

PAPER DETAILS

TITLE: Biyoterörist Harp Maddelerinin Yayiliminin Tahminine Yönelik Bulanik Mantik Tabanlı Karar Destek Sistemlerinin Tasarlanması

AUTHORS: Serhat ÖZBEY,Ahmet KOLUMAN

PAGES: 39-74

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2092856>

Biyoterörist Harp Maddelerinin Yayılımının Tahminine Yönelik Bulanık Mantık Tabanlı Karar Destek Sistemlerinin Tasarlanması

Serhat ÖZBEY^{1*}, Ahmet KOLUMAN¹

Öz

Biyoterörist harp maddelerinin, ülkeler arasında imzalanan antlaşmalara göre üretimi, geliştirilmesi ve depolanması kısıtlanmıştır. Fakat biyoterörist harp maddelerinin sahip olduğu avantajlardan dolayı terörist gruplar tarafından ülkelere karşı kullanılma ihtimali yüksektir. Bu risk karşısında ülkelerin belirli önlemler ve planlamalarının olması gerekmektedir. Bu planlamalar arasında biyoterörist harp maddelerinin ve bu maddelerin sebep oldukları hastalıkların erken teşhisi bulunmaktadır. Bu çalışmada biyolojik harp maddelerinin teşhis ve yayılımının tahmini için bulanık mantık tabanlı karar destek sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde hastalıklara özgü semptomlar seçilmiş ve sistemin giriş değişkenleri olarak kullanılmıştır. Semptomlara göre enfekte olma riski % cinsinden elde edilmiştir. Çalışmada Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım sistemleri kullanılmıştır. Farklı üyelik fonksiyonları ve durulaştırma yöntemleri kullanılarak sonuçlar alınmaya çalışılmıştır. Rastgele oluşturulmuş 500 hasta verisi, farklı modellere göre işlendiğinde %0 ila %100 arasında değişen enfeksiyon riski tahmini çıktıları elde edilmiştir.

Sonuç olarak, tasarlanan bulanık karar destek sistemi biyoterörizm alanında kullanıldığında başarılı çıktıların alındığı ve bulanık mantık tabanlı karar destek sistemlerinin biyoterörizm ve sağlık alanında kullanılabileceği kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, Biyoterörizm, Salgın, Uzman sistemler, Kitle imha silahları, Klinik karar destek sistemleri

Fuzzy Logic Based Decision Support Systems Designed for Estimating Spread of Bioterrorist War Agents

Abstract

According to agreements signed between countries, the production, development, and storage of bioterrorist warfare materials are restricted. However, due to the advantages of bioterrorist warfare agents, they are likely to be used by terrorist groups against countries. In the face of this risk, countries need to have certain precautions and plans. These plans include bioterrorist warfare agents and early detection of the diseases they cause. In this study, a fuzzy logic-based decision support system was designed for the diagnosis and prediction of the spread of biological warfare agents. In the designed system, disease-specific symptoms were selected and used as input variables in the system. The risk of being infected by symptoms was obtained to be %. Mamdani and Sugeno fuzzy inference systems were used in the study. Different membership functions and defuzzification methods have been used to obtain results.

¹ Biyomedikal Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli

İlgili çalışma idRc 2021 konresinde sunulmuş ve Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans programı kapsamında yazılan yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

*İlgili yazar / Corresponding author: sozbey151@posta.pau.edu.tr

Gönderim Tarihi / Received Date: 30.11.2021

Kabul Tarihi / Accepted Date: 28.02.2022

Bu makaleye atıf yapmak için- To cite this article
ÖzbeY, S., Koluman, A., (2022). BiYoterörist Harp Maddelerinin Yayılımının Tahminine Yönelik Bulanık Mantık Tabanlı Karar Destek Sistemlerinin Tasarlanması.
Resilience, 39-74.

When the data of 500 randomly generated patients was processed according to different models, infection risk estimation outputs ranging from 0% to 100% were obtained.

As a result, it was concluded that successful outputs were obtained when the designed fuzzy decision support system was used in the field of bioterrorism and that fuzzy logic-based decision support systems can be used in the fields of bioterrorism and health.

Keywords: Fuzzy logic, Bioterrorism, Epidemics, Expert systems, Weapons of mass destruction, Clinical decision support systems

1. GİRİŞ

Biyoteröizm, belli bir toplum veya popülasyonda kolay, hızlı ve ucuz bir şekilde, büyük yıkıcı etkilere sahip olmak için mikroorganizma veya enfekte edici örneklerin bir silah, harp ajanı olarak kullanılması şeklinde nitelendirilebilir (Barras & Greub, 2014), (Kocabaş, 2020). Biyolojik harp maddeleri, yaşanan gelişmeler ve artan teknolojiler sayesinde ülkelerin yöneticileri ve askeri güçlerine karşı güçlü bir tehdit hâline gelmiştir. Bu nedenle biyolojik savunma projeleri günden güne daha önemli hâle gelmiş ve bu projeler için daha büyük bütçeler ayrılmaya başlanmıştır. Gerek ülkenin korunması gerek toplum sağlığının korunması için olası biyoterörist aktivitelerin önlenmesi, hızlı tespit edilebilmesi, gerekli tedavi ve koruyucu hizmetlerinin sağlanabilmesi oldukça önem taşır hâle gelmiştir (Ryan, 2016). Biyolojik saldırılara karşı tamamen hazırlıklı olmak imkânsıza yakındır. Buna rağmen biyoterörist aktivitelere karşı önleme, korunma, hızlı teşhis-tedavi planlamalarının hazır bulunduğu ve ivedilikle uygulanabilir bir sistemin kurulması, planlanması şarttır. Biyoterörist aktivitelere karşı sahip olunan bilgi ve donanım oldukça önem taşımaktadır. Olası bir salgın durumunda, salgının biyoterörist aktiviteye bağlı olup olmadığı ya da doğal olarak geliştiğinin belirlenmesi, ilk ve en önemli adım olarak kabul edilir. Bir biyoterör ajanının sebep olduğu enfeksiyonun klinik semptomlarının ve bulgularının, diğer hastalıklardan ayırımı yapmak erken safhalarda zor olabilir (Erdin, 2019). Bu nedenlerden dolayı, olası biyolojik harp maddelerinin kullanımının geliştirebileceği salgınların tespiti ve salgına sebep olan hastalığın ayırımı önemini korumaktadır. Bu ayırımı yaparken stres altında doğru yaklaşım göstermek zorunda olan profesyonellere, hızlı, ekonomik ve tutarlı sonuçlar sunabilecek klinik karar destek sistemlerinin tasarlanması oldukça önemli olup bu tür biyoterörist aktivitelerin etkisinin azaltılmasına yönelik güçlü önlemlerin alınabilmesine olanak sağlayacaktır.

Akçam ve Takada (2002), çalışmalarında ortodontik hastalar için uygun diş teli seçimi için çıkarım modeli geliştirmek istediler. 85 hasta üzerinde denenen bulanık model uzman ortodontistlere göre %96'lık bir oran yakalayarak başarılı ve kullanışlı bulunmuştur. Yoğun bakım ünitelerinde doktorlar tıbbi kararlar alırken subjektif, kişisel deneyimlerine dayanarak karar vermektedir. Bates ve Young (2003), çalışmalarında karar verme sürecinin, objektif bir standarta oturtulmasının gerektiğini belirtmişlerdir. Tasarlanan bulanık modelle sadece iki değişken ile bile belirli ölçüde hesaplama yapabildiklerini, bunun geliştirilerek klinik uygulamalar için uygun olabileceğini belirtmişlerdir. Stanley, Moss, Van ve Aggarwal (2003), çalışmalarında tümör teşhisi için bulanık mantık kullanmışlardır. 258 klinik görüntüden oluşan veri tabanı ile tasarlanan bulanık modelin çıktılarında eğitim verileri ve test sonuçlarının tutarlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Pereira, Tonelli, Barros ve Ortega (2004), çalışmalarında çocuklar için zatürre teşhisi koyacak bulanık bir model ve diskriminant analizi kullanılmıştır. Daha önceden zatürre teşhisi konmuş olan 153 çocuğun verileri test için iki sistemde de kullanılmıştır. Sonuç olarak bulanık modelin, diskriminant analizine göre tahmini çok daha iyi hale getirmese de saptanamayan ilişkilerin bulanık modelle tespitinin klinik bilgiyi geliştirdiği belirtilmiştir. Grant ve Naesh (2005), çalışmalarında bulanık bir modelle hastanın durumuna

göre otomatik ayarlama yapan bir anestezi istasyonu üzerine tartışmışlardır. Ventilasyon ayarlarının bulanık model ile verilmesinin en az anesteziistler kadar başarılı olduğunu, hatta anesteziistleri geride bıraktığını bildirmişlerdir. Nascimento ve Ortega (2002), çalışmalarında neonatal ölüm riskinin tahminlemesini yapan, Mamdani bulanık çıkarım sistemi tasarlamışlardır. Elde ettikleri sonuçların ve uzman kişilerin vermiş olduğu cevapların arasında 0.96'lık bir korelasyon kat sayısı elde etmişlerdir. Benecchi (2006), çalışmasında prostat kanserinin tahminine yönelik bir Nöro-Bulanık sistem tasarlamıştır. Çalışmada prostat kanserini ayırt etmede 1030 erkeğin hem serum hem de klinik verilerini esas alarak tasarlanan Nöro-Bulanık sistemin daha iyi bir performans gösterdiği bildirilmiştir. Cismondi ve diğerleri (2013), çalışmalarında gastrointestinal kanaması olan hastaların gereksiz laboratuvar testlerini azaltmaya çalışmışlardır. Bu amaç doğrultusunda bulanık bir model tasarlamışlardır. Sonuçlara göre incelenen 8 laboratuvar testi için gerekli ya da gereksiz sınıflandırmasında %80'den fazla doğruluk elde etmişler. Bunun sonucunda laboratuvar testlerinde %50'lik bir azalma gerçekleştiğini bildirmişler. Meer Mkrtchyan ve Nagy (2013), çalışmada kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer bir olayın bulanık mantık kullanılarak erken tespiti sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışmada, bulanık bir inanç derecesi kullanarak mevcut kanıtlardan bir KBRN olayının tespitinin tahminiyle, karar vericilere yardımcı olunabileceğinin vurgusu yapılmıştır. Bu konuda çalışmaların daha detaylı şekilde yapılması gerektiğinden de söz edilmiştir. Allahverdi (2014), bu çalışmasında yaptığı tüm çalışmalardan kısaca bahsetmiştir. Allahverdi, prostat kanseri riski, koroner kalp hastalığı riski, periodontal diş hastalığının teşhisi, ilaç dozunun belirlenmesi gibi birçok çalışmasından söz ederken, bulanık uzman sistemlerin karar verme sürecinde yardımcı olduğunu söylemektedir. Krashenyi, Popov, Ramirez ve Gorriz (2015), çalışmalarında Alzheimer hastalığının teşhisi için bulanık mantık uygulaması geliştirmişler. Çalışma sonucunda %88 pozitif tahmin değeri ve yüksek oranlarda duyarlılık, özgüllük ve doğruluk değerleri elde etmişlerdir. Gayathri ve Sumathi (2015), çalışmalarında meme kanseri riski için Mamdani bulanık çıkarım sistemi ile bir bulanık model tasarlamışlardır. Sonuç olarak 300 tane manuel olarak girilmiş veri sonrasında %97,8 gibi yüksek bir oranla iyi ve kötü huylu tümörlerin doğru sınıflandırıldığını bildirmişlerdir. Belinda ve Emadomi (2015), çalışmalarında ebola hemorajik ateş hastalığının erken teşhisi için bulanık kural tabanlı bir uzman model geliştirmişlerdir. Ebola hemorajik ateş hastalığının belirtilerini 6 gruba ayırmışlardır. Sonuç olarak her belirti grubu için bir çıktı elde edilmiştir. Tasarlanan bulanık model sistem sonuçlarını başarılı olduğunu bildirmişlerdir. Abiyev ve Abizade (2016), çalışmalarında bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının entegre bir şekilde çalışan sistem ile Parkinson hastalığının teşhisinin yapılması amaçlamışlardır. Bulanık sinir sistemi sağlıklı ve hasta kişilerin sınıflandırılmasını başarıyla yapmıştır. Melin, Miramontes ve Prado-Arechiga (2018), çalışmalarında hipertansiyon riski teşhisinin tahmini için modüler sinir ağları ve bulanık mantığın entegre olarak çalıştığı bir model tasarlamışlardır. Oluşturulan hibrit modelin, hipertansiyon riskinin teşhisinde başarılı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Kaya (2018), çalışmasında mezotelyoma hastalığının teşhisi için hasta – sağlıklı sınıflandırması yapacak olan Nöro-Bulanık sistem tasarlamıştır. Çalışma sonuçlarında hastalık teşhisi için yüksek başarı oranı yakalanmış ve bulanık mantığın hastalıkların teşhisinde tahmin yöntemi olarak kullanılabileceği kanısına vardığını belirtmiştir. Gündoğan (2019), çalışmasında hastalardan gerekli olmayan radyolojik tetkiklerin istenmesi sonucunda, hastanın almış olduğu gereksiz radyasyonun hastaya vermiş olduğu zarar; kamu kaynaklarının israfı ve buna benzer çok sayıda olumsuzluğun ortaya çıktığından bahsetmiştir. American Collage of Radiology (ACR) kriterlerine göre nefroloji hastaları için 5 olası klinik durum için tetkik önerileri ile klinisyenlere destek sağlaması planlanan bir karar destek sistemi tasarlamıştır. Sonuçlara göre literatür kaynaklarındaki çalışmalara nazaran başarılı bir çalışma olduğunu belirtmiştir. Pathak ve Arul (2020), çalışmalarında da kalp rahatsızlığının teşhisinin tahmini için karar ağacı ve bulanık kural tabanlı bir sistem geliştirmişler. Mevcut modellere göre daha başarılı performans gösteren Nöro-Bulanık sistem ile %88'lik başarı oranı elde etmişler.

Biyoterörist bir aktivite sonrasında bulaşının karakterizasyonu ve semptomlara bağlı olarak karantina ve dekontaminasyon uygulamalarının nerede, kimlere yapılacağına dair karar destek mekanizmalarında uzman görüşleri çok değerlidir. Ancak mevcut bir saldırı koşulunda birçok alanda, aynı anda çıkması muhtemel bulaşının karakterizasyonuna bağlı olarak tedbir ve korunma önlemlerinin alınmasında hızlı yanıt verebilmek yüksek katma değer içermektedir. Bu çalışmada muhtemel bir bulaşının uzman kişilerin kararına bırakmaktan ziyade karar verici sistem ve kişiye yardım edecek, bulanık mantıkla desteklenen karar destek sistemlerinin oluşturularak daha doğru, tutarlı ve sağlıklı yaklaşımların oluşturulması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada:

- Daha önce bu kadar kapsamlı ve birlikte incelenmemiş potansiyel biyolojik harp maddelerinin sebep olabileceği 6 hastalık ve COVID-19 hastalığının teşhisinin tahminine yönelik bir bulanık mantık çalışması yapılmıştır. Her hastalık için 10 farklı bulanık model tasarlanmış ve sonuçları incelenmiştir.
- Tasarlanmış olan bulanık karar destek sistemi ile hastalığın ilk evrelerinde farklı hastalıklarla karıştırılabilecek ilgili salgın hastalıklar bulanık karar destek sistemi ile tanımlanmıştır. Herhangi bir biyolojik saldırı durumu şüphesi varlığında, saldırı varlığı hakkında alınacak kararların hızlı ve ekonomik bir şekilde desteklenmesi sağlanmıştır.

Makalenin geri kalan kısmı şu şekilde yapılandırılmıştır. Bölüm 2’de ilk olarak tasarlanacak bulanık modele dahil edilecek hastalıklar ve hastalıklara özgü semptomlar belirlenmiş olup bulanık modelin tasarımına ve kullanılan yöntemlere ait bilgiler verilmiştir. Bölüm 3’te çalışma sonucunda elde edilmiş olan model çıktıları grafikler ve tablolarla sunulmuştur. Bölüm 4’te tasarlanmış bulanık karar destek sisteminin değerlendirmesi yapılmış ve mevcut çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Son olarak bölüm 5’te elde edilen sonuçlar tartışılmış ve çalışmaya ilişkin yeni öneriler verilmiştir.

