



Türkiye’de Biyomatematik Araştırmaları ve Biyomatematik Eğitimi*

Miraç YILMAZ** Meltem COŞKUN ŞİMŞEK*** Necla TURANLI****

• **Geliş Tarihi:** 10.12.2021 • **Kabul Tarihi:** 20.05.2022 • **Çevrimiçi Yayın Tarihi:** 08.06.2022

Öz

Günümüzde fen bilimleri ve sosyal bilimlerde ortaya çıkan yeni bilgiler, matematiksel modellerin kullanıldığı bilgisayar yazılımları yardımıyla işlenerek, bu bilgilerin olgunlaştırılması sağlanmaktadır. Biyolojik süreçlerin matematiksel olarak açıklanması olarak ifade edilebilen, uygulamalı matematiğin bir alt dalı olan biyomatematik (matematiksel biyoloji) biyolojik bilginin matematikle modellenmesi ve gösterimi anlamına gelmektedir. Biyomatematikin konu alanı ve gelişen mesleki uygulamalardaki yeri geniştir. Bu nedenle, geleceğin yetişkinleri olan ortaöğretim öğrencilerinin, biyoloji-matematik bölümleri lisans-lisansüstü öğrencilerinin ve bu konuya dair ilk bilgileri aktaran öğretmen adaylarının yetiştirilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki biyomatematik araştırmalarını ve biyomatematik eğitimini inceleyerek geleceğe ilişkin çıkarımlar yapılmasıdır. Çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi yöntemi tercih edilmiştir. Veri toplama sürecinde ise biyomatematik bilimini konu edinen araştırmalara ve biyomatematik bilimi üzerine eğitim veren kurum ve programlara ilişkin dokümanlara ulaşılmıştır. Ulaşılan dokümanlar içerik analizi ile çözümlenmiştir. Analizler sonucunda ülkemizde yapılan araştırmalarda biyomatematik kavramının henüz kavramsal olarak yerleşmediğini söylemek mümkündür. Bu durum sadece bilimsel araştırmalar ile sınırlı kalmayıp biyomatematik eğitiminin de yükseköğretim programlarında tam anlamıyla yerini alamadığını gösterebilir. Çalışmada elde edilen sonuçlar biyomatematikin öneminin çok yönlü olarak incelenmesi adına yapılacak yeni araştırmaların gerekliliğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: matematiksel biyoloji, biyomatematik, biyomatematik eğitimi, doküman incelemesi

* Bu çalışma 24-26 Kasım 2021 tarihinde gerçekleştirilen Gazi Üniversitesi Türk Dünyası Eğitim Bilimleri Kongresi’nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

** Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi ABD, mirac@hacettepe.edu.tr ORCID: 0000-0003-3200-2767

*** Arş. Gör., Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi ABD, meltemcoskun@hacettepe.edu.tr ORCID: 0000-0003-4971-4963

**** Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik Eğitimi ABD, turanli@hacettepe.edu.tr ORCID: 0000-0001-8758-9054

Atıf:

Yılmaz, M, Coşkun Şimşek, M. ve N, Turanlı, N. (2023). Türkiye’de Biyomatematik Araştırmaları ve Biyomatematik Eğitimi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 57, 356-381. doi:10.9779/pauefd.1035121.

Giriş

Bilim ve teknolojinin ilerlemesi, canlıların genetik yapılarının aydınlatılmasından, coğrafi bilgi sistemleri için uydular yapılmasına kadar birçok alandaki gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Günümüzde fen bilimlerinden sosyal bilimlere değin hayatımızın her alanında ortaya çıkan bu yeni bilgiler, matematiksel modellerin kullanıldığı bilgisayar yazılımları yardımıyla işlenmekte ve büyük miktarda verinin olgunlaştırılması sağlanmaktadır (Eaton, LaMar ve McCarthyc, 2020). Bu nedenle, elde edilen her türlü bilginin düzenlenmesinin gittikçe önem kazandığı 21. yüzyılda, bilimsel verinin anlamlandırılmasında matematik ve bilgisayarlı işlemlerin öne çıkacağı açıktır. Özellikle uygulamalı matematiğin bir alt alanı olan biyomatematik (matematiksel biyoloji) biliminin, günlük yaşamın birebir içinde olan biyolojik bilimlerdeki verileri nicel olarak değerlendirilmesi ve biyoloji, matematik ve bilgisayar bilimlerini kapsayan disiplinlerarası çalışmalar yapması gittikçe daha fazla dikkat çekmektedir. Öyle ki, artık biyomatematik bilimi uygulamalarının, gençlerin kariyer planlarında yerini alması kaçınılmazdır (Akman, Eaton, Hrozencik, Jenkins ve Thompson, 2020).

Matematiksel biyoloji, teorik biyoloji, nicel biyoloji, hesaplamalı biyoloji gibi farklı isimlerle anılan ve uygulamalı matematiğin bir alt dalı olan biyomatematik kavramının gittikçe popüler olduğunu ve merak uyandırdığını söylemek yanlış olmaz. Akman ve diğerleri (2020) 2000’li yılların başından beri Amerika Birleşik Devletleri’nde matematiksel biyoloji araştırmalarını ve eğitimini desteklemek için birçok profesyonel kuruluş olduğunu ve devlet tarafından finanse edilen enstitülerin ortaya çıktığını belirtmektedirler. Bununla beraber, biyomatematik alanında yapılan çalışmaların tanıtılması ve lisans-lisansüstü düzeylerde etkili bir eğitim verilerek eleman yetiştirilebilmesi için ilk ve ortaöğretimden itibaren öğrencilerin bu konulara özendirilmesi ve yönlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Jungck, Robeva ve Gross (2020) ise, 2020 yılı itibariyle, dünyada yaklaşık 200 kurumun biyomatematik ve biyoformatikle ilgili lisans ve/veya yüksek lisans programları sunduğunu bildirmektedirler.

Dünyada biyomatematik araştırmalarına ve eğitimine verilen önemin gün geçtikçe artmasına rağmen, kavramın Türkçe literatürde çok az yer aldığı görüldüğünden, ülkemizde biyomatematik kavramının henüz kavramsallaşmadığı söylenebilir. Dolayısıyla biyomatematik kavramı yerine farklı kavramlar (teorik biyoloji, biyoistatistik biyoformatik, matematiksel modelleme, modelleme vb. gibi) alan yazında yer almaktadır. Esasen kullanılan farklı kavramların biyomatematiğin özünü yansıttığı düşünülebilse de

ülkemizde biyomatematik kavramının kullanımı ve biyomatematiğin önemi henüz tam olarak tartışılmamıştır. Bu bağlamda çalışmanın amacını, Türkiye’de biyomatematik bilimi ve ilişkili olduğu alanlarda yapılmış araştırmalarla, bu alanlardaki eğitim-öğretim faaliyetlerinin incelenmesi oluşturmaktadır. Ülkemizdeki mevcut durumun ve bu alana yönelik farkındalığın tespit edilmesinin, geleceğin biyomatematik uzmanlarını yetiştirmek ve dünyada biyomatematik alanındaki gelişmeleri yakalayabilmek açısından önemli olacağı düşünülmektedir.

Biyomatematiğin Kapsamı

Canlıların anlaşılması için yapılan araştırmalar aracılığıyla tanımlanan verilerin nicel ifadelerle dönüştürülmesi için kullanılan biyomatematik multidisipliner bir çalışma alanıdır. Kısaca biyolojik yapı ve süreçlerin matematik sembolleriyle açıklanması olarak ifade edilebilen biyomatematik, elde edilen verilerin formüllere dökülmesi, modellenmesi ve gösterimi anlamına gelmektedir (Gordon, 1993). Uygulamalı matematiğin içinde yer alan biyomatematiğin, araç ve teknikler aracılığıyla nicel sembollerle ifade edilen biyolojik sistemleri, hareket ve davranışları ölçerek, simüle edebildiği bildirilmektedir (Gordon, 1993). Biyolojideki teorik ilkelerin geliştirilmesi yanını vurgulamak için daha önceleri kullanılan teorik biyoloji kavramının günümüzde genişlediği ve matematiksel uygulamaları da içeren, kapsayıcı bir kavram olan biyomatematik kavramı ile ifade edildiği söylenebilir (Montévil ve Mossio, 2015; Longo ve Soto, 2016).

Biyomatematik aracılığıyla deney sonucunda henüz tahmin edilemeyen özellikler, matematik formüllerinin kullanımıyla ortaya çıkartılabilir ve geniş biçimde yorumlanabilirler. Örneğin avlanma ile ilgili dengeleri korumak için üreme çağındaki balıkların ne kadarının avlanmasının doğru olacağını bilmek gerekir ki, Gordon’a (1993) göre teorik ya da matematiksel bir biyolog balık popülasyonunun nasıl değişeceği hakkında tahminlerde bulunmak için matematik denklemleri düzenleyerek modeller kurar ve bilgisayar programlarını formüle ederek çözümleri araştırır. Ayrıca kuluçkahanelerde kirlilik, habitat tahribatı, kaçak avlanma veya stoklamanın etkilerini açıklamak önem taşımaktadır; hastalıkların teşhisi için gereken zararsız röntgen dozunun tespit edilmesinde ya da beyinde sinir hücrelerinin çalışma prensibinin yapay zekâ ile simülasyonu ya da gen haritalarının hazırlanması gibi konular biyomatematik ile cevap bulabilir (Gordon, 1993). Örneğin Weisstein (2011), zamana (t) bağlı olarak su (W) seviyesindeki değişikliklerin, dere, yağmur ya da diğer kaynaklardan eklenen akışa bağlı olduğunu ve buharlaşmayla su

360 M, Yılmaz, M, C. Şimşek ve N, Turanlı / *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 57, 356-381, 2023
kullanımına bağlı azalmanın diferansiyel bir matematik denkleme (dW/dt) konabileceğini belirtir (Akt: Bodine, Panoff, Voit ve Weisstein, 2020).

Gordon'a (1993) göre, biyomatematikçilerin yaptığı hesaplamalar ve kurdukları matematiksel modeller, biyoloji konularını, toplumsal bir çerçeveye taşımakta ve bilimin günlük hayatımızdaki etkilerinin altını çizmektedir. Araştırmacıya göre bunun nedeni, biyomatematikin yaptığı hesaplamaların bilimsel deneyler, toplumların sağlıkla ilgili davranışları, tedavi müdahaleleri, akrabalık tespitleri ve doğa koruma planlarına etki edebilmesi, hatta kamu politikalarına yön verebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, biyomatematikin hem bilimsel verinin yorumlanması hem de günlük hayatımıza bilim ve teknolojinin sonuçlarını yansıtmakla ilgili ciddi bir etki alanı bulunduğunu açıkça göstermektedir.

Biyolojinin farklı alanlardaki deneysel sonuçların genellenebilmesi ve büyük ölçekler için anlamlandırılabilmesinde biyomatematikin iş gördüğü söylenebilir. Eaton ve diğerleri (2020), günümüzde birçok matematik ve biyoloji araştırmacısının, yaşam bilimlerini nicel olarak ele almanın biyomatematikin önemini öne çıkardığını ve biyoloji müfredatlarına matematiksel/nicel teknikleri dahil etmek için geniş revizyon önerilerinde bulunulması gerektiğini bildirmektedirler.

Biyomatematik Eğitimi

Biyomatematikin konu alanının genişliği ve geleceği inşa etmedeki potansiyeli anlaşıldıkça, meslek seçimlerini yapmak isteyen ortaöğretim öğrencileri, uzmanlıklarını ilerletmek isteyen biyoloji-matematik bölümleri lisans-lisansüstü öğrencileri ve hatta öğretmen adaylarının konuya ilgisi konuşulmaya başlanacaktır. Araştırmacılar, makine öğrenimi, matematiksel modelleme, hesaplama/simülasyon ve büyük verinin bir araya getirilmesiyle genomların açığa çıkarıldığı ve gen düzenlemesinden kişiselleştirilmiş tıbbı kadar giden açılımlara sebep olan veri zenginliğinin muazzam bir potansiyeli olduğunu bildirmektedirler (Robeva, Jungck ve Gross, 2020). Bununla beraber, Robeva ve diğerleri (2020) veri bilimi yoluyla gerçekleşen keşiflerin aynı zamanda zararlı etik ve sosyal sonuçlarla, kötü niyetli olarak kullanılabilir olmasına da dikkati çekmekte; gizlilik ve etik normlara ilişkin politikalar ve hazırlıklarla yönlendirilmesi gerektiğinin altını çizmektedirler. Buna göre, sadece gelişmeleri takip etmek açısından değil, potansiyel olumsuzlukları önlemek açısından da ülkelerin biyomatematik konularının farkında olması ve yetkin elemanlar yetiştirmesi önem taşımaktadır.

