



**YENİDEN UÇUŞ ÇİZELGELEMEDE UÇUŞLARIN VERİ MADENCİLİĞİ
İLE ANALİZİ VE BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ**

Nevra YAMAN

DOKTORA TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nevra Yaman

23/01/2023

YENİDEN UÇUŞ ÇİZELGELEMEDE UÇUŞLARIN VERİ MADENCİLİĞİ İLE ANALİZİ VE KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ

(Doktora Tezi)

Nevra YAMAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Son yıllarda havacılık sektöründe artan rekabet ile birlikte havayolu şirketleri operasyonlarını daha verimli şekilde yönetmeye yönelmişlerdir. Havayolunda çizelgeleme faaliyetleri uçuş çizelgeleme, uçak çizelgeleme, ekip çizelgeleme ve beklenmedik olayların yönetimi olarak dört aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk üç aşamada, sistem için uygulanabilir bir uçuş çizelgesi meydana getirilmekte ve son aşamada ise uçuşların gerçekleşmesi esnasında ortaya çıkan aksaklıklara çözüm aranmaktadır. Havayolu şirketleri uçuşlarda ortaya çıkan aksaklıklarda ciddi bir zaman kaybı ve maliyet kısıtı ile karşılaşmaktadır. Uçuş aksaklıkları yönetiminin en zor tarafı, uzun dönemler boyunca geliştirilen planların dakikalarla ifade edilebilecek bir süre içerisinde yeniden çizelgelenmesi zorunluluğudur. Uçuş aksaklıkları ortaya çıktığında, yeniden çizelgeleme durumunda, şirketlerin geleneksel yöntemlere, sezgilere ya da deneyime dayalı kararlar vermeleri ve operasyonlardaki ayrıntıların fazlalığı kararı olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan çalışmada, yeniden çizelgeleme sürecinde; risk faktörlerini belirlemek, anlamlı veriye kolayca ulaşmak ve karar vermeye yardımcı olmak üzere uçuşlar için gecikme tahmini yapılması amacıyla veri madenciliği algoritmaları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, kullanıcıya karar desteği sağlamak için hazırlanan karar destek sistemine aktarılmıştır. Böylece, içeriden ya da dışarıdan gelen etkiler sonucu bozulan çizelgeyi düzeltmek ya da geçmiş verilerin yorumlanmasıyla çizelge bozulmadan önlem almak üzere havayolu operasyon kontrol merkezinde karar vericilere yardımcı olacak, sınıflandırma ve karar destek sistemlerini içeren bir uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu : 90607
Anahtar Kelimeler : Havayolu çizelgeme, çizelge düzeltme, veri madenciliği, sınıflandırma, karar destek sistemleri
Sayfa Adedi : 140
Danışman : Doç. Dr. Hatice Ediz ATMACA

ANALYSING FLIGHTS WITH DATA MINING AND DECISION SUPPORT SYSTEM APPLICATION IN FLIGHT SCHEDULE RECOVERY

(Doctoral Thesis)

Nevra YAMAN

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

With the increasing competition in the aviation industry in recent years, airline companies have tended to manage their operations more efficiently. Airline scheduling activities are carried out in four stages as flight scheduling, aircraft scheduling, crew scheduling and disruption management. In the first three stages, a feasible flight schedule is created for the system, and in the last stage, solutions are sought for the problems that arise during the flight. Airline companies face a serious loss of time and cost constraints in flight disruptions. The most difficult aspect of flight disruption management is the requirement to reschedule plans developed over long periods in a few minutes. When flight disruptions occur, in the case of rescheduling, companies make decisions based on traditional methods, intuition or experience, and the excess of details in operations negatively affects the decision. In the study, in the rescheduling process related to flight disruptions in the airline company; data mining algorithms were used to determine the risk factors, to easily access meaningful data and to make an estimation of delays for flights to help decision making. Data mining was provided to predict flight delays and decision support system receives results for helping decision maker in rescheduling by extracting meaningful new information from historical data. Thus, it was ensured that necessary precautions could be taken by foreseeing both actual and potential delays while monitoring the flights by using classification and decision support system.

Science Code	: 90607
Key Words	: Airline scheduling, schedule recovery, data mining, classification, decision support systems
Page Number	: 140
Supervisor	: Assoc. Prof. Hatice Ediz ATMACA

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca, bana hep yol gösteren, ilerlememi sağlayan, yardımlarını esirgemeyen ve bu uzun süreç boyunca sabırla yaklaşan değerli danışman hocam Doç. Dr. HaticeEdiz ATMACA'ya, tez izleme sürecinde fikirleriyle beni yönlendiren ve ilerlememi sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Cevriye GENCER ve Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN'a, çalışmamda zaman zaman yardımına başvurduğum değerli hocam Hakan ÇERÇİOĞLU'na ve çok uzun süren bu süreçte desteklerini hep hissettiğim Sevgili Ailem'e teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
 1. GİRİŞ.....	1
 2. HAVAYOLU ÇİZELGELEME.....	3
2.1. Havayolu Çizelgeleme Süreci.....	3
2.2. Uçuş Çizelgeleme.....	5
2.3. Uçak Çizelgeleme.....	6
2.4. Ekip Çizelgeleme.....	7
2.5. Beklenmedik Değişikliklerin Yönetimi.....	8
2.5.1. Çizelge düzeltme.....	11
 3. VERİ MADENCİLİĞİ.....	15
3.1. Giriş.....	15
3.2. Veri Madenciliği Yöntemleri.....	17
3.3. Sınıflandırma.....	17
3.3.1. C5.0 algoritması.....	19
3.3.2. C&RT algoritması.....	20
3.3.3. Rassal orman algoritması.....	21
3.3.4. Destek vektör makinesi.....	22
3.3.5. K- en yakın komşu algoritması.....	24

3.4. Sınıflandırma Modelinin Değerlendirilmesi ve Performans Değerlendirme.... Ölçütleri.....	26
4. KARAR DESTEK SİSTEMLERİ.....	29
4.1. Giriş.....	29
4.2. Karar Destek Sistemi Nedir?.....	30
4.3. Karar Destek Sisteminin Bileşenleri.....	31
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	35
5.1. Literatürde Havayolu Çizelgeleme Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	35
5.2. Literatürde Havayolu Bozulma Yönetimi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	44
5.2.1. Literatürde gecikme tahmini üzerine yapılan çalışmalar.....	51
5.3. Literatürde Veri Madenciliği Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	55
5.4. Literatürde Karar Destek Sistemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	57
5.5. Literatürde Uçuş Gecikmeleri, Veri Madenciliği ve Karar Destek Sistemleri... Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	60
6. UYGULAMA ÇALIŞMASI: UÇUŞ GECİKMELERİNİN TAHMİNİ VE KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ.....	61
6.1. Ele Alınan Sistem ve Problemin Tanımı.....	61
6.2. Önerilen Yapı.....	65
6.3. Uçuşların Analizi ve Veri Setinin Hazırlanması.....	66
6.4. Sınıflandırma.....	68
6.4.1. C5.0 algoritmasının uygulanması ve sonuçlar.....	69
6.4.2. C&RT algoritmasının uygulanması ve sonuçlar.....	73
6.4.3. Rassal orman algoritmasının uygulanması ve sonuçlar.....	75
6.4.4. DVM algoritmasının uygulanması ve sonuçlar.....	79
6.4.5. KNN algoritmasının uygulanması ve sonuçlar.....	81
6.5. Kullanılan Modellerin Karşılaştırılması.....	87

	Sayfa
6.6. Önerilen Karar Destek Sistemi.....	94
6.7. Örnek Bir Veri Setiyle Mevcut ve Önerilen Durumun Karşılaştırılması.....	101
6.8. Yapılan Çalışmanın Literatüre Katkısı.....	103
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105
KAYNAKLAR.....	107
EKLER.....	115
EK-1. Havacılıkta Kullanılan Havaalanı Kodları ve Adları.....	116
EK-2. C5.0 Algoritması Sınıflandırma Kuralları.....	118
EK-3. C5.0 Algoritması Dallanma Yapısı.....	121
EK-4. C&RT Algoritması Sınıflandırma Kuralları.....	124
EK-5. C&RT Algoritması Dallanma Yapısı.....	125
EK-6. RO Değişkenlerin Öncelik Sıralaması.....	127
EK-7. DVM Algoritması ‘Analysis’ Çıktısı.....	129
EK-8. KNN Algoritması k=3 ‘Analysis’ Çıktısı.....	130
EK-9. Uçuş Yönetim Sistemi Ana Ekran.....	131
EK-10. Uçuş Arama.....	132
EK-11. Uçuş Detay.....	133
EK-12 UYS Havaalanı Listesi.....	134
EK-13. Gecikme Detay/Risk Hesapla.....	135
EK-14. Gecikme Detay/Diğer Olasılık.....	136
EK-15. Gecikme Detay/Risk Faktörü.....	137
EK-16. Gecikme Detay/Neler Olabilir.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	139

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Örnek Uçuş Çizelgesi.....	6
Çizelge 3.1. Örnek Karışıklık Matrisi.....	26
Çizelge 5.1. Havayolu Çizelgeleme Aşamaları ve Yapılan Çalışmalar.....	42
Çizelge 5.2. Havayolu Çizelgelemede Bozulma Yönetimi.....	50
Çizelge 5.3. Gecikme Tahmininde Kullanılan Makine Öğrenmesi Algoritmaları.....	54
Çizelge 5.4. Veri Madenciliği Yöntemleri.....	57
Çizelge 5.5. KDS Uygulamaları.....	59
Çizelge 6.1. Kullanılan algoritmalar ve özellikleri.....	69
Çizelge 6.2. C5.0 algoritması, gerçek değerler ve tahmin sonuçları.....	72
Çizelge 6.3. C&RT algoritması, gerçek değerler ve tahmin sonuçları.....	75
Çizelge 6.4. RO yönteminde en önemli 10 özellik.....	77
Çizelge 6.5. RO yöntemi, gerçek değerler ve tahmin sonuçları.....	78
Çizelge 6.6. DVM Algoritması, Gerçek Değerler ve Tahmin Sonuçları.....	81
Çizelge 6.7. KNN algoritması k=5, gerçek değerler ve tahmin sonuçları.....	83
Çizelge 6.8. KNN algoritması k=3, gerçek değerler ve tahmin sonuçları.....	86
Çizelge 6.9. Kullanılan algoritmalar ve doğruluk dereceleri.....	88
Çizelge 6.10. Algoritmalara göre önemli özellikler.....	89
Çizelge 6.11. Gecikme sınıfına göre gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması....	90
Çizelge 6.12. Gecikmelerin çok olduğu havaalanlarının dağılımı.....	102
Çizelge 6.13. Günlere göre gecikme sınıflarının yoğunluğu.....	103

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1.Havayolu Çizelgeleme Süreci.....	4
Şekil 3.1.Verinin Dönüşümü.....	15
Şekil 3.2. Bilgiye Ulaşma Süreci.....	16
Şekil 3.3. Sınıflandırma Süreci.....	18
Şekil 3.4. Rassal Orman Algoritması.....	21
Şekil 3.5. DVM Mekanizması.....	22
Şekil 3.6. DVM Mekanizması-2.....	23
Şekil 3.7. KNN Algoritması.....	25
Şekil 3.8. Örnek ROC Eğrisi.....	28
Şekil 4.1.KDS Bileşenleri.....	32
Şekil 6.1. OCC’de karar verme süreci.....	62
Şekil 6.2. Önerilen sistem.....	65
Şekil 6.3. Örnek veri seti.....	66
Şekil 6.4. C5.0 algoritması uygulaması.....	70
Şekil 6.5. C5.0 algoritma sonuçları.....	71
Şekil 6.6. C&RT algoritması uygulaması.....	73
Şekil 6.7. C&RT algoritma sonuçları.....	74
Şekil 6.8. RO uygulaması.....	76
Şekil 6.9. RO sonuçları.....	77
Şekil 6.10. DVM Algoritması Uygulaması.....	79
Şekil 6.11. DVM Algoritması Sonuçları.....	80
Şekil 6.12. KNN Algoritması Uygulaması.....	82
Şekil 6.13. k=5 için Model.....	83

Şekil	Sayfa
Şekil 6.14. $k=3$ için Model.....	85
Şekil 6.15. KNN Örnek: k ve Tahminci Seçimi.....	87
Şekil 6.16. ‘GECIKME YOK’ Sınıfı için gains grafiği.....	91
Şekil 6.17. ‘AZ GECIKME’ sınıfı için gains grafiği.....	92
Şekil 6.18. ‘COK GECIKME’ Sınıfı için Gains Grafiği.....	92
Şekil 6.19. ‘COK FAZLA GECIKME’ sınıfı için gains grafiği.....	93
Şekil 6.20. ‘NORMAL DISI’ sınıfı için gains grafiği.....	94
Şekil 6.21. Hazırlanan Uçuş Yönetim Sistemi Yapısı.....	96
Şekil 6.22. Uçuş Yönetim Sistemi Ekran-1.....	97
Şekil 6.23. Gecikme Sınıfı Tahminleri.....	98
Şekil 6.24. Gecikme Detay.....	98
Şekil 6.25. Gecikme Sınıfı Tahmini Görüntüle.....	101
Şekil 6.26. UYS Veri İşlemleri.....	101

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan kısaltmalar aşağıda açıklamalarıyla birlikte verilmiştir.

Kısaltmalar	Açıklama
C&RT	Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları
DVM	Destek Vektör Makinesi
KDS	Karar Destek Sistemi
KNN	K-En Yakın Komşu
OCC	Operasyon Kontrol Merkezi
RO	Rassal Orman
ROC	Receiver Operating Characteristic
YSA	Yapay Sinir Ağları
UYS	Hazırlanan Uçuş Yönetim Sistemi

1. GİRİŞ

Giderek artan rekabet, belirsiz ortam ve dinamik sistemler çizelgeleme süreçlerini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, sistemin meydana gelebilecek değişikliklerden etkilenmemesi ya da etkinin en aza indirilebilmesi büyük önem taşımaktadır.

Havacılık sektörü, dünyada ve ülkemizde hızla gelişmektedir. Bir uçuşun gerçekleşmesinin de; yolcular, uçaklar, uçucu personel, havayolu şirketleri, resmi otorite, uyulması gereken kural ve yasalar gibi pek çok açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir, çünkü tüm bu boyutlarda yerine getirilmesi gereken birçok kısıt bulunmaktadır.

Havayolu işletmeleri açısından ele alındığında; oldukça dinamik bir yapıya sahip olan bu sistemlerde, planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin büyük bir öneme sahip olduğu görülmektedir. Belirsizlik ve müşteri taleplerinin değişken olduğu düşünüldüğünde bu karmaşık yapıyı modellemek ve çizelgelemek de oldukça güçleşmektedir. Mevcut süreçlerin çizelgelenmesi ve kontrolünün yanında ortaya çıkan ani değişiklikler süreçlerin yönetimini oldukça zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, havayollarında en önemli iki kaynak olan insan ve hava araçlarının maliyeti minimize ederek en etkin ve verimli şekilde kullanılması istenmektedir. Ancak, bu iki kaynakta da belirsiz ve değişken bir yapı bulunması kaynakların işlere atanmasında da dinamik bir yapıyı gerektirmektedir. Bu noktada çevresel şartların da sisteme büyük etkisinin olduğu düşünülürse, değişime olan tepki süresinin çok kısa olması ve sistemin bundan etkilenmemesi için karşılaşılabilecek problemlere çözüm aranması önemli bir çalışma konusu olmaktadır. Bu çalışmada, öngörü yaparak bu etkilere karşı önlem alabilmek için, uçuşlarla ilgili olarak geçmiş verilerden yararlanılması hedeflenmiştir.

Bu veriler dikkate alınarak; gerçekleşmiş uçuşlar belli özelliklerine göre belli gecikme sınıflarına ayrılmış ve böylece gerçekleşecek uçuşların takibinde gerekebilecek önlemlerin alınabileceği düşünülmüştür.

1. bölüm giriştir. 2. Bölümde, havayolu çizelgeleme süreci ve bu sürecin özelliklerinden bahsedilmiştir. Havayollarının uygulanmakta olan nihai uçuş çizelgeleri ortaya çıkarken izlenen tüm adımlar bu bölümde açıklanmıştır.

3. bölümde bu çalışmada kullanılan yöntemlerden olan veri madenciliği, sınıflandırma, kullanılan sınıflandırma teknikleri ve 4.bölümde karar destek sistemlerine yer verilmiştir.

5. bölümde ise genel olarak havayolu çizelgeleme, bu süreci oluşturan tüm adımlar ve bunların entegre edilebilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca bahsedilen yöntemlerin havayolu çizelgelemede kullanımına ait çalışmalardan bahsedilmiştir.

6. bölümde yapılan uygulamaya yer verilmiş, tahmin için kullanılan program ve yöntemler ile hazırlanan hazırlanan karar destek sistemi açıklanmıştır. Bu bölümde, elde edilen sonuçlara da yer verilerek; çalışmanın literatüre katkısından bahsedilmiştir.

7. bölüm ise sonuç bölümünü oluşturmaktadır. Havayolu çizelgeleme ile ilgili genel değerlendirme, yapılan çalışmanın katkıları ve gelecekte yapılabileceklerle ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

2. HAVAYOLU ÇİZELGELEME

2.1. Havayolu Çizelgeleme Süreci

Havayollarında çizelgeleme faaliyetleri ile tüm iş akışı ve kullanılacak kaynaklarla (ne, ne zaman, nerede) ilgili bilgiler ortaya çıkarılmaktadır. Bu faaliyetleri gerçekleştirirken de, oluşturulan sistemin yapısı ve çeşitli kısıtlar dikkate alınmaktadır.

Havayolu şebeke yapısı oluşturulurken stratejik seviyede belirlenmesi gereken birçok konu bulunmaktadır. Bunlar; filo planlama, talep tahmini, ağ yapısı, rotaları oluşturacak başlangıç ve bitiş noktaları, uçuş sıklığı ve uçuş planlama olarak bilinmektedir. Bu konuların hepsinin ‘talep tahmini’ ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilgili olduğu söylenebilmektedir.

Havayolu şebekeleri, genel olarak topla-dağıt (hub and spoke) ve noktadan noktaya (point to point) olmak üzere iki farklı şekilde oluşturulmaktadır. Topla-dağıt şebeke tipinde; yolcu ya da yükler belli merkez veya merkezlerde toplanarak buradan dağıtım yapılmaktadır. Bu ağ yapısı, kapasite kullanımı ve maliyetler açısından birçok avantaja sahiptir. Noktadan noktaya ağ yapısında ise, yolcu ya da yükler için taşınması istenen her iki nokta arasında uçuş gerçekleştirilmektedir. Böylece daha esnek ve rekabet avantajı sağlayan bir yapı elde edilmiş olmaktadır.

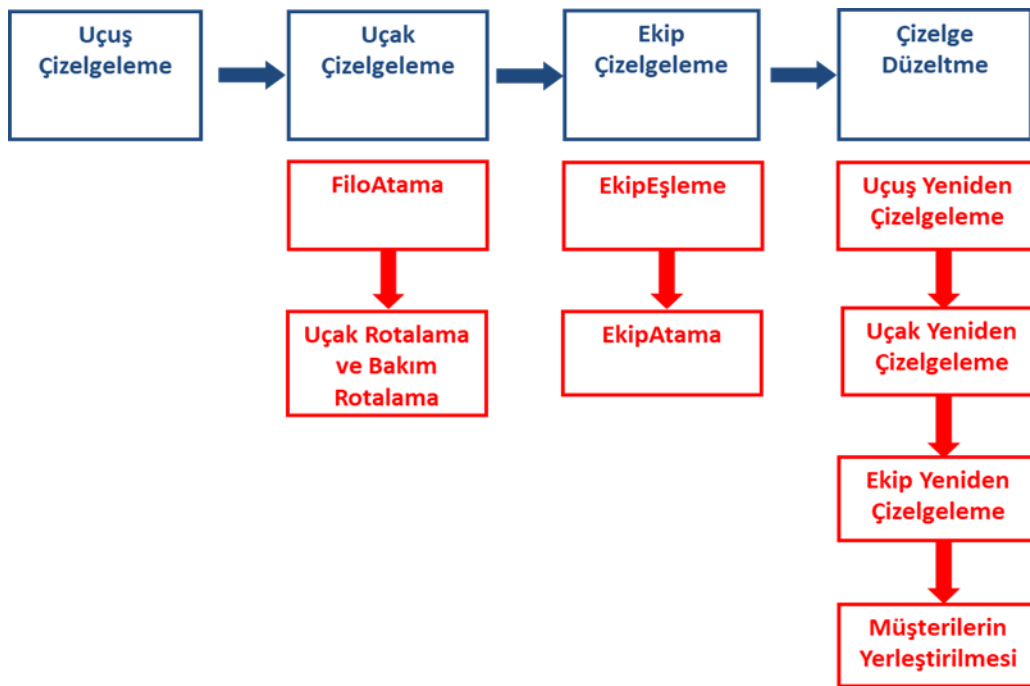
Mal ya da hizmet üreten her işletmede olduğu gibi, havayollarında da amaç müşteri memnuniyeti ve karlılığı artırmaktır. Bu amaca ulaşmak için de, birbirine bağlı olarak ilerleyen bu sistemlerde kaynak ve işlerin etkin bir biçimde atanması, tüm ağ yapılarında olduğu gibi çizelgeleme sürecini öne çıkarmaktadır.

Havayollarında çizelgeleme süreci ile ‘nereye uçuş olacağı, hangi sıklıkta uçulacağı, ne zaman uçuş olacağı, kullanılacak kaynaklar ve bu uçuşları karşılamak için gerekli olan kapasite’ belirlenmesi istenen konulardır. Sonuçta ortaya çıkan planlarda;

- Uçuş bacağı olarak adlandırılan ve bir noktadan başlayıp, başka bir noktada bölünmeden biten her bir uçuş için, kalkış ve varış noktaları, bu uçuşun ne zaman başlayıp biteceği, hangi uçakla gerçekleştirileceği ve hangi ekip elemanlarının yer alacağı,
- Her bir uçak için rota olarak ifade edilen, belirli bir kalkış zamanında başlayan, belirli bir başlangıç ve varış noktası arasında gerçekleştirilen bir veya daha fazla ardışık uçuş bacağı ile izlenen yol,
- Bir uçağın gerçekleştirdiği, havacılık terimlerinde dizi olarak adlandırılan bakım istasyonunda başlayan ve biten ardışık uçuşların kümesi,
- Her bir ekip elemanını için, yer alacağı uçuş bacaklarının listesibelirlenmiş olmaktadır.

Elde edilen bu bilgiler, çizelgeleme sürecinin operasyonel olarak birbirine bağlı alt süreçlere bölünmesiyle ortaya çıkarılmaktadır. Süreç; uçuş çizelgeleme, uçak çizelgeleme, ekip çizelgeleme ve beklenmeyen değişikliklerin yönetilmesi olarak 4 alt süreçten oluşmaktadır.

Havayolu çizelgeleme süreci Şekil 2.1’de verilmiştir. Bununla birlikte, bu alt süreçlerde ayrıca dikkate alınması gereken havaaracı bakım rotalama gibi diğer süreçler de bulunmaktadır.



Şekil 2.1.Havayolu çizelgeleme süreci

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, uçuş çizelgeleme, uçak çizelgeleme, ekip çizelgeleme ve beklenmedik olayların yönetimi ardışık olarak gerçekleşen süreçlerdir. Uçuş çizelgeleme, uçak çizelgeleme ve ekip çizelgeleme ile uygulanacak çizelge ortaya çıkarılmaktadır. Beklenmedik olayların yönetiminde ise, hazırlanmış mevcut çizelge üzerinde düzeltme işlemleri gerçekleştirilmektedir.

2.2. Uçuş Çizelgeleme

Havayolu işletmesinin planlama ve operasyonlarının başlangıç noktasıdır. Uçuş çizelgeleme problemi, kalkış-iniş çiftleriyle mümkün bir uçuş şebekesinin oluşturulmasıyla ilgilenir, uçuş zamanları ve uçuş sıklıkları belirlenir. Böylece, havacılıkta ‘tarife’ olarak nitelendirilen çizelgeler ortaya çıkarılmaktadır. Bu çizelgelere havalimanı bazında bakılacak olursa; her havalimanına gelecek her bir uçuşun kalkış meydanı, oradan kalkış saati ve varış saati belirlenmiş olmaktadır. Uçuş çizelgeleme, 9-12 ay gibi uzun bir dönemi içine alan planlama sürecidir. Bu süreçte, havayolunun uzun dönemli amaçları ve planları dikkate alınır. Sonuçta oluşan çizelge filo atama problemi için girdilerden birini oluşturmaktadır.

Uçuş çizelgelemede, talebi karşılamak için uçuş gerçekleştirilecek uygun noktaların eşleşmesi yapılmakta ve bu noktalar arasındaki uçuş sıklığının belirlenmesi gerçekleştirilmektedir. Bunun için, öncelikle ana bir plan oluşturulmakta ve daha sonra ‘master plan’ adı verilen bu plana diğer uçuşların eklenmesiyle ya da çıkarılmasıyla çizelgenin tamamı hazırlanmaktadır. Burada, talebin karşılanması için havayolunun bu beklentileri sağlayacak kaynaklara da sahip olması gerektiğinden çizelge hazırlanırken arz-talep dengesinin sağlanması da dikkate alınması gereken bir konudur.

Ülkemizde, bir yıl içinde yaz ve kış tarifiesi olmak üzere iki tarife dönemi bulunmaktadır. Bu dönemlerin başlangıç ve bitişi Mart ve Ekim aylarının son haftasonu olacak şekilde uygulanmaktadır. Yani havayolu şirketleri senede ikişer kez uçuş çizelgeleri yayınlamaktadır. Çizelge 2.1’de en temel bilgilerle uçuş çizelgeleri için bir örnek yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Örnek uçuş çizelgesi

Çağrı Adı	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Kalkış Zamanı	Varış Zamanı	Uçuş Günü
ABC2123	LTAC	LTFM	1730	1825	1 3 5 7
ABC2256	LTAC	LTFM	1900	1955	1 2 3 4 5 6 7
ABC7143	LTAC	LTFH	2030	2115	5 6 7

Çizelge 2.1’de; uçuşun adı, kalkış havaalanı, varış havaalanı, tahmini kalkış saati, tahmini varış saati ve uçuşun haftanın hangi günü gerçekleşeceği bilgileri yer almaktadır. Buna göre, tablonun ilk satırındaki ABC2123 uçuşunun Ankara Esenboğa Havalimanı’ndan İstanbul Havalimanına, her Pazartesi-Çarşamba-Cuma-Pazar günleri, saat 17:30Z-18:25Z aralığında gerçekleşeceği söylenmektedir. Burada, saatlerin yanında yer alan ‘Z’ saatlerin yerel saat değil, havacılık saatine göre yazıldığını göstermektedir ve ülkemizde lokal saatten üç saat geridir. Havacılık saati dünyanın her yerinde aynı saati göstermektedir.

2.3. Uçak Çizelgeleme

Uçak çizelgeleme, havayolu şirketinin bir tarife dönemi boyunca uygulayacağı uçuş çizelgesi ortaya çıktıktan sonra daha kısa bir planlama dönemi içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu süreç, filo atama ve uçak rotalama olmak üzere 2 adımdan oluşmaktadır. Uçak çizelgelemede; hava araçlarının bakım kısıtları, uçuş bacağına inilecek havaalanının şartları ve kısıtlamaları, operasyonel kısıtlar dikkat edilmesi gereken konulardır.

Filo atama

Filo belli bir uçak tipinden oluşan graplardan biridir. Filo atamasında, uçuş dizisindeki bacaklara en küçük maliyetle uçak tipleri yani filolar atanır. Sonuçta, filo atama problemi, bir filo tipinin her bir uçuş bacağına atanmasıyla ilgilendir. Filo atama probleminin kısıtları; akış kısıtları, denge kısıtları, uygunluk kısıtları ve uçuş kaplama kısıtlarıdır.

Çankaya (2008)'de, filo atamanın amacının optimal geliri elde edebilmek için kapasite ve talep uyumunu başarmak olduğunu söylemiştir [1].

Uçak rotalama

Bu aşamada, uçuş çizelgesi ve filo atamaları sabit ve bilindiğinde; her bir uçuş için uçak atamaları yapılmaktadır. Yani filo atamasıyla, uçuş bacakları için filo tipi belirlendikten sonra, uçak rotalama sürecinde filodaki her bir uçağın – bakım kısıtlarını sağlayacak şekilde- uçacağı uçuş dizisi belirlenmektedir. Böylece her uçuş bacağına kesin olarak yalnızca tek bir uçak atanmış olur.

2.4. Ekip Çizelgeleme

Ekip çizelgeleme probleminde, uçuş çizelgesindeki her bir uçuş bacağına kapsayacak şekilde uçuş dizileri için ekip atamaları yapılır. Burada, ekip atama maliyetlerini minimize edecek şekilde, çeşitli yasal düzenlemelere ait kısıtların ve uçuşların ekip gereksinimlerinin karşılanması gerekir.

Uçuşlarda gereken uçuş ekip üye sayısı,

- uçağın boyutlarına,
- uçuş süresine,
- uçuşun gün içerisindeki başlama zamanına ve
- sunulacak servis seviyesine

bağlı olarak değişir.

Literatürde, ekip çizelgeleme probleminin, ekip eşleme(uçuş dizisi bulma problemi) ve ekip atama (nöbet listesi oluşturma) problemi olarak iki ayrı adımda çözüldüğü söylenmiştir [2].

Ekip eşleme

Ekip eşlemede, uçuş gereksinimlerini karşılayacak ve tüm uçuşları kapsayacak şekilde, aynı filo tipi için ekibin yaşadığı şehirde başlayan ve biten uçuş bacağı – ekip eşleşmeleri oluşturulur. Yani her uçuş bacağı için, bu uçuşun özellikleri, uzunluğu, uçak tipi gibi kısıtlar dikkate alınarak uygun ekip belirlenir. Bu problem tipi, küme kaplama problemi olarak formüle edilebilmektedir.

Ekip atama

Ekip atama sürecinde ise, ekip eşleme ile oluşturulan her ekibin içerisine hangi personelin dahil edileceği belirlenir, ekip elemanları ekiplere atanmış olur. Bu durumda, her ekip elemanı için nöbet listesi hazırlanmış olmaktadır. Böylece, her bir çalışanın belli bir periyottaki bireysel çalışma programı belirlenmiş olmaktadır.

2.5. Beklenmedik Değişikliklerin Yönetimi

Havayolu operasyonlarında, bulunan fazlasıyla kısıt ve bunların birbirleriyle ilişkileri nedeniyle oldukça karmaşık bir sistem yapısı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, birbirine bağlı adımlardan oluşan bu sistem, dinamik bir yapıya da sahiptir. Böyle dinamik bir yapıda da, beklenmeyen değişikliklerin oldukça sık yaşanabildiği görülmektedir. Bu değişikliklerle başa çıkabilmek için de hem havayollarının hem de araştırmacıların birçok çalışma yaptığı dikkat çekmektedir.

Uçak, ekip ve yolcular havayollarının en önemli kaynakları arasında yer almaktadır. Uçuş, uçak ve ekip çizelgelemelerinin hepsi, havayolu planlama aşamasında önceden oluşturulmaktadır. Ancak, çizelgelerin uygulanması sırasında, sözü edildiği gibi çeşitli aksamalar meydana gelebilmektedir. Sözü edilen bu aksamalar/beklenmeyen olaylar için aşağıdaki gibi örnekler sıralanabilmektedir:

- Hava aracı arızası: Bakım kısıtları sağlanmış olsa bile beklenmeyen bir arıza meydana gelebilir ve bununla birlikte uçağın bulunduğu havaalanında anında bir müdahale yapılması mümkün olmayabilir ya da bu işlem zaman alabilir.

- Personel değişikliği: Ekip elemanları hastalık ya da özel bir sebep nedeniyle uçuşa gelemeyebilir.
- Havalimanı şartları: Her havalimanı farklı fiziksel koşullara, elektronik cihazlara ve bakım şartlarına sahip olduğu için her uçağın ihtiyaını karşılayamayabilir.
- Hava şartları: Meteorolojik kısıtlar, uçuşların gerçekleşmesi ya da aksaması konusunda oldukça belirleyicidir. Ülkemizde, hava şartları nedeniyle, geciken ya da gerçekleşemeyen uçuşlarla özellikle kış aylarında oldukça sık karşılaşılmaktadır.

Havayolu operasyonları, ‘tam zamanında’ gerçekleşmesi gereken operasyonlardır. Meydana gelebilecek bir düzensizlik, birbirini izleyen diğer operasyonları da etkileyeceği için mevcut planların oldukça esnek olması istenmektedir. Esnekliğin sağlanmasıyla birlikte; talebi karşılayabilmek, kaynakları en iyi şekilde kullanmak, müşteri memnuniyetini sağlamak, karlılığı artırmak giderek zorlaşmaktadır. Esneklik ve bu kısıtların sağlanması arasında bir ödünleşim yakalanması gerekliliği ile birlikte; beklenmeyen bir olay sonucu bozulan çizelgenin düzeltilmesi de oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, beklenmeyen olaylarla başa çıkabilmek için; başlangıçta bu olaylara karşı güçlü ve esnek bir izelge hazırlanması ve/veya olaylar yaşandığında çizelgenin düzeltilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Özetlenecek olursa; bu aksaklıklara karşı alınabilecek önlemler literatürde de, iki grupta toplanabilmektedir:

1. İleri etkili izelgeleme: Bu yaklaşımla izelge başlangıçta oluşturulurken bazı esneklikler tanınarak çizelgenin ortaya çıkacak bir aksaklıktan etkilenmemesi sağlanmaktadır.
2. Bozulma yönetimi: Bu yaklaşımla ise; aksama meydana geldikten sonra neler yapılabileceği düşünölmektedir. Burada; izelge düzeltme, iyileştirme, yeniden çizelgeleme konuları birlikte ele alınmış olmaktadır [3].

Çizelge bozulmalarına karşın; ileri etkili/güçlü çizelgeleme olarak adlandırılan ve en başta izelge hazırlanırken çeşitli esneklikler kazandırılarak bu bozulmalardan kaçınmaya çalışmak sık başvurulan bir yöntemdir. Bununla birlikte; karşılaşılan durumlara göre, ileri etkili bir izelge hazırlanmış olsa bile tekrar izelge düzeltme faaliyetlerine ihtiyaç duyulabilmektedir.

Bu çalışmada ise, çizelge uygulanmakta iken, henüz bir bozulma gerçekleşmemiş olsa bile gerçekleşme ihtimaline karşı hazırlıklı olabilmek ve hızlı karar alabilmek üzere uçuşlara ait gecikme tahmini yapılması için veri madenciliği kullanılmıştır. Bu nedenle de, bu çalışmanın hem güçlü çizelgeleme hem de çizelge düzeltme süreçlerinin özelliklerini taşıdığı düşünülmektedir.

Mevcut çizelge bozulduğunda; havayolları operasyonlarını,

- uçuş zamanlarını geciktirerek,
- uçuş bacağı iptal ederek,
- uçağı yeniden rotalayarak,
- uçak değiştirerek/bekleyen uçakları kullanarak,
- yeniden ekip atayarak,
- yolcuları yeniden yerleştirerek,
- boş seferler oluşturarak

tekrar düzenlemektedir [4,5].

Bu gibi durumlarda; ani değişikliklere uyum, sistemin bu değişiklikten mümkün olduğunca az etkilenmesi ve değişikliğe olan tepki süresinin mümkün olduğunca az olması istenmektedir.

Yeni oluşturulacak çizelgenin,

- Karşılaşılan problemin uzun dönemli etkisini azaltmak için önceden tespit edilmiş zaman periyodu içerisinde orijinal plana yakınsaması gerekir.
- Yeni planın belirlenen zaman periyodu içerisinde orijinal çizelgeden mümkün olduğu kadar az bir şekilde sapması tercih edilmelidir.

Düzensiz olayların yönetiminde; meydana gelen sapmadan mümkün olduğunca az etkilenilecek şekilde,

- kalkış zamanlarının yeniden belirlenmesi,

- uçuş-uçak yeniden çizelgelemesi ve
- ekip yeniden çizelgelemesi

problemlerinin tekrar çözülmesi gerekebilmektedir.

Uçuşların gerçekleşmesinde meydana gelecek bir gecikme; ardından gelecek diğer uçuşları da etkileyecek ve gecikmelerin artmasıyla azalan müşteri memnuniyeti, prestij kaybı, uçakların yerde kalma süresinin artması gibi sonuçlarkarlılığın azalmasına neden olacaktır. Bu çalışmada ele alınan problem genel olarak, uçuşlarda minimum gecikmeyi sağlayabilmek için öngörülemeyen bir değişiklik meydana gelmeden önce; gerekebilecek değişiklikleri yaparak çizelgeyi düzeltmek şeklinde tanımlanabilmektedir.

Böylece, bozulmaya maruz kalan/kalacak uçuşların yeniden çizelgelenerek mevcut çizelgeden minimum sapma sağlanması ve böylece maliyetlerin minimizasyonu hedeflenmiştir.

2.5.1. Çizelge düzeltme

Çizelge düzeltme ya da yeniden çizelgeleme kavramları literatürde daha çok üretim sistemlerine konu olsa da, artık bu konulardan hizmet sistemlerinde de oldukça fazla bahsedilmektedir.

Çizelge düzeltme sürecinin en belirgin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [6]:

1. Başlangıçta, mevcut çizelgede meydana gelecek değişimin sınırları belirlenemediği için çizelge üzerinde yapılan yenileme/düzeltilme adımlarının diğer faaliyetlerle beklenmeyen etkileşimleri olabilmektedir.
2. Aksamaları minimize etmek gibi birçok çizelgeleme amacı ile mümkün değişiklikleri yaparak çizelgenin etkinliğini artırmak arasında denge sağlamak gerekmektedir.
3. Çizelgeleme sürecinde karar vericiler sistem kısıtları ve kararların karmaşıklığına kapılmaktadır.

Genel olarak, çizelge düzeltmenin nasıl ve ne zaman yapılacağı belirlenmesi gereken önemli bir konudur. Çizelge bozulduğunda; tam çizelgeleme ile geriye kalan işlerin hepsi

yeniden çizelgelenir ya da eski çizelgeyi yeni duruma adapte etme, yani kısmi çizelgeleme ile çizelgenin sadece bozulan kısmı çizelgelenir [6]. Çizelgenin ne zaman düzeltileceği ile ilgili olarak da aşağıda yer alan politikalarla karşılaşılmaktadır:

1. Periyodik gözden geçirme: Sabit aralıklarla, üretim ortamından gerekli bilgiler toplandıkça çizelgeleme yapılır. Yani çizelgeleme problemi, daha küçük ve statik alt problemlere ayrılmış olur, ve yeni bir çizelgeleme periyodu gelene kadar çizelge değiştirilmez.
2. Sürekli gözden geçirme: Çizelge sürekli gözden geçirilerek, sistemde her olay gerçekleştiğinde mevcut sistem üzerinde yeniden çizelgeleme yapılır.
3. Olaya dayalı gözden geçirme: Sistem için yeniden çizelgeleme noktası yeni bir olayın gerçekleşmesidir. Bu politikada, hem periyodik ve hem de sürekli yeniden çizelgelemenin özellikleri görülür [6,7].

Havayollarında çizelge düzeltme, çizelgenin bozulan kısmıyla ilgilenmekte olup; uçuş, uçak, personel ve yolcuların yeniden çizelgelenmesinin gerektiği durumlarda ortaya çıkmaktadır ve sadece çizelgenin bozulan parçasının düzeltilmesiyle ilgilidir. Yani olaya dayalı ve kısmi çizelgeleme yapılmaktadır. Aşağıda da; uçuş, uçak, ekip ve yolcuların yeniden çizelgelenmesisırasında gerçekleştirilen faaliyetlerden bazıları yeniden filo atama, yeniden zamanlama veya yeniden rotalama olarak verilmiştir.

Yeniden filo atama

Dinamik havayolu çizelgeleme sürecinde, yer ayırtma periyodu boyunca (çizelgenin oluşturulmasından ilgili uçuşun kalkışına kadar geçen süre) ilgili uçuşa olan talebin durumuna göre uçuş bacağına atanmış olan uçak tipinin değiştirilmesi yani talebe göre uçak boyutunun artırılması ya da azaltılmasıdır.

Yeniden zamanlama

Meydana gelen beklenmeyen bir olay sonucunda, uçuşların başlama ve bitiş zamanları değişebilmektedir. Bir uçuşun gecikmesi, bu uçuştan sonra aynı uçakla gerçekleştirilecek diğer uçuşları da etkileyeceğinden tüm bu uçuşlar için yeni zaman ve yeni uçak kararları

alınabilmektedir. Burada, beklenenden daha yüksek talebe hizmet edebilmek için de aktarma noktaları aracılığıyla yeni yollar üreterek uçuş bacağına kalkış ve varış zamanları değiştirilmektedir.

