

Article Arrival Date

22.07.2020

Article Type

Research Article

Article Published Date

15.09.2020

Doi Number: <http://dx.doi.org/10.38063/ejons.297>**UÇUŞ VERİLERİNİN KABA KÜME YÖNTEMİ KULLANILARAK İNDİRGENMESİ****FLIGHT DATA REDUCTION VIA ROUGH SET****Dr. Öğr. Üyesi Mustagime Tülin YILDIRIM**

Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, tulin@erciyes.edu.tr,
Kayseri/Türkiye ORCID: 0000-0001-8711-5588

Mehtap TAŞCI

Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, mtasci@erciyes.edu.tr,
Kayseri/Türkiye ORCID: 0000-0002-8546-9718

ÖZET

Uçakların emniyetli uçuş gerçekleştirebilmesi için bakımlarının prosedürlere uygun ve düzenli bir şekilde yapılması büyük öneme sahiptir. Uçak komponentlerinden motorun sağlık durumunun izlenmesi, büyük arızalar meydana gelmeden önleyici bakım yöntemleri ile tedbirler alınması uygulanan bakım yöntemlerindendir. Uçaklarda uçuş sırasında kaydedilen veriler yerde değerlendirilerek motor bakımı yapıldığı gibi uçuş esnasında verilerin anlık değerlendirilmesiyle motor arıza tahmini yapılarak bakım yöntemlerinin belirlendiği çalışmalar da bulunmaktadır. Anlık motor arızası tahmini yapılan çalışmalarda motorun sağlık durumu hakkında bilgi verebilecek parametreler ile bunları etkileyen parametre grupları birlikte değerlendirilerek olası arıza durumları üzerinde durulmaktadır. Motor sağlık durumu izlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda karar vermede kullanılan parametrelerden bir tanesi egzoz gaz sıcaklık (EGT) değeridir. Bu çalışmada veri madenciliği yöntemlerinde ön işlem olarak kabul edilen kaba küme yöntemi uçak verileri üzerinde kullanılarak verideki bazı niteliklerin indirgenmesi sağlanmıştır. Bu çalışma ile çeşitli niteliklerden oluşan veri kümeleri elde edilmiştir. Elde edilen veri kümelerinin belli kritere göre ayrıştırılmasının ardından arıza tahmini işlemi gerçekleştirilecektir ancak bu çalışma ile bir sonraki adımda yapılacak arıza tahmini basamağının ön aşaması gerçekleştirilmiştir.

625

Anahtar Kelimeler: Motor durum izleme, kaba küme teorisi, veri indirgeme**ABSTRACT**

It is of great importance that the maintenance of the aircraft is carried out in accordance with the procedures in order to ensure a safe flight. Monitoring of the health conditions of the engine from the aircraft components, preventive maintenance methods to take measures to prevent the occurrence of major failures are applied. The data recorded during the flight in the airplanes are evaluated on the ground and the engine maintenance is done as well as the engine evaluation of the data during the flight, and there are also some studies that determine the maintenance methods. The parameters which can give information about the health conditions of the engine are evaluated together with the parameter groups that affect them and the possible fault conditions are

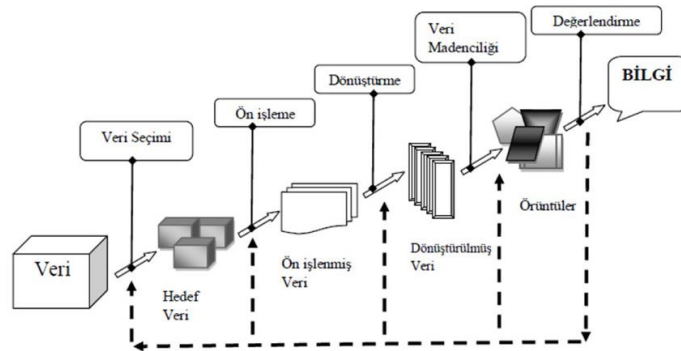
emphasized. One of the parameters used in decision making in order to monitor engine health conditions is exhaust gas temperature (EGT) value. In this study, some properties in the data are reduced by using the rough set method on the aircraft data which is considered as a pre-process in data mining methods. In this study, data sets of various qualities were obtained. After the obtained datasets are separated according to certain criteria, the fault prediction operation will be carried out. With this study, the preliminary stage of the fault prediction step to be performed in the next step has been realized.

Key Words -:Engine health monitoring, rough set theory, data reduction

1. GİRİŞ

Havacılık sektörü bir ülkenin gelişmişliğinin en önemli göstergelerindendir. Havacılıkta taşımacılıktan başka birçok farklı alanda hizmet verilmektedir. Askeriye, sağlık, nakliye, orman yangınları, zirai ilaçlama, trafik denetleme bu alanların başında yer almaktadır. Havacılıkta uçaklar önemli yere sahiptir. Uçaklar geçmişten günümüze teknolojik olarak sürekli bir gelişim halinde olmuştur ve halen de gelişmeye devam etmektedirler. Pistonlu motorlar ile başlayan bu teknolojik gelişim yerini günümüzde gaz türbinli motorlara bırakmıştır. Pistonlu motorlar küçük uçaklarda kullanılmaya devam ederken ticari alanda kullanılan uçaklarda performansından dolayı gaz türbinli motorlar kullanılmaktadır. Gaz türbinli motorların kullanılması ile beraber uçaklar daha efektif olarak faaliyet göstermeye başlamıştır (<https://www.bts.dot.gov/content/active-us-air-carrier-and-general-aviation-fleet-type-aircraft>).

