (h * k)^4 + 27940 * (h * k)^3 - 207300 * (h * k)^2 + 667100 * (h * k) + 658600) \right) \right)$$


f[36]
m[t_] = 0.008808 * t^7 - 1.222 * t^6 + 67.61 * t^5 - 1891 * t^4 + 27940 * t^3 - 207300 * t^2 + 667100 * t + 658600
w = Table[{h+1, m[h+1]}, {1, 0, 12}];
u = Table[{h+1, g[h+1]}, {1, 0, 12}];
v = Table[{h+1, f[h+1]}, {1, 0, 12}];
plot1 = ListPlot[v, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot2 = ListPlot[u, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
plot3 = ListPlot[w, PlotStyle -> PointSize[.02], Frame -> True, GridLines -> Automatic];
Null

3
1
274261
1.0916 * 10^6
1/8 (1 + sqrt[65])
1/8 (1 - sqrt[65])
(1 - 3/8 (1 + sqrt[65]))^-t/3
- (1 - 2/8 (1 - sqrt[65]))^-t/3 + (1 - 2/8 (1 + sqrt[65]))^-t/3
  / (1/8 (-1 + sqrt[65]) + 1/8 (1 + sqrt[65]))
274261 * (- (1 - 2/8 (1 - sqrt[65]))^-t/3 + (1 - 2/8 (1 + sqrt[65]))^-t/3) /
  (1/8 (-1 + sqrt[65]) + 1/8 (1 + sqrt[65])) +
1.0916 * 10^6 * ((1 - 3/8 (1 + sqrt[65]))^-t/3 + (1/8 + 1/8 (-1 - sqrt[65])) * (- (1 - 2/8 (1 - sqrt[65]))^-t/3 + (1 - 2/8 (1 + sqrt[65]))^-t/3) /
  (1/8 (-1 + sqrt[65]) + 1/8 (1 + sqrt[65]))) - 865808. * ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65])))^-t/3
(1. (1 - 3/8 (1 - sqrt[65]))^t/3 - 2.62045 (1 - 3/8 (1 + sqrt[65]))^t/3 + 1.62045 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65])))^t/3 - 1.49331 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65])))^t/3 * t +
0.325718 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^2 - 0.0374704 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^3 + 0.00235128 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^4 -
0.0000808202 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^5 + 1.4292 * 10^-6 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^6 - 1.01732 * 10^-8 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^7
541587. * (- (1 - 3/8 (1 - sqrt[65]))^-t/3 + (1 - 3/8 (1 + sqrt[65]))^-t/3) +
274261 * ((1 - 3/8 (1 + sqrt[65]))^-t/3 - (1 + sqrt[65]) * (- (1 - 2/8 (1 - sqrt[65]))^-t/3 + (1 - 2/8 (1 + sqrt[65]))^-t/3) /
  (8 (1/8 (-1 + sqrt[65]) + 1/8 (1 + sqrt[65]))) - 764320. * ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65])))^-t/3
(1. (1 - 3/8 (1 - sqrt[65]))^t/3 + 3.36255 (1 - 3/8 (1 + sqrt[65]))^t/3 - 4.36255 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 + 1.61522 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t -
0.276009 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^2 + 0.0243142 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^3 - 0.00120011 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^4 +
0.0000333278 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^5 - 4.85411 * 10^-7 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^6 + 2.88099 * 10^-9 ((1 - 3/8 (1 - sqrt[65])) (1 - 3/8 (1 + sqrt[65))))^t/3 * t^7
1.75112 * 10^6
658600 + 667100 * t - 207300 * t^2 + 27940 * t^3 - 1891 * t^4 + 67.61 * t^5 - 1.222 * t^6 + 0.008808 * t^7

```



EK 7. Maliyet Karşılaştırması için Modelin Çalıştırılması

$$\begin{aligned}
 &h = 1 \\
 &c = 1 \\
 &y = 274261 \\
 &x = 1.0043727951956522 \cdot 10^6 \\
 &z1 = (c + (c^2 + 16(1 + c \cdot h))^{1/2}) / (2(1 + c \cdot h)) \\
 &z2 = (c - (c^2 + 16(1 + c \cdot h))^{1/2}) / (2(1 + c \cdot h)) \\
 &s1 = (1 - h \cdot z1)^{-t/h} \\
 &s2 = 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{-t/h} \right) \\
 \\
 &f[t_] = x * (s1 + s2 * (c / (1 + c \cdot h) - z1)) + y * (4 / (1 + c \cdot h) * s2) - \\
 & \quad h * \left(\sum_{k=1}^{t/h} \left(((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} + (c / (1 + c \cdot h) - z1) * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right)) * \right. \right. \\
 & \quad \left. \left((4 * (-244.7484159 + (h+k)^2 + 21265.06096 * (h+k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h+k)^2 - 652.117442 * (h+k) + 1151670.095)) / (1 + c \cdot h) - \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. (2 * 299.1849575 * (h+k) - 299.1849575 * h - 652.117442) + (4 / (1 + c \cdot h) * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right)) * \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. (0.02602 * (h+k)^7 - 2.947 * (h+k)^6 + 135.8 * (h+k)^5 - 3245 * (h+k)^4 + 42130 * (h+k)^3 - 282600 * (h+k)^2 + 843200 * (h+k) + 532000) \right) \right) \\
 \\
 &g[t_] = \\
 & \quad x * (s2) + y * (s1 - z1 * s2) - \\
 & \quad h * \left(\sum_{k=1}^{t/h} \left((1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right)) * \right. \right. \\
 & \quad \left. \left((4 * (-244.7484159 + (h+k)^2 + 21265.06096 * (h+k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h+k)^2 - 652.117442 * (h+k) + 1151670.095)) / (1 + c \cdot h) - \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. (2 * 299.1849575 * (h+k) - 299.1849575 * h - 652.117442) + ((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - z1 * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right)) * \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. (0.02602 * (h+k)^7 - 2.947 * (h+k)^6 + 135.8 * (h+k)^5 - 3245 * (h+k)^4 + 42130 * (h+k)^3 - 282600 * (h+k)^2 + 843200 * (h+k) + 532000) \right) \right) \\
 \\
 & \sum_{k=1}^{30} \left((1 / (1 + h \cdot c))^{h+k-h} \right) \\
 & \left(0.5^2 (-299.1849575 * (h+k)^2 + 652.117442 * (h+k) - 1151670.095 + f[h \cdot k - h])^2 + 0.5^8 (g[h \cdot k - h] + 244.7484159 * (h+k)^2 - 21265.06096 * (h+k) - 232912.7975)^2 \right) * h \\
 &Null
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 1 \\
 & 1 \\
 & 274261 \\
 & 1.00437 \times 10^6 \\
 & \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33}) \\
 & \frac{1}{4} (1 - \sqrt{33}) \\
 & \left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-5} \\
 & \frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-5} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-5}}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \\
 & \frac{548522 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-5} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-5}\right)}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} + \\
 & 1.00437 \times 10^6 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-5} + \frac{\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-5} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-5}\right)}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \right) + 1.15795 \times 10^6 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-5} \\
 & \left(1. \left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^5 - 0.6741 \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^5 - 0.3259 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 + 1.07651 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 \right) t - \\
 & 0.301652 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^2 + 0.0410843 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^3 - 0.00300556 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^4 + \\
 & 0.000121743 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^5 - 2.58434 \times 10^{-6} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^6 + 2.24707 \times 10^{-6} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 \\
 & 349678. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-5} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-5}\right) + \\
 & 274261 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-5} - \frac{\left(1 + \sqrt{33}\right) \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-5} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-5}\right)}{4 \left(\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})\right)} \right) - 976234. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^{-5} \\
 & \left(1. \left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^5 + 0.474206 \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^5 - 1.47421 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 + 0.736312 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 \right) t - \\
 & 0.173814 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^2 + 0.0200661 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^3 - 0.00127572 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^4 + \\
 & 0.000045577 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^5 - 8.59634 \times 10^{-7} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 t^6 + 6.66336 \times 10^{-6} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)\right)^5 \\
 & (5.61176 \times 10^{10})
 \end{aligned}$$

