



İLERİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ

Berkan Zevkli¹, Gizem Aydın², Serdar Altuntaş³,
Buse Korumaz⁴, Esra Dinler⁵, Tusan Derya⁶

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan havacılık ve uzay sanayisinde günümüzde artan rekabet ortamında öncü firmalardan olabilmek için mühendislik tekniklerini en iyi şekilde kullanmak ve uygulamak gerekmektedir. Bir işletmenin, üretim açısından daha verimli çalışabilmesi için uygulanabilecek pek çok teknik bulunmaktadır. Sürekli artan müşteri sayısı sektörü daha dinamik hale getirmektedir. Bu dinamizme uyum sağlamak için teknolojinin, oluşturulan sisteme entegrasyonu ile kullanılan tekniklerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Projenin gerçekleştirildiği Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ'de proje bazlı ve dinamik olarak değişen bir üretim sistemi bulunmaktadır. Artan parça

çeşidi ile parçaların üretiminde kullanılan, takım adı verilen üretime yardımcı malzemelerin çeşitleri artmaktadır. Proje anlaşmalarına bağlı olarak takımların uzun zaman stoklanması gerekmektedir. Artan takım sayısı ile takımların üretimi beslemesi ve stoklanmasında çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemler üretim akışını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada, takımların üretim bölümlerini olumsuz yönde etkilememesi adına, endüstri mühendisliği teknikleri kullanılarak çözüm önerileri geliştirilmiştir. Takımların, firma içerisinde üretimi beslerken, üretimin takımları beklemesinden dolayı yaşanan gecikmelerin önüne geçilmesi adına, tedarik zinciri yönetiminde kullanılan çapraz sevkiyat tekniği probleme uyarlanmıştır. Tekniğin uygulanmasında, tesis yeri seçimi,

¹ Öğrenci, PortalGrup Yazılım - berkanzevkli@gmail.com

² Öğrenci, Optima Engineering Inc - aydngzm97@gmail.com

³ Öğrenci, Tepe Home - serdarsaltnts@gmail.com

⁴ Öğrenci, Busse Furnitures - buse_korumaz@outlook.com

⁵ Dr. Öğr. Üyesi, Başkent Üniversitesi - edinler@baskent.edu.tr

⁶ Dr. Öğr. Üyesi, Başkent Üniversitesi - tderya@baskent.edu.tr

seçilen tesisin yerleşimi ve takımlar için kapasite analizi yapılmış ve mevcut sürece alternatif süreç önerilmiştir. Artan takım sayısı ile takımların üretim bölümlerine gönderiminde ve kontrolünde zorluklar yaşanmaktadır. Firmada takımların üretime gönderilme zamanları kesin olarak bilinmemektedir. Bununla beraber gönderilmesi istenen takımların da güncel olarak lokasyon ve sistem durumu kontrolü yapılmadığından, üretime gecikebilmektedir. Bu problemlerin önüne geçebilmek adına, üretim planlama ve kontrol departmanı tarafından kullanılabilir bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Aynı zamanda takım gönderimini sağlayan takım depolarında kullanılmak üzere veri tabanı sorgulama yöntemi geliştirilmiştir. Takımların depolanması ile yaşanan kapasite sorunlarının önüne geçmek, takım gönderiminin hızlandırılması ve depoların daha verimli kullanılması adına takımların depolara yerleşimi için karar modeli ve sezgisel algoritma geliştirilerek yeni depo yerleşimleri yapılmıştır.

2. TAKIMLARIN GECİKME NEDENLERİ

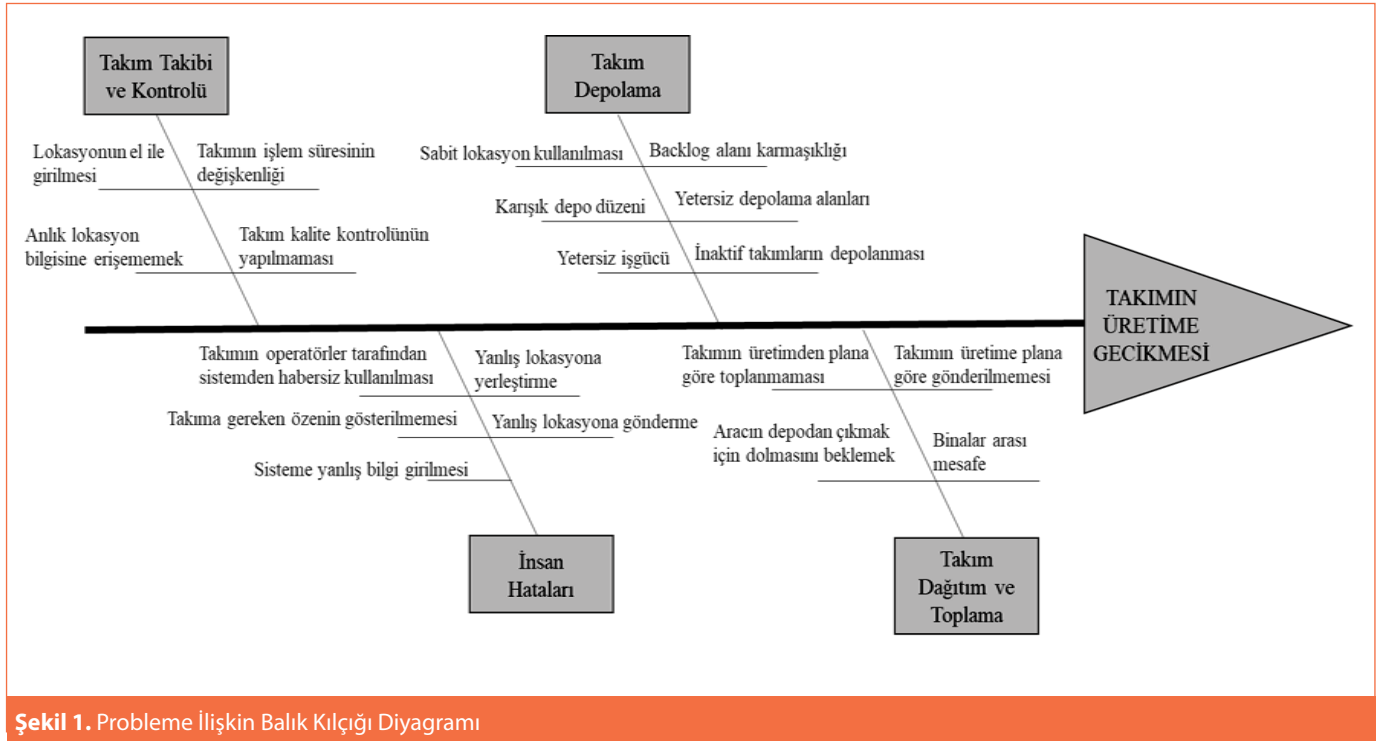
Firmada üretim destekçisi takımlardan kaynaklanan çeşitli problemler yaşanmaktadır. Bu problemlerin meydana gelme sebepleri de yine çeşitli sorunlardan kaynaklanmaktadır. Net bir problem tanımı oluşturmak için mevcut sistemin yeterli ölçüde analiz edilip çeşitli teknikler kul-

