



T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



HATA AĞACI ANALİZİ VE SAĞLIK ALANINDA KULLANIMI

Kübranur TUNÇAY
BİYOİSTATİSTİK ANABİLİM DALI
(Tıp Programı)
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Sıddık KESKİN

VAN – 2022

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HATA AĞACI ANALİZİ VE SAĞLIK ALANINDA KULLANIMI

Kübranur TUNÇAY
BİYOİSTATİSTİK ANABİLİM DALI
(Tıp Programı)
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Sıddık KESKİN

VAN – 2022

ETİK BEYAN

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlayıp sunduğum “*Hata Ağacı Analizi ve Sağlık Alanında Kullanımı*” başlıklı tezimin; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir. Bu tezdeki bütün bilgiler akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak hazırlanıp, bu kural ve ilkeler gereği, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçlara atıf yapılmış ve kaynak gösterilmiştir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Kübranur TUNÇAY

Tarih: 25.01.2022

İmza:

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans tezimin hazırlanma aşamasında bana yardımcı olan, bilgi ve deneyimleriyle beni aydınlatan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sıddık KESKİN'e, eğitim alanında bana vizyon katan çok değerli hocam Doç. Dr. Can ATEŐ'e, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca beni desteklediği için değerli dostum Alim ALİMOĞLU'na, öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her koşulda bana sunan ve hep sevgiyle yanımda olan canım aileme büyük bir minnetle teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Tunçay K, Hata Ağacı Analizi ve Sağlık Alanında Kullanımı. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyoistatistik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Van, 2022. Bu çalışmanın amacı, Hata Ağacı Analizi (Fault tree analysis, FTA) sürecinin genel özellikleri ile birlikte incelenmesi ve bunların nitel ve nicel birer tahmin aracı olarak kullanılabilirliğinin açıklanmasıdır. Hata Ağacı, (Fault tree) belirli bir sistemin durumunu ve çalışma süreci içerisinde meydana gelebilecek olası hatayı (arızayı, olumsuzluğu veya başarısızlığı) belirler. Olası hataları nedenleri ile birlikte, belirli bir gösterim kuralları çerçevesinde mantıksal olarak ilişkilendirir ve grafiksel olarak sunar. Hata ağacında genel olarak, ilgilenilen durum, tepe olay olarak adlandırılır ve bu tepe olay ile ilişkili olan süreç tanımlanır. Hata Ağacı oluşturma sürecinin birinci adımında sistem (sistemi oluşturan unsurlar, bunların işlevsel ilişkileri ve performans gereksinimleri) tanımlanır. İkinci adımda sonuç veya çıktı, analiz edilerek olayın tanımı ve sınırları belirlenir. Üçüncü adımda, sonuç (çıktı) olayının (arızanın, hatanın veya başarısızlığın) işlevsel düzeyinde, bir veya daha fazla nedene kadar izlenmesiyle hata ağacının oluşturulması tamamlanır. Dördüncü adımda, sonuç (çıktı) olayın olasılığı veya sıklığı hesaplanır ve son olarak sonuçlarının raporlanması yapılır. Çalışmada, COVID-19 hastalığı için bulaş riskini oluşturabilecek hataları belirlemek üzere uygulama yapılmıştır. Sonuç olarak, belirlenen problemlerde hata ağacının uygulama sürecine ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kök neden analizi, risk, başarısızlık, güvenilirlik

ABSTRACT

Tunçay K, Fault tree analysis and using in the field of health. Van Yüzüncü Yıl University, Institute of Health Sciences, Department of Biostatistics, M.Sc. Thesis, Van, 2022. The aim of this study is to examine Fault tree analysis (FTA) process with its general features and to explain their usability as a qualitative and quantitative estimation tool. Fault tree determines the state of a particular system and the possible error (fault, negative or failure) that may occur during the working process. It logically relates possible errors with their causes within the framework of a certain display rules and presents them graphically. Generally, in the fault tree, the state of interest is called the top event and the process associated with this top event is defined. In the first step of fault tree construction process, the system (the elements that make up the system, their functional relationships and performance requirements) is defined. In the second step, the result or output is analyzed and the definition and limits of the event are determined. In the third step, the construction of the fault tree is completed by tracing the resulting (output) event (failure, fault, or failure) at the functional level to one or more causes. In the fourth step, the probability or frequency of the outcome (output) event is calculated and finally the results are reported. In the study, an application was performed to identify faults that may pose a risk of transmission for COVID-19 disease. As a result, suggestions were made regarding the application process of Fault tree in the identified problems.

Keywords: Root cause analysis, risk, failure, reliability

İÇİNDEKİLER

KABUL ve ONAY	II
ETİK BEYAN	III
TEŞEKKÜR	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
İÇİNDEKİLER	VII
SİMGELER	VIII
KISALTMALAR	IX
TABLolar LİSTESİ	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
3. GEREÇ VE YÖNTEM	11
3.1. Gereç	11
3.2. Yöntem	12
3.2.1. Hata Ağacı Analizi ile ilgili genel bilgiler	12
3.2.2. Boolean Cebiri	13
3.2.3. En küçük kesim seti kümesi	14
3.2.4. Hata Ağacı Analizinin aşamaları	16
4. BULGULAR	19
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	24
KAYNAKLAR	28
ÖZGEÇMİŞ	31
EKLER	32

SİMGELER

- M : Covid-19 Virüsünün bulaşmasına sebep olan hatalar
- A : Temaslı olma durumu
- B : Covid-19 test sonucunu değerlendirmede yapılan
- A₁ : Enfekte olmuş bir hasta için izolasyon ve klinik önlemler esnasında yapılan hatalar
- A₂ : Sosyal mesafenin korunmaması
- A₃ : Kapalı alanlarda belirtilen kapasiteden daha fazla kişinin bulunması
- B₁ : Virüse yakalanmış bireyin sürüntüsünün doğru alınmaması sonucu testin negatif olması
- B₂ : Mutant virüsün henüz tanımlanmamış olmasıyla testin negatif çıkması
- B₃ : Test sonuçlarının karışmasıyla hatalı negatif sonuç elde etme
- A₁₁ : Hasta yakınlarının temaslı olup gerekli önlemleri almaması
- A₁₂ : Enfekte olmuş bireyin tıbbi ve evsel atıklarından bulaş riski
- A₁₃ : Enfekte olmuş bireyin yanlış izolasyonu

KISALTMALAR

HAA	:	Hata Ağacı Analizi
FTA	:	Fault Tree Analysis
MBDA	:	Model Tabanlı Bağımlılık Analizi
HiP-HOPS	:	Hiyerarşik Olarak Gerçekleştirilen Tehlike Kaynağı ve Yayılma Çalışmaları
PCR	:	Polymerance Chain Reaction – Plimeraz Zincir Reaksiyonu
RNA	:	Ribonükleik Asid – Nükleik Asit



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.	Uygulamada kullanılan olaylar ve referansları	11
Tablo 2.	Hata Ağacı Analizinde kullanılan semboller	13
Tablo 3.	Boolean Cebiri kuralları	14
Tablo 4.	Farklı senaryolara ilişkin olasılık değerleri	23



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	En küçük kesim seti kümesi örneği	15
Şekil 2.	Hata Ağacı üzerinde en küçük kesim seti incelemesi	16
Şekil 3.	Hata Ağacı Analizi akış şeması	17
Şekil 4.	SARS-CoV-2 virüsünün bulaşmasına neden olabilecek hatalar	19
Şekil 5.	Temaslı olma durumları	20
Şekil 6.	COVID-19 test sonucunu değerlendirmede yapılan hatalar	22
Şekil 7.	Oluşturulan Hata Ağacının bütün hali	22



1. GİRİŞ

Hatalar, genellikle istemsiz olarak ortaya çıkmakta olup, meydana gelmeden önce, oluşabilecek durumlara ilişkin olasılıklar hesaplanarak engellenebilir. Bunun için de çoğunlukla Hata Ağacı Analizinden (HAA) yararlanılır. Hata Ağacı Analizi (HAA), kaynağı ne olursa olsun, ortaya çıkan istenmeyen bir olaya, olası etkileri belirlemek üzere geliştirilmiştir. Hata Ağacı Analizi ile yeni kurulacak ya da kullanımda olan bir sistemin güvenlik açıkları, olası riskleri ve sistemin işlevsiz hale gelmesine kadar olan süreç, deterministik veya stokastik olarak belirlenebilir. Bu bağlamda, yöntem, savunma sanayi, Elektrik-Elektronik ve Bilişim sanayi gibi alanlarda uzun yıllar kullanılmakta iken, son yıllarda klinik karar analizleri ve toplum müdahale çalışmaları da dâhil olmak üzere, farklı disiplinlerde ve sağlık alanına ilişkin uygulamalarda da kullanılmaktadır.

Sağlık alanında ve özellikle Tıpta birçok hastalığın tanı ve tedavisinde elektriksel cihazlar veya sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan bu cihazlar, tıp alanında gerekli olmakla birlikte, hayati öneme sahip tehlike ve riskleri taşımaktadır. Özellikle, patlayıcı gazlar ve elektrik kontakları bunların başında gelmektedir. Bu hayati riskler, cihaza bağlı tedavilerde, cihazların arızalanması sonucu hastada kalıcı hasarlar oluşturabilir veya ölümlerle sonuçlanabilir. Ayrıca tıp alanında tanı ve tedavi için kullanılan tek kullanımlık malzemelerin tıbbi atık oluşumlarından doğan bulaş riskleri de mevcuttur. Bunlara ek olarak yanlış bağlanmış veya aşırı yüklemeye yapılmış veya hatalı kullanım sonucu aşırı ısınmaya bağlı olarak, güç sistemlerinde yangın veya diğer istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir. Bu tehlikeli durumlar sonucunda, tıbbi alanlarda çalışanların, hastaların veya ziyaretçilerin yaralanmaları veya ölmeleri söz konusu olabilir. Bu nedenle tıbbi alanlarda yapılan her çalışmada istemli ya da istemsiz hataların mevcut olduğu bilinmektedir.

Sağlık alanında yapılan hataların risk analizinde kullanılmak üzere, üretimin ya da hizmetin ortaya çıkmasında etkili olan, tesis, çalışan (insan), kullanılan araç ve yöntemler gibi unsurlar ve bu unsurların birbirleriyle olan ilişkileri bir sistem olarak tanımlanırsa, bu sistemde yaşanabilecek hatalar ve istenmeyen olayın görülme durumu modellenilebilir. Buradan hareketle birçok alanda ve özellikle de sağlık hizmetlerinde;

istenmeyen sonuçların çıkmasına neden olan başlıca hataların ve yanlış tedavi olgularının her yönüyle değerlendirilebilmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda; Hata Ağacı Analizinin oluşturulması ve elde edilen sonuçların doğru yorumlanması ve tartışılması önemlidir. Bu nedenle çalışmada; Hata Ağacı Analizi, genel özellikleri ve işlem aşamaları ile incelenmiş ve uygulama yapılmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

Hata Ağacı, istenmeyen herhangi bir olaya ilişkin nedenlerin, belirli mantık kuralları çerçevesinde bir araya getirilerek grafiksel olarak sunulmasıdır. Hata Ağacı Analizi (HAA, Fault Tree Analysis, FTA) belki de en iyi bilinen güvenilirlik analizi yöntemidir. Doğru çalışan sistemleri tasarlamak üzere olası yanlışların (hataların) kestirilmesi ve düzeltilmesi gerekir.