Akman ve diğerleri (2020) matematik, biyoloji ve bilgisayar bilimlerinin birlikte çalışmaya başlamasıyla gelişen multidisipliner çalışmaların artması ve biyomatematik araştırma ve uygulamalarında uzman insan kaynağının karşılanabilmesi için, ilk ve ortaöğretimden itibaren eğitimlerin verilmeye başlanması ve sonrasında lisans-lisansüstü öğrencilerin de bu bakış açısıyla yetiştirilmesi gerektiğini bildirmektedirler. Mayes, Long, Huffling, Reedy ve Williamson (2020) ise hesaplama, "büyük veri" ve istatistiksel modellemelerin biyologlar için giderek daha gerekli beceriler haline geldikçe biyomatematikin hem ortaöğretim hedeflerinde hem de lisans eğitimi için nicel becerilere vurgunun artacağını tahmin edildiğini bildirmektedirler. Araştırmacılar eğitimdeki bu yenilenme ve değişim ihtiyacına karşılık verilmesiyle, lise düzeyinde biyomatematik ile ilgili tanıtımlar yapılarak kariyer seçimlerini yönlendiren ve üniversite düzeyinde uzmanlaşmayı sağlamak amacıyla bu konudaki eğitimin temel bileşenlerini değerlendiren ve kariyer imkânlarını çoğaltan eğitimlerin hazırlanabileceğini belirtmektedirler (Akman ve diğerleri, 2020). Yetiştirilecek biyomatematik uzmanlarının hizmet verebilecekleri yerlere örnek olarak, hastanelerin analiz birimleri, sağlık bakanlığının çeşitli birimleri, hastalık kontrol merkezleri, ilaç firmaları, aşı firmaları, üniversitelerin ilgili bölümlerinde araştırmacı ve eğitmen, araştırma enstitülerinde akademik kariyer medikal firmaların araştırma-geliştirme birimleri, tıbbi cihaz geliştirme firmaları, fen, matematik, jeoloji, eğitim fakülteleri vb. örnek verilmektedir (Gordon, 1993).

Akman ve diğerleri (2020), Amerika Birleşik Devletleri'nde matematik ve biyoloji eğitimi reformunu gerçekleştirmeye çalışan dört örgütün (Müfredat Konsorsiyumu Ağı-Curriculum Consortium Network/BioQUEST, Kolejler ve Üniversitelerarası Biyomatematik İttifakı-Intercollegiate Biomathematics Alliance/IBA, Nicel Lisans Biyoloji Eğitimi ve Sentezi-Quantitative Undergraduate Biology Education and Synthesis/QUBES, MathBench Biyoloji Modülleri), çabalarının, biyomatematik eğitimini iyileştirmenin yollarını arayanlara fikir verebileceğini ve biyomatematik ile ilgili eğitim kurumları, eğitmen ve öğrenci topluluklarının amaçlarına ulaşmalarında verimli bir ortam sunabileceğini belirtmektedirler. Bununla beraber, günlük hayat problemlerine ait verilerin, anlamlı ve uygulanabilir bilgilere dönüştürülmesinde etkin olan biyomatematikin, geleceğin öğretim anlayışında da söz sahibi olmaya başladığı söylenebilir. Nitekim, biyomatematik eğitimi, Fen-Teknoloji-Mühendislik-Matematik (FETEMM, Science-Technology-Engineering-Mathematic [STEM]) eğitimine dayalı öğrenme etkinliklerinde de kendini göstermektedir. Biyomatematik ile ilgili birimlerin kendi yapılarına destek sağlayan eğitim odaklı çabalarının, esasen ortaokul ve liselerdeki

eğitim altyapılarının da özel bir eğitim yaklaşımı olan FETEMM eğitimini benimsemelerine destek olduğu bildirilmektedir (Aikens, 2020). Ancak, Aikens (2020) eğitim-öğretim alanındaki FETEMM yaklaşımının hala öğrencilere yeterince ulaşamadığını ve öğrencilerin fen, teknoloji, mühendislik ve matematik alanlarını birbirine ve biyolojiye nadiren bağlayabildiklerini bildirmektedir. Bu bağlamda, Amerika Birleşik Devletleri'nde matematik ve biyoloji eğitimi reformunu gerçekleştirmeye çalışan dört farklı örgütlenmenin, öğrenci başarısını artırmak için biyomatemiği öğretime katma ortak hedefi ile çalıştıkları bildirilmektedir (Akman ve diğerleri, 2020).

Nitelikli bir biyomatemiği eğitimi yapılmasında, eğitici kadronun varlığı da önem taşımaktadır. Biyomatemiği konusunda kendine güvenen ve başarılı olacağına inanan öğretmenlerin, biyomatemiği alanının hızla gelişmesine destek olabileceği düşünülmelidir. Seshaiyer ve Lenhart (2020) öğretmenlerin matematiksel modellemede araştırma deneyimlerine katılmasının, eğitim-öğretim uygulamalarının geliştirilip, dönüştürülmesine çok yardımcı olabileceğinin altını çizmekte ve öğrencilere hem matematik hem de biyoloji alanlarıyla daha yakından ilgilenmelerini sağlayabileceğini bildirmektedirler. Öğretmenlerin hizmet içi ve öncesinde biyomatemiği konularını kavrayabilmelerinin sağlanması ve eğitim faaliyetlerinin yürüebilmesinin, birçok eğitici materyalin oluşturulması ve eğitici ortamın hazırlanmasını da zorunlu kılacağı açıktır. Cozzens ve Roberts (2020) biyomatemiği konularını içeren matematik dersi öğretmenlerinin biyolojiyi anlamaları, biyolojik olay ve süreçleri iyi açıklayabilmeleri; yaşam bilimleri öğretmenlerinin de matematikten kaygı duymadan ders yapabilmeleri gerektiğini bildirmektedir. Bu nedenle öğretmenler için eğitim kursları, materyaller (kitaplar, uygulama modülleri ve bilgisayar yazılımları gibi), disiplinlerarası ortaklıklar, iletişim ve daha fazla kadronun tahsis edileceği bölümlere ihtiyaç bulunduğunu bildirmektedirler (Cozzens ve Roberts, 2020).

Araştırma Problemi

Bu çalışmanın amacı Türkiye'de biyomatemiği araştırmalarının ve biyomatemiği eğitiminin incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda aşağıda sıralanan alt problemlere yanıt aranmıştır:

1. Türkiye'de biyomatemiği bilimini konu edinen araştırmaların (kitap, proje, patent, atölye, tez, makale, bildiri olarak) dağılımı nasıldır?

2. Türkiye’de biyomatematik bilimi üzerine çalışmalar yapan öğretim elemanlarının, biyomatematik bilimine ilişkin eğitim veren kurumların ve programların dağılımı nasıldır?

Sınırlılıklar

Disiplinlerarası ve yeni bir bilim alanı olan biyomatematik araştırmaları, ülkemizde akademik kaynak, uzman ve lisansüstü öğrenci eksiklikleri nedeniyle, biyomatematik (matematiksel biyoloji) şeklinde tek bir kavram altında yer almamaktadır. Bu nedenle, çalışma yürütülürken biyomatematik (matematiksel biyoloji) kavramının yanı sıra, konu alanları içerisinde yer alan biyoenformatik (biyoinformatik), matematiksel modelleme, modelleme, simülasyon, yapay zekâ, geomatik ve biyometri (biyometrik) terimleri de seçilerek, araştırılmıştır. Bununla beraber, biyomatematik kavramı ile ilgili olmasına rağmen, farklı alanlarda, çok geniş biçimde kullanılan biyoistatistik ve bilgisayar kavramlarına, verilerde yanıltıcı bir şişme yaratmamak için çalışmada yer verilmemiştir. Bu bağlamda çalışmanın amacı doğrultusunda, biyomatematik alanına ilişkin araştırma ve eğitimler yukarıda sıralanan kavramlarla birlikte ele alınarak araştırılmışlardır.

Yöntem

Bu çalışmanın amacı kapsamında, Türkiye’de biyomatematik araştırmaları ve biyomatematik eğitimi, nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi yöntemi ile incelenmiştir. Şimşek (2009) tarafından doküman incelemesi yöntemi, çalışmada hedeflenen olay ya da olgular ile ilgili bilgi içeren yazılı kaynakların incelenmesi şeklinde açıklanmıştır. Bu çalışma doküman analizi yönteminde izlenen yollara uygun olarak; (1) dokümanlara ulaşma, (2) orijinalliği kontrol etme, (3) dokümanları anlama, (4) veriyi analiz etme, (5) veriyi kullanma (Yıldırım ve Şimşek, 2016) aşamaları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma bir doküman inceleme çalışması olduğundan etik kurul iznine gerek duyulmamıştır.

Veri Toplama Süreci

Çalışmanın veri toplama sürecinde biyomatematik bilimini konu eden araştırmaların (kitap, proje, patent, atölye, tez, makale, bildiri) ve biyomatematik bilimi üzerine çalışmalar yapan öğretim elemanlarının, biyomatematik bilimine ilişkin eğitim veren kurumların ve programların belirlenmesine üzerine bir doküman belirleme çalışması yapılmıştır.

Biyomatematik ve ilgili kavramların yer aldığı dokümanlara ulaşmak amacıyla Yükseköğretim Kurulu resmi internet sayfaları (YÖK Akademik Arama, 2021; YÖK Atlas, 2021; YÖK İstatistik 2021; YÖK Ulusal Tez Merkezi, 2021) taranmıştır. Yükseköğretim kurumu resmi internet sayfalarında biyomatematik (matematiksel biyoloji), biyoenformatik (biyoinformatik), matematiksel modelleme, modelleme, simülasyon, yapay zekâ, geomatik ve biyometri (biyometrik) terimlerini içeren taramalar yapılmıştır.

Süreç boyunca yapılan taramalar resmi kaynaklı siteler aracılığıyla gerçekleştirildiği için elde edilen dokümanların orijinalliği sorgulanmamış ve toplam 4 kaynaktan elde edilen dokümanlar incelenmiştir.

Veri Analizi

Bu aşamada ilk olarak elde edilen dokümanlara ilişkin anlamlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Alt problemlerin gerekliliği doğrultusunda araştırma türlerinin sayısı, öğretim elemanı sayısı, lisans programları ve bu programların açılış tarihi, lisansüstü programlar, araştırma merkezleri ve bu merkezlerin açılış tarihi gibi kategoriler belirlenerek bu doğrultuda analiz sürecine geçiş yapılmıştır.

Dokümanların analiz edilmesinde içerik analizi kullanılmıştır. Cohen, Manion ve Morrison (2007) içerik analizini basitçe yazılı verilerin özetlenmesi ve raporlanması süreci olarak tanımlamışlardır. İçerik analizi sonucunda dokümanlardan elde edilen sayısal verilerin frekans dağılımları yapılmış, verilerin bir kısmı ise şekil ve tablo haline getirilerek betimsel olarak değerlendirilmiştir. Bu sayısal veriler, kategorilere ayırarak karşılaştırma yapmayı sağlamaktadırlar.

Geçerlik, Güvenirlilik Önlemleri

Çalışmanın güvenilirliğini sağlamak için, çalışmada takip edilen tüm süreç, açık ve net bir biçimde paylaşılmıştır. Ayrıca araştırmanın isteyen araştırmacılar tarafından ele alınabilmesini kolaylaştırabilmek adına, çalışma kapsamında incelenen sayfalar çalışmanın sonunda Ek A bölümünde listelenmişlerdir.