Yeniden rotalama

Herhangi bir uçuş bacağına; uçakla ilgili bir değişiklik yapılması gerekirse bu uçuş bacağına atanmış olan uçak ve yeni atanacak uçağın rotaları değişmektedir. Burada amaç uçakların kullanımını maksimize etmek ve gecikmeleri en aza indirerek müşteri memnuniyetini artırmaktır.

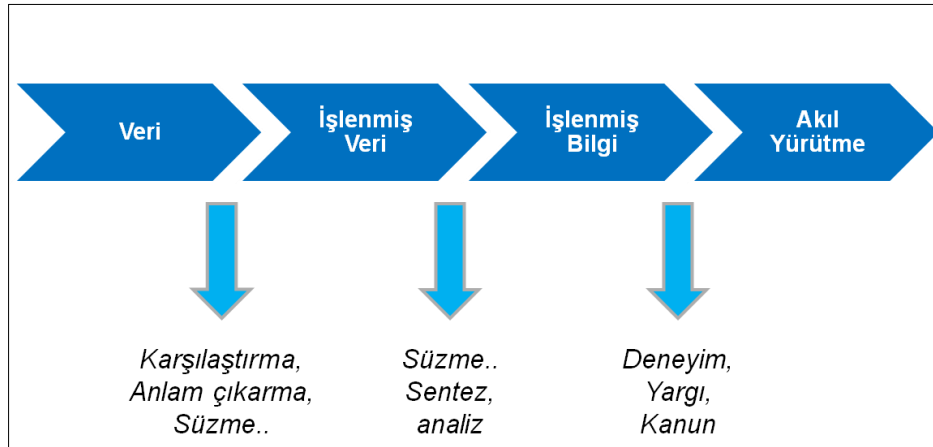
İlgili uçuş bacağı ve buna göre etkilenecek olan sonraki uçuş bacakları dikkate alınarak, uçuş çizelgesinde yer alan bu bacaklarda uçak değişikliği yapılmaktadır. Sonuçta, orijinal uçuş çizelgesinde belli bir uçağın izleyeceği rota değişebilmektedir.

3. VERİ MADENCİLİĞİ

3.1. Giriş

Günümüzde, verinin analiz edilerek anlamlı sonuçlar çıkarılması ve faydalı bilgiye dönüştürülerek kullanılabilmesi işletmelerin en önemli kaynağı haline gelmiştir. Dijitalleşen dünyada etkin veri kullanımı insan, malzeme, para gibi birçok kaynağın önüne geçmiştir.

Şekil 3.1’de, literatürde ‘Data-Information-Knowledge-Wisdom’ zinciri olarak bilinen ve verinin işlenerek gerekli sonuçlara dönüştürülmesini modelleyen yapı gösterilmiştir.

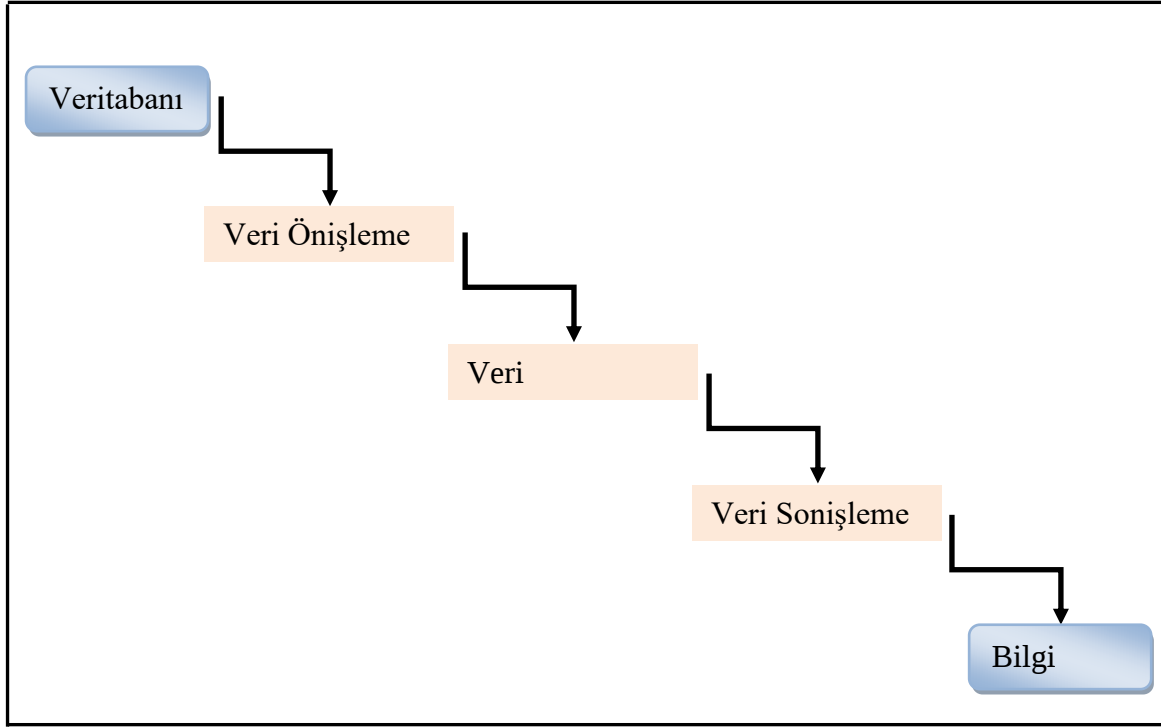


Şekil 3.1. Verinin dönüşümü

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, eldeki ham veri; karşılaştırma, anlam çıkarma, analiz, deneyimlerden yararlanılarak bir yargıya varılması gibi işlemlerden geçerek nihai faydalı bilgiye dönüşmektedir.

Büyük miktardaki verinin içerisinde özetlenmiş, gruplara ayrılmış ve işlenmiş bilgiye ulaşma süreci de Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu süreçte, veri madenciliği kavramından bahsedilmekte ve kullanılmaktadır. Veri madenciliği, büyük veri içerisinde faydalı bilgiye ulaşma ve bilgiyi depolama işlemlerini içermektedir. Veri madenciliği ile büyük verinin sınıflandırılarak bunlarla ilgili kurallar çıkarılması, verinin gruplara ayrılması ya da verinin birlikte bulunduğu durumlarla ilgili bilgiler edinilmektedir. Böylece, sisteme yeni

eklenecek veri ile ilgili önceden ya da bulunduğu gruba göre gelecek hakkında bilgi sahibi olmak mümkün olabilmektedir.



Şekil 3.2. Bilgiye ulaşma süreci

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, öncelikle eldeki ham veri bir ön işleme tabi tutularak, veri madenciliği tekniklerinde kullanılabilir hale getirilmektedir. Ham veri içerisinde saklı kalan ya da bulunmak istenen bilgi tipine göre veri madenciliği tekniklerinden biri veya birkaçı uygulanmaktadır. Modelin sonuçlarının analiz edilmesiyle de yeni bilgiye ulaşılmaktadır.

Veri madenciliği; müşteri ilişkileri yönetimi, pazarlama, sağlık, sigortacılık, elektronik ticaret gibi birçok alada kullanılmaktadır. 1960’larda başlayan veritabanı kullanımı, 2000’li yıllarda veri madenciliği ile daha geniş bir alana yayılmıştır. Dijitalleşen dünyada, ham verinin faydalı bilgiye dönüşümü ihtiyacı, veri madenciliği kullanımını oldukça artırmıştır.

3.2. Veri Madenciliği Yöntemleri

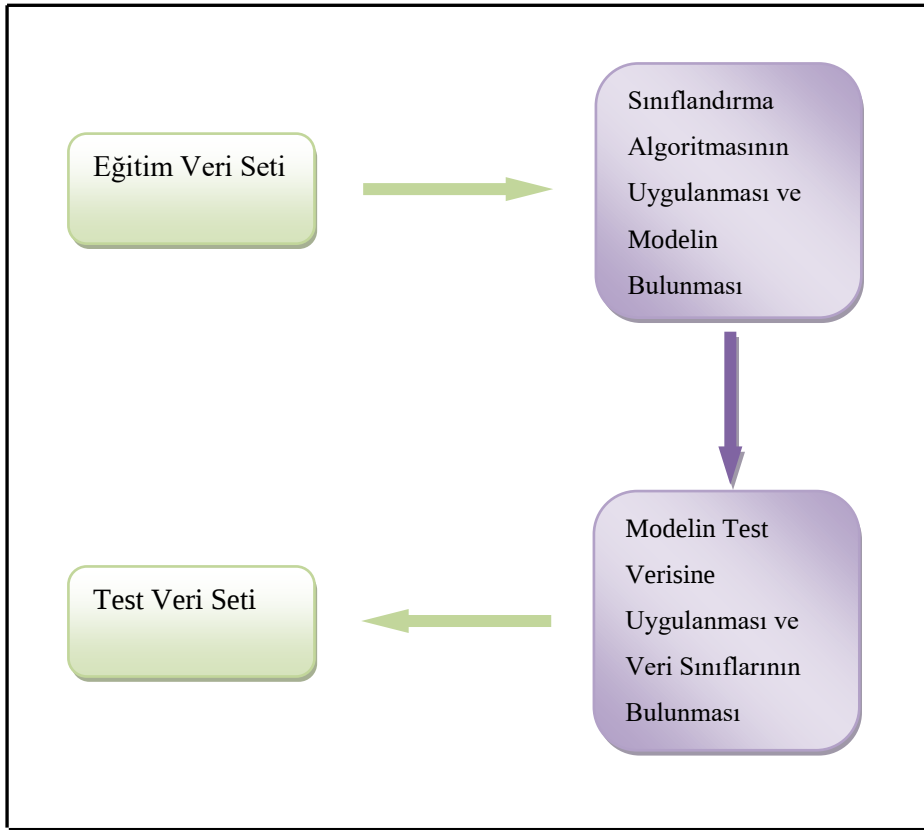
Veri madenciliği yöntemleri; tahmin edici modeller ve tanımlayıcı modeller olmak üzere iki grupta incelenmektedir:

- Tahmin edici modeller, mevcut veriye ait özellikleri kullanarak bilinmeyen ya da gelecekteki veriler için tahmin yapmaktadır. Sınıflandırma, Regresyon, Zaman Serisi Analizi, Aykırı Gözlem Tespiti tahmin edici veri madenciliği yöntemleridir.
- Tanımlayıcı modeller ise; veriyi tanımlayan ve insanlar tarafından yorumlanabilen kalıpları bulmaktadır. Kümeleme, Birliktelik Kuralları, Örüntü Analizi tanımlayıcı veri madenciliği yöntemleridir.

Bu çalışmada da, uçuş gecikmelerinde yapılacak tahminlerden yararlanmak üzere sınıflandırma algoritmalarına başvurulmuştur.

3.3. Sınıflandırma

Bu yöntem ile nesneler özelliklerine göre önceden belirlenmiş sınıflardan birine atanmaktadır. Verilmiş bir veri setinde, verinin özellikleri ve bir özellik olarak her bir verinin ait olduğu sınıf yer almaktadır. Burada, diğer tüm özelliklerin bir fonksiyonu olarak, veri setinin eğitim kümesiyle veri sınıfının modeli bulunur. Amaç, sınıfı bilinmeyen verilerin sınıfını olabildiğince doğru bir şekilde bulmaktır. Bu model ile de, test kümesinin veri sınıfı tahmin edilerek modelin başarısı ölçülmektedir. Şekil 3.3'te sınıflandırma süreci gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Sınıflandırma süreci

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi, veri eğitim ve test verisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sınıflandırma algoritması, ilk olarak eğitim verisine ve daha sonra elde edilen sınıflandırma modeli test verisine uygulanmaktadır.

Günümüzde, istatistik, veri madenciliği, yapay zeka, bilgi sistemleri, makine öğrenmesi gibi veri ile ilgilenen birçok alan iç içe geçmiş bulunmaktadır. Sınıflandırma da, hem veri madenciliği hem de makine öğrenmesi yöntemleri içinde yer alan bir konudur. Veri madenciliği ve makine öğrenmesi; birbirine yakın yerlerde başvuru alan ve aynı zamanda farklılıkları olan alanlardır. Veri madenciliği mevcut veriden kurallar çıkarırken, makine öğrenmesi bilgisayarın bu kuralları öğrenmesini sağlamaktadır.

Farklı özelliklerine göre gruplandırılan sınıflandırma yöntemleri aşağıda verilmiştir:

- Karar Ağacı Tabanlı Yöntemler
- Kural Tabanlı Yöntemler

- Hafıza Tabanlı Düşünme
- Sinir Ağları
- Bayes Ağları
- Destek Vektör Makineleri

Bu uygulamada, yukarıda verilen sınıflandırma algoritmalarından birkaçı kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar, sınıflandırma algoritmalarının kategorize edilmesinde farklı gruplarda bulunmaları ve yaygın kullanımları nedeniyle seçilmiştir. Böylece, bu çalışmada ele alınan problemin özellikleri de dikkate alınarak farklı türdeki algoritmalarından da faydalanılmış olması hedeflenmiştir. Bunlar; makine öğrenme algoritmaları içerisinde de yer alan, karar ağacı algoritmalarından C5.0 ve Sınıflandırma ve Regresyon ağaçları (C&RT); topluluk öğrenme algoritmalarından Rassal Orman (RO); benzerlik tabanlı sınıflandırma algoritmalarından k-En Yakın Komşu (KNN) algoritması ve Destek Vektör Makinesi (DVM)' dir. Bu algoritmalar kullanılarak uçuşların gecikme sınıfları tahmin edilmiş ve elde edilen sonuçlar karar destek sistemine girdi oluşturmuştur.

3.3.1. C5.0 algoritması

Karar ağacı algoritmalarından ID3 algoritmasının geliştirilmesiyle C4.5 algoritması ortaya çıkmış ve daha sonra C4.5'in geliştirilmesiyle C5.0 algoritması ortaya çıkmıştır. Karar ağacı algoritmalarının anlaşılması ve yorumlanmasının kolay olması ile birlikte, C5.0 algoritmasının büyük veri setlerinde oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir.

C5.0 karar ağacı türetme algoritması, tek bir düğümlle başlamakta ve en uygun sınıflayıcının tespiti için bilgi kazanımı adı verilen buluşsal ve entropi tabanlı bir ölçü kullanmaktadır. Bu ölçüye göre belirlenen değişkenin her bir değeri dallara dönüşmekte ve devam eden süreçte kalan değişkenlerin dikkate alınması ile aynı işlem sürdürülmektedir. Bu süreç, belirli bir düğümdeki tüm örneklerin aynı sınıfa ait olması, düğümlenecek yeni bir değişkenin kalmaması ve veri kümesinde sınıfa değişkeninin söz konusu değerine sahip kayıt bulunmaması durumlarında son bulmaktadır. C5.0 algoritması kök düğümden yaprak düğüme uzanan akışla karar kuralları şeklinde de ifade edilebilmektedir. Özellikle çok büyük karar ağaçları yerine karar kurallarını kullanmak insan algısına daha uygun düşmekte ancak veri sayısı arttıkça işlem süresi uzamaktadır. Bir karar ağacında, ağacın

alt seviyelerindeki değişken üst seviyelerdeki değişkene oranla daha az kullanılırken, karar kurallarında kuralın sıralaması önem taşımamaktadır. Ayrıca, karar kuralları öngörü kesinliklerine göre sıralanabilmekte ve öngörü kesinliğini arttırmak amacıyla budanabilmektedir [8].

3.3.2. C&RT algoritması

C&RT algoritması Morgan ve Sonquist'in AID (Automatic Interaction Detection) adlı karar ağacı algoritmasının devamı niteliğine Breiman ve diğerkleri tarafından 1984 yılında önerilmiştir.

Hem sayısal hem de nominal veri türlerini, girdi ve kestirimsel değişken olarak kabul edebilen C&RT algoritmasının, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde bir çözüm olarak kullanılabilir bir algoritma olduğu söylenmektedir [8].

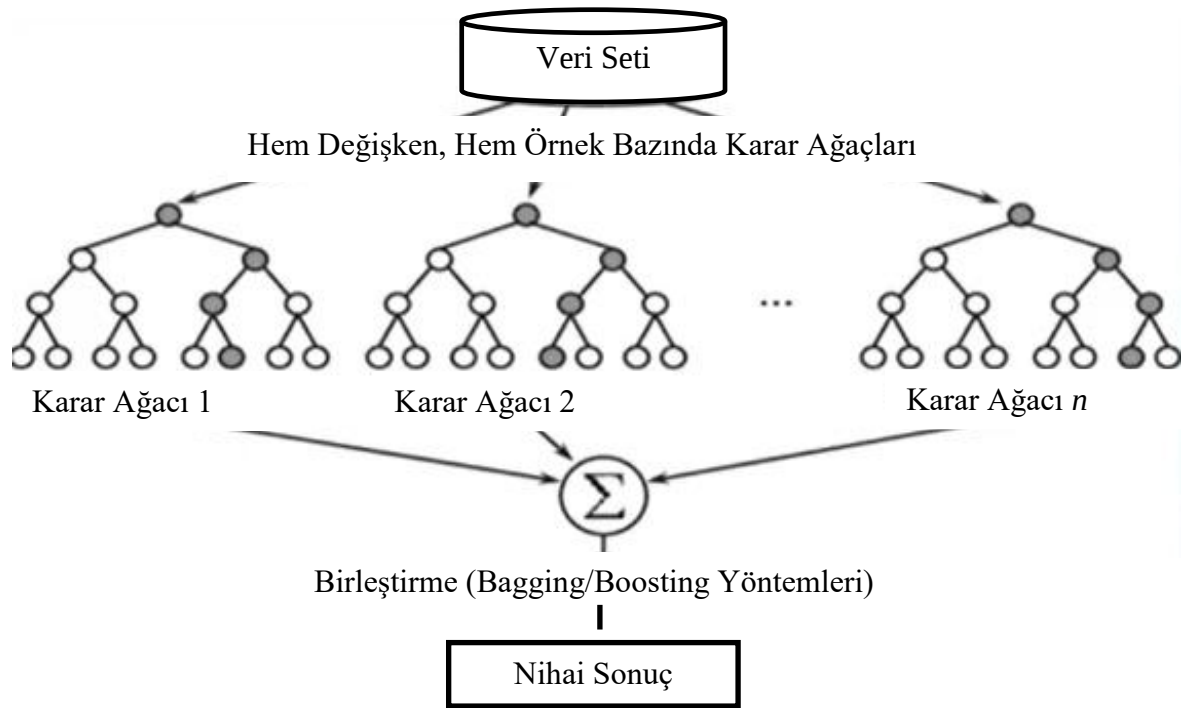
Genel olarak, C&RT algoritmasında bir düğümde belirli bir kriter uygulanarak bölünme işlemi gerçekleştirilir. Bunun için önce tüm niteliklerin var olduğu değerler göz önüne alınır ve tüm eşleşmelerden sonra iki bölünme elde edilir. Bu bölünmeler üzerinde seçme işlemi için iki algoritma kullanılmaktadır. Bunlar; Twoing ve Gini algoritmalarıdır [8].

Tüm verileri içeren kök düğümden başlanarak, her düğüm iki alt düğüme ayrılmasıyla devam edilmektedir. Dallanma kriteri olarak Gini indeksinden yararlanan C&RT ağacı, kuruluş aşamasında herhangi bir durma kuralı olmaksızın sürekli olarak bölünerek büyümektedir. Artık yeni bir bölünmenin gerçekleşmeyeceği durumda, bu sefer, uçtan köke doğru budama işlemi başlatılır. Olası en başarılı karar ağacı, her budama işlemi sonrası bağımsızca seçilmiş bir test verisi ile değerlendirme yapılarak tespit edilmeye çalışılır.

C&RT algoritmasıyla, karar ağaçları fikrinin ve rassal orman algoritmasının ortaya çıktığı söylenmektedir [9].

3.3.3. Rassal orman algoritması

Birden fazla karar ağacı birlikte kullanarak sınıflandırma başarısı yükseltilmeye çalışılmaktadır. Bu algoritmaların kombine edilmesinde; bagging (farklı sınıflandırma algoritmalarının sonuçlarının ortalamasının alınmasıyla sonuç değerini elde edilmesi), boosting (farklı sınıflandırma algoritmalarının sonuçlarının farklı ağırlık değerlerine göre sonuç değerini elde edilmesi) ve özelliklerin farklı değerlerine göre farklı algoritmaların kullanılması gibi yöntemlere başvurulmaktadır. RO algoritması da, buna olanak sağlayantopluluk öğrenme algoritmalarından biridir. Birden fazla karar ağacı üreterek sınıflandırma yapmakta ve bu yolla sınıflandırma başarısını yükseltmeye çalışmaktadır. RO algoritmasına ait örnek bir gösterim Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Rassal orman algoritması

RO algoritması, Şekil 3.4'te görüldüğü gibi n sayıda karar ağacından tek bir sonuç üretmektedir. Bu algoritma, hem regresyon hem sınıflandırma problemlerine uygulanabilen bir makine öğrenme algoritmasıdır. Diğer yöntemlerden farklı olarak, hem veri setindeki örneklerden hem de özellikler içinden çok sayıda alt küme oluşturarak çok sayıda karar ağacı meydana getirilmekte ve bunlardan en iyisi seçilerek nihai tahmin sonucu

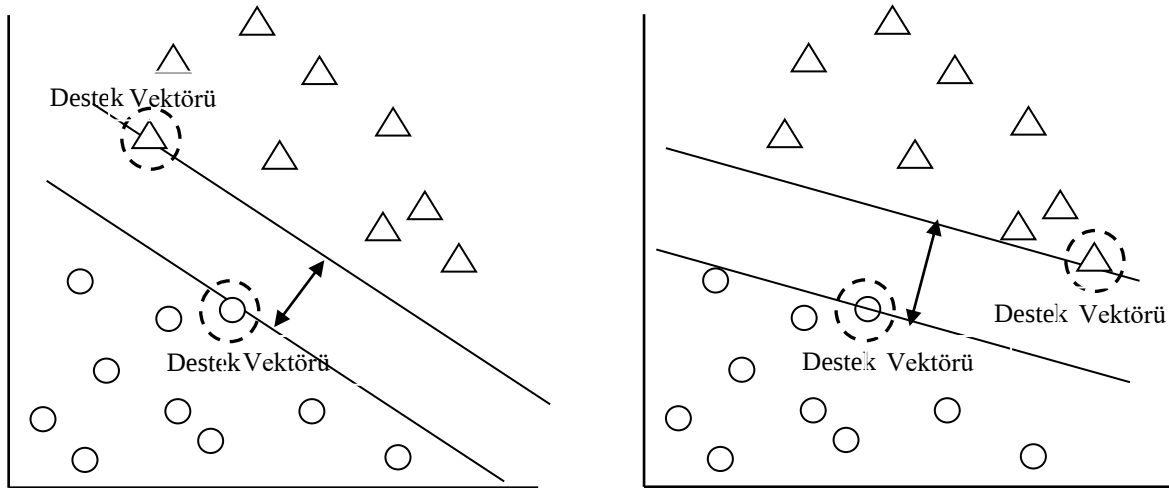
belirlenmektedir. Seçilen alt kümeler rassal olarak belirleneceği gibi uzman görüşü ile de belirlenebilmektedir.

3.3.4. Destek vektör makinesi

1963 yılında Vladimir Vapnik ve Alexey Chervonenkis tarafından temelleri atılan “Destek Vektör Makineleri (DVM)” istatistiksel öğrenme teorisine dayalı bir gözetimli öğrenme algoritmasıdır. Her ne kadar temelleri 60’lı yıllara dayansada 1995 yılında Vladimir Vapnik, Bernhard Boser ve Isabelle Guyon tarafından geliştirilmiştir [9].

DVM’ler günümüzde yüz tanıma sistemlerinden, ses analizine kadar birçok sınıflandırma probleminde kullanılmaktadırlar.

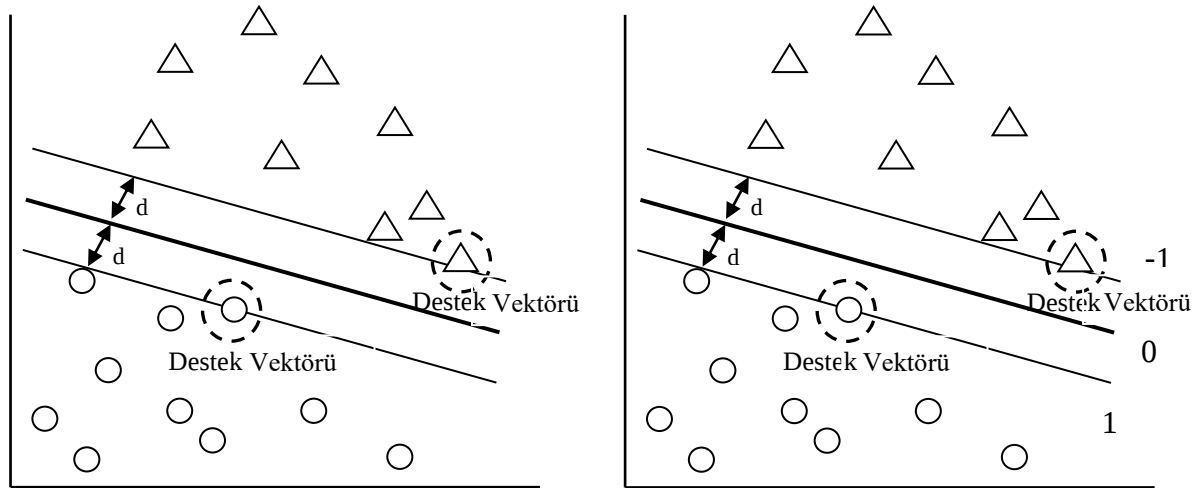
Destek Vektör Makineleri, temel olarak iki sınıfa ait verileri birbirinden en uygun şekilde ayırmak için kullanılsa da, birden fazla sınıfa ait verileri birbirinden ayırmak için de kullanılmaktadır. Birden fazla sınıf söz konusu olduğunda; ya ikili sınıflar düşünülerek veriler birbirinden ayrılmaktadır ya da bütün sınıfları birbirinden ayıran ortak bir düzlem elde edilmeye çalışılmaktadır. Şekil 3.5’te yer alan DVM mekanizması yer almaktadır.



Şekil 3.5. DVM mekanizması

Şekil 3.5’te görüldüğü gibi, destek vektör makineleri ile sınıfları birbirinden ayıran düzlem bulunmaya çalışılmakta ve bunu yapabilen birden fazla düzlem bulunabilmektedir. Bu

noktada da en iyi sınıflandırmanın yapılabilmesi için, bu sınıfların arasındaki uzaklığın maksimize edilmesi ve uzaklık maksimize edilirken yanlış grupta kalan eleman sayısının minimize edilmesi istenmektedir. Bunun için; her sınıf diğerinden, bir sınır çizgisiyle ayrılmakta ve bu sınır çizgisinin o sınıfa ait bir eleman ya da elemanların üzerinden geçmesi istenmektedir. Şekil 3.4'te de kesikli çizgiler içinde gösterilen bu elemanlar *destek vektörü* olarak adlandırılmaktadır. Sınıfların oluşturulacak sınır çizgilerinin birbirine paralel olması gerekmektedir. Daha sonra da, her iki sınıfın sınır çizgileri birbirine yaklaştırılarak ortak bir sınır elde edilmektedir. Bu ortak sınır çizgisi, her iki sınıfa da eşit uzaklıkta olan çok boyutlu bir düzlemi göstermektedir. Bu ortak sınır şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. DVM mekanizması-2

Şekil 3.6'da, bu iki sınıfı birbirinden ayıran ve her iki sınıfa eşit uzaklıkta bulunan düzlem koyu çizgi ile gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 3.6'da iki boyutlu olarak gösterilen destek vektörlerinin üzerinde bulunduğu düzlemler ve ortak sınır çizgisini gösteren düzlem, yapılan vektörel hesaplamalar sonucunda 1, 0 ve -1 değerlerine eşit olarak ifade edilebileceği gösterilmektedir. Yani, bunu sağlayan çok boyutlu düzlem, iki sınıf arasındaki uzaklığı maksimize eden ve yanlış sınıfta kalan eleman sayısını minimize eden düzlemdir.

3.3.5. K- en yakın komşu algoritması

K-en yakın komşuluk algoritması, uygulaması kolay gözetimli öğrenme algoritmalarındandır. Hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinin çözümünde kullanılıyor olmakla birlikte, endüstride çoğunlukla sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır.

KNN algoritmaları, 1967 yılında T. M. Cover ve P. E. Hart tarafından önerilmiştir. Algoritma, sınıfları belli olan bir örnek kümesindeki verilerden yararlanılarak kullanılmaktadır. Örnek veri setine katılacak olan yeni verinin, mevcut verilere göre uzaklığı hesaplanıp, k sayıda yakın komşuluğuna bakılmaktadır [10].

KNN algoritmasının işleyişi:

- İlk olarak k parametresi belirlenir. Bu parametre verilen bir noktaya en yakın komşuların sayısıdır. Örneğin: $k=3$ olsun. Bu durumda en yakın 3 komşuya göre sınıflandırma yapılacaktır.
- Örnek veri setine katılacak olan yeni verinin, mevcut verilere göre uzaklığı tek tek hesaplanır. İlgili uzaklık fonksiyonları yardımıyla ilgili uzaklıklardan en yakın k komşu ele alınmaktadır. Yeni veri, öznitelik değerlerine en yakına göre k. Komşu veya komşuların sınıfına atanmaktadır.
- Seçilen sınıf, tahmin edilmesi beklenen gözlem değerinin sınıfı olarak kabul edilmektedir. Böylece yeni veri etiketlenmiş olur [10].

Bu algoritmada sınıflandırma sırasında çıkarılan özellikler kullanılarak, sınıflandırılmak istenen yeni bireyin daha önceki bireylerden k tanesine yakınlığına bakılmaktadır. Örneğin $k = 3$ için yeni bir eleman sınıflandırılmak istendiğinde, bu durumda eski sınıflandırılmış elemanlardan en yakın 3 tanesi alınmaktadır. Bu elemanlar hangi sınıfa dahilse, yeni eleman da o sınıfa dahil edilmektedir. Mesafe hesabında genelde öklit mesafesi kullanılmaktadır ancak istenirse farklı bir mesafe ölçüsü de kullanılabilir.

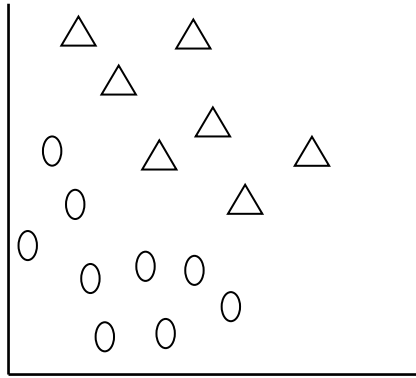
Genellikle, k değeri eşitlik olmaması için tek sayı olarak seçilmektedir. Farklı k değerlerine göre algoritmanın başarı derecesi de değişebilmektedir. KNN algoritmasında k değeri küçüldüğünde; komşuluk alanı küçülerek en yakın komşu belirlendiği için algoritma daha

hassas bir yapıya sahip olabilmektedir. Bununla birlikte yapılan denemelerde, k değerinin çok küçültülmesinin de sonucu iyileştirmediği görülebilmektedir.

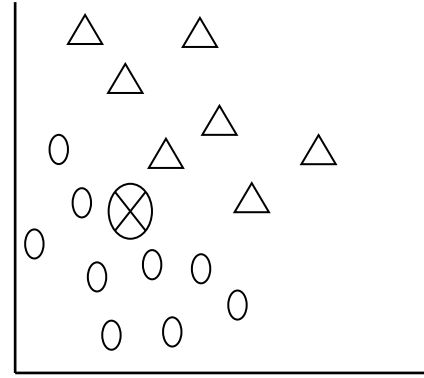
Yeni veriye, en yakın k komşuyu bulabilmek için; bu yeni verinin tüm verilere olan uzaklığı hesaplandığından algoritmanın çalışmasında fazla bir yük olduğu da düşünülebilmektedir. K en yakın komşu bulunduktan sonra, bu komşuların çoğunluğu hangi sınıftaysa, yeni veri de o sınıfa dahil edilmektedir. Burada, k değerinin artırılması ya da azaltılması sonucu algoritmanın başarı derecesinin değişebildiği görülmektedir.

KNN algoritmasının özetlenen çalışma şekli, Şekil 3.7’de de açıklanmıştır:

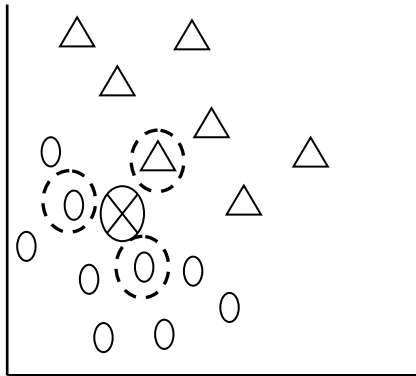
Başlangıç Durumu: Eldeki Veri Seti



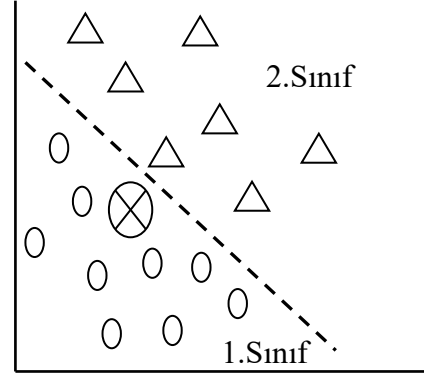
2.Durum: Yeni Veri Geldiğinde



3.Durum: $k=3$



Son Durum: Yeni Veri 1.Sınıfta



Şekil 3.7. KNN algoritması

Şekil 3.7’de KNN algoritmasının çalışmasına ait bir örneğe yer verilmiştir. Şekildeki başlangıç durumunda; eldeki verinin dağılımı görülmektedir. 2.durumda, veri setine ‘X’ ile işaretlenmiş yeni bir veri geldiği görülmektedir. Bu yeni verinin hangi sınıfa ait olduğuna karar verilebilmesi için 3.durumda görüldüğü gibi $k=3$ seçilerek veri setindeki tüm

elemanların yeni veriye olan uzaklığı hesaplanmış ve yeni veriye en yakın 3 komşu kesikli çizgilerle işaretlenmiştir. Son durumda ise, işaretlenen komşulardan daha fazla sayıda olanlar (2 tanesi) 1.sınıfta olduğundan yeni verinin de 1.sınıfta olduğuna karar verilmiştir.

3.4. Sınıflandırma Modelinin Değerlendirilmesi ve Performans Değerlendirme Ölçütleri

Daha iyi bir tahmin elde etmek için, genellikle toplam örnek sayısının $2/3$ 'ünün modeli eğitmek ve kalan $1/3$ 'ün test için kullanılması önerilmektedir. Bunun yanında, seçilen eğitim ve test kümelerinin rassal olarak belirlenmesi ve modelin bu şekilde birçok kez çalıştırılmasının da modelin gücünü artıracak belirtilmektedir. Ayrıca, örnek kümesinin k adet alt kümeye bölünerek her defasında k-1 alt kümenin eğitim, 1 kümenin test kümesi olarak alındığı ve k kez işlemin devam ettiği çapraz doğrulama yöntemi uygulanmaktadır. Sınıflandırmada kullanılan modelle ilgili hesaplamalar 'karışıklık matrisi' adı verilen, modelin sınıflara ilişkin doğru ve yanlış tahmin sayılarının yer aldığı bir matrise göre yapılmaktadır. Çizelge 3.1'de iki sınıfın yer aldığı bir örnek için yapılan tahmine ait örnek bir karışıklık matrisi verilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnek karışıklık matrisi

	Tahmin Değerleri		
Gerçek Değerler		Sınıf 1	Sınıf 2
	Sınıf 1	A	B
	Sınıf 2	C	D

a: Gerçekte 1 sınıfındayken, 1'de olduğu tahmin edilenlerin sayısı

b: Gerçekte 1 sınıfındayken, 2'de olduğu tahmin edilenlerin sayısı

c: Gerçekte 2 sınıfındayken, 1'de olduğu tahmin edilenlerin sayısı

d: Gerçekte 2 sınıfındayken, 2'de olduğu tahmin edilenlerin sayısı

Çizelge 3.1'de, a ve d doğru tahmin edilenlerin sayılarını; b ve c ise modelin yanlış tahmin sayılarını göstermektedir. Buna göre, modelin performansını ölçmek için çoğunlukla doğruluk (accuracy) ve hata oranı (error rate) kullanılsa da; sınıfların orantısız dağıldığı durumlarda model hakkında yeterli bilgiye sahip olabilmek için kesinlik (precision),

duyarlılık (sensitivity) ve özgüllük (specificity) değerlerinin de hesaplanması gerekmektedir. Bunlar açıklanacak olursa;

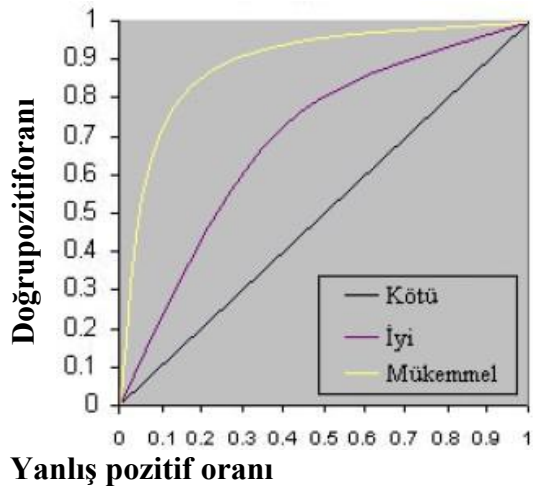
- Doğruluk; Sınıflayıcının ne kadar doğru tahmin yaptığının bir ölçüsüdür ve doğru tahmin sayısı, toplam örnek sayısına bulunarak hesaplanmaktadır. Tablo 3'te verilen karışıklık matrisine göre doğruluk değeri; $\frac{a+c}{a+b+c+d}$ ile elde edilir.
- Hata oranı; sınıflandırmadaki hatayı gösterir ve $1 - \text{Doğruluk}$ değerine eşittir.
- Kesinlik; tahminlenen değerlerin gerçekte kaç tanesinin o sınıfa ait olduğunu gösterir ve $\frac{a}{a+c}$ ile bulunur.
- Duyarlılık; doğru sınıfların ne kadar doğru sınıflandırıldığı ile ilgilidir. Tablo 3'teki örneğe göre; 1 sınıfında olanların ne kadar doğru sınıflandırıldığını gösterir; $\frac{a}{a+b}$ ile bulunur.
- Özgüllük; sınıflayıcının ne kadar gerçek negatif değeri doğru tahmin ettiğinin bir ölçüsüdür. Yani, 2 sınıfındakilerin ne kadar doğru tahmin edildiğini gösterir; $\frac{d}{c+d}$ ile bulunur.

Birden fazla modeli birbirleriyle karşılaştırmak için ise, ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi kullanılmaktadır. ROC eğrisi, ikili sınıflandırma problemleri için kullanılmakta ve bir sınıflandırıcının ne kadar iyi çalıştığının görülmesini sağlamaktadır.

ROC analizi, farklı klinik durumlarda uygulanan tanı testlerinin performansını belirlemek ve lojistik modeller, doğrusal sınıflama analizi gibi istatistiksel modellerin doğruluğunu değerlendirmek amacı ile kullanılan bir yöntemdir. Ek olarak bir tanı testinin performansını tanımlayarak yeni tanı testlerinin gelişimini sağlar. Aynı zamanda tanı testleri ve tahmin modellerinin değerlendirilmesi, doğruluğun sayısal sonuçlarla açıklanması ve tahminlerin doğruluğu arasında karşılaştırmaya yapılmasına olanak sağlamaktadır [11].