lanılarak araştırılması gerekmektedir. Problem analizine ilişkin oluşturulmuş balık kılıçığı diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Balık kılıçığı diyagramında görüldüğü gibi ana problem, takımın üretime gecikmesi olarak belirlenmiştir.

Bu problemin alt problemleri ve bu alt problemlere bağlı problemler incelendiğinde 19 adet alt problemden dolayı bu sorunun kaynaklandığı gözlemlenmektedir. 19 adet alt problemin her biri için bir çözüm gerçekleştirmek mümkün olmayacağı için bu problemler arasında bir önem düzeyi bulup karar vermek gerekmektedir. Bu gereklilik doğrultusunda Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. AHP, karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılan, kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahminleme yöntemi olarak açıklanabilir.

2.1 AHP ile Problemin Belirlenmesi

Balık kılıçığı analizinde belirtilen alt problemler üzerinde bu problemlerin ana probleme etkilerini görebilmek ve hangi problemler üzerinde durulması gerektiğine karar vermek için AHP yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntemi uygulamak için "SuperDecisions V3.2" programı kullanılmıştır. AHP için belirlenen iki karar verici ve bu karar vericilerin kıdemlerine göre belirlenmiş ağırlıkları sırasıyla 0.6 ve 0.4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Probleme İlişkin Balık Kılıçığı Diyagramı

Her karar verici ana problemleri birbirleri ile karşılaştırmış, karşılaştırdığı her ikilinin birbirleri arasındaki önem düzeyine 2 ve 9 arasında puanlar vermiştir. Karar verici 1'in ana problemleri karşılaştırma matrisi Şekil 2'de, karar verici 2'nin ise Şekil 3'te gösterilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda her iki karar vericinin de yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğu program çıktısı ile doğrulanmıştır.

Her karar verici için ana problemlerin önem düzeyleri karar vericilerin ağırlıkları ile değerlendirilerek elde edilmiştir. Bu ağırlıklar Tablo 1'de verilmektedir. Şekil 4'te ise problemlerin etki oranları grafik olarak gösterilmiştir. Örneğin, insan hataları ana problemi %5,33 etkilemektedir. Aynı şekilde takım dağıtım ve toplama %49,69, takım depolama %21,75 ve takım takibi ve kontrolü %2,323 etkiye sahiptir.

1. İNSAN HATALARI	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM DAĞITIM V~
2. İNSAN HATALARI	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM DEPOLAMA
3. İNSAN HATALARI	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM TAKİBİ VE~
4. TAKIM DAĞITIM V~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM DEPOLAMA
5. TAKIM DAĞITIM V~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM TAKİBİ VE~
6. TAKIM DEPOLAMA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM TAKİBİ VE~

Şekil 2. Karar Verici 1 için İkili Karşılaştırma Matrisi

1. İNSAN HATALARI	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM DAĞITIM V~
2. İNSAN HATALARI	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM DEPOLAMA
3. İNSAN HATALARI	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM TAKİBİ VE~
4. TAKIM DAĞITIM V~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM DEPOLAMA
5. TAKIM DAĞITIM V~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM TAKİBİ VE~
6. TAKIM DEPOLAMA	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	TAKIM TAKİBİ VE~

Şekil 3. Karar Verici 2 için Alt Problemlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

Tablo 1. İki Karar Verici için Alt Problemlerin Ortak Önem Düzeyleri Matrisi

Ana Problemler	Ağırlık	İnsan Hataları	Takım Dağıtım ve Toplama	Takım Depolama	Takım Takibi ve Kontrolü
KV1	0,6	0,0492	0,5370	0,2677	0,1459
KV2	0,4	0,0594	0,4368	0,1422	0,3620
Önem Düzeyleri		0,0533	0,4969	0,2175	0,2323

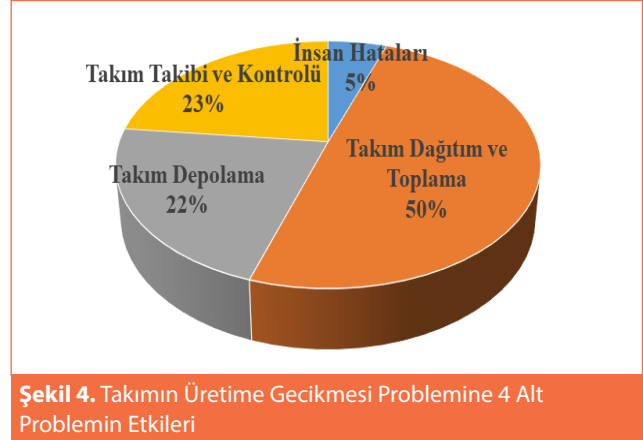
Karar vericilerin ağırlıklarının sonuçlara etkisini ölçmek adına ağırlıklar değiştirilip karşılaştırmalar tekrar yapılmıştır ve problem etkilerinin sıralamasında Tablo 2'de görüldüğü gibi önemli bir değişiklik gözlemlenmediğinden, verilen ağırlıklar üzerinden devam edilmiştir.