Hata Ağacı Analizinin ilk olarak Bell Telefon Laboratuvarları'nda, Watson (1961) tarafından ABD Hava Kuvvetleri sözleşmesi ile bağlantılı olarak Minuteman Missile fırlatma kontrol sistemini incelemek amacıyla tasarlandığı belirtilmektedir. Sistemin normal işleyiş sürecinde, ortaya çıkabilecek olası yanlış veya istenmeyen olayların, bu olayla ilişkili olabilen diğer olaylarla birlikte değerlendirilmesinin daha iyi olacağı belirtilmiştir (Anonim 2021).

Barlow ve Proschan (1975) karmaşık sistemlerin matematiksel yöntemlerle analizinde ve sistem bileşenlerinin güvenilirlik hesaplamalarında Hata Ağacı Analizinin nasıl kullanılacağına değinerek, tepe olayın ortaya çıkma ihtimali ile en küçük kesim kümesinin ihtimalinin birbiri ile uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Anderson (1976) çalışmasında; Hata Ağacı Analizinin temel amacının, sistem arızasının potansiyel nedenlerini araştırmak olan güvenilirlik ve risk değerlendirme yöntemlerinden birisi olduğunu belirtmiştir.

Lee ve ark. (1985) çalışmalarında; Hata Ağacı Analizindeki temel kavramın, fiziksel bir sistemin yapılandırılmış bir mantık diyagramına (Hata Ağacı) dönüştürülmesi olduğunu ve belirli nedenlerin, ilgili tepe olayına yol açtığını vurgulamışlar ve sembolleri kullanarak diyagram oluşturmuşlardır.

Lin ve ark. (1997), Hata Ağacı Analizini kesin olmayan (belirsiz) olaylara sahip bulanık kümeler kullanarak gerçekleştirmişlerdir ve bir uçak kanadı delme sisteminde, beklenmedik robot hareketinin güvenlik sorununu analiz etmişlerdir.

Kurt (1999), insan kaynaklı hataları değerlendirmek üzere, Hata Ağacı Analizini kullanarak, tabanca üretimi yapan bir fabrikada uygulamalar yapmış ve insan kaynaklı hata olasılığını hesaplamıştır.

Hata Ağacı Analizi, sistem arızaları ile sistem bileşeni arızalarındaki olumsuz olaylar arasındaki bağlantıyı gösteren mantıksal bir diyagramdır. Hata Ağacı Analizi, uygulanarak bir sistem üzerinde risk analizi yapmak, ayrıntılı analiz imkânı sağlar. Ayrıca, öğrenme ve uygulama kolaylığı, olasılıklı bir model olması, genel uygulama yazılımına sahip olması ve tutarlılığın belirlenebilmesi, hata ağacı analizinin yaygınlığını artırmaktadır (Ericson, 1999).

Öktem (2001) çalışmasında Hata Ağacı Analizinin en iyi bilinen güvenilirlik analizi yöntemi olduğunu ve 1960'lardan beri kullanımda olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, işlevsel arızaların önemli sonuçları olabileceğini ve tehlike analizine önemli kaynaklar ayırabilen karmaşık teknik sistemler için önemli olduğunu vurgulamıştır.

Cepin ve ark. (2001), klasik Hata Ağacı Analizinin zaman gerekliliklerine değinerek ve Olay Ağacı Analizini Hata Ağacı Analizi ile birleştirerek, uygulamada risk bilgisi için dinamik Hata Ağacı adında yeni bir yöntem önermişlerdir.

Dizdar (2003), sistem güvenilirliği ve sistemin etkili analizinin yapılabilmesi için ikili karar diyagramları kullanarak Hata Ağacı çözümlemesi yapmıştır. Hata Ağacı'nın kapsamını göstermek üzere, ana yol - tali yol birleşiminde iki arabanın çarpışma olasılığını, Relex 7.6 programını kullanarak analiz etmiş ve analiz sonucunda, yılda 6000 arabanın olduğu yerleşim yerlerinde, 6-7 arabanın kaza yapma olasılığının olduğunu belirtmiştir.

Hauptmanns (2004), yoğun hesaplamalar ve zaman alıcı olması nedeniyle çok sayıda yüksek seviyeli güvenilirlik parametrelerinin tahminini, Monte Carlo benzetim temelli yaklaşım ile yapmıştır.

Yuhua ve ark. (2005), petrol ve gaz iletim boru hatlarındaki olası hataları hesaplayabilmek için Bulanık Hata Ağacı Analizi'ni kullanmışlardır.

Özkılıç (2005), “İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri” kitabında; Hata Ağacı Analizinin, sistemde ve sistem bileşenlerindeki hatalar veya istenmeyen olaylar arasındaki etkileşimi gösteren mantıksal diyagramlar olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, tümdengelimli mantığa dayanan bir yöntem olduğunu vurgulamış ve sakıncalı olayı da daha önceden tanımlanmış olay ile hataların nedensel ilişkilerini gösteren olay olarak tanımlamıştır.

Ferdous ve ark., (2007) bilgisayar destekli Hata Ağacı Analizi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemle; Hata Ağacı geliştirme, minimum kesim seti tespiti ve optimizasyonu ile olasılık analizini içermekte ve sistemin duyarlılık analizini yapmaya olanak sağlamaktadır. Bilgisayar destekli Hata Ağacı Analizinin, kolay kullanımlı bir yaklaşım olup güvenilir sonuçlar verdiğini vurgulamışlar ve doğrulama ve analizlerin tekrarlanabilirliğini kolaylaştırdığı için Hata Ağacı Analizi ve nicel risk analizinin genel sonuçlarını geliştirmişlerdir.

Ferdous ve ark. (2009), bilgisayar destekli Hata Ağacı için yöntem geliştirdikten sonra, bilgisayar destekli Bulanık Hata Ağacı üzerine çalışmışlardır. Kimya endüstrisinde kaza olasılıklı Hata Ağacı Analizi sisteminden, geri besleme temel alınarak güvenlik yönetimi için SCAP (S:safety, C and A: credible accidents, P: probabilistic FTA) tekniğini geliştirmişlerdir. Aynı zamanda, bir durum çalışmasıyla bulanık ağırlıklı bir indeksin kullanımını gösterip (sistem için olasılıklı risk analizi) duyarlılık analizinde kesim setlerinin önemini ölçmüş ve değişikliği tasarlamışlardır.

Rao ve ark. (2009), olasılıklı güvenlik değerlendirmesinde, Monte Carlo Simülasyonu kullanarak, Dinamik Hata Ağacı Analizi yapmışlar ve Markov modelini sadece üstel hata ve onarım dağıtımları için uygulamışlardır.

Volkanovski ve ark. (2009), güç sistemi güvenilirlik analizi için Hata Ağacı Analizi yaklaşımını kullanarak yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem, güç sisteminin her yük noktası için oluşturulan Hata Ağacını temel almış ve Hata Ağaçları, jeneratörlerden özel yük noktalarına enerji akışının kesintileriyle ilgili olup, yöntemle güç sisteminin güvenilirliği değerlendirilmiştir. Kalitatif ve kantitatif olarak sistem güvenilirliğine güç sağlaması için katkıda bulunan ana faktörler tespit edilmiştir.

Hong ve ark. (2009), Hata Ağacı Analizini kullanarak üretim ve iletim sistemlerinin güvenilirlik değerlendirmesini yapmışlardır. Tayvan’da bileşik bir sistem üzerinde, önerilen yöntem ile bir örnek çözülerek simülasyon sonuçları elde etmişlerdir. Simülasyon sonuçları, Siemens PTI PSS/E TPLAN yazılım paketi tarafından doğrulanmış ve önerilen yöntemin, büyük ölçek güç sistemleri için uygulanabilir olduğu vurgulanmıştır.

Vaurio, (2010) sistem hatası sayımı, arıza teşhisi, sistem hatası yoğunluğu ve yapılandırma kontrolü ile ilgili birkaç yeni sınır geliştirmek için Hata Ağacı Analizini kullanmıştır.

Marquez ve ark. (2010), çalışmalarında, Bayesian şebeke algoritma taramasının nasıl olduğunu, başarısızlık dağılımlarına zamanın modellemesini ve karmaşık sistemlerin güvenilirlik analizinin basit birleştirilmiş bir yolla performansını göstermişlerdir. Duyarlılık, belirsizlik, tanı analizi, arızaların nedenleri ve garanti analizini de bu çerçevede gerçekleştirmişlerdir.

Şenel ve ark. (2010), Hata Ağacı Analizinin üç temel adımda uygulandığını belirterek, birinci adımın sistem analizi, ikinci adımın Hata Ağacının oluşturulması ve üçüncü adımın ise Hata Ağacının değerlendirilmesi olduğunu ifade etmişlerdir.

Menteş ve ark. (2010), Hata Ağacı Analizinin, tündengelimli mantığa dayanan, sistematik ve grafik analiz yöntemi olduğunu ve bu yöntemin, kök olayların, belirli istenmeyen bir kazanın oluşma olasılığının hesaplamakta kullanıldığını vurgulamışlardır. Ayrıca, bir sistemin hatasının, Hata Ağacında tepe olay (top event) olarak temsil edildiğini ve Hata Ağacında ‘veya’ ve ‘ve’ kapıları gibi mantıksal işaretler ile olaylar arasındaki ilişkinin sembolize edildiğini belirtmişlerdir.

Abazi ve ark. (2011), Dinamik Hata Ağacı ile arızaları filtrelemek için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Mevcut kapıları, oluşabilecek olayların bütün türlerini modellemek için yeterli görmemişler ve PANDW, COUNT ve STOP olarak adlandırılan yeni kapılar önermişlerdir. Bu bilgilerle, kaza-olay olasılık tahminini yaparak, BNs kullanımını göstermişlerdir. Ayrıca, kaza analizi ve risk

değerlendirmesinde, yaygın olan bazı belirsizlik türlerinin yakalanması için çeşitli modelleme yöntemleri üzerinde durmuşlardır.

GümüŖbuęa (2012) alıŖmasında, olası afet bölgeleri içinde en yüksek desteklenememe riskine sahip bölgenin, riskinin en düşük olmasını sağlayan tam sayılı doğrusal olmayan bir p-Merkez Risk (p-MR) optimizasyon modeli geliŖirmiŖtir. Modelde risk; tehdit (bir bölgede afet olma olasılığı), değer (afet sonucu ortaya çıkan kayıp) ve hassasiyet (afet bölgesine tesislerden belirlenen süre içerisinde yardım edilememe olasılığı) terimlerinin çarpımı olarak ifade edilmiŖtir. Tehdit ve değer ile talep noktası kaynaklı belirsizlik, hassasiyetle de tesis ve lojistik ağdaki ayrıt kaynaklı belirsizlik modellenmiŖtir. Hassasiyetin hesaplanmasında, belirlenen süre içerisinde afet bölgesinin desteklenmesini temin etmek amacıyla kaplama ölçütü kullanılmıŖtır. Tesis yerlerine göre deęiŖen hassasiyet değerlerinin hesaplanmasında, risk analizinin araçlarından birisi olan Hata Ağacı Analizi kullanılmıŖtır. Bu yöntemle hassasiyetin kaynakları sistematik olarak araŖtırılmıŖtır. GeliŖtirilen matematiksel modelin çözümünde Evolver özücüsü kullanılmıŖtır.