ROC eğrisi, tanı koymak amacıyla kullanılan bir değişkenin değişim genişliği içinde aldığı tüm değerlerin sırasıyla kesim noktası kabul edilmesiyle hesaplanacak duyarlılık değerlerinin, testin yanlış pozitif oranına ($1 - \text{özgüllük}$) karşı noktalanması ile elde edilmektedir. ROC eğrisinin oluşturulacağı koordinat sisteminde, Y ekseninde tanı testinin gerçek pozitif değeri (duyarlılık), X ekseninde ise yanlış pozitif değeri ($1 - \text{özgüllük}$) yer

almaktadır. Her kesim noktasındaki doğru pozitif ve yanlış pozitive karşılık gelen noktalar birleştirilerek ROC eğrisi çizilmektedir[11]. Şekil 3.8’de örnek bir ROC eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.8. Örnek ROC eğrisi [11]

4. KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

4.1. Giriş

Bir sistemde verilen kararların özellikleri, karar vericinin yönetsel seviyesine göre de değişiklik göstermektedir. Bu seviyeler aşağıdan yukarıya doğru; operasyonel, taktik ve stratejik olarak sıralanacak olursa, verilecek kararların da aynı sırayla yapısal, yarı-yapısal ve yapısal olmayan kararlar olarak üçe ayrıldığı söylenebilmektedir. Operasyonel seviyede verilen yapısal kararlar; genellikle otomatikleşen ve belli kuralların uygulanmasıyla ortaya çıkan kararlardır. Bu kararların alınmasında, çoğu zaman nicel ölçütler bulunmaktadır ve karar verici için çok da zor olmadan alınan kararlardır. Taktik seviyede ise, verilecek kararlar için bilgi ve tecrübe ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu kararlar; tam olarak bilinen ölçütlere göre ortaya çıkarılamayabilir ve karar vericiye de bağlı olduğu için yarı-yapısal kararlar olarak adlandırılmaktadır. Stratejik seviyede ise, verilecek kararlar tamamen karar vericinin bilgi ve birikimine bağlıdır, ayrıca işletme açısından daha önemli kararlardır ve yapısal olmayan kararlar olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte, artan bilgi ihtiyacı tüm karar seviyelerinde bilgi sistemlerinin kullanımını gerekli kılmıştır.

Bilgi sistem tiplerinin, literatürde çok farklı şekillerde gruplandığı söylenmektedir. Bunlardan en fazla ilgi gören sıralama aşağıda verilmiştir:

- Kayıt/Veri İşleme Sistemleri
- Yönetim Bilgi Sistemleri
- Karar Destek Sistemleri
- Ofis Otomasyon/Bilgi Sistemleri
- Üst Yönetim Destek Sistemleri
- Yapay Zeka ve Uzman Sistemler [12].

4.2. Karar Destek Sistemi Nedir?

Karar destek sistemleri, yönetsel problemlerin aşılması için kantitatif modelleri kullanma çabalarıyla ilk olarak 1970'te J.D.Little'ın çalışmasında ortaya konmuştur. Karar Destek Sistemleri teriminin kullanıldığı ilk çalışmanın ise, Gorry ve Scott Morton'un 1971 yılında yaptığı çalışmada yer aldığı söylenmiştir [12].

Karar destek sistemleri, karar alma durumundaki yöneticilere, model desteği, bilgi desteği, yazılım desteği, hesaplama desteği ve açılım (analiz) desteği ve benzeri destekleri sağlamak amacıyla geliştirilen bir yönetim bilgi sistem türüdür. Karar destek sistemleri, işletme yönetimi kararlarını desteklemek için, işletme içi ve işletme dışı kaynaklardan model tabanı, bilgi tabanı ve veri tabanı sağlayan, bilgisayar etkileşimli ve internet erişimli bir bilgi sistemidir [13].

Aşağıda, KDS için yapılmış çeşitli tanımlamalar yer almaktadır [12]:

- Bir KDS, kullanıcıya yarı-yapısal ve yapısal olmayan karar verme işlemlerinde destek sağlamak amacıyla, karar modellerine ve verilere kolay erişimi sağlayan etkileşimli bir sistemdir.
- KDS'ler, kararın yapısal olmadığı durumlarda karar alma işlemine yardımcı olmak için tasarlanmış, esnek ve etkileşimli bilişim teknolojisi sistemleridir.
- Karar vericinin yerine geçmesinden ziyade onun kararlarını destekleyen, yarıyapısal ve yapısal olmayan problemlerin çözümü için karar vericiye karar vermesinde yardımcı olan etkileşimli sistemlerdir.
- Karar verme sürecinde, yönetime destek vermek için hedeflenen bilginin üretilmesi ve sunulması için kullanıcı etkileşimli yazılım ve donanım vasıtalarının bütünleşik kümesinden oluşan etkileşimli bilgi sistemleridir.
- Bir KDS, değişik kaynaklardan topladığı bilgileri düzenleyerek, kararı modelleyerek, bilgileri analiz ederek ve değerlendirme sonuçlarını sunarak, belirli modeller kullanımı ile karar vericiye seçim sırasında destek veren bilgisayar temelli bir sistemdir.

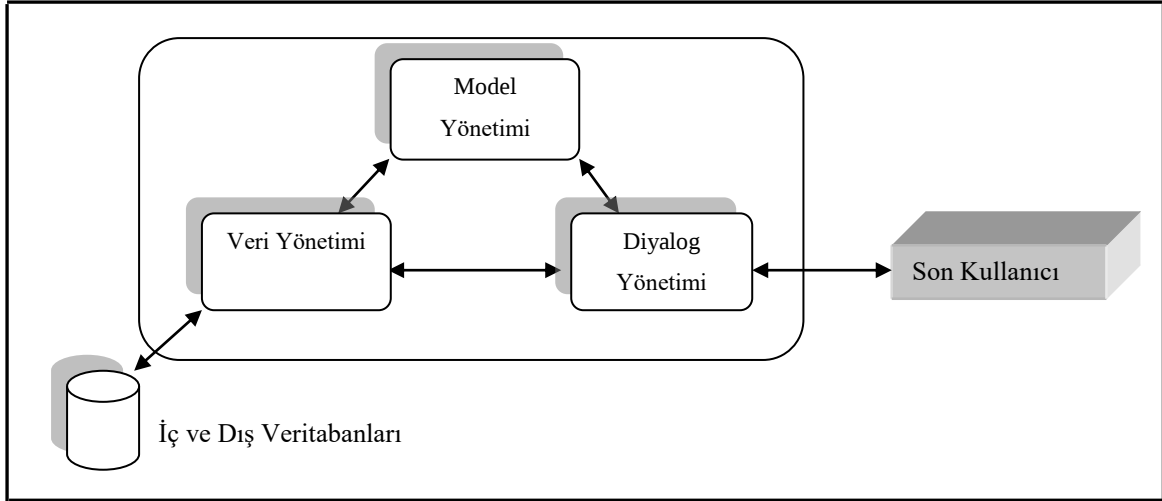
Genel bir ifadeyle KDS, verilmesi gereken kararlar ilgili veriyi daha iyi anlayarak, daha etkin karar seçeneklerini oluşturma, alternatifleri belirleme ve değerlendirme işlevlerinde destek sağlayan ve doğru karar verme olasılığını artıran sistemlerdir [12].

Karar destek sistemlerinin çeşitli özellikleri aşağıda verilmiştir [12]:

- Geleceği planlamaya yöneliktir.
- Yarı-yapısal ve yapısal olmayan kararlarda kullanılır.
- Karar vericinin yerine geçmekten ziyade, ona karar vermesinde yardımcı olur.
- Karar verme sürecinin tüm aşamalarını destekler.
- Kullanıcının kontrolü altındadır.
- Veri ve model tabanlarına erişimlidir.
- Veri inceleme ve çözüm üretmede analitik modeller kullanır.
- Kullanıcı etkileşimlidir. Bu nedenle karar verici, bir uzmandan çok az yardım alarak ya da almadan kullanabilir.
- Yoğun olarak Stratejik ve Taktik düzeydeki yöneticiler için, gerektiğinde düzeyler arası bütünleşmeye de destek vererek, karar verme desteği sağlar.
- Birden fazla bağımsız ya da birbirine bağımlı kararlar için destek sağlayabilir.
- Bireysel, grup tabanlı karar verme desteği sağlar.
- Kullanım kolaylığı sağlar.
- Değişen şartlara ve karar durumlarına uyum sağlayabilecek esnekliktedir.
- Düzensiz ve planlanmamış zaman aralıklarında kullanılabilir.

4.3. Karar Destek Sisteminin Bileşenleri

KDS'ler, veri yönetimi, diyalog yönetimi ve model yönetimi olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. KDS'nin yapısı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1.KDS bileşenleri

Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi, veritabanı KDS içerisinde Veri Yönetimi ile bağlantılı olup, KDS’nin tüm bileşenleri birbirleriyle bağlantılıdır. Elde edilen bilgiler ise bir arayüz aracılığıyla karar vericiye iletilmektedir.

Veri yönetimi

KDS’nin sahip olduğu verilerin saklanıp idare edildiği bölümdür. Veri Yönetimi’de, veritabanı ve veritabanı yönetim sistemi olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Veritabanı, çeşitli yollarla toplanan verilerin saklanmasını sağlamaktadır. Doğru kararları alabilmek için karar vericinin doğru veriye hızlı bir biçimde ulaşmasını sağlayabilmede veritabanları büyük önem taşımaktadır. Veritabanı yönetim sistemi ise, veriye erişmeyi sağlayan sistemdir.

Model yönetimi

KDS’nin verileri kullanarak gerekli çözümleri üretebilmesi için kullandığı ilişki ve kantitatif modellerin tutulduğu bölümdür. Model tabanı ve model tabanı yönetim sistemi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Model tabanı veritabanının modelleme bölümüdür. KDS veri tabanı KDS verilerini tutarken, model tabanı, KDS’nin değişik analizler yapması için kullandığı çeşitli istatistiksel, finansal, matematiksel ve diğer kantitatif modelleri içermektedir. Model tabanı yönetim sistemi, analitik araç gruplarının

idare edilmesinde kullanılır. Bu sistem, veri ve önemli parametrelerin modellere girişini kolaylaştırdığı gibi, değişik modellere kolayca erişimi ve birden fazla modelin sıralı işlemlerini de sağlayabilir [13].

Diyalog yönetimi

Diyalog yönetimi, KDS ile son kullanıcı arasındaki arayüzdür. Kullanıcının sistemle doğrudan temasta bulunduğu tek bileşendir. Karar verici bu arayüz sayesinde; verilere, modellere ve KDS'nin işlevsel bileşenlerine kolaylıkla ulaşabilmeli ve kullanabilmelidir [13].

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Burada yer verilen çalışmalara, Gazi Üniversitesi veri tabanı kullanılarak; Science Direct, Springer ve Web Of Science üzerinden erişim sağlanmıştır. İncelenmiş olan bu çalışmalar ‘havayolu çizelgeleme, uçuş çizelgeleme, uçak çizelgeleme, ekip çizelgeleme, yeniden çizelgeleme ve bozulma yönetimi’ başlıklarıyla aranmıştır. Bununla birlikte, havayollarında karşılaşılabilecek beklenmeyen olaylara karşı alınabilecek önlemler için bozulma yönetimi incelenirken ‘güçlü çizelgeleme’ kavramına da çokça rastlanmıştır ve bu tezde ilgilenilen konuyla bağlantısı olduğu için bu çalışmalara da yer verilmiştir.

İncelenen çalışmalara;

- Literatürde Havayolu Çizelgeleme Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar,
- Literatürde Havayolu Bozulma Yönetimi Üzerine Yapılan Çalışmalar,
- Literatürde Gecikme Tahmini Üzerine Yapılan Çalışmalar,
- Literatürde Veri Madenciliği Üzerine Yapılan Çalışmalar,
- Literatürde Karar Destek Sistemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar,

ana başlıkları altında yer verilmiş ve son olarak uçuş gecikmeleri, veri madenciliği ve karar destek sistemlerinin bir arada bulunduğu çalışmalara dikkat çekilmiştir. İlgilenilen konulara yönelik olarak incelenen; 1995-2022 yılları arasında yapılmış olan bu çalışmalara, yukarıda yer alan başlıklar içerisinde yer verilmiş ve yıllara göre özetlenmiştir.

Ayrıca veri madenciliği ve karar destek sistemleri de; havayolu çizelgeleme probleminde kullanımları açısından incelenerek; bu tezin içeriğiyle benzeşen; havayolu çizelgeleme, veri madenciliği, karar destek sistemlerinin birlikte yer aldığı çalışmalar aranmıştır.

5.1. Literatürde Havayolu Çizelgeleme Problemi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde, havayollarında çizelgeleme, karşılaşılan çizelgeleme problemleri ve önerilen çözüm yöntemlerine genel bir bakış sağlanmıştır. Uçuş gecikmelerine, bir bütün olarak bakıldığında; çizelgelemenin farklı aşamalarından kaynaklanabileceği de düşünülerek her havayolu çizelgeleme aşaması için incelemeler yapılmıştır.

Bölüm 2’de bahsedilen çizelgeleme süreçlerinin literatürde birçok çalışmada birlikte de ele alındığı görülmüş ve entegre edilmesi söz konusu olmuştur. Böylece, etkinlik ve verimlilikle birlikte dinamik çizelgeleme ortamına uyumun da artacağı düşünülmektedir.

Bununla birlikte, hava taşımacılığı bir hizmet sistemi olarak ele alındığında bu sistemlerde çizelgeleme, havayollarının kendisinden başka; yolcu talebi, havaalanları, kanunlar, diğer havayolları, hava trafik sistemi gibi birçok farklı boyuta göre farklı şekillerde incelenmiş ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aşağıda, literatürde yer alan tüm bu çalışmalara ait örneklere de yer verilmiştir.

Literatürde, havayolu çizelgeleme konulu çalışmaların, talebin modellenmesi ve yönetilmesi konularından başlayarak gerçekleştirildiği görülmüştür. Kaynakların en iyi şekilde kullanılarak karın maksimize edilebilmesi için talebin doğru yönetilmesi gerektiği açıktır.

Lohatepanont ve Barnhart (2004), entegre çizelge tasarımı ve filo atama için model ve algoritmalar önermişlerdir. Bu algoritmalarla, eş zamanlı olarak uçuş bacaklarının seçimi ve uçak tiplerinin atanmasıyla havayolu planlamayı optimize etmeye çalışmışlardır. Verilen matematiksel modelin çözümü için sütun ve satır üretme algoritmaları kullanılmıştır. [14].

Merciera ve diğerleri (2005), entegre uçak rotalama ve ekip çizelgeleme problemi için sütun oluşturma ve Benders ayrıştırma yöntemlerinin birlikte kullanıldığı üç aşamalı bir çözüm metodolojisi önermektedir. Çalışmada önerilen modelde, uçak rotalama ve ekip çizelgeleme kısıtlarına ek olarak bu süreçleri bağlayan kısıtlara da yer verilerek süreçler ilişkilendirilmiştir. Sonuçta, problem her uçak tipi için uçak rotalama ve ekip çizelgeleme yapan tek bir probleme dönüştürülmektedir [15].

Grönkvist (2006)’da, ‘Kuyruk Atama’ olarak adlandırılan her bir uçağın hangi uçuşu karşılayacağı problemi yani uçak rotalama ele alınmıştır. Filo atama ve uçak rotalama birlikte incelenerek uçak çizelgeleme problemiyle ilgilenilmiştir. Burada, kısıt programlamanın sütun oluşturma yöntemine nasıl bir katkı sağlayacağı araştırılmış ve entegre edilerek kullanılmıştır [16].

Mercier ve Soumis (2007), entegre uçak rotalama, ekip çizelgeleme ve yeniden uçuş zamanlama modeli önermişlerdir. Modelde verilen bir zaman aralığı için kalkış zamanları ayarlanırken uçak rotalarıyla uygun ekipler eşleştirilmektedir. Bu çalışmada da, Benders ayrıştırma, sütun oluşturma yöntemleriyle birlikte dinamik kısıt üretme prosedürünün kullanıldığı bir metodoloji geliştirilmiştir [17].

Soomer ve Franx (2008)'de, şirket tercihlerine göre, uçak varışlarının çizelgelenmesi için sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir. Burada tek pist olduğu düşünülmüş ve hava trafik sistemi dikkate alınmıştır [18].

Yan ve diğerleri (2008), iyi bir uçuş çizelgesinin yalnızca uçak filoları ve ilgili operasyonlarını değil, talep ve stokastik değişimleri de dikkate alması gerektiğini söylemişlerdir. Geçmişte havayolu çizelgeleme problemlerinde, ortalama talep miktarının kullanıldığı ancak burada stokastik talep dikkate alınarak çizelgeleme modelinin oluşturulduğu söylenmiştir. Çalışmada, stokastik talepleri dikkate alan iki sezgisel yöntem geliştirilmiştir [19].

Çankaya (2008)'de havayolu ekip çizelgeleme problemi için bir sütun oluşturma yaklaşımının önerildiği bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, havayolu ekip çizelgelemenin, personel çizelgeleme uygulamalarının en kapsamlılarından biri olduğu ve ayrıca havayolu planlama sürecindeki en önemli aşamalardan biri olduğu söylenmiştir. Sütun oluşturma algoritmasında, ana problem bir küme kaplama problemi, alt problem ise bir en kısa yol problemi olarak formüle edilmiştir. Havayolu ekip çizelgelemenin, ekonomik boyutu ve etkisi göz önüne alındığında, personel çizelgeleme uygulamalarının en kapsamlılarından biri olduğu söylenmiştir. Ayrıca havayolu planlama sürecindeki en önemli aşamalardan biridir. Bu nedenle, ekip çizelgeleme problemi personel çizelgeleme problemleri arasında ve bunların ulaştırma sistemlerindeki uygulama alanları arasında oldukça büyük öneme sahiptir [1].

Papadakos (2009)'da havayolu çizelgeleme problemlerinin filo atama, havaaracı bakım rotalama ve ekip çizelgeleme alt problemlerinin bileşiminden oluştuğu söylenmiştir. Havayolu çizelgelemede tümüyle optimal bir çözümün elde edilmesinin zor olduğunun düşünüldüğü ve bu nedenle birinin çıktısının bir sonrakinin girdisini oluşturduğu bu alt problemlerde optimal çözüm arandığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada ise, havayolu

izelgeme için entegre bir model verilmiş ve çözüm için Benders ayırıştırma ile sütün oluşturma algoritmaları kullanılmıştır [20].

Orhan ve diğerkleri (2010)'da havayolu operasyonlarında planlama ve çizelgeme faaliyetleri; uçuş çizelgeme, uçak çizelgeme, ekip çizelgeme ve düzensiz olayların yönetimi olmak üzere dörde ayrılmıştır. Bu çalışmada, her bir çizelgeme sürecinde karşılaşılabilecek problemler incelenmiştir. Ayrıca, büyük ölçekli problemler için çözüm sürelerini minimize edecek yeni yöntemlerin geliştirilmesi gerektiğiy düşünülmüştür [21].

Maenhout ve Vanhoucke (2010), havayolu ekip çizelgelerde, tüm personel maliyetlerini minimize edecek şekilde her personel için nöbet listesi oluşturmada melez dağıtılmış arama sezgiseli kullanmışlardır [22].

Weide ve diğerkleri (2010)'da, güçlü ve entegre uçak rotalama ile ekip eşleme problemleri için iteratif bir yaklaşım önerilmiştir. Uçak rotalama ve ekip çizelgeme problemlerinin genellikle birbirinden bağımsız olarak ele alındığy ancak bu iki problemin birbirinden bağımsız olmadığy ve güçlü bir ekip eşleme çözümünün uçak rotalamaya bağılı olduğy söylenmiştir. Literatürde bu iki problemin entegre olarak çözülebilmesi için önerilen en iyi yöntemin Benders ayırıştırma olduğy ancak yaklaşık optimal çözümler elde edildiğiy söylenmiştir. Bu çalışmada ise, bu iki problem tek bir entegre modelle formüle edildikten sonra, ilk olarak uçak rotalama dikkate alınmadan ekip eşleme problemi çözülmüş ve daha sonra uçak rotalama problemi ekip eşlemede elde edilen çözümü dikkate alarak çözülmüştür. Bu işlemlere daha iyi bir çözüm bulunmayana kadar devam edilmiş ve böylece bu problemleri iteratif olarak çözen bir yaklaşım önerilmiştir [23].

Chen ve diğerkleri (2010), koordine uçak rotalama ve havayolu uçuş çizelgeme problemleri için Lagrange genişletme temelli algoritmalar geliştirmişlerdir. Oluşturulan bu modeller öncelikle karışık tamsayılı çok rnl şebeke akış problemi olarak formüle edilmiştir [24].

Cadarso ve Marin (2011), havayolu şirketlerinin başarısının ne kadar iyi çizelgeler yapabildiklerine bağılı olduğunu söylemişlerdir. Genellikle havayolu çizelgeme problemlerinin ayrı ayrı çözülerek optimize edildiğiy belirtilmiştir. Bu çalışmada ise, uçuş

çizelgeleme ve filo atama problemleri birlikte ele alınarak entegre bir çözüm için matematiksel model geliştirilmiştir [25].

Deng ve Lin (2011), havayolu ekip çizelgeleme problemini, gezgin satıcı problemi olarak formüle etmişler ve çözüm için karınca kolonisi optimizasyonuna dayanan bir algoritma önermişlerdir [26].

Saddoune ve diğerleri (2011)'de, entegre ekip çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Önerilen sütun oluşturma yöntemi kısıt ekleme ve komşulukları kullanma yoluyla geliştirilmiştir [27].

Jacobs ve diğerleri (2012), havayolu ortamının çok rekabetçi ve dinamik olduğunu ayrıca büyük ölçekli gerçek zamanlı çözümler arandığını söylenmişlerdir. Havayolu planlama ve çizelgelemenin, yöneylem araştırması ve matematiksel modelleme için mükemmel bir örnek olduğu da belirtilmiştir. Çizelgeleme sürecinde; Pazar tahmini, filo atama, hava aracı rotalama ve hava aracı bakım rotalama problemleri ele alınmış daha sonra da ekip çizelgeleme entegre edilmiştir [28].

Orhan ve diğerleri (2012), bütünleşik uçak rotalama ve bakım çizelgeleme için hedef programlama kullanmışlardır. Yazarlar, genellikle bakım planları ve uçak rotalarının ayrı ayrı tutulduğu ve ortaya çıkabilen uyumsuzlukların yedekteki uçaklarla karşılandığı söylenmiştir. Bu nedenle bakım planlama ve uçak rotalamanın birlikte ele alınmasının oldukça önemli olduğu söylenmiştir. Önerilen tamsayılı programlama modeli GAMS'te CPLEX çözücü ile çözülmüştür [29].

Ekip çizelgeleme problemi, Azadeh ve diğerleri (2013) tarafından toplam maliyeti minimize edecek ve yasal sınırlamaları karşılayacak şekilde ekip üyelerinin uçuşlara atanması olarak tanımlanmıştır. Bu problemin NP-zor ve kombinatoriyal en iyileme problemi olduğundan çözüm zamanının uzun olduğu söylenmiş ve çözüm için hibrit kuş sürüsü optimizasyonu kullanılmıştır. Literatürde, ekip çizelgeleme problemlerinde genetik algoritma ve karınca kolonisi optimizasyonunun yoğun olarak kullanıldığı belirtilmiş ancak önerilen yöntemin daha üstün olduğu söylenmiştir [30].

Saddoune ve diğerkleri (2013)'te, her bir ekip elemanı için başlayıp biten tüm uçuşları ve dinlenmeleri dikkate alan yalnızca uçuş ekibi eşleme problemi ele alınmıştır. Yapılan çalışmada, literatürde yer alan 3 aşamalı sezgisel yöntemin yerine sütun oluşturmaya dayanan başka bir yöntem önerilmiştir [31].

Pita ve diğerkleri (2014), yerel otoritelere yardımcı olmayı amaçlayan bir filo atama ve uçuş çizelgeleme için optimizasyon modeli önermişlerdir. Yazarlar, literatürde uçuş çizelgeleme ve filo atama problemlerine çoğunlukla havayolu şirketlerinin bakış açısıyla bakıldığını söylemişlerdir ve burada amaç havayolunda karı maksimize etmek değil, toplam sosyal maliyeti minimize etmek olmuştur [32].

Dunbar ve diğerkleri (2014), entegre uçak rotalama, ekip eşleme ve yeniden zamanlama konusunda bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, uçak rotalama ve ekip eşleme için matematiksel modeller verilmiş ve yeniden zamanlama için geliştirilen algoritma ile entegre edilmiştir [33].

Dong ve diğerkleri (2016), entegre uçuş çizelgeleme ve filo atama problemi için kesikli seçim modeli tabanlı karışık tamsayılı iki model önermişlerdir. Bu modellerin ilkinde yolcu, ikincisinde fiyat esnekliği modele dahil edilmiş ve fiyat esnekliğinin karlılığı artırdığı söylenmiştir. Çözüm için kullanılan sezgisel algoritmanın ise, CPLEX'ten daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir [34].

Abdelghany ve diğerkleri (2017), rekabet şartları altında kaynak kullanımındaki etkinliği garanti ederken havayolu gelirini de maksimize eden uçuş çizelge planlama konusunda modelleme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada problem iki seviyeli bir matematiksel model şeklinde verilmiştir. Çözüm için ise, genetik algoritmanı da kullanıldığı sezgisel bir yaklaşım önerilmektedir [35].

Cadarso ve Celis (2017), müşteri kayıplarını iyileştirmek için stokastik talep ve belirsiz operasyonel koşullar altında; oluşturulmuş çizelge ve filo atamalarını güncellemek üzere matematiksel bir model önermişlerdir. Büyük ölçekli bir problem olduğundan çözüm için Benders ayrıştırma metodu kullanılmıştır [36].

Deveci ve Demirel (2018)'de, havayolu ekip çizelgeleme çalışmalarına ait literatür incelemesi yapılmıştır [2].

Beulen ve diğerleri (2020), dinamik ekip çizelgeleme problemini ele almışlar ve çalışanların isteklerini dikkate alan kişiselleştirilmiş nöbet listesi oluşturma konusunda ilk olacak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada problemin doğrusal tamsayılı programlama modeli sütun üretme yöntemiyle çözülmüş ve istekleri sınıflandırarak havayolunun daha iyi bir karar vermesini sağlamak için sinir ağları kullanılmıştır [37].

Khanmirza ve diğerleri (2020), optimal entegre havayolu çizelge tasarımı ve filo ataması için sezgisel bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Çalışmada, uçuş çizelge tasarımı ve filo atamanın maliyet ve gelirler üzerinde en çok etkiye sahip iki bileşen olduğu söylenmiştir. Problemin çözümü için karışık tamsayılı bir model geliştirilmiş ancak büyük ölçekli problemlerde bu yöntemin kullanışlı olmayacağı belirtilmiştir. Bu nedenle, problemin çözümü için yönetici bağımlı genetik algoritma geliştirilmiştir. Ayrıca bu yöntemin, yeniden çizelgeleme için de kullanılabileceği söylenmiştir [38].

Yaakoubi ve diğerleri (2020), dinamik havayolu ekip eşleme problemi için sütun üretme kullanmışlar ve buna entegre olarak makine öğrenmesi temelli sezgisel bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Böylece, aynı ekiple uçulabilecek uçuşların kümesi oluşturularak karar vericiye sunulmaktadır. Bu çalışmanın sütun üretimi ve makine öğrenmesini birlikte kullanan ilk çalışma olduğu söylenmiştir [39].

Ahmed ve diğerleri (2022), entegre filo atama, havaaracı rotalama ve ekip eşlemeyi ele alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Havaaracı bakım kısıtları ve personelin çalışma kurallarına göre çizelgelenmiş her bir uçuşa, uçak ve ekip ataması yapılmıştır. Çalışmada, problem karışık tamsayılı programlama modeli olarak formüle edilmiş ve çözüm için ayrıştırma ve yakınlık arama algoritmalarından oluşan, matamatiksel programlama ve metasezgisel yöntemlerin kombine edilmesiyle ortaya çıktığı için 'matheuristic' olarak adlandırılan yöntem önerilmiştir [40].

Çizelge 5.1.'de şimdiye kadar bahsedilen çalışmalar yıl, yazar, çalışma konusu ve kullanılan çözüm yöntemine göre sıralanmıştır.

Çizelge 5.1. Havayolu çizelgeleme aşamaları ve yapılan çalışmalar

Yıl	Yazar	Çözüm Yöntemi	Çalışma Konusu
2004	Lohatepanont ve Barnhart	Optimizasyon, sütun ve satır üretme	Uçuş çizelgeleme ve filo atama
2005	Merciera ve diğerleri	Sütun oluşturma ve benders ayrıştırma	Entegre uçak rotalama ve ekip çizelgeleme
2006	Grönkvist	Kısıt programlama ve sütun oluşturma	Uçak çizelgeleme
2007	Mercier ve Soumis	Sütun oluşturma ve benders ayrıştırma	Entegre uçak rotalama ve ekip çizelgeleme
2008	Soomer ve Franx	Sezgisel yöntem	Uçuş çizelgeleme
2008	Yan ve diğerleri	Sezgisel yöntem	Havayolu çizelgeleme
2008	Çankaya	Sütun oluşturma	Ekip çizelgeleme
2009	Papadacos	Sütun oluşturma ve benders ayrıştırma	Havayolu çizelgeleme
2010	Orhan ve diğerleri	İnceleme	Havayolu çizelgeleme süreçleri
2010	Maenhout ve Vanhoucke	Melez sezgisel yöntem	Ekip çizelgeleme
2010	Weide ve diğerleri	İteratif model çözümü	Ekip çizelgeleme ve uçak rotalama
2010	Chen ve diğerleri	Lagrange genişletme temelli algoritma	Rotalama ve havayolu uçuş çizelgeleme
2011	Cadarso ve Marin	Matematiksel model	Uçuş çizelgeleme ve filo atama
2011	Deng ve Lin	Karınca kolonisi algoritması	Ekip çizelgeleme
2011	Saddoune ve diğerleri	Sütun oluşturma	Ekip çizelgeleme
2012	Jacobs ve diğerleri	Matematiksel modelleme	Pazar tahmini ve tüm havayolu çizelgeleme Süreçleri

Çizelge 5.1 (devam) Havayolu çizelgeleme aşamaları ve yapılan çalışmalar

2012	Orhan ve diğerleri	Hedef programlama	Bakım planlama ve uçak rotalama
2013	Azadeh ve diğerleri	Kuş sürüşü optimizasyonu	Ekip çizelgeleme
2013	Saddoune ve diğerleri	Sütun oluşturma ve sezgisel	Ekip eşleme
2014	Pita ve diğerleri	Optimizasyon	Uçuş çizelgeleme ve filo atama
2014	Dunbar ve diğerleri	Sezgisel algoritma	Uçak rotalama, ekip eşleme, yeniden zamanlama
2016	Zhang ve diğerleri	Sezgisel algoritma	Uçuş çizelgeleme ve filo atama
2017	Abdelghany ve diğerleri	Genetik algoritma ve sezgisel	Uçuş çizelgeleme
2018	Deveci ve Demirel	Literatür incelemesi	Ekip çizelgeleme
2020	Beulen ve diğerleri	Dogrusal tamsayı programlama ve sinir ağları	Dinamik ekip çizelgeleme
2020	Khanmirza ve diğerleri	Genetik algoritma	Uçuş çizelge tasarımı ve filo atama
2020	Yaakoubi ve diğerleri	Sütun üretme ve makine öğrenmesi temelli Sezgisel yaklaşım	Dinamik ekip eşleme
2022	Ahmed ve diğerleri	Matematiksel programlama ve meta sezgisel	Entegre filo atama, uçak rotalama ve ekip eşleme

Çizelge 5.1’de ekip çizelgelemenin araştırmacılar tarafından daha çok ilgi gördüğü söylenebilmektedir. Bununla birlikte, yapılan tüm çalışmalarda çizelgeleme problemlerinin NP-zor olması nedeniyle çözüm yöntemi olarak sezgisel yöntemlere çoğunlukla başvurulduğu görülmüştür.

5.2. Literatürde Havayolu Bozulma Yönetimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Literatürde, havayollarında beklenmedik olayların yönetimine; çizelge düzeltme/iyileştirme –recovery- ‘nin yanında bozulma yönetimi – disruption management- başlığıyla da yer verilmiştir. Bu nedenle bu bölümde yer alan çalışmalar; bu iki konuyu da içermektedir. Bununla birlikte, ‘*çizelgenin bozulması*’ ya da ‘düzensiz olaylar – irregularity’ kavramları ile *güçlü çizelge* tasarımı içerisinde de karşılaşıldığı için güçlü çizelgeleme konusundaki çalışmalar da incelenerek farkların anlaşılması hedeflenmiş ve tüm bu çalışmalardan yararlanılmıştır.

Havayollarında bozulma yönetimi, son yıllarda araştırmacıların oldukça fazla ilgisini çekmektedir. Tahmin edilemeyen olaylar karşısında, bozulan çizelgenin düzeltilmesi için operasyon kontrol merkezinde verilen kararların analiz edilmesi, kolaylaştırılması, bu kararlara hız kazandırılması ve gelecek çalışmalara yardımcı olunabilmesi için birçok çalışma yapıldığı görülmüştür. Su ve diğerleri (2021) ile Hassan ve diğerleri (2021)’de çizelge düzeltme ile ilgili çalışmalar incelenmiştir [41,42].

Su ve diğerleri (2021), uçak yeniden çizelgeleme, ekip yeniden çizelgeleme ve yolcuları da dikkate alan entegre yeniden çizelgeleme için yapılan çalışmaları incelemiş ve bu konulardaki temel matematiksel modellere yer vermişlerdir. Ayrıca, çalışmada uçuş düzeltme operasyonlarını şöyle sıralamışlardır [41]:

- Uçuşların geciktirilmesi,
- Uçuşların iptal edilmesi,
- Kaynakların yer değiştirmesi; burada uygun olan bir uçak ya da ekip başka bir uçuş için kullanıldığında, ilgili uçak ya da ekibin rotası da değişmiş olmaktadır,
- Gerektiğinde kullanılmak üzere kaynakların ayrılarak hazır bekletilmesi,
- Hız kontrolü; bozulmanın neden olduğu gecikmeyi azaltmak için uçuştaki hızı artırıp uçuş süresinin azaltılması,
- Yolcuların seyahatinin başlangıç ve bitiş noktası arasında alternatif yolların kullanılması.

Hassan ve diğerleri (2021)'de havayollarında bozulma yönetimi için bir literatür incelemesi yapılmış ve operasyon kontrol merkezinde karar destek aracı olarak önerilen metodolojileri incelemişlerdir. Havayollarında bozulma yönetimi, yapılacak iyileştirmeler açısından dört bölümde incelemiştir. Bunlar; uçak, ekip, yolcu ve entegre iyileştirmelerdir. İncelenen yayınlar, içerdikleri teknikler ve iyileştirme yaptığı bölüme göre sınıflandırılarak verilmiştir [42].

Bu bölümde de, beklenmedik olayların yönetilmesi konusunda yapılan çalışmalara çizelge düzeltme ve güçlü çizelgeleme açısından yer verilmiştir.

Peterson (1986)'de havayolu çizelgelemede dinamiklik kavramından bahsedilmiş ve Berge ve Hopperstad (1993)'te, yolcu tahminlerine göre yeniden filo atama fikri ortaya atılmıştır [43].

Teodorovic ve Stojkovic (1995), havayolu çizelge bozulmalarını azaltmak için dinamik programlamaya dayanan bir model ve çözüm için sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Üretilen yeni uçuş çizelgesi ile yeni uçak ve personel rotalarından uygun olanın çalışanın kendi kararı ile seçilebileceği söylenmiştir [44].

Thrampoulidis ve diğerleri (1997)'de, günlük planlı aktiviteleri bozan beklenmeyen olayların, kaynak yönetimi problemini ortaya çıkardığı söylenmiştir. Havayollarındaki günlük operasyonlarda karşılaşılan kaynak yönetimi probleminden de, yeniden çizelgeleme olarak bahsedilmiş ve bu konuda çözüm için bilgisayar sistemlerinin gerekliliği vurgulanmıştır. Geliştirilen nesne tabanlı yöntemde de, havayolu operasyonları kullanılmıştır [45].

Aldelghany ve diğerleri (2004)'te, havayolu operasyonlarının tam zamanında gerçekleşmesinin, müşteri memnuniyetinin sağlanması ve yenilerinin kazanılması konusunda anahtar faktör olduğu söylenmiştir. Çalışmada, uçuş gecikmeleri ve gelecekte karşılaşılabilecek düzensizliklere karşı ikazları içeren ve en kısa yol algoritmasını temel alan bir model geliştirilerek bir operasyon kontrol merkezinde uygulanmıştır [46].

Abdel-Aty ve diğerleri (2007), gecikmelere neden olan periyodik faktörleri tespit etmek için istatistiksel yöntemleri kullanan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [47].

Lee ve diğerkleri (2007), uçuş çizelgelerinin çoğunlukla gerçek operasyonları dikkate almadığını söylenmişlerdir. Mevcut uçuş çizelgelerinin gücünü ve maliyetleri iyileştirmek için problem öncelikle çok amaçlı programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Uçuş, uçak, ekip çizelgelerinin havayolu tarafından verildiği kabul edilmiş ve bu çalışma ile uçuş çizelgeleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Çözüm için genetik algoritma geliştirilmiş ve her uçuşun kalkış saatinin yeniden zamanlanması yoluyla probleme çözüm aranmıştır. Sonuçlar ise simülasyon sonucu elde edilen değerlere göre değerlendirilmiştir [48].

Medard ve Sawhney (2007), havayolu ekip çizelgeleme probleminde iyileştirme ve yeniden planlama yapmak için sütun üretmeye dayanan bir algoritma kullanmışlardır. Burada, ekip eşleme ve nöbet listesi oluşturma problemleri birlikte ele alınmıştır [49].

Warburg ve diğerkleri (2008), dinamik havayolu çizelgelemede, uçuşlar için yeniden zamanlama ve uçakların yeniden atanmasını analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada önerilen teknik, yer ayırtma prosesi boyunca uçak tiplerinin uçuşlara yeniden atanması ve kalkış saatlerinin değiştirilmesi yoluyla müşteri talebini karşılamaktadır. Çalışmada yer alan modeller önceki yıllarda yapılmış çalışmalardan alınmış olup; statik ve dinamik olmak üzere iki farklı durumda kullanılmıştır. Statik durumda, müşteriler orijinal çizelgeye atanırken dinamik durumda mevcut çizelge yeniden optimize edilmektedir [50].

Jiang ve Barnhart (2009)'da, dinamik havayolu çizelgelemenin yer ayırtma periyodu içerisinde uçuş bacaklarının yeniden zamanlanması ve uçakların yeniden atanması yoluyla uçuş çizelgesinde ufak değişiklikler yaparak kapasite kullanımı ve karı artıran bir yaklaşım olduğu söylenmiştir [51].

Clausen ve diğerkleri (2010), havayolu endüstrisinde bozulma yönetimi için bir literatür araştırması gerçekleştirmişlerdir. Yeniden ekip çizelgeleme, yeniden uçak çizelgeleme, yeniden yolcu çizelgeleme ve tüm bu kaynakların entegre çizelgelenmesi konularında gerçekleştirilen çalışmalar ve çözüm önerileri incelenmiştir. Ayrıca, ileri etkili çizelgelemenin de, bozulma yönetiminin doğal bir parçası olduğu söylenerek bu konudaki çalışmalar da incelemeye dahil edilmiştir [52].

Liu ve diğerkleri (2010), günlük kısa mesafeli uçak çizelgelerinin iyileştirilmesi problemi ele alınmıştır. Mevcut uçuş planlarının hava durumu ya da mekanik nedenlerle değişmesine çokça rastlandığı söylenmiştir. Sonuçta uçuş saatinde gecikme ya da uçağın değiştirilmesi gibi durumların ortaya çıkacağı belirtilmiştir. Ayrıca, problemin oldukça zamana duyarlı olduğu ve katı kısıtların bulunduğu eklenmiştir. zm için hibrit çok amaçlı genetik algoritma önerilmiştir [53].

Burke ve diğerkleri (2010)'da, zorlu havayolu çizelgeleme problemi için çok amaçlı bir yaklaşım önerilmiştir. Sabit bir filo atamasına göre, eş zamanlı olarak uçuşların yeniden zamanlanması ve uçakların yeniden rotalanması amacıyla memetik bir algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritmada, uçuş çizelgesinde ve uçakların rotasyon/bakım çizelgelerinde önemli değişiklikler yapılarak sonuçlara ulaşılmıştır [54].

Dck ve diğerkleri (2012), uçuş gecikmeleri ve gecikme yayılımının; ekip ve uçak çizelgelerinin durağan olmasıyla önlenebileceğini söylemişlerdir. Güçlü ve entegre ekip çizelgeleme ve uçak rotalama için stokastik, doğrusal olmayan bir model geliştirilmiş ve çözüm için Weide ve diğerkleri (2009)'da önerilen yaklaşım ile klasik sütün üretim yöntemi kombine edilerek kullanılmıştır. [55].

Jiang ve Barnhart (2013), dinamik çizelgeleme ortamında havayolu izelge tasarımı ile ilgilenmiştir. Çalışmada, ayrılmış topla-dağıt operasyonlarında dinamik çizelgeleme için uçuş bacaklarında, yeniden zamanlama ve yeniden uçak atama yapılmıştır. 'Ayrılmış' terimiyle ifade edilmek istenen, topla-dağıt operasyonlarında kullanılan aktarma merkezleridir. Burada nerilen izelge tasarımı modelinin çözümü için, ayrıştırma temelli bir yaklaşım ve sütün üretim kullanılmıştır [56].

