



ADU Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi



ADU Journal of Science and Engineering

Cilt: 1

Sayı: 1

Yıl: 2024



<https://dergipark.org.tr/tr/pub/adufmbd>

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

**ADÜ FEN VE MÜHENDİSLİK
BİLİMLERİ DERGİSİ**

Cilt

1

Sayı

1

2024

ADÜ FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

(Ulusal Hakemli Dergi)

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, TÜRKİYE tarafından yayınlanır.

EDİTÖR

Mustafa SÜR MEN

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

mustafa.surmen@adu.edu.tr

Yayın Kurulu

Mustafa SÜR MEN

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

mustafa.surmen@adu.edu.tr

Deniz Özen ÜNAL

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

deniz.ozen@adu.edu.tr

Korhan GÜNEL

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

kgunel@adu.edu.tr

Emre KARA

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

emre.kara@adu.edu.tr

Danışma Kurulu

Deniz ÇOBAN

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

deniz.coban@adu.edu.tr

Emrah HİĞDE

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

emrah.higde@adu.edu.tr

Emre KARA

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

mustafa.surmen@adu.edu.tr

Göksel ARMAĞAN

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

garmagan@adu.edu.tr

Olca Üzengi AKTÜRK

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

ouzengi@adu.edu.tr

Baş Editör : Mustafa SÜRMEK
Yardımcı Editörler: : Emrah HİÇDE, Korhan GÜNEL
Teknik Editör : Korhan GÜNEL
Dergi Mizanpaj : Deniz Özen ÜNAL, Korhan GÜNEL
e-posta : fbedergi@adu.edu.tr
Yayın Tarihi : Haziran, 2024.

AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÖNETİM KURULU

Enstitü Müdürü : Mustafa SÜRMEK
Enstitü Müdür Yardımcıları : Deniz Özen ÜNAL, Korhan GÜNEL
Enstitü Sekreter : Münevver KEMER
Raportör : Münevver KEMER
Üye : Olcay ÜZENĞİ AKTÜRK
Üye : Deniz ÇOBAN
Üye : Göksel ARMAĞAN

Amaç ve Kapsam

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (ADUFMBD), temel bilimler ve mühendislikte son teknolojiye ilişkin yenilikleri içeren bilimsel makalelerin yayımlanmasını ilke edinmiş olup araştırmacıların bilim ve teknolojiye ilişkin bilgi ve becerilerini, ulusal ve uluslararası literatürde paylaşmayı ve tartışmayı hedeflemektedir. Dergimiz, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü tarafından yılda en az iki kez yayınlanan hakemli, bilimsel elektronik bir dergidir. Yayın kurulunun kararıyla “Özel Sayı” olarak da yayımlanabilir. Dergide fen ve mühendislik bilimlerinde yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan analitik ve nümerik çözümleri içeren araştırma makalesi türündeki çalışmalara yer verilir.

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, temel bilimler ve mühendislik alanında yapılan özgün ve yenilikçi aynı zamanda bilime katkıda bulunacak olan araştırma ve derleme türü makaleleri kabul etmektedir. Dergide, Türkçe ve İngilizce yayımlara yer verilmektedir. Dergide yayımlanacak olan makalenin daha önce başka bir yerde yayımlanmamış olması ve makale içerisindeki tüm yazarların onayının alınması sorumluluğu tamamen sorumlu yazara aittir.

Yayın Tarihi ve Abonelik Bilgileri

ADÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi yılda iki kez (Haziran ve Aralık) online olarak yayımlanmaktadır.

ADÜ FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

ETİK İLKELER VE YAYIN POLİTİKASI

YAYIN ETİĞİ

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD)'nin yayın süreçleri, bilginin bilimsel yöntemle yansız biçimde üretilmesi, geliştirilmesi ve paylaşılmasına dayanır. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD bilginin ulusal ve uluslararası tüm yayılım sürecinde etik kurallar çerçevesinde şeffaflık, gizlilik ve hesap verebilirlik ilkelerini gözetmektedir. Ayrıca kalite odaklı bir yaklaşımla tüm süreçleri verimli ve rekabetçi bir yapıda sürekli iyileştirmeyi hedeflemektedir. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD Araştırmada Dürüstlük için Avrupa Davranış Kurallarını takip etmektedir.

- Hakemli makaleler, bilimsel yöntemler gerektiren ve tarafsızlık sağlayan çalışmalardır.
- Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD kullanıcıları olan (yayıncı, editörler, yazar(lar), hakem(ler), alan editörleri, okuyucular) tüm yapılan işlemlerde dergimizin etik ilkelerine uymaları gerekir.
- Bu kapsamda Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'in yayın etiği ile açık erişim politikasının da,
 - Uluslararası Yayın Etiği Komitesi (Committee on Publication Ethics, COPE) ve
 - Bilim Kurulu Editörleri Konseyinin (Council of Science Editors, CSE) açık erişimde yayınladığı kılavuzlar ve politikalar doğrultusunda (Örneğin "Yayın Etiği Komitesi (COPE)" Davranış Kuralları ve Dergi Editörleri İçin En İyi Uygulama Kılavuzları; "Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors" ve "COPE Best Practice Guidelines for Journal Editors") yayın sürecinin tüm bileşenlerinin etik ilkelere uymasını gerektirmektedir.
- Ayrıca derginin editörlük ve yayın süreçleri Türkiye Yükseköğretim Kurulu yönetmeliği kurallarına uymakta ve şüpheli araştırma ve yayın suistimali vakalarını takip etmektedir.

Bu etik kurallara ve sorumluluklar aşağıda da özetlenmiştir. Tüm yazarların/hakemlerin makale göndermeden/değerlendirmeden önce Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'nin etik politikasını okuması ve anlaması beklenmektedir.

Yayıncının Etik Görev ve Sorumlulukları

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD, editörler kurulu, çeşitli ülke ve üniversitelerden alanında uzman akademisyenlerden oluşmaktadır. Editör Kurulu üyeleri, fen bilimlerinin bilim dalları gözetilerek görevlendirilir ve üyeler baş editörlerin ve editör kurulu üyelerinin kendi taleplerine göre görevlendirilir. Editörler kurulu başkanları ve duruma göre bir ya da birden fazla baş editör yardımcıları ile alan editörleri belirlenir. Ayrılan üyenin yerine yeni üye görevlendirilir. Editör, makalenin konusuna göre, gerekli olduğunda Editörler Kurulu üyesi olmayan öğretim üyelerine alan editörü olarak incelemesi için makale gönderebilir.

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD, herhangi bir makale ile ilgili bir durumu açıklığa kavuşturmak, söz konusu makalede değişiklik yapmak veya çalışmanın herhangi bir bilimsel yanlış davranış içermesi, hileli yayın, intihal veya editörlerle yakın iş birliği iddiası veya kanıtlanması için gerekli tüm önlemleri almaktadır. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD, editörlerle birlikte, herhangi bir kötüye kullanımının meydana geldiği makalenin yayınlanmasını önlemek için ilgili adımları atacak ve hiçbir koşulda bu tür bir suistimali veya bilerek bu tür bir suistimalin gerçekleşmesine izin vermeyecektir. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD, okurlar, hakemler veya diğer editörler tarafından ortaya konan tüm iddialara veya şüphelere yanıt vermekle sorumludur. Böyle bir durumda ilgili makale dergi tarafından değerlendirilir ve gerekli açıklamalar yapılır.

Editörler Kurulu'nun Sorumlulukları

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'e başvurusu yapılan her makaleden, hatta yayımlanmasından

sonraki tüm süreçlerinden Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD Editörler Kurulu sorumludur ve Editörler Kurulu bu sorumluluğunu bilir. Bu sorumluluk, dergiyle ilgili konularda verilen kararlarda yalnızca kamu yararını düşünerek; kişisel kazancı düşünmeden, bağımsız olarak karar vermeyi gerektirir. Yayıncı ve Editörler Kurulu arasındaki ilişki bağımsızlık ilkesine dayanır, editörlerin alacağı tüm kararlar yayıncıdan ve diğer kişi ve kuruluşlardan bağımsızdır.

Editörler Kurulu, Dergiyi sürekli geliştirmeye, yayın niteliğini yükseltmeye çaba gösterir. Ayrıca yayın, kör hakemlik, değerlendirme süreci, etik ilkeler gibi dergi politikalarının belirlenmesi ve uygulanmasını sağlar. Editörler Kurulu, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD’de yayınlanmış makale yazarlarının telif hakkını korur ve makale ve dergi yayım sürecinde fikri mülkiyet hakları, bilimsel-etik olmayan davranışlarla, intihalle, yollama (atıf) çeteciliğiyle ilgili önlemleri almada sorumludur. Editörler Kurulu, yazar(lar)ın bilgi gereksinimlerini içeren bir “Yazım kuralları”, hakemlerin değerlendirme aşamasında gerek duyacakları bilgileri içeren “Hakem değerlendirme kılavuzu” hazırlar, gerektiğinde günceller. Editörler Kurulu, hakemleri, yazar(lar)ı güdüleyici politikalar belirler ve her makalenin kayıtlarını, dergiyle ilgili yazışmaları elektronik olarak saklar.

Editör ve Alan Editörlerinin Etik Görev ve Sorumlulukları

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisinde editör ve alan editörleri, “Yayın Etiği Komitesi (COPE) Davranış Kuralları ve Dergi Editörleri İçin En İyi Uygulama Kılavuzları”; “Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors” ve “COPE Best Practice Guidelines for Journal Editors” açık erişimde yayınlanan kılavuzlar ve politikalar doğrultusunda, bu rehberlerde belirtilen etik görev ve sorumluluklara sahip olmalıdır. Bu görev ve sorumluluklar aşağıda özetlenmiştir.

- Editörler, hakemlerin, yazar(lar)ın, araştırmacı, uygulayıcı ve okuyucuların bilgi gereksinimlerini karşılamaya gerektiğinde dönüt vermeye, yayın sürecinde düzeltme, açıklama gerektiren konularda açıklık ilkelerine göre davranmaya çaba gösterirler.
- Editörler, makalelerin yayımlanmasına karar verirken, makalelerin özgün olmasına, bilimsel alanyazına, okuyucu, araştırmacı ve uygulayıcılara katkı sağlamasına özen gösterirler.
- Editörler, makalelerle ilgili olumlu ya da olumsuz karar verirken, makalelerin özgün değeri, alana katkısı, araştırma yönteminin geçerli ve güvenilirliği, anlatımın açıklığı ile derginin amaç ve kapsamını göz önünde tutarlar.
- Editörler, başvurusu yapılan makalelerin önemli sorunu olmadığı sürece ön değerlendirme aşamasına alır, olumlu hakem önerilerini göz önünde bulundurur, ciddi sorun olmadıkça önceki editör(ler)ce verilen kararları değiştirmezler.
- Editörler, derginin yayın politikaları arasında bulunan kör hakemlik ve değerlendirme süreci politikalarını uygular, hakemlerin kimlik bilgilerini gizli tutar, her makalenin yansız ve süresi içinde değerlendirilmesini sağlarlar.
- Editörler, makaleleri alan editörleri ve hakemlerin uzmanlık alanlarını dikkate alarak gönderir, değerlendirmelerin yansız ve bağımsız yapılmasını desteklerler.
- Makale değerlendirme sürecinde hakemlere rehberlik etmesi ve talep ettiği bilgiyi sağlamakla görevlidir.
- Editör körleme hakemlik sayesinde yazar ve hakemin kimlik bilgilerini gizlemekle yükümlüdür.
- Editörler makalelerin tarafsız ve bağımsız olarak değerlendirme süreçlerinin tamamlanması için Yazar(lar), hakemler ve üçüncü kişiler arasında oluşabilecek çıkar ilişkisi ve çatışmalarına karşı önlem almakla sorumludur.
- Editörler, hakem havuzunun geniş bir yelpazeden oluşması ve sürekli güncellenmesi için arayış içinde olurlar.
- Editörler, makaleler hakkında danışma kurulunun görüş ve önerilerini dikkate alması gerekmektedir.
- Editörler makale hakkında alacağı kararlar dergi sahibi ve yayıncı kuruluştan bağımsız olmalıdır.
- Editörler; dergide yayına verilecek makalelerde dergi yayım ilkelerini, dergi amaçlarını ve uluslararası standartları gözetmekle sorumludur.
- Editörler makale Yazar(lar)ının rızası haricindeki kişisel bilgilerini üçüncü kişilere aktarmamakla

sorumludur.

- Editörler, akademik görgü kurallarına uymayan ve bilimsel olmayan değerlendirmeleri engellerler.
- Editörler, dergi yayın süreçlerini yayın politikaları ve kılavuzlara uygun işletilmesini sağlar, süreçte görev alanları yayın politikaları konusundaki gelişmelerden bilgilendirir, gerektiğinde eğitim programı hazırlarlar.
- Editörler, yayın sürecinde görev alanlar herkesle etkili bir iletişim içinde olur, belirli aralıklarla toplantılar düzenlerler.
- Editörler, değerlendirilen makalelerdeki kişisel verilerin korunmasını sağlarlar; yazar, hakem ve okuyucuların bireysel verilerini korurlar.
- Editörler; makalelerde insan ve hayvan haklarının korunmasına özen gösterirler, makalenin katılımcılarının açık onayının belgelendirilmesini önemserler, makalenin katılımcılarına ilişkin etik kurul onayı, deneysel araştırmalarda izinleri olmadığında makaleyi reddetmekle sorumludur.
- Editörler; görevi kötüye kullanmaya karşı önlem alırlar. Görevi kötüye kullanmaya yönelik yakınmalar olduğunda, nesnel bir soruşturma yaparak, konuyla ilgili bulguları paylaşır.
- Editörler, makalelerdeki hata, tutarsızlık ya da yanlış yönlendirmelerin düzeltilmesini sağlarlar.
- Editörler, yayınlanan makalelerin fikri mülkiyet hakkını korur, ihlal olması durumunda derginin ve yazar(lar)ın haklarını savunurlar.
- Ayrıca yayımlanan makalelerin içeriğinin başka yayınların fikri mülkiyet haklarını ihlal etmemesi konusunda gerekli önlemleri alırlar; özgünlük-benzerlik denetimini yaparlar.
- Editörler, Dergide yayımlanan makalelere yönelik tutarlı eleştirileri dikkate alırlar, eleştirilen makalelerin yazar(lar)ına yanıt hakkı tanırırlar.
- Editörler olumsuz sonuçları içeren çalışmalarını da göz önünde bulundururlar.
- Editörler hakem, yazar ve okuyuculardan gelen şikayetlere açık ve aydınlatıcı cevap vermekle sorumludur.
- Makalelerde kullanılan verilerin manipüle edilmesi, çarpıtılması ve uydurma verilerin kullanılması gibi durumlar tespit edilirse, makale reddedilecektir.
- Dergimiz, editörya ve/veya hakemler tarafından verilen dönütlere göre yazarlardan analiz sonuçlarına ilişkin çıktı dosyalarını isteme hakkına sahiptir.

Hakemlerin Etik Görev ve Sorumlulukları

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD makale değerlendirme sürecinde yazar(lar)ın hakemleri, hakemlerin yazarları tanımadıkları iki yönlü kör hakemlik ilkesi uygulanır, hakemler yazarlar ile doğrudan iletişim kuramaz; makale değerlendirme formları ve metin üzerinde belirtilen notlar ile düzeltme istemleri dergi yönetim sistemi üzerinden editörlerce yazar(lar)a iletilir. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'ne başvurusu yapılan makaleleri değerlendirecek hakemler aşağıdaki etik sorumlulukları taşımalıdır.

- Hakemler yalnız uzmanlık alanı ile ilgili makaleleri değerlendirmeyi kabul etmelidir.
- Hakemler, değerlendirmeyi yansızlık ve gizlilik içinde yapmalıdır.
- Hakemler kendilerine gönderilen makaleleri değerlendirme sürecinden sonra yok etmeli, ancak yayınlandıktan sonra kullanmalıdırlar.
- Uyrak, cinsiyet, dinsel inanç, siyasi inanç ve ticari kaygılar, değerlendirmenin yansızlığını bozmamalıdır.
- Hakemler, çıkar çatışması-çıkarcılığı olduğunu anladıklarında, makaleyi değerlendirmeyi reddederek, editörlere bilgi vermelidir.
- Hakemler, değerlendirmeyi akademik görgü kurallarına uygun biçimde, yapıcı bir dille yapmalı; hakaret, iftiraya düşmanlık içeren kişisel yorum ve ifadelerden kaçınmalıdır.
- Hakemler değerlendirmesini kabul ettikleri makaleyi süresi içinde değerlendirmelidirler.

Yazarların Etik Görev ve Sorumlulukları

- Yazar(lar) aynı anda iki dergide aynı makale için süreç takip edemez. Bir dergide süreç tamamlandığında ve makalesi reddedildiğinde diğer dergiye makalesini gönderebilir. Başka bir dergide

yayınlanmış makale Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne gönderilemez.

- Yazar(lar), Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne çalışmalarını özgün olarak hazırlamalı ve göndermelidir.
- Yazar(lar), makale yazımı sırasında yararlandıkları kaynaklara etik ilkeler doğrultusunda doğru ve eksiksiz biçimde yollama (atıf) yapmalıdır.
- Makaleye katkı sağlamayan kişilerin adı, yazar olarak yazılmamalı, yayımlanmak üzere başvurusu yapılan bir makalenin yazar sırasını değiştirme, yazar çıkartma, yazar ekleme önerilmemelidir.
- Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisinde değerlendirme süreci başlamış bir makaleye yazar ekleme, yazar sırası değiştirme, yazar çıkarma gibi işlemlere ihtiyaç duyulduğu takdirde dergi yönetimine tüm Yazar(lar)ın onayı ile başvuruda yapılabilir. Dergi yönetimi başvuruyu inceleyip kararı sorumlu yazara bildirir.
- Yayınlanma başvurusu yapılan makaleyle ilgili çıkar çatışması-çıkarcı birliği olan kişileri editörlere bildirmeli ve açıklamaları gerekmektedir.
- Değerlendirme sürecinde editör, hakem ve alan editörü tarafından yazar(lar)dan makalelerine ilişkin bilgi ya da ham veriler talep edilebilir. Bundan dolayı yazar(lar) makalelerine ait bilgi ya da ham verileri sunacak şekilde hazır bulundurmalıdır.
- Yazar(lar), makalelerinde kullandıkları verilerin kullanım haklarına, araştırma-çözümlemelerle ilgili izinlerin ya da üzerinde araştırma yaptıkları katılımcıların onayının alındığını belgelemelidirler.
- Yazar(lar), değerlendirme ve erken görünüm aşamasındaki ya da elektronik ortamda yayımlanmış makalesiyle ilgili hatayı fark ettiklerinde bilgi vermek, düzeltmek ya da geri çekmek için editörle iletişime geçmesi gerekir.
- Yazar(lar), etik kurul kararı gerektiren deney, anket, ölçek, görüşme, gözlem, odak grup çalışması gibi nicel ya da nitel yöntemlerle veri toplamayı gerektiren araştırmalar için etik kurul onayı aldığını; etik kurul adı, karar tarihi ve sayısı aday makalenin "Etik Onay" (Ethical Approval) bölümünde belirtmeli, etik kurul kararını gösteren belgeyi makalenin başvurusuyla birlikte sisteme yüklemelidir.
- Yazar(lar), veri toplama sürecinde etik ilkelere özen gösterdiklerinin kanıtlarını (başkalarının ölçek, anket, fotoğraf gibi belgelerinin kullanılması için kendilerinden izin alınması gibi) makale içinde sunmalıdır.
- Makalelerde araştırma ve yayın etiği ile fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine uyulduğu belirtilmelidir.
- Araştırma insan ve hayvan denekler üzerinde gerçekleştirilmiş ise araştırmanın uluslararası bildirimler, kılavuzlar vb uygun gerçekleştirildiği bildirilmelidir.
- Yazar(lar)dan derleme makaleler için etik kurul onayı istenmez. Bununla birlikte etik kurul kararı gerektirmeyen makalelerde de, etik kurul kararının gerekmediği, makalenin "Etik Onay" (Ethical Approval) bölümünde belirtilmelidir.
- Yayınlanmak üzere değerlendirmeye gönderilen her makale editör yardımcıları tarafından iThenticate yazılımıyla intihal açısından kontrol edilir.
- Makalenin benzerlik endeksi (SI), Referans bölümleri hariç %20'in ve tek kaynak benzerlik oranı ise %5'in üzerindeyse, bu oranların altına düşürülmesi için ilgili yazara geri gönderilir.
- İlgili makalenin yayınlanmasının ardından intihal kanıtlanırsa, makale derhal geri çekilecek ve web sitesinden kaldırılacaktır. Böyle bir durumda ilgili yazarların makaleleri Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisinde beş yıl boyunca yayınlanmaya uygun olmadığı kabul edilecektir.
- Yazar(lar) ön kontrol, değerlendirme, düzenleme ve yayın aşamalarının herhangi birinde makalesi hakkında hatalar ve yanlışlıklar bulunması halinde makaleyi düzeltme veya geri çekme işlemleri için dergi yönetimine bilgi vermek zorundadır.

Etik İlkelere Uymayan Durumun Editöre Bildirilmesi

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD 'de editörler, hakemler, yazarlar ile ilgili etik ilkelere uymayan

bir davranış ya da değerlendirme sürecindeki, erken görünümdeki ya da yayımlanmış bir makale ilgili etik olmayan bir durumla karşılaşılması durumunda fbedergi@adu.edu.tr adresine ileti yoluyla bildirilmesi gerekir.

YAYIN POLİTİKASI

Açık Erişim Politikası

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'nde yayınlanan makaleler tam metin olarak açık erişim olarak dergi sayfamızda yer almaktadır. Bu durum bilime daha fazla katkı yapacağı düşüncesindeyiz.

Gizlilik Beyanı

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'nin web sayfasında yayında olan makaleler ve değerlendirme aşamasında olan makalelere ait gizli bilgiler sadece derginin belirtilen amaçları doğrultusunda kullanılacaktır; farklı herhangi bir amaç için veya diğer kişilerin kullanımına açılmayacaktır.

DEĞERLENDİRME POLİTİKASI

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne gönderilen makalelerin tüm değerlendirme aşamalarında makale yazarları ile makaleyi değerlendiren hakem kimlikleri çift körleme ile gizlenmektedir. Makalelerin yayınlanması için iki olumlu hakem raporu gereklidir.

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi'ne sunulan çalışmaların yayın inceleme sürecinin 6 ayda tamamlanması öngörülmektedir. Ancak, editör veya hakemlerin yazar(lar)dan düzenleme yapmasını istediği ve yazar(lar)ın düzenlemeyi tamamladığı süre bu süreye dahil değildir. Yayımlanmış bir makalede düzeltme yapılamaz. Ancak yazar düzeltme talebinde bulunması durumunda düzeltme talebinden sonraki sayıda kısa bir düzeltme metni yayınlanabilir.

Yayın Ücreti

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD Yayın Kuralları gereğince, yazarlardan makale gönderim ve yayın ücreti alınmamaktadır. Dergimizde makale gönderimi ücretsizdir.

Arsivleme

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD yayınlamış olduğu tüm makaleleri tam metin olarak, derginin içindikiler, kapak sayfası ve sayı tam dosyaları olarak DERGİPARK sistemi üzerinde arşivlenmekte ve tüm kullanıcıların erişimine sunulmaktadır.

Reklam ve Sponsorluk

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD herhangi bir reklam ve sponsorluk kabul etmemekte ve yayın sayfasında bunlara yer vermemektedir.

İntihal politikası

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'ne gönderilen makaleler Yazar(lar) tarafından kişisel kullanımına açık olan "iThenticate Plagiarism Detection" yazılımı ile kaynaklar hariç olmak üzere intihale karşı kontrol edilmektedir. Yapılan kontrollerde benzerlik oranının % 20'nin (Kaynaklar hariç) altında olması ve tek kaynak benzerlik oranı ise %5'i geçmemesi gerekmektedir.

Etik Kurul İzni/yasal/özel izin gerektiren çalışmalar

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD yayın kuralları gereğince, Etik Kurul İzni/yasal/özel izin gerektiren çalışmalarda, Etik Kurul İzninin nereden, hangi kapsam, hangi tarih ve sayı numarasında alındığını

belirten ifadeyi, makalenin Dergiye sunulması esnasında makale içerisinde mutlaka belirtilmesi gerekmektedir.

Etik Kurul izni gerektiren araştırmalar aşağıdaki gibidir.

- Anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütölen her türlü araştırmalar
- İnsan ve hayvanların (materyal/veriler dahil) deneysel ya da diğer bilimsel amaçlarla kullanılması,
- İnsanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- Hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar,
- Kişisel verilerin korunması kanunu gereğince retrospektif alışmalar,

Ayrıca;

- Başkalarına ait ölçek, anket, fotoğrafların kullanımını için sahiplerinden izin alınması ve belirtilmesi,
- Kullanılan fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine uyulduğunun belirtilmesi

Telif Hakkı Devir Sözleşmesi

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'ne gönderilen tüm makalelerde yer alan Yazar(lar) aşağıda içeriği belirtilen "Telif Hakkı Devir Sözleşmesi"ni imzalamaları gerekmektedir. Bu sözleşme metni makale gönderme sayfasında indirilerek tüm Yazar(lar) tarafından imzalandıktan sonra PDF formatında taranmalı ve sisteme yüklenmelidir.

1. Her türlü yayın haklarının Aydın Adnan Menderes Üniversitesi FMBD'ne ait olduğunu,
2. Derginin belirttiği yazım ve yayın kurallarına uygun olduğunu,
3. Makalenin orijinal ve daha önce yurtiçinde veya yurtdışında Türkçe veya yabancı bir dilde yayınlanmadığını veya yayınlanmak üzere değerlendirme aşamasında olmadığını,
4. Bilimsel ve etik sorumluluğunun tarafımıza ait olduğunu, diğer Yazar(lar)a ulaşılamaması halinde; tüm Yazar(lar)ın çalışmadan haberdar olduklarını ve diğer Yazar(lar)ın sorumluluklarını, makalenin birinci yazarı olarak üzerime aldığımı kabul ve beyan ederim.

Araştırma Makalesi

Pamuk Sapı Artıklarından Pelet Yakıtı Üretiminde Uygun Nem İçeriği ve Parçacık Boyutunun Belirlenmesi

Mahmut DOK, Mustafa ACAR , Ufuk AKBAŞ , Canbey TABAĞ1

Sistemik Derlemeler ve Meta Analiz

STEM Eğitimi ve Çevre Eğitimi Alanında Yapılan Çalışmaların Bibliyometrik Analizi

Müge ENÖN , Emrah HİĞDE10

Araştırma Makalesi

Dirichlet Sınır Koşullu Diferansiyel Denklemlerin Bir Sınıfının Geometrik Ortalama Optimizasyonu Çözümleri

İclal GÖR, Türkan ÖZYÖRÜK19

Araştırma Makalesi

Periyodik Sınır Değer Problemlerinin Artık Sınır Ağı Çözümleri için Optimizasyon Yöntemleri Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma

Gülsüm İŞMAN, Korhan GÜNEL30

Araştırma Makalesi

İlköğretim Matematik Öğretmenliği Lisans Öğrencilerinin Kutupsal Koordinatlarda Alan, Hacim ve Yay Uzunluğu Konusunda Alan Bilgilerinin İncelenmesi

Damla DENİZ, Süha YILMAZ.....40



Pamuk Sapı Artıklarından Pelet Yakıtı Üretiminde Uygun Nem İçeriği ve Parçacık Boyutunun Belirlenmesi

Mahmut DOK^{1,*}, Mustafa ACAR¹, Ufuk AKBAŞ¹, Canbey TABAĞ¹

¹ Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tekkeköy-Samsun, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Makale Gönderim 29/03/2024
Revizyon 21/05/2024
Kabul 25/05/2024

Anahtar Sözcükler:

Tarımsal artık
Pamuk sapı
Yakıt pelet

ÖZET

Tarımsal artıkların katı yakıt formunda enerji kaynağı olarak kullanılması hem dünyada hem de ülkemizde büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla tarımsal artıkları enerji üretiminde etkili ve kolay bir şekilde kullanmanın bir yolu, bunları kurutmak, öğütmek ve ardından pelet haline getirmektir. Bu çalışmanın amacı ülkemizde yaygın tarım artıklarından biri olan pamuk saplarının katı yakıt peleti olarak değerlendirilmesi ve peletleme için uygun malzeme nem içeriği ve partikül boyutunun belirlenmesidir. Çalışma sonucunda, kullanılan pamuk sapının kalorifik değer, kül içeriği ve pelet dayanıklılık direnci açısından standartları karşılamasına rağmen pelet kütle yoğunluğu açısından standartların altında olduğu görülmüştür. Pamuk sapı için en uygun parçacık boyutunun 4 ile 6 mm arasında, en uygun malzeme neminin ise %12 ile 16 arasında olduğu gözlemlenmiştir.

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde fosil yakıtların enerji üretimindeki payının oldukça yüksek olması, nüfus artışıyla enerji kaynaklarının kullanımında meydana gelen artış, fosil yakıt rezervlerinin sürekli azalmasına ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu durum tüm insanlık için bir tehdit hali taşımaktadır. Bu sebeplerden dolayı birçok ülke varlıklarını ve bağımsızlıklarını koruyabilmek için yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırmaya yönelmiş, bu konuda da yenilenebilir enerji tarımı ön plana çıkmıştır. Biyokütle, dünyada en büyük dördüncü enerji kaynağını oluşturması yönüyle önemli bir enerji kaynağı konumunda yer almaktadır. Birçok gelişmiş ülke biyoenerjiyi geleceğin temel enerji kaynağı olarak görmektedir (Kapluhan, 2014). Katı biyokütle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak yakıt enerjisi olarak kullanılmaktadır. Dünya çapında yaklaşık 2,9 milyar insan günlük yemek pişirmek için katı biyokütleyle güvenmekte ve Afrika'daki bazı ülkelerde odunsu biyokütle ve tarımsal artıklar, toplam evsel enerji tüketiminin

%90'ından fazlasını oluşturmaktadır. İklim değişikliği tehdidinin bir sonucu olarak, yenilenebilir kaynakların kullanımı yoluyla temiz enerji üretimine odaklanan yeni bir endüstrinin yaratılması için biyokütle ve biyokütle kalıntılarının kullanımı son derece önemli hale gelmiştir. Ancak düşük yoğunluk, yüksek nem içeriği, taşıma, depolama ve nakliye gibi faktörler biyokütle kullanımının bazı dezavantajlarıdır. Peletleme, biyokütleyi bu dezavantajları en aza indirmek amacıyla yoğunlaştırma yoluyla daha kullanışlı bir forma dönüştüren gelecek vaat eden bir teknolojidir. Talaş, odun yongaları, ağaç kabuğu, atık, zirai ürünler, ekin sapları, fındık, badem, ceviz kabukları, hatta atık kâğıt gibi maddelerin öğütüldükten sonra yüksek basınç altında sıkıştırılması sonucu elde edilen pelet, genellikle 6-8 mm çapında, 4-40 mm arasında uzunluğunda, silindirik yapıya sahip tamamen doğal bir yakıttır (Küsek vd., 2015). Pelet yakıtının sürdürülebilir bir kaynak olması, fosil kaynaklı yakıt ithalatını azaltarak ülke ekonomisine katkı sağlaması, kullanımı sonrası atık miktarının az olması, zararlı egzoz emisyonlarının kabul sınırlarda olması, ferdi

sistemler için paket halinde satın alınabilir olması, nakliyesinin çok kolay olması, merkezi ısıtma sistemleri için binanın deposuna bir hortum ve pompa sistemi ile nakledilerek depolanabilmesi ve otomatik besleme yapılabilmesi gibi birçok açıdan avantaj sağlamaktadır (Sungur vd., 2018). Biyoenerji kaynaklarının içerisinde yer alan pelet, ısınma ve sanayi amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özellikleri, sürekli tekrarlanabilir olmaları ve kendilerini hızlı bir şekilde yenileyebilmeleridir. Biyokütle de bu enerji kaynaklarından biri olup, son yıllarda mevcut artık potansiyelinden dolayı dikkate alınması gereken enerji kaynaklarının başında gelmektedir (Demirel ve Gürdil, 2018). Yenilenebilir enerji olarak pelet üretiminde kullanılacak artık maddelerinde süreklilik aranması, peletlerin stabilitesini garanti edecek hammaddelerin geliştirilmesiyle ilişkilidir. Peletlerin stabilitesi, hammaddelerin bileşiminin dengelenmesiyle elde edilebilir. Hammaddenin bileşimi, bitki biyokütlesinden pelet üretiminde önemli bir unsurdur (Kazmierz vd., 2020). Biyokütle enerjisi dünyada kömür ve petrolden sonra en büyük birincil enerji kaynağıdır ve dünya nüfusunun yarıdan fazlası birincil enerji kaynağı olarak biyokütle kullanmaktadır. Biyokütle kaynakları bakımından zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, yılda ortalama 50 milyon ton çeşitli tarımsal ürün artığı üretilmektedir ve bu artıkların kullanım oranları oldukça düşüktür (Karaca vd., 2016).

