

**BİLGİSAYAR PROGRAMLAMA YÖNTEMİ
İLE HAVAALANLARINDA
OPTİMUM PİST YÖNÜNÜN BELİRLENMESİ**

Nilgün YILDIRIM
Yüksek Lisans Tezi

Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Temmuz-2012

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Nilgün YILDIRIM'ın “**Bilgisayar Programlama Yöntemi ile Havaalanlarında Optimum Pist Yönünün Belirlenmesi**” başlıklı **Sivil Havacılık** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 16.07.2012 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı- Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı) : Yard. Doç. Dr. HAKAN OKTAL

Üye : Prof. Dr. TUNCAY DÖĞEROĞLU

Üye : Prof. Dr. AYDAN CAVCAR

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİLGİSAYAR PROGRAMLAMA YÖNTEMİ İLE HAVAALANLARINDA OPTİMUM PİST YÖNÜNÜN BELİRLENMESİ

Nilgün YILDIRIM

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı**

**Danışman: Yard. Doç. Dr. Hakan OKTAL
2012, 59 sayfa**

Gerek teknolojinin hızlı bir şekilde gelişim göstermesi gerekse hava taşımacılığının hızlı, güvenilir ve ekonomik oluşu, hava taşımacılığına olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Bu talep artışı beraberinde birçok sorunu da getirmektedir. Bunların başında mevcut havaalanlarının pek çoğunun artan talebi karşılayamaz hale gelmesidir. Bu sorunun çözülebilmesi için ya mevcut havaalanlarının genişletilmesi ya da yeni havaalanlarının yapılması gerekmektedir.

Yeni bir havaalanının tasarımı ve planlanması aşamasında öncelikle uygun pist yönü belirlenmelidir. Bu doğrultuda pist yapılacak araziye ait rüzgâr verileri, pisti kullanması planlanan kritik uçağın yan rüzgâr limitlerine göre analiz edilmelidir.

Bu çalışmada, bir havaalanı için uygun pist yönünün saptanabilmesini amaçlayan bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. CSharp yazılım dili ile geliştirilen bu program, “Pist Yönü Hesaplama-PYH” olarak adlandırılmıştır.

PYH programı, bir pistin yapılacağı araziye ait rüzgâr verilerinin izin verilebilir yan rüzgâr limitlerine bağlı olarak analizini gerçekleştirmektedir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen kullanım faktörlerine bağlı olarak pist/pistler için en uygun yerleşim açısı değerleri hesaplanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pist Yerleşimini Etkileyen Faktörler, Rüzgâr Analizi, Rüzgârgülü Grafiği, Pist Şablonu, Kullanım Faktörü, Uygun Pist Yönü Seçimi

Abstract

Master of Science Thesis

The Determination of Optimal Runway Direction at Airports by Computer Programming

Nilgun YILDIRIM

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Department of Civil Aviation**

**Advisor: Assistant Professor Dr. Hakan OKTAL
2012, 59 Pages**

Both the rapid development of technology and the fact that the air transportation is quick, reliable and economical increase the demand of air transportation day by day. This increase in demand brings with it a lot of problems. First of these problems is that available current airports are becoming incapable of handling the increase in demand. In order to solve this problem either the current airports should be expanded or new airports must be built.

In the design and planning phase of new airports, first of all, the appropriate direction of runway should be determined. For this, the wind data at the land on which the runway is going to be built and the crosswind limits of the critical aircraft that is going to use that runway should be analyzed.

In this study, a computer program aimed at determining the appropriate runway direction was developed. This program, developed in CSharp programming language, was named “Runway Direction Computation-PYH”.

The PYH program analyzes the wind data for the land on which a runway is going to be build by taking into account the acceptable crosswind limits. As a result of the utilization factors obtained from the analysis, the optimal direction for the runway(s) can be calculated.

Keywords: Factors Affecting Runway Placement, Wind Analysis, Wind Rose Graph, Runway Template, Usability Factor, Optimum Orientation Runway

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince beni destekleyen, bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Hakan OKTAL ‘a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın hazırlanması sırasında bana her zaman destek veren değerli arkadaşım Yard. Doç. Dr. Kadriye YAMAN’a ve AUTOCAD çizimlerinde yardımcı olan kardeşim İbrahim ÖZTAŞ’a teşekkürlerimi sunarım.

Yoğun çalışma temposu içerisinde bulunduğum zaman süresince beni anlayışla karşılayarak her zaman destekleyen sevgili eşim Bülent YILDIRIM’a ve büyük bir sabırla annesi ile zaman geçirmeyi bekleyen oğlum Barış’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nilgün YILDIRIM

Temmuz, 2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	.ix
SİMGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. HAVAALANI HAVA TARAĞI YERLEŞİMİ	3
2.1. Havaalanı Yerleşim Planı.....	3
2.2. Havaalanı Bileşenleri	4
2.3. Havaalanı Sınıflandırmaları	5
2.3.1. ICAO sınıflandırması	6
2.3.2. FAA sınıflandırması.....	7
2.4. Havaalanı Hava Tarağı Bileşenleri	8
2.4.1. Pist/Pistler	8
2.4.2. Taksı yolları	12
2.4.3. Apronlar	14
2.5. Pist Yerleşimi.....	15
3. PİST YÖNÜNÜN VE SAYISININ BELİRLEMESİNDE RÜZGÂR ETKİSİ	19
3.1. ICAO ve FAA tarafından Belirlenen İzin Verilebilir Yan Rüzgâr limitleri.....	20
3.2. Meteorolojik Veriler.....	21
3.3. Rüzgârgülü	22
3.4. Pist (Yan Rüzgâr) Şablonu.....	24

3.5. Uygun Pist Yönü/Yönlerinin Analizi ve Kullanım Faktörü	25
3.5.1. Örnek uygulama	27
3.6. Literatür Taraması	30
4. HAVAALANINDA PİST YÖNÜ VE SAYISINI BELİRLEMeye	
YÖNELİK BİLGİSAYAR YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ	33
4.1. Programlama Aracı	33
4.1.1. Rüzgâr verilerinin okunması	34
4.1.2. İzin verilebilir yan rüzgâr limiti girişi	35
4.1.3. Pist yerleşim açısının ve kullanım faktörünün hesaplanması	36
4.2. Yazılımın Tanıtılması	37
4.2.1. Rüzgârgülü grafiği	39
4.2.2. Pist şablonu	40
4.2.3. Kullanım faktörünün hesaplanması.....	41
4.2.4. Pist yönü veya yönlerinin seçimi	45
5. ANADOLU ÜNİVERSİTESİ HAVAALANI PİST YÖNÜ	
HESAPLAMASI İÇİN BİR UYGULAMA	48
5.1. Uygulama Alanının Tanıtılması	48
5.2. Uygulama Alanına Ait Rüzgâr Verilerinin İncelenmesi	49
5.3. Pist Yönü Hesaplama Programının Anadolu Üniversitesi Havaalanı'na	
Uygulanması	53
5.3.1. Kritik uçağa göre pist yerleşim yönü hesaplaması.....	53
5.3.2. İkinci ve üçüncü pistler için yerleşim yönü hesaplaması.....	56
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	60
Ek-1. PYH yazılıma ait kodlar	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. JFK havaalanı yerleşim planı.....	4
2.2. Havaalanı bileşenleri	5
2.3. Pist	8
2.4. Tek pist	9
2.5. Paralel pistler	9
2.6. Açık V pist çeşitleri	10
2.7. Kesişen pistler.....	10
2.8. Dallas Havaalanında yer alan pistler	11
2.9. Apron taksi yolu	12
2.10. Küçük havaalanlarındaki apron ve pist arasındaki bağlantı.....	13
2.11. Dik açılı paralel taksi yolu	13
2.12. Paralel pistlerle bağlantılı hızlı çıkış taksi yolu	14
2.13. Apron	15
2.14. Winnipeg Uluslararası Havaalanı'na ait pistlerin yerleşimi	16
3.1. Rüzgârın yan rüzgâr bileşeni.....	20
3.2. ICAO Standartlarına göre oluşturulan rüzgârgülü	22
3.3. Rüzgârgülü grafiğinin veri işlenmiş hali.....	24
3.4. 13 knot'a göre çizilen bir pist şablonu	25
3.5. Pist şablonunun rüzgârgülü üzerindeki hareket	25
3.6. İkinci ve birinci piste ait şablon yerleşimleri	26
3.7. Manyetik değişimlere göre pist numarasının değişimi	27
3.8. Örnek uygulamaya ait rüzgârgülü	28
3.9. Birinci pist için uygun yönün bulunması	29
3.10. Birinci ve ikinci pist için uygun yönlerinin bulunması.....	30
4.1. Pist Yönü Hesaplama programı ana ekran görüntüsü	34
4.2. Excel ortamında derlenmiş rüzgâr verileri	34
4.3. Rüzgâr verilerinin programa eklenmesi ve kayıt sayısının okunması	35
4.4. İzin verilebilir yan rüzgâr limiti	36
4.5. Birinci pist için kullanım faktörünün 0,95 değerini sağlaması	36

4.6. İkinci ve üçüncü pistler için pist yerleşim açısının ve kullanım faktörünün hesaplanması.....	37
4.7. Programın akış diyagramı.....	38
4.8. Oluşturulan rüzgârgülü	39
4.9. Rüzgâr şablonu	40
4.10. İzin verilebilir yan rüzgâr limiti.....	41
4.11. α açısı	42
4.12. $\alpha = 0^\circ$ için pist şablonu	43
4.13. Θ açısına göre pist şablonu sınırları içinde tamamen kalan rüzgâr yönlerinin bulunması.....	44
4.14. $\Theta = 30^\circ$ için pist şablonu.....	45
4.15. İkinci pist için pist şablonunun yerleşimi	47
5.1. Anadolu Üniversitesi Havaalanı	48
5.2. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgâr verileri	49
5.3. 2003-2011 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Havaalanı'nda rüzgâr yönlerine göre esen rüzgâr sayıları.	51
5.4. 2003-2011 yılları arasında Anadolu Üniversitesi. Havaalanı'nda rüzgâr yönlerine ve hız gruplarına göre esen rüzgâr sayısı.....	52
5.5. WRPLOT View 7.0 programı yardımıyla rüzgâr verilerinin incelenmesi ...	53
5.6. Anadolu Havaalanı için seçilen kritik uçağa ait yan rüzgâr değerine göre yapılan pist yönü hesaplaması	55
5.7. Anadolu Havaalanı için seçilen kritik uçağa ait yan rüzgâr değerine göre yapılan pist yönü hesaplaması	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. ICAO havaalanı referans kodları	6
2.2. FAA havaalanı referans kodu 1	7
2.3. FAA havaalanı referans kodu 2	7
3.1. ICAO'nun maksimum izin verilebilir yan rüzgâr limitleri.....	20
3.2. FAA'in maksimum izin verilebilir yan rüzgâr limitleri	21
3.3. Rüzgâr verilerinin belirlenen yön ve hız gruplarına göre sınıflandırılması..	23
3.4. Örnek uygulamaya ait rüzgâr esme oranları	28
5.1. 2003-2011 yılları arasında Eskişehir Anadolu Üniversitesi Havaalanı'na ait gözlemlenmiş rüzgâr yön ve şiddetine bağlı rüzgâr esme sayıları.....	50
5.2. Anadolu Havaalanı'nı eğitim amacı ile kullanan uçaklar ve bu uçakların yan rüzgâr limitleri.....	54
5.3. Anadolu Havaalanı'nı eğitim amacı ile kullanan uçaklar ve bu uçakların yan rüzgâr limitleri.....	54

KISALTMALAR DİZİNİ

PYH	: Pist Yönü Hesaplama Programı
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı International Civil Aviation Organization
FAA	: A.B.D. Ulusal Havacılık Teşkilatı Federal Aviation Administration
ACI	: Airports Council International Uluslararası Havaalanları Konseyi
IATA	: Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği International Air Transport Association
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi Geografik Information System
IFR	: Aletli Uçuş Kuralları Instrument Flight Rule
VFR	: Görerek Uçuş Kuralları Visual Flight Rule
NOAA	: A.B.D. Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi National Oceanic and Atmospheric Administration
C#	: C Sharp yazılım dili
AIP	: Havacılık Enformasyon Yayını Aeronautical Information Publication

SİMGELER DİZİNİ

α	: Pist şablonunun merkez çizgisi ile gerçek kuzey arasındaki açı
N	: Rüzgâr hızı
M	: Rüzgâr yönü
TR	: Toplam rüzgâr sayısı
YR	: Pist şablonu içinde yan rüzgâr limiti ile ilişkili rüzgar sayısı
r	: Rüzgârgülünün yarıçapı
YRL	: İzin verilebilir yan rüzgâr limiti
KF	: Kullanım faktörü

Alt ve üst indisler

i	: Rüzgâr hız birim indisi
j	: Rüzgâr yön indisi

1. GİRİŞ

Havaalanları çok büyük sermaye gerektiren ve bulundukları bölgenin sosyo-ekonomik faaliyetlerini etkileyen yatırımlardır. Havaalanı yatırımlarının diğer kamu yatırımlarına nazaran büyük bir bütçe gerektirmesi, tamamlanmasının uzun yıllar alması, yapıldığı kenti, bölgeyi hatta ülkeyi etkileyen büyük projeler olması nedeniyle geniş bir bakış açısı ile planlanması oldukça önemlidir [1].

Yatırımların doğru planlanabilmesi için başta Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı-ICAO (International Civil Aviation Organization) olmak üzere Amerika Birleşik Devletleri'nde faaliyet gösteren Ulusal Havacılık Teşkilatı-FAA (Federal Aviation Administration), Uluslararası Havaalanları Konseyi-ACI (Airports Council International), Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği-IATA (International Air Transport Association) ve diğer havacılık teşkilatları/dernekleri bir takım dokümanlar yayınlamaktadırlar.

ICAO tarafından yayınlanan *Havaalanı Planlama El Kitabı*, hava ve kara tarafı olmak üzere havaalanlarının gelişimi, operasyonları, arazi kullanımı ve çevre kontrolüne ilişkin bilgilerin yer aldığı bir planlama sürecine rehberlik görevi yapmaktadır. FAA tarafından tavsiye niteliğinde *Havaalanı Master Plan Rehberi* (150/5070-6a) yayınlanmaktadır ve bu doküman yardımıyla beş aşamadan oluşan hiyerarşik bir yapıya sahip planlama süreci oluşturulmaktadır. Havaalanı işletmecilerinin kurduğu ACI, özellikle Avrupa'da Avrupa Parlamentosu ile birlikte havaalanlarının kapasitelerini, yatırımlarını ve finansmanını analiz ederek yıllık rapor hazırlamaktadır. IATA ise havaalanlarının emniyetli, verimli, fonksiyonel, kullanıcı dostu, maliyetlerin ve kapasitenin dengeli olması için havaalanlarının planlaması ve gelişimi ile ilgili bir *Havaalanı Gelişim Referans El Kitabı* (Airport Development Reference Manual) yayınlamaktadır [2].

Sivil havacılık teşkilatları tarafından rehberlik etmesi amacıyla yayınlanan tüm bu dokümanlar, gelecekte kurulması ve/veya genişletilmesi planlanan havaalanlarında yatırımların doğru bir şekilde kullanılabilmesi için kısa, orta ve uzun vadede rehberlik sağlamaktadır.

Havaalanlarının planlanması aşamasında en önemli faktörlerden biri, uygun pist yönünün saptanabilmesidir. Bu kapsamda hava taşımacılığının gelişim

göstermeye başladığı günlerden bugüne kadar uygun pist yönünün saptanabilmesi amacıyla çok sayıda bilimsel araştırma yapılarak çeşitli programlar ve hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde havaalanı yerleşim planı hakkında genel bilgiler verilerek, havaalanlarının ICAO ve FAA tarafından nasıl sınıflandırıldığı detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca havaalanının hava tarafı bileşenleri olan pist, taksi yolu ve apronlar hakkında da bilgi verilmiştir.

Pist yerleşimine etki eden faktörlerin başında yer alan rüzgâr koşulları ve analizi çalışmanın üçüncü bölümünde ele alınmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde uygun pist yönlerinin saptanabilmesi amacıyla geliştirilen “Pist Yönü Hesaplama (PYH)” programının yazılımı ve kullanımı hakkında detaylı bilgiler yer almaktadır. Bu kapsamda öncelikle rüzgâr verilerinin analizinde kullanılan rüzgârgülü grafiği, izin verilebilir yan rüzgâr limitleri, pist yönü açısı ve kullanım faktörünün nasıl hesaplandığı konusunda detaylı bilgi verilmiştir.

Çalışmanın son bölümde ise uygulama alanı olarak seçilen Anadolu Üniversitesi Havaalanı’nın 2003-2011 yıllarına ait rüzgâr verileri analiz edilerek, geliştirilen PYH programı vasıtasıyla bu havaalanına ait uygun pist yönü hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen analizler ve PYH ile yapılan hesaplamalardan elde edilen bulgular ile gelecekte yapılacak çalışmalara yön verebilecek öneriler çalışmanın sonuç bölümünde verilmiştir.

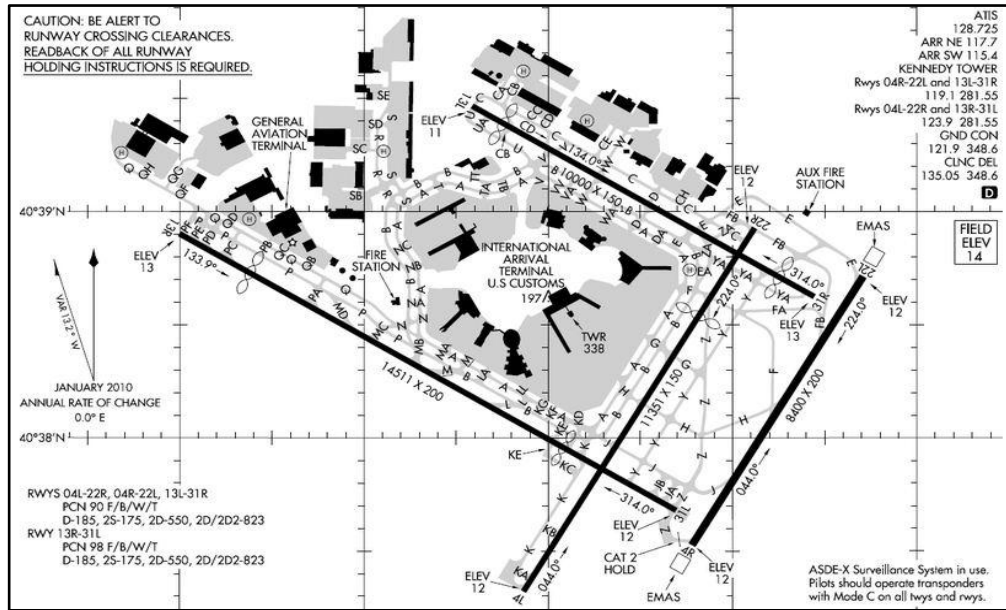
2. HAVAALANI HAVA TARAFI YERLEŞİMİ

Çalışmanın bu bölümünde master planlar içinde yer alan havaalanlarının yerleşim planları, bileşenleri, sınıflandırılmaları ve hava tarafı bölümünü oluşturan pist, taksi yolu ve apronlar hakkında genel bilgiler verilmektedir.

2.1. Havaalanı Yerleşim Planı

Havaalanı yerleşim planı, havaalanının çevresindeki arazi kullanımını içeren ve havaalanında bulunan tesislerin yer, boyut vb. gibi bilgilerinin yer aldığı grafiksel bir gösterimdir (Şekil 2.1) [3]. Havaalanı yerleşim planı, birçok faktöre bağlı olarak hazırlanmakta ve havaalanlarına göre değişim göstermektedir. Bu plan içerisinde yer alan unsurlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Pist sayısı ve yerleşim yönü,
- Taksi yolu sayısı,
- Apronun şekli ve büyüklüğü,
- Mevcut alanın şekli ve büyüklüğü,
- Arazinin toprak yapısı ve topoğrafyası,
- Manialar,
- Havaalanı bünyesinde kullanılacak arazinin saptanması,
- Havaalanı çevresindeki arazinin kullanımı,
- Havaalanı gelişim aşamalarının planlanması ve ölçeklendirilmesi,
- Meteorolojik koşullar,
- Havaalanı tesislerinin büyüklüğünün planlanması [4].