2. GEREÇ YÖNTEM

2.1. Gereç

Bu çalışmada CDC (Center for Disease Control), German list of “The Dirty Dozen” ve Australian Warning List of Security-Sensitive Biological Agent gibi sınıflandırma listelerinde (Hülseweh, 2013) bulunan potansiyel biyolojik savaş ajan olarak belirlenmiş bazı virüs ve bakteriler seçilmiş, buna ek olarak yaklaşık olarak son 2 yıldır tüm dünyanın mücadele verdiği SARS-CoV-2 virüsü (COVID-19) çalışmaya dahil edilmiştir. Olası bir biyoterörizm durumunda oluşan bulaşı karakterizasyonun, tasarlanan bulanık modeller sayesinde ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda bulanık model “MATLAB R2015a” paket programı ile tasarlanmıştır. Matlab R2015a programı içerisinde Fuzzy Logic Toolbox kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Potansiyel Biyolojik Savaş Ajanlarının Belirlenmesi

Bu çalışma için potansiyel biyolojik savaş ajanları olarak CDC (CDC, 2018), The Dirty Dozen (Hülseweh, 2013), Australian Group (Australian Government Department of Health, 2021), Rusya – Avrupa Birliği biyolojik savunma kategorisi ve Çin biyogüvenlik kategorisi listelerinde (Tian & Z., 2014) genellikle ortak olarak listelenmiş ve biyoterörizm olarak tanımlanmış ve biyolojik silah olarak kullanılma riski daha yüksek olduğu düşünülen *Bacillus anthracis*, *Brucella spp.*, *Escherichia coli* O157:H7, *Yersinia pestis*, Ebola virüsü, Smallpox virus (variola majör) ajanları değerlendirilmek üzere seçilmiştir. Bu listelerde bulunan ajanların yanı sıra tüm dünyanın güncel problemi olan SARS-CoV-2 virüsü de çalışmaya dahil edilmiştir.

2.2.2. Bulanık Çıkarım Sistemlerinin Girdi Değişkenlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada değerlendirmek üzere seçilmiş potansiyel biyolojik savaş ajanlarının, sebep olduğu hastalıkların semptomları belirlenmiştir. Belirlenen semptomlarda bulanık çıkarım sistemine giriş değişkeni olarak tanımlanacaktır. Hastalıkların semptomları belirlenirken (CDC, 2020), (CDC, NCEZID, DVBD, 2018), (CDC, 2021), (CDC, 2016), (CDC, 2012), (NSY, 2011), (T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2019), (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2020), (T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2019), (T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Hudut ve Sahiller Sağlık Genel Müdürlüğü, 2019), (WHO, 2017), (WHO, 2021), (WHO, 2018), (WHO, 2019), (WHO, 2020), (FDA, 2019), (Mayo Clinic, 2020), (Mayo Clinic, 2020), (NHS, 2020) veri ve bildirilerinden faydalanılmış, bunlara ek olarak yayımlanmış olan literatür (Meselson, ve diğerleri, 1994), (Kamal, Rashid, Bakar, & Ahad, 2011), (Sweeney, Hicks, Cui, Li, & Eichacker, 2011), (Hülseweh, 2013), (Seleem, Boyle, & Sriranganathan, 2010), (Doganay & Aygen, 2003), (Prentice & Rahalison, 2007), (Rollins, Rollins, & Ryan, 2003), (Su & Brandt, 1995), (Mead & Griffin, 1998), (Feldmann & Geisbert, 2011), (Safari, Baratloo, Rouhipour, Ghelichkhani, & Yousefifard, 2015), (Sousa, 2014), (Moore, Seward, & Lane, 2006), (Henderson, 1999), (Guan, ve diğerleri, 2020), (Esakandari, ve diğerleri, 2020) kaynaklarından faydalanılmıştır. Semptomlar konusunda öncelik sırası olarak kesin bir fikir birliği bulunmamaktadır. Çalışmada farklı evrelerde ortaya çıkan ve en sık görüldüğü belirlenen semptomlara yer verilmiştir. Belirlenen semptomlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Belirlenen semptomlar

Hastalık	Semptomlar
Şarbon (Anthrax)	1. Ateş 2. Dispne 3. Göğüs ağrısı 4. Siyanoz 5. Miyalji ve halsizlik
Brusellozis	1. Ateş 2. Gece terlemesi 3. Eklem ağrısı ve halsizlik 4. Karın ağrısı ve kilo kaybı 5. Şişmiş lenf düğümleri
Veba	1. Şişmiş lenf düğümleri 2. Yüksek ateş 3. Şiddetli nefes darlığı 4. Cilt altı kanama 5. İdrarda kan
<i>Escherichia coli</i> O157:H7 Enfeksiyonu	1. Karın ağrısı ve abdominal kramplar 2. Ateş 3. İshal 4. Bulantı 5. Yorgunluk ve halsizlik
Ebola Hemorajik Ateşi Hastalığı	1. Ateş 2. Şiddetli kas, baş ağrısı ve zayıflık 3. Gözlerde kanama 4. Göğüs ağrısı ve öksürük 5. Artmış döküntü
Çiçek	1. Yüksek ateş 2. “Halsizlik 3. Ağrı 4. Döküntü 5. Vezikül
COVID-19 (Koronavirüs)	1. Ateş 2. Tat ve Koku kaybı 3. Kuru Öksürük 4. Diyare 5. Eklem ağrısı

2.2.3. Belirlenen Girdi Değişkenlerinin (Semptomların) ve Üyelik Fonksiyonlarının Bulanık Modele Tanımlanması

Tasarlanan bulanık modelde, ilk olarak her biyolojik ajanın sebep olduğu hastalık için modele belirlenen semptomlar giriş değişkenleri olarak tanımlanmıştır. Bulanık mantığa göre hiçbir bilgi bir kesinliğe sahip olmadığı için semptomlar net bir değere tanımlanmak yerine belirli değer aralıklarına tanımlanmaktadır. Bu işlem yapılırken de üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Çalışmada hangi üyelik fonksiyonlarının bu tür çalışma için uygun olduğunun tespit edilebilmesi için de modellerde bulunan uygun giriş değişkenleri üyelik fonksiyonları bakımından üçgen ve gauss-gauss2 üyelik fonksiyonları olarak iki farklı teknik altında incelenmiştir. Bazı giriş değişkenleri için yamuk üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

2.2.4. Çıktı Değişkeninin Tanımlanması

Çalışmada çıktı değişkeni olarak potansiyel biyolojik savaş ajanlarından veya SARS-CoV-2 virüsünden kaynaklı, teşhis konulacak hastada bir enfekte olma durumunun olasılığı olarak belirlenmiştir. Çıktı değişkeni “çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek” olmak üzere 5 grup altında incelenmiştir. Mamdani bulanık çıkarım sistemi ile tasarlanan modellerde, çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonları tanımlanırken üçgen ve yamuk tipi üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Sugeno bulanık çıkarım sistemi ile tasarlanan modellerde ise çıktı değişkeni olan enfekte olma olasılığı için bir bulanık küme tanımlanmadığı için “çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek” alt gruplarına kesin bir yüzdelik değer verilmiştir. (Çok düşük: %0, düşük: %25, orta: %50, yüksek: %75, çok yüksek: %100)

2.2.5. Bulanık Kural Tabanının Oluşturulması

Bu çalışmada bulanık kural tabanı, ilk olarak belirlenmiş semptomlar ve girdi değişkenlerinde tanımlanmış semptomların alt derecelendirilmeleri kullanılarak, uzman görüşlerinden oluşturulmuş dilsel bilgilerle “IF–THEN” kural yapısıyla oluşturulmuştur. Kurallar oluşturulurken “ve” (and) operatörü kullanılmıştır. “Ve” operatörü kullandığımızda en küçük (minimum) metodu kullanılacak şekilde model tasarlanmıştır. Şarbon hastalığı için 162 tane, brusellozis hastalığı, veba hastalığı, koronavirüs hastalığı ve Escherichia coli O157:H7 enfeksiyonu için 72 tane, ebola hemorajik ateşi hastalığı ve çiçek hastalığı için 108 tane kural oluşturulmuştur. Bu amaçla görüşleri alınan uzmanlar bir İç Hastalıkları uzmanı, bir enfeksiyon uzmanı ve bir de Mikrobiyolog Hijyenist’tir. Uzmanlardan alınan veriler örtüştüğü için veri optimizasyonu yapılmamıştır.

2.2.6. Bulanıklaştırma (Fuzzification)

Çalışmada, tasarlanan modelin bulanıklaştırma süreci iki adımdan oluşmaktadır. İlk olarak bulanıklaştırma (implication) ardından ise birleştirme (aggregation) işlemi gerçekleştirilmektedir. Çalışmada tasarlanan Mamdani bulanık çıkarım sistemlerinin hepsinin bulanıklaştırma adımı en küçük (minimum) operatörü kullanılmıştır. Birleştirme adımı ise en büyük (maksimum) operatörü kullanılmıştır. Bu işlem sonucunda tüm ateşlenen kuralların en büyüklerinin toplandığı bulanık bir çıktı verisi elde edilmiş olmaktadır. Çalışmada tasarlanan Sugeno çıkarım sistemlerinde bulanıklaştırma adımlarından ilki olan bulanıklaştırma işleminde çarpım (product) metodu kullanılmıştır. Birleştirme adımı ise toplam (sum) operatörü kullanılmıştır.

2.2.7. Durulaştırma (Defuzzification)

Çalışmanın bu aşamasında, bulanık modelde elde edilen bulanık verinin kesin bir çıktı değerine dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Durulaştırma işleminde, bulanık modelde hangi durulaştırma yönteminin kullanıldığına göre çıktı değerlerini nasıl etkilediğini ya da kayda değer bir etkiye sebep olup olmadığı da incelenmek istenmiştir. Bu sebeple Mamdani bulanık çıkarım sistemlerinde ağırlık merkezi (center of area (COA)), iki bölge yöntemi (bisector of area

(BOA)), en büyüğün ortalaması (mean of maximum (MOM)) ve en büyüğün en küçüğü (SOM) metotları kullanılmıştır. Sugeno bulanık çıkarım sisteminde Mamdani bulanık çıkarım sisteminin aksine ayrı bir durulaştırma işlemine gerek yoktur. Çıktı değişkenlerinin hangi derecede ateşlenmiş olduğunun hesaplanması ve kesin çıktıya ulaşılması beklenmektedir. Sugeno bulanık çıkarım sistemiyle tasarlanan bulanık modellerde bu işlem için ağırlıklı ortalama (weighted average (Wtaver)) metodu kullanılmıştır.

2.2.8. Standartlara uyum

Çalışmada, ISO 31000 (2018) Risk Değerlendirme standardı kullanılarak risk değerlendirme yaklaşımı kıyaslanmıştır. Bu kapsamda, standart içinde madde 6.4.3. içerisinde yer alan risk değerlendirme parametrelerine uyumluluk araştırılmıştır.

Olgunun meydana gelme olasılığı: Her etken için tanımlanan farklı semptomlar ile oluşturulan senaryolarla bulanık mantık çıktıları kıyaslanmıştır.

Olgunun sonuçlarının büyüklüğü: Her etken için tanımlanan farklı semptomlar için oluşturulan kombinasyonlarla bulanık mantık çıktıları oluşturulmuştur.

Komplekslik ve bağlantılılık: Her etken için tanımlanan farklı semptomlar arasında bağlantıların oluşturulan senaryolarda meydana getirdiği değişime bağlı bulanık mantık çıktıları kıyaslanmıştır.

Güvenirlilik ve hassasiyet seviyeleri: Her etken için tanımlanan farklı semptomlar ile oluşturulan senaryolarda bulanık mantık çıktılarının minimum tespit sınırları ve olasılıkları belirlenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Model Çıktıları

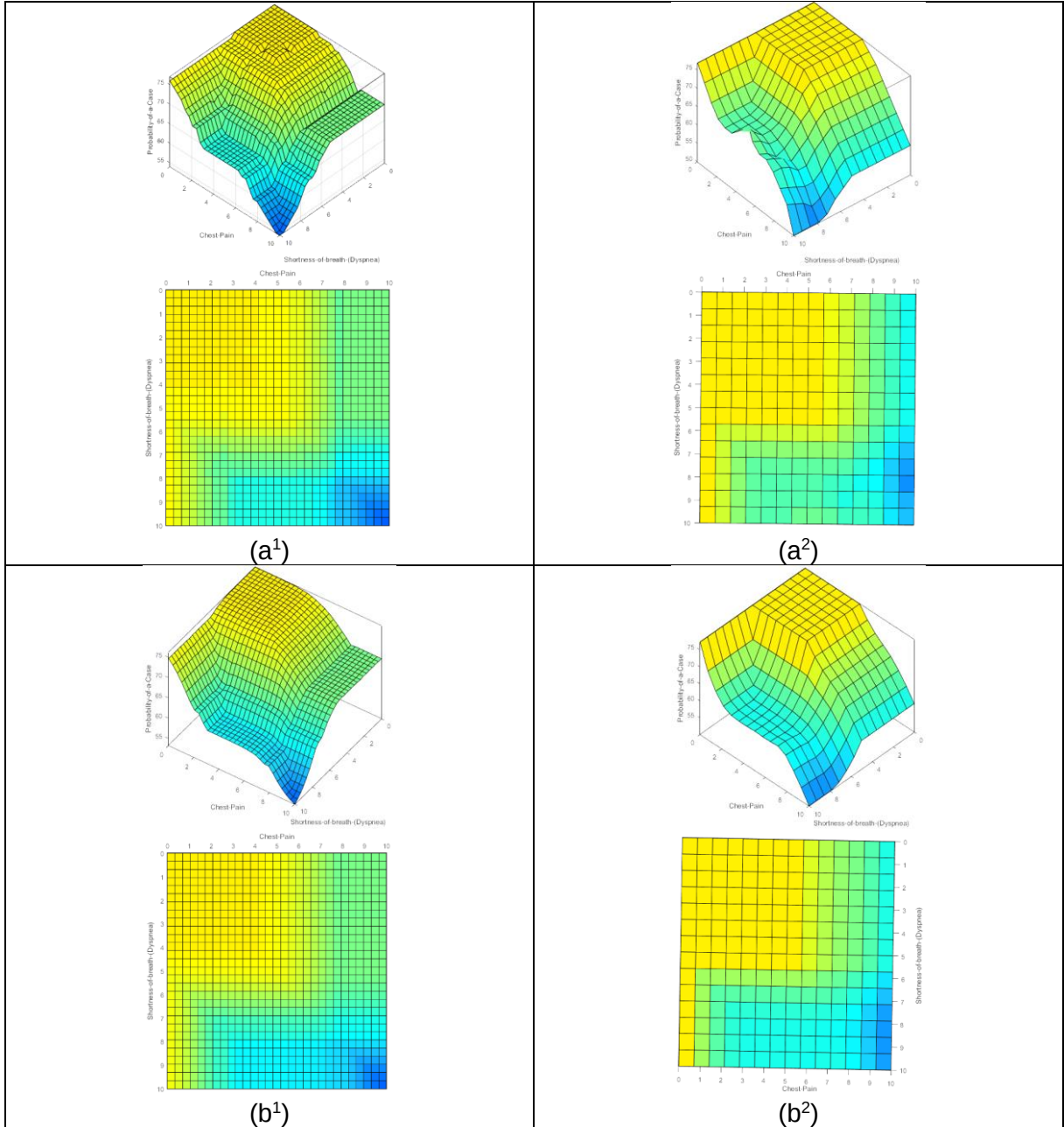
Her incelenen hastalık için farklı bulanık çıkarım sistemi, uygulanan farklı üyelik fonksiyonları ve durulaştırma metotları ile tasarlanan modellere göre çıktılar alınmıştır. Hastalıklar için kullanılan her farklı modele rastgele oluşturulmuş 500 veri giriş olarak verilmiş ve çıktıları da kaydedilmiştir. Her hastalık için çalışmada belirlenmiş girdi değişkenleri yani enfekte olma ihtimali olan kişinin gösterebilecek olduğu semptomların seviyeleri, bulanık modele girildikten sonra modelden enfekte olma riski çıktı olarak alınmıştır. Model çıktıları; kullanılan çıkarım sistemine, üyelik fonksiyonlarına ve durulaştırma metotlarına göre değişmektedir. Her hastalık için Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım sistemi, girdi değişkenleri üçgen veya Gauss-Gauss2 üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış ve ağırlık merkezi (~~centroid~~), iki bölge yöntemi (~~bisector~~), en büyüğün ortalaması (~~mom~~), en büyüğün en küçüğü (~~som~~) ve ağırlıklı ortalama (~~wtaver~~) durulaştırma yöntemleri kullanılarak çıktılar alınmıştır. Hastalıkların elde edilen çıktılarından bir kısmı aşağıda tablolarda (Tablo 2 – 8) gösterilmektedir. Tablolarda uzmanların giriş değerlerine karşılık enfekte olma ihtimalleri hakkındaki görüşleri çok düşük (ÇD), düşük (D), orta (O), yüksek (Y), çok yüksek (ÇY) şeklinde girilmiştir.

