

Multidisipliner Bir Bilim Olarak Biyomatematik ve Biyomatematik Eğitiminin Önemi (Derleme Makalesi)

*¹Miraç Yılmaz, ²Necla Turanlı

¹0000-0003-3200-2767, Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı, 06800, Beytepe, Ankara, mirac@hacettepe.edu.tr

²0000-0001-8758-9054, Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Matematik Eğitimi Anabilim Dalı, 06800, Beytepe, Ankara, turanli@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi : 17.03.2022

Kabul Tarihi : 17.04.2022

<https://doi.org/10.55150/apjec.1089575>

Öz

Matematiksel formül ve tekniklerle, biyolojik süreçleri modelleyerek biyolojik parametreleri hesaplayan, multidisipliner bir bilim olan biyomatematik (matematikselsel biyoloji) araştırmalarının, gelecekteki eğitim anlayışına büyük etkide bulunacağı tahmin edilmektedir. Biyomatematik yetkinliğinin artırılmasına yönelik araştırma ve eğitimler, yaşam bilimleri, matematik ve bilgisayar teknolojilerinin dahil olduğu disiplinlerarası eğitim reformlarını yönlendirebilir. Bu nedenle, uygulamalı matematik alanı altında, yeni bir multidisipliner bilim dalı olan biyomatematikin, kapsamının ve eğitimindeki güncel yaklaşımlarının incelenmesi önem taşımaktadır. Bu derleme çalışmasının amacı, biyomatematik biliminin ve biyomatematik eğitiminin kapsamlarının incelenerek, gelişimleri ve geleceğine yönelik değerlendirmeler yapılmasıdır. Çalışmanın sonuçlarına göre, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de güncel problemleri hızlı ve etkili biçimde çözebilmek için biyomatematik araştırmaları desteklenmeli, yaşam bilimleri, matematik ve bilgisayar alanlarındaki disiplinlerarası çalışmalar artırılmalı, biyomatematik araştırma-uygulama alanları genişletilmeli, biyomatematik eğitim-öğretimi yüksek standartlarda gerçekleştirilmeli, biyomatematik eğitiminin lisansüstü-lisans eğitiminin yanı sıra ilk-ortaöğretimde de yer bulması sağlanmalıdır. Fen bilimleri, matematik ve bilgisayar dersleri öğretim programları biyomatematik konu ve uygulamalarını kapsayacak şekilde yeniden düzenlenerek ders içerikleri, öğretim yöntemleri-öğretim materyalleri geliştirilmeli, FETEMM (STEM) etkinlikleri her eğitim seviyesinde başarıyla uygulanmalıdır. Ayrıca biyomatematik alanında uzman lisansüstü-lisans düzeyinde öğretim elemanı yetiştirilmesi yoluna gidilmeli, ayrıca hizmet öncesi ve hizmet içi biyoloji, fen, coğrafya, matematik ve bilgisayar öğretmen eğitimleri de verilmelidir. Hem üniversitelerde hem de ilk-orta öğretimde biyomatematik uygulamalarının artırılması ve öğrencilerin yükseköğretime yönlendirilmesi gerçekleştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Biyomatematik, matematikselsel biyoloji, biyomatematik eğitimi, derleme.

*¹ Miraç YILMAZ, Hacettepe Üni. Eğt. Fak. Matematik ve Fen Bil. Eğitimi Böl. Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, mirac@hacettepe.edu.tr

Biomathematics as a Multidisciplinary Science and Importance of Biomathematics Education

Abstract

It is estimated that biomathematics (mathematical biology) research, which is a multidisciplinary science that calculates biological parameters by modeling biological processes with mathematical formulas and techniques, will have a great impact on the understanding of education in the future. Research and training to increase biomathematics competence can drive interdisciplinary educational reforms, including life sciences, mathematics and computer technologies. For this reason, it is important to examine the scope and current approaches in the education of biomathematics, which is a new multidisciplinary science under the field of applied mathematics. The purpose of this review study is to examine the scope and education of biomathematics and to make evaluations about its development. According to the results of the study, biomathematics researches should be supported, interdisciplinary studies in life sciences, mathematics and computer fields should be increased, biomathematics research-application areas should be expanded, biomathematics education-teaching should be carried out at high standards, biomathematics education should be carried out in Turkey as well as in the world, in order to solve current problems quickly and effectively. It should be ensured that education takes place in primary and secondary education as well as graduate-undergraduate education. Science, mathematics and computer courses curricula should be rearranged to cover biomathematics topics and applications, course contents, teaching methods-teaching materials should be developed, and STEM activities should be successfully applied at every education level. In addition, graduate-undergraduate level instructors who are experts in the field of biomathematics should be trained, and pre-service and in-service biology, science, geography, mathematics and computer teacher training should be given. Biomathematics applications should be increased both in universities and in primary and secondary education and students should be directed to higher education.

Keywords: *Biomathematics, mathematical biology, biomathematics education, review.*

1. GİRİŞ

Bilgi çağı olarak ifade edilen 20. yüzyılda fizik, kimya, biyoloji, jeoloji, matematik ve bilgisayar gibi bilimlerdeki gelişmelerin büyük bir hızla arttığı bilinmektedir. 21. yüzyıl başladığında ise bilgisayar teknolojilerinin zetabaytlarca büyüklükteki bilgileri/verileri, multidisipliner bir yaklaşımla ve hızla düzenlemesinin önemi anlaşılır hale gelmiştir. Ancak, özellikle matematik biliminin biyolojik bilimlere ve dolayısıyla günlük yaşamımıza katkılarının değerlendirilmesi henüz yenidir (Cozzens ve Roberts, 2020). Günümüzde, hızla bulaşan mikroorganizmaların sebep olduğu pandeminin incelenmesi, aşılardan analiz edilmesi ve moleküler biyolojik teknikler gibi konuların günlük hayatımızda yer bulmasıyla, bu verilerin incelenmesinde matematiksel modellerin yeri de anlaşılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda,

gerçek hayat problemleriyle meşgul olan uygulamalı matematiğin (Url 1) bir alt alanı olan biyomatematik, gün geçtikçe popüler bir kavram haline gelmektedir (Url 2).

Biyomatemiğin, karşımıza çıkan birçok sorunu anlama ve çözümede nasıl iş gördüğünün anlaşılması, günlük hayatımızı sorunsuz sürdürebilmek için büyük önem taşımaktadır. Gordon (1993), dünyamızın ve çevremizin ne gibi düzenlemelere ihtiyacı olduğunu daha iyi anlamamızın, sorunlara biyomatematikselle yaklaşan uzmanlar ve bireylerle mümkün olabileceğini bildirmektedir. Ayrıca, biyomatemiğin içerik ve yetkinlikleri bazlı eğitimlerin, öğrencilere ve araştırmacılara yalnızca multidisipliner araştırma ve eğitimde değişim yaratmak için yardımcı olmakla kalmayıp, eğitim reformlarını güçlendirmek ve yönlendirmekte katalizör görevi göreceği de belirtilmektedir (Seshaiyer, 2019). Bu durum biyomatematik bilgilerini üreten ve biyomatemiğin elde ettiği sonuçları kullanan, yetişmiş ve bilinçli bireylere daha fazla ihtiyacımız olduğunu göstermektedir. Bu derleme çalışmasının amacı, biyomatematik biliminin ve biyomatematik eğitiminin kapsamlarının incelenerek, gelişimleri ve geleceğine yönelik değerlendirmeler yapılmasıdır.

1.1. Biyomatemiğin Kapsamı

1.1.1. Biyomatemiğin Tanımı

Canlı araştırmalarında ortaya çıkan verilerin nicel ifadelerle dönüştürülmesi için kullanılan ve uygulamalı matematiğin bir alt alanı olan biyomatematik, multidisipliner bir çalışma alanıdır. Biyolojik yapı ve süreçlerin matematiksel sembollerle açıklanması olarak tanımlanan biyomatematik, elde edilen verilerin formüllere dökülüp, modellenerek gösterimi anlamına gelmektedir. Ek olarak biyomatematik ile nicel sembolere dönüştürülen biyolojik sistemlere ait ölçülen değer ve davranışların simülasyonu yapılabilmektedir (Gordon, 1993). Duralı'ya (1981) göre ise, biyomatematik, ampirik (deneysel/deneyimsel) biyolojinin yorumlanması için çok büyük önem taşımakta ve biyomatematik aracılığıyla açıklanan ampirik gerçekler hem sayısal gerçekler olarak hem de bir kar tanesinin matematiksel güzelliğinde karşımıza çıkmaktadır.