Waghmode (2013) alıŖmasında; “Hata Ağacı Analizi (FTA), sistem güvenilirliği blok diyagramından daha etkili bir yöntem olan arıza modları üzerinde yoğunlaŖmıŖtır. “FTA'da kullanılan sembollerin anlaşılması kolaydır. Araç, yeni ürün tasarımı veya mevcut ürünlerin iyileŖtirilmesi için endiŖe duyulan alanların belirlenmesine yardımcı olur. Ayrıca sorunları düzeltmek veya azaltmak için düzeltici eylemlerin belirlenmesine yardımcı olur. YaŖam Döngüsü Maliyeti (LCC) modeli ile tasarım optimizasyonu mümkündür. Arıza veri analizi, önemli LCC'yi azaltmaya yardımcı olur. Güvenilir arıza verileri analiz için önemlidir. Güvenilirlik bilgilerini yönetime aktarmanın açık ve özlü bir yolunu sağlar” Ŗeklinde ifade etmiŖtir.

Wang ve ark. (2013), madencilik sektöründe, çekici kamyonla ilgili ölümlü kazaların araŖtırılması için (bu alıŖma sadece niteliksel olarak yürütölmüŖ) 1995-2011 yılları arasında ABD'de (Batı Virginia), meydana gelen 12 kazayı Hata Ağacı Analizi ile incelemiŖlerdir. Bunun için emniyet kemeri kullanım sıklıkları, kaza mahallerindeki eğim dereceleri, her bir kaza mahallinin dağılımı, kazalar sırasındaki kamyon hareketleri, hava koŖulları, nakliye ve eriŖim yollarının özellikleri ve çöp sahasının özellikleri ile her bir kaza için kanun ihlalleri dikkate alınmıŖtır. alıŖma sonucunda 12

kaza için 18 temel neden bulunmuş ve en yaygın kök nedenler yetersiz veya uygun olmayan operasyon öncesi kontrol, yetersiz bakım ve yetersiz eğitim olarak bulunmuştur.

Şenol (2014), Hata Ağacı Analizi (FTA) için bulanık yaklaşımın, herhangi bir bilgi eksikliği durumunda yetersiz olan geleneksel FTA'nın zayıf noktalarıyla başa çıkmak için iyi bir alternatif olabileceğini belirtmiştir.

Erdoğan (2015) çalışmasında; işletmelerde üretilen ürünler için, üretimde ortaya çıkabilecek olası riskleri bulmak, kaza ve istem dışı anormal olayları araştırmak üzere, Hata Ağacı Analizini kullanarak, istenmeyen durumların kök nedenine inilebileceğini ve Hata Ağacı Analizi sonucunda, elde edilen değerlere göre geleceğin planlanabileceğini belirtmiştir. Ayrıca, Hata Ağacı Analizi çalışmalarında, daha çok olayı kapsayan ağaçla çözülebilecek ya da bulanık hesaplamalara olanak tanıyabilen programlar kullanılarak daha kapsamlı analizler yapılabileceğini ifade etmiştir.

Ruijters ve ark. (2015), risk analizinin, tıbbi cihazlar ve nükleer santraller gibi kritik varlıkların, güvenli ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, Hata Ağacı Analizinin (FTA), çeşitli endüstriler tarafından kullanılan en belirgin tekniklerden birisi olduğunu, arızaların sistem içerisinde nasıl yayıldığını ve bileşen arızaları ile sistem arızaları arasındaki ilişkiyi modelleyen grafiksel bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, FTA'nın, sistem tasarımının yeterince güvenilir olup olmadığını araştırdığını ve çeşitli özellikleri ve ölçüleri hesaplamak için önemli yöntemler ve araçlar olduğunu ifade etmişlerdir.

Hata Ağacı Analizi, önceden belirlenmiş, bir olayın ortaya çıkmasına sebep olan paralel veya birbirini izleyen diğer olayları belirleyen bir grafiksel çalışmadır. Hatalar, sisteme veya bileşene bağlı olabileceği gibi insan kaynaklı veya bunları kombinasyonu ile de ortaya çıkabilir. Hata Ağacı Analizi, tepe olay için temel olaylar arasındaki mantıksal etkileşimi ve bağlantıları inceler. Hata Ağacı Analizi bir kantitatif (nicel) analiz yöntemi olmayıp, kantitatif analize gidilmeyi sağlar. Hata Ağacında, kapı (gate) olarak bilinen bağlantılarla mantıksal oluşum şeması belirlenir (Bağan, 2015).

Nikolic ve ark. (2016), bulaşıcı tıbbi atık yönetimi sisteminin arızalanması nedeniyle enfeksiyon yayılmasının potansiyel risklerini belirlemek için Hata Ağacı Analizini kullanmışlardır. Hata Ağacı Analizi, tıbbi atık yönetim sisteminde ortaya çıkabilecek tehlikeler ve riskler hakkında derin bir fikir verir. Nitel Hata Ağacı Analizi (HAA), istenmeyen bir olaya, bu özel durumda tıbbi atık yönetiminin başarısızlığına neden olabilecek tüm olası temel olayların ve bunların ilişkilerinin temsil edilmesini sağlar.

FTA, öncelikle manuel bir süreçtir ve genellikle gayri resmi sistem modellerinde gerçekleştirilir. Sistem tasarımı geliştikçe, bu gayri resmi modeller hızla geçerliliğini yitirebilir ve bu da güvenilirlik değerlendirme sürecini tutarsız ve eksik yapma potansiyeline sahiptir (Kabir, 2017).

Son yirmi yılda yapılan araştırmalar, sistem modellerinden güvenilirlik bilgilerinin nasıl sentezlenebileceğine bakarak güvenilirlik analizini basitleştirmeye odaklanmıştır ve buradan Model Tabanlı Bağımlılık Analizi (MBDA) alanına yönelim olmuştur (Kabir, 2017).

Arslan ve ark. (2017), 10 gemi kazası için kaza nedenlerinin oluşturulmasında, Hata Ağacı Analizini (FTA) kullanarak Monte Carlo Simülasyon çalışması yapmışlardır. Sonuç olarak, sürece uymama ve bilgi eksikliğinin en önemli etmenler olduğunu vurgulamışlardır.

Yavuz (2018), hem kalitatif hem kantitatif risk değerlendirmede Hata Ağacı Analizinin (HAA) kullanılabilirliğini göstermiştir. Sistemde yaşanabilecek tehlikelerin zincirleme halinde nelere yol açabileceğine ve yapılabilecek iyileştirmelerin sisteme ne tür faydalar sağlayabileceğine değinmiştir.

Kutlugün (2018), belirlediği bir kurumun bilgi teknolojisine ait sistemde kesinti raporlarını incelemiştir. Raporlanmış ve çözülmüş problemlere ait verileri kullanarak, bilgi teknolojisi sisteminde ortaya çıkan sistemle ilgili kesintileri, Hata Ağacı Analizi ile incelemiş ve problemlerin kök nedenine ulaşmaya çalışmıştır. Çalışmada yaklaşık bir yıllık kesinti raporları alınmış ve elde edilen kök nedenle ilgili istenmeyen durumlar belirlenmiştir. Ayrıca istenmeyen durumun, tekrar etme riski dikkate alınarak kök

nedene ilişkin frekanslar hesaplanmış ve ortaya çıkma ihtimalleri hesaplanmıştır. Hata Ağacından en küçük kesim kümeleri tespit edilerek, bu kümelerindeki olayların ortaya çıkma ihtimalleri ve temel olayın gerçekleşme ihtimali hesaplanmıştır.

Yalçınkaya ve ark. (2020), karayollarında tehlikeli madde nakliyatında, çevresel faktörlere dayalı olası riskleri incelemişlerdir. Uzman deneyimleri ile 4 farklı durum (senaryo) belirlemişler ve kalitatif risk analizi yöntemi olarak Hata Ağacı Analizini (HAA) kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, ele alınan senaryolarda hatalı durumların giderilmesi ile birlikte, halk sağlığı ve çevre korumasının devamlılığı için önerilerde bulunmuşlardır.



3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

COVID-19 (Koronavirüs) hastalığı, ilk olarak Kasım 2019 tarihinde Çin'in Hubei eyaletinin Wuhan şehrinde görülmüştür. 3 Mart 2020 itibarıyla dünya çapında bir salgına dönüşmüştür. Tüm dünyayı etkileyen bu virüsten korunmanın birçok yolu araştırılmış aşilar geliştirilmiştir (Anonim 2021). Diğer yandan, hastalığın bulaş nedenleri araştırılmıştır.

Bu çalışmanın uygulamasında, COVID-19 hastalığına neden olan SARS-CoV-2 virüsünün bulaş nedenleri (veya hatalar) için Hata Ağacı oluşturulmuştur. Uygulamada kullanılan olayların tanımı ve sembolleri Tablo 1' de özetlenmiştir. Çalışmada tepe olay, SARS-CoV-2 virüsünün bulaşmasına neden olabilecek hatalar, diğer bir ifade ile virüsün bulaşma durumu alınmıştır. Bu olaya neden olabilecek hatalar ise alt olay olarak belirlenmiştir. Alt olayların ortaya çıkma olasılıkları değiştirilerek, 5 farklı durum (senaryo) için tepe olayının ortaya çıkma olasılığı hesaplanmıştır. Hata ağacı oluşturma ve olasılıkların hesaplanması sürecinde, serbest erişimli 'ALD Fault Tree Analyser' programı kullanılmıştır.

Tablo 1. Uygulamada kullanılan olaylar ve referansları

Olay Sembolü	Olay Tanımı
M	SARS-CoV-2 virüsünün bulaşmasına sebep olabilecek hatalar
A	Temaslı olma durumu
B	COVID-19 test sonucunu değerlendirmede yapılan hatalar
A ₁	Enfekte olmuş bir hasta için izolasyon ve klinik önlemler esnasında yapılan hatalar
A ₂	Sosyal mesafenin korunmaması
A ₃	Kapalı alanlarda belirtilen kapasiteden daha fazla kişinin bulunması
B ₁	Virüs taşıyan bireyden sürüntünün doğru alınmaması sonucu testin negatif olması
B ₂	Henüz tanımlanmamış mutant virüs nedeniyle testin negatif çıkması
B ₃	Test sonuçlarının karışmasıyla hatalı negatif sonuç elde etme
A ₁₁	Hasta yakınlarının temaslı olup gerekli önlemleri almaması
A ₁₂	Enfekte olmuş bireyin tıbbi ve evsel atıklarından bulaş riski
A ₁₃	Enfekte olmuş bireyin yanlış izolasyonu

3.2. Yöntem

3.2.1 Hata Ağacı Analizi ile ilgili genel bilgiler

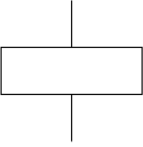
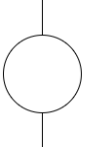
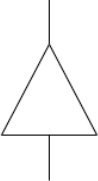
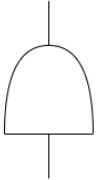
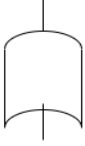
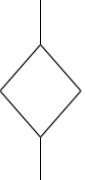
Hata Ağacı Analizi adını, sistemin arızalanmasına neden olabilecek hatalara ulaşılmak üzere, oluşturulan ağaç diyagramına benzer grafik yapıdan almaktadır. Hata Ağacı Analizinde, alt sistemde meydana gelen arızalar ve bunların nedenleri arasındaki etkileşim, grafiksel olarak gösterilir ve yöntem, tündengelim mantığına dayanır (Peeters, et al., 2018). Diğer bir ifade ile herhangi bir istenmeyen olayın ortaya çıkması sürecinde, olayla ilişkili olabilecek diğer olaylar arası sistematik ilişki yapısını açıklar. Hata Ağacı Analizi, kök neden analizi, risk değerlendirme ve güvenlik tasarımı için uygulanır. Herhangi bir sistemde oluşabilecek hataların, mümkün olduğunca, sistemin etkileşim içinde bulunduğu sınırlar içerisinde ele alınması, hatanın nedenlerini belirleyebilmek açısından önemlidir. Zira sistemdeki bir olay, başka bir olayın uyarımı veya etkisi sonucu ortaya çıkabilir.