Türkiye’de 2021 yılında 4,3 milyon da alanda 2,25 milyon ton kütlü pamuk üretimi gerçekleştirilmiştir (Pamuk bülteni, 2022). Bir dekar pamuk tarlasından yaklaşık 300 ile 400 kg arasında pamuk sapı çıkmaktadır. Ortalama 350 kg/da olarak hesaplandığında ise, yaklaşık 1,5 milyon ton artık ortaya çıkmaktadır. Bunun yarısının pelet yapımında kullanılması durumunda, 750.000 ton pelet elde edilir ki, bu miktar katı yakıt, odunun ve kömürün kullanıldığı her yerde rahatlıkla kullanılacak bir yakıttır.

Pelet yakıtı, ısınma ve sanayi amaçlı yakma sistemlerinde kullanılabilir. Biyokütle yakıtı olan pelet yakıtının fosil yakıtlara oranla daha yüksek uçucu içeriği, düşük sabit ve toplam karbon içeriği, yüksek oksijen içeriği, düşük ateşlenme sıcaklığı, yüksek yanma hızı ve ısı değere sahip olduğunu bilinmektedir. Pelet, dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak kullanılmakta olup çevreye zararı çok az olan bir yakıt türü olması nedeniyle avantaj sağlamaktadır. Odun peletleri, doğrudan odun yakılması biçiminde elde edilen enerjiye kıyasla 4 ile 10 kat daha yoğun bir yakıt olduğunu ortaya

koymaktadır. Pelet yakıtının bu yüksek yoğunluğu (650 kg/m³) yoğun bir depolama ve uzak mesafelere uygun ve ucuz nakliye sağlığını sağlamaktadır (Anonim, 2023). Türkiye’de pelet üretmek için yeterli hammadde kaynağı ve potansiyel bir pazar bulunmasına rağmen, henüz üretim ve kullanımı yaygın değildir. Pelet üretmek ve kullanmak hem çevre kirliliğini önlemekte hem de ülke ekonomisinin dışa bağımlılığını azaltmaktadır. Dünyadaki pelet kullanımına baktığımızda yaklaşık 40 yıldır aktif olarak kullanılan bir yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye yaklaşık 40 yıllık bir gecikmenin ardından son 5 yıldır aktif olarak üretim sağlayan ve talebin çok küçük bir bölümünü karşılayan üretim mevcuttur (Anonim, 2023).

Ülkemizde her yıl yaklaşık 50 milyon ton tarımsal artık elde edilmektedir. Bu atık ve artıkların bir kısmı farklı şekillerde değerlendirilmekte, ama yaklaşık 15-20 milyon tonluk kısmı değerlendirilmeyip tarlalarda kalmakta veya gelişigüzel yakılarak imha edilmeye çalışılmakta, bu durum da birçok sıkıntıya sebep olmaktadır (Acar, 2021). Pamuk sapı da bunlardan birisidir. Ülkemizin önemli bir endüstri bitkisi olan pamuk, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yetiştirilmektedir. Pamuk sapının pelet yapımı için önemli bir alternatif hammadde olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, ülkemizde bu kadar büyük bir potansiyele sahip bu tarımsal artıkların herhangi bir şekilde değerlendirilememesi hem ülke ekonomisi açısından hem de çevresel faktörler açısından büyük bir kayıp olduğu düşünülmektedir. Yapılan bu çalışmayla pamuk sapı artıklarının katı yakıt pelet olarak değerlendirilmesi, pelet olmalarına engel olan faktörlerin belirlenmesi ve belirlenen bu faktörlerin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan pamuk sapsapları, Adana’da faaliyet gösteren Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü’nden temin edilmiştir. Kullanılan pamuk çeşidi tek bir çeşit olmayıp denemelerde kullanılan farklı çeşitlerin karışımlarıyla elde edilmiştir. Materyallerin peletlenmesinde pelet çapı 6 mm, motor gücü 15 kW, kapasitesi materyal çeşidine bağlı olarak 50-100 kg/h arasında değişikli gösteren ve pelet boyu 10-40 mm arasında ayarlanabilen peletleme makinası kullanılmıştır. Peletleme makinesi materyal deposu, dairesel sıralı delikli düz kalıp, sıkıştırma silindirlere, pelet boyu ayarlama ünitesi ve elektrik kontrol panosundan oluşmaktadır. Kullanılan pelet kalıbı, düz kalıp olup dairesel sıralı

deliklere sahiptir.

2.2. Metot

Pamuk sapları, önce çekiçli değirmende 4 farklı delik çapında (2 mm, 4 mm, 6 mm ve 8 mm) elekler kullanılarak parçalanmıştır. Daha sonra 10 ar kilogramlık 4 adet alt çuvalara ayrılarak 4 farklı nem için (% 8, 12, 16 ve 20) hazırlanmıştır. Materyal nem içeriklerinin hazırlanmasında, nem değerleri ölçülerek, istenilen nemin üstündekiler, kurutma ünitesinde kurutularak düşürülmüş, düşük neme sahip materyaller de sisleme şeklinde nemlendirilerek yükseltilmişlerdir. Peletlemeden önce hammadde yoğunluğu belirlenmiş, ardından peletleme işlemine geçilmiştir. Çalışma tesadüf parsellerinde faktöriyel demene deseninde üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. İstenilen parçacık boyutuna ve nem içeriğine getirilen materyaller, enstitümüz Enerji Tarımı Araştırma Merkezi bünyesindeki biyokütle ünitesinde bulunan pelet makinasında peletlenmiştir. Elde edilen veriler JMP istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Denemede, Isıl değer (kcal/kg), pelet nem miktarı (%), pelet kül içeriği (%), hammadde için yığın yoğunluğu (kg/m³), pelet yığın yoğunluğu (kg/m³), nem alma direnci (%), mekanik dayanıklılık direnci (%) ve kırılma direnci (%) değerleri incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Pamuk sapı kullanılarak yapılan peletleme çalışmalarında materyal nemi ve parça boyutu verileri Çizelge 1 de; materyal nemi x parça boyutu interaksyonunun yer aldığı veriler Çizelge 3 de verilmiştir. Pamuk sapının % 8 nem oranı olan uygulamasından materyal neminin düşük olması nedeniyle pelet elde edilememiş, çalışmaya materyal nem oranının % 12, 16 ve 20 olan uygulamalarıyla devam edilmiştir.

Isıl Değer(Kcal/kg)

Çizelgelerde görüldüğü gibi, pamuk sapının ısı değeri, ortalama 4324 kcal/kg olarak belirlenmiştir. Parça boyutu ve materyal neminin ısı değeri üzerine etkileri önemli bulunmuştur. Ayrıca materyal nemi-parça boyutu interaksyonu da 0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur. Materyal nemi azaldıkça, ısı değeri yükselmiş ve yine parça boyutu büyüdükçe ısı değeri yükselmiştir. En yüksek ısı değeri, 8 ve 6 mm parça boyutlarının % 12 nem içeriğindeki örneklerde 4395 ve 4391 kcal/kg olarak bulunmuştur. Elde edilen peletlerde yapılan analizler sonucunda, ısı değerinin TS EN ISO 17225-6 pelet standart değerleri içerisinde yer aldığı görülmüştür (Çizelge:5).

Pelet Nem İçeriği (%)

Pamuk sapının katı yakıt olarak kullanıldığı peletleme çalışmalarında materyal nemi ve parça boyutu verileri, Çizelge 1 de, interaksyonlarının yer aldığı veriler de Çizelge 3 de verilmiştir. Çizelgelerde de görüldüğü gibi, peletlerde ortalama nem, % 8,45 olarak belirlenmiştir. Materyalin nem içeriği arttıkça pelet nem içeriğinin de arttığı görülmüştür. En yüksek pelet nem içeriği % 9,06 ile % 20 hammadde nemi olan materyalden elde edilirken, bunu sırasıyla %8,37 ve %7,93 pelet nem içeriğiyle % 16 ve 12 nem içeriğine sahip materyaller takip etmiştir. Parçacık boyutu incelendiğinde ise, materyal parça boyutu azaldıkça pelet nem içeriğinde de artış görülmüştür (Çizelge:1). Elde edilen peletlerde yapılan analizler sonucunda, pelet nemi değerlerinin Çizelge 5 deki pelet standart değerleri içerisinde yer aldığı görülmüştür.

Kül İçeriği (%)

Pamuk sapından elde edilen peletin ortalama kül içeriği % 3,95 olarak belirlenmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde, materyal nem miktarı arttıkça kül içeriğinde azalma görülmüştür. Materyal nemi % 20 olduğu konudan en düşük kül içeriği elde edilmiştir. 6 mm materyal parçacık boyutundan elde edilen peletlerin kül içeriğinin ne yüksek değerde (% 4,33) olduğu belirlenmiştir. En düşük kül içeriği değerinin (%3,70) ise 8 mm materyal parçacık boyutundan elde edilen peletlerde olduğu görülmüştür. 2 ve 4 mm parça boyutu aynı grupta yer alırken, istatistiksel fark önemli bulunmuştur. Çizelge 3 incelendiğinde ise, materyal nemi ve parça boyutu interaksyonu, istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. En yüksek kül içeriği, 6 mm parça boyutunun % 12 nem içeriğine sahip peletlerde % 5,40 olarak belirlenirken en düşük kül içeriği de 2 mm parça boyutunun % 20 nem içeriğine sahip peletlerde % 3,27 olarak belirlenmiştir. Belirlenen kül içeriklerinin çizelge 5 deki pelet standart değerleri içerisinde yer aldığı görülmüştür.

Nem Alma Direnci (%)

Pamuk sapından elde edilen peletlerin nem alma direnci, ortalama % 14,2 olarak belirlenmiştir. Nem alma direnci, peletin nemli ortamlardaki muhafaza şartlarında ne kadar ortamdaki nem alabileceğini gösterir ve az nem alması beklenir. Materyal nem içeriği, parça boyutu ve bunların interaksyonlarının verileri, Çizelge 1 ve 3 de verilmiştir. Düşük materyal nemi ve buna bağlı olarak oluşan düşük pelet nem içeriğinin peletlerin nem alma direncini de düşürdüğü görülmüştür. En düşük nem

Çizelge 1: Pamuk sapından elde edilen peletlerde materyal nemi ve parçacık boyutu verileri.

Materyal Nemi (%) (B)	Isıl Değer (kcal/kg)	Pelet Nemi (%)	Pelet Kül İçeriği (%)	Nem Alma Direnci (%)
12	4337 a	7,93 c	4,18 a	13,5 c
16	4320 b	8,37 b	3,94 b	14,1 b
20	4314 b	9,06 a	3,72 c	14,9 a
Parça Boyutu (A)				
2 mm	4288 b	9,46 a	3,84 b	14,8 a
4 mm	4331 a	8,74 b	3,90 b	14,2 a
6 mm	4339 a	8,24 c	4,33 a	13,4 b
8 mm	4338 a	7,37 d	3,70 c	14,2 a
ORTALAMA	4324	8,45	3,95	14,2
DK	0,32	2,84	2,79	4,64
Önem Derecesi	A ** B **	A ** B **	A ** B **	A ** B **

* Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar arasında Tukey testine göre $P \leq 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

** $P \leq 0,01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

Öd: Önemli değil

alma direnci olan % 13,5 değeri, materyal nem içeriği % 12 olan peletlerde belirlenmiştir. Ancak genel olarak incelendiğinde, örnekler arasında istatistiki yönden farklılık önemli olsa da (0,01), rakamsal olarak çok az fark görülmüştür. Materyal parçacık boyutları 2, 4 ve 8 mm olan pelet örneklerinin nem alma dirençleri arasında bir farklılık olmadığı görülmüştür. (Çizelge:3).

Hammaddenin Yığın Yoğunluğu (kg/m³)

Tarımsal artıklar genel olarak kaba materyaller olduğu için taşınmaları ve depolanmaları büyük bir problemdir. Taşınması ve muhafazası için yoğunluklarının azaltılması gerekmektedir. Bunlar pelet hale getirilmeleri için öncelikle belli bir büyüklükte parçacık boyutunda öğütülmektedirler. Burada da pamuk sapları, hasattan sonra tarladan toplanarak sıkıştırılmış ve yoğunlukları bir miktar azaltılmıştır. Pelet olması için ise, 2, 4, 6 ve 8 mm lik eleklerden geçecek şekilde öğütülmüş ve yoğunlukları daha da küçültülmüştür. Peletmeden önce hazırlanan hammaddenin yoğunlukları ölçülmüş ve Çizelge 2 ve 4 de verilmiştir. Pamuk sapı pelet yapılmadan önce hammadde olarak ölçülen yoğunluğu ortalama 154 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Parçacık boyutu yönüyle incelendiğinde ise, 2mm parça boyutundan en yüksek değer (201 kg/m³) elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 4 mm, 6 ve 8 mm parça boyutları, 168, 132 ve 115 kg/m³ takip etmiştir.

Pelet Yığın Yoğunluğu (kg/m³)

Pamuk sapından elde edilen peletlerin ortalama yığın yoğunluğu, 468 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Materyal nem içeriklerine ve parçacık boyutlarına göre elde edilen peletlerin yığın yoğunluk değerleri de Çizelge 2 ve 4 de verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde, parça boyutu ve materyal nem miktarları ile bunların interaksiyonları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Materyal nem oranı % 12 olan peletlerde, 513 kg/m³ ile en yüksek yığın yoğunluğu elde edilirken, bunu sırasıyla % 16 ve 20 nem içeriğindeki peletler, 479 ve 410 kg/m³ olarak takip etmiştir. Materyal parçacık boyutları arasında da 2 mm parçacık boyutundan üretilen peletlerin 455 kg/m³ değeriyle en düşük yığın yoğunluğunun sahip oldukları belirlenmiştir. Bunu 4 ve 6 mm parçacık boyutlu peletler aynı değerde, 472 kg/m³ ile gelmiş ve 8 mm parçacık boyutundan üretilen peletlerinde 474 kg/m³ ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen bu değerlerin hepsinin TS EN ISO 17225-6 pelet standart değerlerinin altında yer aldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak, peletlemede kullanılan makinanın ayarlarından kaynaklanabileceği söylenebilir.

Pelet Mekanik Dayanıklılık Direnci (Tumbler) (%)

Mekanik dayanıklılık direnci, peletin nakliyesi, depolanması ve muhafazası için önemli bir fiziksel özelliktir. Pamuk sapından elde edilen peletlerin

mekanik dayanıklılık dirençleri Çizelge 2 ve 4 de verilmiştir. Çizelge 2 de görüldüğü gibi, gerek hammadde nem oranı ve gerekse parçacık boyutlarının peletlerin mekanik dayanıklılığı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Materyal nem oranı yükseldikçe, mekanik dayanıklılık direnci de yükselmiştir. En yüksek mekanik dayanıklılık değeri % 20 materyal neminden elde edilen peletlerde % 97,9 ile elde edilirken bunu sırasıyla % 16 ve 12 materyal nem içeriğinden elde edilen peletler, % 97,7 ve 97,3 olarak takip etmiştir. Parçacık boyutu olarak incelendiğinde de 2 mm den 6 mm parça boyutuna kadar artış görülmüş, 8 mm parça boyutunda tekrar düşüş görülmüştür. En yüksek değer, 6 mm de % 98 ile elde edilirken bunu sırasıyla 4 mm (% 97,7), 8 mm (% 97,6) ve 2 mm (%97,2) takip etmiştir. Çizelge 4 deki interaksiyon verileri incelendiğinde ise istatistik açıdan 0,01 seviyesinde önemli farklılık olduğu görülmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi pelet mekanik dayanıklılık direnci, 8 mm parçacık boyutunda ve % 20 materyal nem içeriğinden elde edilen peletlerde, % 98,9 ile ilk sırada yer almıştır. Bunu 6 mm parça boyutunun % 20 nem ve 4 mm parça boyutunun % 16 nem içeriklerinden elde edilen peletler, % 98,6 ile takip ederek aynı grupta yer almışlardır. Elde edilen bu sonuçların çizelge 5 te verilen TS EN ISO 17225-6 pelet standart değerleri içinde yer aldığı ve bazı peletlerin A sınıfı, bazılarının da B sınıfı yakıt değerleri için uygun olduğu görülmüştür.

Kırılma Direnci (Shatter) (%)

Pelet kırılma direnci de mekanik dayanıklılık direnci gibi peletin nakliyesi, depolanması ve muhafazası için önemli bir fiziksel özelliktir. Pamuk sapından elde edilen peletlerin kırılma dirençleri Çizelge 2 ve 4 de verilmiştir. Çizelge 2’de görüldüğü gibi, kırılma direncinde hammadde nem içeriğinin istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, materyal parçacık boyutları 0,01 seviyesinde önemli bulunmuştur. Çizelge 4 incelendiğinde ise parçacık boyutu ve nem içeriği interaksiyonlarının kırılma direnci üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmektedir.

Pelet üretiminde peletlenecek hammaddenin parçacık boyutu önemli bir özelliktir. Çok küçük veya çok büyük parçacıklar, pelet kalitesini ve pelet üretiminde enerji tüketimini etkileyebilir. Pelet yakıtının çok popüler olmasının nedenlerinden birisi de nem içeriğinin % 10’un altında olmasıdır. Bu, peletlerin çok verimli bir şekilde yanmasını ve yanma sırasında neredeyse hiç duman üretmemesini sağlar. Pelet üretimi yüksek sıcaklıkta gerçekleşen bir işlemdir. Uygun nem içeriğine sahip materyalle en iyi

kalitede pelet elde edilir, enerji tüketimi azalır ve peletleme tesislerindeki arızalar en aza iner (Anonim, 2017). Pamuk sapının ısı değeri yönüyle incelendiğinde, oldukça yüksek değerde olduğu görülmüştür. Raju ve Raju (2019) tarafından yapılan pamuk sapı ile ilgili bir çalışmada, pamuk sapının ısı değerinin 15200 kJ/kg (3637 kcal/kg) olarak belirlendiği ve pamuk sapı kalıntılarının odunsu biyokütleye alternatif olarak düşünülebileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada ise pamuk sapının ısı değeri 4324 kcal/kg olarak belirlenmiş ve daha yüksek bir değer elde edilmiştir. Jagtap ve Kalbande (2023), yaptıkları bir çalışmada, düz kalıplı peletleme makinesi kullanılarak üretilen yakıt peletlerinin özelliklerine nem içeriği ve partikül boyutunun etkisi araştırılmıştır. Deneme materyali olarak soya ve pamuk sapını kullanan araştırmacılar, farklı nem içeriği seviyeleri (% 20 ila %30 arasında değişen) ve parçacık boyutlarını (4 ila 8 mm arasında değişen) kullanmışlardır. Pelet dayanıklılık direnci, kütle yoğunluğu, suya dayanıklılık ve enerji tüketimi de dahil olmak üzere pelet özellikleri değerlendirmişlerdir. Çalışmada hem nem içeriğinin hem de parçacık boyutunun yakıt peletlerinin özelliklerini ve enerji tüketimini önemli ölçüde etkilediği belirtilmiş ve standart özelliklere sahip yakıt peletleri üretmek için optimum nem içeriğinin % 25 ve parçacık boyutunun 6 mm olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmada ise pelet yığın yoğunluğu standartların altında olmasına rağmen, mekanik dayanıklılık direnci, standart değerler içerisinde bulunmuştur. Materyal nem içeriğinin % 12-16 aralığında olmasıyla yüksek pelet yığın yoğunluğunda ürünler elde edilirken, parça boyutunun 2-8 mm aralığında değişmesiyle yığın yoğunluğu verileri etkilenmemişlerdir. Mekanik dayanıklılık direncinde materyal nem içeriğinin % 12-20 olduğu durumlarda dayanıklı peletler elde edilirken parça boyutları yönünden de 4-6 mm olması ile standartlara uygun ürünler üretilmiştir. Yılmaz ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada pamuk ve susam sapları pelet hammaddesi olarak kullanılmış. Elde edilen peletlerin üretim verimliliğini ve fiziksel özelliklerini karşılaştırmak amacıyla üretim kapasitesi, özgül enerji tüketimi, yığın yoğunluğu, parçacık yoğunluğu, dayanıklılık, basma direnci, özgül basma direnci ve çekme dayanımı testleri uygulanmıştır. İncelenen özelliklerden pelet dayanıklılığı, kütle yoğunluğu, partikül yoğunluğu ve çekme mukavemeti pamuk sapı peletleri için sırasıyla % 89–98, 430–695 kg/m³, 921–1367 kg/m³, ve 2,83–7,28 MPa, aralığında bulunmuştur. Pamuk sapı ve susam sapı için ideal peletleme nem değerlerinin sırasıyla % 10 ve % 15 olduğu sonucuna varılmıştır (Yılmaz vd., 2020).

Çizelge 2: Pamuk sapından elde edilen peletlerde materyal nemi ve parçacık boyutu verileri

Materyal Nem İçeriği (%) (B)	Hammadde Yoğunluğu (kg/m ³)	Pelet Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	Mekanik Dayanıklılık Direnci (%)	Kırılma Direnci (%)
12	151 b	516 a	97,3 c	99,8
16	152 b	479 b	97,7 b	99,8
20	159 a	410 c	97,9 a	99,8
Parça				
2 mm	201 a	455 b	97,2 c	99,8 a
4 mm	168 b	472 a	97,7 b	99,8 a
6 mm	132 c	472 a	98,0 a	99,9 a
8 mm	115 d	474 a	97,6 b	99,7 b
ORTALAMA	154	468	97,6	99,8
DK	2,84	0,79	0,21	0,08
Önem derecesi	A ** B **	A ** B **	A ** B **	A ** B Öd

* Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar arasında Tukey testine göre $P \leq 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

** $P \leq 0,01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

Öd: Önemli değil

Çizelge 3: Pamuk sapından elde edilen peletlerde incelenen veriler, parça boyutu x materyal nemi interaksyonu

Parça Boyutu (A)	Materyalin Nem İçeriği (%) (B)	Isıl Değer (kcal/kg)	Nem (%)	Kül (%)	Nem Alma Direnci (%)
2 mm	12	4250 f	8,0 b	3,80 de	13,67 df
	16	4290 e	9,67 a	4,47 b	15,00 ac
	20	4324 cd	9,70 a	3,27 g	15,67 ab
4 mm	12	4313 ce	8,47 c	3,90 cd	13,67 df
	16	4348 b	7,87 d	3,80 de	13,00 ef
	20	4331 bc	9,90 a	4,00 c	16,00 a
6 mm	12	4391 a	7,50 d	5,40 a	12,67 f
	16	4318 cd	8,47 c	3,80 de	13,67 df
	20	4307 de	8,77 bc	3,80 de	14,00 ce
8 mm	12	4395 a	6,77 e	3,60 f	14,00 ce
	16	4324 cd	7,47 d	3,70 ef	14,67 bd
	20	4294 e	7,87 d	3,80 de	14,00 ce
DK		0,32	2,84	2,79	4,64
Önem Derecesi (AxB)		**	**	**	**

* Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar arasında Tukey testine göre $P \leq 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

** $P \leq 0,01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

Doğan ve Özbey (2017) tarafından mısır ve buğday sapı artıklarından pelet üretimi konusunda bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada 3 farklı neme sahip (% 12, 16 ve 20) buğday ve mısır sapı numuneleri peletlenmiş ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, dayanıklılık direnci buğday sapı peletleri için % 97,5 ile %91,4 arasında, mısır sapı

peletleri için de % 96,9 ile %85,6 arasında değiştiği belirlenmiştir. Her iki materyalde de nem içeriği arttığında dayanıklılık direnci azalmıştır. Pelet yığın yoğunluğu değerlerinin buğday sapı peleti için 459-624 kg/m³ arasında, mısır sapı peleti için de 500-694 kg/m³ arasında değiştiği belirtilmiştir. Yığın yoğunluğunda da her iki materyal için nem içeriği

Çizelge 4: Pamuk sapından elde edilen peletlerde incelenen veriler, parça boyutu x materyal nemi interaksyonu

Parça Boyutu (A)	Materyalin Nem İçeriği (%) (B)	Hammadde Yoğunluğu (kg/m ³)	Pelet Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	Mekanik Dayanıklılık Direnci (%)	Kırılma Direnci (%)
2 mm	12	205 a	528 a	97,5 cd	99,8
	16	196 b	445 f	96,7 e	99,7
	20	200 ab	293 j	97,5 cd	99,8
4 mm	12	161 d	508 c	98,0 b	99,8
	16	168 cd	494 d	98,6 a	99,7
	20	174 c	414 h	96,7 e	99,8
6 mm	12	132 e	518 b	97,3 d	99,9
	16	124 f	496 d	98,0 b	99,8
	20	140 e	404 ı	98,7 a	99,8
8 mm	12	104 g	511 c	96,3 f	99,7
	16	119 f	483 e	97,7 bc	99,7
	20	121 f	428 g	98,9 a	99,6
DK		2,84	0,79	0,21	0,08
Önem der.(AxB)		**	**	**	Öd

* Aynı sütun içerisinde benzer harf ile gösterilen ortalamalar arasında Tukey testine göre $P \leq 0,05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılık yoktur.

** $P \leq 0,01$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

Öd: Önemli değil

Çizelge 5. TS EN ISO 17225-6 / (Eylül 2021). Katı biyoyakıtlar - Yakıt özellikleri ve sınıfları - Bölüm 6: Sınıflandırılmış ahşap olmayan peletler

Özellik sınıfı	Birim	A	B
		1- Ot esaslı biyoküteller 2- Meyve esaslı biyoküteller 3- Su ürünleri esaslı biyoküteller 4- Harmanlar ve karışımlar	1- Ot esaslı biyoküteller 2- Meyve esaslı biyoküteller 3- Su ürünleri esaslı biyoküteller 4- Harmanlar ve karışımlar
Çap (D) b ve Boy (L) c, ISO 17829	mm	D06 ila D25, $D \pm 1$; $3,15 < L \leq 40$ (D06 ila D10) $3,15 < L \leq 50$ (D12 ila D25)	D06 ila D25, $D \pm 1$; $3,15 < L \leq 40$ (D06 ila D10) $3,15 < L \leq 50$ (D12 ila D25)
Rutubet (M), ISO 18134-1, ISO 18134-2	%	$M12 \leq 12$	$M15 \leq 15$ M10
Kül (A) d, ISO	%	$A6.0 \leq 6$	$A10 \leq 10$
Mekanik dayanım (DU), ISO 17831-1	%	$DU97.5 \geq 97,5$	$DU96.0 \geq 96,0$
Net ısıl değer (Q)	MJ/kg veya kcal/kg	$Q14.5 \geq 14,5$ veya 3469 dan yüksek	$Q14.5 \geq 14,5$ veya 3469 dan yüksek
Yığın yoğunluğu (BD)	kg/m ³	$BD600 \geq 600$	$BD550 \geq 550$

artıkça yığın yoğunluğunun azaldığı ifade edilmiştir. Çalışma sonunda kaliteli ve AB standartlarına uygun peletler elde edildiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre tarla

bitkiler artıklarından biri olan pamuk sapı artıkları, katı yakıt pelet hammaddesi olarak kullanılabilir özelliktedir. Elde edilen peletlerde yapılan analizler sonucunda, ısıl değer, pelet nemi ve kül içerikleri, TS EN ISO 17225-6 pelet standart değerleri (Çizelge 5)

içerisinde yer aldığı görülmüştür.

4. SONUÇ

Pelet hammaddesi olarak kullanılan orman artıkları ve orman sanayi artıkları toz, talaş vs. ürünlerin kullanım alanı sadece pelet sektörü değildir. Sunta, MDF, laminat, parke vs. gibi birçok sektörde orman sanayi artıkları ve orman ürünlerini kullanılmaktadır. Dolayısıyla çoğu zaman bu hammaddeleri de ithal edilmek zorunda kalınır. Bu çalışmada, pelet üretiminde ithalata gerek duymadan ve yerli kaynakların değerlendirilebileceği pelet hammaddesi olabilecek tarımsal artıklardan pamuk sapının pelet özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Kullanım alanı oldukça fazla olan orman artığı ürünler, talaşlar, ağaç tozları, ağaçların kapak tahtaları vs. fiyatlarında da önemli artışlar olmakta, bu da pelet maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Pamuk sapından üretilen peletlerin, TS EN ISO 17225-6 standartlarını taşıdığı görülmüştür. Orman ürünleri yerine bu tarımsal artıklardan pamuk sapının kullanılmasıyla hem yerli kaynaklar değerlendirilmiş olacak, hem tarımsal artıklardan enerji elde edilerek maliyetler azalacak, hem de rastgele yakılan ve çevre kirliliğine neden olan pamuk sapı, çiftçiler için yeni bir gelir kaynağı olacaktır. Ayrıca peletleme tesisleri tarımsal üretim sahalarına kurularak kırsal kesimde de yeni bir istihdam alanı oluşacaktır. İç pazarda ve ihracatta kullanımı giderek yaygınlaşan pelet yakıt, fosil yakıtlara alternatif olarak tercih edilmektedir. Ülkemizin sahip olduğu ormanlık alanlar ve tarım ürünleri artığı, pelet yakıt üretiminde kullanılacak ham madde kaynakları olarak değerlendirilebilir. Bu da Türkiye'nin sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik ulusal hedeflerine ulaşması için önemli bir faktördür. Dolayısıyla pamuk sapı, yakacak pelet yakıt için hammadde kaynağı olabilecek tarımsal artıklar olarak değerlendirilebilir. Özellikle ısıl değerinin yüksek ve kül içeriğinin de düşük olması, pelet sektörü için hammadde kaynağı olabilecek potansiyelde alternatif kaynak olarak düşünülebilir.

Bu çalışma sonucunda;

- Tarla bitkilerinden pamuk sapının, ısıl değer, nem ve kül içerikleri yönüyle yalnız başına katı yakıt pelet hammaddesi olarak kullanılabilirliği,
- Pamuk sapı peletlenmesi için parça boyutlarının 4 ile 6 mm aralığında, materyal nem içeriğinin de % 12 ile 16 aralığında olması gerektiği,
- Standartlara uygun daha kaliteli pelet elde edilebilmesi için pamuk sapından elde edilen peletlerin fiziksel özelliklerini iyileştirici veya bağlayıcı materyallerle karışım yapılarak sonraki

çalışmaların buna yönelik yapılması gerektiği görülmüştür.

Teşekkür ve Bilgilendirme

Bu çalışma, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsünde yürütülen ve TAGEM tarafından desteklenen “Bazı Tarım Ürünleri Artıklarının Peletlenmesinde Nem Oranı ve Parçacık Boyutlarının Optimizasyonu” isimli ve “TAGEM/TBAD/B/19/A7/P4/1332” nolu projeden üretilmiştir.