Çalışmanın veri setlerinde sayı tespitine yönelik hatalar olmaması için taramalar araştırmacılar tarafından farklı zaman dilimlerinde gerçekleştirilmiştir. Böylelikle veri setlerinin son şekli verilmiştir.

Bulgular

Türkiye’de biyomatematik araştırmalarının ve biyomatematik eğitiminin incelendiği bu çalışmada elde edilen dokümanların analizi doğrultusunda elde edilen bulgular araştırma soruları bazında verilmiştir:

“Türkiye’de biyomatematik bilimini konu edinen araştırmaların (kitap, proje, patent, atölye, tez, makale, bildiri olarak) dağılımı nasıldır?” Sorusuna İlişkin Bulgular

Türkiye’de biyomatematik (matematikselsel biyoloji) ve ilgili kavramları (biyoenformatik-biyoinformatik, matematikselsel modelleme, modelleme, simülasyon, yapay zekâ, geomatik, biyometri-biyometrik) konu edinen araştırmaların içerik analizine ilişkin bulguları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. *Biyomatematik ve İlgili Kavramları Konu Edinen Araştırmaların İçerik Analizi*

Kavramlar	Kitap	Proje	Patent	Atölye	Tez	Makale	Bildiri
Biyomatematik (Matematikselsel Biyoloji)	---	5	---	---	3	5	5
Biyoenformatik (Biyoinformatik)	53	156	2	12	91	93	212
Matematikselsel Modelleme	42	138	---	3	185	182	288
Modelleme	261	2393	21	55	2617	1392	2400
Simülasyon	64	1630	25	23	2034	918	2162
Yapay Zekâ	292	483	20	13	433	459	763
Geomatik	---	15	1	1	9	16	23
Biyometri (Biyometrik)	38	236	18	2	285	307	424
Toplam	750	5056	87	109	5657	3372	6277

Tablo 1'e göre biyomatematik veya bir diğer adıyla matematiksel biyoloji alanında yer alan bildiri sayısı 5 iken, biyoenformatik (biyoformatik), matematiksel modelleme, modelleme, simülasyon, yapay zekâ, geomatik, biyometri (biyometrik) şeklindeki ilgili kavramlar eklenerek inceleme yapıldığında sayı 6277'ye çıkmıştır. Bu doğrultuda biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin en fazla araştırmancının bildiri türünde yapıldığı, bunu tezler ve projelerin takip ettiği söylenebilir. Ancak yapılan bu tez ve proje araştırmalarının sonuçlarının makaleye aynı yoğunlukta dönüşmediği görülmektedir. Türkiye'de biyomatematik kavramı kullanılarak yapılmış kitap, patent ve atölye çalışması olmaması da dikkat çeken bir diğer bulgudur. Elde edilen bu bulgular doğrultusunda ülkemizde yapılan çalışmalarda biyomatematik (matematiksel biyoloji) kavramının henüz kavramsal olarak yerleşmediği ancak daha çok ilgili kavramlar doğrultusunda araştırmaların yapıldığı dikkati çekmektedir.

Türkiye'de biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin tez türünde yapılmış çalışmaların sayıca fazla olması nedeniyle bu çalışmaların hangi alanlarda yapıldığı da incelenmiştir.

Ziraat, Balıkçılık Teknolojisi, Su Ürünleri, Biyoloji, Biyomühendislik, Biyoteknoloji, Botanik, Tıbbi Biyoloji, Radyoloji ve Nükleer Tıp, Morfoloji, Genetik, Mikrobiyoloji, Moleküler Tıp, Anatomi, Biyokimya, Alerji ve İmmünoloji, Hemşirelik, Zooloji, Nöroloji, Onkoloji, Parazitoloji, Eczacılık ve Farmakoloji, Uyuşturucu Alışkanlığı ve Alkolizm, Fizyoloji, Klinik Bakterioloji ve Enfeksiyon Hastalıkları, Endokrinoloji ve Metabolik Hastalıklar, Adli Tıp, Diş Hekimliği, Biyofizik, Göz Hastalıkları, Kadın Hastalıkları ve Doğum, Dermatoloji, Genel Cerrahi, Biyoistatistik, Mühendislik Bilimleri, Metalürji Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Makine Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği, Gıda Mühendisliği, Çevre Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Deprem Mühendisliği, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Ormancılık ve Orman Mühendisliği, Madencilik ve Maden Mühendisliği, Jeoloji Mühendisliği, Jeofizik Mühendisliği, Fizik ve Fizik Mühendisliği, Matematik, Enerji, Savunma ve Savunma Teknolojileri, Uluslararası İlişkiler, Hukuk, Ağaç İşleri, Endüstri Ürünleri Tasarımı, Bankacılık, İstatistik, Bilgisayar ve Kontrol, İşletme, Kamu Yönetimi, İletişim Bilimleri, Sivil Havacılık, Bilim ve Teknoloji, Kimya, Jeodezi ve Fotogrametri, Coğrafya, Eğitim ve Öğretim, Sağlık Eğitimi, Teknik Eğitim, Psikoloji, Antropoloji, Spor

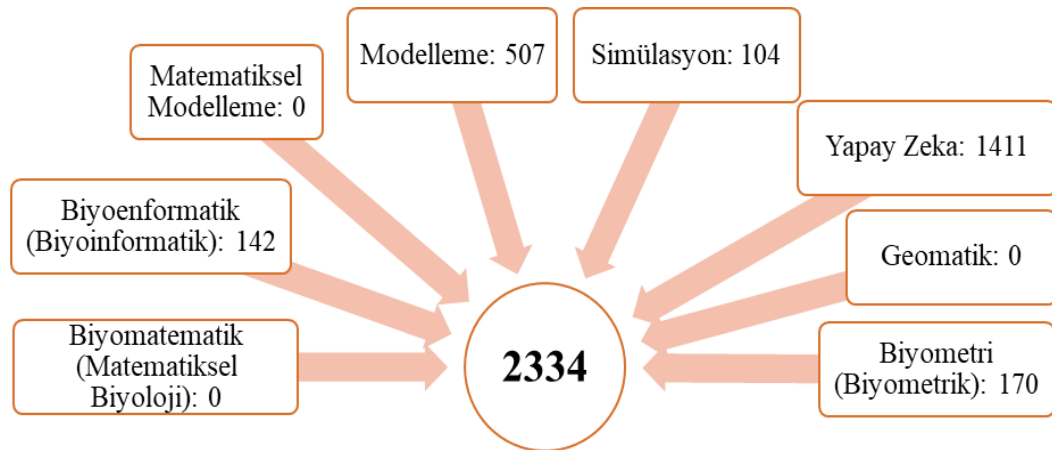
Şekil 1. *Biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin lisansüstü çalışmalarının yapıldığı alanlar*

Şekil 1’de görüldüğü gibi, Türkiye’de biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin tez çalışmaları 75 farklı alanda gerçekleştirilmiştir. Özellikle biyomatematikle ilgili biyoenformatik, matematiksel modelleme, modelleme, simülasyon, yapay zekâ, geomatik, biyometriyle ilgili olan kavramlarda su ürünlerinden adli tıbbâ, genel cerrahiden çevre mühendisliğine, matematikten hukuka, işletmeden eğitim ve öğretime kadar birçok alanda lisansüstü çalışmaları kapsamaktadır. Buna göre, biyomatematik kavramının anahtar kelime olarak tek başına kullanılmadığı görülmektedir. Ayrıca biyomatematik kavramı tam olarak yerleşmemiş olmasına rağmen, biyomatematik ve ilgili kavramlar doğrultusunda hemen her alanda lisansüstü çalışmalar bulunmaktadır.

“Türkiye’de biyomatematik bilimi üzerine çalışmalar yapan öğretim elemanlarının, biyomatematik bilimine ilişkin eğitim veren kurumların ve programların dağılımı nasıldır?” Sorusuna İlişkin Bulgular

Türkiye’de biyomatematik bilimi üzerine çalışmalar yapan öğretim elemanlarının, biyomatematik bilimi üzerine eğitim veren kurumlar ve programları belirleyebilmek için incelenen dokümanlar, öğretim elemanı sayısı ve unvanı, lisans ve lisansüstü program sayısı, lisans bölümleri, lisansüstü bölümleri ve araştırma merkezleri bağlamında içerik analizine tabi tutulmuştur.

Türkiye’de biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin çalışmalar yapan öğretim elemanlarının sayısı Şekil 2’de verilmiştir:



Şekil 2. Biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin çalışmalar yapan öğretim elemanlarının sayısı

Şekil 2’de görüldüğü gibi, kendisini biyomatematikçi olarak nitelendiren araştırmacı bulunmazken; biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin çalışmalar yapan araştırmacı sayısı

368 M, Yılmaz, M, C. Şimşek ve N, Turanlı / *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 57, 356-381, 2023
2334'tür. Biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin çalışma yapan öğretim elemanlarının unvan bazında dağılımları Tablo 2'de verilmiştir:

Tablo 2. *Biyomatematik ve İlgili Kavramlara İlişkin Çalışma Yapan Öğretim Elemanlarının Unvana Göre Dağılımı*

	Profesör	Doçent	Dr. Öğretim Üyesi	Öğretim Görevlisi	Araştırma Görevlisi	Toplam Öğretim Elemanı
Biyomatematik (Matematiksel Biyoloji)	0	0	0	0	0	0
Biyoenformatik (Biyoinformatik)	22	12	58	18	32	142
Matematiksel Modelleme	0	0	0	0	0	0
Modelleme	103	73	184	52	95	507
Simülasyon	19	13	49	5	18	104
Yapay Zekâ	166	124	525	280	316	1411
Geomatik	0	0	0	0	0	0
Biyometri (Biyometrik)	51	22	56	16	25	170
Toplam	361	244	872	371	486	2334

Tablo 2'de görüldüğü gibi, biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin çalışma yapan öğretim elemanları arasında en yüksek sayı 872 ile Doktor Öğretim Üyeleri'dir. Elde edilen bu öğretim elemanı sayıları biyomatematikin Türkiye'de henüz gelişmekte olan, yeni bir alan olduğunu düşündürmekle beraber, biyomatematik alanında uzmanlaşmış bilim

M, Yılmaz, M, C.Şimşek ve N, Turanlı / *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 57, 356-381, 2023 369
insanlarının da bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca bu durum, biyomatematik eğitimi
verebilecek öğretim elemanı zayıflığı açısından da dikkate değerdir.