Hata Ağacı oluşturulurken yaygın kullanılan semboller (geometrik şekiller) Tablo 2’ de verilmiştir. Semboller, mantıksal kapılar ve olaylar olmak üzere iki kategoride ifade edilir. Kapılar, “giriş” olarak verilen olayları birleştiren mantıksal operatörlerdir ve olaylar arasındaki bağlantının türünü belirtmek için kullanılır. Hata Ağacı Analizinde “VE” ve “VEYA” kapıları sıklıkla kullanılır.

Dikdörtgen olay sembolü, bir veya birden fazla olaydan etkilenen olayı göstermek üzere kullanılan semboldür. Temel hataların ve/veya kapılarının oluşturduğu ara olayların mantık kapıları üzerindeki kombinasyonudur (Tablo 2). Daire şeklinde veya çember olay sembolü, Hata Ağacında genelde en alt seviyededir ve temel olayı veya olayları ifade eder. Üçgen olay sembolü, belirgin veya kesin bir olayı ifade etmemekle birlikte, çoğunlukla bir hata ağacını oluşturan alt ağaçlar arasında geçiş için kullanılan semboldür. Bu sembolünün üst kısmında yer alan dikey çizgi, dışarıdan geçişi sağlanan bir Hata Ağacını, alt kısmındaki yatay çizgi ise kendisine bağlı olan bir olayın, ağaçtaki bir başka olayın dalına geçişini ifade eder. Ve kapısı sembolü, bu sembolün altında yer alan girdi olayların meydana gelmesi durumunda, üstünde yer alan olayın oluşumunu ifade eder (Yavuz, 2018). Veya kapısı sembolü, sembolün altında bulunan bir veya birden fazla olaydan, en az birisinin meydana gelmesi durumunda, üstünde bulunan olayın oluşmasını ifade eder (Yavuz, 2018). Karo sembolü, gelişmemiş

olay için kullanılır. Diğer bir ifade ile temel olay gerçekleşmemesine rağmen, veri eksikliğinden dolayı başka bir ağaca çevrilemeyen olaylar için kullanılır.

Tablo 2. Hata Ağacı Analizinde kullanılan semboller (Yavuz, 2018)

SEMBOL	TANIM
	Olay: Birbirine mantık kapısı ile bağlı basit hata olaylarının kombinasyonu ile ortaya çıkan olay.
	Temel olay: İlk durumdaki olay için kullanılır. Daha ileri bir durumun gerçekleşmesini gerektirmeyen olay.
	Transfer sembolü: Bağlantı oluşturma ve birleştirme durumlarında kullanılır. Ağacın başka bir yerde daha ileri bir durumun gerçekleşebileceği noktaya geliştiğini gösterir.
	VE kapısı: Yalnızca sembolün altında olan girdi olaylarının meydana gelmesi durumunda üstünde yer alan olayın oluşmasını belirtir.
	VEYA kapısı: Sembolün altında bulunan bir veya birden fazla olaydan en az birinin meydana gelmesi durumunda yukarıda yer alan olayın oluşmasını belirtir.
	Gelişmemiş olay: Nedeni belirlenmemiş ve tanımı olmayan bir son durumu ifade eder.

3.2.2. Boolean Cebiri

Boolean cebiri, ilk olarak George Boole (1847) tarafından, ‘Mantığın Matematiksel Analizi’ kitabında tanıtılmıştır (Wikipedia, 2018). Boolean, cebirsel işlemlerde mantığı, sistematik olarak incelemiş ve 1854 yılında kendi adı ile bilinen ‘Boolean cebiri’ ni geliştirmiştir. Boolean cebiri veya matematiği, sayısal ya da

mantıksal devrelerin analizinde yaygın olarak kullanıldığından ‘Devre matematiği’ olarak da bilinmektedir (tutorialspoint, 2018). Boolean matematiği, mantıksal kurallar çerçevesinde, kendine özgü kurallar içeren bir matematiksel sistemdir. Karmaşık yapıları olan herhangi bir Boolean ifadesi, Boolean kuralları kullanılarak basitleştirilebilir. Var-yok, bozuk-sağlam, evet-hayır veya açık-kapalı gibi sadece iki sonuçlu (binary) olarak ifade edilebilen olayların, 1 ve 0 olarak kodlanması durumunda ikili cebir veya mantıksal cebir olarak da adlandırılır (Revision, 2018).

Yalnızca iki sonuç içeren ikili değişkenler, Boolean cebirinde; 1 veya 0 olarak ifade edilir. Herhangi bir Boolean ifadesi, herhangi bir sonucu belirtmek veya temsil etmek üzere, birbirinden bağımsız olarak belirtilmiş çok sayıda değişken içerebilir.

Boolean cebiri, temel matematiksel işlemlerden çarpma ve toplama işlemini kullanır. Boolean cebirinde, ‘VE’ mantık kapısının karşılığı çarpma işlemi iken ‘VEYA’ mantık kapısının karşılığı toplama işlemidir. Böylece, mantıksal şemalar içinde kullanılan mantık kapıları ve bunlara ait olasılıklar, Boolean cebiri kuralları çerçevesinde hesaplanır. Yaygın kullanılan Boolean cebiri kuralları Tablo 3’te özetlenmiştir.

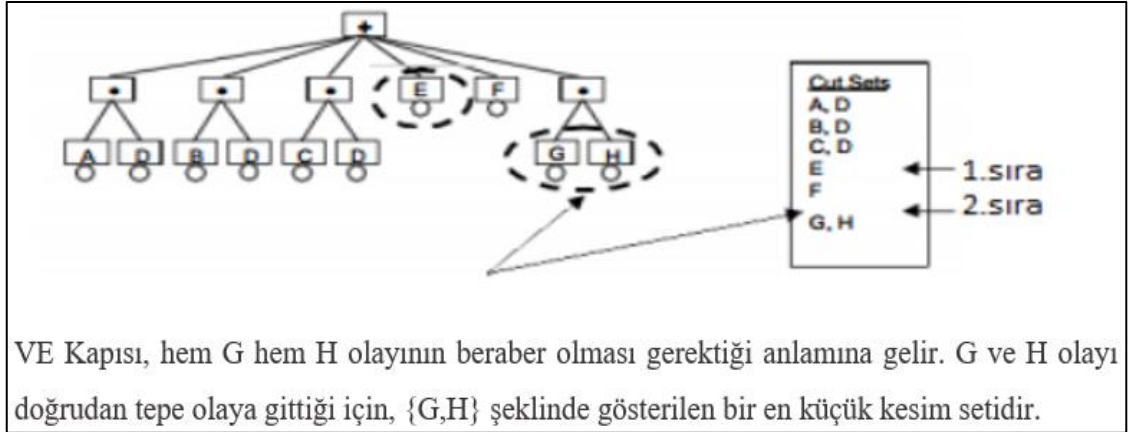
Tablo 3. Boolean Cebiri kuralları (Wikipedia, 2018)

Değişebilirlik Kuralı (Commutative Law)	$A + B = B + A$ $A \cdot B = B \cdot A$
Birleşme Kuralı (Associative Law)	$(A + B) + C = A + (B + C)$ $(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$
Dağılma Kuralı (Distributive Law)	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$ $A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
Özdeşlik Kuralı (Identify Law)	$(A + A) = A$ $A \cdot A = A$
Fazlalık Kuralı (Redundance Law)	$A \cdot (A + B) = A$
Soğurma Kuralı (Absorption Law)	$(A \cdot B) + A = A$ $(A + B) \cdot B = B$
De Morgan Kuralı (De Morgan Law)	$(A + B) = A \cdot B$ $(A \cdot B) = (A + B)$

3.2.3 En küçük kesim seti kümesi

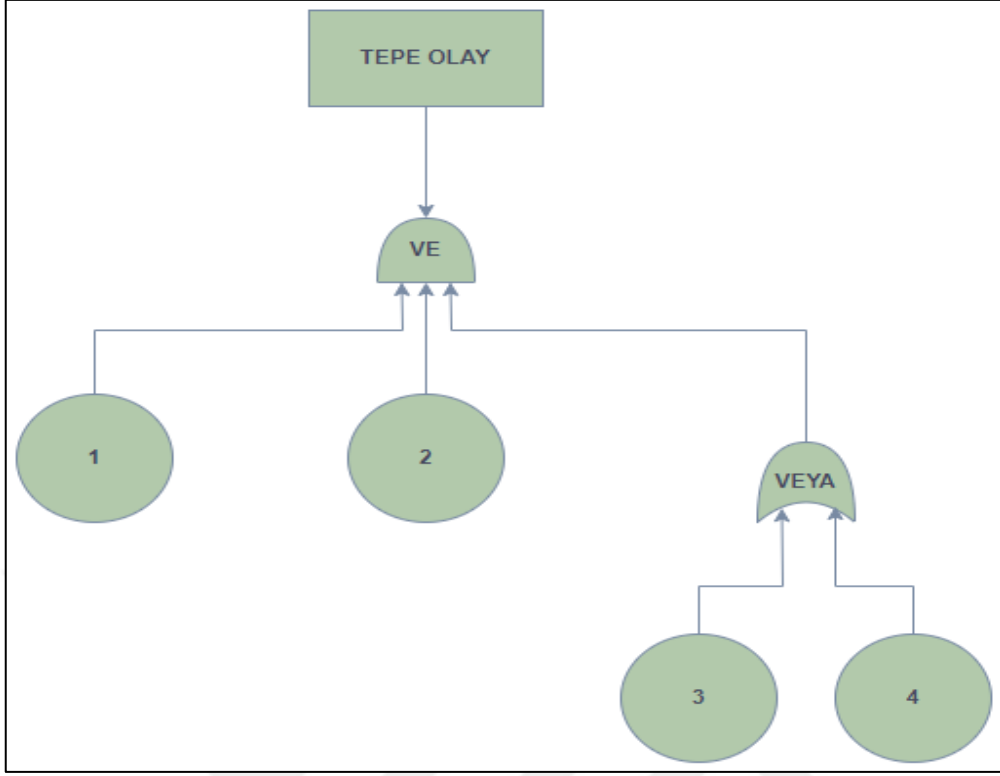
Hata Ağacında, tepe olay olarak bilinen hata veya istenmeyen durum için bu olayın meydana gelmesine neden olan ve en küçük kesim seti olarak da ifade edilen

temel olaylar tanımlanır. En düşük kesim seti, tepe olayın ortaya çıkmasına neden olan en az veya asgari düzeydeki olay setidir. En küçük kesim seti kümesini oluşturan, olaylardan herhangi birisinin kesim setinden çıkarılması durumunda tepe olay oluşmaz. Bütün en küçük kesim seti kümeleri belirlenerek, sistemin hata özelliği ortaya konulabilir (Ramamoorthy ve ark., 1977).



