

Bir Gıda İşletmesinde Üretim Çizelgeleme
Optimizasyonu Yaklaşımı

Asuman SAĞLAM MORALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2022

The Production Scheduling Optimization Approach
in A Food Production Company

Asuman SAĞLAM MORALI

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

June 2022

Bir Gıda İşletmesinde Üretim Çizelgeleme
Optimizasyonu Yaklaşımı

Asuman SAĞLAM MORALI

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU

Temmuz, 2022

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “Bir Gıda İşletmesinde Üretim Çizelgeleme Optimizasyonu Yaklaşımı” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ve ilke kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümünü atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

Asuman SAĞLAM MORALI

08.06.2022

ÖZET

Üretim ve üretim planlama süreçleri, tedarik zincirindeki en önemli maliyet kalemlerinden biridir. Firmalar, genellikle son ürün üretim planı ve malzeme ihtiyaç planı süreçlerini öncelikli olarak iyileştirmek ve bu konulardaki problemleri çözüme kavuşturmak isterler. Ancak son ürün üretim planı oluşturulmasında belirleyici olan yarı mamul üretim sürecinin de üretim maliyetlerine olan etkisi oldukça fazladır. Bu çalışmada; atıştırmalık gıda sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin yarı mamul üretim süreci incelenmiştir. Parti tipi üretim yapılan bu sürecin iyileştirilmesine yönelik olarak üretim çizelgeleme optimizasyonu için bir tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Tasarlanan matematiksel model için GAMS programı kullanılarak çözüm elde edilmiş ve sonuçlar farklı senaryolar için test edilmiştir. Daha önce deneyimli bir ekibin ortaya koyduğu yarı mamul üretim planlaması yerine matematiksel modellemeye dayalı bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Oluşturulan modelin çözüm süreleri pratikte kullanılmaya uygundur. Kısa süre içinde vardiyalık bazda haftalık yarı mamul üretim çizelgesi oluşturması sağlanmıştır. Parametrelerin kolayca güncellenebileceği bir kullanıcı formatı Excel’de geliştirilmiş ve GAMS ile birlikte kullanımı sağlanmıştır. Böylece üretim planlamaya yönelik bir Karar Destek Sistemi prototipi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Raf ömürlü gıda üretimi, Parti tipi üretim çizelgeleme optimizasyonu, Vardiya planlama, Tam sayılı doğrusal programlama,

SUMMARY

The production and production planning process is one of the most significant cost items in the supply chain. Companies generally want to improve the processes of production plan of finished goods and material requirements plan. Their aim is to solve the problems in these matters first. However, the semi-finished good production process, which is determinant in the creation of the final product production plan, has a significant impact on the production costs. In this study; the semi-finished products' production process of a company in the snack food production industry was examined. An integer linear programming model was created for production scheduling optimization in order to improve the batch type production process. The solution for the designed mathematical model was obtained by using the GAMS program and the results were tested for different scenarios. An approach based on mathematical modeling has been developed for semi-finished product production planning, which was done previously by an experienced team. The solution times of the created model are suitable for use in practice. On a weekly shift basis, semi-finished product production scheduling has been ensured to prepare in a few minutes. A user format where parameters can be easily updated has been developed in Excel and used with GAMS. Thus, a Decision Support System prototype was created for production planning

Key Words: Perishable food production planning, Batch type production scheduling, Shift planning, Integer linear mathematical model, integer programming

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.SİSTEM TANITIMI VE PARTİ TİPİ ÜRETİM	2
2.1.Şirket Bilgileri	2
2.2.Çalışmada Ele Alınan Birimin Tanıtımı	2
2.2.Mevcut Süreç Analizi	3
2.3.Problem Tanımı ve Amaç	7
3.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	8
4.MATERYAL VE YÖNTEM	15
4.1.Varsayımlar ve Ana Kısıtlar	15
4.2.Tesislere Özgü Kısıtlar Ve Tesis Detayları.....	17
4.2.1.Caraster tesisi.....	17
4.2.2.Wiener tesisi.....	18
4.2.3.Fruit jelly tesisi.....	18
4.2.4.Şuruphane tesisi.....	18
4.2.5.Krema tesisi.....	19
4.2.6.Tft tesisi.....	20
4.2.7.Hindistan cevizi kavurma tesisi.....	21
4.2.8.Drop tesisi.....	21
4.3.Önerilen Çözüm Yaklaşımı ve Kavramsal Model.....	22
4.4.Matematiksel Model.....	24
4.5.Çözüm Yöntemi.....	29

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

5.BULGULAR VE TARTIŞMA	32
5.1.Model Sonucunun Doğrulaması ve Model Çıktısının Değerlendirilmesi.....	32
5.2.Farklı Senaryolar için Model Sonuçlarının Kıyaslaması	35
6.SONUÇ VE ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR DİZİNİ	39
EK AÇIKLAMALAR.....	41
Ek Açıklama-A : Gams Kodu.....	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 SNP modeli talep - üretim ilişkisi.....	3
2.2 SNP zaman periyodu	4
2.3 Tedarik Zinciri'nde birbirine bağımlı süreçler	5
2.4.a Eski Bina yarı mamul tesisleri ve son ürün üretim hatları ilişkisi	6
2.4.b G Blok yarı mamul tesisleri ve son ürün üretim hatları ilişkisi	6



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 G Blok Caraster Tesisi anaverileri.....	17
4.2 G Blok Wiener Tesisi anaverileri	18
4.3 G Blok Fruit Jelly Tesisi anaverileri.....	18
4.4 Eski Bina Şuruphane Tesisi anaverileri.....	19
4.5 Eski Bina Krema Tesisi anaverileri.....	20
4.6 Eski Bina Tft Tesisi anaverileri.....	20
4.7 Eski Bina Hindistan Cevizi Kavurma Tesisi ana verileri.....	21
4.8 Eski Bina Drop Tesisi ana verileri.....	21
4.9 j-tesis indisleri.....	24
4.10 g-ekipman indisleri.....	24
4.11 t-vardiya indisleri.....	24
4.12 i,k- yarı mamul indisleri.....	25
4.13 Veri Giriş Excel arayüzü.....	31
4.14 Model Sonuç Excel Çıktı arayüzü.....	31
5.1 Çıktı Dosyası- Envanter Sonuçları.....	33
5.2 Çıktı Dosyası- Karşılanamayan Talep Sonuçları.....	33
5.3 Çıktı Dosyası- Ekipman Doluluk Sonuçları.....	34
5.4 Talep’te güncellenen veriler.....	35

1. GİRİŞ VE AMAÇ

İşletmelerin ürettiği ürün ya da sağladığı hizmet karşılığında elde ettikleri getiriye artırmasının yollarından bir tanesi de süreç iyileştirme çalışmalarıdır. Süreç iyileştirme çalışmaları detaylı inceleme ve analizler sonrasında sürecin aksamasına sebep olan gereksiz, hatalı ya da eksik yapılan adımların tespit edilmesi ve sonrasında bu adımları iyileştirecek optimizasyon aksiyonlarının alınmasını kapsamaktadır.

Bu çalışmada da yukarı bahsedildiği gibi bir probleme çözüm bulma gayreti ile bir gıda üretim fabrikasının üretim prosesleri incelenmiş, süreç analizleri yapılmış ve yarı mamul üretim çizelgeleme işleyişinde çeşitli sebepler nedeniyle gelişime açık noktalar olduğu fark edilmiştir.

Yarı mamul üretim çizelgeleme optimizasyonu için doğrusal tam sayılı bir model programlanmıştır. Son ürün üretim planı, son ürün reçeteleri, yarı mamul tesisleri ekipmanlarının hat kapasiteleri, yarı mamul parti (batch) üretim büyüklükleri, yarı mamul batch üretim süreleri, yarı mamul stoklama kapasiteleri, yarı mamul raf ömürleri, yarı mamul başlangıç stokları, yarı mamuller arası geçiş süreleri, mecburi bekleme süreleri bilgileri girdi(parametre) kabul edilerek bir “tam sayılı doğrusal programlama modeli” kurgulanmış ve “parti tipi üretim çizelgeleme” problemi gibi ele alınarak bir çözüm geliştirilmiştir. Önerilen modelde 3 ayrı amaç fonksiyonu ağırlıklandırılmış toplamı tek amaç fonksiyonu şeklinde kullanılmıştır. Geliştirilen modelin hedefi; SKU üretim planına paralel olarak anlık güncellenebilecek ve vardiyalık düzende dengeli bir yarı mamul üretim planı elde edilmesidir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde çalışmanın yapıldığı işletme ve tesis hakkında bilgiler verilerek problemin detayları aktarılmaktadır. Üçüncü bölümde ise literatür araştırması yapılmış ve konuyla ilgili güncel çalışmalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, yapılan varsayımlar belirtilmiş, incelenen problemin çözümü için model oluşturulmuş ve çözüm adımları detaylı aktarılmıştır. Beşinci bölüm bulgu ve tartışma bölümüdür ve bu bölümde ele alınan probleme yönelik farklı senaryolar için farklı veriler ile model tekrar tekrar çözülmüş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Yapılan çalışma ile ilgili sonuçlar ve öneriler ise beşinci bölümde paylaşılmıştır.

2. SİSTEMİN TANITIMI VE PARTİ TİPİ ÜRETİM

Bu bölümde, çalışmanın yapıldığı işletme ve bu işletmede çalışmaya konu olan üretim biriminin mevcut durumu hakkında bilgi verilmiştir. Sonrasında problem tanımı yapılmış ve çalışmanın amacı aktarılmıştır.

2.1. Şirket Bilgileri

Türkiye'nin önde gelen atıştırmalık gıda üretimi yapan firmalarından birinde süreç analizi yapılmıştır. FMCG (Fast-Moving Consumer Goods) sektöründe faaliyet gösteren bu firmanın; Eskişehir ve Bozüyük'te 6 adet, Konya'da 1 adet ve Romanya'da 1 adet olmak üzere toplam 8 farklı fabrikada bisküvi, çikolata, kek, kraker, kahvaltılık, sütlük ve donuk atıştırmalık kategorilerinde, 300'den farklı ürün grubunda yaklaşık 1.500 farklı SKU'nun (Stock Keeping Unit) üretimi yapılmaktadır.

Fabrikalardaki yıllık toplam üretim hacmi yaklaşık 300.000 ton civarındadır ve üretimleri 7 gün 24 saat durmaksızın devam etmektedir. Fabrikalardaki toplam çalışan sayısı 6.500 kişinin üzerindedir. Üretimin %70'i, 220.000'den fazla satıcı tarafından yurtiçinde dağıtılmaktadır, kalan kısmı ise 40 farklı ülkeye ihraç edilmektedir.

Eskişehir'deki bisküvi fabrikası, en fazla üretim hacmine sahip olan en büyük fabrikasıdır. Bisküvi fabrikasında 27 adet son ürün üretim hattı bulunmaktadır, günde yaklaşık 1.500 kişi ile 70 ton atıştırmalık gıda üretimi yapılmaktadır. Bisküvi fabrikası dahil diğer tüm fabrikalarda üretilen ürünlerin tamamı yine Eskişehir'de bulunan merkezi depoda stoklanır. Bu depo Türkiye'nin farklı noktalarında konumlandırılmış 18 bölge depo aracılığıyla yurtiçi satışlar farklı kanallarda gerçekleştirilir. İhracat sevkiyatları direkt merkez depodan yapılır.

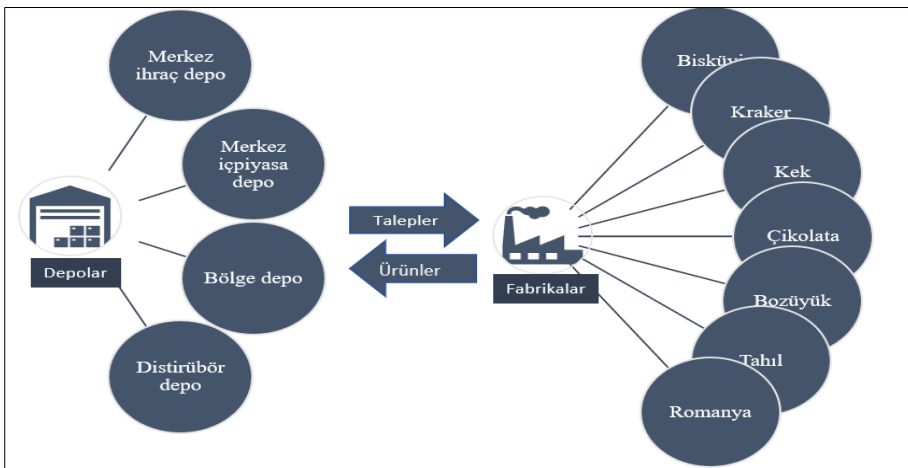
2.2. Çalışmada Ele Alınan Birimin Tanıtımı

Günlük 70 ton son ürün üretiminin yapıldığı bu tesiste günlük yarı mamul üretiminin hacmi de azımsanmayacak ölçüdedir. SKU üretiminin kesintisiz devam etmesini sağlayacak hammadde ve ambalaj girdilerinin hacmi dikkate alındığında tedarikçi-yükleme, araç planlama, indirme, elleçleme, mal kabul ve kalite kontrol süreçlerinin doğru bir şekilde planlanıyor olması firma performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Yarı mamul üretimlerinin ve yarı mamul üretim planının, haftalık hammadde girdi miktarlarının belirlenmesinde ana etken olduğu tespit edilmiştir. Yarı mamul üretim planı sürecinde herhangi bir şekilde hatalı, eksik ya da fazla üretim planı yapılması durumunda hammadde girdi miktarlarının yanlış hesaplanmasına ve yukarıda bahsedilen tüm operasyon aşamalarında fazla ya da eksik efor sarf edilmesine sebebiyet vermektedir. Depo kaynaklarının verimli kullanımı açısından da hammadde girdi miktarlarının doğru tespit ediliyor olması kritiktir. Tüm bu sebeplerle yarı mamul üretim çizelgelemesinin mevcut işleyişe göre daha verimli, tutarlı ve hızlı bir şekilde yapılması amacıyla bir çözüm bulunması talep edilmektedir.

2.3. Mevcut Süreç Analizi

Firmanın mevcut işleyişindeki yarı mamul planından bahsetmeden önce SKU üretim planı sürecinden kısaca bahsedilmelidir. SKU üretim planında; her bir SKU için güncel talep tahminleri ve kesinleşmiş müşteri siparişi değerleri, ilgili ihracat ve yurt içi satış planlama birimi tarafından SAP (Systems Application Product) sistemine giriş yapılır. Güncel talep verisi, her hafta önümüzdeki 12 haftalık periyot için güncellenir ve yılın kalan haftaları için bütçe tahmin değerleri sisteme yansıtılır. Her hafta Pazar günü, güncel tahmin değerlerine göre SKU ve üretim hattı parametrelerini içeren üretim optimizasyon modeli APO'da (Advanced Planning Optimization) otomatik olarak tüm yıl ve tüm üretim yerleri için çalıştırılır. Bu modele “SNP (Supply Network Planning) Modeli” adı verilmektedir. Şekil 2.1’de SNP modelindeki talep- üretim ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.1 SNP modeli talep - üretim ilişkisi

SNP Optimizasyon Modeli, bütün yıl için belirli kısıtlar altında talep karşılamaını maksimize etmeyi hedeflemektedir ve çalışma süresi 1 gündür. En yakın 2 hafta donuk periyot olarak adlandırılır, en yakın 2 haftanın üretimlerinde SKU optimizasyon modelinin herhangi bir değişiklik yapmasına müsaade edilmez, modelin parametrelere bağlı olarak yapacağı ilk üretim değişikliği müdahalesi, 3.haftadan başlayarak yapılabilmektedir. Şekil 2.2 ‘de SNP zaman periyodu gösterilmektedir.