Yazar Katkıları

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKÇA

- Acar M., (2021). Yenilenebilir enerji kaynağı: Biyoyakıtlar. *Türk Tarım Orman Dergisi*, Ocak-Şubat, 2021.
<http://www.turktarim.gov.tr/Haber/570/yenilenebilir-enerji-kaynagi-biyoyakitlar>.
- Anonim, (2017). The Beginners Guide To Pellet Production.
http://www.weedcenter.org/mrwc/docs/The_Beginners_Guide_To_Making_Pellets.pdf.
Erişim: 11,12,2017.
- Anonim, (2023). <https://www.yenisafak.com/pelet-nedir-avantajlari-ve-kullanim-alanlari-h-3593063>.
Erişim: 10.10.21023.
- Demirel, B., Gürdil, G.A.K. (2018). Fındık zurufu atığından yakıt briketi elde edilmesi ve briketeye ait bazı özelliklerin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilim. Derg. / Anadolu J Agr Sci* 33 (2018) 24-29.
- Doğan, B., Özbey, M. (2017). *Mısır ve buğday tarımsal artıklarından pelet biyoyakıt üretimi*. On dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek lisans tezi. Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı-Samsun, 2017.
- Jagtap, A. and Kalbande, S. (2023). Effect of Moisture Content and Particle Size on Characteristics of Fuel Pellets using Flat Die Type Pelleting Machine. *Int. J. Environ. Clim. Change*, vol. 13, no. 7, pp. 174-182.
- Kapluhan, E., (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi* Sayı: 30, Temmuz - 2014, S.97-125.
- Karaca, C., Öztürk, H.H., Ekinci, K., (2016). Aydın ilinde bitkisel kökenli tarımsal biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi amacıyla değerlendirilmesi, 2. Ulusal Biyoyakıtlar

- Sempozyumu, 47-56, 27-30 Eylül, 2016, Samsun.
- Kazimierz Zawiaślak, Paweł Sobczak, Artur Kraszkiewicz, Ignacy Niedziółka, Stanisław Parafiniuk, Izabela Kuna-Broniowska, Wojciech Tanaś, Wioletta Żukiewicz-Sobczak, Sławomir Obidziński. (2020). The use of lignocellulosic waste in the production of pellets for energy purposes, *Renewable Energy*, Volume 145, Pages 997-1003.
- Küsek, G., Güngör, C., Öztürk, H.H., Akdemir, Ş. (2015). Tarımsal Artıklardan Biyopelet Üretimi. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 29, Sayı 2, 137-145.
- Pamuk Bülteni, (2022). <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/B%C3%BCltenler/MAYIS%202022/Pamuk%20%20May%C4%B1s%20B%C3%BClteni.pdf>. Erişim: 21.02.2024. Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü Tarla ve Bahçe Bitkileri Daire Başkanlığı.
- Raju, N.P. and Raju, M. (2019). Experimental Study of Cotton Stalk Pellet Renewable Energy Potential from Agricultural Residue Woody Biomass as an Alternate Fuel for fossil fuels to Internal Combustion Engines. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 8 Issue 09, September-2019.
- Sungur, B., Topaloğlu, B., Özbey, M. (2018). Pelet Yakıtlı Yakma Sistemlerinin Isıl Performans ve Emisyon Açısından İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, cilt 59, sayı 693, s. 64-84, Ekim-Aralık 2018.
- The JMP® software version <XXX> developed by SAS Institute Inc, Cary, NC, from 1989 to 2023.
- TS EN ISO 17225-6 (2021). Solid biofuels-Fuel specifications and classes - Part 6: Graded non-woody pellets.
- Yılmaz, H., Topakci, M., Karayel, D. and M. Çanakci (2020). Comparison of the physical properties of cotton and sesame stalk pellets produced at different moisture contents and combustion of the finest pellets, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, doi: 10.1080/15567036.2020.1850931



Stem Eğitimi ve Çevre Eğitimi Alanında Yapılan Çalışmaların Bibliyometrik Analizi

Müge ENÖN^{1,*} , Emrah HİĞDE¹ 

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, 09010, Aydın, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Makale Gönderim 31/05/2024
Kabul 01/07/2024

Anahtar Sözcükler:

STEM eğitimi
Çevre eğitimi
Çevre okuryazarlığı
STEM

ÖZET

Günümüz STEM (Bilim, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik) eğitiminin çevre eğitimi açısından değerlendirilmesi önemlidir. Çevre okuryazarlığı ve çevre eğitimi STEM ile ilişkilendirilerek bir sonraki alan yazın çalışmalarına katkıda bulunulabilir. Bu araştırmanın amacı, Web of Science'ta STEM, çevre eğitimi ve çevre okuryazarlığı alanında daha önce yapılmış çalışmaların bibliyometrik analizi kullanarak incelenmesidir. Çalışma dâhilinde 80 makale incelenmiştir. Yayınlar; yazarlara, yazarlar arası ilişkiye, WOS kategorilerine, anahtar kelimelere, ülkelerdeki yayın sayılarına, yıllara ve indekslere göre incelenmiştir. Sonucunda en fazla yayın yapan aktif yazarların sırasıyla Ekenga CC, Flanagan C ve Gough A olduğu; ilişkili yazarların olmadığı; WOS kategori dağılımları incelendiğinde en fazla Education Educational Research ve Environmental Studies kategorilerinin yayın yapıldığı, ülkelerde yayınlanan alan çalışmalarının en fazla olduğu ülke ABD; yayının 2022 yılında yayınlandığı; indekslerde yayının SSCI'da olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

1. GİRİŞ

Küresel ekonomi ve teknolojiyle birlikte ülkelerde hızlı bir değişim mevcuttur. Bununla beraber ülkelerde nitelikli eğitim almış ve vasıflı iş gücüne sahip bireye duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır (Carter, 2015). Yaşadığımız çağda özellikle gelişmekte olan ülkeler; 21. yüzyıl becerilerine sahip bir toplumla var olmayı amaçlamaktadır. Bu yönde de eğitim politikaları yenilenmekte ve reformlar gerçekleştirilmektedir (National Research Council [NRC], 2011). Dünyada meydana gelen bilim ve teknolojiye bu ilerleme büyük etki meydana getirmiştir. Bu etki ile gelişmiş ülkelerde 21. Yüzyıl güçlü iş dünyasının ihtiyaç duyduğu beceri ve donanımına sahip bireylerin yetişebilmesi için eğitimdeki bakış açılarının değiştirilmesi yoluna gidilmiştir (Akgündüz vd, 2015; Bybee, 2010; Hoeg ve Bencze, 2017; Kılınç vd., 2018; Zeidler, 2016).

STEM eğitimi, fen, matematik, teknoloji ve

mühendislik disiplinlerinin hepsini veya bir bölümünü alarak, günlük hayattaki sorunlar arasındaki ilişkiye dayanan bir yöntemdir. Bu yönetime dayanarak öğrenci için öğrenme anlamlı ve amaçlı hale gelmektedir (Smith ve Karr Kidwell, 2000). STEM birçok alanda kullanılması nedeni ile tek bir tanımda ifade edilmesi güçtür bu nedenle farklı alanlardaki araştırmacılar STEM'e teorik bir yapı oluşturmaya çalışmıştır (Gül ve Taşar, 2020; White, 2014). Güncel hayatla bağlantılı olması ile etkili öğrenme süreçlerinde fen bilimleri dersine yönelik tutumlarında ve fen, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinlerini bir araya getirebilmesini iyi yönde etkilemektedir (Akgündüz vd, 2015).

Amerika Birleşik Devletleri'nde Obama'nın STEM strateji planıyla birlikte nitelikli iş gücünün ihtiyaç duyduğu eğitim ortamında kazandırılması amaçlanmıştır. Öğretmenlerin bu plan dâhilinde mesleki yeterliliğe ulaşabilmeleri için üniversitelerde

STEM eğitim merkezleri kurulmuştur (Akgündüz ve Ertepinar, 2015). Ülkelerin gelirleri STEM açısından incelenerek karşılaştırılma yapıldığında ABD gibi STEM politikası açısından önemli ülkelerin ön sıralarda olduğu gözlemlenmiştir. Bundan yola çıkarak Türkiye'nin de STEM açısından benzer politikalar izlemesinin olumlu sonuçlar ortaya koyacağını söyleyebiliriz. 21. yüzyıl becerilerine sahip bireylerin sahalarda olup iş gücüne dâhil olabilmeleri açısından bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik alanını kapsayan STEM eğitimi zaruri gereksinim vardır (Petersen ve Hyde, 2014). STEM eğitiminde gereken ihtiyacın karşılanabilmek ve var olan bilimsel kayıtları değerlendirmek için yapılan bibliyometrik analiz sonucunda 27 yıla yayılan bir yayın yılına dayandığı sonucuna ulaşılmıştır. ABD, yayın sayısı çokluğu ile ön sıralarda yer almıştır. Bulgularda en yoğun konuların “erken çocukluk eğitimi”, “bilgisayar eğitimi” ve “çevre eğitimi” olduğu ortaya çıkmıştır (Jamali, Ale Ebrahim ve Jamali, 2022).

Çevre eğitimi kişide çevre bilinci oluşturma, güncel çevre problemlerine duyarlı ve kazanmış olduğu bilinci güncel yaşantısına uyarlamayı hedeflemektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2004). Eğitim sayesinde kişinin çevreye yönelik tutum ve davranışlarında pozitif yönde değişim gözlenmektedir (Çolakoğlu, 2010). Çevre eğitimi sayesinde doğal kaynakların korunması ve daha çevreye yeşil ve yaşanabilir dünya oluşmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir (Sert Çıbık, 2019). Çevre eğitimi, toplumun tüm kesimleri için çevre bilincinin geliştirilmesi, çevreye duyarlı sürekli ve pozitif davranışların kazandırılması ve doğal tarihi, kültürel, sosyo-estetik değerlerini koruma bilincinde, aktif olarak hareket ederek sorunların çözümlerinde görev alınması olarak tanımlanabilir. Erken yaşta çevre eğitiminin bireye aşılması gerektiği ve bu yaş seviyesinin ortaöğretim olduğunu düşünen görüşler vardır. Ancak çevreye yönelik olumlu tutum ve davranışlar, ülkemizde çevre bilinci olarak aile ortamında aşılamadığı için öğrenciler okul öncesi ve ilköğretim seviyelerinde bilinçlendirilebilir. Çevre eğitimi hâlihazırda eğitim programımızda yer alan ders olarak değil program içi derslerin içerisinde yer almaktadır (Erdal, Erdal ve Yücel, 2013; Karataş, 2013). Çevre eğitimi konularını çerçeveleyen derslerden birisi olan Fen Bilimleri dersi öğrencinin dersteki kavramları, ilke, beceri, olgu ve etrafında gerçekleşen olayları süzgecinden geçirerek günlük yaşantısına dâhil etmesini hedefler (MEB, 2013).

Ülkemizde yapılan Okulöncesi, İlköğretim ve Orta öğretim programında çevre konuları ve çevre bilincini geliştirmeleri yönünde yeterli seviyede çalışma olmadığı belirtilmektedir (Ünal vd. 1999,

Külköylüoğlu, 2000; Kızıroğlu, 2000; Şimşekli, 2001). İnsan doğasını kapsayan bu alan teorik bilgilendirmenin yanında kişinin bilimsel düşünme, problem çözme ve eleştirel düşünme konusunda beceri ve davranışlarının kazanmalarını amaç haline getirir. Fen eğitiminin faydalı olabilmesi içinse konunun diğer disiplinlerle ilişkilendirilmesi ve günlük yaşamla birleştirilmesi gerekmektedir (Şanlı, 2019). Çevre eğitimi kapsamında geliştirilen STEM etkinlikleri ile öğrencilerin çevre eğitimi ve STEM eğitimine yönelik tutum, davranışlarında ve çevresel farkındalıklarında değişim meydana geleceği düşünülmektedir (Kuvaç, 2018). Yapılan çalışmanın çevreye yönelik öz yeterlilik ve çevre sorunları konusunda önemli bir çalışma olacağı düşünülmektedir. STEM ve çevre eğitimi; öğrenci merkezli, yaparak yaşayarak, günlük hayatla ilişki kurarak, disiplinler arası yaklaşım, problem çözme becerisi kazandırma, çok yönlü bakış açısı oluşturma gibi ortak hedef ve davranışları hayata geçirmelerini amaçladığı görülmektedir. Alanyazın incelendiğinde STEM eğitiminin Çevre Eğitime entegre edilmesine yönelik çalışma sayısının yetersizliğinden dolayı bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Gülay Ogelman ve Durkan, 2014; Güntürkün, 2016; Konakçı, 2019; Karataş, 2013; Kuvaç, 2018; Önder, 2015; Yıldırım, 2008; Yılmaz, 2021; Sevim, 2021).

Bu çalışma bireylerin çevreyi anlamlandırması ve süzgeçlerinden geçirebilmesi, çevre bilinci ve eğitimi için önem teşkil eden Çevre Eğitimi ve STEM Eğitimi alanında yapılan çalışmaların bibliyometrik analizleri incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Böylelikle STEM ve çevre eğitimi uygulamalarına ilgi duyan araştırmacılara kaynak olabilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır: STEM eğitimi ve çevre eğitimi konu başlıklarını içeren WOS veri tabanındaki çalışmaların,

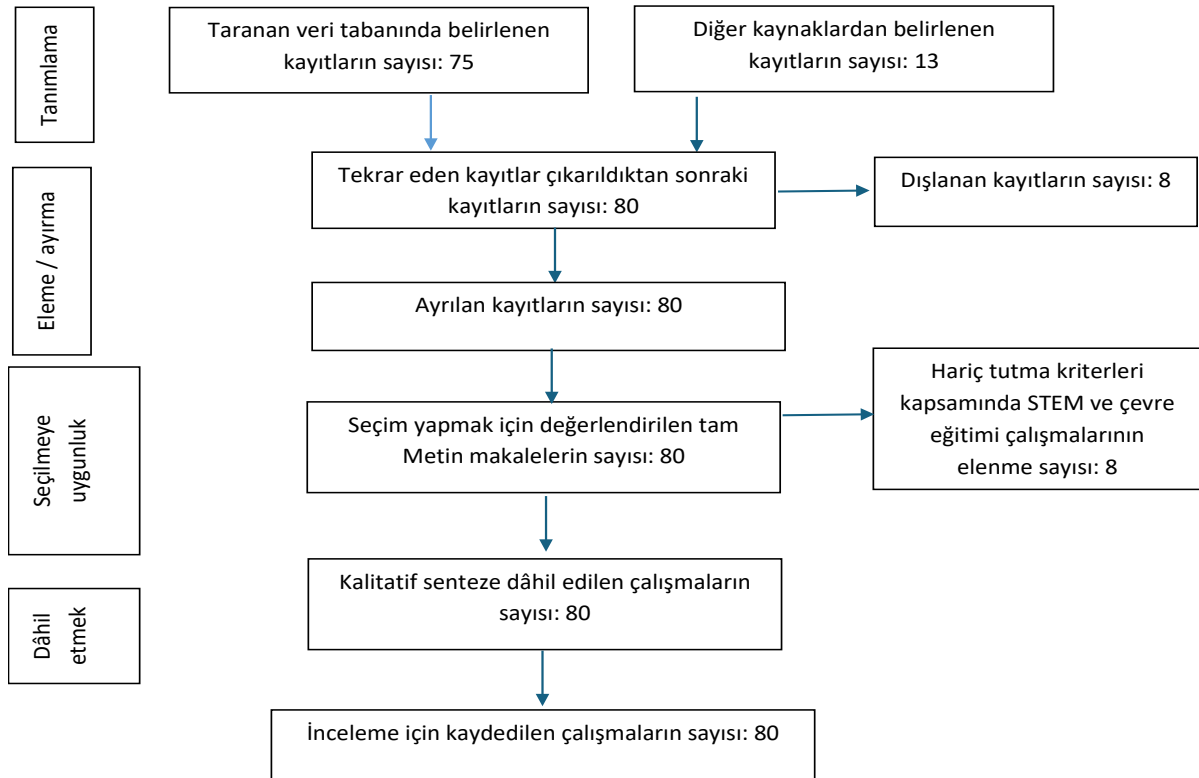
1. Yıllara göre dağılımları nasıldır?
2. Yayın yapılan indekslere göre dağılımı nasıldır?
3. Yayın yapan yazarların dağılımı nasıldır?
4. Yazarlar arası ilişkiye göre dağılımı nasıldır?
5. WOS kategorilerine göre dağılımı nasıldır?
6. Anahtar kelimelere göre ilişkisel dağılımı nasıldır?
7. Yayın yapılan ülkelere göre yayın sayısı dağılımı nasıldır?
8. Yayın yapılan ülkelere göre ilişkisel dağılımı nasıldır?

2. MATERYAL VE METOT

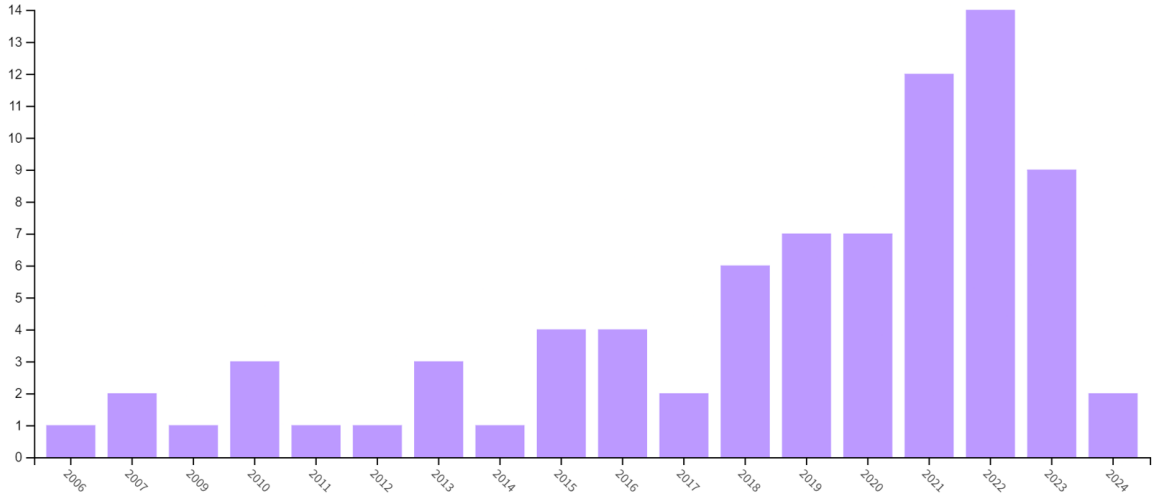
Bilimsel yayınlarda kullanılmakta olan “Bibliyometri” metodu, tarihte ilk olarak “İstatistiksel bibliyografi” ismiyle Wyndham Hulme sayesinde kitap ve medya iletişim araçlarının matematiksel ve istatistiksel olarak incelenme özelliğini taşımaktadır (Pritchard, 1969; Akt. Gülmez vd., 2021). Bibliyometrik analiz, bilimsel çalışmaların yapı ve yönlerini ortaya koymayı hedeflemektedir. Sekiz aşamadan meydana gelmektedir; (1) verilerin WoS, Scopus, Pubmed, SpringerLink, MA, Dimensions vb. veri tabanlarından sağlanması, (2) elde edilen sonuçların ön işlemden geçmesi, (3) verilerden ağ oluşturma, (4) verileri normalleştirerek anlamlı sonuç eldesi, (5) haritalama işlemi, (6) analiz etme, (7) görsel oluşturma ve (8) yorum yapma (Martinez vd., 2015; Chen, 2017; Akt. Demir ve Erigüç, 2018).

Analize çalışmaların dâhil edilmesi için “TOPIC (“STEM” and “environmental education”)” ve “TOPIC (“STEM” and “environmental literacy”)”

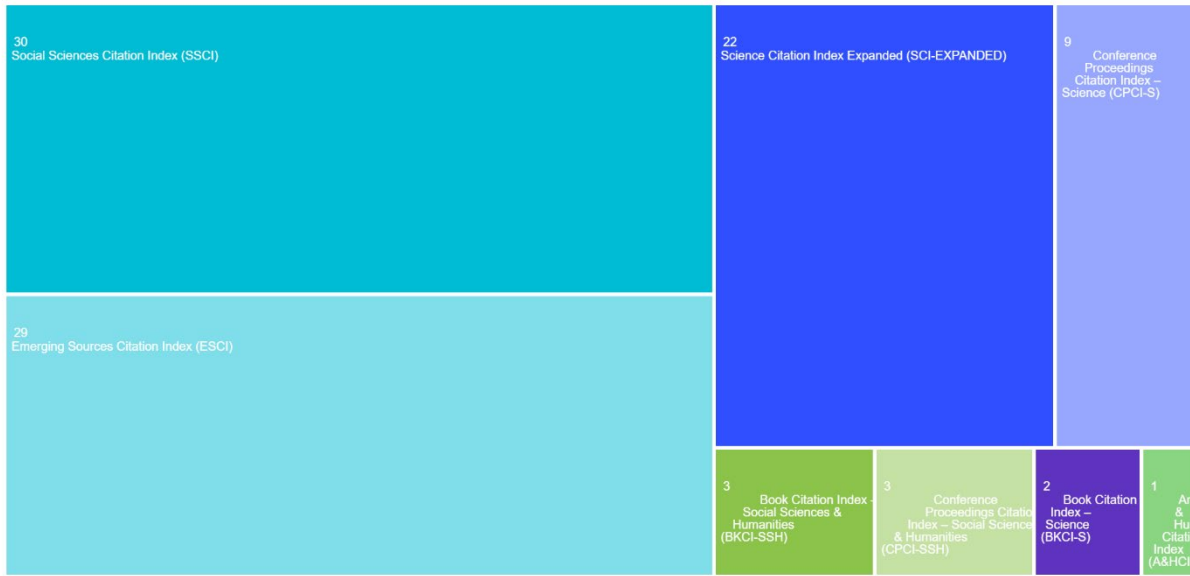
kelimeleri dikkate alınarak iki aşama indirmeler gerçekleştirilmiştir. İndirmeler gerçekleştirilirken çalışmanın amacı dikkate alınmıştır. Çalışmanın amacı kapsamına dâhil olmayan çalışmalar taramaya dâhil edilmemiştir. İki kere tarama gerçekleştirilmiştir, iki taramada ortak olan makaleler çıkartılmıştır. Bu tür analizlerde veri seti hazırlanırken öncelikle anahtar kelimelerle arama yaparak sonuçların çalışma için uygunluğu ortaya koyulmalıdır (Zupic ve Cater, 2015). Bu nedenle çalışma kapsamında olmayan, iki WOS araması dâhilinde ortak olan makaleler çıkarılarak 80 makalenin çalışma kapsamında olduğu belirlenmiş ve analiz için tab delimited file formatında indirilmiştir. İndirilen yayınların bibliyometrik analizi ise VOSviewer kullanılarak yapılmıştır. Analiz araştırma amacına yönelik sorular dâhilinde yol izlenmiştir. Belgelennmiş ve açık bir yöntem olduğu için tekrarlanabilirlik özelliğine dayanarak ve başka bir araştırmacı tarafından analiz yapılarak analiz güvenilirliği sağlanmıştır.



Şekil 1: Araştırmaların belirlenmesi sürecinde PRISMA akış şeması



Şekil 2: Çalışmaların yıllara göre dağılımları



Şekil 3: Çalışmaların indekslere göre dağılımı

3. BULGULAR

Makalelerin yıllara göre incelenmesi yapıldığında (Şekil 2) ilk makalenin 2006'da yayınlandığı, en fazla makalenin 2022'de yayınlandığı; 2011, 2012, 2014, 2017 yıllarında makale sayısında azalma olduğu görülmektedir. Genel itibariyle karşılaştırma yapıldığında 2018 ve 2023 yılları arasında makale sayısında artışın olduğu belirlenmiştir.

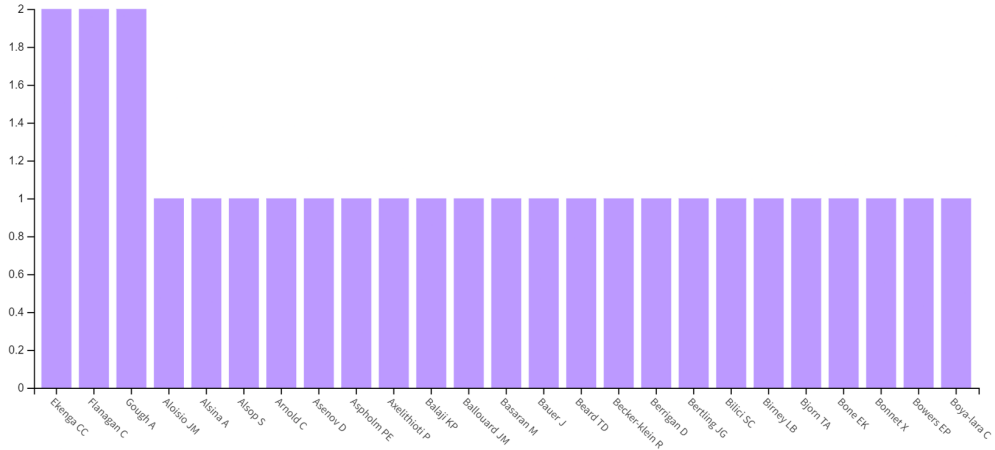
Çalışmaların yayın yapılan indekslere göre dağılımına bakıldığında yayın sayısı en fazla SSCI ve ESCI'da en az ise A&HCI olduğu görülmektedir (Şekil 3).

Genel eğilimin yazarlar açısından belirlenmesi ve yazarlar arası ilişkilerin belirlenmesi amacı ile Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 oluşturulmuştur. Şekil 4 incelendiğinde bu konuda en fazla yayın yapan yazarların sırasıyla Ekenga, Flanagan ve Gough olduğu görülmektedir. STEM ve çevre eğitimi

alanında yayın yapan yazarlar arasındaki ilişkiye bakıldığında da Ekenga, Flanagan ve Gough olduğu belirlenirken (Şekil 5) bu ilişkinin son yıllarda da değişmediği Şekil 6'ten anlaşılmaktadır.

STEM ve çevre eğitimi alanında yapılan yayınların WOS kategorilerine göre dağılımında en fazla Education Educational Research ve Environmental Studies kategorilerinde ez az ise Engineering Marine kategorisinde yayın bulunmaktadır (Şekil 7).

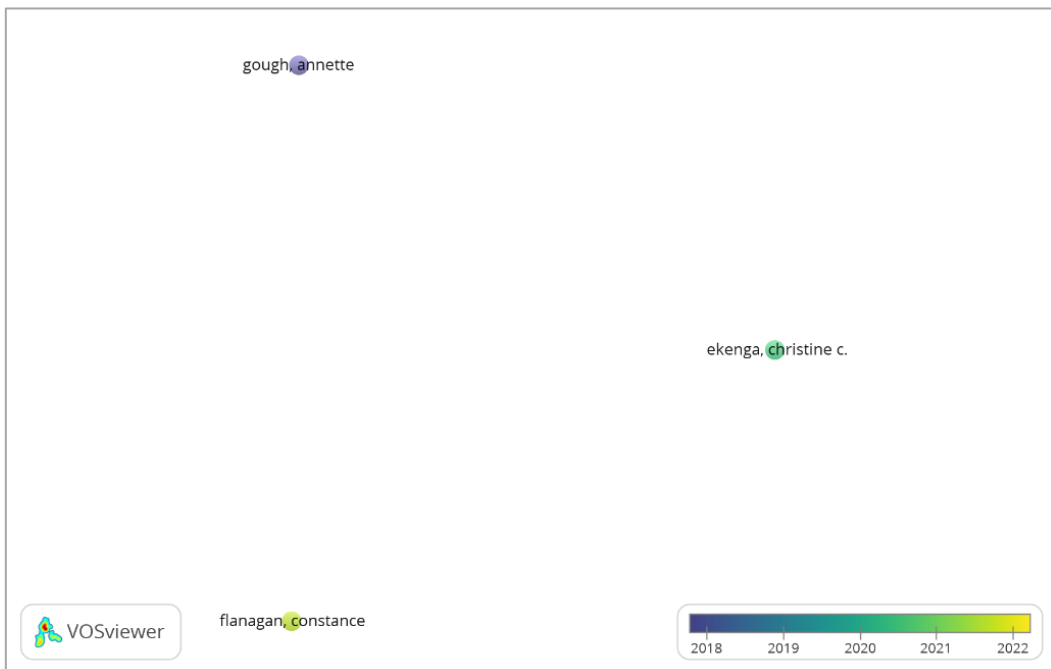
STEM ve çevre eğitimi alanında yapılan yayınların anahtar kelimelere göre ilişki dağılımına bakıldığında ise, "environmental education", "STEM education", "STEM", "environmental literacy", "sustainability" gibi anahtar kelimeler göze çarpmaktadır (Şekil 8). Kullanılan anahtar kelimelerin yıllara göre ilişkisine baktığımızda ise 2020 li yıllarda bu alanda en çok "STEM education" ve "STEM" anahtar kelimeleri dikkat çekmektedir.



Şekil 4: WOS veri tabanındaki çalışmaların yazar dağılımı



Şekil 5: Yazarlar arasındaki ilişki



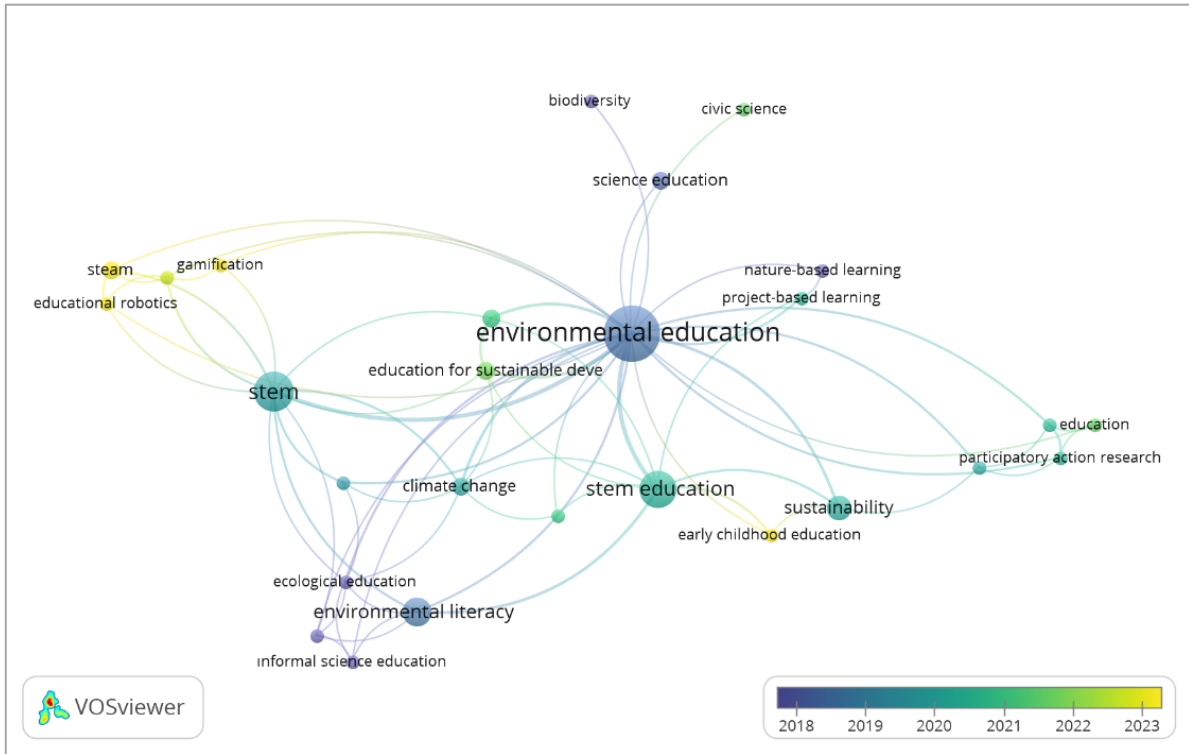
Şekil 6: Yazarlar arasındaki ilişkinin zamana göre dağılımı

Yayın yapılan ülkelere göre yayın sayısı dağılımında en fazla yayınlı ABD’de olduğu ve bu ülkeyi Kanada, Türkiye, Avustralya, İngiltere ve İspanya’nın izlediği görülmektedir (Şekil 9). En az yayının ise Peru, Çin Halk Cumhuriyeti, Panama, Norveç, Hollanda, Malezya, İran ve Endonezya ülkelerinde olduğu belirlenmiştir.