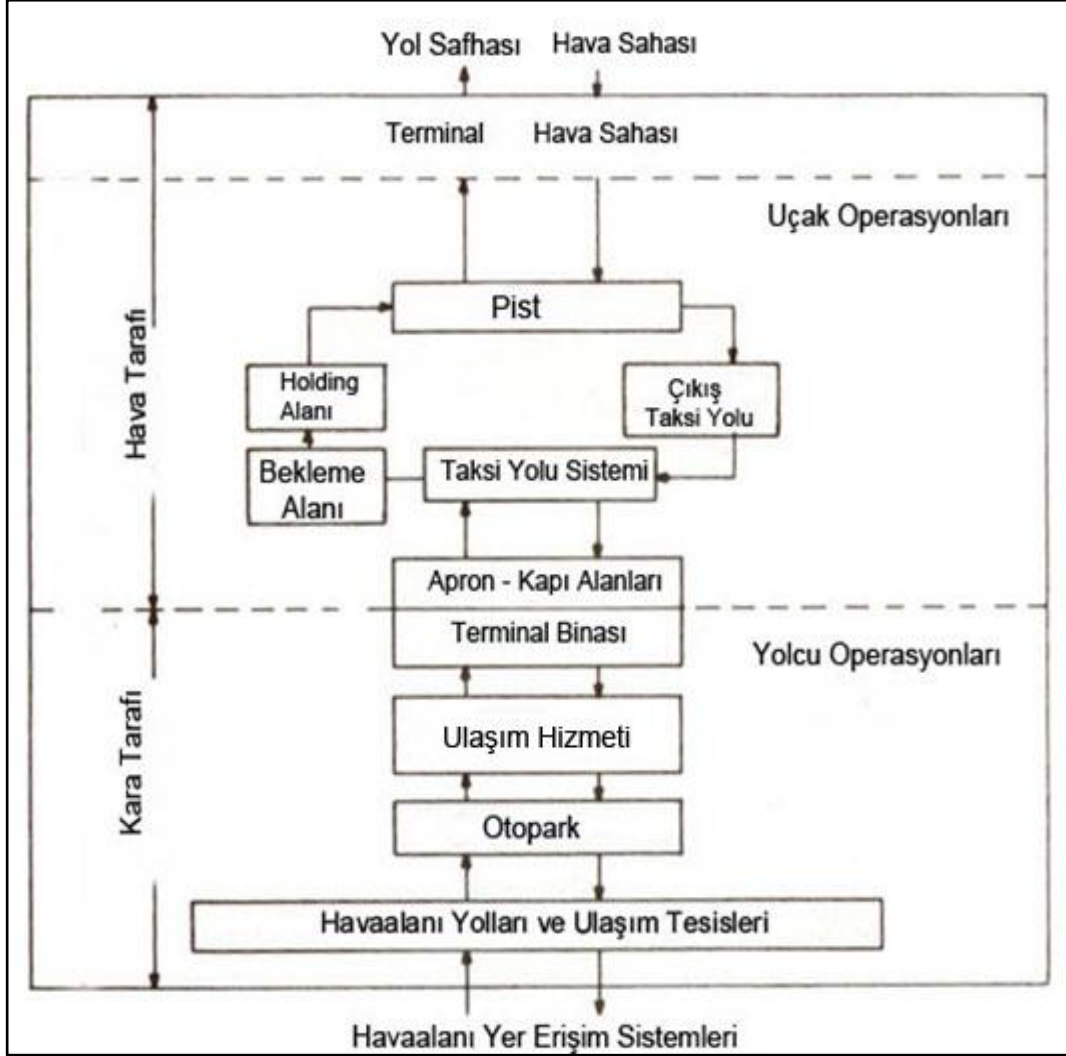
2.2. Havaalanı Bileşenleri

ICAO'nun yayınlamış olduğu Annex 14'e göre [6] havaalanının tanımı, "Uçakların iniş, kalkış ve yerdeki hareketlerini gerçekleştirdikleri kara ve deniz üzerinde tanımlanmış alanlar" olarak yapılmaktadır. Bu tanımdan anlaşılabacağı üzere havaalanı tanımı ICAO tarafından sadece uçaklar baz alınarak yapılmaktadır. Ancak bir diğer tanıma göre havaalanı; uçak, yolcu, kargo ve kara araçlarına ulaşım ve bağlantı hizmeti sağlayan karmaşık tesislerdir. Bu tanımlar doğrultusunda havaalanı, hava ve kara tarafı olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır [3] (Şekil2.2).

Hava tarafı genel olarak pist, taksiyolları ile apron ve kapılardan oluşmaktadır. Pistler, uçakların iniş ve kalkış için kullandıkları alanlardır. Taksiyolları, uçakların pist ve terminal binası arasındaki hareketini sağlayan yollardır. Apron ve kapılar ise uçakların park ettikleri ve yolcuların uçaklara iniş ve binişlerini gerçekleştirdikleri alanlar olarak tanımlanmaktadır [3].

Kara tarafı ise yolcuların havaalanlarına geliş ve gidişini sağlayan ulaşım yollarından ve yolcuya hizmet veren terminal binalarından oluşmaktadır. Terminal binaları, yolcu, kargo ve posta yükleme, yolcu bekleme alanları, bilet

satışı, bagaj yükleme sistemi, lokanta, alış veriş merkezi ve araç kiralama gibi tesislerin yer aldığı oldukça karmaşık yapılardır [3].



Şekil 2.2. Havaalanı bileşenleri [3].

2.3. Havaalanı Sınıflandırmaları

Havaalanlarının hava tarafını oluşturan pist, taksiyolu ve apronların yerleşim planlarının ve şartnamelerinin hazırlanabilmesi için havacılık otoriteleri tarafından oluşturulan bir takım özel tasarım standartları bulunmaktadır. Bu standartları oluşturan havacılık otoritelerinin başında ICAO ve FAA yer almaktadır. ICAO tarafından belirlenen standartlar, Annex dökümanlarında, FAA

tarafından belirlenen standartlar ise ‘Advisory Circular’ dökümanlarında bir tavsiye niteliğinde yayınlanmaktadır.

2.3.1. ICAO sınıflandırması

ICAO sınıflandırmalarda sayısal ve alfabetik değerler alan değerler alan havaalanı kod sistemleri kullanılmaktadır. Havaalanı kod numarası ile havaalanının geometrik tasarım standartları belirlenirken, havaalanı kod harfi ile uçak kanat açıklığı ve ana iniş takım tekerleklerinin dış yanları arasındaki mesafeye bağlı olarak havaalanı sınıflandırması yapılmaktadır.

Havaalanı kod numarası, pist uzunluğunun veya kaplama mukavemeti gerekliliklerinin belirlenmesine yönelik olarak kullanılmaktadır. Havaalanının planlaması amacı ile seçilen bir havaalanı kod numarası veya harfi, bir havaalanının öngördüğü kritik uçağın özelliklerine göre belirlenmektedir [6]. ICAO tarafından belirlenen referans kodlar, Çizelge 2.1’de yer almaktadır.

Çizelge 2.1. ICAO havaalanı referans kodları [6].

Kod 1		Kod 2		
Havaalanı Kod Numarası	Referans Pist Uzunluğu (m)	Havaalanı Kod Harfi	Kanat Açıklığı (m)	Dış ana Tekerlek Açıklığı (m)
1	RPU <800	A	KA < 15	ATM < 4.5
2	800 ≤ RPU <1200	B	15 ≤ KA < 24	4.5 ≤ ATM < 6
3	1200 ≤ RPU <1800	C	24 ≤ KA < 36	6 ≤ ATM < 9
4	1800 ≥ RPU	D	36 ≤ KA < 52	9 ≤ ATM < 14
		E	52 ≤ KA < 65	9 ≤ ATM < 14
		F	65 ≤ KA < 80	14 ≤ ATM <16

Çizelge 2.1’de belirtilen referans pist uzunluğu; standart atmosfer koşullarında, deniz seviyesinde, sıfır pist eğiminde, sıfır rüzgârda, uçağın kalkışı için sertifikaya edilmiş maksimum kalkış ağırlığı ile kalkabilmesi için gerekli olan minimum uzunluğu tanımlamaktadır [7].

2.3.2. FAA sınıflandırması

FAA’ın havaalanı referans kodları, bir havaalanında iniş ve kalkış yapacak uçakların fiziksel ve operasyonel karakteristiklerini içeren ve havaalanı tasarımında kullanılan kodlardır. FAA referans kodu, genel olarak iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, uçağın yaklaşma hızını ve yaklaşma kategorisini gösteren harflerden ikinci bölüm ise uçağın kanat açıklığını ve dizayn grubunu içeren sayısal değerlerden oluşmaktadır [8]. FAA’ın havaalanı referans kodları, Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. FAA Havaalanı Referans Kodu 1 [9].

FAA Referans Kod 1		
Uçak Yaklaşma Kategorisi	Uçak Yaklaşma Hızı (knot)	Havaalanı Kategorisi
A	UYH <91	Yedek Havaalanı
B	$91 \leq \text{UYH} < 121$	Yedek Havaalanı
C	$15 \leq \text{UYH} < 141$	Ticari Havaalanı
D	$141 \leq \text{UYH} \leq 166$	Ticari Havaalanı
E	$166 \leq \text{UYH}$	Ticari Havaalanı

Çizelge 2.3. FAA Havaalanı Referans Kodu 2 [9].

FAA Referans Kod 2		
Uçak Dizayn Grubu	Kanat Açıklığı (m)	Uçak Tipleri
I	$\text{KA} < 15$ (49 ft)	Beech Bonanza A36, Learjet25
II	$15 \leq \text{KA} < 24$ (79 ft)	DeHavilland DHC-6, Gulfstream II
III	$24 \leq \text{KA} < 36$ (118 ft)	Boeing 737, Martin 404
IV	$36 \leq \text{KA} < 52$ (171 ft)	Boeing 757, Lockheed 1011
V	$52 \leq \text{KA} < 65$ (214 ft)	Boeing 747-400
VI	$65 \leq \text{KA} < 80$ (262 ft)	Lockheed C5A

2.4. Havaalanı Hava Tarafı Bileşenleri

2.4.1. Pist/Pistler

Pist/pistler; uçakların yerdeki hareketlerini gerçekleştirdikleri, iniş ve kalkış sırasında kullandıkları kara veya deniz üzerinde tanımlanmış dikdörtgen alanlardır [6] (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Pist[10].

Genel olarak bakıldığında pist yerleşim tipleri dört grupta incelenmektedir. Bunlar;

- Tek pist,
- Paralel pistler,
- Açık V şeklinde yerleştirilen pistler ve
- Kesişen pistlerdir [3].

Tek pist: En basit yerleşim tipidir (Şekil 2.4). Uçak tipine ve kullanılan seyrüsefer teknolojisine bağlı olarak tekli pistlerde Görerek Uçuş Kurallarına (VFR-Visual Flight Rule) göre saatte 50 ile 100, Aletli Uçuş Kurallarına (IFR-

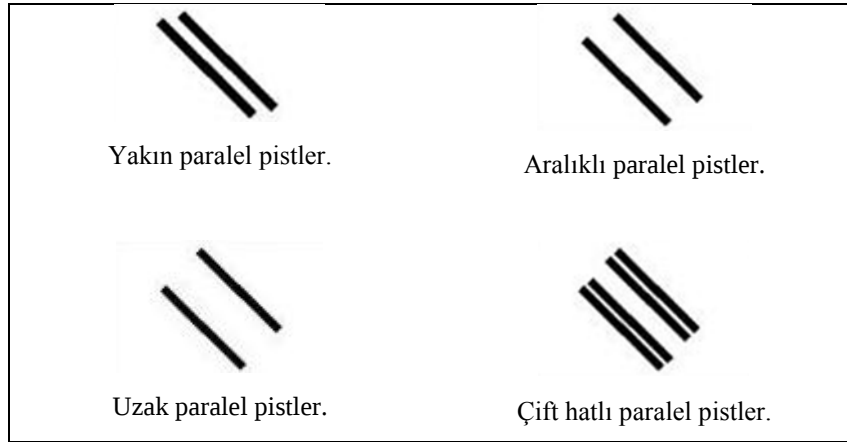
Instrument Flight Rule) göre de saatte 50 ile 70 arasında uçuş operasyonu yapılabilmektedir[11].



Şekil 2.4. Tek pist[12]

Paralel pistler: Paralel pistlerin kapasitesi, pistler arasındaki ayırım mesafesine bağlıdır (Şekil 2.5). Bu tip pistlerde aralarındaki mesafeye ve kullanılan seyrüsefer cihazlarına bağlı olarak VFR şartlarında saatte 60 ile 200, IFR şartlarında ise 60 ile 125 uçuş operasyonu yapılabilmektedir [11]. Paralel pistler genel olarak dört grupta incelenmektedir. Bunlar;

- Yakın paralel pistler:* İki pist arasındaki mesafe, 2500 feet'ten daha az olmaktadır.
- Aralıklı paralel pistler:* İki pist arasındaki mesafe, 2500 ile 4300 feet arasında değişmektedir.
- Uzak paralel pistler:* İki pist arasındaki mesafe, 4300 feet'ten daha fazla olmaktadır.
- Çift hatlı paralel pistler:* İki yakın paralel pist ile diğer iki yakın pist arasındaki mesafe, 4300 feet veya daha fazla olmaktadır [3].



Şekil 2.5. Paralel pistler.

Açık-V pistler: Birbiri ile kesişmeyen ve iki farklı yöne sahip pistin V harfine benzer şekilde yerleştirilmesi sonucunda oluşmaktadır (Şekil 2.6). Açık-V pistler, genel olarak iki grupta incelenmektedir. Bunlar; pist kesişim noktasına doğru operasyon yapılan açık-V pistler ve pist kesişim noktasından uzaklaşarak operasyon yapılan açık-V pistler olarak sıralanmaktadır. Açık V pistler rüzgârın sakin veya zayıf estiği durumlarda eş zamanlı olarak kullanılırken, rüzgârın kuvvetlenmesi sonucunda tek bir pist kullanılabilmektedir [3,11].



Şekil 2.6. Açık V pist çeşitleri.

Kesişen pistler: Bu tip pistler, iki veya daha fazla pistin birbirleri ile kesişmesi sonucunda oluşmaktadır (Şekil 2.7). Kesişen pistler, kesişme bölgelerine göre üç grupta incelenmektedir. Buna göre ilk grupta yer alan pistler, tam orta noktasında kesişirken, ikinci grupta pist eşiğine yakın bir noktada üçüncü grupta ise pist eşiğine uzak bir noktada kesişmektedirler. Yıl içerisinde rüzgârın bir veya daha fazla yönde kuvvetli olarak estiği havaalanlarında kullanılabilecek en iyi yerleşim tipidir. Açık-V pistlerde olduğu gibi rüzgârın bir yönden kuvvetli esmesi sonucunda tek pist, rüzgârın hafif esmesi sonucunda ise tüm pistler kullanılabilmektedir [11].



Şekil 2.7. Kesişen pistler.

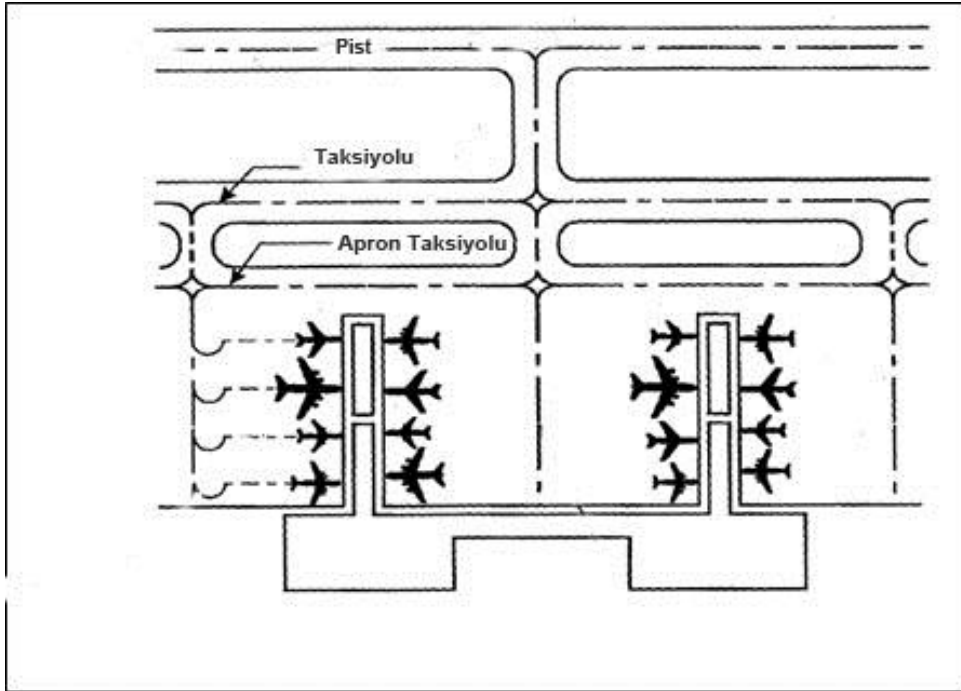
2.4.2. Taksi yolları

Taksi yolları, uçağın taksi hareketi için oluşturulmuş ve havaalanının bir bölümünü diğer bölümlere bağlamak üzere belirlenmiş yollardır. Taksi yollarının tasarlanabilmesi için havaalanının hava trafik hacminin, pist konfigürasyonunun, terminal binasının ve diğer yer tesislerinin yerlerinin bilinmesi gerekmektedir [4].

Taksi yolu sistemleri, uçağın yerdeki hareketini minimum düzeyde etkileyerek, apron alanları ile pistler arasındaki iletişimi sağlamaktadır. Ayrıca yerdeki uçak trafiğinin de düzgün, akıcı, güvenli ve hızlı bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır [13].

Havaalanlarının ihtiyaçlarına bağlı olarak yapılan çeşitli tiplerde taksi yolu sistemleri mevcuttur. Bunlar;

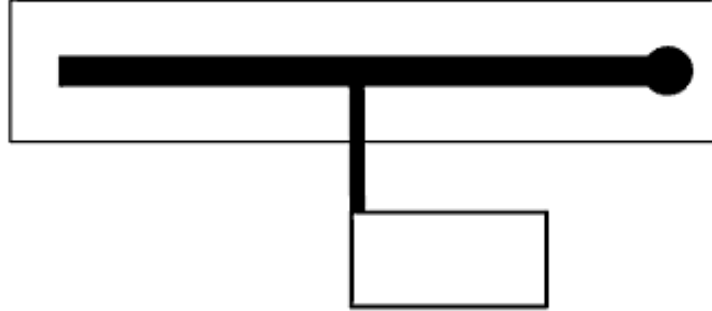
Apron taksi yolu: Aprondan piste geçişi sağlayan taksi yolu sistemidir (Şekil 2.9) [13]. Bu tip taksi yolları, dik açılı tek taksi yolu ve paralel taksi yolu olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.9. Apron taksi yolu [13].

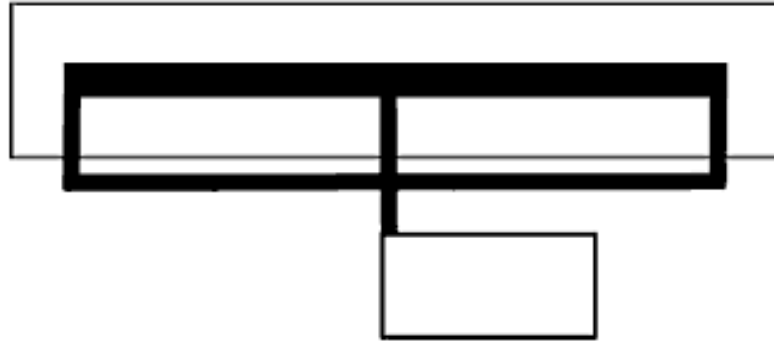
a. *Dik açılı tek taksiyolu:* Havaalanındaki saatlik uçak hareketi sayısının az olduğu durumlarda, apron ile pist arasındaki bağlantı tek bir taksi yolu ile

yapılmaktadır. Şekil 2.10’da görüldüğü üzere bu tip bir taksi yolunun mesafesi kısadır ve dik açı ile piste bağlanmaktadır (Şekil 2.10) [14].



Şekil 2.10. Küçük havaalanlarındaki apron ve pist arasındaki bağlantı[14].

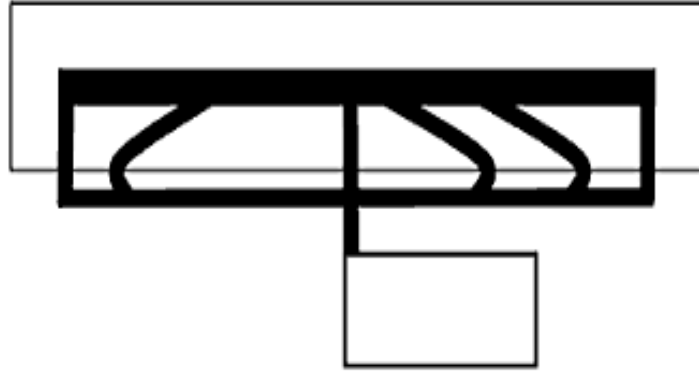
b. Paralel taksi yolu: Saatlik trafiği 12 uçağı aşan büyük havaalanlarında, uçakların aprondan piste ulaşmasına olanak sağlayan paralel taksi yolları bulunmaktadır. Bu taksi yolları, pistin başından ve sonundan dik açı ile bağlantı sağlarlar (Şekil 2.11) [14].



Şekil 2.11. Dik açılı paralel taksi yolu[14].

Uçak park yeri taksiyolu: Uçak park yerlerine ulaşımı sağlayan yollardır.