Pazar günü	Kesinleşmiş Müşteri siparişleri				Talep Tahminleri ve Müşteri Siparişleri							
cari hafta	cari +1	cari +2	cari +3	cari +4	cari +5	cari +6	cari +7	cari +8	cari +9	cari +10	cari +11	cari +12
donuk periyot		sipariş 3		sipariş 4	maksimum (talep ; müşteri siparişi)							

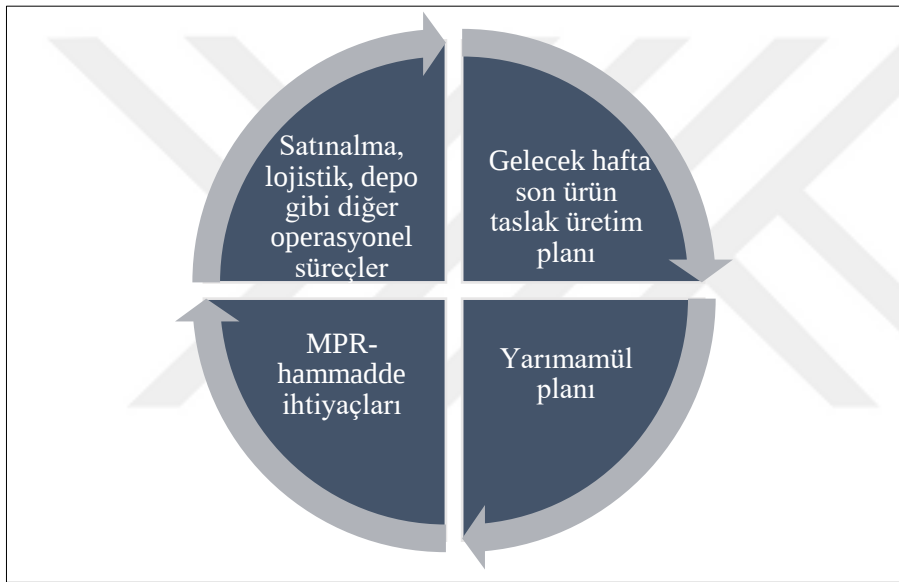
Şekil 2.2 SNP zaman periyodu

Her pazartesi günü, üretim planlama birimi tarafından SNP modelinin çıktıları kontrol edilir ve 12 haftalık periyot için modelin çıktıları üzerinde değişiklikler yapılarak üretimlerin ideal hale gelmesi amaçlanır. Bu aşamada hangi SKU’dan, hangi haftada, ne miktarda üretilmesi gerektiği belirlenir; üretim hattı dolulukları ve bitmiş ürün stok devirleri hafta bazında dengelenmeye çalışılır.

İçinde bulunduğumuz hafta cari hafta olarak adlandırıldığında; üretim planlama birimi tarafından cari+1 haftası için APO PPDS (Production Planning and Detailed Scheduling) optimizasyonu kullanılarak son ürün üretim çizelgelemesi yapılır ve gelecek haftanın taslak üretim planını oluşturulur. Planlama birimi, son ürün taslak üretim planını “yarı mamul üretim süreç ekibi” ile en geç Çarşamba günü paylaşmış olur. Taslak olarak paylaşılmış olan gelecek hafta son ürün üretim planına göre “yarı mamul üretim süreç ekibi” tarafından yarı mamul üretim kriterlerine göre bir yarı mamul planı oluşturulur. Üretim süreç ekibinin hazırlamış olduğu bu yarı mamul planındaki üretim miktarlarına ve ürün reçetelerine göre gelecek hafta için MRP (Material Requirement Planning) çalıştırılır ve gelecek haftanın hammadde ihtiyaçları belirlenir. Belirlenmiş olan hammadde miktarlarına göre tüm hammadde ve ambalaj satın alma süreçleri ile lojistik süreçleri şekillenir ve ilgili operasyonlara ait planlamalar yapılır.

Malzeme indirme operasyonlarındaki yoğunluğun artış göstermesi, malzeme getiren araçların bekleme sürelerinin sürekli artması, depodaki hammadde stoklarının artış trendinde olması, son ürün üretimi için sürekli acil hammadde tedarikinin gerekli olması, acil gerekli

olan hammaddeler yerine uzun süre yetecek olan malzemelerin tekrar getirilmeye çalışılması, depo mal kabul ve giriş kalite kontrol süreçlerindeki aşırı iş yoğunluğunun bir türlü dengelenememesi/azaltılamaması gibi problemler incelendiğinde yaşanan tüm bu kaosun ana sebebinin MRP 'ye yansıtılmış olan hammadde ihtiyaçlarındaki +/- yönlü sapmalar olduğu tespit edilmiştir. MRP ihtiyaçlarındaki sapmaların başlıca sebeplerinden birinin hacimli yarı mamul üretimleri ve hatalı yarı mamul üretim planları olduğu gözlemlenmiştir. Tedarik zincirinin herhangi bir aşamasında yaşanan/yaşanacak bir krizin, tedarik zincirindeki tüm süreçleri etkilediği ve zincirdeki tüm operasyonların silsile halinde sekteye uğramasına sebep olduğu Şekil 2.3 'de yer alan döngüde gösterilmektedir.



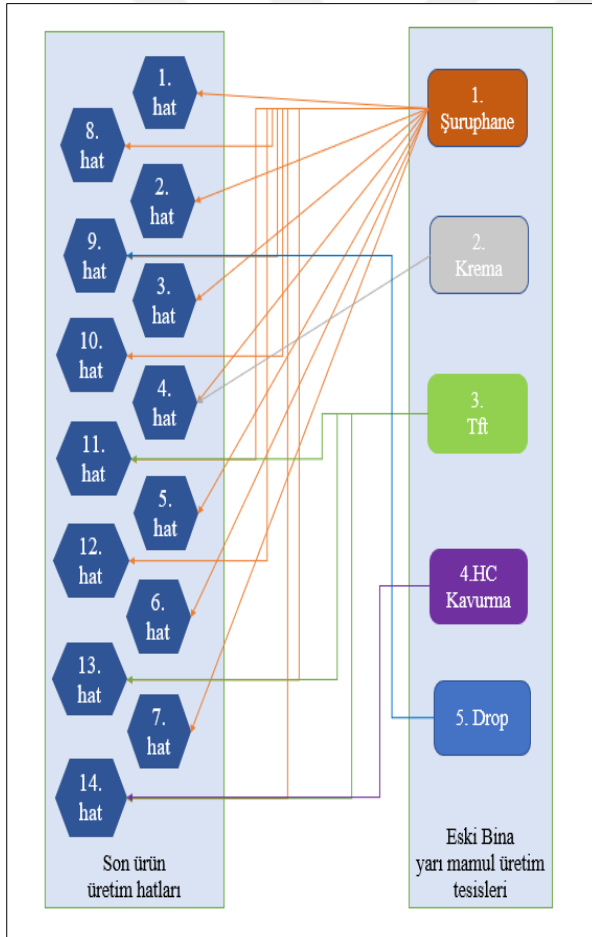
Şekil 2.3 Tedarik Zinciri'nde birbirine bağımlı süreçler

Bu çalışma; yukarıda bahsedilen güçlüklerin sebebinin kaynağını bulmak amacıyla firmanın en fazla üretim hacmine sahip fabrikası olan bisküvi fabrikasının yarı mamul tesisi kapsamında ele alınmıştır.

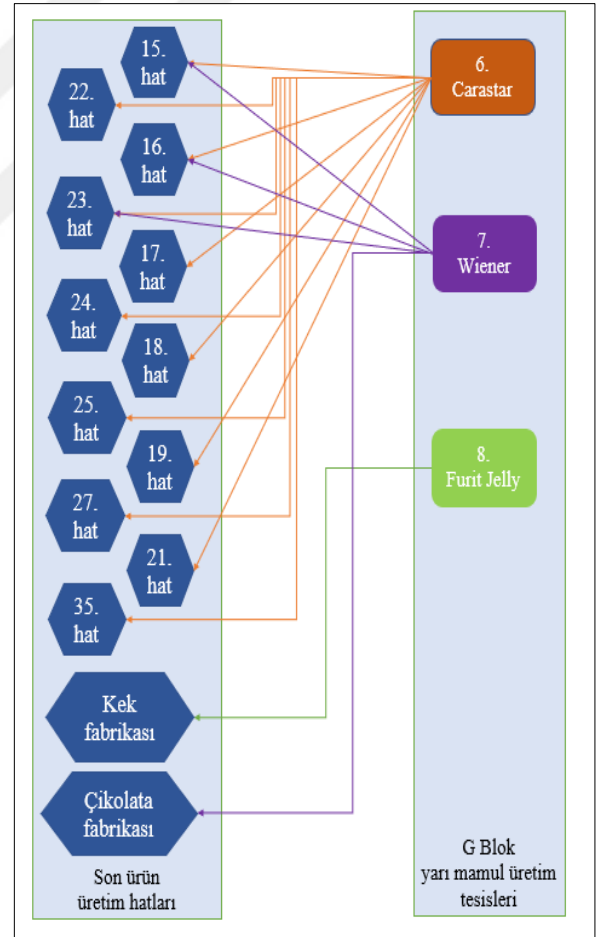
Firmanın bisküvi fabrikasında 27 adet son üretim hattını besleyen, farklı binalarda konumlandırılmış olan “Eski Bina” ve “G blok” adında 2 ayrı yarı mamul üretim alanı bulunmaktadır. “Eski Bina” yarı mamul alanında Şuruphane, Krema, Tft, Kavrulmuş Hindistan Cevizi ve Drop olmak üzere farklı üretim süreçlerini içeren, farklı yarı mamul üretimleri yapan ve farklı son ürün üretim hatlarını besleyen 5 adet yarı mamul tesisi bulunmaktadır. “G blok” yarı mamul alanında Carastar, Wiener, Fruit jelly olmak üzere farklı üretim süreçlerini içeren, farklı yarı mamul üretimleri yapan ve farklı son ürün üretim

hatlarını besleyen 3 adet yarı mamul tesisi bulunmaktadır. “Eski bina” 1-17 numaralar arasındaki son ürün üretim hatlarını beslemektedir, “G blok” ise 18-27 numaralar arasındaki son ürün üretim hatlarını beslemektedir.

Her bir yarı mamul tesisi farklı sayıda ekipman bulundurmaktadır. Farklı ürün grupları için farklı yarı mamul üretimi yapılırsa da aynı ürün grubunun farklı gramajları için aynı yarı mamullerin farklı yarı mamul tesislerinde üretildiği durumlar oluşmaktadır. Yani aynı yarı mamul farklı yarı mamul tesislerinde üretilerek farklı SKU üretim hatlarına gönderilmektedir. SKU hatları ile yarı mamul tesisleri arasında genelde otomatik taşıma sistemleri mevcut olsa da birkaç tesiste insan gücü ile manuel taşıma yapılmaya devam edilmektedir. Yarımamül tesisleri ve son ürün üretim tesisleri arasında ilişkinin şematik gösterimi Şekil 2.4.a ve Şekil 2.4.b’de yer almaktadır.



Şekil 2.4.a Eski Bina yarı mamul tesisleri ve son ürün üretim hatları ilişkisi



Şekil 2.4.b G Blok yarı mamul tesisleri ve son ürün üretim hatları ilişkisi

2.4. Problem Tanımı ve Amaç

FMCG sektöründe taleplerin çok değişken olması, talep tahminlerinin haftadan haftaya değişkenlik gösteriyor olması, özellikle son yıllarda pandemi koşullarıyla karşılaşılan kadro, kapasite, hammadde, ambalaj darboğazı gibi etkenler nedeniyle 1 hafta içinde son ürün üretim planı üretim planlama birimi tarafından defalarca revize edilebilmektedir.

Üretim ekleme, üretim silme vs. durumlarına göre mevcut durumda yarı mamul üretim planının da SKU üretim planına paralel ve anlık olarak revize edilmesi beklenmektedir. Ancak mevcut işleyişte yarı mamul üretim planı, üretim birimi tarafından tamamen onların tecrübelerine dayanarak manuel olarak hazırlanmaktadır. Hafta ortasında bir sonraki hafta için hazırlanmış olan yarı mamul planının, ilgili hafta geldiğinde SKU planı değiştirilmiş olsa bile revize edilmediği durumlar ile karşılaşılmaktadır.

Yarı mamul planının revize edilmiyor olması, hammadde tedarikinde sorunlar yaşanmasına, fazla üretilmiş yarı mamul stokları oluşmasına, ayrıca ihtiyaç fazlası getirtilmiş olan hammadde ve ambalajların raf ömürleri açısından atıl malzeme riski oluşturmasına sebep olmaktadır. Ayrıca hatalı yarı mamul planı nedeniyle yaşanan “yarı mamul stok yetmezliği” durumu kaynaklı SKU üretim planında kesinti yapılması gerekliliği oluşmakta ve bu durum firmanın ana hedeflerinden biri olan “miktar/zaman detayında müşteri talep karşılama oranlarını” olumsuz etkilemektedir.

Ana ürün üretim programı ile uyumlu, vardiyalar bazında yarı mamul üretim planının bir optimizasyon programı ile oluşturulması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Öncelikli olarak yarı mamuller için vardiya bazında üretilecek miktarların tespit edilmesi ve ilgili tüm üretim kısıtları dikkate alınarak vardiyalık bazda haftalık dengeli bir üretim planı oluşturulması gerekmektedir. SKU planına paralel olarak haftada pek çok defa revizyon yapılacağı varsayımıyla yarı mamul üretimi için kullanılacak yaklaşımın kısa süre içinde sonuçlanıyor olması istenmektedir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde yer alan güncel yayınlar incelenerek çalışmaya olan ilginin geliştirilmesi hedeflenmiştir. “Üretim çizelgeleme” konularını içeren güncel çalışmalar bu bölümde incelenmiştir.

Öncelikle üretim kavramı üzerinde durmak gereklidir. Üretim; şekil değişikliği (topraktan cama, ağaçtan masaya), lokasyon değişikliği (lojistik vb.), periyot-zaman değişikliği (soğuk hava depoculuğu vb.) ya da el değiştirme yoluyla (ticaret) fayda yaratmak veya var olan mal ve hizmetlerin faydasını artırmaktır. (Tanyaş ve Baskak 2003). Üretim tanımı hakkında farklı görüşler bulunmaktadır. Finans dünyasında üretim “fayda yaratmak” şeklinde tanımlanırken; mühendis dünyasında üretim, fiziki bir eşyanın değerini artırmaya yönelik bir dizi değişiklikler yapılmasını ya da hammaddelerden faydalı ve kullanışlı bir ürün elde edilmesi olarak kabul edilir. Sonuç olarak üretim; insan gereksinimlerinin, doğa tarafından tam olarak karşılanmaması nedeniyle insanlar tarafından geliştirilen ve temel amacı topluma değer katmak olan bir sistemler bütünüdür. (Çetinbağ 2005). Üretim sistemi; doğal kaynaklar, işgücü ve sermayeden oluşan “girdilerin” dönüştürme süreçlerinden geçirilerek; ürün, yarı mamul, yan ürün ve hizmetlerden oluşan “çıktılar” haline getirildiği sistemdir. (Tanyaş ve Baskak 2003).