Brunner (2014), yolcu ve ekip bağlantılarını dikkate alarak gecikme programlarına göre yeniden çizelgeleme için doğrusal tamsayılı bir matematiksel model önermiştir. Burada, gecikme ölçülerinin minimizasyonu, uçuş iptal maliyeti minimizasyonu, yolcu ve ekip kayıplarından oluşan amaçların hepsini kapsayan bir amaç fonksiyonu kullanılmıştır [57].

Vos ve diğerkleri (2015), yeniden uçak çizelgeleme problemi için dinamik bir modelleme yapısı önermişlerdir. zm için; matematiksel model ve sezgisel seçim algoritması kullanılmıştır [58].

Maier (2015), entegre havayolu çizelge düzeltme problemi için satır ve sütun üretme yöntemini kullanmıştır. Çalışmada; uçuş, uçak ve ekip çizelgeleme süreçleri entegre edilmiştir [59].

Zhang ve diğerleri (2015), entegre uçak ve ekip çizelge düzeltme problemleri için iki aşamalı bir sezgisel önermişlerdir. İlk aşamada, kısmi olarak ekip faktörü dikkate alınmış, uçaklar ve uçuşlar için çizelge düzeltme yapılmıştır. İkinci aşamada da, kısmi olarak uçak faktörü ile ekip ve uçuşlar için çizelge düzeltme yapılmıştır. İki aşama ardışık olarak çözüldüğünde, daha iyi çözümler elde edildiği söylenmiştir [6].

Serrano ve Kazda (2017)'de, OCC'de farklı birimlerden gelecek (ekip, bakım...gibi) bilgilere de ihtiyaç olduğu ve etkili bir bozulma yönetimi sisteminin de, meydana gelebilecek beklenmeyen olayları tahmin edebileceği söylenmiştir. Yolcu merkezli bozulma yönetimi için bir çalışma gerçekleştirilmiş ve uzun dönemde OCC'de verilen kararların yolcular üzerindeki etkisinden bahsedilmiştir. Diğer birimlerle entegre, çok modelli bir operasyon kontrol merkezinin bozulmaları yönetmede yardımcı olacağı söylenmiştir [60].

Bouarfa ve diğerleri (2018), havayollarında bozulma yönetimi için çok ajanlı bir sistem geliştirmiş ve değerlendirmişlerdir. Çalışmada, operasyon kontrol merkezinde insan eliyle gerçekleştirilen politikalar ve çok ajanlı sistemin ürettiği politikalar karşılaştırılmıştır. Sonuçta, önerilen sistemin daha iyi ve hızlı sonuçlar verdiği söylenmiştir [61].

Kammoun ve Rezg (2018), uçak rotalama ve yeniden çizelgeleme için hibrit bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmada, Petri ağları ve genetik algoritma birlikte kullanılmıştır [62].

Şafak ve diğerleri (2019), havayolu tarafından önceden belirlenmiş uçuş çizelgesindeki uçuşların kalkış zamanlarını değiştirerek belirli bir gündeki uçuşlara yeni uçuşların eklenmesi konusunda bir çalışma gerçekleştirmiş ve iki yaklaşım önermişlerdir. Burada, uçakların hızları ve böylece havada kalış sürelerinin değiştirilmesiyle, çizelgeye yeni uçuşlar ekleyebilmek için yer açılacağı belirtilmiştir [63].

Cacchiani ve Salazar-Gonzalez (2020), entegre havayolu çizelgeleme problemlerinde yeniden zamanlama için sezgisel yaklaşımlar önermişlerdir. Çalışmada, uçuş zamanlarının yeniden belirlenmesinin daha az maliyetle daha iyi servis sağlayacağı söylenmiştir. Karışık tamsayılı doğrusal programlama modeline dayanan dört sezgisel geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonunda; uçuşun erken ya da geç gerçekleşmesinin maliyeti, ekip maliyeti, ekibin yer değiştirme maliyeti ve uçaktan kaynaklanan maliyetten oluşmaktadır. Kısıtlar ise, uçak bakım ve ekip çalışma saatleriyle ilgilidir [64].

Eufrasio ve diğerleri (2020), operasyonlarını yönetebilmenin bir yolunun uçuş çizelgelerini güçlendirmek olduğunu söylemişler ve bunun için ekonometrik bir model geliştirerek Brezilya Havayolları'nda uygulama yapmışlardır [65].

Wen ve diğerleri (2020), güçlü bir ekip eşleme yapılabilmesi konusunda uçuş süresinin değişkenliğinden yararlanarak sütun üretme algoritması kullanmışlardır. Bu çalışmanın, havayolu ekip çizelgeleme literatüründe, uçuş zamanının değişkenliğini kullanan ilk çalışma olduğu söylenmiştir. Burada geliştirilen modellerde önerilen stratejiler, önceki uçuşun gecikmesinden etkilenmeyecek uçuşların geliştirilmesi ve etkilenecek uçuşların desteklenmemesi üzerinedir [66].

Yetimoğlu ve Aktürk (2021), bozulan çizelgeyi düzeltmek için, uçak rotaları ve yolcu seyahatlerini entegre ederek bir iyileştirme sağlamışlardır. Çalışmada, müşteri memnuniyetsizliğini azaltırken karı maksimum yapan bir iyileştirme planı sunulmuştur. Bunun için de, uçak hızının değişebildiği, uçuşların iptal edilebildiği ve uçakların değiştirilebildiği kabul edilerek uygulanmıştır. Uçak iyileştirme ve yolcu planını iyileştirme için modeller verilmiş, daha sonra da bunları dikkate alarak çözüm üreten sezgisel bir algoritma önerilmiştir [67].

Çizelge 5.2'de de, beklenmedik olayların yönetimi için gerçekleştirilen çalışmalar; kullanılan çözüm yöntemi ve çalışma konusu açısından özetlenmiştir.

Çizelge 5.2. Havayolu çizelgelemede bozulma yönetimi

Yıl	Yazar	Çözüm Yöntemi	Çalışma Konusu
1995	Teodorovic ve Stojkovic	Dinamik programlama ve sezgisel algoritma	Yeniden uçuş çizelgeleme
1997	Thrampoulidis ve diğerleri	Nesne tabanlı yöntem	Yeniden günlük operasyonların çizelgelenmesi
2004	Aldelghany ve diğerleri	En kısa yol algoritması bazlı model	OCC / uçuş gecikmeleri
2007	Abdel-Aty ve diğerleri	İstatistiksel yöntem	Uçuş gecikmeleri
2007	Lee ve diğerleri	Genetik algoritma	Yeniden zamanlama
2007	Medard ve Sawhney	Sütun üretme	Yeniden ekip planlama
2007	Kohl ve diğerleri	Karar destek sistemi	OCC
2008	Warburg ve diğerleri	Matematiksel model	Yeniden zamanlama ve Yeniden uçak atama
2010	Dück ve diğerleri	Weide ve diğerleri (2009) ile sütun üretme	Ekip çizelgeleme ve uçak rotalama
2010	Liu ve diğerleri	Hibrit genetik algoritma	Yeniden uçak çizelgeleme
2010	Burke ve diğerleri	Memetik algoritma	Yeniden zamanlama ve yeniden rotalama
2013	Jiang ve Barnhart	Ayrıştırma temelli yaklaşım ve sütun üretme	Yeniden zamanlama ve yeniden uçak atama
2014	Brunner	Optimizasyon	Yeniden uçuş çizelgeleme
2015	Vos ve diğerleri	Matematiksel model ve sezgisel algoritma	Yeniden uçak çizelgeleme
2015	Maher	Satır ve sütun üretme	Entegre havayolu çizelge düzeltme

Çizelge 5.2. (devam)Havayolu çizelgelemede bozulma yönetimi

2015	Zhang ve diğerleri	Sezgisel yöntem	Entegre uçuş, uçak ve ekip yeniden çizelgeleme
2018	Bouarfa ve diğerleri	Çok ajanlı sistem	OCC
2018	Kammoun ve Rezg	Petri ağları ve genetik algoritma	Uçak rotalama ve yeniden çizelgeleme
2019	Şafak ve diğerleri	Optimizasyon	Yeniden uçuş çizelgeleme ve zamanlama
2020	Cacchiani ve Salazar-Gonzalez	Sezgisel algoritmalar	Yeniden zamanlama
2020	Eufrasio ve diğerleri	Ekonometrik model	Güçlü uçuş çizelgeleme
2020	Wen ve diğerleri	Sütun üretme	Güçlü ekip eşleme
2021	Yetimoğlu ve Aktürk	Matematiksel model ve sezgisel algoritma	Uçak ve yolcu planı iyileştirme
2021	Hassan ve diğerleri	Literatür incelemesi	Bozulma yönetimi

Literatürde yer alan bu konudaki çalışmalara bakıldığında da; günümüze doğru gelindikçe sezgisel yöntemlerin kullanımının arttığı görülmektedir. Problem tanımı, amaç ve kısıtların belirlenmesinde matematiksel formülasyona başvurulsa da, çözüm için sezgisel yöntemlerden yararlanılmaktadır. Burada, sistemlerin dinamik yapısı ve hızlı karar verme ihtiyacı bu yöntemlerin kullanımını artırmıştır.

5.2.1. Literatürde gecikme tahmini üzerine yapılan çalışmalar

Carvalho ve diğerleri (2020)'de havayollarında beklenmeyen olaylar sonucu yaşanan uçuş gecikmelerinin; iniş ya da kalkış zamanları, havaalanı, meydana gelen gecikmenin sonraki uçuşlara yayılması, havayolu, hava taşıma sistemi, slot tahsisi gibi birçok açıdan öneminin olduğu söylenmiştir [68].

Assent ve diğerleri (2009), güçlü bir uçuş çizelgeleme yapabilmek için veri madenciliğini önermişlerdir. Çalışmada, havaalanı operasyonlarının çizelgelenmesinde, uçuş

varışlarındaki belirsizliğin önemli bir sorun olduğu söylenmiş ve ileri etkili bir çizelgeleme yapmak için uçuşların gecikme kategorilerine göre sınıflandırılması önerilmiştir. Uçuşların gecikmesine neden olan birçok özellik bulunmuş ve bunlar baskın olan uçuş gecikme kriterleri altında toplanmış ve karar ağaçlarının geniş çapta sınıf etiketlerini tahmin etmede başarılı bir şekilde uygulandığı söylenmiştir [69].

Rebollo ve Balakrishnan (2014), kalkış gecikmelerini tahmin etmek üzere sınıflandırma ve regresyon modellerini kullanmışlardır. Çalışmada, gecikmeler tahmin edilerek eşik değerin altında kalıp kalmamasına göre sınıflandırılmıştır. Bunun için; lojistik regresyon, doğrusal regresyon, sinir ağı, sınıflandırma ağaçları, rassal orman kullanılmış ve rassal orman algoritmasının en iyi sonucu verdiği söylenmiştir. Rassal orman algoritmasının, değişkenlerin önem derecelerini de otomatik ürettiği için iyi bir performans sağlandığı da belirtilmiştir [70].

Literatürdeki çalışmalarda da, bu gecikme nedenlerinden biri ya da birkaçı ele alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Belcastro ve diğerleri (2016), hava durumundan kaynaklanan uçuş gecikmelerini tahmin etmek için rassal orman algoritmasını kullanmışlar ve iyi bir doğruluk elde edildiğini söylemişlerdir [71]. Ariyawansa ve Aponso (2016), akıllı havaalanı sistemlerinde veri madenciliği ve makine öğrenmesi tekniklerini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Burada havaalanı performansının iyileştirilmesinin zincirdeki tüm bileşenlere bağlı olduğu belirtilmiş ve bunlardan biri olan uçuş gecikme tahmininde kullanılan tekniklere yer verilmiştir. Regresyon, destek vektör makinesi, rassal orman, bayes teorisi yaklaşımları, k en yakın komşu yöntemleriyle uygulama gerçekleştirilmiştir [72].

Uçuş gecikmelerinin havayolları için önemli bir performans göstergesi olduğu söylenmiş ve gecikmelerin tahmin edilebilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Yu ve diğerleri (2019)'da da konunun çizelge optimizasyonu, havaalanı kapasitesi ve yerseçimi, uçuş değişiklikleri ve iptali gibi pek çok açıdan ele alındığı söylenmiştir. Bu çalışmada, uçuş gecikme tahmini için veri bazlı bir model önerilmiştir. Modelde, makine öğrenmesinde DBN –deep learning network- olarak adlandırılan ve birçok gizli katmandan oluşan bir yapay sinir ağı ve destek vektör regresyonu kullanılmıştır [73].

Carvalho ve diğerleri (2020), uçuş gecikmelerinin havayolunun önemli bir performans göstergesi olduğunu söylemiş ve uçuş gecikme tahminini konusunda literatür araştırması gerçekleştirmişlerdir. Uçuş gecikmeleri ile ilgili çalışmaları; kök gecikme (gecikmenin yaşandığı ilk uçuş), gecikmenin yayılımı ve uçuşun iptali olmak üzere 3 bölümde incelemişlerdir. Bu çalışmada, uçuş gecikmelerinin tahmini probleminde makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanımının giderek arttığı söylenmiştir. Bu tekniklerden de en çok k-enyakın komşu, sinir ağları, destek vektör makinesi, bulanık mantık ve rassal ormanın en çok kullanılanlar olduğu belirtilmiştir [68].

Lambelho ve diğerleri (2020)'de, bir havaalanında slot tahsisne destek olması amacıyla gecikecek ya da iptal olacak uçuşları tahmin etmek üzere makine öğrenmesi yaklaşımı geliştirilmiştir. Stratejik fazda (6 ay önceden) hava koşulları nedeniyle gecikecek ya da iptal olacak uçuşları tahmin eden sınıflandırma algoritmaları önerilmiştir [74].

Khan ve diğerleri (2021), karar vermedeki belirsizlikten kaçınmak için uçuşların kalkış zamanları ve sürelerini tahmin etmek üzere entegre makine öğrenmesi modeli önermişlerdir. Bu çalışmada; sinir ağları, destek vektör makinesi, rassal orman gibi birçok makine öğrenmesi tekniği birlikte kullanılmıştır [75].

Bao ve diğerleri (2021), geniş bir şebekede kalkış ve varış zamanlarını tahmin etmek üzere derin öğrenmeli sinir ağı önermişlerdir. Bu çalışmanın, uçuş gecikme tahmininde derin öğrenme için ilk basamak olduğu söylenmiştir [76].

Guo ve diğerleri (2021), uçuş kalkış gecikme tahmini için rassal orman regresyonu ve maksimum bilgi katsayısı yöntemlerini kombine eden bir yaklaşım önermişlerdir. Sonuçların; lineer regresyon, standart rassal orman regresyonu, k-en yakın komşu ve yapay sinir ağları ile karşılaştırıldığında daha iyi olduğu söylenmiştir [77].

Shao ve diğerleri (2022), uçuş kalkış gecikmelerini tahmin etmek üzere, havaalanı durumsal farkındalık haritasını –uçak, hava durumu, havayolu çizelgesi gibi özellikler-kullanan bir derin öğrenme yapısı önermişlerdir. Önerilen yapıda; destek vektör makinesi, çok katmanlı sinir ağı ve karar ağacı kullanılmıştır [78].

Uçuş gecikmelerinin tahmin edilmesinde; makine öğrenmesi tekniklerinin birçok çalışmada kullanıldığı görülmüş ve bu çalışmalar Çizelge 5.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 5.3. Gecikme tahmininde kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları

Yıl	Yazar	Yöntem	Konu
2009	Assent ve diğerleri	Karar ağaçları	Gecikme sınıfı tahmini
2014	Rebollo ve Balakrishnan	Lojistik regresyon, doğrusal regresyon, sinir ağı, sınıflandırma ağaçları, rassal orman	Kalkış gecikmelerini tahmini
2016	Ariyawansa ve Aponso	Regresyon, destek vektör makinesi, rassal orman, bayes teorisi yaklaşımları, k en yakın komşu	Uçuş gecikme tahmini
2016	Belcastro ve diğerleri	Rassal orman	Uçuş gecikme tahmini
2018	Achenbach ve Spinler	'Boosting' algoritması ve lineer regresyon	Varış zamanı tahmini
2019	Yu ve diğerleri	Yapay sinir ağı ve destek vektör regresyonu	Uçuş gecikme tahmini
2020	Lambelho ve diğerleri	Makine öğrenmesi algoritması	Uçuş gecikmesi ya da iptalinin tahmini
2021	Guo ve diğerleri	Rassal orman regresyonu ve maksimum bilgi katsayısı	Kalkış gecikme tahmini
2021	Khan ve diğerleri	Sinir ağları, destek vektör makinesi, rassal orman	Kalkış zamanı tahmini
2021	Bao ve diğerleri	Derin öğrenmeli sinir ağı	Kalkış ve varış zamanları tahmini
2022	Shao ve diğerleri	Derin öğrenme yapısı	Kalkış gecikme tahmini

Günümüze doğru gelindiğinde, veri yönetimi ve uçuş gecikme tahmini ile ilgili çalışmaların arttığı görülmektedir. Bu çalışmada da, anlamlı ve faydalı bilgiye ulaşmak için veri madenciliği tekniklerinden yararlanılmıştır. Uçuşların gecikme sınıfları ve gecikmelere neden olan önemli değişkenlerin belirlenmesiyle gecikmeleri büyük ölçüde engelleyecek önlemlerin alınabileceği düşünülmüştür.

5.3. Literatürde Veri Madenciliği Üzerine Yapılan Çalışmalar

Veri madenciliği, uygulama alanı çok geniş olan bir çalışma konusudur. Literatürde de, sağlık, eğitim, bilgi sistemleri ve çevresel konular gibi birçok alanda kullanıldığı görülmüştür. Buradaki çalışmanın konusuna yönelik olarak; veri madenciliğinin havayollarında uygulandığı, sınıflandırma amaçlı kullanıldığı ve burada kullanılan tekniklere ait çalışmalar incelenmiştir.

Gelişmekte olan bilgisayar teknolojileri ve verinin saklanarak organize edilmesi ihtiyacı ile birlikte 1990'lı yıllarda veri madenciliğinden söz edilmeye başlanmıştır. Veri madenciliğinin gelişimi; verinin depolandığı büyük 'veri ambarları' ile daha eski yıllarda başlamış ve yapay zeka, uzman sistemler, makine öğrenmesi, istatistik gibi disiplinlerle etkileşimli olarak devam etmiştir.

Veri madenciliği; büyük veri içinden faydalı çıkarımlar yaparken, makine öğrenmesi bu çıkarımları kullanmak üzere öğrenmektedir. Literatürde günümüze yaklaştıkça veri madenciliğinin birçok çalışmada, makine öğrenmesi ile birlikte yer aldığı görülmüştür.

Sene ve diğerleri (2018), uçuş sırasında gerçekleşen tıbbi olaylar konusunda karar vericiye destek olmak için veri madenciliğini kullanan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Havayolu politikaları, hava trafik yönetimi, uzak bağlantı prosedürleri gibi iç ve dış kaynaklı birçok belirsizlik altında karar vermek için tıbbi olayları analiz etmede veri madenciliği kullanılmıştır [79].

Evans ve diğerleri (2018), veri madenciliği tekniklerini kullanarak havadaki uçağın kalktıktan sonra yeni rota talebinin kabul edilebilirliğini tahmin eden bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bir hava trafik merkezinden alınan veriler kullanılarak, lojistik regresyon, karar ağacı, destek vektör makinesi, rassal orman ve Adaptive Boost

algoritmaları ile tahminler yapılmış ve sonuçlar çapraz doğrulama ile değerlendirilmiştir. Rassal orman algoritması sonuçlarının kabul edilebilir olduğu söylenmiştir [80].

Achenbach ve Spinler (2018), kısa mesafeli uçuşlarda varış zamanı tahmini ve maliyet indeks optimizasyonu için tahmin edici makine öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. Yazarlar birçok algoritma ile deneme yaptıklarını ancak 'boosting' algoritması ve lineer regresyon ile en iyi sonuçları elde ettiklerini söylemişlerdir. Bu nedenle, bu iki algoritmayı birleştirerek kullanmışlardır. Maliyet indeksinin, varış zamanı tahminine entegrasyonu ile en iyi maliyet indeksinin bulunacağı belirtilmiştir [81].

Pineda ve diğerleri (2018), havayolu performansının artırılmasında karmaşık birçok faktör bulunduğu için bunun zor bir problem olduğunu söylemişler ve çok amaçlı karar verme problemi olarak tanımlamışlardır. Bu çalışmada, havayolu için kritik faktörlerin belirlenmesinde veri madenciliği ve çok amaçlı karar verme birlikte kullanılmıştır. Veri madenciliği tekniği, karar verme kurallarını oluşturmuş ve bu kuralların içinden havayolu performansı için en önemli olan seçilmiştir. Sonuçta, finansal etkinliğin sağlanmasının, operasyonel etkinliğin sağlanmasıyla elde edileceği söylenmiştir [82].

Hausladen ve Schosser (2020), havayolu şebeke planlamada büyük verinin analizi için kümelemeye dayalı bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada büyük verinin kazanılması, değerlendirilmesi ve kullanılmasının havayolu çizelge planlayıcıları için stratejik bir konu olduğu söylenmiştir. Bu verinin hazır bulunmasında ise, önerilen modele dikkat çekilmiştir [83]. Çizelge 5.4'te yukarıda bahsedilen çalışmalar özetlenmiştir.

Çizelge 5.4. Veri madenciliği yöntemleri

Yıl	Yazar	Veri Madenciliği Tekniği	Çalışma Konusu
2018	Sene ve diğerleri	Veri madenciliği yöntemleri ve karar destek sistemi	Karar desteği
2018	Evans ve diğerleri	Lojistik regresyon, karar ağacı, DVM, RO ve adaptive boost	Uçak rota talebi
2018	Pineda ve diğerleri	Veri madenciliği	Kritik faktörlerin belirlenmesi
2020	Hausladen ve Schosser	Kümeleme	Havayolu şebeke planlama

5.4. Literatürde Karar Destek Sistemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yöneticilerin, yönetsel problemlerin aşılması için kantitatif modelleri kullanma çabalarıyla ortaya çıkan karar desteği, ilk J. D. Little (1970) 'in çalışmasıyla ortaya konmuştur. Terim olarak KDS'nin kullanıldığı ilk çalışma ise Gorry ve Scott Morton (1971) 'e aittir [13].

Günümüzde sistemlerin karmaşıklık ve dinamikliği, her aşamada karar verme süreçlerini zorlaştırmakta olduğundan, literatürde de bu ihtiyaca cevap verebilmek için birçok farklı alanda karar destek sistemlerine başvurulduğu görülmüştür. Burada, havacılık sektöründe karar destek sistemlerinin kullanımına yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

Jarrah ve diğerleri (1993)'te havayolu uçuş iptal ve gecikmeleri için, Yan ve Yang (1996)'da da çizelge bozulmaları için karar destek yapısından bahsedilmiştir [84].

Clarke (1998), operasyon kontrol merkezlerindeki düzensiz operasyonları ve literatürdeki çalışmaları incelemiştir ve OCC'ler için artan bir karar destek sistemi ihtiyacı olduğunu söylemiştir [85]. Hassan ve diğerleri (2021)'de de bu çalışmanın operasyon kontrol merkezinde düzensiz operasyonlarla ilgili genel bir değerlendirme sağlayan ilk çalışma olduğu söylenmiştir [41].

Chan ve diğerleri (2006), hava kargo yükleme problemi için iki aşamalı akıllı karar destek sistemi önermişlerdir. İlk aşamada karar destek sistemi doğrusal programlama modelini dikkate alarak minimum maliyeti sağlamak üzere yükleme miktarı ve hacimlerin alt sınırını belirlerken, ikinci aşamada geliştirilen sezgisel yükleme planını oluşturmaktadır [86].

Kohl ve diğerleri (2007), havayollarında bozulma yönetimini incelemiş ve OCC’de çok kaynaklı karar destek sistemi için ilk örnek olacak bir çalışma gerçekleştirdiklerini söylemişlerdir. Çalışmada, bozulma yönetiminin çizelgede beklenmeyen bir değişiklik meydana geldiğinde yapılacakları belirlerken, ileri etkili çizelgeleme ile ilk başta bu değişikliklerden kaçınacak bir çizelge hazırlandığı belirtilmiştir [3].

Abdelghany ve diğerleri (2008), düzensiz operasyonlar sonucu ortaya çıkan çizelge düzeltme süreci için çizelge simülasyon modeli ve kaynak atama optimizasyon modelini entegre eden bir karar destek aracı geliştirmişlerdir. Simülasyon modeli, bozulacak uçuşları tahmin etmekte ve optimizasyon modeli uçuş gecikme ya da iptallerini minimize edecek şekilde mümkün çözümleri bulmaktadır [87].

Dozic ve diğerleri (2012), havayolu çizelge bozulmaları için yeni mümkün çözümler üreten matematiksel model ve sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Daha sonra üretilen bu mümkün çözümler içerisinde hangisinin seçileceğine karar destek sistemi aracılığıyla karar verilmektedir. Örneğin; uçuş gecikmesi, uçuş iptali ya da bir uçak değişikliği yapılması gibi bir karar verilmesinde karar destek sisteminden yardım alınarak karar verilmesi önerilmiştir [88].

Gedik ve diğerleri (2013), Esenboğa Havaalanı’nda park alanı atama kararı için karar destek sistemi geliştirmişler ve geliştirilen sistemin hız açısından oldukça fazla kazanım sağladığını söylemişlerdir [89].

Vink ve diğerleri (2020), havayolunda uygulanmakta olan çizelge bozulduğunda uçak çizelgesini düzeltmek için karar destek sistemi önermişlerdir. Çizelge, tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak modellenmiş ve dinamik olarak çözülmüştür. Her yeni bozulmada üretilen çözüm, bir önceki düzeltilen çizelgeye göre hazırlanmıştır. Karar

desteği için, ele alınan bozulma tiplerine göre, bulunan çözümlerden en iyisini seçen sezgisel algoritmalar kullanılmıştır [85].

Ogunsina ve diğlerleri (2021), havayolu bozulma yönetiminde karşılaşılan zorluğun yetersiz ve kullanılamayan veriden kaynaklandığını ve havayolu çizelge bozulmalarının etkin yönetimi için gerekli bilginin elde edilmesinde veri toplama planlarının arttığını söylemişlerdir. Çalışmada, operasyon kontrol merkezlerinde kullanılan karar destek sistemleri geliştirilmeye devam etse de, çözümlerin yetersiz kalmasını sağlayan iki neden olduğu söylenmiştir. Bunlardan ilkinin, karar destek sisteminin her bozulmaya karşı spesifik bir çözüm üretemediğı için OCC çalışanlarının geçmişte yaşananlara göre karar vermesi ve ikincisinin de birçok birim tarafından kullanılan karar destek sistemlerinin aynı zamanda tüm birimler için kullanılabilir ve tüm sistemlerin birbiriyle senkronize olmadığı şeklinde ifade edilmiştir. Çalışmada, veri bütünlüğü ve mevcut karar destek sistemlerine entegre edilmesiyle ilgilenilmiştir [90].

Çizelge 5.5'te, havacılıkta karar destek sistemi uygulamalarının bulunduğu çalışmalar özetlenmiştir.

Çizelge 5.5. KDS uygulamaları

Yıl	Yazar	Uygulama
1993	Jarrah ve diğlerleri	Uçuş iptal ve gecikmeleri
1996	Yan ve Yang	Çizelge bozulmaları
1998	Clarke	Operasyon kontrol merkezi
2007	Kohl ve diğlerleri	Operasyon kontrol merkezi
2008	Abdelghany ve diğlerleri	Çizelge bozulmaları
2012	Dozic ve diğlerleri	Çizelge bozulmaları
2013	Gedik ve diğlerleri	Havaalanı park yeri atama
2020	Vink ve diğlerleri	Uçak çizelgesi düzeltme
2021	Ogunsina ve diğlerleri	Operasyon kontrol merkezi

5.5. Literatürde Uçuş Gecikmeleri, Veri Madenciliği ve Karar Destek Sistemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bu çalışmada, havayolu çizelgeleme konusunda yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve gecikme tahminini konu alan pek çok çalışma yapıldığı görülmüştür. Çizelge 5.3'te de özetlendiği gibi Belcastro ve diğerleri (2016), Ariyawansa ve Aponso(2016), Yu ve diğerleri (2019)'da uçuş gecikme tahminleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır [71,72,73]. Bu tez de, gecikme tahmini yapılması düşünüldüğünden bahsedilen bu çalışmalar ile benzerlik göstermiştir.

Assent ve diğerleri (2009)'da ise uçuşlar gecikme kategorilerine göre sınıflandırmışlardır [69]. Bahsedilen çalışmada amaç, ileri etkili çizelgeleme yapmak iken bu çalışmada gecikme sınıfları ve kritik faktörler, çizelgenin uygulanması esnasında önlem amaçlı olarak kullanılmıştır.

Literatürde havayolları ile ilgili pek çok çalışmada, operasyon kontrol merkezlerinde karar desteği ihtiyacından bahsedildiği görülmüştür. Burada da, uçuş gecikmelerinin en aza indirilebilmesi için karar vericilerin bu ihtiyacı üzerinde durulmuştur.

Buradan hareketle de, Kohl ve diğerleri (2007) ile Ogunsina ve diğerleri (2021)'nde [3,90] olduğu gibi çözüm yöntemi olarak; karar desteğine ihtiyaç olması nedeniyle karar destek sistemi hazırlanması düşünülmüş ve bu sistemin girdilerinden biri olarak uçuşların gecikme tahminlerinin yapılması sağlanmıştır.

Literatürde yapılmış çalışmalarda, veri madenciliği teknikleri ve karar destek sistemlerine birçok kez başvurulmuş olsa da; bir çözüm yöntemi olarak ikisinin birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

6. UYGULAMA ÇALIŞMASI: UÇUŞ GECİKMELERİNİN TAHMİNİ VE KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ

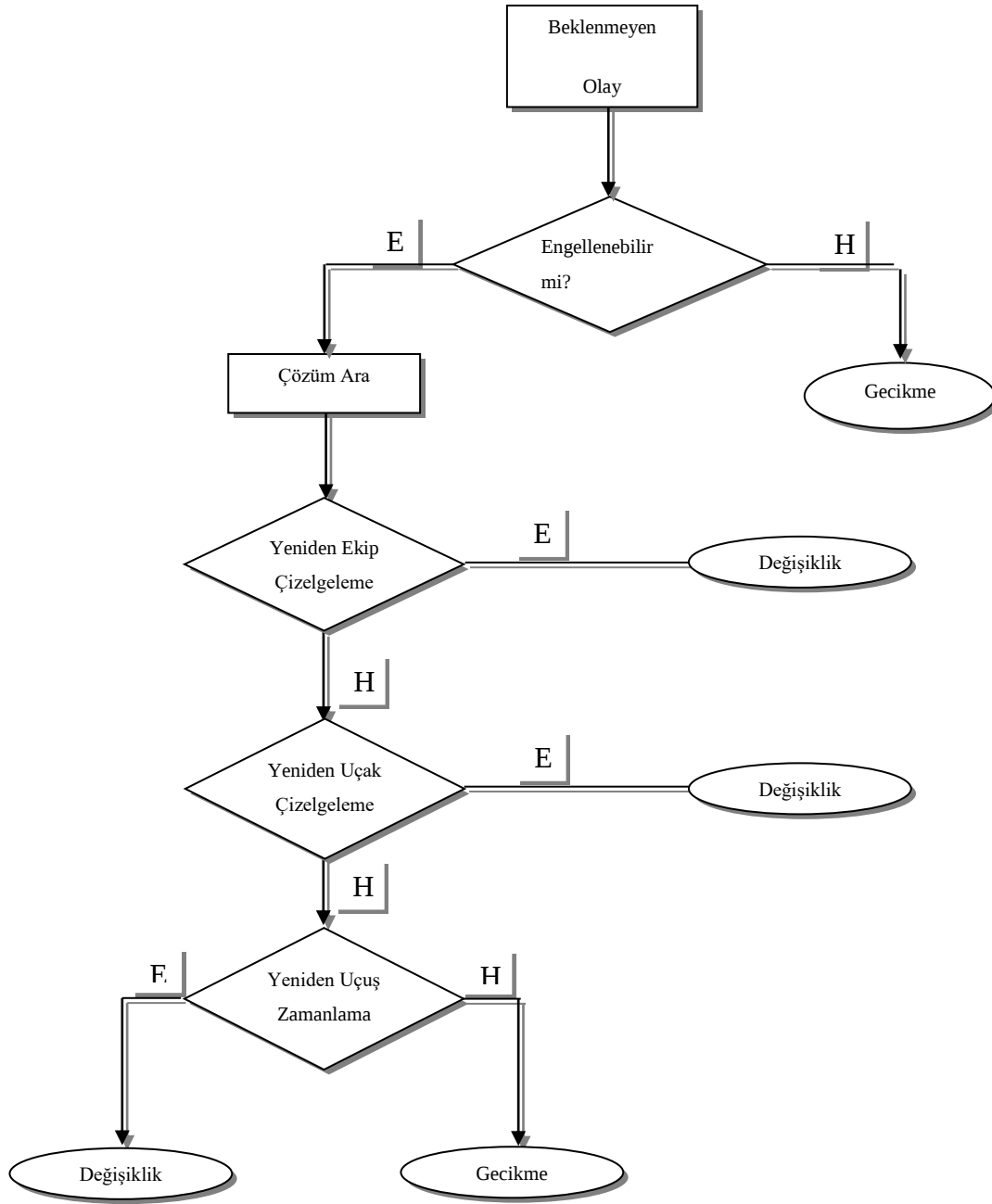
6.1. Ele Alman Sistem ve Problemin Tanımı

Daha önce de belirtildiği gibi; havacılık sektöründe hedefler ve bunları yerine getirecek kaynaklar arasında oldukça sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Gerçekleşecek her bir uçuş için; yolcu memnuniyetini sağlayacak şekilde, çeşitli otoriteler tarafından belirlenmiş kurallara göre havayollarının en önemli kaynakları olan uçaklar ve personel ilgili uçuşlara atanmaktadır. Bununla birlikte, anlık gerçekleşen değişiklikler de, bu parametrelere göre zaten zor olan sistemin işleyişini daha da zorlaştırmaktadır.

Tüm havayollarında bulunan operasyon kontrol merkezleri, beklenmedik değişikliklerin yönetilmeye çalışıldığı, gecikmelerin en aza indirilebilmesi için gerekli değişikliklerin yapıldığı birimlerdir. Söz konusu havayolu şirketinde; Uçuş Çizelgeleme ve Filo Atama Ticaret Müdürlüğü tarafından, Ekip Çizelgeleme ise Ekip Planlama Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. OCC’de ise, çizelgenin düzeltilmesi ile ilgili adımlar gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, gerektiğinde bakım planlama ve ekip planlamadan da bilgi alınmaktadır.

Operasyon kontrol merkezinde kullanılmakta olan, gerekli birimlerden gerekli bilgilerin sağlandığı birden fazla program bulunmaktadır. Bu programlardan bazıları havayolunun şirket içi bilgilerini ve ilgilenilen uçuşların durumunu gösterirken; bazıları da dışarıdaki sistemlerle bağlantıyı sağlamaktadır.

Çizelgeleme sürecinin en başında; uçuş çizelgesi oluşturulurken, ilk önce bir hafta gibi kısa bir süre için küçük bir çizelge oluşturulmakta ve daha sonra bu çizelge genişletilerek ilgili tarife dönemi için çizelgenin tamamı elde edilmektedir. Uçuşlar; çizelgeler oluşturulduktan sonra, gerçekleşmesinden 72 saat önce OCC’ye devredilmektedir. Bundan sonra uçuş tamamlanıncaya kadar gerekli işlemler OCC tarafından yapılmaktadır. Şekil 6.1’de OCC’de karar verme süreci yer almaktadır.



Şekil 6.1. OCC’de karar verme süreci

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi, karşılaşılan beklenmedik bir olay karşısında öncelikle nasıl bir değişiklik yapılacağı belirlenmektedir. Genel olarak, uçak kapasitesi, yolcu kapasitesi, gidilecek yerde meteorolojik şartlar, havalimanı şartları, teknik şartlar incelenmekte ve bakım çizelgesi, ekip çizelgesi gibi çizelgelere başvurulmaktadır.

Uçak yeniden çizelgeme yapılacaksa; anlık uçak arızası veya uçağın ineceği meydana inemeyip başka bir meydana inmesi gibi durumlarda, uçağın arkasındaki uçuşların gecikmemesi için ‘SWAP’ adı verilen değişiklik işlemi yapılarak ilgili uçuşlardaki uçakların yeri değiştirilmektedir. Bu işlem yapılırken ‘öncelikle uygun yani gecikmeyi önleyebilecek kadar zamanı olan uçak var mı?’ diye kullanılmakta olan sistem üzerinden tarama yapılmaktadır. Eğer varsa, ikinci olarak ‘bu uçak verilmek istenen uçuş için uygun mu?’ sorusuna yanıt aranmaktadır.

Genel olarak, yapılacak değişikliklerle ilgili uygunluk kriterleri aşağıdaki gibidir:

- 1- Havayolu şirketinin sahip olduğu uçaklar; kalkış ağırlığı açısından farklı kapasiteye sahip uçaklardır. Uzun uçuşlar, tam dolu uçaklar veya 1 ton üzeri kargosu mevcut uçuşlar için maksimum kalkış ağırlığı yüksek olan bir uçak seçilmelidir. Eğer yüksek kapasiteli uygun uçak yoksa kargo veya bagaj bırakma durumları olabilmekte, bunlarda yeterli gelmezse uçuşu büyük kapasiteli uçakla gerçekleştirebilmek için seferde gecikme yapılabilmektedir.
- 2- Yolcu kapasitesi farklı olan uçaklarda değişiklik yaparken o uçuş için yolcu sayısının miktarı uçak tipine göre değerlendirme yapılmasına neden olmaktadır.
- 3- Uçak tiplerinin rüzgarla ilgili limitleri de farklılık göstermektedir. Bu nedenle değişiklik yaparken uçağın gideceği meydana rüzgar şartları dikkate alınması gereken bir unsur olmaktadır.
- 4- Bazı meydanların pist uzunlukları her uçağın motor itiş gücüne uygun olmayabiliyor, başka bir deyişle her uçak her meydana iniş yapamamaktadır. Ayrıca bunun nedeni yalnızca pist uzunluğu değil, meydanadaki diğer fiziki şartlar da olabilmektedir. Bununla birlikte, meydanada o anki sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü de dikkate alınması gereken diğer unsurlardır.
- 5- Söz konusu uçak, ‘verileceği uçuş için teknik olarak müsait mi, ertelenmiş bir bakım kaydı bulunup bulunmadığını öğrenmek için bakım çizelgesine bakılmaktadır.
- 6- Ekip değişikliği yapılacaksa; ‘uygun ekip var mı’ (her ekip her uçuş tipinde uçuş gerçekleştirememektedir, yani her ekip elemanının uçabileceği belli bir uçak tipi vardır) gibi sorulara yanıt aranmaktadır.

Ele alınan sistemdeki OCC’de kullanılan bilgi sistemleri ise aşağıda açıklanmıştır:

- Notam (havacılara uyarı niteliğindeki, havaalanları ve havayolları ile ilgili gereken bilgileri spesifik bir formatta sağlayan yayın), hava durumu gibi bilgilerin planlama esnasında görülmesini sağlayan bir uçuş planlama programı.
- Havayolu şirketinin uçuşlarını izlediği, içinde tüm tarifenin olduğu, uçakların günlük uçuş programlarının, teknik bakımlarının ayrı ayrı görülebildiği uçuş izleme programı.
- Günlük operasyonlarda uçakların iniş ve kalkışlarının mesaj yolu ile takip edilip diğer havacılık bileşenleriyle iletişim sağlandığı program.

Uçuşlarda yaşanabilecek gecikmelerin minimize edilebilmesi, havayolları açısından oldukça önemlidir. Genel olarak bakılacak olursa; gecikmelerin artması uçakların yerde kalma süresinin artmasına, böylece kaynak kullanım oranının düşmesine ve ek maliyetlere neden olacağı gibi müşteri memnuniyetinin azalmasıyla karlılığın da azalmasına ve prestij kaybına yol açacaktır. Bu nedenle, meydana gelebilecek olaylar karşısında; doğru anda doğru kararı vererek değişiklikler yapılması gerekmektedir. Burada, karar vericinin bilgi birikimi, karar verme hızı, verdiği kararın niteliği sistemin işleyişini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, geçmiş bilgilere dayanarak karar vericiye izlenmekte olan uçuşlarla ve kritik faktörlerle ilgili ön bilgi ve karar desteği sağlanması hedeflenmiştir.