```

h = 1
c = 1
b = 274261
a = 1.0079019619367267 **6
z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c * h)) ^ (1/2)) / (2 (1 + c * h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c * h)) ^ (1/2)) / (2 (1 + c * h))
s1 = (1 - h * z1) ^ (-t / h)
s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1) ^ (-t / h) - (1 - h * z2) ^ (-t / h))
s22 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1) ^ (k - 1 - t / h) - (1 - h * z2) ^ (k - 1 - t / h))

```

$$\begin{aligned}
 f[t_] = & a * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + b * (4 / (1 + c * h) * s2) - \\
 & h * \\
 & \left(\sum_{k=1}^{t/h} \left(\left((1 - h * z1) ^ (k - 1 - t / h) + (c / (1 + c * h) - z1) + 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1) ^ (k - 1 - t / h) - (1 - h * z2) ^ (k - 1 - t / h) \right) \right) * \right. \right. \\
 & \left. \left((4 * (-338.6237125 * (h + k) ^ 2 + 24021.69345 * (h + k) + 219780.1402) + c * (47.08109802 * (h + k) ^ 2 + 16423.80079 * (h + k) + 1153080.65)) / (1 + c * h) - \right. \right. \\
 & \left. \left. (2 * 47.08109802 * (h + k) - 47.08109802 * h + 16423.80079) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1) ^ (k - 1 - t / h) - (1 - h * z2) ^ (k - 1 - t / h) \right)) * \right. \right. \\
 & \left. \left. (0.008808 * (h + k) ^ 7 - 1.222 * (h + k) ^ 6 + 67.61 * (h + k) ^ 5 - 1891 * (h + k) ^ 4 + 27940 * (h + k) ^ 3 - 207300 * (h + k) ^ 2 + 667100 * (h + k) + 658600) \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 g[t_] = & a * (s2) + b * (s1 - z1 * s2) - \\
 & h * \\
 & \left(\sum_{k=1}^{t/h} \left(\left((1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1) ^ (k - 1 - t / h) - (1 - h * z2) ^ (k - 1 - t / h) \right) * \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left((4 * (-338.6237125 * (h + k) ^ 2 + 24021.69345 * (h + k) + 219780.1402) + c * (47.08109802 * (h + k) ^ 2 + 16423.80079 * (h + k) + 1153080.65)) / (1 + c * h) - \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. (2 * 47.08109802 * (h + k) - 47.08109802 * h + 16423.80079) + ((1 - h * z1) ^ (k - 1 - t / h) - z1 * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1) ^ (k - 1 - t / h) - (1 - h * z2) ^ (k - 1 - t / h) \right)) * \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. (0.008808 * (h + k) ^ 7 - 1.222 * (h + k) ^ 6 + 67.61 * (h + k) ^ 5 - 1891 * (h + k) ^ 4 + 27940 * (h + k) ^ 3 - 207300 * (h + k) ^ 2 + 667100 * (h + k) + 658600) \right) \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^{36-1} \left((1 / (1 + h * c)) ^ (h * k - h) \right) \left(0.5^2 (-47.08109802 * (h + k - h) ^ 2 - 16423.80079 * (h + k - h) - 1153080.65 + f[h * k - h])^2 + 0.5^8 (g[h * k - h] + 338.6237125 * (h + k - h) ^ 2 - 24021.69345 * (h + k - h) - 219780.1402)^2 \right) * h)$$

Null

1

1

274261

1.0079×10^6

$$\frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})$$

$$\frac{1}{4} (1 - \sqrt{33})$$

$$\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t}$$

$$\frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t}}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}$$

$$\frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-1+k-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-1+k-t}}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}$$

$$\frac{548522 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t} \right)}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} + 1.0079 \times 10^6 \left[\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} + \frac{\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t} \right)}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \right] +$$

$$755269. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} \left(1. \left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - 1.03625 \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t} + 0.0362511 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} + \right. \\ \left. 1.23787 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t - 0.328217 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^2 + 0.0409076 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^3 - \right. \\ \left. 0.00265114 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^4 + 0.0000922815 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^5 - \right. \\ \left. 1.63838 \times 10^{-6} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^6 + 1.16621 \times 10^{-6} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^7 \right)$$

$$350906. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t} \right) +$$

$$274261 \left[\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \frac{(1 + \sqrt{33}) \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t} \right)}{4 \left(\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33}) \right)} \right] - 636745. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t}$$

$$\left(1. \left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right)^{-t} + 0.728966 \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right)^{-t} - 1.72897 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} + 0.791635 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t - \right. \\ \left. 0.179594 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^2 + 0.0189868 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^3 - 0.00107462 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^4 + \right. \\ \left. 0.00003334 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^5 - 5.34251 \times 10^{-7} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^6 + 3.45821 \times 10^{-9} \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33})\right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33})\right) \right)^{-t} t^7 \right)$$

(5.84305×10^{10})

h = 1

c = 1

y = 274261

a = 1.004805443258177 * 10^6

z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c + h))^(1/2)) / (2 (1 + c + h))

z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c + h))^(1/2)) / (2 (1 + c + h))

s1 = (1 - h * z1)^(t/h)

s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(t/h) - (1 - h * z2)^(t/h))

s22 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k-1-t/h) - (1 - h * z2)^(k-1-t/h))

m[t_] = Piecewise[{{0.02602 * t^7 - 2.947 * t^6 + 135.8 * t^5 - 3245 * t^4 + 42130 * t^3 - 282600 * t^2 + 843200 * t + 532000, 0 <= t <= 30},
{-9567.055556 * t^3 + 943459.2738 * t^2 - 31019368.5 * t + 341553593, 30 <= t <= 36}]]

f[t_] =

Piecewise[

{ { a * (s1 + s2 * (c / (1 + c + h) - z1)) + y * (4 / (1 + c + h) * s2) -

h *

$$\sum_{k=1}^{t/h} \left(\left((1 - h * z1)^{k-1-t/h} + (c / (1 + c + h) - z1) * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right) \right) * \right.$$

$$\left((4 * (-244.7484159 * (h+k)^2 + 21265.06096 * (h+k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h+k)^2 - 652.117442 * (h+k) + 1151670.095)) / (1 + c + h) - \right.$$

$$\left(2 * 299.1849575 * (h+k) - 299.1849575 * h - 652.117442 \right) + (4 / (1 + c + h) * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right)) * \right.$$

$$\left. \left. (0.02602 * (h+k)^7 - 2.947 * (h+k)^6 + 135.8 * (h+k)^5 - 3245 * (h+k)^4 + 42130 * (h+k)^3 - 282600 * (h+k)^2 + 843200 * (h+k) + 532000) \right) \right\}, 0 <= t <= 30],$$

