

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Evaluation of a Direct Current Electric Motor Modelled Based on the Artificial Intelligence in the Sense of Stability

Ege Cömert^a, Salih Karaaslan^b, Bülent Özkan^{*c}

Submitted: 15.02.2023 Revised: 31.05.2024 Accepted: 28.007.2024 doi:10.30855/gmbd.0705A13

ABSTRACT

Keywords: Artificial intelligence, dynamic system, modelling, direct current electrical motor, stability

^a TUSAŞ-Turkish Aerospace Industries, Inc, 06980-Ankara, Türkiye

^b Gazi University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 06570-Ankara, Türkiye

^{c*} Gazi University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 06570-Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0003-3112-9723

*Corresponding author:
bozkan@gazi.edu.tr

Artificial intelligence (AI), which has an important place in today's technology and is called "artificial intelligence" as an English term in the literature, is among the basic building blocks of innovation. Basically, artificial intelligence is a software that can create its own algorithm without the need for any algorithm, whose algorithms are unpredictable and can make its own decisions, that is, it is like the ones and zeros versions of the human brain and behaviors. The sequence of ones and zeros to create codes can be seen as artificial cells of artificial neural system and computational programs designed in the 1950s and inspired by the human neural system. With the application of artificial intelligence, information is modeled and learning is provided quickly, and the quality and value of the work increases by decreasing the workforce to be done. It is necessary for the system performance to be accurate and sustainable in line with the targets and the stability criterion in the system is extremely important in this regard. In this study, first, the essential techniques considered within the extent of the artificial intelligence are explained in addition to their advantages and disadvantages. Secondly, the stability of dynamic systems is mentioned and a stability investigation is carried out over the artificial intelligent-based model of a direct current electrical motor under consideration. Finally, a general evaluation is presented upon the stability of the artificial-intelligence-based model of the considered system.

Yapay Zekâ Esaslı Modellenen Doğrusal Akımlı Bir Elektrik Motorunun Kararlılık Bakımından Değerlendirilmesi

ÖZ

Günümüz teknolojisi içerisinde önemli yer tutan ve literatürde İngilizce karşılığı "artificial intelligence" olarak adlandırılan yapay zekâ, yeniliğin temel yapıtaşları arasında yer almaktadır. Temel olarak yapay zekâ, herhangi bir algoritmaya ihtiyaç duymadan kendi algoritmasını oluşturabilen, algoritmaları önceden öngörülemeyen ve kendi kararlarını verebilen, yani insan beyni ve davranışlarının birler ve sıfırlar sürümü gibi olan bir yazılımdır. Kodlar oluşturmak için birler ve sıfırların sıralanması, 1950'lerde tasarlanan ve insanın sinir sisteminden esinlenen yapay sinir ağları ile hesaplama programlarının yapay hücreleri olarak görülebilir. Yapay zekâ uygulaması ile bilgiler modellenerek hızlı bir şekilde öğrenme sağlanıp yapılacak işgücü azalarak işin kalitesi ve değeri artmaktadır. Hedefler doğrultusunda sistem performansının doğru ve sürdürülebilir olması gerekli olup, bu hususta sistemdeki kararlılık kriteri son derece önemlidir. Bu çalışmada, yapay zekâ kapsamında göz önünde bulundurulmuş temel teknikler anlatılarak üstünlük ve zayıflıkları vurgulanmış, ardından dinamik sistemlerin kararlılığından bahsedilerek ele alınan doğrusal akımlı bir elektrik motorunun yapay zekâ esaslı modeli üzerinden kararlılık incelemesi yapılmıştır. Son olarak, ele alınan sistemin yapay zekâ esaslı modelinin kararlılığı üzerine genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler:

Yapay zekâ, dinamik sistem, modelleme, doğrusal akımlı elektrik motoru, kararlılık

1. Giriş (Introduction)

Yapay zekâ, son dönemde bilimsel ve entelektüel gelişmelerin önemli unsurlarından biri haline gelmektedir. Gelişimini her daim sürdüren yapay zekâ, insan zekâsına benzer şekilde görevleri benimseyen, aldığı verilere göre tekrarlı bir şekilde kendisini geliştirebilen sistem veya algoritma olarak ifade edilebilir. Düşünülenin aksine, yapay zekânın hedefi insanların yerini almak değil insanın yeteneklerini daha da geliştirerek katkı sağlamaktır. Yapay zekâ yaklaşımı, farklı alanlarda ve birçok akıllı uygulamada kullanılıp fayda sağlayan bir metodolojidir. İnsan beyninin aynı anda çalıştırabileceği işlem sayısı, hesaplama sistemine kıyasla çok daha azdır. Oysa makine ve sistemler asla yorulmaz, dikkati dağılmaz, dinlenmeye ihtiyaçları yoktur ve kararlılığın söz konusu olduğu durumda temel hesaplamaları nanosaniyeler içinde güvenilir ve doğru bir şekilde yapabilir. Bu hususta kararlılığın değerlendirilmesi yani izleme ve istikrarsızlığın erken tespiti, sistemlerin güvenli ve istikrarlı bir şekilde çalışmasında önemli rol oynamaktadır.

Yapay zekâ, sistem veya makinenin öğrenme, sonuca varma, planlama ve harekete geçme gibi insan zekâsı ile ilişkili görevleri yerine getirebilme yeteneğidir. Ayrıca yapay zekâ robotik alanında da nesnelerin konumlarını değiştirebilme gibi otonom özelliklere sahiptir. Yapay zekânın teknoloji ve dijitalleşme alanındaki başarısı artarak ilerlemekte ve beklentileri yükseltmektedir [1,2].

Yapay zekâ teknolojisinin birçok üstünlüğünün yanı sıra bazı zayıflıkları da mevcuttur. Bu zayıflıklardan dolayı oluşan riskler de iyi analiz edilmeli ve gerekirse önlemler alınmalıdır. Risklerin başında güvenilirlik problemi gelmektedir. Teknolojinin insanlar tarafından kullanılabilmesi için güvenilir olması şarttır. Yapay zekâ uygulamalarında karşılaşılan önemli sorunlardan biri de kararlılık (İng. stability) koşulunun her zaman sağlanamamasıdır. Ele alınan kullanım sahalarına bağlı olarak farklı yaklaşımlar göz önünde bulunuyor olsa da yapay zekâ temelli denetim (kontrol) sistemlerinin kararlılığını garanti edecek doğrulanmış analitik bir yöntem hali hazırda mevcut değildir [3].