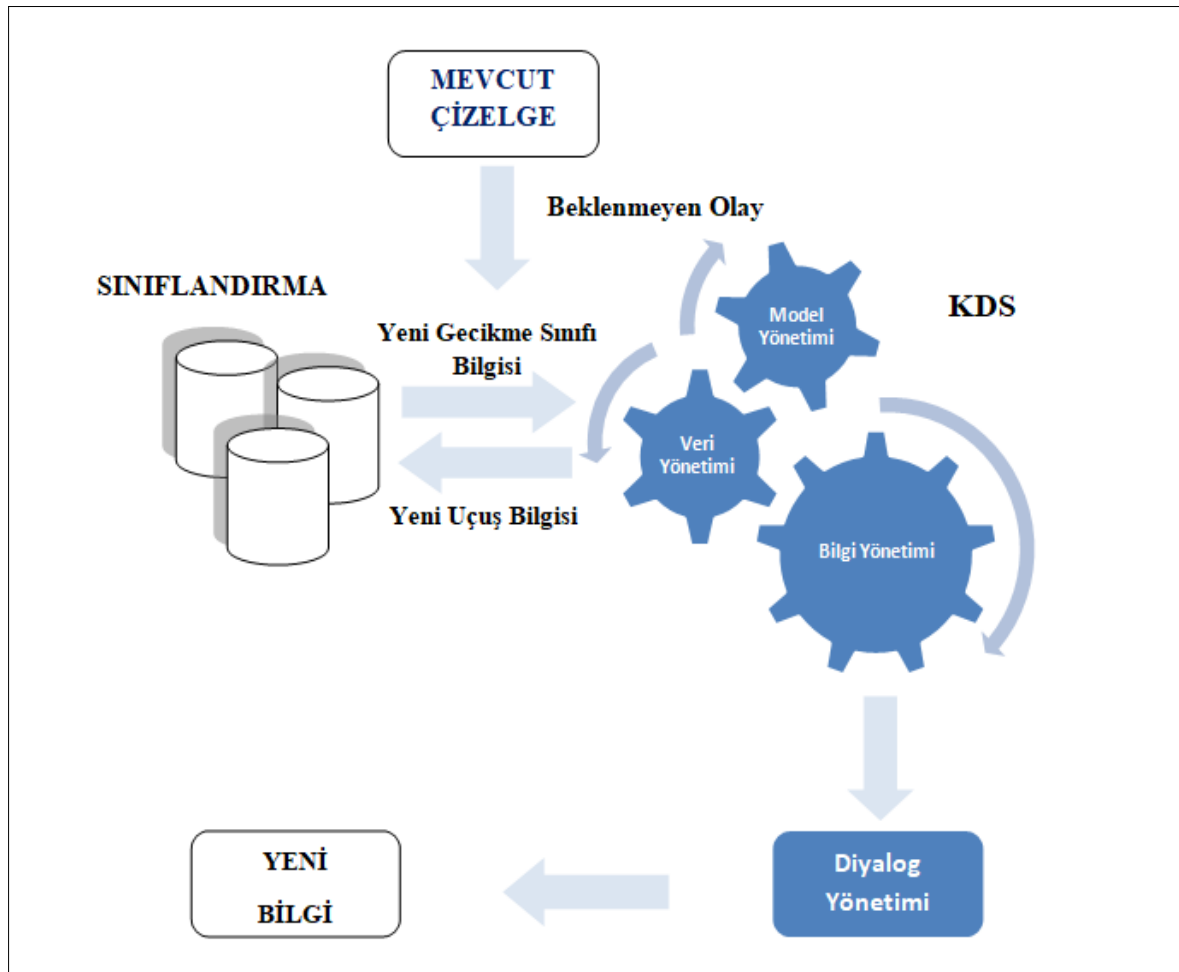
Buna göre mevcut sistemde; geçmiş verilere göre, bilgi üreten bir yapının olmadığı görülmüştür. Günümüzde ise, geçmiş verinin analizi ve gelecek için çıkarımlar yapmak üzere kullanılması sistemler için oldukça faydalı hale gelmiştir. Karar vericilerin karşı karşıya kaldığı yoğunluk ve zorluklar da düşünülerek ortaya çıkan hızlı karar verme ihtiyacına yönelik olarak, uçuşlara ait geçmiş verilerden yararlanılarak karar vericiye yardımcı olacak bir karar destek sistemi oluşturulması hedeflenmiştir. Böylece; karar verici için önemli faktörlere dikkat çekerek yapılacaklarla ilgili ön bilgi sağlayarak hız kazandıran bir yapı oluşturulmuştur.

Uygulama için ülkemizdeki belli başlı havayollarından birinin faaliyet ve uçuş noktaları dikkate alınarak, operasyonel kararların alındığı, havayolu çizelgeleme süreçleri açısından bakıldığında da beklenmedik olayların yönetildiği operasyon kontrol merkezi (OCC) için bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

6.2. Önerilen Yapı

Bahsedildiği gibi karar vericiye yardımcı olmak ve hızı artırmak amacıyla karar destek sistemi oluşturulmuştur. KDS’de kararların olması gerektiği gibi alınabilmesi, yani amaçlandığı gibi gecikmelerin minimize edilerek müşteri memnuniyeti ve karlılığın artırılması için öncelikle uçuşlar analiz edilmiştir. Uçuşların analiz edilmesindeki amaç uçuşlarda meydana gelen gecikmelere göre uçuşların gecikme sınıflarının belirlenmesidir.

Literatürde, ‘Gecikme Tahmini’ bölümünde de bahsedildiği gibi, Assent ve diğerleri (2009)’da yapılan çalışmada da uçuşların gecikmelerine göre sınıflandırılması önerilmiştir. Bu çalışma ile benzer olarak, burada da uçuşlar gecikmelerine göre sınıflandırılmış ve ortaya çıkan kurallar karar destek sisteminde kullanılmıştır.



Şekil 6.2. Önerilen sistem

Bunun için, ilk olarak uçuşlar IBM SPSS Modeler 18.2 programında; C5.0, KNN, C&RT, DVM ve RO algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmış ve sınıflandırma kuralları belirlenerek karar destek sisteminde kullanılmıştır. Ayrıca bu algoritmaların sınıflandırma başarısı da, doğruluk derecelerine göre değerlendirilmiştir.

6.3.Uçuşların Analizi ve Veri Setinin Hazırlanması

Uçuşların sınıflandırılması için, ülkemizde faaliyet gösteren bir havayolunun 1553 uçuşu ele alınmıştır. Bu uçuşlar, haftanın farklı günlerinde farklı havaalanlarında gerçekleşmiştir. Söz konusu havayolunun yalnızca yurtiçi uçuşları dikkate alınmıştır. Ülkemizdeki tüm havaalanlarından da uçuş sayısı toplam sayının içerisinde önemsizmeyecek kadar az olan 5 tanesi çıkarılmış, 33 havaalanına ait uçuşlar incelenmiştir. Sonuçta, Excel’de 1529 uçuşa ait, 1530x52 boyutunda bir veri seti hazırlanmış olup ilk satır başlıkları içermektedir. Şekil 6.3’te veri setine ait örnek bir ekran görüntüsü verilmiştir.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	SALI	CARSAMBA	PERSEMBE	CUMA	CUMARTESİ	PAZAR	KALKIS YERİ	VARIS YERİ	DOF	LTAC	LTBJ	LTFJ	LTCE	LTCC	LTFD	LT
2	F	F	F	F	F	F	LTAC	LTBJ	180226	T	T	F	F	F	F	F
3	T	F	F	F	F	F	LTAC	LTBJ	180227	T	T	F	F	F	F	F
4	F	T	F	F	F	F	LTAC	LTBJ	180228	T	T	F	F	F	F	F
5	F	F	T	F	F	F	LTAC	LTBJ	180301	T	T	F	F	F	F	F
6	F	F	F	T	F	F	LTAC	LTBJ	180302	T	T	F	F	F	F	F
7	F	F	F	F	T	F	LTAC	LTBJ	180303	T	T	F	F	F	F	F
8	F	F	F	F	F	T	LTAC	LTBJ	180304	T	T	F	F	F	F	F
9	F	F	T	F	F	F	LTAC	LTFJ	180301	T	F	T	F	F	F	F
10	F	F	F	T	F	F	LTAC	LTFJ	180302	T	F	T	F	F	F	F
11	F	F	F	F	F	F	LTAC	LTFJ	180226	T	F	T	F	F	F	F
12	T	F	F	F	F	F	LTAC	LTFJ	180227	T	F	T	F	F	F	F
13	F	F	F	F	F	T	LTAC	LTFJ	180304	T	F	T	F	F	F	F
14	T	F	F	F	F	F	LTAC	LTFJ	180227	T	F	T	F	F	F	F
15	F	T	F	F	F	F	LTAC	LTFJ	180228	T	F	T	F	F	F	F
16	F	F	T	F	F	F	LTAC	LTFJ	180301	T	F	T	F	F	F	F
17	F	F	F	T	F	F	LTAC	LTFJ	180302	T	F	T	F	F	F	F
18	F	F	F	F	F	T	LTAC	LTFJ	180304	T	F	T	F	F	F	F
19	F	F	F	F	F	F	LTAC	LTFJ	180226	T	F	T	F	F	F	F

Şekil 6.3. Örnek veri seti

Şekil 6.3’te görüldüğü gibi; veri setinde her bir satır bir uçuşu göstermektedir. Sütunlarda ise uçuşların özelliklerini göstermek üzere; uçuşun çağrı adı, uçuşun haftanın hangi günü gerçekleştiği, tarih, kalkış ve varış havaalanı, her bir havaalanı, gecikme nedenleri ve ait olduğu gecikme sınıfı bilgileri yer almaktadır.

Şekil 6.3'te görüldüğü gibi, kalkış yeri ve varış yeri özelliklerinde, havaalanlarına havacılıkta kullanılan kodlarıyla yer verilmiştir. Bu kodların açıklamaları Ek-1'de yer almaktadır. Aynı şekilde, DOF(Date of Flight) özelliği de tarihlerin havacılıkta kullanılan göstergesidir. Burada, uçuşların kalkış ve varış yeri özelliklerinin yanında her bir havaalanına da özellik olarak yer verilmesinin nedeni; bir gecikme sebebi olarak *kalkış ve varış yeri* başlıklarının yanında, her bir havaalanının etkisinin ayrıca görülmek istenmesidir.

Aynı şekilde, uçuşun gerçekleştiği gün ve DOF özelliklerine ayrı ayrı yer verilmiştir. Uçuş günü ve havaalanlarının her biri için de, o uçuşa ait olup olmama durumunu gösteren T (Doğru) ya da F (Yanlış) göstergeleri kullanılmıştır. Örneğin; 3 nolu satırda yer alan uçuş Salı günü Ankara'dan İzmir'e gerçekleşmiştir.

Literatürde de, uçuş gününün periyodik gecikme faktörü olarak değerlendirildiği görülmüştür. Örneğin; Cuma günleri trafik yoğunlunun artması bazı aksaklık ve gecikmelere neden olabilmektedir.

Sütunlarda yer alan bu özelliklerin devamında gecikmeye neden olan faktörler bulunmaktadır. Havayolları tarafından belirlenen gecikmelere sebep olan faktörlerin büyük çoğunluğunu, hava trafik akış yönetimi, kalkış ve varış meydanlarına ait kısıtlar ya da olanaklar, yer hizmetleri, teknik, planlama, hava durumu, ekip, akaryakıt hizmetleri, uçuş planı aksaklıkları gibi nedenler oluşturmaktadır.

Verinin boyutu açısından, bu nedenlerden istatistiksel olarak en çok karşılaşılanları ve gecikme süresi olarak en fazla gecikmeye sahip olan 7 tanesi ele alınmıştır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Kalkış Meydanı Şartları
- Varış Meydanı Şartları
- Arıza ve Teknik Problemler
- Hava Durumu
- Ekip Aksaklıkları
- Yer Hizmetlerinden kaynaklanan aksaklıklar

- Diğer Nedenler

Uçuşlara ait son özellik ise; gecikme sınıfı bilgisi olmuştur. Gerçekleşmiş olan bu uçuşlar; planlanan uçuş saatine göre ne kadar geciktiği belirlenerek gecikme sınıfına atanmıştır. Gecikme süresi, planlanan kalkış zamanı ile gerçek kalkış zamanı arasındaki farka eşittir. Her uçuş için bu fark bulunduğundan sonra uçuşların gecikme sınıfı belirlenmiş ve bir diğer özellik olarak veriye eklenmiştir. Gecikme sınıflarının oluşturulmasında, sektörden elde edilen bilgiler ve [75, 93] dikkate alınmıştır. Buna göre belirlenen 5 gecikme sınıfı aşağıdaki gibidir:

- 0-30 dakika arası: Gecikme Yok (1)
- $30 < \text{gecikme süresi} \leq 45$: Az Gecikmeli (2)
- $45 < \text{gecikme süresi} \leq 60$: Çok Gecikmeli (3)
- $60 < \text{gecikme süresi} \leq 90$: Çok Fazla Gecikmeli (4)
- Gecikme süresi > 90 : Normal Dışı Gecikme (5)

Gecikme sınıfına göre gerçek uçuş sayıları aşağıdaki gibidir:

- ‘Gecikme Yok’ sınıfında gerçekleşen uçuş sayısı; 1005,
- ‘Az Gecikmeli’ sınıfta gerçekleşen uçuş sayısı; 293,
- ‘Çok Gecikmeli’ sınıfta gerçekleşen uçuş sayısı; 133,
- ‘Çok Fazla Gecikmeli’ sınıfta gerçekleşen uçuş sayısı; 72,
- ‘Normal Dışı’ sınıfta gerçekleşen uçuş sayısı; 26.

6.4. Sınıflandırma

Sınıflandırma bölümünde, Excel’de hazırlanan uçuş tablosu IBM SPSS Modeller programında C5.0, Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları, Rassal Orman, Destek Vektör Makineleri ve k En Yakın Komşu algoritmaları kullanılarak uygulanmıştır. Bu algoritmaların seçilmesinde, öne çıkan bazı özellikler Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kullanılan algoritmalar ve özellikleri

	Özellik
C5.0	En yaygın kullanılan ve anlaşılması, yorumlanması kolay bir karar ağacı algoritması olması
C&RT	Önemli ve önemsiz verileri ayırabilen bir algoritma olması
RO	Birden fazla karar ağacı içinden en iyi olanı seçmesi
DVM	Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan sınıflandırma yapabiliyor olması
KNN	Örnek tabanlı bir öğrenme algoritması olması

Çizelge 6.1'e bakıldığında; uçuşlarda gecikme tahmini yapılabilmesi için kullanılan bu tekniklerin birbirinden farklı özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Böylece, farklı özelliklere sahip bu tekniklerin ürettiği farklı sonuçlarda yararlanılmış olmaktadır.

Bu algoritmalar ile gerçekleştirilen uygulamalarda, veri seti ikiye ayrılmıştır. Bu verilerin ilk bölümü, kullanılan algoritmaların eğitim verisi olarak model oluşturmada; ikinci bölümü ise test verisi olarak, oluşturulan modelin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Verilerin %70'i eğitim verisi ve %30'u test verisi olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Kullanılan algoritmaların sonuçları doğruluk dereceleri ve 'Gains' grafikleri ile değerlendirilmiştir.

6.4.1. C5.0 algoritmasının uygulanması ve sonuçlar

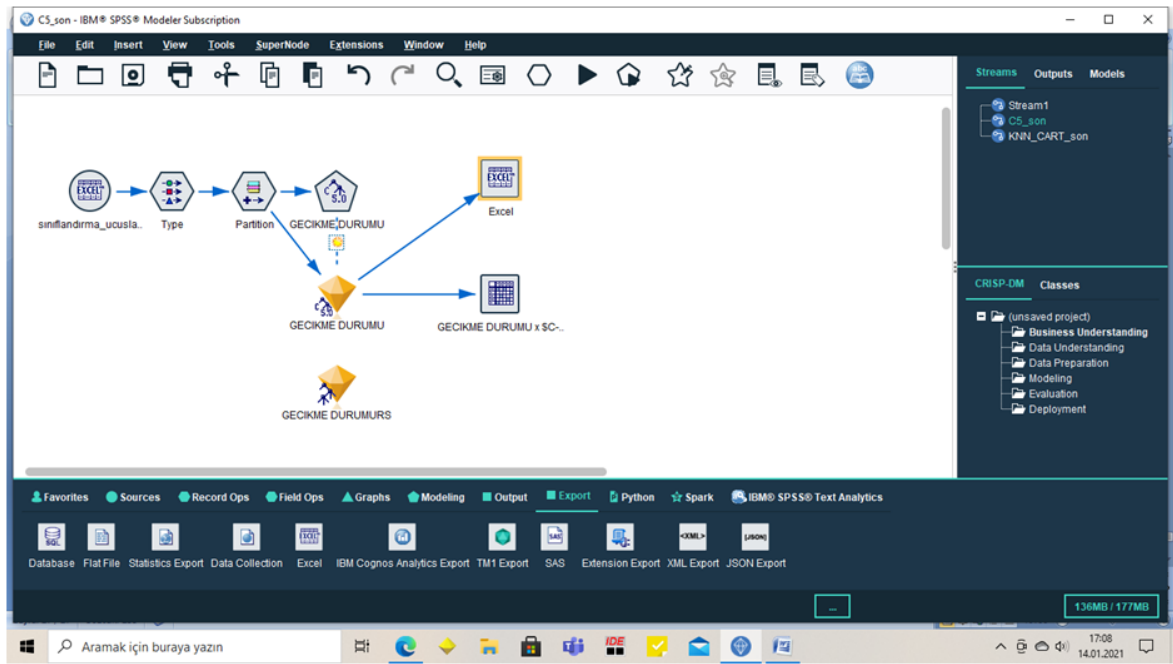
C5.0 algoritmasının, IBM SPSS Modeler 18.2 programında uygulanmış hali Şekil 6.4'te görüldüğü gibidir.

Girdi veri seti Excel dosyası halinde sisteme eklendikten sonra, eklenen Type işlevi ile veri setindeki özellik alanlarına ait nitelikler belirlenmiştir. Bu bölüm, hangi özelliklerin girdi seti hangisinin çıktı olacağının oluşturularak modele söylendiği bölümdür. 'Gecikme sınıfı'

sütunu, sınıflandırma işleminde ‘çıktı’ yı gösterecek şekilde kullanılmıştır. ‘Çağrı adı’ yalnızca uçuşları birbirinden ayırmada kullanıldığı için girdi ya da çıktı olarak kullanılmamıştır. Geriye kalan tüm özellikler girdi setini oluşturmuştur. Ayrıca, bu özelliklerde veri tipinin ne olacağı da Type işlevi ile belirlenmiştir.

Daha sonra Partition ile de veri setinde eğitim ve test verisi olarak alınacak miktarlar belirlenmiştir. Yukarıda bahsedildiği gibi; eğitim verisi toplam verinin % 70’i ve test verisi toplam verinin % 30’u olacak şekilde belirlenmiştir. Hangi verinin eğitim hangisinin test grubunda olacağının da rassal olarak seçilmesi sağlanmıştır.

Bundan sonra da, C5.0 algoritması çalıştırılmıştır. Tahmin değerleri, karar destek sisteminde kullanılmak üzere Excel dosyası şeklinde dışarıya aktarılmıştır.

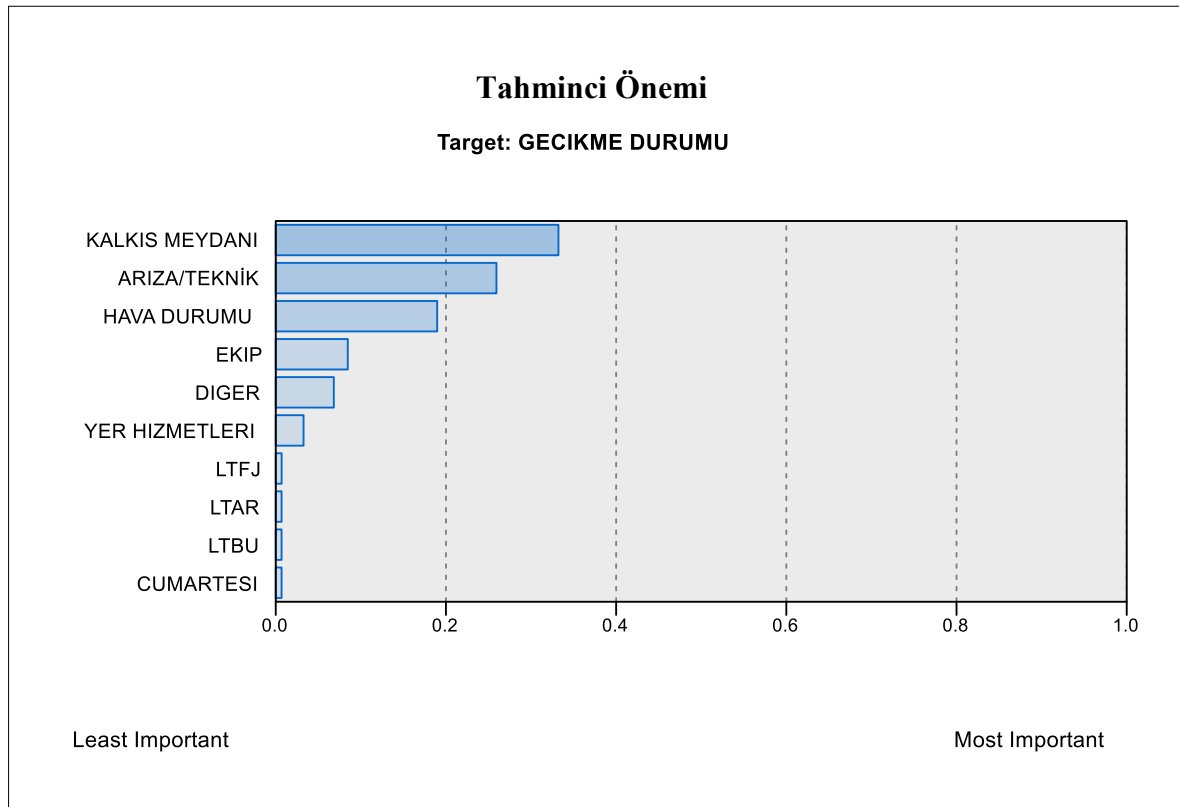


Şekil 6.4. C5.0 algoritması uygulaması

Şekil 6.4’te IBM SPSS Modeller programının yapısı ve oluşturulan C5.0 algoritması görülmektedir. Burada, kesik çizgilerle oluşturulan sisteme eklenmiş ‘gecikme durumu’ ve ‘gecikme durumurs’ nesneleri, modelin çalıştırılmasıyla otomatik olarak üretilen ve tıklanarak açıldığında modele ait bilgiler ile elde edilen kuralları içermekte olan nesnelerdir.

Modelin çalışmasıyla elde edilen kurallar ayrıntılı olarak EK-2’de verilmiştir. Ayrıca, dalların yer aldığı ekran görüntülerine de EK-3’de yer verilmiştir. Buna göre, algoritmanın dallanma seviyesinin yedi olduğu ve ilk sırada en önemli özellik olarak belirlenen ‘kalkış meydanı’ ndan dallanıldığı görülmüştür.

Şekil 6.5’te de yine algoritma ile elde edilen ve özelliklerin tahmindeki önem derecelerini gösteren bir grafik yer almaktadır.



Şekil 6.5. C5.0 algoritma sonuçları

Şekil 6.5’te, tahmin değerlerini hesaplariken veri setinde girdi olarak kullanılan özelliklerin önem dereceleri belirlenmiştir. Bu değerlere bakıldığında; gecikme nedenlerinden ‘kalkış meydanı’ olanaklarının gecikmeler açısından en yüksek öneme sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte; Sabiha Gökçen, Çorlu-Tekirdağ ve Sivas Havaalanlarında da gecikmelerin oldukça önemli olduğu söylenebilmektedir. Burada, Sabiha Gökçen Havalimanının çok yoğun olması nedeniyle bazı aksaklıkların sık yaşandığı düşünülebileceği gibi, tam tersi yönde Çorlu ve Sivas’ta az trafik olduğu için havaalanı imkanlarını düşünerek gerçekleşen işlemlerde tepki süresinin uzadığı da

düşünülebilmektedir. Ayrıca, Cumartesi günleri gerçekleşen uçuşlarda karşılaşılan gecikmeler de dikkat çekici olmuştur.

Sonuçlar için doğruluk derecesi, IBM SPSS Modeler 18.2 programının Çıktı sekmesinde yer alan karşılaştırmalı olarak değerleri görebileceğimiz Matrix işlevi üzerinden elde edilen değerlere göre Eş. 6.1. kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. C5.0 algoritması, gerçek değerler ve tahmin sonuçları

Karışıklık Matrisi		C5.0 Tahmin Sonuçları				
		Gecikme Yok	Az Gecikmeli	Çok Gecikmeli	Çok Fazla Gecikmeli	Normal Dışı
Gerçek Değerler	Gecikme Yok	994	9	1	1	0
	Az Gecikmeli	5	271	13	1	0
	Çok Gecikmeli	0	62	58	16	0
	Çok Fazla Gecikmeli	0	4	21	46	1
	Normal Dışı	1	1	6	12	6

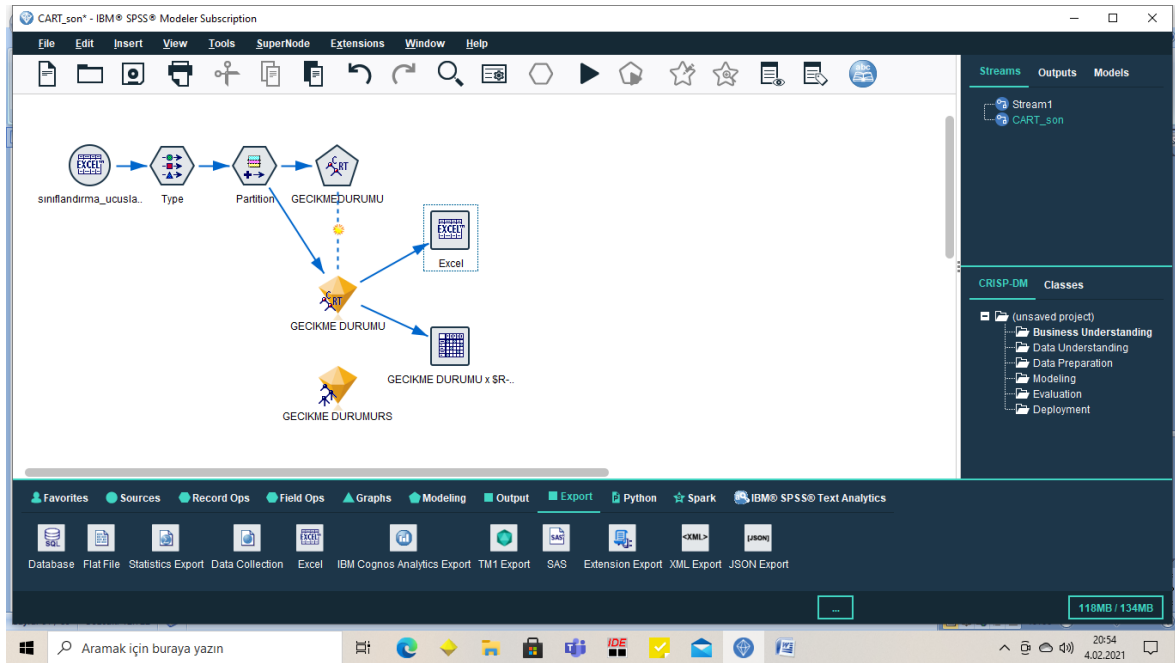
Doğruluk Derecesi=Köşegen Değerleri Toplamı/ Tüm Uçuşların Toplam Sayısı(6.1)

C 5.0 Doğruluk Derecesi= (994 + 271 + 58 + 46 + 6) / 1529 = 0,899

Çizelge 6.2’de, köşegen değerleri toplamı modelin doğru tahmin yaptığı sayıları göstermektedir.

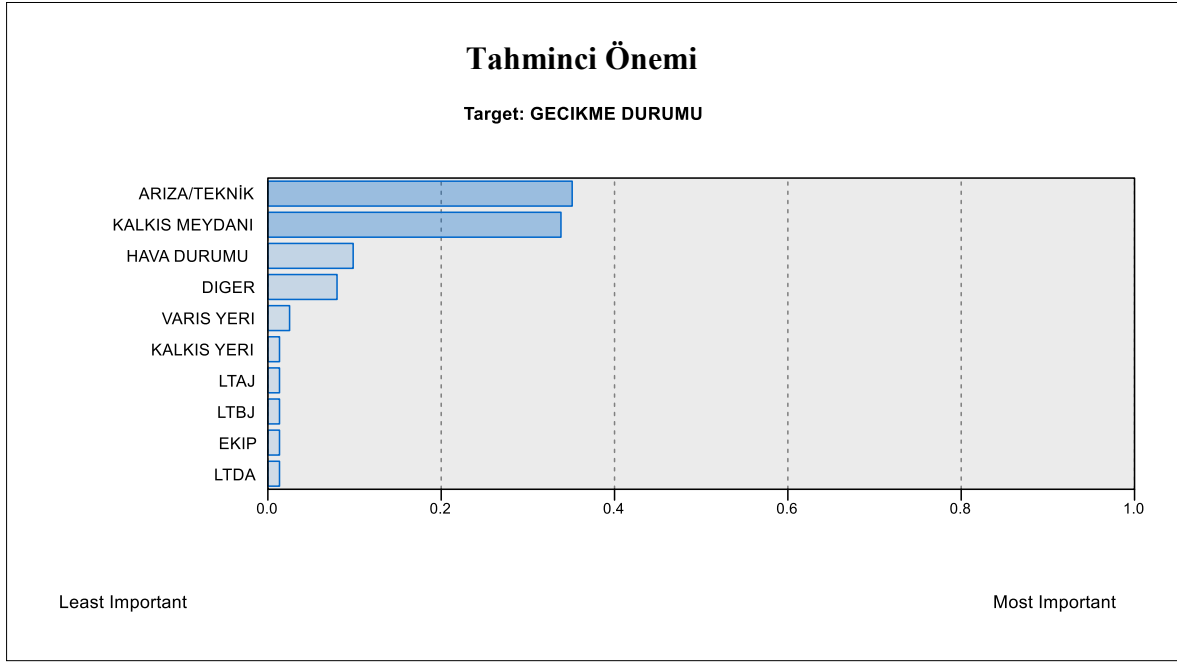
6.4.2. C&RT algoritmasının uygulanması ve sonuçlar

C&RT algoritmasında da; C5.0 algoritmasında belirtildiği gibi sırasıyla, kaynak olarak Excel veri seti eklendikten sonra Type ve Partition işlevleri eklenmiş ve daha sonra C&RT algoritması çalıştırılmıştır. Elde edilen ekran görüntüsü Şekil 6.6’da verildiği gibidir ve sonuçlara ait ekran görüntüsü de Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.6. C&RT algoritması uygulaması

Şekil 6.6’da görüldüğü gibi, C&RT algoritmasının uygulanmasında da, C5.0 algoritmasında izlenen adımlar izlenmiş ve aynı seçimler yapılmıştır.



Şekil 6.7. C&RT algoritma sonuçları

Şekil 6.7 ‘de görüldüğü gibi, C&RT algoritmasında ‘arıza/teknik’ daha fazla olmakla birlikte, ‘kalkış meydanı’ ile birbirine yakın önem derecelerine sahiptir. Tahmin edici özelliklerin önem derecelerine bakıldığında; ‘hava durumu’ ve ‘diğer nedenler’ bahsedilen özelliklerden büyük bir farkla ayrılırken yine de diğer tahminci özelliklere göre daha yüksek bir öneme sahip olmuştur. Ayrıca, Gaziantep, İzmir ve Hatay Havalimanları da daha yüksek önem derecesiyle diğer havalimanlarından ayrılmıştır.

Modelin çalışmasıyla elde edilen kurallar ayrıntılı olarak EK-4’te verilmiştir. Ayrıca, dalların yer aldığı ekran görüntülerine de EK-5’te yer verilmiştir. Bu şekilde de, algoritmanın dallanma seviyesinin dört olduğu ve ilk olarak, C5.0’da olduğu gibi belirlenen ‘kalkış meydanı’ ndan dallanıldığı görülmektedir.

Çizelge 6.3’te de, modelin başarısını değerlendirebilmek için gerçek değerler ve tahmin sonuçları verilmiştir.

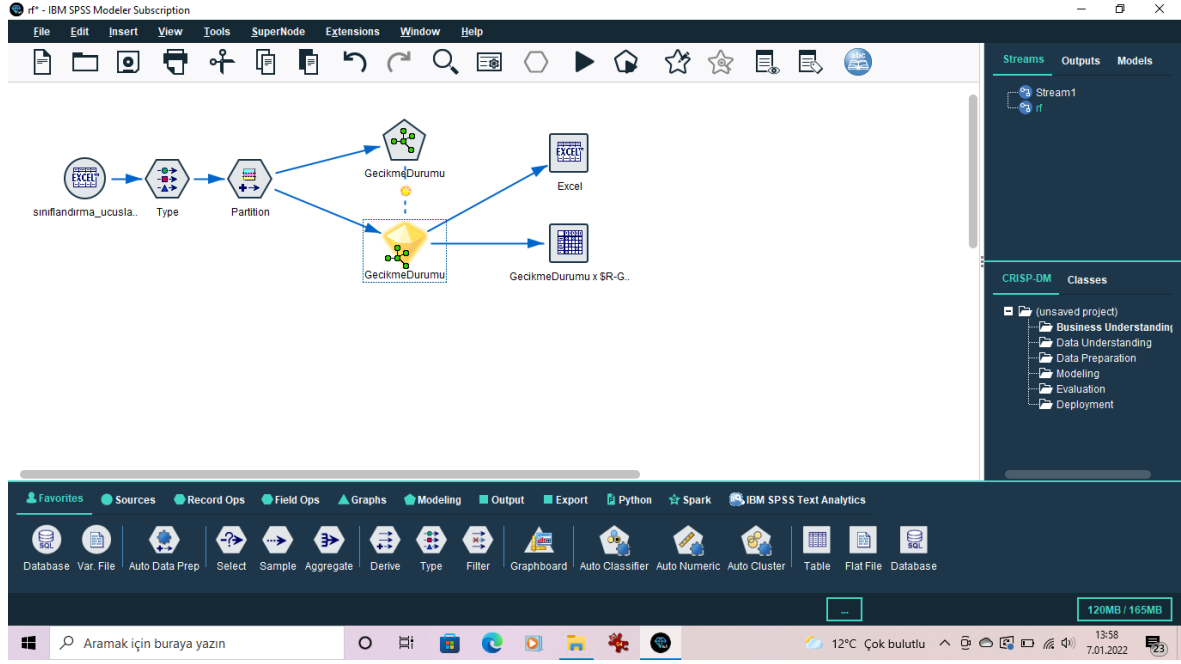
Çizelge 6.3. C&RT algoritması, gerçek değerler ve tahmin sonuçları

Karışıklık Matrisi		C&RT Tahmin Sonuçları				
		Gecikme Yok	Az Gecikmeli	Çok Gecikmeli	Çok Fazla Gecikmeli	Normal Dışı
Gerçek Değerler	Gecikme Yok	994	9	1	1	0
	Az Gecikmeli	8	275	6	1	0
	Çok Gecikmeli	8	92	22	14	0
	Çok Fazla Gecikmeli	4	30	7	31	0
	Normal Dışı	7	13	2	4	0

$$\text{C\&RT Doğruluk Derecesi} = (994 + 275 + 22 + 31) / 1529 = 0,864$$

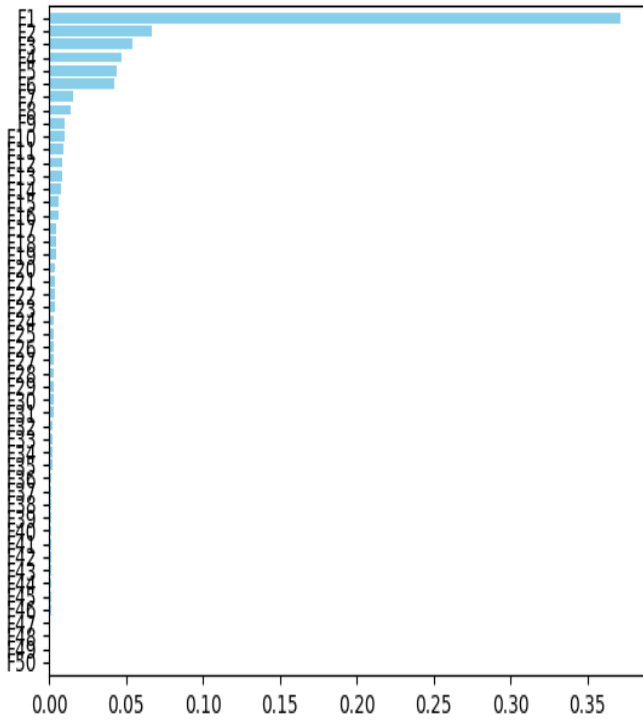
6.4.3. Rassal orman algoritmasının uygulanması ve sonuçlar

Rassal Orman yönteminde de, kullanılan programda olması gerektiği gibi; kaynak olan Excel dosyası eklendikten sonra Type ve Partition işlevleri eklenmiş ve daha sonra 'Random Forest' yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen ekran görüntüsü Şekil 6.8'de verildiği gibidir ve sonuçlara ait ekran görüntülerinden biri de Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.8. RO uygulaması

Şekil 6.8'e bakıldığında da, önceki algoritmalarda olduğu gibi gerekli seçimler yapıldığı, veri özelliklerinin belirlendiği ve bunlara göre algoritmanın gerekli sonuçları ürettiği görülmektedir.



Şekil 6.9. RO sonuçları

Şekil 6.9’da tüm özelliklerin önem derecelerine göre grafikte yer aldığı görülmektedir. Ek-6’da bu özelliklerin neler olduğu ve önem derecelerine göre sıralamaları verilmiştir. Aşağıda yer alan Çizelge6.4’te de en önemli on özellik sıralanmıştır.

Çizelge 6.4. RO yönteminde en önemli 10 özellik

Özellik Adı	Grafikteki Karşılığı
KalkisMeydani	F1
DIGER	F2
ArizaTeknik	F3
DOF	F4
HavaDurumu	F5
YerHizmetleri	F6
CUMARTESI	F7
Ekip	F8
VarisMeydani	F9
CARSAMBA	F10

Çizelge 6.4’egöre; bu yöntemde de ‘kalkismeydanı’ nın en önemli özellik olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, ‘arizateknik’ ve ‘havadurumu’ gibi kontrol edilmesi güç özelliklerinde önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca ‘cumartesi’ ve ‘carsamba’ günlerinde gerçekleşen uçuşların risk grubunda yer aldığı söylenebilmektedir. Bu tablonun tamamına bakıldığında (EK-6’da yer almaktadır); bazı havaalanlarının kalkış ve varış yeri olmasına göre de değerlendirildiği görülmektedir. Örneğin; varış yeri Ankara, kalkış yeri Sabiha Gökçen olan uçuşlarda yaşanan gecikmelerin önemli olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.5’te RO ile elde edilen tahmin değerleri ve gerçek değerlerin karşılaştırılması verilmiştir.