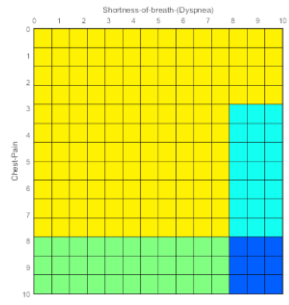
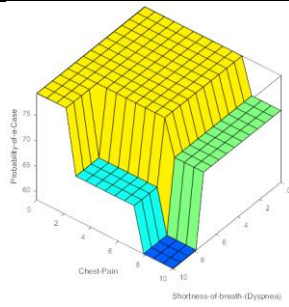
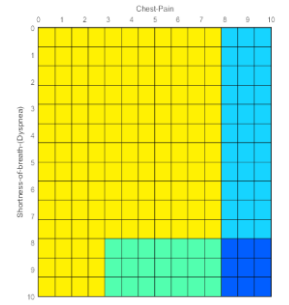
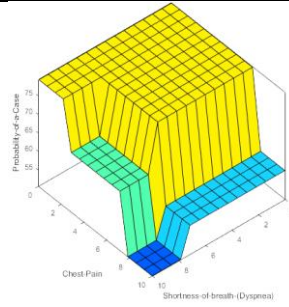
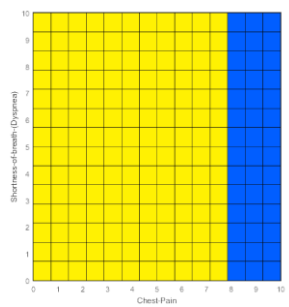
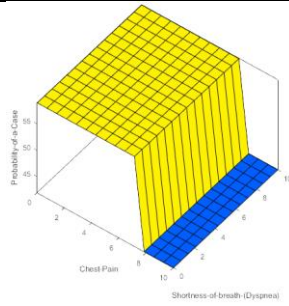
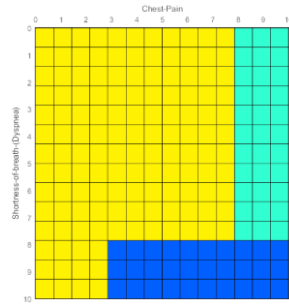
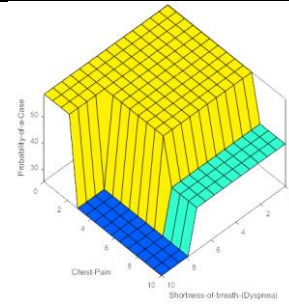
3.2. Yüzey Modeller

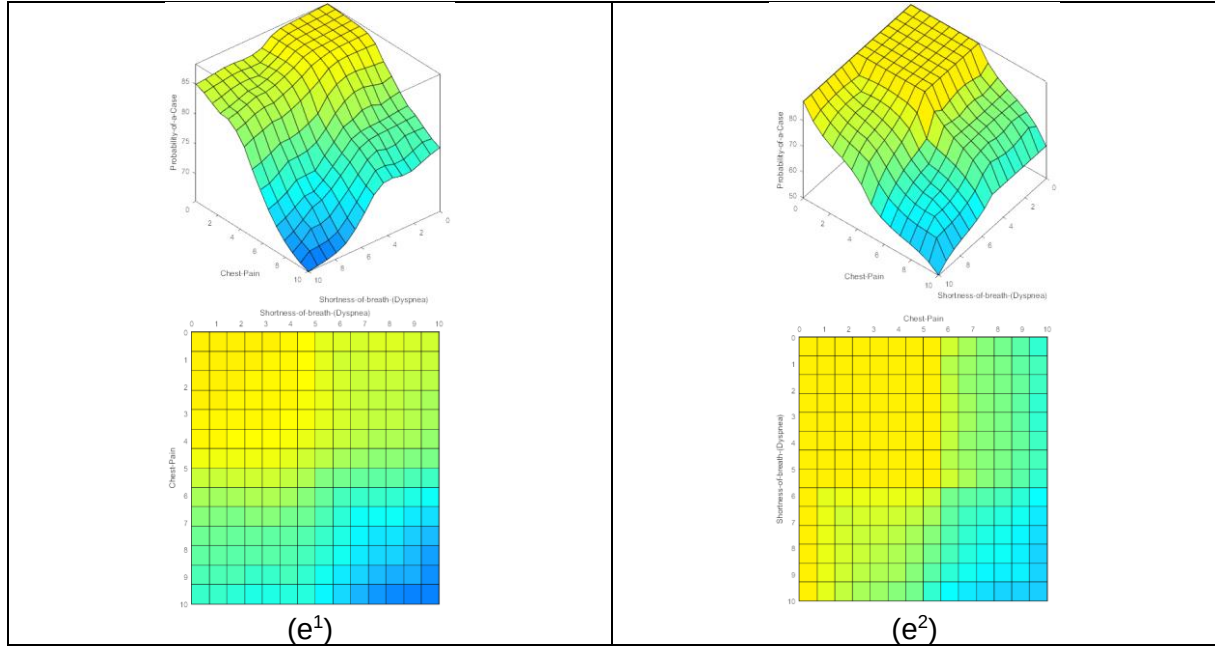
Tasarlanan modellerde her hastalığın semptomlarının birbiri ile ilişkisinin gösterildiği 3 boyutlu grafikler oluşturulmuştur. Fuzzy Logic Toolbox aracılığıyla elde edilmiş olan grafikler hastalıklara göre ayrılarak aşağıda tablolarda gösterilmiştir.

Şarbon (Anthrax) hastalığı için hazırlanan grafiklerde göğüs ağrısı – dispne semptomlarının, brusellozis hastalığı için sırasıyla ateş- eklem ağrısı-hâlsizlik semptomlarının, COVID-19 hastalığı için sırasıyla ateş – tat koku kaybı semptomlarının, ebola hemorajik ateşi hastalığı için göğüs ağrısı-öksürük semptomlarının, *Escherichia coli* O157:H7 enfeksiyonu için ateş -

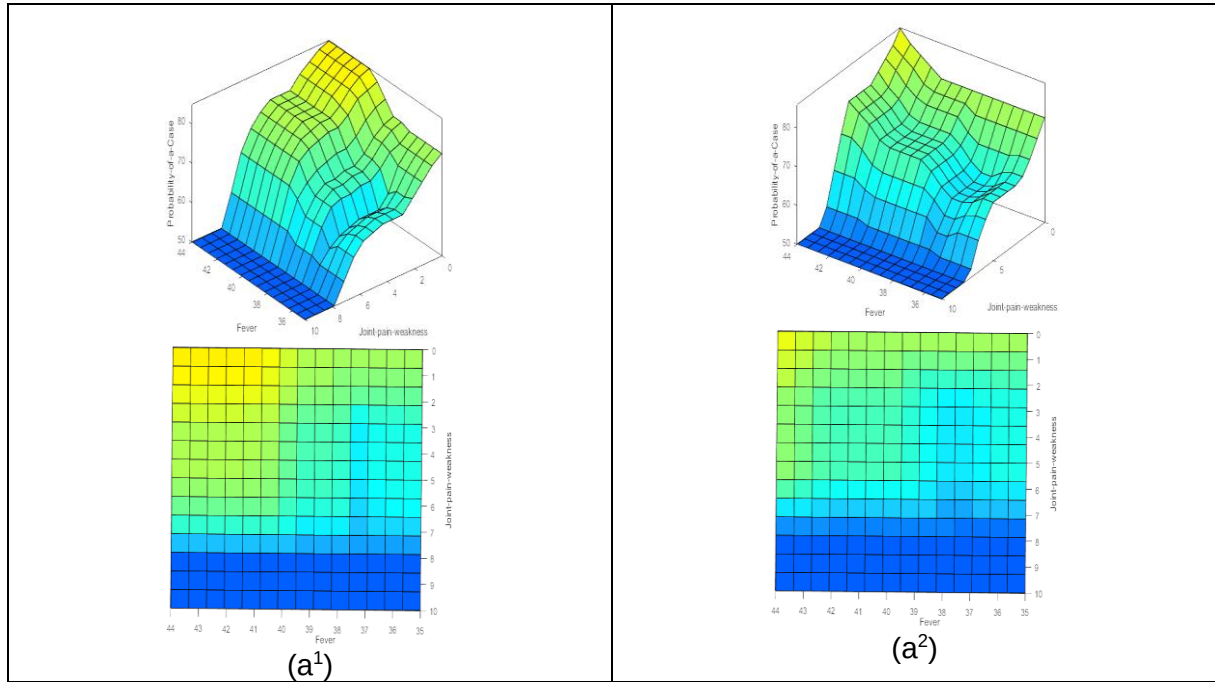
yorgunluk ve halsizlik semptomlarının, çiçek hastalığı için ateş- halsizlik semptomlarının, Veba hastalığı için ateş – nefes darlığı semptomlarının model çıktılarına göre ilişkileri, gauss üyelik fonksiyonu ve üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmış modellerin, 3 boyutlu grafikleri ve 2 boyutlu enfekte olma riskine göre renklendirilmiş çıktı grafikleri aşağıda şekillerde (Şekil 1-7) gösterilmiştir. Şekillerde giriş değişkenleri tanımlanırken gauss yöntemi kullanılmış model çıktıları ¹ ile gösterilmiş, üçgen yöntemi kullanılmış model çıktıları ² ile gösterilmiştir.

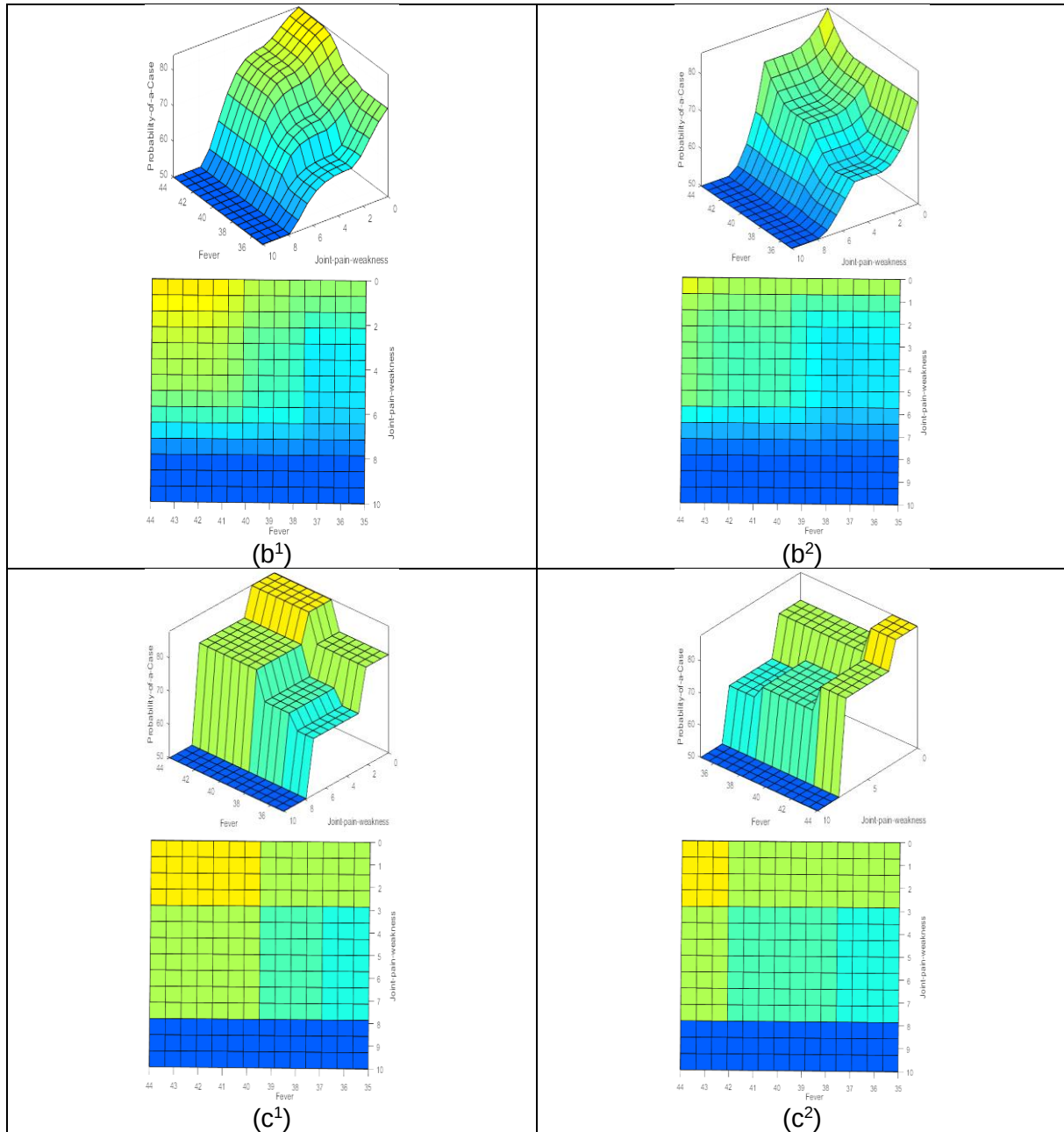


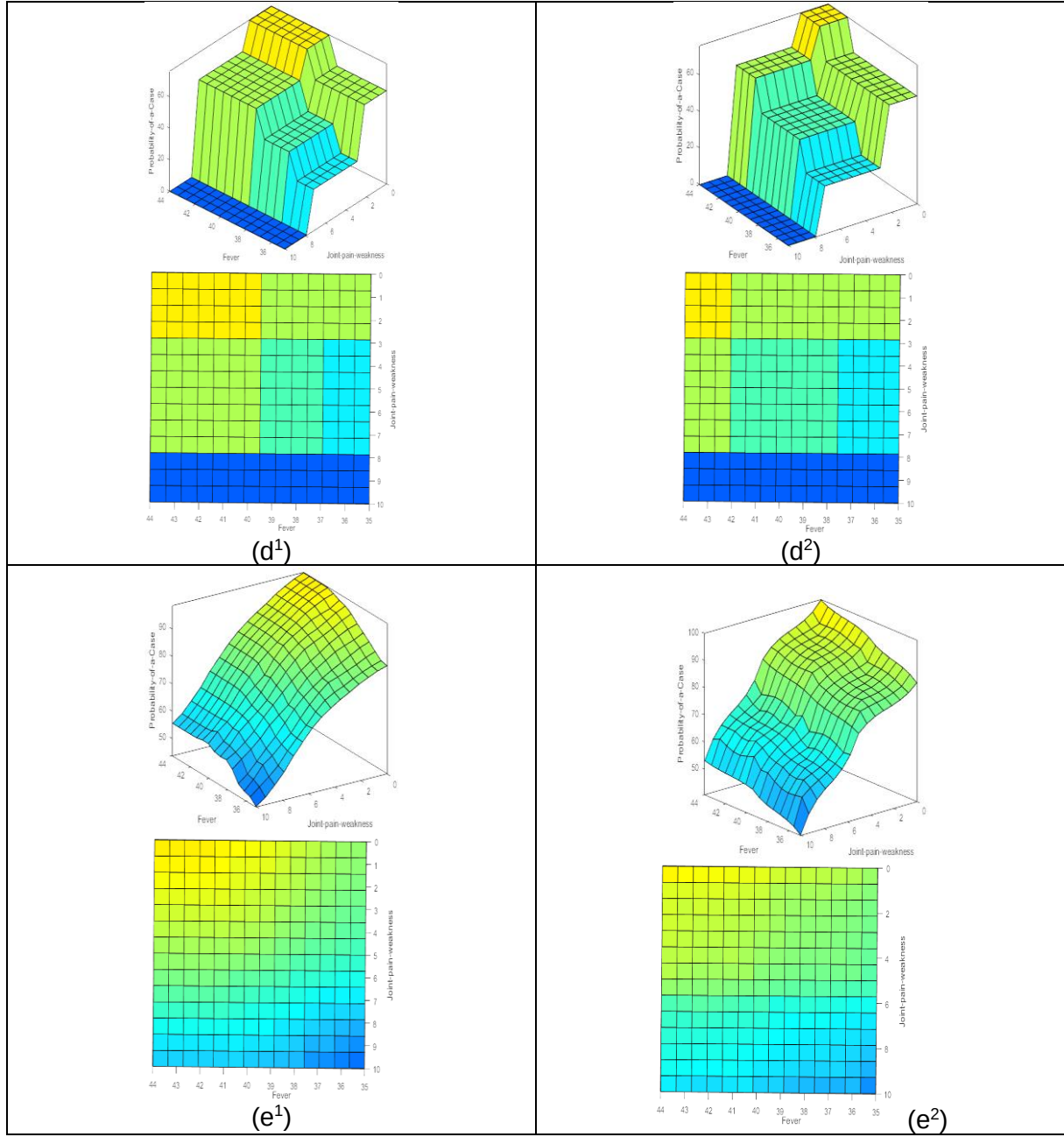
(c¹)(c²)(d¹)(d²)



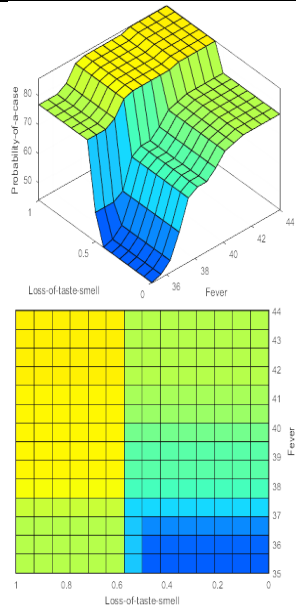
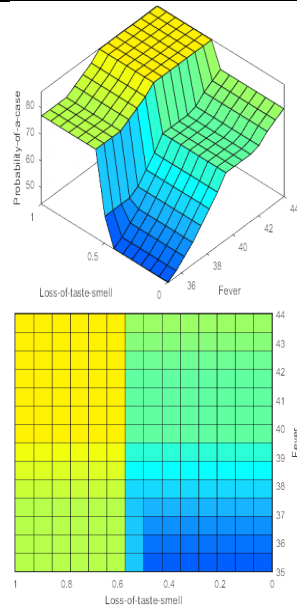
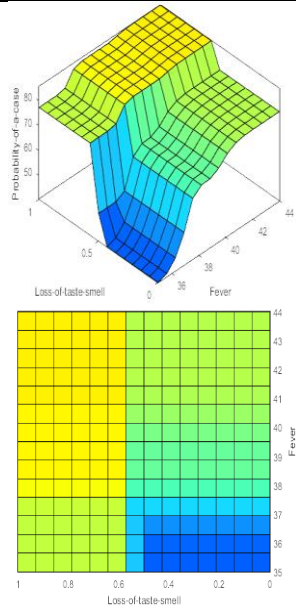
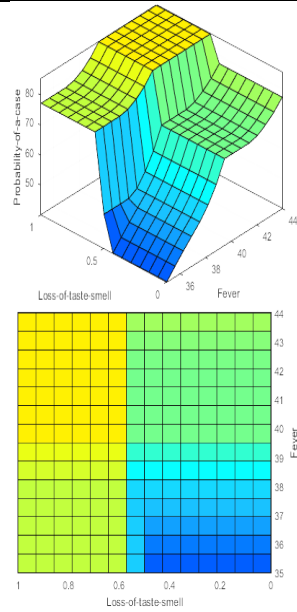
Şekil 1. Şarbon hastalığı için tasarlanmış modellerin göğüs ağrısı – dispne semptomlarına göre elde edilen yüzey modelleri. a: bisector, b: centroid, c: mom, d: som, e: wtaver durulaştırma yöntemi kullanılan modeller.