Gelişen teknoloji ve artan kullanım alanının neticesinde uçak bakımı da önemli bir konuma gelmiştir. Havacılık otoritelerince belirlenen kurallar çerçevesinde, üretildikleri andan itibaren uçaklara düzenli olarak bakım yapılması gerekmektedir. Bakımlar, uçakların uçabilirliğinin sürekliliğini sağlamak amacıyla yapılmaktadır ve işletme maliyetleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Uçak bakımı içerisinde de motor bakımının maliyeti en önemli maliyet kalemini oluşturmaktadır (Demirci, Hacıyev, & Schwenke, 2008) (Zaidan, Mills, Harrison, & Fleming, 2016) (Volponi, 2013) (Amozegar & Khorasani, 2016) (Zhou, Zhang, & Weng, 2015). Bakım faaliyetleri kendi arasında planlı ve plansız bakım olarak alt dallara ayrılmaktadır. Plansız gelişen durumlarda bakımın maliyeti yüksek olabilir. Beklenmeyen bu durumları engellemek adına kestirimci bakım yöntemi geliştirilmiştir. 1990'lı yıllarda ortaya çıkan kestirimci bakım yöntemi, uçak çalışırken kaydedilen verilerin yorumlanmasına dayanmaktadır. Herhangi bir arıza meydana gelmeden yapılan tahminlerle problem büyümeden bakım yapılması hedeflenmiştir. Yapılan incelemede bu arıza tahmin işleminin literatürde çeşitli yöntemler ile gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu çalışmada arıza tahmin işleminde veri madenciliği yöntemi dikkate alınmıştır. Veri madenciliği temel prensip olarak çeşitli aşamalardan meydana gelmektedir. Şekil 1'de de görüleceği üzere bu aşamalar: veri seçimi, veri ön işleme, verinin dönüştürülmesi, veri madenciliği algoritmalarının uygulanması, değerlendirme aşamalarıdır.



Şekil 1. Veri madenciliği aşamaları

Bu aşamaların her bir adımı ayrı ayrı önem içermektedir. Seçilen verinin veri madenciliğine uygun hale gelmesi için öncelikle bir ön işleme aşamasından geçmesi gerekir. Bu aşamada veriler gürültülü verilerden temizlenir, eksik veriler tamamlanır. Verinin boyutu büyükse işlem yapılabilmesi için boyut indirgeme işlemi yapılır. Daha sonra aykırı veri varsa tespit edilip temizlenir. Günümüzde veri tabanları hızla genişlemektedir. Bu duruma bağlı olarak veri tabanlarında daha fazla nitelik olarak isimlendirilen veri alt grupları yer almaktadır. Bazı nitelikler yapılacak veri analizi işlemi için gereksiz veya alakasız olabilir ve bu niteliklerin veri işleminin yapılmasından önce temizlenmesi gerekmektedir. Nitelik indirgeme ya da özellik seçimi, veri işleminde kullanılacak nitelik sayılarını azaltmak için kullanılan bir tekniktir. Bu tekniğin amacı tahmin işlemi için kullanılacak en uygun nitelik alt kümesini elde etmektir. Nitelik altküme seçimi verinin görselleştirilmesini ve anlaşılmasını kolaylaştırabilir.(Wang, Shao, He, Qian, & Qi, 2016) (Jensen & Shen, 2004). Son yıllarda nitelik seçiminin önemi artmıştır. Nitelik seçiminde değerlendirme fonksiyonun oluşturulması önemli bir adımdır. Veri madenciliğinin performansını doğrudan etkiler. Nitelik değerlendirmenin ölçülmesi için literatürde bilgi entopisi (Hu, Yu, & Xie, 2006) (Liang, Wang, Dang, & Qian, 2014), bağımlılık (Cornelis, Jensen, Hurtado, & Ślęzak, 2010) (Hu, Yu, Liu, & Wu, 2008) (Hu, Yu, Pedrycz, & Chen, 2011) (Jensen & Shen, 2004), korelasyon (Hall, 2000), ve tutarlılık (Dash & Liu, 2003) gibi özellik değerlendirme işlemleri yer almıştır. Çalışmamızda veri madenciliğinin veri ön işleme aşamasının bir alt elemanı olan veri indirgeme konusu kaba küme yöntemi ile nasıl ele alınacağı üzerinde durulmuştur. Veri setimiz gerçek uçuş anında kayıt edilen uçuş verilerinden oluşmaktadır. Bu veri kümesi, üzerinde herhangi bir işlem yapılmadığı zaman çok anlamlı olmayan bir veri yığınıdır. Veri kümesinin anlamlı hal alıp işlenerek bilgiye ulaşılması için veri madenciliğinin uygulanması gerekmektedir. Veri setinde uçağın sağlık durumuna karar vermede, motorlarda kestirimci bakımda kullanılan önemli parametrelerden birisi olan, egzoz gaz sıcaklığı (EGT) parametresinin tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Nitelik indirgeme işleminde EGT'nin tahmin işlemi gerçekleştirileceği için bu parametrenin yer aldığı alt kümeler ele alınmıştır. Kullandığımız veri kümesi; N1, N2, Altitude, Air Speed, Ground Speed, Pitch, Angle Of Attack, Roll, Heading, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration, Speed Break, Total Air Temperature, EGT olmak üzere 15 adet niteliğe sahiptir. ROSETTA programı yardımı ile bu veri kümesi kendisini temsil edecek alt kümelere ayrılarak bizim boyut indirgeme işlemimize yardımcı olacaktır.