Her karar verici, ana problemlerin karşılaştırılmasından sonra alt problemleri birbirleri arasında karşılaştırmıştır. Bu sonuçlar kontrol edildiğinde, karar vericilerin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğu belirlenmiştir. Karar vericilerin her bir alt problem için ortak önem düzeyleri matrisi oluşturulmuştur. Takım takibi ve kontrolünün alt problemleri için Tablo 3'te karar vericilerin ortak önem düzeyleri matrisi örnek olarak gösterilmiştir. Takım dağıtım ve toplanması, insan hataları ve takım depolama alt problemleri için de ortak önem düzeyleri matrisi oluşturulmuştur ve her bir alt problemin ana probleme olan etkisi belirlenmiştir. Şekil 5'te pareto grafiği ile üzerinde durulması gereken problemler belirlenmiştir. Ortak önem düzeyleri (O.Ö.D) eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

KVA_i = i. karar vericinin ağırlığı

KV_{ana}^i = i. karar verici için ana problemin önem düzeyi

KV_{alt}^i = i. karar verici için alt problemin önem düzeyi

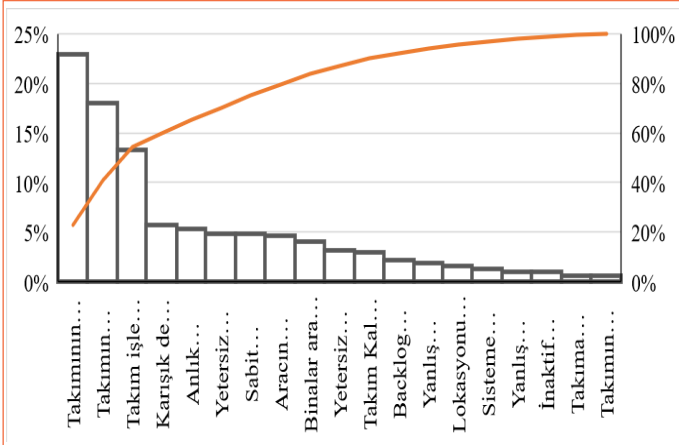


Şekil 4. Takımın Üretime Gecikmesi Problemine 4 Alt Problemin Etkileri

Tablo 2. Karar Vericilerin Farklı Ağırlıklar ile Değerlendirilmesi ve Alt Problem Sıralaması

Karar Verici 1	Karar Verici 2	İnsan Hataları (1)	Takım Dağıtım ve Toplama (2)	Takım Depolama (3)	Takım Takibi ve Kontrolü (4)	Sıralama
0,6	0,4	0,0533	0,4969	0,2175	0,2323	2-4-3-1
0,5	0,5	0,0543	0,4869	0,2050	0,2539	2-4-3-1
0,7	0,3	0,0523	0,5069	0,2301	0,2107	2-3-4-1
0,8	0,2	0,0512	0,5170	0,2426	0,1891	2-3-4-1
0,65	0,35	0,0528	0,5019	0,2238	0,2215	2-3-4-1
0,4	0,6	0,0553	0,4769	0,1924	0,2756	2-4-3-1

$$O.Ö.D = \frac{(KVA1 * KV1_{ana} * KV1_{alt}) + (KVA2 * KV2_{ana} * KV2_{alt})}{KVA1 + KVA2} \quad (1)$$



Şekil 5. Alt Problemler için Pareto Grafiği

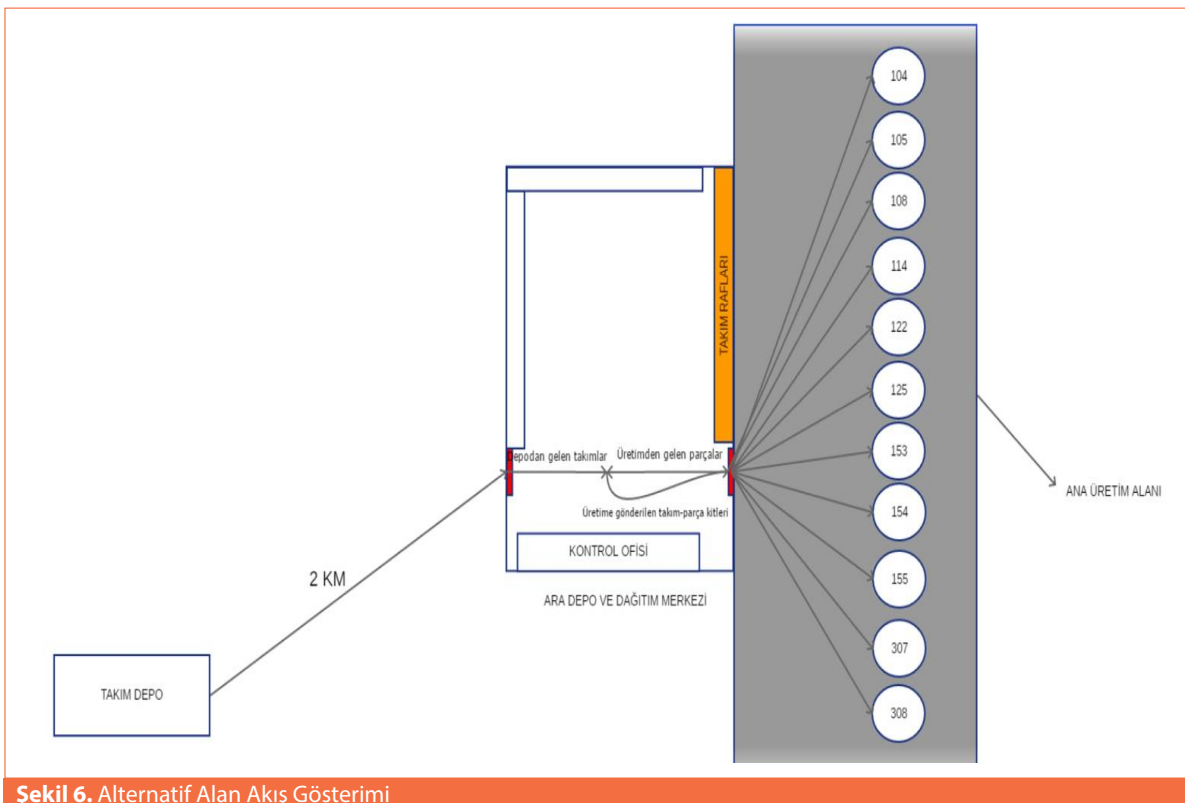
Tablo 3. Takım Takibi ve Kontrolünün Alt Problemleri için Ortak Önem Düzeyleri Matrisi

Takım Takibi ve Kontrolü	Anlık lokasyon bilgisine erişememek	Lokasyonun el ile girilmesi	Takım işlem süresinin değişkenliği	Takım Kalite Kontrolünün Yapılmaması
KV1	0,1019	0,0600	0,6368	0,2013
KV2	0,3060	0,0740	0,5354	0,0847
Önem Düzeyleri	0,0532	0,0160	0,1333	0,0299