Şekil 1. En küçük kesim seti kümesi örneği

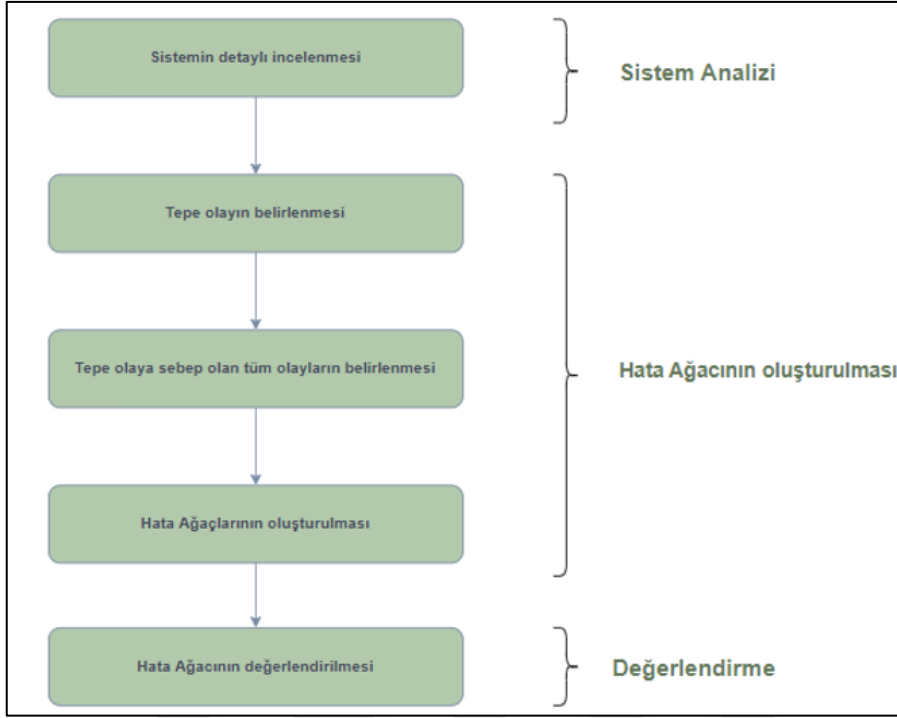
En küçük kesim seti araştırması, bir sistemin tanımlanmasına, yetersiz veya eksik yönlerinin azaltılmasına ve oluşturulan sistemin başarılı olmasına katkı sağlar (Saka, 2012). En küçük kesim seti, tepe olayın oluşmasına sebep olan minimum Hata Ağacı grubudur. Herhangi bir kesim seti, Boolean cebiri kullanılarak en küçük kesim setine indirgenebilir (Saka, 2012). Karmaşık sistemlerde, en küçük kesim setlerinin tespiti zor olduğundan, tepe olayın oluşumunda Boolean cebirinden yararlanılabilir (Ramamoorthy ve ark., 1977). En küçük kesim setlerinin her birisi, tepe olayının ortaya çıkmasına neden olan yeter sayıda VE kapısı içerir. En küçük kesim setinin şematik yapısı Şekil 1’ de verilmiştir. Şekil 2’ de, görüldüğü üzere 3 ve 4 olarak gösterilen olaylardan herhangi birisi çıkarıldığında, geri kalan 1 ve 2 olayları bir kesim seti oluşturur.



Şekil 2. Hata Ağacı üzerinde en küçük kesim seti incelemesi

3.2.4. Hata Ağacı Analizinin aşamaları

Hata Ağacı Analizi, analize konu olan istenmeyen bir olayın veya arızanın tanımlanması ile başlar ve süreç üç aşamadan oluşur. Birinci aşamada, bileşen çalışma ve hata modları, diğer bir ifade ile her bileşenin çıkış durumu ile giriş ve dâhili çalışma modları tanımlanır. İkinci aşamada sistem şeması oluşturulur. Sistem şemasında, bileşenlerin birbirlerine bağlanma şeması tasarlanır ve tüm işlevsel bağlantılar gösterilir. Üçüncü aşamada ise sistem sınır koşulları belirlenir. Böylece herhangi bir sistemin güvenilirlik durumu, Hata Ağacının kantitatif değerlendirmesi ile incelenebilir. Hata Ağacının çizileceği durumlar tanımlanır. Üst olay, başlangıç koşulları, var olan veya izin verilmeyen olaylar ve ağaç üst kısmı sistem sınır koşullarını oluşturur. Olası karşılaşılabilecek hataların, geri dönüşümsüz etkilerinin baştan tahmini için kritik noktalar belirlenir. Eldeki verilerden veya benzetim (simülasyon) çalışması sonucu elde edilen oranlardan modelleme yapılabilir. Buna göre Hata Ağacı Analizi akış şeması Şekil 3'teki gibi oluşturulabilir.



Şekil 3. Hata Ağacı Analizi akış şeması

Problem tanımı: Hata Ağaçları genel olarak, herhangi bir sistemdeki arızaya, hataya veya istenmeyen bir olumsuz duruma neden olabilecek olayları analiz etmek üzere tasarlanır. Bu nedenle Hata Ağacı Analizinde öncelikle, tepe olay (çıktı ve sonuç olayı) ve bu olayla ilişkili olabilen nedensel olayların, mantıksal çerçevede tanımlanması gerekir.

Sistem sınırları ve tepe olayın belirlenmesi: Problem tanımlaması yapıldıktan sonraki ilk işlem, bu problemin tepe olay olarak ifade edilmesidir. Bunun için sistemin iyi tanımlanmış olması ve tepe olaya neden olabileceği düşünülen alt olayların, doğru bir şekilde ilişkilendirilmesi gerekmektedir.

Hata Ağacının oluşturulması: Hata Ağacı oluşturulurken, tepe olayın birden fazla alt olayla ilişkilendirilip ilişkilendirilemeyeceği belirlenir. Tepe olay ve bu olaya neden olan olaylar belirlendikten sonra ağaç oluşturulur. Ağacı oluşturmada mantıksal kapılar ve olayları ifade etmek üzere semboller kullanılır. Olaylar arası ilişkiler, mantıksal olarak tasarlanmış kapılarla gösterilir. Birden fazla temel olayın aynı olayı oluşturduğuna dair bir gösterge yoksa bu olaylar birbirinden bağımsız olaylar olarak değerlendirilir ve bunlar için VEYA mantıksal kapısı kullanılır. Böylece analiz, tepe

olayın yer aldığı üst noktadan en küçük kesim setine kadar olan en alt olayların, uygun bir şekilde bağlanması ile devam eder. Hata Ağacı oluşturma sürecinde, tepe olayına etki edebileceği düşünülen hiçbir önemli olay gözden kaçırılmamalıdır (Öktem, 2006). Zira Hata Ağacının oluşturulması süreci, tepe olaydan başlanarak, yinelemeli olarak devam eder.

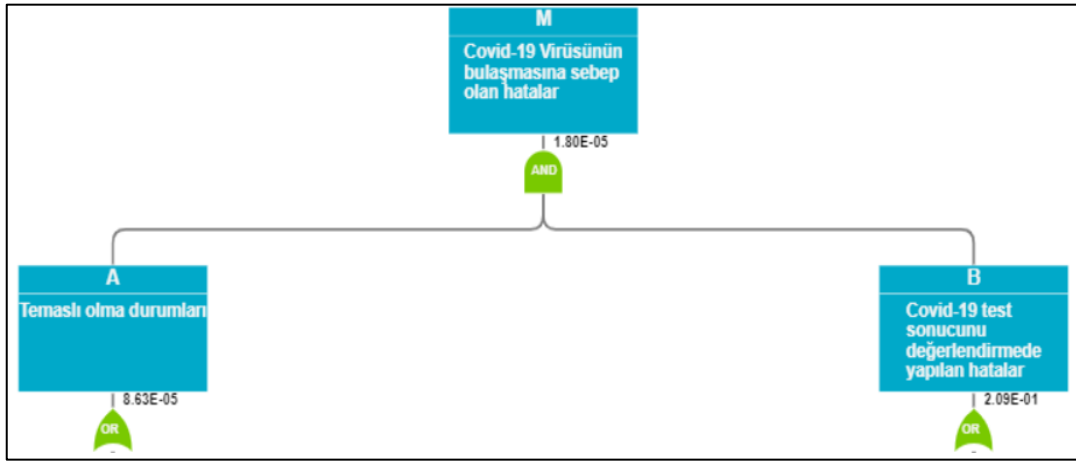
En küçük kesim setlerinin bulunması: Kesim setleri, olasılık hesaplamalarında kolaylık sağlamaktadır. Mantıksal kapılar yardımı ile Hata Ağacı üzerindeki, en küçük kesim setleri bulunur ve her bir olayın gerçekleşme olasılığı belirlenir. Tepe olayın meydana gelme olasılığı, her bir kesim seti için olayların oluşma olasılıkları kullanılarak hesaplanır.

Hata Ağacının kantitatif analizi: Hata Ağacı Analizi, sistemde seçilen tepe olaya göre oluşturulup, en küçük kesim setleri belirlendikten sonra, tepe olayın olma olasılığını belirlemek üzere kantitatif analiz yapılır. Tepe olayın meydana gelme olasılığının, en küçük kesim setinin meydana gelme olasılığına eşit olduğu görülür. Bu nedenle, tüm Hata Ağacı üzerinde hesaplama yapmak yerine, en küçük kesim setleri kullanılmaktadır. Her bir olayın olma olasılığı, Hata Ağacı üzerindeki en küçük kesim setleri kullanılarak alınır ve Hata Ağacı üzerindeki mantıksal kapılar yardımı ile Boolean cebiri kurallarına uygun bir şekilde hesaplama yapılır.

4. BULGULAR

Çalışmanın gereç ve yöntem bölümünde belirtilen ve “M” olarak belirtilen SARS-CoV-2 virüsünün bulaşmasına neden olabilecek hatalar, “tepe olay” olarak varsayılarak, bu olayın ortaya çıkmasına neden olabilecek olaylar “alt olaylar” olarak ifade edilmiştir.

HAA-M SARS-CoV-2 virüsünün bulaşmasına neden olabilecek hatalar: COVID-19 hastalığının birçok bulaşma yolu vardır. Tepe olayda virüsün bulaşmasına sebep olabilecek alt olaylar vardır.



Şekil 4. SARS-CoV-2 virüsünün bulaşmasına neden olabilecek hatalar

HAA-A Temaslı olma durumları: COVID-19 hastalığına yakalanmış bir birey ile aynı ortamda, mesafe ve maske kurallarına uymaksızın bulunan diğer bireylere temaslı bireyler denir. Temaslı bireyler hastalığa yakalanmış ya da hastalığı taşıyor olabilir. Test sonuçları pozitif olmamasına rağmen temaslı bireylerin de izole olması gerekmektedir. Temaslı olma durumunun alt olaylarının olasılıkları toplamı temaslı olma durumunda meydana gelecek hataların olasılığını verecektir.

A₁ Enfekte olmuş bir hasta için izolasyon ve klinik önlemler esnasında yapılan hatalar: Hasta izolasyonunun yeterli olmadığı koşullarda hasta yakınlarına virüsün bulaşma riski oluşacaktır.