Hızlı çıkış taksiyolu: Bu tip taksi yolları, uçakların pisti terk etme sürelerini kısaltarak havaalanı kapasitesini artırmaktadır. Hızlı çıkış taksi yolları, piste dar açı ile bağlanmakta ve uçakların diğer taksi yollarına göre daha hızlı dönüş yapabilmelerine olanak sağlamaktadır (Şekil 2.12) [14].



Şekil 2.12. Paralel pistlerle bağlantılı hızlı çıkış taksi yolu[14].

Hangar apron taksi yolu: Bu taksi yolları, pist ile hangar ve apron yollarını birbirine bağlamaktadır.

2.4.3. Apronlar

Apronlar, havaalanının trafiğine müdahale etmeksizin yolcu, kargo ve postanın indirilmesine veya bindirilmesine ya da uçakların servislerinin gerçekleştirilebilmesine olanak sağlayan alanlardır (Şekil 2.13). Bir apronun alanı, havaalanı trafiğinin en yoğun olduğu zamanda yer hizmetlerinin süratli bir şekilde yapılabilmesini sağlayacak büyüklükte olmalıdır. Apronlar, yavaş hareket eden ve duran trafiğe maruz kaldıklarından pistlerden daha fazla yıpranmaktadır. Bu nedenle apronların mukavemeti, en az pist mukavemeti kadar olmalıdır. Apron eğimi, yüzeyde su birikintisi oluşmayacak şekilde tasarlanmalıdır [6].



Şekil 2.13. Apron[15].

Havaalanlarının ihtiyacına bağlı olarak apronlar farklı şekillerde inşa edilmektedir [9]. Bunlar;

Yolcu terminal apronları: Bu tip apronlar, yolcu terminal tesislerine bitişik olup, uçakların manevra yapabilmeleri ya da durmaları için dizayn edilmiş alanlardır.

Kargo terminal apronları: Kargo terminal tesislerine bitişik, yalnızca kargo veya posta taşıyan uçakların kullanması amacıyla yapılmış alanlardır.

Ayrı park apronları: Bu tip apronlar, terminal apronlarına ek olarak yapılırlar ve uzun süre beklemesi gereken uçaklar için havaalanlarında ayrılmış alanlardır.

Servis ve park apronları: Servis apronları, hangarlara bitişik olmayan alanlardır ve uçakların bakımı sırasında hizmet vermektedirler.

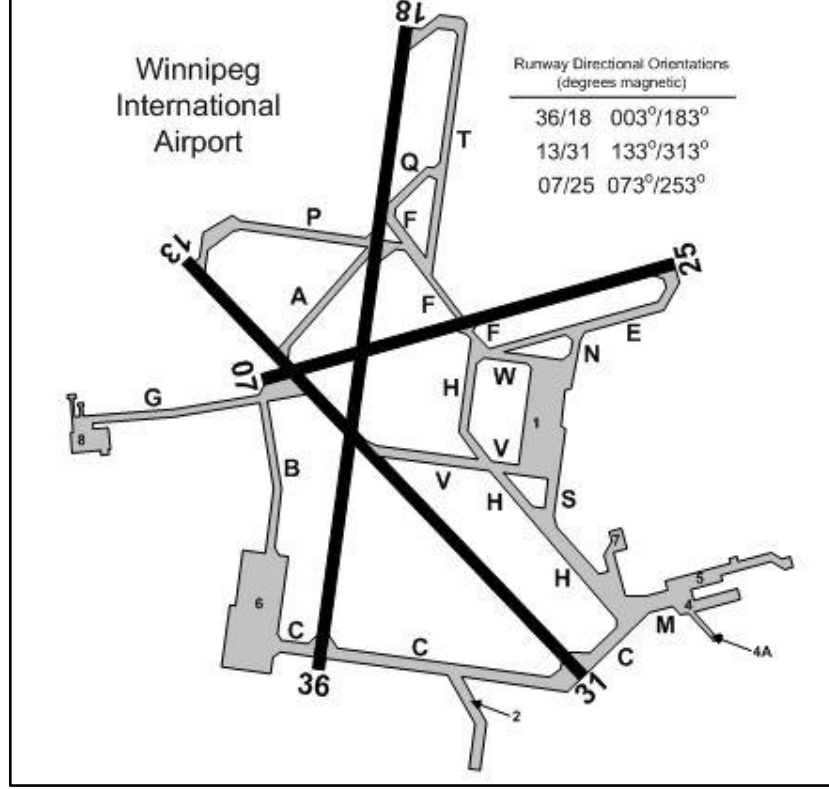
2.5. Pist Yerleşimi

Pistlerin sayısını, yerini ve yerleşimini etkileyen çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bu faktörler aşağıda maddeler halinde verilmiştir [16];

- Meteorolojik koşullar,
- Havaalanının ve çevresinin topoğrafik yapısı,
- Hava trafiğinin tipi ve yoğunluğu,
- Uçak performans gerekleri ve

e) Çevresel etkiler.

Şekil 2.14'te Winnipeg Havaalanına ait pistlerin yerleşimi görülmektedir.



Şekil 2.14. Winnipeg Uluslararası Havaalanı'na ait pistlerin yerleşimi [17].

a) Meteorolojik koşullar: Meteorolojik koşullar, aynı bölge içerisinde bulunan farklı alanlarda değişiklik gösterebilmektedir. Pist yerleşimini etkileyen en önemli faktörler; görüş, bulut tavanı ve rüzgâr dağılımı olarak bilinmektedir. Ayrıca uçak operasyonları üzerinde önemli etkisi olan sis, türbülans ve şiddetli yağmur yağışı da pist yerleşimi üzerinde etkili faktörler olarak değerlendirilmektedir [18].

Pist yerleşim yönünün bulunması aşamasında ilgili bölgenin rüzgâr karakteristikleri detaylı olarak incelenmektedir. Bu inceleme sırasında bölgenin görüşü etkileyen sis, pus, duman vb. gibi meteorolojik olayları ve bulut tavanı oldukça önemli hale gelmektedir.

b) Havaalanı ve çevresinin topoğrafik yapısı: Pist ve/veya pistlerin yerleşimi sırasında havaalanının, çevresindeki diğer yapıların ve bölgenin

topoğrafik özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda aşağıda maddeler halinde verilen konu başlıkları ayrı ayrı incelenmektedir.

- İniş ve kalkış yolu üzerindeki mevcut yükseltiler (havaalanı ve özellikle pist çevresindeki dağ, ağaç, direk, bina vb. gibi yükseltiler),
- Pist yerleşimi için mevcut ve gelecekteki arazi kullanım planları ile uyumluluk,
- Mevcut ve gelecekteki pist uzunluğu için yeterli alanın olup olmadığı,
- Pist çevresinde görerek ve aletli yaklaşma sırasında yardımcı olacak ekipmanların kurulması için yeterli ve uygun alanın varlığı,
- Pistin kurulması için gerekli maliyetler [16].

c) Hava trafiğinin tipi ve yoğunluğu: Piste iniş ve kalkış yapacak uçaklardan kaynaklanan hava trafik talepleri ve hava taşımacılığı açısından yılın en yoğun zaman diliminde bir saat içerisinde pistte kalacak uçak karmasının sayısı pist sayısını etkileyen faktörlerin başında yer almaktadır [16]. Ayrıca VFR ve IFR koşulları altında bir saatte pisti kullanacak uçak karması sayısına göre belirlenen kapasite değeri, pist tipinin belirlenmesinde oldukça önemlidir [4].

d) Uçak performans gerekleri: Hava tarafına ait bileşenlerin özellikle de piste ait gereksinimlerin belirlenmesinde genellikle pisti kullanabilecek muhtemel uçak karmasının saptanması gerekmektedir. Bu uçak karması içinde tesis gereksinimlerini en fazla kullanacak uçak, kritik uçak olarak seçilmektedir.

Kritik uçak, havaalanında hizmet verilmesi planlanan ve en uzun piste ihtiyaç duyan uçak olarak tanımlanmaktadır. Kritik uçak tanımlanırken havaalanından hizmet alması düşünülen uçakların uçuş performans manuelllerinin ve kalkış/iniş açısından gerekli özelliklerinin incelenmesi gerekir [2].

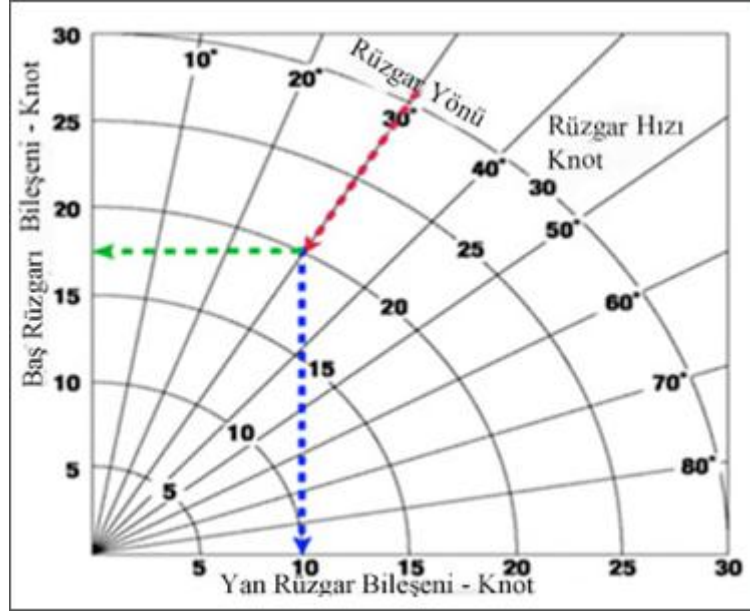
e) Çevresel etki: Ekolojik ve doğal yaşam, arazi kullanımı, yeraltı ve yerüstü kaynakları, arkeolojik yapılar, sosyolojik yapılar ve uçak operasyonları sonucunda ortaya çıkan gürültü, pist yerleşimini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle yer seçimi sırasında şehir dışında bir bölgede kurulan havaalanı, kentsel dönüşüm sırasında yerleşim bölgelerinde kalarak gürültü sorununa neden olmaktadır. Gürültü, bölgede yaşayan insanların yaşam kalitelerini etkileyerek fiziksel, fizyolojik ve psikolojik açıdan sağlık sorunları yaratabilmektedir. Bu nedenle günümüzde bu etkilerin azaltılabilmesi amacıyla havacılık otoriteleri

tarafından çeşitli kısıtlamalar getirilmektedir [2]. Bu kısıtlamalar şu şekilde sıralanabilir: gürültü azaltma prosedürleri, havacılık gürültüsünün düzenlenmesi ve denetlenmesi, uçak faaliyetlerinde gürültü uygulamaları, gece uçuşu kısıtlamaları, uygun pist kullanımı, gürültü izleme ve ölçümü ve arazi kullanım planlamasıdır[19].

3. PİST YÖNÜNÜN VE SAYISININ BELİRLENMESİNDE RÜZGÂR ETKİSİ

Bir havaalanına yapılacak pist/pistlerin sayısının ve yönünün planlanabilmesi için havaalanının kurulacağı bölgenin uzun yıllara ait rüzgâr verilerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi ve hava trafik yoğunluğunun araştırılması gerekmektedir. Rüzgâr verilerinin analizinde izlenecek adımlar, ICAO tarafından yayınlanan DOC 9184 (Airport Planning Manuel-Havaalanı Planlama El Kitabı) ve FAA tarafından tavsiye niteliğinde yayınlanan AC 150/5300-13 (Airport Design-Havaalanı Tasarımı) dokümanlarında yer almaktadır.

Bir havaalanının trafik açısından yoğun olan birincil pistinin yönü, bölgenin hâkim rüzgâr yönüne oldukça yakın olarak belirlenmektedir. Pistin yönü hesaplanırken belirlenen kritik uçağın yan rüzgâr limiti etkili olmaktadır. Uçak pistteyken uçağın boylamasına eksenini dik olarak etkileyen rüzgâr bileşenine yan rüzgâr denilmektedir (Şekil 3.1). Bu rüzgârın uçağın inişi ve kalkışı sırasında önceden belirlenmiş limitleri aşmaması gerekmektedir. Maksimum izin verilebilir yan rüzgâr limiti; seçilen kritik uçağın büyüklüğüne, kanat yapısına ve pist kaplamasının durumuna bağlıdır. Örneğin yük ve yolcu taşımacılığında kullanılan geniş gövdeli uçaklar, 30 knot'a kadar olan yan rüzgârda manevra yapabilmelerine karşın oldukça zorlanmaktadırlar. Bu nedenle yan rüzgâr limitleri belirlenirken havaalanı planlamacıları tarafından genellikle daha düşük tutulmaktadır [20].



Şekil 3.1 Rüzgârın yan rüzgâr bileşeni[21].

3.1. ICAO ve FAA tarafından Belirlenen İzin Verilebilir Yan Rüzgâr Limitleri

ICAO ve FAA tarafından belirlenen maksimum izin verilebilir yan rüzgâr limitleri Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir. Maksimum izin verilebilir yan rüzgâr limitlerinin ICAO tarafından düzenlenen çizelgede referans pist uzunluğuna, FAA tarafından düzenlenen çizelgede ise havaalanı referans koduna göre sınıflandırıldığı görülmektedir.

Çizelge 3.1. ICAO'nun maksimum izin verilebilir yan rüzgâr limitleri [4].

Referans Pist Uzunluğu	İzin Verilebilir Yan Rüzgâr Limiti (km/h (knot))
≥ 1500 m*	37 (20)
1200 m – 1499 m	24 (13)
< 1200 m	19 (10)

* Ancak pist yüzey sürtünmesinin az olduğu durumlarda yani zayıf frenleme halinde yan rüzgâr hızı, 24 km/s (13 knot)'ı aşmamalıdır.

Çizelge 3.2. FAA’ın maksimum izin verilebilir yan rüzgâr limitleri [4].

Havaalanı Referans Kodu	İzin Verilebilir Yan Rüzgâr Limiti (km/h (knot))
A-I ve B-I	19.4 (10.5)
A-II ve B-II	24.0 (13.0)
A-II, B-III ve C-I den D-III kadar	29.6 (16.0)
A-IV’den D-VI kadar	37.0 (20.0)

3.2. Meteorolojik Veriler

Havaalanının planlaması sırasında analiz edilen gözlem verileri genellikle bağlı bulunan devletin meteoroloji kuruluşlarından temin edilmektedir. Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri’nde Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration) ve Çevre Veri Servisi (ENDS -Environment Data Service)’den veri temin edilirken ülkemizde Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınabilmektedir.

Veri kümesinin elde edilmesinde ICAO ve FAA’ye göre farklılıklar söz konusudur. Veri toplanması aşamasında ICAO’nun yaklaşımı, gün içerisinde eşit aralıklarla 8 adet gözlem verisinin alınmasıdır. FAA ise bu işlemi saat başı gerçekleştirmektedir.

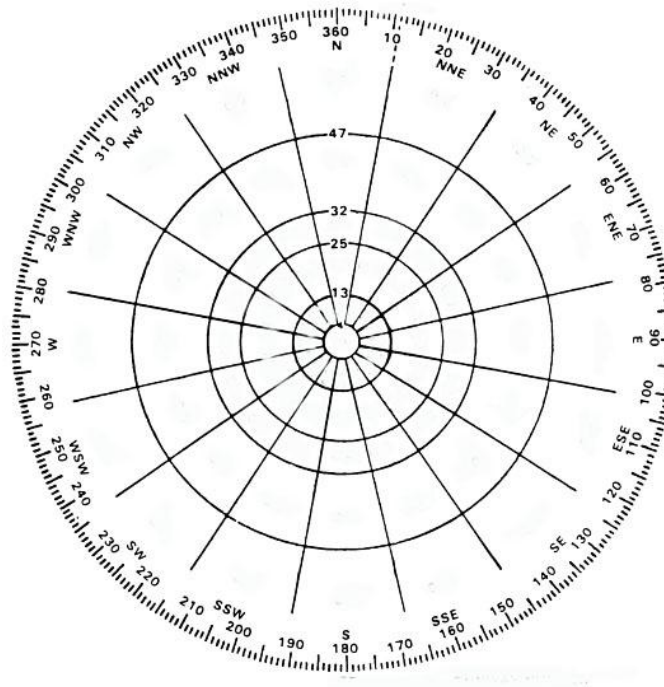
Pist yönünün belirlenmesinde uzun bir zaman periyoduna ait rüzgâr verilerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu süre, ICAO tarafından yayınlanan dokümanlarda en az 5 yıl, havaalanı konusunda yayınlanan çeşitli dokümanlarda ise 10 yıl olarak belirtilmektedir.

Uzun yıllara ait yeterli rüzgâr verisine sahip olmayan yerlerde pist yönünün saptanması yapılamamaktadır. Bu durumda pistin kurulacağı alana yakın olan ve uzun yıllara ait rüzgâr verisine sahip bir bölgenin rüzgâr verileri pist yönünün saptanabilmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca tepelik bir yapıya sahip arazilerin rüzgâr rejimi, bölgenin topoğrafik özelliğine bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Bu nedenle pist kurulması düşünülen bu tür bir arazinin gerek topografik özelliklerinin, gerekse bölgenin rüzgâr yapısının uzun bir süre incelenmesi zorunlu hale gelmektedir [18].

3.3. Rüzgârgülü

Bir havaalanında pist ve/veya pistlerin yönlerini tespit etmek amacıyla rüzgârgülü adı verilen bir grafikten yararlanılmaktadır. Rüzgârgülü, radyal çizgilerden ve iç içe çizilmiş bir takım dairelerden oluşmaktadır. Radyal çizgiler, polar koordinat sistemine göre rüzgâr yönlerinin gösteriminde kullanılmaktadır. İç içe çizilen daireler ise rüzgâr hız gruplarını göstermektedir [20].

Rüzgâr yönlerinin grafiksel gösteriminde ICAO ve FAA gerçek kuzeye göre iki farklı yaklaşım ortaya koymaktadır. ICAO, rüzgârı 22,5° aralıklarla 16 yön olarak gösterirken, FAA 10° aralıklarla 36 yön üzerinden sınıflandırmaktadır. Şekil 3.2’de ICAO’nun yaklaşımıyla bir rüzgâr gülü grafiği gösterimi örnek olarak verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere rüzgârgülü üzerinde 16 rüzgâr yönü ve iç içe dairelerle gösterilen 6 rüzgâr hız grubu yer almaktadır. Merkez daire, sakin rüzgârı gösterirken içten dışa doğru çizilen daireler ise sırasıyla 4, 13, 25, 32, 47 ve 47 m/sn’den daha fazla esen rüzgâr hız gruplarını sınıflandırmaktadır.



Şekil 3.2. ICAO Standartlarına göre oluşturulan rüzgârgülü [22].

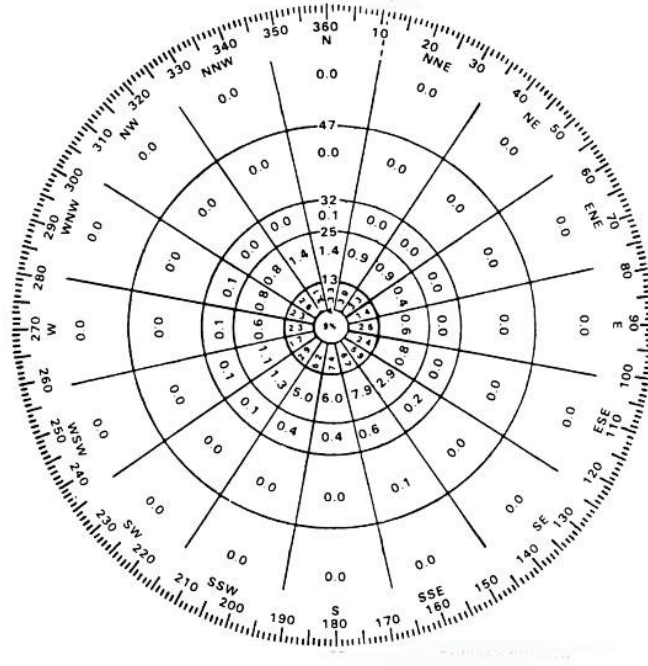
Rüzgârgülü üzerinde rüzgâr yönleri ile hız gruplarının kesişim bölgelerine yazılacak rüzgâr esme oranları, bir analiz tablosu yardımı ile belirlenmektedir

(Çizelge 3.3). Bu tablo üzerinde her bir yön ve hız grubuna karşı gelen rüzgâr esme oranları, eldeki rüzgâr verileri yardımı ile hesaplanmaktadır. Çizelge 3.3’de de görüldüğü üzere rüzgâr verilerinin analizi, 16 yön ve 7 hız grubu (sakin, 1-4 m/sn, 4-13 m/sn, 13-25 m/s., 25-32 m/s., 32-47 m/s., ve 47m/s’den fazla esen rüzgârlar) dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 3.3. Rüzgâr verilerinin belirlenen yön ve hız gruplarına göre sınıflandırılması [22].