Takımların tam zamanında ihtiyaç duyulan istasyonda olmamasının, yani gecikmesinin önlenmesi için takımların plana göre dağıtılması ve toplanması adına, ara transfer ve stok alanı çalışması ve SQL uygulaması geliştirilmiştir. Takım işlem sürelerinin değişkenliğinin, yani takımların istasyonda bekleyeceği zamanların belirsizliğinin azaltılması ve takım takibinin kolaylaştırılması adına, karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bilgisayar destekli bilgi sistemleri, yönetim kararlarında karşılaşılan problemlerin çözümünü kolaylaştırmakta ve zamanı kısaltmaktadır. Karar Destek Sistemleri, karar verme sürecinde yöneticilere yardım eden önemli bir araçtır [5]. Depoda karışıkların giderilmesi ve depo düzeninin iyileştirilmesi adına doğrusal karar modelleri ve sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir.

3. ARA TRANSFER VE STOK ALANI ÇALIŞMALARI

Mevcut sistemde kullanılan takım transfer noktasına ek olarak alternatif bir ara transfer noktası belirlenmiştir ve bu transfer noktası için belirlenen yeni parça akışı Şekil 6'da gösterilmiştir. Çapraz sevkiyat, tedarik zincirindeki maliyetlerde ve tedarik zamanlarında önemli tasarruflar getirebilen bir tedarik zinciri stratejisidir. Bu stratejide, çapraz sevkiyat tesisleri klasik anlamda malzemelerin saklandığı depolar olarak değil, transfer noktaları olarak

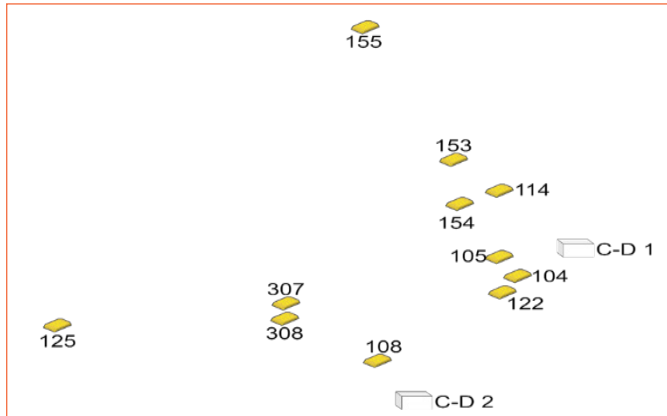


Şekil 6. Alternatif Alan Akış Gösterimi

işlerler. Bu tesisler, malzeme depolamasını ortadan kaldırma amacına dönük olarak giren ürün akışının çıkan ürün akışı ile senkronize edildiği yerlerdir [2]. Bu çalışma, üretilecek parça ve takımın iş istasyonlarına bir arada gitmesini sağlamak ve takımdan kaynaklanan üretim beklentilerini önlemek amacıyla yapılmıştır. Bu iki transfer noktasının karşılaştırılması için öncelikle yoğunluk merkezi metodu kullanılmıştır. Mevcut ara transfer noktası (C-D2), alternatif transfer noktası ise (C-D1)'dir.

3.1 Yoğunluk Merkezi Metodu

Ara transfer noktalarının ve bu noktalardan takımların gönderileceği istasyonların koordinatları belirlenmiştir. Aynı zamanda gönderim yapılacak istasyonların gönderim yoğunlukları ve ara transfer noktalarına olan öklid uzakları (d_i) eşitlik (2) ile ve yoğunluklu öklid uzaklıkları (Ld_i) eşitlik (3) ile hesaplanarak Tablo 4'te verilmiştir. Koordinatları belirlenen istasyon ve transfer noktalarının düzlem üzerindeki gösterimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Ara Transfer Noktalarının ve İstasyonların Koordinat Düzlemi Üzerinde Gösterimi

Tablo 4. İstasyonların Yoğunlukları, Öklid ve Yoğunluklu Öklid Uzaklıkları

#	İstasyon	Koordinat		Yoğunluk(%)	C-D1		C-D2	
		x	y		d_i	Ld_i	d_i	Ld_i
1	104	167	65	9,04%	16	1,5	71	6,4
2	105	155	71	7,72%	25	2	70	5,4
3	108	115	24	14,44%	83	12	22	3,2
4	114	155	101	16,37%	36	5,9	99	16
5	122	156	55	13,81%	31	4,3	56	7,8
6	125	10	40	6,40%	174	11	123	7,9
7	153	140	115	4,89%	57	2,8	110	5,4
8	154	142	95	9,97%	43	4,3	90	9
9	155	111	175	4,88%	122	5,9	170	8,3
10	307	85	50	6,24%	98	6,1	62	3,8
11	308	85	50	6,24%	98	6,1	62	3,8
						62		77

$$D_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (2)$$

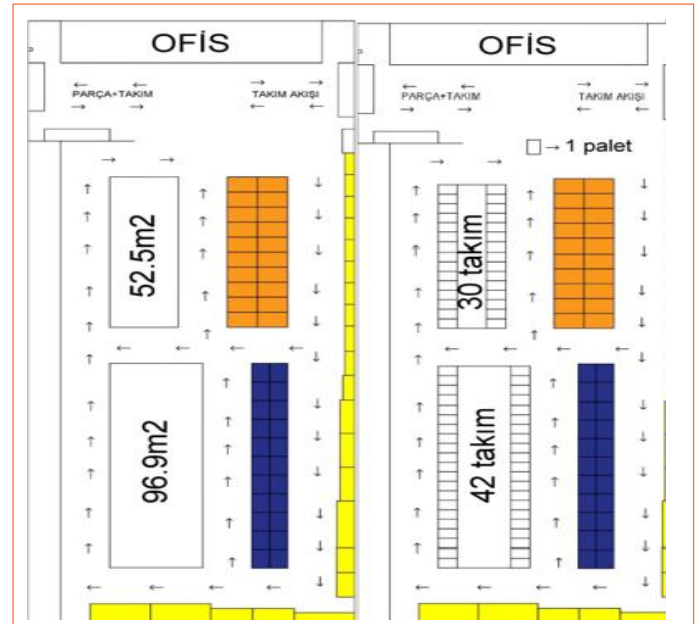
$$Ld_i = \text{Yoğunluk (\%)} \cdot d_i \quad (3)$$

Uzaklık ve talep açısından maliyeti en az olan ara transfer noktası C-D1 olarak belirlenmiştir. Bu alanın kullanılabilmesi için yerleşim düzeninin yeniden yapılması, takım gönderimine ve stoklanmasına uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, tesis yerleşimi ve kapasite miktarlarının belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır.