Biyomatematik biliminin baş savunucularından olan Rashevsky'nin (1936) matematiksel biyofizik olarak ifade ettiği bu alanın, Duralı tarafından 1980'lerin başından itibaren matematik biyoloji veya biyomatematik olarak adlandırıldığı bilinmektedir (Duralı, 1981:179). Ancak, biyolojik sistemlerin yapı, gelişim ve davranış ilkelerini araştırdığı, teorik analiz, matematiksel model ve soyutlamaları içerdiğinden daha önceleri matematiksel biyoloji, teorik biyoloji ya da

nicel biyoloji adıyla da anıldığı belirtilmektedir (Url 3;Url 4; Url 5; Gordon, 1993; Keleshteri, 2011; Robeva, 2020). Günümüzde ise matematiksel uygulamaların öne çıktığı ve biyolojiyle matematik arasında köprü kurarak sorulara cevap bulan uygulamalı matematiğin bu alt alanının, daha kapsayıcı bir kavram olan biyomatematik adıyla anılmaya başlandığı ifade edilmektedir (Longo ve Soto, 2016; Url 5).

Robeva, Jungck ve Gross (2020), hesaplamalı bilgiler ve teknolojik ilerlemelerin, sürücüsüz arabalar, robotik cihazlar, uzman sağlık sistemleri gibi konularda keşif hızını, muazzam bir şekilde arttırdığını bildirmektedirler. Eaton ve diğerleri (2020) de, pek çok konunun ayrıntılı olarak incelenmesinde biyoloji alanına öncülük eden, teknolojik ve matematiksel/istatistikî yaklaşımların günümüzde artan önemine dikkat çekmektedirler. Ayrıca, sürekli artan verilerin toplanarak anlamlı bilgiler haline getirildiği veri biliminin, günlük yaşam içinde her yerde, kolay erişilebilir verileri olan biyolojik bilimlere kayıtsız kalamayacağı da ifade edilmektedir (Cozzens ve Roberts, 2020). Matematiksel formül, teknik ve modellerin yardımı olmaksızın, bilimlerin ilerlemesinin mümkün olamayacağını belirten Keleshteri (2011) de, biyolojik süreçleri modellemek ve biyolojik parametreleri hesaplamak için matematiksel teknikleri biyolojiye bağlayan disiplinler arası alanın biyomatematik olduğunu bildirmektedir.

Biyomatematik sayesinde, deney sonuçlarına rağmen tam olarak tahmin edilemeyen özellikler dahi, matematik formüller, modeller yardımıyla ortaya çıkarılabilir ve ayrıntılı şekilde yorumlanabilirler. Örneğin avlanma ile ilgili dengeleri korumak için üreme çağındaki balıkların ne miktarda avlanacağını doğru olacağını saptamakta; kuluçkahanedeki kirlilik seviyesinin ölçülmesinde, habitata zarar veren avlanmanın ya da birey sayısındaki istenmeyen artışın etkilerini açıklamakta; hastalıkların teşhis ve tedavisi için gereken zararsız/etkili röntgen, ışın, ilaç dozlarının tespit edilmesinde; sinir hücrelerinin çalışmasının yapay zeka kullanılarak simüle edilmesinde ve genom analizlerinin yapılıp, gen haritalarının hazırlanması gibi çok çeşitli konularda biyomatematik kullanılarak cevaplar bulunabilir (Gordon, 1993).

1.1.2. Biyomatematiğin Tarihsel Gelişimi

Biyologların çalışmalarında ortaya çıkan her problemin çözümünde orta çağdan beri yüzyıllardır onlara destek olan matematikçilerin, bu uğraşlarının bir uzmanlık alanına dönüşmesi henüz çok yenidir (Url 2; Url 4). 1200'lü yıllardan beri matematiğin kullanıldığı biyoloji alanındaki çalışmaların 1900'lü yıllara gelindiğinde dahi, uzmanlık alanı olarak gelişmediğini söylemek yanlış olmaz. Öyle ki, matematikçi ve istatistikçi yönü pek bilinmeyen,

modern hemşireliğin kurucusu Florence Nightingale'in uygulamalı matematik ve istatistik çalışmalarını kurumsal bir çatı altında toplanmasında karşılaştığı zorluklar bunun göstergelerinden biri olabilir (Taşkırın ve Bayık Temel, 2017; Url 2).

Duralı'nın (1981:169) bildirdiğine göre, Rashevsky 1930'lu yıllardan başlayarak, formal mantık ve matematiğin güçlü bir rolü olan tümdengelim çalışmalarıyla, biyoloji disiplinini fiziğin de kullandığı bilimsel yöntem olan teorik analiz ve matematikle birleştirmiştir. Bunların yanı sıra, kendi verilerinin oluşturduğu soruları çözmeye çalışan birçok biyoloğun, uzun yıllar matematikle uğraştıkları, teorik biyoloji ile ilgilendikleri ve nihayet teorik biyolog olarak çalıştıkları da bildirilmektedir (Gordon, 1993). Jungck, Robeva ve Gross (2020) ise, bireysel ve lisansüstü eğitimlerle yetişen biyomatematikçilerin artık daha hızlı yetişebilmeleri için, özellikle son 60 yılda matematik biyologlarının matematik ve biyoloji lisans eğitiminde reform çabasında olduklarını belirtmektedirler.

1.1.3. Biyomatemiğin Çalışma Yaklaşımları

Biyolojik bilimlerdeki işlemler sırasında matematiğin çeşitli alanlarının kullanımına ihtiyaç duyulabildiği gibi tamamen konuya ilişkin yeni teknikler geliştirilmesi gerekebileceği de ifade edilmektedir (Gordon, 1993). Biyolojik araştırmalardan elde edilen veriler, biyomatematik anlayışla matematiksel modeller, hesaplama araçları ve mühendislik sistemleri analizi ile birleştirilir, ancak bunu yapmanın tek bir yöntemi olmadığı gibi, kolay olmadığı da bildirilmektedir (Robeva, 2010). Robeva'ya (2010) göre biyomatematikte, ağ modelleme ile deneyler arasında sıkı bağlantılar kurulur ve tutarlı, tekrarlı etkileşimler ortaya çıkarılır; bir başka deyişle, biyomatematik aracılığıyla biyolojik sistemlerin doğasında bulunan ağ yapısı ve etkileşimleri, modelleme, simülasyon ve sistem analizi kullanılarak deşifre edilir. Örneğin; alt hücrelerden hücreye, dokuya, organa ve insan davranışına kadar tüm organizasyon düzeylerindeki biyolojik sistemleri ifade eden sistem biyolojisinde, kontrol ve fonksiyonel mekanizmalar, ayrı bileşenlerin değil ağların ortak olarak ortaya çıkarttıkları özelliklerdir (Robeva, 2010).

Matematiksel modellerde bahsedilen "model", biyolojik sistemi açıklamak için uygun düşün denklemleri ifade etmektedir (Gordon, 1993). Lehrer, Schauble ve Wisittanawat'a (2020) göre modelleme yapmak için, özellikle değişkenliğin ve bununla ilişkili belirsizlik fikrinin tanımlanıp, gösterilmesi gerekmektedir. Süreçlere ait değişkenlerin yarattığı değişikliklerle, sonuçlar arasındaki ilişkilerin kurulup, yorumlandıktan sonra bu süreçlerin sonuçlarının

dağılımlarının görselleştirmesi ve ölçmenin yollarının bulunup, eleştiriler getirilmesi gerekmektedir. Araştırmacılar, görselleştirme ve değişkenliğin ölçülmesinin süreç bileşenlerindeki şans değişimini modellemek için kavramsal destek olarak kullanılabileceğini, böylelikle doğal sistemlerdeki değişkenlik hakkında akıl yürütmenin desteklenerek çıkarımların yeniden hayal edilebileceğini belirtmektedirler (Lehrer, Schauble ve Wisittanawat, 2020).