Rüzgâr Yönleri	Rüzgâr Hız Grupları (m/sn)						Toplam Yüzde Oranları
	1-4	4-12	13-25	25-32	32-47	47 Üzeri	
	Yüzdelik Oranları						
N	0.3	3.3	1.4	0.1	0	0	5.1
NNE	0.3	3.0	0.9	0	0	0	4.2
NE	0.9	3.3	0.9	0	0	0	4.7
ENE	0.2	1.4	0.4	0	0	0	2.0
E	0.5	2.5	0.6	0	0	0	3.6
ESE	0.3	2.4	0.8	0	0	0	3.5
SE	0.6	5.9	2.9	0.2	0	0	9.6
SSE	0.9	6.7	7.9	0.6	0.1	0	15.8
S	0.8	7.4	6.0	0.4	0	0	14.6
SSW	0.6	5.2	5.0	0.4	0	0	11.2
SW	0.5	2.9	1.3	0.1	0	0	4.8
WSW	0.3	1.7	1.1	0.1	0	0	3.2
W	0.4	2.3	0.6	0.1	0	0	3.4
WNW	0.4	2.3	0.8	0.1	0	0	3.6
NW	0.5	2.6	0.8	0	0	0	4.8
NNW	0.3	3.1	1.4	0	0	0	2.0
Sakin	2.0	0	0	0	0	0	0
Toplam	9.0	56.0	32.8	21	1	0	100
1979-1986 Yıllarına ait Toplam 91055 Adet Veri							

Rüzgâr verilerinin analiz işlemi yukarıda belirtilen şekilde tamamlandıktan sonra elde edilen rüzgâr esme oranları, rüzgârgülü grafiği üzerinde belirlenen alanlara yazılarak grafik oluşturma işlemi sonlandırılmış olur (Şekil 3.3).

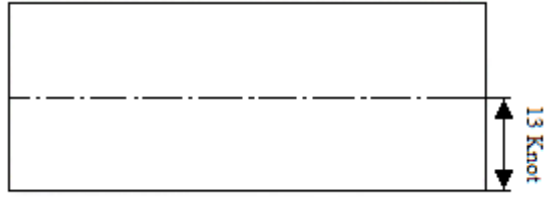


Şekil 3.3. Rüzgârgülü grafiğinin veri işlenmiş hali [22].

Görüşün kötü olduğu şartlarda rüzgâr koşulları normal durumdan farklı olduğu için rüzgâr analizi işlemi bir miktar farklılık göstermektedir. Öncelikle rüzgâr verileri, görüşün açık olduğu kabul edilerek analiz edilmektedir. Daha sonra bulut tabanının 60 - 300 m arasında ve/veya görüşün 0,8 – 4,8 km arasında değiştiği koşullarda elde edilen veriler göz önünde bulundurularak analiz işlemi tekrarlanmaktadır [18].

3.4. Pist (Yan Rüzgâr) Şablonu

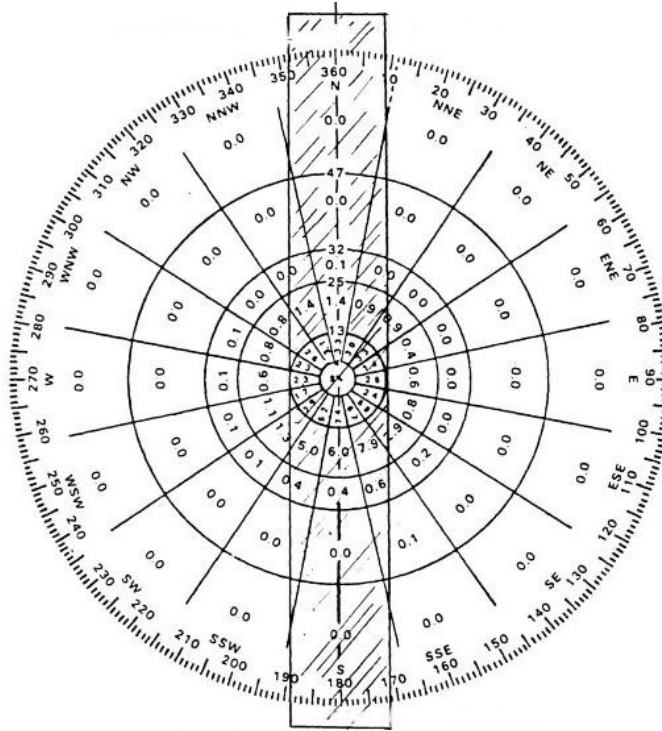
Pist şablonu, havaalanının planlanması sırasında piste iniş ve kalkış yapması düşünülen uçaklar içerisinde seçilen bir kritik uçağın maksimum izin verilebilir yan rüzgâr limitine bağlı olarak oluşturulmaktadır. Bu şablon, birbirine paralel üç çizgiden meydana gelen dikdörtgen bir yapıya sahiptir (Şekil 3.4). Ortadaki merkez çizgi, temsili olarak pist merkez çizgisini sağ ve soldaki çizgiler ise yan rüzgâr limitine bağlı olarak pistin sınırlarını belirlemektedir [4].



Şekil 3.4. 13 knota göre çizilen bir pist şablonu.

3.5. Uygun Pist Yönü/Yönlerinin Analizi ve Kullanım Faktörü

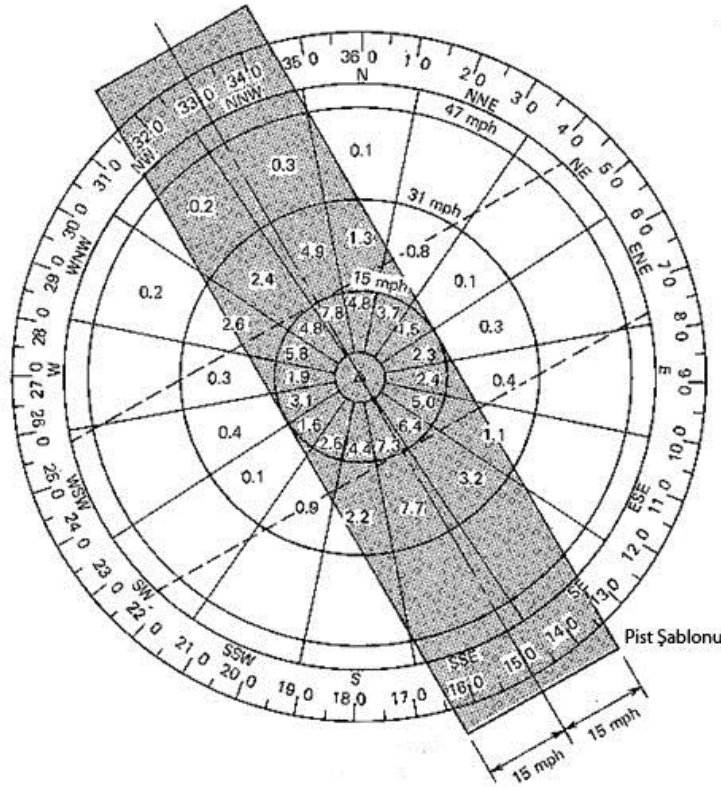
Uygun pist yönünün saptanması sırasında oluşturulan şeffaf pist şablonu, rüzgârgülü merkezi etrafında hareket edebilecek şekilde yerleştirilmektedir. Daha sonra şablonun merkez çizgisi, gerçek kuzeyden itibaren saat yönünde belirli açılarla döndürülerek grafik üzerinde hareket ettirilir [23] (Şekil 3.5). Şablonun her bir hareketi sırasında şablon sınırları içerisinde kalan rüzgâr esme oranları toplanarak uygun pist yönünün belirlenmesinde kullanılacak kullanım faktörü değerleri hesaplanmaktadır. Bulunan değerler içerisinde 0,95’den büyük olan değere karşı gelen açı, uygun pist yerleşim açısı olarak seçilmektedir.



Şekil 3.5. Pist şablonunun rüzgârgülü üzerindeki hareket [22].

Hesaplanan kullanım faktörü değerinin 0,95'ten az olduğu durumlarda ikinci pistin de dâhil olacağı yeni bir kullanım faktörü değeri hesaplaması gerekmektedir. Bu aşamada rüzgârgülü grafiği üzerinde birinci piste ait şablon sınırları içinde kalan alan sabit konuma getirilmektedir. Daha sonra şablon merkez çizgisi, ikinci piste ait yön doğrultusunda yerleştirilerek yeni bir kullanım faktörü değeri hesaplanmaktadır. Yeni kullanım faktörü değeri, birinci piste ait kullanım faktörü değerine ikinci piste ait ek kullanım faktörü değerinin eklenmesi ile bulunmaktadır [24].

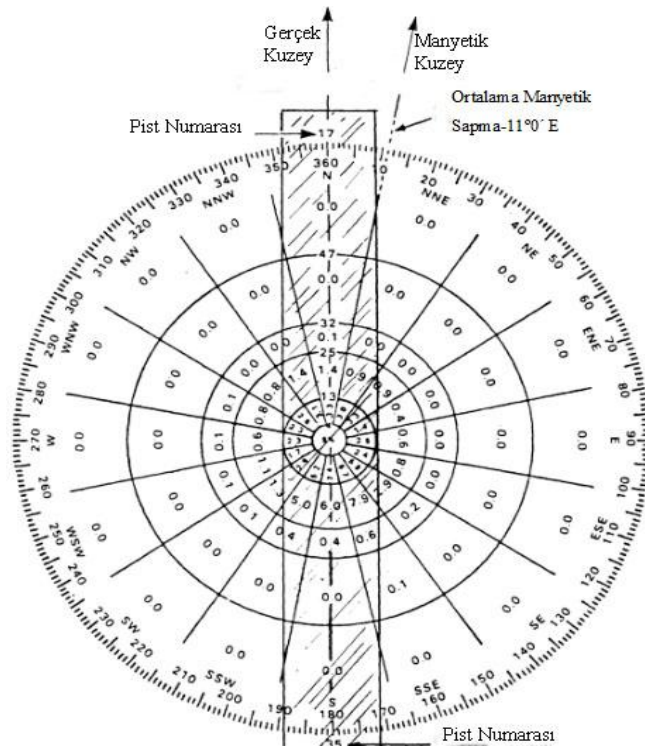
Şekil 3.6'da görüldüğü üzere taralı alan, birinci piste ait yerleşim yönünü, kesikli çizgilerle gösterilen alan ise ikinci piste ait yerleşim yönünü göstermektedir.



Şekil 3.6. İkinci ve birinci piste ait şablon yerleşimleri [24].

Rüzgâr yönü gözlemleri, gerçek kuzey referans alınarak yapılmaktadır. Pist oryantasyonu ve numaralandırılması ise manyetik kuzeye göre belirlenmektedir [4]. Manyetik kuzey ile gerçek kuzey arasındaki farka, manyetik sapma (variation) adı verilmektedir. Sapma, dünyanın farklı yerlerinde farklı

değerler alırken batı boylamlarında batı, doğu boylamlarında ise doğu yönünde ortaya çıkar. Bazı yerlerde ise 0'dır [25]. Bu doğrultuda rüzgârgülü analizi sonucunda elde edilen pist yönünün havaalanının bulunduğu yerin manyetik değişimi (variation) dikkate alınarak manyetik kuzeye göre dönüştürülmesi gerekmektedir. Doğulu manyetik değişimlerde sapma miktarı elde edilen pist yönü değerinden çıkartılırken, batılı değişimlerde ise toplanır (Şekil 3.7) [4].



Şekil 3.7. Manyetik değişimlere göre pist numarasının değişimi [25].

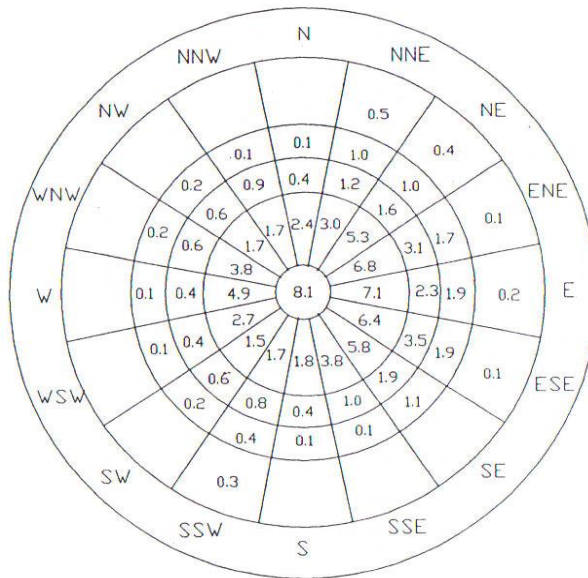
3.5.1. Örnek uygulama

Çalışmanın bu bölümünde pist/pist yönlerinin hesaplanması için yukarıda detaylı bir şekilde açıklanan işlem basamakları, örnek bir uygulama ile gösterilmiştir.

Havaalanı yapılması planlanan araziye ait rüzgâr verileri, Çizelge 3.4’de gösterilmiştir. Bu verilere dayalı olarak Şekil 3.8’de grafiksel olarak gösterilen rüzgârgülü oluşturulmuştur.

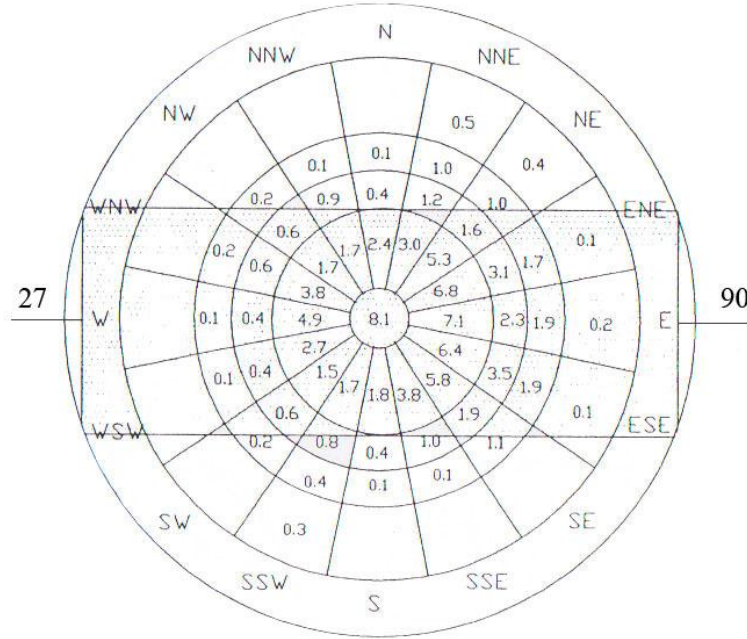
Çizelge 3.4. Örnek uygulamaya ait rüzgâr esme oranları [20].

Rüzgâr Yönleri	Rüzgâr Hız Gruplar (m/sn)				Toplam
	4-15	15-20	20-25	25-35	
	Yüzdelik Oranları				
N	2.4	0.4	0.1	0.0	2.9
NNE	3.0	1.2	1.0	0.5	5.7
NE	5.3	1.6	1.0	0.4	8.3
ENE	6.8	3.1	1.7	0.1	11.7
E	7.1	3.5	1.9	0.2	11.5
ESE	6.4	1.9	1.9	0.1	11.9
SE	5.8	1.0	1.1	0.0	8.8
SSE	3.8	0.4	0.1	0.0	4.9
S	1.8	0.8	0.1	0.0	2.3
SSW	1.7	0.6	0.4	0.0	3.2
SW	1.5	0.4	0.2	0.0	2.3
WSW	2.7	0.4	0.1	0.0	3.2
W	4.9	0.6	0.1	0.0	5.4
WNW	3.8	0.6	0.2	0.0	4.6
NW	1.7	2.3	0.2	0.0	2.5
NNW	1.7	0.9	0.1	0.0	2.7
Sakin	8.1	0.0	0.0	0.0	8.1
Toplam					100



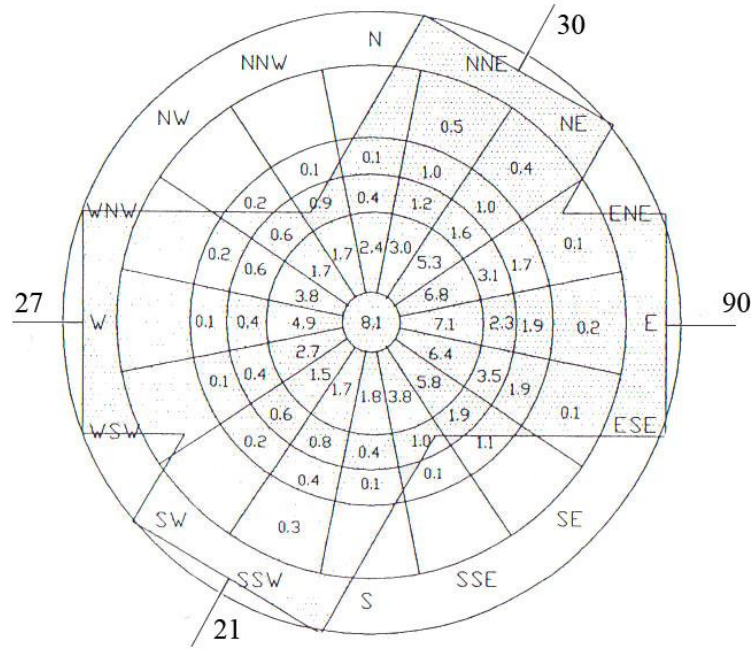
Şekil 3.8. Örnek uygulamaya ait rüzgârgülü [20].

Bu uygulamada pisti kullanması planlanan kritik uçağa ait maksimum yan rüzgâr limiti, 15 m/sn olarak kabul edilmiş ve bu limite bağlı olarak bir pist şablonu oluşturulmuştur. Bu şablon, rüzgâr gülü üzerinde döndürülerek en büyük kullanım faktörü değeri % 90,8 olarak hesaplanmıştır. Buna göre birinci pist için uygun pist yönü, 90° - 270° olarak saptanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Birinci pist için uygun yönün bulunması [20].

Birinci pist için hesaplanan kullanım faktörü değerinin, % 95 limitini sağlamaması nedeniyle ikinci pistte ait uygun yön seçimi yapılmıştır. Buna göre ikinci pist için uygun yön, 30° - 210° olarak bulunmuştur (Şekil 3.10). İkinci pist için ek kullanım faktörü değeri % 5,8 olarak belirlenmiştir. Birinci pist için hesaplanan % 90,8'lik kullanım faktörü değeri ile ikinci piste ait ek kullanım faktörü değeri olan % 5,8 toplanarak yeni kullanım faktörü değeri, % 96,6 olarak belirlenmiştir [20].



Şekil 3.10. Birinci ve ikinci pist için uygun yönlerinin bulunması [20].

Rüzgar yönü, şiddeti ve esme sayısı pist yönü ve sayısını belirleyen en önemli faktörlerden biri olmakla birlikte trafik talep tahminleri, havaalanını kullanacak uçak sayısı, uçak karması ve en yoğun sezonun en yoğun 1 saatlik diliminde bekleme, iniş ve/veya kalkış yapacak uçak karması belirleyici önemli faktörler olarak dikkate alınır [18].

3.6. Literatür Taraması

Havayolu taşımacılığının her geçen gün artması sonucunda pek çok havaalanı trafik talebini karşılayamaz hale gelmektedir. Bu durumun ortadan kaldırılabilmesi için ya yeni havaalanı yapımı ya da varolan havaalanlarının büyütülerek kapasitelerinin artırılması gerekmektedir [26].

Havayolu taşımacılığının gelişim göstermeye başladığı yıllardan günümüze kadar olan süreçte planlama her zaman önemli bir konu olmuştur. Havaalanı planlama sürecinin en önemli aşamalarından biri uygun yerleşim planının oluşturulmasıdır. Bir havaalanı yerleşim planının doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için öncelikle uygun pist yönünün saptanması gerekmektedir.

Bir havaalanı için uygun pist yönünün belirlenmesi konusunda bugüne kadar çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Genel olarak bu çalışmalar incelendiğinde uygun pist yönünün saptanmasında iki farklı yaklaşımın ele alındığı görülmektedir. Bu yaklaşımların ilkinde, genel olarak uzaysal ve zamansal veri analizi imkânı sağlayan CBS yazılımına eklenen modüller yardımıyla uygun pist yönünün saptaması sağlanmaktadır. İkinci yaklaşımda ise Fortran 77, Visual Basic vb. gibi programlama dilleri kullanılarak geliştirilen programlar yardımıyla uygun pist yönüne ilişkin hesaplamalar yapılmaktadır. Her iki yaklaşımda da araştırmacılar, zamana ve yöne bağlı rüzgâr esme yüzdelerini kullanarak bir veya iki pistte ait uygun pist yönü/yönlerini hesaplamışlardır.

Bugüne kadar yapılan pist yönü hesaplama çalışmaları kronolojik bir yaklaşımla aşağıda verilmiştir.