Biyomatematik ve ilgili kavramların eğitiminin verildiği lisans programları ve bu
programların açılış tarihleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. *Biyomatematik ve İlgili Kavramlara İlişkin Eğitim Verilen Lisans Programları ve Açılış Tarihleri*

Kavramlar	Lisans Program Sayısı	Lisans Programı	Fakülte	Üniversite	Program Açılış
Biyomatematik (Matematiksel Biyoloji)	---	---	---	---	---
Biyoenformatik (Biyoinformatik)	2	Biyoenformatik	Yaşam ve Doğa Bilimleri Fakültesi	Abdullah Gül Üniversitesi	2014
		Biyoenformatik ve Genetik	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi	İstinye Üniversitesi	2021
Matematiksel Modelleme	---	---	---	---	---
Modelleme	---	---	---	---	---
Simülasyon	---	---	---	---	---
		Yapay Zekâ ve Veri Mühendisliği	Mühendislik Fakültesi	Ankara Üniversitesi	2020
		Yapay Zekâ Mühendisliği	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi	Bahçeşehir Üniversitesi	2020

Yapay Zekâ	5	Yapay Zekâ Mühendisliği	Mühendislik Fakültesi	Hacettepe Üniversitesi	2019
		Yapay Zekâ ve Veri Mühendisliği	Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi	İstanbul Teknik Üniversitesi	2020
		Yapay Zekâ Mühendisliği	Mühendislik Fakültesi	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	2019
Geomatik	4	Geomatik Mühendisliği	Mühendislik Fakültesi	Hacettepe Üniversitesi	2009
		Geomatik Mühendisliği	Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi	İstanbul Okan Üniversitesi	2016
		Geomatik Mühendisliği	İnşaat Fakültesi	İstanbul Teknik Bilinmiyor Üniversitesi	
		Geomatik Mühendisliği	Mühendislik Fakültesi	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	Bilinmiyor
Biyometri (Biyometrik)	---	---	---	---	---

Tablo 3'e göre biyomatematik ve ilgili kavramların eğitiminin verildiği lisans programlarının sayısı 11'dir. Bunlar arasında en erken açılış tarihi 2009 tarihi ile Hacettepe Üniversitesi Geomatik Mühendisliği'ne aittir. Ancak Tablo 3'te doğrudan biyomatematik programı olmasa da biyomatematik ile ilgili kavramlara ilişkin alanlardaki lisans programlarının son yıllarda hızla artan bir şekilde açılmaya başladığı ve sadece son üç yılda açılan lisans programları sayısının 6 olduğu görülmektedir. Lisans programlarının çeşitlerinin ise özellikle geomatik, yapay zekâ ve biyoenformatik alanlarında yoğunlaştıkları tespit edilmiştir. Ayrıca son yıllarda özellikle yapay zekâ bölümlerinin açıldığı da dikkati çekmektedir. Bu durum, Türkiye'de biyomatematik ile ilgili lisans programlarına olan

M, Yılmaz, M, C.Şimşek ve N, Turanlı / *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 57, 356-381, 2023 371
 ihtiyacın fark edildiğini ve sayının hızla arttığını ancak tek başına biyomatematik alanının
 göz ardı edildiğini de göstermektedir.

Biyomatematik ve ilgili kavramların eğitimin verildiği lisansüstü programları Tablo
 4'te verilmiştir.

Tablo 4. *Biyomatematik ve İlgili Kavramlara İlişkin Eğitim Verilen Lisansüstü Programları*

Kavramlar	Lisansüstü Program Sayısı	Lisansüstü Programı	Üniversite	Üniversite Sayısı
Biyomatematik (Matematiksel Biyoloji)	---	---	---	---
Biyoenformatik (Biyoinformatik)	3	Biyoenformatik Biyoinformatik ve İşlemsel Biyoloji Tarımsal Biyoinformatik	Abdullah Gül, Afyon Kocatepe, Demiroğlu Bilim, Düzce, İnönü, Kocaeli, Muğla Sıtkı Koçman, Necmettin Erbakan, Türk-Alman, Van Yüzüncü Yıl Karadeniz Teknik Niğde Ömer Halisdemir	12
Matematiksel Modelleme	---	---	---	---
Modelleme	---	---	---	---
Simülasyon	---	---	---	---
		Yapay Zekâ	Eskişehir Osmangazi, Isparta Uygulamalı Bilimler, Kütahya Sağlık Bilimleri, Necmettin	

		Erbakan		
Yapay Zekâ	3	Yapay Zekâ ve Veri Mühendisliği	İstanbul Teknik	6
		Yapay Zekâ Mühendisliği	Hacettepe	
Geomatik	4	Ölçme	Fırat	4
		Fotogrametri	Hacettepe	
		Jeodezi	Hacettepe	
		Geomatik Mühendisliği	İstanbul Teknik, Zonguldak Bülent Ecevit	
Biyometri (Biyometrik)	3	Biyometri ve Genetik	Akdeniz, Ankara, Aydın Adnan Menderes, Bingöl, Bursa Uludağ, Çanakkale Onsekiz Mart, Çukurova, Ege, Erciyes, Eskişehir Osmangazi, Harran, Iğdır, Isparta Uygulamalı Bilimler, Kahramanmaraş Sütçü İmam, Kırşehir Ahi Evran, Ondokuz Mayıs, Selçuk, Siirt, Tekirdağ Namık Kemal, Tokat Gaziosmanpaşa, Uşak, Van Yüzüncü Yıl	28
		Veterinerlik Biyometrisi	Atatürk, Bursa Uludağ, Erciyes, Ondokuz Mayıs	
		Orman Hasılatı ve Biyometri	Bursa Teknik, Çankırı Karatekin, İstanbul, Karabük, Kastamonu	

Tablo 4'e göre, biyomatematik ve ilgili kavramların eğitiminin verildiği lisansüstü programlarının sayısı 13'tür. Lisansüstü programlarının yoğunlaştığı çeşitlerin ise özellikle

M, Yılmaz, M, C.Şimşek ve N, Turanlı / *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 57, 356-381, 2023 373
 geometik, biyoenformatik (biyoinformatik), biyometri (biyometrik) ve yapay zekâ alanları
 olduğu tespit edilmiştir.

Biyomatematik ve ilgili kavramlarına ilişkin çeşitli çalışmaların yapıldığı araştırma merkezleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. *Biyomatematik ve İlgili Kavramlarına İlişkin Araştırma Merkezleri ve Açılış Tarihleri*

Kavram	Araştırma Merkezi Sayısı	Araştırma Merkezi	Üniversite	Araştırma Merkezi Açılış
Biyomatematik (Matematiksel Biyoloji)	---	---	---	---
Biyoenformatik (Biyoinformatik)	2	Üreme Bilimleri ve İleri Biyoinformatik Uygulama ve Araştırma Merkezi Biyostatistik ve Biyoinformatik Uygulama ve Araştırma Merkezi	İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Üniversitesi	2019 2017
Matematiksel Modelleme	---	---	---	---
		Veri Analitiği ve Mekansal Veri Modelleme Uygulama ve Araştırma Merkezi	İzmir Bakırçay Üniversitesi	2019
		Simülasyon ve Modelleme Uygulama ve Araştırma Merkezi	Necmettin Erbakan Üniversitesi	2016
		Tasarım ve Önmodelleme Uygulama ve Araştırma Merkezi	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	2017
		Türk Silahlı Kuvvetleri Modelleme ve Simülasyon Araştırma ve Uygulama	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Bilinmiyor

Modelleme	6	Merkezi		
		Simulasyon ve Modelleme Araştırma ve Uygulama Merkezi	Sağlık Bilimleri Üniversitesi	2017
		Havacılık ve Uzay Modelleme Simülasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi	Türk Hava Kurumu Üniversitesi	2014
		İleri Düzey Simülasyon ve Endoskopik Cerrahi Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi	Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi	2013
		Kompozit Araştırma Eğitim ve Simülasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi	Balıkesir Üniversitesi	2018
		Mesleklerarası İşbirliği ve Simülasyon Eğitim, Uygulama ve Araştırma Merkezi	Hacettepe Üniversitesi	2014
		Endoskopik Cerrahi ve Simülasyon Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi	Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi	2019
Simülasyon	9	Sağlıkta İnovasyon ve Simülasyonla Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi	Lokman Hekim Üniversitesi	2020
		Simülasyon ve Modelleme Uygulama ve Araştırma Merkezi	Necmettin Erbakan Üniversitesi	2016
		Türk Silahlı Kuvvetleri Modelleme ve Simülasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Bilinmiyor
		Savunma Sağlık Hizmetleri Simülasyon	Sağlık Bilimleri	2017

		Uygulama ve Araştırma Merkezi	Üniversitesi	
		Havacılık ve Uzay Modelleme Simülasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi	Türk Hava Kurumu Üniversitesi	2014
		Yapay Zekâ ve Büyük Veri Uygulama ve Araştırma Merkezi	Erciyes Üniversitesi	2020
		Yapay Zekâ ve Veri Analitiği Uygulama ve Araştırma Merkezi	Gazi Üniversitesi	2021
		Yapay Zekâ Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi	İstanbul Arel Üniversitesi	2020
		Yapay Zekâ ve Veri Bilimi Uygulama ve Araştırma Merkezi	İstanbul Teknik Üniversitesi	2018
		Tıpta Yapay Zekâ Uygulama ve Araştırma Merkezi	İstinye Üniversitesi	2018
		Sağlıkta Yapay Zekâ Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi	İzmir Bakırçay Üniversitesi	2020
		Yapay Zekâ ve Veri Analitiği Uygulama ve Araştırma Merkezi	İzmir Demokrasi Üniversitesi	2020
		Yapay Zekâ ve Veri Bilimi Uygulama ve Araştırma Merkezi	İzmir Katip Çelebi Üniversitesi	2021
Yapay Zekâ	16	İş Bankası Yapay Zekâ Uygulama ve Araştırma Merkezi	Koç Üniversitesi	2020
		Yapay Zekâ Uygulama ve Araştırma Merkezi	Konya Teknik Üniversitesi	2020
		Robotik ve Yapay Zekâ Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	2020

		Yapay Zekâ ve Veri Madenciliği Uygulama ve Araştırma Merkezi	Pamukkale Üniversitesi	2020
		Yapay Zekâ ve Veri Bilimi Uygulama ve Araştırma Merkezi	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	2020
		Yapay Zekâ Uygulama ve Araştırma Merkezi	Sakarya Üniversitesi	2010
		Yapay Zekâ Sistemleri ve Veri Bilimi Uygulama ve Araştırma Merkezi	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	2019
		Yapay Zekâ ve Akıllı Sistemler Uygulama ve Araştırma Merkezi	Üsküdar Üniversitesi	2018
Geomatik	1	Geomatik Uygulama ve Araştırma Merkezi	İstanbul Kültür Üniversitesi	Bilinmiyor
Biyometri (Biyometrik)	---	---	---	---

Tablo 5'e göre, biyomatematik ve ilgili kavramlara ilişkin lisansüstü eğitiminin verildiği ve çeşitli çalışmaların yapıldığı 34 araştırma merkezi bulunmaktadır. Bu merkezlerin ağırlıklı olarak bilgisayar teknolojilerinin kullanıldığı yapay zekâ ve simülasyon çalışmaları yapan merkezler olduğu görülmekle beraber, modellemeyi öne çıkaran merkezlerinde bulunduğu tespit edilmiştir. Ancak yine tek başına biyomatematik kavramını içeren merkez bulunmadığı da dikkati çekmektedir.

Sonuç, Tartışma, Öneri

Bu çalışmanın amacı Türkiye'deki biyomatematik araştırmalarını ve biyomatematik eğitimini inceleyerek geleceğe ilişkin çıkarımlar yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada iki alt probleme yanıt aranmıştır. Birinci alt problemde Türkiye'de biyomatematik bilimini konu edinen araştırmalara odaklanılmıştır. Türkiye'de biyomatematik kavramını konu edinen çok az çalışma (5 proje, 3 tez, 4 makale, 5 bildiri) bulunmaktadır. Oysa Gordon (1993) biyomatematik alanındaki araştırmaların patlama gibi bir hızda ilerlediğini belirtmektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre, Türkiye'de özellikle biyomatematığın tez

konularının eklenmesi için anahtar kelime olarak kullanılmadığı ancak biyomatematikle ilgili kavramlara (biyoenformatik, matematiksel modelleme, modelleme, simülasyon, yapay zekâ, geomatik, biyometri) ilişkin su ürünlerinden eğitime kadar farklı alanlarda (75 alan) lisansüstü tez çalışmaları bulunduğu görülmektedir. Bu durum, aslında Türkiye’de bilim camiasında biyomatematik uygulamalarının geniş bir biçimde lisansüstü çalışmalarda kullanıldığı, ancak uygulamalı matematiğin bir alt alanı olan biyomatematik alanının tanınmadığını netleştirmektedir.