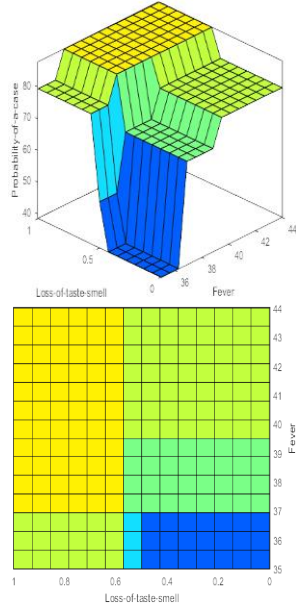




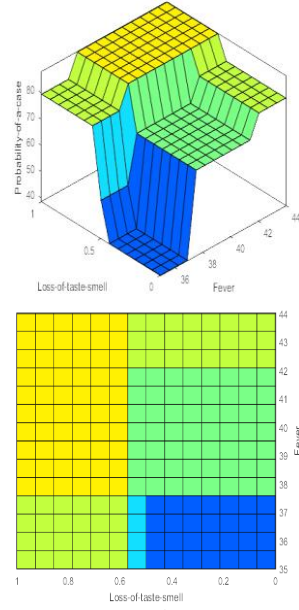


Şekil 2. Brusellozis hastalığı için tasarlanmış modellerin ateş- eklem ağrısı-hâlsizlik semptomlarına göre elde edilen yüzey modelleri. a: bisector, b: centroid, c: mom, d: som, e: wtaver durulaştırma yöntemi kullanılan modeller.

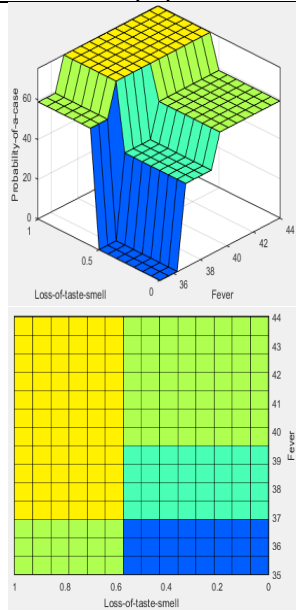
(a¹)(a²)(b¹)(b²)



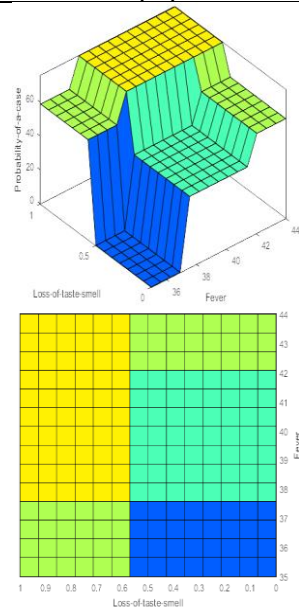
(c¹)



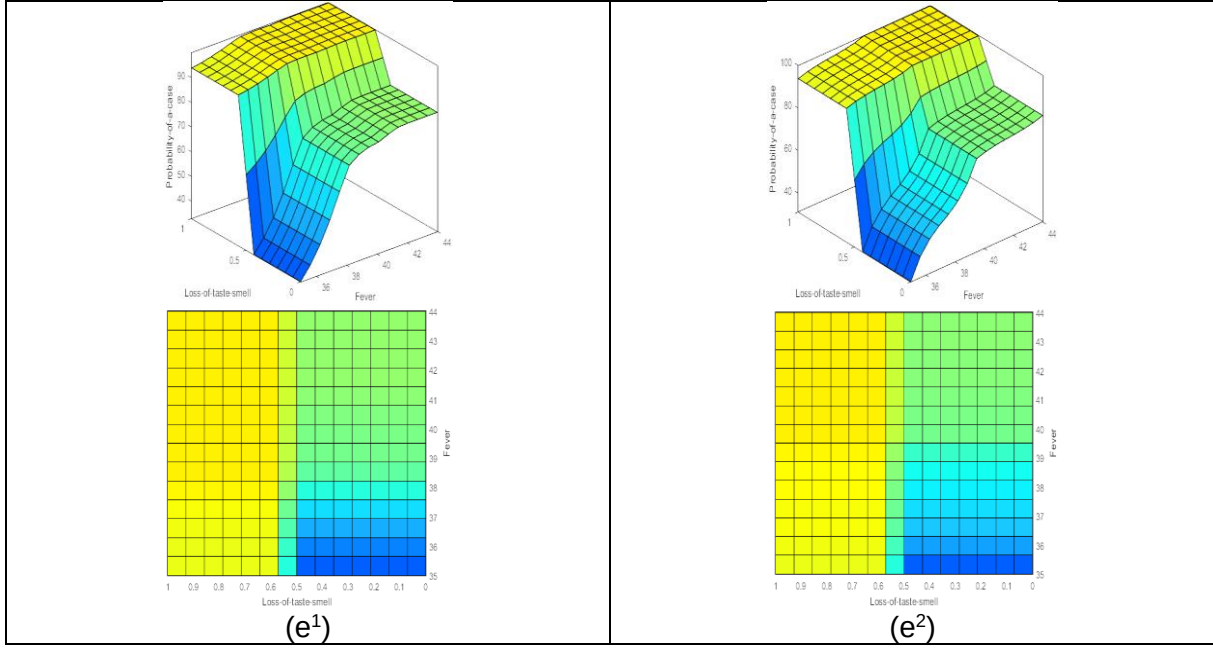
(c²)



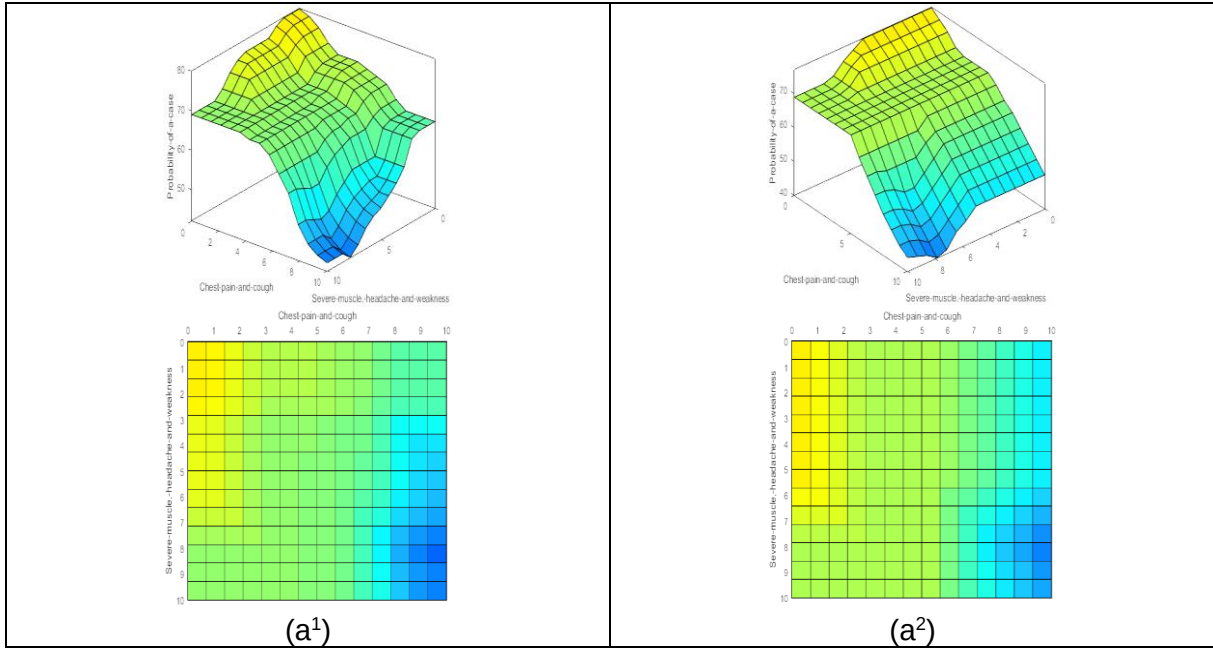
(d¹)

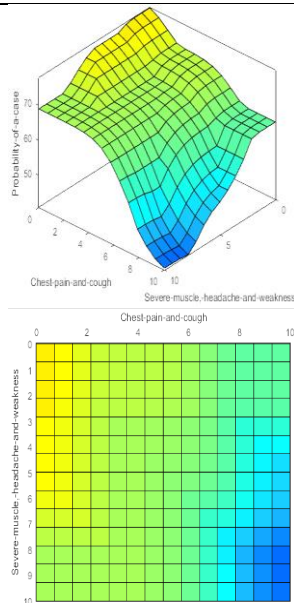


(d²)

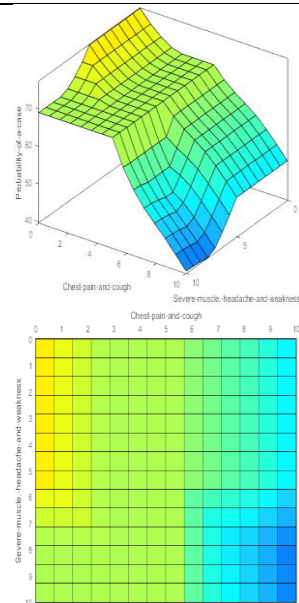


Şekil 3. Covid-19 hastalığı için tasarlanmış modellerin ateş – tat koku kaybı semptomlarına göre elde edilen yüzey modelleri. a: bisector, b: centroid, c: mom, d: som, e: wtaver durulaştırma yöntemi kullanılan modeller.

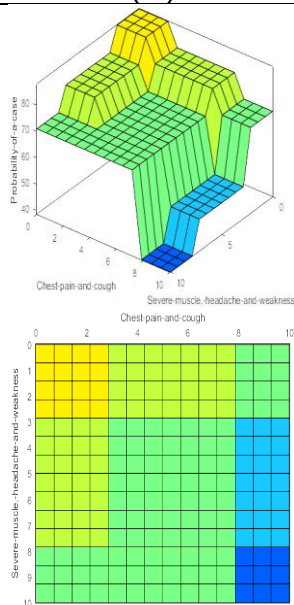




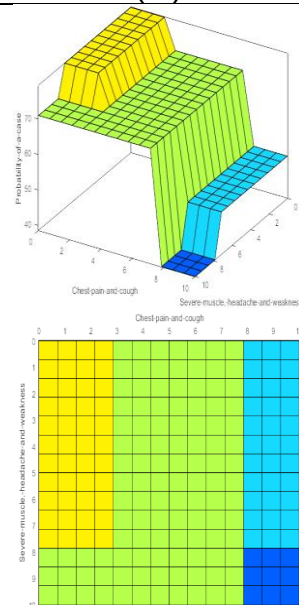
(b¹)



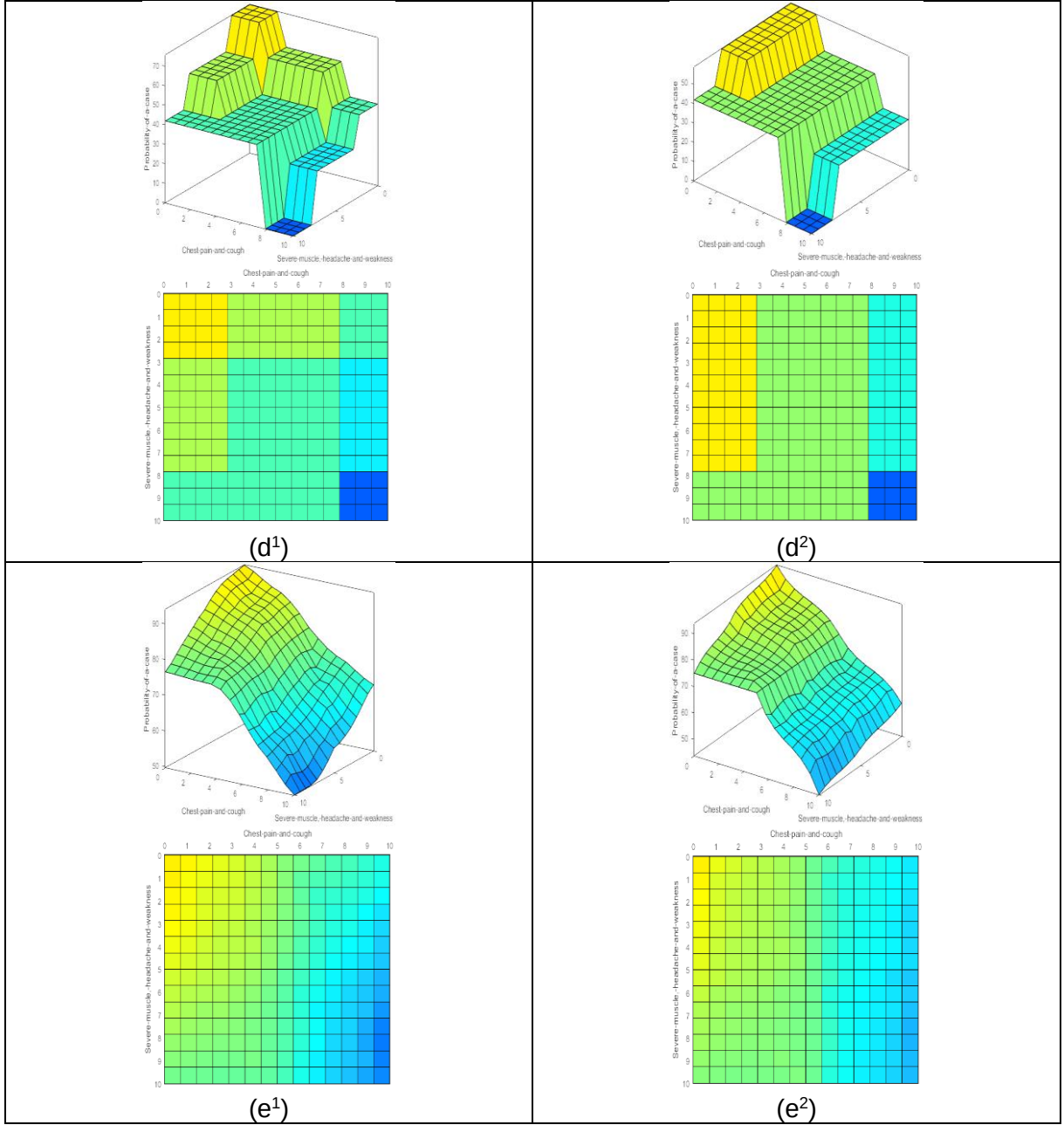
(b²)