Günümüzde yapay zekâ, tarımdan sağlık hizmetlerine, sanayiden finansa ve ulaşımdan kamu politikalarına kadar hayatın neredeyse tüm alan ve sektörlerinde kullanılmaktadır. Örneğin otonom araçlar yollarda görülmekte olup çiftçiler ürünlerini yapay zekâ ile ilgili uygulamalar aracılığıyla uydulardan takip etmektedir. Bu alandaki gelişmeler akademinin de ilgisini çekmekte olup 2011 yılında yapay zekâ ile ilgili 1355 adet makale yayınlanmıştır. Ayrıca, Web of Science veri tabanına göre sadece 2019 yılına ait yapay zekâ içerikli 9110 adet makaleye rastlanmaktadır. Bu alanda dünya ölçeğindeki gelişme ve beklentiler doğrultusunda ülkemizde de yapay zekâ ve dijitalleşme kalkınmada öncelikli alanlar olarak görülmektedir. Bir yandan devlet mekanizması içinde yapay zekâ ile ilgili yeni kurumlar kurulurken, diğer yandan mevcut kuruluş ve politikalar yapılarını yeni yapay zekâ gelişmelerine uyarlamaya çalışmaktadır. Cumhurbaşkanlığı bünyesinde 2018 yılında devlet mekanizması içinde dijitalleşme ve yapay zekâdan sorumlu Dijital Dönüşüm Ofisi (DDO) adında bir organ oluşturulmuştur. Üniversiteler yapay zekâ programlarını kapsayan lisans ve yüksek lisans düzeyinde öğretim vermeye başlamış, yapay zekâ ile ilgilenen uzmanları, profesyonelleri ve diğer paydaşları bir araya getirmek amacıyla farklı sivil toplum kuruluşları da kurulmuştur [4].

Bu çalışmada, hidrolik sistemlerin önemli bileşenlerinden olan oransal valflerin eyletimini (tahriğini) sağlayan doğrusal akımlı bir elektrik motorunun yapay sinir ağları esaslı yapay zekâ temelli açık çevrim modellemesi ve tanımlanan girdi sinyalleri vasıtasıyla bu modelden elde edilen cevapların karşılaştırılması yapılmaktadır. Literatürde, elektrik motorlarının dinamik modellemesi, denetimi ve kararlılıklarının incelenmesi üzerine çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Bunlar arasında geleneksel yöntemlerle birlikte bulanık mantık esaslı klasik ve gürbüz denetim yaklaşımlarının ele alındığı uygulamalar yer almaktadır [5-8]. Mevcut çalışma, bahsedilen model tabanlı modelleme, denetim ve kararlılık yaklaşımlarından farklı olarak, dinamik davranışı doğrusal olarak tanımlanabilen ikinci mertebeden bir sistem için oluşturulan basit bir yapay sinir ağı modelinin sistemi ne kadar temsil edebildiğini gösterip ele alınan sayısal veri setinin büyüklüğüne göre farklı genlikteki çıktı sinyalleri üzerinden valfin kararlılığı hakkında genel bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlaması bakımından yapay zekâ esaslı kararlılık çözümlerine bir katkı sunmaktadır.

2. Yapay Zekâyı Oluşturan Temel Teknikler (Basic Techniques of Artificial Intelligence)

Yapay zekânın çalışma alanları Şekil 1 ile şematik olarak verilmiştir. Bu kapsamda makine öğrenmesi (İng. machine learning, ML), cihazın geçmişte karşılaştığı benzer durumları öğrenmesi olarak

tanımlanabilir. ML karşılaştığı problemi, bu tür benzer özelliklere sahip bir olay ile kıyaslayarak ve tümevarım yöntemini kullanarak çözmektedir. Bu durumda temel prensip, gözlenen durumlarda verilerin makine tarafından tutulması ve öğrenilmesidir. ML; pekiştirmeli öğrenme, denetimli ve denetimsiz öğrenme olmak üzere üç alt başlıkta incelenebilir. Yapay sinir ağları (İng. artificial neural networks, ANN), insan beyninin sahip olduğu bilgi işleme yeteneğinden esinlenerek oluşturulmuştur. Bu ağ sayesinde gözlemlenen olaylar birbirleriyle ağ bakımından yakınsama yapmakta olup girdi ve çıktı verileri çözümlenebilmektedir. ANN'deki ilk katman girdi ve son katman çıktı katmanı olarak adlandırılmaktadır. Derin öğrenme ise, makine öğrenmesinin bir alt dalı olup 2015 yılında LeCun tarafından şöyle tanımlanmıştır: "Derin öğrenme yöntemleri, birden çok temsil düzeyine sahip ve ham girdiden başlayarak her düzeydeki temsili gittikçe yükselen, ayrıca ele alınan unsurları biraz daha soyut bir temsile dönüştüren basit ama doğrusal olmayan modüller kullanılarak elde edilen ve birden çok temsil düzeyine sahip bir öğrenmedir." Derin öğrenme çok katmanlı ANN kullanılarak oluşturulmaktadır [9].



Şekil 1. Yapay zekânın çalışma alanları
(Working areas of artificial intelligence)

Bu doğrultuda yapay zekâyı oluşturan temel teknikler, maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Benzetimli Tavlama,
- Uzman Sistemler,
- Bilgisayarlı Görü,
- Konuşma Tanıma,
- Yapay Sinir Ağları,
- Bulanık Mantık,
- Genetik Algoritmalar,
- Robotik,
- Hibrid (Karma) Sistemler.

Benzetimli Tavlama tekniği en çok tercih edilen tekniklerden biri olup görüntü veya video işleme ve yazılım gibi alanlarda karşılaşılan problemlere en faydalı çözümü çok hızlı sürede vermektedir. Alanındaki önemli başarıları sayesinde literatür çalışmalarında da sıklıkla bu tekniğe yer verilmektedir [10].