2. MOTOR TİPLERİ

2.1. Pistonlu Motorlar

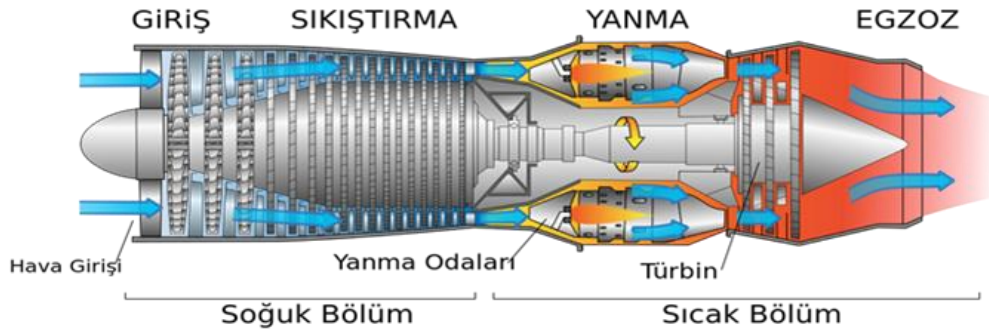
Pistonlu motorlar havacılık alanında kullanılan ilk motor çeşididir. Pistonlu motor, pistonlar vasıtasıyla basınç hareketini mekanik harekete dönüştürme prensibi ile çalışmaktadır. İçten yanmalı motor, buhar motoru ve stirling motoru olmak üzere üç türde bulunmaktadır. Gaz türbinli motorlara göre tasarımları daha basittir. Yakıt tüketimi dikkate alındığı zaman gaz türbinli motorlara göre daha verimlidirler. Bu avantajlarına rağmen bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan birincisi daha fazla güç istendiği zaman boyutunun artması, buna bağlı olarak istenmeyen bir özellik olan ağırlığının artması, ikincisi ise yüksek irtifalarda veriminin düşük olmasıdır.

2.2. Gaz Türbinli Motorlar

Gaz türbinli motorlar yüksek irtifalarda çalışmaya uygun motorlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütün gaz türbinli motorların çalışma prensibi hava alğından alınan havanın sıkıştırılıp daha sonra ısı enerjisi verilerek elde edilen itki kuvvetinin kullanılması üzerinedir. Tarihsel gelişimle beraber farklı türlere ayrılmıştır. Gaz türbinli motorların en yaygın şekilde kullanılanları turbojet motorlar, turbopan motorlar, turboprop motorlar, yardımcı güç üniteleri (Auxiliary Power Unit-APU) olarak sıralanabilir. Bunlar dışında çeşitli gaz türbinli motorları da mevcuttur.

2.2.1. Turbojet Motorlar

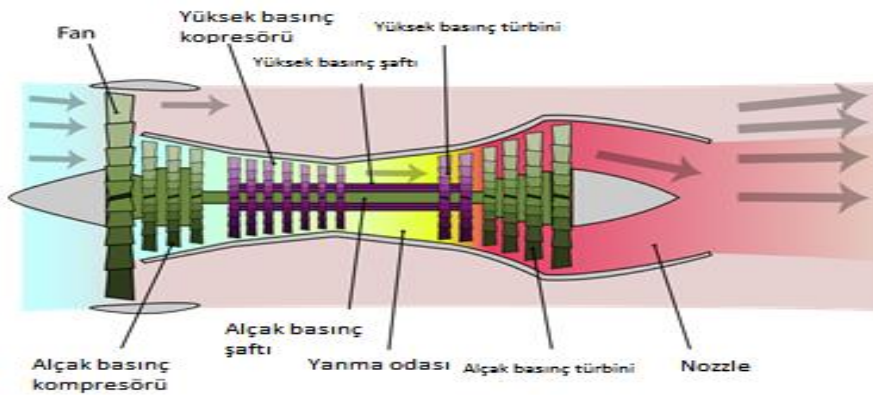
Gaz türbinli motorların atasıdır. Turbojet motorlarda fan, pervane gibi elemanlar bulunmamaktadır. Turbofan motorlara göre daha az kütledeki havayı daha yüksek hızda egzozdan atarak tepki sağlama prensibi ile çalışmaktadır. Tepkinin tümü egzoz gazlarından elde edilmektedir. Turbojet motorlarda bütün hava akışı türbin giriş sıcaklığını maksimum yapmak için belirli hava-yakıt oranında motor içerisinden geçirilmektedir. Turbojet motorlarda hava akışı diğer motor tiplerine göre düşüktür. Bu da belirli bir itki ve hız için yakıt tüketiminin daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Bu tip motorlarda gürültü daha fazladır. Şekil 2’de turbojet motorlarının yapısı verilmiştir.



Şekil 2. Turbojet motor

2.2.2. Turbofan Motorlar

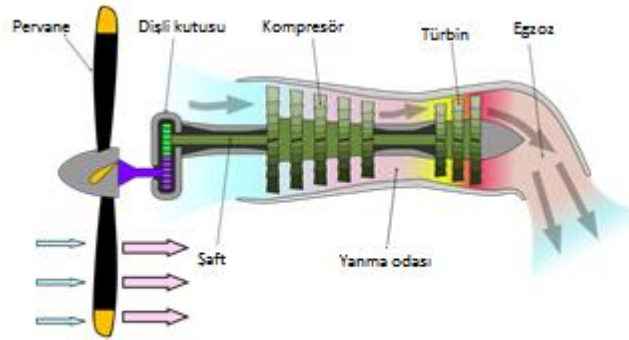
Genel olarak turbojet motorların önüne fan konularak tasarlanan motor tipidir. Fan kısmı bir veya daha fazla kademeden meydana gelebilir. Hava akışı bu tip motorlarda birincil ve ikincil hava akışı olmak üzere incelenmektedir. Birincil hava akışı fan üzerinden geçtikten sonra motorun içine geçerek burada sıkıştırma, yanma ve genişleme işlemlerinden geçer. İkincil hava akışı ise fandan geçtikten sonra motorun içinden geçmez. Egzoz bölümünde birincil hava ile ikincil hava karışarak dışarıya verilir ve böylece tepki kuvveti elde edilir. Tepkinin %70-75’i ikincil hava akışından yani fandan sağlanırken diğer kalan kısım da birincil hava akışından elde edilir. İkincil hava akışından aynı zamanda motorun belli bölgelerinin soğutulması için de yararlanılmaktadır. Yakıt sarfiyatı turbojet motorlara oranla daha düşüktür. Aynı zamanda turbojet motorlardan çok daha fazla tepki kuvveti sağlamaktadır. Bundan dolayı turbojet motorların yerine kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 3’te turbofan motorun yapısı verilmiştir.