Üretim; genel olarak “proses tipi”, “kitle”, “parti” ve “proje tipi üretim” olarak 4 ana grupta sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmanın detaylarına sırasıyla aşağıdaki paragraflarda yer verilmiştir.

Proses tipi üretim (Process Type Production), akışkan ürünlerin üretim süreci bu sınıfa girmektedir. Bu üretim tipi için boya, içecek, kağıt, zeytinyağı ve tel üretimleri örnek gösterilebilir. Bu tür üretim yapan firmalarda genelde üretim planlama bölümü bulunmaz, çünkü talep oldukça düzgündür ve çeşit azdır. Müşteri talep miktarları çok yüksektir ve sürekli olarak fazla miktarlarda üretim gerçekleştirilerek standart ürünlerde stok tutulur ve çoğu zaman müşteri talepleri stoktaki üründen karşılanır. Birkaç çeşit benzer ürünün büyük miktarlarda üretildiği proses tipi üretim, ürün çeşidi çok az ve üretim hacmi yüksek olduğunda kullanılan bir üretim tipidir. Hızlı olması amacıyla özelleşmiş ve bu nedenle yatırımı yüksek olan donanım kullanılır. İşler küçük öğelerine ayrılarak işçilere atanmış

olduklarından, takımlar ve yöntemler işe özel olduğundan verimlilik yüksektir. Genelde nitelikli işgücü gerekli değildir. (Tanyaş ve Baskak 2003).

Kitle tipi üretim diğer adıyla seri üretim(mass production), burada üretimin amacı çok sayıda ve hızlı bir şekilde üretim gerçekleştirmektir. Üretim için üretim hatlarının kurulduğu, aynı tip ürünün kitleler halinde çok büyük miktarlarda üretildiği üretim şeklidir. Buradaki üretim hatlarındaki makineler ve tezgahlar özel amaçlıdır ve yatırım maliyeti yüksektir. Makineleri o ürün üretimine özel makineler olduğundan nitelikli işgücü gerektirmektedir. Otomobil veya beyaz eşya üretimini, bu tip üretime örnek olarak verebiliriz. ÜPK (Üretim Planlama ve Kontrol) son derece önemlidir. Otomobil, buzdolabı, araba lastiği gibi ürünler, yüksek talebi olan standart ürünler olmasına rağmen, farklı müşteri beğenisi, kullanım boyutları ve özellikleri nedeni ile her farklı tip için kitleler halinde üretilirler. Kitle üretiminde ürün çeşidi, proses tipi üretime göre artmıştır. Ürünler tek tek birimler halinde, birbirini izleyen iş istasyonlarından -genellikle otomasyon kullanılan bir transfer sistemiyle- geçerler ve bunlara akış hatları adı verilir. Her iş istasyonunda iş bir diğerinden bağımsız olarak yürütülür ve aynı sürede (çevrim süresi) tamamlanır. Bu tür üretim genellikle yüksek talep hacmi olan standart ürünler için geçerlidir. Bu ürünlerin yıl içindeki talep miktarları sürekli ve kestirilebilir.

Önceden planlama evresi büyük önem taşır, çünkü öncelikle donanım yatırım maliyetleri, parti üretimine ve proje tipi üretime göre oldukça yüksektir. Bunun nedeni belirli işleri yüksek verimlilik ve hızla yapabilecek özel donanımlar kullanılmasıdır. Örneğin bir parçayı işi biten istasyondan alıp bir sonraki istasyona uygun şekilde besleyen bir transfer donanımı gibi. Bu nedenle üretim hatlarının esnekliği ileride söz edilecek diğer yöntemlere göre düşüktür. Diğer özelliklerinin arasında; sabit ve esnek olmayan malzeme taşınması, yüksek donanım yatırımı, görece düşük hammadde ve süreç içi stok ile özel amaçlı donanım sayılabilir. (Tanyaş ve Baskak 2003).

Parti üretiminde ise belirli hacimlerde üretim yapılmaktadır ve çok fazla farklı türde mamul ya da aynı mamulün farklı seçenekleri vardır. Bu durumda her partide aynı tür mal üretilir; ürün tipi değiştiği zaman başka bir partinin üretimine geçilmiş olur. Böylece üretim hattı sıra ile farklı ürünlere ayrılmış olur. Bu tür üretim tipinde üretim planlama bölümü önemlidir. Otomotiv sanayi için radyatör fanı üretmek bu üretim tipi için bir örnek oluşturabilir. Üretilen sadece radyatör fanıdır ancak her partide farklı özelliklerde ve farklı firmalara farklı radyatör fanı üretilmektedir. Üretilen ürün çeşidi arttıkça ve üretim

miktarları azaldıkça, üretim partiler halinde yapılacaktır. Döküm ve dövme parçalar, pompalar, redüktörler gibi ürünler, yapılan anlaşmalara, siparişlere göre üretilirler. Söz konusu ürünlerden standart olanlar için bir miktar üretim stoğa yönelik yapılır. Bu tip üretime Parti Üretimi denilmektedir. Üretilecek miktar o ürüne ilişkin bir seri üretim hattının geliştirilmesine yol açacak büyüklükte değildir. Bu nedenle genel amaçlı donanımdan ve bunları kullanabilecek nitelikli işgücünden yararlanılarak değişik ürünler üretilir. Bu durumda operasyon ve hazırlık maliyetleri artacak ancak ürüne özel donanım alımından tasarruf edilecektir.

Parti tipi üretim sisteminde; ürünler parti(batch, lot) biçiminde üretilmektedir. Talebe bağlı üretim ve sürekli talep durumları mevcuttur. Benzer ya da aynı cinsten ürünlerin belli bir siparişi ya da sürekli talebi karşılamak üzere partiler halinde üretildiği üretim sistemidir. Bu sistemlerin en büyük özelliği bir parti üretimi bitmeden, ikinci bir ürünün üretimine geçilmemesidir. Bir çeşit mamul parti büyüklüğüne göre üretildikten sonra önceki ürün çeşidinden farklı olarak bir mamul çeşidine geçilerek yeni bir partinin üretimine başlanır. Bu üretim sisteminin en belirgin özelliği, stoklu çalışmasıdır; standart ürünler için bir miktar üretim stok seviyesini belirli bir seviyede tutmak üzere yapılır. Parti büyüklüğü arttıkça parti üretiminden seri/kitle üretimine kayma olması gündeme gelecektir. Bu tip üretimlerde parti büyüklüğünü saptamak kritiktir, parti büyüklüğü ise üretim hazırlık ve üretim maliyetlerine göre tespit edilmektedir.

Önce işlerin değişik bölüm veya tezgahlara atanarak yüklenmesi, sonra da işçilere ve tezgahlara yüklenen işlerin öncelikleri belirlenerek iş sıralaması yapılması gereklidir. Bunun için; belirli bir parti üretimi yapmak için gerekli olacak bölümler, bu bölümlerde çalıştırılacak tezgahlar ve bunların alternatifleri, malzeme ve takımlar, her işlemin operasyon ve hazırlık süreleri ve son olarak da ekonomik parti miktarı belirlenir. Her partinin ayrı teslim zamanları olabileceğinden bunların öncelik sırasının da belirlenmesi gereklidir. (Çetinbağ 2005).

Bu tip üretimlerde hammadde ya da ara ürün taşınması oldukça fazladır. Partilerin aynı üretim bölümünden farklı zamanlarda tekrar tekrar geçmesi gerekebilir. Üretim tesisleri arası taşımanın fazla olması nedeni ara stoklama alanlarının hacmi fazladır. Ara stok için fazla stoklama alanı ayrılmıştır. İşletmede otomasyon çok düşük olmasına rağmen esneklik yüksektir ve piyasadaki dalgalanmalara daha kolay ayak uydurulabilir. Hazırlık sürelerinin

yüksek olması, malzeme ve yarı ürün taşımalarının çokluğu sebebiyle parti üretiminde verimlilik düşüktür. (Acar 2003)

Bu sistemin dezavantajları; parti boyutlarının ve miktarlarının belirlenmesindeki zorluk ve üretim çizelgeleme sorunlarıdır. Bu sistemlerde iki ana sorun parti büyüklükleri ve parti adetlerinin tespiti ve partilerin çizelgelenmesidir. Parti büyüklükleri ve parti tekrarları arttıkça tecrübe artacağı için üretim planlaması, planın uygulanması ve kontrolünde kolaylıklar sağlanmış olur.

Proje tipi üretimde, müşterinin özel taleplerine göre üretilecek ürünün tasarımı oluşturulmaktadır. Genelde bu tip üretimlerde, ürün yer değiştiremeyecek kadar büyüktür ya da belli bir alana kurulum söz konusudur. Üretim için gerekli hammadde, üretim tezgahı vb. bileşenleri ürünün yanına taşınarak üretim yapılır. Üretim miktarı diğer üretim tiplerine göre çok düşüktür, bu tip üretimlere gemi inşasını, köprü ve diğer inşaat işlerini, yazılım programı hazırlamayı veya yeni bir ürünün tasarımı ve piyasaya sürülmesi örnek olarak gösterilebilir. Tüm malzeme ve iş akışı, söz konusu ürün etrafında döner. Gantt Diyagramları, CPM (Critical Path Method) veya PERT (Project Evaluation and Revision Technique) gibi yöntemler kullanılır ve elde edilen çıktı ilgili ürüne özeldir. Bu tip üretimlerde en belirgin özellik, müşterinin kesin siparişi sonrası bir ya da birkaç defaya özgü aynı ürün üretiminin yapılmasıdır. Proje tipi üretimlerde ürün birim maliyetleri, parça sayısının az olmasından kaynaklı diğer üretim tiplerine göre oldukça yüksektir (Acar 2003)

Literatürde üretim tiplerinin sınıflandırılması konusunda düşünce birliği olmamasına karşın, yukarıda detaylı açıklanan üretim tipleri kesin olarak sürekli ve kesikli üretim olarak birbirlerinden ayrılmıştır. Proses ile kitle üretimi sürekli üretim, parti üretimi aralıklı-kesikli üretim ve proje tipi üretim ise sipariş tipi üretim olarak da anılmaktadır. (Acar 2003)

Üretimin çeşitli sistemlerin bütününe oluşturuyor olması kaynaklı ve ilgili süreçlerin daha iyi koordinasyon ile çalışabilmeleri için bir üretim planlama yapılması gerekliliği de ortaya çıkmıştır. Genel anlamıyla üretim planlama; müşteri taleplerinin zamanında ve istenilen miktarlarda karşılanabilmesi için üretim kaynakları maliyetlerinin minimize edilmesi hedefiyle optimum kaynak kullanımı ile çıktı oluşmasını sağlayacak kısa, orta ve uzun dönem için bir nevi takvim oluşturulması işidir. Üretim planlaması, hammadde, işgücü, üretim kapasitesi gibi eldeki kaynaklar kullanılarak talep edilen miktar ve kalitede ürünlerin, istenen sevk terminlerine hazır edilmesi amacıyla ürünün hangi tarihte ve ne miktarda

üretilmesi gerektiğine karar verilmesidir. (Sharma, 2019). İşletmelerin üretim hacimleri, bulundukları market veya ürün gamı fark etmeksizin üretim planlamasında hedef, talepleri en etkin ve verimli bir şekilde karşılıyor. Üretim planlamasındaki hedef, maliyet en küçüklemesi ya da kâr en büyükleme gibi ekonomik göstergeleri kötüleştirmeden müşteri sipariş karşılamaını iyi seviyede tutacak planlama kararları vermektir. (Pochet ve Wolsey, 2006). Üretim planlama ve kontrol mal ve hizmetlerin üretimi için girdi kaynakları olan insan, makina ve malzemelerin optimum kullanımını amaçlar ve aynı zamanda müşteri-pazar taleplerini miktar, kalite, zaman ve fiyat bazında en ekonomik şekilde karşılamayı hedefler. (Khan and Ibrahim, 2004)

Üretim planlama ve kontrol süreci; talep tahmini ve kesinleşmiş müşteri siparişlerinin alınması ile başlar ve sırasıyla ana üretim planı (MPS, master production scheduling), malzeme ihtiyaç planı (MRP, material requirement planning) ve son olarak günlük hatta vardiyalık detay üretim çizelgesi yapılması ile devam eder. Üretimin yapılması ve müşteri siparişlerinin sevk edilmesiyle “üretim planlama süreci” sonlanır ya da diğer bir deyişle yeni taleplerin gelmesi ile birlikte süreç başa döner ve tekrarlanır.

Ana ürün üretim planı (MPS), ürün grupları bazında haftalık talep tahmini verilen dayanarak orta ya da uzun vadeli yapılan planlardır. Malzeme ihtiyaçları uzun ve orta vadede bu plana göre şekillenir. Ana üretim planı; stok devir seviyesi, ürün çalışma hızı, ürün öncelikleri ve ürün değiştirme maliyetlerine odaklanarak üretim kaynaklarının verimli kullanımı sağlayan bir orta ya da uzun vade üretim planı ortaya çıkarmaktadır. MPS; özet olarak talebe göre arz miktarının belirlenmesi işidir. Bir son üründen ilgilenilen periyotta ne kadar üretilmesi gerektiği bu aşamada tespit edilir.