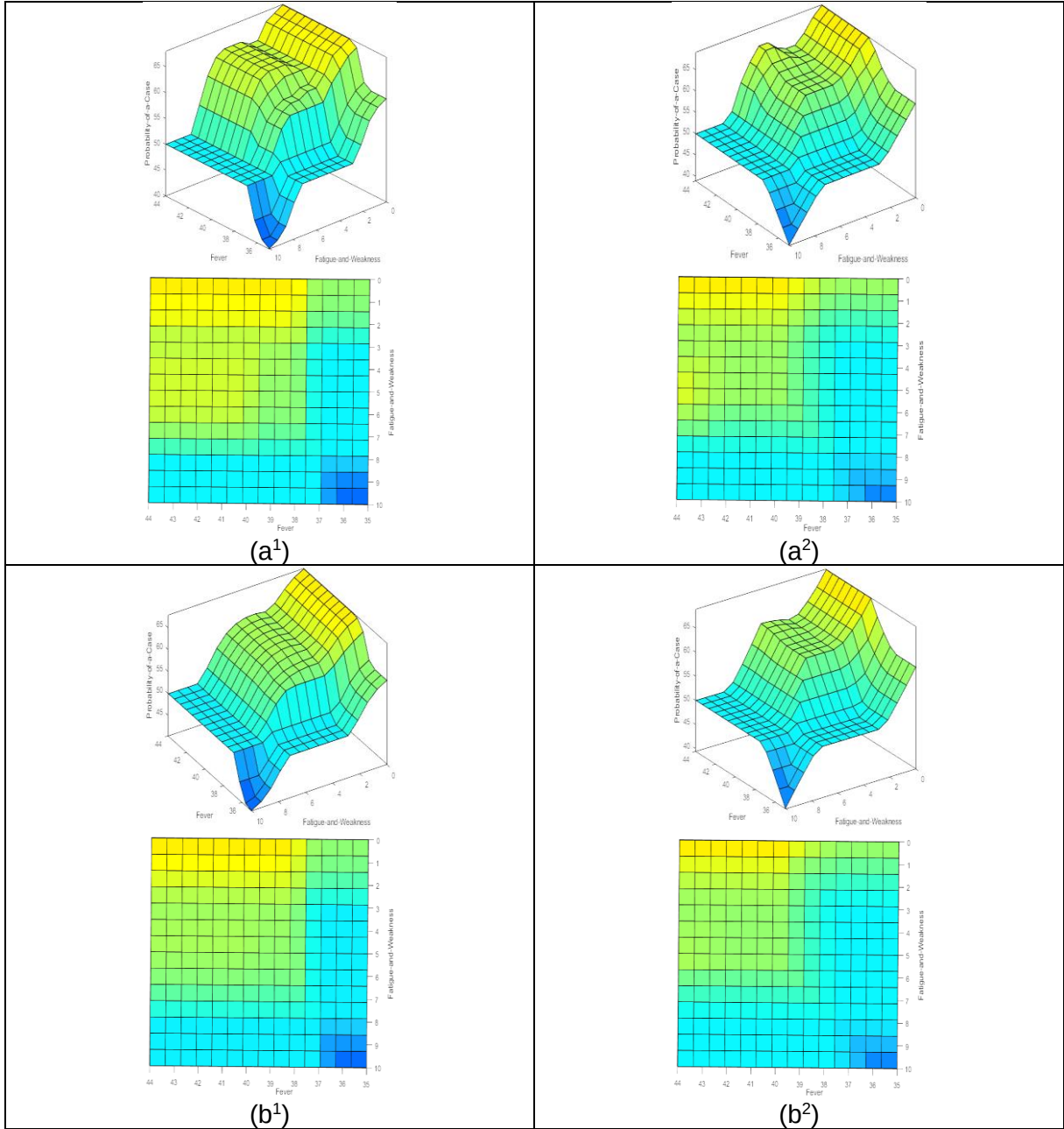
(c¹)

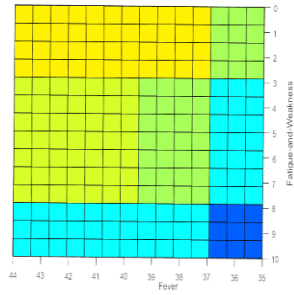
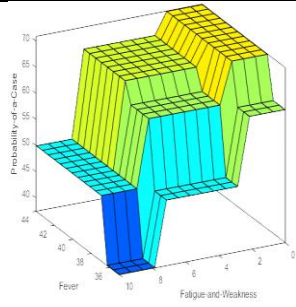
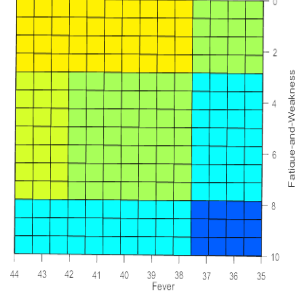
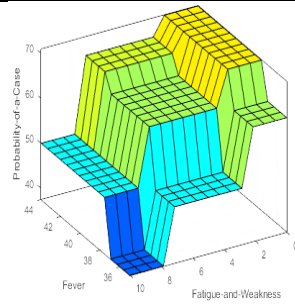
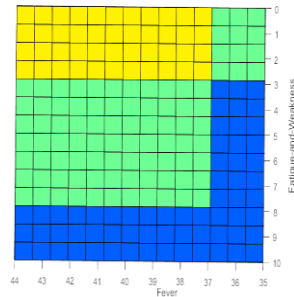
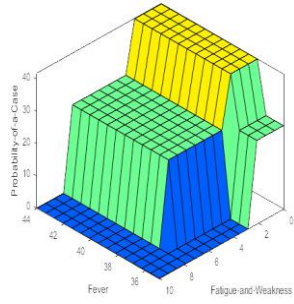
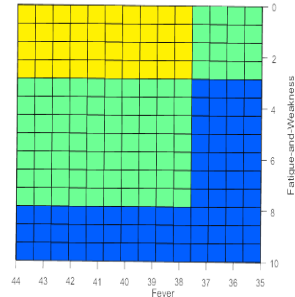
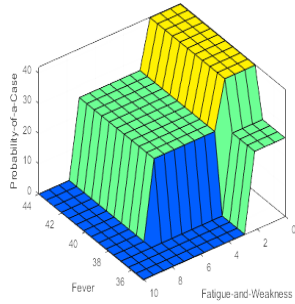


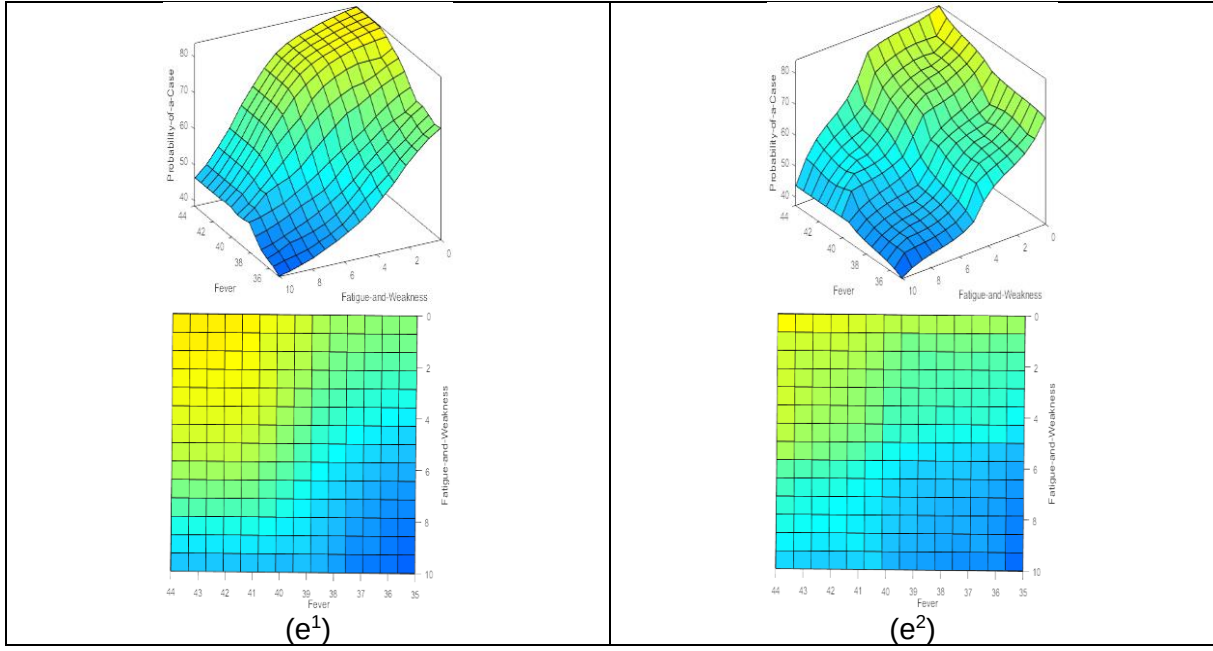
(c²)



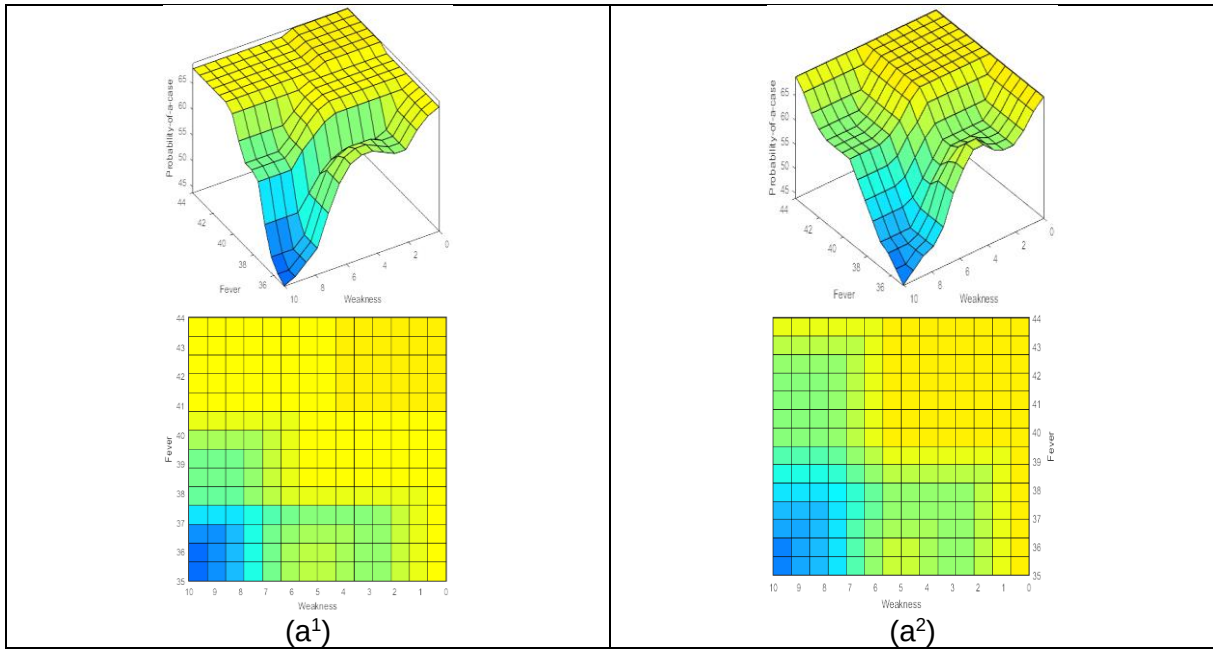
Şekil 4. Ebola hemorajik ateşi hastalığı için tasarlanmış modellerin göğüs ağrısı-öksürük semptomlarına göre elde edilen yüzey modelleri. a: bisector, b: centroid, c: mom, d: som, e: wtaver durulaştırma yöntemi kullanılan modeller.