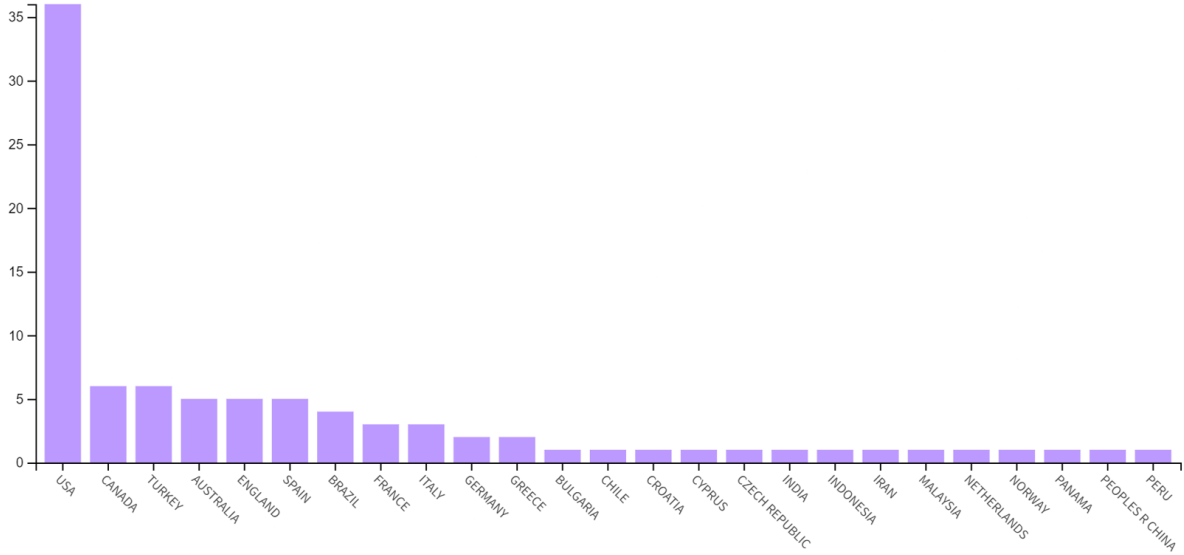
Ülkeler arasındaki ilişkisel dağılıma bakıldığında ise Türkiye, Fransa, Avustralya ve Kanada’nın Amerika ile ilişkisi olduğu; Amerika, Fransa ve Kanada’nın birbirleri dışında diğer ülkelerle ilişkili çalışma yaptıkları belirlenmiştir (Şekil 10).



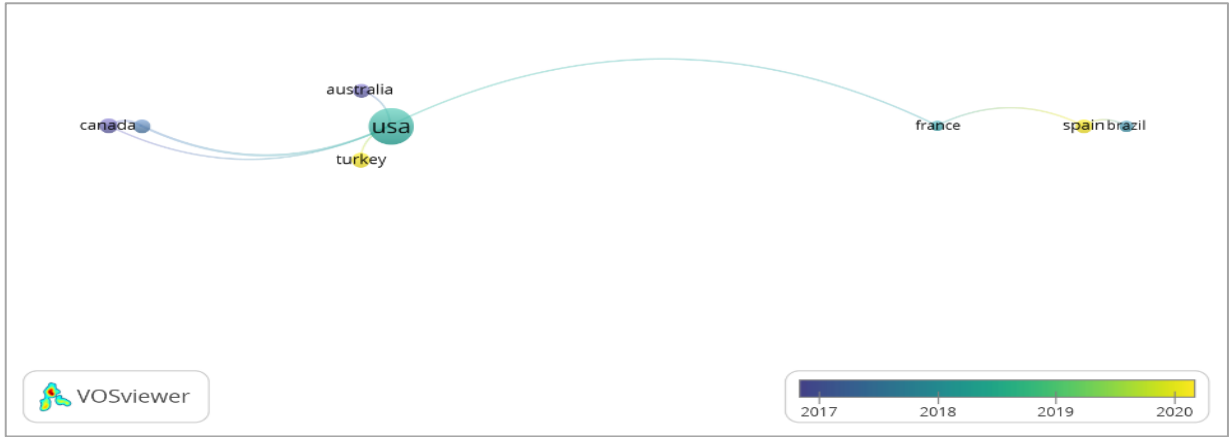
Şekil 7: WOS kategorilerine göre dağılımı



Şekil 8: Anahtar kelimelere göre ilişkisel dağılımı



Şekil 9: Yayın yapılan ülkelere göre yayın sayısı dağılımı



Şekil 10: Yayın yapılan ülkeler arasındaki ilişkisel dağılımı

4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürekli gelişim ve değişim halinde olan STEM ve çevre eğitimi alan yazın çalışmaları bibliyometrik analiz ile STEM eğitimiyle çevre eğitimi uygulamalarına ilgili araştırmacılara yol göstermek için yapılan çalışma sonucunda bu alan yazın çalışması sonucunda, en fazla yayın yapan yazarların sırasıyla Ekenga CC, Flanagan C ve Gough A olduğu, yayınların WOS kategori dağılımında en fazla Education Educational Research ve Environmental Studies kategorilerinin olduğu, anahtar kelimelerdeki ilişkilerine göre dağılımları incelendiğinde environmental education, STEM education, STEM, environmental literacy, sustainability gibi kelimeler göze çarpmaktadır, en fazla yayın sıralaması yayın sayısı dağılımına göre ABD, Kanada, Türkiye, Avustralya, İngiltere ve İspanya ülkelerinde yayınlandığı, alan yazın çalışmalarında en fazla yayın

yapılan yılın 2022’ de yapıldığı; 2011, 2012, 2014, 2017 yıllarında makale sayısında azalma olduğu görülmektedir. Genel itibariyle karşılaştırma yapıldığında 2018 ve 2023 yılları arasında makale sayısında artışın olduğu belirlenmiştir. En çok yayının fazla SSCI ve ESCI’da yapıldığı gözlemlenmiştir. Çalışmalar 2021 ve 2022 yıllarında covid-19 pandemisinin olmasına rağmen doğrudan temas gerektirmeyen çalışmalar olması nedeniyle alan yazın çalışma sayısında artış gözlemlenmiştir. Yayın yapan ülkelere ilk yayını Brezilya yapmasına rağmen ABD’nin açık ara önde gelmesinin sebebi STEM’e yönelik tutumları olduğu düşünülmektedir. Tüm çalışmada sonuç olarak bir çerçeveye alacak ve yeni bilgiler üretecek araştırmacılar “çevre eğitimi”, “STEM eğitimi”, “STEM”, “çevre okuryazarlığı”, “sürdürülebilirlik” disiplinler arası çalışabileceği STEM ve çevre eğitimi alanıdır.

Türkiye’de yapılan alan yazın çalışmalarının bibliyometrik analizi, doküman analizi, meta sentez yolu ile benzer araştırmalar yapılabilir. Hâlihazır çalışmamızda WOS’ dan elde edilen veri ve analizler yapılmıştır. Bibliyometrik analiz yöntemi olan Scopus vb. veri tabanları kullanılabilir. Sonuçları karşılaştırılarak analiz yapılabilir.

Sınırlılıklar

Bu çalışma bulguları, 28.05.2024 tarihinde, WOS veri tabanında, “STEM”, “environmental literacy” ve “environmental education” anahtar kelimeleri kullanılarak arama sonucu 80 makale ile sınırlıdır.

KAYNAKÇA

- Akgündüz, D. and Ertepinar, H. (2015). STEM Eğitimi Türkiye Raporu: “Günün modası mı? Yoksa gereksinim mi? İstanbul: STEM Merkezi ve Eğitim Fakültesi, İstanbul Aydın Üniversitesi.
- Akgündüz, D., Aydeniz, M., Çakmakçı, G., and Çavaş, B. (2015). STEM eğitimi Türkiye raporu: Günün modası mı yoksa gereksinim mi?[A report on STEM Education in Turkey: A provisional agenda or a necessity?][White Paper]. İstanbul Aydın Üniversitesi: STEM Merkezi ve Eğitim Fakültesi.
- Akgündüz, D., Aydeniz, M., Çakmakçı, G., Çavaş, B., Çorlu, M. S., Öner, T., vd. (2015). STEM eğitimi Türkiye raporu: Günün modası mı yoksa gereksinim mi? [A report on Turkey: STEM Education in Turkey: A provisional agenda or a necessity?] [White Paper]. İstanbul, Aydın Üniversitesi. Retrieved <http://www.aydin.edu.tr/belgeler/IAUSTEM-Egitimi-Turkiye-Raporu2015.pdf>
- Bybee, R. (2010). The teaching of science: 21st century perspectives. NSTA Press.
- Carter, L. (2015). The road less travelled: Globalisation, neoliberalism and science education. In J. Zajda (Ed.), The international handbook globalisation and education policy research (pp. 839–850). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Chen, C. (2017). Science mapping: a systematic review of the literature. *Journal of Data and Information Science*, 2(2), 1-40.
- Çolakoğlu, E. (2010). Haklar Söyleminde Çevre Eğitiminin Yeri ve Türkiye’de Çevre Eğitiminin Anayasal Dayanakları. *Türkiye Barolar Birliği Dergisi*, 88, 151-171.
- Demir, H., ve Erigüç, G. (2018). Bibliyometrik bir analiz ile yönetim düşünce sisteminin incelenmesi. *İş ve İnsan Dergisi*, 5(2), 91-114.
- Erdal, H. Erdal, G., and Yücel, M. (2013). Üniversite öğrencilerinin çevre bilinç düzeyi araştırması: Gaziosmanpaşa üniversitesi örneği. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (4), 57-65. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gbad/issue/29698/319550>
- Gül, K., and Taşar, M. (2020). A review of researches on STEM in preservice teacher education. *Ilkogretim Online*, 19(2), 515-539.
- Gülay Ogelman, H. and Durkan, N. (2014). Toprakla buluşan çocuklar: küçük çocuklar için toprak eğitimi projesinin etkililiği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7 (31), 632-638.
- Gülmez, D., Özteke, İ. ve Gümüş, S. (2021). Uluslararası dergilerde yayımlanan Türkiye kaynaklı eğitim araştırmalarının genel görünümü: Bibliyometrik analiz. *Eğitim ve Bilim*, 46 (206), 213-239.
- Güntürkün, E. (2016). *Environmental education preparation in pre-service teacher programs in Turkey* (Yüksek Lisans Tezi). İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hoeg, D., & Bencze, J. (2017). Values underpinning STEM education in the USA: An analysis of the Next Generation Science Standards. *Science Education*, 101(2), 278-301.
- Jamali, S. M., Ale Ebrahim, N., and Jamali, F. (2022). The role of STEM Education in improving the quality of education: A bibliometric study. *International Journal of Technology and Design Education*, 1-22.
- Karataş, A. (2013). *Çevre bilincinin geliştirilmesinde çevre eğitiminin rolü ve Niğde üniversitesi eğitim fakültesi örneği* (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Kılınç, A., Demirbağ, M., & Yılmaz, Ş. (2018). STEM alanları bilim insanlarının Fen, Matematik, Mühendislik ve Teknoloji arasındaki ilişkiler hakkında inançları: STEM için pedagojik bir çerçeve. *Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 31(2), 365- 480.
- Kızıroğlu İ., Türk Eğitim Sisteminde Çevre Eğitimi ve Karşılaşılan Sorunlar, V. Uluslararası Ekoloji ve Çevre Sorunları Sempozyumu: Çevre Eğitimi, 1-2 Kasım 2000, Ankara.
- Konakçı, A.A. (2019). Fen bilimleri öğretmenlerinin ve fen bilimleri öğretmen adaylarının çevre bilgi ve çevre eğitimi öz-yeterlik düzeylerinin çeşitli değişkenler açısından incelenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Bayburt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bayburt.

- Kuvaç, M. (2018). *Fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) temelli çevre eğitime yönelik öğretim tasarımının etkililiği* (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Külköylüoğlu O., Çevre Eğitiminde Yapısal Unsurlar ve Amaçlar Üniversitelerin Eğitimde Önemi, V. Uluslar Arası Ekoloji ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 2000, Ankara.
- Martinez M. A., Cobo, M. J., Herrera, M., vd., (2015). Analyzing the scientific evolution of social work using science mapping. *Research on Social Work Practice*, 25, 257-77.
- Milli Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2013). Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (İlkokul ve Ortaokul 3,4,5,6,7,8. Sınıflar). Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ankara.
<https://ttkb.meb.gov.tr/www/ogretim-programlari/icerik/72>
- National Research Council (NRC), (2011). Successful K-12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics. National Academies Press, 44, Washington, DC: NAP.
- Önder, R. (2015). *Üniversite öğrencilerinde çevre eğitimi gereksiniminin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Petersen, J., and Hyde, J. S. (2014). Gender-related academic and occupational interests and goals. In *Advances in child development and behavior*, 47, 43-76.
- Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics. *Journal of Documentation*, 25, 348-349.
- Sert Çıbık, A. (2019). Öğretim programlarında çevre eğitimi, H. G. Hastürk (Ed.). *Çevre eğitimi içinde* (s. 277-344). Ankara: Anı Yayıncılık.
- Sevim, K. (2021). *Ortaokul öğrencilerinin STEM tutumları ile mühendislik bilgi düzeyleri arasındaki ilişkinin incelenmesi (Uşak ili ve ilçesi örneği)* (Yüksek Lisans Tezi). Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Fakültesi, Uşak.
- Smith, J. and Karr-Kidwell, P. J. (2000). The Interdisciplinary Curriculum: A Literary Review and a Manual for Administrators and Teachers. *Educational Leadership*, 36(2), 122- 126.
- Şanlı, M. (2019). *STEM eğitim uygulamalarının öğrencilerin STEM alanlarına yönelik tutumları ve fen öğrenme motivasyonlarına etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şimşekli Y., Bursa'da "Uygulamalı Çevre Eğitimi" Projesine Seçilen Okullarda Yapılan Etkinliklerin Okul Yöneticisi ve Görevli öğretmenlerin Katkısı yönünden Değerlendirilmesi, *U.Ü. Eğ. Fak. Dergisi*, cilt: XIV, sayı: 1, 2001.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2004). Türkiye çevre atlası. (XVIII. Çevre eğitimi, 452- 457). Ankara.
- Ünal, S. and Dımışkı, E. (1999). UNESCO-UNEP Himayesinde çevre eğitiminin gelişimi ve Türkiye'de ortaöğretim çevre eğitimi. *H.Ü. Eğitim Fak. Dergisi* 16- 17:142-154.
- White, D. (2014). What is STEM education and why is it important? *Florida Association of Teacher Educators Journal*, 1(14), 1-8.
- Yıldırım, N. (2008). *Dizayn edilen çevre eğitimi derslerinin ilköğretim öğrencilerinin çevresel tutumlarına olan etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, N. (2021). *Özel ilkokul ve ortaokul öğrencilerinin STEM tutumlarının öğrenci özelliklerine göre incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Zeidler, D. (2016). STEM education: A deficit framework for the twenty first century? A sociocultural socioscientific response. *Cultural Studies of Science Education*, 11(1), 11-26.
- Zupic, I. and Cater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472 Sempozyumu, 47-56, 27-30 Eylül, 2016, Samsun.



Dirichlet Sınır Koşullu Diferansiyel Denklemlerin Bir Sınıfının Geometrik Ortalama Optimizasyonu Çözümleri

İclal GÖR^{1,*}, Türkan ÖZYÖRÜK²

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 09010, Aydın, Türkiye

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, 09010, Aydın, Türkiye

M A K A L E B İ L G İ S İ

Ö Z E T

Makale Gönderim 06/06/2024
Revizyon 22/06/2024
Kabul 01/07/2024

Anahtar Sözcükler:

Küresel optimizasyon
Meta-sezgisel algoritma
Geometrik ortalama optimizasyonu
Dirichlet sınır koşullu diferansiyel denklemler

Bu çalışma, matematiksel modellemede yaygın olarak karşılaşılan Dirichlet sınır koşullarını sağlayan diferansiyel denklemlerin çözümüne odaklanmaktadır. Bu denklemleri çözmek için Geometrik Ortalama Optimizasyonu (GMO) algoritması kullanılmıştır. Bu amaçla öncelikle ileri beslemeli yapay sinir ağı ile sınır koşullarının sağlanması için ön eğitilmiş ve maliyet fonksiyonu minimize edilerek yapay sinir ağına ait ağırlık güncelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. GMO algoritmasının kullanımı, geleneksel çözüm yöntemlerine bir alternatif olarak incelenmiş ve deneysel çalışmalarda benzer performans sağlamıştır. Bu amaçla, Dirichlet koşullarına sahip diferansiyel denklemlerin çözümü araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, GMO algoritmasının Dirichlet koşullu diferansiyel denklemlerin çözümü için bir alternatif sunduğunu önermektedir.

1. GİRİŞ

Diferansiyel denklemler çeşitli bilimsel problemlerin modellenmesinde kullanılan önemli bir matematik denklemlerdir (Cheng, 2021). Literatürde diferansiyel denklemlerin nümerik çözümleri için önerilen farklı yaklaşımlar yer almaktadır. Yapay sinir ağlarına ek olarak optimizasyon metotları da bu farklı tipteki diferansiyel denklemlerin nümerik çözümlerini hesaplamada tercih edilmektedir. Bu çalışmalardan biri 2006 yılında yüksek mertebeden diferansiyel denklemlerin çözümünde hibrit yapay sinir ağı modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Malek ve Beidokhti, 2006). Başka bir çalışmada ise ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılarak başlangıç veya Dirichlet sınır koşullarına sahip birinci ve ikinci mertebeden adi diferansiyel denklemlerin nümerik çözümleri elde edilmiştir (Gör, 2020). Sabir ve arkadaşları Emden-Fowler diferansiyel denklemleri ile temsil edilen üçüncü dereceden doğrusal olmayan çoklu tekil sistemlerin

çözümünde yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve aktif küme algoritmasının etkinliğini kullanarak ileri bir hesaplamalı zeka şeması tasarlamış ve uygulamıştır (Sabir vd., 2020). Adi diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümlerini bulmak için önerilen farklı bir yaklaşımda ise, taban fonksiyonu, ağırlıklı kalıntı yöntemi ve diferansiyel evrim algoritmaları kullanılarak optimize edilen ağsız bir yaklaşım sunulmuş ve bu yöntemin yüksek doğruluk sağladığı gösterilmiştir (Zhang vd., 2020). Fang ve arkadaşları birinci mertebeden tekil gecikmeli diferansiyel denklemleri ve denklemler sisteminin yaklaşık çözümünde yapay sinir ağlarını tercih etmiştir (Fang vd. 2020). Gecikmeli diferansiyel denklemlerin farklı bir çeşidi olan pantograf gecikmeli diferansiyel denklemlerinin başlangıç değer problemlerini çözmek için ise Khan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarında, doğrusal ve doğrusal olmayan pantograf gecikmeli diferansiyel denklemlerinin başlangıç değer problemlerini çözmek için

*Sorumlu Yazar: iclal@adu.edu.tr



Levenberg-Marquardt Metodu ve Bayes düzenleme metodu tabanlı ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılarak yeni bir hesaplama paradigması sunulmuş ve bu algoritmaların doğruluğu hata histogramları ve regresyon ölçütleri ile doğrulanmıştır (Khan vd., 2020). Gecikmeli diferansiyel denklemlerin nümerik çözümü için farklı bir yaklaşım ise Panghal ve Kumar tarafından önerilmiştir. Yaptıkları çalışmada gecikmeli diferansiyel denklemler ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılarak çözülmüş, aşırı makine öğrenmesi algoritması ile eğitilen farklı derinliklerdeki ağ mimarilerinin performansı incelenmiş ve derin ağların çözümler üzerindeki etkisi analiz edilmiştir (Panghal ve Kumar, 2021). Kesirli diferansiyel denklemlerin başlangıç değer problemini çözmek için ise 2021 yılında Wu ve arkadaşları tarafından dalgacık fonksiyonu tabanlı dalgacık sinir ağı önerilmiş ve algoritmanın yakınsama koşulları verilerek orijinal denklemin yaklaşık çözümüne dönüştürülmesi sağlanmıştır (Wu vd. 2021). Diğer bir çalışmada ise, yapay sinir ağlarının farklı bir çeşidi olan tek katmanlı radyal tabanlı fonksiyon ağı ile aşırı makine öğrenmesi algoritması adı diferansiyel denklemleri çözmek için yeni bir sayısal yöntem geliştirilmiş ve deneysel karşılaştırmalar, bu yöntemin mevcut yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamıştır (Liu vd., 2023).

Özel olarak Dirichlet koşullarını sağlayan diferansiyel denklemler, çeşitli bilim ve mühendislik disiplinlerinde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu denklemler, birçok fiziksel sistem ve mühendislik problemlerinde karşılaşılan önemli matematiksel problemlerdir. Bu denklemlerin farklı çeşitleri için literatürde önerilen çözüm yöntemleri yer almaktadır. Kowalski tarafından yapılan çalışmada Dirichlet sınır değer koşullarına sahip bir Duffing tipi denklem için çözümün parametreye bağıllığını incelemek amacıyla doğrudan değişkenler yöntemi kullanılmıştır (Kowalski, 2013). Dirichlet sınır koşullarına sahip ikinci dereceden lineer Fredholm integro-diferansiyel denklemler için ise hızlı çok ölçekli Galerkin yöntemi geliştirilen çalışmada, önerilen yöntemin kararlı olduğu, optimal yakınsama düzenine sahip olduğu ve neredeyse lineer hesaplama karmaşıklığına sahip olduğu logaritmik bir faktörle kanıtlanmıştır (Chen vd., 2020). Kesirli Dirichlet sınır değer probleminin zayıf çözümlerinin varlığının incelendiği çalışmada ise Sousa ve arkadaşları Nehari manifold ve değişkenler yöntemleri kullanarak farklı tipteki Dirichlet sınır değer problemi için çözüm önermiştir (Sousa vd., 2022).

Bununla birlikte Dirichlet koşulu içeren denklemlerin çözümünün varlığı birçok çalışmada incelenmiştir. 2018 yılında yapılan çalışmada ani etkiler içeren Dirichlet sınır değer problemi için aşık olmaya klasik çözümlerin varlığı, varyasyonel yöntemler ve kritik nokta teorisi kullanılarak gösterilmiştir (Graef vd., 2018). Ancak, Dirichlet koşulu içeren denklemleri çözmek genellikle analitik olarak zordur ve sayısal çözümleri karmaşıktır. Bu nedenle Dirichlet koşullarını sağlayan diferansiyel denklemlerin nümerik çözümlerini elde etme amacıyla literatürde farklı yaklaşımlar yer almaktadır. Nümerik çözümleri elde etmede önerilen bu yaklaşımlara alternatif olarak yapay sinir ağlarının çözümü örnek olarak verilebilir. Günel ve arkadaşları 2018 yılında yaptıkları çalışmada, adi diferansiyel denklemler için Dirichlet sınır değer problemlerinin sayısal çözümlerini elde etmek amacıyla devirli sinirsel ağ kullanılmış, ağın eğitiminde Parçacık Sürü Optimizasyonu yöntemi kullanılmış ve farklı aktivasyon fonksiyonlarıyla elde edilen çözümler karşılaştırılarak devirli sinirsel ağların etkinliği değerlendirilmiştir (Günel vd. 2018). Aynı yılda yapılan başka bir çalışmada, Dirichlet sınır koşulları ve zamanla değişen gecikmelere sahip stokastik reaksiyon-difüzyon sinir ağlarının ϕ -tipi kararlılığı ve sağlam kararlılığı incelenmiş; bu kararlılığı sağlamak için gerekli kriterler belirlenmiş ve teorik sonuçlar sayısal simülasyonlarla doğrulanmıştır (Sheng vd., 2018). Üçüncü dereceden doğrusal olmayan ve çoklu tekil sistemleri çözmek için ise başka bir çalışmada yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve aktif küme algoritması kullanılarak ileri bir hesaplamalı zeka yöntemi tasarlanmış ve uygulanmış, bu yöntemin etkinliği beş farklı tekil model varyantı üzerinde test edilmiştir. (Sabir vd., 2020). Cheng ve Zhang tarafından yapılan çalışmada akışkan dinamiği problemlerini çözmek için Navier-Stokes denklemlerini ve başlangıç ile sınır koşullarını maliyet fonksiyonuna dahil eden Resnet blokları ile birleşik fiziksel sinir ağı geliştirilmiş ve bu yöntemin, geleneksel derin öğrenme yöntemlerinden daha güçlü öngörü yeteneği sağladığı gösterilmiştir (Cheng ve Zhang, 2021). Dirichlet sınır koşullarına sahip adi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümlerini elde etmek için 2022 yılında önerilen çalışmada, sürü zekası tekniklerinin ileri beslemeli sinir ağlarıyla kullanımı incelenmiş ve optimizasyon algoritmalarının sayısal çözümünü iyileştirmek için yapay arı kolonisi, karınca kolonisi optimizasyonu, kütle çekimi arama algoritması ve parçacık sürü optimizasyonu gibi yöntemlerin yanı sıra bu yöntemlerin hibrit kombinasyonları uygulanmıştır (Günel ve Gör, 2022).

Bu çalışmada ise literatürde önerilen Geometrik Ortalama Optimizasyonu (GMO) ile Dirichlet koşulu içeren diferansiyel denklemlerin nümerik çözümlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. GMO bir optimizasyon algoritmasıdır ve genellikle küresel optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır. Temel amacı, bir hedef fonksiyonun belirli bir değerini minimize etmek veya maksimize etmek için en iyi çözümü bulmaktır. Bu amaçla matematikte bilinen geometrik ortalamaya benzer bir yaklaşım kullanılarak sözde geometrik ortalama kavramı ile optimizasyon algoritması önerilmiştir (Rezaei vd., 2021).

GMO algoritmasının adımlarında, bir arama ajanının uygunluk değeri, karşıt ajanlarının uygunluklarına göre belirlenir. Her iterasyonda, ajanların o ana kadar ulaştıkları en uygun konum, yani ajanın mevcut iterasyona kadar elde ettiği en iyi konum, kesin olarak belirlenir. Bu adımdan sonra, verilen bir ajanın o ana kadar ki en iyi konumuna ilişkin her karşıt ajan için, üyelik değerlerinin çarpılması ile ikili uygunluk indeksleri hesaplanır. Bu ifade, algoritmanın minimizasyon süreci içinde hem uygunluğu hem de çeşitliliği eşzamanlı olarak artırarak potansiyel olarak daha elverişli bir senaryo oluşturma kapasitesini vurgular. Literatürde, mühendislik alanında kafes yapı tasarımı gibi çok amaçlı yaklaşım ve uygulama alanını içeren Geometrik Ortalama Optimizasyon algoritması üzerine bazı araştırmalar bulunmaktadır (Rezaei vd., 2023).

Çalışmanın takip eden bölümünde GMO algoritması ve Dirichlet sınır GMO ile çözümü detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Bir sonraki bölümde Dirichlet koşulu içeren lineer ve lineer olmayan diferansiyel denklemlerin nümerik çözümlerini incelemek amacıyla diferansiyel denklemlerin GMO ve PSO ile çözümleri incelenecektir. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen çözümler analiz edilerek yöntemlerin etkinliği tartışılacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde Dirichlet koşulu sağlayan diferansiyel denklemlerin çözümü için bilinen optimizasyon algoritmalarından GMO algoritması anlatılacaktır.

2.1. Geometrik Ortalama Optimizasyonu

Geometrik Ortalama Optimizasyon Algoritmasının başlangıç aşamasında arama alanında rastgele ajanlar oluşturularak bu ajanların problem

üzerindeki sonuçları hesaplanır (Rezaei vd., 2023). Üyelik değerleri (*MFI*) her ajan için belirlenir. Zadeh'in öne sürdüğü gibi bulanık mantığın temel ilkelerine dayanan yöntem ile hesaplanan üyelik değerleri, birden fazla değişken arasındaki benzerliğin ayırt edilmesine olanak tanır (Zadeh, 1965). Çarpım bazlı Larsen uygulama fonksiyonu olarak bilinen bu özel çarpımsal prosedür, bulanık sistem çalışmaları alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ardından sözde geometrik ortalama adı verilen işlem uygulanarak ikili uygunluk indeksleri hesaplanır. Her bir ajanın ikili uygunluk indeksi hesaplanırken, karşıt ajanların üyelik değerleri kullanılır. Bu durumda ajanların birbirlerinden etkilendiğini söylenebilir. Elde edilen verilerle oluşturulan kılavuz ajan ve hız vektörüne bağlı olarak ajanların konum güncellemeleri yapılır. Ayrıca bu algoritmada Gauss mutasyonu ve elitizm işlemleri uygulanmaktadır. Gauss mutasyonu ile algoritmaya rassalık katılmıştır. Elitizm işlemi ile de elit bireyler üzerinden algoritma adımları tamamlanarak algoritmanın daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşması amaçlanmıştır.

Geometrik Ortalama Optimizasyonu (GMO), çeşitli problemlerin çözümünde diğer algoritmalara göre avantajlar sağlayan bir optimizasyon algoritmasıdır. Her optimizasyon algoritmasında olduğu gibi GMO'da da sorunun çözümü için iki görevin yerine getirilmesi gerekmektedir: keşif ve kullanım. Diğer meta-sezgisel algoritmalarda keşif ve kullanım için iki farklı değişkenin bulunduğunu ve bu durumda algoritmanın uygunluğu yüksek ancak çeşitliliğin düşük olabileceği veya tam tersi bilinir. Bu durumda hangi ajanın rehber olarak seçileceğini belirlemek zor olabilir. GMO algoritması, ikili uygunluk indeksi (*DFI*) adı verilen bir değişkenle ajanların hem uygunluğu hem de çeşitliliği hakkında bilgi sağlanabilir. Bu indeks, popülasyondaki tüm ajanlar için hesaplanır ve arama süreci sırasında her arama ajanı için yerel bir rehber tanımlamak için kullanılır.

İlk olarak Zadeh tarafından ortaya atılan bulanık mantık kavramlarına bakıldığında, çeşitli değişkenler arasındaki benzerlik, bu değişkenlere atfedilen bulanık üyelik fonksiyonu (*MF*) değerlerinin çarpılmasıyla ifade edilebilir (Zadeh, 1965). Bu çarpma, bulanık sistemlerde geniş çapta uygulanan, çarpım tabanlı Larsen uygulama fonksiyonu olarak bilinir. (*MF*) değerlerini tanımlamak için Eşitlik 1 kullanılır.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{a(x-c)}}; a < 0 \quad (1)$$

Denklem 1 de bulunan, a ve c parametreleri sigmoidal MF 'nin belirli özelliklerini belirtir. Ayrıca e Napier sabitidir. Her bir ajan için MF değeri hesaplaması $j = 1, 2, \dots, N$ için Eşitlik 2 ile verdiği gibi yapılır.

$$MF_j^t = \frac{1}{1 + e^{-\frac{4}{\sigma^t \sqrt{e}} \times (Z_{best_j}^t - \mu^t)}} \quad (2)$$

Burada $Z_{best_j}^t$, j 'inci ajanın şimdiye kadarki kişisel en amaç fonksiyonu değeridir; μ^t ve σ^t , t 'inci iterasyondaki ortalama ve standart sapmalardır.

Daha sonra bu MF değerlerine bağlı olarak ikili uygunluk indeksi dediğimiz değer Eşitlik 3 ile hesaplanır:

$$DFI_i^t = \prod_{j=1, j \neq i}^N MF_j^t \quad (3)$$

Eşitlik 3 ile her bir ajan için, ikili eşleşme indeksi hesaplamalarında karşıt ajanların (kendisi dışındaki diğer ajanların) MF değerlerinin kullanıldığı görülmektedir. Yani algoritmamızdaki etmenlerin birbirleriyle etkileşim halinde oldukları söylenebilir.