FAA'nın 1989 yılında yaptığı çalışmada havaalanlarını tasarlamak amacıyla geliştirilen "Airport Design" isimli bir yazılım ile rüzgâr esme yüzdelerine bağlı olarak pist yerleşim yönünün basit bir şekilde belirlenmesi sağlanmıştır. Programa ilişkin bir uygulama FAA tarafından yayınlanan "AC 150/5300-13" dokümanının Ek-1 bölümünde yer almaktadır. Bu program DOS ve WINDOWS ortamında çalışmaktadır [23].

Mousa ve Mumayiz'in 2000 yılında yaptığı çalışmada araştırmacılar, rüzgâr verileri ve izin verilebilir yan rüzgâr limitine bağlı olarak pist yerleşim yönünün hesaplandığı bir bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir. WINDROS ismiyle geliştirilen bu program, FORTRAN yazılım diliyle yazılmıştır.

Geliştirilen bu program, rüzgârgülü ile pist şablonunu geometrik olarak ilişkilendirmekte ve önerilen matematiksel formüller yardımıyla tek bir pist için uygun pist yönünün bulunmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada rüzgârgülü üzerinde yer alan rüzgâr yön çizgileri ile rüzgâr hız gruplarının oluşturdukları alanlar, nümerik olarak belirlenmiş ve belirlenen bu alanlar yardımıyla pist şablonu sınırları içerisinde tam ve kısmen kalan alanlara ilişkin ayarlama faktörleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ayarlama faktörleri ile bu faktörlere karşı gelen rüzgâr esme yüzdeleri ilişkilendirilerek uygun pist yönünün hesaplanması sağlanmıştır [27].

Mousa'nın 2001 yılında yaptığı ve yayınladığı çalışmada Mousa ve Mumayis tarafından tek pist için uygun pist yönünün bulunması amacıyla geliştirilen WINDROS isimli yazılım programına ilaveler yapılarak iki pist için uygun pist yerleşim yönünün hesaplanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu program, WINDROS2 olarak adlandırılmıştır [28].

Mousa'nın 2002 yılında yaptığı çalışmada WINDROS yazılımı, Visual Basic diliyle güncellenerek VB-WINDROS olarak adlandırılmıştır. VB-WINDROS programının daha kullanışlı olabilmesi için grafiksel bir arayüz kullanılarak daha görsel bir hale getirilmiştir [29].

Jia ve arkadaşlarının 2004 yılında yaptığı çalışmada uygun pist yönünün bulunmasında CBS tabanlı bir rüzgârgülü programı ortaya konulmuş ve Havaalanı Pist Oryantasyonu-ARO (Airport Runway Orientation) olarak adlandırılmıştır. Bu program, CBS tabanlı ArcView programı yardımıyla geliştirilmiştir. Programda pist şablonu, CBS tabanlı bir rüzgârgülünün merkezi etrafında belirlenen aralıklarla hareket ettirilmektedir. Şablonun her bir hareketinde, şablon sınırları içinde kısmen ve tamamen kalan alanlara ait rüzgâr esme yüzdeleri hesaplanmakta ve hesaplanan en büyük rüzgâr esme yüzdesine ait yön, uygun pist yönü olarak atanmaktadır [30].

Sarsam ve Ateia 2011 yılında yaptığı çalışmada pist yerinin, yerleşim yönünün ve uzunluğunun bulunmasını sağlayan bir bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu program için uygulama olarak Bağdat Havaalanı seçilmiştir. Bu programda aşağıda maddeler halinde verilen analizler gerçekleştirilmiştir;

- Arazinin rüzgâr verilerine göre pistin yerleşim yönünün bulunması,
- Arazinin enlem ve boylamı, rakımı ve arazinin 20 yıllık periyotta meydana gelen sıcaklık değişimlerine göre pist yerleşim yerinin bulunması
- Beklenen trafik hacmi ve uçak tipine ait verilerin analizi doğrultusunda pist boyutlarının bulunması [31].

4. HAVAALANINDA PİST YÖNÜ VE SAYISINI BELİRLEMeye YÖNELİK BİLGİSAYAR YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Uçakların havaalanlarını etkili, verimli ve güvenli bir şekilde kullanabilmeleri için havaalanlarının planlanması ve tasarımı sırasında pist yönünün doğru bir şekilde saptanması son derece önemlidir. Pist yönünün hesaplanması, havaalanında bulunan tesislerin yerlerinin belirlenmesinde planlamacılara yardımcı olmaktadır. Pist yönünün saptanabilmesi de bölgeye ait rüzgâr yön, şiddet ve esme sayılarının doğru bir şekilde analiz edilmesi ile mümkün olabilmektedir.

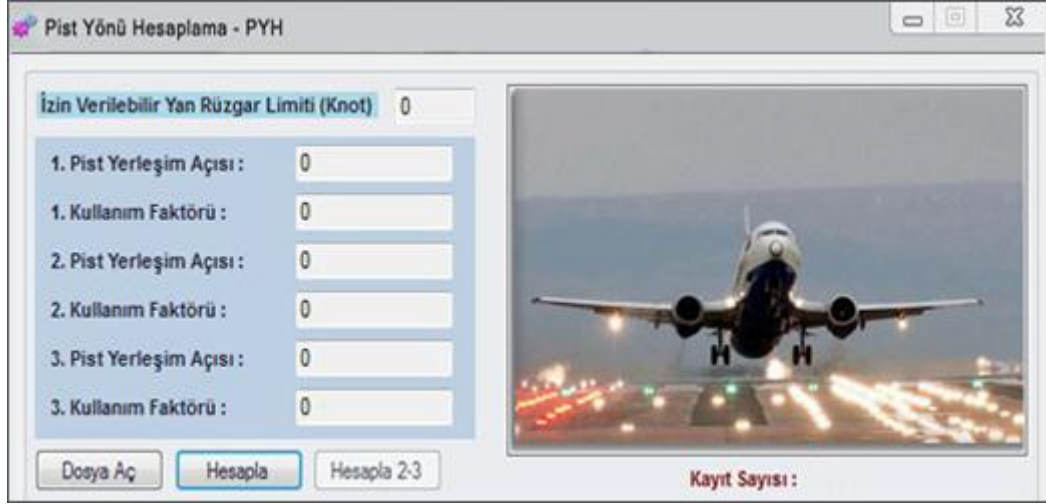
Bu çalışmada seçilen kritik uçak tipine göre belirlenen yan rüzgâr limitlerine bağlı olarak pist yönü ve/veya yönlerinin saptanabilmesi sağlayan bir bilgisayar programı geliştirilmesi amaçlanmıştır.

4.1. Programlama Aracı

Pist yönünün hesaplanması amacıyla geliştirilen program, “Pist Yönü Hesaplama-PYH” olarak adlandırılmış ve Windows uyumlu CSharp (C#) programlama diliyle yazılmıştır.

Uygun pist yönü veya yönlerinin saptanabilmesini sağlamak amacıyla geliştirilen “PYH” programının ana ekran görüntüsü Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu program, genel olarak aşağıda maddeler halinde verilen üç ana adımda işlem yapmaktadır.

- Araziye ait rüzgâr verilerinin programa dâhil edilmesi,
- Kritik uçak tipine göre izin verilebilir yan rüzgâr girişinin yapılması,
- Pist veya pistler için pist yerleşim açısının ve kullanım faktörünün hesaplanması.



Şekil 4.1. Pist Yönu Hesaplama programı ana ekran görüntüsü.

4.1.1. Rüzgâr verilerinin okunması

Pist yönünün bulunabilmesi amacıyla programda kullanılan rüzgâr verileri, öncelikle istasyon numarası, yıl, ay, gün, saat, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü bilgilerini içerecek şekilde Excel ortamında düzenlenmiştir (Şekil 4.2). Oluşturulan bu dosyanın program tarafından okunabilmesi için ana ekranında bulunan “Dosya Aç” butonunun kullanılması gerekmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G
1	İstasyon No	Yıl	Ay	Gün	Saat	Rüzgar Hızı	Rüzgar Yönü
2	17123	2007	1	4	6	6	240
3	17123	2007	1	4	7	8	250
4	17123	2007	1	4	8	6	240
5	17123	2007	1	4	9	7	250
6	17123	2007	1	4	10	7	250
7	17123	2007	1	4	11	8	340
8	17123	2007	1	4	12	7	350

Şekil 4.2. Excel ortamında derlenmiş rüzgâr verileri.

“Dosya Aç” butonu, veri dosyasının otomatik olarak bulunmasını sağlamaktadır. Veri dosyası programa eklendikten sonra dosya içerisindeki

toplam veri sayısı program tarafından belirlenerek ana ekrandaki “Kayıt Sayısı” bölümüne yazdırılmaktadır (Şekil 4.3).

İzin Verilebilir Yan Rüzgar Limiti (Knot) 0

1. Pist Yerleşim Açısı :	0
1. Kullanım Faktörü :	0
2. Pist Yerleşim Açısı :	0
2. Kullanım Faktörü :	0
3. Pist Yerleşim Açısı :	0
3. Kullanım Faktörü :	0

Dosya Aç Hesapla Hesapla 2-3

Kayıt Sayısı : 28507

Şekil 4.3. Rüzgâr verilerinin programa eklenmesi ve kayıt sayısının okunması.

4.1.2. İzin verilebilir yan rüzgâr limiti girişi

Havaalanlarında uygun pist yönünün saptanabilmesi için öncelikle pisti kullanması planlanan kritik uçağın belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen bu uçağa ait yan rüzgâr limitine bağlı olarak bölgeye ait uzun dönemli rüzgâr verileri incelenmektedir.

Pist yönü hesaplama-PYH ismiyle geliştirilen bilgisayar programının daha etkin kullanılabilmesi için programda kritik uçak seçimi yerine “İzin Verilebilir Yan Rüzgâr Limit (knot)” değerlerinin girişinin yapıldığı bir pencere bulunmaktadır. Bu pencereye sayısal bir değer girildikten sonra ekran menüsünde yer alan “Hesapla” butonuna basılarak kullanım faktörünün hesaplaması aşamasına geçilir (Şekil 4.4).

Şekil.4.4. İzin verilebilir yan rüzgâr limiti.

4.1.3. Pist yerleşim açısının ve kullanım faktörünün hesaplanması

Programa belirlenen yan rüzgâr değerinin girilmesi ve “Hesapla” butonuna basılmasının ardından “1. Pist Yerleşim Açısı” ve “1. Kullanım Faktörü” bölümlerine program tarafından hesaplanmış olan sayısal değerler yazılmaktadır (Şekil 4.5). Program tarafından hesaplanan *1. Kullanım Faktörü* değeri 0,95 ve üzerinde olduğu durumda program tekrar hesaplama yapmamakta ve “Hesapla 2-3” butonu aktif pozisyonda olmamaktadır (Şekil 4.5).

Şekil 4.5. Birinci pist için kullanım faktörünün 0,95 değerini sağlaması.

Eğer 1. Kullanım Faktörü olarak hesaplanmış olan değer 0,95’in altında ise “Hesapla 2-3” butonu aktif pozisyona gelmektedir. Bu durumda “Hesapla 2-3” butonu kullanım faktörü 0,95’in üstünde bir değer alana dek ikinci veya üçüncü pist için yerleşim açısı ve kullanım faktörü değerleri yeniden hesaplanmaktadır.

Şekil 4.6 (a) ve Şekil 4.6 (b)’de ikinci ve üçüncü pist için kullanım faktörlerinin hesaplanması örnek olarak gösterilmiştir.

İzin Verilebilir Yan Rüzgar Limiti (Knot) 13

1. Pist Yerleşim Açısı :	150 - 330
1. Kullanım Faktörü :	0,9425
2. Pist Yerleşim Açısı :	140 - 320
2. Kullanım Faktörü :	0,9658
3. Pist Yerleşim Açısı :	0
3. Kullanım Faktörü :	0

İzin Verilebilir Yan Rüzgar Limiti (Knot) 11

1. Pist Yerleşim Açısı :	150 - 330
1. Kullanım Faktörü :	0,8882
2. Pist Yerleşim Açısı :	140 - 320
2. Kullanım Faktörü :	0,9304
3. Pist Yerleşim Açısı :	100 - 280
3. Kullanım Faktörü :	0,9789

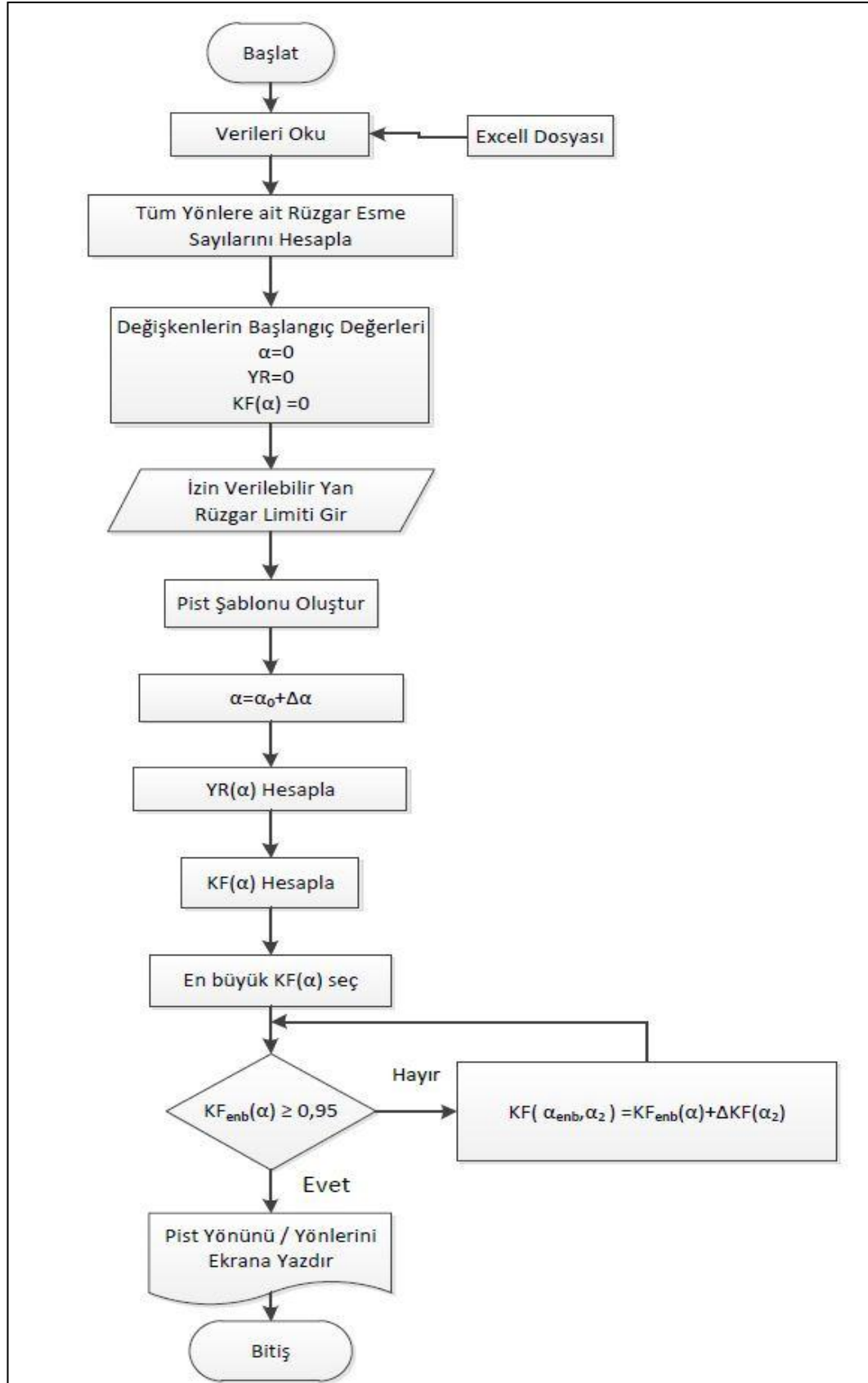
(a)
(b)

Şekil 4.6. İkinci ve üçüncü pistler için pist yerleşim açısının ve kullanım faktörünün hesaplanması.

4.2. Yazılımın Tanıtılması

“PYH” adıyla geliştirilen yazılım, istenilen yan rüzgâr limitine bağlı olarak geçmiş yıllara ait rüzgâr verilerini analiz ederek uygun pist yönü ve/veya yönlerinin bulunmasını sağlamaktadır. Bu yazılım genel olarak rüzgârgülü grafiği, yan rüzgâr şablonu, kullanım faktörünün hesaplanması ve pist yönü / yönlerinin belirlenmesi adımlarından oluşmaktadır. Bu yazılım, C# programlama diliyle yazılmış olup programa ait kodlar Ek 1’de verilmiştir.

Geliştirilen yazılım için işlem basamaklarını içeren akış şeması Şekil 4.7’de verilmiştir. Programın geliştirilmesinde uygulanan işlem basamaklarının her biri aşağıda ayrı başlıklar altında ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

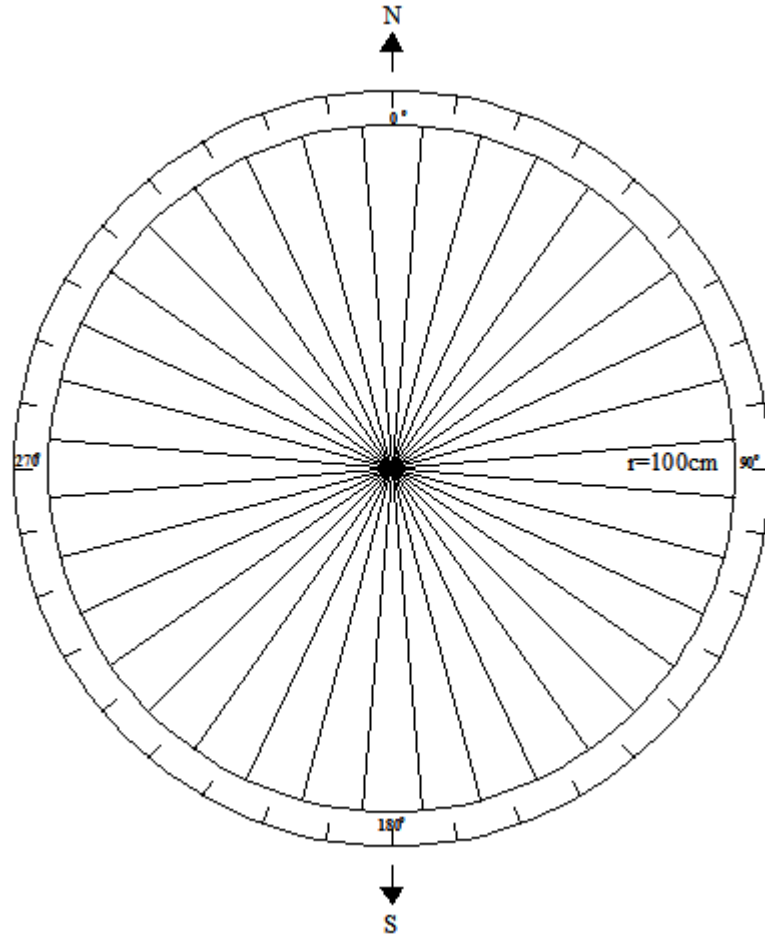


Şekil 4.7. Programın akış diyagramı.

4.2.1. Rüzgârgülü grafiği

Rüzgârgülü grafiği, polar koordinat sistemine göre 10° aralıklarla 36 yön üzerinden oluşturulmuştur (Şekil 4.8).