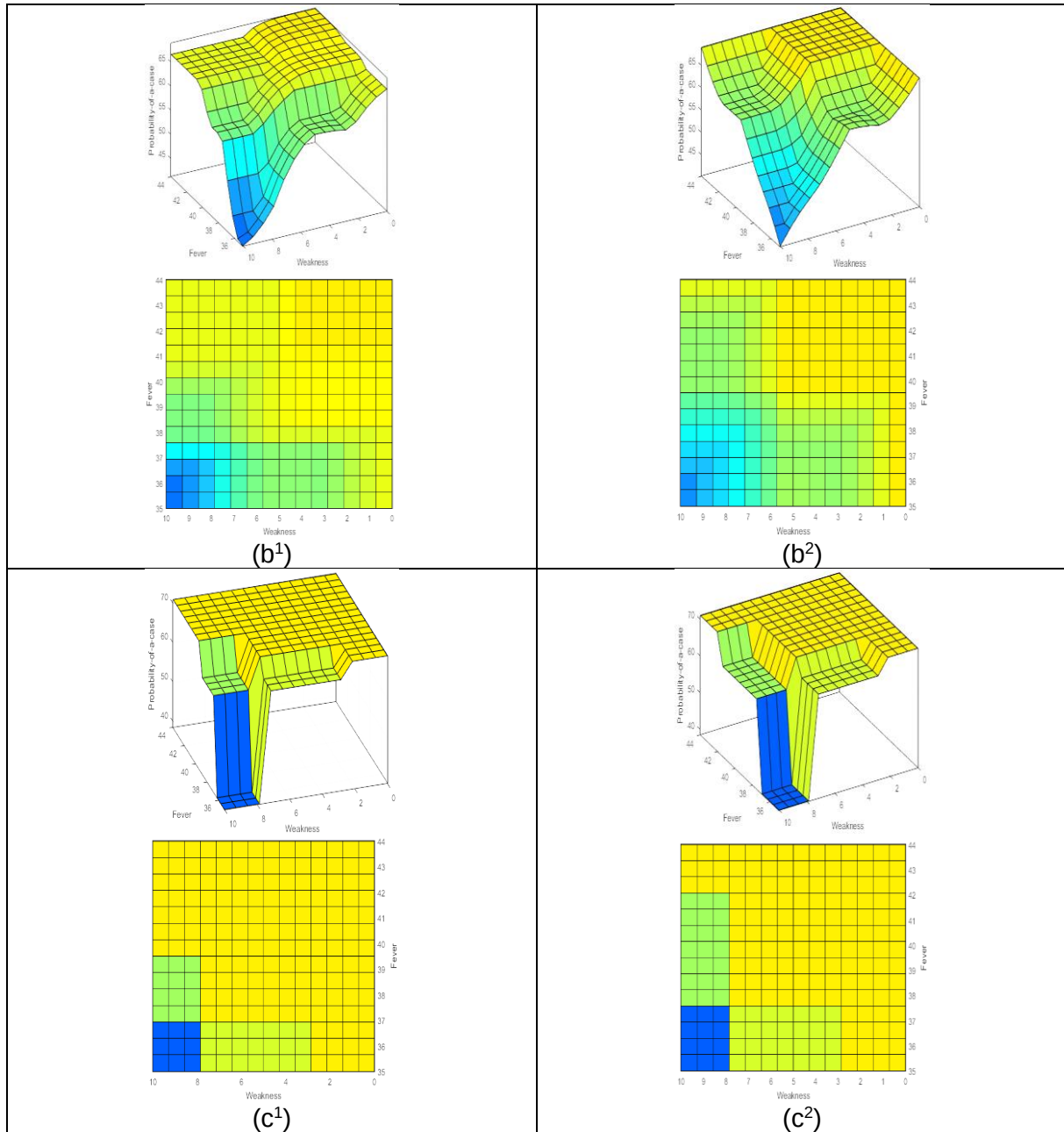


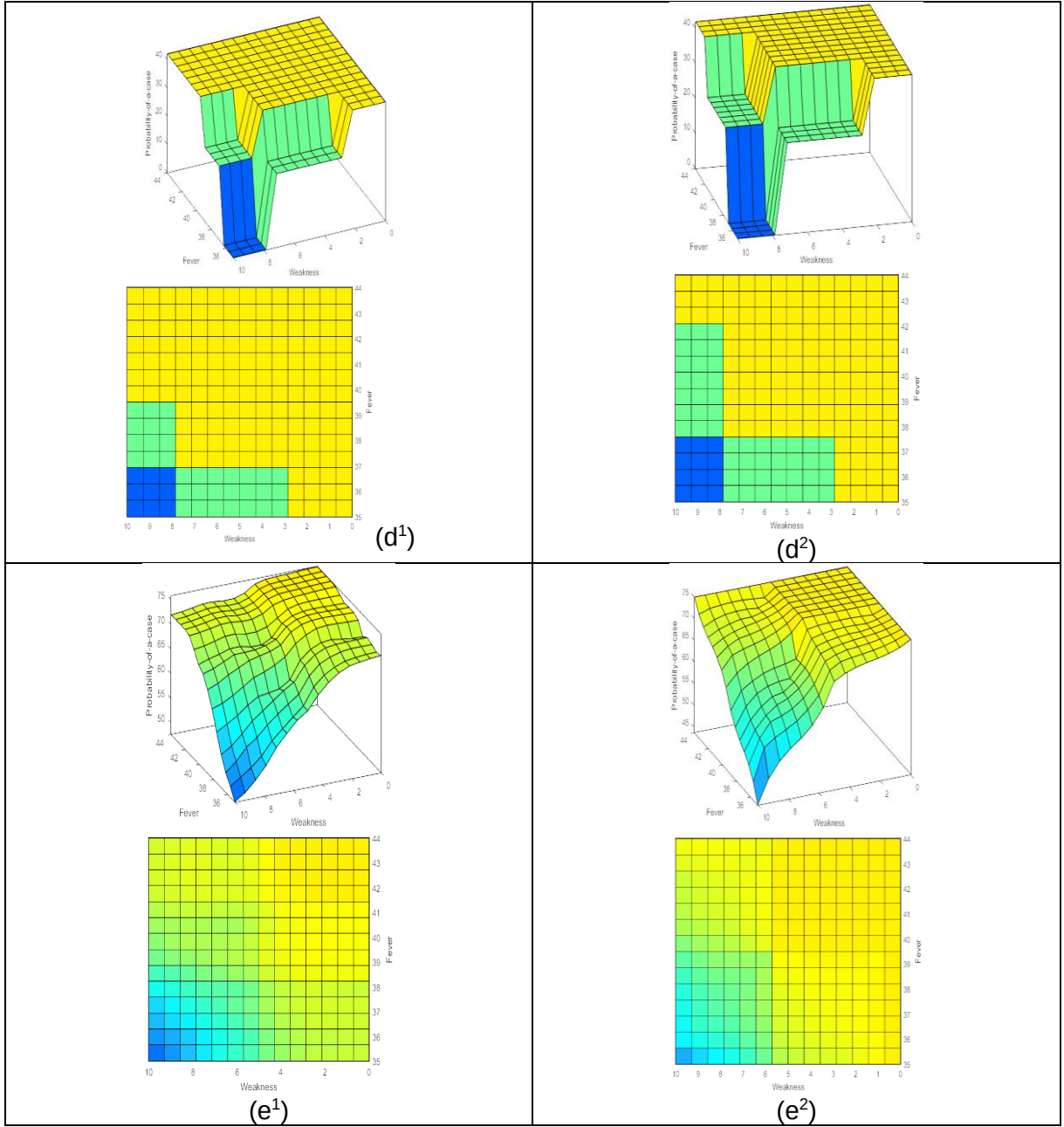
(c¹)(c²)(d¹)(d²)



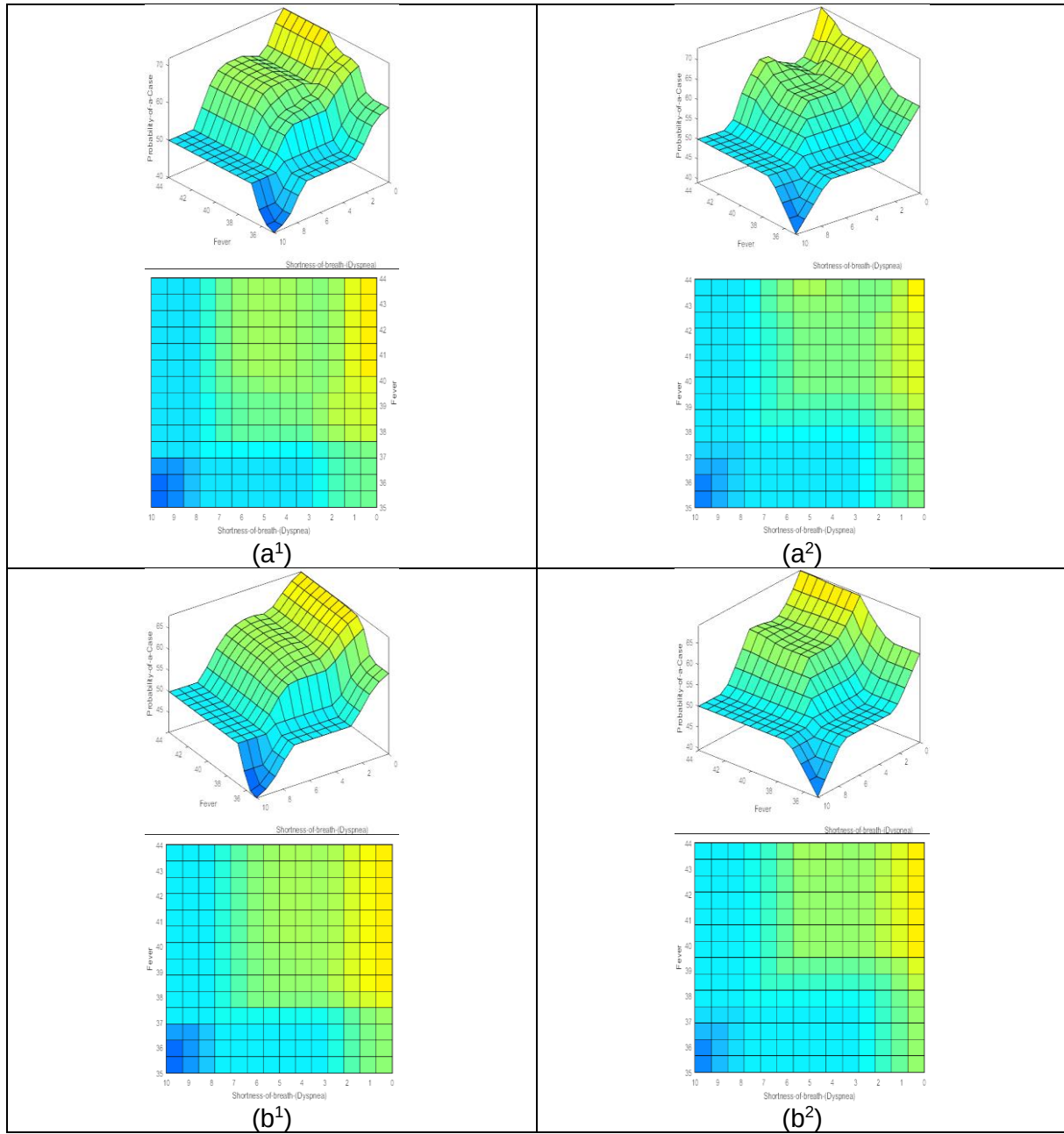
Şekil 5. Escherichia coli O157:H7 enfeksiyonu için tasarlanmış modellerin ateş- yorgunluk ve halsizlik semptomlarına göre elde edilen yüzey modelleri. a: bisector, b: centroid, c: mom, d: som, e: wtaver durulaştırma yöntemi kullanılan modeller.

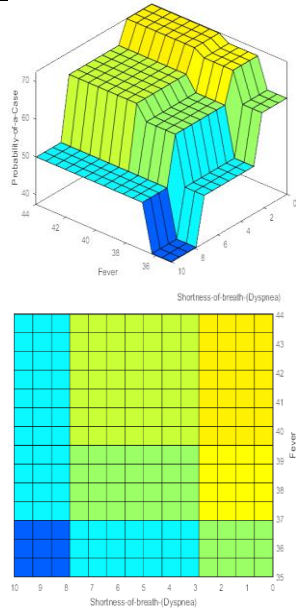




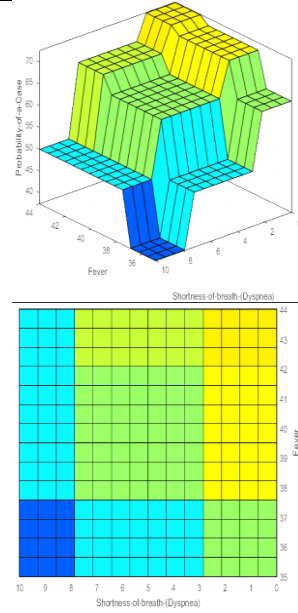


Şekil 6. Çiçek hastalığı için tasarlanmış modellerin ateş- halsizlik semptomlarına göre elde edilen yüzey modelleri. a: bisector, b: centroid, c: mom, d: som, e: wtaver durulaştırma yöntemi kullanılan modeller.

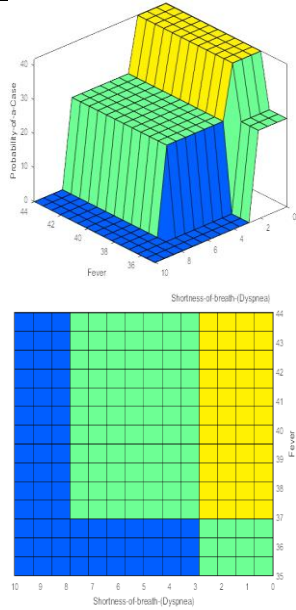




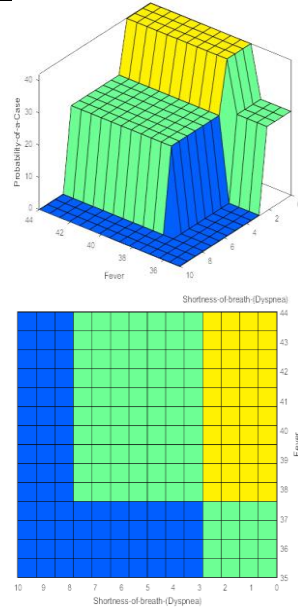
(c¹)



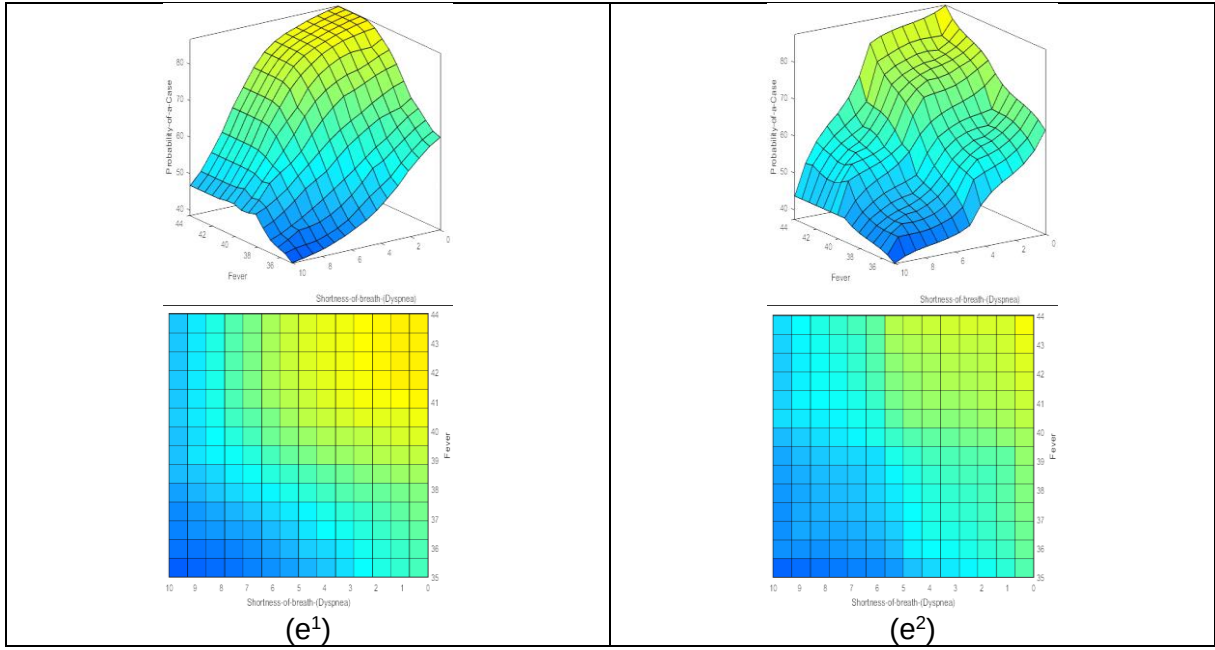
(c²)



(d¹)



(d²)



Şekil 7. Veba hastalığı için tasarlanmış modellerin ateş – nefes darlığı semptomlarına göre elde edilen yüzey modelleri. a: bisector, b: centroid, c: mom, d: som, e: wtaver durulaştırma yöntemi kullanılan modeller.

3.3. Model Çıktıları Arasındaki Korelasyon

Çalışmada her hastalık için toplamda 10 farklı model tasarlanmıştır. On farklı bulanık modelin vermiş olduğu çıktıların birbiri ile ilişkileri incelenmek istenmiştir. Buna bağlı olarak, model çıktılarının aralarındaki korelasyon kat sayıları hesaplanmıştır. Elde edilen korelasyon katsayıları tüm modellerin birbirleriyle yüksek derecede pozitif ilişki içerdiğini göstermiştir.

3.4. Standartlara uyum

Olgunun meydana gelme olasılığı: Her etken için tanımlanan farklı semptomlar ile oluşturulan senaryolarla bulanık mantık çıktıları kıyaslanmıştır. Bu kapsamda, verilen semptom girdilerine bakıldığında hastalık tanımlama olasılıkları %95 güven aralığında doğruya yakınsamaktadır. Bu da uzman bilgisi ile örtüşmektedir.

Olgunun sonuçlarının büyüklüğü: Her etken için tanımlanan farklı semptomlar ile oluşturulan kombinasyonlarla bulanık mantık çıktıları oluşturulmuştur. Bu kapsamda, verilen semptom girdilerine bakıldığında hastalık semptom girdisi artıkça doğru sonuca yakınsama tüm enfeksiyonlarda artmıştır.

Komplekslik ve bağlantılılık: Her etken için tanımlanan farklı semptomlar arasında bağlantıların oluşturulan senaryolarda meydana getirdiği değişime bağlı bulanık mantık çıktıları kıyaslanmıştır. Tüm semptom girdilerine bağlı olarak değişimin tanımlama üzerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Güvenirlilik ve hassasiyet seviyeleri: Her etken için tanımlanan farklı semptomlar ile oluşturulan senaryolarda bulanık mantık çıktıların minimum tespit sınırları ve olasılıkları belirlenmiştir. Bu kapsamda, girdiler işlendiğinde hassasiyet oranları olasılıkları %95 güven aralığında doğruya yakınsamaktadır.

Tablo 2. Şarbon hastalığı için tasarlanan modelin seçilmiş bazı çıktıları. Dispne semptomu için (0: çok kötü, 10: çok iyi), Miyalji, halsizlik ve göğüs ağrısı semptomları için (0: çok şiddetli, 10: hafif ya da yok), siyah lezyon semptomu için (0: yok, 1: var).

Semptomlar					Mamdani								Sugeno		Uzman Görüşleri		
Ateş	Dispne	Göğüs Ağrısı	Siyah Lezyon	Miyalji ve Halsizlik	Bisector		Centroid		MOM		SOM		Waver		1.	2.	3.
					Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen			
					Enfekte Olma Riski (%)												
39.2	2	6	1	2	84.00	82.00	82.36	79.78	88.00	88.50	76.00	77.00	98.34	ÇY	Y	Y	
41.7	2	8	1	3	86.00	77.00	85.97	77.12	88.50	66.50	77.00	59.00	99.93	Y	Y	Y	
35.2	7	1	0	0	64.00	62.00	59.69	58.06	67.00	67.00	61.00	61.00	67.95	68.66	O	O	
36.6	4	9	1	1	71.00	70.00	71.77	70.38	66.50	66.50	62.00	61.00	88.33	89.18	Y	Y	
40.4	8	4	1	7	72.00	83.00	74.22	81.81	67.00	88.50	61.00	77.00	99.23	100.00	ÇY	Y	
35.6	3	4	0	4	67.00	58.00	66.85	60.69	67.00	50.00	61.00	44.00	73.76	78.06	O	O	
43.9	5	4	1	1	87.00	87.00	86.13	86.71	91.00	90.50	82.00	81.00	99.67	100.00	ÇY	Y	
41.8	9	5	0	2	67.00	52.00	66.82	51.28	67.00	66.50	61.00	59.00	73.43	62.61	O	O	
41.3	9	10	0	5	50.00	39.00	50.11	40.40	50.50	33.50	49.00	27.00	52.05	39.29	O	O	
39.2	6	2	1	5	84.00	86.00	82.36	86.01	88.00	88.50	76.00	77.00	99.97	100.00	ÇY	Y	

Tablo 3. Brusellozis hastalığı için tasarlanan modelin seçilmiş bazı çıktıları. Eklem ağrısı semptomu için (0: çok şiddetli, 10: hafif ya da yok), gece terlemesi, kilo kaybı, karın ağrısı ve şişmiş lenf düğümleri semptomları için (0: yok, 1: var).