MPS sürecinde; rotalama, iş yükleme ve iş sıralama gibi belirlenmiş adımlar izlenir. Rotalama; işin geçeceği işlemlerin ne olduğunu ve işin ne kadar sürecde bitirileceğini belirleme işlemidir. Ürünün üretim süreci sırasında izleyeceği fiziki rota bu aşamada netleşmektedir. İş yükleme; üretim sistemindeki işlerin hangi tezgahlarda, kimler tarafından yapılacağının belirlenmesi işlemi anlamına gelir. (Acar 2003) Üretim kapasitelerine ve bu tezgahlarda yapılması kararlaştırılmış üretim miktarlarına göre her bir üretim hattı için yük/doluluk oranı belirlenir ve bu oran ne kadar yüksek ise ilgili tezgah o kadar meşgul olacaktır anlamına gelir. İş sıralaması, aynı üretim hattında üretilecek olan birden fazla ürün olduğu takdirde, bu üretimlerin yapılma sırasının belirlenmesi işlemidir. Üretimlerin, hesaplanan ürün öncelik değerlerine göre sıraya sokulması işlemidir, çizelgeme olarak da

bilinen bu adım aslında üretim programıdır. Bu program işlerin ne zaman başlayacağı, ne zaman biteceği ve hangi üretim kaynağında bu işlemin yapılacağı bilgi yer alır. (Acar 2003)

Üretim çizelgelerinin oluşturulması aşamasında kullanılabilecek birden fazla yöntem vardır. Bunlardan bir tanesi doğrusal programlamadır. Doğrusal programlama değişkenler, kısıt ve parametrelere bağlı olarak amaç fonksiyonunda en iyi (en küçük ya da en büyük) değere ulaşmaya çalışır. Doğrusal programlama(DP), verilen en iyileme koşuluna göre kısıtlı kaynakların uygun şekilde kullanılmasını sağlayan cebirsel bir yöntemdir. (Öztürk 2002) DP belli doğrusal eşitliklerin ya da eşitsizlikleri sağlayacak bir doğrusal bir amaç fonksiyonunu en iyilemek şeklinde tarif edilebilir. En iyileme, ilgili amacı en düşük masraf ile yerine getirmek ya da en yüksek faydayı elde etmektir. (Alptekin 2003) Doğrusal programlama sayesinde değişken sayısından daha az sayıda denklem kullanılarak ilgili problemlerin çözüm bulması sağlanabilmektedir. (Alptekin 2003)

Doğrusal programlamanın; amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı fonksiyonlar ve pozitif kısıtlamadan oluşan 3 ana unsuru vardır. Amaç fonksiyonu en büyükleme ya da en küçükleme şeklindedir. DP modelleri fiili hayat problemlerine uygulandığı için değişkenlerin alacağı değerler negatif olmasına müsaade edilmez, pozitif kısıtlama bunu ifade eder. Üretim ya vardır ve pozitif bir değer alabilir ya da yoktur ve sıfır değeri alabilir.(Alptekin 2003)

DP'nin 3 çözüm yöntemi vardır; grafiksel yöntem, simplex yöntemi ve matris yöntemi. (Alptekin 2003) Grafiksel yöntem, üçten fazla değişkenin olduğu problemlerde kullanışlı değildir. Gerçek hayat problemlerinde ise değişken sayısı fazladır. Bu sebeple fiili hayat probleminin doğrusal programlama ile çözümünde simpleks metodu kullanılır. Bu metot, matematiksel adımlama (iterasyon) işlemine dayanır. Bu metotta ilk olarak başlangıç simpleks tablosu hazırlanır sonra tekrar eden işlemler ile belirli bir hesap yöntemi içinde gelişen çözümlere doğru ilerleyerek optimal çözüme ulaşmaya kadar işlemler sürdürülür. Her bir iterasyonda oluşan çözüm tablolarında, amaç fonksiyonu ve karar değişkenlerinin aldığı değerleri izlenebilir. Simpleks yönteme başlamadan önce problem tanımının doğru ve net bir şekilde yapılması gerekmektedir. (Öztürk 2002) Simpleks yöntemi, amaç fonksiyonunu en büyük veya en küçük yapacak en iyi çözüme adım adım yaklaşan bir hesaplama yöntemidir. Bu nedenle, probleme bir başlangıç çözüm ile başlayarak optimuma her seferinde daha da yaklaştırmaya yönelik adımlamalar (iterasyonlar) ile en iyi çözümü veren uç noktasına ulaşmamızı sağlar. (Öztürk 2002)

Mathirajan ve Sivakumar parti üretimi yapan makinelerin çizelgelenmesi konusunda 1986-2004 arası çalışmaları içeren bir yazın tarama çalışması yapmıştır. Xu ve Bean (2007), süre ve büyüklükleri farklı olan işlerin, yığın üretim yapan birden çok makinede çizelgelenmesi problemi ile ilgilenmiştir. Amaç en son işin tamamlanma zamanını en küçüklemeektir. Problem için öncelikle bir tam sayılı programlama modeli verilmiş, sonrasında da genetik algoritma tabanlı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Hung ve diğerleri, büyüklükleri ve hazır olma zamanları farklı olan işlerin, parti üretimi yapan eş özellikteki birden fazla makineye çizelgelenmesi problemi ile ilgilenmiştir. Amaç, işlerin tamamlanma sürelerinin toplamını en küçüklemeektir. Bir karışık tamsayılı programlama modeli geliştirmişler ve bu modeli temel alan bir çözüm algoritması önermişlerdir. Wang ve Chou (2010), büyüklükleri ve hazır olma zamanları farklı olan işlerin tek bir fırında çizelgelenmesi problemi üzerinde tüm işlerin tamamlanma zamanını en küçükleme amaçlı çalışmışlardır. Öncelikle problemin tam sayılı programlama modeli verilmiş, sonrasında da tavlama benzetimi ve genetik algoritma tabanlı çözüm yaklaşımları önerilmiştir. Edis ve Kuru (2017), fırın çizelgeleme problemi için tamsayılı doğrusal bir model oluşturmuştur, modelin uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Saraç ve Akyol (2017), ortak kaynak kullanan işlerin paralel makinalarda çizelgelenmesi problemin ele almış ve karma tam sayılı programlama modeli geliştirerek modelin GAMS ile çözüm performansını değerlendirmişlerdir. Ruiz ve Romano (2011), hazırlık sürelerinin atanan kaynaklara bağlı olduğu bir özdeş olmayan paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Toplam kaynak kullanımını ve toplam tamamlanma zamanını en küçükleme için bir karma tamsayılı matematiksel model geliştirmişlerdir.

Literatürde yer alan çalışmaların sayıca fazla olması, gerçek hayatta çizelgeleme problemlerine çözüm arayışında doğrusal programlama yaklaşımın sıkça kullanıldığını göstermektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında incelenen bisküvi fabrikası yarı mamul tesisi üretim çizelgeleme problemi için ana kısıtlar ve varsayımlar ile birlikte tesislere özel detay bilgiler bu bölümde yer almaktadır. Yarı mamul tesisleri, ekipmanları ve yarı mamullerin üretim parametreleri ile ilgili detay bilgiler verilerek problemin yapısı açıklanmış ve matematiksel model bu bölümde aktarılmaktadır.

4.1. Varsayımlar ve Ana Kısıtlar

Süreç analizi yapılan işletmenin, üretim yerleşkesinde iki ayrı alanda yer alan yarı mamul binalarında 8 farklı yarı mamul üretim tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin, haftada 7 gün ve günde 3 vardiya olmak üzere durmaksızın çalıştırılabilir olduğu varsayılmıştır. Her bir vardiya 8 saatlik blok olarak düşünülmelidir. Bu sebeple üretimlerin 8'er saatlik dilimlere göre şekillendirilmesi gerekmektedir. İşletmede bir gündeki 3 vardiya; 00:45~08:44 saatleri arası "A" vardiyası, 08:45~16:44 saatleri arası "B" vardiyası, 16:45~00:44 saatleri arası C vardiyası şeklinde tanımlanmıştır. Pazar A vardiyalarında hiçbir tesiste üretim yapılamamaktadır.

Bakım ya da resmi tatiller haricinde 27 farklı SKU üretim hattının durdurulmadan sürekli çalışır olmalarına paralel olarak yarı mamul tesislerinin de her an üretime hazır olduğu kabulü yapılmıştır.

Haftalık son ürün üretim programında; son ürünler için üretim miktarı, üretim hattı ve üretim zamanı bilgisi yer almaktadır. Son ürün üretim planında yer alan bu bilgiler, yarı mamul üretim çizelgeleme modeli için bir girdi olan "yarı mamul talep" bilgisinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Son ürün üretim miktarı ve son ürün reçetesindeki yarı mamul kullanım oranları dikkate alınarak her bir yarı mamul kodundan gerekli miktar hesaplanmaktadır. Bu çalışmada bu veriye "yarı mamul talebi" adı verilmiştir ve hesaplanan değerler modele bir parametre olarak yüklenecektir. İlgili yarı mamullerin talep zamanının, SKU üretiminin yapıldığı vardiyada olduğu ve yarı mamul taleplerinin ihtiyacın olduğu vardiyada üretilmesi gerektiği kabulü yapılmıştır.

Her bir yarı mamul için belirlenmiş ve sınırlı hacme sahip stoklama alanı bulunmaktadır. Stoklama sınırı aşılmayacak şekilde üretim miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Tesislerin kuruluş aşamasında yapılmış öngörüler ile bazı yarı mamullerin stoklama alanı kapasiteleri sıfır iken, bazılarının stoklama alanı kapasiteleri oldukça yüksektir. Stoklama alanı kapasitesi yüksek olan yarı mamuller için talep trendi izlenerek vardiyadan vardiyaya ya da haftalar arası geçişte stok tutulması sağlanabilir. Benzer şekilde stoklama alanı kapasitesi sıfır olan yarı mamuller için de olabildiğince stoksuz ilerlenmesi gerekmektedir.

Ürün geliştirme ve kalite ekipleri tarafından belirlenmiş olan ve her bir yarı mamul için tanımlı bir raf ömrü bilgisi bulunmaktadır. Raf ömrü kısa olan yarı mamullerin kısa sürede “bozulma” ve “atıl olma” ihtimali yüksektir. Bu tür yarı mamullerin üretimlerinin yalnızca talep değeri kadar yapılması gerekmektedir. Talep fazlası olarak yapılacak her üretimin, ilgili yarı mamul “yaşlandıktan” sonra nihayetinde tasfiye edilecek ve şirkete bir zarar kalemi olarak yazılacak olması unutulmaması gereken önemli noktalardan biridir. Raf ömrü uzun olanlar ise stokta raf ömrü süresi boyunca herhangi bir bozulma olmadan bekleyebilir.

Her bir yarı mamul tesisi farklı sayılarda ekipmana sahiptir. Üretim ekibinin tecrübesine dayanarak tesislerdeki bu ekipmanlardan bir çoğu sadece belirlenmiş yarı mamullerin üretimleri için ayrılmıştır, yani belirli ekipmanlar sadece belirli ürünleri üretebilmektedirler. Üretimin deneyimlerine göre belirlediği bu ekipman- yarı mamul atamasının bozulması teknik açıdan birçok sorunu beraberinde getirdiği için bu kuralların değiştirilemez olduğu kabul edilerek buna uygun bir üretim planı yapılması gerekmektedir.

Tesislerdeki üretim sürecinde birden fazla ve farklı işlevleri olan farklı üretim ekipmanları olsa da üretim çizelgesi için belirleyici olacak darboğaz yaratan ekipmanlar model verisi olarak bu çalışmaya dahil edilmiştir. Seçim dışı kalan tesislerde yer alan diğer ekipmanların kapasitelerinin her zaman yeterli olacağı kabulü yapılmıştır. Bu çalışmada bahsi geçen seçilmiş ekipmanların ise birbirinden bağımsız birer üretim kaynağı olduğu varsayımı yapılmıştır.

Planlama periyodu boyunca tesislerde ve ekipmanlarda yeterli sayıda iş gücü olduğu varsayılmıştır. Ayrıca üretim kadrolarının yetkinlik seviyelerinin tüm ekipmanlarda çalışabilecek düzeyde yeterli olduğu kabulü yapılmıştır. Aynı şekilde planlama periyodu

boyunca yarı mamul üretimleri için gerekli olan hammaddelelerin her zaman yeterli miktarda ve fabrikada hazır olduğu varsayımı yapılmıştır.

Bundan sonraki alt bölümlerde sırayla her bir tesisin ve tesislerdeki ekipmanların detayları; tesiste üretilecek ürünlerin bilgileri ile tesise özel kısıtlara ait bilgilere yer verilmiştir.

4.2. Tesislere Özgü Kısıtlar Ve Tesis Detayları

İşletmenin bisküvi üretim yerleşkesinde Eski Bina ve G blok olarak adlandırılan iki ayrı alanda yer alan yarı mamul binalarında 8 farklı yarı mamul üretim tesisi bulunmaktadır. “Eski Bina” yarı mamul alanında Şuruphane, Krema, Tft, Kavrulmuş Hindistan Cevizi ve Drop 5 adet yarı mamul tesisi bulunmaktadır. “G blok” yarı mamul alanında Carastar, Wiener, Fruit jelly olmak üzere 3 adet yarı mamul tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler farklı üretim süreçlerini içermekte, farklı yarı mamul üretimleri yapmakta ve farklı son ürün üretim hatlarını beslemektedir.

4.2.1. Carastar tesisi

G blok binasında yer alan Carastar tesisinde 5 farklı yarı mamulün üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu tesiste 4 farklı kaynatma kazanı bulunmaktadır. Üretim tarafından herhangi ekipman- yarı mamul eşleşmesi kuralı bildirilmemiştir, herhangi bir yarı mamul bu tesiste herhangi bir ekipmanda üretilmektedir. Bu tesiste raf ömrü çok kısa olan yarı mamuller üretilmektedir, ve vardiyalar arası stok taşımaya izin verilmeyecek şekilde üretimler planlamalıdır. Raf ömrü çok kısa olan 810156 ve 810158 numaralı yarı mamuller 6000 kg kapasiteli ortak bir stoklama alanını paylaşmaktadırlar. 810961 numaralı yarı mamul üretiminden sonra herhangi temizlik yapılmadan diğer yarı mamullerin üretimine başlanabilmektedir, geçiş süresi sıfır olarak verilmiştir. Aşağıda Çizelge 4.1’de bu tesise ait yarı mamul ve ekipman anaveri detayı gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 G Blok Caraster Tesisi ana verileri

CARASTAR TESİSİ	YARI MAMUL KODU	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ (kg) **tek ekipman	PARTİ ÜRETİM SÜRESİ	SETUP SÜRESİ	STOKLAMA KAPASİTESİ (kg)	RAF ÖMÜRLERİ	ÜRETİLDİĞİ EKİPMAN
	810156	600	40 dakika	yarım saat	6000	3 saat	C1, C2, C3, C4
	810158	600	40 dakika	yarım saat		3 saat	C1, C2, C3, C4
	811414	225	2.5 saat	6 saat	0	15 gün	C1, C2, C3, C4
	812341	450	3 saat	6 saat	0	15 gün	C1, C2, C3, C4
	810961	500	75 dakika	*	40000	29 gün	C1, C2, C3, C4

4.2.2. Wiener tesisi

G blok binasında yer alan Wiener tesisinde 5 farklı yarı mamulün üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu tesiste 3 farklı ekipman bulunmaktadır. Üç numaralı ekipman, talebi diğerlerine göre oldukça yüksek olan 810115 kodlu yarı mamulü üretmek üzere ayrılmıştır. Bu ekipmanda diğer yarı mamullerin üretilmesine izin verilmemektedir. Diğer yarı mamuller bir ve iki numaralı ekipmanlarda üretilmektedirler. Bu tesiste üretilen yarı mamullerin raf ömürleri uzun , stoklama alanı kapasiteleri ile vardiyalık talepleri yüksek olduğu için stoklu ilerlenmektedir. Aşağıda Çizelge 4.2’de bu tesise ait yarı mamul ve ekipman anaveri detayı gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 G Blok Wiener Tesisi ana verileri

WIENER TESİSİ	YARI MAMUL KODU	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ (kg) **tek ekipman	PARTİ ÜRETİM SÜRESİ	SETUP SÜRESİ	STOKLAMA KAPASİTESİ (kg)	RAF ÖMÜRLERİ	ÜRETİLDİĞİ EKİPMAN
	810111	1750	60 dk	1 saat	50000	21 gün	W1,W2
	810112	1650	60 dk	1 saat	48000	21 gün	W1,W2
	810115	1500	60 dk	*	60000	10 gün	W3
	810510	1650	60 dk	1 saat	20000	21 gün	W1,W2
	810797	1750	60 dk	1 saat	20000	21 gün	W1,W2

4.2.3. Fruit jelly tesisi

G blok binasında yer alan Fruit Jelly tesisinde sadece 1 ekipmanda 2 farklı yarı mamulün üretimi gerçekleştirilmektedir. 4500 kg kapasiteli stoklama alanını ortak kullanmaktadırlar, raf ömürleri uzun olduğu için stoklu ilerlenecek şekilde üretim planlanabilir. Aşağıda Çizelge 4.3’de bu tesise ait yarı mamul ve ekipman anaveri detayı gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 G Blok Fruit Jelly Tesisi ana verileri

FRUIT JELLY TESİSİ	YARI MAMUL KODU	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ (kg) **tek ekipman	PARTİ ÜRETİM SÜRESİ	SETUP SÜRESİ	STOK KAPASİTESİ (kg)	RAF ÖMÜRLERİ	ÜRETİLDİĞİ EKİPMAN
	810803	1800	8 saat	6 saat	4500	21 gün	F1
	811261	1200	8 saat			21 gün	F1

4.2.4. Şuruphane tesisi

Eski binada yer alan Şuruphane tesisinde 6 farklı yarı mamul üretimi yapılmaktadır. Bu tesiste 4 farklı kaynatma kazanı bulunmaktadır. Üretim tarafından bildirilen eşleşmeye

göre ekipman - yarı mamul atamaları yapılmalıdır. İlgili yarı mamuller sadece tanımlı oldukları ekipmanlarda üretilebilirler. Bu tesiste raf ömrü çok kısa olan yarı mamuller üretilmektedir, ve vardiyalar arası stok taşımaya izin verilmeyecek şekilde üretimler planlamalıdır. Raf ömrü çok kısa olan 810156 ve 810158 numaralı yarı mamuller 4500 kg kapasiteli ortak bir stoklama alanını paylaşmaktadırlar. 810961 numaralı yarı mamul üretiminden sonra herhangi temizlik yapılmadan diğer yarı mamullerin üretimine başlanabilmektedir, geçiş süresi sıfır olarak verilmiştir.