Şekil 3. Turbofan motor

2.2.3. Turboprop Motorlar

Daha düşük hızların tercih edildiği durumlarda turboprop sistemlerin kullanımı daha ekonomik ve daha iyidir. Turboprop motorlarda egzozdan elde edilen gazların hemen hemen bütün enerjisi türbin tarafından alınarak pervaneye iletilir. Devir düşürücü dişliler, pervane ve gaz türbininden meydana gelen bu motor tipleri 430-720 km/h hız aralığında verimli bir güç kaynağı olarak kullanılabilir. Bu tip motorların özgül yakıt tüketimleri diğer gaz türbinli motorlara göre daha iyidir. Bu tip gaz türbinli motorun güç üretim kısmı diğer gaz türbinli motorlarla aşağı yukarı aynıdır. Bunun yanı sıra türbin bölümünde farklılıklar vardır. Bir turbojet motorunda sıcak gazlardan meydana gelen güç kompresör ve aksesuar dişlilerini çalıştırırken turboprop motorlarında bu gücün %75-80'i pervane hareketi için kullanılmaktadır.



Şekil 4. Turboprop motor

2.3. Uçak Bakımı

Gaz türbinli uçakların yaygın olarak kullanılmasından dolayı bu uçakların bakımı da gün geçtikçe önem kazanmıştır. Uçakların emniyetli bir şekilde hizmet vermeleri için bakımlarının düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Bakım, sistemin kullanım ömrü boyunca daha önceden belirlenen standartlar çerçevesinde tutmak ya da bu seviyeye ulaştırmak için yapılan işlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır (<http://slonder.tripod.com/bakim.html>). Havacılıkta en önemli ve öncelikli hedef uçuş emniyetidir. Uçuş emniyetinin devamlılığının sağlanması, uçakların ekonomik ömrünü sürdürülmesi ve büyük arızaların önüne geçilmesi için uçaklarda çeşitli bakımlar yapılmaktadır. Bakımların ne şekilde yapılması gerektiği belirli kurallar çerçevesinde belirlenmiştir. Bu kurallar ülkelerin havacılık otoriteleri tarafından oluşturulur ve uygulanmaları kontrol altında tutulur. Bizim ülkemizdeki havacılık otoritesi Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'na bağlı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)'dür. SHGM, yönetmelik ve talimatları oluştururken Avrupa Birliği ülkelerinin bir araya gelerek kurdukları European Aviation Safety Agency'nın yayımlanmış olduğu kurallar ve talimatlar çerçevesinde, ülkemiz havacılık sektörüne uygun hale getirerek, çeşitli yönetmelik ve talimatları uygulamaya sunmaktadır. Bakımlar yapıldıkları yere göre, yapıldıkları süreye göre ve yapılış amacına göre gruplara ayrılmaktadır. Yapıldıkları yere göre; uçuş hattında, bakım tesislerinde, uçak üzerinde yapılan, uçak üzerinde yapılmayan bakımlar olarak, yapıldıkları süreye göre; küçük bakım (maksimum 24 saat süren bakımlar), orta bakım (1-7 gün arasında süren bakım faaliyetleri), büyük bakım (7 günden fazla süren bakım faaliyetleri) olarak ve yapılış amacına göre; önleyici bakım (planlı bakım) ve düzeltici bakım (plansız bakım) olarak sınıflandırılmaktadır.

2.3.1. Planlı Bakımlar

Maintenance Planing Document (MPD) uçak üreticileri tarafından uçakların periyodik bakımlarının nasıl yapılacağı amacı ile hazırlanmış ve bağlı olduğu ülkenin sivil havacılık otoritesine onaylatıldığı dokümandır. MPD'ler periyodik bakımların ne olduğu, uçağın kullanım şartlarına bağlı olarak hangi

işlemlerin nasıl yapılacağına kılavuzluk eden dokümanlardır. İşletmeler sahip oldukları uçaklar için Maintenance Program (MP) oluştururlar ve bunu sivil havacılık otoritesine sunarlar. Maintenance Program oluşturulurken MPD'ye bağlı kalınmalıdır. Sivil havacılık otoritesi tarafından onaylanan Maintenance Program MPD dışında işletmecinin deneyimlerine göre ekstra bakımlar içerebilirler. Onaylanan Maintenance Program işletme için bağlayıcı olur, onay alındıktan sonra bakım talimat ve sürelerine uyulması gerekir. MPD ve Maintenance Program dışında planlı bakım için pilotlar tarafından doldurulması gereken Technic Log ve Official Flight Log'lar adında kayıt defterleri vardır. Bu kayıt defterleri yapılan her sefer için doldurulur. İşletmelerin bakım mühendisliği/planlama bölümü bu kayıt defterleri günlük olarak izler ve kayıtlarını tutar (www.airlinehaber.com/ucak-bakim-periyotlari-kurallari-ve-bakimlarda-yapilan-islemler). Yukarıda bahsettiğimiz dokümanlar aracılığı ile uçaklar üzerinde yapılması gereken bakımlar planlı bakımlar olarak sınıflandırılırlar.

2.3.2. Plansız Bakımlar

Periyodik bakımların dışında ortaya çıkan arıza ya da hasarların giderilmesi için yapılan bakım çalışmalarıdır. Yıldırım çarpması, kuş çarpması, sert iniş plansız bakıma örnek olarak verilebilir.