Semptomlar					Mamdani								Sugeno		Uzman Görüşleri		
Ateş	Gece Terlemesi	Eklem Ağrısı ve Halsizlik	Kilo kaybı, Karın ağrısı	Şişmiş Lenf Düğümleri	Bisector		Centroid		MOM		SOM		Wtaver		1.	2.	3.
					Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss - Gauss	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss- Gauss 2	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen			
Enfekte Olma Riski (%)																	
35.5	1	3	0	0	67.00	68.00	67.91	69.88	67.00	67.00	61.00	61.00	75.91	77.27	Y	Y	O
42.3	1	3	1	0	86.00	81.00	85.97	79.47	88.50	88.50	77.00	77.00	99.94	94.62	ÇY	Y	Y
36	1	8	1	1	86.00	86.00	86.03	86.01	88.50	88.50	77.00	77.00	100.00	100.00	ÇY	ÇY	ÇY
39.9	0	7	0	1	59.00	58.00	53.78	52.36	67.00	67.00	61.00	61.00	55.75	54.25	Y	O	O
37	1	0	0	1	81.00	75.00	79.71	76.26	88.50	88.50	77.00	77.00	89.37	86.11	Y	Y	Y
38.5	1	2	1	0	82.00	81.00	80.12	79.24	88.50	88.50	77.00	77.00	92.76	85.38	Y	O	Y
40	1	8	1	1	86.00	86.00	86.03	86.01	88.50	88.50	77.00	77.00	100.00	100.00	ÇY	ÇY	ÇY
42.3	1	4	1	1	87.00	86.00	86.99	86.09	91.00	89.00	82.00	78.00	100.00	100.00	ÇY	ÇY	ÇY
37.5	1	7	0	0	61.00	53.00	57.91	51.80	67.00	67.00	61.00	60.00	63.57	58.33	O	O	O
42.7	1	9	0	0	67.00	63.00	66.81	61.37	66.50	66.50	65.00	62.00	75.00	69.84	Y	O	O

Tablo 4. COVID-19 (Koronavirüs) hastalığı için tasarlanan modelin seçilmiş bazı çıktıları. Eklem ağrısı ve halsizlik semptomu için (0: çok şiddetli, 10: yok ya da hafif), tat-koku kaybı, kuru öksürük ve diyare semptomları için (0: yok, 1: var).

Semptomlar					Mamdani						Sugeno		Uzman Görüşleri				
					Bisector		Centroid		MOM		SOM		Wlaver		1.	2.	3.
					Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen			
					Enfekte Olma Riski (%)												
Ateş	Eklem Ağrısı ve Halsizlik	Tat-Koku Kaybı	Kuru Öksürük	Dişare	86.00	74.00	84.93	75.40	88.50	67.00	77.00	61.00	98.92	89.62	Y	Y	Y
40.5	8	0	1	1	87.00	87.00	86.99	86.33	91.00	89.50	82.00	79.00	100.00	100.00	ÇY	ÇY	ÇY
38.1	1	1	1	1	82.00	73.00	80.11	75.08	88.50	67.00	77.00	61.00	91.06	80.38	Y	Y	Y
41.2	2	0	1	0	86.00	86.00	85.81	85.93	88.00	88.50	76.00	77.00	100.00	100.00	Y	Y	Y
36.9	9	1	1	1	87.00	87.00	86.99	86.56	91.00	90.00	82.00	80.00	100.00	100.00	ÇY	ÇY	ÇY
40.6	4	1	0	1	87.00	87.00	86.53	87.08	92.00	91.50	84.00	83.00	99.17	100.00	ÇY	Y	ÇY
39.9	5	0	1	1	86.00	86.00	86.03	86.01	88.50	88.50	77.00	77.00	100.00	100.00	ÇY	ÇY	ÇY
38.1	7	1	0	1	87.00	87.00	86.99	86.48	91.00	90.00	82.00	80.00	100.00	100.00	ÇY	ÇY	ÇY
42.8	9	1	1	0	50.00	38.00	50.93	39.79	50.00	33.50	50.00	28.00	50.84	33.89	ÇD	ÇD	D
41.1	10	0	0	0	68.00	67.00	70.03	66.81	67.00	67.00	65.00	64.00	80.26	75.00	O	O	D
38.6	10	1	0	0													

Tablo 5. Ebola hemorajik ateş hastalığı için tasarlanan modelin seçilmiş bazı çıktıları. Şiddetli kas, baş ağrısı ve zayıflık, göğüs ağrısı ve öksürük semptomları için (0: çok şiddetli, 10: hafif ya da yok), gözlerde kanama ve döküntü semptomları için (0: yok, 1: var).

Semptomlar					Mamdani						Sugeno						
					Bisector		Centroid		MOM		SOM		Wtaver				
					Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen			
Ateş	Şiddetli kas, baş ağrısı ve zayıflık	Göğüs ağrısı ve öksürük	Gözlerde Kanama	Döküntü	Enfekte Olma Riski (%)												
35.6	4	2	0	1	63.00	63.00	62.06	63.09	67.00	67.00	61.00	61.00	67.71	68.97	O	Y	O
37.1	2	0	1	1	86.00	86.00	86.02	85.76	88.50	88.00	77.00	76.00	99.99	100.00	ÇY	ÇY	ÇY
36.2	2	9	1	1	55.00	57.00	59.09	61.57	50.00	50.00	44.00	44.00	69.79	72.86	O	Y	Y
40.5	10	10	0	0	13.00	13.00	14.75	13.46	8.00	10.00	0.00	0.00	8.40	0.00	ÇD	ÇD	ÇD
43.2	0	9	1	0	68.00	69.00	68.95	71.40	66.50	67.00	65.00	64.00	78.06	78.69	Y	Y	O
38.9	6	9	0	0	33.00	33.00	33.43	32.79	33.00	33.50	28.00	31.00	29.34	24.14	D	D	D
37.1	8	4	0	0	48.00	44.00	47.13	45.76	50.00	33.50	44.00	26.00	43.77	42.95	D	O	D
37.7	2	10	1	1	67.00	61.00	66.65	59.79	67.00	67.00	61.00	61.00	76.72	63.89	Y	O	O
38.1	0	5	0	1	67.00	63.00	66.42	61.05	67.00	66.50	67.00	62.00	73.51	67.22	O	Y	Y
40.7	10	8	0	1	55.00	56.00	56.32	57.11	50.00	50.00	44.00	44.00	59.39	60.87	O	O	Y

Tablo 6. Çiçek hastalığı için tasarlanan modelin seçilmiş bazı çıktıları. Ağrı ve halsizlik semptomları için (0: çok şiddetli, 10: hafif ya da yok), döküntü, vezikül semptomları için (0: yok, 1: var).

Semptomlar					Mamdani								Uzman Görüşleri				
Ateş	Ağrı	Halsizlik	Doküntü	Vezikül	Bisector		Centroid		MOM		SOM		Sugeno				
					Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Wtaver		
Enfekte Olma Riski (%)																	
41.2	8	1	0	0	50.00	47.00	49.93	45.60	50.00	50.00	44.00	44.00	49.88	48.04	O	O	O
36.8	1	6	1	1	84.00	83.00	82.36	81.81	88.00	88.50	76.00	77.00	94.55	93.18	ÇY	ÇY	Y
41.4	10	5	1	1	87.00	74.00	86.56	75.84	92.00	66.50	84.00	60.00	98.99	85.56	ÇY	ÇY	Y
36.3	2	2	1	0	72.00	74.00	74.20	75.40	67.00	67.00	61.00	61.00	78.17	78.38	Y	Y	Y
35.7	2	3	1	0	82.00	81.00	79.97	79.24	88.50	88.50	77.00	77.00	82.90	81.19	Y	Y	Y
37.1	6	0	0	1	65.00	64.00	63.64	62.04	67.00	67.00	62.00	60.00	71.15	71.43	Y	O	Y
35.2	1	9	0	0	33.00	33.00	33.06	32.79	33.50	33.50	32.00	31.00	25.73	26.41	ÇD	ÇD	ÇD
41.4	6	7	1	1	84.00	83.00	82.99	81.63	88.50	88.50	77.00	77.00	97.12	94.23	ÇY	ÇY	Y
42.5	3	10	0	1	67.00	62.00	66.74	60.47	67.00	67.00	61.00	61.00	74.94	70.00	O	Y	Y
38.2	6	3	0	0	48.00	43.00	46.82	38.42	50.00	50.00	44.00	44.00	46.92	38.55	O	O	D

Tablo 7. Veba hastalığı için tasarlanan modelin seçilmiş bazı çıktıları. Nefes darlığı semptomu için (0: çok şiddetli, 10: hafif ya da yok), şişmiş lenf düğümleri, cilt altı kanama ve idrarda kan semptomları için (0: yok, 1: var).

Semptomlar					Mamdani						Sugeno		Uzman Görüşleri		
Ateş	Nefes Darlığı	Sışmış Lenf Düğümleri	Cilt Altı Kanama	İdrarda Kan	Bisector		Centroid		MOM		SOM		Wiaver		
					Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	Gauss-Gauss2	Üçgen	
					Enfekte Olma Riski (%)										
36.4	8	1	0	1	54.00	54.00	55.73	56.17	50.00	50.00	44.00	54.68	0	0	0
42.2	9	0	0	0	14.00	17.00	15.53	18.28	9.00	11.50	0.00	3.33	7.14	ÇD	ÇD
41.1	4	0	1	0	68.00	58.00	69.28	61.81	66.50	50.50	65.00	77.10	67.06	Y	Y
38.6	1	1	0	0	53.00	48.00	57.49	46.06	50.00	50.00	48.00	58.14	46.43	0	0
35.6	4	0	0	0	15.00	17.00	17.03	20.22	9.00	10.00	0.00	6.59	11.84	D	ÇD
38.5	6	0	1	0	50.00	48.00	49.83	45.71	50.50	50.00	49.00	47.92	38.89	0	0
38.9	1	1	1	1	86.00	87.00	86.25	86.71	89.00	90.50	78.00	100.00	100.00	ÇY	ÇY
40.3	6	0	1	0	64.00	50.00	60.24	49.73	66.50	50.00	65.00	65.01	46.31	0	0
42.8	8	1	1	0	72.00	74.00	74.22	75.40	67.00	67.00	61.00	83.72	81.52	Y	Y
41.3	2	1	0	1	86.00	74.00	85.91	75.40	88.50	67.00	77.00	99.72	86.11	ÇY	Y

Tablo 8. *Escherichia coli* O157:H7 enfeksiyonu için tasarlanan modelin seçilmiş bazı çıktıları. Yorgunluk ve halsizlik semptomu için (0: çok şiddetli, 10: hafif ya da d

Semptomlar					Mamdanı								Sugeno		Uzman Görüşleri		
Ateş	Yorgunluk ve Halsizlik	Abdominal kramplar ve Karın ağrısı	Kanlı İshal	Bulantı	Bisector		Centroid		MOM		SOM		Sugeno		1.	2.	3.
					Gauss- Gauss	Üçgen	Gauss -	Üçgen	Gauss- Gauss2	Üçgen	Gauss -	Üçgen	Gauss- Gauss	Üçgen			
					Enfekte Olma Riski (%)												
39.8	6	0	0	0	32.00	31.00	30.43	28.74	33.50	33.50	32.00	31.00	20.48	19.12	D	ÇD	D
42.9	2	1	0	0	67.00	63.00	66.78	61.61	67.00	67.00	61.00	61.00	74.98	70.90	O	O	O
39.9	8	1	0	1	59.00	53.00	64.61	55.96	50.00	50.00	44.00	44.00	62.89	53.77	O	O	O
43.5	8	0	0	0	18.00	20.00	19.98	20.85	11.50	11.50	0.00	0.00	8.73	10.45	ÇD	ÇD	ÇD
43.6	4	1	1	0	68.00	69.00	70.00	71.40	66.50	67.00	65.00	64.00	78.29	79.25	Y	O	Y
41.3	1	1	1	0	86.00	74.00	84.57	75.40	91.00	67.00	82.00	61.00	96.49	82.14	Y	Y	ÇY
43.2	7	0	1	0	59.00	57.00	53.78	52.31	67.00	67.00	61.00	61.00	57.67	50.41	O	O	O
36.1	7	0	0	1	33.00	33.00	33.46	33.40	33.00	33.50	27.00	27.00	25.09	25.00	D	ÇD	ÇD
37.5	0	1	0	0	66.00	67.00	64.10	66.81	66.50	67.00	65.00	60.00	71.93	75.00	O	O	O
37.9	1	1	0	0	65.00	62.00	63.06	56.83	66.50	66.50	65.00	61.00	70.74	64.29	O	O	O

4. TARTIŞMA

Günümüzde teknolojinin gelişimi ve yenilenmesinden dolayı, hayatın birçok alanında değişimler olmaktadır. Hastalıkların teşhisinde, bulanık mantığın oldukça sık başvurulan yöntemlerden birisi haline geldiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karar destek sistemlerinin de birçok alanda kullanışlı ve gerekli hâle gelmeye başladığı gibi sağlık alanında da teşhis-tedavi ya da sağlık yönetimiyle ilgili süreçlerde fayda sağlayan önemli bir yapı haline gelmiştir. Bulanık mantık ve karar destek sistemlerinin entegre olarak çalıştığı hibrit sistemlerin, hastalıkların teşhisinde kullanılmasıyla başarılı sonuçlar elde edildiği gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada potansiyel biyolojik harp maddelerinin ve SARS-CoV-2 virüsünün sebep olduğu bulaşıcı hastalıkların, tasarlanan bulanık mantık tabanlı karar destek sistemi ile teşhisi ve bulaşı yayılımının tahminlemesi hedeflenmiştir. Tahminleme yapılırken çeşitli üyelik fonksiyonları, bulanık çıkarım sistemleri ve durulaştırma metodları kullanılarak bu tür modellerde optimum sonuca ulaşmayı sağlayan bulanık model tipinin de belirlenmesi hedeflenmiştir.

Tasarlanmış bulanık model çıktılarının 2 boyutlu sonuç grafikleri incelendiğinde ISO 31000- 'Risk Yönetimi Kuralları ve Rehberi'nde bulunan risk matrisi ile olasılık ve etki yönünden paralellik gösterdiğini, çalışmamızın sonuçlarının risk kapsamında doğru şekilde kurulmuş olduğunu söylemek mümkündür (International Standardization Organization (ISO), 2018). Bulanık karar destek sistemleri ile biyoterörizm ajanlarından kaynaklı hastalıkların teşhisinin tahmini ile ilgili sınırlı sayıda literatür kaynağı bulunmaktadır. Belinda ve Emadomi (2015), tarafından yapılan çalışma bizim çalışmamıza benzerlik göstermektedir. İlgili çalışmada sadece ebola hemorajik ateş hastalığı incelenmiştir. Çalışmada giriş değişkeni olarak semptomlar kullanılmış ve hastalığın erken teşhisi için tahminleme yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda Belinda ve Emadomi, başarılı sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. Bu çalışma bulanık mantık tabanlı modellerin biyoterörizm alanında da etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada incelenen ebola hemorajik ateş hastalığına ek olarak çalışmamızda daha fazla hastalık için model tasarlanmış olup ilgili çalışmanın ilk adımında yapıldığı gibi semptomların hangi derecede olduğu kesin değerle alınarak değil bulanık bilgilerle alınarak işlenecek şekilde dizayn edilmiştir. Diğer Ebola virüsünün tespitine yönelik yapılan (Jimoh, Afolayan, Awotunde, & Matiluko, 2017) çalışmada bulanık kural tabanı kullanılarak oluşturulmuş karar destek sisteminin başarılı sonuçları, çalışmamızı destekler niteliktedir. Çalışmamızda tasarlanmış bulanık karar destek sisteminin çıktıları bu alanda uzman kişiler tarafından da başarılı bulunmuştur.

Çalışmamızın amaçları arasında, literatür kaynaklarındaki bulanık mantık tabanlı birçok çalışma ile aynı şekilde hastalık teşhisinin tahmini olduğu için aldığımız sonuçların başarılı olmasını kullandığımız yöntemlerin doğruluğunu yenilediğini görmekteyiz (Stanley , Moss, Van, & Aggarwal, 2003), (Benecchi, 2006), (Allahverdi, 2014).

Bates ve Young (2003), çalışmalarında, karşılaşılan problemlerin matematiksel modellerin olmadığı ya da oluşturulmasının zor olduğu durumlarda çalışmalarda bulanık mantığın kullanılarak yapılmasını desteklemişlerdir. Çalışmamızda, biyoterörizm ajanlarının sebep olduğu hastalıklar ile ilgili verilerin gizliliğinden ve paylaşılmaması sonucu veri setinin yokluğu ve matematiksel bir denklemin bulunmamasından dolayı kullandığımız yöntemin en iyi seçeneklerden birisi olduğu gözlemlenmektedir.