Fark edileceği üzere 810156, 810158 ve 810961 numaralı yarı mamuller Carastar tesisinde de aynı yarı mamul kodlarıyla üretilmektedir, iki yarı mamul tesisinde aynı yarı mamul koduyla yapılan üretimler farklı SKU hatlarında üretilmekte olan aynı son ürün grubundaki ürünlere gönderilmektedir. Dolayısıyla bu verileri modele alırken farklılaştırma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Şuruphane tesisinde üretilen bu yarı mamullerin başına Şuruphane'yi temsilen bir "S" harfi eklenerek bu yarı mamul kodları modelde S810156, S810158 ve S810961 olarak yer almıştır. Aşağıda Çizelge 4.4'de bu tesise ait yarı mamul ve ekipman anaveri detayı gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 Eski Bina Şuruphane Tesisi ana verileri

	YARI MAMUL KODU	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ (kg) **tek ekipman	PARTİ ÜRETİM SÜRESİ	SETUP SÜRESİ	STOKLAMA KAPASİTESİ (kg)	RAF ÖMÜRLERİ	ÜRETİLDİĞİ EKİPMAN
ŞURUPHANE TESİSİ	S810156	1800	2saat	yarım saat	4500	3saat	S1, S2
	S810158	1800	2saat	yarım saat		3saat	S1, S2
	810153	4500	3.5saat	yarım saat	6000	7 gün	S3, S4
	811622	4500	3.5saat	yarım saat	4500	3 gün	S3, S4
	S810961	2400	75dk	*	80000	29 gün	S1, S2, S3, S4
	811128	1600	4 saat üretim + 4 saat Soğuma	3 saat	0	3 gün	S1, S2

4.2.5. Krema tesisi

Eski binada yer alan Krema tesisinde 8 farklı yarı mamulün üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu tesiste 2 ekipman bulunmaktadır. Üretim tarafından herhangi ekipman - yarı mamul eşleşmesi kuralı bildirilmemiştir, herhangi bir yarı mamul bu tesiste herhangi bir ekipmanda üretilebilmektedir. Diğer tesislerden farklı olarak bu tesiste herhangi bir stoklama alanı bulunmamaktadır, üretilen yarı mamullerin son ürün üretim hatlarına manuel taşınmasını sağlayan araçların yegane stoklama kapasite olduğu varsayılmıştır.

Taşıma için kullanılan toplam 10 araç bulunmaktadır yani herhangi bir anda bu tesiste üretilen tüm yarı mamullerin toplam stoku 10 batch'i geçmemesine dikkate edilmelidir.

Yarı mamul raf ömürleri 10 gün tanımlanmış olsa da açık renkli kremaların birkaç gün içinde sararmaya başladığı gözlemlendiği için bu tesiste üretilen tüm yarı mamullerin kısa raf ömrüne sahip olduğu düşünülerek stoksuz ilerlenmesine yönelik üretim çizelgesi oluşturulmalıdır. Aşağıda Çizelge 4.5'de bu tesise ait yarı mamul ve ekipman anaveri detayı gösterilmektedir.

Çizelge 4.5 Eski Bina Krema Tesisi ana verileri

	YARI MAMUL KODU	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ (kg) **tek ekipman	PARTİ ÜRETİM SÜRESİ	SETUP SÜRESİ	STOKLAMA KAPASİTESİ (kg)	RAF ÖMÜRLERİ	ÜRETİLDİĞİ EKİPMAN
KREMA TESİSİ	810099	390	40 dakika	2 saat	10 ARABA VAR (10 batch yarı mamul stoklaması yapılabilir.)	10 gün	KR1, KR2
	810108	355	40 dakika	2 saat		10 gün	KR1, KR2
	811893	355	40 dakika	2 saat		10 gün	KR1, KR2
	812108	350	40 dakika	2 saat		10 gün	KR1, KR2
	812109	350	40 dakika	2 saat		10 gün	KR1, KR2
	812360	400	40 dakika	2 saat		10 gün	KR1, KR2
	812630	375	40 dakika	2 saat		10 gün	KR1, KR2
	812302	380	40 dakika	2 saat		10 gün	KR1, KR2

4.2.6. Tft tesisi

Eski binada yer alan Tft tesisinde 4 farklı yarı mamulün üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu tesiste 5 ekipman bulunmaktadır. Üretim tarafından bildirilen eşleşmeye göre ekipman - yarı mamul atamaları yapılmalıdır. Bir, iki ve üç numaralı ekipman, talebi diğerlerine göre oldukça yüksek olan 810146 kodlu yarı mamulü üretmek üzere ayrılmıştır. Bu ekipmanda diğer yarı mamullerin üretilmesine izin verilmemektedir. Diğer yarı mamuller dört ve beş numaralı ekipmanlarda üretilmektedirler. Bu tesiste üretilen yarı mamullerden raf ömürleri uzun olsa bile stoklama alanı kapasitesi düşük olduğu için stoklu ilerlenmesi uygun değildir. Çizelge 4.6'de bu tesise ait yarı mamul ve ekipman anaveri detayı gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 Eski Bina Tft Tesisi ana verileri

	YARI MAMUL KODU	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ (kg) **tek ekipman	PARTİ ÜRETİM SÜRESİ	SETUP SÜRESİ	STOKLAMA KAPASİTESİ (kg)	RAF ÖMÜRLERİ	ÜRETİLDİĞİ EKİPMAN
TFT TESİSİ	811665	360	75 dakika	1 saat	3000	15 gün	T5
	812135	395	75 dakika	1 saat	3000	15 gün	T5
	810146	370	60 dakika	*	5000	7 gün	T1, T2, T3
	812908	365	60 dakika	*	9000	7 gün	T4

4.2.7. Kavrulmuş hindistan cevizi tesisi

Eski binada yer alan Kavrulmuş Hindistan Cevizi tesisinde 3 farklı yarı mamulün üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu tesiste 3 ayrı ekipman bulunmaktadır. Bu tesiste üretilen yarı mamullerden raf ömürleri uzun olsa bile stoklama alanı kapasitesi düşük olduğu için stoklu ilerlenmesi uygun değildir. Aşağıda Çizelge 4.7’de bu tesise ait yarı mamul ve ekipman anaveri detayı gösterilmektedir.

Çizelge 4.7 Eski Bina Hindistan Cevizi Kavurma Tesisi ana verileri

HC KAVURMA TESİSİ	YARI MAMUL KODU	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ (kg) **tek ekipman	PARTİ ÜRETİM SÜRESİ	SETUP SÜRESİ	STOKLAMA KAPASİTESİ (kg)	RAF ÖMÜRLERİ	ÜRETİLDİĞİ EKİPMAN
	810150	1400	8 saat	*	1400	*	H1
	810149	100	1 saat	*	3500	15 gün	H2
	810176	150	1 saat	*	1000	15 gün	H3

4.2.8. Drop tesisi

Eski binada yer alan Drop tesisinde 2 farklı yarı mamulün üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu tesiste 2 ayrı ekipman bulunmaktadır. Bu tesiste üretilen yarı mamullerin raf ömürleri uzun , stoklama alanı kapasiteleri ile vardiyalık talepleri yüksek olduğu için stoklu ilerlenmektedir. Aşağıda Çizelge 4.8’de bu tesise ait yarı mamul ve ekipman anaveri detayı gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 Eski Bina Drop Tesisi ana verileri

DROP TESİSİ	YARI MAMUL KODU	PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ (kg) **tek ekipman	PARTİ ÜRETİM SÜRESİ	SETUP SÜRESİ	STOKLAMA KAPASİTESİ (kg)	RAF ÖMÜRLERİ	ÜRETİLDİĞİ EKİPMAN
	810451	120	60dk	*	3000	60 gün	D1
	810450	850	60dk	*	15000	60 gün	P1

Bu bölümde yarı mamul tesisleri ve bu tesislerde yer alan ekipmanlar ile bu ekipmanlarda üretilen yarı mamul parametreleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Sonraki bölümde önerilen çözüm yaklaşımı ile kavramsal model bilgisi verilerek matematiksel model aktarılacaktır.

4.3. Önerilen Çözüm Yaklaşımı ve Kavramsal Model

İncelenen işletmede yarı mamul tesislerindeki üretimler ilgili yarı mamul reçetesine yani ürün ağacına göre yapılmaktadır. Reçeteler, bir taban miktar seviyesi gözetilerek oluşturulmuştur. Dolayısıyla ilgili yarı mamulün üretimlerinin minimum bu taban miktar kadar yapılıyor olması zorunludur, reçete taban miktarlarının altında üretim yapılması işletmede kesinlikle yasaklanmış ve engellenmiştir. Ayrıca yarı mamullerin taban miktarının üretim süreleri birbirinden farklıdır. Bu çalışmada reçete taban miktarının “batch büyüklüğü” olduğu ve taban miktarının üretilmesi için gereken üretim süresinin de “batch üretim süresi” olduğu varsayılmıştır. Bu durum her bir yarı mamul için batch üretim büyüklüğü ve batch üretim sürelerinin tespit edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Süreç analizinde tüm bu veriler üretim ekipleri ile birlikte tek tek belirlenmiştir. Problem, bu özellikleriyle parti tipi üretim çizelgeleme problemidir. Tam sayılı programlama modeli parti tipi üretim çizelgelemeyi destekleyecek şekilde geliştirilmiştir.

Her tesiste bulunan ekipman adeti birbirinden farklıdır. Ekipman isimleri sadece ilgili tesise özeldir, yani farklı yarı mamul tesislerinde aynı isimde ekipmanlar bulunmamaktadır. Model indis tanımlamaları da her bir ekipman için farklı yapılmıştır. Modelin, ekipmanlar üzerinden çözüm bulması sağlanmıştır.

Talebi olmasa bile çok fazla tüketildiği belli olan ve raf ömrü uzun yarı mamuller için tesisteki boş kapasite değerlendirilerek stoklama alanı kapasitesine göre üretim yapılmaktadır. İlgili yarı mamuller için yüksek hedef stok seviyesi tanımlanarak ve modele parametre olarak yüklenerek modelin talep olmasa da bu hedef stok seviyesine ulaşmak amacıyla ilave parti üretimi yapması sağlanmaktadır.

Modelin kurgulanması aşamasında “talep karşılanamaması” durumunda kullanıcının hangi yarı mamulden eksik kaldığını bilmesi gerektiği iletilmiştir. Model ve model çıktıları buna göre kurgulanmıştır. Model çıktısında “karşılanamayan yarı mamul talep” miktarı bildirimi yapılmış ve bir kullanıcının buna göre sonraki adım olarak bu durumdan etkilenecek son ürünler için SKU üretim planını revize etmesi hedeflenmiştir.

Her tesis ve ekipmanı kapsayacak şekilde oluşturulacak model; bir yarı mamulün, ne kadar, hangi gün, hangi vardiyada ve tesislerde hangi ekipmanlarla üretilceğine karar verecektir. Model, her ekipmanda (ve her tesiste) her yarı mamul için planlama periyodu

boyunca bir vardiyada üretilecek yarı mamul miktarını belirlemeyi hedeflemektedir. Modelde, belirlenen kısıtlar dikkate alınarak yarı mamul stok seviyelerinin optimum seviyede tutulması ve olabildiğince eksiksiz talep karşılama seviyesine ulaşılması amaçlanmıştır. Modelde karşılanamayan yarı mamul talebi ile hedef stok üstünde kalan ve hedef stok altında kalan stok miktarının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Her birine ağırlıklar verilerek modelin bu ağırlıklara göre önceliklendirme yapması sağlanmıştır.

Oluşturulan matematiksel model GAMS programında CPLEX çözücüsü ile çözdürülerek potansiyel kullanıcılar tarafından anlaşılabilir ve kısa sürede sonuç sunan çıktılar elde edilmesi hedeflenmiştir.

Atıştırmalık sektöründe yapılan pazarlama çalışmaları sürekli yeni yarı mamuller içeren son ürünlerin üretilmesini gerektirmektedir, bu sebeple modele yeni yarı mamul parametrelerinin eklenmesi çok sık gündeme gelecektir. Bunun yanı sıra işletmede yapılan iyileştirme çalışmaları sonrası bir batch üretim süresi yarım saat düşürülmesi, iki yarı mamul arasındaki setup süresinin kısaltılması, yeni ekipman ya da yeni tesis eklenmesi vs. gibi durumlar ile sıkça karşılaşilmektedir.

Yapılmak istenen değişikliklerin modele kolayca entegre edilebilir olması işletme için önemlidir. Daha önce GAMS kullanmamış olan mavi/beyaz yaka kullanıcıların GAMS kodları arasında kaybolmasına izin vermemek ve oluşturulan modelin kullanımının sürekliliğini sağlayabilmek adına tüm indisler ile parametrelerin belirlenmiş bir Excel formatında hazırlanması gereklidir. Sonrasında bu dosya GAMS programının erişim sağlayacağı ilgili klasöre kaydedilmeli ve GAMS çalıştırıldığında veriler bu dosyadan otomatik alınarak model çözülecektir. Buna göre kullanıcı sadece Excel’de gerekli değişiklikleri yaparak modeldeki girdi ve çıktı sürecini yönetebilir olacaktır. Aynı şekilde model sonucunun da GAMS’te bırakılması uygun değildir, çıktı olarak Excel ‘e aktarılması ve kolay anlaşılabilir formatta olması gereklidir. Kullanıcıların alışık oldukları Excel ara yüzü üzerinden problemi çözdürebilmeleri ve mecbur olmadıkça GAMS tarafında zaman kaybetmemeleri arzu edilmektedir. Bu beklenti çalışmada dikkate alınmıştır.