Rehber ajanların belirlenmesinde Eşitlik 4 kullanılmaktadır.

$$Y_i^t = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N DFI_j^t \times X^t}{\sum_{j \in N_{best}} DFI_j^t + \varepsilon_i} \quad (4)$$

Rehber ajanların çeşitliliğini artırmak ve rastgelelik eklemek için Gauss mutasyon işlemi uygulanır. Mutasyonun uygulanmasını Eşitlik 5. ile verilen denklem ile yapılır.

$$Y_{i,mut}^t = Y_i^t + \omega \times randn \times (STD_{max}^t - STD^t) \quad (5)$$

Yeni konum vektörünü belirlerken tek yapılması gereken, elde edilen hız vektörü kadar ileri gitmektir. Bunun için gerekli olan yeni hız vektörü Eşitlik 6 ile verilmiştir.

$$\begin{aligned} V_i^{t+1} &= \omega \times V_i^t + \varphi \times (Y_{i,mut}^t - X_i^t) \varphi \\ &= 1 + (2 \times rand - 1) \times \omega \end{aligned} \quad (6)$$

Elde edilen hız vektörüne bağlı olarak konum güncellenmesi Eşitlik 7. ile verilmiştir.

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1} \quad (7)$$

Bir sonraki bölümde GMO algoritması kullanılarak Dirichlet Sınır Değer Probleminin çözümü anlatılacaktır.

2.2. Dirichlet Sınır Koşulunun Geometrik Ortalama Optimizasyon Algoritması ile Çözümü

İlk olarak Dirichlet sınır değeri probleminin çözümü için yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Kullanılan yapay sinir ağı, gizli katmanında 10 nöron bulunan tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağıdır. GMO algoritması ile yapay sinir ağı probleminin sınır koşullarını sağlaması amacıyla eğitilmiştir. Eğitim aşamasında Levenberg-Marquardt yöntemi kullanılmaktadır. Eğitim sonrasında sinir ağı ile elde edilen hatayı GMO kullanılarak en aza indirmek amaçlanmaktadır. Böylece yapay sinir ağının ağırlıkları ve eşik değerleri güncellenmektedir.

İkinci dereceden bir diferansiyel denklem için Dirichlet sınır değeri problemi Eşitlik 8 ile verildiği gibi tanımlanır.

$$\begin{cases} y''(t) = f(t, y(t), y'(t)), t \in [a, b] \\ y(a) = A, \\ y(b) = B \end{cases} \quad (8)$$

Tanımda verilen Dirichlet sınır değeri problemi için sınır değer koşullarını sağlayan deneme fonksiyonu Eşitlik 9. ile tanımlanır.

$$y_T(t, \vec{p}) = \frac{(t-b)A - (t-a)B}{(a-b)} + (t-a)(t-b)Net(t, \vec{p}) \quad (9)$$

Bilinmeyen parametre değerlerinin belirlenmesi, Eşitlik 11 ile verilen maliyet fonksiyonunun en aza indirilmesini gerektirir. Eşitlik 10 ile tanımlanan deneme fonksiyonunun giriş değerine göre kısmi türevleri Eşitlik 11 ve Eşitlik 12 tarafından verilmiştir.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{\partial^2 y_T(t_j)}{\partial t_j^2} - f \left(t_j, y_T(t_j), \frac{\partial y_T(t_j)}{\partial t_j} \right) \right\}^2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial y_T(t_j)}{\partial t_j} &= \frac{A-B}{a-b} + (2t_j - a - b)Net(t_j, \vec{p}) \\ &\quad + (t_j - a)(t_j - b) \frac{\partial Net(t_j, \vec{p})}{\partial t_j} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 y_T(t_j)}{\partial t_j^2} &= 2Net(t_j, \vec{p}) + 2(2t_j - a - b) \frac{\partial Net(t_j, \vec{p})}{\partial t_j} \\ &\quad + (t_j - a)(t_j - b) \frac{\partial^2 Net(t_j, \vec{p})}{\partial t_j^2} \end{aligned} \quad (12)$$

Yapay sinir ağlarının birinci ve ikinci dereceden kısmi türevi sırasıyla Eşitlik 13 ve Eşitlik 14 ile verilmiştir.

$$\frac{\partial^2 Net(t_j, \vec{p})}{\partial t_j^2} = 2Net(t_j, \vec{p}) + 2(2t_j - a - b) \frac{\partial Net(t_j, \vec{p})}{\partial t_j}$$

$$+(t_j - a)(t_j - b) \frac{\partial^2 \text{Net}(t_j, \vec{p})}{\partial t_j^2} \quad (13)$$

$$\frac{\partial \text{Net}(t_j, \vec{p})}{\partial t_j} = \frac{\text{Net}(t_j + h, \vec{\omega}) - 2 * \text{Net}(t_j, \vec{\omega}) + \text{Net}(t_j - h, \vec{\omega})}{h^2} \quad (14)$$

Dirichlet sınır problemleri için Gradyan Düşüm Algoritmasını kullanırken, E maliyet fonksiyonunun bilinmeyen parametrelere göre türevlerinin

Çizelge 1: Örnek 1 ve Örnek 2 için PSO'da ve GMO'da kullanılan parametre değerleri.

Parametre	Parametre değerleri
YSA'daki nöron sayısı, m	10
Popülasyon sayısı, N	50
Arama uzayının alt sınırı	-1
Arama uzayının üst sınırı	1
Arama uzayının boyutu, d	3m
Eğitim kümesi için adım uzunluğu, h	0.01
İterasyon sayısı	100

hesaplanması gerekir. Ancak yüksek boyutlu problemlerde yerel minimuma takılma olasılığı yüksektir. Bu nedenle, optimum parametreleri belirlemek için bir sonraki bölümde Geometrik Ortalama Optimizasyon Algoritması kullanılarak Dirichlet koşulu içeren farklı tipte denklemlerin çözümü incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

GMO algoritmasının Dirichlet koşulu içeren diferansiyel denklemlerin nümerik çözümlerinde alternatif bir optimizasyon algoritması olduğunu incelemek amacıyla lineer ve lineer olmayan diferansiyel denklemlerin nümerik çözümleri bu bölümde incelenecektir. Eşitlik 8 ile verilen diferansiyel denklem lineer, Eşitlik 9 ile verilen denklem ise lineer değildir (Gor, 2020). Bu çalışmada kullanılan parametreler Örnek 1 ve Örnek 2 için sırasıyla PSO ve GMO algoritmaları için Çizelge 1 ile verilmiştir.

Örnek 1.

$$\begin{cases} y'' = \frac{-2t}{1+t^2} y' + y + \frac{2}{1+t^2} - \log(1+t^2), t \in [0,1] \\ y(0) = 0, \\ y(1) = \log(2) \end{cases} \quad (15)$$

Eşitlik 15 ile verilen denklemin gerçek çözümü $\log(1+t^2)$ 'dir. Verilen denklemin çözümlerinde PSO ve GMO ile elde edilen mutlak hata değerlerinin sonuçları eğitim ve test kümeleri için sırasıyla Çizelge 2 ve Çizelge 3 ile verilmiştir. Verilen çizelgelerde görüldüğü üzere elde edilen çözümler eğitim ve test kümeleri için bazı noktalarda verilmiştir.

Maliyet fonksiyonunun her iterasyonda değişimi ise Şekil 3 ve Şekil 4 ile sırasıyla PSO ve GMO için verilmiştir.

Ayrıca eğitim ve test kümesi için elde edilen ortalama karesel hata değerleri (MSE) ile saniye cinsinden geçen süreler PSO ve GMO için Çizelge 4 ile verilmiştir.

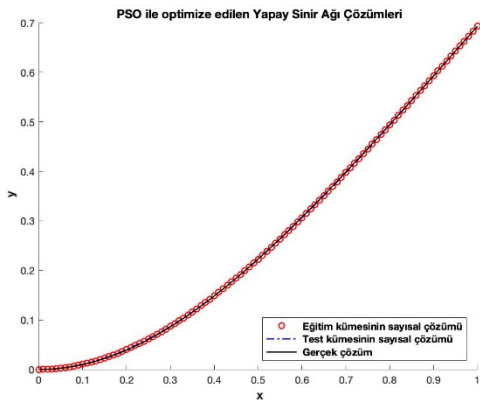
Çizelge 2: Örnek 1'in eğitim kümesindeki bazı noktalar için nümerik çözümünden elde edilen mutlak hata değerler.

x	PSO Çözümü	GMO Çözümü
0.000	0.000	0.000
0.010	1.396×10^{-5}	3.400×10^{-3}
0.020	1.241×10^{-5}	6.670×10^{-3}
0.030	2.634×10^{-6}	9.810×10^{-3}
0.040	2.927×10^{-5}	1.282×10^{-2}
0.050	6.570×10^{-5}	1.570×10^{-2}
0.060	1.102×10^{-4}	1.845×10^{-2}
0.070	2.171×10^{-4}	2.107×10^{-2}
0.080	8.257×10^{-4}	2.356×10^{-2}
0.090	2.767×10^{-4}	2.593×10^{-2}
0.100	3.386×10^{-4}	2.817×10^{-2}
0.150	6.438×10^{-4}	3.753×10^{-2}
0.200	8.668×10^{-4}	4.396×10^{-2}
0.250	9.459×10^{-4}	4.768×10^{-2}
0.300	8.634×10^{-4}	4.899×10^{-2}

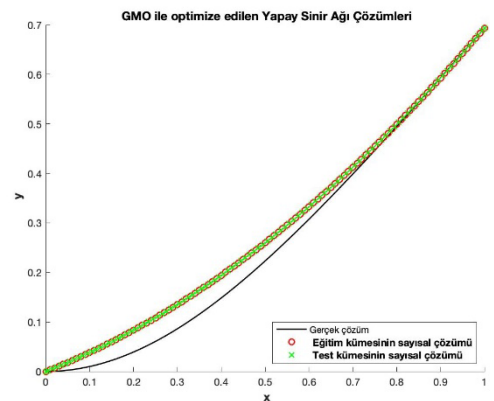
0.350	6.353×10^{-4}	4.820×10^{-2}
0.400	3.005×10^{-4}	4.566×10^{-2}
0.450	8.951×10^{-4}	4.174×10^{-2}
0.500	4.797×10^{-4}	3.679×10^{-2}
0.550	8.190×10^{-4}	3.117×10^{-2}
0.600	1.066×10^{-3}	2.523×10^{-2}
0.650	1.194×10^{-3}	1.928×10^{-2}
0.700	1.1919×10^{-3}	1.365×10^{-2}
0.750	1.066×10^{-3}	8.591×10^{-2}
0.800	8.435×10^{-4}	4.370×10^{-3}
0.850	5.629×10^{-4}	1.210×10^{-3}
0.900	2.811×10^{-4}	6.860×10^{-4}
0.950	6.714×10^{-4}	1.141×10^{-3}
1.000	0.000	0.000

Çizelge 3: Örnek 1'in test kümesindeki bazı noktalar için nümerik çözümünden elde edilen mutlak hata değerleri.

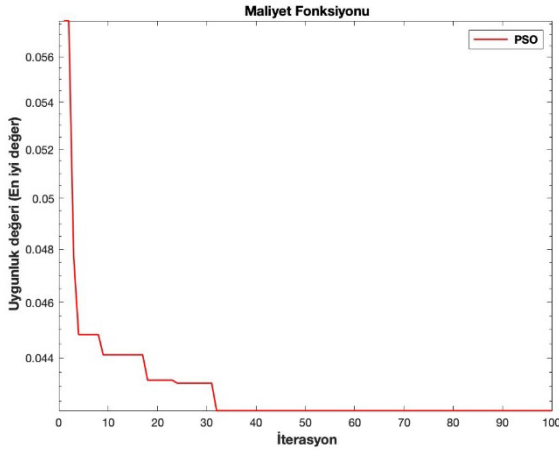
x	PSO Çözümü	GMO Çözümü
0.000	0.000	0.000
0.005	9.055×10^{-6}	1.717×10^{-3}
0.015	1.500×10^{-5}	5.052×10^{-3}
0.025	6.458×10^{-6}	8.256×10^{-3}
0.035	1.462×10^{-5}	1.133×10^{-2}
0.045	4.637×10^{-5}	1.427×10^{-2}
0.055	8.705×10^{-5}	1.709×10^{-2}
0.065	1.349×10^{-4}	1.978×10^{-2}
0.075	1.886×10^{-4}	2.233×10^{-2}
0.085	2.465×10^{-4}	2.476×10^{-2}
0.095	3.074×10^{-4}	2.707×10^{-2}
0.105	3.700×10^{-4}	2.925×10^{-2}
0.205	8.818×10^{-4}	4.445×10^{-2}
0.255	9.448×10^{-4}	4.791×10^{-2}
0.305	8.466×10^{-4}	4.900×10^{-2}
0.355	6.059×10^{-4}	4.802×10^{-2}
0.405	2.631×10^{-4}	4.533×10^{-2}
0.455	1.294×10^{-4}	4.128×10^{-2}
0.505	5.167×10^{-4}	3.625×10^{-2}
0.555	8.484×10^{-4}	3.058×10^{-2}
0.605	1.084×10^{-3}	2.463×10^{-2}
0.655	1.199×10^{-3}	1.870×10^{-2}
0.705	1.184×10^{-3}	1.311×10^{-2}
0.755	1.048×10^{-3}	8.127×10^{-3}
0.805	8.172×10^{-4}	4.002×10^{-3}
0.855	5.337×10^{-4}	9.607×10^{-4}
0.905	2.555×10^{-4}	7.991×10^{-4}
0.955	5.243×10^{-5}	1.900×10^{-4}
1.000	0.000	0.000



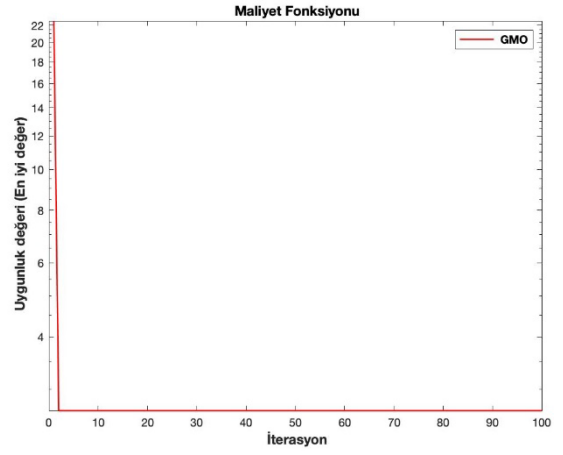
Şekil 1: Örnek 1 için PSO kullanılarak elde edilen yaklaşık çözüm grafiği



Şekil 2: Örnek 1 için GMO kullanılarak elde edilen yaklaşık çözüm grafiği



Şekil 3: Örnek 1 için PSO kullanılarak elde edilen iterasyona bağlı maliyet fonksiyonu grafiği



Şekil 4: Örnek 1 için GMO kullanılarak elde edilen iterasyona bağlı maliyet fonksiyonu grafiği

Çizelge 4: Örnek 1'in eğitim ve test kümesi için elde edilen ortalama karesel hata değerleri ve saniye cinsinden eğitim ve test süreleri için geçen süreler.

	PSO	GMO
Eğitim Kümesi için MSE	$7.877 \times 10^{-7} \pm 2.673 \times 10^{-7}$	$9.192 \times 10^{-3} \pm 8.473 \times 10^{-4}$
Test Kümesi için MSE	$7.799 \times 10^{-7} \pm 2.647 \times 10^{-7}$	$9.264 \times 10^{-3} \pm 8.539 \times 10^{-4}$
Modelin Eğitim Süresi	$5.509 \pm 2.733 \times 10^{-1}$	$9.538 \times 10^1 \pm 1.523$
Modelin Test Süresi	$2.776 \times 10^{-4} \pm 1.018 \times 10^{-4}$	$9.050 \times 10^{-3} \pm 8.472 \times 10^{-4}$

Örnek 2.

$$\begin{cases} y'' + y^2 = 0, t \in [0,1] \\ y(0) = 1, \\ y(1) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

Eşitlik 16 ile verilen Dirichlet koşulu içeren diferansiyel denklemin gerçek çözümü $\tan\left(\frac{\pi}{4}(1-t)\right)$ ' dir. Denklem belirlenmiş noktalarda hem eğitim hem test kümeleri için elde edilen nümerik çözümler sırasıyla Çizelge 5 ve Çizelge 6 ile verilmiştir.

Örnek 2 için yaklaşık çözüm grafikleri olan Şekil 5 ve Şekil 6, sırasıyla PSO ve GMO

algoritmaları kullanılarak elde edilen yaklaşık çözüm grafikleri olarak verilmiştir.

Maliyet fonksiyonunun her iterasyonda değişimi ise Şekil 3 ve Şekil 4 ile sırasıyla PSO ve GMO için verilmiştir.

Bununla birlikte elde edilen ortalama karesel hata değerleri (MSE) PSO ve GMO için elde edilmiştir. Buna göre eğitim ve test kümesi için elde edilen MSE değerleri Çizelge 7 ile vermiştir. Çizelge de ayrıca çalışmada yapılan zaman analizine göre, sırasıyla eğitim ve test kümeleri için saniye cinsinden geçen süreler sunulmuştur.

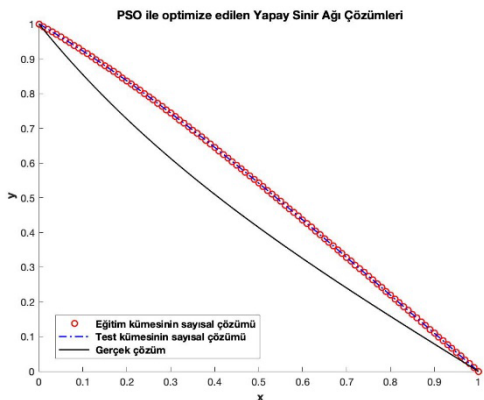
Çizelge 5: Örnek 2'nin eğitim kümesindeki bazı noktalar için nümerik çözümünden elde edilen mutlak hata değerleri.

x	PSO Çözümü	GMO Çözümü
0.000	1.110×10^{-16}	1.110×10^{-16}
0.010	8.245×10^{-3}	6.359×10^{-4}
0.020	1.615×10^{-2}	1.133×10^{-3}
0.030	2.373×10^{-2}	1.497×10^{-3}
0.040	3.099×10^{-2}	1.737×10^{-3}
0.050	3.794×10^{-2}	1.860×10^{-3}
0.060	4.458×10^{-2}	1.870×10^{-3}
0.070	5.0933×10^{-2}	1.775×10^{-3}
0.080	5.699×10^{-2}	1.581×10^{-3}
0.090	6.277×10^{-2}	1.294×10^{-3}
0.100	6.827×10^{-2}	9.193×10^{-4}
0.150	9.194×10^{-2}	2.086×10^{-3}
0.200	1.097×10^{-1}	6.543×10^{-3}
0.250	1.223×10^{-1}	1.193×10^{-2}
0.300	1.304×10^{-1}	1.780×10^{-2}

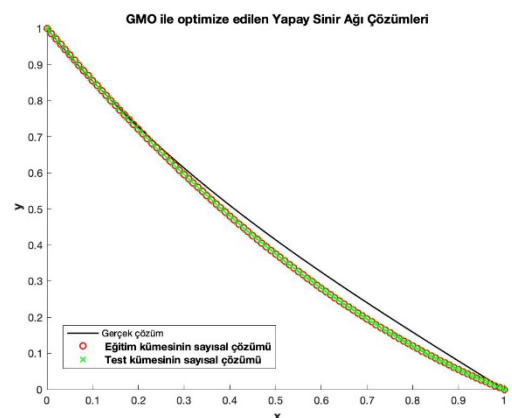
0.350	1.345×10^{-1}	2.378×10^{-2}
0.400	1.352×10^{-1}	2.953×10^{-2}
0.450	1.327×10^{-1}	3.476×10^{-2}
0.500	1.277×10^{-1}	3.921×10^{-2}
0.550	1.204×10^{-1}	4.267×10^{-2}
0.600	1.112×10^{-1}	4.492×10^{-2}
0.650	1.003×10^{-1}	4.578×10^{-2}
0.700	8.821×10^{-2}	4.508×10^{-2}
0.750	7.495×10^{-2}	4.266×10^{-2}
0.800	6.084×10^{-2}	3.838×10^{-2}
0.850	4.610×10^{-2}	3.211×10^{-2}
0.900	3.093×10^{-2}	2.370×10^{-2}
0.950	1.550×10^{-2}	1.304×10^{-2}
1.000	0.000	0.000

Çizelge 6: Örnek 2'nin test kümesindeki bazı noktalar için nümerik çözümünden elde edilen mutlak hata değerleri.

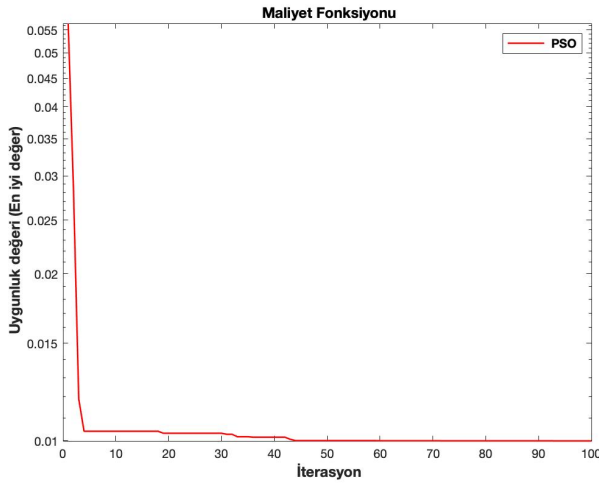
x	PSO Çözümü	GMO Çözümü
0.000	1.110×10^{-16}	1.110×10^{-16}
0.005	4.165×10^{-3}	3.358×10^{-4}
0.015	1.224×10^{-2}	9.012×10^{-4}
0.025	1.998×10^{-2}	1.331×10^{-3}
0.035	2.740×10^{-2}	1.633×10^{-3}
0.045	3.450×10^{-2}	1.813×10^{-3}
0.055	4.130×10^{-2}	1.878×10^{-3}
0.065	4.779×10^{-2}	1.835×10^{-3}
0.075	5.399×10^{-2}	1.690×10^{-3}
0.085	5.991×10^{-2}	1.449×10^{-3}
0.095	6.556×10^{-2}	1.117×10^{-4}
0.105	7.093×10^{-2}	7.007×10^{-3}
0.205	1.112×10^{-1}	7.047×10^{-3}
0.255	1.233×10^{-1}	1.250×10^{-2}
0.305	1.310×10^{-1}	1.840×10^{-2}
0.355	1.347×10^{-1}	2.437×10^{-2}
0.405	1.350×10^{-1}	3.008×10^{-2}
0.455	1.324×10^{-1}	3.524×10^{-2}
0.505	1.271×10^{-1}	3.961×10^{-2}
0.555	1.196×10^{-1}	4.295×10^{-2}
0.605	1.102×10^{-1}	4.507×10^{-2}
0.655	9.922×10^{-2}	4.578×10^{-2}
0.705	8.693×10^{-2}	4.492×10^{-2}
0.755	7.357×10^{-2}	4.232×10^{-2}
0.805	5.939×10^{-2}	3.785×10^{-2}
0.855	4.460×10^{-2}	3.137×10^{-2}
0.905	2.939×10^{-2}	2.274×10^{-2}
0.955	1.395×10^{-2}	1.185×10^{-2}
1.000	0.000	0.000



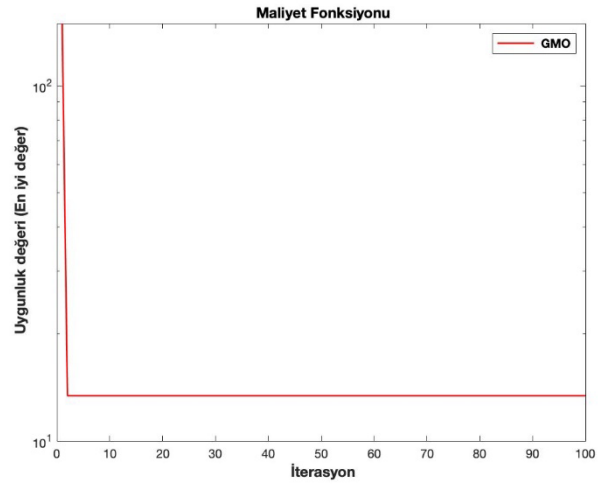
Şekil 5: Örnek 2 için PSO kullanılarak elde edilen yaklaşık çözüm grafiği



Şekil 6: Örnek 2 için GMO kullanılarak elde edilen yaklaşık çözüm grafiği



Şekil 7: Örnek 2 için PSO kullanılarak elde edilen iterasyona bağlı maliyet fonksiyonu grafiği



Şekil 8: Örnek 2 için GMO kullanılarak elde edilen iterasyona bağlı maliyet fonksiyonu grafiği

Çizelge 7: Örnek 1'in eğitim ve test kümesi için elde edilen ortalama karesel hata değerleri ve saniye cinsinden eğitim ve test süreleri için geçen süreler.

	PSO	GMO
Eğitim Kümesi için MSE	$9.321 \times 10^{-3} \pm 8.542 \times 10^{-5}$	$3.897 \times 10^{-3} \pm 0.000$
Test Kümesi için MSE	$9.230 \times 10^{-3} \pm 8.459 \times 10^{-5}$	$3.927 \times 10^{-3} \pm 0.000$
Modelin Eğitim Süresi	4.633± 2.221	$8.647 \times 10^1 \pm 2.846$
Modelin Test Süresi	$2.818 \times 10^{-4} \pm 2.385 \times 10^{-4}$	$7.941 \times 10^{-3} \pm 6.616 \times 10^{-4}$

4. SONUÇ

Bu çalışmada optimizasyon algoritmalarından GMO algoritması ile Dirichlet koşulu içeren diferansiyel denklemlerin nümerik çözümleri elde edilmiştir. Bu amaçla tek ara katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli kullanılarak ara katmanda 10 nöron öncelikle sınır koşullarını sağlayabilmesi için ön eğitimden geçirilmiştir. Eğitim aşamasında Levenberg Marquat metodu kullanılmıştır. Daha sonra GMO algoritması kullanılarak maliyet fonksiyonu minimize edilerek ağırlık ve eşik değerleri güncellenmiştir. GMO algoritmasının performansını incelemek amacıyla literatürde sıklıkla kullanılan PSO algoritması ile karşılaştırılmıştır.

Elde edilen nümerik çözümlere göre, GMO algoritmasının Dirichlet koşullu diferansiyel denklemlerin nümerik çözümü için alternatif bir optimizasyon algoritması olduğu sonucuna varılmıştır. Lineer ve lineer olmayan tipteki Dirichlet koşullu diferansiyel denklem için PSO algoritmasının zaman analizine göre GMO algoritmasından daha hızlı sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak GMO algoritmasının lineer olmayan tipteki denklem için analitik çözüme daha yakın bir çözüm elde edildiği görülmektedir.

GMO algoritmasının PSO'ya yakın sonuçlar vermesine ek olarak, literatürde var olan optimizasyon algoritmalarındaki stratejiler kullanılarak GMO algoritmasının performansının

daha da iyileştirilmesi sağlanabilir. Bu stratejilere örnek olarak Sobol, Halton, Hammersley ve Latin hiperküp gibi farklı dağıtım algoritmaları kullanarak ilk popülasyonu oluşturma işlemi ile rastgele fakat dengeli popülasyon oluşturulması verilebilir (Sirsant ve Reddy, 2022; Ahmad ve Rauf, 2021; Navarro vd., 2022). Popülasyon oluşturma kısmında yapılabilecek değişikliğe ek olarak anlık en iyi seçim (greedy selection) kullanılarak yerel olarak en iyi olan seçeneği tercih edilebilir ve bu seçimler sonucunda global olarak en iyi çözüme ulaşmak hedeflenebilir (Liu ve Qin, 2020). Ayrıca algoritmanın en iyi çözümlerini kaybetmeden ilerlemesi ve daha hızlı bir şekilde yakınsamaya ulaşması hedeflenen elitizm prensibi de GMO algoritması için uygulanabilir (Huang ve Li, 2020). Dinamik popülasyon yaklaşımı da diğer bir alternatif olarak düşünülebilir (Li vd., 2021). Kendinden öğrenme stratejisi (Self-learning strategy) ile algoritmanın kendi performansını iyileştirmek için önceki deneyimlerinden öğrenmesini ve bu deneyimlerden faydalanarak daha iyi sonuçlar elde etmesini sağlayan yöntem GMO için tercih edilebilir (Deng vd., 2024). Buna ek olarak, GMO algoritması için karşıtlık temelli öğrenme (Opposition-Based Learning) tekniği ile bir çözümün karşıt değerini hesaplayarak arama alanını daha etkin bir şekilde taramayı amaçlayan bir yaklaşım denenebilir (Huang ve Li, 2020; Chen vd., 2022; Alomoush vd., 2019). GMO algoritmasının keşif yeteneğini arttırmak için ise, bölgesel hakimiyet

politikası (Regional domination policy) uygulanabilir (Günel vd., 2018; Günel vd., 2020). Ayrıca Lévy uçuşu (Lévy flight) ile yerel optimal çözümlerden kaçabilmesini ve popülasyon arama alanını genişletebilmesi amacıyla GMO algoritması için iyileştirme düşünülebilir. Bahsedilen stratejiler ile sınırlı olmamakla beraber farklı yaklaşımlar tercih edilebilir.