{ a * (s1 + s2 * (c / (1 + c + h) - z1)) + y * (4 / (1 + c + h) * s2) -

h *

$$\sum_{k=1}^{t/h} \left(\left((1 - h * z1)^{k-1-t/h} + (c / (1 + c + h) - z1) * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right) \right) * \right.$$

$$\left((4 * (-244.7484159 * (h+k)^2 + 21265.06096 * (h+k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h+k)^2 - 652.117442 * (h+k) + 1151670.095)) / (1 + c + h) - \right.$$

$$\left(2 * 299.1849575 * (h+k) - 299.1849575 * h - 652.117442 \right) + (4 / (1 + c + h) * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right)) * \right.$$

$$\left. \left. (0.02602 * (h+k)^7 - 2.947 * (h+k)^6 + 135.8 * (h+k)^5 - 3245 * (h+k)^4 + 42130 * (h+k)^3 - 282600 * (h+k)^2 + 843200 * (h+k) + 532000) \right) \right\} -$$

h *

$$\sum_{k=0}^{t/h-1} \left(\left((1 - h * z1)^{k-1-t/h} + (c / (1 + c + h) - z1) * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right) \right) * \right.$$

$$\left((4 * (-2445.821429 * (h+k)^2 + 145218.95 * (h+k) - 1469335.414) + c * (-16279.875 * (h+k)^2 + 1035650.396 * (h+k) - 14629340.09)) / (1 + c + h) - \right.$$

$$\left(-2 * 16279.875 * (h+k) + 16279.875 * h - 1035650.396 \right) + (4 / (1 + c + h) * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h} \right)) * \right.$$

$$\left. \left. (-9567.055556 * (h+k)^3 + 943459.2738 * (h+k)^2 - 31019368.5 * (h+k) + 341553593) \right) \right\}, 30 <= t <= 36]]]$$

$$\begin{aligned}
 &g[t_] = \\
 &\text{Piecewise}[\\
 &\quad \left\{ \left\{ a * (s2) + y * (s1 - z1 * s2) - \right. \right. \\
 &\quad \quad h * \\
 &\quad \quad \left. \left. \sum_{k=1}^{\lfloor t/h \rfloor} \left((1/(z1 - z2)) \left((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)} \right) * \right. \right. \\
 &\quad \quad \quad \left((4 * (-244.7484159 + (h+k)^2 + 21265.06096 * (h+k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h+k)^2 - 652.117442 * (h+k) + 1151670.095)) / \right. \\
 &\quad \quad \quad \left. (1 + c * h) - (2 * 299.1849575 * (h+k) - 299.1849575 * h - 652.117442) \right) + \\
 &\quad \quad \quad \left. \left((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - z1 * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)} \right) \right) * \right. \\
 &\quad \quad \quad \left. \left. (0.02602 * (h+k)^7 - 2.947 * (h+k)^6 + 135.8 * (h+k)^5 - 3245 * (h+k)^4 + 42130 * (h+k)^3 - 282600 * (h+k)^2 + 843200 * (h+k) + 532000) \right) \right\}, 0 <= t < 30 \}, \\
 &\quad \left\{ a * (s2) + y * (s1 - z1 * s2) - \right. \\
 &\quad \quad h * \\
 &\quad \quad \left. \sum_{k=1}^{\lfloor 30/h \rfloor} \left((1/(z1 - z2)) \left((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)} \right) * \right. \right. \\
 &\quad \quad \quad \left((4 * (-244.7484159 + (h+k)^2 + 21265.06096 * (h+k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h+k)^2 - 652.117442 * (h+k) + 1151670.095)) / \right. \\
 &\quad \quad \quad \left. (1 + c * h) - (2 * 299.1849575 * (h+k) - 299.1849575 * h - 652.117442) \right) + \\
 &\quad \quad \quad \left. \left((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - z1 * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)} \right) \right) * \right. \\
 &\quad \quad \quad \left. \left. (0.02602 * (h+k)^7 - 2.947 * (h+k)^6 + 135.8 * (h+k)^5 - 3245 * (h+k)^4 + 42130 * (h+k)^3 - 282600 * (h+k)^2 + 843200 * (h+k) + 532000) \right) \right\} - \\
 &\quad \quad h * \\
 &\quad \quad \left. \left. \sum_{k=30/h,1}^{\lfloor t/h \rfloor} \left((1/(z1 - z2)) \left((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)} \right) * \right. \right. \\
 &\quad \quad \quad \left((4 * (-2445.821429 + (h+k)^2 + 145218.95 * (h+k) - 1469335.414) + c * (-16279.875 * (h+k)^2 + 1035650.396 * (h+k) - 14629340.09) / \right. \\
 &\quad \quad \quad \left. (1 + c * h) - (2 * 16279.875 * (h+k) + 16279.875 * h - 1035650.396) \right) + \\
 &\quad \quad \quad \left. \left((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - z1 * 1 / (z1 - z2) \left((1 - h * z1)^{(k-1-t/h)} - (1 - h * z2)^{(k-1-t/h)} \right) \right) * \right. \\
 &\quad \quad \quad \left. \left. (-9567.055556 * (h+k)^3 + 943459.2738 * (h+k)^2 - 31019368.5 * (h+k) + 341553593) \right) \right\}, 30 <= t < 36 \} \} \\
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\sum_{k=1}^{30} \left((1/(1+h*c))^{(h+k-h)} \right) \\
 &\quad \left(0.5^2 (-299.1849575 * (h+k-h)^2 + 652.117442 * (h+k-h) - 1151670.095 + f[h * k - h])^2 + \right. \\
 &\quad \left. 0.5^8 (g[h * k - h] + 244.7484159 * (h+k-h)^2 - 21265.06096 * (h+k-h) - 232912.7975)^2 * h \right) + \\
 &\sum_{k=30/h,1}^{36} \left((1/(1+h*c))^{(h+k-h)} \right) \left(0.5^2 (16279.875 * (h+k-h)^2 - 1035650.396 * (h+k-h) + 14629340.09 + f[h * k - h])^2 + \right. \\
 &\quad \left. 0.5^8 (g[h * k - h] + 2445.821429 * (h+k-h)^2 - 145218.95 * (h+k-h) + 1469335.414)^2 * h \right)
 \end{aligned}$$

1

1

274261

1.00485 * 10^6

$$\frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})$$

$$\frac{1}{4} (1 - \sqrt{33})$$

$$\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{-t}$$

$$\frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{-t}}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}$$

$$\frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{-4h-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{-4h-t}}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})}$$

$$\begin{cases} 532000 + 843200 t - 282600 t^2 + 42130 t^3 - 3245 t^4 + 135.8 t^5 - 2.947 t^6 + 0.02602 t^7 & 0 \leq t \leq 30 \\ 341553593 - 3.10194 \times 10^7 t + 943459. t^2 - 9567.06 t^3 & 30 \leq t \leq 36 \end{cases}$$

$$\left[\frac{548911 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{-t} \right)}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} + 1.00485 \times 10^6 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{-t} + \frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right) \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{-t} \right)}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \right) + 1.15795 \times 10^6 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right) \right) \right]$$

$$\left[-959015. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} \right) - 991388. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} \right) - 958273. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} \right) - 90623
 \right]$$

$$\left[349844. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{-t} \right) + 274261 \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{-t} - \frac{\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right) \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{-t} \right)}{\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{33})} \right) - 976234. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right) \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right) \right) \right]$$

$$\left[-391488. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} \right) - 405382. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} \right) - 419038. \left(\left(1 + \frac{1}{4} (-1 - \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} - \left(1 + \frac{1}{4} (-1 + \sqrt{33}) \right)^{4-h-t} \right) - 43245
 \right]$$

(6.6064 * 10^10)

