



Makale / Research Paper

Yapay Sinir Ağları ve Makine Öğrenme Yöntemlerinin Nükleer Fizik Uygulamaları

Veli Çapalı

Isparta Health Services VS, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey, velicapali@sdu.edu.tr

Received/Geliş: 19.06.2022

Accepted/Kabul: 20.11.2022

Öz: Yapay zekâ ve makine öğrenimi yöntemlerindeki ilerlemeler, bilimsel araştırmalarda geniş uygulanabilirliği olan araçlar sağlamışlardır. Bu teknikler, nükleer teori, deneysel yöntemler, hızlandırıcı teknoloji ve nükleer verilerdeki konuları kapsayan çeşitli alanlarda uygulanmakta ve bilimsel keşifleri ve toplumsal uygulamaları kolaylaştıracak ilerlemeleri sağlamaktadır. Deneysel çalışmalar, her biri benzersiz operasyon, veri toplama ve analiz yöntemlerine sahip dünya çapında birçok laboratuvarı kullanır. Benzer şekilde, teorik nükleer fizikte yayılan odak ölçekleri, algoritma yöntemleri ve belirsizlik ölçümü için geniş ihtiyaçlara yol açar. Boyut ve enerji ölçeklerinde veri türleri dizilerini kullanan bu teorik çalışmalar, YSA/ML yöntemlerinin uygulamaları için mükemmel bir ortam yaratır. Ayrıca, bu yöntemlerin son on yılda daha pratik hale gelmesiyle, nükleer bilim ve teknolojide öğrenmeye dayalı yöntemlerin popüleritesinin artacağı öngörülmekte; sonuç olarak, bu tür metodolojileri uygulamanın yararlarını ve engellerini anlamak, daha iyi araştırma planları oluşturmaya ve proje risklerini ve fırsatlarını belirlemeye yardımcı olabilir. Genel olarak makine öğrenimi yöntemi, bir sistemden elde edilen eğitim verileri ile veri matrisi oluşturularak öğrenen ve ampirik bir model oluşturulmaya çalışan algoritmalarıdır. Bu çalışma nükleer uygulamalar açısından; veri toplama veya öğrenmeye yönelik veri seti oluşturmada kullanımlarına yönelik incelemeler ve yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknikleri ile yapılmış nükleer fizik araştırmaları ve nükleer tıp teknolojileri hakkında bilgi vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Nükleer bilimler; makine öğrenimi, yapay zeka; ileri nükleer tıp teknolojileri.

Applications of Artificial Neural Networks and Machine Learning Methods in Nuclear Physics

Abstract: Advances in artificial intelligence/machine learning methods provide tools that have broad applicability in scientific research. These techniques are being applied across the diversity of covering topics in nuclear theory, experimental methods, accelerator technology, and nuclear data, leading to advances that will facilitate scientific discoveries and societal applications. Experimental efforts utilize many laboratories worldwide, each with unique operation, data acquisition, and analysis methods. Similarly, the scales of focus spanned in theoretical nuclear physics lead to broad needs for algorithmic methods and uncertainty quantification. These efforts, utilizing arrays of data types across size and energy scales, create a perfect environment for applications of ANN/ML methods. Furthermore, as these methods have become more practical during the past decade, it is foreseen that the popularity of learning-based methods in nuclear science and technology will increase; consequently, understanding the benefits and barriers of implementing such methodologies can help create better research plans, and identify project risks and opportunities. In general, machine learning methods are algorithms that learn by creating a data matrix with the training data obtained from a system and try to create an empirical model. In this study, in terms of nuclear applications; It provides information on nuclear physics research and nuclear medicine technologies made with artificial intelligence and machine learning techniques and their use in creating data sets for data collection or learning.

Keywords: Nuclear science; machine learning; artificial intelligence; advanced nuclear medical technologies.

How to cite this article

Çapalı V., "Applications of Artificial Neural Networks and Machine Learning Methods in Nuclear Physics", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (4); 1240-1248.

Bu makaleye atıf yapmak için

Çapalı V., "Yapay Sinir Ağları ve Makine Öğrenme Yöntemlerinin Nükleer Fizik Uygulamaları", El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 2022, 9 (4); 1240-1248.

1. Giriş

Endüstriyel üretim sistemlerinin birçoğu otomasyon sistemlerine bağlı bir hale gelmiş ve teknolojinin hızlı gelişmesi ile bu otomasyon sistemlerinden alınan üretim verilerini analiz etmek ve karar vermek için gelişmiş algoritmalara olan güven artmakta ve insan katılımı kademeli olarak azalmaktadır. Nükleer endüstride yıllarca meydana gelen olaylardan alınan derslerin sonucunda daha etkili modernizasyon için makine öğrenmesi (ML) avantaj olabileceği değerlendirilmektedir [1]. Endüstriyel sistemleri otomatikleştirmek ve çağdaşlaştırmak dijital evriminin bir parçası olsa da kullanıcı ve otomasyon arasındaki ilişki, yanlış kullanım veya otomasyona aşırı güven, otomasyonun kullanılmaması veya yetersiz kullanılması ve otomasyonun kötüye kullanılması veya uygunsuz uygulanması gibi durumlara neden olabilir [2]. Bu nedenle, uzmanların makine öğrenmesine dayalı çözümler geliştirmenin yararlarını anlamalarını teşvik etmek, olası sorunlardan kaçınmaya yardımcı olabilir.