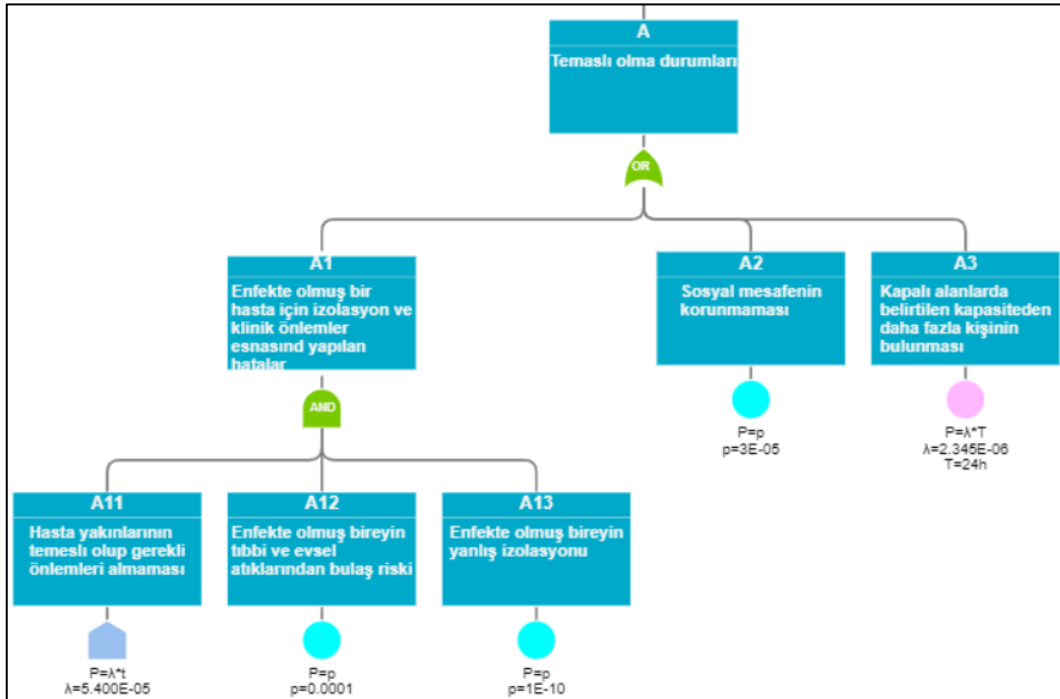
A₂ Sosyal mesafenin korunmaması: Sosyal mesafeyi korumak, COVID-19 ve damlacık yoluyla bulaşabilecek diğer enfeksiyonlardan koruyacaktır.

A₃ Kapalı alanlarda belirtilen kapasiteden daha fazla kişinin bulunması: A alışveriş merkezleri, restoranlar, kafeler ve kütüphaneler gibi kapalı alanların, sosyal mesafe kurallarını sağlayamayacak şekilde kalabalık olması durumu, virüsün bulaşma riskini artacaktır.

A₁₁ Hasta yakınlarının teması olup gerekli önlemleri almaması: Temaslı bireylerin de virüsü taşıma olasılıkları göz önüne alındığında, temaslı bireyin, enfekte olmuş birey kadar izole olup sosyal sorumluluğunu yerine getirmesi gerekmektedir.

A₁₂ Enfekte olmuş bireyin tıbbi ve evsel atıklarının bulaş riski: Solunum ve damlacık yoluyla bulaşan bu hastalık, kullanılan eşyalar üzerinde de belli bir süre canlılığını koruyarak bulaşma olasılığını artırmaktadır. Bu nedenle, hasta bireylerin atıklarının uygun koşullarda paketlenerek, çöpe atılması oluşabilecek bulaş riskini azaltmaya yardımcı olabilir.

A₁₃ Enfekte olmuş bireyin yanlış izolasyonu: Hasta birey izole olurken, aile bireyleriyle aynı odada bulunmamalı, kullanılan ortak alanlarda da hijyen kurallarına olabildiğince uymalıdır. Aksi takdirde aile bireylerine de bulaştırma olasılığı artacaktır.



Şekil 5. Temaslı olma durumları

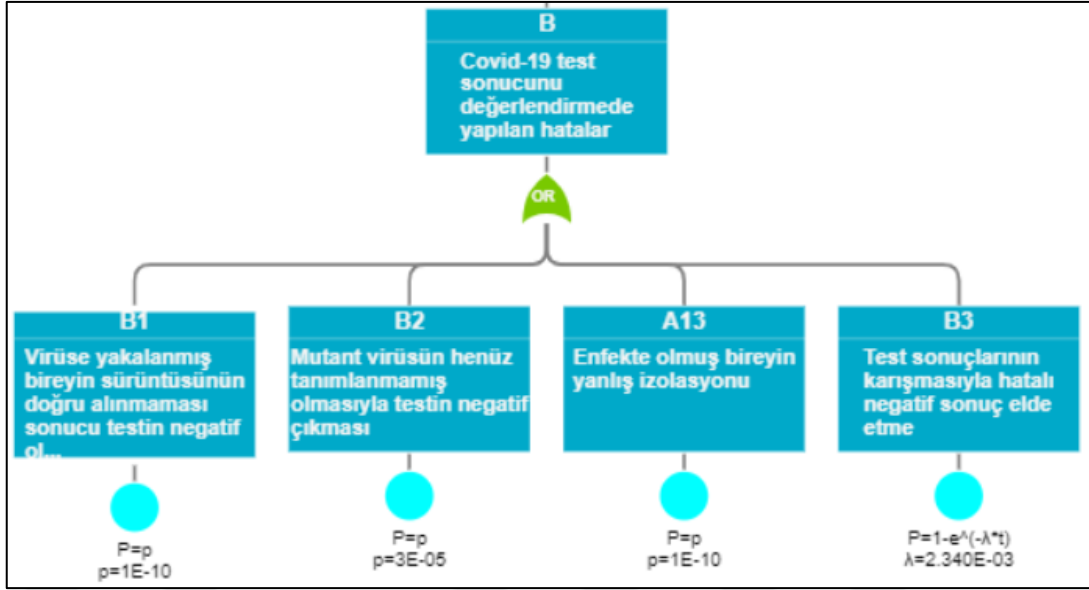
HAA-B COVID-19 test sonucunu değerlendirmede yapılan hatalar:

COVID-19 testinin güvenilir bir sonuç vermesi için hastalardan alınan sürüntü örneklerinin doğru yerden alınması gerekmektedir. PCR testinin sonuçları RNA tespitine göre değerlendirildiğinden, alınan testin örneğinde bulunan RNA miktarı önemlidir. Alınan test laboratuvara gönderilirken virüsün mutasyon geçirme olasılığı ve COVID-19 PCR test inhibisyonu gibi teknik hataların test sonucunu etkileyeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

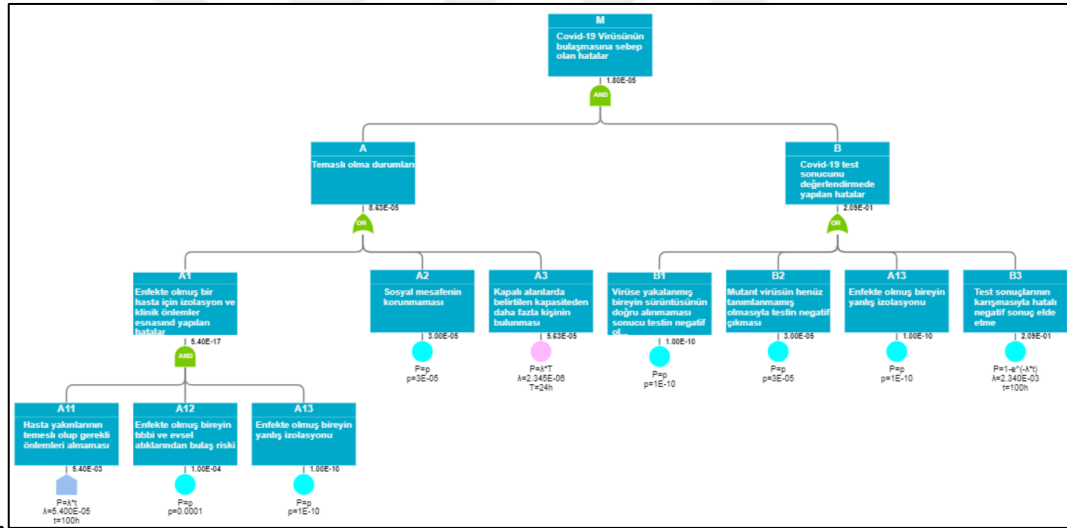
B₁ Virüse yakalanmış bireyin sürüntüsünün doğru alınmaması sonucu testin negatif olması: Hasta birey hatalı bir test sonucunda aslında pozitifken, negatif olduğunu düşünerek izole olmayacaktır ve bulaş riskini artıracaktır. Ayrıca hasta bireyin tedavi olması gereken durumda, test sonucunun negatif olduğunu düşündüğü için tedavi olmayacaktır.

B₂ Mutant virüsün henüz tanımlanmamış olmasıyla testin negatif çıkması: COVID-19 salgınının başladığı zamandan beri virüsün birçok varyantı ve semptomu saptandı. Yapılan testlerde, mutant virüsü fark edilmeyebilir. Bu durumda, enfekte olmuş birey bulaş riskini artırmış olacaktır. Virüsün bireyden bireye geçişi veya aktarılması, mutasyona uğrama olasılığını artıracaktır.

B₃ Test sonuçlarının karışmasıyla hatalı negatif sonuç elde etme: COVID-19 testi sürecinde, sağlık çalışanının hata yapması durumunda alınan sürüntü örnekleri karışabilir. Bu durumda, test sonucu negatif olan birey gerçekte pozitifken, gerekli önlemleri almayacak ya da tedavi olmayacaktır. Diğer yandan, test sonucu pozitif olan birey de gerçekte negatif olduğundan gereksiz tedavi almış olacaktır.



Şekil 6. COVID-19 test sonucunu değerlendirmede yapılan hatalar



Şekil 7. Oluşturulan Hata Ağacının bütün hali

Çalışmada yapılan Hata Ağacı Analizinin alt olaylarının olasılık değerleri değiştirilerek, elde edilen farklı senaryolara ilişkin sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Buna göre en alt olaylardan olan A₁₁, A₁₂ ve A₁₃ kodlu olayların değişimi, A₁ olayının olasılık değerini etkilemektedir. Benzer şekilde; A₁, A₂ ve A₃ alt olayları A olayını, B₁, B₂ ve B₃ alt olayları da B olayını etkilemektedir. Değişen A ve B olaylarının olasılıkları sonucunda tepe olay olan M olayının olasılığı değişmektedir.