Melin, Miramontes ve Prado-Arechiga (2018) çalışmalarında hastalıkların teşhisinde bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının birlikte kullanılarak başarılı sonuçların elde edilebileceğini

savunmuşlardır. Bu düşünce doğrultusunda makine öğrenmesi yöntemleri ve ANFIS gibi bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının entegre bir şekilde çalışmasıyla ortaya çıkan sistemlerin literatürde bulunan çalışmaları incelendiğinde başarılı olduğu gözlemlenmektedir. Fakat çalışmamızda incelenen hastalıkların, gerçek hasta verilerine ulaşmanın pek mümkün olmadığı göz önünde bulundurulduğunda makine öğrenmesi ve yapay sinir ağlarının, benzer durumda olan hastalıklar ve durumlar için kullanılmasının mümkün olmadığı söylenebilir.

Çalışmadaki model çıktıları incelendiğinde her hastalık için tüm modellerin birbiri ile benzer sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. İlgili yöntemlerin kullanılmasıyla elde edilen sonuçların korelasyon kat sayıları incelendiğinde yüksek derecede pozitif ilişki içerisinde oldukları gözlemlenmiştir. Genel olarak incelediğimizde kullanılan tüm yöntemlerin bu tür bir çalışma için uygun olabileceği sonucuna ulaşılabilir. Daha detaylı bir inceleme yapıldığında diğer modellere nazaran daha başarılı kabul ettiğimiz model Mamdani BÇS ile tasarlanmış, gauss tipi üyelik fonksiyonu kullanılmış ve durulaştırma yöntemi olarak da ağırlık merkezi (centroid) yönteminin kullanıldığı modellerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyoterörizm, toksik etkiye sahip mikroorganizmaların kasıtlı olarak bitkileri, hayvanları veya insanları enfekte etmek amacıyla kullanılmasıdır. Biyoterörist harp maddelerinin, kolay ulaşılabilir olması, yüksek mortalite ve morbidite oranlarına sahip olması, büyük ölçeklerde üretim ve depolama kolaylığı, çevresel koşullara karşı yüksek direnç göstermesi ve aerosol yoluyla bulaşı için uygun partikül büyüklüklerine sahip olması gibi birçok avantajından dolayı, terörist grupların dikkatini çekmektedir. Çok küçük miktarlarda bile kullanımı sonrasında toplumda ölümler, kargaşa, korku ve endişe havasının oluşması gibi sonuçlara neden olmaktadır. Bu denli ciddi sonuçlara yol açan bu tehdide karşı gerekli önlemlerin alınması ve planlamaların yapılması önem arz etmektedir. Bu tür girişimlerin öncelikli olarak engellenmesi gerekmektedir. Fakat bu başarısamıyorsa sonraki en önemli adım erken teşhis ve sebep olan biyoterörist harp maddesinin veya hastalığın hızlı bir şekilde tanımlanmasıdır.

Bu çalışmada olası biyoterörist aktivite sonrasındaki en önemli adım olan erken teşhis aşaması için biyoterörist harp maddelerinin teşhisinin tahminine yönelik bulanık kural tabanlı uzman sistem geliştirilmiştir. Çalışmada bulanık karar destek sisteminin vermiş olduğu teşhis tahminleri, bu alanda uzman kişiler tarafından başarılı bulunmuştur. Çalışmamızda şarbon, brusellozis, ebola hemorajik ateş, escherichia coli O157:H7 enfeksiyonu, COVID-19, çiçek ve veba hastalıkları incelenmiştir. Her hastalık için Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım sistemlerinde, bir grup modelde gauss ve gauss2, diğer model grubunda ise üçgen üyelik fonksiyonları kullanılarak farklı bulanık modeller tasarlanmıştır. Her model grupları için de durulaştırma yöntemleri olarak ağırlık merkezi (centroid), iki bölge yöntemi (bisector), en büyüğün ortalaması (MOM), en büyüğün en küçüğü (SOM) ve ağırlıklı ortalama (Wtaver) metodu kullanılmıştır. Kullanılan metodların test aşamasında her hastalık için 500 tane rastgele hasta verisi oluşturulmuş ve sistemin çıktıları kaydedilmiştir.

Bulanık karar destek sistemi sayesinde, seviyeleri kesin veriler olmayan semptomların tanımlanması, erken safhalarda farklı hastalıklarla benzer semptomlar taşıyan ilgili salgın hastalıkların tanımlanması ve eğer biyoterörist bir saldırı varlığının şüphesi var ise hızlı ve ekonomik bir şekilde saldırının varlığı hakkındaki kararın desteklenmesi sağlanmıştır. Daha etkin, tutarlı ve sağlıklı kararların alınmasında karar vericilere destek olacak bu sistem sayesinde, alınan hızlı kararlarla karantina uygulanıp uygulanmayacağı ya da kimlerin karantinaya dahil olacağının kararları alınabilir, biyoterörist harp maddelerinin sebep olacağı yıkıcı etkilerin önüne geçilebilir veya etkilerin şiddeti azaltılabilir.

Sonuç olarak çalışmada tasarlanmış olan bulanık karar destek sistemi ile gerçek hayata yakın sonuçlar elde edilmiş, biyolojik bir silah kullanımı durumunda karar destek sistemlerinin bulanık mantıkla desteklenmesinin uygun bir yöntem olduğu kanısına varılmıştır. Bulanık karar destek sistemleri sağlık, savunma ve birçok alanda etkin bir yöntem olarak kullanılabilir.

Biyoterörizm alanında bulanık mantık tabanlı karar destek sistemleri kullanılacaksa ilgili alanda veriler elde edilirse sistemin eğitilmesinde bu verilerin kullanılarak daha da başarılı sonuçlar elde edilebileceği kanaatindeyiz. Geliştirilen sistemin taşınabilir cihazlara entegre edilerek, saldırı şüphesinin olduğu bölgelerde taşınabilir cihazlarla verilerin toplanmasıyla, risk grubunun başını çeken sağlık çalışanlarının yayılımdan daha az etkilenmesinin sağlanabileceği düşünülmektedir. Çalışılan bulanık modele daha fazla hastalık dahil edilerek tek bir sistem üzerinden semptomların girdisi sonrasında potansiyel hastalıkların risk yüzdeleriyle birlikte sıralamasının yapılabileceğini öngörmekteyiz.

Teşekkür: Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans programı kapsamında yazılan yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

Çıkar çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik beyanı: Bu çalışmada, yazarlar, hiçbir insan ya da hayvan denek kullanılmadığını ve Etik Kurul iznine gerek olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

Abiyev, H. R., & Abizade, S. (2016). Diagnosing Parkinson's Diseases Using Fuzzy Neural System. *Comput Math Methods Med.*, 1-9.

Akçam, M. O., & Takada, K. (2002). Fuzzy modelling for selecting headgear types. *Eur J Orthod.*, 99-106.

Allahverdi, N. (2014). Design of Fuzzy Expert Systems and Its Applications in Some Medical Areas. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 1-8.

Australian Government Department of Health. (2021, May 11). *Review of Biological Agents of Security Concern*. Retrieved from [https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/B6A946FB22DDD445CA257EF50014BE89/\\$File/FINAL-REPORT-Review-Biological-Agents-Security-Concern.pdf](https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/B6A946FB22DDD445CA257EF50014BE89/$File/FINAL-REPORT-Review-Biological-Agents-Security-Concern.pdf)

Barras, V., & Greub, G. (2014). History of biological warfare and bioterrorism. *Clin Microbiol Infect*, 497-502.

Bates, J. T., & Young, M. P. (2003). Applying fuzzy logic to medical decision making in the intensive care unit. *Am J Respir Crit Care Med*, 948-952.

Belinda, O. E., & Emadomi, M. I. (2015). Fuzzy Logic Based Approach to Early Diagnosis of Ebola Hemorrhagic Fever. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2015 Vol II*. San Francisco.

Benecchi, L. (2006). Neuro-fuzzy systems for prostate cancer diagnosis. *Urology*, 357-361.

- CDC. (2012). *Brucellosis*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/brucellosis/symptoms/index.html>
- CDC. (2016). *Smallpox*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/smallpox/symptoms/index.html>
- CDC. (2018, May 6). *Bioterrorism Agents/Diseases*. Retrieved from CDC: <https://emergency.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp>
- CDC. (2020). *Symptoms of Anthrax*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/anthrax/symptoms/index.html>
- CDC. (2021). *Ebola (Ebola Virus Disease)*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/vhf/ebola/symptoms/index.html>
- CDC, NCEZID, DVBD. (2018). *Plague*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/plague/symptoms/index.html>
- Cismondi, F., Celi, L. A., Fialho, A. S., Vieira, S. M., Reti, S. R., Sousa, J. M., & Finkelstein, S. N. (2013). Reducing Unnecessary Lab Testing in the ICU with Artificial Intelligence. *Int J Med Inform*, 345-358.
- Doganay, M., & Aygen, B. (2003). Human brucellosis: an overview. *Int J Infect Dis*, 173-182.
- Erdin, B. N. (2019). Biyoterörizmin Epidemiyolojisi, Biyoterörizmde Savunma ve Korunma, Biyoterörizm ve Mikrobiyoloji Laboratuvarı. Klinik Mikrobiyoloji Uzmanlık Derneği (KLİMUD) e-Bülten, 25-32.
- Esakandari, H., Nabi-Afjadi, M., Fakkari-Afjadi, J., Farahmandian, N., Miresmaeili, S., & Bahreini, E. (2020). A comprehensive review of COVID-19 characteristics. *Biol Proced Online*, 19-28.
- FDA. (2019). *Escherichia coli (E. coli)*. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/foodborne-pathogens/escherichia-coli-e-coli>
- Feldmann, H., & Geisbert, T. (2011). Ebola haemorrhagic fever. *Lancet*, 849-862.
- Gayathri, B. M., & Sumathi, C. P. (2015). Mamdani fuzzy inference system for breast cancer risk detection. *2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, (pp. 1-6). Madurai.
- Grant, P., & Naesh, O. (2005). Fuzzy logic and decision-making in anaesthetics. *J R Soc Med*, 73.
- Guan, W., Ni, Z., Hu, Y., Liang, W., Ou, C., & He, J. (2020). Clinical Characteristics of Coronavirus. *N Engl J Med*, 1708-1720.
- Gündoğan, C. (2019). *Uygun Radyolojik Tetkik İstemi İçin Hastane Bilgi Sistemine Entegre Otomatik Karar Destek Sistemi Tasarımı*. İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal İnfomatik Anabilim Dalı.
- Henderson, D. (1999). Smallpox: clinical and epidemiologic features. *Emerg Infect Dis*, 537-539.

Hülseweh, B. (2013). CBRN Protection Managing the Threat of Chemical, Biological, Radioactive and Nuclear Weapons. In A. H. Richardt, *Characteristics of Biological Warfare Agents – Diversity of Biology* (pp. 103-123). Weinheim: Wiley-VCH.

International Standardization Organization (ISO). (2018). *ISO 31000:2018 Risk Değerlendirme*. Cenevre, İsviçre.

Jimoh, R., Afolayan, A., Awotunde, J., & Matiluko, O. (2017). Fuzzy Logic Based Expert System In The Diagnosis Of Ebola Virus. *Ilorin Journal Of Computer Science And Information Technology*, 73-94.

Kamal, S., Rashid, A., Bakar, M., & Ahad, M. (2011). Anthrax: an update. *Asian Pac J Trop Biomed*, 496-501.

Kaya, H. (2018). *Akciğer Hastalıkları Teşhisinde Sınıflandırma ve Bulanık Mantık Yöntemlerinin Uygulanması*. Ankara, Türkiye: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.

Kocabaş, H. (2020). *Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer Savaş Ajanlarına Yönelik Dekontaminasyon Yöntemleri ve Sistemleri*. Ankara: Milli Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri Enstitüsü.

Krasheniyi, I., Popov, A., Ramirez, J., & Gorriz, J. M. (2015). Application of fuzzy logic for Alzheimer's disease diagnosis. *2015 Signal Processing Symposium (SPSymposium)*, (pp. 1-4). Debe.

Mayo Clinic. (2020). *E. Coli*. Retrieved from <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/e-coli/symptoms-causes/syc-20372058>

Mayo Clinic. (2020). *Smallpox*. Retrieved from <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/smallpox/symptoms-causes/syc-20353027>

Mead, P., & Griffin, P. (1998). *Escherichia coli O157:H7*. *Lancet*, 1207-1212.

Meer, K., Mkrtchyan, L., & Nagy, A. (2013). *CBRN Detection Framework Using Fuzzy Logic*. *Proceedings of the 10th International ISCRAM Conference*. Baden.

Melin, P., Miramontes, I., & Prado-Arechiga, G. (2018). A hybrid model based on modular neural networks and fuzzy systems for classification of blood pressure and hypertension risk diagnosis. *Expert Systems With Applications*, 146-164.

Meselson, M., Guillemin, J., Hugh-Jones, M., Langmuir, A., Popova, I., Shelokov, A., & Yampolskaya, O. (1994). The Sverdlovsk Anthrax Outbreak of 1979. *Science*, 1202-1208.

Moore, Z., Seward, J., & Lane, J. (2006). *Smallpox*. *Lancet*, 425-435.

Nascimento, L., & Ortega, N. S. (2002). Fuzzy linguistic model for evaluating the risk of neonatal death. *Rev Saude Publica*, 686-692.

NHS. (2020). *Main symptoms of coronavirus (COVID-19)*. Retrieved from <https://www.nhs.uk/conditions/coronavirus-covid-19/symptoms/main-symptoms/>

- NSY. (2011). *Anthrax (malignant edema, woolsorters' disease)*. Retrieved from https://www.health.ny.gov/diseases/communicable/anthrax/fact_sheet.html
- Pathak, A. K., & Arul, V. J. (2020). A Predictive Model for Heart Disease Diagnosis Using Fuzzy Logic and Decision Tree. In A. K. Pathak, & V. J. Arul, *Smart Computing Paradigms: New Progresses and Challenges. Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 131-140). Singapore: Springer.
- Pereira, J. R., Tonelli, P. A., Barros, L. C., & Ortega, N. S. (2004). Clinical signs of pneumonia in children: association with and prediction of diagnosis by fuzzy sets theory. *Braz J Med Biol Res.*, 701-709.
- Prentice, M., & Rahalison, L. (2007). Plague. *Lancet*, 1196-1207.
- Rollins, S., Rollins, S., & Ryan, E. (2003). Yersinia pestis and the Plague. *Am J Clin Pathol*, 78-85.
- Ryan, J. R. (2016). *Biosecurity and Bioterrorism: Containing and Preventing Biological Threats Second Edition*. Oxford, Cambridge: Butterworth-Heinemann.
- Safari, S., Baratloo, A., Rouhipour, A., Ghelichkhani, P., & Yousefifard, M. (2015). Ebola Hemorrhagic Fever as a Public Health Emergency of International Concern; a Review Article. *Emerg (Tehran)*, 3-7.
- Seleem, M., Boyle, S., & Sriranganathan, N. (2010). Brucellosis: A re-emerging zoonosis. *Vet Microbiol*, 392-398.
- Sousa, Z. (2014). Key features of Ebola hemorrhagic fever: a review. *Asya Pac J Trop Biomed*, 841-844.
- Stanley, R. J., Moss, R. H., Van, S. W., & Aggarwal, C. (2003). Fuzzy-based histogram analysis technique for skin lesion discrimination in dermatology clinical images. *Comput Med Imaging Graph.*, 387-96.
- Su, C., & Brandt, L. (1995). Escherichia coli O157:H7 infection in humans. *Ann Intern Med*, 698-714.
- Sweeney, D., Hicks, C., Cui, X., Li, Y., & Eichacker, P. (2011). Anthrax Infection. *Am J Respir Crit Care Med*, 1333-1341.
- T.C. Sağlık Bakanlığı. (2020). *Covid-19 (Sars-Cov-2 Enfeksiyonu) Genel Bilgiler, Epidemiyoloji ve Tanı*. Retrieved from <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66337/genel-bilgiler-epidemiyoloji-ve-tani.html>
- T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2019). *Bruselloz*. Retrieved from <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/zoonotikvektorel-bruselloz/detay>
- T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (2019). *Şarbon*. Retrieved from <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/zoonotikvektorel-sarbon/detay>

T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Hudut ve Sahiller Sağlık Genel Müdürlüğü. (2019). *Veba (Plague)*. Retrieved from <https://www.seyahatsagligi.gov.tr/site/HastalikDetay/Veba>

Tian, D., & Z., T. (2014). Comparison and analysis of biological agent category lists based on biosafety and biodefense. *PloS one*, 1-6.

WHO. (2017). *Plague*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/plague>

WHO. (2018). *E. Coli*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>

WHO. (2019). *Smallpox*. Retrieved from https://www.who.int/health-topics/smallpox#tab=tab_2

WHO. (2020). *Coronavirus*. Retrieved from https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_3

WHO. (2021). *Ebola virus disease*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ebola-virus-disease>