Literatürde bulunan çalışmalarda uçak üzerinden çeşitli veriler alınmış daha sonra bu veriler işlenerek uçağın sağlık durumu hakkında yorumlama yapılmaya çalışılmıştır. Verilerin işlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmada veri madenciliği ile uçak verilerin işlenebilmesi amacıyla verilerin hazırlanması hedeflenmiştir. Verilerin işlenebilir hale gelmesi için ön işlem olan kaba küme teorisi yöntemi ROSETTA programı kullanılarak veri indirgeme işlemi yapılmıştır.

2.4. Kaba Küme Teorisi

Kaba küme teorisi 1980'li yıllarda Pawlak tarafından geliştirilen matematiksel bir yaklaşımdır. Kaba kümeler bulanık kümelere benzer şekilde kesin sınırlamaları olmayan yapılardır. Bu şekilde kesin sınırlamaları olmayan yapılar eksik, yetersiz ve belirsiz olan verileri düzenlemeye yardım ederek veri analizine uygun şekle getirmektedirler. Kaba küme yaklaşımında evrensel kümenin elemanı olan bir alt küme tanımlanırken yaklaşımlar vasıtasıyla tanımlanırlar. Bu yaklaşımlar alt yaklaşım kümesi ve üst yaklaşım kümeleridir. Bu yaklaşım kümeleri sıralı ikili kümelerdir. Alt yaklaşım yardımıyla kesin kurallar üst yaklaşım yardımı ile mümkün olabilecek olası kurallar elde edilir. Klasik kümeler sadece elemanlardan meydana gelirler, elemanlarının hakkında ayrıca detaylı bilgi vermezler. Kaba kümeler ise klasik kümelere farklı olarak elemanları hakkında bazı bilgiler içermektedirler. Bu kaba küme yaklaşımda bilgi içeren elemanlara kümenin nesnesi denilmektedir. Eğer ki nesneler aynı bilgilere sahip ise bu nesneler ya aynı ya da ayırtedilemez olarak tanımlanırlar. Kaba küme teorisi bu ayırtedilemezlik ilişkisi üzerine kurulmuştur. Bu ayırtedilemez ya da aynı nesneler elemanter kümeyi meydana getirirler. Elemanter kümeleri birleşimine kesin küme adı verilir. Kesin kümenin olmadığı durumda ise küme kaba küme olarak nitelendirilir (Aydoğan Kızılkaya & Gencer, 2007). Kaba kümelere sınır hattı elemanları bulunur. Bu sınır hattı elemanları kümenin kendisinin ya da tümleyeninin elemanları olarak sınıflandırılmayan elemanlardan oluşur. Kaba kümelere muğlaklık durumu bir kesin kavramlar çifti ile tanımlanırlar. Bu kesin kavramlar çifti yukarıda kısaca tanımın yapıldığı alt ve üst yaklaşımlardır.

Kaba küme yaklaşımının avantajları aşağıdaki verilmiştir;

- Verilerdeki gizli kalıpları bulmak için verimli algoritmaların tanıtılması,
- Optimal veri setlerinin belirlenmesi (veri azaltma),
- Veri önemini değerlendirilmesi,
- Verilerden karar kuralları kümelerinin oluşturulması,

- Anlaşılması kolay formülasyon sağlar,
- Elde edilen sonuçların basit bir şekilde yorumlanması,
- Pek çok algoritmasının paralel işleme için uygunluğu. (Pawlak & Słowiński, 1994).

Kaba küme analizinde veriler tablo şeklinde oluşturulur. Bu özellik-değer tablosunda her sütun bir niteliği temsil ederken her satır ise bir nesneyi ifade eder. Bu şekilde oluşturulan tabloya Bilgi Sistemi adı verilir ve

$$A=(U,A) \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. Burada A, özelliklerin boş olmayan sonlu kümesini, U, A'nın evrensel kümesini ifade etmektedir. Bunlara ilaveten ayrıca karar özelliği $\{d\}$ kavramı da vardır. Ekseriyetle sınıflama işleminin neticesi, yani tahmin edilecek kavramlar bir uzmandan gelen ilave bilgi ile ve karar özelliği ile ifade edilmektedir. Öncesinde bilinen bir sınıflama sonucunun var olduğu durumlardaki süreç denetimli öğrenme denilir. Böyle olan bilgi sistemleri karar sistemleri olarak adlandırılır. Bir karar sistemi

$$A=(U,AU\{d\}) \quad (2)$$

biçiminde ifade edilen bir bilgi sistemidir. Burada $AU\{d\}$ karar özelliğidir. A'nın elemanlarına koşullar denilmektedir (Pawlak & Słowiński, 1994).

2.4.1. Kaba Küme Teorisinin Temel Kavramları

2.4.1.1. Bilgi sistemi

631

$IS=(U,A)$ şeklinde tanımlanan bilgi sisteminde U, nesnelerin sonlu bir kümesini temsil ederken, A ise bu nesnelere ait olan nitelikler kümesidir. $a \in A$ dır ve a, A nitelik kümesine ait bir nitelik olmak üzere $f_a:U \rightarrow V_a$ şeklinde bilgi fonksiyonu tanımlanır. Burada V_a , a niteliğinin tanım kümesidir.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 & 7 \\ 2 & 5 & 4 & 6 \\ 1 & 5 & 2 & 1 \\ 4 & 3 & 2 & 2 \\ 5 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 5 & 2 & 1 \\ 7 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 5 & 4 & 6 \\ 1 & 3 & 4 & 7 \\ 1 & 5 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Örneğin 10 adet nesnenin 4 ölçüm değerine göre elde edilen veri kümesi A matrisinde verilmiştir. Bu elde ettiğimiz matrisi kaba küme terminolojisi ile tanımlarsak bilgi sistemi $IS=(U,A)$ 'dır. U evreni nesneler kümesine ve A nitelikleri ise değişkenler kümesine karşılık gelmektedir.