Çalışmanın ikinci alt probleminde ise Türkiye’de biyomatematik bilimi ve biyomatematik biliminin ilişkili olduğu alanlardaki eğitim-öğretim faaliyetlerine odaklanılmıştır. Ülkemizde kendini “biyomatematikçi” olarak nitelendirilen öğretim elemanı bulunmamaktadır. Bu durum esasen biyomatematik biliminin Türkiye akademi camiasında yer edinmediğinin, bu bilim dalının benimsenmediğinin ve bu alan üzerine çalışmaların yapılmadığının apaçık göstergesidir. Buna göre, Türkiye’de birçok bilim insanı biyomatematikle ilgili çalışmalar yapmalarına rağmen kendilerini biyomatematik alanında uzman kabul etmemekte ya da bu alanın bilim ve yüksek öğretim kurumu camiasında tanınırlığının ve kabul edilme durumunun olmadığını düşündükleri tahmini yürütülebilir. Bu durum multidisipliner bir alan olan araştırmaların yürütüldüğünün ancak bu alanın öğretimine dair emek verebilecek öğretim üyesi sayısının da azlığını gösterdiğinden dikkate değerdir. Bu durumu destekler bir diğer sonuç ise Türkiye’de tek başına biyomatematik alanında lisans ve lisansüstü programlarının olmamasıdır. Bununla beraber biyomatematikle ilgili kavramların eğitiminin verildiği lisans programlarının sayısı 11 iken, lisansüstü programlarının sayısı 13’tür. Buna göre, 2009 tarihinden itibaren Hacettepe Üniversitesi Geomatik Mühendisliği’nin açılışıyla birlikte başlayan süreçte, son üç yılda 6 lisans programı açıldığı görülmektedir. Lisans programlarının çeşitlerinin ise özellikle yapay zekâ, geomatik ve biyoenformatik alanlarında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Benzer durumun lisansüstü programlarda da yaşandığı söylenebilir. Biyomatematikle ilgili kavramların eğitiminin verildiği lisansüstü programlarının sayısı 13 olup, lisansüstü programlarının ise özellikle biyoenformatik (biyoinformatik), biyometri (biyometrik) ve yapay zekâ alanlarında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Türkiye’de biyomatematikle ilgili lisans ve lisansüstü programlarına olan ihtiyacın fark edildiğini ve sayının hızla arttığını ancak tek başına biyomatematik alanının göz ardı edildiğini de göstermektedir. Oysa alan yazın incelendiğinde Jungck ve diğerleri (2020) 2020 yılı itibariyle, dünyada yaklaşık 200 kurumun biyomatematik ve biyoinformatikle ilgili lisans ve/veya yüksek lisans programları

sunduğunu bildirmektedirler. Biyomatematik eğitimin ilköğretim seviyesine inmesinin gerekliliğinin konuşulduğu dünyada, ülkemizin bu gelişmelerin gerisinde kalmaması için, daha fazla farkındalık yaratan çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda ülkemizin lisans ve lisansüstü biyomatematik eğitimi dahil olmak üzere, anaokulundan üniversiteye kadar her eğitim düzeyinde disiplinlerarası yaklaşım içeren uygulamalar ve etkili FETEMM eğitimleri yapılarak biyomatematik alanına ilgi arttırılabilir. Robeva ve Laubenbacher (2009) 2003 yılında, Ulusal Araştırma Konseyi'nin BIO2010 raporuyla, geleceğin “nicel biyologlarını” eğitmek için müfredatın yeniden yapılandırılmasının tavsiye edildiğini bildirmişlerdir. Dolayısıyla biyomatematik biliminin kavramsallaştırılması için gerekli çalışmaların öncelikle müfredatların yeniden yapılandırılmasının gerekliliği yadsınamaz bir gerçektir. Bressoud'un (2020) geleceğin biyomatematikçilerinin yetiştirilmesindeki temel zorlukların, öğrencilerin katılımı ve derslerin içeriği (müfredat) olduğunu belirtmesi de bu durumu destekler niteliktedir.

Türkiye’de biyomatematik ve ilgili kavramları hakkında çeşitli çalışmalar yapıldığı 34 araştırma merkezi bulunmaktadır. Bu araştırma merkezlerinde yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak bilgisayar teknolojileriyle ilgili yapay zekâ ve simülasyon konuları başta olmak üzere modelleme konularını da hedef aldığı, ancak yine biyomatematik alanına özelleşmenin olmadığı görülmektedir. Ayrıca, biyomatematik kavramını içeren merkez bulunmadığı da dikkati çekmektedir. Bu durum, Türkiye’de biyomatematik araştırmaları ve özellikle eğitiminin nitelikli ve yoğun biçimde yapılamayacağını düşündürmektedir. Bununla birlikte Akman ve diğerleri (2020), 2000’li yılların başından beri Amerika Birleşik Devletleri’nde matematiksel biyoloji araştırmalarını ve eğitimini desteklemek için birçok profesyonel kuruluş olduğunu ve devlet tarafından finanse edilen enstitülerin ortaya çıktığını bildirmektedirler.

Türkiye’de lisansüstü çalışmalara etkin yönlendirmenin yapılacağı lisans ve ortaöğretim aşamalarında biyomatematik eğitiminin güçlü olmaması, hızla gelişen önemli bir alanda Türkiye’nin geride kalabileceği endişesini de doğurduğundan, ortaöğretimde FETEMM, lisans eğitiminde ise biyomatematik derslerinin yer almasına öncelik verilmesi önerilebilir. Ayrıca çalışmanın bulgularından, günlük hayatımızı etkileyen biyolojik konu başlıklarında ülkemizin biyomatematikten faydalanarak hızlı atılımlar yapması, patentler alması ve biyomatematik biliminin gelişimi için lisansüstü seviyedeki araştırmalarla ilgili destekler verilmesi gerektirmektedir. Bu bağlamda ülkemizde hem ilk ve ortaöğretim hem de lisans ve lisansüstü seviyelerde biyomatematik bilimine yönelik yapılan çalışmaları

M, Yılmaz, M, C.Şimşek ve N, Turanlı / *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 57, 356-381, 2023 379 destekleyen ve bu alanda çalışma yapılmasını tanıtip, teşvik eden kuruluş ve uygulamaların eksikliğinin giderilmesi önerilebilir.

Etik Kurul İzin Bilgisi: *Bu çalışma bir doküman inceleme çalışmasıdır. Dolayısıyla etik kurul iznine gerek duyulmamıştır.*

Yazar Çıkar Çatışması Bilgisi: *Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.*

Yazar Katkısı: *Çalışmaya 1. yazarın katkısı %40, 2. yazarın katkısı %35 ve 3. yazarın katkısı %25 olarak belirlenmiştir.*

Kaynakça

Aikens, M. L. (2020). Meeting the needs of a changing landscape: Advances and challenges in undergraduate biology education. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(60). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00739-6>

Akman, O., Eaton, C. D., Hrozencik, D. Jenkins, K. P., & Thompson, K. V. (2020). Building community-based approaches to systemic reform in mathematical biology education. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(109). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00781-4>

Bodine, E. N. Panoff, R. M. Voit, E. O., & Weisstein, A. E. (2020). Agent-Based Modeling and Simulation in Mathematics and Biology Education, Special Issue: Mathematical Biology Education, *Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 101.

Bressoud, D. M. (2020). Opportunities for change in the first two years of college mathematics. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(61). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00738-7>

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). Content analysis and grounded theory. *Research methods in education (6th Ed.)*. Routledge Taylor & Francis Group, London and New York.

Cozzens, M., & Roberts, F. S. (2020). Introductory college mathematics for the life sciences: Has anything changed? *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(87). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00761-8>

Eaton, C. D., LaMar, M. D., & McCarthy M. L. (2020). 21st century reform efforts in undergraduate quantitative biology education: Conversations, initiatives, and

- 380 M, Yılmaz, M, C. Şimşek ve N, Turanlı / *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 57, 356-381, 2023
curriculum change in the United States of America. *Letters in Biomathematics*, 7(1), 55-66.
- Gordon, R. (1993). Careers in theoretical biology. *Carolina Tips*, 56(3), 9-11.
- Jungck J. R., Robeva R., & Gross L. J. (2020). Mathematical biology education: Changes, communities, connections, and challenges. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(117). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00793-0>
- Longo, G., & Soto, A. M. (2016). Why do we need theories? *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 122, 4-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2016.06.005>
- Mayes, R. Long, T. Huffling, L., Reedy, A., & Williamson, B. (2020). Undergraduate quantitative biology impact on biology preservice teachers. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(63). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00740-z>
- Montévil, M. & Mossio, M. (2015). Biological organisation as closure of constraints. *Journal of Theoretical Biology*, 372, 179-191. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2015.02.029>
- Robeva, R. & Laubenbacher, R. (2009). Mathematical biology education: Beyond calculus. *Science*, 325(5940), 542-543. <https://doi.org/10.1126/science.1176016>
- Robeva, R. S., Jungck, J. R., & Gross, L. J. (2020). Changing the nature of quantitative biology education: Data science as a driver. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(127). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00785-0>
- Seshaiyer, P., & Lenhart, S. (2020). Connecting with teachers through modeling in mathematical biology. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(98). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00774-3>
- Şimşek, H., (2009). Eğitim tarihi araştırmalarında yöntem sorunu. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 42(1), 33-51.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2016). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Akademik Arama (2021), [Çevrim-içi: <https://akademik.yok.gov.tr/AkademikArama/view/searchResultviewListAuthor.jsp>], Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.

M, Yılmaz, M, C.Şimşek ve N, Turanlı / *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 57, 356-381, 2023 381
Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Atlas (2021), [Çevrim-içi: <https://yokatlas.yok.gov.tr/lisans-anasayfa.php>] Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.

Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) İstatistik (2021), [Çevrim-içi: <https://istatistik.yok.gov.tr/>],
Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.

Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi (2021), [Çevrim-içi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>], Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.

Ek A: Çalışmada İncelenen Dokümanlara İlişkin Kaynaklar

1. Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Akademik Arama (2021), [Çevrim-içi: <https://akademik.yok.gov.tr/AkademikArama/view/searchResultviewListAuthor.jsp>], Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.
2. Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Atlas (2021), [Çevrim-içi: <https://yokatlas.yok.gov.tr/lisans-anasayfa.php>] Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.
3. Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) İstatistik (2021), [Çevrim-içi: <https://istatistik.yok.gov.tr/>], Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.
4. Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi (2021), [Çevrim-içi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>], Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.



Biomathematics Studies and Biomathematics Education in Turkey*

Miraç YILMAZ** Meltem COŞKUN ŞİMŞEK*** Necla TURANLI****

• **Received:** 10.12.2021 • **Accepted:** 20.05.2022 • **Online First:** 08.06.2022

Abstract

Recent developments in physical and social sciences have led to greater clarity in practical applications with the help of computer software of mathematical models. Biomathematics (mathematical biology), a branch of applied mathematics, can be defined as a field which employs mathematical models and abstractions of the living organisms to examine biological systems. Considering the comprehensive nature of biomathematics as well as its status in the professional practices, it is vital that secondary school students, undergraduates and postgraduates majoring in biology and mathematics as well as teacher candidates should be knowledgeable about the matter at hand (i.e., mathematical biology). The aim of the current study is to yield future-oriented implications through examining research on biomathematics as well as education in biomathematics. The data for the current study are subject to document analysis, a form of qualitative research to analyze documentary evidence and answer specific research questions. The data come from existing research studies on biomathematics as well as documents produced by institutions which disseminate original research findings and other information relevant to the interface of biology and the mathematical sciences. All collected data were examined via content analysis. The findings of the study reveal that considering the previous research conducted within our country, the notion of biomathematics has not become established conceptually to date. Importantly, the situation is not only restricted to studies carried out so far, but it is also related to how a small place is allocated to biomathematics in higher education. The current study has important implications for understanding the importance of multilayered function of biomathematics, which thus requires further research on the matter at hand.

Keywords: mathematical biology, biomathematics, biomathematics education, document analysis

* This study was presented as an oral presentation at the Gazi University Turkish World Educational Sciences Congress held on 24-26 November 2021.

** Assoc. Prof. Dr., Hacettepe University, Faculty of Education, Department of Biology Education, mirac@hacettepe.edu.tr ORCID: 0000-0003-3200-2767

*** Res. Assist, Hacettepe University, Faculty of Education, Department of Mathematics Education, meltemcoskun@hacettepe.edu.tr ORCID: 0000-0003-4971-4963

**** Prof. Dr., Hacettepe University, Faculty of Education, Department of Mathematics Education, turanli@hacettepe.edu.tr ORCID: 0000-0001-8758-9054

Cited:

Yılmaz, M, Coşkun Şimşek, M. and N, Turanlı, N. (2023). Biomathematics Studies and Biomathematics Education in Turkey. *Pamukkale University Journal of Education*, 57, 356-381.[doi:10.9779/pauefd.1035121](https://doi.org/10.9779/pauefd.1035121).