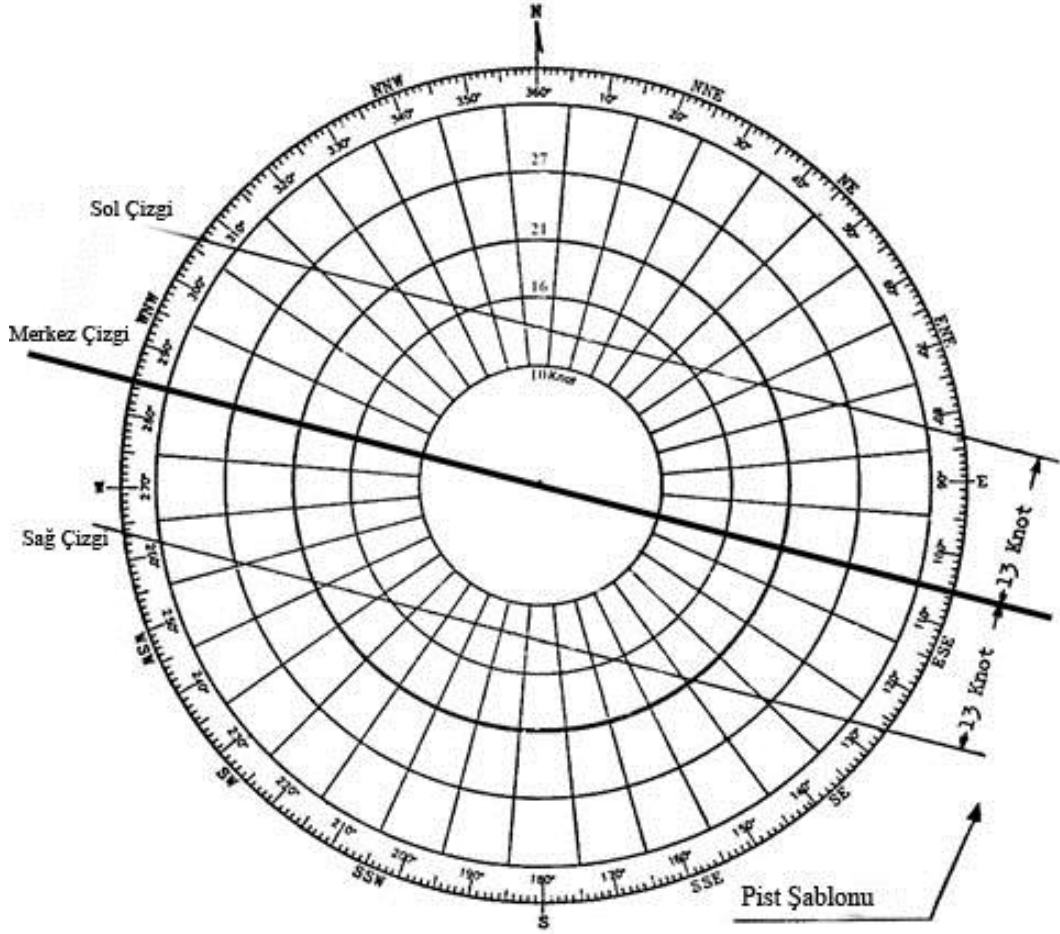
Grafiğin yarıçapı, uygulama olarak seçilen bölgenin en şiddetli rüzgârı referans alınarak belirlenmiştir. Dünya genelinde rüzgâr hızları incelendiğinde en şiddetli rüzgâr tanımlamasını yapmak oldukça güçtür. Bu nedenle bu programın daha güvenli bir şekilde çalışabilmesi için çalışma alanı olarak Türkiye seçilmiştir. Ülkemizde yapılan geçmişe yönelik gözlemlerden elde edilen sonuçlara göre Türkiye genelinde esen en şiddetli rüzgâr 87,86 knot'tır. Bu ölçüm değeri, bir üst değer olan 100 knot'a yuvarlanarak genelleştirilmiş ve Rüzgârgülünün yarıçapı 100 cm olarak alınmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Oluşturulan rüzgârgülü.

4.2.2. Pist şablonu

Yazılımda pist şablonu, programın ana ekranında yer alan “İzin Verilebilir Yan Rüzgâr Limiti” bölümüne girilen değer doğrultusunda oluşturulmaktadır (Şekil 4.9). Ekrandan girilen yan rüzgâr limiti, şablonun merkez çizgisinden itibaren sağ ve sola doğru şablonun sınırlarını belirlemektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. Rüzgâr şablonu [23].

Şekil 4.10. İzin verilebilir yan rüzgâr limiti.

4.2.3. Kullanım faktörünün hesaplanması

Oluşturulan pist şablonu merkez çizgisi, rüzgâr grafiği merkezi etrafında belirli açılarla döndürülmektedir. Şablonun her bir hareketi sonucunda kullanım faktörü olarak adlandırılan sayısal değerler bulunmaktadır. Bulunan bu değerler, pist yönü veya yönlerinin seçiminde kullanılmaktadır.

Yazılımda pist şablonu merkez çizgisi, rüzgârgülü grafiği üzerinde 0° başlangıç olmak üzere 10° aralıklarla 18 farklı konumda bulunmaktadır. Her bir konumda bir kullanım faktörü değeri hesaplanmaktadır. Kullanım faktörü (KF) hesaplanırken 4.1 eşitliğinden yararlanılmaktadır.

$$KF(\alpha) = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M TR_{ij} - \sum_{i=yr}^N \sum_{j=0}^{M-\theta} YR(\alpha)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M TR_{ij}} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

α : Pist şablonunun merkez çizgisi ile gerçek kuzey arasındaki açıdır ve $0^\circ, 10^\circ, \dots, 170^\circ$ gibi değerler alır (Şekil 4.11).

N : Rüzgâr hızı sayısı

i : Rüzgâr hızı (0,...,100)

M : Rüzgâr yönü sayısı

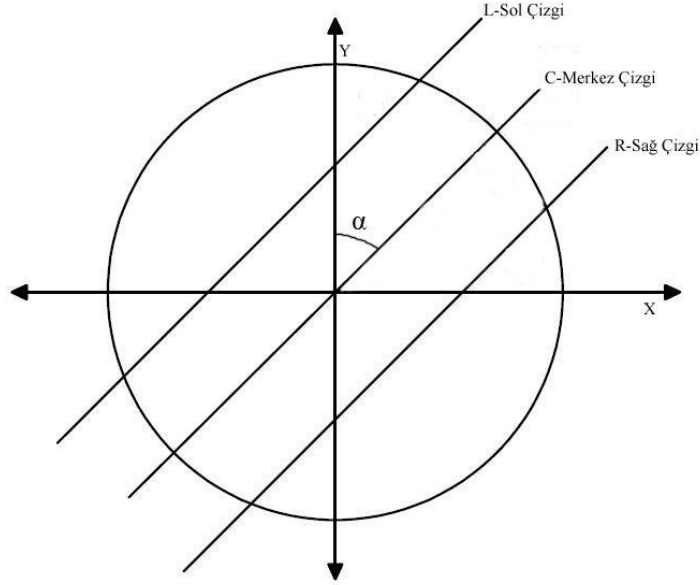
j : Rüzgâr yönü (0,10,...,360)

TR : Toplam rüzgâr sayısı

YR : Pist şablonu dışında yan rüzgâr limiti ile ilişkili rüzgâr sayısı

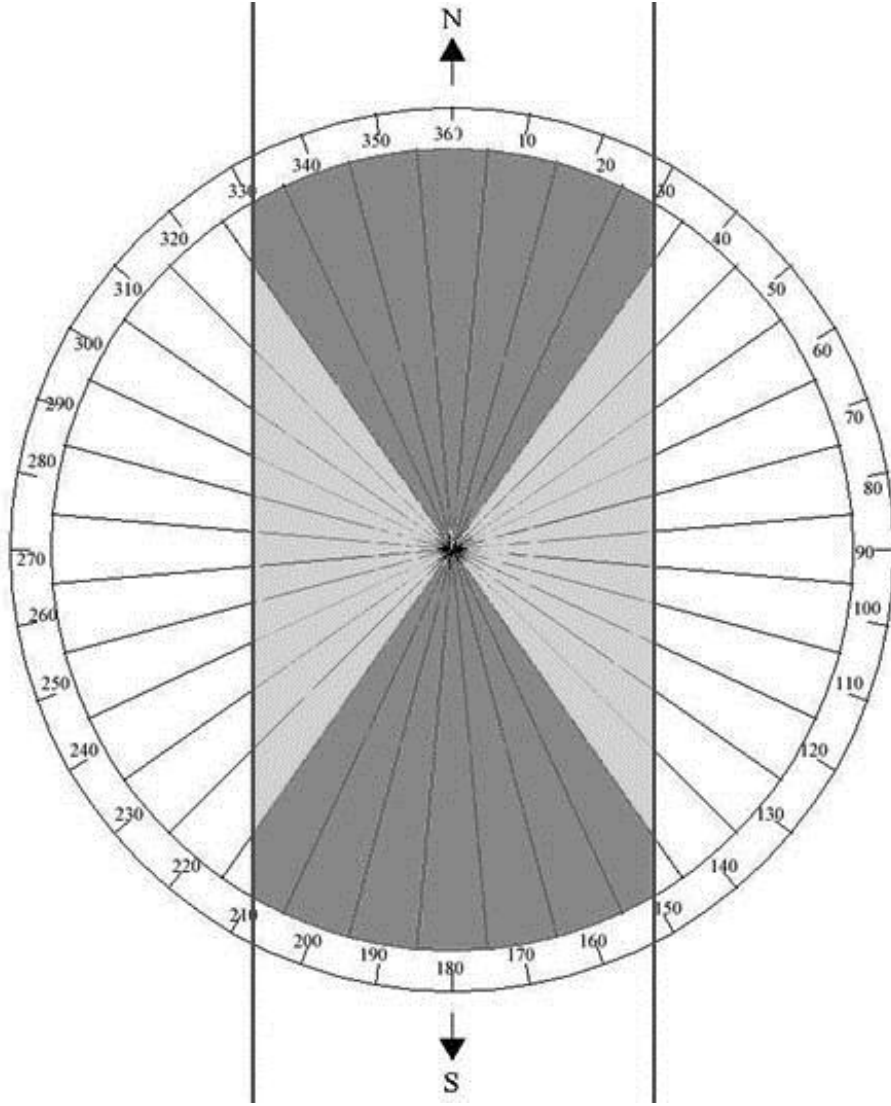
yr : Verilen yan rüzgâr limiti

θ : Yan rüzgâr şablonu içerisinde tamamen kalan rüzgâr yönlerinin açısısal değeri



Şekil 4.11. α açısı.

(4.1) eşitliğinde YR ile tanımlanan ve yan rüzgâr limiti ile ilişkili rüzgâr sayısı, şablonun merkez çizgisinin gerçek kuzey ile yapmış olduğu α açısına bağlı olarak değişmektedir. Şablon istenilen α açısı ile rüzgârgülü grafiği üzerine yerleştirildiğinde, grafikte bazı rüzgâr yönlerinin tamamen ya da tamamına yakın bölümünün diğer rüzgâr yönlerinin ise bir bölümünün şablonun sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir. Şekil 4.12’de görüldüğü üzere siyah ile gösterilen yönlerin tamamı gri ile gösterilen yönlerin ise bir kısmı şablonun sınırları içerisinde kalmaktadır.



Şekil.4.12. $\alpha = 0^\circ$ için pist şablonu.

Pist şablonu sınırları içinde tamamen kalan rüzgâr yönlerini bulabilmek için (4.2) ve (4.3) eşitliklerinden yararlanılarak bir Θ açısı elde edilmektedir (Şekil 4.13).

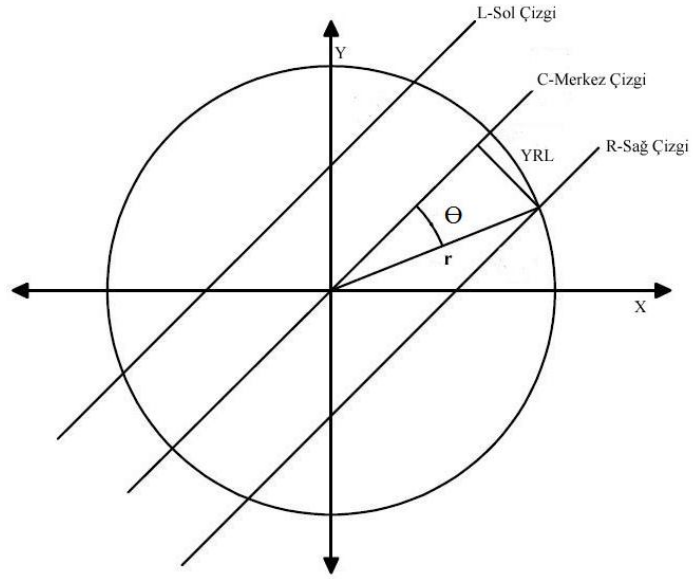
$$\sin \theta = \frac{YRL}{r} \quad (4.2)$$

$$\theta = \text{ArcSin} \frac{YRL}{r} \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliğinde;

r : Rüzgârgülünün yarıçapı

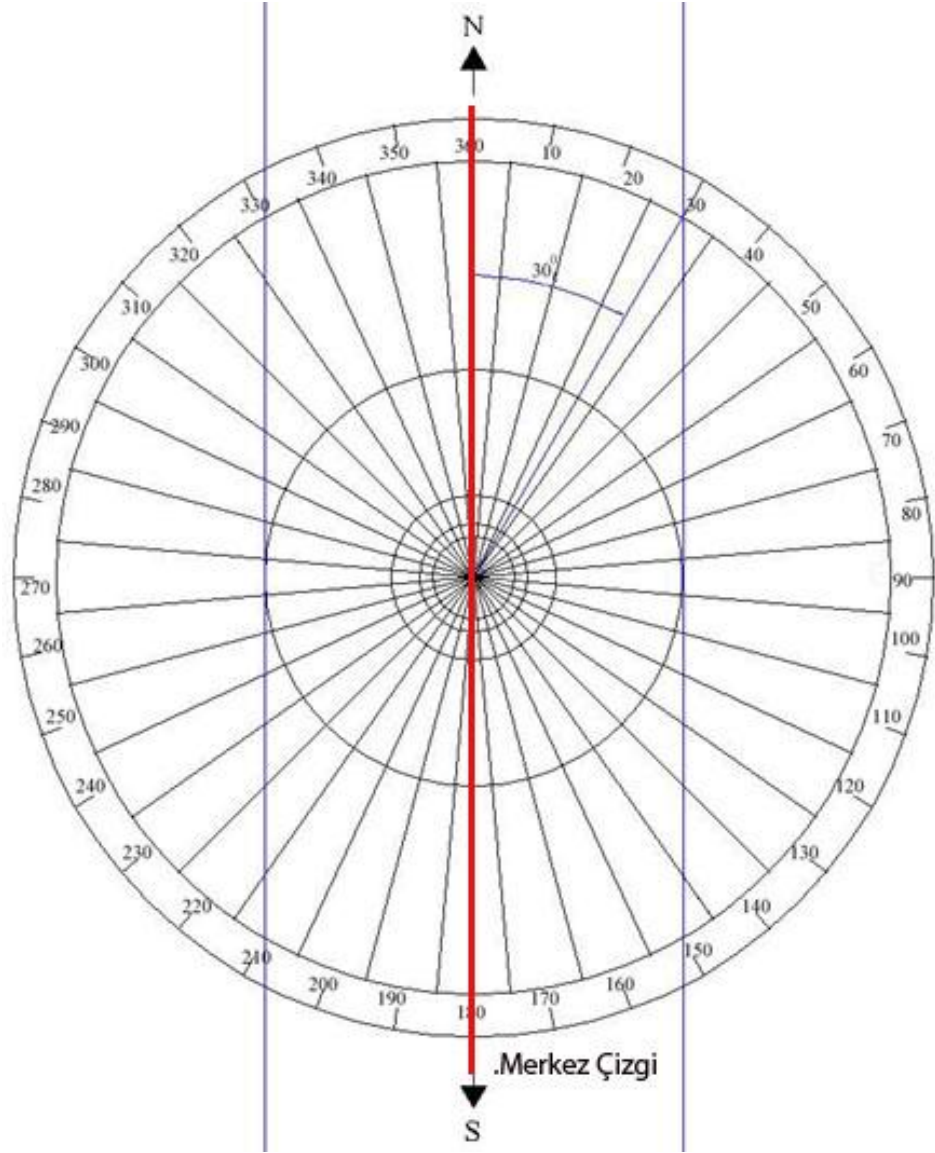
YRL : İzin verilebilir yan rüzgâr limiti



Şekil 4.13. Θ açısına göre pist şablonu sınırları içinde tamamen kalan rüzgâr yönlerinin bulunması.

Havacılık amaçlı hazırlanan meteorolojik raporlarda rüzgâr yön bilgisi 10° aralıklarla verilmektedir. Bu nedenle yazılımda *İzin Verilebilir Yan Rüzgâr Limiti* girdisi ile (4.3) eşitliğinden elde edilen Θ açısal değeri 10° nin katlarına yuvarlanarak pist şablonu sınırları içerisinde tamamen kalan rüzgâr yönleri bulunmaktadır.

Örneğin; $r = 100$ knot (cm) ve $YRL = 50$ Knot (cm) olarak alındığında (4.3) eşitliğinden Θ açısı 30° olarak hesaplanmaktadır. Şekil 6.13’de görüldüğü üzere şablon merkez çizgisi 0° (360°) ile 180° ’nin üzerinde olacak şekilde yerleştirildiğinde tamamen etki altında kalan rüzgâr yönleri, 330° ile 30° arası ve 150° ile 210° arası olacaktır. Kısmen etki altında kalan rüzgâr yönleri ise 40° ile 140° arası ve 220° ile 320° arasında kalan yönler olmaktadır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. $\theta = 30^\circ$ için pist şablonu.

4.2.4. Pist yönü veya yönlerinin seçimi

Geliştirilen yazılım ile istenilen yan rüzgâr limiti değerine bağlı olarak her α açısı için bir kullanım faktörü değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan kullanım faktörü değerlerinden en büyüğü seçilmekte ve bu değere karşılık gelen α açısı “1. Pist yerleşim açısı” olarak belirlenmektedir.

Seçilen en büyük kullanım faktörü değeri 0,95’ten büyük ise kullanım faktörü hesaplaması sonlanır. Eğer seçilen kullanım faktörü değeri 0,95’ten küçük

ise bu durumda 0,95 değeri sağlanana kadar ikinci veya üçüncü pist için kullanım faktörü hesaplamaları tekrarlanır.

İkinci pist için kullanım faktörü hesaplamaları yapılırken birinci pist ataması yapıldıktan sonra ikinci en büyük kullanım faktörüne sahip olan açı, ikinci pist yerleşim açısı olarak atanır ve yeni bir kullanım faktörü değeri hesaplanır. Hesaplama yapılırken birinci pist için hesaplanan kullanım faktörüne ikinci pistin kullanım faktöründen elde edilen katkı değeri eklenir.

Örnek olarak Şekil 4.15’de görüldüğü üzere birinci pist şablonu merkez çizgisinin 0^0 - 180^0 hattına yerleşirken ikinci pist şablonu merkez çizgisi 90^0 - 270^0 hattına yerleşmektedir. Bu aşamada (4,4) eşitliği kullanılarak birinci pist şablonu sınırları içinde kalan gri bölgedeki rüzgâr esme sayısına, ikinci pist şablonunda siyah alan içerisinde kalan rüzgâr esme sayıları eklenerek ikinci bir kullanım faktörü hesaplaması yapılmaktadır.

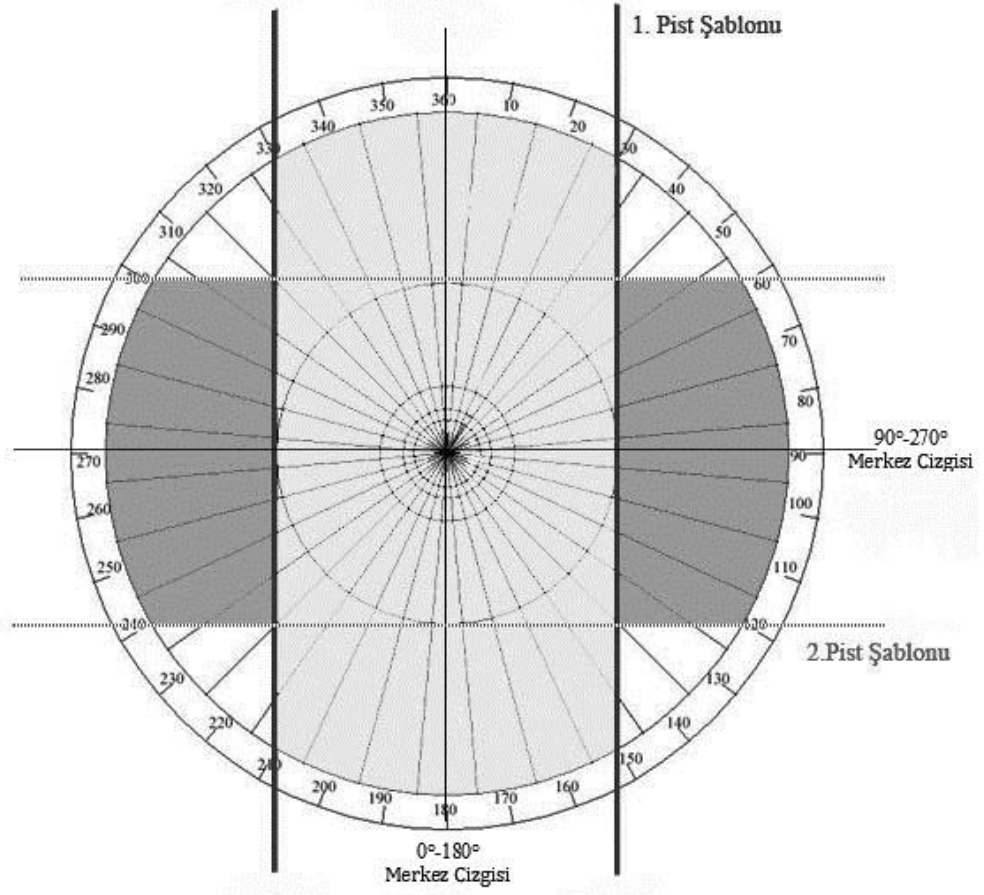
$$KF(\alpha_1) = \frac{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M TR_{ij} - \left(\sum_{i=y_r}^N \sum_{j=\theta}^{M-\theta} YR(\alpha_1) - \sum_{i=y_r}^N \sum_{j=\alpha_2-\theta}^{\alpha_2+\theta} YR(\alpha_1) \right)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M TR_{ij}} \quad (4.4)$$

Bu eşitlikte;

α_1 : Birinci pist şablonu merkez çizgisi ile gerçek kuzey arasındaki açı

α_2 : İkinci pist şablonu merkez çizgisi ile gerçek kuzey arasındaki açı

(4.4) eşitliğinden elde edilen kullanım faktörü değeri 0,95 sayısal değerini sağlamadığı durumlarda üçüncü pist için kullanım faktörü işlemi tekrarlanır.