Biyolojik ağlar (modeller), genellikle birden çok yerde bulunan modüler birimlerden oluşan, kendilerine ait ağ yapılarına sahip, nispeten bağımsız olarak işleyen alt sistemlerle kendini organize ederler. Biyomatematik, “hangi ağ etkileşimleri belirli bir sistem işlevine yol açar?”, “bir sistemin işlevini bilerek, diğer bir alt bileşen ağı aynı davranışı sergileyecek şekilde tanımlanabilir mi?”, “organizasyonel seviyeler ve organizmalar arasında kendini organize eden biyolojik ağlar hangi benzerlik ve farklılıklara sahiptirler?” vb. gibi modern biyoloji ve klasik bilim araçlarının cevapları aramada yetersiz kaldığı sorularda devreye girer (Robeva, 2010). Bununla beraber Jungck ve arkadaşları (2020), moleküler biyolojide ayrı moleküllerin etkileşimlerine dayanan, bir hücre içindeki genler arasındaki düzenleyici ilişkileri incelenmesi örneğinde olduğu gibi, kimi zaman basit biyomatematik yöntemler kullanılarak soruların altından kalkılmadığını ve kompleks biyomatematik çözümlere başvurulduğunu da bildirmektedirler.

Biyolojik sistemlerin modellenmesi, iki varsayıma dayanan diferansiyel denklemler kullanarak yapılabilir. Varsayımlardan birincisi, sisteme dahil olan birçok kişinin olduğu ve onların topluca/sürekli bir miktar olarak görülebildiği; ikincisi ise, bireysel etkileşimlerin "küresel" bir şekilde, genellikle bir veya daha fazla genel parametre içeren bir dizi diferansiyel denklemden bir terim olarak tanımlanabileceğidir. Ancak bazen bu varsayımlardan her ikisi de başarısız olabilir. Bu gibi durumlarda devreye aracı ajan/etmen tabanlı modeller (Agent Based Modeling - ABM) girer ve herhangi bir zamanda tüm sistemin konfigürasyonundan ziyade, yalnızca yerel kurallara dayanan, birçok parçanın/ajanın yerel etkileşimlerinden ortaya çıkan dinamik sistemlerin tanımına iyi uyum sağlar. Bunun tersine, örneğin bir diferansiyel denklem sistemi, sistemin küresel dinamiklerini önceden açıkça tanımlayabilir (Jungck, Robeva ve Gross, 2020).

Aracı ajan bazlı modelleme ve simülasyonların biyoloji ve matematik eğitiminde kullanımının önemi hakkında saptamalarda bulunan Bodine, Panoff, Voit ve Weisstein (2020), biyomatematikte kullanılan hesaplamalı işlemlerdeki gelişmelerle birlikte, aracı bazlı/tabanlı modellerin biyolojik sistemleri incelemek için uygun ve çekici araçlar haline geldiğini bildirmektedirler. Araştırmacılar, biyolojik etkileşimler ve mekansal yapıları incelemek için güçlü

modelleme araçları olan ABM'lerin gelişen bilgisayar teknolojileri ile biyoloji ve matematik sınıflarında bundan sonra daha fazla kullanılmaya başlayacağını belirtmektedirler (Bodine, Panoff, Voit & Weisstein, 2020). Gerçekten de, biyomatematikte uygulama alanları olarak başlarda tercih edilen model formatları olan diferansiyel denklem (ODE), ayrık fark denklemleri ve matris denklemler yerine, hem eğitim hem de uygulamada bilgisayarların ve geliştirilen ABM'lerin kullanıldığı bildirilmektedir (Bodine vd., 2020).

Araştırmacılar tarafından ABM'lerle çeşitli biyolojik olay ve süreci incelemek için modüller oluşturulmuştur. Bunlara örnek vermek gerekirse, gen ekspresyonunun sorunları (Thomas, 2019), morfojenetik ve gelişimsel süreçler (Grant, 2006), doku mekaniği ve mikro damar sistemi (Bailey, 2007), enflamasyon, yara iyileşmesi ve bağışıklık tepkileri (An, 2004), kanser büyümesi (Wang 2015), tüberküloz (Segovia, 2004), farmakolojide kullanım (Butler, 2015), ekoloji, çevre yönetimi ve arazi kullanımı (Bousquet, 2004; Matthews, 2007; Grimm ve Railsback 2005; Caplat, 2008; De Angelis ve Diaz, 2019) tarafından modellenmiştir (Akt: Bodine vd., 2020). ABM'ler ayrıca, potansiyel müdahale önlemlerinin (Karantina, fiziksel mesafe, maske takma ve aşılama) etkisini inceleyen analizlerle salgınları simüle etmekte ve COVID-19 salgınında çeşitli müdahale yöntemlerinin nasıl etki gösterdiğini ve temel üreme sayısını (R_0) açıklamaya yardımcı olmak için de kullanılmışlardır (Bodine vd., 2020).

Biyomatematığın çalışma yaklaşımını anlamak için şöyle bir örnek verilebilir: Moleküler etkileşim mekanizmalarını kontrol etmek için çoklu geri besleme döngülerindeki biyomoleküler değişkenlerin ölçülmesi için ilk olarak, olayın biyoloji düzeyinde teorik olarak karmaşık olan sistem daha basit modüllere (alt ağlara) ayrıştırılır; ardından her bir alt sistemin işlev ve modüller arası etkileşimlerini açıklığa kavuşturmak için hedeflenen deneyler gerçekleştirilir. Bu aşamada, karmaşık ağların yapısını daha basit, işlevsel bileşenler açısından tanımlamak için metodolojiler geliştirmek ve ağ topolojisine dayalı sistem yanıtlarını belirlemek önemlidir. En sonunda ise modelleme düzeyinde, biyolojik ağ haritalarını dinamik modellere dönüştürmek gerekir ki burada, genellikle dinamik modelleme araçlarını üç sınıfa ayıran yaklaşım türünden bahsedilebilir (Robeva, 2010):

(1) Sistem yapısını, işlevselliği ve ağ etkileşimlerini anlamak için kurulan modeller: Tarihsel olarak en gelişmiş, sistem özelliklerini anlamak için kullanılan modeller sınıfıdır. Bu tür modeller, sistemin yapısını veya temel dinamiklerini tanımlayan minimum sayıda anahtar işlevsel öge ve etkileşimler dahil olmak üzere cimri modellerdir.

(2) Sistem gelişimini ve dinamiklerini simüle eden modeller: Bu modeller, belirli bir biyosistem hakkındaki bilgi gelişip, biyosistemin unsurları hakkındaki ayrıntılar ortaya çıktığında, sistem davranışının bilgisayar simülasyonunu mümkün olur. Simülasyon modelleri tipik olarak olabildiğince kapsamlıdır ve yaklaştırma çabasıyla mümkün olduğunca in vivo olarak gözlemlenen birçok sistem ögesi ve etkileşim içerirler.

(3) Sistemlerin tasarım özelliklerini veya gerçek zamanlı davranışını kontrol eden modeller: Sistem işlevselliğinin ayrıntılı bir şekilde anlaşılması, ilk tasarım koşullarını ayarlayarak veya gerçek zamanlı geri bildirim kontrolü ile sistem özelliklerini kontrol edebilen üçüncü tip modellerin (ve muhtemelen cihazların) oluşturulmasına izin veren modellerdir.