```

h = 3
c = 1
y = 274261
x = 1091604
z1 = (c + (c^2 + 16(1 + c + h))^(1/2)) / (2(1 + c + h))
z2 = (c - (c^2 + 16(1 + c + h))^(1/2)) / (2(1 + c + h))
s1 = (1 - h + z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(-t/h) - (1 - h + z2)^(-t/h))

f[t_] = x * (s1 + s2 * (c / (1 + c + h) - z1)) + y * (4 / (1 + c + h) * s2) -
h *
Sum[(((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) + (c / (1 + c + h) - z1) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h + z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-338.6237125 * (h + k)^2 + 24021.69345 * (h + k) + 219780.1402) + c * (47.08109802 * (h + k)^2 + 16423.80079 * (h + k) + 1153080.65) / (1 + c + h) -
(2 * 47.08109802 * (h + k) - 47.08109802 * h + 16423.80079)) + (4 / (1 + c + h) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h + z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.008808 * (h + k)^7 - 1.222 * (h + k)^6 + 67.61 * (h + k)^5 - 1891 * (h + k)^4 + 27940 * (h + k)^3 - 207300 * (h + k)^2 + 667100 * (h + k) + 658600))), {k, 1, t/h}]

g[t_] =
x * (s2) + y * (s1 - z1 + s2) -
h *
Sum[(((1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h + z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-338.6237125 * (h + k)^2 + 24021.69345 * (h + k) + 219780.1402) + c * (47.08109802 * (h + k)^2 + 16423.80079 * (h + k) + 1153080.65) / (1 + c + h) -
(2 * 47.08109802 * (h + k) - 47.08109802 * h + 16423.80079)) + ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - z1 * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h + z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.008808 * (h + k)^7 - 1.222 * (h + k)^6 + 67.61 * (h + k)^5 - 1891 * (h + k)^4 + 27940 * (h + k)^3 - 207300 * (h + k)^2 + 667100 * (h + k) + 658600))), {k, 1, t/h}]