3.2 Ara Transfer ve Stok Alanı Tesis Yerleşimi

Yerleşim planı yapmak için alanda bulunan raflar ve parça taşıma araçlarının ölçümleri yapılmış ve alanları hesaplanmıştır. Araçların hareketi ve taşınması için 3 metre genişliğinde koridorlar eklenmiştir. Ara transfer ve stok alanı içinde var olan 1100 m², kullanılabilir 680m² alan vardır.

Bulunan raflar, parça taşıma araçları ve koridorlar yerleştirildikten sonra 96,9 + 52,5 = 149,2 m² takımlar için alan kalmıştır. Takımlar için ayrılan alan ve içerisine takım yerleştirilmesi ile oluşturulan alan Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Tasarlanan Ara Transfer Noktası

4. TAKIMLARIN GÖNDERİLMESİ

Takımların planlı gönderilmesi, takımlardan dolayı yaşanan üretim aksamalarının tam olarak önüne geçen faktörlerden biridir. Takımlar bir plana göre değil, üretim alanından gelen isteklere göre gönderilmekte ve takımlar

gönderilene kadar üretim bölümü ya takım beklemekte ya da belirlenen iş sıralamasının dışına çıkmaktadır. Takımlar ve parçaların bir bütün halinde istasyonlarda olması adına, belirlenen ara transfer noktasına kapasite kısıtı dahilinde takımlar önceden gönderilecek ve parçalar ile birlikte istasyona gideceklerdir.

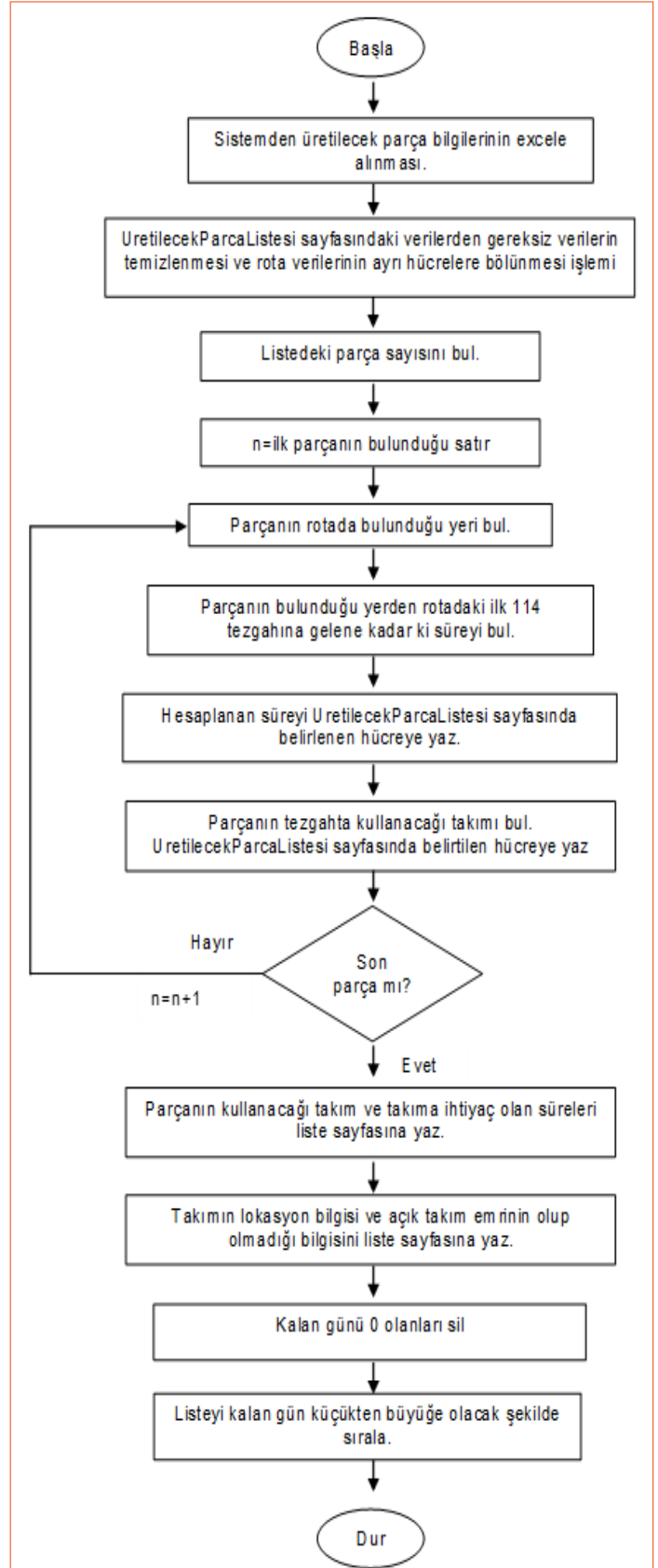
4.1 Takımların Planlı Gönderilmesi (SQL) Çalışması

Bu çalışma için SQL Server kullanılarak veri tabanından belirli filtrelemeler yapıp, kapasite kısıtlarına göre istek gelmeden vardiya başında gönderim sağlanmaktadır. Bu yaklaşım ile o gün üretilen parçalar için istek girilmeyecek ve parçalar takımları beklemeyecektir. Mevcut kullanılan ara transfer noktasında yaklaşık olarak 12 adet takım bekletilebilmektedir. Kurulan yeni ara transfer noktası sayesinde, bir vardiya için ihtiyaç duyulacak takımların tamamı istek girilmeden karşılanabilecektir. Vardiya başına depolara gelen takım isteği yaklaşık 70 takımdır. Yapılan filtrelemeler sonucunda bir vardiya için gönderilmesi gereken takımlar, belirli kısıtlar kullanılarak gönderilmiştir ve vardiya boyunca anlık öne alınan acil işler ve açık takım emri olan takımlar hariç, bir istek veya geri dönüş yapılmamıştır. Göz önünde bulundurulan kısıtlar, kalan gün, kapasite, işgücü, araç sayısı, mday (parçanın istasyonda beklediği gün) ve lokasyondur.