1.1.4. Biyomatematik Araştırma Alanları ve Konuları

Matematik bilimi, yakın geçmişte akla bile gelmeyen yeni uygulama alanları bulmakta ve sistemli teorilerin oluşumuyla, biyoloji gibi birçok disiplinde kullanılmaktadır (Nasibov ve Kaçar, 2005). Biyomatematik, hem biyoloji hem de matematik alanlarıyla beraber çalışmaktadır. Aşağıda multidisipliner bir bakış açısıyla çalışan biyomatematığın, literatürde yer alan çeşitli biyoloji ve matematik alanları ve çalışma konularından seçilmiş örneklere yer verilmektedir:

(1) Biyomatematik aracılığıyla çalışılan biyoloji alanları ve konuları: Ekoloji, (avcı-av ilişkisi, popülasyon genetiği, mikrobiyom), etoloji (sürü davranışı), moleküler biyoloji (gen düzenlenmesi, genlerin incelenmesi), moleküler genetik (rekombinasyon, gen aktarımı, moleküler mutasyon) biyokimya (DNA, RNA ve protein modelleri ve katlanma, biyokimyasal reaksiyonlar), biyoinformatik (genomik, proteomik, metabolomik ve moleküler teknikler), sistem biyolojisi (alt hücrelerden hücre, doku, organ ve insan davranışına tüm mekanizmalar, hücre döngüsü), mikrobiyoloji (bakteri/virüs aileleri, ilaç direnci), biyoteknoloji (endüstriyel mikroorganizmaların özellikleri, fermenterde üretim), filogenetik (moleküler evrim, filogenetik ağaçlar), fizyolojinin (metabolik faaliyetler, damar hastalıkları, biyokimyasal salınım, kas etkileşimi, böbrek fizyolojisi), nöroloji ve nöroendokrin (nöron modelleri, yapay sinir ağları, sinir devrelerinin işleyişinin anlaşılması), onkoloji (kanser görüntülemesi, tümör oluşumu), öngörücü ve önleyici tıp (insan metabolizmasının modellenmesi, diyabet yönetimi, yapay organ oluşturma), teorik enzimoloji (enzim kinetiği), hücre biyolojisi (hücre döngüsü), biyolojik savaş (virüs ve bakteri genom dizaynı), genetik (genetik varyasyon, rekombinasyon, gen lokusları üzerinde sonsuz küçük etkiler), bulaşıcı hastalıkların yayılması (epidemioloji), sağlık

geliştirme değerlendirmesi, biyofizik, gelişim biyolojisi, immünoloji, biyotıp (aşı geliştirme, inflamasyon, anjiyogenez, yara iyileşmesi, hücreler arası bağlantılar ve dinamik), sirkadiyen ritim, farmakoloji (ilaç keşifleri, ilaç üretimi ve kontrolü, sentetik ilaçlar) vb. gibi. (Robeva, 2009; Montévil ve Mossio, 2015; Robeva, 2016; Lee, ve Clinedinst, 2020; Enderling, Altrock, Andor, Basanta, Brown, Gatenby, Marusyk, Silva ve Anderson, 2020).

(2) Biyomatematikte kullanılan bazı matematik alanları ve konuları: Analiz (fonksiyonlar, limit, süreklilik, logaritmik ve üstel fonksiyonların türevleri, rolle ve ortalama değer teoremleri, integral hesaplama, Riemann toplamları, Taylor ve Maclaurin serileri, sonlu elemanlar), cebir (doğrusal cebir, soyut cebir, Hopf çatallanmaları, Boolean ağları, simetri ve grup teorisi), geometri (cebirsal geometri, fraktallar, örüntü tanıma), uygulamalı matematik (sayısal ve doğrusal olmayan yöntemler, nümerik analiz bilgisi, diferansiyel denklemler ve kodlama teorisi, uygulamalı diferansiyel denklemler, ayrık fark denklemleri ve matris denklemleri, bilgisayarda programlama (Matlab kullanımı), istatistik ve olasılık (deney sonuçlarını yorumlama), cebirsal istatistik, popülasyon dinamikleri, fizikte matematiksel yöntemler (matematiksel fizik, polinom dinamik sistemler) vb. gibi. (Keleshteri, 2011, Robeva, 2009; Robeva, 2016; Macauley ve Youngs, 2020; Url 6).

Bunlara ilaveten biyomatematikte bilgisayar yazılımları ve teknolojilerinin de çok önemli bir yer tuttuğunu söylemek gerekir, çünkü matematik formüllerin hızlı ve hatasız uygulanması için bilgisayarlar hızla biyolojide merkezi bir düşünce aracı haline gelmektedir. Biyolojik sistemlerle ilgili büyük miktarlardaki veriler, bilgisayarlar aracılığıyla biyomatematik sayesinde elektronik tablo/grafik programlarıyla bir araya getirilir, tasarımı yapılır ve görselleştirilir (Gordon, 1993).

1.2. Biyomatematik Eğitiminin Kapsamı

1.2.1. Biyomatematik Eğitime Duyulan İhtiyaç

Son on yılda biyoloji alanında elde edilen, özellikle biyokimya, genetik, genomik, proteomik ve sistem biyolojisi alanlarındaki kayda değer gelişmeler, matematiksel model ve yöntemlerin bu disiplinler için hayati öneme sahip soruları ele almada ne denli kritik öneme sahip olduğunu gösterdiğinden, biyoloji araştırmaları için matematiksel yöntemlerin kullanılması ve geliştirilmesi ihtiyacının gelecekte daha da artacağı düşünülmektedir (Robeva, 2009). Çünkü, insanın biyosfer üzerindeki etkilerinin yol açtığı sorunların boyutlarını daha iyi görebilmek ve

bunların sonuçlarını deneyimlemek zorunda kalmadan çözüm oluşturabilmek için, elimizdeki verileri hesaplayarak net değerlendirmeler yapmamız gerektiği çok açıktır. Araştırmacılar, yaşam bilimlerini nicel olarak ele almanın önemini öne çıkarmakta ve biyoloji öğretim programlarına nicel teknikleri eklemek için geniş revizyon önerilerinde bulunmaktadırlar (Eaton, LaMar ve McCarthyc, 2020). Ancak Robeva'ya (2009) göre, uygun disiplinler arası becerilere ve bilgiye sahip bilim insanlarına olan ihtiyaca rağmen, Amerika gibi bu konularda öncü olan ülkelerde dahi, biyomatematik uygulamaları çoğu üniversitedeki lisans matematik ve biyoloji yetiştirme programlarına istenen hızda yansıtılmamaktadır.

Biyomatematik uzmanlarının matematikle ilgili bazı konularda bilgili olması beklendiği gibi, biyolojik problemin altında yatan biyolojik faktörleri açıklayabilecek genel ve özel biyoloji konularında da bilgi sahibi olması beklenir. Bu durumun biyoloji konularına giriş seviyesinden daha üst ve ayrıntılı bilginin gerekliliği de bir gerçektir. Bu nedenle, biyoloji ve matematik bilgisinin gerekliliği yeni bir alan oluşumunu getirmiştir. Gordon (1993), teorik biyoloji bir başka ifadeyle biyomatematik alanındaki araştırmaların patlama gibi bir hızda ilerlediğini, bu nedenle lise ve üniversitede bu konuyla ilgili bilgilenmenin, bu alanlarda çalışma şansı açısından faydalı olacağını bildirmektedir.

Günümüzde biyolojik araştırmalar, nicel ve hesaplamalı yaklaşımların işin içine girmesiyle önemli ölçüde değişmiş ve geleneksel fen ve matematik eğitimi programlarının da değişmesine olan yoğun talep artmıştır (Eaton vd., 2020). Ancak bazı araştırmacılar, biyoloji, ekoloji, ekonomi, moleküler biyoloji ve diğer birçok alanda verilen eğitimlerin, bu gelişmiş teknikleri uygulamak için uygun şekilde donatılmadıklarını ve bu konuda verilen eğitimlerin günlük hayattan uygulamalara çok az yer verdiğini belirtmektedirler (Hoff ve Harding, 2019; Eaton vd., 2020).

Greer ve arkadaşları (2020), yeni nesil matematiksel biyologlar yetiştirmenin değerini vurgulamakta ve biyomatematik eğitimiyle ilgili verilerin paylaşıldığı, rehberlik yapılan ve pratik çalışmalar yapma imkanlarının sunulduğu araştırma toplulukları kurmanın öneminden bahsetmektedirler. Watkins (1992) modelleme alıştırmaları yapmanın bilimsel bilginin oluşturulması ve test edilmesine ilişkin becerileri de etkileyeceğini, bir başka deyişle öğrencilerin veri toplama, analiz ve sunum gibi bilimsel süreç becerilerini geliştirebileceğini bildirmektedir (Akt: Bodine vd., 2020). Eaton ve arkadaşları (2020) da, güçlü bir biyomatematik eğitimi verilebilmesi için, disiplinlerarası yapının kucaklandığı, yaşam bilimleri veya matematik derslerine ait konuların bu derslere eklendiği ve bu yeni eğitim eylemleri için destek kaynakların bulunduğu bir yaklaşım gerektiğini bildirmektedirler.