4.4. Matematiksel Model

Oluşturulan matematiksel modeldeki indisler, parametreler, değişkenler, kısıtlar ve amaç fonksiyonu detayları sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

Literatürde genel olarak tercih edilen indislerin “sayı” olarak temsil edilmesinden farklı olarak bu çalışmada indislerin daha anlaşılabilir olması amacıyla, model sonuç çıktısının kontrollerinde kolaylık sağlaması açısından indisler sayılar yerine kendi isimlerini çağrıştıran kısaltmalar olarak ifade edilmiştir.

İndisler:

j : tesisler (j indisi detayları Çizelge 4.9 ‘da gösterilmektedir.)

g : tesislerdeki ekipmanlar (g indisi detayları Çizelge 4.10 ‘da gösterilmektedir.)

t : bir haftadaki vardiyalar (t indisi detayları Çizelge 4.11 ‘de gösterilmektedir.)

i, k : yarı mamuller (i ve k indisi detayları Çizelge 4.12 ‘de gösterilmektedir.)

Çizelge 4.9 j-tesis indisleri

Tesisler	j
Caraster Tesisi	CARAS
Wiener Tesisi	WIEN
Jelly Tesisi	JELLY
Krema Tesisi	KREMA
TFT Tesisi	TFT
HC kavurma Tesisi	HC
Şuruphane Tesisi	SURUP
Drop Tesisi	DROP

Çizelge 4.10 g-ekipman indisleri

Tesis no	Tesis Adı	g
1	Caraster Tesisi	C1
		C2
		C3
		C4
2	Wiener Tesisi	W1
		W2
		W3
3	Fruit Jelly Tesisi	F1
4	Krema Tesisi	KR1
		KR2
5	TFT Tesisi	T1
		T2
		T3
		T4
		T5
6	HC Kavurma Tesisi	HC1
		HC2
		HC3
7	Şuruphane Tesisi	S1
		S2
		S3
		S4
8	Drop Tesisi	D1
		P1

Çizelge 4.11 t-vardiya indisleri

Vardiyalar	t
Pazartesi A vardiyası	1
Pazartesi B vardiyası	2
Pazartesi C vardiyası	3
Salı A vardiyası	4
Salı B vardiyası	5
Salı C vardiyası	6
Çarşamba A vardiyası	7
Çarşamba B vardiyası	8
Çarşamba C vardiyası	9
Perşembe A vardiyası	10
Perşembe B vardiyası	11
Perşembe C vardiyası	12
Cuma A vardiyası	13
CumaB vardiyası	14
Cuma C vardiyası	15
Cumartesi A vardiyası	16
Cumartesi B vardiyası	17
Cumartesi C vardiyası	18
Pazar A vardiyası	19
Pazar B vardiyası	20
Pazar C vardiyası	21

Çizelge 4.12 i,k- yarı mamul indisleri

Yarı mamuller	i ve k	Yarı mamuller	i ve k	Yarı mamuller	i ve k
810156 yarı mamulü	810156	810099 yarı mamulü	810099	810150 yarı mamulü	810150
810158 yarı mamulü	810158	810108 yarı mamulü	810108	810149 yarı mamulü	810149
811414 yarı mamulü	811414	811893 yarı mamulü	811893	810176 yarı mamulü	810176
812341 yarı mamulü	812341	812108 yarı mamulü	812108	S810156 yarı mamulü	S810156
810961 yarı mamulü	810961	812109 yarı mamulü	812109	S810158 yarı mamulü	S810158
810111 yarı mamulü	810111	812360 yarı mamulü	812360	810153 yarı mamulü	810153
810112 yarı mamulü	810112	812630 yarı mamulü	812630	811622 yarı mamulü	811622
810115 yarı mamulü	810115	812302 yarı mamulü	812302	S810961 yarı mamulü	S810961
810510 yarı mamulü	810510	811665 yarı mamulü	811665	811128 yarı mamulü	811128
811562 yarı mamulü	811562	812135 yarı mamulü	812135	810451 yarı mamulü	810451
810797 yarı mamulü	810797	810146 yarı mamulü	810146	810450 yarı mamulü	810450
810803 yarı mamulü	810803	812908 yarı mamulü	812908		
811261 yarı mamulü	811261	813241 yarı mamulü	813241		

Karar değişkenleri:

$x_{i,g,t}$: i yarı mamulünden t vardiyasında g ekipmanında üretilcek batch sayısı (adet)

$inv_{i,t}$: i yarı mamulünün t vardiyası sonundaki stok miktarı (kg)

$prod_{i,g,t}$: i yarı mamulünden t vardiyasında g ekipmanında üretilen miktar (kg)

$unffdemand_{i,t}$: i yarı mamulünden t vardiyasında karşılanamayan talep miktar (kg)

$metdemand_{i,t}$: i yarı mamulünden t vardiyasında karşılanan talep miktar (kg)

$sslowstock_{i,t}$: i yarı mamulünün t vardiyasında hedef stok seviyesinin altındaki miktarı (kg)

$ssupstock_{i,t}$: i yarı mamulünün t vardiyasında hedef stok seviyesinin üstündeki miktarı (kg)

v_t : krema tesisinde kullanılacak araç sayısı(adet)

$time_{t,g}$: g ekipmanında t vardiyasında toplam kullanılan süre (saat)

$bin_{i,g,t}$: 0-1 ikili değişken, g ekipmanında t vardiyasında i ürünü üretiliyor ise 1, diğer durumda sıfır

$binsetup_{i,k,g,t}$: 0-1 ikili değişken, t vardiyasında g ekipmanında i yarı mamulünden k yarı mamulüne geçiş yapılıyorsa 1, diğer durumda sıfır

Parametreler:

$demand_{i,t}$: i yarı mamulünün t vardiyasında talebi (kg)

$openinv_i$: sıfır anındaki i yarı mamulünün başlangıç stoğu (kg)

$r_{i,g}$: i yarı mamulünün g ekipmanındaki bir batch üretim büyüklüğü (kg)

$p_{i,g}$: i yarı mamulünün g ekipmanındaki bir batch üretim süresi (saat)

$tarstock_i$: i yarı mamulü hedef stok değeri (kg)

$stockcapacity_{i,t}$: i yarı mamulünün t vardiyasındaki maksimum stoklama kapasitesi (kg)

$tsetup_{i,k,g}$: g ekipmanında i ürününden k ürününe geçiş için setup süresi (saat)

$shelflifepenalty_i$: raf ömrü kısa olan yarı mamullerde hedef stok üstüne çıkma cezası (çarpan, TL olarak düşünülebilir.)

Kısıtlar:

(4.1) numaralı eşitlik, i yarı mamulünün t vardiyasında g ekipmanındaki üretim miktarını göstermektedir:

$$prod_{i,g,t} = r_{i,g} * x_{i,g,t} \quad \forall i, g, t \quad (4.1)$$

(4.2) numaralı eşitlik sıfır vardiyasındaki i yarı mamul stoğunun başlangıç stoğuna eşit olduğunu göstermektedir.

$$inv_{i,0} = openinv_i \quad t = 0 \quad (4.2)$$

(4.3) numaralı eşitlik envanter eşitliğidir. t vardiyası sonunda i yarı mamulünün stok miktarı; bir önceki vardiyadan devreden stok ile o vardiyada yapılan üretimin toplamından, o vardiyadaki karşılanan talebin düşürülmesi şeklinde hesaplanır:

$$inv_{i,t} = inv_{i,t-1} + \sum_g prod_{i,g,t} - metdemand_{i,t} \quad \forall i, t \quad (4.3)$$

(4.4) numaralı eşitlik talep eşitliğidir. t vardiyasında i yarı mamulünün karşılanan ve karşılanamayan taleplerinin toplamı o vardiyadaki ilgili yarı mamulünün toplamına eşittir. (Buradaki “unffdemand” değişkeni amaç fonksiyonuna eklenerek en küçüklenmeye çalışılacaktır.)

$$demand_{i,t} = metdemand_{i,t} + unffdemand_{i,t} \quad \forall i, t \quad (4.4)$$

(4.5) numaralı eşitlik hedef stok eşitliğidir. t vardiyasında i yarı mamulünün stok seviyesine göre hedef stok seviyesinin altında kalan miktar ve üstünden kalan miktar bu eşitlik ile hesaplanır. (Daha sonra “sslowstock” ve “ssupstock” değişkenleri amaç fonksiyonuna eklenerek en küçüklenmeye çalışılmıştır.)

$$inv_{i,t} - ssupstock_{i,t} + slowstock_{i,t} = tarstock_i \quad \forall i, t \quad (4.5)$$

(4.6) numaralı formül stoklama alanı kapasitesi eşitsizliğidir. t vardiyasında i yarı mamulünün stok seviyesi, stoklama alanı kapasitesinden daha küçük ya da ona eşit olmak zorundadır.

$$inv_{i,t} \leq stockcapacity_{i,t} \quad \forall i, t \quad (4.6)$$

(4.7) numaralı formül Caraster tesisindeki ortak kullanımdaki stoklama alanı kapasitesi eşitsizliğidir. t vardiyasında 810158 ve 810156 yarı mamullerinin stokları toplamı, stoklama alanı kapasitesinden daha küçük ya da ona eşit olmak zorundadır.

$$inv_{810156,t} + inv_{810158,t} \leq 6000 \quad \forall t \quad (4.7)$$

(4.8) numaralı formül Şuruphane tesisindeki ortak kullanımdaki stoklama alanı kapasitesi eşitsizliğidir. t vardiyasında 810158 ve 810156 yarı mamullerinin stokları toplamı, stoklama alanı kapasitesinden daha küçük ya da ona eşit olmak zorundadır.

$$inv_{S810156,t} + inv_{S810158,t} \leq 4500 \quad \forall t \quad (4.8)$$

(4.9) numaralı formül Jelly tesisindeki ortak kullanımdaki stoklama alanı kapasitesi eşitsizliğidir. t vardiyasında 810803 ve 811261 yarı mamullerinin stokları toplamı, stoklama alanı kapasitesinden daha küçük ya da ona eşit olmak zorundadır.

$$inv_{810803,t} + inv_{811261,t} \leq 4500 \quad \forall t \quad (4.9)$$

(4.10) ve (4.11) numaralı formüller Krema tesisindeki ortak kullanımdaki 10 taşıma arabası için yazılmıştır. Krema tesisinde üretilen yarı mamullerin toplam stokları taşıma aracının kapasitesini geçmemelidir. Her araç bir batch yarı mamul taşıyabilir ve toplam 10 araç taşımada kullanılmaktadır. Buna göre her bir yarı mamulün t vardiyasındaki stoklarının batch karşılığı toplamlarının 10'dan küçük olması gerekmektedir.

$$v_t = (inv_{810099,t}/r_{810099,KR1}) + (inv_{810108,t}/r_{810108,KR1}) + (inv_{811893,t}/r_{811893,KR1}) + (inv_{812108,t}/r_{812108,KR1}) + (inv_{812109,t}/r_{812109,KR1}) + (inv_{812360,t}/r_{812360,KR1}) + (inv_{812630,t}/r_{812630,KR1}) + (inv_{812302,t}/r_{812302,KR1}) \quad \forall t \quad (4.10)$$

$$v_t \leq 10 \quad \forall t \quad (4.11)$$

(4.12) numaralı eşitlik Pazar vardiyasında yani 19 numaralı vardiyada hiçbir tesisin çalışamayacağını ifade etmektedir. 19. vardiyada “x” batch sayısı değişkenleri tüm yarı mamul ve ekipmanlar için sıfır değeri almalıdır.

$$x_{i,g,t} = 0 \quad \forall i, g, t = 19 \quad (4.12)$$

(4.13), (4.14), (4.15) numaralı eşitlikler üretim süresi eşitliğidir. t vardiyasında g ekipmanında kullanılan toplam süre, o vardiyada üretilen tüm i yarı mamullerinin üretim süreleri ile setup süreleri toplamına eşittir. (M yeterince büyük bir sayı.)

$$time_{t,g} = \sum_i p_{i,g} * x_{i,g,t} + \sum_k \sum_i tsetup_{i,g,t} * binsetup_{i,k,g,t} \quad \forall g, t \quad (4.13)$$

$$bin_{i,g,t} * M \geq x_{i,g,t} \quad \forall i, g, t \quad (4.14)$$

$$binsetup_{i,k,g,t} \geq bin_{i,g,t} + bin_{k,g,t} - 1 \quad \forall g, t, i < k \quad (4.15)$$

(4.16) numaralı eşitlik bir ekipmanda kullanılan toplam sürenin 8 saatten az ya da eşit olması gerektiğini ifade etmektedir.

$$time_{t,g} \leq 8 \quad \forall t, g \quad (4.16)$$

(4.17), (4.18), (4.19), (4.20), (4.21), (4.22), (4.23), (4.24), (4.25), (4.26) numaralı eşitlikler işaret kısıtlarıdır.

$$x_{i,g,t} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (4.17)$$

$$binsetup_{i,k,g,t} \in \{0,1\} \quad (4.18)$$

$$inv_{i,t} \geq 0 \quad (4.19)$$

$$prod_{i,g,t} \geq 0 \quad (4.20)$$

$$uffdemand_{i,t} \geq 0 \quad (4.21)$$

$$metdemand_{i,t} \geq 0 \quad (4.22)$$

$$time_{t,g} \geq 0 \quad (4.23)$$

$$sslowstock_{i,t} \geq 0 \quad (4.24)$$

$$ssupstock_{i,t} \geq 0 \quad (4.25)$$

$$v_t \geq 0 \quad (4.26)$$

Amaç fonksiyonu:

(4.27) numaralı eşitlik amaç fonksiyonudur. Amaç fonksiyonu üç farklı bileşenin toplamını en küçükleyeme çalışmaktadır.

$$Enk Z = (\sum_i \sum_t 1000 * uffdemand_{i,t}) + (\sum_i \sum_t 50 * sslowstock_{i,t}) + (\sum_i \sum_t shelflifepeny_i * ssupstock_{i,t}) \quad (4.27)$$

4.5. Çözüm Yöntemi

Amaç fonksiyonu üç farklı bileşenin ağırlıklı toplamını en küçükleme olarak tanımlanmıştır. Birinci bileşen olan “uffdemand”; her yarı mamulün her bir vardiyadaki karşılanamayan taleplerinin toplamıdır. İkinci bileşen olan “sslowstock”; her yarı mamulün her bir vardiyadaki hedef stok altındaki envanterinin toplamıdır. Üçüncü bileşen olan “ssupstock” ise her yarı mamulün her bir vardiyadaki hedef stok üstündeki kalan envanterinin toplamıdır. Bu bileşenler amaç fonksiyonunda önem derecesine göre ağırlıklandırılmıştır.

Amaç fonksiyonunda yer alan ağırlıklandırmalar modelin sonuçlarını direk olarak etkilemekte ve değiştirmektedir. Ağırlıklar kullanıcının inisiyatifi ile değiştirilebilir. Bu çalışmada karşılanamayan talebi temsil eden bileşen olan “unffdemand” için amaç fonksiyonunda en yüksek ağırlık verilmiştir.

Yarı mamullerin talep edilen miktarlarda üretilmemesi durumu SKU üretim planının revize edilmesini ve işletmenin en önemli hedeflerinden biri olan “müşteri sipariş karşılama oranını” olumsuz etkilemektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için “karşılanamayan talebi” amaç fonksiyonunda büyük bir ceza çarpanı (1000 değeri) ile çarpılarak öncelikli olarak bu değişkenin en küçükleniyor olması sağlanmıştır.