$$U=\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}\} \quad (4)$$

$$A=\{a_1, a_2, a_3, a_4\} \quad (5)$$

Niteliklerin tanım kümesi eşitlik 6 ile verilmiştir.

$$\begin{aligned} V_1 &= \{1,2,4,5,7\} \\ V_2 &= \{1,3,5\} \\ V_3 &= \{1,2,4\} \\ V_4 &= \{1,2,3,6,7\} \end{aligned} \quad (6)$$

Her niteliğin tanım kümesi niteliğin aldığı değerler kümesidir. Bu sistem için bilgi fonksiyonu aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bilgi fonksiyonu

U	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
x ₁	1	3	4	7
x ₂	2	5	4	6
x ₃	1	5	2	1
x ₄	4	3	2	2
x ₅	5	1	1	3
x ₆	1	5	2	1
x ₇	7	1	2	1
x ₈	2	5	4	6
x ₉	1	3	4	7
x ₁₀	1	5	2	1

2.4.1.2. Karar sistemi

Sınıflandırma yapılırken tahmin edilecek sonucun bir uzmandan gelen bilgi ile elde edildiği durumlar vardır. Uzmandan gelen bilgi ışığında yapılan süreç denetimli öğrenme denilir. Böyle bilgi sistemlerine karar sistemleri denilir ve $A=(U,A \cup \{d\})$ şeklinde tanımlanır. Burada d, A kümesinin bir elemanı değil, karar özelliğidir denilir. A’nın elemanlarına ise koşul özellikleri adı verilir.

632

2.4.1.3. Ayırteşilmez ilişki

$B \subset A$ olmak üzere $IND(B)=\{(x,y) \in U^2 \mid \forall a \in B \text{ için } a(x) \equiv a(y)\}$ olarak tanımlanan denklik bağıntısına ayırteşilmezlik bağıntısı denilir. Yani iki nesne arasında seçilen nitelik alt kümesindeki tüm niteliklerin değeri eşit ise bu iki nesne arasında ayırteşilmez ilişki vardır denilir. Aralarında benzerlik ilişkisi bulunan nesnelerden meydana gelen kümeye “temel küme” denir. Tablo 1’de verilen veri kümesinde bazı özdeş nesneler olduğu göze çarpmaktadır. Örneğin x₁ ile x₉ nesnesi mevcut verilerle birbirinden ayırteşilemez. Kullanılan dört niteliğe göre nesneler Tablo 2’de görüldüğü şekilde gruplandırılabilir.

Tablo 2. Ayırteşilmez ilişki

U/A	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
{x ₁ , x ₉ }	1	3	4	7
{x ₂ , x ₈ }	2	5	4	6
{x ₃ , x ₁₀ , x ₆ }	1	5	2	1
x ₄	4	3	2	2
x ₅	5	1	1	3
x ₇	7	1	2	1
x ₁₀	1	5	2	1

2.4.1.4. Ayırtedilebilirlik

IS=(U,A) n nesneli bir bilgi sistemini ifade etsin. Bu bilgi sisteminin ayırt edilebilirlik matrisi M(S) ile gösterilir. Simetrik olan bu matrisin girdileri

$$c_{ij} = \{a \in A : a(x_i) \neq a(x_j)\}, i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

olarak verilmiştir. Burada c_{ij} girdisi x_i ve x_j nesnelerini ayırt eden bütün niteliklerdir (Pawlak & Skowron, 2007).

IS=(U,A) bilgi sisteminin ayırtedilebilirlik fonksiyonu f_s , niteliklere denk gelen m adet $a_1^*, \dots, a_m^*$ boole değişkenin bir fonksiyonudur. Aşağıda ayırtedilebilirlik fonksiyonunun eşitliği verilmiştir.

$$f_s(a_1^*, a_2^*, \dots, a_m^*) = \forall \{ \exists c_{ij}^* | 1 \leq j \leq i \leq n, c_{ij} \neq 0 \} \quad (8)$$

2.4.1.5. Karar Tablosu

Nitelikleri durum ve karar olarak iki sınıfa ayrılan tablolara karar tabloları denilir. Aşağıda Tablo 3'te örnek olarak verilen, baş ağrısı, kas ağrısı ve ateş nitelikleri durum niteliklerini gösteriyorken, grip niteliği ise karar niteliğini ifade etmektedir.

Tablo 3. Karar Tablosu

Hasta	Baş ağrısı	Kas ağrısı	Ateş	Grip
P1	evet	evet	yüksek	evet
P2	hayır	hayır	çok yüksek	evet
P3	hayır	evet	yüksek	evet
P4	evet	evet	normal	hayır
P5	evet	yok	çok yüksek	hayır