1.2.2. Biyomatematik Eğitiminin Tarihsel Gelişimi

Biyomatematik 1900'lerin başlarından itibaren, elde ettikleri verileri anlamaya ve çözmeye çalışan birçok biyoloğun matematikle uğraşarak başlattıkları bir yaklaşım iken, her geçen yıl bu konuda çalışan daha fazla uzmanın yetişmesi zorunluluk haline gelmiştir. 1961'de düzenlenen Cullowhee Biyomatematik Eğitimi Konferansı'ndan sonra sayıları artan biyomatematikçilerin eğitimi ile ilgili gelişmelerin 1990'larda devam ettiği ifade edilmektedir (Jungck vd., 2020). Akman, Eaton, Hrozencik, Jenkins ve Thompson, (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. Ayrıca, Ulusal Araştırma Konseyi'nin BIO2010 grubunun raporuyla (2003), geleceğin “nicel biyologlarını” eğitmek için müfredatın yeniden yapılandırılmasının tavsiye edildiği de belirtilmektedir (Akt: Robeva ve Laubenbacher, 2009). Bu tarihten sonra artan matematiksel ve hesaplamalı biyoloji alanındaki lisans ve lisansüstü programlarının yanı sıra bazı kurumların biyomedikal araştırmalarla ilgili matematiksel biyoloji dersleri eklediği bildirilmiş; ayrıca Ulusal Bilim Vakfı ve Ulusal Sağlık Enstitüleri'nin öğretim üyeleri için geliştirme atölyeleri, tartışma forumları, araştırma deneyimlerinin paylaşılması ve öğrenciler için matematiksel biyoloji alanında özel araştırma konferansları düzenlendiği belirtilmiştir (Robeva ve Laubenbacher, 2009). Jungck ve arkadaşları (2020) 2020 yılı itibarıyla, dünyada yaklaşık 200 kurumun biyomatematik ve biyoinformatikle ilgili lisans ve/veya yüksek lisans programları sunduğunu bildirmektedirler. Ayrıca, çeşitli ülkelerdeki çalışma gruplarının strateji oluşturmak ve belirlemek için birleştiği; lisans, lisansüstü öğrenciler veya doktora sonrası eğitim için çözüm ve öneriler ürettikleri ve matematiksel biyoloji alanında finansman fırsatları ve araştırma işbirlikleriyle işe alım sağlamaya odaklanıldığı belirtilmektedir (Jungck vd., 2020). Son dönemlerde ise, özellikle Fen-Teknoloji-Mühendislik-Matematik (FETEMM-Science, Technology, Engineering, Mathematic-STEM) disiplinlerinde akademideki çeşitliliğin eksikliğine dikkat çekilmiş, lisans programlarını geliştirmeye yönelik çabalarla sorunların ele alınması ve bazı kurumların lisans öğrencileri için staj ve kısa süreli atölye çalışmaları içeren ortak araştırma projeleri içeren çeşitli girişimler başlatıldığı bildirilmiştir (Lee ve Clinedinst, 2020).

Lee ve Clinedinst (2020), öğrenci sayısı artmasına rağmen Amerika'da bile biyomatematikin halen yeterince tanıtılmadığını ve bu nedenle lisans ve lisansüstünde FETEMM işgücü potansiyelinin kullanılmadığını ifade etmektedirler. Seshaiyer ve Lenhart (2020) ise, son on yıldır fen bilimleri lisans müfredatlarıyla matematiği bütünleştirmek için fırsatlar yaratıldığını,

yeni nesil biyologların deney tasarlayıp, hipotezleri test ederek, matematiksel modeller ve hesaplama yaklaşımlarıyla sonuçları analiz ettiklerini bildirmektedirler. Ancak araştırmacılar, fen müfredatına biraz matematik içeriği eklemenin ya da matematik programına biraz fen içeriği eklemenin yetersiz olacağını; verileri toplamak, yönetmek, yorumlamak ve görselleştirmek için disiplinlerarası yaklaşımlardan faydalanılması gerektiğinin de altını çizmektedirler (Seshaiyer ve Lenhart, 2020).

Günümüzde biyoloji ve matematik gibi lisans alanları eğitimindeki müfredatı geliştirmek için devam eden çabaların yanı sıra, lise öğrencilerini konuya dahil etme girişimleri de sürmektedir. Son yıllarda FETEMM (STEM) ve FETEMM-S (STEM-A, Science, Technology, Engineering, Mathematic, Art) eğitimi ile ilgili okul uygulamalarının artması bu çabalar arasında sayılabilir. Seshaiyer ve Lenhart (2020), ortaokuldan itibaren lise yıllarının matematik ve biyolojiyi beraber değerlendiren bu tür programlar için uygun olduğunu ve bu konuda eğitim verebilecek öğretmenlerin hazırlanmasına yönelik programların da devreye sokulması gerektiğini önemle belirtmektedirler. (

Dünyada matematiksel biyoloji eğitimine, finansman, yayın, çalıştay, ödül, burs, web destekli ortamlar, müfredat tasarımı tartışmaları ve akademisyen toplulukları arasında mentorluk ve benzeri destekler sağlayan kurumlar ve dernekler olarak Matematiksel Biyoloji Derneği (SMB), Biyomatematik ve Ekoloji Eğitimi ve Araştırma Sempozyumu (BEER), Amerika Matematik Derneği (MAA), Endüstri ve Toplum Derneği Uygulamalı Matematik (SIAM), Özel İlgi Grubu Matematiksel ve Hesaplamalı Biyoloji (BIO SIGMAA), Yaşam Bilimleri Topluluğu, Endüstriyel ve Uygulamalı Matematik (SIAM)-(SIAG-LS), QUBES, Bio-QUEST, MathBench ve Üniversitelerarası Biyomatematik İttifakı (IBA), Matematiksel Biyoloji Sentezi Ulusal Enstitüsü (NIMBioS) ve Matematiksel ve Teorik Biyoloji Enstitüsü (MTBI) gibi örnekler bulunmaktadır (Greer, Akman, Comar, Hrozencik, ve Rubin, 2020).

1.2.3. Lisans Düzeyinde Biyomatematik Eğitimi

Gelişmiş ve çağı yakalayan bir eğitim programı kurgulanabilmesi adına, yaşam bilimlerinde biyomatematikin bakış açısının yansıtılması ve tıpkı pandemi verilerinin dikkatle takip edilmesi örneğinde olduğu gibi, verinin değerinin toplumda algılanmasının sağlanması için çabalamak gerekmektedir. Bir başka deyişle eğitimle elde edilen bilginin günlük yaşamımız ve iş hayatımızda kullanımına anlam kazandırılması önem taşımaktadır. Robeva ve arkadaşları (2020) bu amaçla, yükseköğrenimle edinilen iş sertifikası retoriğinin ötesine geçen ve veri

zekasını projelerle ilişkilendirerek modelleme, deneysel ve hesaplama yöntemleriyle birleşmiş, açık bir müfredatın geliştirilmesini önermektedirler. Araştırmacılar böyle bir eğitim sürecinin, yaşam bilimi lisans öğrencilerinde deneysel (ampirik) öğrenmenin benimsenmesini sağlayarak, öğrencileri gerçek sorgulamalara davet edeceğini ve araştırmalardan elde edilen sonuçlardan yeni keşiflere ulaşmalarını getireceğini bildirmektedirler (Robeva vd., 2020).