Sum[(((1 / (1 + h + c)^(h + k - h)) + 0.5^2 * (-47.08109802 * (h + k - h)^2 - 16423.80079 * (h + k - h) - 1153080.65 + f[h + k - h])^2 +
(1 / (1 + h + c)^(h + k - h)) + 0.5^8 * (g[h + k - h] + 338.6237125 * (h + k - h)^2 - 24021.69345 * (h + k - h) - 219780.1402)^2)), {k, 1, 36 - 1}]

Null
3
1
274261
1091604
1/8 (1 + sqrt(65))
1/8 (1 - sqrt(65))
(1 - 3/8 (1 + sqrt(65)))^(-t/2)
-(1 - 1/2 (1 - sqrt(65)))^(-t/2) + (1 - 1/2 (1 + sqrt(65)))^(-t/2)
1/2 (-1 + sqrt(65)) + 1/2 (1 + sqrt(65))
274261 * (-(1 - 1/2 (1 - sqrt(65)))^(-t/2) + (1 - 1/2 (1 + sqrt(65)))^(-t/2))
1/2 (-1 + sqrt(65)) + 1/2 (1 + sqrt(65))
1091604 * ((1 - 3/8 (1 + sqrt(65)))^(-t/2) + (1/4 + 1/8 (-1 - sqrt(65))) * (-(1 - 1/2 (1 - sqrt(65)))^(-t/2) + (1 - 1/2 (1 + sqrt(65)))^(-t/2)))
1/2 (-1 + sqrt(65)) + 1/2 (1 + sqrt(65)) - 865808 * ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^(-t/2)
(1 * (1 - 3/8 (1 - sqrt(65)))^t/2 - 2.62045 (1 - 3/8 (1 + sqrt(65)))^t/2 + 1.62045 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 - 1.49331 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t +
0.325718 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^2 - 0.0374704 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^3 + 0.00235128 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^4 -
0.0000808202 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^5 + 1.4292 * 10^-6 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^6 - 1.01732 * 10^-8 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^7
1091604 * (-(1 - 1/2 (1 - sqrt(65)))^(-t/2) + (1 - 1/2 (1 + sqrt(65)))^(-t/2))
1/2 (-1 + sqrt(65)) + 1/2 (1 + sqrt(65))
274261 * ((1 - 3/8 (1 + sqrt(65)))^(-t/2) - (1 + sqrt(65)) * (-(1 - 1/2 (1 - sqrt(65)))^(-t/2) + (1 - 1/2 (1 + sqrt(65)))^(-t/2)))
8 (1/2 (-1 + sqrt(65)) + 1/2 (1 + sqrt(65))) - 764320 * ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^(-t/2)
(1 * (1 - 3/8 (1 - sqrt(65)))^t/2 + 3.36255 (1 - 3/8 (1 + sqrt(65)))^t/2 - 4.36255 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 + 1.61522 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t -
0.276009 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^2 + 0.0243142 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^3 - 0.00120011 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^4 +
0.0000333278 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^5 - 4.85411 * 10^-7 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^6 + 2.88099 * 10^-8 ((1 - 3/8 (1 - sqrt(65))) (1 - 3/8 (1 + sqrt(65))))^t/2 * t^7
(4.96611 * 10^18)

```

EK 8. Farklı α Katsayıları için Modelin Çalıştırılması

```

h = 1
c = 0.5
y = 274261
x = 961419.0158524545
z1 = (c + (c^2 + 16(1+c*h))^(1/2)) / (2(1+c*h))
z2 = (c - (c^2 + 16(1+c*h))^(1/2)) / (2(1+c*h))
s1 = (1-h*z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1-z2) * ((1-h*z1)^(-t/h) - (1-h*z2)^(-t/h))

f[t_] = x*(s1+s2*(c/(1+c*h) - z1)) + y*(4/(1+c*h)*s2) -
h*
( Sum[(((1-h*z1)^(k-1-t/h) + (c/(1+c*h) - z1) + 1/(z1-z2) * ((1-h*z1)^(k-1-t/h) - (1-h*z2)^(k-1-t/h)))) *
((4*(-244.7484159*(h+k)^2 + 21265.06096*(h+k) + 232912.7975) + c*(299.1849575*(h+k)^2 - 652.117442*(h+k) + 1151670.095)) / (1+c*h) -
(2*299.1849575*(h+k) - 299.1849575*h - 652.117442)) + (4/(1+c*h)*1/(z1-z2) * ((1-h*z1)^(k-1-t/h) - (1-h*z2)^(k-1-t/h))) *
(0.02602*(h+k)^7 - 2.947*(h+k)^6 + 135.8*(h+k)^5 - 3245*(h+k)^4 + 42130*(h+k)^3 - 282600*(h+k)^2 + 843200*(h+k) + 532000)]]
g[t_] =
x*(s2) + y*(s1 - z1*s2) -
h*
( Sum[(((1/(z1-z2) * ((1-h*z1)^(k-1-t/h) - (1-h*z2)^(k-1-t/h))) *
((4*(-244.7484159*(h+k)^2 + 21265.06096*(h+k) + 232912.7975) + c*(299.1849575*(h+k)^2 - 652.117442*(h+k) + 1151670.095)) / (1+c*h) -
(2*299.1849575*(h+k) - 299.1849575*h - 652.117442)) + ((1-h*z1)^(k-1-t/h) - z1 + 1/(z1-z2) * ((1-h*z1)^(k-1-t/h) - (1-h*z2)^(k-1-t/h))) *
(0.02602*(h+k)^7 - 2.947*(h+k)^6 + 135.8*(h+k)^5 - 3245*(h+k)^4 + 42130*(h+k)^3 - 282600*(h+k)^2 + 843200*(h+k) + 532000)]]
Sum[ Sum[ (1/(1+h*c))^(h+k-h)
(0.5^2*(299.1849575*(h+k)^2 + 652.117442*(h+k) - 1151670.095 + f[h+k-h])^2 + 0.5^8*(g[h+k-h] + 244.7484159*(h+k)^2 - 21265.06096*(h+k) - 232912.7975)^2) + h)
Null
1
0.5
274261
961419.
1.80814
-1.47481
(-0.808143)^-5
0.304604((-0.808143)^-5 - 2.47481^-5)
222776.((-0.808143)^-5 - 2.47481^-5) + 961419.((-0.808143)^-5 - 0.449233((-0.808143)^-5 - 2.47481^-5)) +
0.00854023(-2.)^-5(1.42888*10^8*2.47481^5(-1+0.553054(1-(-0.808143)^4)) - 935432.(-0.808143)^5(-1-0.678054(1-2.47481^4)) +
3.12179*10^7(-0.808143)^5(1.13781-2.47481^4(0.459757-0.678054t)) + 1.03698*10^8*2.47481^5(-0.247185-(-0.808143)^4(0.305868+0.553054t)) -
1.08491*10^7(-0.808143)^5(-2.6808-2.47481^4(-1.08324+0.919513t-0.678054t^2)) -
3.33038*10^7*2.47481^5(-0.0262281-(-0.808143)^4(0.0324548+0.611737t+0.553054t^2)) + 1.61914*10^6(-0.808143)^5
(8.90548-2.47481^4(3.59845-3.24971t+1.37927t^2-0.678054t^3)) + 4.95836*10^6*2.47481^5(0.119418-(-0.808143)^4(-0.147769+0.0973645t+0.917605t^2+0.553054t^3)
124712.(-0.808143)^5(-39.2837-2.47481^4(-15.8734+14.3938t-6.49942t^2+1.83903t^3-0.678054t^4)) -
381910.2.47481^5(0.0515704-(-0.808143)^4(-0.0638135-0.591074t+0.194729t^2+1.22347t^3+0.553054t^4)) +
5219.06(-0.808143)^5(216.739-2.47481^4(87.578-79.3672t+35.9845t^2-10.8324t^3+2.29878t^4-0.678054t^5)) +
15982.6*2.47481^5(-0.226548-(-0.808143)^4(0.280331-0.319067t-1.47769t^2+0.324548t^3+1.52934t^4+0.553054t^5)) -
113.259(-0.808143)^5(-1435.11-2.47481^4(-579.888+525.468t-238.102t^2+71.969t^3-16.2485t^4+2.75854t^5-0.678054t^6)) -
346.838*2.47481^5(-0.214155-(-0.808143)^4(0.264997+1.68199t-0.957202t^2-2.95537t^3+0.486823t^4+1.83521t^5+0.553054t^6)) +
1.(-0.808143)^5(11086.1-2.47481^4(4479.57-4059.21t+1839.14t^2-555.57t^3+125.946t^4-22.748t^5+3.2183t^6-0.678054t^7)) +
3.06234*2.47481^5(0.893904-(-0.808143)^4(-1.10612+1.85498t+5.88696t^2-2.23347t^3-5.1719t^4+0.681552t^5+2.14108t^6+0.553054t^7))
292852.((-0.808143)^-5 - 2.47481^-5) + 274261((-0.808143)^-5 - 0.550767((-0.808143)^-5 - 2.47481^-5)) -
0.00579073(-2.)^-5(-1.16546*10^8*2.47481^5(-1+0.553054(1-(-0.808143)^4)) - 935432.(-0.808143)^5(-1-0.678054(1-2.47481^4)) +
3.12179*10^7(-0.808143)^5(1.13781-2.47481^4(0.459757-0.678054t)) - 8.45811*10^7*2.47481^5(-0.247185-(-0.808143)^4(0.305868+0.553054t)) -
1.08491*10^7(-0.808143)^5(-2.6808-2.47481^4(-1.08324+0.919513t-0.678054t^2)) +
2.71642*10^7*2.47481^5(-0.0262281-(-0.808143)^4(0.0324548+0.611737t+0.553054t^2)) + 1.61914*10^6(-0.808143)^5
(8.90548-2.47481^4(3.59845-3.24971t+1.37927t^2-0.678054t^3)) - 0.04428*10^8*2.47481^5(0.119418-(-0.808143)^4(-0.147769+0.0973645t+0.917605t^2+0.553054t^3)
124712.(-0.808143)^5(-39.2837-2.47481^4(-15.8734+14.3938t-6.49942t^2+1.83903t^3-0.678054t^4)) +
311504.2.47481^5(0.0515704-(-0.808143)^4(-0.0638135-0.591074t+0.194729t^2+1.22347t^3+0.553054t^4)) +
5219.06(-0.808143)^5(216.739-2.47481^4(87.578-79.3672t+35.9845t^2-10.8324t^3+2.29878t^4-0.678054t^5)) -
13036.1*2.47481^5(-0.226548-(-0.808143)^4(0.280331-0.319067t-1.47769t^2+0.324548t^3+1.52934t^4+0.553054t^5)) -
113.259(-0.808143)^5(-1435.11-2.47481^4(-579.888+525.468t-238.102t^2+71.969t^3-16.2485t^4+2.75854t^5-0.678054t^6)) +
282.898*2.47481^5(-0.214155-(-0.808143)^4(0.264997+1.68199t-0.957202t^2-2.95537t^3+0.486823t^4+1.83521t^5+0.553054t^6)) +
1.(-0.808143)^5(11086.1-2.47481^4(4479.57-4059.21t+1839.14t^2-555.57t^3+125.946t^4-22.748t^5+3.2183t^6-0.678054t^7)) -
2.4978*2.47481^5(0.893904-(-0.808143)^4(-1.10612+1.85498t+5.88696t^2-2.23347t^3-5.1719t^4+0.681552t^5+2.14108t^6+0.553054t^7))
(1.07292*10^11)

```