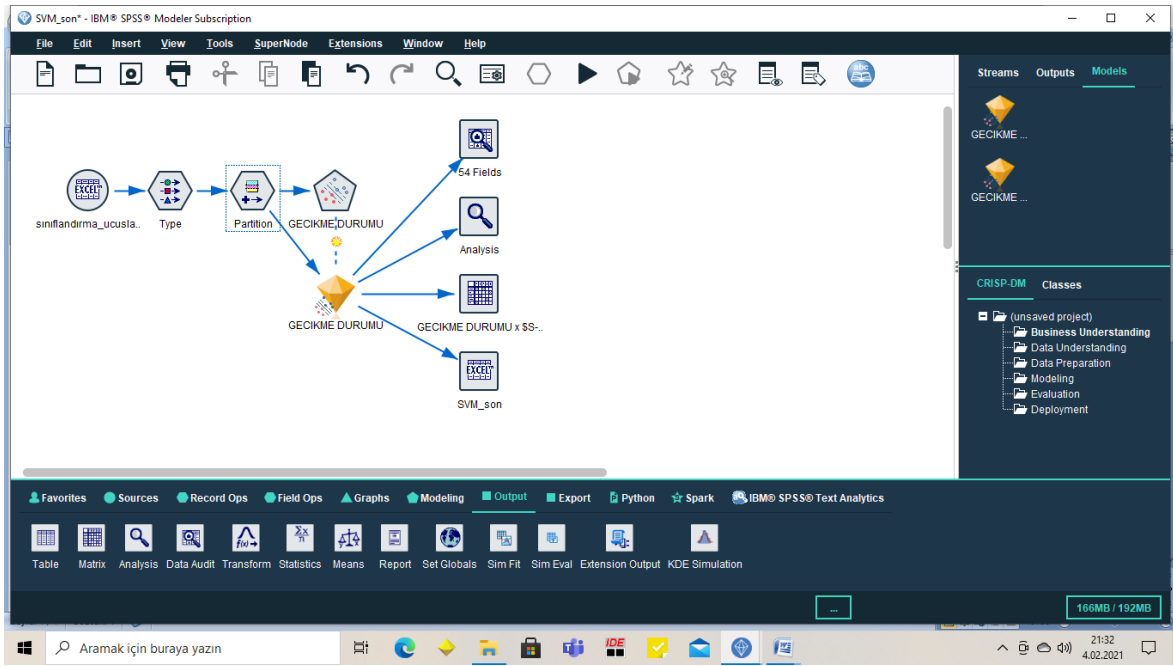
Çizelge 6.5. RO yöntemi, gerçek değerler ve tahmin sonuçları

Karışıklık Matrisi		C&RT Tahmin Sonuçları				
		Gecikme Yok	Az Gecikmeli	Çok Gecikmeli	Çok Fazla Gecikmeli	Normal Dışı
Gerçek Değerler	Gecikme Yok	998	3	3	1	0
	Az Gecikmeli	11	259	20	0	0
	Çok Gecikmeli	1	26	103	6	0
	Çok Fazla Gecikmeli	2	7	7	54	2
	Normal Dışı	5	1	4	1	15

$$\text{RO Doğruluk Derecesi} = (998 + 259 + 103 + 54 + 15) / 1529 = 0,934$$

6.4.4. DVM algoritmasının uygulanması ve sonuçlar

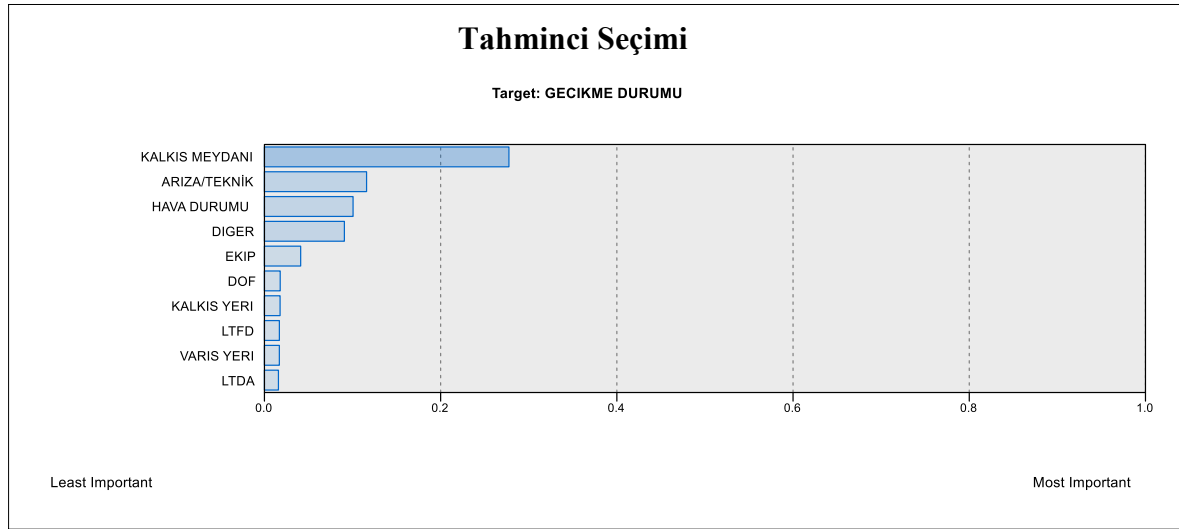
Destek vektör makinesinin uygulaması için de aynı veriler Excel dosyası olarak programa alınmıştır. Tüm algoritmalarda olduğu gibi burada da, *Type* ve *Partition* sisteme eklenerek DVM algoritması çalıştırılmıştır. Bu işleme ait ekran görüntüsü Şekil 6.10'da yer almaktadır.



Şekil 6.10. DVM Algoritması Uygulaması

Şekil 6.10'da görüldüğü gibi algoritmanın çalışmasıyla elde edilen yeni 'gecikme durumu' nesnesinin içine girilerek algoritma sonuçları incelenmiştir. Ayrıca, 'Output' sekmesinde bulunan 'Analysis' kullanılarak modelin çalışmasıyla hesaplanan istatistiksel değerler de incelenmiştir. Analysis ile elde edilen istatistiksel değerler EK-5'te verilmiştir.

Şekil 6.11'de ise, uçuşlara ait özelliklerin bu algoritma ile belirlenen tahmin edicilikteki önem dereceleri görülmektedir.



Şekil 6.11. DVM algoritması sonuçları

Şekil 6.11'e göre, burada da C5.0 algoritmasında olduğu gibi 'kalkış meydanı' en önemli tahmin edici özellik olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu özellik, görüntüde yer alan diğer özelliklerden belirgin bir farkla ayrılmıştır. Bunun yanında, Edremit ve Hatay Havalimanları da, diğer havalimanlarından ayrılarak bu görüntüde yer alacak kadar önemli olmuştur.

Çizelge 6.6.'da da, DVM algoritması ile elde edilen tahmin değerleri ve gerçek değerler Output sekmesinde yer alan Matrix ile bulunarak verilmiştir.

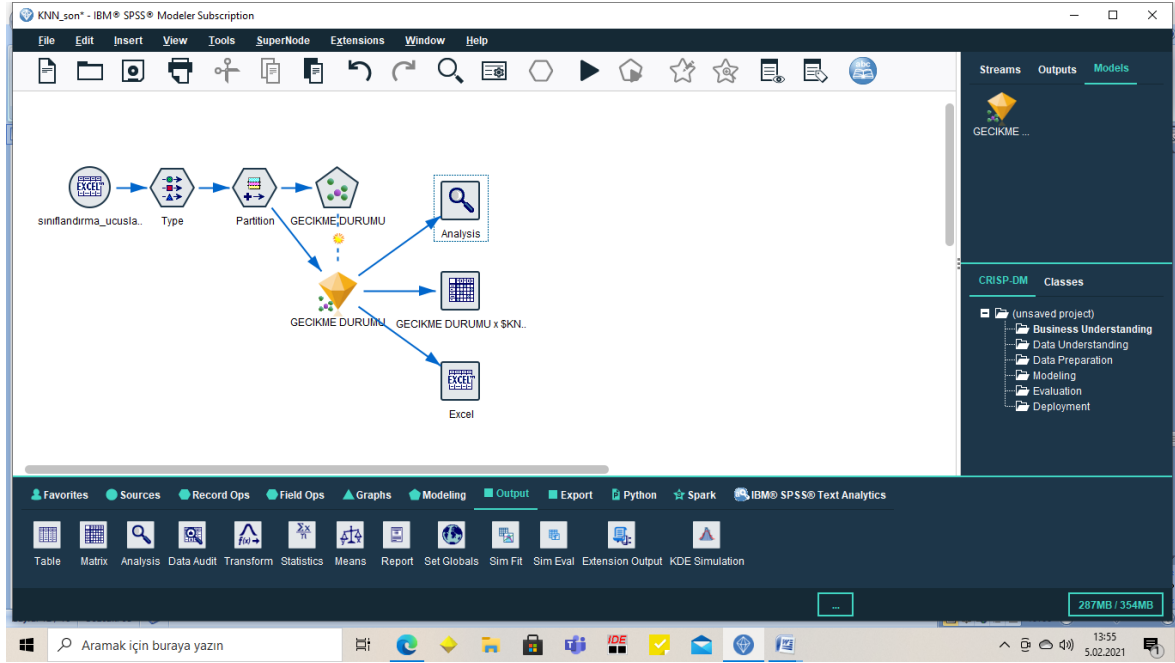
Çizelge 6.6. DVM algoritması, gerçek değerler ve tahmin sonuçları

Karışıklık Matrisi		DVM Tahmin Sonuçları				
		Gecikme Yok	Az Gecikmeli	Çok Gecikmeli	Çok Fazla Gecikmeli	Normal Dışı
Gerçek Değerler	Gecikme Yok	1000	1	3	1	0
	Az Gecikmeli	7	259	23	1	0
	Çok Gecikmeli	2	23	104	7	0
	Çok Fazla Gecikmeli	1	2	7	61	1
	Normal Dışı	4	1	2	5	14

$$\text{DVM Doğruluk Derecesi} = (1000 + 259 + 104 + 61 + 14) / 1529 = 0,940$$

6.4.5. KNN algoritmasının uygulanması ve sonuçlar

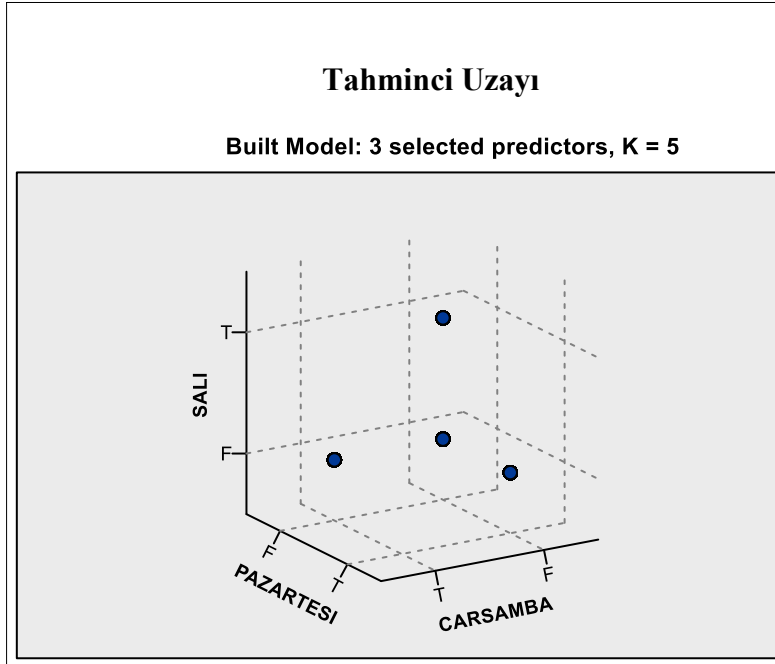
KNN algoritmasında da, önceki algoritmalarda olduğu gibi sırasıyla Source, Type ve Partition eklendikten sonra model çalıştırılmıştır. Modelin uygulanmasın ait ekran görüntüsü Şekil 6.12’de verilmiştir. Burada, k parametresi en yakın komşu sayısını ifade ettiğinden, iki farklı k değeri için farklı çözümler elde edilmiştir.



Şekil 6.12. KNN algoritması uygulaması

İlk olarak $k=5$ alınarak model çalıştırılmış ve elde edilen tahminci görüntüsü Şekil 6.13'te verilmiştir. Şekil 6.13'e göre, model oluşturulurken tahminci özelliklerde ilk olarak Pazartesi, Salı ve Çarşamba günlerinin seçildiği görülmektedir.

$k=5$ için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:



Şekil 6.13. $k=5$ için model

Çizelge 6.7’de, doğruluk derecesi hesaplamada kullanılan ve modelin elde ettiği tahmin sonuçlarını gösteren değerler verilmiştir.

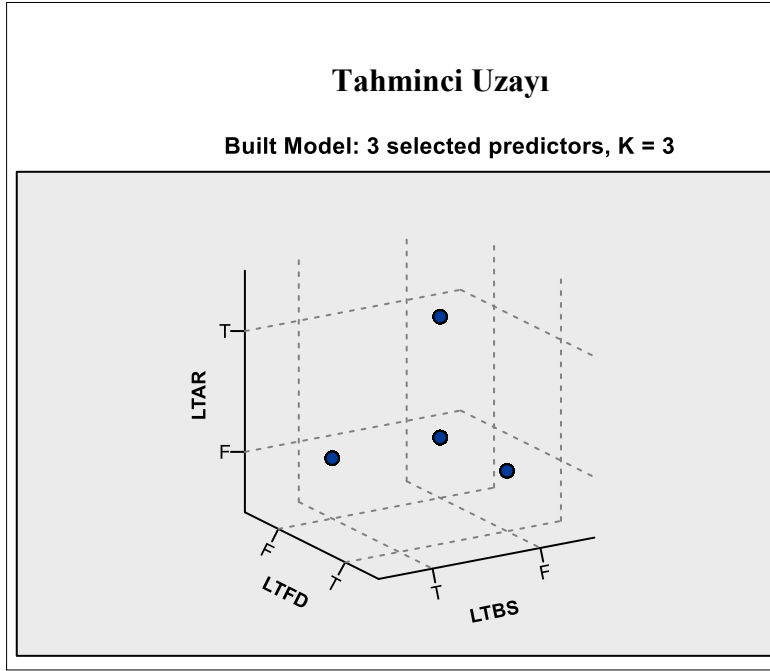
Çizelge 6.7. KNN algoritması k=5, gerçek değerler ve tahmin sonuçları

Karışıklık Matrisi		KNN k=5 Tahmin Sonuçları				
		Gecikme Yok	Az Gecikmeli	Çok Gecikmeli	Çok Fazla Gecikmeli	Normal Dışı
Gerçek Değerler	Gecikme Yok	991	14	0	0	0
	Az Gecikmeli	108	176	6	0	0
	Çok Gecikmeli	69	51	14	2	0
	Çok Fazla Gecikmeli	38	16	7	11	0
	Normal Dışı	13	10	2	0	1

KNN k=5, Doğruluk Derecesi = $(991 + 176 + 14 + 11 + 1) / 1529 = 0,780$

k=3 alındığında da, elde edilen tahminci özellikleri gösterimi Şekil 6.14'te verilmiştir. Şekil 6.14'e göre, model oluşturulurken tahminci özelliklerde ilk olarak Sivas, Balıkesir ve Dalaman günlerinin seçildiği görülmektedir.

k=3 için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:



Şekil 6.14. k=3 için model

Şekil 6.14'te, modelin farklı bir yol izleyerek, tahminci olarak başladığı noktaları değiştirdiği görülmektedir. Seçilen bu üç özellik; Edremit, Dalaman ve Sivas Havaalanlarıdır.

Çizelge 6.8'de KNN algoritmasında k=3 alındığı durumda elde edilen sonuçlar ve gerçek değerlerin karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 6.8. KNN algoritması k=3, gerçek değerler ve tahmin sonuçları

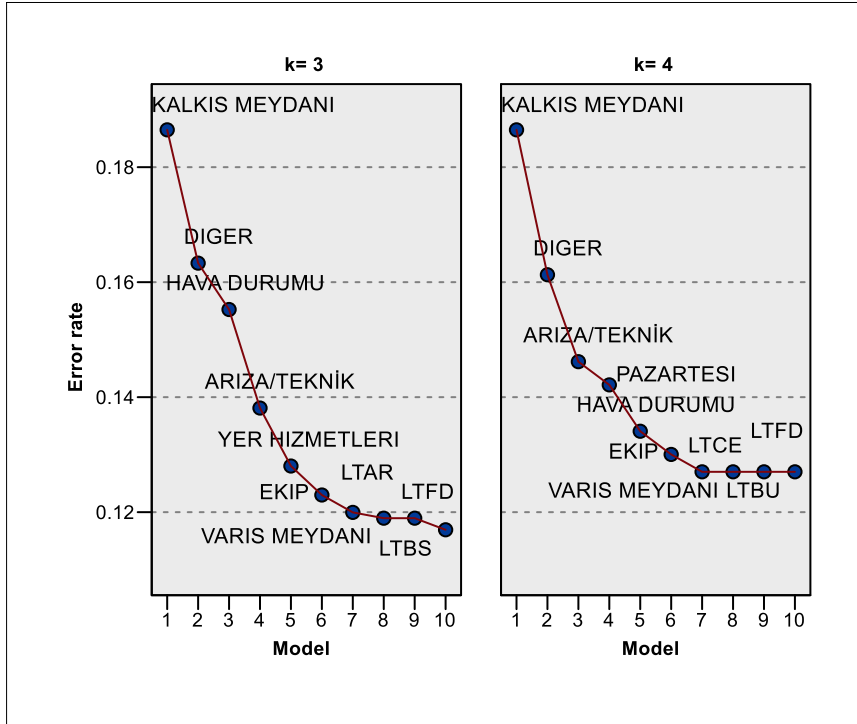
Karışıklık Matrisi		KNN k=3 Tahmin Sonuçları				
		Gecikme Yok	Az Gecikmeli	Çok Gecikmeli	Çok Fazla Gecikmeli	Normal Dışı
Gerçek Değerler	Gecikme Yok	994	9	2	0	0
	Az Gecikmeli	5	275	10	0	0
	Çok Gecikmeli	0	80	52	4	0
	Çok Fazla Gecikmeli	0	19	26	26	1
	Normal Dışı	1	2	14	7	2

KNN k=3, Doğruluk Derecesi = $(994 + 275 + 52 + 26 + 2) / 1529 = 0,882$

Her iki parametre değerine göre elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; k=3 alındığında doğruluk derecesinin yükseldiği görülmüştür. Yani k değerinin düşmesiyle daha iyi tahmin değerleri elde edilmiştir.

Ayrıca, k=3 için Analysis ile elde edilen istatistiksel değerler EK-8’da verilmiştir.

Şekil 6.15.’te de, algoritmanın farklı k değeri ve farklı tahminci seçimleriyle farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6.15. KNN örnek: k ve tahminci seçimi

Şekil 6.15'e göre, tahmin yapmak için seçilen özelliklerin hata oranlarına göre durumları yer almaktadır. Seçilen farklı özellikler ve k değerinin değişimi ile hata oranının değiştiği görülmüştür. Bununla birlikte diğer tahmin edici özelliklerin seçiminde bazı değişiklikler olsa da, 'kalkış meydanı' ilk olarak seçilen özellik olmuştur.

6.5. Kullanılan Modellerin Karşılaştırılması

Yakut (2012), Çalış ve diğerleri (2014), Yakut ve Gemici (2017)'de olduğu gibi bu çalışmada da birçok sınıflandırma algoritması birlikte kullanılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [7, 91, 92].

Çizelge 6.9'da da, algoritmaların doğruluk dereceleri sıralanmıştır.

Çizelge 6.9. Kullanılan algoritmalar ve doğruluk dereceleri

	Doğruluk Derecesi
DVM	0,940
RO	0,934
C5.0	0,899
KNN k=3	0,882
C&RT	0,864
KNN k=5	0,780

Çizelge 6.9'a göre, en yüksek doğruluk derecesine sahip algoritma DVM'dir. RO algoritması da, en yüksek doğruluk derecesine çok yakın bir değer elde etmiştir. k=5 olduğunda da, KNN algoritması en düşük doğruluk derecesine sahiptir.

Tahmin edici özellikler açısından bakıldığında; kalkış meydanının uçuşlar için çok önemli olduğu görülmektedir. Algoritmalarla göre; en önemli bulunan özellikler sırasıyla Çizelge 6.10'da verilmiştir. Bu çizelgede de görüldüğü gibi, Sivas havalimanı C5.0 ve KNN; Hatay Havalimanı C&RT ve SVM algoritmalarında dikkat çeken özellikler olmuştur. Bunun yanında; Sabiha Gökçen Havalimanı'nda C5.0 ve RO algoritmalarına göre sorun teşkil etmiştir.

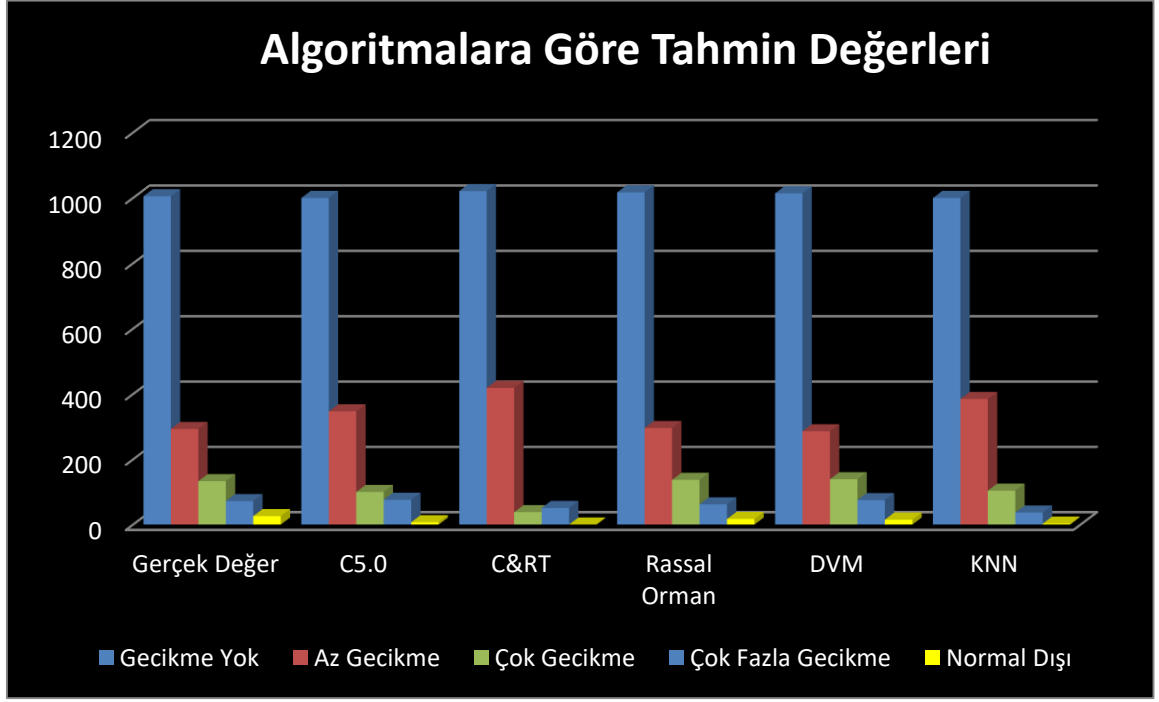
Çizelge 6.10. Algoritmalarla göre önemli özellikler

C5.0	C&RT	Rassal Orman	KNN	DVM
KalkisMeydani	ArizaTeknik	KalkisMeydani	KalkisMeydani	KalkisMeydani
ArizaTeknik	KalkisMeydani	Diğer	Diğer	ArizaTeknik
HavaDurumu	HavaDurumu	ArizaTeknik	HavaDurumu	HavaDurumu
Ekip	Diğer	YerHizmetleri	ArizaTeknik	Diğer
Diger	VarisYeri	HavaDurumu	YerHizmetleri	Ekip
YerHizmetleri	KalkisYeri	DOF	Ekip	DOF
LTFJ	LTAJ	Ekip	LTAR	KalkisYeri
LTAR	LTBJ	Cumartesi	VarisMeydani	LTFD
LTBU	Ekip	LTFJ	LTFD	VarisYeri
Cumartesi	LTDA	Pazartesi	LTBS	LTDA

Genel olarak, uygulaması yapılan tüm bu algoritmalar ile elde edilen sonuçlar oluşturulacak karar destek sisteminde kullanılmıştır. Algoritmaların tahminci olarak kullandığı bu özellikleri ele alışı ve sonuçlarda bazı farklar olsa da, üretilen her bir sonucun farklı bir konuda ipucu olabileceği düşünülerek KDS’de dikkate alınmıştır.

Çizelge 6.11’de, algoritmaların elde ettiği tahmin sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

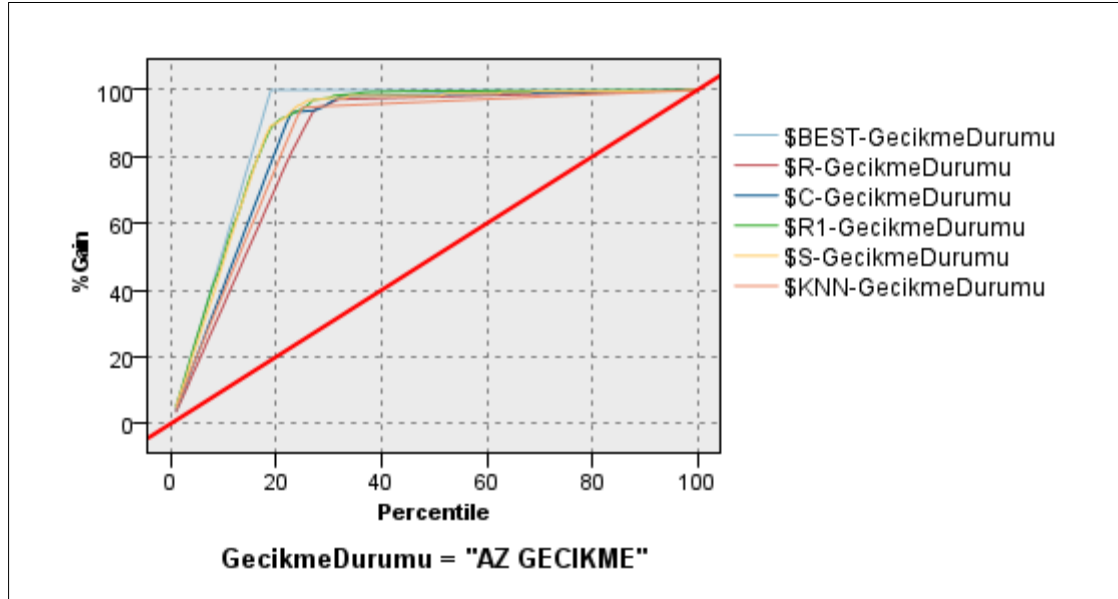
Çizelge 6.11. Gecikme sınıfına göre gerçek ve tahmin değerlerinin karşılaştırılması



Çizelge 6.11'e göre, tahmin değerlerine göre, rassal orman algoritmasının doğruluk derecesi, destek vektör makinesinden küçük olmasına rağmen 'normal dışı' gecikme sınıfına ait tahmin sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun yanında her iki algoritma da, C5.0 ve KNN algoritmalarına göre gerçeğe en yakın tahmin sayılarına ulaşmıştır. C&RT algoritması gecikme sınıfı 'normal dışı' olan uçuş bulamamıştır. Gecikmelerin minimize edilebilmesi için uçuşların gecikme sınıflarının tahmin edilmesi istendiğine ve 'normal dışı' gecikme sınıfının doğru tahmin edilmesi çok önemli olduğuna göre rassal orman ve destek vektör makinesi algoritmalarının daha öne geçtiği düşünülmektedir.

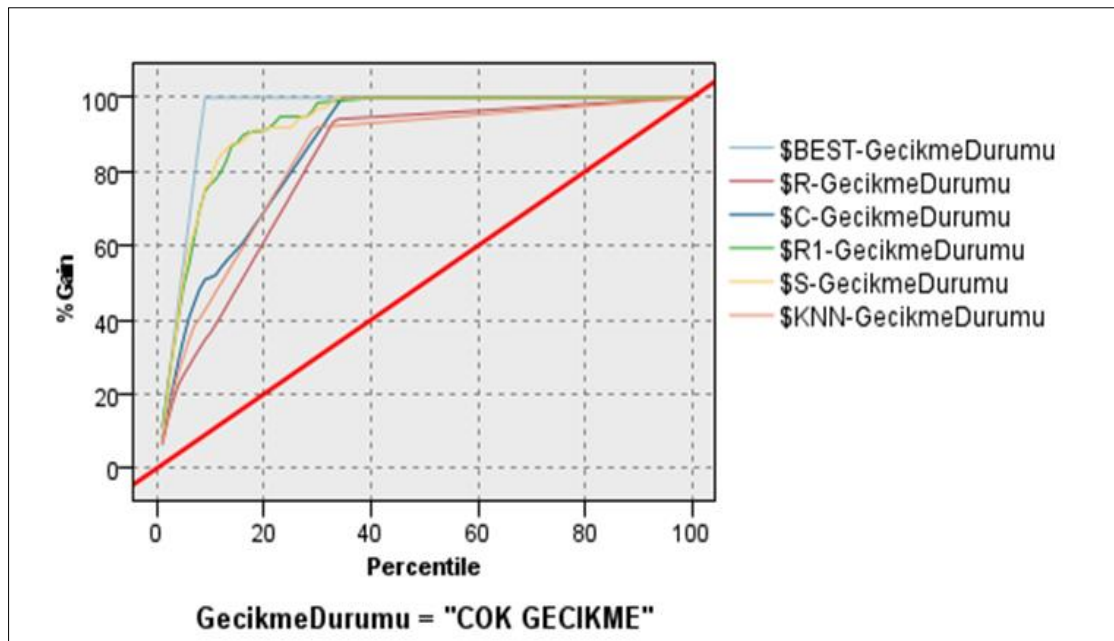
Aynı bakış açısıyla, bir diğer önemli gecikme sınıfı 'çok fazla gecikme' için ise öne çıkan algoritmalar; C5.0 ve destek vektör makinesi olmuştur. 'Çok gecikme' gecikme sınıfı için de, 'normal dışı' gecikme sınıfında olduğu gibi destek vektör makinesi ve rassal orman algoritmaları gerçeğe en yakın tahmin sonuçları elde etmiştir.

Bu çalışmada, sınıf sayısı 5 olduğu için kullanılan modelleri değerlendirmek üzere ROC eğrisi hazırlanamamış (2 sınıf olduğunda ROC eğrisi çizilebilmektedir) ve modeller *IBM SPSS Modeller*'da yer alan gains grafikleri ile değerlendirilmiştir.



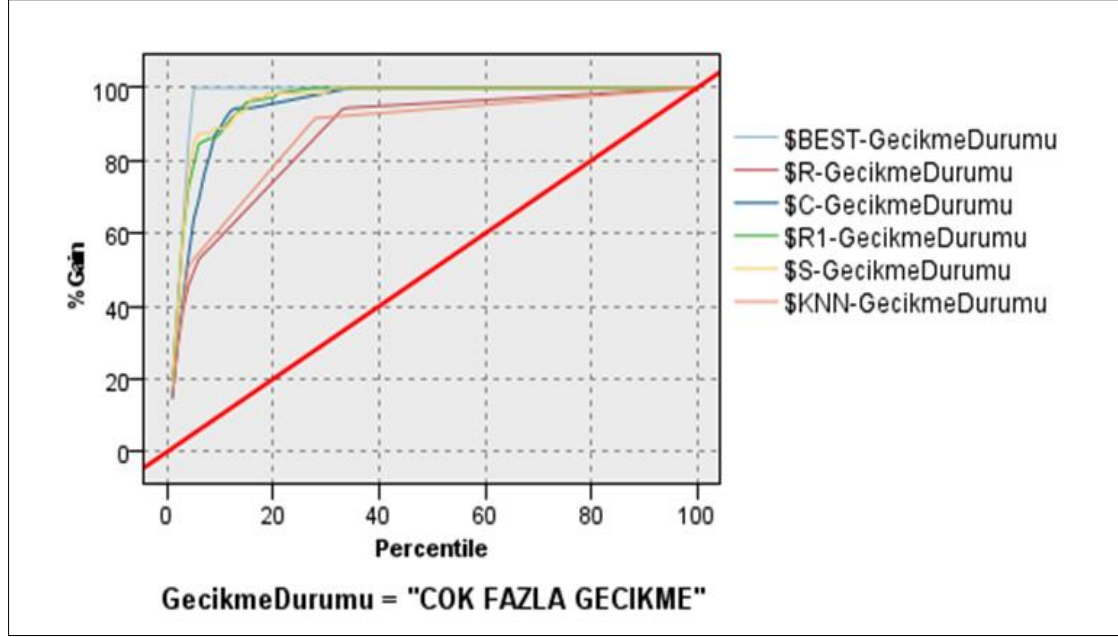
Şekil 6.17. 'AZ GECİKME' sınıfı için gains grafiği

Şekil 6.17'ye göre, 'Gecikme Yok' durumunda olduğu gibi tüm algoritmalar birbirine yakın sonuçlar üretmiş ve üst üste gelmiştir. Tüm algoritmalar, en iyi tahmin durumunu gösteren mavi eğriden biraz ayrılmıştır.



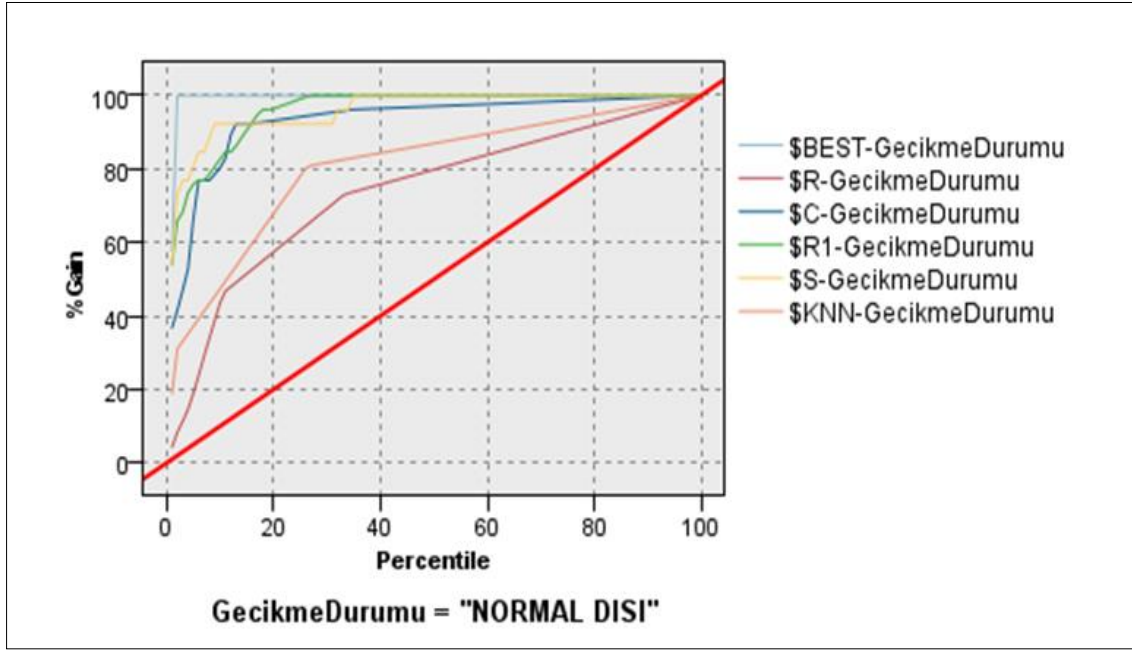
Şekil 6.18. 'COK GECİKME' sınıfı için gains grafiği

Şekil 6.18'e göre, algoritmalar arasında farklılıkların başladığı görülmektedir. En iyi tahmin eğrisine en yakın sarı ve yeşil eğriler olmakla birlikte bu eğriler birbirlerine de çok yakındır. 'COK GECIKME' sınıfı için Rassal orman ve Destek Vektör Makinesinin en iyi sonucu verdiği görülmektedir.



Şekil 6.19. 'COK FAZLA GECIKME' sınıfı için gains grafiği

Şekil 6.19'da ki 'COK FAZLA GECIKME' sınıfı tahmininde ise, Rassal orman, destek vektör makinesi ve C5.0 birbirine yaklaşmış durumdadır. C&RT ve KNN algoritmaları ise birbirine yakın ve diğer algoritmalarından ve olabilecek en iyi tahminden uzak durumdadır.



Şekil 6.20. 'NORMAL DISI' sınıfı için gains grafiği

Şekil 6.20'ye göre, 'Normal Dışı' gecikme sınıfını tahmin ederken algoritmaların performanslarına bakılacak olursa; 'Cok Fazla Gecikme' sınıfı grafiğine benzeyen bir gains grafiği elde edildiği görülmektedir. C5.0, destek vektör makinesi ve rassal orman birbirine yakın görünmekle birlikte rassal orman algoritması diğer algoritmaların üstünde yer almıştır. Ayrıca KNN algoritmasına yakın olsa da, C&RT algoritması diğerlerinden büyük bir farkla ayrılmaktadır.

6.6. Önerilen Karar Destek Sistemi

Önerilen karar destek sisteminde, karar vericilerin uçuşların gerçekleşmesini izlerken gecikme sınıfı özelliğine göre gecikme gerçekleşmeden önce önlem alınmasını sağlamak ya da bu mümkün değilse bozulan çizelgeyi düzeltmek için hızlı ve doğru kararlar alınmasını sağlamak hedeflenmiştir.

Veri Yönetimi

Önerilen karar destek sistemi, verisi Excel'de hazırlanan uçuş bilgilerinden oluşmaktadır. Sınıflandırma işleminin yapılmasıyla da, algoritmalarından elde edilen sonuçların

yorumlanarak kullanılabilmesi için elde edilen bilgiler de Excel tablosu olarak sisteme dahil edilmiştir.

Bu çalışmanın yapılmasında kullanılan Excel tablosu, önceki bölümde de bahsedildiği gibi, 1529x52 boyutludur. Burada, satırlar her bir uçuşu ve sütunlar bu uçuşlara ait ele alınan özellikleri göstermektedir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır:

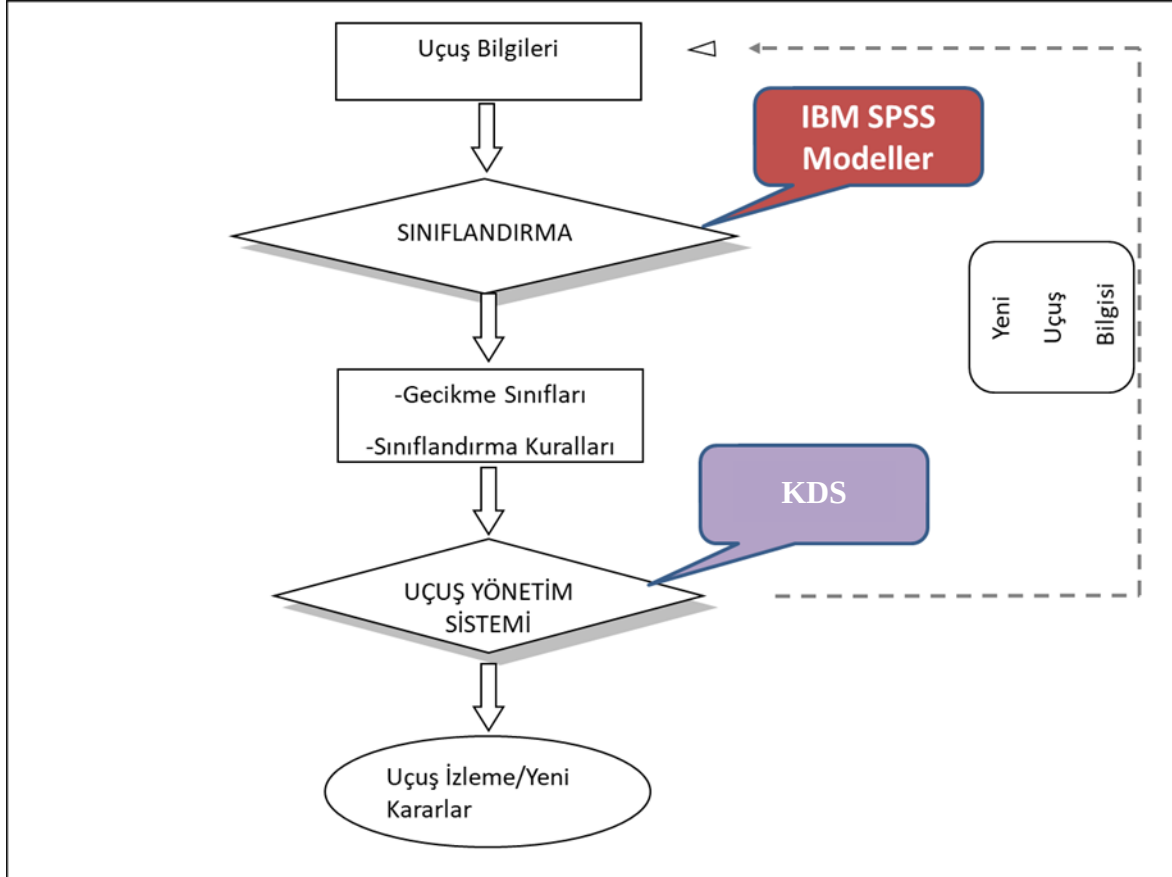
1. Çağrı Adı: Her uçuşu diğerinden ayıran ve havacılıkta ‘çağrı adı’ olarak nitelendirilen uçuş numarasını göstermektedir.
2. Günler: Uçuşu gerçekleştirdiği günün de, gecikme de etkisi olup olmadığını ve gecikmeye olan etkisini belirleyebilmek için haftanın her bir günü ayrı bir sütun olarak veri tablosunda yer almıştır.
3. Kalkış Yeri: İlgili uçuşun kalktığı havaalanını göstermektedir.
4. Varış Yeri: İlgili uçuşun indiği havaalanını göstermektedir.
5. Uçuş Tarihi: Uçuşu gerçekleştirdiği tarih de uçuşları birbirinden ayıran bir belirleyici olmuştur.
6. Havaalanları: Havaalanlarının da, uçuş özelliklerini göstermesinin yanında birbirleriyle de karşılaştırılabilmesi için yurt içindeki havaalanlarına ayrı bir sütun olarak da yer verilmiştir.
7. Gecikme nedenleri: Gecikme nedenleri daha önce de bahsedildiği gibi, havayolu tarafından belirlenen ve en çok gecikmeye neden olan faktörlere göre 7 grup altında toplanmış ve her biri ayrı bir sütunda gösterilmiştir.
8. Gecikme Sınıfı: Belirlenen 5 gecikme sınıfına göre her bir uçuşun hangi gecikme sınıfında olduğunu gösteren ve bir özellik olarak veri tablosuna eklenmiş sütundur.