Uzman Sistemler modeli, herhangi bir karmaşık sistemde uzman kişinin yaptığı işleri yapan bir bilgisayar programı gibi düşünülebilir. Bu teknik, uzmanın düşünce biçimini bir anlamda taklit ederek, o konudaki önemli problemleri çözmeye yönelik yazılımlar sunmaktadır. Bu yazılımlar genellikle arayüz, veri tabanı ve kural tabanı gibi birden çok programdan oluştuğu için sistem adını almaktadır. Uzman sistemler tavsiye verebilen, problem analiz edebilen, sınıflandırabilen, iletişim kurabilen, tasarım yapıp tahmin yürütebilen, belirleyen, denetleyebilen (kontrol edebilen) ve programlayabilen yazılımlardır [11].

Bilgisayarlı Görü, sayısal veya sembolik bilgi üretmek için dijital görüntüleri elde etme, işleme ve analiz etmede kullanılan bir tekniktir. Ayrıca bilgisayarlı görü ile gerçek dünyadan yüksek boyutlu verilerin çıkarılmasına yönelik uygulamaları da içermektedir.

Konuşma Tanıma, teknolojik süreçte kullanılan yapay zekâ tekniklerinden biri olup insan sesinin mikrofon vasıtasıyla bilgisayar tarafından algılanarak tanınması işlemidir. Bu teknik insan ile bilgisayar arasındaki iletişimde son derece önemlidir [12].

Yapay Sinir Ağları, önceki bölümde de bahsedildiği gibi, klasik programlama gibi belirli bir algoritma çerçevesinde programlanmazlar. Sinir ağları konusu algılama, akıl yürütme ve planlama gibi çeşitli robotik problemleri de kapsamaktadır. Özellikle araştırmacılar, farklı robot platformlarında sinir ağları ile denetim politikaları eğitimi konusunda büyük başarılar elde etmiştir. Tipik olarak bu denetim politikaları, pekiştirmeli öğrenme (İng. reinforced learning, RL) algoritmaları yoluyla elde edilmektedir. Bu alandaki çalışmalarda son derece başarılı olunmasına rağmen, sinir ağı denetleyicileri performansları üzerinde güvenlik açısından kritik birçok uygulama güvenilir teorik temelden hala yoksundur. Sinir ağı denetleyicileri için eksik olan önemli bir nokta, kapalı döngü sisteminin kararlılığı; özellikle Lyapunov kararlılığıdır. Lyapunov teriminde sistem, aslında bölgesel olarak kararlıdır ve bir bölgedeki herhangi bir durumdan başlayarak sistem sonunda bir dengeye yakınsamaktadır. Bu bölge çekim bölgesi (İng. region of attraction, ROA) olarak tabir edilmektedir. Lyapunov kararlılığı, çekim bölgesindeki herhangi bir durum için sistemin asimptotik davranışı üzerinde güçlü bir garanti sağlamaktadır. Bir sistemin Lyapunov kararlı olduğu, ancak ve ancak kesinlikle pozitif tanımlı ve hedef denge durumu dışında her yerde kesinlikle azalan bir Lyapunov fonksiyonu olarak bilinmektedir [13].

Bulanık Mantık tekniği, ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesi'ndeki araştırma ve çalışmalar sonucu bilim dünyasına girmiştir. Bu teknik "saçaklı mantık" olarak da bilinmektedir. Günümüzde önemi daha da artan bulanık mantık, belirsizliklerin tanımı, anlatımı ve çalışılabilmesi için oluşturulmuş katı bir matematik düzenine sahiptir. Bir başka deyişle insanın düşünce sistemini klasik mantığa kıyasla daha iyi modelleyip, deneyimlerini matematiksel ifadeye doğru bir şekilde dönüştürebilmektedir. Bulanık mantıkta hedef bir sonuca ulaşmaktır [14].

Genetik Algoritma tekniği, problem analizinde çözüm uzayı sonsuz nokta ile taranarak oluşturulmaktadır. Bu yaklaşımda, elde edilen çözümler en uygun adayın bulunması amacıyla bir tür yapay seçilime dönüştürülmektedir [15].

Robotik kavramı, yapay zekânın önemli uygulama alanı olan endüstri alanında sıklıkla karşılaşılan bir tekniktir. Düşünülenin aksine, robotik elemanlar bilim kurgu filmlerinde görülen robotlardan görünüm ve işlevsel açıdan çok farklıdır. Endüstriyel robotlar tekrarlı ve günlük işler için daha uygun olup otomotiv sektörü robotlardan en çok faydalanan sektördür. Bu sektörde robotlardan boyama ve bütünleme (montaj) işlemlerinde istifade edilmektedir. Elektronik sektöründe de devrelerin test ve yongaların yerleştirilmesi işlemlerinde robotlar kullanılmaktadır [16].

Hibrid (Karma) Sistemler ise yukarıda bahsedilen tekniklerin bir veya birkaçının birlikte kullanılmasıyla oluşturulmaktadır. Bahsedilen birimler son yıllarda mühendislik problemlerinin test, tasarım ve analizinde etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır [14-17].

3. Dinamik Sistemlerde Kararlılık (Stability in Dynamic Systems)

Dinamik bir sistemin en önemli gereklilik ve karakteristiklerinden biri kararlılıktır. Kararsız bir sistem, sınırı olmayan, işe yaramayan ve istenilmeyen yanıtlar (çıktılar) üretmektedir. Bu nedenle, ele alınan sistemde kararsızlık durumunun hangi şartlar altında olduğunu ve kararlı hale nasıl geçilebileceğine mümkün olduğu kadar dikkat edilmelidir. Dinamik sistemlerde gelen yanıt artan genlikli titreşimler halinde ise kararsızlık söz konusudur. Bu durumda sistemin cevabı sonsuza kadar artamayacağından dolayı sistemde hasar meydana gelebilir. Kararlılık söz konusu olduğunda ise sistemde yanıt azalan genlikli titreşimler şeklinde oluşmaktadır. Sistemin kararlılığını belirlemek için ideal olan yöntem, transfer fonksiyonundan yararlanarak kutuplarını belirlemek ve kutupların karmaşık düzlemdeki konumunu incelemektir. Kutupların belirlenmesi ikinci mertebeden yüksek seviyeli sistemlerde zaman alabilmektedir. Ulaşılmak istenen hedef, kararlılığı sağlamak için bilinmeyen sistem parametrelerini bulmaksa, transfer fonksiyonundan kutupları tespit etme durumu uygulanamaz hale gelmektedir. Bu hususta en çok kullanılan cebirsel kararlılık testi Routh-Hurwitz kararlılık kistasıdır (kriteridir). Bu