Son zamanlarda yapay sinir ağları (YSA), birçok disiplinde sınıflandırma, kümeleme ve tahmin için oldukça popüler ve çok kullanışlı bir model haline gelmiştir. YSA'lar, ML için bir tür modeldir ve kullanışlılık açısından geleneksel regresyon ve istatistiksel modellerine göre nispeten daha rekabetçi hale gelmiştir [3]. Günümüzde ise yapay zeka (makine öğrenimi, sinir ağı, derin öğrenme, robotik), bilgi güvenliği, büyük veri, bulut bilişim, internet ve adli bilişim, bilgi ve iletişim teknolojileri ve veri analizlerinde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. YSA'lar fen bilimleri, tarım, tıp bilimi, eğitim, finans, yönetim, güvenlik ve mühendislik alanlarındaki sorunları çözmeye yeteneğine sahiptir.

İlk zamanlarda, YSA'ların alanı, insanlar için entelektüel olarak zor olan problemleri ve satranç gibi basit matematiksel kurallarla kolayca tanımlanabilen problemleri çözmeye yönelikti [4]. Ancak, yapay zekanın makine öğrenimi olarak bilinen alt alanı, makinelerin daha karmaşık sorunları çözmesine ve belirsizlikle başa çıkmasına olanak tanıyan, verilerden ilişkiler veya kurallar dizisi türetme özelliğine sahiptir. Bu sahip olduğu özellik sayesinde ML'ler mühendislikte hızlı tahmin aracı ve optimizasyon uygulamalarına yönelik olarak bir araştırma alanı haline gelmiştir. Makine öğrenmesine dayalı yöntemlerin birçok uygulaması önerilmiş olsa da bu yöntemlerden kaynaklanan hem potansiyel faydaların hem de zorlukların anlaşılması, bireylerin sorunu daha iyi formüle etmelerine ve sağlam bir uygulama için temsili veriler toplamalarına yardımcı olacaktır [5]. YSA'ların bu denli kapsamlı olarak uygulanmalarına rağmen, YSA geliştirme aşamasında sistematik bir yaklaşımın benimsenmesi sorunu çözmeye yönelik oluşturulacak yaklaşım ile mümkündür. Örneğin, bir dizi veri setinde (boyut, hacim, küçük, büyük ve diğer), verilerin doğruluğu, veri aracı, veri standardizasyonu, veri girişlerinin türü, veri bölümü ve verilerdeki ana faktörleri ve konuları ele alan bir yaklaşım benimsenmelidir.

1980'lerden itibaren, nükleer endüstride, operasyon görevlerinde bilgi yükünü azaltmak için bilgisayar destekli bir sistem geliştirmeye olan ilgi [6] ve 1990'lardan itibaren radyonüklid tespitinde makine öğrenimi kullanımı ön plana çıkmıştır [7]. Nükleer santrallerde makine öğrenmesine dayalı yöntemler kullanılarak çalışılan çok çeşitli görevler vardır. Bunlar; izleme, teşhis, prognoz, kontrolleri gerçekleştirmek için sensör verilerini kullanarak parametre tahmini ve sınıflandırma için ağ yapılarının geliştirilmesi, planlama ve örüntü tanımadan yararlanabilecek diğer görevlerdir. Bu tür uygulamaların kullanımı hızlı tahminlerin ve stratejilerin türetilmesini sağlayarak tesis güvenliğini artırmaktır [5]. Radyonüklidlerin etkin ve doğru karakterizasyonu ve tanımlanması, geleneksel olarak gama spektroskopisi kullanılarak belirlenir. Gama ve nötron spektroskopisine dayalı makine öğrenme yöntemleri kullanılarak radyonüklid tanımlaması ilgi çekicidir ve ön plana çıkmaktadır [8]. Radyonüklid tanımlamaları hem nükleer fizik hem de medikal fizik alanında oldukça ilgi görmektedir. Medikal fizik alanında YSA ve makine öğrenme çalışmaları günümüzde giderek artmaktadır.

Bu çalışmada; nükleer ve medikal fizik alanındaki farklı makine öğrenimi uygulamalarına genel bir bakış sunularak, bu özel alandaki potansiyel faydaları ve zorlukları belirlemeye odaklanılmıştır. Özellikle nükleer endüstride bu tür makine öğrenme yöntemlerin başarılı bir şekilde konuşlandırılması için bazı zorlukların yanı sıra daha fazla araştırma hakkında önerilerde bulunulmuştur.