Tablo 4. Farklı senaryolara ilişkin olasılık değerleri

Olay Sembolü	Ağaçtaki Durum	1. Durum	2. Durum	3. Durum	4. Durum	5. Durum
A ₁₁	5.40E-03	4.40E-03	3.40E-03	2.40E-03	1.40E-03	0.40E-03
A ₁₂	1.00E-04	1.00E-05	1.00E-06	1.00E-07	1.00E-08	1.00E-09
A ₁₃	1.00E-10	1.00E-11	1.00E-12	1.00E-13	1.00E-14	1.00E-15
A ₁	5.40E-17	5.40E-19	5.40E-21	5.40E-23	5.40E-25	5.40E-27
A ₂	3.00E-05	3.00E-06	3.00E-07	3.00E-08	3.00E-09	3.00E-10
A ₃	5.63E-05	5.65E-05	5.67E-05	5.69E-05	5.71E-05	5.73E-05
B ₁	1.00E-10	1.00E-11	1.00E-12	1.00E-13	1.00E-14	1.00E-15
B ₂	3.00E-05	3.00E-06	3.00E-07	3.00E-08	3.00E-09	3.00E-10
B ₃	2.09E-01	2.001E-01	2.002E-01	2.003E-01	2.004E-01	2.005E-01
A	8.63E-05	5.95E-05	5.71E-05	5.70E-05	5.69E-05	5.68E-05
B	2.09E-01	3.00E-01	3.40E-03	2.40E-03	1.40E-03	0.40E-03
M	1.80E-05	1.79E-10	1.94E-07	1.37E-07	1.35E-07	1.39E-07

A₁₁ alt olayının ağaçtaki 54×10^{-4} olasılık değeri, 44×10^{-4} olarak değiştirildiğinde, A₁₂ alt olayının ağaçtaki değeri 1×10^{-4} iken, 1×10^{-5} ile değiştirildiğinde ve A₁₃ alt olayının olasılık değeri 1×10^{-10} , dan 1×10^{-11} , e değiştirdiğinde, A₁ alt olayının ağaçtaki değeri 54×10^{-17} , den 54×10^{-19} , a değişim göstermiştir. A₂ ve A₃ alt olaylarının ağaçtaki değerleri sırasıyla; 3×10^{-5} ve 563×10^{-5} iken Tablo 4’te 1. durumdaki değerler sırasıyla 3×10^{-6} ve 565×10^{-5} şeklinde değiştirilerek, A alt olayının ağaçtaki değeri, 863×10^{-5} , ten 1. durumdaki 595×10^{-5} değerine değişim göstermiştir.

B₁ alt olayının ağaçtaki değeri 1×10^{-10} iken, 1. durumdaki değeri 1×10^{-10} olarak, B₂ alt olayının ağaçtaki değeri 3×10^{-5} iken, 1. durumdaki değeri 3×10^{-6} olarak, B₃ alt olayının ağaçtaki değeri 209×10^{-3} iken 1. durumdaki değeri 3×10^{-3} olarak değiştirilmiş ve bunun sonucunda B alt olayının ağaçtaki değeri 209×10^{-3} , ten (1. durumdaki değeri) 3×10^{-3} , e değişim göstermiştir.

A ve B alt olaylarının bu değişimi sonucunda, M tepe olayının ağaçtaki değeri, 180×10^{-7} , ten 179×10^{-12} , e değişim göstermiştir. Ağaçtaki alt olayların olasılıklarının değişimine bağlı olarak, M tepe olayının olasılığı da değişmektedir.

Alt olaylardaki değişimlere bağlı olarak, M tepe olayındaki değişimleri gözlemek üzere üretilen farklı senaryolardaki sonuçlar Tablo 4’te verilmiştir. Tablo 4’te görüldüğü üzere; M tepe olayının 2. durumdaki olasılığı 194×10^{-9} , 3. durumdaki

olasılığı 137×10^{-9} , 4. durumdaki olasılığı 135×10^{-9} , 5. durumdaki olasılığı 139×10^{-9} olarak değişim göstermiştir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada, Hata Ağacı Analizi, genel özellikleri ile tanıtılarak COVID-19 hastalığı için bulaş riskini oluşturabilecek hataları belirlemek üzere uygulama yapılmıştır. Zira, COVID-19 salgını, hala dünya çapında önemli bir sağlık sorunu olarak güncelliğini devam ettirmekte ve %2-3 oranında ölümlerle sonuçlanmaktadır (Anonim 2021). Hastalığın bulaş riskinin azaltılmasında; temasın azaltılması, kesin veya şüpheli vakaların izolasyonu ve koruyucu ekipmanların etkin kullanılması büyük öneme sahiptir.

Çalışmada, alt olayların gerçekleşme durumuna, farklı olasılık değerleri atanarak, bu olasılık değerleri için tepe olayın olma olasılıkları hesaplanmış ve şekiller üzerinde gösterilmiştir. Ağaçtaki durum veya senaryo için temaslı olma olasılığı (A) 863×10^{-7} olarak hesaplanırken, COVID-19 sonucunu değerlendirmede yapılan hatalar (B) 209×10^{-3} olarak hesaplanmıştır. Son olarak, tepe olay olan SARS-CoV-2 virüsünün bulaşmasına neden olan hataların gerçekleşme olasılığı (M) 18×10^{-6} olarak hesaplanmıştır. Bu olasılıklar değiştirilerek, beş durum için de hesaplama yapılmıştır. Ancak, alt olaylardaki olasılıkların, belirli oranlardaki değişimi ile bu olasılıklara bağlı olarak, M tepe olayındaki olasılıkların değişimi arasında belirgin bir ilişki gözlenmemiştir. Diğer bir ifade ile alt olayların olasılıklarındaki azalma, tepe olayında belirli bir yönde değişime neden olmayıp, hem artma hem de azalma yönünde etki göstermiştir.

Çalışmada Hata Ağacı Analizi ve gerekli hesaplamalar için serbest erişimli 'ALD Fault Tree Analyser' programı kullanılmıştır. Hata Ağacı Analizinde 'DPL 9 Hata Ağacı Analizi' programı da bulunmaktadır. Her iki programın veya uygulamanın çalışma prensipleri birbirine benzerdir. Ancak, 'DPL 9 Hata Ağacı Analizi' ücretli bir uygulama iken, 'ALD Fault Tree Analyser' ücretsiz bir uygulamadır.

Uygulamada kullanılan 'ALD Fault Tree Analyser' programında, bir olayın zamana bağlı minimum ve maksimum olma olasılıkları sisteme girilir. Bu, meydana gelme olasılığı en az 1×10^{-6} olan kesim kümelerini gösterir. Bu durumda, olasılık değeri olarak 0 (sıfır) ile 1 (bir) arasında herhangi bir sayı girilebilir. Uygulamada minimum ve

maksimum kesim setleri hesaplanır ve kesim setleri olasılığa göre azalan sırada olduğundan, ilk önce en yüksek olasılıklı kesim setleri gösterilir. Bölümün geri kalanı için üst olay, tüm Hata Ağacının en üst olayı olması gerekmeyen, kesim setlerinin hesaplandığı olaya atıfta bulunulur. Olayların kısa adları şemada görüntülenir. Devre şemasındaki olayların kısa ve uzun adları, programda olayın gösterildiği ikona çift tıklanarak görüntülenebilir.

Uygulamada, olasılık değerlerine ek olarak, temel olay için gerçek durum maliyeti ve bir yanlış durum maliyeti de belirlemek mümkündür. Bir olayın gerçek durum maliyeti, olayı doğru olmaya zorlamanın maliyetidir. Bir Hata Ağacındaki tüm olaylar için maliyet verileri belirtilirse, bu durum, minimum olasılık kısıtlamalarının yanı sıra maksimum maliyetle kesim seti oluşturma ve sınırlamaya olanak sağlar.

Hata Ağacı Analizinin temel amacı, bir sistemin güvenilirliği ile ilişkili olarak, olası ortaya çıkabilecek arızanın tanımlanması ve bu arızaya neden olan karmaşık ve ilişkili etkenlerin diyagramla gösterilmesidir. Hata Ağacı Analizi, genellikle karmaşık sistemleri inceler, istenmeyen sonuca veya olaya etkili olan faktörleri belirler. Bir sistemin emniyeti, güvenilirlik durumu, kullanılabilirlik veya kullanılamazlık durumu ile birlikte, olası kaza için araştırma yapmaya yarayan bir araçtır. Sanal bir model oluşturur ve çıktı veya sonuç ile neden arasındaki ilişkiyi görsel olarak tanımlar.

Hata ağacı analizi, çoğunlukla “hata” olarak ifade edilen istenmeyen bir olayın nedenlerini mantıksal bir grafikte sunar. Sistemi oluşturan yapının veya bileşenin durumunu, göstermek üzere mantıksal olarak kurulmuş kapılar ve olaylarla açıklamaya çalışır.

Hata Ağacı Analizinde diyagram oluşturulurken, muhtemel bir olumsuz veya istenmeyen olaya neden olabilecek olaylar sorgulanır. Ağaçta, sistemdeki olumsuz durum veya hata durumları, normal olaylar, bileşen ve alt bileşenlerle birlikte, sistemin diğer unsurları, zaman ve çevresel etkiler yer alır (Ericson, 1999). Analizde, sistem, tepe olaydan aşağıya doğru diğer bir ifade ile istenmeyen olaydan veya arızadan başlayarak geriye doğru incelenir. En üstte yer alan tepe olay için olası hata yolları mantıksal olarak aşağıya doğru izlenir. Her hata yolunun alt kısmında, hataya veya arızaya neden olan temel olay bulunur. Bu temel olayların her birine, eldeki hata verilerine göre

hesaplanmış bir başarısızlık oranı atanır (Dan M. Shalev, Joseph Tiran, 2007). Temel başarısızlık oranları, ara olayların başarısızlık oranı ile ilişkili olacak şekilde, mantık kapıları boyunca ilerler ve son olarak tepe olayın başarısızlık oranını belirler. Sistemin güvenilirliği, üst olay başarısızlık oranından, diğer bir ifade ile sistemin başarısız olma olasılığından veya başarılı çalışma olasılığından türetilir.

Hata Ağacı Analizi, istenmeyen veya çoğunlukla hata ya da arıza olarak adlandırılan olaya odaklanır ve herhangi bir sistem içeren her alanda kullanılabilir. Hata Ağacı Analizi hem nitel hem de nitel bir çözümleme yöntemidir. Nicel çözümleme ile tepe olayın görülme ihtimali belirlenir. Buna göre sistemin güvenilirliği incelenir. Nitel çözümleme ile de hatanın olasılığı değerlendirilir, sistemdeki esas hataların tespit edilebilmesi için en küçük kesim seti (minimal cut set) değerlendirmesi yapılır (Erdoğan, 2015).

Hata Ağacının kullanım alanları ve amaçları; herhangi bir sistemin veya tasarımın güvenlik gereksinimlerine uygunluğunun belirlenmesi ve test edilmesi, sistemde arıza veya istenmeyen duruma sebebiyet veren olası nedenlerin belirlenmesi ve buna bağlı istenmeyen olayı engellemek üzere önleyici tedbirlerin, önceden alınabilmesi olarak özetlenebilir (Erdoğan, 2015).

Hata Ağacı, olaylar arasındaki ilişkileri düzenlerken, Olay Ağacı (Event Tree), koşullu olasılıklarla bağlantılı olay dizilerini düzenler. Teorik olarak, Olay Ağacı daha iyi süreklilik kavramlarını (mantıksal, zamansal ve fiziksel) işleyebilirken, Hata Ağacı en çok (maksimum) hata senaryolarını tanımlama ve basitleştirmede güçlüdür (Pate-Cornel, 1984).

Bilindiği üzere, cevap değişkeni kategorik ise Karar Ağacı (Decision Tree), Sınıflandırma Ağacı (Classification Tree), sürekli ise Regresyon Ağacı (Regression Tree) olarak bilinir. Karar Ağacı veya Sınıflandırma Ağacı yöntemleri veri madenciliği yöntemlerinden birisi olup, araştırmacının ilgilendiği bağımlı (cevap değişkeni) değişken ile diğer değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışır. Sınıflandırma Ağacında, ağaç diyagramını oluşturma işlemi, ikili özyinelemeli bölümlenme (binary recursive partitioning) olarak bilinen iteratif sürece dayanır. Bölümlenme kriteri olarak çoğunlukla Gini İndex'i kullanılır. Karar Ağacında, ağacın büyütülmesi sürecinde, en uygun ağaç yapısına ulaşmak ve aşırı uyumu engellemek (over-fitting) üzere budama işlemi yapılır.