Çalışmada kullanılan kodlara şu adresten erişilebilir: <https://github.com/iclalgor/GMO-Solutions-of-a-Class-of-DEs-with-DBCs/tree/main>

KAYNAKÇA

- Ahmad, J. ve Rauf, H. T. (2021). Comparison of Different Bat Initialization Techniques for Global Optimization Problems. *International Journal of Applied Metaheuristic Computing*, 12-1. doi: [10.4018/IJAMC.2021010109](https://doi.org/10.4018/IJAMC.2021010109)
- Alomoush A. A., Alsewari. A. A., Alamri, H.S., Zamli, K. Z., Alomoush, W. ve Younis. M. I. (2019). Modified Opposition Based Learning to Improve Harmony Search Variants Exploration. In: Saeed, F., Mohammed, F., Gazem, N. (eds) *Emerging Trends in Intelligent Computing and Informatics. IRICT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1073. Springer, Cham. doi: [10.1007/978-3-030-33582-3_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33582-3_27)
- Chen, J., He, M. ve Huang, Y. (2020). A fast multiscale Galerkin method for solving second order linear Fredholm integro-differential equation with Dirichlet boundary conditions. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 364, 112352. doi: [10.1016/j.cam.2019.112352](https://doi.org/10.1016/j.cam.2019.112352)
- Chen, D., Liu, J., Yao, C., Zhang, Z. ve Du, X. (2022). Multi-strategy improved salp swarm algorithm and its application in reliability optimization, *Mathematical Biosciences and Engineering*. 19(5): 5269–5292. doi: [10.3934/mbe.2022247](https://doi.org/10.3934/mbe.2022247)
- Cheng, C. ve Zhang, G.T. (2021). Deep Learning Method Based on Physics Informed Neural Network with Resnet Block for Solving Fluid Flow Problems. *Water*, 13, 423. doi: [10.3390/w13040423](https://doi.org/10.3390/w13040423)
- Deng, X., He, D. ve Qu, L.. (2024). A Multi-strategy Enhanced Arithmetic Optimization Algorithm and Its Application in Path Planning of Mobile Robots. *Neural Processing Letters*, 56:18. doi: [10.1007/s11063-024-11467-6](https://doi.org/10.1007/s11063-024-11467-6)
- Fang, J., Liu, C., Simos, T. E., Famelis, I. T. (2020). Neural Network Solution of Single-Delay Differential Equations. *Mediterranean Journal of Mathematics*, 5-15. doi: [10.1007/s00009-019-1452-5](https://doi.org/10.1007/s00009-019-1452-5)
- Gör, I. (2020). *Diferansiyel Denklemlerin Yapay Sinir Ağları ile Nümerik Çözümleri*. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- Graef, J. R., Heidarkhani, S., Kong, L. (2018), Existence of Solutions to An Impulsive Dirichlet Boundary Value Problem, *Fixed Point Theory*, 19, 1: 225-234. doi: [10.24193/fpt-ro.2018.1.18](https://doi.org/10.24193/fpt-ro.2018.1.18)
- Günel, K., Gör, İ. ve Tekeli, K. (2020). ICA-RD: The Regional Domination Policy for Imperialist Competitive Algorithm from Imperialism to Internationalism. *Arab Journal for Science and Engineering*, 45, 10529–10589. doi: [10.1007/s13369-020-04787-x](https://doi.org/10.1007/s13369-020-04787-x)
- Günel, K., Isman, G. ve Kocakula, M. (2018). Simple recurrent neural networks for the numerical solutions of ODEs with Dirichlet boundary conditions, *J. BAUN Inst. Sci. Technol.*, 20(3) Special Issue, 143-153. doi: [10.25092/baunfbcd.483922](https://doi.org/10.25092/baunfbcd.483922)
- Günel, K. ve Gör, I. (2022). Solving Dirichlet boundary problems for ODEs via swarm intelligence. *Mathematical Sciences*. 16:325–341. doi: [10.1007/s40096-021-00424-2](https://doi.org/10.1007/s40096-021-00424-2)
- Huang, Z. S. ve Li, W.-L. (2020). Novel Multi-Strategy Enhanced Whale Optimization Algorithm. 2nd IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering 2020. ISBN: 978-1-7281-8060-1. doi: [10.1109/ECICE50847.2020.9301990](https://doi.org/10.1109/ECICE50847.2020.9301990)
- Khan, I., Raja, M. A. Z., Shoaib, M., Kumam, P., Alrabaiah, H., Shah, Z. ve Islam, S. (2020). Design of Neural Network with Levenberg-Marquardt and Bayesian Regularization Backpropagation for Solving Pantograph Delay Differential Equations. *IEEE Access*. 8: 137918-137933 doi: [10.1109/ACCESS.2020.3011820](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3011820)
- Kowalski, P. (2013). Dirichlet boundary value problem for Duffing's equation. *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*. 37, 1-10. doi: [10.14232/ejqtde.2013.1.37](https://doi.org/10.14232/ejqtde.2013.1.37)
- Li, K., Fu, X., Wang, F. ve Jalil, H. (2021). Survey of Lévy Flight-Based Metaheuristics for Optimization. *Mathematics*. 10(15), 2785. doi: [10.3390/math10152785](https://doi.org/10.3390/math10152785)
- Li, K., An, Q., Deng, Q. ve Wang, G-G. (2022). A dynamic population reduction differential evolution algorithm combining linear and nonlinear strategy piecewise functions. *Concurrency Computat Pract Exper*. 34, 6773. doi: [10.1002/cpe.6773](https://doi.org/10.1002/cpe.6773)
- Liu, M. Peng, W., Hou, M. ve Tian, Z. (2023). Radial basis function neural network with extreme learning machine algorithm for solving ordinary differential equations. *Soft Computing*, 27:3955–3964. doi: [10.1007/s00500-022-07529-3](https://doi.org/10.1007/s00500-022-07529-3)
- Liu, X. ve Qin, X. (2020). A probability-based core dandelion guided dandelion algorithm and application to traffic flow prediction. *Engineering*

- Applications of Artificial Intelligence*, 96: 103922. doi: [10.1016/j.engappai.2020.103922](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103922)
- Malek, A. ve Beidokhti, R. S. (2006). Numerical solution for high order differential equations using a hybrid neural network Optimization method. *Applied Mathematics and Computation*. 183, 260-271. doi: [10.1016/j.amc.2006.05.068](https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.05.068)
- Navarro, M. A., Oliva, D. Ramos-Michel, A., Morales-Castañeda, B., Zaldívar, D. ve Luque-Chang, A. (2022). A Review of the Use of Quasi-random Number Generators to Initialize the Population in Meta-heuristic Algorithms. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 29:5149–5184. doi: [10.1007/s11831-022-09759-y](https://doi.org/10.1007/s11831-022-09759-y)
- Panghal, S. ve Kumar, M. (2022). Neural network method: delay and system of delay differential equations. *Engineering with Computers* 38 (Suppl 3):S2423–S2432. doi: [10.1007/s00366-021-01373-z](https://doi.org/10.1007/s00366-021-01373-z)
- Rezaei, F., Safavi, H. R., Elaziz, M. A. ve Mirjalili, S. (2023). GMO: geometric mean optimizer for solving engineering problems. *Soft Computing*. 27(15):10571–10606. doi: [10.1007/s00500-023-08202-z](https://doi.org/10.1007/s00500-023-08202-z)
- Sabir, Z., Wahab, H. A., Umar, M., Sakar, M. G. ve Raja, M. A. Z. (2020). Novel design of Morlet wavelet neural network for solving second order Lane–Emden equation. *Mathematics and Computers in Simulation*, 172, 1–14. doi: [10.1016/j.matcom.2020.01.005](https://doi.org/10.1016/j.matcom.2020.01.005)
- Sabir, Z., Umar, M., Guirao, J. L. G., Shoaib, M. ve Raja, M. A. Z (2021). Integrated intelligent computing paradigm for nonlinear multi- singular third-order Emden–Fowler equation. *Neural Computing and Applications*, 33:3417–3436. doi: [10.1007/s00521-020-05187-w](https://doi.org/10.1007/s00521-020-05187-w)
- Sheng, Y. Zhang, H. ve Zeng, Z. (2018). Stability and Robust Stability of Stochastic Reaction–Diffusion Neural Networks With Infinite Discrete and Distributed Delays. *IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 50(5): 1721-1732. doi: [10.1109/TSMC.2017.2783905](https://doi.org/10.1109/TSMC.2017.2783905)
- Sirsant, S.ve Reddy, M. J. (2022). Improved MOSADE algorithm incorporating Sobol sequences for multi-objective design of Water Distribution Networks. *Applied Soft Computing*. 120. 108682. doi: [10.1016/j.asoc.2022.108682](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108682)
- Sousa, J.V.d.C., Nyamoradi, N. ve Lamine, M. (2022). Nehari manifold and fractional Dirichlet boundary value problem. *Anal.Math.Phys.* 12, 143. doi: [10.1007/s13324-022-00754-x](https://doi.org/10.1007/s13324-022-00754-x)
- Wu, M., Zhang, J., Huang, Z., Li, X. ve Dong, Y. (2021). Numerical solutions of wavelet neural networks for fractional differential equations. *Math Meth Appl Sci.* 2023;46:3031–3044. doi: [10.1002/mma.7449](https://doi.org/10.1002/mma.7449)
- Zhang, Z., Cai, Y. ve Zhang, D. (2020). Solving Ordinary Differential Equations with Adaptive Differential Evolution. *IEEE Access*, 8: 128908 - 128922. doi: [10.1109/ACCESS.2020.3008823](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008823).
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*. 8(3):338–353. doi: [10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)



Periyodik Sınır Değer Problemlerinin Artık Sinir Ağı Çözümleri için Optimizasyon Yöntemleri Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma

Gülsüm İŞMAN^{1,*} , Korhan GÜNEL² 

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, 09010, Aydın, Türkiye

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 09010, Aydın, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Makale Gönderim 01/07/2024

Kabul 01/07/2024

Anahtar Sözcükler:

Yapay Sinir Ağları

Derin Öğrenme

Diferansiyel Denklemler

Optimizasyon

Periyodik Sınır Koşulları

ÖZET

Bu makale, periyodik sınır koşullarına sahip ikinci mertebeden diferansiyel denklemlerin çözümünde artık sinir ağlarının kullanımını araştırmaktadır. Çalışmada, adi diferansiyel denklemler için mevcut nümerik tekniklerden bahsedildikten sonra, verilen denklemlerin artık sinir ağları (ResNet) ile yaklaşık çözümleri elde edilmiştir. Bu süreçte oluşturulan artık sinir modelinin eğitimi aşamasında, derin öğrenmede sıklıkla kullanılan ve türev tabanlı optimizasyon algoritmalarından olan AdaDelta, Adam, Nesterov Momentum ve Gradient Descent gibi yöntemleri kullanarak çözüme olan etkilerini incelemek için toplam karesel hata (SSE) metriklerine odaklanan deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bulgularımız, önerilen derin öğrenme modelinin nümerik analizde kullanılan geleneksel sayısal çözüm yöntemlerine karşı etkili bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

1. GİRİŞ

Bu çalışma; reaksiyon-difüzyon problemleri (Wang vd., 2007) veya Güney Okyanusu'nda Antarktika Çevresel Akım olarak bilinen sıvı akışı problemi (Wang vd., 2021) gibi gerçek dünya problemlerini modellemek için kullanılan, analiz ve sayısal çözümleme alanlarında çalışan araştırmacıların ilgi konularından biri olan periyodik sınır değer koşullu adi diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümlerinin elde edilebilmesi için makine öğrenmesi modelleri kullanılmıştır. Diferansiyel denklemlerin sayısal çözümlerini elde etmek amacıyla Yapay Sinir Ağlarının (YSA) kullanılması, geleneksel nümerik yöntemlere göre çok sayıda avantaj sunar. Kısaca özetlemek gerekirse; yapay Sinir Ağları (YSA), karmaşık diferansiyel denklemlerin çözümleri de dahil olmak üzere fonksiyonlara yaklaşıma olanak tanıyan bir esnekliğe sahiptirler. Eğitim verilerinden çıkarım yaparak yeni, gözlemlenmemiş veri noktaları için hemen hemen kesin çözümler üretebilirler. Dolayısıyla özellikle kapalı formda verilen karmaşık ve doğrusal olmayan diferansiyel denklemleri çözmede avantaj sağlarlar.

Ayrıca klasik nümerik yöntemler, tanım uzayı boyutunun yüksek olduğu diferansiyel denklemleri çözerken sıklıkla zorluklarla karşılaşır. YSA modellerinin topolojisindeki esneklik ve derinlik bu tip problemlerin çözümünde kolaylık sağlayabilir. Üstelik paralel programlama yöntemleri ile eğitilebildiklerinden klasik sayısal yöntemlere kıyasla daha hızlı çözüm üretebilirler.

YSA modellerinin sunduğu bir diğer avantaj ise sonlu elemanlar ve sonlu farklar gibi klasik nümerik yöntemler, problemin tanım bölgesinin ayrıklaştırılarak bir ızgara oluşturmasını gerektirir. Üstelik nümerik çözümler sadece ızgaranın düğüm noktalarında elde edilebilir. Bunun aksine, YSA'lar ızgara oluşturma ihtiyacını ortadan kaldırır, ön işleme süresini azaltır, tanım bölgesinin her noktasında yaklaşık çözüm üretebilir.

Ek olarak model, eğitim süreci sırasında verilerden uyarlanabilir bir şekilde öğrenebilmelidir. Böylelikle keyfi parametre ve sabit adım boyutlarının manuel olarak ayarlanmasını gerektirebilen klasik yöntemlerin aksine, uyarlanabilir parametre

yaklaşımlarıyla nümerik metottan kaynaklı hatayı daha çok minimize edebilirler.

Periyodik sınır koşullarına sahip diferansiyel denklemlerin çözümlerini elde etmede kullanılan ve literatürde sıklıkla karşılaşılan klasik nümerik yöntemler kabaca sınıflandırıldığında, öne çıkan ilk yöntem olan Sonlu Farklar yönteminde, nümerik türevler sonlu farklarla ifade edilerek diferansiyel denklemin çözümleri oluşturulan ızgaradaki düğüm noktalarında sağlanır. Sonlu Elemanlar yönteminde ise karmaşık geometrik yapıya sahip tanım bölgesi daha küçük boyuttaki temel geometrik şekiller cinsinden parçalanıp çözüm elde edilmeye çalışılır. Geleneksel yöntemlerden periyodik sınır değer problemleri için en uygun yöntemlerden olan Spektral veya Galerkin yöntemlerinde çözüm fonksiyonu ağırlıklı olarak trigonometrik fonksiyonları baz fonksiyon olarak kullanarak çözüm fonksiyonuna yaklaşıma çalışır. Fourier serileri yaklaşımında olduğu gibi baz fonksiyonların periyodik karakteristiğe sahip baz fonksiyonların kullanımı çözüme yakınsamayı nispeten kolaylaştırır. Spektral yöntemlerin bir alt kümesi olan Pseudospectral Yöntemler ise genellikle Fourier dönüşümleri veya Chebyshev polinomlarını baz fonksiyon olarak kullanırlar. Diferansiyel denklemlerin makine öğrenmesi yaklaşımlarıyla çözülmesi literatürdeki yeni bir fikir değildir (Günel, ve Gör, 2022). Özel olarak periyodik sınır değer koşullarına sahip diferansiyel denklemlerin sinir ağı çözümleri üzerine çalışılmamıştır. Lakshmikantham (1989)'ın çalışması, periyodik sınır değer problemleri alanında literatüre öncü bir katkı sağlamıştır. Bu çalışmada yazar, alt ve üst çözüm kavramlarından yararlanarak periyodik sınır değer problemleri bağlamında ikinci mertebeden adi diferansiyel denklemler için temel sonuçlar ortaya koymuştur. Ayrıca yazar çözülmemiş soruları tanımlayarak sonraki araştırma çabalarına ilham vermiştir. Çalışmasının ardından araştırmacılar, bu dar kapsamlı ve henüz yeterince olgunlaşmamış problem üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Problemin yarattığı zorluğun temel nedeni, verilen periyodik sınır koşulları nedeniyle, çözümlerin düzenli aralıklarla tekrarlanmasını gerektirmesidir. Bu gereklilik, hem çözüm fonksiyonunun hem de türevlerinin sürekliliğin korunmasını zorunlu kıldığından çözüm varlık ve tekliliğinin gösterilmesini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla literatürdeki çalışmalar, ağırlıklı olarak Tanım 1 ile genel hali tanımlanan periyodik sınır değer problemlerinin belli bir sınıfını kapsar. Bu çalışmada ise, diferansiyel denklemlerin özel bir sınıfı olan ve Tanım 1 ile ifade edilen periyodik sınır koşullarına sahip diferansiyel

denklemlerin nümerik çözümleri elde edilmeye çalışılmıştır.

Tanım 1. $t \in \Omega \subset \mathbb{R}$ bağımsız değişken, u , x değişkenine bağımlı bilinmeyen fonksiyon $f: \Omega \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ bir Carathéodory fonksiyonu olsun.

$$\begin{cases} u''(x) = f(x, u(x), u'(x)), x \in \Omega = [a, b] \\ u(a) = u(b), \\ u'(a) = u'(b) \end{cases} \quad (1)$$

eşitlikleri tanımlı denkleme 2. mertebeden periyodik sınır koşullu adi diferansiyel denklem denir.

Lakshmikantham (1989), (1) eşitliğinin bir özel formu olarak $f \in C[\Omega \times \mathbb{R}, \mathbb{R}]$ olmak üzere $\Omega = [0, 2\pi]$ için,

$$\begin{cases} -u'' = f(x, u), x \in \Omega = [0, 2\pi] \\ u(0) = u(2\pi), \\ u'(0) = u'(2\pi) \end{cases} \quad (2)$$

biçimindeki ikinci mertebeden periyodik sınır değer koşullu diferansiyel denklemlerin çözümlerinin varlığı üzerine çalışmıştır.

Hu ve Lakshmikantham (1989) bu araştırmayı, birçok gerçek dünya uygulamasında evrimsel süreçlerin karakteristiği olan dürtüsel etkileri içeren birinci mertebeden diferansiyel denklemler için periyodik sınır değer problemlerini kapsayacak şekilde genişletmiştir. Nieto (2002), birinci mertebeden doğrusal olmayan impulsif diferansiyel denklemler için periyodik sınır değer problemlerinin çözülebilirliğini araştırmıştır. He ve He (2004) yılında monoton iteratif yaklaşımı kullanarak birinci mertebeden impulsif integro-diferansiyel denklemler için doğrusal periyodik sınır değer problemlerinin minimum ve maksimum çözümlerini araştırmışlardır. Ardından Liu (2007), birden fazla pozitif çözüme sahip birinci dereceden periyodik sınır değer problemlerinin varlığını göstermek için Leggett-Williams teoremini ve sabit nokta teoremini koni genişlemesi ve sıkıştırmasını birlikte kullanmıştır. Ayrıca, Geng vd. (2008) zaman skalasında birinci mertebeden periyodik sınır değer problemleri için klasik alt ve üst çözüm yaklaşımını genişletmişlerdir.

Takip eden yıllarda araştırmacılar problemin kapsamını ikinci mertebeye genişletti. Taddei ve Zanolin (2007), Mawhin'in süreklilik ilkesini kullanarak doğrusal olmayan ikinci mertebeden periyodik sınır değeri problemlerine başarılı bir şekilde çözümler türetmiştir. Graef vd. (2008), ikinci mertebeden periyodik sınır değeri problemleri için Green fonksiyonuna güvenmeden negatif olmayan çözümler gösterdiler. Agarwal vd. (2010) sabit nokta teorisini kullanarak ikinci mertebeden periyodik sınır değeri problemlerine pozitif çözümler belirlemiştir.

Fu ve Wang (2010) ve Wang vd. (2011) bu tür problemlerin çözümünü açıklamak için üst ve alt çözüm yöntemini vurgulamışlardır. Zhao vd. (2014), dürtülerle ikinci mertebeden periyodik sınır değeri problemleri için çoklu pozitif çözümler gösterdiler. El-Sayed ve Gaafar (2018), periyodik sapsmalara sahip çok noktali sınır koşullari, periyodik integral sınır koşullari ve periyodik yerel olmayan integral koşullari dahil olmak üzere üç tür sınır koşulu için çözümler oluşturmuşlardır.

Literatürde, yüksek mertebeden periyodik sınır değer problemleri ile ilgili çalışmalar da bulunmaktadır (Aftabizadeh, Xu ve Gupta, 1990; Omari ve Trombetta, 1992; Cabada, 1995; Kong vd., 2001; Sun ve Liu, 2005; Chu ve Zhou, 2006; Baslandze ve Kiguradze, 2006; Mukhigulashvili, 2007; Hall, 2008; Yu ve Pei, 2010). Ancak bu tip problemler mertebe düşürme yöntemi kullanılarak rahatlıkla diferansiyel denklem sistemine dönüştürülebileceğinden bu çalışmanın ilgi alanına girmemektedir. Ayrıca, son yıllarda kısmi türevli diferansiyel denklem üzerinde periyodik sınır değer problemleri üzerinde çalışma eğilimi olmuştur (Bikchantaev, 2020; Kulikov ve Kulikov, 2021).

(1) ve (2) eşitlikleri ile verilen formdaki periyodik sınır değer problemlerinin nümerik çözümlerinin elde edildiği bu çalışmanın 2. Bölümünde; denklemi bir makine öğrenmesi modeli ile çözmek için gerekli sınır koşullarını sağlayan deneme fonksiyonu fonksiyonunun nasıl üretildiğinden bahsedilecek ve çalışmada tercih edilen Artık Yapay Sınır Ağının en iyileştirilmesi için literatürde kullanılan türev tabanlı optimizasyon algoritmalarından kısaca bahsedilecektir. Bölüm 3 ile çalışmada çözümü gerçekleştirilen örneklere ve deneysel çalışmalardan elde edilen bulgulara yer verilecektir. Bölüm 4 kullanılan yöntemlerin karşılaştırılmalarından elde edilen bulguların tartışıldığı ve yorumlandığı sonuç bölümüdür. Bu bölümde ayrıca bazı açık problemlere değinilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde Dirichlet koşulu sağlayan diferansiyel denklemlerin çözümü için bilinen optimizasyon algoritmalarından GMO algoritması anlatılacaktır.

2.1. Hermite Interpolasyonu ile Deneme Fonksiyonu Formunun Belirlenmesi

Hermite interpolasyonu, $i = 0, 1, \dots, n$ için $x_i \in [a, b]$ noktaları için x_i noktalarında bilinmeyen bir f fonksiyonunun değerlerini ve bu noktalardaki türev değerlerini kullanarak f fonksiyonunu yaklaşık olarak temsil etmek için kullanılan bir interpolasyon yöntemidir ve genel olarak $\forall x \in [a, b]$ için $f(x) \cong H(x)$ olacak şekilde Hermite interpolasyon polinomu $H(x)$, (3) denklemi ile tanımlanır.

$$H(x) = \sum_{i=0}^n [h_i(x)f(x_i) + k_i(x)f'(x_i)] \quad (3)$$

Eşitlik (3) ile görüldüğü üzere interpolasyon polinomu tanımlı $h_i(x)$ ve $k_i(x)$ Hermite baz fonksiyonlarının lineer bileşimlerinin toplamı olarak ifade edilebilir ve bahsi geçen baz fonksiyonları (1) denklemine verilen sınır koşulları kullanılarak Bölünmüş Farklar tablosuyla belirlenebilir. Bu amaçla,

$$u(a) = u(b) = A \text{ ve } u'(a) = u'(b) = B$$

periyodik sınır koşullarına sahip ikinci mertebeden adi diferansiyel denklem için öncelikle kuadratür düğümlerini $x_0 = a$ ve $x_1 = b$ olarak belirledikten sonra

$$z_0 = z_1 = x_0 \text{ ve } z_2 = z_3 = x_1$$

noktalarından oluşan yeni kuadratür kümesi oluşturulur. Ardından $i = 0, 1, \dots, n$ için 0. dereceden bölünmüş farklar $f[z_i] = f(z_i)$ ve 1. dereceden bölünmüş farklar ise (4) eşitliği ile tanımlanır.

$$f[z_i, z_{i+1}] = \begin{cases} f'(z_i), & z_{i+1} = z_i \text{ ise} \\ \frac{f(z_{i+1}) - f(z_i)}{z_{i+1} - z_i}, & \text{Aksi halde} \end{cases} \quad (4)$$

Çizelge 1: İkinci mertebeden periyodik sınır koşullu adi diferansiyel denklem için Bölünmüş Farklar tablosu.

i	z_i	$u[z_i]$	$u[z_i, z_{i+1}]$	$u[z_i, z_{i+1}, z_{i+2}]$	$u[z_i, z_{i+1}, z_{i+2}, z_{i+3}]$
0	a	A	B	$\frac{-B}{b-a}$	$\frac{2B}{(b-a)^2}$
1	a	A	0	$\frac{B}{b-a}$	
2	b	A	B		
3	b	A			

En genel haliyle, $m \in \mathbb{Z}^+$ için $\forall x_i$ noktası için $z_{i,m} = z_{i,m+1} = \dots = z_{(i+1),m-1} = x_i$ olacak şekilde

yeni kuadratür düğümleri kümesi oluşturulur ve m . dereceden bölünmüş farklar ise (5) eşitliği ile

tanımlanır.

$$f[z_i, \dots, z_{i+m}] = \begin{cases} \frac{f^{(m)}(z_0)}{m!}, & i = 0 \text{ ise} \\ \frac{f[z_{i+1}, \dots, z_{i+m}] - f[z_i, \dots, z_{i+m-1}]}{z_{i+m} - z_i}, & \text{Aksi halde} \end{cases} \quad (5)$$

Ardından bölünmüş farklar tablosu kullanılarak Hermite interpolasyon polinomu (6) denklemi tanımlandığı haliyle inşa edilebilir.

$$H(z) = \sum_{i=0}^n \{f[z_0, \dots, z_i] \cdot \prod_{j=0}^{i-1} (z - z_j)\} \quad (6)$$

(1) denkleminde verilen sınır koşulları ve (5) eşitliği ile tanımlı bölünmüş farklar kullanılarak Çizelge 1'de verilen bölünmüş farklar tablosu oluşturulur.

Bu durumda Çizelge 1 ve (6) denklemi kullanılarak (1) eşitliği ile tanımlı periyodik sınır değer problemi için Hermite interpolasyon polinomu (7) eşitliği ile ifade edilir.

$$H(z) = A + B(z - a) - \frac{B}{b - a}(z - a)^2 + \frac{2B}{(b - a)^2}(z - a)^2(x - b) \quad (7)$$

Eşitlik (7) ile tanımlı Hermite interpolasyon polinomunun ilgili problemin tüm sınır koşullarını sağladığı rahatlıkla görülebilir ve dolayısıyla makine öğrenmesi modeline bağımlı ve sınır koşullarını sağlayan deneme çözümü fonksiyonu $u_T(x)$ in formasyonu (8) denklemi ile tanımlanır.

$$u_T(x) = H(x) + \frac{1}{2}(x - a)^2(x - b)^2 \cdot \text{model}(x, \mathbf{W}) \quad (8)$$

Özel olarak (2) denklemi ile tanımlı sınır değer problemi için deneme çözümü formasyonu

$$u_T(x) = A + Bx - \frac{B}{2\pi}x^2 + \frac{B}{2\pi^2}x^2(x - 2\pi) + \frac{1}{2}x^2(x - 2\pi)^2 \cdot \text{model}(x, \mathbf{W})$$

haline dönüşür. (8) denkleminde $x \in \Omega$ makine öğrenmesi modelinin girdisi ve d modelin bilinmeyen parametre sayısına bağlı problem uzayı boyutunu temsil etmek üzere $\mathbf{W} \in [-1, 1]^d$ modelin bilinmeyen ağırlık ve eşik değerlerini temsil eden satır vektörüdür.

$\forall x \in \Omega$ için $u_T(x) \approx u(x)$ olacağından $e(x) = |u(x) - u_T(x)|$ mutlak hata miktarı elde edilir. Ancak gerçek çözüm fonksiyonu olan u bilinmediğinden ve deneme çözümünün (1) eşitliğini yaklaşık olarak sağlaması gerektiğinden, maliyet fonksiyonu olarak aralığın parçalanışından elde

edilen düğüm noktalarında (9) eşitliği ile verilen toplam karesel hata değeri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SSE(x, \mathbf{W}) = \sum_{x \in \Omega} \left(\frac{\partial^2 u_T}{\partial x^2} - f\left(x, u_T(x), \frac{\partial u_T}{\partial x}\right) \right)^2 \quad (9)$$

Dikkat edilirse (9) eşitliğinde tanımlı maliyet fonksiyonu, deneme çözümü fonksiyonunun x girdi değişkene göre birinci ve ikinci mertebeden türevlerinin hesaplanmasını gerektirir. Çalışmada bu türevler yeterince küçük bir $h > 0$ sabit adım uzunluğu için sırasıyla (10) ve (11) eşitliklerinde verildiği haliyle 2. mertebeden yakınsama sağlayan nümerik türev yaklaşımıyla hesaplanmıştır.

$$\frac{\partial u_T}{\partial x} = \frac{u_T(x+h) - u_T(x-h)}{2h} + \mathcal{O}(h^2) \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 u_T}{\partial x^2} = \frac{u_T(x+h) - 2u_T(x) + u_T(x-h)}{h^2} + \mathcal{O}(h^2) \quad (11)$$

Eşitlik (9)'dan görüleceği üzere maliyet fonksiyonu sadece girdi değişkenine bağlı değil aynı zamanda makine öğrenmesi modelinin bilinmeyen ağırlıkları ve eşik değerlerini içeren \mathbf{W} vektörüne bağlıdır. Dolayısıyla periyodik sınır değer problemini çözecek makine öğrenmesi modelini belirleme (12) denklemiyle belirlenen global optimizasyon problemine dönüşmüş olur.

$$\mathbf{W}^* = \underset{\mathbf{W} \in [-1, 1]^d}{\text{argmin}} \{E(x, \mathbf{W}) \mid x \in \Omega\} \quad (12)$$

Bu çalışmada, (8) denkleminde ifade edilen makine öğrenmesi modeli, $\text{model}(x, \mathbf{W})$ Artık Sinir Ağı (Residual Neural Network, ResNet) olarak belirlenmiştir. Daha farklı sinir ağı modellerinin seçimi uygundur ve farklı bir çalışmaya konu edilebilir. Mevcut çalışmamızda ResNet modelinin eğitiminde kullanılan türev tabanlı optimizasyon algoritmalarının çözüme olan etkisi araştırılmıştır. Her ne kadar farklı tipte sınıflandırma, tahminleme ve kümeleme problemleri için optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılmasını içeren araştırmalar (Akila ve Anitha, 2019; Tian, Zhang ve Zhang, 2023) mevcut olsa da çalışmada geçen problemin çözümü için bu tip bir inceleme yapılmamıştır. Çalışmada derin öğrenme modellerinin en iyileştirilmesinde sıklıkla kullanılan güncel optimizasyon yaklaşımlarından Gradyen Düşüm, Momentum, Nesterov Momentum, RMSProp, AdaDelta, AdaGrad, AdaMax ve Adam yöntemleri kullanılmıştır. Yöntemlerin tanımlarına ilgili literatür çalışmalarından erişilebilir (Kingma ve Ba, 2014; Fatima, 2020).

Takip eden bölümde (1) ve (2) ile tanımlı periyodik sınır değer problemlerine örnekler ve deneysel çalışmalardan elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada en basit haliyle önce (2) formundaki ikinci mertebeden lineer periyodik sınır değer problemine örnek verilmiştir. Ardından daha genel olarak (1) ile tanımlı lineer olmayan bir periyodik sınır değer problemi önerilen yöntemle çözülmüştür. Deneysel çalışmaların tümünde öncelikle $i = 0, 1, \dots, N = 15$ için olacak şekilde $x_i = \frac{i\pi}{8}$ olacak şekilde $[0, 2\pi]$ aralığının parçalanışı elde edilmiştir. Elde edilen 16 kuadratur düğümü ResNet modelinin eğitimi için kullanılmıştır. Test aşamasında ise aralık içinde rassal olarak üretilen noktalarda çözüm aranmıştır. Tüm örneklerde karşılaştırmanın daha sağlıklı yapılabilmesi için aynı ağ topolojisi ve parametre değerleri kullanılmıştır. ResNet modeli bir girdi, 5 ara katman ve 1 çıktı katmanından oluşur. Ara katmanların tümünde altışar proses elemanı kullanılmış ve modelin atlama indeksi 3 olarak belirlenmiştir. Böylelikle model toplamda 229 bağlantı içerir ve ağın proses elemanları arasındaki bu bağlantıların ağırlıklarını temsil eden satır vektörü $\mathbf{W} \in [-1, 1]^{229}$ olarak belirlenmiştir. Ağ katmanları arasında geçişi düzenleyen aktivasyon fonksiyonu ReLU (Rectified Linear Unit) olarak seçilmiştir.

Optimal \mathbf{W}^* vektörünün belirlenebilmesi için ağın eğitimine başlanmadan ilk değer ataması yapılır. Ağın çözüme yakınsadığını gösterebilmek için her defasında farklı başlangıç değerlerine sahip \mathbf{W} vektörleri kullanılarak işlem 10 kez tekrarlanmıştır. Ağın eğitim sürecinin sonunda elde edilen ve (9) eşitliği ile tanımlı maliyet fonksiyonu değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

Ağın eğitim aşamasında durma kriterleri olarak belirlenen maksimum iterasyon sayısı 1000, ardışık iki iterasyonda oluşan mutlak değer değişimi

Çizelge 2: (13) eşitliği ile tanımlı lineer periyodik sınır değer problemi için eğitim kümesindeki bazı noktalarda elde edilen mutlak hata miktarları.

x	Adam	AdaDelta	AdaGrad	AdaMax	Gradyan		Nesterov	
					Düşüm	Momentum	Momentum	RMSProp
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\pi/8$	0.191	1.872	6.584	0.198	0.621	0.000	0.000	0.285
$3\pi/8$	0.409	5.653	13.472	0.425	1.978	0.120	0.525	0.685
$5\pi/8$	0.335	9.135	14.143	0.352	3.393	1.304	1.695	0.768
$7\pi/8$	0.007	8.827	8.193	0.004	4.247	0.154	2.951	0.488
$9\pi/8$	0.347	3.725	0.259	0.335	4.071	0.009	3.743	0.090

tolerans değeri ve bağıl hata tolerans değeri 10^{-12} ile sınırlandırılmıştır. Ek olarak, (10) ve (11) eşitlikleri ile tanımlı nümerik türev hesaplamalarında sabit adım uzunluğu $h = 0.05$ olarak alınmıştır. Tüm bu kısıtlamalar altında, iki farklı periyodik sınır değer problemi için türev hesabı gerektiren sekiz farklı optimizasyon yönteminin karşılaştırılması yapılmıştır.