Veri biliminin hızla ilerlemesi de üniversitelerde verilen yükseköğrenimin de gözden geçirilmesini ve disiplinlerarası yaklaşımla yeniden düzenlenmesini gerekli kılmaktadır. Öyle ki, teknolojiyi bilen, problem çözebilen, günlük hayattaki olayları değerlendirmemizi sağlayan, biyolojik verilerle anlamlı yargılara varabilen, fen bilimleri ve sosyal bilimler arasında işbirliği yapabilen, endüstrinin ihtiyaç duyduğu bir işgücü/uzman yetiştirmek için uğraş vermemiz gerektiği belirtilmektedir (Robeva vd., 2020). Üniversite lisans eğitiminde sözü edilen birden fazla disiplini birbirine bağlayan, modern yaklaşımların benimsenmesiyle çift ana dal ya da yan dal yapan öğrencilerin sayısı artsa da özellikle biyoloji ve tıp alanlarında matematik, fizik gibi nicel bilimlerle disiplinlerarası bir yaklaşımın henüz yeterince olmadığı bildirilmektedir (Enderling vd., 2020). Bununla birlikte Aikens (2020), son 25 yılda, lisans biyoloji eğitiminde reformlar yapılmasına ihtiyaç olduğunu ve gelecekte biyolojik süreçlerin daha iyi anlaşılmasının, fizik ve matematik kavramlarını anlamaya dayanacağını ifade etmektedir.

Lisans biyoloji eğitiminin özellikle matematik ve fizikten büyük ölçüde geride kaldığını ifade ettiği makalesinde Aikens (2020), lisans biyoloji derslerinde diğer FETEMM disiplinlerinin değerini açıkça göstermenin biyoloji eğitimcilerinin üzerinde zaman ve kaynak ayırması gereken bir alan olduğunu ve bunu yapmaya disiplinlerarası bir faaliyet veya modül gibi küçük adımlarla başlanabileceğini belirtmektedir. Jungck ve arkadaşları (2020), biyomatematik eğitiminin sadece bir matematik veya fizik problemini biyolojik bir bağlama yerleştirmek olmadığını aksine, biyologların cevapladığı soruları çözmek için başka bir disiplinin ilkelerini uygulamak ve aralarında köprü kurulması gerektiğine dikkat çekmektedirler. Cozzens ve Roberts (2020) ise matematiğin geleneksel olarak öğretildiği haliyle diğer disiplinlerdeki öğrencilere, özellikle de yaşam bilimlerine sunmanın tam olarak doğru olmadığını belirtmektedirler.

Bressoud (2020), lisans matematik bölümlerinin geniş lisans eğitime hizmet etme misyonundaki üç büyük dönüşümün sonuçlarını özetleyerek, (1) genel olarak FETEMM eğitiminin üniversitede de bilim adamı ve mühendis eğitimi için bir çağrı olduğunu; (2) bilgisayar bilimi ve ayrık matematiğin etkilerinin ortaya çıkardığı zorlukları aşmak gerektiğini ve (3) yaşam bilimi öğrencilerinin artık üniversite matematik derslerinin en büyük gruplarını

oluşturduğunun kabul edilmesini istemektedir. Bu bağlamda matematik ders kitaplarında teknolojinin, özellikle bilgisayar cebir sistemlerinin kapsamlı kullanımına ve modellemenin öneminin tanıtılmasına ihtiyaç olduğu bildirilmektedir (Bressoud, 2020). Birçok matematik ve biyoloji eğitimcisi, biyolojiye uygulanabilen matematiğin kalkülüs matematiğinin çok ötesine geçtiğini ve özellikle biyoloji lisans öğrencilerinin biyoloji ve matematik derslerinde çeşitli matematiksel modeller ve analiz yöntemlerini öğrenmeleri gerektiğini de belirtmişlerdir (Bressoud 2004, Gross 2004, Akt: Bodine, Panoff, Voit ve Weisstein, 2020; Robeva ve Laubenbacher, 2009). Ayrıca biyomatemiğin, bazı kurumlarda matematiksel modellemeler, soyutlamalar ve teknik analizlerin yapıldığı uygulamalı matematik bölümlerinin alt programları olarak yer aldığı bildirilmektedir (Url 5).

Akman ve arkadaşları (2020), biyoloji ve matematik lisans öğrencilerinin araştırma, bilim ve teknoloji alanlarındaki kariyerleri için hazırlanmalarını sağlama, eğitimleri için gereken temel bileşenleri belirleme ve değiştirme esaslarını belirlemek için biyomatematik eğitim sisteminin iyi bir şekilde ele alınması gerektiğini bildirmektedirler. Üniversitelerde özellikle lisansüstü ve doktora seviyelerinde, birden fazla disiplini içeren müfredatlar gittikçe daha fazla benimsenmekle beraber, matematik ve biyoloji alanlarında çift ana dal yapan öğrencilerin sayısının hala oldukça az olduğu da vurgulanmaktadır (Enderling vd., 2020).

1.2.4. Öğretmen ve Öğretmen Adaylarının Biyomatematik Eğitimi

Biyomatemiğin lisans eğitiminin geliştirilmesine ek olarak, yine lisans eğitimi altında yenilenmesine ihtiyaç olan önemli bir yetişme alanı da eğitim fakültelerindeki öğretmenlerin biyomatematik adına bilgilendirilmeleridir. Gerçekten de, liselerden itibaren bu alanlara güdülenmiş öğrenci kazandırmak adına öğretmen eğitimine de yönelmek ve gerek hizmet içi ve gerekse hizmet öncesi eğitimlerle desteklenmeleri gerekmektedir. Öğretmen ve öğretmen adaylarına, biyomatemiğin kullanım alanları ve uygulamalarına yönelik bilgi ve tecrübeler kazandırılması, yetiştirecekleri öğrencileri matematiksel biyolog olma yolunda harekete geçirebilir. Seshaiyer ve Lenhart (2020), öğretmenlerle yapılan ortak çalışmaların onları araştırma projelerine tam bir ortak olarak dahil etmek, materyal sunmak ve yaz okullarına katılımlarını sağlamak gibi farklı türden aktiviteler olabileceğini ifade etmektedirler. Böylelikle bu öğretmenler lise öğrencilerine biyomatematik uygulamalarına katılmalarına yönelik tavsiyelerde bulunabilirler, biyomatematik ile ilgili araştırma deneyimleri hakkında bilgi verebilir ve öğrencilerinin üniversite başvurularında bu alanı seçmelerini sağlayabilirler

(Seshaiyer ve Lenhart, 2020). Ayrıca, Cozzens ve Roberts (2020) çevrimiçi kurslarla eksik olan eğitimci sayısının giderilebileceğini ve matematiğin diğer alanlardaki değerini pekiştiren sanal laboratuvar uygulamalarıyla biyoloji ve diğer yaşam bilimleri ile ilgili zengin örneklerin matematikle buluşabileceğinin altını çizmektedirler.

Öğretmen adaylarıyla yapılan çalışmalarda, biyomatematiğin sorgulamaya dayalı eğitimde aldığı rolün büyüklüğüne de dikkat çekilmektedir. Mayes, Long, Huffling, Reedy ve Williamson (2020), biyoloji öğretmen adayları ile yürüttükleri çalışmalarında, biyomatematik aracılığıyla elde edilen nicel muhakemenin biyoloji öğrenmek için ne denli önemli bir araç olduğunu ifade etmişler ve özgün deneyimler yaşayabilmeleri için öğretmen adaylarına sınıfta daha fazla fırsat sağlanması gerektiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar kavrama ait tüm değişken ve unsurlarla gerçekleşen nicel muhakeme sürecinde biyologlar, matematik ve fen eğitimcilerinin nicel akıl yürütmeyle ilgili becerileri, zaman kısıtlamaları, matematik öğretimi içerik bilgisi ve nicel ilkelerin biyoloji öğretimi ve öğrenimiyle olan ilgisinin, uygulamaları etkileyebileceğini tespit etmişlerdir (Mayes vd., 2020).