2. YSA ve ML Kullanımı

Nükleer endüstrinin ve teknolojinin askeri kullanımı dışındaki kullanımları, genel halka çeşitli faydalar sağlayan bir dizi farklı uygulamaya sahiptir. Bu uygulamaların başında tıbbi uygulamalar gelir. Tıbbi uygulamalar, birçok farklı insan durumunu teşhis etmek, izlemek ve tedavi etmek için nükleer malzemelerin kullanımına yönelik uygulamalardır. Endüstriyel alanda da sayısız uygulamalar yer almaktadır. Bu uygulamaların başında enerji üretimi yer almaktadır. Ayrıca; sterilizasyon, radyografi, detektör teknolojileri, kalite kontrol ve gıda güvenliği gibi alanlarda yer almaktadır. Nükleer teknoloji ve endüstrinin gelişmesi için yapılan en önemli çalışmalar akademik alandaki araştırma-geliştirme uygulamalarıdır. Akademik uygulamalarda, laboratuvar uygulamaları ve araştırma ve geliştirme için nükleer malzemenin kullanımını ve enerji uygulamaları, elektrik, ısıtma suyu üretmeyi ve diğer enerji kaynaklarıyla birlikte çalışmayı içerir.

Genel olarak makine öğrenimi yöntemi, bir sistemden elde edilen eğitim verileri ile veri matrisi oluşturularak öğrenen ve ampirik bir model oluşturulmaya çalışan algoritmalarıdır. Nükleer ve radyolojik bilim uygulamalarında genel olarak beş popüler algoritma kullanılmaktadır. Bunlar karar ağaçları (KA), yapay sinir ağları (YSA), en yakın komşu (EYK), destek vektör makinesi (DVM) ve Naive Bayes (NB)'dir.

1. Karar ağaçları algoritmaları; makine öğrenimindeki en basit, ancak güçlü yöntemlerden biridir ve çok sayıda veri içeren girdi alanını sonuç bölgelerinin her birinde yerel basit modellere bölerek çalışır. Yani, basit karar verme adımları kullanarak, büyük miktarlardaki verileri, çok küçük veri içeren gruplara bölerek kullanılan bir yapıdır. Bu bölme işlemi için pek çok optimal bölme stratejisi mevcut olmakla birlikte, en yaygın olarak kullanılanlar ID3, C4.5, GINI, CHAID, CART [9, 10] algoritmalarıdır.
2. Yapay sinir ağları; bir bilgisayarın gözlemsel verilerden öğrenmesini sağlayan, biyolojik olarak beyin sinir ağlarından esinlenilmiş bir tekniktir. Yapay sinir ağlarında öğrenme işlemi eğitim ve test veri setleri kullanılarak gerçekleştirilir. YSA'da işlemler; ağırlıklı bir "bağlantılar" sistemi aracılığıyla yapıldığı bir veya birden fazla "gizli katman" ile etkileşim kurarak ağ veri sunarak gerçekleşir. YSA'lar başlıca tahmin, teşhis, kontrol, sınıflandırma, veri ilişkilendirme, veri filtreleme ve son olarak yorumlama gibi alanlarda kullanılmaktadır [11]. YSA'lar, doğrusal olmayan ve tutarsız verilerle başa çıkma yetenekleri nedeniyle nükleer ve radyoloji biliminde kullanılan baskın öğrenme tabanlı algoritmalarıdır [12].
3. En Yakın Komşu, sınıflandırılmak istenilen bir veri örneğini daha önceki verilere olan yakınlık (komşuluk) sınıfına göre derecelendiren sezgisel bir sınıflandırma tekniğidir. EYK algoritması, her bir örnekte tek tek tarama yaptığı için sınıflama süreci uzun olan bir algoritmadır [13].
4. Destek vektör makinesi; istatistiksel olarak öğrenmeye dayalı bir sınıflandırma algoritmasıdır. Sahip olduğu matematiksel algoritma ile doğrusal verilerin sınıflandırılması problemi için tasarlanmış ve doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılması için uygulanmıştır. DVM'nin çalışma prensibi iki sınıfı birbirinden ayırabilen en uygun karar fonksiyonun tahmin edilmesi, başka bir ifadeyle iki sınıfı birbirinden en uygun şekilde ayırabilen hiper-düzlemin tanımlanması esasına dayanmaktadır [14].
5. Naive Bayes algoritması, belirli bir veri kümesindeki değerlerin frekansını ve kombinasyonlarını sayarak bir olasılık kümesini hesaplayan basit bir olasılıksal

sınıflandırıcıdır. Algoritma Bayes teoremini kullanır ve sınıf değişkeninin değeri dikkate alındığında tüm değişkenlerin bağımsız olduğunu varsayar. Bu koşullu bağımsızlık varsayımı, gerçek dünya uygulamalarında nadiren geçerlidir, bu nedenle Naive olarak karakterize edilir, ancak algoritma çeşitli kontrollü sınıflandırma problemlerinde hızlı bir şekilde öğrenme eğilimindedir [15].