Örnek 1.

$$\begin{cases} -u'' = u, & x \in [0, 2\pi] \\ u(0) = u(2\pi) = 0, \\ u'(0) = u'(2\pi) = 1 \end{cases} \quad (13)$$

(13) denklemleri ile tanımlı periyodik sınır değer probleminin gerçek çözümünün $u = \sin(x)$ olduğu kolaylıkla gösterilebilir. Çizelge 2 ve Çizelge 3 ResNet ağının farklı optimizasyon yöntemi ile eğitimi sonucu elde edilen mutlak hata değerlerinin sonuçlarını göstermektedir. Çizelge 2 ile problemin tanım bölgesinin ayrıştırılmasından elde edilen eğitim kümesi içinde yer alan noktalarda oluşan mutlak hata değerleri listelenmiştir. Çizelge 3 ise $[0, 2\pi]$ aralığında rastgele üretilen noktalarda hesaplanan nümerik çözümlerde oluşan mutlak hata miktarlarını gösterir.

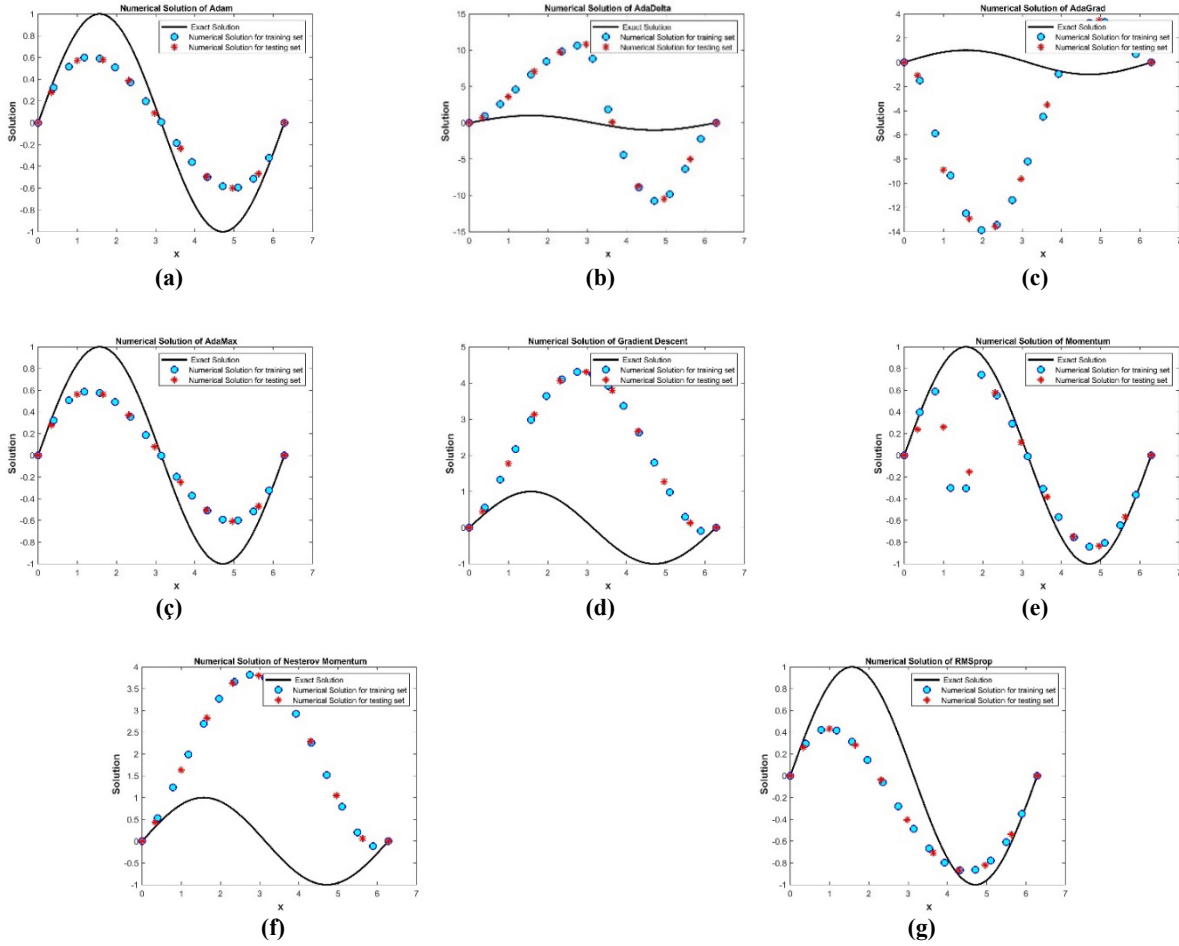
(13) ile tanımlı periyodik sınır değer problemi için önerilen yöntemden elde edilen yaklaşık çözüm grafikleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2, Çizelge 3 ile (13) denkleminin farklı başlangıç değerlerine sahip \mathbf{W} parametre vektörü ile oluşturulan ResNet ağının 10 kez çalıştırılması sonucu elde edilen en iyi sonuçlara dair mutlak hata değerleri ve Şekil 1'de ise nümerik çözüm grafikleri verilmiştir.

$11\pi/8$	0.417	9.757	4.255	0.408	2.800	0.137	3.629	0.137
$13\pi/8$	0.194	5.658	2.938	0.191	1.005	0.158	2.517	0.098
$15\pi/8$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0640	0.908	0.000
2π	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Çizelge 3: (13) eşitliği ile tanımlı lineer periyodik sınır değer problemi için bazı test noktalarında elde edilen mutlak hata miktarları

x	Gradyan				Nesterov			
	Adam	AdaDelta	AdaGrad	AdaMax	Düşüm	Momentum	Momentum	RMSProp
0.330	0.000	0.384	0.000	0.000	0.125	0.084	0.105	0.0640
0.992	0.044	2.784	1.390	0.046	0.936	0.576	0.793	0.404
1.653	0.266	6.065	9.712	0.275	2.135	1.147	1.832	0.713
2.314	0.419	8.987	13.912	0.434	3.328	0.158	2.892	0.774
2.976	0.351	10.638	14.300	0.364	4.141	0.045	3.640	0.567
3.637	0.082	0.549	9.803	0.086	4.272	0.093	3.793	0.230
4.299	0.234	7.798	3.044	0.230	3.588	0.166	3.212	0.051
4.960	0.416	9.502	2.566	0.412	2.242	0.136	2.019	0.149
5.621	0.365	4.361	4.434	0.363	0.750	0.047	0.678	0.078
6.283	0.147	0.000	2.352	0.146	0.000	0.000	0.000	0.000



Şekil 1: (13) eşitliği ile tanımlı periyodik sınır değer problemi için ResNet modelinin çözüm grafikleri (a) Adam, (b) AdaDelta, (c) AdaGrad, (ç) AdaMax, (d) Gradyan Düşüm, (e) Momentum, (f) Nesterov Momentum, (g) RMSProp

Örnek 2. İkinci mertebeden lineer olmayan,

$$\begin{cases} (u')^2 = u \cdot u'' + 2, 0 \leq x \leq 2\pi \\ u(0) = u(2\pi) = 1 \\ u'(0) = u'(2\pi) = 1 \end{cases} \quad (14)$$

periyodik sınır değer probleminin genel çözümü $u = \cos x + \sin x$ şeklindedir. Bu problem için Hermite interpolasyonu yardımıyla inşa edilen

$$u_T = 1 + x - \frac{1}{2\pi}x^2 + \frac{1}{2\pi^2}x^2(x - 2\pi) + \frac{1}{2}x^2(x - 2\pi)^2 \text{Net}(x, \mathbf{W})$$

deneme fonksiyonu kullanılmıştır (İşman, 2014). ResNet modelinden eğitim ve test kümeleri için elde edilen mutlak hatalar sırasıyla Çizelge 4 ve Çizelge 5'de sunulmuştur. (14) ile tanımlı ikinci mertebeden lineer olmayan periyodik sınır değer problemi için önerilen yöntemden elde edilen yaklaşık çözüm grafikleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4, Çizelge 5 ve Şekil 2'de, (14) denklemini ile tanımlı lineer olmayan sınır değer problemi için başlangıçta farklı \mathbf{W} parametre vektörü ile oluşturulan ResNet ağına 10 kez çalıştırılması

Çizelge 4: (14) eşitliği ile tanımlı lineer olmayan periyodik sınır değer problemi için eğitim kümesindeki bazı noktalarda elde edilen mutlak hata miktarları.

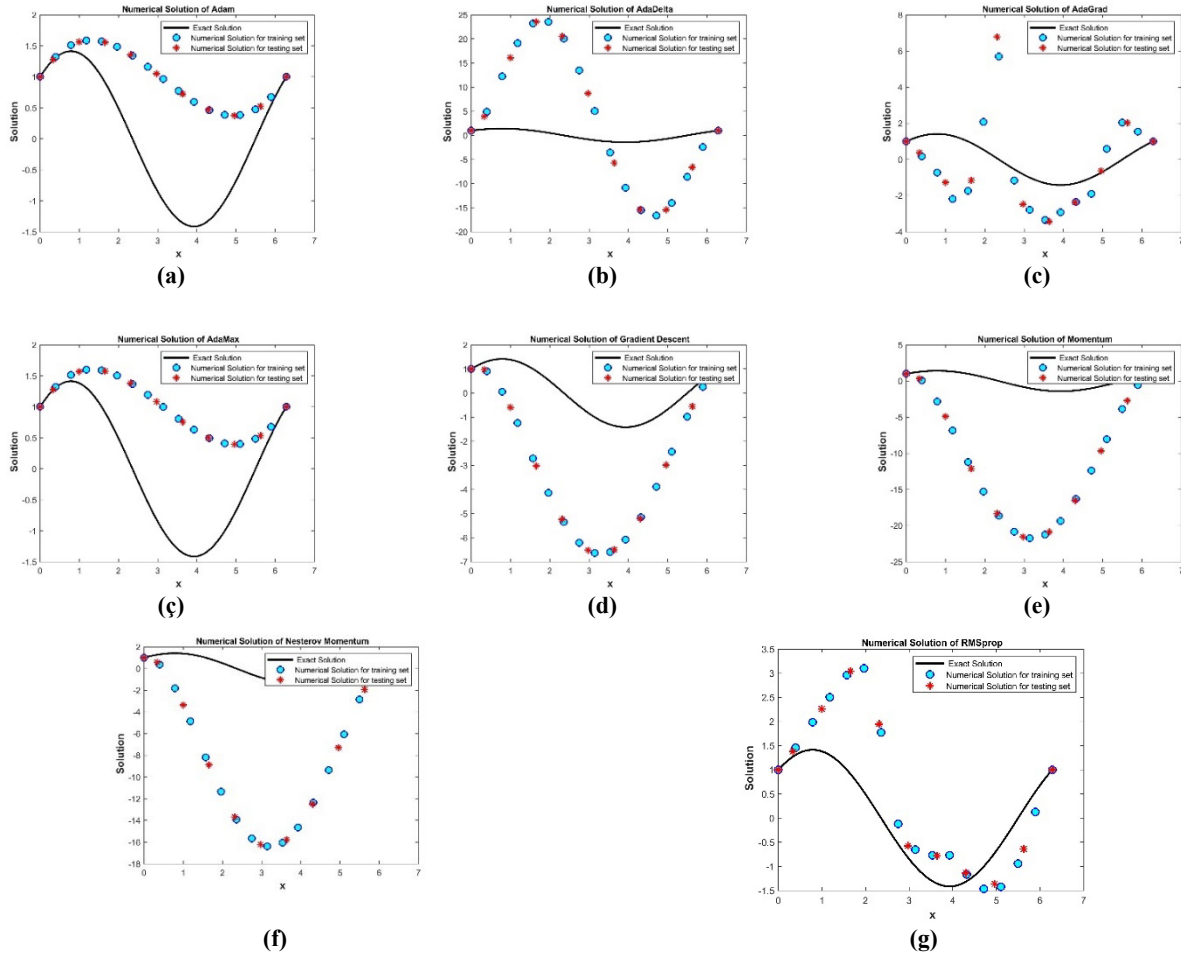
x					Gradyan		Nesterov	
	Adam	AdaDelta	AdaGrad	AdaMax	Düşüm	Momentum	Momentum	RMSProp
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\pi/8$	0.096	0.000	2.133	0.101	0.000	4.252	3.227	0.569
$3\pi/8$	0.572	10.816	2.726	0.589	1.361	12.205	9.191	1.962
$5\pi/8$	1.341	22.205	5.694	1.368	3.707	18.623	13.913	1.775
$7\pi/8$	1.966	20.048	1.779	2.000	5.345	20.745	15.386	0.3470
$9\pi/8$	2.012	6.079	1.499	2.046	5.638	17.945	13.235	0.643
$11\pi/8$	1.386	9.463	0.904	1.411	4.667	11.383	8.369	0.467
$13\pi/8$	0.475	15.615	2.042	0.485	2.885	3.869	2.843	0.943
$15\pi/8$	0.000	8.596	0.000	0.000	0.977	0.000	0.000	0.000
2π	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Çizelge 5: (14) eşitliği ile tanımlı lineer olmayan periyodik sınır değer problemi için bazı test noktalarında elde edilen mutlak hata miktarları

x					Gradyan		Nesterov	
	Adam	AdaDelta	AdaGrad	AdaMax	Düşüm	Momentum	Momentum	RMSProp
0.330	0.009	2.657	0.879	0.010	0.294	0.895	0.682	0.107
0.992	0.179	14.715	2.644	0.187	1.973	6.246	4.731	0.878
1.653	0.645	22.693	2.058	0.663	3.932	13.020	9.796	2.132
2.314	1.300	20.521	6.722	1.326	5.290	18.378	13.735	1.890
2.976	1.872	9.557	1.644	1.904	5.692	20.715	15.386	0.249
3.637	2.078	4.321	2.082	2.114	5.148	19.512	14.417	0.576
4.299	1.786	14.040	1.051	1.817	3.888	15.172	11.170	0.182
4.960	1.099	14.656	0.098	1.119	2.257	8.934	6.565	0.639
5.621	0.351	6.760	1.855	0.358	0.726	2.870	2.110	0.815
6.283	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Çizelge 6: (13) ve (14) periyodik sınır değer problemleri için ortalama SSE değerleri

Yöntem	Örnek 1 (SSE)		Örnek 2 (SSE)	
	Eğitim Kümesi	Test Kümesi	Eğitim Kümesi	Test Kümesi
Adam	$7.556 \times 10^{-2} \pm 3.109 \times 10^{-4}$	$7.556 \times 10^{-2} \pm 3.281 \times 10^{-4}$	$1.461 \pm 5.707 \times 10^{-2}$	$1.461 \pm 5.708 \times 10^{-2}$
AdaDelta	$4.266 \times 10^2 \pm 9.294 \times 10^2$	$4.277 \times 10^2 \pm 9.333 \times 10^2$	$3.058 \times 10^2 \pm 4.946 \times 10^2$	$3.065 \times 10^2 \pm 4.956 \times 10^2$
AdaGrad	$0.457 \times 10^2 \pm 4.470 \times 10^2$	$0.472 \times 10^2 \pm 4.468 \times 10^2$	$1.619 \times 10^2 \pm 2.117 \times 10^2$	$1.620 \times 10^2 \pm 2.120 \times 10^2$
AdaMax	$0.564 \times 10^{-2} \pm 4.549 \times 10^{-4}$	$0.564 \times 10^{-2} \pm 4.551 \times 10^{-4}$	$1.487 \pm 5.059 \times 10^{-4}$	$1.487 \pm 5.059 \times 10^{-4}$
Gradyan Düşüm	$1.961 \times 10^2 \pm 2.954 \times 10^2$	$1.961 \times 10^2 \pm 2.954 \times 10^2$	$2.415 \times 10^2 \pm 2.512 \times 10^2$	$2.415 \times 10^2 \pm 2.513 \times 10^2$
Momentum	$1.550 \times 10^2 \pm 1.887 \times 10^2$	$1.553 \times 10^2 \pm 1.887 \times 10^2$	$2.550 \times 10^3 \pm 5.295 \times 10^3$	$2.550 \times 10^3 \pm 5.295 \times 10^3$
Nesterov Momentum	$2.720 \times 10^2 \pm 2.644 \times 10^2$	$2.720 \times 10^2 \pm 2.644 \times 10^2$	$6.222 \times 10^1 \pm 1.019 \times 10^2$	$6.255 \times 10^1 \pm 1.019 \times 10^2$
RMSProp	$1.457 \times 10^1 \pm 2.125 \times 10^1$	$1.454 \times 10^1 \pm 2.137 \times 10^1$	$9.482 \times 10^2 \pm 1.809 \times 10^2$	$9.437 \times 10^2 \pm 1.797 \times 10^2$



Şekil 2: (14) eşitliği ile tanımlı periyodik sınır değer problemi için ResNet modelinin çözüm grafikleri (a) Adam, (b) AdaDelta, (c) AdaGrad, (ç) AdaMax, (d) Gradyan Düşüm, (e) Momentum, (f) Nesterov Momentum, (g) RMSProp modellerinin çalışmanın Giriş bölümünde bahsi

4. SONUÇ

Bu çalışmada diferansiyel denklemlerin çözülmesi güç olan problemlerinden biri olarak periyodik sınır koşullu adi diferansiyel denklemlerin çözümleri makine öğrenmesi yaklaşımları ve derin öğrenme ağlarında kullanılan en iyileştirme yöntemleri ile elde edilmeye çalışılmıştır. Diferansiyel denklemlerin sonlu farklar ve sonlu elemanlar gibi geleneksel yöntemlerle nümerik çözümleri elde edilirken genellikle problemin tanım bölgesinin ayrıştırılması yoluna gidilir. İstenilen hata payıyla çözüme yakınsama sağlanması için ayrıklaştırma yoluyla oluşturulan ızgaranın çok sayıda düğüm noktası içermesi gerekir ve bu süreç oldukça maliyetlidir. Bununla birlikte klasik yöntemler sadece düğüm noktalarında yaklaşık çözüm sunarken sinir ağı modelleri tüm tanım bölgesi üzerinde bir çözüm sunarlar. Çalışmada Artık Sinir Ağı kullanılması tercih edilmesinin temel sebebi budur.

Periyodik sınır koşullu diferansiyel denklemlerin çözümünde makine öğrenmesi

geçen klasik nümerik yöntemlerle karşılaştırılması ayrı bir çalışma konusu olacaktır.

Çözümü gerçekleştirilen örneklerden ilki, lineer yapıda olan ve çözümün varlığı teorik olarak ispatlanabilen ikinci mertebeden periyodik sınır problemidir. İkinci örnekte verilen problemin formu için ise çözümün var ve tek olduğuna dair teorik çalışmalar henüz yeterli düzeyde değildir. Bu örnek gerçek çözümden yola çıkılarak üretilmiştir. Çözüme yakınsamada karşılaşılan en büyük güçlük; periyodik sınır koşullarından kaynaklı olarak belli aralıklarla sürekli çözüm değerinin kendini tekrarlamasıdır. Bu durum toplam karesel hata miktarının yeterince düşmemesine neden olmaktadır. Üstelik çalışmada çözülen problemler için çözüm fonksiyonunun periyodu sınırlı tutulmuştur. Çözüm fonksiyonunun periyodu daha yüksek olan örnekler için çalışma tekrarlanabilir. Bu durumda hata miktarının daha çok artabileceği tarafımızdan öngörülmektedir. Karşılaştırılması yapılan optimizasyon yöntemleri arasından performans değerlendirilmesi yapıldığında

tek başına hangi yöntemin ayrıştığını söylemek güçtür. Örnek 1 ve Örnek 2 için Adam, AdaMax ve nispeten RMSProp yöntemleri çözüme daha iyi yakınsama gösterse de hangi optimizasyon yönteminin genelleme yapmak doğru olmaz. Problemin lineerliği, mertebesi ve derecesi, periyodu, sınır koşullarına göre optimizasyon yönteminin uygunluğu değişir. Bu aşamada önerilen, çalışmada kullanılan türev tabanlı yaklaşımların optimizasyon probleminin yüksek boyutundan kaynaklanan yerel minimumlarda takılma olasılığı nedeniyle popülasyon tabanlı heuristik en iyileme yöntemlerinin kullanılmalıdır.

Her ne kadar çalışmada yapılan çözümü gerçekleştirilen problemlerde gözlenmesi de, yapay sinir ağlarının eğitim sürecinde eğitim verilerine gereğinden fazla uyum sağlayıp genelleme yeteneklerini kaybedebileceği mutlaka dikkate alınmalıdır. Bu durumda test verileri için ağın ürettiği sayısal çözüm gerçek çözümlerden fazlaca uzaklaşabilir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için tez, toplu öğrenme (batch learning) yaklaşımı kullanılabilir.

Çalışmada kullanılan ResNet makine öğrenmesi modelinin, periyodik sınır değer problemlerini çözerken, çözüm fonksiyonunun periyodik yapısından dolayı tekrarlı davranışlarını tanımlamada yeterli düzeyde eğitilemediği görülmüştür. Bunun temel nedeni olarak, modelin topolojisi çok yalın ise ağın istenilen çözümleri üretmediği veya tersine önerilen model oldukça bir karmaşık topolojiye sahipse bu kez de ağın eğitimi çok maliyetli olacağı yorumuna ulaşılmıştır. Çalışmada önerilen model sezgisel olarak belirlenmiştir. Gözlendiği üzere, periyodik sınır koşullu diferansiyel denklemi çözebilecek ideal yapay sinir ağı topolojisini belirlemek oldukça güçtür. Haliyle elde edilen bulguların optimal sonuçlar olduğu söylenemez ve önerilen modelden daha iyi çözüm üreten daha farklı topolojiye sahip bir sinir ağı modeli bulunması daima olasıdır. Bu aşamada tarafımızdan önerilen, bağımsız alt yapay sinir ağları sürüsü ve sürü zekası yaklaşımları ile optimal ağ topolojisinin belirlenmesidir. Oluşturulacak sürü zekâsı yaklaşımı için sürüdeki ajanlar; yapay sinir ağının türü ve topolojisi, girdi verisinin kodlanması ve uygulanacak normalizasyon tekniği, ağın ara katman sayısı, ara katmanlardaki nöron sayısı, aktivasyon fonksiyonu, maliyet fonksiyonu, ağın çıktı formatının belirlenmesi, ağ ağırlıklarının başlangıç değerlerinin belirlenmesi

yöntemi gibi bileşenler ile karakterize edilip bu bileşenlerin optimal değerleri belirlenmelidir.

KAYNAKÇA

- Aftabizadeh, A.R., Xu, J. ve Gupta, C.P. (1990). Periodic boundary value problems for third order ordinary differential equations. *Nonlinear Anal., Theory Methods Appl.* 14(1), 1-10 (1990). doi: [10.1016/0362-546X\(90\)90130-9](https://doi.org/10.1016/0362-546X(90)90130-9).
- Agarwal, R., Sun, Y. ve Wong, P. (2010). Existence of positive periodic solutions of periodic boundary value problem for second order ordinary differential equations. *Acta Math. Hung.* 129(1-2), 166-181. doi: [10.1007/s10474-010-9268-6](https://doi.org/10.1007/s10474-010-9268-6).
- Akila Agnes, S., Anitha, J. (2019). Analyzing the Effect of Optimization Strategies in Deep Convolutional Neural Network. In: Hemanth, J., Balas, V. (eds) Nature Inspired Optimization Techniques for Image Processing Applications. Intelligent Systems Reference Library, vol 150. Springer, Cham. doi: [10.1007/978-3-319-96002-9_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96002-9_10)
- Baslandze, S.R. ve Kiguradze, I.T. (2006). On the unique solvability of a periodic boundary value problem for third-order linear differential equations. *Differ. Equ.* 42, 165-171. doi: [10.1134/S0012266106020029](https://doi.org/10.1134/S0012266106020029).
- Bikhantaev, I.A. (2020). Periodic Boundary Value Problem for a Linear Elliptic Equation of the Second Order in a Half Plane.. *Differ. Equ.* 56, 813–818. doi: [10.1134/S0012266120070010](https://doi.org/10.1134/S0012266120070010).
- Cabada, A. (1995). The method of lower and upper solutions for third order periodic boundary value problems. *J. Math. Anal. Appl.* 195, 568-589. doi: [10.1006/jmaa.1995.1375](https://doi.org/10.1006/jmaa.1995.1375).
- Chu, J. ve Zhou, Z. (2006). Positive solutions for singular non-linear third-order periodic boundary value problems. *Nonlinear Anal., Theory Methods Appl.* 64(7), 1528-1542. doi: [10.1016/j.na.2005.07.005](https://doi.org/10.1016/j.na.2005.07.005).
- El-Sayed, A.M.A. ve Gaafar, F.M. (2018). Existence of Solutions for Singular Second-Order Ordinary Differential Equations with Periodic and Deviated Nonlocal Multipoint Boundary Conditions. *J. Funct. Spaces*, 11. doi: [10.1155/2018/9726475](https://doi.org/10.1155/2018/9726475).
- Fatima, N. (2020). Enhancing Performance of a Deep Neural Network: A Comparative Analysis of Optimization Algorithms. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 9(2), 79–90. doi: [10.14201/ADCAIJ2020927990](https://doi.org/10.14201/ADCAIJ2020927990)
- Fu, X. ve Wang, W. (2010). Periodic Boundary Value Problems for Second-Order Functional Differential Equations. *J. Inequal. Appl.* 2010, 598405. doi: [10.1155/2010/598405](https://doi.org/10.1155/2010/598405).

[10.1155/2010/598405](https://doi.org/10.1155/2010/598405).

- Geng, F., Xu, Y. ve Zhu, D. (2008). Periodic boundary value problems for first-order impulsive dynamic equations on time scales. *Nonlinear Anal., Theory Methods Appl.* 69(11), 4074-4087. doi: [10.1016/j.na.2007.10.038](https://doi.org/10.1016/j.na.2007.10.038).
- Graef, J.R., Kong, L. ve Wang, H. (2008). A periodic boundary value problem with vanishing Green's function. *Appl. Math. Lett.* 21(2), 176-180. doi: [10.1016/j.aml.2007.02.019](https://doi.org/10.1016/j.aml.2007.02.019).
- Günel, K. ve Gör, İ. (2022). Solving Dirichlet boundary problems for ODEs via swarm intelligence. *Math. Sci.*, 16, 325-341. doi: [10.1007/s40096-021-00424-2](https://doi.org/10.1007/s40096-021-00424-2).
- Hall, R. (2008). Periodic boundary-value problem for third-order linear functional differential equations. *Ukr. Math. J.* 60, 481-494 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11253-008-0069-9>.
- He, Z. ve He, X. (2004). Periodic boundary value problems for first order impulsive integro-differential equations of mixed type, *J. Math. Anal. Appl.* 296(1), 8-20. doi: [10.1016/j.jmaa.2003.12.047](https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2003.12.047).
- Hu, S. v Lakshmikantham, V. (1989). Periodic Boundary Value Problems for Second Order Impulsive Differential Systems. *Nonlinear Anal., Theory Methods Appl.* 13(1), 75-85. doi: [10.1016/0362-546X\(89\)90036-9](https://doi.org/10.1016/0362-546X(89)90036-9).
- İşman, G. (2024). *Derin Sinir Ağları Kullanarak Periyodik Sınır Koşullu Diferansiyel Denklemlerin Nümerik Çözümlerinin Elde Edilmesi*, Doktora Tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi.
- Kingma, D. P., ve Ba, J. (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. *ArXiv. /abs/1412.6980*
- Kong, L., Wang, S. ve Wang J. (2001). Positive solution of a nonlinear third-order periodic boundary value problem. *Int. J. Comput. Appl. Math.* 132(2), 247-253. doi: [10.1016/S0377-0427\(00\)00325-3](https://doi.org/10.1016/S0377-0427(00)00325-3).
- Kulikov, A.N. ve Kulikov, D.A. (2021). Cahn–Hilliard equation with two spatial variables. Pattern formation. *Theor. Math. Phys.* 207, 782–798. doi: [10.1134/S0040577921060088](https://doi.org/10.1134/S0040577921060088).
- Lakshmikantham, V. (1989). Periodic Boundary Value Problems of First and Second Order Differential Equations. *J. Appl. Math, Simulation*, 2(3) 8, doi: [10.1155/S1048953389000110](https://doi.org/10.1155/S1048953389000110).
- Liu, Y. (2007). Multiple solutions of periodic boundary value problems for first order differential equations. *Comput. Math. Appl.* 54(1), 1-8. doi: [10.1016/j.camwa.2006.09.007](https://doi.org/10.1016/j.camwa.2006.09.007).
- Mukhigulashvili, S. (2007). On a periodic boundary value problem for third order linear functional differential equations. *Nonlinear Anal., Theory Methods Appl.* 66(2), 527-535. doi: [10.1016/j.na.2005.11.046](https://doi.org/10.1016/j.na.2005.11.046).
- Nieto, J.J. (2002). Periodic Boundary Value Problems for First-Order Impulsive Ordinary Differential Equations. *Nonlinear Anal., Theory Methods Appl.* 51(7), 1223-1232. doi: [10.1016/S0362-546X\(01\)00889-6](https://doi.org/10.1016/S0362-546X(01)00889-6).
- Omari, P. ve Trombetta, M. (1992). Remarks on the lower and upper solutions method for second- and third-order periodic boundary value problems. *Appl. Math. Comput.* 50(1), 1-21. doi: [10.1016/0096-3003\(92\)90007-N](https://doi.org/10.1016/0096-3003(92)90007-N).
- Sun, J. ve Liu, Y. (2005). Multiple Positive Solutions of Singular Third-Order Periodic Boundary Value Problem. *Acta Math. Sci.* 25(1), 81-88. doi: [10.1016/S0252-9602\(17\)30263-1](https://doi.org/10.1016/S0252-9602(17)30263-1).
- Taddei, V. ve Zanolin, F. (2007). Bound Sets and Two-Point Boundary Value Problems for Second Order Differential Equations. *Georgian Math. J.* 14(2), 385-402. doi: [10.1515/GMJ.2007.385](https://doi.org/10.1515/GMJ.2007.385).
- Tian, Y., Zhang, Y., Zhang, H. (2023). Recent Advances in Stochastic Gradient Descent in Deep Learning. *Mathematics*, 11(3): 682. doi: [10.3390/math11030682](https://doi.org/10.3390/math11030682).
- Wang, W., Shen, J. ve Nieto, J.J. (2011). Periodic boundary value problems for second order functional differential equations. *J. Appl. Math. Comput.* 36, 173–186. doi: [10.1007/s12190-010-0395-6](https://doi.org/10.1007/s12190-010-0395-6).
- Wang, Y., Li, J. ve Cai, Z. (2017). Positive solutions of periodic boundary value problems for the second-order differential equation with a parameter. *Boundary Value Problems*, 49. doi: [10.1186/s13661-017-0776-y](https://doi.org/10.1186/s13661-017-0776-y).
- Wang, J., Zhang, W. ve Fečkan, M. (2021). Periodic boundary value problem for second-order differential equations from geophysical fluid flows. *Monatsh. Math.*, 195, 523–540. doi: [10.1007/s00605-021-01539-3](https://doi.org/10.1007/s00605-021-01539-3).
- Yu, H. ve Pei, M. (2010). Solvability of a nonlinear third-order periodic boundary value problem. *Appl. Math. Lett.* 23(8), 892-896. doi: [10.1016/j.aml.2010.04.005](https://doi.org/10.1016/j.aml.2010.04.005).
- Zhao, Y., Chen, H. ve Qin, B. (2014). Periodic boundary value problems for second-order functional differential equations with impulse. *Adv. Differ. Equ.* 2014, 134. doi: [10.1186/1687-1847-2014-134](https://doi.org/10.1186/1687-1847-2014-134).