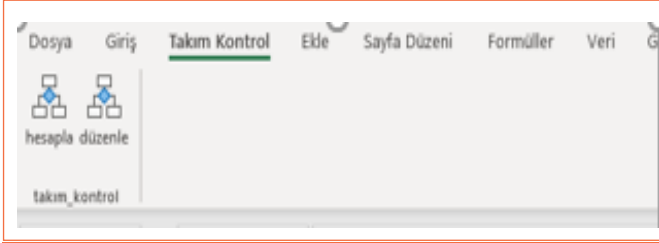
5. KARAR DESTEK SİSTEMİNİN KURULMASI

Firmada kullanılan takımların stoklanması ve gönderilmesi farklı yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir. Takımların gönderim ve kontrolü için, Takım ÜPK (Üretim Planlama ve Kontrol) bölümünün kullanacağı bir Karar Destek Sistemi (KDS), Excel VBA kullanılarak geliştirilmiştir. Oluşturulan KDS, firma tarafından verilen "move and queue" (parçaların istasyonlardaki ortalama işlem zamanı) zamanlarını kullanarak güncel üretim planını analiz etmekte, takım gönderimi ve kontrolünü sağlamaktadır. Pilot çalışma, takımların gönderildiği en yoğun olan 114 istasyonu ve istasyonda en çok kullanılan ABS projesi parçaları girdileri kullanılarak yapılmıştır. Tasarlanan KDS'nin algoritması Şekil 9'da verilmiştir.

Karar Destek Sistemi'nin firma çalışanları tarafından rahatlıkla kullanılabilmesi adına Excel VBA ile geliştirilen yazılım, Excel üzerine eklenti olarak kaydedilmiştir. Bu eklenti sayesinde çalışanlar, oluşturulan veri setini kolaylıkla düzenleyip üzerinde gerekli çalışmaları yapabilecektir. İlgili algoritmanın çalıştırılması ise çalışan tarafından bir buton ile başlatılıp, veri seti üzerinde uygulanabilecektir. Oluşturulan eklenti görseli Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Karar Destek Sistemi Algoritması



Şekil 10. Karar Destek Sistemi Excel Eklentisi

6. DEPO DÜZENİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Depolarda bulunan takımlar, kullanım sıklıklarına göre herhangi bir model ya da teknik kullanılmadan çalışanlar tarafından depolara yerleştirilmiştir. Firma içerisinde iyileştirilmesi gereken 5 adet takım depo bulunmaktadır. Takımlar karışık olarak veya göz kararı depoların içerisine yerleştirildiğinden, depo kapasiteleri verimli olarak kullanılamamaktadır. Takımların depolarda daha verimli yerleştirilmesi adına, karar modeli ve sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Pilot çalışma B270 numaralı depo için yapılmıştır.

6.1 Deponun Gruplara Ayrılması

Toplam kapasitesi yaklaşık 1600 paletlik olan B270 numaralı depoda en uzun ve en kısa palet alınma süresi sırasıyla 9,25 ve 3 dakikadır. Toplamda 4000 adet takımın bulunduğu bu depo, histogram tekniği kullanılarak gruplara bölünmüş ve her bir grubun toplam ağırlık ve taban alanı belirlenmiştir.

Toplam Kapasite = 16 palet, 40 takım

Grup Sayısı = $\sqrt{16} = 4$

Veri Açıklığı = $9,25 - 3 = 6,25$ dakika

Grup Genişliği = $\frac{6,25}{4} = 1,6$ dakika

Grup Palet Sayısı = $\frac{16}{4} = 4$

Grup Ağırlık = $4 * 200 = 900$ kg

Grup Taban Alanı = $4 * 9600 = 38400^2$

Her grubun içerisindeki palet sayısı başlangıç çözümü için eşit alınmıştır. Atamalar yapıldıktan sonra boş kalan veya dolan gruplar diğer gruplar ile birleştirilmiştir. Gruplara bölünmesindeki amaç, çok fazla karar değişkeninin bulunduğu karmaşık bir problemin daha hızlı ve kolay bir şekilde parçalar halinde çözülmesini sağlamaktır.

Firmada yer alan depo paletlerin ulaşılabilirliği açısından grupladıktan sonra, ulaşılabilirliği yüksek olan palet grubuna, sıklığı yüksek olan takımların ataması yapılması

amacıyla doğrusal karar modeli oluşturulmuştur. Burada bahsedilen sıklık terimi, bir takımın önümüzdeki bir yıl içerisinde kaç kez depodan isteneceğini gösteren bir parametredir. Bu karar modeli doğrultusunda, sıklığı yüksek olan takımlar, birbirine yakın ve kolay ulaşılabilir yerlerde konumlandırılacak ve depoya fayda sağlayacaktır.

6.2 Depo Yerleşimi İçin Geliştirilen Karar Modelleri

Parametreler:

a_j = j. grubun ağırlık kapasitesi

t_j = j. grubun taban alanı kapasitesi

x_{a_i} = i. takımın ağırlığı

x_{t_i} = i. takımın taban alanı

y_j = j. grubun kazancı

s_j = j. grubun alabileceği en az sıklık değeri

Karar Değişkeni:

x_{ij} = i. takımın j. gruba atanması, $x_{ij} \in \{0,1\}$

$$\text{Enbüyük} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_j * x_{ij} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^j x_{ij} = 1 \quad \forall i \text{ için} \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^j x_{t_i} * x_{ij} < t_j \quad \forall i \text{ için} \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^j x_{a_i} * x_{ij} < a_j \quad \forall i \text{ için} \quad (7)$$

$$s_j * x_{ij} < x_{s_i} \quad \forall i \text{ ve } j \text{ için} \quad (8)$$

$$x_{ij} = \text{atanırsa } 1, \text{ de } 0; \quad (9)$$

Geliştirilen doğrusal karar modelinde, kısıt (5) her takım kesinlikle 1 gruba atanmalıdır koşulunu sağlar. Kısıt (6) ve (7), gruplara atanan takımların toplam ağırlık ve taban alanlarının grubun ağırlık ve taban alanını geçemeyeceğini garanti eder. Kısıt (8), gruba atanacak takımın grubun alabileceği en az sıklık değerinden küçük olamayacağını garanti eder. Bu, kısıt sıklığı yüksek olan takımların, ilk gruplara atanması gerektiğini gösterir; fakat aynı zamanda bir üst sınır değeri olmadığından, gruplar içerisinde yığılma olmadan atanabilir. Örneğin, sıklığı en yüksek olan takım bütün gruplara atanabilir. Amaç fonksiyonu (4) ise takımların atandığı grupların toplam kazancını en büyükmek yönünde takımların sıklık ve kapasite kısıtları doğrultusunda her zaman öndeki gruplara atanmasını sağlar. Grup kazançları önden arkaya doğru sırasıyla azalmaktadır.