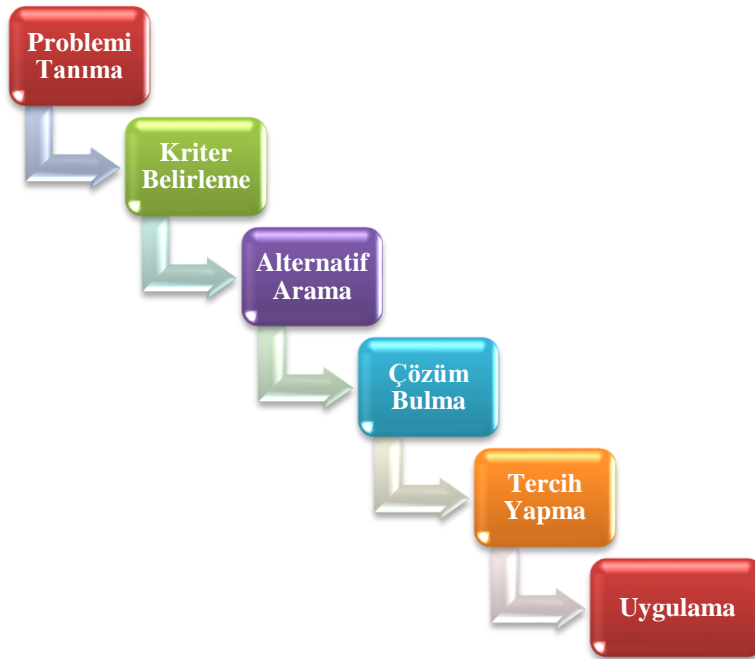
yöntem sistemin kutuplarını bulmadan basit bir teknik ile kararlı olup olmadığını göstermekte ve sistemde kararsızlık tespit edilirse bu durumdan sorumlu köklerin yer ve sayısını belirlemektedir. Routh-Hurwitz kararlılık kistası, ilk tarama olarak bilinen Hurwitz testinden ve uygulanması önemli olan Routh tablosu incelemesinden oluşmaktadır. Sistemler için Routh-Hurwitz kararlılık kistasının yanı sıra Nyquist, Bode ve Nichols diyagramları da sıklıkla kullanılan kararlılık test yöntemlerindedir [18,19].

Yapay zekâ alanının önde gelen tekniklerinden biri olan ANN, kararsız tahmin ediciler olmasına rağmen tıbbi karar destek sistemlerinde sınıflandırma veya regresyon analizleri olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Bu kararsızlık, modeli oluşturmak için kullanılan verilerdeki küçük değişikliklerin farklı modellerle sonuçlanabileceği anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, farklı veri setleri farklı genelleme doğruluklarına sahip modeller üretebilmektedir. Yapay zekâ, elektrik şebekelerinde de kararlılık değerlendirmesi için uygun bir yol olarak ortaya çıkabilmektedir. Benzetim tabanlı yaklaşımlarla karşılaştırıldığında yapay zekâ, kararlılık değerlendirmesinde model geliştirme ve sayısal hesaplamada potansiyel olarak zaman kazandırabilmektedir. Güç sistemi kararlılık değerlendirmesi için, gerçek zamanlı güç sistemi dinamik modeli temeline dayanan ve önemli hesaplamalar gerektiren zaman kümesindeki benzetim çalışmalarının yapılması gerekmektedir [20].

Model benzetiminin yanı sıra, kararlılık değerlendirmesi için başka bir yöntem de veriye dayalı yaklaşımlardır. Bu yöntemler, ölçüme ve yapay zekâyâ dayalı yaklaşımlar olmak üzere iki alt grupta incelenebilir. Ölçüme dayalı yöntemler, kararlılık değerlendirmesi için basitleştirilmiş modeller geliştirmek için ölçüm verilerini kullanmaktadır. Belirtilen tekniklerde ayrıntılı modellere dayalı zaman alan benzetime kıyasla daha az hesaplama süresi gerekmektedir. Ancak ölçüme dayalı basitleştirilmiş modellerin geliştirilmesi ciddiye alınması gereken bir işlemdir. Buna karşılık, yapay zekâyâ dayalı kararlılık değerlendirmesi veriye dayalıdır ve doğrudan fiziksel ilkelere dayanmamaktadır. Benzetim veya ölçüm verileri kullanılarak oluşturulan yapay zekâ modelleri, sistem özellik girdilerine dayalı olarak kararlılık değerlendirmesi yapabilmektedir. Makine öğrenimi tabanlı yaklaşımların birçoğu da yalnızca bir tür kararlılığı değerlendirebilir. Giriş özellikleri, genellikle belirli bir makine öğrenimi modelinde deneme-yanılma yoluyla seçilmektedir. Kısa süreli kararlılık, bir iletim hattında kısa süre gibi ciddi bir bozulmaya maruz kaldığında güç sisteminin eşzamanlılığını (senkronizasyonunu) sürdürme yeteneğidir. Geçici kararlılığı değerlendirmek amacıyla, yapay zekâyı esas alan sinir ağı, destek vektör makinesi ve karar ağacı temelli yaklaşımlar önerilmektedir. Bunun yanında kararlılık durumu, sistemin her zaman beklenen başarımlarını gereksinimlerini sağlayacağı anlamına gelmemektedir. Örneğin, osilatörlerde sınırlı kararlılık tercih edilmekte olup salınımları azaltmak amacıyla karakteristik denklem kökleri gerçek eksene getirilmeye çalışılmaktadır. Bahsedilen uygulama benzeri alanlarda, kararsızlığın istendiği durumlar da söz konusu olabilmektedir. Örneğin savaş uçaklarında kararlılık, komutların yavaşlamasına ve manevra kabiliyetinin azalmasına neden olduğundan istenmeyen bir durumdur. Sonuç olarak kararlılık isteri, ele alınan duruma göre farklılık gösterebilmektedir [21].