Introduction

Advances in science and technology have led to developments in several areas from illuminating the genetic structure of living creatures to making satellites for geographical information systems. The new information which emerges in any area of life today from physical sciences to social sciences is processed through computer software in which mathematical models are used and thus, a great number of data are developed (Eaton, LaMatar and McCarthy, 2020). Therefore, it is evident that mathematical and computer-based procedures will come into prominence in making sense of scientific data in the 21st century, when the regulation of any information obtained gains increasing importance. The fact that biomathematics (mathematical biology) -a sub-area of applied mathematics- evaluates the data in biological sciences quantitatively and that it performs interdisciplinary studies containing biology, mathematics and computer sciences becomes more and more remarkable. As a result, it is now inevitable that biomathematics is included in the youth's career plans (Akman, Eaton, Hrozencik, Jenkins and Thompson, 2020).

It would not be wrong to say that biomathematics -which is also labelled as mathematical biology, theoretical biology, quantitative biology and computational biology and which is a sub-area of applied mathematics- is gaining more and more popularity and arouses curiosity. Akman et al (2020) state that there are several professional institutions and that institutions sponsored by the government emerged in the USA so as to support studies and education in mathematical biology in the early 2000s. In addition to that, students should be urged and directed to such subjects beginning with elementary and secondary education to introduce individuals to studies in biomathematics and to raise individuals in the area by offering effective undergraduate and post-graduate education. Jungck, Robeva and Gross (2020) report that approximately 200 institutions throughout the world offer undergraduate/post-graduate education in biomathematics and bioinformatics.

Biomathematics has not been conceptualized yet in Turkey because the word is rarely available in relevant literature in Turkey even though the importance of research and education in biomathematics increased in the world day by day. Thus, different words (theoretical biology, biostatistics, bioinformatics, mathematical modelling, modelling, etc.) instead of biomathematics are used in the literature. Even though these different concepts are reflective of the essence of biomathematics, the use of the concept and the importance of biomathematics has not been discussed yet in Turkey. Therefore, this study aims to investigate the studies performed in biomathematics and in areas related to it and the

educational-instructional activities in those areas in Turkey. It is thought that identifying the current situation and awareness of the area will be important in training experts in biomathematics and in catching up with the developments in the area across the world.

The Scope of Biomathematics

Biomathematics, which is used in transforming the data described through studies performed to understand living creatures, is a multidisciplinary area of study. In brief, it is described as explaining biological structures and processes in mathematical symbols and it means formulating, modelling and representing the obtained data (Gordon, 1993). The area- which is within applied mathematics- is said to measure the biological systems and movements and behaviors which are described in quantitative symbols by means of instruments and techniques and to simulate them (Gordon, 1993). It may be stated that the concept of theoretical biology used previously to emphasize the development of theoretical principles in biology has today expanded and changed into the concept of biomathematics which includes mathematical applications and which is an inclusive term (Montévil and Mossio, 2015; Longo and Soto, 2016).

Properties which cannot be estimated as a result of experiments through biomathematics can be revealed by using mathematical formulas and be interpreted extensively. For example, it is necessary to know to what extent the fish at reproductive age should be hunted so as to keep the hunting balance. Thus, Gordon (1993) also argues that a mathematical biologist makes models by formulating mathematical equations so as to make predictions as to how fish population changes and searches for solutions by formulating computer programmers. Besides, it is important to describe the effects of pollution, habitat destruction, poaching or stockpiling on hatchery; and issues such as calculating the harmless dose of x-ray for the diagnosis of illnesses, preparing simulations for the working principle of nerve cells in the brain with the help of artificial intelligence or preparing gene maps can be answered by using biomathematics (Gordon, 1993). Weisstein (2011), for instance, says that the changes water levels (W) depending on time (t) are dependent on flow from rivers, rain or from other sources and that reduction due to evaporation and use of water can be stated in a mathematical equation (dW/dt) (Cited in Bodine, Voit and Weisstein, 2020).

According to Gordon (1993), calculations made by experts of biomathematics and the mathematical models they establish put the subjects of biology into a social framework and highlight the effects of science on our daily life. According to the researcher, the reason for it is that the calculations made by biomathematics can influence scientific experiments,

health-related behaviors of societies, treatment interventions, identification of blood relation and nature protection plans and that it can lead public policies. All these demonstrate clearly that biomathematics has large sphere of influence in interpreting the scientific data and in reflecting the results of science and technology into our daily life.

Thus, it may be said that biomathematics functions well in generalizing the experimental results of biology in different areas and in making sense in large scales. Eaton et al (2020) point out that several researchers of mathematics and biology today reveal the importance of biomathematics by considering life sciences quantitatively and that recommendations should be made to include mathematical/quantitative techniques in biology curricula.

Biomathematics Education

As the broadness of the domain of biomathematics and its potential to build the future is understood, the interest that secondary education students who want to choose a career, the undergraduate and post-graduate students of biology and mathematics departments and even pre-service teachers who wish to improve their expertise take in the subject will be talked of. Researchers contend that the richness of data which result in various developments ranging from revealing the genome and gene regulation to personalised medicine by putting machinery education, mathematical modelling, computation/simulation and a great deal of data together has huge potential (Robeva, Jungck and Gross, 2020). In addition to that, Robeva et al (2020) call attention to the probability that discoveries made with data science can be used maliciously with harmful ethical and social consequences, and stress the need for directing such discoveries in policies and preparations for confidentiality and ethical norms. Accordingly, it is important for countries to be aware of the subjects of biomathematics and to train competent staff both in pursuing the developments and in preventing the potential hitches.

Akman et al (2020) argue that education should be offered at the stages of elementary and secondary school and then undergraduate and post-graduate students should be trained with this perspective in order for multidisciplinary studies to increase with the cooperation between mathematics, biology and computer sciences and to meet the need for expert human resources in biomathematics research and applications. Mayes, Long, Huffling, Reedy and Willimson (2020), however, state that as computation, “big data” and statistical modelling become the skills more and more necessary for biologists, it is predicted that emphasis on quantitative skills will increase in the secondary education goals

of biomathematics and in undergraduate goals of it. Researchers claim that relevant training which consider the basic components of training and which increase career opportunities can be prepared by introducing mathematical biology at high school level through responding to this need for renewal and change in education (Akman et al., 2020). The places where experts of biomathematics to be trained can serve include the analysis departments of hospitals, various departments of the Ministry of Health, centers for disease control, pharmaceutical companies, vaccination companies, relevant research departments of universities, research institutes, the research and development units of medical firms, medical device companies and faculties of science, mathematics, geology and education of universities (Gordon, 1993).

Akman et al (2020) say that the efforts of the four organizations which try to make reforms in mathematics and biology education in the USA (Curriculum Consortium Network/BioQUEST, Intercollegiate Biomathematics Alliance/IBA, Quantitative Undergraduate Biology Education and Synthesis/QUBES, MathBench Biology Modules) can give an idea to individuals who search for ways to improve education in biomathematics and that they can provide student clubs with effective environments to attain their goals. Additionally, it can also be said that biomathematics - which is effective in transforming the data for daily life problems into meaningful and applicable knowledge- will begin to have a voice in future education. Thus, education in mathematical education also manifests itself in learning activities which are based on science-technology-engineering-mathematics (STEM) education. It is claimed that the education-oriented efforts of bodies related to biomathematics which provide support to their own structure mainly support to adopt STEM education which is a special approach of education of educational infrastructure in secondary schools and high schools (Aikens, 2020). Yet, Aikens (2020) thinks that STEM approach in the area of education and instruction is not adequately accessible to students and that students can hardly ever combine science, technology, engineering and math's to each other and to biology. In this context, the four different organizations which try to make reforms in mathematics and biology education in the USA have a goal in common that is to say, including biomathematics in teaching so as to promote student achievement (Akman et al., 2020).

Teaching staff is also important in offering good quality education in biomathematics. Teachers who have self-confidence in biomathematics and who believe in success are thought to support the rapid development of the domain of biomathematics.

Seshaiyer and Lenhart (2020) emphasise that teacher's participation in research experiences in mathematical modelling can help to develop and transform educational-instructional practices and claim that such participation can enable students to have closer interest in mathematics and biology. It is clear that making teachers understand the subjects of biomathematics through in-service and pre-service training will necessitate to create various educational materials and to prepare educational environments. Cozzens and Roberts (2020) suggest that mathematics teachers should understand biology which contain the subjects of biomathematics, explain the biological events and processes well and that life sciences teachers should perform teaching without having concerns about mathematics. Therefore, it is pointed out that departments in which training courses, materials (books, application modules and computer software, etc.) interdisciplinary partnership communication and more staff is available for educators are needed (Cozzens and Roberts, 2020).

Research Problem

This study aims to analyse biomathematics studies and biomathematics education in Turkey. Adhering to its purpose, the current study seeks answers to the following sub-problems:

1. What is the distribution of studies (books, projects, patents, workshops, theses, articles, presentations) concerning biomathematics in Turkey?
2. What is the distribution of the university lecturers who study biomathematics, the institutions and programmers which offer education in biomathematics?

Limitations

Studies in biomathematics, which is an interdisciplinary and a new area of science, are not referred to in one single concept as biomathematics (mathematical biology) due to lacks in academic resources, experts and post-graduate students. Therefore, the terms bioinformatics, mathematical modelling, modelling, simulation, artificial intelligence, geomatics and biometrics were also chosen and researched beside the term biomathematics (mathematical biology) in conducting this study. However, the term biostatistics and concepts related to computer were not used so as not to cause misleading expansion in the data despite their relationships with the concept of biomathematics. In this context, the studies and education related to the domain were investigated with the above-mentioned concepts in accordance with the purpose of this study.

Method

Within the scope of this study, biomathematics studies and biomathematics education in Turkey were analysed in the method of document analysis a method of qualitative research. Şimşek (2009) describes document analysis as analysing the written sources which contain information on the events and phenomena targeted in a study. This current study was conducted at the stages of (1) reaching the documents, (2) checking if they are original, (3) understanding them, (4) analysing the data, and (5) using the data (Yıldırım and Şimşek, 2016).

Ethics committee approval was not required in this study due to the fact that it was a document analysis study.

Data Collection Process

Document identification work was done on studies concerning biomathematics (books, projects, patents, workshops, theses, articles. Presentations), university lecturers who study the domain and institutions and programmers which offer education in the domain in the data collection process.

The official web pages of higher education council (YÖK Akademik Arama, 2021; YÖK Atlas, 2021; YÖK İstatistik 2021; YÖK Ulusal Tez Merkezi, 2021) were scanned in order to reach the documents which contained the concept of biomathematics (mathematical biology) and the concepts related to it. Scanning was made on the web pages for the term's biomathematics (mathematical biology), bioinformatics, mathematical modelling, modelling, simulation, artificial intelligence, geomatics and biometrics.

The originality of the documents was not questioned because scanning was made on sites with official resources, and as a result, documents obtained from 4 resources were analysed.

Data Analysis

First, the documents obtained were made sense of at this stage. In accordance with the requirements of the research questions, categories such as the types of studies, the number of lecturers, undergraduate programmers and the opening dates of the programmers, post-graduate programmers, research centers and the opening dates of the centers were distinguished and the analyses were started accordingly.

The documents were put to content analysis. Cohen, Manion and Morrison (2007) define content analysis simply as the process of summarising and reporting the written data. The frequency distributions of the quantitative data were made, some of the data were tabulated and considered descriptively at the end of the content analysis. The numerical data were divided into categories and thus comparison was made possible.

Validity and Reliability Measures

All the process followed was shared clearly so as to attain reliability in the study. Besides, the pages analysed were given at the end of this study in Appendix A to facilitate access by other researchers.

Scanning was made by the researchers at different times to prevent errors to occur in determining the number in data sets. In this way, the data sets were given the final shape.