Geliştirilen ikinci doğrusal karar modeli, Birinci doğrusal karar modelinin çıktısı olan, gruplara atanan takımları

kullanarak gruplar içerisindeki takımların en az paletle atanacak şekilde atama yapmasını sağlar. Bunun sonucunda grup içerisindeki takımlar, en iyi şekilde paletlere atanmış olacak ve gruplar içerisinde kapasite sorunu ortadan kalkacaktır.

Parametreler;

a_j = j. paletin ağırlık kapasitesi

t_j = j. paletin taban alanı kapasitesi

xa_i = i. takımın ağırlığı

xt_i = i. takımın taban alanı

Karar Değişkenleri,

x_{ij} = i. takımın j. gruba atanması, $x_{ij} \in \{0,1\}$

y_j = j. paletin açılması, $y_j \in \{0,1\}$

$$\text{Enküçük} \sum_j y_j \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^j x_{ij} = 1 \quad \forall i \text{ için} \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^j x_{ij} * x_{ij} < t_j * y_j \quad \forall i \text{ için} \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^j x_{ij} * x_{ij} < a_j * y_j \quad \forall i \text{ için} \quad (13)$$

$$x_{ij} = \text{atanırsa } 1, \text{ de } 0; \quad (14)$$

$$y_j = \text{açılırsa } 1, \text{ de } 0; \quad (15)$$

Geliştirilen ikinci karar modelinde, Kısıt (11) her takım kesinlikle 1 paletle atanmalıdır koşulunu sağlar. Kısıt (12) ve (13), paletle atanan takımların toplam taban alanı ve ağırlıklarının paletin kapasitesini geçemeyeceğini gösterir.

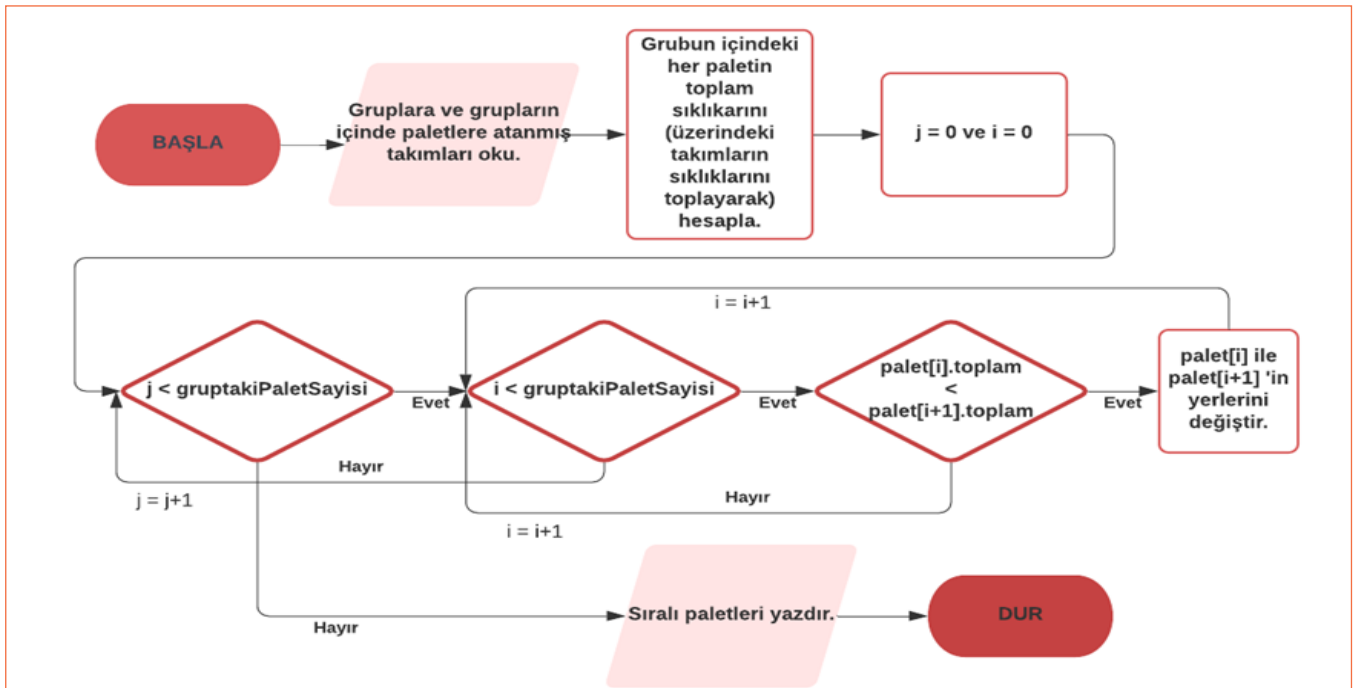
Amaç fonksiyonu (10), toplam açılacak palet sayısının en küçüklenmesidir. Her takım grubu için elde edilen çözümlerde takımların paletle atanması gerçekleştirilmiştir. Bu iki karar modelinin sıralı çalıştırılması sonucunda depoda belirlenen gruplara atanan takımlar, gruplar içerisindeki paletlere en iyi şekilde atanmıştır fakat paletler arasında bir sıralama olmamıştır. Gruplar içerisinde başta belirlenen palet sayılarından daha az palet kullanılarak atama yapıldığından boşluklar oluşmuştur. Bunun önüne geçmek ve paletlerin üzerindeki takımlar ile depoda konumunun en iyi şekilde sıralanmasını yapmak adına sezgisel algoritma geliştirilmiştir.

6.3 Palet Sıralama Sezgiseli

Paletlerin sıralanması için geliştirilen sezgisel teknik, Şekil 11'de verilen algoritma ile çalışmaktadır. Bu algoritma sonucunda, takımlar üzerindeki paletlerin toplam sıklık değerlerine göre sıralanması ve depo içerisinde sırasıyla yerleştirilmesi sağlanabilir.