```

h = 1
c = 2
y = 274261
x = 1.051596135695528 * h^6
z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
s1 = (1 - h * z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(-t/h) - (1 - h * z2)^(-t/h))

f[t_] = x * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + y * (4 / (1 + c * h) * s2) -
h *

$$\left( \sum_{k=1}^{\lfloor t/h \rfloor} \left( ((1 - h * z1)^{k-1-t/h} + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h})) * \right. \right.$$


$$\left. \left( (4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) - \right. \right.$$


$$\left. \left( 2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442 \right) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h})) * \right.$$


$$\left. \left. (0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000) \right) \right)$$

g[t_] =
x * (s2) + y * (s1 - z1 * s2) -
h *

$$\left( \sum_{k=1}^{\lfloor t/h \rfloor} \left( (1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h})) * \right. \right.$$


$$\left. \left( (4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) - \right. \right.$$


$$\left. \left( 2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442 \right) + ((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - z1 * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^{k-1-t/h} - (1 - h * z2)^{k-1-t/h})) * \right.$$


$$\left. \left. (0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000) \right) \right)$$


$$\sum_{k=1}^{\lfloor t/h \rfloor} \left( (1 / (1 + h * c))^{h * k - h} \right)$$

(0.5^2 * (-299.1849575 * (h * k)^2 + 652.117442 * (h * k) - 1151670.095 + f[h * k - h])^2 + 0.5^8 * (g[h * k - h] + 244.7484159 * (h * k)^2 - 21265.06096 * (h * k) - 232912.7975)^2) * h)
Null
1
2
274261
1.0516 * 10^6
1/6 (2 + 2*sqrt(13))
1/6 (2 - 2*sqrt(13))
(1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^-t
(1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^-t - (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13)))^-t
1/6 (-2 + 2*sqrt(13)) + 1/6 (2 + 2*sqrt(13))
1097044 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^-t - (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13)))^-t) + 1.0516 * 10^6 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^-t * (1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) + (1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^-t * (1/6 (-2 + 2*sqrt(13)))) +
2.23555 * 10^6 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^-t (1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^t - 0.368482 (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13)))^t - 0.631518 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t +
0.740883 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t - 0.18521 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^2 + 0.0236073 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^3 -
0.00165763 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^4 + 0.0000653115 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^5 -
1.35898 * 10^-4 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^6 + 1.16392 * 10^-8 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^7)
437490. ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^-t - (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13)))^-t) + 274261 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^-t - (2 + 2*sqrt(13)) ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^-t - (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13)))^-t) / (6 (1/6 (-2 + 2*sqrt(13)) + 1/6 (2 + 2*sqrt(13))))
2.57399 * 10^6 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^-t (1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13)))^t + 0.208466 (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13)))^t - 1.20847 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t +
0.605731 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t - 0.133442 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^2 + 0.0150141 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^3 -
0.000946099 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^4 + 0.0000338326 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^5 -
6.4322 * 10^-7 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^6 + 5.05442 * 10^-9 ((1 + 1/6 (-2 - 2*sqrt(13))) (1 + 1/6 (-2 + 2*sqrt(13))))^t * t^7)
(2.59682 * 10^10)

```

$$\begin{aligned}
 &h = 1 \\
 &c = 6 \\
 &y = 274261 \\
 &x = 1.110812847939682 \cdot 10^6 \\
 &z1 = (c + (c^2 + 16(1 + c \cdot h))^{1/2}) / (2(1 + c \cdot h)) \\
 &z2 = (c - (c^2 + 16(1 + c \cdot h))^{1/2}) / (2(1 + c \cdot h)) \\
 &s1 = (1 - h \cdot z1)^{-t/h} \\
 &s2 = 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{-t/h} \right) \\
 \\
 &f[t_] = x \cdot (s1 + s2 + (c / (1 + c \cdot h) - z1)) + y \cdot (4 / (1 + c \cdot h) \cdot s2) - \\
 & \quad h \cdot \\
 & \quad \left(\sum_{k=1}^{\lfloor t/h \rfloor} \left(((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} + (c / (1 + c \cdot h) - z1) \cdot 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right)) \cdot \right. \right. \\
 & \quad \left. \left((4 \cdot (-244.7484159 \cdot (h \cdot k)^2 + 21265.06096 \cdot (h \cdot k) + 232912.7975) + c \cdot (299.1849575 \cdot (h \cdot k)^2 - 652.117442 \cdot (h \cdot k) + 1151670.095)) / (1 + c \cdot h) - \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. (2 \cdot 299.1849575 \cdot (h \cdot k) - 299.1849575 \cdot h - 652.117442) \right) + (4 / (1 + c \cdot h) \cdot 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right)) \cdot \right. \\
 & \quad \left. \left. (0.02602 \cdot (h \cdot k)^7 - 2.947 \cdot (h \cdot k)^6 + 135.8 \cdot (h \cdot k)^5 - 3245 \cdot (h \cdot k)^4 + 42130 \cdot (h \cdot k)^3 - 282600 \cdot (h \cdot k)^2 + 843200 \cdot (h \cdot k) + 532000) \right) \right) \\
 \\
 &g[t_] = \\
 & \quad x \cdot (s2) + y \cdot (s1 - z1 \cdot s2) - \\
 & \quad h \cdot \\
 & \quad \left(\sum_{k=1}^{\lfloor t/h \rfloor} \left((1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right)) \cdot \right. \right. \\
 & \quad \left. \left((4 \cdot (-244.7484159 \cdot (h \cdot k)^2 + 21265.06096 \cdot (h \cdot k) + 232912.7975) + c \cdot (299.1849575 \cdot (h \cdot k)^2 - 652.117442 \cdot (h \cdot k) + 1151670.095)) / (1 + c \cdot h) - \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. (2 \cdot 299.1849575 \cdot (h \cdot k) - 299.1849575 \cdot h - 652.117442) \right) + (1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - z1 \cdot 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right) \right) \cdot \right. \\
 & \quad \left. \left. (0.02602 \cdot (h \cdot k)^7 - 2.947 \cdot (h \cdot k)^6 + 135.8 \cdot (h \cdot k)^5 - 3245 \cdot (h \cdot k)^4 + 42130 \cdot (h \cdot k)^3 - 282600 \cdot (h \cdot k)^2 + 843200 \cdot (h \cdot k) + 532000) \right) \right) \\
 \\
 &\sum_{k=1}^{30} (1 / (1 + h \cdot c))^{h \cdot k} \cdot (h \cdot k - h) \\
 & \quad (0.5^t \cdot 2 \cdot (-299.1849575 \cdot (h \cdot k)^2 + 652.117442 \cdot (h \cdot k) - 1151670.095 + f[h \cdot k - h])^2 + 0.5^t \cdot 8 \cdot (g[h \cdot k - h] + 244.7484159 \cdot (h \cdot k)^2 - 21265.06096 \cdot (h \cdot k) - 232912.7975)^2 \cdot h) \\
 &Null \\
 \\
 &1 \\
 &6 \\
 &274261 \\
 &1.11081 \times 10^6 \\
 &\frac{1}{14} (6 + 2\sqrt{37}) \\
 &\frac{1}{14} (6 - 2\sqrt{37}) \\
 &\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} \\
 &\frac{\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right)^{-t}}{\frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37}) + \frac{1}{14} (6 + 2\sqrt{37})} \\
 &\frac{1097044 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right)^{-t} \right)}{7 \left(\frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37}) + \frac{1}{14} (6 + 2\sqrt{37}) \right)} + \\
 &1.11081 \times 10^6 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} + \frac{\left(\frac{t}{7} + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right)^{-t} \right)}{\frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37}) + \frac{1}{14} (6 + 2\sqrt{37})} \right) + 1.25526 \times 10^7 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} \\
 &\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} - 0.0732523 \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right)^{-t} - 0.926748 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} + 0.375177 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} \\
 &t - 0.0641949 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^2 + 0.00635923 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^3 - \\
 &0.00037871 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^4 + 0.0000133449 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^5 - \\
 &2.56537 \times 10^{-7} \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^6 + 2.07287 \times 10^{-9} \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^7 \\
 &639158 \cdot \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right)^{-t} \right) + \\
 &274261 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} - \frac{(6 + 2\sqrt{37}) \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right)^{-t} \right)}{14 \left(\frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37}) + \frac{1}{14} (6 + 2\sqrt{37}) \right)} \right) - 2.85031 \times 10^7 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} \\
 &\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right)^{-t} + 0.0248624 \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right)^{-t} - 1.02486 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} + 0.362035 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t \\
 &0.0589738 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^2 + 0.00547519 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^3 - \\
 &0.000304618 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^4 + 0.0000100354 \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^5 - \\
 &1.80649 \times 10^{-7} \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^6 + 1.36932 \times 10^{-9} \left(\left(1 + \frac{1}{14} (-6 - 2\sqrt{37})\right) \left(1 + \frac{1}{14} (-6 + 2\sqrt{37})\right) \right)^{-t} t^7 \\
 &(6.9709 \times 10^9)
 \end{aligned}$$

```

h = 1
c = 8
y = 274261
x = 1.1209860491122014**6
z1 = (c + (c^2 + 16(1 + c*h))^(1/2)) / (2(1 + c*h))
z2 = (c - (c^2 + 16(1 + c*h))^(1/2)) / (2(1 + c*h))
s1 = (1 - h*z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) * ((1 - h*z1)^(-t/h) - (1 - h*z2)^(-t/h))

f[t_] = x*(s1 + s2*(c / (1 + c*h) - z1)) + y*(4 / (1 + c*h) * s2) -
h *
Sum[(((1 - h*z1)^(k - 1 - t/h) + (c / (1 + c*h) - z1) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h*z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h*z2)^(k - 1 - t/h))) *
(4 * (-244.7484159 + (h+k)^2 + 21265.06096*(h+k) + 232912.7975) + c * (299.1849575*(h+k)^2 - 652.117442*(h+k) + 1151670.095) / (1 + c*h) -
(2 * 299.1849575*(h+k) - 299.1849575*h - 652.117442)) + (4 / (1 + c*h) * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h*z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h*z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602*(h+k)^7 - 2.947*(h+k)^6 + 135.8*(h+k)^5 - 3245*(h+k)^4 + 42130*(h+k)^3 - 282600*(h+k)^2 + 843200*(h+k) + 532000))],
{h, 1, 30}

g[t_] =
x*(s2) + y*(s1 - z1*s2) -
h *
Sum[(((1 / (z1 - z2) * ((1 - h*z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h*z2)^(k - 1 - t/h))) *
(4 * (-244.7484159 + (h+k)^2 + 21265.06096*(h+k) + 232912.7975) + c * (299.1849575*(h+k)^2 - 652.117442*(h+k) + 1151670.095) / (1 + c*h) -
(2 * 299.1849575*(h+k) - 299.1849575*h - 652.117442)) + ((1 - h*z1)^(k - 1 - t/h) - z1 * 1 / (z1 - z2) * ((1 - h*z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h*z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602*(h+k)^7 - 2.947*(h+k)^6 + 135.8*(h+k)^5 - 3245*(h+k)^4 + 42130*(h+k)^3 - 282600*(h+k)^2 + 843200*(h+k) + 532000))],
{h, 1, 30}

Sum[1 / (1 + h*c)^(h+k-h)],
{h, 1, 30}

(0.5^2 * (-299.1849575*(h+k)^2 + 652.117442*(h+k) - 1151670.095 + f[h+k-h])^2 + 0.5^8 * (g[h+k-h] + 244.7484159*(h+k)^2 - 21265.06096*(h+k) - 232912.7975)^2) * h)
Null