Problem çözme yöntemleri ile ilgili alanda birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Araştırmacıların çoğu problem çözme ve karar verme aşamalarını; problemi saptama ve tanımlama, çözüm için kistas belirleme, alternatif arama, çözüm bulma ve sonuçlandırma, tercih yapma ve uygulamaya koyma olarak sıralamıştır. Bazı araştırmacılar ise bu yaklaşımda değişik sınıflandırmalar kullanmışlardır. Örneğin klasik yaklaşımda üç evre vardır ve bunlar zekâ, tasarım ve seçimi kapsamaktadır.

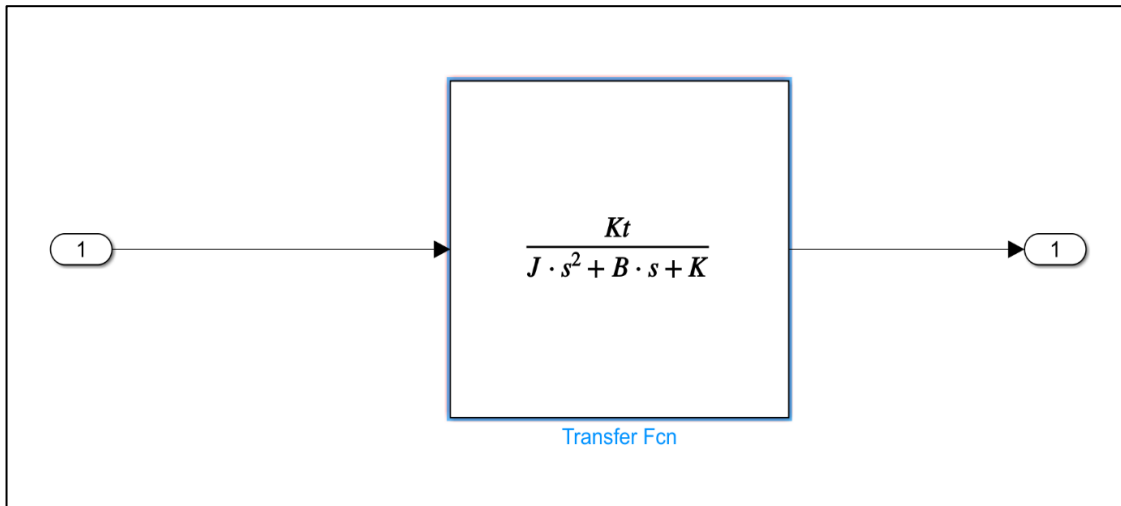
Yapay zekâ teknolojisi, Şekil 2 ile gösterilen bütün adımları desteklemek için kullanılsa da hareketlerinin çoğu dört ve beşinci adımda gerçekleşmektedir. Uzman sistemler, alternatiflerden çözüm bulmak için kullanılmakta olup burada yapay zekânın görevi arama ve değerlendirmeyi sonuç bulma yeteneklerini kullanarak yönetmektir [22].



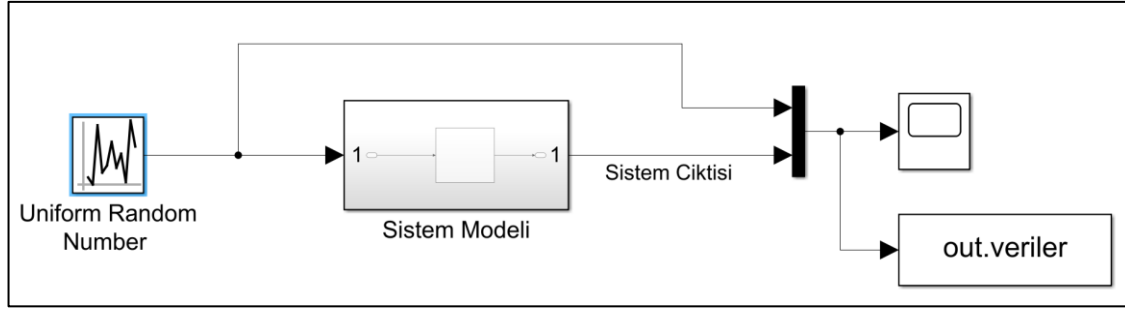
Şekil 2. Problem çözme süreci
(Problem solving process)

4. Bilgisayar Benzetimleri (Computer Simulations)

Çalışma kapsamında ele alınan ve oransal valf eyletimde kullanılan doğrusal akımlı elektrik motorunun matematiksel modeli öncelikle MATLAB® Simulink® üzerinde Şekil 3 ile verildiği üzere modellenmiştir. Ardından sisteme ait girdi verileri, örnek bir valf motorunun teknik veri dosyasından alınarak, hazırlanan MATLAB® kodu ile tanımlanarak bilgisayar benzetimi çalıştırılmıştır. Bahsedilen veriler ele alınan motor için gerçekte uygulanan parametrelerle akım genliği değerlerini içermekte olup çalışma kapsamında kurgulanan benzetim modelinin çalıştırılması için yeterli olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 3. Oransal valf eyletim motoruna ait sistem modeli
(System model of the actuation motor of the proportional valve)



Şekil 4. Rastlantısal sayı giriшли orijinal sisteme ait benzetim modeli
(Simulation model belonging to the original system with an input of random numbers)

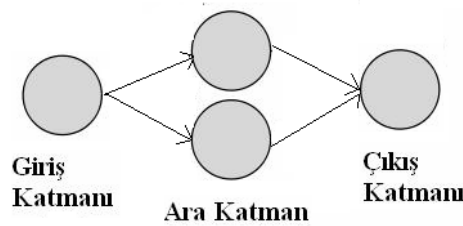
Orijinal sistemin Şekil 4 ile verildiği gibi modellenmesinde rastlantısal sayı giriшли amacıyla kullanılan "Uniform Random Number" bloğu için, benzer bir valf motorunun veri kataloğuunda belirtildiği üzere uygulanacak girdi akımının "Amper" cinsinden alt ve üst sınırlarına karşılık gelecek şekilde asgari 6 ve azami 6 değeri belirlenmiştir. Ardından ele alınan motora ait sistem modelinde bulunan katsayılar, MATLAB® üzerinde aşığıdaki gibi kararlaşıtırılmıştır:

- $K_t=0,15 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{A}$
- $J=3\times 10^{-2} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$
- $B=0,01 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}/\text{rad}$
- $K=0,1 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{rad}$

Girdi verileri tanımlandıktan sonra benzetim modeli 30 saniye süreyle çalıştırılarak çıktı verileri kaydedilmiştir. Kaydedilen orijinal sistem verilerinin haricinde veri sayılarını artırıp azaltmak yöntemiyle üç farklı girdi ve çıktı verisi elde edilmiştir. Bu veri setleri, benzer çalışmalardaki yaklaşımlar göz önünde bulundurularak 100, 1000 ve 2000 veri sayısına sahip olarak belirlenmiş ve veri setlerinin elde edilmesi sırasında rastlantısal sayı bloğundaki zaman parametresi orantılı olarak değiştirilmiştir. Ayrıca, her bir benzetimden elde edilen girdi ve çıktı verileri kaydedilmiştir. Burada, 306 adet veriye ait değerler orijinal sistem modelinin çıktıları kabul edilmiştir.

Akabinde, Şekil 5 ile gösterilen yapıda tek giriş-tek çıkışlı (giriş ve çıkış katmanlarında birer hücre bulunan), iki hücreden oluşan tek ara (gizli) katmanlı ve aktivasyon fonksiyonu (1) numaralı eşitlikte verildiği gibi tanımlanan bir yapay sinir ağı oluşturulmuştur.

$$y = \frac{2}{1+e^{-net(x)}} - 1 \quad (1)$$

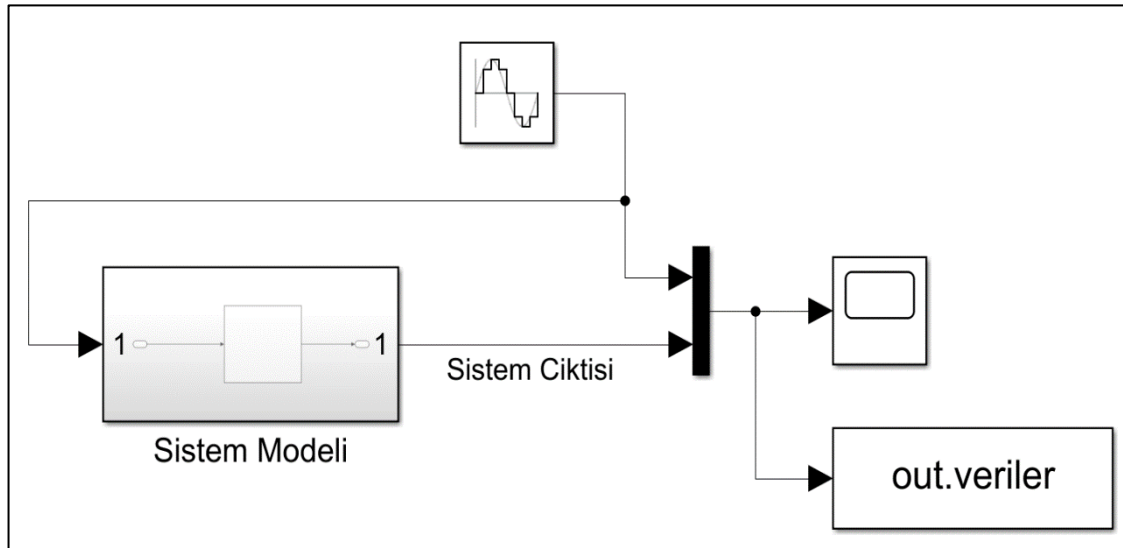


Şekil 5. Oluşturulan yapay sinir ağı yapısı
(Constructed artificial neural network structure)

Burada x , $net(x)$ ve y tabirleri sırasıyla hesaplamannın yapıldığı sinir ağı hücresinin girdi sinyali, girdi sinyalinin ilgili ağırlık fonksiyonu ile çarpılmış hali ve çıktı sinyaline karşılık gelmektedir.

Yapay sinir ağı modelinde hücreler arasında yer alan ağırlık fonksiyonları, geri yayılım (İng. back propagation) algoritması kullanılarak, oluşturulan üç farklı veri seti beslenerek, %1 olarak atanan hata (gerçek değerden sapma) miktarı için hesaplanmıştır. Ađ yapısının momentum katsayısı ve öğrenme hızı da sırasıyla 0,1 ve 0,9 olarak atanmıştır.

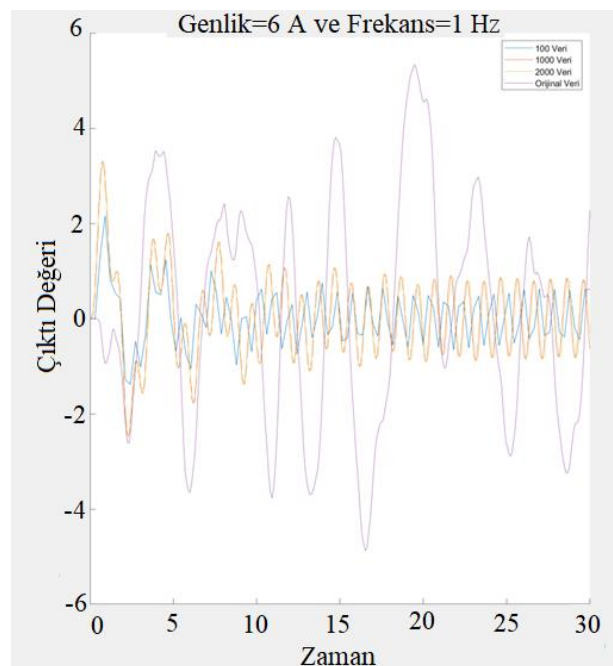
Tüm hesaplama ve öğrenme işlemleri bitirildikten sonra MATLAB® Simulink® üzerinden 100,1000 ve 2000 adet veri seti için sinüs girdileri uygulanarak yapay sinir ağı esaslı elektrik motoru modelinin çıktıları kaydedilmiştir. Bu işlem yapılırken Şekil 6 ile verilen benzetim modeli kullanılmıştır.