Buna karşılık, Hata Ağacı Analizi, hata veya arıza olarak da bilinen istenmeyen olayın analizini (çözümlemesini) sağlayan tündengekim metoduna dayalı bir analiz yöntemidir. Çözümleme işlemleri, çoğunlukla Boolean cebirine dayalı olarak yapılır. Karar Ağacında cevap değişkeni ile diğer değişkenlerin ilişkili düzeyleri analiz sürecinde belirlenirken, Hata Ağacı çözümlemesinde tepe olayın (veya cevap değişkeninin) olma olasılığına etkili olabilecek alt olaylar ve bunların gerçekleşme olasılıkları, başlangıçta araştırmacı tarafından belirlenir. Tepe olayı ile alt olaylar arasındaki ilişki mantıksal olarak kurulur. Karar Ağacında olduğu gibi herhangi bir budama süreci ve buna bağlı olarak herhangi bir kriter içermez.

Hata Ağacı Analizi, araştırmacının; tepe olay olarak belirlediği herhangi bir istenmeyen olayın, arızanın veya hatanın ortaya çıkması ile ilişkili olarak, etkili olabileceğini düşündüğü alt olaylar arasındaki etkileşimi mantıksal çerçevede ağaç diyagramı olarak sunan ve bu tepe olay ile alt olaylara ilişkin olasılıkları hesaplayabilen bir çözümleme yöntemi olarak tarif edilebilir. Diğer yandan Hata Ağacı Analizi, yaygın kullanılan bir güvenilirlik analizi yöntemi olarak da düşünülebilir. Başta sağlık alanı olmak üzere, birçok alanda gerek sistem kaynaklı, gerekse insan kaynaklı olası hataları öngörerek bunların ortaya çıkmasını engellemeye yönelik (önceden) gerekli tedbirlerin alınmasına katkı sunabilir. Bununla birlikte, tepe olayın diğer olaylarla ilişkisini diyagram şeklinde (görsel olarak) sunarak, sonuçların kolay yorumlanabilir olmasına katkı sağlar. Diğer yandan, hesaplama adımlarının biraz zaman alıcı olduğu ve tepe olay ile bu olaya neden olan alt olaylar arasındaki ilişki yapısının kurulmasında uzmanlık bilgisi gerektirdiği söylenebilir. Hata Ağacı Analizinin, bu analiz yöntemine benzerlik gösteren; Karar Ağacı ve Olay Ağacı gibi diğer analiz yöntemleriyle ilişkisini, benzerlik ve farklılıklarını, avantaj ve dezavantajlarını belirlemeye yönelik ilave çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, bu tez çalışmasının, ileride konu ile ilgili yapılacak olan çalışmalarda, araştırmacılara yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abazi Z.S., Lefebvre A., Derain J.P. A Methodology of Alarm Filtering Using Dynamic Fault Tree. *Reliability Engineering & System Safety*. 2011; 96(2): 257-266.
- Anderson D. E. The Mariner 5 Ultraviolet Photometer Experiment; Analysis of Hydrogen Lyman Alpha Data. *Journal of Geophysical Research*. 1976;1213-1216.
- Anonim, erişim tarihi; 2021. Erişim adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Hata_a%C4%9Fac%C4%B1_analizi
- Arslan Ö., Zorba Y. Svetak J. Fault Tree Analysis of Tanker Accidents During Loading and Unloading Operations at the Tanker Terminals. *Journal of ETA Maritime Science*. 2018; 6(1): 3-16.
- Bağın M. Olay Frekanslarının Hesaplanması. 2. Uluslararası Proses Güvenliği Sempozyum ve Sergisi; 22-24 Ekim 2015; İstanbul, Türkiye.
- Barlow R. E., Proschan F. *Statistical Theory of Reliability and Life Testing*. New York: Holt, Rinehart ve Winston. 1974-1975.
- Cepin M., Mavko B. Dinamic Fault Tree. *Reliability Engineering & System Safety*. 2001;75:83-91.
- Dizdar E.N. (2003). Fault Tree Analysis for System Reliability. *Teknoloji Dergisi*. 2003;3-4:35-40.
- Erdoğan A. Hata Ağacı Analizi, Literatür Araştırması ve Orta Ölçekli Bir İşletmede Uygulama. *ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi*. 2015;3(1):106-122.
- Ericson, C., 1999. Fault Tree Analysis - A History. Basım yeri bilinmiyor, yazarı bilinmiyor. Ericson, C., 1999. fta_tutorial_2Hr. [Çevrimiçi] Available at: <http://www.cs.ucf.edu/~hlugo/cop4331/ericson-fta-tutorial.pdf> Ericson C. A. (1999).
- Ferdous R., Khan F., Veitch B. & Amyotte P. R. Methodology for Computer Aided Fuzzy Fault Tree Analysis. *Trans IChemE*. 2009.;87:217-226.
- Gümüşboğa F. Afet Yönetimi Kapsamında Hata Ağacı Analizi ile Risk Tabanlı Tesis Yer Seçimi [Yüksek Lisans Tezi]. Ankara: T.C. Kara Harp Okulu; 2012.
- Heupmans U. Semi-quantitative fault tree analysis for process plant safety using frequency and probability ranges. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2004;17:339-345.
- Hong Y.Y., Lee L.H., Reliability Assessment of Generation and Transmission System Using Fault Tree Analysis. *Energy Conversion and Management*. 2009;50:2810-2817.

Kabir S. An Overview of Fault Tree Analysis and its Application in Model Based Dependability Analysis. *Expert Systems With Applications*. 2017;77:114-135.

Kurt M. İnsan Hatası Değerlendirmesi ve Bir Endüstriyel “Hata Ağacı Analizi” Uygulaması. *G.U Journal of Science*. 1999;12(3):613-624.

Kutlugün E. Bilgi Sistemlerinde Hata Ağacı Analizi Yaklaşımı ile Risk Değerlendirme [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul: İstanbul Arel Üniversitesi; 2018.

LEE W. S., Grosh D. L., Tillman F. A. & Lie C. H. Fault Tree Analysis, Methods and Applications – A Review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2004;17: 339–345.

Lin C. T., Wang M. T. Hybrid Fault Tree Analysis Using Fuzzy Sets. *Reliability Engineering & System Safety*. 1997; 58(3):205-213.

Marquez D., Neil M., Fenton N. Improved Reliability Modeling Using Bayesian Networks and Dynamic Discretization. *Reliability Engineering & System Safety*. 2010;95:412-425.

Menteş A., Helvacıoğlu İ. H. Çok Noktadan Bağlı Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemlerinde Hata Ağacı Tabanlı Risk Analizi. *Gemi ve Deniz Teeknolojisi*. 2010;182:34-39.

Nikolic D.M., Petrovic N., Belic A., Rokvic M., Radakovic J.A., Tubic V. The Fault Tree Analysis of Infectious Medical Waste Management. *Journal of Cleaner Production*. 2016;113:365-373.

Ötkem R. Hata Ağacı Analizinin Kısaca Tanımı ve Uygulamaları. [Hata Ağacı Analizi \(FTA\) 2021 \(nedenisguvenligi.com\)](https://www.nedenisguvenligi.com) Anonim.

Özkılıç Ö. İş Sağlığı Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. Ankara: Türkiye İşveren Sendikaları Yayımları;2005.4,Risk Değerlendirme Metodolojileri; s. 125-142.

Pate-Cornell, Fault Trees vs. Event Trees in Reliability Analysis. *Risk Analysis*. 1984;4(3):177-186.

Rao D. K., Gapika V., Sanyasi Rao V.V.S., Kurshwah H.S., Verma A.K. Srividya A. Dynamic Fault Tree Analysis Using Monte Carlo Simulation in Probabilistic Safety Assessment. *Reliability Engineering & System Safety*. 2009;94:872-883.

Ruijters E., Stoelinga M. Fault Tree Analysis; A Survey of the State-of-the-art in Modeling, Analysis and Tools. *Computer Science Review*. 2015;15-16:29-62.

Şenel B., Şenel M., Risk Analizi; Türkiye’de Gerçekleşen Trafik Kazaları Üzerine Hata Ağacı Analizi Uygulaması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 2010;13(3):65-84.

Şenol Y.H. Fault Tree Analysis of Chemical Cargo Contamination by Fuzzy Approach [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi;2014.

Vaurio J.K. Ideals and Developments in Importance Measures and Fault-Tree Techniques for Reliability and Risk Analysis. Reliability Engineering & System Safety. 2010;95:99-107.

Volkanovski A. Cepin M., Mavko B. Application of the Fault Tree Analysis for Assessment of Power System Reliability. Reliability Engineering & System Safety. 2009;94:1116-1127.

Waghmode L.Y., Patil R.B. An Overview of Fault Tree Analysis (Fta) Method for Reliability Analysis. Journal of Engineering Research and Studies. 2013;6(1):06-08.

Wang D. Zhang P., Chen L. Fuzzy Fault Tree Analysis for Fire and Explosion of Crude Oil Tanks. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2013;30:1-9.

Yalçinkaya M.N., Demirel E., Say N. Tehlikeli Maddelerin Karayolu ile Taşınması Sürecinde Ortaya Çıkan Çevresel Risklerin Hata Ağacı Analizi (HAA) ile Değerlendirilmesi. Journal of Engineering Sciences and Desing. 2020;8(4):973-984.

Yavuz İ. Hata Ağacı Analizi için Java Tabanlı Bir Programın Geliştirilmesi ve LPG, Ham Petrol ve Dizel Tankları İçin Uygulanması [Doktora Tezi]. Ankara; Gazi Üniversitesi;2018.

Yhua D., Datao Y. Estimation of Failure Probability of Oil and Gas Transmission Pipelines by Fuzzy Fault Tree Analysis. Journal of Loss Prevention in the Process. 2005;18(2):83-88.

Hata Ağacı Analizinin uygulamasının internet adresi <https://www.fault-tree-analysis-software.com/fault-tree-analyser> (2022)

EK: 2



T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü



G19 –TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tez Başlığı / Konusu	Hata Ağacı Analizi ve Sağlık Alanında Kullanımı			
İntihal taraması yapılan bölümler ve sayfa sayıları				
Kapak sayfası	Giriş	Ana bölümler	Sonuç bölümleri	Toplam sayfa sayısı
11	2	23	4	45
İntihal taraması yapılan program			Taramanın yapıldığı tarih	Benzerlik oranı %
			19 /04 / 2022	%17
*Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:				
- Kabul ve onay sayfası hariç, - Teşekkür hariç, - İçindekiler hariç, - Simge ve kısaltmalar hariç, - 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)				
- Gereç ve yöntemler hariç, - Kaynakça hariç, - Alıntılar hariç, - Tezden çıkan yayınlar hariç,				
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)				
<p>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihali içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabulettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.</p> <p>Gereğini bilgilerinize arz ederim.</p> <p style="text-align: right;">Kübranur TUNÇAY</p>				

Öğrencinin Adı Soyadı	Kübranur TUNÇAY
Anabilim Dalı	Biyoistatistik
Öğrenci No	18930002003
Programı	<input checked="" type="checkbox"/> Yüksek Lisans <input type="checkbox"/> Doktora

DANIŞMAN ONAYI UYGUNDUR Prof. Dr. Sıddık KESKİN	ENSTİTÜ ONAYI UYGUNDUR Doç. Dr. Hamit Hakan ALP
--	--