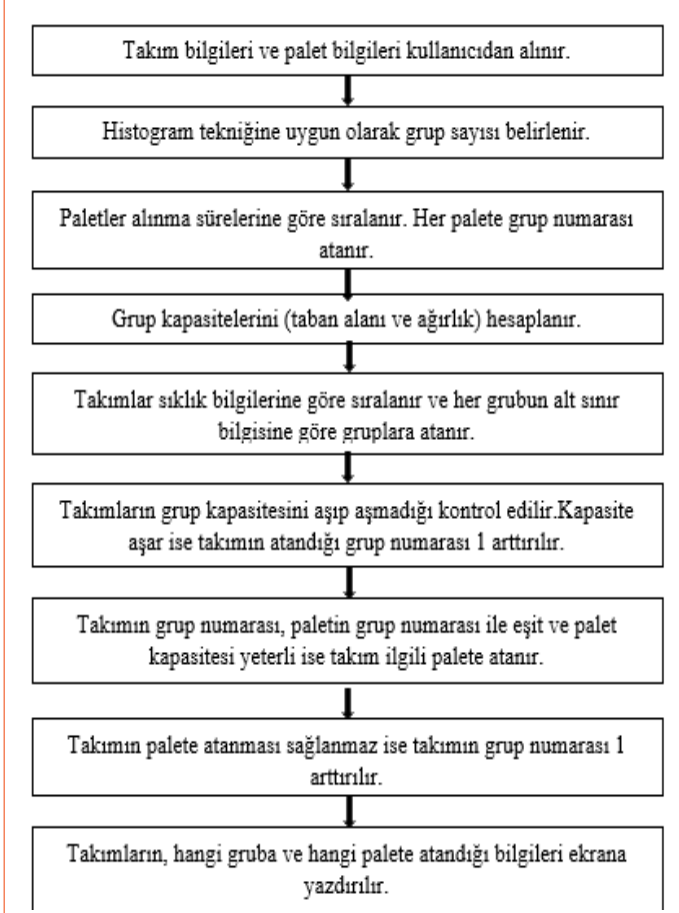
6.4 Depo Sezgiseli

Depo iyileştirme çalışmaları adına yapılan karar modeli ve sıralama sezgiseli, karmaşık bir problemin matematiksel model yardımı ile çözülebilmesi için oluşturulmuş adımlardır. Ancak bu adımların uygulanabilmesi için, hem gerekli paket programlara hem de çözüm için gerekli zamana ihtiyaç vardır. Bundan dolayı, yapılan çalışmalar, Excel VBA kullanılarak tek bir sezgisel algoritma



Şekil 11. Palet Sıralama Sezgiseli Algoritması

ile modelin çözümlerine yakın olabilecek şekilde geliştirilmiştir. Geliştirilen sezgisel algoritmanın işlem adımları Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Depo Sezgiseli Algoritması

Kullanıcı, depodaki takımların ya da takımların bulunduğu paletlerin numarasını Şekil 13'te gösterilen arayüze girerek yerlerini aratabilmektedir. Bu sayede, depo içerisinde aradığı takımı kolaylıkla bulabilmektedir.

Şekil 13. Depo Sezgiseli Kullanıcı Arayüzü

7. SONUÇ

Bu çalışmada, takımların üretim bölümlerini olumsuz yönde etkilememesi adına, Endüstri Mühendisliği teknik-

leri kullanılarak çözüm önerileri geliştirilmiştir. Takımların firma içerisinde üretimi beslerken, üretimin takımları beklemesinden dolayı yaşanan gecikmelerin önüne geçilmesi adına, tedarik zinciri yönetiminde kullanılan çapraz sevkiyat tekniği probleme uyarlanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile, takımlardan dolayı yaşanan problemlerin her bir alt problemi incelendiğinden dolayı, iyileştirme yapılacak alanlar kolaylıkla belirlenebilmektedir. Üretimde takımlardan dolayı gecikmenin önüne geçilmekte, takımların takibinin ve kontrolünün yapılması kolaylaşmaktadır. Oluşturulacak depo düzeni sayesinde, takımların daha hızlı bir şekilde toplanması ve dağıtılması sağlanabilmektedir. Ayrıca depolarda bulunan karmaşık alanların önüne geçilmesi, depo kapasitelerinin daha verimli kullanılması, takım kayıpları ve gereksiz beklemlerin azaltılması sağlanabilmektedir. Oluşturulan ara transfer ve stok alanı sayesinde, takımların üretim alanlarına daha kontrollü ve istenilen zamanda gönderilmesi sağlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Proje süreci boyunca bizimle ilgilenen başta ve her zaman yanımızda olan Proje Koordinatörlerimiz, Ahmet DEMİREL, Mustafa SERT ve Atilla KARAGÜLLE olmak üzere tüm Takım ÜPK ve takım depo çalışanlarına, akademik açıdan yardımlarını esirgemeyen danışmanlarımız Dr.Öğr. Üyesi Esra DİNLER ve Dr.Öğr. Üyesi Tusan DERYA'ya en içten teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

1. **Russell & Taylor.** 2003. "Operations Management", Prentice Hall
2. **Ertek, G.** 2010. "Çapraz sevkiyat için temel bilgiler" Lojistik, Sayı: 13.
3. **G A Álvarez-Pérez, G.A., González-Velarde, J. L., Fowler, J. W.** 2009. "Crossdocking Just in Time scheduling: an alternative solution approach", Journal of the Operational Research Society,
4. "Distribution and operation planning at a cross-dock platform: a case of study at Renault", 2015 4th IEEE International Conference on Advanced logistics and Transport (ICAIT).
5. "Bir Eczha Deposunda Stok Yönetimi için Karar Destek Sistemi", Bilim ve Teknoloji Dergisi, A Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik 14.
6. "Bir Kimya Firmasında Hammadde Deposunun Etkin Yerleşimi için Bir Model Önerisi", Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı9 (2) 2016, 55 – 76.
7. Blum, W. ve Niss, M. 1989. "Mathematical Problem Solving, Modelling, Applications, and Links to Other Subjects – State, Trends and Issues in Mathematics Instruction", Modelling Applications and Applied Problem Solving. (s.1-19). England: Halsted Pres.
8. **Battiti, R.** 1966. "Reactive search: towards self-tuning heuristics, in Modern heuristic search methods". Wiley&Sons, pp. 61-83.