Sınıflandırma algoritmaları ile elde edilen tahmin değerleri Excel dosyası şeklinde dışarıya aktarıldıktan sonra, hazırlanan Access veritabanında içeri alınarak kullanılması sağlanmıştır. Bu dosyada, her bir uçuş için ilgili algoritmanın elde ettiği tahmin sonucu eklenmiştir.

Model Yönetimi

Önerilen sistemin model yönetimi; sınıflandırma algoritmalarının ürettiği kural ve gecikme sınıfları tahmin edilirken elde edilen ve özelliklerin önem derecelerine göre ortaya çıkan

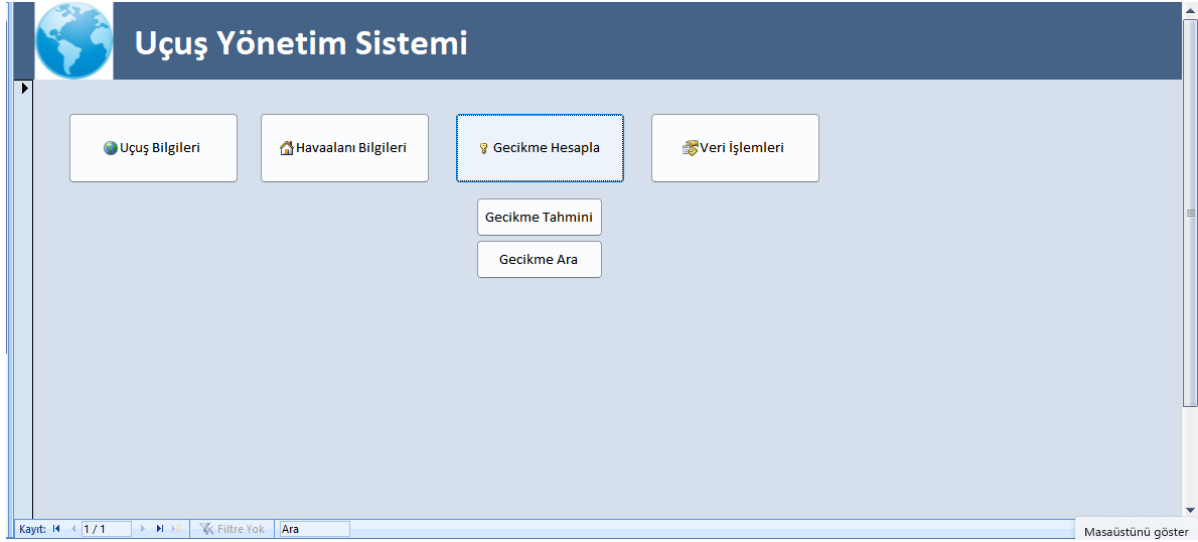
bilgilere göre uygulanmış olan kodlardan oluşmaktadır. C 5.0 ve C&RT algoritmalarıyla elde edilen kurallar, EK-2 ve EK-4'te verilmiştir. Algoritmalara göre önemli olan özelliklerde önceki bölümde şekillerle gösterilmiştir. Hazırlanan 'Uçuş Yönetim Sistemi' yapısı da Şekil 6.21'de yer almaktadır.



Şekil 6.21. Hazırlanan Uçuş Yönetim Sistemi Yapısı

Bilgi Yönetimi ve Diyalog Yönetimi

MS Access 2007'de hazırlanan program "Uçuş Yönetim Sistemi" olarak adlandırılmış ve açıldığında kullanıcının karşılaştığı ekran Şekil 6.22'de verilmiştir. Programda, model yönetiminde yer alan bilgilerden yapılan çıkarımlar da, kullanıcıya sunulmuştur.



Şekil 6.22. Uçuş Yönetim Sistemi Ekran-1

Şekil 6.22’ye göre; sistemin amacına uygun olarak uçuş, havaalanı, gecikme ve veri ile ilgili işlemler yapılabileceği görülmektedir. Uçuş bilgileri butonuna tıklandığında: ‘Uçuş Arama’ ve ‘Uçuş Detay’ ekranlarına ulaşılabilir. Uçuş Arama ekranı ile yukarıdaki bölümlerde bahsedilmiş olan ve bu çalışmada kullanılmak üzere belirlenen özelliklere göre ilgilenilen uçuş ve bu uçuşa ait özet bilgiler bulunabilmektedir. Bu özet bilgiler yeterli olmadığında ise ‘Uçuş Detay’ butonu ile tüm bilgileri elde edilebilmekte ve gerektiğinde değişiklikler yapılabilmektedir. Bahsedilen bu uygulamalar için ekran görüntüleri EK-9, EK-10, EK-11’de verilmiştir.

Şekil 6.22’de görülen ‘Havaalanı Bilgileri’butonu ile de gerektiğinde havaalanı bilgilerinin görülebildiği ve değişikliklerin yapılabildiği ekrana gidilmektedir. Bu ekrana ait örnek EK-12’de verilmiştir.

Yine Şekil 6.22’de görülen ‘Gecikme Hesapla’ butonu ile ‘Gecikme Tahmini’ ve ‘Gecikme Ara’ butonlarına ulaşılmaktadır. Böylece, sınıflandırma algoritmaları ile elde edilen sonuçların görüntülenerek karar vericiye hız kazandırılması ve yardımcı olunması hedeflenmiştir. Gecikme Tahmini butonuna tıklandığında; Şekil 6.23’te görülen algoritmalarla göre gecikme sınıfı tahminlerinin topluca görülebildiği ve ‘çağrı adı’ na göre arama yapılabilen ekran ortaya çıkmaktadır.

Çağrı Adı	Gerçek Gecikme	C5.0 Tahmini	CBT Tahmini	KNN Tahmini	DVM Tahmini	RO Tahmini
1	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK
2	COK GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	COK GECİKME
3	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME
4	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK
5	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK
6	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK
7	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME
8	COK GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	COK GECİKME	COK GECİKME
9	GECİKME YOK	GECİKME YOK	ArızaTeknik	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK
10	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK
11	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK
12	COK GECİKME	COK GECİKME	GECİKME YOK	COK GECİKME	COK GECİKME	COK GECİKME
13	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	AZ GECİKME	GECİKME YOK
14	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK	GECİKME YOK

Şekil 6.23. Gecikme Sınıfı Tahminleri

Şekil 6.23'te çağrı adına göre, her bir uçuş için her bir algoritmanın elde ettiği gecikme sınıfı tahmini yer almaktadır. Listede ilgilenilen uçuşun üzerinde çift tıklatıldığında ise; bu uçuşla ilgili daha detay bilgilerin görüldüğü, Şekil 6.24'te yer alan 'Gecikme Detay' ekranı açılmaktadır.

18 Temmuz 2022 Pazartesi

Çıkış

Çağrı Adı: 8

Gerçekleşen Gecikme: COK GECİKME

CGecikme Durumu: AZ GECİKME

RGecikme Durumu: AZ GECİKME

KGecikmeDurumu: AZ GECİKME

SGGecikme Durumu: COK GECİKME

FGecikme Durumu: COK GECİKME

Ucuz Detay Risk Hesapla Diğer Olasılık Risk Faktörü Geri Dön Neler Olabilir Yeniden

Şekil 6.24. Gecikme Detay

Şekil 6.24'te görülen 'Gecikme Detay' ekranında görüntülenen uçuşla ilgili birtakım hesaplamalar yapılabilmekte ve bazı noktalara dikkat çekilebilmektedir. Görüntülenen butonlar aracılığıyla yapılabilen bu işlemler aşağıda sıralanmıştır:

- Uçuş Detay: Bu uçuşla ilgili tüm bilgilere ulaşmak istenirse, kullanılacak butondur. Uçuş Detay ekranı örneği EK-11’de yer almaktadır.
- Risk Hesapla: Bu buton, ilgili uçuş için yapılan tahminlere göre olası bir gecikme durumu hesaplamaktadır. Burada, sınıflandırma algoritmalarının doğruluk derecelerine ve bulunan gecikme sınıfının ağırlığına göre ağırlıklandırma yapılmış ve tüm algoritmaların tahminleri tek bir gecikme sınıfı tahmini olarak kullanıcıya sunulmuştur. Bu ağırlıklandırmada, tüm algoritmalara ait doğruluk dereceleri (dd) toplanmış ve ilgili algoritmanın doğruluk derecesi bu toplama bölünerek ağırlığı hesaplanmıştır. Tek bir gecikme sınıfı hesaplaması yapılırken de; gecikme sınıflarına da, ağırlık verilerek (gecikme yok-1, az gecikme-2, çok gecikme-3, çok fazla gecikme-4, normal dışı-5) ilgili algoritmanın bulduğu gecikme sınıfının ağırlığı, algoritmanın ağırlığı ile çarpılmış ve normalize edilmiştir. Böylece, söz konusu uçuş için gerçekleşebilecek tek bir gecikme sınıfı bulunmuştur. UYS’nin ürettiği sonucu gösteren bir örnek “Gecikme Detay” ekranı EK-13’te verilmiştir.
- Diğer Olasılık: “Risk Hesapla” ile bulunan gecikme sınıfına alternatif olarak, uçuşun gerçek gecikme sınıfının da hesaba katılmasıyla başka bir gecikme sınıfının da bulunabileceği düşünülmüştür. Ayrıca, çeşitli örnekler incelendiğinde; DVM ve RO algoritmalarının gerçeğe daha yakın sonuçlar ürettiği dikkate alınırsa, bu algoritmaların ağırlık değerlerinin yükseltilerek kullanıcıya farklı bir alternatif olarak sunulmasına karar verilmiştir. Buna göre; “Diğer Olasılık” butonu ile elde edilen bir örnek “Gecikme Detay” ekranı EK-14’te verilmiştir.
- Risk Faktörü: Bu buton aracılığıyla, algoritmalara göre önemli olan risk faktörlerine ulaşılmaktadır. Buna ait örnek ekran görüntüsü EK-15’te verilmiştir.
- Geri Dön: İlgili uçuşa ait işlemler bittiğinde; “Gecikme Sınıfı Tahminleri” ekranına dönülmesini sağlamaktadır.
- Neler Olabilir: Bu butonun ürettiği sonuçlar için, karar ağacı algoritmalarının ürettiği kurallar ve tüm algoritmaların belirlediği önemli değişkenlerden yararlanılmıştır. Söz konusu uçuşun, belirlenen risk faktörlerine sahip olduğu durumlarda karar vericiye bazı uyarılarda bulunulmuştur. Buna ait örnek ekran EK-16’da verilmiştir.
- Yeniden: Elde edilen sonuçlardan sonra kullanıcı, bazı sınıflandırma kriterlerini değiştirerek bu sınıflandırma işlemine dönmek isterse kullanabileceği butondur. Ulaşılan ekran Şekil 6.26’da verilmiştir.

Şekil 6.22’de görülen Uçuş Yönetim Sistemi ana ekranından, ‘Gecikme Ara’ butonu ile algoritma ve gecikme sınıflarına göre uçuşların gecikme sınıflarının listelendiği Şekil 6.25’te verilen ‘Gecikme Sınıfı Tahmini Görüntüle’ ekranına ulaşılmaktadır.

Gecikme Sınıfı Tahmini Görüntüle

Çağrı Adı:

☐ Gecikme Yok (0<g<=30)
☐ Az Gecikmeli (30<g<=45)
☒ Çok Gecikmeli (45<g<=60)
☐ Çok Fazla Gecikmeli (60<g<=90)
☐ Normal Dışı (g>90)

Tahmin Bul

Temizle

Çıkış

CAGRI	CGecikmeDurumu
12	COK GECIKME
32	COK GECIKME
49	COK GECIKME
67	COK GECIKME
178	COK GECIKME
181	COK GECIKME

CAGRI	RGecikmeDurumu
181	COK GECIKME
224	COK GECIKME
283	COK GECIKME
330	COK GECIKME
333	COK GECIKME
335	COK GECIKME
354	COK GECIKME

CAGRI	RandomForest
2	COK GECIKME
8	COK GECIKME
12	COK GECIKME
23	COK GECIKME
26	COK GECIKME
32	COK GECIKME
33	COK GECIKME

CAGRI	SGecikmeDurumu
8	COK GECIKME
12	COK GECIKME
23	COK GECIKME
24	COK GECIKME
26	COK GECIKME
32	COK GECIKME
33	COK GECIKME

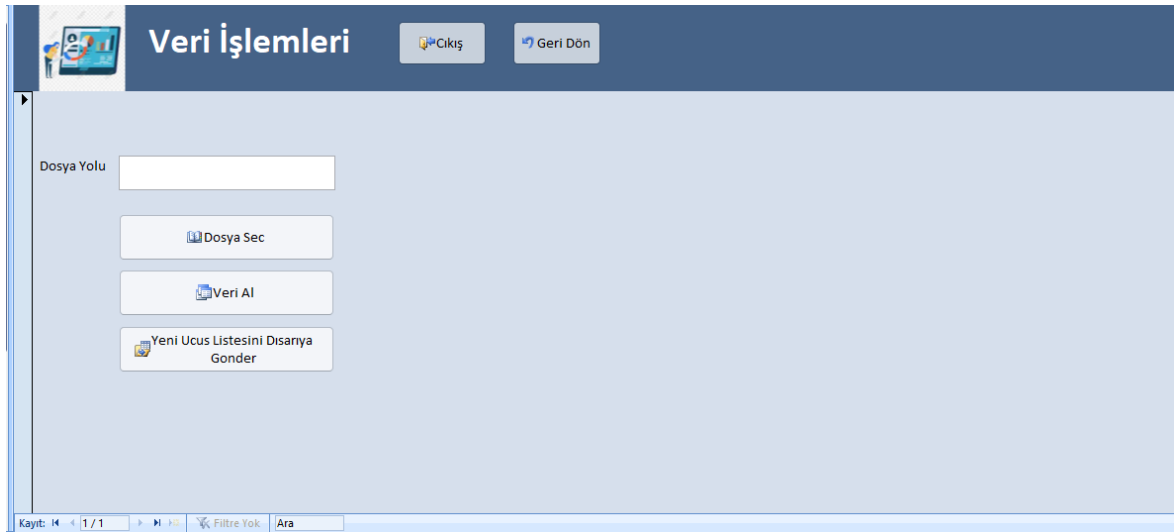
CAGRI	KGecikmeDurumu
12	COK GECIKME
21	COK GECIKME
23	COK GECIKME
24	COK GECIKME
32	COK GECIKME
49	COK GECIKME
61	COK GECIKME

Kayıt: 1 / 1 Filtre Yok Ara

Şekil 6.25. Gecikme Sınıfı Tahmini Görüntüle

Şekil 6.25’te, uçuşların ‘Çağrı Adı’ ve ‘Gecikme Sınıfı’na göre arama yapılabilmekte; her bir algoritma için de ayrı ayrı görüntülenebilmektedir.

Şekil 6.22’de görülen ana ekranda; “Veri İşlemleri” butonu ile sınıflandırma ve karar destek sisteminde üretilen ve kullanılan bilgilerin birbirine aktarıldığı, yukarıda bahsedilen “Yeniden” butonu ile de ulaşılabilen ekrana görüntülenmektedir.



Şekil 6.26. UYS Veri İşlemleri

Şekil 6.26 ‘te görüldüğü gibi; sınıflandırma işleminden sonra sisteme alınacak yeni veriler, “Dosya Seç” butonu ile ilgili konumdan seçilmekte ve “Veri Al” butonu ile programa dahil edilömektedir. Aynı şekilde “Yeni Uçuş Listesini Dışarıya Gönder” butonu ile de sistemde işlenmiş bilgiler sınıflandırma işlemi için dışarıya aktarılabilmektedir.

Hazırlanan karar destek sisteminin; sınıflandırma kuralları ve gecikme sınıflarını değerlendirmesi sağlanmıştır. Buna göre; karar verici gecikmelerin hiç meydana gelmemesi için uçuşların gecikme sınıflarına bakarak önceden fikir sahibi olabilmektedir.

6.7. Örnek Bir Veri Setiyle Mevcut ve Önerilen Durumun Karşılaştırılması

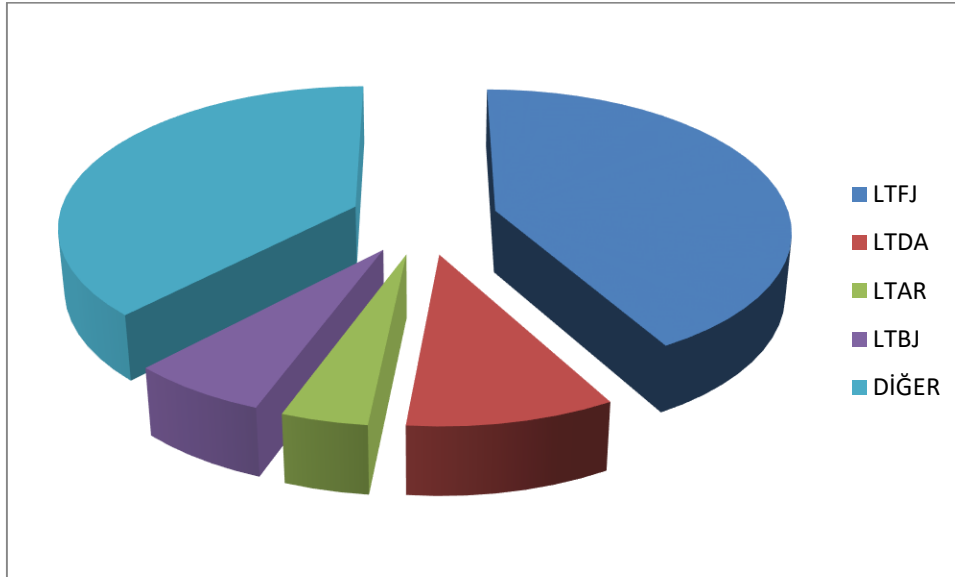
Bu bölümde, sınıflandırma algoritmalarıyla elde edilen tahmin sonuçlarının gerçeği ne kadar yansıttığını değerlendirebilmek amacıyla, yapılan çalışmadan sonra yine aynı tarife dönemine ait, 1 haftada yurtiçinde gerçekleştirilen 1030 uçuş ele alınmış ve gerçekleşen durum ile algoritma sonuçlarının ortak noktaları olup olmadığı araştırılmıştır. Bu uçuşlarda gerçekleşen gecikme durumu bilgileri aşağıdaki gibidir:

- ‘Gecikme Yok’ sınıfında gerçekleşen uçuş sayısı; 837,
- ‘Az Gecikmeli’ sınıfta gerçekleşen uçuş sayısı; 79,
- ‘Çok Gecikmeli’ sınıfta gerçekleşen uçuş sayısı; 49,
- ‘Çok Fazla Gecikmeli’ sınıfta gerçekleşen uçuş sayısı; 40,

- ‘Normal Dışı’ sınıfta gerçekleşen uçuş sayısı; 25.

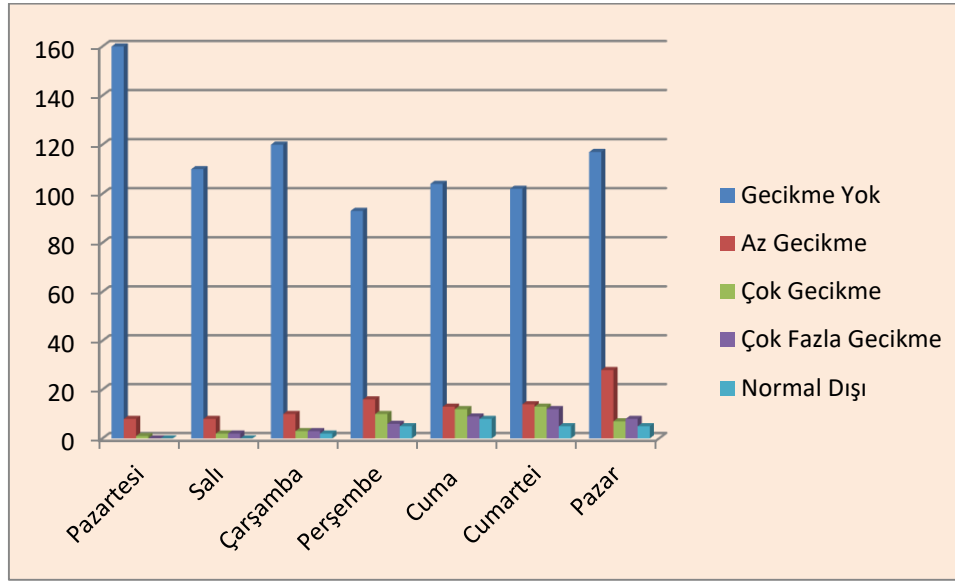
Çok Gecikmeli, Çok Fazla Gecikmeli ve Normal Dışı gecikme sınıflarındaki uçuşlar incelendiğinde; bu uçuşların çoğunun algoritma sonuçlarında da dikkat çekildiği gibi Sabiha Gökçen, İzmir, Hatay ve Sivas Havaalanlarında gerçekleşen uçuşlar olduğu görülmüştür. Çizelge 6.12’de de, bu havaalanlarında gerçekleşen çok gecikmeli, çok fazla gecikmeli ve normal dışı gecikme sınıflarının genel dağılımına göre tüm havaalanları içerisinde daha yoğun olduğu göze çarpmıştır.

Çizelge 6.12. Gecikmelerin çok olduğu havaalanlarının dağılımı



Ayrıca, bu gecikme sınıflarında gerçekleşen uçuşların günlere göre dağılımına bakıldığında; ‘Cumartesi’ günü meydana gelen gecikmelerin dikkat çektiği görülmektedir. Buna ait gösterim Çizelge 6.13’te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Günlere göre gecikme sınıflarının yoğunluğu



Çizelge 6.12 ve 6.13'te; algoritmaların tahmin yaparken elde ettiği bulgularla gerçekleşen önemli gecikme faktörlerinin örtüştüğü görülmektedir. Ele alınan uçuşlar, özelliklerine göre ayrıntılı olarak değerlendirildiğinde; uzun süreli gecikmeye sahip olan uçuşlar, algoritmaların bulduğu kritik özelliklere sahiptir. Gecikme tahmini için ele alınan uçuşlar ile sonrasında gerçekleşen uçuşlar karşılaştırıldığında; gerçek faktörler ve tahmin edilen faktörlerin uyduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6.8. Yapılan Çalışmanın Literatüre Katkısı

Yapılan çalışmada karar vericinin yerini alacak değil, karar vericiye ihtiyacı olan karar desteğini sağlamak üzere yola çıkılmıştır. Literatürde de, birçok çalışmanın operasyon kontrol merkezi çalışanlarına karar desteği sağlamak üzere yapıldığı görülmüş ve karar destek sistemlerinin amacının da, veriyi daha iyi anlayarak karar vermede, alternatifleri oluşturmak ve değerlendirmek olması sebebiyle karar destek sistemi hazırlanması düşünülmüştür.

Bununla birlikte, mevcut sistemde geçmiş verilerin ayrıntılı incelenerek faydalı çıkarımlar yapmak üzere kullanılmadığı ve gecikme olduktan sonra düzeltici önlemler alındığı görülmüştür. Gecikmelerin minimize edilmesinde, gecikme olmadan önce olası gecikme tahminlerinden faydalanılabileceği düşünülmüş ve bu nedenle, oluşturulması planlanan

karar destek sisteminin geçmiş verilerden yararlanarak çıkarımlar yapması hedeflenmiş ve bu amaçla uçuşlara ait gecikme durumu tahminleri yapılmıştır.

Literatürde, havayolu şirketlerinde uçuş aksaklıkları ile ilgili olarak veri bütünlüğü ve veri eksikliğinden bahseden, çeşitli kategorilerde gecikme tahmini yapan çalışmalar bulunsa da, karar destek sistemleri ve veri madenciliğinin birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada karar destek sistemi, sınıflandırma algoritmalarının ürettiği tahmin sonuçlarını değerlendirerek karar vericiye yardım sağlamaktadır.

Ayrıca, yapılan çalışma, literatürde ileri etkili çizelgeleme ve yeniden çizelgeleme olarak ikiye ayrılan havayolu bozulma yönetimi faaliyetlerinin her ikisinin özelliklerini de taşıması sebebiyle için her iki durumda da kullanılabilecektir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Oldukça dinamik bir yapıya sahip olan havayollarında; kaynakların hedefleri gerçekleştirecek işlere etkin bir şekilde atanması ve maliyet minizasyonu sağlayarak çizelgenin güncellenmesini sağlamak büyük önem taşımaktadır.

Havacılık sektöründe ani değişikliklerin çokça yaşanabildiği ve dolayısıyla belirsizliğin yüksek olduğu bilinmektedir. Bunun yanında, maliyetler ise oldukça yüksek olduğundan kaynakların işlere mümkün olduğunca etkin ve verimli olarak atanması gerekliliği çizelgeleme sürecinin önemini artırmaktadır. Yapılması gereken değişikliklerin çizelgelere yansıtılmasının da sistem üzerinde büyük bir etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, sistemin olabilecek değişikliklerden mümkün olduğunca az etkilenmesi ve değişikliklere olan karar verme süresinin en az olabilmesi için karar vericiye yardımcı olabilecek bir karar destek sistemi oluşturulması düşünülmüştür. Burada da, bozulmaya maruz kalan ya da kalabilecek uçuşların yeniden çizelgelenerek mevcut çizelgeden minimum sapma sağlanması ve böylece maliyetlerin minimizasyonu hedeflenmiştir.

Veri madenciliğinin temel amaçlarından biri olan gizli kalmış bilgiye ulaşmanın, bu sektörde de yürütülmekte olan operasyonlarla ilgili olarak karar vericiye ipucu sağlayacağı düşünülmüştür. Mevcut sistemde de veriyi analiz eden ve işleyen bir yapı bulunmadığı ve böyle bir yapının kullanılmasının sisteme katkılar sağlayacağı görülmüştür.

Gerçekte sistemin işleyişine bakıldığında, çizelge düzeltme OCC ofisi çalışanları tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada da, OCC çalışanlarına destek olabilecek ve bozulan çizelge için çözüm alternatiflerinin bulunmasında ön bilgi sağlayacak ya da farklı senaryolar hakkında bilgi verecek bir sistem hazırlanmıştır.

Yapılan çalışmada, başlangıçta uçuş dizileri ve bu uçuşların hangi uçaklarla gerçekleşeceği bilindiğinde; gerçekleştirilecek anlık bozulmalara karşı sistemin nasıl çözüm üretebileceği üzerinde durulmuştur. Meydana gelen anlık bozulmalara karşı sistemin oldukça hızlı çözüm üretme ihtiyacı ve yaşanan farklı durumlara göre farklı kısıtların ortaya çıkabilmesi nedeniyle, matematiksel modelin gerekli ihtiyacı karşılayamayacağı düşünülmüştür. Bunun nedeni, herhangi bir uçuş bacağı ve bu uçuş bacağının ardıllarında

gerçekleşecek çizelge düzeltme ihtiyacına hızlı cevap verilmesi ve yalnızca bu uçuş bacakları için değişiklik yapılması gerekliliğidir. Ayrıca, her durumda dikkate alınması gereken farklılıklar nedeniyle, uygulanacak matematiksel model standart bir formda olamayacaktır.

Bunun için de öncelikle; gerçekleşmiş uçuşlar belli özelliklerine göre belli gecikme sınıflarına ayrılmış ve uçuşlar için gecikme sınıfı tahmini yapılmıştır. Oluşturulan karar destek sisteminin de, bu gecikme sınıfı tahmin bilgilerine göre gerçekleşecek uçuşların takibinde karar vericiye ön fikir sağlayacağı ve böylece gerekebilecek önlemlerin alınabileceği düşünülmüştür.

Havayollarında bozulma yönetiminin giderek önem kazandığı ve yapılan çalışmaların arttığı görülmekte ve bu çalışmanın da veri madenciliği ve karar destek sistemini birlikte kullanması açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca gecikme tahmininin, literatürde ileri etkili çizelgeleme ve çizelge düzeltme olarak iki ayrı şekilde gerçekleştirilen havayolu bozulma yönetimi faaliyetlerinin her ikisinin özelliklerini de taşıyan bir yapıya sahip olduğu görülmüş ve bu çalışmanın da her iki konuda da değerlendirilebileceği düşünülmüştür. Bu nedenle, gecikme tahmini yapılması ve sonuçların değerlendirilerek kullanılması işleticiler açısından büyük fayda sağlayacaktır.

Bu çalışmada, uçuşlar özelliklerine göre incelenmiş olup; uçuşlarda alınabilecek önlemler konusunda kullanıcıya ön fikir sağlanmıştır. Daha sonraki çalışmalarda, önerilen bu uçuş yönetim sistemine ekip ve uçaklarla ilgili daha ayrıntılı bilgilerin eklenmesiyle entegre bir yapının elde edilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Çankaya, G. (2008). *Havayolu ekip çizelgeleme problemi için bir sütun oluşturma yaklaşımı ve uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-14 .
2. Deveci, M., and Demirel, N., Ç. (2018). A survey of the literature on airline crew scheduling, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 74, 54-69.
3. Kohl, N., Larsen, A., Larsen, J., Ross, A., and Tiourine, S. (2007). Airline disruption management—Perspectives, Experiences and Outlook. *Journal of Air Transport Management*, 13, 149–162.
4. Zhang, D., Lau, H.Y.K H.,and Chuhan, Y. (2015). A two stage heuristic algorithm for the integrated aircraft and crew schedule recovery problems. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 436-453.
5. Smith, S.F. (1995). Reactive scheduling systems. In D. E. Brown and W. T. Schering (Eds.), *Intelligent Scheduling Systems*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 155-192.
6. Sabuncuoglu, İ., and Bayız, M. (2000). Analysis of reactive scheduling problems in a job shop environment, *European Journal of Operational Research*, 126, 567-586.
7. Aytug, H., Lawley, M. A., McKay, K., Mohan, S., and Uzsoy, R. (2005). Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions, *European Journal of Operational Research*, 161,86–110.
8. Yakut, E. (2012). *Veri madenciliği tekniklerinden C5.0 algoritması ve destek vektör makineleri ile yapay sinir ağlarının sınıflandırma başarılarının karşılaştırılması: imalat sektöründe bir uygulama*. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi,Erzurum, 20-27.
9. İnternet: Ülgen, K. Makine Öğrenimi Bölüm-5 (Karar Ağaçları). (2017). URL: <http://medium.com/@k.ulgen90/makine-ogrenimi-bolum-5-karar-agaclari-c90bd7593010>, Son Erişim Tarihi: 30.11.2022.
10. İnternet: Ülgen, K. Makine Öğrenimi Bölüm-2 (k- En Yakın Komşuluk). (2017). URL: <https://medium.com/@k.ulgen90/makine-ogrenimi-bolum-2-6d6d120a18e1>, Son Erişim Tarihi: 30.11.2022.
11. İnternet: Ertosun, A. D., Bağ, B., Uzar, G., Turanoğlu, M. A. (2010). Roc (Receiver operating characteristic) eğrisi yöntemiile tanıttestlerinin performanslarının değerlendirilmesi. URL: <https://tip.baskent.edu.tr/kw/upload/464/dosyalar/cg/sempozyum/ogrsmpzsnm12/10.2.pdf>, Son Erişim Tarihi 30.11.2022.
12. Gökçen, H. (2005), *Yönetim Bilgi Sistemleri*(İkinci Baskı). Ankara: Epi Yayıncılık, 53-56.

13. Internet: Demirer, Ö. Karar Destek Sistemleri. URL: https://hitit.edu.tr/dersnotlari/omurdemirer_24.05.2018_3y0j.pdf, Son Erişim Tarihi 06.08.2020.
14. Lohatepanont, M., and Barnhart, C. (2004). Airline Schedule Planning: Integrated Models and Algorithms for Schedule Design and Fleet Assignment. *Transportation Science*, 38, 19-32.
15. Merciera, A., Cordeau, J., and Soumis, F. (2005). A computational study of Benders decomposition for the integrated aircraft routing and crew scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 32, 1451–1476.
16. Grönkvist, M. (2006). Accelerating column generation for aircraft scheduling using constraint propagation. *Computers & Operations Research*, 33, 2918–2934.
17. Mercier, A., and Soumis, F. (2007). An integrated aircraft routing, crew scheduling and flight retiming model. *Computers & Operations Research*, 34, 2251 – 2265.
18. Soomer, M. J., and Franx, G. J. (2008). Scheduling aircraft landings using airlines' preferences. *European Journal of Operational Research*, 190, 277–291.
19. Yan, S., Tang, C., and Fu, T. (2008). An airline scheduling model and solution algorithms under stochastic demands. *European Journal of Operational Research*, 190, 22–39.
20. Papadakos, N. (2009). Integrated Airline Scheduling, *Computers & Operations Research*, 36, 176 – 195.
21. Orhan, İ., Kapanoğlu, M., ve Karakoç, T. H. (2010). Havayolu operasyonlarında planlama ve çizelgeleme, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 181-191.
22. Maenhout, B. and Vanhoucke, M. (2010). A hybrid scatter search heuristic for personalized crew rostering in the airline industry. *European Journal of Operational Research*, 206, 155–167.
23. Weide, O., Ryan, D., and Ehrgott, M. (2010). An iterative approach to robust and integrated aircraft routing and crew scheduling. *Computers & Operations Research*, 37, 833 – 844.
24. Chen, C. H., Yan, S., and Chen, M. (2010). Applying Lagrangian relaxation-based algorithms for airline coordinated flight scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering*, 59, 398–410.
25. Cadarso, L., and Marin, A. (2011). Integrated Robust Airline Schedule Development. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20, 1041–1050.
26. Deng, G., and Lin, W. (2011). Ant colony optimization-based algorithm for airline crew scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 38, 5787–5793.

27. Saddoune, M., Desaulniers, G., Elhallaoui, I., and Soumis, F. (2011). Integrated airline crew scheduling: A bi-dynamic constraint aggregation method using neighborhoods. *European Journal of Operational Research*, 212, 445–454.
28. Jacobs, T. L., Garrow, L. A., Lohatepanont, M., Koppelman, F. S., Coldren, G. M., and Purnomo, H., (2012). “Airline Planning and Schedule Development”, *Quantitative Problem Solving Methods in the Airline Industry A Modeling Methodology Handbook*, 35-99.
29. Orhan, İ., Kaplanoğlu, M., ve Karakoç, T. H. (2012). Hedef programlama ile bütünleşik uçak rotalama ve bakım çizelgeleme. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(1), 11-26.
30. Azadeh, A., Farahani, M. H., Eivazy, H., Nazari-Shirkouhi, S., and Asadipour, G. (2013). A hybrid meta-heuristic algorithm for optimization of crew scheduling. *Applied Soft Computing*, 13, 158–164.
31. Saddoune, M., Desaulniers, G., and Soumis, F. (2013). Aircrew pairings with possible repetitions of the same flight number. *Computers & Operations Research*, 40,805–814.
32. Pita, J. P., Adler, N., and Antunes, A. P. (2014). Socially-oriented flight scheduling and fleet assignment model with an application to Norway. *Transportation Research Part B*, 61, 17–32.
33. Dunbar, M., Froyland, G., and Wu, C.L. (2014). An integrated scenario-based approach for robust aircraft routing, crew pairing and re-timing. *Computers & Operations Research*, 45, 68–86.
34. Dong, Z., Chuyang, Y., and Lau, H.Y.K.H. (2016). An integrated flight scheduling and fleet assignment method based on a discrete choice model. *Computers & Industrial Engineering*, 98, 195-210.
35. Abdelghany, A., Abdelghany, K., and Azadian, F. (2017). Airline flight schedule planning under competition. *Computers & Operations Research*, 87, 20-39.
36. Cadarso, L., and Celis, R. (2017). Integrated airline planning: Robust update of scheduling and fleet balancing under demand uncertainty. *Transportation Research Part C*, 81, 227-245.
37. Beulen, M., Scherp, L., and Santos, B.F. (2020). Dynamic evaluation of airline Crew’s flight requests using a neural network. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 9, 100018.
38. Khanmirza, E., Nazarahari, M., and Haghbeigi, M. (2020). A heuristic approach for optimal integrated airline schedule design and fleet assignment with demand recapture. *Applied Soft Computing*, 96, 106681.
39. Yaakoubi, Y., Soumis, F., and Lacoste-Julien, S. (2020). Machine learning in airline crew pairing to construct initial clusters for dynamic constraint aggregation. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 9, 100020.

40. Ahmed, M. B., Hryhoryeva, M., Hvattum, L., M., and Haouari, M. (2022). A matheuristic for the robust integrated airline fleet assignment, aircraft routing, and crew pairing problem. *Computers and Operations Research*, 137, 105551.
41. Su, Y., Xie, K., Wang, H., Liang, Z., Chaovalitwongse, W.A., and Pardalos, P.M. (2021). Airline Disruption Management: A Review of Models and Solution Methods. *Engineering*, 7, 435-447.
42. Hassan, L.K., Santos, B.F., and Vink, J. (2021). Airline disruption management: A literature review and practical challenges. *Computers and Operations Research*, 127, 105137.
43. Jiang, H., and Barnhart, C. (2006). Dynamic and Flexible Airline Schedule Design. *Global Airline Industry Program*, 4-10.
44. Teodorovic, D., and Stojkovic, G. (1995). Model to Reduce Airline Schedule Disturbances. *Journal of Transportation Engineering*, 121(4), 324-331.
45. Thrampoulidis, K.X., Goumopoulos, C. And Housos, E. (1997). Rule handling in the day-to-day resource management problem: an object-oriented approach. *Information and Software Technology*, 39, 185-193.
46. Abdelghany, K., F., Shah, S., S., Raina, S., and Abdelghany, A., F. (2004). A model for projecting flight delays during irregular operation conditions. *Journal of Air Transport Management*, 10(6), 385–394.
47. Abdel-Aty, M., Lee, C., Bai, Y., Li, X., and Michalak, M. (2007). Detecting periodic patterns of arrival delay. *Journal of Air Transport Management*, 13(6), 355–361.
48. Lee, L. H., Lee, C. U., and Tan, Y. P. (2007). A multi-objective genetic algorithm for robust flight scheduling using simulation. *European Journal of Operational Research*, 177, 1948–1968.
49. Medard, C. P., and Sawhney, N. (2007). Airline crew scheduling from planning to operations. *European Journal of Operational Research*, 183, 1013–1027.
50. Warburg, V., Hansen, T. G., Larsen, A., Norman, H., Anderson, E. (2008). Dynamic airline scheduling: An analysis of the potentials of reflighting and retiming. *Journal of Air Transport Management*, 14, 163–167.
51. Jiang, H., and Barnhart, C. (2009). Dynamic Airline Scheduling. *Transportation Science*, 43, 336-354.
52. Clausen, J., Larsen, A., Larsen, J., and Rezanova, N.J. (2010). Disruption management in the airline industry—Concepts, models and methods. *Computers & Operations Research*, 37, 809 – 821.

53. Liu, T., Chen, C., and Chou, J. (2010). Optimization of short-haul aircraft schedule recovery problems using a hybrid multiobjective genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 37, 2307–2315.
54. Burke, E. K., Causmaecker, P. D., Maere, G. D., Mulder, J., Paelinck, M., and Berghe, G. V. (2010). A multi-objective approach for robust airline scheduling. *Computers & Operations Research*, 37, 822 - 832.
55. Dück, V., Ionescu, L., Kliwer, N., and Suhl, L. (2012). Increasing stability of crew and aircraft schedules. *Transportation Research Part C*, 20, 47–61.
56. Jiang, H., and Barnhart, C. (2013). Robust airline schedule design in a dynamic scheduling environment. *Computers & Operations Research*, 40, 831–840.
57. Brunner, J.O. (2014). Rescheduling of flights during ground delay programs with consideration of passenger and crew connections. *Transportation Research Part E*, 72, 236-252.
58. Vos, H.W. M., Santos, B. F., and Omondi, T. (2015). Aircraft schedule recovery problem – a dynamic modeling framework for daily operations. *Transportation Research Procedia*, 10, 931 – 940.
59. Maher, S.J. (2015). Solving the integrated airline recovery problem using column-and-row generation”, *Transportation Science*, 50, 216-239.
60. Serrano, F. J. J., and Kazda, A. (2017). Airline disruption management: yesterday, today and tomorrow. *Transportation Research Procedia*, 28, 3–10.
61. Bouarfa, S., Müller, J., and Blom, H. (2018). Evaluation of a Multi-Agent System approach to airline disruption management. *Journal of Air Transport Management*, 71, 108-118.
62. Kammoun, M. A., and Rezg, N. (2018). An efficient hybrid approach for resolving the aircraft routing and rescheduling problem. *Journal of Air Transport Management* 71, 73-87.
63. Şafak, Ö., Atamtürk, A., and Aktürk, M.S. (2019). Accommodating new flights into an existing airline flight Schedule. *Transportation Research Part C*, 104, 265-286.
64. Cacchiani, V., and Salazar-Gonzalez, J. (2020). Heuristic approaches for flight retiming in an integrated airline scheduling problem of a regional carrier. *Omega*, 91, 102028.
65. Eufrazio, A.B.R., Eller, R.A.G., and Oliveira, A.V.M. (2021). Are on-time performance statistics worthless? An empirical study of the flight scheduling strategies of Brazilian airlines. *Transportation Research Part E*, 145, 102186.
66. Wen, X., Ma, H.L., Chung, S.H., and Khan, W.A. (2020). Robust airline crew scheduling with flight flying time variability. *Transportation Research Part E*, 144, 102132.