Yukarıda bahsedilen bu beş metodun nükleer uygulamalar açısından; veri toplama veya öğrenmeye yönelik veri seti oluşturmada mükemmel olacağını beklemek gerçekçi değildir. Ancak, başarılı bir nükleer fizik uygulama için hangi yöntemin uygun olduğunu belirlemek gerekir. Bunun içinde; bu çalışmada nükleer tıp, reaksiyon hesaplama ve enerji tesislerinde kullanılan başarılı uygulama yöntemleri irdelenmiştir.

2.1 Nükleer Tıp Uygulamaları

Nükleer tıp ve radyolojide detektör teknolojilerinin gelişmesi gibi temel sayılan donanım gelişmesi sayesinde özellikle 2000'li yıllarda çok fonksiyonlu görüntüleme cihazları kullanılmaya başlandı ve son 20 yılda büyük ölçüde gelişti [16]. Özellikle bu cihazlarda kullanılan yazılımlardaki yenilikler ile görüntü rekonstrüksiyonunda, yeniden oluşturulmuş görüntülerin uzamsal çözünürlüğünde ve sinyal-gürültü oranında önemli gelişmelere yol açmıştır [17]. Yazılım alanındaki bu yeni gelişmeler, tıbbi görüntülemede bir rol oynamış ve teşhisin ötesinde, tedavi planlamasını, tedavi izleme ve değerlendirmeyi ve tahmine dayalı modelleme ve sınıflandırmayı kapsayacak şekilde gerekli hale gelerek kliniklerin ayrılmaz bir parçasını meydana getirmişlerdir.

Nükleer tıpta, özellikle tıbbi görüntüleme ile ilgili olarak, çekilen görüntülerin incelenmesi ve görüntülere dayanan bulguların veya karar verici unsurların YSA ve ML algoritmaları aracılığı ile incelenerek; lezyon tespiti, hastalık sınıflandırması, teşhis ve evreleme, kantifikasyon, tedavi planlaması gibi işlemler gerçekleştirilir. Ayrıca, radyoterapi hastaları için dozimetri optimizasyonu, tedaviye yanıtı ve prognozu değerlendirmek makine öğrenme yöntemleri ile yapılabilmektedir [18]. YSA ve ML algoritmaları ile geliştirilen otomasyonun, bu görevlerin çok daha yüksek doğruluk ve tekrarlana bilirlikle, potansiyel olarak daha az hatayla ve çok daha kısa sürede gerçekleştirilmesine olanak sağlaması beklenmektedir. Tıbbi görüntü analizi görevleri için geliştirilen yapay zekâ sistemlerinin tümü olmasa da çoğu, analitik sistemler sınıfına aittir ve bu nedenle makine öğrenme teknikleri olarak sınıflandırılır. Makine öğrenme tekniği ile iki tür tümör arasında ayırım yapmak veya hastaları klinik sonuca göre sınıflandırmak mümkündür. Örneğin PET görüntülerinin zayıflama düzeltmesini, görüntü rekonstrüksiyonunu veya anatomik işaretleme ML ve YSA algoritmaları ile gerçekleştirilmektedir. Zayıflama düzeltmesi, BT taramasında özel bir öneme sahiptir ve görüntü yeniden oluşturma sürecinde artefaktların azaltılması veya ultra düşük dozlu PET görüntülerinin gürültüden arındırılması işlemlerinde bu algoritmalar ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir [19].

2.2 Nükleer Reaksiyon Hesaplama Uygulamaları

Nükleer fizik ve reaksiyonlara yönelik araştırma ve geliştirmelerde; hızlı ilerleme sağlamak, maliyetleri azaltmak ve güvenliği sağlamak için öncelikli olarak modelleme ve simülasyonlar yapılmaktadır. Nükleer fizik alanında; nükleer parçacıkların davranışını anlama ihtiyacı, simülasyon yazılımına olan güveni daha da artırmaktadır. Bu nedenle, doğruluğu artırmayı ve hesaplama süresini kısaltmayı amaçlayan modelleme araçlarını geliştirmeye yönelik büyük çabalar gösterilmektedir. Bu tür modellemelerin gelişmesi ve güvenilirliğinin artması için deneysel olarak elde edilmiş nükleer verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür verilere Deneysel Nükleer Reaksiyon Verisi (Experimental Nuclear Reaction Data – EXFOR) [20] veri tabanlarından ulaşılmaktadır. Deneysel verilerin elde edilemediği durumlar içinse doğruluğuna büyük ölçüde güvenilen ve