Modelin, yarı mamul talebi olmasa bile üretim çıkarması gerektiği için tüm yarı mamuller için bir hedef stok seviyesi tanımlanmıştır. Bu tanımlama yapılırken raf ömrü uzun ve stoklama alanı kapasitesi yüksek olan yarı mamuller için stoklama alanının %90’ı kadar bir hedef stok seviyesi tanımlaması yapılmıştır. Raf ömrü kısa olan yarı mamuller için ise hedef stok seviyesi “sıfır” olarak tanımlanmıştır. Vardiyalık envanter ile hedef stok seviyesi

ilişkilendirilerek, hedef stok altında kalma ya da hedef stok seviyesinin üstüne çıkma miktarlarının model tarafından belirlenmesi sağlanmıştır.

Amaç fonksiyonundaki hedef stok değeri altında kalma bileşeni “sslowstock” için verilen ağırlıklandırma, hedef üstünde kalma bileşeni olan “ssupstock” çarpanına göre daha yüksektir. Bu sebeple model, hedef stok seviyesi altında kalmamaya çalışmakta ve böylece hedef stok seviyesi değeri yüksek olan yarı mamuller için talep düşük olsa bile stokları doldurmak için kapasite boşluklarına fazladan üretim çıkarmaktadır.

Diğer yandan hedef stok seviyesi sıfır olan ve raf ömrü çok düşük olan yarı mamullerin envanter seviyelerini sıfıra daha da yaklaştırabilmek amacıyla hedef stok seviyesi üstünde kalma bileşenine sadece kısa raf ömürlü yarı mamullere özel “shelflifepenalty” adıyla bir ceza çarpanı eklenmiştir. Bu parametrede raf ömrü kısa olan yarı mamullerin değeri 500 seviyesindeyken, raf ömrü uzun yarı mamullerin bu değeri 1 seviyesindedir. Yani raf ömrü uzun olan yarı mamuller için bu ceza çarpanının amaç fonksiyonunda bir etkisi yoktur.

Oluşturulan model, GAMS programında yazılmış ve CPLEX çözücüsü ile çözdürülmüştür. Programın, 3 dakika içinde tüm indis ve parametreleri Excel dosyasından okuması, GAMS’e alarak çözdürmesi ve yine sonuçları bir Excel dosyası ile çıktı vermesi sağlanmıştır. Bu çalışmadaki problem için oluşturulmuş GAMS kodu EK.1’de yer almaktadır.

İndis ve parametrelerin yükleneceği Excel’in formatı Çizelge 4.13’de paylaşılmıştır. Excel, her birinde ayrı bir verinin yer aldığı 9 ayrı sayfadan oluşmaktadır. Bu dosya aracılığıyla kullanıcılar kolaylıkla modele indis ve yarı mamul ekleyebilir/silebilir ya da parametre değerlerinde değişiklikler yapabilir olacaklardır. Model çözümüne ait sonuçların yazdırıldığı Excel’in formatı Çizelge 4.14’de paylaşılmıştır. Bu Excel ile kullanıcıların sonuçları kolaylıkla anlayıp yorumlamaları sağlanmış olacaktır. Çıktı formatında vardiyalık yarı mamul üretim miktarları, batch sayıları, stok seviyeleri, hat dolulukları, krema tesisinde kullanılacak taşıma aracı sayısı, hedef stok altında kalma miktarları, hedef stok üstünde kalma miktarları, talebi karşılanmayan ve karşılanan yarı mamuller ile karşılama/karşılanamama miktarlarının olduğu toplam 12 sayfa yer almaktadır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde model sonucu incelenmiş ve model performansı farklı senaryolar ile test edilerek , çıktıda fark yaratan etkilere yer verilmiştir.

5.1. Model Sonucunun Doğrulanması ve Model Çıktısının Değerlendirilmesi

Geliştirilen model; her bir yarı mamul için her vardiyada üretilecek batch sayısını ve üretim miktarlarını hesaplamaktadır. Bir önceki bölümde Çizelge 4.10’da üretim miktarları gösterilmektedir. Oluşturulan programın, ekipman kapasiteleri elverdiği sürece tüm talepleri karşılamaya çalıştığı ancak farklı sebeplerle “karşılanmayan talep” değeri de oluşturduğu gözlemlenmiştir. Talebin, sonraki vardiyalarda geç karşılanmasına izin verilmediğinden, sonraki vardiyalarda kapasite boşluğu oluşmuş olsa bile, model karşılanamayan talep verisi için sonraki vardiyalarda üretim çıkarmamaktadır.

Modelin, envanter seviyesini talepler, hedef altı stok seviyesi, hedef üstü stok seviyesi ve stoklama kapasitesine göre optimum seviyede tutmaya çalıştığı gözlemlenmiştir. Hedef stok değeri yüksek olan ürünlerde bu seviyeye ulaşmak amacıyla üretim çıkarmış diğer kodlarda ise olabildiğince talepleri karşılayarak stokları sıfıra yaklaştırmaya çalıştığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi hedef stok seviyesi sıfır olan yarı mamuller için envanter seviyesi; taleplerin batch büyüklüklerine göre farklılık gösteriyor olmasından kaynaklı sıfır yapılamamaktadır. Model, stokları olabildiğince düşük seviyelere getirmektedir. Ancak “talep karşılamama” durumu oluşmaması için üretilen batch sayısını düşürmeyerek envanter seviyelerini sıfıra eşitleyemeyerek envanteri sıfıra yakın bir değere düşürmektedir. Öte yandan modelin; raf ömrü çok kısa olması kaynaklı stok üstü ceza puanı “500” verilmiş olan 810156 kodlu yarı mamul için sıfır stok ile haftayı sonlandırdığı gözlemlenmiştir. Hedef stok seviyesi sıfır olan tüm yarı mamuller için stok üstü kalma ceza puanları çok yüksek verilmiş olsaydı ve GAMS modelinin uzun sürelerde çalıştırılması mümkün olsaydı; belki sıfır stoklu bir çözüm bulunması mümkün olabilirdi.

Mevcut süreçte yarı mamul üretim planını hazırlamakta olan üretim ekibi ile birlikte her bir tesis ve yarı mamul için kontroller sağlandığında, gerçek hayatta da benzer

problemlerin yaşandığı bilgisi iletilmiştir. Son durumda raf ömrü kısa olan ya da stoklama alanı bulunmayan yarı mamullerin fazla stoklarının, SKU hatlarına gönderilerek üretimde kullanıldığı ve böylece atıl yarı mamul stoğu oluşumuna engel olunduğu bilgisi verilmiştir. Aynı şekilde bu çalışmadaki modelin bulduğu çözümde de yer alan fazla stoklar için üretim ekibinin alacağı aksiyonlar ile devam edilebileceği konusunda mutabık kalınmıştır. Raf ömrü uzun olup, talep fazlası stoğu bulunan yarı mamullerin bir sonraki planlama periyodunda başlangıç stok değerleri yüksek olacağı için model üretim yaptırmadan önce bu stokların talebi karşılıyor olmasını sağlayacaktır.

Çizelge 5.1 Çıktı Dosyası- Envanter Sonuçları

	1	2	19	20	21	hedef stok	stoklama kapasitesi	Raf ömrü	amaç fonk.'da stok üstü kalma ceza puanı
810156		204				0	6000 ortak alan	3 saat	500
810961	11.507	19.398	36.045	36.045	36.045	36000	40000	29 gün	1
810111	12.473	23.806	45.000	45.000	45.000	45000	50000	21 gün	1
810112			8.220	34.620	42.870	43200	48000	21 gün	1
810115		7.201	55.230	55.230	55.230	54000	60000	10 gün	1
810510		243			18.150	18000	20000	21 gün	1
810797	1.487	12.454	18.000	18.000	18.000	18000	20000	21 gün	1
810803	1.800	240	812	812	812	0	4500 ortak alan	21 gün	1
810099			257	257	257	0		10 gün	20
812360			186	186	186	0	10 araba kısıtı	10 gün	20
810146	206	330	247	247	247	0	5000	7 gün	20
810149		700	15	15	15	0	3500	15 gün	1
810176	15	165	58	58	58	0	1000	15 gün	1
810153	2.037	3.056	2.548	2.548	2.548	0	6000	7 gün	20
811622						0	4500	3 gün	80
S810961	26.068	69.216	72.055	72.055	72.055	72000	80000	29 gün	1
810451			52	52	52	0	3000	60 gün	1
810450	2.710	5.623	13.881	13.881	13.881	13500	15000	60 gün	1

Veri setinde 22 farklı yarı mamul için 18 vardiyada toplam 1117 ton talep modele yüklenmiştir. Buna karşılık modelin toplamda 1404 ton üretim planlamış olduğu ve 305 tonluk envanter seviyesi ile haftayı sonlandırdığı gözlemlenmiştir. Modelin karşıladığı talep miktarı 1098 tondur ve 18 tonluk talep ise karşılanamamıştır. Karşılanmayan talep oranı %1,7 olarak hesaplanmaktadır. $(18/1117=\%1,7)$ Karşılanmayan talep detayı Çizelge 5.2 'de yer almaktadır.

Çizelge 5.2 Çıktı Dosyası- Karşılanamayan Talep Sonuçları

	1	2	3	4	5	8	10	16	18	19	Üretildiği ekipmanlar	hedef stok
810156			8				62	6	118	0	C1- C2 -C3-C4	0
810111	6.816										W1-W2	45000
810112			67								W1-W2	43200
810115	2.158										W3	54000
810510	3.298	2.638									W1-W2	18000
810797	1.198										W1-W2	18000
811261			136								F1	0
810146						15					T1-T2-T3	0
810149	183										HC2	0
S810156	417	796	286								S1-S2	0
S810158				116							S1-S2	0
811622									13		S3-S4	0
811128			193	193	193						S1-S2	0

Karşılanamayan talep sonuçları incelediğinde tüm yarı mamullerin başlangıç stokları sıfır olarak yüklendiğinden; Wiener tesisinde üretilen yarı mamullerde, ilk üç vardiyada ekipmanların kapasiteleri tamamen dolu olduğu için 16 tonluk karşılanamayan talep oluşmuş görünmektedir. Çizelge 5.3 'te üretim yapılan tüm ekipmanlarda vardiyalık ne kadar süre harcadığı gösterilmektedir, bir vardiyanın 8 saat olduğu kabulü ile 8 saatlik çalışma yapmış olan tüm ekipmanların ilgili vardiyalarda %100 kapasitelerini doldurmuş oldukları fark edilmektedir. Wiener tesisindeki yarı mamullerin stoklarının sürekli dolu ilerlendiği bilindiği için ilgili yarı mamuller için başlangıç stoğu verisi girildiğinde karşılanamayan talep verisinin olmayacağı öngörülmektedir.

Toplam 18 tonluk karşılanamayan talep verisinin 16 tonu; başlangıç stoklarının sıfır olması nedeni ve Wiener tesisindeki ekipmanların ilgili vardiyalarda talebi karşılayacak yeterli kapasitelerinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Kalan 2 tonluk karşılanamama ise 8 farklı yarı mamulden ufak miktarların toplamı olarak hesaplanmaktadır. Bu yarı mamullerdeki karşılanamama durumu hedef stok üstü envanter ceza puanı ile ilgilidir, çünkü ilgili vardiyalarda ekipmanlar kapasite anlamında boşlukların olduğu görülmektedir. Model raf ömrü kısa olan yarı mamullerdeki "hedef stok üstü ceza puanı" nedeni envanteri artırmamak adına ufak miktarlarda karşılanamayan talep bulunmasını göze almış görünmektedir.

Wiener tesisindeki taleplerin karşılanacağı kabulü yapıldığında karşılanamayan talep oranı %1,7'den %0,2 'ye gerilemesi öngörülmektedir. ($2/1117=\%0,2$)

Çizelge 5.3 Çıktı Dosyası- Ekipman Doluluk Sonuçları

	C1	C2	C3	C4	W1	W2	W3	F1	KR1	KR2	T1	T2	T3	HC2	HC3	S1	S2	S3	S4	D1	P1	
1		7,5	7,5	7,5	7,5	8	8	8	8				1	8	8	6	7,25	7,5	7,25	7,25		8
2		7,5	7,5	7,169	7,5	8	8	8	8					5	7	1	7,5	7	7,25	7,5		8
3		7,337	7,5	7,5	7,584	8	8	8	8				1	8	8	8	5,75	8	7	3,5		8
4		7,5	7,5	7,92	7,668	8	8	8		7,337			1	8			4,5	8	3,5	7	2	8
5		7,337	7,5	7,584	7,5	8	8	8			7,337		2	8			8		7	6	8	8
6		6,917	7,337	7,5	6,917	8	8	8			7,337			8	2			1,25				8
7			7,337	4,501	7,5	8	8	8	8	7,337			1	8	8				2,5		3	8
8		6,25			3,335	8	8	8	8	6,67		8		1	8				1,25		8	8
9		5,336		6,25		8	8	8	8		7,337	8		2	8	1			7	2,5	8	8
10		4,002	0,667		6,25	8	8	8	8			8		1	8	8	1,25		3,5			8
11			2,5			8	8	8		7,337	0,667	8		1	8	8		2,5		3,5		8
12			2,668	3,75		8	8	8				8		2	8	6	2,5		7	3,5		8
13		5,168				8	8	8				8		1	8	8		2,5	3,5	3,5		8
14		3,251		2,5		8	8	8				8		1	8	7	2,5			7		8
15		3,918				8	8	8				8		2	8			1,25	3,5	3,5		8
16			2,001		2,5	8	8	2				1		8	8	7	2,5		3,5		1	8
17		5,168				8	8					1		8	8	7		1,25	3,5		8	6
18				2,5	2,001	8	8					2		8	8	7		1,25				5

5.2. Farklı Senaryolar İçin Model Sonuçlarının Kıyaslaması

Bu bölümde öncelikle farklı veri setleri ile model çalıştırılarak sonuçların incelemesi yapılmış ve modelin her veri setine göre çalışabilir olduğu test edilmiştir.

Modelin sonuçlarını incelediğimizde T4 ve T5 ekipmanlarına hiç üretim çıkarmamış olduğu fark edildiği için bu ekipmanlarda üretilen 811665, 812135, 812908 yarı mamul kodlarına aşağıdaki talep verisi yüklenmiş ve model tekrar çalıştırılmıştır. Model sonucunda T4 'de üretilen 812908 yarı mamul taleplerinin eksiksiz karşılandığı ancak 811665 ve 812135 kodlarının aynı T5 ekipmanında üretiliyor olmalarından dolayı T5 ekipmanında kapasite yetersizliği oluşması nedeni 811665 kodunun 35 tonluk talebinden 24 tonu karşılanamamış gibi görünüyor. Aslında model talepler 4. vardiyada olsa da üretimleri 1. vrd'dan itibaren üretim çıkarmış ancak sadece tek ekipmanın kapasitesi girilen talepleri karşılamak için yeterli gelmemiştir.