Findings

The findings obtained in this study -which analysed biomathematics studies and biomathematics education in Turkey- were presented on the basis of research questions as in the following:

The findings for the question of “What is the distribution of studies (books, projects, patents, workshops, theses, articles, presentations) concerning biomathematics in Turkey?”

The findings for the content analysis of the studies concerning the concept of biomathematics (mathematical biology) and relevant concepts (bioinformatics, mathematical modelling, modelling, simulation, artificial intelligence, geomatics, biometrics) are shown in Table 1.

Table 1. *The Content Analysis of the Studies Concerning Biomathematics and Relevant Concepts*

Concepts	Books	Projects	Patents	Work shops	Theses	Articles	Presentations
Biomathematics (Mathematical Biology)	---	5	---	---	3	5	5
Bioinformatics	53	156	2	12	91	93	212
Mathematical Modelling	42	138	---	3	185	182	288
Modelling	261	2393	21	55	2617	1392	2400
Simulation	64	1630	25	23	2034	918	2162
Artificial Intelligence	292	483	20	13	433	459	763
Geomatics	---	15	1	1	9	16	23
Biometrics	38	236	18	2	285	307	424
Total	750	5056	87	109	5657	3372	6277

According to Table 1, while the number of presentations in biomathematics -that is to say, in mathematical biology- is 5, the number goes up to 6277 if the analysis is repeated by adding the relevant concepts (bioinformatics, mathematical modelling, modelling, simulation, artificial intelligence, geomatics, biometrics). Thus, it may be said that the greatest number of studies related to the concepts were in the form of paper presentations- which was followed by theses and projects. However, it was found that the theses and projects produced were not transformed into articles in the same intensity. It was a remarkable finding that there were no studies in the form of books, patents and workshops

which used the concept of biomathematics in Turkey. The findings demonstrated that biomathematics (mathematical biology) had not been a widely-accepted concept yet but that studies had been conducted mostly on relevant concepts.

Because the studies in Turkey concerning biomathematics and relevant concepts in the form of these were greater in number, they were also analysed according to the areas they were conducted in.

Agriculture, fishery technology, water products, biology, bioengineering, biotechnology, botany, medical biology, radiology and nuclear medicine, morphology, genetics, microbiology, molecular medicine, anatomy, biochemistry, allergy and immunology, nursing, zoology, neurology, oncology, parasitology, pharmaceuticals and pharmacology, drug habits and alcoholism, physiology, clinical bacteriology and infectious diseases, endocrinology and metabolic diseases, forensic medicine, dentistry, biophysics, eye diseases, obstetrics and gynaecology, general surgery, biostatistics, engineering sciences, metallurgical engineering, chemical engineering, mechanical engineering, civil engineering, computer engineering, petroleum and natural gas engineering, food engineering, environmental engineering, industrial engineering, earthquake engineering, electrical and electronic engineering, forestry and forest engineering, mining and mining engineering, geological engineering, geophysical engineering, physics and physics engineering, mathematics, energy, defence and defence technologies, international relations, law, woodwork, industrial product designing, banking, statistics, computer and control, management, public administration, communication sciences, civil aviation, science and technology, chemistry, geodesy and photogrammetry, geography, education and instruction, health education, technical education, psychology, anthropology, sport

Figure 1. *The areas in which post-graduate studies concerning biomathematics and relevant concepts were conducted*

As clear from Figure 1, thesis studies on biomathematics and relevant concepts were performed in 75 different areas in Turkey. The concepts related to bioinformatics, mathematical modelling, modelling, simulation, artificial intelligence, geomatics and biometrics -which are related to biomathematics- involved post-graduate studies of various areas from water products to forensic medicine, from general surgery to environmental engineering, from mathematics to law, from management to education and instruction. Accordingly, it was found that the concept of biomathematics was not used on its own as a key word. Besides, post-graduate studies were available in relation to biomathematics and relevant concepts in almost any area despite the fact that biomathematics was not a widely used concept.

The findings for the question “What is the distribution of the university lecturers who study biomathematics, the institutions and programmers which offer education in biomathematics?”

The documents analysed to determine the lecturers who studied biomathematics and the institutions and programmers which offered education in biomathematics were put to content analysis according to the number and title of lecturers, university departments, post-graduate education departments and research centers.

The number of university lecturers who study biomathematics and relevant concepts in Turkey is shown in Figure 2.

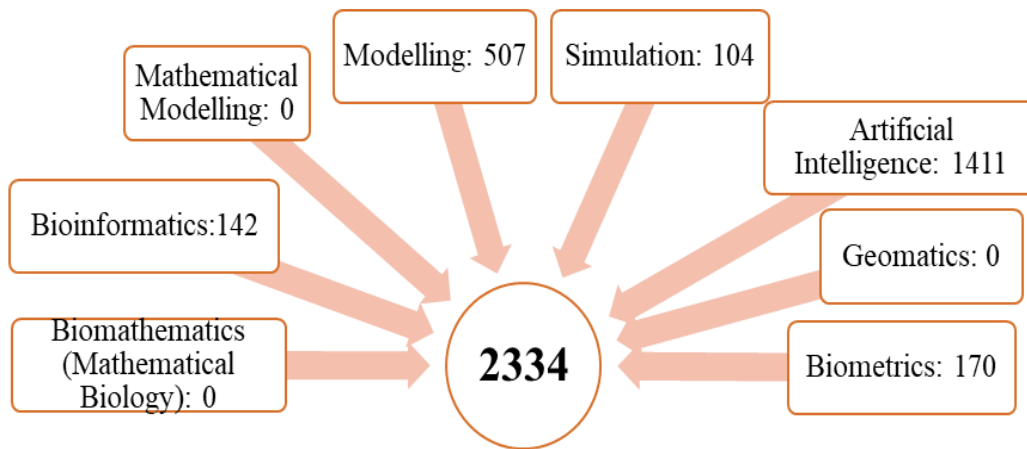


Figure 2. The number of lecturers who study biomathematics and relevant concepts

It is clear from Figure 2 that there are no researchers who consider themselves as biomathematicians; on the other hand, the number of researchers who perform studies on biomathematics and relevant concepts is 2334. The distribution of the university lecturers who study biomathematics and relevant concepts according to their title is shown in Table 2.

Table 2. *The Distribution of the University Lecturers Who Study Biomathematics and Relevant Concepts according to their Titles*

	Professor	Associate Professor	Assistant Professor	Lecturer	Research Assistant	Total Teaching Staff
Biomathematics (Mathematical Biology)	0	0	0	0	0	0
Bioinformatics	22	12	58	18	32	142
Mathematical Modelling	0	0	0	0	0	0
Modelling	103	73	184	52	95	507
Simulation	19	13	49	5	18	104
Artificial Intelligence	166	124	525	280	316	1411
Geomatics	0	0	0	0	0	0
Biometrics	51	22	56	16	25	170
Total	361	244	872	371	486	2334

As clear from Table 2, the greatest number of lecturers who study biomathematics and relevant concepts is 872 the assistant professor. The number both makes us think that the area is a newly developing area in Turkey and indicates that experts are not available yet in the area. Besides, the finding is also remarkable in that the number of lecturers who can offer education in biomathematics is small.

The undergraduate programmers which offer education in biomathematics and in relevant concepts and their dates of opening are shown in Table 3.

Table 3. *The Undergraduate Programmers Which Offer Education in Biomathematics and Relevant Concepts, and their Dates of Opening*

Concepts	The number of Undergraduate Programs	Undergraduate Program	Faculty	University	Opening Dates of Program
Biomathematics (Mathematical Biology)	---	---	---	---	---
		Bioinformatics	Faculty of Life and Natural Sciences	Abdullah Gül University	2014
Bioinformatics	2	Bioinformatics and Genetics	Faculty of Engineering and Natural Sciences	Istinye University	2021
Mathematical Modelling	---	---	---	---	---
Modelling	---	---	---	---	---
Simulation	---	---	---	---	---
		Artificial Intelligence and Data Engineering	Faculty of Engineering	Ankara University	2020
		Artificial Intelligence Engineering	Faculty of Engineering and Natural Sciences	Bahçeşehir University	2020
Artificial		Engineering	Faculty of Engineering	Hacettepe University	2019

Intelligence	5	Artificial Intelligence and Data Engineering	Faculty of Computer and Informatics Engineering	Istanbul Technical University	2020
		Artificial Intelligence Engineering	Faculty of Engineering	TOBB University of Economics & Technology	2019
		Geomatics Engineering	Faculty of Engineering	Hacettepe University	2009
		Geomatics Engineering	Faculty of Engineering and Natural Sciences	Istanbul Okan University	2016
		Geomatics Engineering	Faculty of Civil Engineering	Istanbul Technical University	Unknown
Geomatics	4	Geomatics Engineering	Faculty of Engineering	Zonguldak Bülent Ecevit University	Unknown
		Biometrics	---	---	---

According to Table 3, the number of undergraduate programmers which offer education in biomathematics and in relevant concepts is 11. Of them, geomatics engineering programmed -which was opened in 2009- was the one which was opened the earliest. It is also evident from Table 3 that undergraduate programmers- not directly biomathematics but rather in areas about the concepts related to biomathematics - have been opened increasingly in recent years. Thus, 6 programmers were opened only in the last three years. As to the types of the programmers, they were mostly in the areas of geomatics, artificial intelligence and bioinformatics. It is also remarkable that departments of artificial intelligence were opened in recent years. The situation indicates that the need for relevant undergraduate

programmers was noticed and that the number of such programmers increase rapidly but that the area of biomathematics on its own was ignored.

The post-graduate programmers which offer education in biomathematics and relevant concepts are shown in Table 4.

Table 4. *The Post-graduate Programmers Which Offer Education in Biomathematics and Relevant Concepts*

Concepts	The Number of Post-graduate Programmers	Post-graduate Programmers	Universities	The Number of Universities
Biomathematics (Mathematical Biology)	---	---	---	---
			Abdullah Gül, Afyon Kocatepe, Demiroğlu Bilim, Düzce, İnönü, Kocaeli, Muğla Sıtkı Koçman, Necmettin Erbakan, Türk-Alman, Van Yüzüncü Yıl	
Bioinformatics	3	Bioinformatics and Computational Biology	Karadeniz Teknik	12
		Agricultural Bioinformatics	Niğde Ömer Halisdemir	
Mathematical Modelling	---	---	---	---
Modelling	---	---	---	---
Simulation	---	---	---	---
		Artificial	Eskişehir Osmangazi, Isparta University of Applied Sciences, Kütahya Health	

		Intelligence	Sciences, Necmettin Erbakan		
Artificial Intelligence	3	Artificial Intelligence and Data Engineering	Istanbul Technical	6	
		Artificial Intelligence Engineering	Hacettepe		
Geomatics	4	Measuring	Fırat	4	
		Photogrammetry	Hacettepe		
		Geodesy	Hacettepe		
		Geomatics Engineering	Istanbul Technical, Zonguldak Bülent Ecevit		
Biometrics	3	Biometrics and Genetics	Akdeniz, Ankara, Aydın Adnan Menderes, Bingöl, Bursa Uludağ, Çanakkale Onsekiz Mart, Çukurova, Ege, Erciyes, Eskişehir Osmangazi, Harran, Iğdır, Isparta University of Applied SciencesKahramanmaraş Sütçü İmam, Kırşehir Ahi Evran, Ondokuz Mayıs, Selçuk, Siirt, Tekirdağ Namık Kemal, Tokat Gaziosmanpaşa, Uşak, Van Yüzüncü Yıl	28	
		Veterinary Biometrics	Atatürk, Bursa Uludağ, Erciyes, Ondokuz Mayıs		
		Forest Yield and Biometrics	Bursa Technical, Çankırı Karatekin, İstanbul, Karabük, Kastamonu		

According to Table 4, the number of post-graduate programmers which offer education in biomathematics and relevant concepts is 13. The areas of education are intensely geomatics, bioinformatics, biometrics and artificial intelligence.

Table 5 below shows the research centers which study biomathematics and relevant concepts.