1
8
274261
1.12099*10^6
1/18 (8 + 4*sqrt(13))
1/18 (8 - 4*sqrt(13))
(1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^-t
(1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^-t - (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13)))^-t
1/18 (-8 + 4*sqrt(13)) + 1/18 (8 + 4*sqrt(13))
1097044 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^-t - (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13)))^-t)
9 (1/18 (-8 + 4*sqrt(13)) + 1/18 (8 + 4*sqrt(13)))
1.12099*10^6 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^-t + (1/2 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^-t - (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13)))^-t)) + 2.44104*10^7 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13)))
(1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^t - 0.0388141 (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13)))^t - 0.961186 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t + 0.309278 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13)))^t -
0.0454096 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t + 0.00400692 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t -
0.000220105 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t + 7.33652*10^-6 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t -
1.35651*10^-7 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t + 1.06594*10^-9 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t)
699538. ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^-t - (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13)))^-t) +
274261 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^-t - (8 + 4*sqrt(13)) ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^-t - (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13)))^-t)) / (18 (1/18 (-8 + 4*sqrt(13)) + 1/18 (8 + 4*sqrt(13)))) - 6.84167*10^7 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^-t
(1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13)))^t + 0.0111172 (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13)))^t - 1.01112 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t + 0.303716 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t -
0.0431791 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t + 0.00362714 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t -
0.000188173 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t + 5.90654*10^-6 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t -
1.02787*10^-7 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t + 7.60633*10^-10 ((1 + 1/18 (-8 - 4*sqrt(13))) (1 + 1/18 (-8 + 4*sqrt(13))))^t)
(5.07553*10^5)

```


$$\begin{aligned}
& h = 1 \\
& c = 10 \\
& y = 274261 \\
& x = 1.1273820835709302 \cdot 10^6 \\
& z1 = (c + (c^2 + 16(1 + c \cdot h))^{1/2}) / (2(1 + c \cdot h)) \\
& z2 = (c - (c^2 + 16(1 + c \cdot h))^{1/2}) / (2(1 + c \cdot h)) \\
& s1 = (1 - h \cdot z1)^{-t/h} \\
& s2 = 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{-t/h} \right) \\
& f[t_] = x \cdot (s1 + s2 \cdot (c / (1 + c \cdot h) - z1)) + y \cdot (4 / (1 + c \cdot h) \cdot s2) - \\
& \quad h \cdot \\
& \quad \left(\sum_{k=1}^{t/h} \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} + (c / (1 + c \cdot h) - z1) \cdot 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right) \right) \cdot \right. \\
& \quad \left. \left((4 \cdot (-244.7484159 \cdot (h+k)^2 + 21265.06096 \cdot (h+k) + 232912.7975) + c \cdot (299.1849575 \cdot (h+k)^2 - 652.117442 \cdot (h+k) + 1151670.095)) / (1 + c \cdot h) - \right. \right. \\
& \quad \left. \left. (2 \cdot 299.1849575 \cdot (h+k) - 299.1849575 \cdot h - 652.117442) \right) + (4 / (1 + c \cdot h) \cdot 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right)) \cdot \right. \\
& \quad \left. (0.02602 \cdot (h+k)^7 - 2.947 \cdot (h+k)^6 + 135.8 \cdot (h+k)^5 - 3245 \cdot (h+k)^4 + 42130 \cdot (h+k)^3 - 282600 \cdot (h+k)^2 + 843200 \cdot (h+k) + 532000) \right) \\
& g[t_] = \\
& \quad x \cdot (s2) + y \cdot (s1 - z1 \cdot s2) - \\
& \quad h \cdot \\
& \quad \left(\sum_{k=1}^{t/h} \left((1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right)) \cdot \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left((4 \cdot (-244.7484159 \cdot (h+k)^2 + 21265.06096 \cdot (h+k) + 232912.7975) + c \cdot (299.1849575 \cdot (h+k)^2 - 652.117442 \cdot (h+k) + 1151670.095)) / (1 + c \cdot h) - \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. (2 \cdot 299.1849575 \cdot (h+k) - 299.1849575 \cdot h - 652.117442) \right) + \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - z1 \cdot 1 / (z1 - z2) \left((1 - h \cdot z1)^{k-1-t/h} - (1 - h \cdot z2)^{k-1-t/h} \right) \right) \cdot \right. \\
& \quad \left. \left. (0.02602 \cdot (h+k)^7 - 2.947 \cdot (h+k)^6 + 135.8 \cdot (h+k)^5 - 3245 \cdot (h+k)^4 + 42130 \cdot (h+k)^3 - 282600 \cdot (h+k)^2 + 843200 \cdot (h+k) + 532000) \right) \right) \\
& \sum_{k=1}^{30-1} \left((1 / (1 + h \cdot c))^k \cdot (h \cdot k - h) \right) \\
& (0.5^2 \cdot (-299.1849575 \cdot (h+k)^2 + 652.117442 \cdot (h+k) - 1151670.095 - f[h \cdot k - h])^2 + 0.5^8 \cdot (g[h \cdot k - h] + 244.7484159 \cdot (h+k)^2 - 21265.06096 \cdot (h+k) - 232912.7975)^2) \cdot h) \\
& \text{Null} \\
& 1 \\
& 10 \\
& 274261 \\
& 1.12738 \times 10^6 \\
& \frac{1}{22} (10 + 2\sqrt{69}) \\
& \frac{1}{22} (10 - 2\sqrt{69}) \\
& \left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^{-t} \\
& \frac{\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right)^{-t}}{\frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69}) + \frac{1}{22} (10 + 2\sqrt{69})} \\
& \frac{1097044 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right)^{-t} \right)}{11 \left(\frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69}) + \frac{1}{22} (10 + 2\sqrt{69}) \right)} + \\
& 1.12738 \times 10^6 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^{-t} + \frac{\left(\frac{10}{22} + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right)^{-t} \right)}{\frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69}) + \frac{1}{22} (10 + 2\sqrt{69})} \right) + \\
& 4.43768 \times 10^7 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^{-t} \left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^t - 0.0218364 \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right)^t - \\
& 0.978164 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t + 0.2647 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau - \\
& 0.0339639 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^2 + 0.00268977 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^3 - \\
& 0.000136573 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^4 + 4.30871 \times 10^{-6} \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^5 - \\
& 7.66696 \times 10^{-8} \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^6 + 5.86343 \times 10^{-10} \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^7) \\
& 746465. \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right)^{-t} \right) + 274261 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^{-t} - \frac{(10 + 2\sqrt{69}) \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^{-t} - \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right)^{-t} \right)}{22 \left(\frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69}) + \frac{1}{22} (10 + 2\sqrt{69}) \right)} \right) - \\
& 1.47626 \times 10^8 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^{-t} \left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right)^t + 0.00542622 \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right)^t - \\
& 1.00543 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t + 0.262095 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau - \\
& 0.032912 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^2 + 0.00250988 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^3 - \\
& 0.000121412 \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^4 + 3.62847 \times 10^{-6} \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^5 - \\
& 6.10106 \times 10^{-8} \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^6 + 4.4064 \times 10^{-10} \left(\left(1 + \frac{1}{22} (-10 - 2\sqrt{69})\right) \left(1 + \frac{1}{22} (-10 + 2\sqrt{69})\right) \right)^t \tau^7) \\
& (4.05756 \times 10^8)
\end{aligned}$$

```

h = 1
c = 50
y = 274261
x = 1.147753233001934 * h^6
z1 = (c + (c^2 + 16(1 + c + h))^(1/2)) / (2(1 + c + h))
z2 = (c - (c^2 + 16(1 + c + h))^(1/2)) / (2(1 + c + h))
s1 = (1 - h + z1)^(-t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(-t/h) - (1 - h + z2)^(-t/h))

f[t_] = x * (s1 + s2 * (c / (1 + c + h) - z1)) + y * (4 / (1 + c + h) + s2) -
h *
Sum[(((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) + (c / (1 + c + h) - z1) + 1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h + z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-244.7484159 * (h + k)^2 + 21265.06096 * (h + k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h + k)^2 - 652.117442 * (h + k) + 1151670.095)) / (1 + c + h) -
(2 * 299.1849575 * (h + k) - 299.1849575 * h - 652.117442)) + (4 / (1 + c + h) + 1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h + z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602 * (h + k)^7 - 2.947 * (h + k)^6 + 135.8 * (h + k)^5 - 3245 * (h + k)^4 + 42130 * (h + k)^3 - 282600 * (h + k)^2 + 843200 * (h + k) + 532000))],
{k=1, t-h}

g[t_] =
x * (s2) + y * (s1 - z1 + s2) -
h *
Sum[(((1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h + z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-244.7484159 * (h + k)^2 + 21265.06096 * (h + k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h + k)^2 - 652.117442 * (h + k) + 1151670.095)) / (1 + c + h) -
(2 * 299.1849575 * (h + k) - 299.1849575 * h - 652.117442)) + ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - z1 + 1 / (z1 - z2) * ((1 - h + z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h + z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602 * (h + k)^7 - 2.947 * (h + k)^6 + 135.8 * (h + k)^5 - 3245 * (h + k)^4 + 42130 * (h + k)^3 - 282600 * (h + k)^2 + 843200 * (h + k) + 532000))],
{k=1, t-h}

Sum[1 / (1 + h + c)^(h + k - h),
{k=1, 30-h}
(0.5^2 * (-299.1849575 * (h + k)^2 + 652.117442 * (h + k) - 1151670.095 + f[h + k - h])^2 + 0.5^8 * (g[h + k - h] + 244.7484159 * (h + k)^2 - 21265.06096 * (h + k) - 232912.7975)^2) * h)
Null