hesaplanmış verilerin barındığı Değerlendirilmiş Nükleer Veri Dosyası (Evaluated Nuclear Data File – ENDF) [21] veri tabanlarından yararlanılır. Değerlendirilmiş nükleer veri dosyaları nükleer reaksiyon hesaplama yazılımları (TALYS [22], EMPIRE [23] vb.) aracılığı ile yapılan hesaplamaların sonuçlarından elde edilen bir veri tabanıdır. Bu veri tabanında sunulan veriler, tüm dünyadaki araştırmacılar, nükleer reaktörler, radyasyon dedektörleri, parçacık hızlandırıcılar vb. dahil olmak üzere çeşitli sistem ve fenomenleri simüle etmek için deterministik modelleme kodları tarafından kullanılmaktadır. Özellikle deneysel verilerin çok az olduğu veya hiç olmadığı durumlarda, bilim insanları değerlendirme yapma noktasında zorluk çekmektedir. İşte bu süreçte YSA ve ML algoritmalarından yararlanarak sonuçlar elde etmek ve bu sonuçların değerlendirilmesinde destekleyici rol oynamaktadır. YSA ve ML modelleri, EXFOR veri tabanında bulunan deneysel verilere ve atomik özelliklere dayalı olarak oluşturulan öğrenme modelleri ile test edilmişlerdir ve genel olarak modellerin başarısı, yalnızca seçilen algoritmanın özelliklerine değil, aynı zamanda elde edilen verilerin kalitesine ve miktarına da bağlı olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca bu hesaplamalarda EYK ve KA algoritmalarının daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [24].

Nükleer deneylerin miktarı ve kalitesi artmaya devam ettikçe, YSA ve ML algoritmaları, uzmanların büyük miktarda veriyi anlamlandırmasına yardımcı olacak bir yol sağlamaktadır. Bu algoritmaların, MCNP [25] gibi kritik ve önemli simülasyonların sapmasını doğru bir şekilde tahmin edebildiği gösterilmiştir. Nükleer reaksiyon hesaplamalarına yönelik simülasyonlarda artan hatalar ve sorunlu nükleer veri alt kümeleri bu YSA ve ML algoritmalarının kullanımı ile model hesaplama ve/veya reaksiyon hesaplama yazılımlarında güncellemelerin olmasında etki olmaktadır [26].

2.3 Nükleer Enerji Tesisleri için Uygulamalar

Nükleer enerji tesislerinde, cihaz kalibrasyonu ve ekipman izleme, reaktör çekirdeği izleme, sistem parça izleme, reaktör kontrolleri ve diğer sistemlerin izlenmesi ve yönetilmesine yönelik karar destek mekanizmaları için makine öğrenme algoritmalarına dayalı yöntemler yer almaktadır. Bu yöntemler genel olarak izleme ve teşhis sistemleri ve görevlerin zamansal eğilimlerini yönetmek için kullanılmaktadır [27]. Nükleer enerji tesislerinde her bir sistemin arıza durumları için belirli eşik seviyeleri ayarlanır ve otomasyon sistemlerinden gelen sinyaller ile bu eşik seviyeleri kontrol edilir. Bir nükleer güç santralinde arıza durumu olarak tanımlana bilecek yüzlerce farklı sistem vardır ve bunlar birbirlerini de tetikleyebilirler. Bazı küçük anormallikler kritik bir eşiğe ulaşana kadar tespit edilemeyebilir. Bu durumda bilgisayar destekli YSA ve ML algoritmaları ile karmaşık otomasyon sistemlerinden gelen her bir sinyal işlenerek tesisin çalışması için gerekli optimum koşulların korunmasına yardımcı olunur [28]. Bu tür gelişmiş sistemlerin nükleer enerji tesislerinde optimum operasyonu korunması ile ekonomik katkısı yılda yaklaşık 1 milyar dolardır [29].

YSA ve ML algoritmaları kullanarak Nükleer güç tesislerinde gerçekleştirilen uygulamalar şunlardır:

- Reaktör ve bağlı sistemlerin ısı eşanjörleri gibi sistem bileşenlerinin davranışlarının tahmini [30],
- Reaktör gücü tepe faktörlerinin tahminleri [31]
- Reaktörlerin çalışmasına yönelik temel güvenlik parametresi tahminleri [32],
- Güç tesislerindeki aktif ekipmanlardaki yaşlanma, bozulma ve arız yapma tahminleri [33],
- Olası ciddi kaza tahminleri ve bunların sınıflandırılması [34],
- Güç tesislerindeki pasif sistemlerin işlevsel arızaları [35],
- Nükleer güç tesislerinde reaktör soğutması, buharın aktarılması vb. tüm süreçlerde kullanılan hidrolik ve kinematik sistemler doğru modellenemediğinden, uygun akış rejimi tanımlaması mühendislik sistemlerinin tasarım analizini ve işleyişini hızlandırabilir ve ek

olarak, çalışma sırasında aşınma, sızıntı veya istenmeyen olayların tespiti için müdahale gerektirmeyen teknikler kullanılabilir. Bu tür müdahaleci olmayan ölçme sistemlerine dayalı akış rejimlerinin tanımlanmasını tahmin etmek için öğrenmeye dayalı yöntemler kullanılmaktadır [36].