Şekil 4.15. İkinci pist için pist şablonunun yerleşimi.

5. ANADOLU ÜNİVERSİTESİ HAVAALANI PİST YÖNÜ HESAPLAMASI

5.1. Uygulama Alanının Tanıtılması

Bu çalışmada geliştirilen pist yönü hesaplama programı için uygulama alanı olarak Eskişehir Anadolu Üniversitesi Havaalanı seçilmiştir. Anadolu Üniversitesi Havaalanı Eskişehir iline 5 km uzaklıkta olup, şehir merkezinin kuzeyinde yer almaktadır. Havaalanı 394845N - 0303114 E koordinatlarındadır ve ortalama deniz seviyesinden yüksekliği 2599 feet'tir. Havaalanı 09-27 yönünde, 3000 metre boyunda 45 metre eninde tek bir piste sahiptir (Şekli 5.1) [32].



Şekil 5.1. Anadolu Üniversitesi Havaalanı.

Anadolu Üniversitesi Havaalanı terminal binası içinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı olarak görev yapan bir meteoroloji bürosu bulunmaktadır. Bu büro 1990 yılında klimatolojik amaçlı hizmet verebilmek amacıyla kurulmuştur. [33]. Bu çalışmada kullanılan rüzgâr verileri, Eskişehir Anadolu Meydan Meteoroloji Bürosu tarafından yapılan gözlemlerden elde edilmiştir.

5.2. Uygulama Alanına Ait Rüzgâr Verilerinin İncelenmesi

Bu çalışma kapsamında 2003-2011 yılları arasına ait toplam 50204 adet gözleme ait rüzgâr verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Elde edilen bu veriler, saatlik ortalama yön ve şiddet (hız) bilgisini içermektedir (Şekil 5.2).

	A	B	C	D	E	F	G
1	İstasyon No	Yıl	Ay	Gün	Saat	Rüzgar Hızı	Rüzgar Yönü
2	17123	2007	1	4	6	6	240
3	17123	2007	1	4	7	8	250
4	17123	2007	1	4	8	6	240
5	17123	2007	1	4	9	7	250
6	17123	2007	1	4	10	7	250
7	17123	2007	1	4	11	8	340
8	17123	2007	1	4	12	7	350
9	17123	2007	1	4	13	4	20
10	17123	2007	1	4	14	3	330

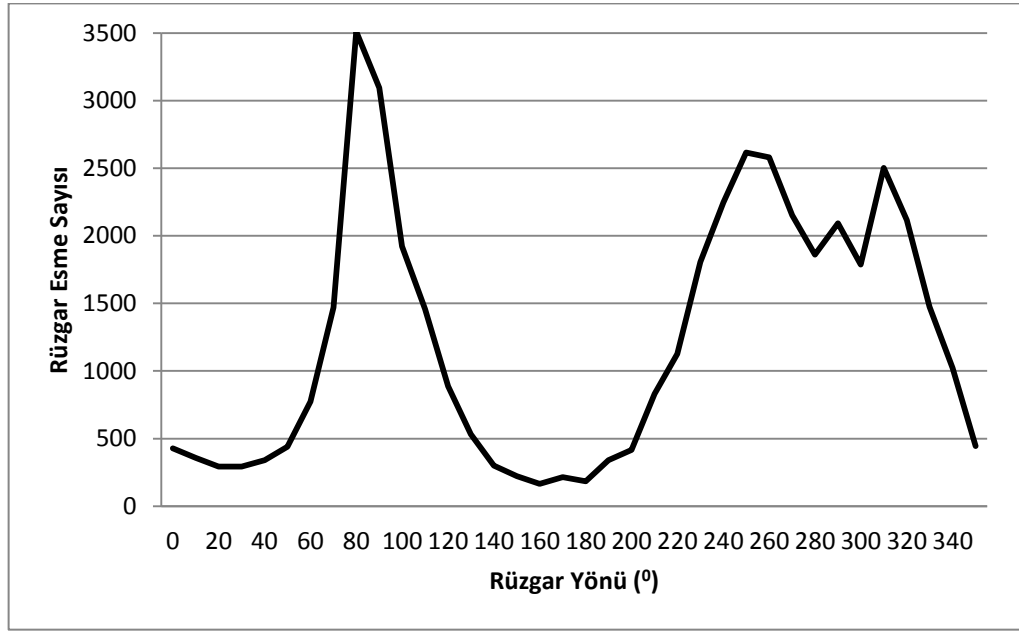
Şekil 5.2. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen rüzgâr verileri.

Toplam 50204 gözleme ait rüzgâr verisi, 36 yön ve 4 rüzgâr hız grubuna göre sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmalara ait rüzgâr esme sayıları elde edilmiştir (Çizelge 5.1). Çizelge 5.1'de verilmiş olan rüzgâr hız grupları FAA'nin maksimum izin verilebilir yan rüzgâr limitlerine göre oluşturulmuştur. Çizelgedeki rüzgâr hız grupları incelendiğinde 5905 adet rüzgârın *sakin rüzgâr* (0°'den 0 knot) olarak gruplandırıldığı, 0-10 knot arasında 41582, 11-13 knot arasında 5237, 14-20 knot arasında 3236 ve 21 knot'tan fazla rüzgâr hızında ise 149 tane rüzgârın estiği saptanmıştır.

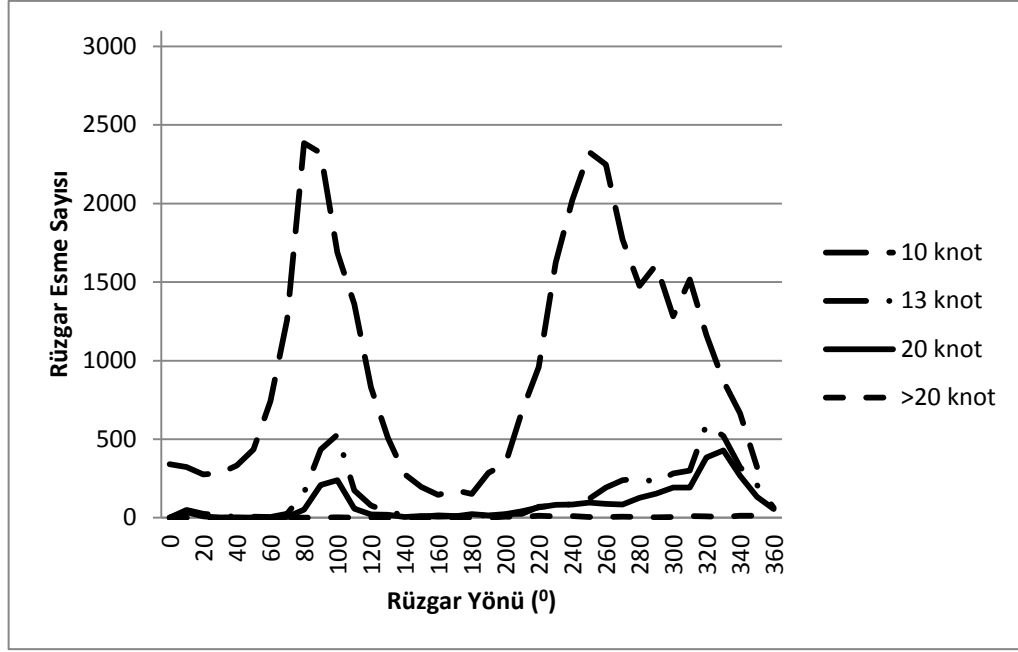
Çizelge 5.1. 2003-2011 yılları arasında Eskişehir Anadolu Üniversitesi Havaalanı'na ait gözlemlenmiş rüzgâr yön ve şiddetine bağlı rüzgâr esme sayıları.

Yön Aralığı(°)	Değerler	0-10 knot	11-13 knot	14-20 knot	21- knot
10	427	342	49	36	0
20	358	323	26	9	0
30	293	276	15	2	0
40	293	284	6	3	0
50	340	333	7	0	0
60	441	435	6	0	0
70	773	742	25	6	0
80	1470	1260	159	51	0
90	3510	2866	435	209	0
100	3093	2321	528	240	4
110	1922	1687	174	59	2
120	1459	1359	79	21	0
130	888	831	38	19	0
140	532	508	18	6	0
150	299	279	8	11	1
160	222	197	15	8	2
170	166	145	11	10	0
180	215	176	13	24	2
190	184	152	15	16	1
200	341	287	24	23	7
210	416	344	25	42	5
220	831	679	71	67	14
230	1127	958	77	83	9
240	1806	1623	87	84	12
250	2247	2022	122	97	6
260	2615	2327	193	89	6
270	2580	2247	240	85	8
280	2152	1770	249	128	5
290	1860	1475	228	154	3
300	2092	1610	283	193	6
310	1788	1283	300	193	12
320	2503	1517	593	383	10
330	2115	1161	521	428	5
340	1474	871	323	267	13
350	1022	665	209	134	14
360	445	323	64	56	2
S.Rüzgâr (0°)	5905	-	-	-	-
TOPLAM	50204	41582	5237	3236	149

Anadolu Üniversitesi Havaalanı'na ait 2003-2011 yılları arasındaki rüzgâr verileri yön ve esme sayıları bakımından incelendiğinde Şekil 5.3'deki grafikte de görüldüğü üzere en fazla rüzgâr esme sayısına sahip yönlerin doğu - batı yönleri olduğu saptanmıştır. Temin edilen veriler rüzgâr yön, hız grubu ve esme sayısı bakımından incelendiğinde ise 13 knot'ın üzerinde esen en fazla rüzgâr sayısının kuzey ve batı yönleri arasında kalan yönlerde estiği görülmektedir (Şekil 5.4).

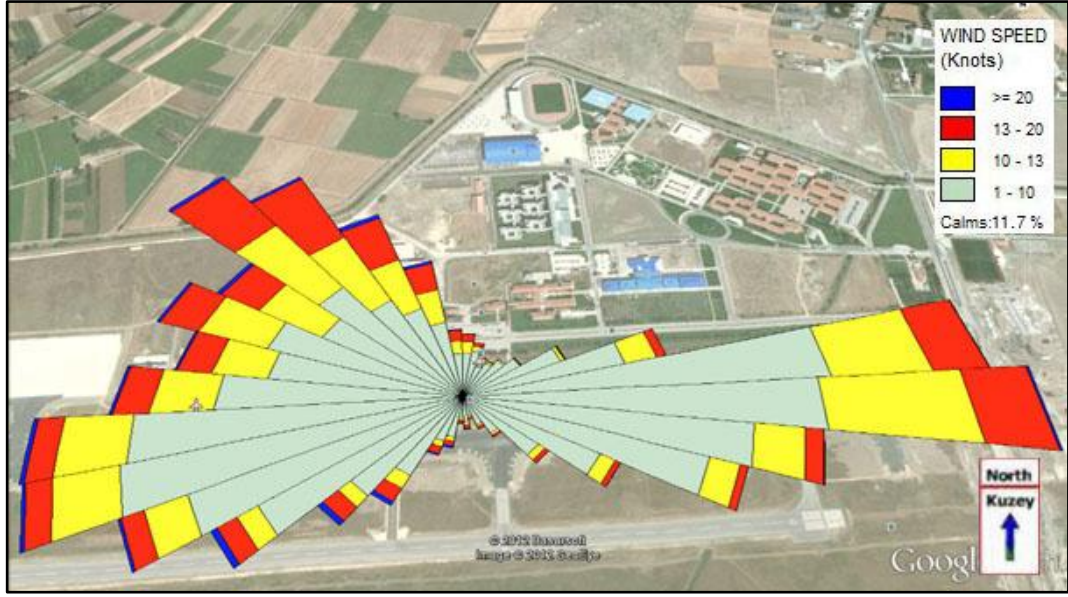


Şekil 5.3. 2003-2011 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Havaalanı'nda rüzgâr yönlerine göre esen rüzgâr sayıları.



Şekil 5.4. 2003-2011 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Havaalanı'nda rüzgâr yönlerine ve hız gruplarına göre esen rüzgâr sayısı.

2003-2011 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Havaalanı'na ait rüzgâr yön ve hız bilgileri, WRPLOT View 7.0 programı yardımıyla incelenerek yönler göre rüzgâr esme sayıları rüzgâr gülü üzerinde gösterilmiştir. Veriler analiz edildikten sonra oluşturulan rüzgârgülü Google Earth programı yardımıyla bölgenin uydu görüntüleri üzerine yerleştirilebilmektedir (Şekil 5.5).WRPLOT View 7.0 programı, internet üzerinden [34] kolaylıkla ulaşılabilen bir rüzgâr analiz programıdır.



Şekil 5.5. WRPLOT View 7.0 programı yardımıyla rüzgâr verilerinin incelenmesi.

5.3. PYH Programının Anadolu Üniversitesi Havaalanı'na Uygulanması

5.3.1. Kritik uçağa göre pist yerleşim yönü hesaplaması

Anadolu Üniversitesi Havaalanı, Anadolu Üniversitesi'ne bağlı Havacılık ve Uzay Fakültesi bünyesinde hizmet vermektedir. Havaalanı kurulduğu ilk yıllarda eğitim amacı ile kullanılırken 2007 yılında ulusal ve uluslararası hava trafiğine açılmıştır. Halen eğitim ve ticari amaçlı uçaklara hizmet vermektedir.

Çalışması ve program özellikleri bir önceki bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılmış olan *PYH* programı yardımıyla Anadolu Üniversitesi Havaalanı'na ait rüzgâr verilerini analiz edebilmek için pisti kullanan uçakların yan rüzgâr limitleri incelenerek kritik uçak seçiminin yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda havaalanını kullanacak kritik uçağın bulunabilmesi için pisti kullanan uçakların yan rüzgâr limitleri incelenmiştir. Anadolu Havaalanı'nı eğitim ve ticari yolcu taşımacılığı amacı ile kullanan uçaklar ve yan rüzgâr limitleri, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Anadolu Havaalanı'nı eğitim amacı ile kullanan uçakların yan rüzgâr limitleri.

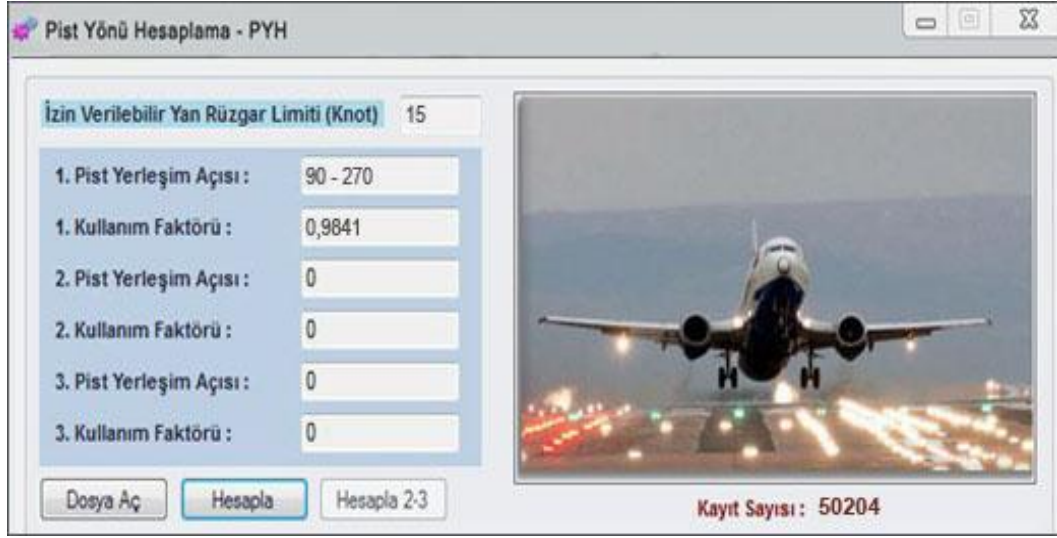
Uçaklar	Yan Rüzgâr Limit Değeri (knot)
TB20	25
C172S	15
BE9L (C90)	25

Çizelge 5.3. Anadolu Havaalanı'nı ticari amaçlı kullanan uçakların yan rüzgâr limitleri.

Uçaklar	Yan Rüzgâr Limit Değeri (knot)
A320	33
C182	15
B738	35
A319	29
C680	25

Çizelge 5.2 ve 5.3 incelendiğinde en az yan rüzgâr limitine sahip olan uçakların Cessna C172S ve C182 olduğu görülmektedir. Bu uçaklar içerisinde eğitim amacı ile pisti en çok kullanan uçak olan C172S Anadolu Havaalanı için kritik uçak olarak atanmıştır.

Anadolu Havaalanı'na ait pist yönünün saptanması aşamasında, geliştirilen PYH programı kullanılmaktadır. Programın ana ekran görüntüsü üzerinde yer alan *İzin Verilebilir Yan Rüzgâr Limiti* penceresine seçilen kritik uçağın yan rüzgâr limiti olan 15 knot değeri girilerek pist yönü için gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.6). Yapılan hesaplamalar sonucunda birinci pist için kullanım faktörü değerinin 0,98 olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu kullanım faktörü değeri 0,95'lik limit değerini sağlamaktadır. Bu nedenle program, hesaplanan kullanım faktörüne karşı gelen 90° -270°'lik yönü birinci pist için yerleşim yönü olarak atanmaktadır.



Şekil 5.6. Anadolu Havaalanı için seçilen kritik uçağa ait yan rüzgâr değerine göre yapılan pist yönü hesaplaması.

Rüzgâr analizinde kullanılan rüzgâr yönleri, daha önce de belirtildiği üzere gerçek kuzeye göre elde edilmektedir. Bu nedenle rüzgâr analizi sonucunda elde edilen ve PYH programı ile hesaplanan pist yerleşim yönü de gerçek kuzeye göre belirlenmiştir. Pistin yerleşim yönünün numaralandırılabilmesi için bulunan yönün manyetik sapma göz önünde bulundurularak düzeltilmesi gerekmektedir. Sapma değeri, pistin dünya üzerinde bulunduğu konuma ve tarihe göre değişim göstermektedir. Dolayısıyla hesaplamalar sonucunda elde edilen pist yönü değerinin ilgili havaalanına ait sapma miktarı göz önünde bulundurularak düzeltilmesi söz konusu olmaktadır.

Anadolu Havaalanı'na ait güncel sapma miktarı, Havacılık Enformasyon Yayını-AIP (Aeronautical Information Publication)'dan alınan verilere göre $4^{\circ} 4'$ doğu yönlüdür [32]. Doğulu sapmalarda, sapma değeri bulunan yerleşim açısından çıkarılmaktadır. Bu durumda Anadolu Havaalanı'na ait sapma miktarı hesaplanan yerleşim yönünden çıkarılmış ve pist yönü manyetik kuzeye göre $85^{\circ} 6' - 265^{\circ} 6'$ olarak bulunmuştur. Pist numaraları havacılık kurallarına göre 10° aralıklarla verildiğinden Anadolu Havaalanı'na ait pist yönü, 09-27 olarak belirlenmiştir ve bu değerin halen hizmet vermekte olan pist numaraları ile aynı olduğu görülmektedir.

5.3.2. İkinci ve üçüncü pistler için yerleşim yönü hesaplaması

Geliştirilen programın ikinci ve üçüncü pistler için çalışabilirliğini göstermek amacıyla Anadolu Havaalanı'na ait rüzgâr verileri bir miktar değiştirilerek 15 knot'lık bir yan rüzgâr limiti ile tekrar bir hesaplama yapılmıştır (Şekil 5.7).



İzin Verilebilir Yan Rüzgar Limiti (Knot) 15	
1. Pist Yerleşim Açısı :	90 - 270
1. Kullanım Faktörü :	0.8972
2. Pist Yerleşim Açısı :	100 - 280
2. Kullanım Faktörü :	0.9080
3. Pist Yerleşim Açısı :	150 - 330
3. Kullanım Faktörü :	0.9517

Dosya Aç Hesapla Hesapla 2-3

Kayıt Sayısı : 52527

Şekil 5.7. Anadolu Havaalanı için seçilen kritik uçağa ait yan rüzgâr değerine göre yapılan pist yönü hesaplaması.