İlköğretim Matematik Öğretmenliği Lisans Öğrencilerinin Kutupsal Koordinatlarda Alan, Hacim ve Yay Uzunluğu Konusunda Alan Bilgilerinin İncelenmesi

Damla DENİZ^{1,*}, Süha YILMAZ²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, İzmir, Türkiye

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, İzmir, Türkiye

M A K A L E B İ L G İ S İ

Ö Z E T

Makale Gönderim 15/05/2024
Revizyon 04/07/2024
Kabul 04/07/2024

Anahtar Sözcükler:

Kutupsal koordinatlarda alan
Kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu ve hacim
Tutum

Araştırmanın amacı; ilköğretim matematik öğretmenliği lisans öğrencilerinin kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu konularındaki alan bilgileri ile analiz dersine yönelik tutumlarını belirlemek ve çeşitli değişkenler açısından incelemektir. Araştırmanın örneklemini, 2021- 2022 eğitim öğretim yılında İzmir ilindeki Dokuz Eylül Üniversitesinde ilköğretim matematik öğretmenliği 1. Sınıfta öğrenim görmekte olan 65 lisans öğrencisi oluşturmaktadır. Bu çalışmada nicel araştırma yöntemlerinden biri olan genel tarama modelinden yararlanılmıştır. Araştırmada; “Kutupsal Koordinatlarda Alan, Hacim ve Yay Uzunluğu Konu Alan Bilgisi Başarı Testi” ve “Analiz Tutum Ölçeği” olmak üzere iki tane veri toplama aracı kullanılmıştır. Verilerin analizinde IBM SPSS Statistics 24.0 paket programı kullanılmıştır. Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan ve yay uzunluğu konusunda başarılı oldukları görülürken; hacim hesabında başarısız oldukları ve Analiz-2 dersine yönelik tutumlarının orta düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile matematik akademik başarısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olmadığı görülmüştür.

1. GİRİŞ

Eğitim, anne karnından başlayarak ölüme kadar geçen sürede deneyim sonucu istenilen şekilde oluşturulan davranış değişikliklerinin tümüdür. Öğretim ise eğitimin daha planlı halidir ve anne-babadan ziyade öğretmenler tarafından verilir. Dolayısıyla, öğretimin en önemli bileşenlerinden biri öğretmendir. Verilen öğretimin kalitesini ise öğretmenin alan bilgisi belirler. Bir öğretmen, bir konuya ne kadar hâkim ise ve karşı tarafa nasıl daha iyi öğreteceğinin farkında ise, öğretim işlemi o denli başarılı sonuçlar alır.

Sümerlerin M.Ö. 3 bin yıllarında yazıyı icat

etmesiyle bunu diğer insanlara öğretme ihtiyacı duyuldu; ilk kez resmi okullar açıldı ve öğretmenlik resmiyet kazanmış oldu (Alacapınar, 2018). O zamanlarda öğretmenin sahip olması gereken tek yeterlik, okuma yazma bilmektir. Geçmişten günümüze kadar, öğretmenlerin sahip olması gereken yeterlikler pek çok yerde araştırma konusu olmuş ve listeye yeni özellikler eklenmiştir.

Sarmal eğitim sisteminde, her okunan sınıf, bir sonraki sınıfta görülecek konuların alt yapısını oluşturur. Sarmal sistemin, konuların ardışıklığını ve arasındaki bağlantıyı sağlayarak her konuyu birbirinin devamı olarak sürdürebilmesi için

kavramların öğrencilere doğru şekilde aktarılması bir gerekliliktir (Kılıç, 2019). Öğrenci geçmiş senelerde aldığı eğitimde kavramsal bilgiler edinmiş ise her geçen sene bir yapbozun parçasını tamamlar gibi konular arasındaki bağlantıyı kurabilir. İşlemsel bilgi kullanılırken “neden?” ve “nasıl?” sorularına cevap bulunamaz. Fakat kavramsal bilgide neyin neden ve nasıl yapıldığı öğrencinin zihninde çok açık ve nettir. Bu yüzden o kavram üzerinde yığılmalı bir şekilde diğer kavramları öğrenebilir. Kavramsal ve işlemsel bilgi arasındaki dengeyi sağlayabilmek öğretmenin sahip olması gereken konu alan bilgisinin bir parçasıdır.

Türkiye’de öğretmen yeterlikleri ile ilgili ilk resmi çalışmalar “YÖK/Dünya Bankası Millî Eğitimi Geliştirme Projesi, Hizmet Öncesi Öğretmen Eğitimi” kapsamında 1998 yılında yapılmış ve öğretmen yeterlikleri; “konu alanı ve alan eğitimine ilişkin yeterlikler”, “öğretme-öğrenme sürecine ilişkin yeterlikler”, “öğrencilerin öğrenmelerini izleme, değerlendirme ve kayıt tutma” ve “tamamlayıcı mesleki yeterlikler” olarak sıralanmıştır. Daha sonraki yıllarda eğitim sistemimizdeki yeniliklere uyum sağlayabilmek adına, farklı program ve projeler kapsamında öğretmen yeterlik güncelleme çalışmaları yapılmıştır. Bu sürecin sonunda; Öğretmenlik Mesleği Genel Yeterlikleri; “mesleki bilgi”, “mesleki beceri”, “tutum ve değerler” olmak üzere 3 başlık altında sıralanmıştır. Mesleki beceri ise kendi içerisinde, “alan bilgisi”, “alan eğitimi bilgisi” ve “mevzuat bilgisi” olarak ayrılmıştır (Öğretmen Yetiştirme ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, 2017). Bu ayrımın ilk defa 1986 yılında Shulman tarafından yapıldığı bilinmektedir. Shulman (1986), öğretmenlerin sahip olması gereken bilgileri 3 kategoride ele almıştır. Bunlar; alan bilgisi, pedagojik alan bilgisi ve müfredat bilgisidir.

Alan bilgisi, öğretmenin kendi branşında uzmanlaşması için gereken bilgidir ve konunun “ne” olduğu ile ilgilidir. Öğrendiği alan bilgisini, öğrencilere “nasıl” aktaracağını bilmek, alan eğitimi bilgisi olarak belirtilmektedir. Mevzuat bilgisi ise, eğitim öğretim hizmetlerinin etkin ve verimli bir şekilde yürütülebilmesi için hazırlanan yönetmeliğe hakim olmak demektir.

Öğretmen yeterliklerinin belirlenmesi, öğretmen adaylarına verilen eğitimin de güncellenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Lisans programlarında yapılan güncelleme sonucunda;

programların %50-60’ı alan bilgisi, %25-30’u meslek bilgisi ve %15-20’si genel kültür derslerinden oluşmaktadır (Yüksek Öğretim Kurulu, 2018). Alan bilgisi, öğretmenin kendi alanına ne kadar hâkim olduğu ile ilgili olmakla birlikte, ders paylaşımında aldığı en yüksek pay ile önemini ispatlamaktadır.

Bu araştırmanın amacı; ilköğretim matematik öğretmenliği lisans öğrencilerinin kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu konularındaki alan bilgilerini incelemektir. Bunun yanında, elde edilen kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğuna ilişkin konu alan bilgisi başarı puanları ile Analiz-2 dersine yönelik tutumları arasındaki ilişki ve matematik akademik başarısı arasındaki ilişki incelenecektir. Ayrıca, kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu konu alan bilgisi başarı puanları ve Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile cinsiyetleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı incelenecektir.

Problem Cümlesi / Alt Problem Cümleleri

İlköğretim matematik öğretmenliği lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu hesabı konularındaki alan bilgisi ile Analiz-2 dersine yönelik tutumları ne düzeydedir?

Araştırmanın Alt Problemleri

1. İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda alan hesabı konusunu öğrenme düzeyi nedir?
2. İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda hacim konusunu öğrenme düzeyi nedir?
3. İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu konusunu öğrenme düzeyi nedir?
4. İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu hesabı konularını öğrenme düzeyleri ile cinsiyetleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark var mıdır?
5. İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ne düzeydedir?

6. İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile cinsiyetleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark var mıdır?
7. İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu hesabı konusunu öğrenme düzeyi ile Analiz-2 dersine yönelik tutumları arasında anlamlı bir ilişki var mıdır?
8. İlköğretim matematik öğretmenliği 1. Sınıf lisans öğrencilerinin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile matematik akademik başarıları arasında anlamlı bir ilişki var mıdır?

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada nicel araştırma yöntemlerinden biri olan genel tarama modelinden yararlanılacaktır. Genel tarama modeli kapsamında; kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğuna ilişkin konu alan bilgisi başarı testi uygulanması sürecinde tekil tarama modeli, Analiz-2 dersine yönelik tutum ölçeğinin uygulanması sürecinde ise ilişki tarama modeli kullanılacaktır. Tarama modelleri, geçmişte ya da halen var olan bir durumu var olduğu şekliyle betimlemeyi amaçlayan araştırma yaklaşımlarıdır. Önemli olan, ona uygun bir biçimde “gözleyip” belirleyebilmektir (Karasar, 2002).

Genel tarama modelleri, çok sayıda elemandan oluşan bir evrende, evren hakkında genel bir yargıya varmak amacı ile evrenin tümünden ya da ondan alınacak bir grup, örnek ya da örneklem üzerinde yapılan tarama düzenlemeleridir. Tekil tarama modeli; değişkenlerin, tek tek, tür ya da miktar olarak oluşumlarının belirlenmesi amacıyla yapılan

Tablo 2: Araştırmaya katılan öğrencilerin Analiz-2 dersinden aldıkları ham notlara göre matematik akademik başarı düzeylerinin frekans ve yüzdeleri

Matematik akademik başarı düzeyleri	Değer Aralıkları	Frekans	Yüzde (%)
5	81-100	2	3.1
4	61-80	13	20
3	41-60	34	52.3
2	21-40	15	23.1
1	1-20	1	1.5
Toplam	1-100	65	100

araştırma modelidir. Araştırmada, araştırmaya konu olan örneklemin başarı ve Analiz-2 dersine yönelik tutumları arasındaki ilişki incelendiğinden, araştırma aynı zamanda ilişki (korelasyonel) tarama modeline de örnek gösterilebilir. İlişki tarama modeli ise, iki ve daha çok sayıdaki değişken arasında birlikte değişim varlığını ve/veya derecesini belirlemeyi amaçlayan araştırma modelidir (Karasar, 2002).

2.1. Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, 2021- 2022 eğitim öğretim yılında İzmir ilindeki Dokuz Eylül Üniversitesinde ilköğretim matematik öğretmenliği 1. Sınıfta öğrenim görmekte olan 65 lisans öğrencisi oluşturmaktadır. Nicel verileri toplamak için seçkisiz olmayan örnekleme yoluna gidilmiş ve kısaca “zaman, para ve işgücü açısından var olan sınırlılıklar nedeniyle örneklemin kolay ulaşılabilir ve uygulama yapılabilir birimlerden seçilmesi” (Büyüköztürk, Çakmak, Akgün, Karadeniz ve Demirel, 2018) şeklinde tanımlanabilecek olan uygun örnekleme yöntemi seçilmiştir.

Tablo 1: Çalışma Grubunun Cinsiyete Göre Dağılımı

Cinsiyet	Frekans	Yüzde (%)
Kadın	47	72,3
Erkek	18	27,7
Toplam	65	100

Tablo 1 incelendiğinde çalışma grubundaki kadın öğrenci sayısının erkek öğrencilerden fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 2 incelendiğinde çalışmaya katılan öğrencilerin matematik akademik başarılarının orta düzeyde oldukları görülmektedir.

Tablo 3: Başarı testi sorularının puan ve içeriğe göre dağılımı

Soru Numarası	Puan Değeri	Soru İçeriği
1	15	Kutupsal koordinatlarda alan
2	10	Kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu
3	10	Kutupsal koordinatlarda alan
4	10	Kutupsal koordinatlarda alan
5	10	Kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu
6	15	Kutupsal koordinatlarda hacim
7	15	Kutupsal koordinatlarda alan
8	15	Kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu

2.2. Veri Toplama Süreci

Öğrencilere önce “Analiz Tutum Ölçeği” verilmiş ve doldurmaları istenmiştir. Gönüllülüğün esas olduğu vurgulanmış ve uygulamadan ayrılmak isteyen olursa kolaylık sağlanacağı belirtilmiştir. Her öğrenci ölçeğe belirlenen takma ismi yazmıştır

Daha sonra, aynı öğrencilere “Kutupsal Koordinatlarda Alan, Hacim ve Yay Uzunluğu Konu Alan Bilgisi Başarı Testi” uygulanmıştır. Öğrencilerden, belirlenen takma ismin başarı testine de yazılması istenmiştir.

İki tane veri toplama aracı kullanılmıştır; bunlardan birincisi; Analiz-2 dersine yönelik tutumu ölçmek için, Hacıömeroğlu (2020) tarafından geliştirilen “Analiz Tutum Ölçeği”dir. Ölçek 5’li Likert tipinde olup 20 maddeden oluşmaktadır.

Ölçek; özgüven, motivasyon, değer ve mutluluk olmak üzere dört alt boyuttan oluşmaktadır.

Veri toplama araçlarından ikincisi ise; “Kutupsal Koordinatlarda Alan, Hacim ve Yay Uzunluğu Konu Alan Bilgisi Başarı Testi”dir. Başarı testi, araştırmacı tarafından hazırlanmış ve geliştirilmiştir. Konu alanında uzman görüşleri alınarak başarı testine son hali verilmiştir.

Başarı testi 8 adet açık uçlu sorudan oluşmaktadır. Soruların dağılımı şu şekildedir; 4 tane soru kutupsal koordinatlarda alan, 3 tane soru kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu, 1 tane soru ise, kutupsal koordinatlarda hacim ile ilgilidir.

2.3. Verilerin Analizi

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu hakkındaki konu alan bilgilerinin ve Analiz-2 dersine yönelik tutumlarının incelenmesi amacıyla veri toplama

araçları uygulanmıştır. Elde edilen veriler tek tek değerlendirilmiştir. Veri toplama araçlarından herhangi birine katılmayan öğrencinin, katıldığı ölçeği de geçersiz sayılmıştır. Her iki uygulamaya katılan öğrenci sayısı 65 olduğu için, kağıtlar 1’den 65’e kadar (1 ve 65 dahil) numaralandırılmıştır. Aynı takma isme sahip kağıtlara aynı sayı verilmiştir. Veriler IBM SPSS Statistics 24.0 paket programına girilmiştir. “Analiz Tutum Ölçeği”ndeki 5 ve 7 numaralı maddeler olumsuz anlam taşıırken; 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 ve 20 numaralı maddeler olumlu bir anlam ifade etmektedir. IBM SPSS Statistics 24.0 paket programına veriler girildikten sonra yapılan ilk işlem olumsuz maddelerin dönüştürülmesi olmuştur.

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. Sınıf lisans öğrencilerinin kutupsal koordinatlardaki alan bilgileri ile analiz dersine yönelik tutumları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla Pearson Korelasyon Analizi; cinsiyetlerine göre farklılaşma durumunu incelemek amacıyla ise bağımsız örneklem t testi uygulanmıştır.

2.4. Araştırmanın Geçerliliği ve Güvenirliği

Uygulama için gönüllülük esas alınmıştır. Bireyler araştırmaya dahil olmaları konusunda asla zorlanmamış, onların kendi tercihlerine saygı duyulmuştur. Ayrıca araştırmada takma isim kullanılmıştır. Uygulama sırasında isteği ile çalışmadan çıkmak isteyen bireylere kolaylık sağlanacağı belirtilmiştir. Bu şekilde katılımcılar, kendilerini baskı altında hissetmeden rahat bir şekilde cevaplarını vermiştir. Bu durum çalışmanın güvenirliliğini artıran bir etkidir. Huang ve Lin (2015) tarafından geliştirilen “Analiz Tutum Ölçeği”nin Türkçeye uyarlama çalışması Hacıömeroğlu (2020) tarafından yapılmıştır. Uyarlanan ölçme aracı için Cronbach alfa güvenilirlik katsayısı .88 olarak hesaplanmıştır. görülmüştür.

Tablo 4: Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan hesabı konusunu öğrenme düzeylerinin frekans ve yüzdeleri

Öğrenme Düzeyleri	Değer Aralıkları	f	%
Çok yüksek (5)	41-50	25	38.5
Yüksek (4)	31-40	17	26.1
Orta (3)	21-30	13	20
Düşük (2)	11-20	5	7.7
Çok düşük (1)	1-10	5	7.7
Boş (0)	0	0	0
Toplam	0-50	65	100

Tablo 5: Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda hacim konusunu öğrenme düzeylerinin frekans ve yüzdeleri

Öğrenme Düzeyleri	Değer Aralıkları	f	%
Çok yüksek (5)	13-15	0	0
Yüksek (4)	10-12	5	7.7
Orta (3)	7-9	18	27.7
Düşük (2)	4-6	24	36.9
Çok düşük (1)	1-3	9	13.85
Boş (0)	0	9	13.85
Toplam	0-15	65	100

Tablo 6: Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu konusunu öğrenme düzeylerinin frekans ve yüzdeleri

Öğrenme Düzeyleri	Değer Aralıkları	f	%
Çok yüksek (5)	29-35	12	18.46
Yüksek (4)	22-28	21	32.3
Orta (3)	15-21	18	27.7
Düşük (2)	8-14	9	13.85
Çok düşük (1)	1-7	4	6.15
Boş (0)	0	1	1.54
Toplam	0-35	65	100

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Birinci Alt Probleme İlişkin Bulgular

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda alan hesabı konusunu öğrenme düzeyi nedir?

Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan hesabı testinden alabilecekleri en düşük puan 0 (sıfır), en yüksek puan 50 (elli)'dir. 65 öğrencinin puanlarının aritmetik ortalamasına bakıldığında 33,969 olduğu görülmektedir.

Öğrencilerin alan hesabı konusunda başarılı oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

3.2. İkinci Alt Probleme İlişkin Bulgular

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda hacim konusunu öğrenme

düzeyi nedir?

Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda hacim hesabı testinden alabilecekleri en düşük puan 0 (sıfır), en yüksek puan 15 (on beş)'tir. 65 öğrencinin puanlarının aritmetik ortalamasına bakıldığında 5,184 olduğu görülmektedir.

Öğrencilerin hacim hesabı konusunda başarısız oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

3.3. Üçüncü Alt Probleme İlişkin Bulgular

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu konusunu öğrenme düzeyi nedir?

Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu hesabı testinden alabilecekleri en düşük puan 0 (sıfır), en yüksek puan 35 (otuz beş)'tir. 65 öğrencinin puanlarının aritmetik ortalamasına bakıldığında 20,6 olduğu görülmektedir.

Tablo 7: Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu hesabı konularını içeren başarı testi toplam puanının cinsiyete göre t-testi sonuçları

Cinsiyet	n	\bar{x}	SS	sd	t	P
Kadın	47	63.191	19.327	63	2.211	0.031*
Erkek	18	50.777	22.589			

*p<0.05

Tablo 8: Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan konusunu öğrenme düzeylerinin cinsiyete göre t-testi sonuçları

Cinsiyet	n	\bar{x}	SS	sd	t	P
Kadın	47	35.659	12.285	63	1.724	0.090
Erkek	18	29.555	14.021			

*p<0.05

Tablo 9: Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda hacim konusunu öğrenme düzeylerinin cinsiyete göre t-testi sonuçları

Cinsiyet	n	\bar{x}	SS	Sd	t	P
Kadın	47	5.787	2.896	63	2.662	0.010*
Erkek	18	3.611	3.089			

*p<0.05

Öğrencilerin yay uzunluğu hesabı konusunda başarılı oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

3.4. Dördüncü Alt Probleme İlişkin Bulgular

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu hesabı konularını öğrenme düzeyleri ile cinsiyetleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark var mıdır?

Büyüköztürk'e (2020, s.47) göre, öğrencilerin başarı testi toplam puanları cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermektedir, $t(63) = 2.211$, $p < 0.05$.

Başka bir ifadeyle, kadın öğrencilerin başarı testi toplam puanları ($\bar{x} = 63.191$), erkek öğrencilere ($\bar{x} = 50.777$) göre daha yüksektir.

Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan konusunu öğrenme düzeyleri, cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemektedir, $t(63) = 1.724$, $p > 0.05$.

Başka bir ifadeyle, kadın öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan konusunu öğrenme düzeyleri ($\bar{x} = 35.659$) ile erkek öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan konusunu öğrenme düzeyleri ($\bar{x} = 29.555$) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır.

Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda hacim konusunu öğrenme düzeyleri, cinsiyete göre

istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermektedir, $t(63) = 2.662$, $p < 0.05$.

Başka bir ifadeyle, kadın öğrencilerin hacim konusunu öğrenme düzeyleri ($\bar{x} = 5.787$), erkek öğrencilere ($\bar{x} = 3.611$) göre daha yüksektir.

Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu konusunu öğrenme düzeyleri, cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemektedir, $t(63) = 1.914$, $p > 0.05$.

Başka bir ifadeyle, kadın öğrencilerin kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu konusunu öğrenme düzeyleri ($\bar{x} = 21.744$) ile erkek öğrencilerin kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu konusunu öğrenme düzeyleri ($\bar{x} = 17.611$) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır.

3.5. Beşinci Alt Probleme İlişkin Bulgular

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ne düzeydedir?

Öğrencilerin Analiz Tutum Ölçeği'nden alabilecekleri en düşük puan 20 (yirmi), en yüksek puan 100 (yüz)'dür. 65 öğrencinin tutum ölçeğinden aldıkları puanların aritmetik ortalamasına bakıldığında 59,538 olduğu görülmektedir.

Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumlarının orta düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 10: Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda yay uzunluğu konusunu öğrenme düzeylerinin cinsiyete göre t-testi sonuçları

Cinsiyet	n	\bar{x}	SS	sd	t	p
Kadın	47	21.744	7.496	63	1.914	0.060
Erkek	18	17.611	8.541			

*p<0.05

Tablo 11: Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumlarının frekans ve yüzdeleri

Tutum Derecesi	Değer Aralıkları	f	%
Olumlu tutum sergileyenler	84.8-100	1	1.55
Olumluya yakın tutum sergileyenler	68.6-84.8	17	26.15
Orta düzeyde tutum sergileyenler	52.4-68.6	25	38.45
Olumsuzya yakın tutum sergileyenler	36.2-52.4	21	32.3
Olumsuz tutum sergileyenler	20-36.2	1	1.55
Toplam	20-100	65	100

Tablo 12: Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumlarının cinsiyete göre t-testi sonuçları

Cinsiyet	n	\bar{x}	SS	sd	t	P
Kadın	47	59.446	13.889	63	-0.085	0.932
Erkek	18	59.777	14.440			

*p<0.05

3.6. Altıncı Alt Probleme İlişkin Bulgular

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile cinsiyetleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark var mıdır?

Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları, cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemektedir, $t(63) = -0.085$, $p>0.05$. Başka bir ifadeyle, kadın öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ($\bar{x}=59.446$) ile erkek öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ($\bar{x}=59.777$) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır. “Analiz Tutum Ölçeği”nin her bir alt boyutu (özgüven, motivasyon, değer ve mutluluk) için bağımsız örneklemelerde t testi uygulandığında, toplam tutum puanındaki sonucun aynısına ulaşılmıştır. Yani, öğrencilerin tutum ölçeğinin her bir alt boyutundan aldıkları puanlar, cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemektedir, $p>0.05$.

3.7. Yedinci Alt Probleme İlişkin Bulgular

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. sınıf lisans öğrencilerinin Belirli İntegral yardımıyla kutupsal koordinatlarda alan, hacim ve yay uzunluğu hesabı konusunu öğrenme düzeyi ile Analiz-2 dersine yönelik tutumları arasında anlamlı bir ilişki var mıdır?

Büyüköztürk’e (2020, s.34) göre, yapılan

korelasyon analizi sonuçlarına göre kutupsal koordinatlarda alan hesabı konusunu öğrenme düzeyi ile Analiz-2 dersine yönelik tutumları arasında pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu ($r:0,247$, $p<0.05$) tespit edilmiştir. Bu durumda kutupsal koordinatlarda alan hesabı konusunu öğrenme düzeyi ile Analiz-2 dersine yönelik tutum düzeylerinin birlikte artmakta veya birlikte azalmakta olduğu belirtilebilir.

Fakat, öğrencilerin kutupsal koordinatlarda hacim ve yay uzunluğu hesabı konusunu öğrenme düzeyi ile Analiz-2 dersine yönelik tutumları arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir.

3.8. Sekizinci Alt Probleme İlişkin Bulgular

İlköğretim matematik öğretmenliği 1. Sınıf lisans öğrencilerinin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile matematik akademik başarısı arasında anlamlı bir ilişki var mıdır?

Yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre, öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile matematik akademik başarısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Fakat; öğrencilere uygulanan tutum ölçeğinin alt boyutları ile matematik akademik başarısı için Pearson Korelasyon Analizi uygulandığında, değer alt grubu ile matematik akademik başarısı arasında istatistiksel olarak anlamlı

Tablo 13: Öğrencilerin Kutupsal Koordinatlarda Alan, Hacim ve Yay Uzunluğu Hesabı Konusunu Öğrenme Düzeyi ile Analiz-2 Dersine Yönelik Tutumları Arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı Değerleri

		Kutupsal Koordinatlarda Alan Hesabı Konusunu Öğrenme Düzeyi	Kutupsal Koordinatlarda Hacim Hesabı Konusunu Öğrenme Düzeyi	Kutupsal Koordinatlarda Yay Uzunluğu Hesabı Konusunu Öğrenme Düzeyi	Analiz-2- Dersine Yönelik Tutum Düzeyi
Kutupsal Koordinatlarda Alan Hesabı Konusunu Öğrenme Düzeyi	Pearson	1	0.340**	0.741**	0.247*
	Korelasyon				
	p		0.006	0.000	0.047
	n	65	65	65	65
Kutupsal Koordinatlarda Hacim Hesabı Konusunu Öğrenme Düzeyi	Pearson	0.340**	1	0.289*	0.078
	Korelasyon				
	p	0.006		0.020	0.539
	n	65	65	65	65
Kutupsal Koordinatlarda Yay Uzunluğu Hesabı Konusunu Öğrenme Düzeyi	Pearson	0.741**	0.289*	1	0.122
	Korelasyon				
	p	0.000	0.020		0.333
	n	65	65	65	65
Analiz-2 Dersine Yönelik Tutum Düzeyi	Pearson	0.247*	0.078	0.122	1
	Korelasyon				
	p	0.047	0.539	0.333	
	n	65	65	65	65

**p<0.01

*p<0.05

4. ÖNERİLER

Araştırmada elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki öneriler sunulmaktadır.

- “Kutupsal Koordinatlarda Alan, Hacim ve Yay Uzunluğu Konu Alan Bilgisi Başarı Testi” yerine farklı başarı testleri uygulanabilir.
- Örneklemden öğrenci sayısı artırılabilir.
- Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile matematik akademik başarıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olmamasının sebebi şu olabilir: Dersten korkarak olumsuz tutum sergileyen bir öğrenci, başaramayacağını düşündüğü için matematik sınavlarına daha fazla çalışmaktadır. Dolayısıyla matematik akademik başarıları da artmaktadır. Aksi yönde, Analiz-2 dersini severek, olumlu tutum sergileyen öğrenci, başaracağını düşünerek olumlu ruh haliyle sınavlara çalışıp

girmektedir. Bu yüzden de matematik akademik başarıları artmaktadır. Sonuç olarak, öğrencinin tutum çeşidinin, derse karşı olan başarılarını etkilememeye ihtimali de vardır. Bu konuda daha fazla çalışma yapılarak bu bulguya ait yorum araştırılabilir.

- Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları araştırıldığında, örneklemden öğrencilerin çoğunluğunun tutum derecelendirmesinde orta düzeyde yoğunlaştığı görülmektedir. Olumlu tutum sergileyen 1 öğrenci ve olumsuz tutum sergileyen 1 öğrenci olmak üzere toplamda 2 öğrencinin uç noktalarda tutum sergilediği görülmektedir. Aynı okul ve bölümde okuyan bu öğrencilerin derse karşı olan tutumlarının bu kadar değişiklik göstermesinin nedenleri araştırılabilir.

Kutupsal koordinatlarda hacim konusundaki başarının diğer konulara göre düşük olmasının nedeni araştırılabilir.

Tablo 14: Öğrencilerinin Analiz-2 Dersine Yönelik Tutumları ile Matematik Akademik Başarısı Arasındaki Pearson Korelasyon Katsayısı Değerleri

		Analiz-2 dersine yönelik tutum düzeyi	Matematik akademik başarısı
Analiz-2 dersine yönelik tutum düzeyi	Pearson Korelasyon	1	0.242
	p		0.052
	n	65	65
Matematik akademik başarısı	Pearson Korelasyon	0.242	1
	p	0.052	
	n	65	65

**p<0.01

*p<0.05

- “Kutupsal Koordinatlarda Alan, Hacim ve Yay Uzunluğu Konu Alan Bilgisi Başarı Testi”ndeki hacim konusuna ilişkin soru sayısı artırılarak tekrar uygulanabilir.

5. SONUÇ

Öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan ve yay uzunluğu konusunda başarılı oldukları görülürken; hacim hesabında başarısız oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Öğrencilerin başarı testi toplam puanları ve hacim hesabı konusunu öğrenme düzeyleri cinsiyete göre (kadınların lehine) istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermektedir. Kız öğrencilerin akademik başarı puanları, erkek öğrencilerinkinden daha yüksek bulunmuştur (Selçuk, 1997).

Fakat, öğrencilerin kutupsal koordinatlarda alan ve yay uzunluğu hesabı konusunu öğrenme düzeyleri, cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemektedir. Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumlarının orta düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları, cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemektedir. Bazı çalışmalarda (Yenilmez ve Özabacı, 2003; Çelik ve Bindak, 2005) cinsiyet farklılığının matematik tutumu üzerinde bir etkisinin bulunmadığı belirtilmiştir.

Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile kutupsal koordinatlarda alan hesabı konusunu öğrenme düzeyi arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu; hacim ve yay uzunluğu hesabı konusunu öğrenme düzeyi ile arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olmadığı tespit edilmiştir.

Öğrencilerin Analiz-2 dersine yönelik tutumları ile matematik akademik başarısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Çoğu çalışmada (Yücel ve Koç, 2011; Yenilmez ve Özabacı, 2003) başarı ile tutum arasında pozitif yönde bir ilişki bulunurken; bunun aksine, Ekizoğlu ve Tezer (2007) yaptıkları çalışmada başarı ile tutum değişkeni arasında anlamlı bir ilişki bulamamıştır. Fakat; tutum ölçeğinin “değer” alt boyutu ile matematik akademik başarısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Alacapınar, F. (2018). *Meslek olarak öğretmenlik*. M. Yavuz (Yay. Haz.). Eğitim Bilimine Giriş (s. 247-274). Ankara: Anı Yayıncılık.
- Büyüköztürk, Şener vd. (2018). *Tarama araştırmaları*. Bilimsel araştırma yöntemleri ve yayın etiği (25.Baskı). Ankara: Pegem Yayınları.
- Büyüköztürk, Ş. (2020). *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı*. Ankara: Pegem Akademi.
- Çelik, H. C., ve Bindak, R. (2005). Sınıf öğretmenliği bölümü öğrencilerinin matematiğe yönelik tutumlarının çeşitli değişkenlere göre incelenmesi. *Kastamonu Eğitim Dergisi* 13/2, 427-436.
- Ekizoğlu, N., ve Tezer, M. (2007). İlköğretim öğrencilerinin matematik dersine karşı tutumları ile matematik başarı puanları arasındaki ilişki. *Kıbrıs Eğitim Bilimleri Dergisi*, 3, 43-57.
- Hacıömeroğlu, G. (2020). Üniversite öğrencilerinin analiz dersine yönelik tutum ve öğrenme ortamı algıları. *International Journal of Educational Studies in Mathematics*, 7/2, 72-87.
- Karasar, N. (2002). *Bilimsel araştırma yöntemi*. Ankara: Nobel Yayınevi.

- Kılıç, B. C. (2019). *Hayat bilgisi ve sosyal bilgiler ders kitaplarındaki doğal afetler konusunun sarmal sistem yönünden değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- Selçuk, E. (1997). *İngilizce dersine karşı tutum ile bu dersteki akademik başarı arasındaki ilişki*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu.
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4–14.
- Yenilmez, K., ve Özabacı, N. Ş. (2003). Yatılı öğretmen okulu öğrencilerinin matematik ile ilgili tutumları ve matematik kaygı düzeyleri arasındaki ilişki üzerine bir araştırma. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14, 132–146.
- Yücel, Z., ve Mustafa, K. O. Ç. (2011). İlköğretim öğrencilerinin matematik dersine karşı tutumlarının başarı düzeylerini yordama gücü ile cinsiyet arasındaki ilişki. *İlköğretim Online*, 10(1), 133-143.