Nükleer tesislerin radyasyon güvenliğine yönelik olarak radyasyon yayılımları için gerçekleştirilen çevresel izleme, temel olarak gama radyasyonunun saptanmasıyla sağlanır. Ayrıca atmosferik radon seviyeleri gibi bölgesel özelliklerin yorumlanması çevresel izlemede kullanılan diğer yöntemlerden biridir. Çevresel haritalama için gama spektroskopisinin çevresel uygulamaları, çevresel izleme sistemlerine yönelik simülasyon modellerinin geliştirilmesi, risk haritalaması, mekansal tahminler, temsili veri toplama, ampirik verilerle elde edilen modellerin analizleri gibi çevresel güvenlik işlemleri için YSA ve ML algoritmaları kullanılmaktadır [37-40].

3. Bulgular ve Tartışma

Nükleer tıp alanında, YSA ve ML'lerin kullanımı görüntü okuma üzerine derin bir etkisi olacaktır. Teknolojik sektörde, YSA ve ML'ler tıbbi görüntülerin gelişmiş zayıflama düzeltmesi, artefaksız görüntü rekonstrüksiyonu ve hastaya özel görüntü elde edilmesini sağlayan anatomik yer işareti belirleme için halihazırda kullanılmaktadır. Bu gelişmeler nihayetinde daha iyi görüntü kalitesine, daha kısa çekim süresine ve daha düşük radyasyon dozlarına yol açacaktır. Görüntü analizi sektöründe, halihazırda görüntü okuma, tam otomatik hastalık sınıflandırması ve tüm vücut alımlarında tam otomatik metastaz tanımlanmasında yardım sağlamak için yeni yöntemler ve algoritmalar geliştirilerek, nükleer tıp doktorları nihayet rutin görevlerinden kurtulur, böylece hasta bakımı ve görüntü yorumlama için daha fazla zamanları olabilecektir. Bu nedenle gelecekteki hastalar, gelişmiş görüntü kalitesi ve kişiselleştirilmiş görüntü raporlama kombinasyonundan yararlanabilir. Nükleer tıp görüntülemeindeki YSA ve ML yaklaşımlarının çoğu erken aşamadır ve geniş klinik uygulamalar için daha fazla geliştirme çalışmalarının yapılması gereklidir.

Nükleer reaksiyon verilerinin değerlendirilmesinde, EXFOR gibi deneysel veri tabanlarında yer alan veriler ve reaksiyon modelleme kodları (EMPIRE, TALYS vb.) ile gerçekleştirilen hesaplama sonuçlarının yer aldığı veri tabanları büyük bir öneme sahiptir. Ancak, bilim insanlarının araştırma-geliştirme çalışmaları için nükleer reaksiyon verilerini analiz etme ve değerlendirmelerinde süreci hızlandıracak ve destekleyecek YSA ve ML algoritmalarının kullanılması sonuçları güçlendirecektir. YSA ve ML modelleri, EXFOR veri tabanında bulunan deneysel verilere ve atomik özelliklere dayalı olarak oluşturulan öğrenme modelleri ile test edilmiş ve genel olarak modellerin başarısı, yalnızca seçilen algoritmanın özelliklerine değil, aynı zamanda elde edilen verilerin kalitesine ve miktarına da bağlı olduğu ortaya konmuştur. Nükleer reaksiyon hesaplamalarında genellikle ML algoritmalarının daha başarılı sonuçlar verdiği de kabul edilir.

Nükleer fizik ve radyolojik bilim uygulamalarında genel olarak kullanılan popüler algoritmaları [5] değerlendirirsek:

- Karar Ağaçları Algoritması: Kategorik özellikler için daha uygundur. Daha büyük ağaçların oluşması durumunda yorumlanması zordur ve girdi verilerindeki küçük değişiklikler nedeniyle düşük doğrulukla sonuçlanabilir.
- Yapay Sinir Ağları Algoritmaları: Çok fazla veri gerektirir, yorumlanması zordur ve pekiştirmeli öğrenme için uygundur.
- En Yakın Komşu Algoritmaları: Komşuluk tanımına çok duyarlıdır ve bu yüzden yüksek boyutlarda iyi performans göstermezler. Büyük veri kümeleri için hesaplama açısından zorlanırlar, iyi ölçeklenmezler. Diğer algoritmalar daha iyi sınıflandırma performansı elde edebilir.