Çizelge 5.4 Talep'te güncellenen veriler

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
811665	0,00	0,00	0,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
812135	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	0,00	0,00	0,00
812908	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00

Aynı veri setinde Wiener tesisi yarı mamulleri için başlangıç stok değerleri güncellenerek modeldeki karşılanmayan talep verisinin değişimi incelenmiştir. Buna göre 810111, 810112, 810115, 810510, 810797 yarı mamullerinin başlangıç stoklarının en az ilk vardiyadaki talepleri kadar olacağı varsayımıyla; sırasıyla başlangıç stokları 21000 kg, 0 kg, 15000 kg, 4000 kg, 2000 kg olarak revize edilmiş ve model tekrar çalıştırılmıştır. Modelin 1117 ton talebin sadece 6 tonunu karşılayamadığı tespit edilmiştir.

810115 yarı mamulünün ilk vardiyadaki talebi için; başlangıç stoğu olmasına rağmen modelin başlangıç stoğunu kullanılmayarak karşılanamayan tonaj yazdığı gözlemlenmiştir. Bunun önüne geçebilmek için (5.1) numaralı eşitlikte gösterildiği gibi amaç fonksiyonunda yer alan karşılanamayan tonaj bileşenin ceza puanı 1000 yerine 10000 yapılmış ve model tekrar çalıştırılmıştır. Bu durumda modelin tüm yarı mamuller toplamında sadece 455 kg karşılanamayan tonaj yazdığı tespit edilmiştir.

$$Enk Z = (\sum_i \sum_t 10000 * uffdemand_{i,t}) + (\sum_i \sum_t 50 * sslowstock_{i,t}) + (\sum_i \sum_t shelflifepenalty_i * ssupstock_{i,t}) \quad (5.1)$$

$$Enk Z = (\sum_i \sum_t 1000 * uffdemand_{i,t}) + (\sum_i \sum_t 10 * sslowstock_{i,t}) + (\sum_i \sum_t shelflifepenalty_i * ssupstock_{i,t}) \quad (5.2)$$

Ancak bu model sonucunda vardiyalık envanter devirleri incelediğinde hiç stok tutulması gerekeli olan yarı mamullerde bile fazladan stok taşındığı görülmüştür, bu da demek oluyor ki karşılanamayan talep cezası 10000 yapıldığında, hedef stok üstünde kalma cezası en küçüklenmede yeterince önemsenmemektedir. Buna göre (5.2) numaralı eşitlikte gösterildiği gibi karşılanamayan talep cezasını tekrar 1000 değerine getirerek hedef stok altı kalma cezasını azaltma yolu denenmelidir. Bu amaç fonksiyonu ile tekrar model çalıştırılarak, sonuçlar incelendiğinde hem raf ömrü sıkıntılı yarı mamuller için hedef stok üstü stok tutulmadığı hem de başlangıç stokları girilmiş olan yarı mamullerin öncelikle taleplerinin karşılanmasının sağlandığı tespit edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tedarik zincirinde ham madde satın alma konusu, üretim işletmelerinin en kritik konularından biridir. Sürecin planlanması ve bu plana göre ilerliyor olması önemlidir. Şüphesiz ki üretim planları hammadde satın alma sürecini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada, bir işletmenin bisküvi üretim fabrikasında yer alan yarı mamul üretim tesislerindeki yarı mamul üretim planlama süreci incelenmiştir. Yarı mamul üretim planlama sürecinde gelişime açık noktaların olduğu tespit edilmiş ve parti tipi üretim yapılan bu sürecin iyileştirilmesine yönelik olarak yarı mamul üretim çizelgeleme optimizasyonu için bir tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan matematiksel model, GAMS ile çözdürülerek uygulanabilir çıktılar elde edilmiştir. Kısa süre içinde vardiyalık bazda haftalık yarı mamul üretim çizelgesi oluşturması sağlanmıştır. Parametrelerin kolayca güncellenebileceği bir kullanıcı formatı geliştirilmiştir.

Oluşturulan doğrusal tam sayılı modelde; 37 adet yarı mamul kodu, yarı mamul tesislerinde yer alan 24 adet ekipman ve zaman periyodundaki 21 vardiya için toplam 18648 değişken ile işlem yapılmaktadır. Model içinde stoklama kapasitesi, hedef stok, vardiya süresi, karşılanamayan talep ve benzeri 16 farklı kısıt yazılmıştır. Model, bu kısıtlar altında 3 bileşenli ağırlıklı toplamalı bir amaç fonksiyonunu en küçüklemeyi hedeflemektedir. Oluşturulan GAMS modeli Excel'deki verileri okuyarak 3 dakika içinde sonuçları kullanıcıya yine bir Excel ile sunmaktadır.

Yapılan tüm testler sonrası modelin pratik değeri olan sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Devreye alma ile birlikte yarı mamul planının direkt olarak etkilediği MRP, satın alma, lojistik, depo ve kalite operasyonlarında yaşanan kayıpların yarattığı maliyetlerin azalacağı öngörülmektedir.

Daha önce üretim ekibinden 3 personelin birlikte yarım gün uğraşarak taslak SKU planına göre oluşturdukları ve revize edilmesi hayli güç olan yarı mamul üretim planı için mevcut durumda toplam harcanan süre yılda 600 saat olarak hesaplanmıştır. (3 personel*1 kez*4 saat*50 hafta=600 saat) Oluşturulan bu model sayesinde yarı mamul planı bu işten sorumlu bir planlama personeli tarafından 3 dakika içinde hazırlanabilecek ve istenildiği anda kolayca revize edilebilecektir. Yarı mamul üretim planı oluşturma işinin kontrollerle

birlikte maksimum 1 saat süreceği ve haftada 3 kere revize edileceği varsayıldığında bu iş için ayrılması gereken toplam süre yılda 150 saat olacaktır. (1 personel *1 saat*3 kere*50 hafta= 150 saat) Bu proje ile birlikte bu işe ayrılması gereken süre anlamında işletmede %75 oranında tasarruf sağlanmıştır. ($1-150/600=\%75$)

Firmanın daha önce SAP ve ICRON gibi yazımlar ile bu işi çözme yoluna gitmeye karar verdiği ancak aldığı uçuk fiyat teklifleri nedeniyle “yarı mamul çizelgeleme optimizasyonu” projesini askıya aldığı bilinmektedir. İşletmenin halihazırda daha önce satın almış olduğu GAMS programı kullanılarak yapılan bu çalışma ile ekstra maliyete katlanmadan firmanın “yarı mamul çizelgeleme optimizasyonu projesini” hayata geçirmesi sağlanmıştır.

Çalışmanın firmaya ve tedarik zinciri sürecine sağladığı katkı düşünüldüğünde gelecek çalışmalar için firmanın diğer fabrikalarında da benzer şekilde yarı mamul üretim çizelgeleme optimizasyonu uygulamaları yapılması hedeflenmektedir. Her bir fabrikada üretilen son ürünlerin farklı olması nedeniyle yarı mamul üretim süreçleri bisküvi fabrikasından farklılık gösteriyor olsa da bu tezde yer alan çalışmanın bir temel oluşturması ve bu çalışmadaki model üzerine eklenecek yeni bilgiler ile ilerlenmesi sonraki adım olarak planlanmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Acar, N., 2003, Malzeme ihtiyaç planlaması. Sekizinci Basım. Ankara: MPM Yayınları.
- Acar, N., 2003 Tam Zamanında Üretim. Altıncı Basım. Ankara: MPM Yayınları.
- Akyol E. ve Saraç T., 2017, Paralel Makina Çizelgeleme Problemi için bir Karma Tamsayılı Programlama Modeli: Ortak Kaynak Kullanımı, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, GU J Sci, Part C, 5(3): 109-126.
- Alptekin, E., 2003 Yöneylem Araştırmalarında Yararlanılan Karar Yöntemleri. Dördüncü basım. Ankara: Gazi Kitabevi,
- Azizoglu M. ve Scott W., 2001, Scheduling a batch processing machine with incompatible job families, Computers & Industrial Engineering, s 39(3), 325-335.
- Chung SH., Tai YT., Pearn WL.,2009,Minimising makespan on parallel batch processing machines with non-identical ready time and arbitrary job sizes. International Journal of Production Research, 47(18), 5109-5128.
- Çetinbaş, M., 2005, İşletmelerde üretim programlarının hazırlanmasında lineer optimizasyon modelinin kullanılması ve buna yönelik bir uygulama, Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi
- Edis, E. ve Kuru, B., 2017, Yığın üretim yapan fırınlara işlerin yüklenmesi ve çizelgelenmesi: Tamsayılı programlama modeli. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23 (1), 81-87
- Khan, Mohammad Ibrahim., 2004, Industrial Engineering. New Age International.
- Mathirajan M., Sivakumar AI.,2006, A literature review, classification and simple meta-analysis on scheduling of batch processors in semiconductor, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 29(9-10) 990-1001.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özgüven, C., 2003, Doğrusal Programlama ve Uzantıları. Birinci Basım. Detay Yayınları.
- Öztürk, A., 2002, Yöneylem Araştırması. Sekizinci Basım. Ekin Kitabevi Yayınları, s.23
- Pochet, Y., ve Wolsey, L. A., 2006, Production planning by mixed integer programming. Springer Science and Business Media.
- Ruiz, C.,ve Romano A.,2011, Scheduling unrelated parallel machines with resource-assignable sequence-dependent setup times. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 57:5-8. 777-794
- Sharma, H., 2019, Production planning and control, BookRix.
- Tanyaş, M., ve Baskak, M., 2003, Üretim planlama ve kontrol, Birinci basım, İrfan Yayıncılık, s.15-s.17.
- Üreten, S., 1998, Planlama - Denetim Kararları, Karar Modelleri ve İyileştirme Yaklaşımı, Dördüncü basım. Ankara: Gazi Kitabevi, , s.4.
- Wang HM, Chou FD., 2010, Solving the parallel batch-processing machines with different release times, job sizes, and capacity limits by metaheuristics. Expert Systems with Applications, 37(2), 1510-1521.
- Xu S. ve Bean JC.,2007, A genetic algorithm for scheduling parallel non-identical batch processing machines, IEEE Symposium Computational Intelligence in Scheduling, Hawaii, USA.

EK AÇIKLAMALAR-A: GAMS KODU

option mip = cplex;

option lp = cplex;

option optcr= 0;

option reslim = 120;

option limrow=2000;

set i yarimamül ;

set j tesisler ;

set g ekipmanlar ;

set t vardiyalar;

alias (i,k);

Parameter demand(i,t) vrd'lık YM gereksinimi;

Parameter p(i,g) YM batch süresi ;

Parameter r(i,g) YM batch büyüklüğü ;

Parameter tarstock(i) YM hedef stok seviyesi ;

Parameter stockcapacity(i,t) YM stoklama kapasitesi ;

Parameter openinv(i) baslangic stok ;

Parameter tsetup(i,k,g) YM setup süresi ;

Parameter shelflifepenalty(i) raf ömrü kısa ürünler için stok tutma cezası;

\$onecho > task.txt

set=i rng=indices!c1 rdim=1

set=j rng=indices!f1 rdim=1

set=g rng=indices!j1 rdim=1

set=t rng=indices!m1 rdim=1

par=demand rng=demand!b2 rdim=1 cdim=1

par=p rng=batchtime!d4 rdim=2

par=r rng=batchqty!d4 rdim=2

par=tarstock rng=tarstock!d2 rdim=1

par=stockcapacity rng=stockcapacity!d1 rdim=1 cdim=1

par=openinv rng=openinv!d2 rdim=1

par=tsetup rng=setup!d4 rdim=3

par=shelflifepenalty rng=shelflifepenalty!d2 rdim=1

\$offecho

\$call GDXXRW asuYLtez.xlsx trace=3 @task.txt

\$GDXIN asuYLtez.gdx

\$LOAD i

\$LOAD j

\$LOAD g

\$LOAD t

\$LOAD demand

\$LOAD p

\$LOAD r

\$LOAD tarstock

\$LOAD stockcapacity

\$LOAD openinv

\$LOAD tsetup

\$LOAD shelflifepenalty

\$GDXIN

scalar $M/100$;

variable z ;

integer variable $x(i,g,t)$;

positive variables $inv(i,t)$ $pro(i,g,t)$ $uffdemand(i,t)$ $metdemand(i,t)$ $time(t,g)$ $SSlowstock(i,t)$

$SSupstock(i,t)$ $v(t)$;

binary variables $binsetup(i,k,g,t)$ $bin(i,g,t)$;

equations

$k1$ $k2$ $k3$ $k4$ $k5$ $k6$ $k7$ $k8$ $k9$ $k10$ $k11$ $k12$ $k13$ $k14$ $k15$ $k16$ obj ;

$k1(i,g,t)..pro(i,g,t)=e=r(i,g)*x(i,g,t)$;

$k2(i,t)\$(ord(t)=1)..inv(i,t)=e=openinv(i)$;

$k3(i,t)\$(ord(t)>=2)..inv(i,t)=e=inv(i,t-1)+sum(g,pro(i,g,t))-metdemand(i,t)$;

$k4(i,t)..demand(i,t)=e=metdemand(i,t)+uffdemand(i,t)$;

$k5(t,g)..time(t,g)=e=sum(i,(p(i,g)*x(i,g,t)))+sum(k,sum(i,(tsetup(i,k,g)*binsetup(i,k,g,t))))$;

$k6(t,g)..time(t,g)=l=8$;

$k7(i,g,t)\$(ord(t)=20)..x(i,g,t)=e=0$;

$k8(i,t)..inv(i,t)-tarstock(i)+SSlowstock(i,t)=e=SSupstock(i,t)$;

$k9(i,t)..inv(i,t)\$stockcapacity(i,t)=l=stockcapacity(i,t)$;

$k10(t)..inv('810158',t)+inv('810156',t)=l=6000$;

$k11(t)..inv('810803',t)+inv('811261',t)=l=4500$;

$k12(t)..inv('S810156',t)+inv('S810158',t)=l=4500$;

$k13(t)..v(t)=e=inv('810099',t)/r('810099','KR1')+inv('810108',t)/r('810108','KR1')+inv('811893',t)/r('811893','KR1')+inv('812108',t)/r('812108','KR1')+inv('812109',t)/r('812109','KR1')+inv('812360',t)/r('812360','KR1')+inv('812630',t)/r('812630','KR1')+inv('812302',t)/r('812302','KR1')$;

$k14(t)..v(t)=l=10$;

*k15(i,g,t)..bin(i,g,t)*M=g=x(i,g,t);*

k16(i,k,g,t)\$ (ord(t)<>ord(k))..binsetup(i,k,g,t)=g=bin(i,g,t)+bin(k,g,t)-1;

*obj..z=e=sum(i,sum(t,(1000*uffdemand(i,t))))+sum(i,sum(t,(10*SSlowstock(i,t))))+sum(i, sum(t,(SSupstock(i,t)*shelflifepenalty(i)))));*

MODEL YM /all/;

solve YM using MIP minimizing z ;

execute_unload 'ciktitez.gdx';

*execute 'gdxrw.exe ciktitez.gdx o=ciktitez.xls par=demand rng=demand!a1
par=tarstock rng=tarstock!a1 par=stockcapacity rng=stockcapacity!a1
var=SSlowstock rng=SSlowstock!a1 var=SSupstock rng=SSupstock!a1 var=x rng=x!a1
var=pro rng=pro!a1 var=inv rng=inv!a1 var=v rng=v!a1 var=uffdemand
rng=uffdemand!a1 var=metdemand rng=metdemand!a1 var=time rng=time!a1';*