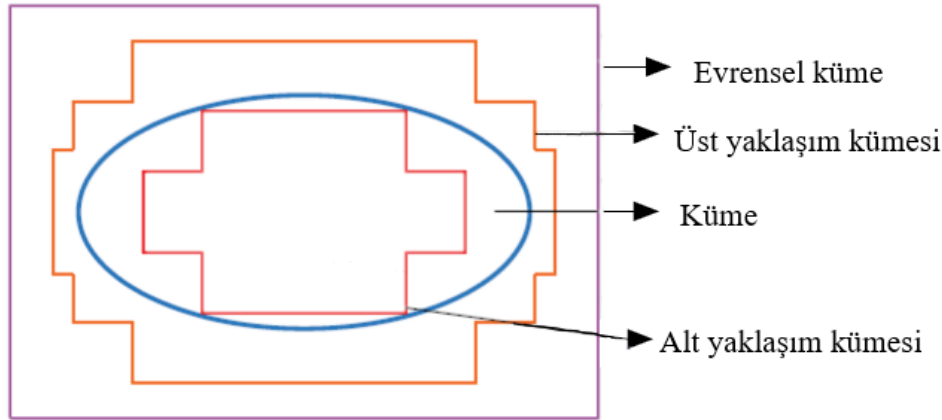
633

2.4.1.6. Alt ve üst yaklaşım

Kaba kümede alt ve üst yaklaşım olan iki kavram vardır. Alt yaklaşım kümeye kesin olarak ait elemanları, üst yaklaşım ise kümeye ait olma olasılığı olan elemanları ifade eder. Alt yaklaşımı Eşitlik 9 ile ifade edilmektedir. Eşitlik 10 ise üst yaklaşımı ifade etmektedir.

$$\underline{BX} = \{x_i \in U \mid [x_i]_{IND(B)} \subset X\} \quad (9)$$

$$\overline{BX} = \{x_i \in U \mid [x_i]_{IND(B)} \cap X \neq \emptyset\} \quad (10)$$



Şekil 5. Kaba Küme Yaklaşımları

3. KABA KÜME YÖNTEMİ İLE UÇUŞ VERİLERİNİN İNDİRGENMESİ

Uçuş esnasında elde edilen uçuş verilerinden arıza tahmini ile ilgili literatürde yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda egzoz gaz sıcaklığındaki sapmaları dikkate alınır ve bu sapmalardan uçakların sağlık durumları tahmin edilmeye çalışılır. Demirci'nin yaptığı tez çalışmasında uçuş verilerinden veri seti oluşturulurken EGT yi etkileyen nitelikler; motor fan hızı, titreşim, yağ basıncı, yağ sıcaklığı olarak kullanılmıştır. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile bu niteliklerden EGT tahmini yapılmaya çalışılmıştır (Demirci, 2009). Yine bir başka tez çalışmasında Kurt'un yaptığı çalışmada EGT üzerine çalışma yapıştı. N1, N2 , Pitch, Angle of Attack, Roll, Vertical Acceleration, Total Air Temperature, Ground/Air verilerinin EGT üzerindeki etkisini çoklu regresyon analizi ile tespit etmiş ve çalışmasında bu parametreleri kullanarak yapay sinir ağları ile EGT'yi tahmin etmiştir (Kurt, 2018) .

634

Bu makale çalışmasında arıza tahmini yapmak için veri seti oluşturmak amacıyla kaba küme teorisini kullanarak nitelik seçimi, veri indirgeme gerçekleştirdik. Bu veri kümelerini oluştururken kaba küme yöntemi için geliştirilen ROSETTA yazılımını kullandık. Kullandığımız uçuş verilerindeki nitelikler; N1, N2, Altitude, Air Speed, Ground Speed, Pitch, Angle Of Attack, Roll, Heading, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration, Speed Break, Total Air Temperature, EGT den meydana gelen 15 nitelikten oluşmaktadır. ROSETTA yazılımı kullanılarak genetik algoritma ile yaptığımız nitelik indirgeme işlemi sonucunda aşağıda verilen 20 küme elde edilmiştir.

1. Küme: {Altitude, Ground Speed, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration, EGT}
2. Küme: {Altitude, Pitch, Roll, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, EGT}
4. Küme: {Altitude, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration, Total Air Temperature, EGT}
5. Küme: {Altitude, Air Speed, Roll, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration, EGT}
6. Küme: {N1, Altitude, Roll, Heading, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration}

7. Küme: {N1, Altitude, Roll, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration, EGT}
8. Küme: {N1, Altitude, Roll, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration, Total Air Temperature}
9. Küme: {N1, N2, Altitude, Pitch, Roll, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Total Air Temperature}
10. Küme: {N2, Altitude, Air Speed, Ground Speed, Roll, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Total Air Temperature}
11. Küme: {N1, N2, Altitude, Heading, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration, Total Air Temperature}
12. Küme: {N1, Altitude, Air Speed, Ground Speed, Heading, Vertical Acceleration, Latitude Acceleration, Longitude Acceleration}
13. Küme: {N1, Altitude, Air Speed, Ground Speed, Roll, vertical acceleration, Latitude Acceleration, longitude acceleration}
14. Küme: {N1, N2, Altitude, Air Speed, Roll, vertical acceleration, Latitude Acceleration, Total Air Temperature}
15. Küme: {N1, N2, Altitude, Ground Speed, vertical acceleration, Latitude Acceleration, longitude acceleration, Total Air Temperature}
16. Küme: {N1, N2, Altitude, Ground Speed, Roll, vertical acceleration, Latitude Acceleration, Total Air Temperature}
17. Küme: {N1, Altitude, Ground Speed, Pitch, Heading, vertical acceleration, Latitude Acceleration, longitude acceleration, Total Air Temperature}
18. Küme: {N1, N2, Altitude, Air Speed, Pitch, Roll, Heading, vertical acceleration, Latitude Acceleration}
19. Küme: {N2, Altitude, Air Speed, Roll, Heading, vertical acceleration, Latitude Acceleration, longitude acceleration, Total Air Temperature}
20. Küme: {N2, Altitude, Air Speed, Pitch, Roll, vertical acceleration, Latitude Acceleration, longitude acceleration, Total Air Temperature}

Bulmuş olduğumuz bu kümeler 15 nitelik yerine niteliklerin indirgenmiş kümelerini vermektedir. Bu kümeler klasik yaklaşımın dışına çıkarak farklı veri setleri ile analizler yapmamıza olanak sağlamaktadır. Bundan sonraki aşamada yapılması gereken bu kümelerle çalışılarak EGT tahmininde hangi kümenin daha başarılı olduğunun analiz edilmesidir.