- Destek Vektör Makinesi Algoritması: Varyasyonlara duyarlı, aşırı büyük veri kümeleri için uygun değildir. Alakasız veri setlerine bağlı olarak yanlış sınıflandırmaya neden olabilir,
- Naive Bayes Algoritması: Özellik mühendislik gerektiren uygulamalarda kullanımı uygundur. Zamana bağlı çalışan uygulamaları izlemek için uygun değildir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, nükleer fizik ile ilgili makine öğreniminin çeşitli uygulamalarının bir incelemesini sunmaktadır. Amacı, bu incelemenin araştırmacılara, öğrenmeye dayalı yaklaşımların bilimsel ve teknolojik sonuçlarını etkinleştirmek ve hızlandırmak için nükleer bilim alanına uygulanan yeni teknolojilerin faydalarını anlamaları için bir arka plan ve rehberlik sağlamaya yardımcı olmasıdır. Ayrıca, makine öğrenimi algoritmalarının geliştirilmesi ve uygulanmasındaki birincil hedefin, kullanıcılar için daha bilinçli ve hızlı karar vermelerini sağlamak ve YSA modellerin yorumlanaabilirliğini sağlamak çok önemlidir. Bu tür çalışmaları artırmak ve geliştirmek için aktif tartışma ve iş birliklerine izin veren modern araştırmalarda YSA modellerinin kullanılması teşvik edilmelidir. Nihai olarak amaç, nükleer bilimde öğrenmeye dayalı yöntemin güvenli ve etkili bir şekilde uygulanmasıdır.

Kaynaklar

- [1]. IAEA-TECDOC-1389, Managing Modernization of Nuclear Power Plant Instrumentation and Control Systems, Technical Report International Atomic Energy Agency, 2004.
- [2]. Parasuraman, R., Riley, V., Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse, Hum. Factors, 1997, 39(2), 230-253.
- [3]. Dave, V.S., Dutta, K., Neural Network Based Models for Software Effort Estimation: A Review, Artif. Intell. Rev., 2014, 42(2), 295e307.
- [4]. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., Deep Learning. Nature, 2015, 521, 436–444.
- [5]. Gomez-Fernandez, M., Higleya, K., Tokuhiroc, A., Welterd, K., Wongb, W. K., Yanga, H., Status of Research and Development of Learning-Based Approaches in Nuclear Science and Engineering: A Review, Nuclear Engineering and Design, 2020, 359, 110479.
- [6]. Buettner, W., Advanced Computerized Operator Support Systems in The FRG. IAEA Bull., 1985, 27, 13–17.
- [7]. Olmos, P., Diaz, J.C., Perez, J.M., Gomez, P., Rodellar, V., Aguayo, P., Bru, A., GarciaBelmonte, G., de Pablos, J.L., A New Approach to Automatic Aadiation Spectrum Analysis. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1991, 38(4), 971–975.
- [8]. Fagan, D. K., Robinson S. M., Runkle, R. C., Statistical Methods Applied to Gamma Ray Spectroscopy Algorithms in Nuclear Security Missions, Appl. Radiat. Isot., 2012, 70(10), 2428-2439.
- [9]. Breiman, L., Friedman, J., Stone, C., Olshen, R., Classification and Regression Tree, The Wadsworth and Brooks-Cole statistics-probability series, Taylor & Francis, 1984.
- [10]. Brownlee, J., Machine Learning Mastery, <https://machinelearningmastery.com/implementation-decision-tree-algorithm-scratch-python/> (Erişim Tarihi: 10.03.2022)
- [11]. Ağyar, Z., Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları ve Bir Uygulama, MMO, Mühendis ve Makine, 2015, (56)662, 22-23.
- [12]. Ma, J., Jiang, J., Applications of Fault Detection and Diagnosis Methods in Nuclear Power Plants: A Review Prog. Nucl. Energy, 2011, 53 (3), 255-266.
- [13]. Khan, M., Ding, Q., Perrizo, W., K-nearest Neighbor Classification on Spatial Data Streams Using P-trees, Advances in Knowledge Discovery and Data Mining, 2022, 2336, 517-528.
- [14]. Vapnik, V.N., The Nature of Statistical Learning Theory, Springer-Verlag, 2022, New York.