Biyomatematik uygulamalarının eğitimde kullanılmasının biyoloji öğretim sürecinde etkili olduğu kadar, yaratıcı zihinsel süreçlerini harekete geçirmede de etkin olabileceği de belirtilmektedir (Jungck vd., 2020). Ancak bu noktada Mayes ve arkadaşları (2020), nicel muhakeme sürecinin tüm aşamalarında kavramsal destek sağlanması ve algoritmik bir bakış açısıyla öğretim için öğrencilere keşif sürecinde yardımcı olan pedagojik yaklaşımlar kullanılmasının önemli olduğunu bildirmektedirler. Bu durum gerek biyoloji öğretmeni yetiştirme ve gerekse ortaöğretimdeki biyoloji derslerinde yapılacak olan kapsamlı araştırmalarla, biyomatematik uygulamalarının nicel muhakeme ve biyoloji öğrenme üzerindeki etki mekanizmalarının keşfedilmesi ile ilgili çalışmalar yapılması gerektiğini düşündürmektedir.

1.2.5. İlk ve Ortaöğretim Düzeyinde Biyomatematik Eğitimi

Biyolojik sorunları nicel yöntemlerle görünür kılarak daha iyi anlaşılmasına hizmet eden biyomatematiğin, yaşamın kendisi olan biyolojinin de daha iyi anlaşılmasını sağlayacağı söylenebilir. Akman ve arkadaşları (2020), matematiğin zor olduğu ön yargısının getirdiği zorluklar göz önüne alındığında, biyoloji bilimi ve bilgisayarla ilişkili hesaplamalı (computational) uygulamalarla biyomatematik eğitimini desteklemek gerektiğini belirtmektedirler. Cozzens ve Roberts (2020) de, lise düzeyinde bile matematiğe giriş derslerine

uygun, sürdürülebilirlik, epidemiyoloji ve çeşitli konuları kapsayan özel örneklerle "küçük modüller" geliştirme çabalarının kapsamlı bir modül koleksiyonu oluşturduğunu bildirmektedirler. Lehrer, Schauble ve Wisittanawat'a (2020) göre, bilim doğası gereği bir modelleme kurma teşebbüsü olduğundan, çocuk ve gençlerin modelleme yapabilmede güçlenmeleri için özellikle değişkenliğin ve bununla ilişkili belirsizlik fikrinin nasıl tanımlanacağı ve gösterileceğinin öğretilmesi gerektiğinin ve bunun gençlerin dünyayı daha derinlemesine anlamaları için donanmalarını sağlayacağını bildirmektedirler.

Cozzens ve Roberts (2020), araştırma verilerinin veri havuzlarıyla açık erişim eğiliminin arttığı günümüzde, artık sadece araştırmacılar değil öğrencilerin de taşınabilir sensörler ve aletlerle topladığı verilerin, lisede bile matematik derslerine bu bilimi soktuğunu bildirmektedirler. Enderling ve arkadaşları (2020) ise, öğrencileri gelecekteki disiplinlerarası kariyerleri için daha iyi hazırlamak amacıyla lise ve hatta ortaokul öğrencilerinin biyomatematik becerilerini geliştirmek için eğitime ihtiyacını belirlediklerini ve bir kanser merkezinde "Entegre Matematiksel Onkoloji Lise Staj Programı" uyguladıklarını bildirmişlerdir.

Araştırmacılar, genç öğrencilerin değişkenlik hakkındaki üretici akıl yürütmelerine yardımcı olmak için, öncelikle süreçlere ait değişkenlerin yarattığı değişikliklerle sonuçlar arasındaki ilişkilerin kurulmasını ve bunların yorumlanmasının yapılmasını, daha sonra ise öğrencilerin bu süreçlerin sonuçlarının dağılımlarını görselleştirme ve ölçme yollarını bulup ve eleştirmelerinin sağlanmasının gerektiğinin altını çizmektedirler (Lehrer vd., 2020). Görselleştirme ve değişkenliğin ölçülmesinin süreç bileşenlerindeki şans değişimini modellemek için kavramsal destek olarak kullanılabileceği ve nihayetinde öğrencilerin, doğal sistemlerdeki değişkenlik hakkında akıl yürütmeyi destekleyen şekillerde örnekleri ve çıkarımları yeniden hayal edebilecekleri bildirilmektedir (Lehrer vd., 2020).

Jungck ve arkadaşları (2020), temsilci tabanlı modellerle çalışmanın Bloom taksonomisinin tüm düzeylerinde öğrencilerin ilgisini çekebileceğini ve önceden programlanmış ABM simülasyonlarını kullanan deneylerin, öğrencileri sınıf ortamında bilgilendirerek, küresel dinamiklere katkıda bulunan temel mekanizmaları anlamalarına ve hatırlamalarına yardımcı olacağını bildirmektedirler. Önceden var olan modellerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi sayesinde, temelde yatan davranışlar hakkında öğrencilerin derin ve kalıcı bir anlayış geliştirme fırsatına sahip olacaklarını belirten araştırmacılar, buna ek olarak öğrencilerin tek bir simülasyonun diğer simülasyonlarda gözlemlenenden farklı sonuçlara ulaşabileceğini görüp, deneyleri tekrarlamamanın önemini anlayacaklarını ifade etmektedirler (Jungck vd., 2020). Seshaiyer ve Lenhart (2020), öğrencilerin öğrenmesini her düzeyde geliştirmek için matematik

ve biyolojiyi verimli bir şekilde entegre etmeye yardımcı olabilecek en etkili öğretim araçlarının matematiksel modelleme kullanmak olduğunu ve bunların eğitim-öğretim uygulamalarını dönüştürmeye yardımcı olabilecek materyaller olduklarının altını çizmektedirler.

Öğrencilerde problem oluşturma, gözlem, ölçüm ve değerlendirmeyi vurgulayan görevlerin tercih edilmesine ek olarak, çözümlerin değişkenliğini ve temsil biçimlerini ifade eden görevlerin geliştirilmesi, biyomatematikle sorun çözmeye olan ilgi ve yaratıcılığı arttırmaya destek olabilir. Bununla birlikte, model testinin pek çok biçimi hemen çözülemez ve sürekli kavramsal çaba ve mantıksal akıl yürütme yapmayı gerektirir. Genellikle öğrencilerin karmaşık veri biçimlerini toplaması, yapılandırılması zaman alabilir ve soruyu matematikselleştirmesi, yapılandırması, ilişkilendirmesi gerekir ki sonuçlar da çoğu zaman ölçülemez hatta belirsiz kalabilir (Lehrer ve Schauble, 2010). Bunlara ek olarak, FETEMM eğitiminin 21. yüzyılda günlük hayatımızın her yönünde karşımıza çıkan biyolojik sorunların çözümünde için kritik bir değer taşıdığı ve disiplinlerarası bir bilimsel yaklaşımla, farklı alanlardaki kavram ve uygulamaları birbiriyle bütünleştirebildiği belirtilmektedir (Aikens, 2020). Bu bağlamda, öğrenci deneyimlerinin dönüştürülmesine yardımcı olan, biyolojik sistemlerden esinlenilmiş uygulamalar ve projeler yapılmasına destek veren kurum ve öğreticilerin ileride gittikçe önem kazanacağı da bildirilmektedir (Seshaiyer, 2019).

1.2.6. Biyomatematik Müfredatı Çalışmaları

Günümüzde bilgiyi üretmek ve değerlendirmenin gerekliliğine vurgu yapıldığından, yaşam bilimleri eğitiminin de öğrencilerin öğrenmesi için günlük yaşamlarını kolaylaştırmak ve bilgiyi üretmelerini sağlayabilmek için bunlar açısından en değerli ve en tutarlı bakış açısıyla yönlendirilmesi gerektiği üzerinde durulmaktadır (Lehrer vd., 2020). Bu bağlamda FETEMM eğitiminin önemi daha iyi anlaşılabilir, çünkü FETEMM eğitiminin disiplinlerarası bir bilimsel yaklaşımla, farklı alanlardaki kavram ve uygulamaları birbirine entegre etmeyi gerektirdiği ve bunun günlük hayatımızın her yönünde karşımıza çıkan biyolojik sorunların çözümü için 21. yüzyılda kritik bir değer taşıdığı belirtilmektedir (Aikens, 2020). Seshaiyer (2019), küresel sorunları çözmeye yardımcı olabilecek, yeni nesil FETEMM iş gücünün hazırlanmasında multidisipliner eğitim ve araştırma deneyimlerinin önemli bir rolü olacağını bildirmektedir. Bu anlamda biyomatematikin rolünün, beceri temelli bir eğitim vererek matematiksel modelleme, kararlılık analizi, parametre tahmin teknikleri ve fizik bilen; algoritma ve istatistiksel çıkarım tekniklerini kullanabilen; 21. yüzyıl becerilerinden olan eleştirel düşünme, yaratıcılık, iletişim

ve işbirliği gibi yetkinliğe özgü temalarla, sorgulamaya, deneyime ve proje tabanlı yaklaşımlara dayalı aktif öğrenme yaklaşımlarını sınıf içinde ve dışında kullanabilen bireyler yetiştirilmesine hizmet etmek olduğu belirtilmektedir (Seshaiyer, 2019).