Jhonson's algoritması ile yaptığımız indirgemedede ise sadece bir küme elde edilmiştir. Elde edilen küme aşağıda verilmiştir.

Küme: {Altitude, Pitch, Roll, vertical acceleration, Latitude Acceleration, EGT}

4. SONUÇ

Bu çalışmada veri madenciliği yöntemi kullanılarak arıza tahmini üzerine yapılacak çalışmanın ön aşaması olan veri indirgeme aşamasının üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Veri indirgeme işlemi veri madenciliğinde önemli bir aşamadır. Veri indirgeme işlemi ne kadar sağlıklı olursa veri madenciliğinde yapılan tahminlerde gerçek veriye kadar yakın olacaktır. Yapılan bu çalışmada veri

indirgemedede küme yöntemi uygulaması yapılmıştır. Çalışmada uçuş sırasında kaydedilen sağlıklı veriler kullanılarak arıza tahmini yapılmak istendiği için hangi verilerin arıza konusunda bizi sonuca ulaştıracağı bilinemediğinden veri indirgeme işlemi yapılmasına ihtiyaç duyulmuş, kaba küme yöntemi, ROSETTA programı kullanılarak uygulanmış ve veri indirgeme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar arıza tahmini konusunda yapılacak çalışmalar için ön işlem niteliğinde olup gereksiz verilerin elenmesi yoluyla, ilgili verilerin kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bir sonraki çalışmada bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kullanılarak arıza tahmini yapılması hedeflenmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından sağlanan FDK-2020-9981 No.lu ve "Veri Madenciliği Yöntemleri ile Uçak Arızalarının Tahmin Edilmesi" başlıklı Doktora Tez Projesi kapsamında desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Amozegar, M., & Khorasani, K. (2016). An ensemble of dynamic neural network identifiers for fault detection and isolation of gas turbine engines. *Neural Networks*, 76, 106–121. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2016.01.003>
- Aydoğan Kızılkaya, E., & Gencer, C. (2007). Kaba Küme Yaklaşımı Kullanılarak Veri Madenciliği Problemlerinde Sınıflandırma Amaçlı Yapılmış Olan Çalışmalar. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 6, 17–32.
- Cornelis, C., Jensen, R., Hurtado, G., & Ślęzak, D. (2010). Attribute selection with fuzzy decision reducts. *Information Sciences*, 180(2), 209–224. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2009.09.008>
- Dash, M., & Liu, H. (2003). Consistency-based search in feature selection. *Artificial Intelligence*, 151(1–2), 155–176. [https://doi.org/10.1016/S0004-3702\(03\)00079-1](https://doi.org/10.1016/S0004-3702(03)00079-1)
- Demirci, S., Hacıyev, C., & Schwenke, A. (2008). Fuzzy logic-based automated engine health monitoring for commercial aircraft. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 80(5), 516–525. <https://doi.org/10.1108/00022660810899883>
- Hall, M. A. (2000). Correlation-based Feature Selection for Discrete and Numeric Class Machine Learning. *Proc. 17th. Int. Conf. Machine Learning*, 359–366. <https://doi.org/10.1.1.34.4393>
- Hu, Q., Yu, D., Liu, J., & Wu, C. (2008). Neighborhood rough set based heterogeneous feature subset selection. *Information Sciences*, 178(18), 3577–3594. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.05.024>
- Hu, Q., Yu, D., Pedrycz, W., & Chen, D. (2011). Kernelized fuzzy rough sets and their applications. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 23(11), 1649–1667. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2010.260>
- Hu, Q., Yu, D., & Xie, Z. (2006). Information-preserving hybrid data reduction based on fuzzy-rough techniques. *Pattern Recognition Letters*, 27(5), 414–423. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.09.004>
- Jensen, R., & Shen, Q. (2004). Fuzzy-rough attribute reduction with application to web categorization. *Fuzzy Sets and Systems*, 141(3), 469–485. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(03\)00021-6](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(03)00021-6)
- Liang, J., Wang, F., Dang, C., & Qian, Y. (2014). A group incremental approach to feature selection applying rough set technique. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 26(2), 294–308. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2012.146>
- Pawlak, Z., & Skowron, A. (2007). Rudiments of rough sets. *Information Sciences*, 177(1), 3–27.

<https://doi.org/10.1016/j.ins.2006.06.003>

Pawlak, Z., & Slowinski, R. (1994). Decision analysis using rough sets. *International Transactions in Operational Research*, 1(1), 107–114. [https://doi.org/10.1016/0969-6016\(94\)90050-7](https://doi.org/10.1016/0969-6016(94)90050-7)

Volponi, A. J. (2013). *Gas Turbine Engine Health Management Past , Present and Future Trends*. 1–25. San Antonio, Texas, USA: Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition.

Wang, C., Shao, M., He, Q., Qian, Y., & Qi, Y. (2016). Feature subset selection based on fuzzy neighborhood rough sets. *Knowledge-Based Systems*, 111, 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2016.08.009>

Zaidan, M. A., Mills, A. R., Harrison, R. F., & Fleming, P. J. (2016). Gas turbine engine prognostics using Bayesian hierarchical models: A variational approach. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 70–71, 120–140. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2015.09.014>

Zhou, D., Zhang, H., & Weng, S. (2015). A new gas path fault diagnostic method of gas turbine based on support vector machine. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 137(10), 1–6. <https://doi.org/10.1115/1.4030277>

<https://www.bts.dot.gov/content/active-us-air-carrier-and-general-aviation-fleet-type-aircraft>

<http://slonder.tripod.com/bakim.html>

www.airlinehaber.com/ucak-bakim-periyotlari-kurallari-ve-bakimlarda-yapilan-islemler