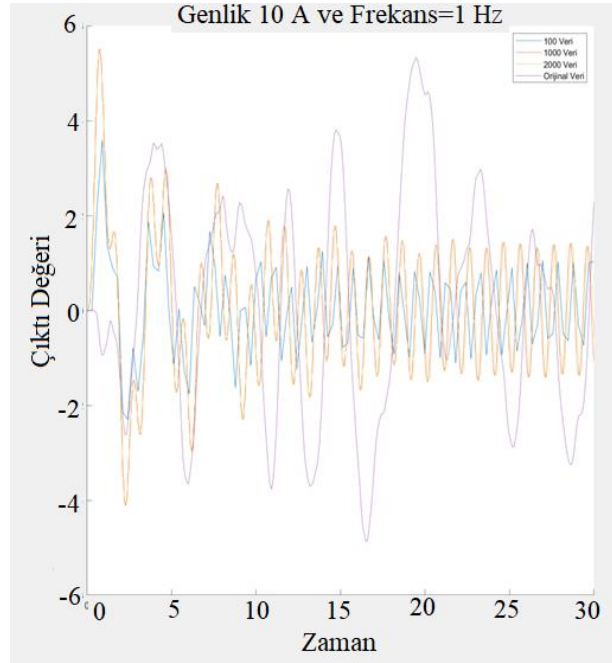
Şekil 6. Sinüs dalgası girişli sisteme ait benzetim modeli
(Simulation model belonging to the system with an input of sine wave)

Yapay sinir ağları ile modellenen sisteme sağlanan sinüs dalgası öncelikle 6 A genlik ve 1 Hz frekansında, sonrasında 10 A genlik ve 1 Hz frekansında ve son olarak da 20 A genlik ve 1 Hz frekansında uygulanmış ve sistem çıktıları kaydedilmiştir. Bu işlemin yapılmasındaki amaç orijinal sistemin 6 A genlikteki girdi çıktı verileriyle sinüs dalgası şeklindeki girdinin verilerinin karşılaştırılması ve kararlılık analizinin yapılmasıdır. Aynı zamanda veri sayısındaki artışın kararlılık açısından sağladığı katkıyı incelemektir.

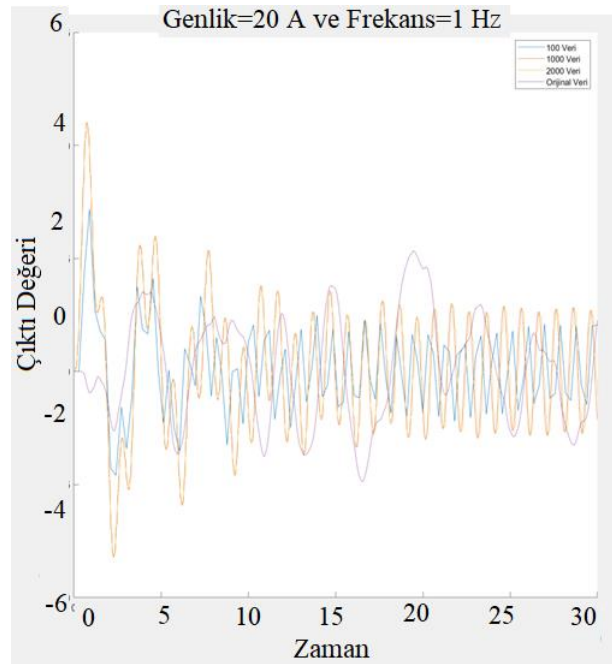
100, 1000 ve 2000 adetlik veri setlerinin üç farklı genlik değerinde çalıştırılmasının ardından çıktılar MATLAB® Workspace® bölümüne 100x1, 1000x1 ve 2000x1'lik matrisler olarak kaydedilmiştir. Sonuçta, bulunan çıktı verileri kullanılarak, veri setleri Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9 ile gösterilen tek bir grafik üzerinde kıyaslanmıştır.



Şekil 7. Kıyaslama grafiği (6 A genlikli sinüs girdisi için)
(Comparison plot for a sine wave input with a width of 6 A)



Şekil 8. Kıyaslama grafiği (10 A genlikli sinüs girdisi için)
(Comparison plot for a sine wave input with a width of 10 A)



Şekil 9. Kıyaslama grafiği (20 A genlikli sinüs girdisi için)
(Comparison plot for a sine wave input with a width of 20 A)

Oluşturulan yapay sinir ağları esaslı modellerin eğitiminde kullanılan veri sayısı arttıkça yani 100 veriden 2000 veriye gittikçe, bu verilere karşılık gelen sistem cevaplarının genlik değerlerinin orijinal sistem cevabının genliğine yaklaştığı görülmektedir.

Orijinal sistem cevabının elde edildiği azami girdi genliği olan 6 A'dan daha büyük genlikli (10 ve 20 A) bir sinüs girdisi uygulandığı zaman, başlangıçtaki kısa süre dışında sistem cevabının genliği orijinal sistem cevabı genliğinden genellikle daha fazla gözlenmiştir. Teorik olarak sonsuz veriyle eğitilen yapay sinir ağı bir modelin çıktısının genliği en fazla orijinal sistem çıktısının genliği kadar olabilmektedir. Dolayısıyla, sonsuzdan daha az veriyle eğitilen yapay sinir ağı bir sistemin cevabı

orijinal sisteminkinden büyük oluyorsa, bu durum, ilgili yapay sinir ağı modelin kararsızlığına işaret etmektedir.

5. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Oransal valf eyletiminde kullanılan doğrusal akımlı bir elektrik motoru modeli üzerinden gerçekleştirilen bilgisayar benzetimleri sonucunda, ele alınan üç farklı giriş sinyali genliği için de yapay sinir ağı eğitiminde kullanılan veri setindeki eleman sayısının artışına bağlı olarak sistem kararlılığında iyileşmenin gözlenmesi, nispeten basit yapıda olan bir valf modeli üzerinden yapılan çalışmanın mütevazı bir katkısı olarak değerlendirilebilir. Göz önüne alınan elektrik motorunun doğrusallaştırılmış dinamik modeline sağlanan girdi akımına karşılık elde edilen cevap sinyallerinin oluşturulan yapay sinir ağı temelli sistem modelinin çıktılarıyla karşılaştırılması sonucunda, girdi akımı genliğine bağlı olmaksızın ağ eğitiminde kullanılan veri sayısının artışıyla doğru olarak sistem kararlılığının da iyileştiği gözlenmiştir. Elektrik motoru gibi nispeten basit bir dinamiğe sahip bir bileşen üzerinden yapılan bu incelemenin sonuçları, daha karmaşık ve kapsamlı sistemlerin kararlılık incelemesinde de dikkate alınabilecektir.