15 knot değerinde bir yan rüzgâr limiti ile PYH programında yapılan hesaplamaların sonuçları Şekil 5.7'de görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerek teknolojinin hızlı bir şekilde gelişim göstermesi gerekse hava taşımacılığının hızlı, güvenilir ve ekonomik oluşu, hava taşımacılığına olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Bu hızlı talep artışı birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bunların başında mevcut havaalanlarının pek çoğunun artan talebi karşılayamaz hale gelmesidir. Bu sorunun çözülebilmesi için ya mevcut havaalanlarının genişletilmesi ya da yeni havaalanlarının yapılması gerekmektedir. Mevcut havaalanlarının genişletilmesi ya da yeni havaalanlarının yapılabilmesi için detaylı bir planlamanın yapılması zorunlu hale gelmektedir. Dolayısıyla planlama sürecinde havaalanlarına ait mevcut durumun geleceğe yönelik öngörüler ile çok yönlü bir şekilde değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Bu bağlamda havaalanları için oluşturulan master planlar var olan havaalanları için mevcut durum analizi ve kısa-uzun vadede gelişim öngörülerini gibi bilgileri içerirken, yeni yapılması planlanan havaalanları için de bir yerleşim planının oluşturulmasını sağlamaktadır.

Havaalanları yerleşim planları oluşturulurken düşünülmesi gereken en önemli konulardan biri uygun pist yerleşim açısının doğru bir şekilde saptanabilmesidir. Bunun için bölgenin rüzgâr koşullarının seçilen kritik uçağın karakteristiklerine, özellikle de yan rüzgâr limitlerine bağlı olarak doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, uygun pist yönünün saptanmasında iki farklı yaklaşımın ele alındığı görülmektedir. Bu yaklaşımların ilkinde, genel olarak uzaysal ve zamansal veri analizi imkânı sağlayan Coğrafi Bilgi Sistemi-CBS (Geographic Information System-GIS) yazılımına eklenen modüller yardımıyla uygun pist yönü saptanmaktadır. İkinci yaklaşımda ise Fortran 77, Visual Basic vb. gibi programlama dilleri kullanılarak geliştirilen yazılımlar yardımıyla uygun pist yönüne ilişkin hesaplamalar yapılmaktadır. Her iki yaklaşımda da araştırmacılar, rüzgârgülü grafiğini kullanarak bir ya da iki pist için uygun pist yerleşim açısı bulmaktadırlar. Bu araştırmalarda rüzgârgülü, rüzgâr yön, hız grubu ve bunlara bağlı rüzgâr esme oranlarından oluşturulmaktadır. Oluşturulan rüzgârgülü üzerinde pist şablonunun her bir hareketi sırasında şablon

sınırları içerisinde tamamen ve kısmen kalan alanlara ait rüzgâr esme yüzdeleri, kullanım faktörü değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Tamamı pist şablonu içerisinde kalmayan alanlardaki rüzgâr şiddet ve sayılarının homojen dağıldığı varsayılarak pist şablonu içerisinde kalan alanın yüzdelik oranı rüzgâr esme yüzdesi ile çarpılarak kullanım faktörü değerine ilave edilmektedir. Ancak belirlenen alan içerisindeki rüzgâr şiddetleri ve sayıları homojen dağılmadığı için elde edilen sonuçlar her zaman belirli bir hata içermektedir.

Bu çalışmada rüzgâr verileri, her 10° lik rüzgâr yönü için rüzgâr şiddetlerine ve gerçekleşme sayılarına göre Excel tablosu şeklinde hazırlanmış, diğer çalışmalardaki gibi rüzgâr esme yüzdeleri kullanılmamıştır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak şablon sınırları içerisinde tamamen kalan rüzgâr yönlerine ait rüzgâr esme sayıları ve kısmen kalan yönlerle ait yan rüzgâr limit değerleri ile ilişkili rüzgâr esme sayıları bulunarak kullanım faktörü değeri hesaplanmıştır. Bir başka deyişle kısmen pist şablonu içerisinde kalan alanlarda rüzgâr dağılımı homojen kabul edilmeyip, tanımlı yan rüzgâr limiti altında kalan rüzgâr sayıları kullanım faktörüne dâhil edilmiştir. Bu yöntem ile en doğru pist yerleşim yönünün hesaplanabildiği düşünülmektedir. Ayrıca diğer çalışmalardan farklı olarak PYH yazılımı üç piste kadar uygun pist yönü belirlemesi de yapabilmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen rüzgâr verileri 10° aralıklarla elde edilen rüzgar yön ve hız bilgilerinden oluşmaktadır. Havacılık amaçlı rüzgâr yön bilgilerinin 10° aralıklarla ölçülmesinden dolayı rüzgârgülü grafiğindeki rüzgâr yönleri ve pist şablonunun hareket aralığı 10° olarak seçilmiş ve buna bağlı olarak pist yerleşim açısının bulunması sağlanmıştır. Rüzgâr analizi sonucunda hesaplanan pist yerleşim açısının daha doğru elde edilebilmesi için rüzgâr yön ölçümlerinin ve analizinin teorik olarak 1° aralıklar göz önünde bulundurularak yapılması gerekmektedir. Ancak ne dünyada ne de ülkemizde böyle bir uygulama söz konusu değildir. Bununla birlikte PYH yazılımı, rüzgar verileri 1° aralıklarla temin edilebildiği takdirde küçük bir değişiklik ile kullanılabilir hale getirilip en optimum rüzgar yönünü vermesi sağlanabilir.

Havaalanı planlamacıları ve tasarımcıları açısından pist yerleşim yönünün tespit edilmesinden sonraki aşama, havaalanı alt elemanlarının yerleşim yerlerinin

saptanmasıdır. Bu kapsamda bu çalışmanın devamında havaalanı planlama, yer seçimi ve tasarım aşamalarının gelecekte kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi için fonksiyonel bir bilgisayar programı geliştirilebilir. Geliştirilen programa yapılabilecek çeşitli eklemeler aşağıda sıralanmıştır.

- Arazinin enlem ve boylamı, rakımı, arazinin 20 yıllık periyotta meydana gelen sıcaklık değişimleri, beklenen trafik hacmi, uçak tipine ait veriler ve pisti kullanacak uçakların karakteristikleri göz önüne alınarak pist boyutlandırması,
- Havaalanını kullanması düşünülen yolcu sayısı yardımı ile yaklaşık terminal büyüklüğünün hesabı,
- Pisti kullanacak uçak tipleri ve sayıları dikkate alınarak yaklaşık apron büyüklüğünün hesabı,
- Elde edilen tesis büyüklüklerine göre havaalanı için gerekli toplam arazinin yaklaşık büyüklüğünün ve havaalanı sınıfının belirlenmesi.

KAYNAKLAR

- [1] Oktal, H. ve Ateş, S.S., “Havaalanları Master Planlama ve Yaklaşımları ve Türkiye için Bir Örnek”, *III. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, ISBN: 978-975-06-0766-0, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 16-18 Eylül, 2010.
- [2] Ateş, S.S., *Havaalanları Master Planlaması Yaklaşımları ve Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 2008.
- [3] Wells, A.T., Young, S.B., *Airport Planning & Management*, McGraw-Hill, New York-ABD, 5th Edition, 2004.
- [4] Ashford, N. and Wright, P.H., *Airport Engineering*, Wiley-Interscience Publications, New York-ABD, 3th Edition, 1992.
- [5] Wikipedia Free Encyclopedia, John F. Kennedy International Airport. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:JFK610AD.png>, (03.04.2012).
- [6] ICAO, “Annex14- Aerodromes”, **1**, 5th Edition, July 2009. <http://www.icao.int/publications/Pages/default.aspx>, (22/01/2012).
- [7] ICAO, “Aerodrome Design Manual-Part1, Runways (DOC9157)”, 2006. <http://www.icao.int/publications/Pages/default.aspx>, (22/01/2012).
- [8] FAA, “Runway Length Requirements for Airport Design (AC150/5325-4B)”, 2008. http://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.current/documentNumber/, (16/12/2012).
- [9] Ashford, N., Mumayiz, S.A., Wright, P.H., *Airport Engineering-Planning, Design, and Development of 21st-Century*, Wiley-Interscience Publications, New York-ABD, 4th Edition, 2011.
- [10] Aquapour Global News Online, North Pole Shift Closes Tampa Runway <http://aquapour.com/north-pole-shift-closes-tampa-runway/554847>, (07.01.2011).
- [11] Dempsey, P.S., *Airport Planning & Development Handbook*, Wiley-Interscience Publications, New York-ABD, 2000.
- [12] Bangalore Aviation, Airport Runways.

- <http://www.bangaloreaviation.com/2010/07/airport-runways-all-you-wanted-to-know.html>, (22.06.2012).
- [13] ICAO, “Aerodrome Design Manual Part 2-Taxiways, Aprons (Doc 9157)”, 2006.
<http://www.icao.int/publications/Pages/default.aspx>,(22/01/2012).
- [14] Kazda, T. and Caves, R.E., Airport Design and Operation,Pergamon, Amsterdam, 2000.
- [15] Yapi.com.tr, Antalya Havaalanı’na dev Yatırım,(15/01/2012).
http://www.yapi.com.tr/Haberler/antalya-havalimanina-dev-yatirim_76179.html
- [16] ICAO, “Aerodrome Design Manual Part 1-Runways (Doc 9157)”, 2006.
<http://www.icao.int/publications/Pages/default.aspx>,(22/01/2012).
- [17] Langley Flying School, Student Reading Reference.
<http://www.langleyflyingschool.com/Pages/Canadian%20Aviation%20Regulations.html#airports>, (27.05.2012).
- [18] ICAO, “Airport Planning Manual Part1-Master Planning(Doc9184)”,2th Edition,2000.
<http://www.icao.int/publications/Pages/default.aspx>,(22/01/2012).
- [19] Korul V.,”Havaalanı Çevre Yönetimi”,Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi, 2003-2004
- [20] Horonjeff, R. ve Mc Kelvey, F., *Planning and Design of Airports*, McGraw-Hill,Boston-ABD,1994.
- [21] AVWeb World’s Premier Independent Aviation News Resorch, And They Called the Wind ... Wind (07.06.2012).
<http://www.avweb.com/news/airman/184319-1.html>
- [22] Global Security .org, Aircraft Characteristic and Airfield Design, (03.06.2012)
<http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/5-430-00-2/Ch11.htm>
- [23] FAA, “Airport Design (AC-150/5300-13)”,1989
http://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.current/documentNumber/,(16/12/2012).

- [24] IOVA State University, Institute for Transportation, Lecture 14: Airport Planning and Layout, (04.03.2012)
<http://www.ctre.iastate.edu/educweb/ce352/lec14/lecture.htm>
- [25] JAA, Navigation 1-060 061 *General Navigation*, Frankfurt, Germany, 2001
- [26] Oktal, H., “Havaalanı Yer seçiminde CBS Kullanımı”, Erciyes Üniversitesi III. Ulusal Havacılık Sempozyumu , 232-237, Kayseri, 11/05/2000
- [27] Mousa, R., Saleh,A.,, “Optimization of Runway Orientation”, Journal of Transportation Engineering, Vol.126, No.3,228-236,2000.
- [28] Mousa, R., “Integrated Model for Optimizing Orientation of Two Runway Configuration”, Journal of Transportation Engineering, Vol.127, No.4, 342-351,2001.
- [29] Mousa, R., “Enhancement of WNDROS Program for Optimization of Runway Orientation”, American Society of Civil Engineers,Air Transport Orlando, Florida ,2002
- [30] Jia,X.,ve ark.,”ARO: Geographic Information System-Based System for Optimization Airport Runway Orientation”, Journal of Transportation Engineering, 130,5,555-559,2004.
- [31] Sarsam, S.I.,Ateia, H.A.,”Development of a Computer Program for Airport Runway Location, Orientation, and Length Design in Irag”,T&DI Congress,2011
- [32] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, Seyrüsefer Daire Başkanlığı, AIP- Aeronautical Information Publication, (06.06.2012)
<http://www.ssd.dhmi.gov.tr/>
- [33] Eskişehir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, (08.04.2012}
<http://www.eskisehir.mgm.gov.tr/merkezler-tanitim.aspx?m=3>
- [34] Lakes Environtment, Wrplot View- Freeware, (15/01/2012).
<http://www.weblakes.com/products/wrplot/features.html>

Ek-1. PYH programına ait yazılım kodları.

```
private void btnHesapla_Click(object sender, EventArgs e)
{
    txtAci1.Text = "0";
    txtAci2.Text = "0";
    txtAci3.Text = "0";
    txtFaktor1.Text = "0";
    txtFaktor2.Text = "0";
    txtFaktor3.Text = "0";
    float fbuyuk = 0;
    int iYon = 0;
    int iRuzgar = 0;
    int iTopRuzgar = 0;
    int iBas = 0;
    int iSon = 0;
    int iEk = 0;
    if (conn != null && conn.State == ConnectionState.Open)
    {
        Cursor.Current = Cursors.WaitCursor;
        try
        {
            double sinX = Math.Abs(double.Parse(txtTeta.Text)) / Math.Abs(100d);
            double myRadius = Math.Asin(sinX);
            double myDgress = myRadius * 180 / Math.PI;
            double upDgress = Math.Round(myDgress, 2);
            if (upDgress <= 10) lastDgress = 10;
            else if (upDgress > 10 && upDgress <= 20) lastDgress = 20;
            else if (upDgress > 20 && upDgress <= 30) lastDgress = 30;
            else if (upDgress > 30 && upDgress <= 40) lastDgress = 40;

            using (DataTable dataTable = new DataTable())
```

```

        {
dataTable.Columns.Add(new DataColumn("Derece", typeof(string)));
dataTable.Columns.Add(new DataColumn("Veri", typeof(string)));
dataTable.Columns.Add(new DataColumn("KFaktoru", typeof(string)));
for (int i = 0; i < 18; i++)
    {
iTopRuzgar = 0;
iBas = 0;
iSon = 0;
iEk = 0;
iBas = (i * 10) + (180 + lastDegrass);
Son = (i * 10) + (350 - lastDegrass);
if (iBas < 360 && iSon > 360) //360 tan sonraki ek kısmı bulmak için
    {
iEk = iSon - 360;
iSon = 360;
    }
if ((i * 10) >= (180 - lastDegrass)) //360 Dereceden sonra başlangıcı sıfırlamak
için
    {
iBas = (i * 10) - (180 - lastDegrass);
iSon = (i * 10) - (lastDegrass + 10);
    }
//MessageBox.Show(String.Format("{0} ) {1} - {2} - {3}", i, iBas, iSon, iEk));
for (int row = 0; row < nRecords; row++)
    {
int.TryParse(dsRuzgar.Tables[0].Rows[row]["Yon"].ToString(), out iYon);
if (((iYon > (i * 10) + lastDegrass) && (iYon <= (i * 10) + (170 - lastDegrass)))
|| ((iYon > iBas) && (iYon <= iSon)) || (iYon <= iEk))
    {
int.TryParse(dsRuzgar.Tables[0].Rows[row]["Ruzgar"].ToString(), out iRuzgar);
if (iRuzgar > int.Parse(txtTeta.Text))

```

```

        {
            iTopRuzgar += 1;
        }
    }
}

DataRow dataRow = dataTable.NewRow();
dataRow["Derece"] = i * 10;
dataRow["Veri"] = iTopRuzgar;
float fyesi = (float.Parse(nRecords.ToString()) - iTopRuzgar) /
float.Parse(nRecords.ToString());
if (fbuyuk < fyesi)
{
    fbuyuk = fyesi;
    txtAci1.Text = (i * 10) + " - " + ((i * 10) + 180);
}

if (fbuyuk.ToString().Length >= 6) txtFaktor1.Text =
fbuyuk.ToString().Substring(0, 6);
else txtFaktor1.Text = fbuyuk.ToString();
if (fyesi.ToString().Length >= 6) dataRow["KFaktoru"] =
fyesi.ToString().Substring(0, 6);
else dataRow["KFaktoru"] = fyesi.ToString();
dataTable.Rows.Add(dataRow);
}

gridControl1.DataSource = dataTable.DefaultView;
if (float.Parse(txtFaktor1.Text) < 0.95) btnHesapla2.Enabled = true;
else btnHesapla2.Enabled = false;
}

dsRuzgar.Dispose();
Cursor.Current = Cursors.Default;
}

catch (OleDbException ex)
{

```

```

MessageBox.Show(ex.Message);
    }
}

else MessageBox.Show("Önce Dosya Açılmalıdır!", "Veri Hesaplama",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
}

private void btnHesapla2_Click(object sender, EventArgs e)
{
txtAci2.Text = "0";
txtAci3.Text = "0";
txtFaktor2.Text = "0";
txtFaktor3.Text = "0";
int windDirection = 0;
int wind = 0;
int countWind2 = 0;
int countWind3 = 0;
int firstData = 0;
int startDegress = 0;
int endDegress = 0;
int firstDegress = 0;
int secondDegress = 0;
int thirdDegress = 0;
int addition = 0;
gridView1.Columns["KFaktoru"].SortOrder =
DevExpress.Data.ColumnSortOrder.Descending;
//2. Pista Açısı Hesaplama
int.TryParse(gridView1.GetRowCellValue(0, "Veri").ToString(), out firstData);
int.TryParse(gridView1.GetRowCellValue(0, "Derece").ToString(), out
firstDegress);
int.TryParse(gridView1.GetRowCellValue(1, "Derece").ToString(), out
secondDegress);

```

```

if ((firstDegrass > secondDegrass) && (firstDegrass - secondDegrass <= 2 *
lastDegrass))
{
startDegrass = secondDegrass - lastDegrass;
endDegrass = (secondDegrass - lastDegrass) + (firstDegrass - secondDegrass -
lastDegrass);
}
else if ((firstDegrass < secondDegrass) && (secondDegrass - firstDegrass <= 2 *
lastDegrass))
{
startDegrass = (secondDegrass + lastDegrass) - (secondDegrass - firstDegrass -
lastDegrass);
endDegrass = secondDegrass + lastDegrass;
}
else
{
startDegrass = secondDegrass - lastDegrass;
endDegrass = secondDegrass + lastDegrass;
}
if (endDegrass > 360)
{
addition = endDegrass - 360;
endDegrass = 360;
}
//MessageBox.Show(String.Format("ikinci pist {0} - {1} : {2} - {3} - {4}",
startDegrass, endDegrass, (startDegrass + 180), (endDegrass + 180), addition));
for (int row = 0; row < nRecords; row++)
{
int.TryParse(dsRuzgar.Tables[0].Rows[row]["Yon"].ToString(), out
windDirection);

```

```

if (((windDirection >= startDegrass) && (windDirection <= endDegrass)) ||
((windDirection >= startDegrass + 180) && (windDirection <= endDegrass +
180))) || (windDirection <= addition))
    {
int.TryParse(dsRuzgar.Tables[0].Rows[row]["Ruzgar"].ToString(), out wind);
if (wind > int.Parse(txtTeta.Text)) countWind2 += 1;
    }
}

float faktor2 = (float.Parse(nRecords.ToString()) - (firstData - countWind2)) /
float.Parse(nRecords.ToString());
txtFaktor2.Text = faktor2.ToString().Substring(0, 6);
txtAci2.Text = secondDegrass + " - " + (secondDegrass + 180);
//3. Pista Açısı Hesaplama
startDegrass = 0;
endDegrass = 0;
addition = 0;
if (float.Parse(txtFaktor2.Text) < 0.95)
    {
int.TryParse(gridView1.GetRowCellValue(2, "Derece").ToString(), out
thirdDegrass);
if ((secondDegrass > thirdDegrass) && (secondDegrass - thirdDegrass <= 2 *
lastDegrass))
    {
startDegrass = thirdDegrass - lastDegrass;
endDegrass = (thirdDegrass - lastDegrass) + (secondDegrass - thirdDegrass -
lastDegrass);
    }
else if ((secondDegrass < thirdDegrass) && (thirdDegrass - secondDegrass <= 2 *
lastDegrass))
    {
startDegrass = (thirdDegrass + lastDegrass) - (thirdDegrass - secondDegrass -
lastDegrass);

```

```

endDegrass = thirdDegrass + lastDegrass;
    }
else
    {
startDegrass = thirdDegrass - lastDegrass;
endDegrass = thirdDegrass + lastDegrass;
    }
if (endDegrass > 360)
    {
addition = endDegrass - 360;
endDegrass = 360;
    }
//MessageBox.Show(String.Format("üçüncü pist {0} - {1} : {2} - {3} - {4}",
startDegrass, endDegrass, (startDegrass + 180), (endDegrass + 180), addition));
for (int row = 0; row < nRecords; row++)
    {
int.TryParse(dsRuzgar.Tables[0].Rows[row]["Yon"].ToString(), out
windDirection);
if (((windDirection >= startDegrass) && (windDirection <= endDegrass)) ||
((windDirection >= startDegrass + 180) && (windDirection <= endDegrass +
180)) || (windDirection <= addition))
    {
int.TryParse(dsRuzgar.Tables[0].Rows[row]["Ruzgar"].ToString(), out wind);
if (wind > int.Parse(txtTeta.Text)) countWind3 += 1;
    }
}

float faktor3 = (float.Parse(nRecords.ToString()) - (firstData - (countWind2 +
countWind3))) / float.Parse(nRecords.ToString());
txtFaktor3.Text = faktor3.ToString().Substring(0, 6);
txtAci3.Text = thirdDegrass + " - " + (thirdDegrass + 180);
    }
}

```