67. Yetimoğlu, Y.N., and Aktürk, M.S. (2021). Aircraft and passenger recovery during an aircraft's unexpected unavailability. *Journal of Air Transport Management*, 91, 101991.
68. Carvalho, L., Sternberg, A., Gonçalves, L.M., Cruz, A. B., Soares, L.A., and Brandão, D. (2020). On the relevance of data science for flight delay research: a systematic review. *Transport Reviews*, 41(4), 499-528.
69. Assent, I., Krieger, R. Welter, P., Herbers, J., and Seidl, T. (2009). Data Mining For Robust Flight Scheduling. *Data Mining for Business Applications*, Boston: Springer, 267-280.
70. Rebollo, J. J., and Balakrishnan, H. (2014). Characterization and Prediction of Air Traffic Delays. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 44, 231–241.
71. Belcastro, L., Marozzo, F., Talia, D., and Trunfio, P. (2016). Using scalable data mining for predicting flight delays. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 8(1), 1-20 .
72. Ariyawansa, C., and Aponso, A. (2016). Review on state of art data mining and machine learning techniques for intelligent airport systems. In *Proceedings of 2016 International Conference on Information Management*, 134–138.
73. Yu, B., Guo, Z., Asian, S., Wang, H., and Chen, G. (2019). Flight delay prediction for commercial air transport: A deep learning approach. *Transportation Research Part E*, 125, 203-221.
74. Lambelho, M., Mitici, M., Pickup, S., and Marsden, A. (2020). Assessing strategic flight schedules at an airport using machine learning-based flight delay and cancellation predictions. *Journal of Air Transport Management*, 82, 101737.
75. Khan, W.A., Ma, H., Chung, S., and Wen, X. (2021). Hierarchical integrated machine learning model for predicting flight departure delays and duration in series. *Transportation Research Part C*, 129, 103225.
76. Bao, J., Yang, Z., and Zeng, W. (2021). Graph to sequence learning with attention mechanism for network-wide multi-step-ahead flight delay prediction. *Transportation Research Part C*, 130, 103323.
77. Guo, Z., Yu, B., Hao, M., Wang, W., Jiang, Y., and Zong, F. (2021). A novel hybrid method for flight departure delay prediction using Random Forest Regression and Maximal Information Coefficient. *Aerospace Science and Technology*, 116, 106822.
78. Shao, W., Prabowo, A., Zhao, S., Koniusz, P., and Salim, F.D. (2022). Predicting flight delay with spatio-temporal trajectory convolutional network and airport situational awareness map. *Neurocomputing*, 472, 280-293.

79. Sene, A., Kamsu-Foguem, and Rumeau, P. (2018). Data mining for decision support with uncertainty on the airplane. *Data&Knowledge Engineering*, 117, 18-36.
80. Evans, A. D., Lee, P., and Sridhar, B. (2018). Predicting the operational acceptance of airborne flight reroute requests using data mining. *Transportation Research Part C*, 96, 270-289.
81. Achenbach, A., and Spinler, S. (2018). Prescriptive analytics in airline operations: Arrival time prediction and cost index optimization for short-haul flights. *Operations Research Perspectives*, 5, 265-279.
82. Pineda, P. J. G., Liou, J.J.H., Hsu, C.C., and Chuang, Y.C. (2018). An integrated MCDM model for improving airline operational and financial performance. *Journal of Air Transport Management*, 68, 103-117.
83. Hausladen, I., and Schosser, M. (2020). Towards a maturity model for big data analytics in airline network planning. *Journal of Air Transport Management*, 82, 101721.
84. Vink, J., Santos, B.F., Verhagen, W.J.C., Medeiros, I., and Filho, R. (2020). Dynamic aircraft recovery problem - An operational decision support framework. *Computers and Operations Research*, 117, 104892.
85. Clarke, M. D. D. (1998). Irregular airline operations: a review of the state-of-the-practice in airline operations control center. *Journal of Air Transport Management* 4, 67-76.
86. Chan, F.T.S., Bhagwat, R., Kumar, N., Tiwari, M.K., and Lam, P. (2006). Development of a decision support system for air-cargo pallets loading problem: A case study. *Expert Systems with Applications*, 31, 472–485.
87. Abdelghany, K. F., Abdelghany, A. F., and Ekollu, G. (2008). An integrated decision support tool for airlines schedule recovery during irregular operation. *European Journal of Operational Research*, 185, 825–848.
88. Dozic, S., Kalic, M., Babic, O. (2012). Heuristic approach to the airline schedule disturbances problem: single fleet case. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 1232 – 1241.
89. Gedik, G., Ünal, G.B., Tokgöz, M.S., Kaya, S.N., Kabadayı, T., Kuyzu, G., ve Gültekin, H. (2013). Ankara Esenboğa Havalimanı Park Alanı Atama Karar Destek Sistemi Tasarımı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 24, 29-40.
90. Ogunsina, K., Ilias, B., and DeLaurentis, D. (2021). Exploratory data analysis for airline disruption management. *Machine Learning with Applications*, 6, 100102.
91. Çalış, A., Kayapınar, S., ve Çetinyokuş, T. (2014). Veri Madenciliğinde Karar Ağacı Algoritmaları İle Bilgisayar ve İnternet Güvenliği Üzerine Bir Uygulama. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 25, 2-19.

92. Yakut, E., ve Gemici, E. (2017). LR, C5.0, CART, DVM Yöntemlerini Kullanarak Hisse Senedi Getiri Sınıflandırma Tahmini Yapılması ve Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması: Türkiye’de BIST’de Bir Uygulama. *Ege Akademik Bakış*, 17(4), 461-479.
93. Akıncılar, A. (2018). *Havayolu çizelgeleme problemlerinde yeni bir sağlam çizelgeleme yaklaşımı: sağlam uçak rotalama*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 63-64.

EKLER

EK-1. Havacılıkta Kullanılan Havaalanı Kodları ve Adları

Çizelge 1.1. Havaalanı Kodları Açıklaması

	HavaalanıKodu	HavaalanıAdı
1	LTAC	Esenboga Havalimani
2	LTBJ	İzmir Havalimani
3	LTFJ	Sabiha Gökçen Havalimani
4	LTCE	Erzurum Havalimani
5	LTCC	Diyarbakir Havalimani
6	LTFD	Koca Seyit Havalimani
7	LTFE	Milas Bodrum Havalimani
8	LTBU	Tekirdag Corlu Havalimani
9	LTAI	Antalya Havalimani
10	LTCI	Van Ferit Melen Havalimani
11	LTAf	Adana Sakirpasa Havalimani
12	LTCG	Trabzon Havalimani
13	LTAJ	Gaziantep Havalimani
14	LTCA	Elazig Havalimani
15	LTCS	Sanliurfa GAP Havalimani
16	LTCP	Adiyaman Havalimani
17	LTAN	Konya Havalimani
18	LTAP	Amasya Merzifon Havalimani
19	LTAR	Sivas Havalimani
20	LTAT	Malatya Havalimani
21	LTAU	Erkilet Havalimani
22	LTAY	Denizli Cardak Havalimani
23	LTFM	İstanbul Havalimani
24	LTCJ	Batman Havalimani
25	LTFH	Samsun Carsamba Havalimani
26	LTDA	Hatay Havalimani
27	LTCR	Mardin Havalimani
28	LTCO	Agri Havalimani

EK-1. (devam) Havacılıkta Kullanılan Havaalanı Kodları ve Adları

29	LTBS	Dalaman Havalimani
30	LTCB	Ordu Giresun Havalimani
31	LTCD	Erzincan Havalimani
32	LTCF	Kars Harakani Havalimani
33	LTCM	Sinop Havalimani

EK-2. C5.0 Algoritması Sınıflandırma Kuralları

KALKIS MEYDANI = H [Mode: GECIKME YOK]

ARIZA/TEKNİK = H [Mode: GECIKME YOK]

HAVA DURUMU = H [Mode: GECIKME YOK]

EKIP = H [Mode: GECIKME YOK]

VARIS MEYDANI = H [Mode: GECIKME YOK]

DIGER = H [Mode: GECIKME YOK]

YER HIZMETLERI = H [Mode: GECIKME
YOK] => GECIKME YOK

YER HIZMETLERI = E [Mode: AZ
GECIKME] => AZ GECIKME

DIGER = E [Mode: AZ GECIKME]

YER HIZMETLERI = H [Mode: AZ
GECIKME] => AZ GECIKME

YER HIZMETLERI = E [Mode: COK
GECIKME] => COK GECIKME

VARIS MEYDANI = E [Mode: COK GECIKME] => COK
GECIKME

EKIP = E [Mode: NORMAL DISI]

CUMARTESI = T [Mode: NORMAL DISI] => NORMAL
DISI

CUMARTESI = F [Mode: COK GECIKME] => COK
GECIKME

EK-2.(devam) C5.0 Algoritması Sınıflandırma Kuralları

HAVA DURUMU = E [Mode: COK FAZLA GECIKME] => COK FAZLA GECIKME

ARIZA/TEKNİK = E [Mode: COK FAZLA GECIKME] => COK FAZLA GECIKME

KALKIS MEYDANI = E [Mode: AZ GECIKME]

ARIZA/TEKNİK = H [Mode: AZ GECIKME]

LTBU = T [Mode: COK FAZLA GECIKME] => COK FAZLA GECIKME

LTBU = F [Mode: AZ GECIKME]

HAVA DURUMU = H [Mode: AZ GECIKME]

YER HIZMETLERI = H [Mode: AZ GECIKME]

DIGER = H [Mode: AZ GECIKME]

LTAR = T [Mode: COK GECIKME] => COK GECIKME

LTAR = F [Mode: AZ GECIKME] => AZ GECIKME

DIGER = E [Mode: COK GECIKME] => COK GECIKME

YER HIZMETLERI = E [Mode: COK GECIKME]

LTFJ = T [Mode: COK GECIKME] => COK GECIKME

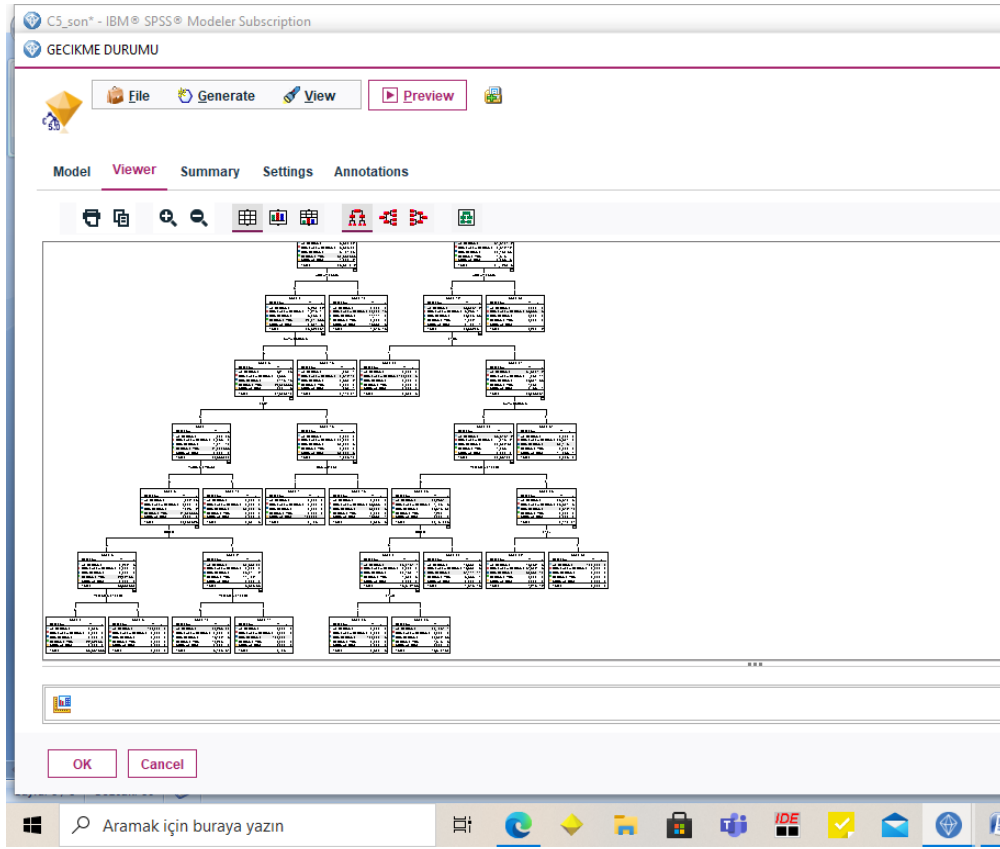
LTFJ = F [Mode: AZ GECIKME] => AZ GECIKME

HAVA DURUMU = E [Mode: COK GECIKME] => COK GECIKME

EK-2.(devam) C5.0 Algoritması Sınıflandırma Kuralları

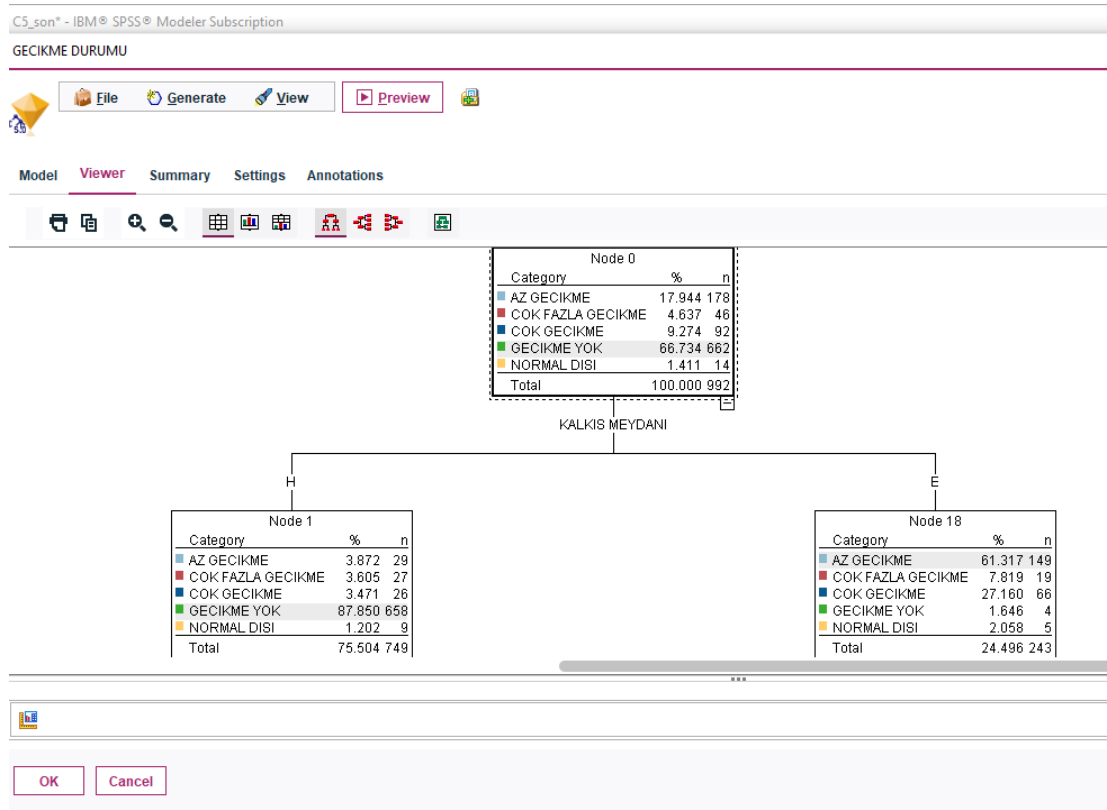
ARIZA/TEKNİK = E [Mode: COK FAZLA GECIKME] => COK FAZLA
GECIKME

EK-3. C5.0 Algoritması Dallanma Yapısı



Şekil 3.1. C5.0 karar ağacı

EK-3.(devam) C5.0 Algoritması Dallanma Yapısı



Şekil 3.2. C5.0 karar ağacı-2

EK-4. C&RT Algoritması Sınıflandırma Kuralları

Rules for AZ GECIKME - contains 2 rule(s)

Rule 1 for AZ GECIKME

if KalkisMeydani in ["E"] and DİGER in ["H"] then AZ GECIKME

Rule 2 for AZ GECIKME

if KalkisMeydani in ["H"] and DİGER in ["E"] then AZ GECIKME

Rules for COK FAZLA GECIKME - contains 2 rule(s)

Rule 1 for COK FAZLA GECIKME

if KalkisMeydani in ["H"] and HavaDurumu in ["E"] and DİGER in ["H"] then COK FAZLA GECIKME

Rule 2 for COK FAZLA GECIKME

if KalkisMeydani in ["H"] and HavaDurumu in ["H"] and ArizaTeknik in ["E"] and DİGER in ["H"] then COK FAZLA GECIKME

Rules for COK GECIKME - contains 1 rule(s)

Rule 1 for COK GECIKME

if KalkisMeydani in ["E"] and DİGER in ["E"] then COK GECIKME

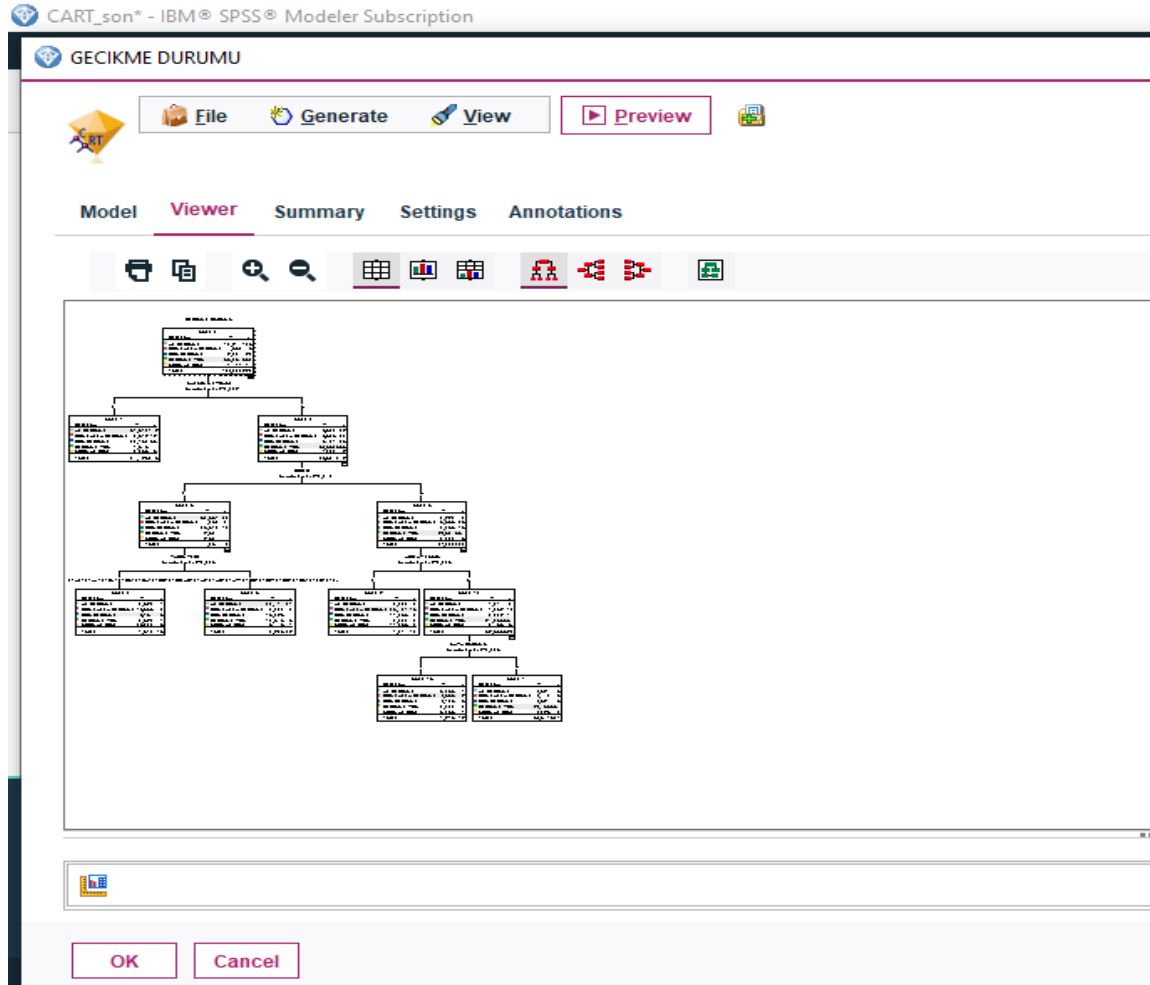
Rules for GECIKME YOK - contains 1 rule(s)

Rule 1 for GECIKME YOK

if KalkisMeydani in ["H"] and HavaDurumu in ["H"] and ArizaTeknik in ["H"] and DİGER in ["H"] then GECIKME YOK

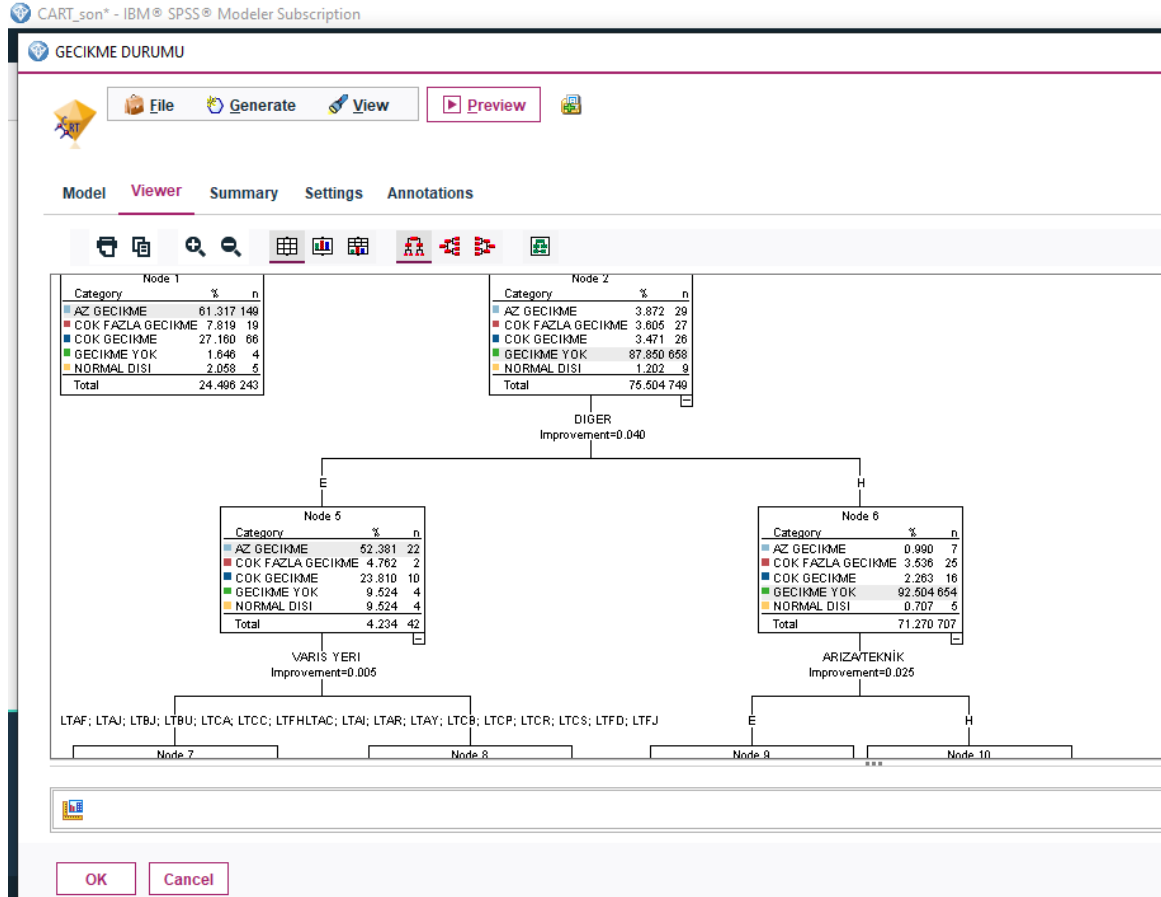
Default: GECIKME YOK

EK-5. C&RT Algoritması Dallanma Yapısı



Şekil 5.1. C&RT karar ağacı

EK-5. (devam) C&RT Algoritması Dallanma Yapısı



Şekil 5.2. C&RT karar ağacı-2

EK-6. RO Değişkenlerin Öncelik Sıralaması

Çizelge 6.1. RO özellikleri ve önemleri

Özellik Adı	Grafikteki Karşılığı
KalkisMeydani	F1
DIGER	F2
ArizaTeknik	F3
DOF	F4
HavaDurumu	F5
YerHizmetleri	F6
CUMARTESI	F7
Ekip	F8
VarisMeydani	F9
CARSAMBA	F10
PAZARTESI	F11
PAZAR	F12
LTBJ	F13
LTAC	F14
PERSEMBE	F15
LTAI	F16
VARIS YERI_LTAC	F17
KALKIS YERI_LTFJ	F18
CUMA	F19
SALI	F20
LTAF	F21
VARIS YERI_LTFJ	F22
KALKIS YERI_LTAC	F23
LTFJ	F24
KALKIS YERI_LTBJ	F25
VARIS YERI_LTAI	F26
VARIS YERI_LTAF	F27
LTAJ	F28

EK-6.(devam) RO Değişkenlerin Öncelik Sıralaması

VARIS YERI_LTBJ	F29
KALKIS YERI_LTAF	F30
KALKIS YERI_LTAI	F31
VARIS YERI_LTCR	F32
LTCG	F33
LTCC	F34
LTAU	F35
LTDA	F36
KALKIS YERI_LTAR	F37
KALKIS YERI_LTCG	F38
LTFE	F39
LTAR	F40
LTAN	F41
VARIS YERI_LTAJ	F42
VARIS YERI_LTFH	F43
VARIS YERI_LTFE	F44
VARIS YERI_LTCC	F45
KALKIS YERI_LTFE	F46
LTCF	F47
VARIS YERI_LTCB	F48
KALKIS YERI_LTDA	F49
LTFH	F50

EK-7. DVM Algoritması ‘Analysis’ Çıktısı

Analysis of [GECIKME DURUMU] #1

File Edit

Analysis Annotations

[-] Collapse All [+ Expand All]

[-] Comparing \$\$-GECIKME DURUMU with GECIKME DURUMU

'Partition'	1_Training	2_Testing
Correct	969 97.68%	469 87.34%
Wrong	23 2.32%	68 12.66%
Total	992	537

[-] Performance Evaluation

'Partition' = 1_Training	
AZ GECIKME	1.655
COK FAZLA GECIKME	3.071
COK GECIKME	2.296
GECIKME YOK	0.398
NORMAL DISI	4.192

'Partition' = 2_Testing	
AZ GECIKME	1.402
COK FAZLA GECIKME	2.427
COK GECIKME	1.681
GECIKME YOK	0.419

[-] Confidence Values Report for \$\$SP-GECIKME DURUMU

'Partition' = 1_Training	
Range	0.531 - 1.0
Mean Correct	0.972
Mean Incorrect	0.844
Always Correct Above	0.997 (1.61% of cases)
Always Incorrect Below	0.531 (0% of cases)
97.68% Accuracy Above	0.0
2.0 Fold Correct Above	0.879 (98.85% of cases)

'Partition' = 2_Testing	
Range	0.286 - 1.0
Mean Correct	0.934
Mean Incorrect	0.731
Always Correct Above	0.989 (35.94% of cases)
Always Incorrect Below	0.332 (0.19% of cases)
90.04% Accuracy Above	0.582
2.0 Fold Correct Above	0.78 (93.74% of cases)

Şekil 7.1. DVM algoritması çıktısı

EK-8. KNN Algoritması k=3 'Analysis' Çıktısı

Analysis of [GECIKME DURUMU] #2

File Edit

Analysis Annotations

[- Collapse All] [+ Expand All]

[- Comparing \$KNN-GECIKME DURUMU with GECIKME DURUMU

'Partition'	1_Training		2_Testing	
Correct	815	82.16%	378	70.39%
Wrong	177	17.84%	159	29.61%
Total	992		537	

[- Performance Evaluation

'Partition' = 1_Training	
AZ GECIKME	1.447
COK FAZLA GECIKME	2.917
COK GECIKME	2.079
GECIKME YOK	0.226
NORMAL DISI	4.038

'Partition' = 2_Testing	
AZ GECIKME	0.997
COK FAZLA GECIKME	2.335
COK GECIKME	0.753
GECIKME YOK	0.167

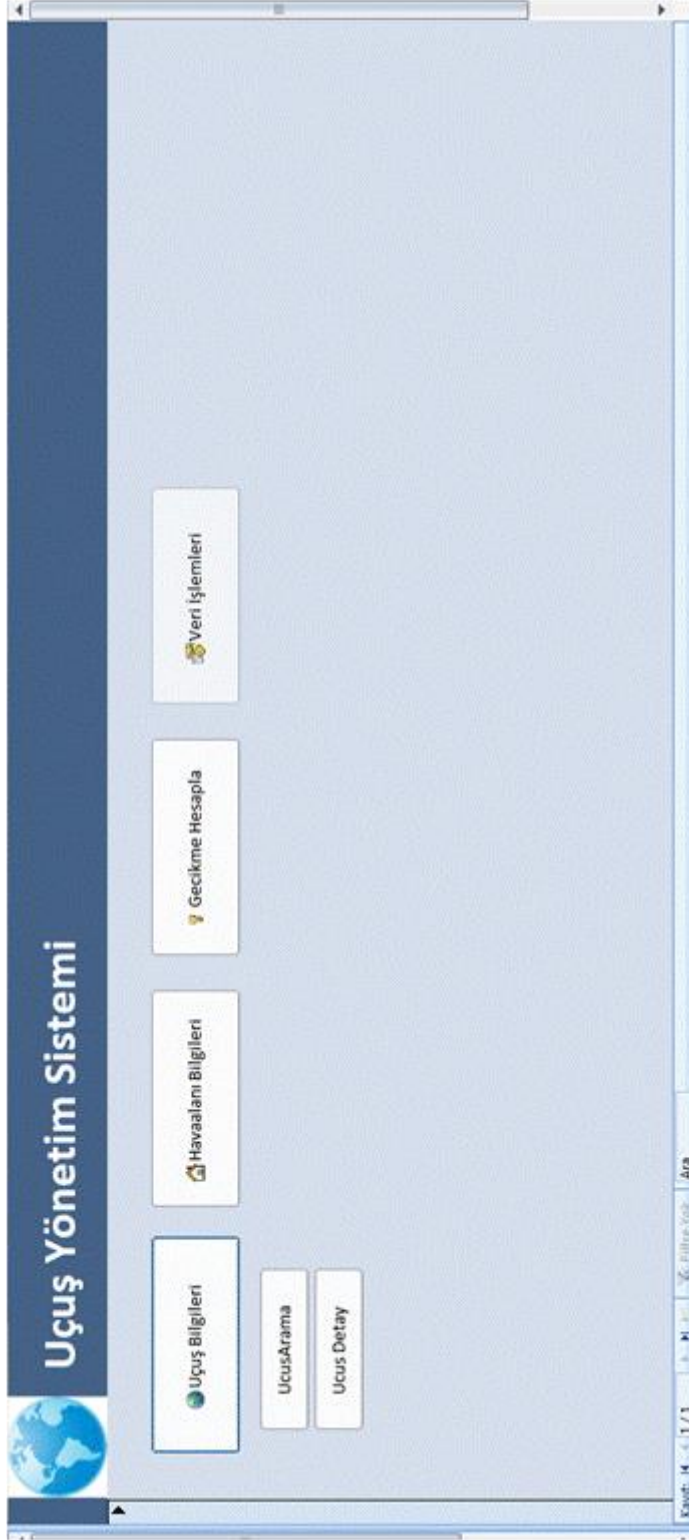
[- Confidence Values Report for \$KNNP-GECIKME DURUMU

'Partition' = 1_Training	
Range	0.25 - 0.5
Mean Correct	0.463
Mean Incorrect	0.34
Always Correct Above	0.375 (58.87% of cases)
Always Incorrect Below	0.25 (0% of cases)
100% Accuracy Above	0.375
2.0 Fold Correct Above	0.375 (100% of cases)

'Partition' = 2_Testing	
Range	0.25 - 0.5
Mean Correct	0.457
Mean Incorrect	0.39
Always Correct Above	0.5 (0% of cases)
Always Incorrect Below	0.25 (0% of cases)
90% Accuracy Above	Never reached requested level
2.0 Fold Correct Above	0.5 (0% of cases)

Şekil 8.1. KNN algoritması çıktısı

EK-9. Uçuş Yönetim Sistemi Ana Ekran



Şekil 9.1. Uçuş Yönetim Sistemi

EK-10. Uçuş Arama

Uçuş Ara

Çağrı Adı 8 Kalkış Yeri Varış Yeri DOF

Kalkış Meydanı Ekip

Varış Meydanı Yer Hizmetleri

Arıza/Teknik Diğer

Hava Durumu

Gecikme Nedeni (Evet ise E, Hayır ise H giriniz)

Gecikme Durumu

☐ Gecikme Yok (0-g<=30)
☐ Az Gecikmeli (30-g<=45)
☐ Çok Gecikmeli (45-g<=60)
☐ Çok Fazla Gecikmeli (60-g<=90)
☐ Normal Dışı (g>90)

Çağrı Adı 8

Gun Perembe

Gecikme Nedeni KalkışHavaalanı&

CAGRI	KalkışYeri	VarışYeri	DOF	GecikmeDurumu
1	LTAC	LTBJ	180226	GEÇİKME YOK
2	LTAC	LTBJ	180227	COK GEÇİKME
3	LTAC	LTBJ	180228	AZ GEÇİKME
4	LTAC	LTBJ	180301	GEÇİKME YOK
5	LTAC	LTBJ	180302	GEÇİKME YOK
6	LTAC	LTBJ	180303	GEÇİKME YOK
7	LTAC	LTBJ	180304	AZ GEÇİKME
8	LTAC	LTFJ	180301	COK GEÇİKME
9	LTAC	LTFJ	180302	GEÇİKME YOK
10	LTAC	LTFJ	180276	GEÇİKME YOK

Kayıt: 8 / 1529 Filtre Yok Ara

Şekil 10.1. Uçuş Ara

EK-11. Uçuş Detay

Uçuş Detay

Çajrı Adı* 8 **Kalkış Meydanı** E **Geçikme*** COK GEÇIKME

Kalkış Yeri* LTAC **Varış Meydanı** H **Geçikme Yok (0<g<=30)**

Varış Yeri* LTFJ **Arıza/Teknik** H **Az Geçikmeli (30<g<=45)**

DOF* 180301 **Meteoroloji** H **Çok Geçikmeli (45<g<=60)**

Kalkış Saati **Ekip** H **Çok Fazla Geçikmeli (60<g<=90)**

Varış Saati **Yer Hizmetleri** H **Normal Dışı (g>90)**

Uçak Tesvili **Diğer** H **Acıklama**

Yeni Kayıt **Düzenle** **Kayıt** **X iptal** **Çıkış** **İlk Kayıt** **Sonraki Kayıt** **Önceki Kayıt** **Son Kayıt**

Kayıt: 11 / 11 **Filtre Uygulanmış** **Ara** Simple Sticky Notes

Şekil 11.1. Uçuş Detay

EK-12 UYS Havaalanı Listesi

Havaalanı Listesi

HavaalanıID: 1

HavaalanıKodu: LTAC

Şehir: Ankara

HavaalanıAdı: Esenboga Havalimanı

HavaalanıKodu	HavaalanıAdı
LTAC	Esenboga Havalimanı
LTBJ	Adnan Menderes Havalimanı
LTFJ	Sabiha Gökçen Havalimanı
LTCE	Erzurum Havalimanı
LTCC	Diyarbakır Havalimanı
LTED	Koca Seyit Havalimanı

YeniKayıt
Düzenle
Kaydet
İptal
Çıkış
Kayıt Sil

Şekil 12.1. Havaalanı Listesi

EK-13. Gecikme Detay/Risk Hesapla

19 Temmuz 2022 Salı

Gecikme Detay

Çıkış

Microsoft Office Access
Uçusta az gecikme olabilir
Tamam

Cağın Adı: 8

Gerçekleşen Gecikme: COK GECIKME

CGecikme Durumu: AZ GECIKME

RGecikme Durumu: AZ GECIKME

KGecikmeDurumu: AZ GECIKME

SGGecikme Durumu: COK GECIKME

Fgecikme Durumu: COK GECIKME

Uçus Detay

RiskHesapla

DiğerOlaslik

Risk Faktörü

Geri Dön

NelerOlabilir

Yeniden

Kayıt: 11 < 1 / 1

Filtre Uygulanmış

Ara

Şekil 13.1. Risk hesapla

EK-14. Gecikme Detay/Diğer Olasılık

19 Temmuz 2022 Salı

Gecikme Detay

Çıkış

Microsoft Office Access
Uçus çok gecikmeli olabilir
Tamam

Çalışın Adı:	8
Geriaklezen Gecikme:	COK GECIKME
CGecikme Durumu:	AZ GECIKME
RGeçikme Durumu:	AZ GECIKME
KGeçikmeDurumu:	AZ GECIKME
SGGeçikme Durumu:	COK GECIKME
FGeçikme Durumu:	COK GECIKME

Uçus Detay **Risk Hesapla** **Diğer Olasılık** **Risk Faktörü** **Geri Dön** **Neler Olabilir** **Yeniden**

Kayıt: 1 / 1 Filtre Uygulanmış Ara

19 Temmuz 2022 Salı

Şekil 14.1. Diğer olasılık

EK-15. Gecikme Detay/Risk Faktörü

19 Temmuz 2022 Salı

Gecikme Detay

Çıkış

Algoritmalarla Göre Risk Faktörleri

CS - CART - Rastal Orm - KNN - DVM

KalkışMeydanı KalkışMeydanı KalkışMeydanı KalkışMeydanı KalkışMeydanı

ArızaTeknik ArızaTeknik ArızaTeknik ArızaTeknik ArızaTeknik

HavaDurumu HavaDurumu HavaDurumu HavaDurumu HavaDurumu

Ekip LTAY LTBU LTBU LTBU LTBU

YerHizmetleri LTBU LTBU LTBU LTBU LTBU

LTFJ KalkışYeri Ekip LTAR KalkışYeri

Kayt: 1 / 10 Filtre Yok Ara

Kapat

Gerçekleşen Gecikme: COK GECIKME

Gecikme Durumu: AZ GECIKME

RGeçikme Durumu: AZ GECIKME

KGeçikme Durumu: AZ GECIKME

SGGeçikme Durumu: COK GECIKME

FGeçikme Durumu: COK GECIKME

Uçus Detay

Risk Hesapla

DiğerOlasılık

Risk Faktörü

Gerçi Dön

NelerOlabilir

Yeniden

Kayt: 1 / 1 Filtre Uygulanmış Ara

Şekil 15.1. Risk faktörü

EK-16. Gecikme Detay/Neler Olabilir

19 Temmuz 2022 Salı

Gecikme Detay

MORE DETAILS

X Çıkış

573

Cağrı Adı: 573

Gerçekleşen Gecikme: AZ GECİKME

Cgecikme Durumu: COK GECİKME

Rgecikme Durumu: AZ GECİKME

Kgecikme Durumu: COK GECİKME

SGgecikme Durumu: COK GECİKME

Fgecikme Durumu: AZ GECİKME

Microsoft Office Access
Sıras Mevduatı/Dikkatli Olunuz...

Tamam

Uçus Detay

Risk Hesapla

Diğer Olasılık

Risk Faktörü

Geri Dön

Neler Olabilir

veniden

Masafütünü göster

Kayıt: 14 1 / 1

Filtre Uygulanmış

Ara

Şekil 16.1. Neler olabilir



Gazili olmak ayrıcalıktır