Genel anlamda, yapay zekâ temelli algoritmalar, özellikle son yıllarda gerçekleşen kayda değer ilerlemelere rağmen, kararlılık bakımından istenilen seviyeye henüz ulaşamamıştır. Bahsedilen olumsuzluk, yalnızca sivil uygulamalarda değil, doğruluk ve hassasiyetin son derece büyük önem arz ettiği askeri alanda da yapay zekâ esaslı platform ve mühimmatın kullanımına sınırlama getirmektedir. Bu durum, geliştirilen yapay zekâ esaslı sistemlerin yalnızca belirlenen koşullar dahilinde sınırlı kullanımına neden olmaktadır. Kararlılıkla ilgili genel ve kapsayıcı bir yaklaşımın geliştirilmesi, yapay zekânın sivil ve askeri maksatlı kullanım sahasını önemli ölçüde genişletecek ve çok daha güvenli ve güvenilir hale getirecektir [23].

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] N. Yüksel ve H. R. Börklü, "Yapay zeka destekli kavramsal tasarım: tekerlekli sandalye tasarım seçenekleri değerlendirmede bulanık mantık kullanımı," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 7, No: 3, Sayfa: 309-319, 2021. doi.org/10.30855/gmbd.2021.03.13
- [2] G. Yıldırım, F. Şahiner ve H. T. Kahraman, "Proje yönetiminde yapay zekâ tabanlı paydaş analizi aracının tasarımı," *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 7, No: 2, Sayfa: 81-89, 2021. doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.01
- [3] M. F. Erkoç, *Yapay Zekâ Perspektifinde Eğitime Yönelik Uzman Sistem Modellemesi*, Marmara Üniversitesi, Türkiye, 2008.
- [4] A.T. Yekeler, *Between Global and National Expectations: A Study of Artificial Intelligence in Turkey*, Maastricht Üniversitesi, Hollanda, 2020.
- [5] B. Zhang, P. Niu, X. Guo and J. He, "Fuzzy PID control of permanent magnet synchronous motor electric steering engine by improved beetle antennae search algorithm," *Scientific Reports*, vol. 14, 2898, 2024. doi: 10.1038/s41598-024-52600-8
- [6] A. Bahadır and Ömer Aydoğdu, "Modeling of a brushless dc motor driven electric vehicle and its pid-fuzzy control with dSPACE," *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. 41, no. 1, pp. 156-177, 2023. doi:10.14744/sigma.2023.00015
- [7] D.F. Azizah, K. Dedes, A.B.P. Utama and A. Aripriharta, "DC motor speed modeling and simulation using fuzzy logic control method," *Proc. of the 7th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*, Malang, Endonezya, 2021. doi:10.1109/ICEEIE52663.2021.9616636
- [8] V. Yarlagadda, G.S. Kumar, G. Radhika, R. Gnanendar and K. Rajesh, "Robust fuzzy logic controller for DC motor stability enhancement under load disturbances," *Intelligent Computing in Control and Communication*, 2021.
- [9] Y. LeCun, Y. Bengio, Y. and G. Hinton, G, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436-444, 2015.
- [10] B. Karasulu, "Benzetimli tavlama tekniğini kullanan eniyilenmiş görüntü ve video işleme üzerine kısa bir literatür araştırması," *Electronic Journal of Vocational Colleges*, Cilt: 8, No: 2, Sayfa: 35-40, 2018.
- [11] Ö. Civalık, "Mühendislik sistemlerinde kullanılan uzman sistemlerin (US) temel prensipleri," *Yapı Dünyası*, 2002.
- [12] N. Yalçın, "Konuşma tanıma teorisi ve teknikleri," *Kastamonu Eğitim Dergisi*, Cilt: 16, No: 1, Sayfa: 249-266, 2008.

- [13] H. Dai, B. Landry, L. Yang, M. Pavone and R. Tedrake, "Lyapunov-stable neural-network control," *arXiv preprint arXiv:2109*, no. 14152, 2021.
- [14] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 3-28, 1978.
- [15] N. Çetin, "Genetik algoritma," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2002.
- [16] K. S. Fu, R. C. Gonzalez and C. G. Lee, C. G., *Robotics*, IEEE Computer Society Press, 1983.
- [17] Q. He, H. Zheng, X. Ma, L. Wang, H. Kong and Z. Zhu, Z., "Artificial intelligence application in a renewable energy-driven desalination system: A critical review," *Energy and AI*, no. 100123, pp. 1-14, 2022.
- [18] E. X. DeJesus and C. Kaufman, C., "Routh-Hurwitz criterion in the examination of eigenvalues of a system of nonlinear ordinary differential equations," *Physical Review A*, vol. 35, no. 12, pp. 52-88, 1987.
- [19] S. Çaylan, "Dinamik Sistemlerin Kararlılık Analizi," Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Türkiye, 2004.
- [20] P. Cunningham, J. Carney and S. Jacob, "Stability problems with artificial neural networks and the ensemble solution," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 20, no. 3, pp. 217-225, 2000.
- [21] S. You, Y. Zhao, M. Mandich, Y. Cui, H. Li, H. Xiao and S. Fabus, "A review on artificial intelligence for grid stability assessment," *Proc. of the 2020 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids*, pp. 1-6, 2020.
- [22] F. Hayes-Roth, "The Knowledge-based expert system: A tutorial," *Computer*, vol. 17, no. 09, pp. 11-28, 1984.
- [23] E. Cömert, S. Karaaslan ve B. Özkan, "Yapay zekâ temelli sistemlerin kararlılık açısından değerlendirilmesi," 10. Savunma Teknolojileri Kongresi (SAVTEK 2022) Bildirileri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2022.

This is an open access article under the CC-BY license