274261
1.14775 * 10^6
1/102 (50 + 2 * sqrt(829))
1/102 (50 - 2 * sqrt(829))
(1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^-t
(1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^-t - (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)))^-t
1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)) + 1/102 (50 + 2 * sqrt(829))
64532 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^-t - (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)))^-t) /
3 (1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)) + 1/102 (50 + 2 * sqrt(829)))
1.14775 * 10^6 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^-t + (50/61 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^-t - (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)))^-t)) /
1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)) + 1/102 (50 + 2 * sqrt(829))
3.7272 * 10^10 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^-t (1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^t - 0.0000292771 (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)))^t -
0.999971 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t + 0.0717255 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t -
0.00257202 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^2 + 0.0000614062 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^3 -
1.08862 * 10^-6 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^4 + 1.4712 * 10^-8 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^5 -
1.40152 * 10^-10 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^6 + 6.98111 * 10^-12 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^7)
1.01651 * 10^6 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^-t - (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)))^-t) +
274261 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^-t - (50 + 2 * sqrt(829)) ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^-t - (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)))^-t)) /
102 (1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)) + 1/102 (50 + 2 * sqrt(829)))
5.01238 * 10^11 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^-t (1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829)))^t + 2.06403 * 10^-6 (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829)))^t -
1. ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t + 0.0717248 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t -
0.00257169 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^2 + 0.0000613476 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^3 -
1.08363 * 10^-6 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^4 + 1.44859 * 10^-8 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^5 -
1.34904 * 10^-10 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^6 + 6.48894 * 10^-12 ((1 + 1/102 (-50 - 2 * sqrt(829))) (1 + 1/102 (-50 + 2 * sqrt(829))))^t t^7)
(1.22613 * 10^14)

```

```

h = 1
c = 100
y = 274261
x = 1.1498600328763812 * ^6
z1 = (c + (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
z2 = (c - (c^2 + 16 (1 + c * h))^(1/2)) / (2 (1 + c * h))
s1 = (1 - h * z1)^(t/h)
s2 = 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(t/h) - (1 - h * z2)^(t/h))

f[t_] = x * (s1 + s2 * (c / (1 + c * h) - z1)) + y * (4 / (1 + c * h) * s2) -
h *
Sum[(((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) + (c / (1 + c * h) - z1) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
((4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) -
(2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442)) + (4 / (1 + c * h) * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000))],
{t, 1, 20}]

g[t_] =
x * (s2) + y * (s1 - z1 * s2) -
h *
Sum[(((1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h)) *
((4 * (-244.7484159 * (h * k)^2 + 21265.06096 * (h * k) + 232912.7975) + c * (299.1849575 * (h * k)^2 - 652.117442 * (h * k) + 1151670.095)) / (1 + c * h) -
(2 * 299.1849575 * (h * k) - 299.1849575 * h - 652.117442)) + ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - z1 * 1 / (z1 - z2) ((1 - h * z1)^(k - 1 - t/h) - (1 - h * z2)^(k - 1 - t/h))) *
(0.02602 * (h * k)^7 - 2.947 * (h * k)^6 + 135.8 * (h * k)^5 - 3245 * (h * k)^4 + 42130 * (h * k)^3 - 282600 * (h * k)^2 + 843200 * (h * k) + 532000))],
{t, 1, 20}]

Sum[k=1 to 20] (1 / (1 + h * c))^(h * k - h)
(0.5^2 (-299.1849575 * (h * k)^2 + 652.117442 * (h * k) - 1151670.095 + f[h * k - h])^2 + 0.5^8 (g[h * k - h] + 244.7484159 * (h * k)^2 - 21265.06096 * (h * k) - 232912.7975)^2) * h
Null
100
274261
1.14986 * 10^6
1/202 (100 + 44 sqrt(6))
1/202 (100 - 44 sqrt(6))
(1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^-t
(1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^-t - (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6)))^-t
(1/202 (-100 + 44 sqrt(6)) + 1/202 (100 + 44 sqrt(6)))
1097044 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^-t - (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6)))^-t)
(101 (1/202 (-100 + 44 sqrt(6)) + 1/202 (100 + 44 sqrt(6))) +
1.14986 * 10^6 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^-t + (100/101 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^-t - (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6)))^-t)
(1/202 (-100 + 44 sqrt(6)) + 1/202 (100 + 44 sqrt(6)))
2.06071 * 10^12 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^-t (1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^t - 5.42798 * 10^-7 (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6)))^t -
0.999999 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t + 0.03778 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t -
0.000713661 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^2 + 8.98655 * 10^-6 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^2 -
8.47602 * 10^-9 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^4 + 6.31884 * 10^-10 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^5 -
3.63976 * 10^-12 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^6 + 1.26267 * 10^-14 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^7)
1.07755 * 10^6 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^-t - (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6)))^-t) +
274261 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^-t - (100 + 44 sqrt(6)) ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^-t - (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6)))^-t)
(1/202 (1/202 (-100 + 44 sqrt(6)) + 1/202 (100 + 44 sqrt(6))))
5.35212 * 10^13 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^-t (1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6)))^t + 2.03153 * 10^-8 (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6)))^t -
1. ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t + 0.03778 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t -
0.000713658 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^2 + 8.986 * 10^-6 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^2 -
8.47125 * 10^-9 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^4 + 6.2972 * 10^-10 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^5 -
3.58945 * 10^-12 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^6 + 1.21541 * 10^-14 ((1 + 1/202 (-100 - 44 sqrt(6))) (1 + 1/202 (-100 + 44 sqrt(6))))^t * t^7)
(2.8514 * 10^27)

```

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve SOYADI : Fahriye UYSAL
Doğum Tarihi ve Yeri : 14-05-1968, Afyon
Medeni Durumu : Evli

Eğitim Durumu

Mezun Olduğu Lise : Afyon Lisesi
Lisans Diploması : Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh.
Yüksek Lisans Diploması: Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gıda Ekonomisi ve İşletmeciliği Bölümü
Tez Konusu : Kalite Fonksiyonunun Türkiye’de Baklagil Dışsatımına Etkileri
Yabancı Dil / Diller : İngilizce, Almanca

Bilimsel Faaliyetler

Makaleler

- Atici, F.M., ve Uysal F., “ A Production- Inventory Model of HMMS on Time Scales”, Applied Mathematics Letters, Vol.21, No.3, (2008), 236-243.
- Uysal, F. Ve Aksoy, Ş., “Müşteri İlişkileri Yönetimindeki Temel Boyutlar ve Tıbbi Malzeme Lojistiği Üzerine Bir Uygulama”, Akdeniz Üniversitesi, İİBF Dergisi, Cilt.4, Sayı.7, (2004).129-144.

Bildiriler

- Uysal, F., Tosun, Ö., Kuruüzüm O., “ Planning the Supply Chain and an Application of Pinch Analysis”, 5. International Logistics and Supply Chain Congress, İstanbul, 2007.
- Uysal, F., Kuruüzüm, O., “Productivity Perspective of the Integrated Logistics Process and an Application of Gab Analysis”, 4. International Logistics and Supply Chain Management Congress, 2006
- Uysal, F., Tosun, Ö., Kuruüzüm, O., “Tedarik Zinciri Yönetiminde Yeni Bir Yaklaşım: Ortaklaşa Planlama Tahmin ve Yenileme”, Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 2008.

Raporlar

- Dölekođlu, C.Ö. ve Uysal, F., Yemeklik Kuru Baklagil Durum ve Tahmin 2003-2004, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, 2003

İř Deneyimi

Stajlar

- Piyale Dr. Oetker Makarna ve İrmik San. A.ř., İzmir
- Raks Elektronik Sanayi A.ř. Manisa

Çalıştığı Kurumlar :

- 500. İstihkam Ana Depo ve Fabrika Komutanlığı, Afyon (1991-1993)
- Uludağ Üniversitesi Tıp Fakóltesi Hastanesi, Bursa, (1993-1996)
- Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakóltesi (1996-...)

Adres : Gürsu Mah. 341. Sok. Kayalar Apt. No:10/6 Antalya

Tel. no : 0 242 310 18 37