- [15]. Dimitoglou, G., Adams, J.A., Jim, C.M., Comparison of the C4.5 and a Naïve Bayes Classifier for The Prediction of Lung Cancer Survivability, Arxiv, 2012, 1121.
- [16]. Beyer T., Townsend D.W., Brun T., Kinahan P.E., Charron M., Roddy R., et al. A Combined PET/CT Scanner for Clinical Oncology, *J Nucl Med.* 2000, 41:1369, 79.
- [17]. Berg E., Cherry S.R., Innovations in Instrumentation for Positron Emission Tomography, *Semin Nucl Med*, 2018, 48:311, 31.
- [18]. Hosny A., Parmar C., Quackenbush J., Schwartz L.H., Aerts H.J.W.L., Artificial Intelligence in Radiology, *Nat Rev Cancer*, 2018, 18:500, 10.
- [19]. Seifert, R., Weber, R., Kocakavuk, E., Rischpler, C., Kersting, D., Artificial Intelligence and Machine Learning in Nuclear Medicine, Future Perspectives, *Seminars in Nuclear Medicine*, 2021, (51)2, 170-177.
- [20]. Otuka, N., vd., Towards a More Complete and Accurate Experimental Nuclear Reaction Data Library (EXFOR): International Collaboration Between Nuclear Reaction Data Centres (NRDC), *Nuclear Data Sheets*, 2014, 120, 272-276.
- [21]. Evaluated Nuclear Data File (ENDF), <https://www-nds.iaea.org/exfor/endl.htm>.
- [22]. Koning, A.J., Hilaire S., Duijvestijn, M.C., TALYS-1.0, Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, April 22-27, 2007, Nice, France, EDP Sciences, 2008, 211-214.
- [23]. Herman, M., Capote,R., Carlson, B.V., Oblozinsky, P., Sin, M., Trkov, A., Wienke, H., Zerkin, V., EMPIRE: Nuclear Reaction Model Code System for Data Evaluation, *Nucl. Data Sheets*, 2007, 108, 2655-2715.
- [24]. Vicente-Valdez, P., Bernstein, L., Fratoni, M., Nuclear Data Evaluation Augmented by Machine Learning, *Annals of Nuclear Energy*, 2021, 163, 108596.
- [25]. Rising, M.E., Brown, F.B., Salazar, J.R., Sweezy, J.E., Overview of the MCNP6 SQA Plan & Requirements, 2020, LA-UR-20-26666.
- [26]. Grechanuk, P.A., Rising, M.E., Palmer, T.S., Application of Machine Learning Algorithms to Identify Problematic Nuclear Data, 2021, (195)12, 1265-1278.
- [27]. Denœux, T., Masson, M., Dubuisson B., Advanced Pattern Recognition Techniques for System Monitoring and Diagnosis: A Ssurvey, *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 1997, 31, 1509-1540.
- [28]. Boring, R.L., Thomas, K.D., Ulrich, T.A, Lew R.T., Computerized Operator Support Systems to Aid Decision Making in Nuclear Power Plants *Proc. Manuf.*, 2015, 3, 5261-5268.
- [29]. Chai, J., Sisk, D.R., Bond, L.J., Jarrell, D.B., Hatley, D.D., Meador, R.J., Koehler, T.M., Watkins, K.S., Kim, W., On-line Intelligent Self-diagnostic Monitoring System for Next Generation Nuclear Power Plants, United States. Dept. of Energy, 2003.
- [30]. Patra, S.R., Rajeswari, S., Satyamurthy, S.A.V., Artificial Neural Network Model for Intermediate Heat Exchanger of Nuclear Reactor, *Int. J. Comput. Appl.*, 2010, 1(26), 65-72.
- [31]. MONTES, José Luis, et al., Local Power Peaking Factor Estimation in Nuclear Fuel by Artificial Neural Networks, *Annals of Nuclear Energy*, 2009, 36.1: 121-130.
- [32]. Calivá, F., et al., A Deep Learning Approach to Anomaly Detection in Nuclear Reactors, *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (July 2018), 1-8.
- [33]. Agarwal, V., Alamaniotis, M., Tsoukalas, L.H., Predictive based monitoring of nuclear plant component degradation using support vector regression. In: Conference: 9. International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human Machine Interface Technologies. Idaho National Lab., 2015.
- [34]. Ma, J., Jiang, J., Applications of Fault Detection and Diagnosis Methods in Nuclear Power Plants: A review. *Progress in Nuclear Energy*, 2011, 53.3: 255-266.
- [35]. Zio, E., George E., Pedroni, N., Quantitative Functional Failure Analysis of a Thermal–Hydraulic Passive System by Means of Bootstrapped Artificial Neural Networks. *Annals of Nuclear Energy*, 2010, 37.5, 639-649.

- [36]. Yang, Z., Ji, H., Huang, Z., Wang, B., Li, H., Application of Convolution Neural Network to Flow Pattern Identification of Gas-Liquid Two-Phase Flow in Small-Size Pipe, Chinese Automation Congress (CAC), 2017, 1389–1393.
- [37]. Kanevski, M., Parkin, R., Pozdnukhov, A., Timonin, V., Maignan, M., Demyanov, V., Canu, S., Environmental Data Mining and Modeling Based on Machine Learning Algorithms and Geostatistics, Environ. Modell. Software, 2004, 19(9), 845-855.
- [38]. Liu, Y., Li, M., Xie, C., Peng, M., Xie, F., Path-Planning Research in Radioactive Environment Based on Particle Swarm Algorithm, Prog. Nucl. Energy, 2014, 74, 184-192.
- [39]. Yeşilkanat, C.M., Kobya, Y., Taşkin, H., Çevik, U., Spatial Interpolation and Radiological Mapping of Ambient Gamma Dose Rate by Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic Methods, J. Environ. Radioact., 2017, 175, 78-93.
- [40]. Einian, M.R., Aghamiri, S.M.R., Ghaderi, R., Evaluation of the Suitability of Neural Network Method for Prediction of Uranium Activity Ratio in Environmental Alpha Spectra, Appl. Radiat. Isot., 2015, 105, 225-232.