Table 5. *The Research Centers Which Study Biomathematics and Relevant Concepts and their Dates of Opening*

Concepts	The Number of Research Centers	Research Centers	Universities	Opening Dates of Research Centers
Biomathematics (Mathematical Biology)	---	---	---	---
		Center for Reproductive Sciences and Advanced Bioinformatics Application and Research	İnönü University	2019
Bioinformatics	2	Biostatistics and Bioinformatics Application and Research Center	University of Health Sciences	2017
Mathematical Modelling	---	---	---	---
		Data Analytics and Spatial Data Modeling Application and Research Center	İzmir Bakırçay University	2019
		Simulation and Modeling Application and Research Center	Necmettin Erbakan University	2016
Modelling	6	Design and Premodeling Application and Research Center	Middle East Technical University	2017
		TAF Modeling and Simulation Research and Development Center	Middle East Technical	Unknown

		University	
		Simulation and Modeling Research and University of Health Application Center	2017 Sciences
		Aerospace Modeling Simulation Application and Research Center	2014 The Turkish Aeronautical Association University
		Advanced Simulation and Endoscopic Surgery Training Application and Research Center	2013 Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar University
		Composite Research Training and Simulation Application and Research Center	2018 Balıkesir University
		Center for Interprofessional Collaboration and Simulation Education Practice and Research	2014 Hacettepe University
		Endoscopic Surgery and Simulation Training Application and Research Center	2019 Kütahya Health Sciences University
		Education Application and Research Center with Innovation and Simulation in Health	2020 Lokman Hekim University
Simulation	9	Simulation and Modeling Application and Research Center	2016 Necmettin Erbakan University
		TAF Modeling and Simulation Research and Development Center	Unknown Middle East Technical University
		Defense Health Services Simulation Application and Research Center	2017 University of Health Sciences
		Aerospace Modeling Simulation	2014 The Turkish

Application and Research Center	Aeronautical Association University	
Artificial Intelligence and Big Data Application and Research Center	Erciyes University	2020
Artificial Intelligence and Data Analytics Application and Research Center	Gazi University	2021
Artificial Intelligence Studies Application and Research Center	İstanbul Arel University	2020
Artificial Intelligence and Data Science Application and Research Center	Istanbul Technical University	2018
Artificial Intelligence Application and Research Center in Medicine	İstinye University	2018
Artificial Intelligence Studies in Health Application and Research Center	İzmir Bakırçay University	2020
Artificial Intelligence and Data Analytics Application and Research Center	İzmir Democracy University	2020
Artificial Intelligence and Data Science Application and Research Center	İzmir Katip Çelebi University	2021
İşbank Artificial Intelligence Application and Research Center	Koç University	2020
Artificial Intelligence Application and Research Center	Konya Technical University	2020
Robotics and Artificial Intelligence Technologies Applications and Research Center	Middle East Technical University	2020
Artificial Intelligence and Data Mining	Pamukkale	2020

Artificial Intelligence	16	Application and Research Center	University	
		Artificial Intelligence and Data Science Application and Research Center	Sakarya University of Applied Sciences	2020
		Artificial Intelligence Application and Research Center	Sakarya University	2010
		Artificial Intelligence Systems and Data Science Application and Research Center	Sivas Cumhuriyet University	2019
		Artificial Intelligence and Intelligent Systems Application and Research Center	Üsküdar University	2018
Geomatics	1	Geomatics Application and Research Center	Istanbul Kültür University	Unknown
Biometrics	---	---	---	---

According to Table 5, there are 34 research centers where post-graduate education in biomathematics and relevant concepts is offered and various studies are carried on. Even though they were the centers where heavily computer technology is used and studies on artificial intelligence and simulation are conducted, the ones which prioritized modelling were also found. However, it was remarkable that there were no centers which were concerned only with the concept of biomathematics.

Conclusion, Discussion and Recommendations

This study aimed to investigate biomathematics studies and biomathematics education in Turkey and to make inferences accordingly. In accordance with its purpose, the current study sought answers to two research problems. The first problem focused on the studies concerning biomathematics. It was found that a very small number of studies (5 projects, 3 theses, 4 articles and 5 presentations) were available in this respect. Gordon (1993), on the other hand, argues that such studies in the area have been increasing very rapidly. The results obtained in this study demonstrated that biomathematics was not used as a key word in theses in Turkey but that post-graduate theses were produced in 75 different areas from water products to education in relation to the concepts associated with biomathematics (bioinformatics, mathematical modelling, modelling, simulation, artificial intelligence,

geomatics, biometrics). It was a finding which indicated that biomathematics applications were in fact widely used in post-graduate studies in Turkey but that the area -which is a sub-area of applied mathematics- was not recognised.

The second research problem focused on educational activities in biomathematics and in relevant areas in Turkey. There are no university lecturers who consider themselves as experts of mathematical biology (biomathematicians) in Turkey. The situation indicates clearly that biomathematics has not found a place or has not been exactly adopted and thus, studies have not been conducted in Turkey. Accordingly, many scientists in Turkey do not consider themselves as experts in the area despite their studies on biomathematics and they do not think that the area has recognition or acceptance in science environment and in the council of higher education. The situation is worth considering because it shows that multidisciplinary studies have been conducted but that the number of lecturers who can teach the area is small. Another finding, which was supportive of the situation, was that undergraduate and post-graduate programmers on biomathematics as an independent area were not available in Turkey. On the other hand, while the number of undergraduate programmers which offered education in concepts related to biomathematics was 11, the number of post-graduate programmers was 13. In the process which started with the opening of geomatics engineering programmed in Hacettepe University in 2009, six undergraduate programmed were opened in 3 years. The undergraduate programmers offered education especially in the areas of artificial intelligence, geomatics and bioinformatics. It may be said that the situation is also similar in post-graduate education. The number of post-graduate programmers which offer education is 13 and the programmers are heavily concerned with bioinformatics, biometrics and artificial intelligence. The results are indicative of the fact that the need for undergraduate and post-graduate programmers in the area has been noticed and the number of such programmers have increased rapidly but that the area on its own has been ignored. Yet, it was found on literature review that Junck et al (2020) argued that approximately 200 institutions in the world offered undergraduate and/or post-graduate education in biomathematics and in bioinformatics in 2020. More studies which raise awareness should be performed in order for our country not to fall behind the developments in today's world- where the need for offering education in biomathematics at elementary school level is talked of. In this context, interest in the area of biomathematics can be increased in Turkey by employing applications which involve interdisciplinary approaches at every stage of education from kindergarten education to university education and from

undergraduate education to post-graduate education and by offering STEM education. Robeva and Laubenbacher (2009) reported that it was recommended in 2003 with BIO2010 report of the National Research Council that the curricula should be re-structured in order to train the “quantitative biologists” of the future. Therefore, it is an undeniable reality that the curricula should be re-structured to conceptualize biomathematics. The fact that Bressoud (2020) suggests that the main difficulty in training the biomathematicians of the future is students’ participation and the course content (curricula) is also supportive of this.

34 research centers in which studies on biomathematics and relevant concepts are conducted are available in Turkey. The studies conducted in those centers are mostly concerned with artificial intelligence and simulation- which are associated with computer technologies- and with modelling but they do not specialize in the area of biomathematics independently. There are not centers which are concerned with the concept of biomathematics, either. The situation makes us think that research on and education in biomathematics cannot be conducted in good quality and intensely in Turkey. Akman et al (2020), on the other hand, argue that there are several professional organizations to support mathematical biology research and education in the USA and that institutes sponsored by the government emerged.

It may be recommended that STEM education should be available in secondary school education and courses in biomathematics should be offered in university education due to the fact that biomathematics education is not strong enough in Turkey at the stages of university education and secondary school education- which will offer guidance in post-graduate studies- and that the weakness causes concerns that Turkey may fall behind in this rapidly developing area. Besides, the findings obtained in this study also demonstrate that our country should leap forward by making use of the subjects of biomathematics which influence our daily life and should also obtain patent and give support for the development of the science of biomathematics. It may be suggested in this context that the lack for organizations and applications which introduce, support and encourage the studies concerning biomathematics at elementary school education and secondary school education and undergraduate and post-graduate education levels should be eliminated.

Information On Ethics Committee Approval: *This is a document analysis study. Therefore, no need was felt for ethics committee approval.*

Information On Authors’ Conflict of Interest: *The authors declare that there are no conflicts of interest.*

The Authors' Contributions: Author has contributed to the study by 40 % while author two has contributed by 35% and author three has contributed by 25%.

References

- Aikens, M. L. (2020). Meeting the needs of a changing landscape: Advances and challenges in undergraduate biology education. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(60). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00739-6>
- Akman, O., Eaton, C. D., Hrozencik, D. Jenkins, K. P., & Thompson, K. V. (2020). Building community-based approaches to systemic reform in mathematical biology education. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(109). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00781-4>
- Bodine, E. N. Panoff, R. M. Voit, E. O., & Weisstein, A. E. (2020). Agent-Based Modeling and Simulation in Mathematics and Biology Education, Special Issue: Mathematical Biology Education, *Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 101.
- Bressoud, D. M. (2020). Opportunities for change in the first two years of college mathematics. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(61). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00738-7>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). Content analysis and grounded theory. *Research methods in education (6th Ed.)*. Routledge Taylor & Francis Group, London and New York.
- Cozzens, M., & Roberts, F. S. (2020). Introductory college mathematics for the life sciences: Has anything changed? *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(87). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00761-8>
- Eaton, C. D., LaMar, M. D., & McCarthy M. L. (2020). 21st century reform efforts in undergraduate quantitative biology education: Conversations, initiatives, and curriculum change in the United States of America. *Letters in Biomathematics*, 7(1), 55-66.
- Gordon, R. (1993). Careers in theoretical biology. *Carolina Tips*, 56(3), 9-11.
- Jungck J. R., Robeva R., & Gross L. J. (2020). Mathematical biology education: Changes, communities, connections, and challenges. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(117). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00793-0>

- Longo, G., & Soto, A. M. (2016). Why do we need theories? *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 122, 4-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2016.06.005>
- Mayes, R. Long, T. Huffling, L., Reedy, A., & Williamson, B. (2020). Undergraduate quantitative biology impact on biology preservice teachers. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(63). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00740-z>
- Montévil, M. & Mossio, M. (2015). Biological organisation as closure of constraints. *Journal of Theoretical Biology*, 372, 179-191. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2015.02.029>
- Robeva, R. & Laubenbacher, R. (2009). Mathematical biology education: Beyond calculus. *Science*, 325(5940), 542-543. <https://doi.org/10.1126/science.1176016>
- Robeva, R. S., Jungck, J. R., & Gross, L. J. (2020). Changing the nature of quantitative biology education: Data science as a driver. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(127). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00785-0>
- Seshaiyer, P., & Lenhart, S. (2020). Connecting with teachers through modeling in mathematical biology. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(98). <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00774-3>
- Şimşek, H., (2009). Eğitim tarihi araştırmalarında yöntem sorunu. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 42(1), 33-51.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2016). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Akademik Arama (2021), [Çevrim-içi: <https://akademik.yok.gov.tr/AkademikArama/view/searchResultviewListAuthor.jsp>], Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.
- Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Atlas (2021), [Çevrim-içi: <https://yokatlas.yok.gov.tr/lisans-anasayfa.php>] Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.
- Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) İstatistik (2021), [Çevrim-içi: <https://istatistik.yok.gov.tr/>], Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.
- Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi (2021), [Çevrim-içi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>], Erişim tarihi: 17-19 Kasım 2021.

Appendix A: Resources Related to the Documents Examined in the Study

1. Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Akademik Arama (2021), Online: <https://akademik.yok.gov.tr/AkademikArama/view/searchResultviewListAuthor.jsp>, Date of access: 17-19 November 2021.
2. Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Atlas (2021), [Online: <https://yokatlas.yok.gov.tr/lisans-anasayfa.php>] Date of access: 17-19 November 2021.
3. Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) İstatistik (2021), [Online: <https://istatistik.yok.gov.tr/>], Date of access: 17-19 November 2021.
4. Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi (2021), [Online: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>], Date of access: 17-19 November 2021.