Bressoud (2020), biyomatematiğin öğretilmesi ve geleceğin biyomatematikçilerinin yetiştirilmesindeki temel zorlukların, öğrencilerin katılımı ve derslerin içeriği (müfredat) olduğunu belirtmektedir. Cozzens ve Roberts (2020), matematik ve biyoloji müfredatının entegrasyonunun giriş niteliğindeki matematik derslerinin, özellikle de matematiğin değerini pekiştirmede çok yardımcı olacağını ayrıca, yeni çalışmaların yapılması ve yayınlanmasının teşvik edilmesi gerektiğini ve hem matematiksel hem de biyolojik kavramları içeren, matematiksel kavramları biyolojik kavramları anlamının geliştirilmesini sağlayan uygulamalar yapılmasının beklendiğini bildirmektedirler.

Araştırmacılara göre, matematik/biyoloji ara yüzünde kesişen kavramları öğretmek için kullanılan modül örnekleri hazırlanmalı; bunlarda yeni yöntemlerle ilgili kısa açıklamalar yapılmalı ve potansiyel kullanıcılara öğrenmenin değerlendirilmesi için yöntemler önerilmelidir (Jungck vd., 2020). Ayrıca sunumların, geniş pedagojik konular veya metodolojiler (örneğin probleme dayalı öğrenme, akran değerlendirmesi, işbirliğine dayalı öğrenme vb.) içermesi ve modülü kullanmak isteyen eğitmenlere kolaylık sağlayan çevrimiçi materyallerle (örneğin literatürü özetleyen bildiriler, makaleler, sınıf kullanım kılavuzu, proje örnekleri, örnek sınav soruları vb.) desteklenmesi beklenebilir (Jungck vd., 2020).

Amerika Birleşik Devletleri'nde 1973'te başlayan yeni bir biyomatematik ana dalı ve yaşam bilimleri için matematik dersi içeriği yaratma fikri, ayrık matematik, olasılık, istatistik, ağlar, oyun teorisi ve doğrusal programlama gibi ek konuların, öğrencilere matematiği tanıtmada tek başına matematikten daha iyi yardımcı olabileceği şeklinde bir görüşün doğmasına neden olmuş ve bilgisayar biliminin gelişmesiyle de her iki alan iyice önem kazanmıştır (Cozzens ve Roberts, 2020). Cozzens ve Roberts (2020) biyomatematik ile ilgili konuların öğretimi için kitapların gerekliliğinin varlığının altını çizerken, çok az uygun kitap olmasının problem olduğunu ve yeni kitap içeriklerinin alanın eğitime destek olmak adına matematik kavramları ve uygulamalarını, analitik teknikleri, sayısal yöntemleri ve öğrencilerin biyolojik olayları modellemek için analizin nasıl, ne zaman, neden kullanılabileceğini anlamalarını sağlayacak nitelikte olması gerektiğini değerlendirmektedirler.

Yeni nesil yaşam bilimcilerini karmaşık ve dinamik dünyamızı simüle etmek ve daha iyi anlamak için ajan/etmen bazlı modellerle (ABM) eğiterek güçlendirmek gerektiği de

bildirilmektedir (Bodine vd., 2020). Bodine ve arkadaşları (2020) özellikle lisans öğreniminde yaşam bilimleri ve matematik modelleme derslerinde ABM kullanmanın önemini altını çizmekte ve lisans biyolojisi ve yaşam bilimleri müfredatının tüm öğrencilerin matematiksel modellemeyi deneyimleyecek şekilde yapılandırılmasını tavsiye etmektedirler.

Çeşitli karmaşık ve dinamik sistemleri incelemek için etkili araçlar olan bilgisayarlar, keşfetme ve tahmin aracı olan ajan/etmen tabanlı modelleri kullanarak, artık yaşam bilimleri veya uygulamalı matematik okuyan öğrencilerin lisans eğitimlerinde ve uzman uygulayıcılar için aktif araçlar olarak karşımıza çıkmaktadırlar (Bodine vd., 2020). Örneğin Voit'in (2020) bildirdiğine göre, canlılarda aynı kaynak için rekabet eden iki popülasyonun etkileşiminin incelenmesi, basit bir av-avcı modeli ile bilgisayarlar aracılığıyla yapılabilir ve popülasyonlara genellenebilir (Akt: Bodine, Panoff, Voit ve Weisstein, 2020). Ayalew (2019) ise, bir gölün su seviyesinde zamana bağlı oluşan değişikliklerin, öğrenciler tarafından bir diferansiyel denklemlerle incelenebileceğini bildirmektedir (Akt: Bodine, Panoff, Voit ve Weisstein, 2020). Weisstein (2011), zamana (t) bağlı olarak su (W) seviyesindeki değişikliklerin, yan derelerden, yağmurdan ve diğer kaynaklardan gelen akışlara bağlı olduğu ve su miktarında azalmanın buharlaşma ve su kullanımına bağlı olduğunun tanımlanarak, bunların diferansiyel denklemlerle konabileceğini belirtir (Sol tarafta, zaman içindeki değişim dW/dt olarak bulunur ve bu değişiklik, sağ tarafta ise artan ve azalan süreçlerin toplamı tarafından oluşturulur) (Akt: Bodine, Panoff, Voit ve Weisstein, 2020).

Tüm bunlara göre, biyolojide ODE'ler ile elde edilebileceklerin neredeyse hiçbir sınırı yoktur ve bir biyoloji lisans öğrencisinin kısmi diferansiyel denklemler kurabileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte, Scott (2019) biyolojideki mekansal olayların nadiren homojen koşullarda meydana geldiğini (örneğin anjiyogenez ve nekrozlu tümör oluşumunu, embriyonik gelişimde hücreden hücreye sinyalleşme, kırmızı ateş karıncasının (*Solenopsis invicta*) bölgelerdeki yayılımı, Santa Cruz adası tilkisi (*Urocyon littoralis santacruzae*) popülasyon büyüklüğü ve dinamiklerinin oluşumu gibi) ve bu nedenle hesaplamaların daha zor olabileceğini bildirmektedir (Akt: Bodine, Panoff, Voit ve Weisstein, 2020). Bu nedenlerle Bodine ve arkadaşları (2020) bu ve benzeri biyolojik süreçlerin incelenmesi, hem stokastisite hem de uzamsal fenomenler için doğal formatlar olan aracı/ajan bazlı modüllerin (ABM'lerin) gelişmesiyle birlikte büyük bir hız ve değişim kazanmıştır. Ancak pahalı olan bu modellerin eğitimde ve sınıflarda kullanımının sağlanması için maddi destek bulunması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Nitekim Bio2010 Grubunun 2003 yılında yayınladığı rapora göre, modern dünyada biyoloji araştırmacı ve uzmanlarının hayatının bir gerçeği olan bilgisayar

kullanımının, yeni bilgisayar teknolojilerinden yararlanmayı öğrenebilmeleri için, daha lisans öğrenimlerinin başından itibaren mevcut bilgisayar yöntemlerini kullanmaları gerektiği belirtilmektedir (Akt: Bodine vd., 2020). Ayrıca önceden tanımlanmış örnekleri içeren ve model analizi için minimum bilgisayar kodlama becerisi gerektiren yazılım araçlarına da ihtiyaç bulunmaktadır ki, bunlar çeşitli araştırmacılar tarafından değerlendirilmiştir (Berryman, 2008; Abar, 2017 Akt: Bodine vd., 2020). Ancak, tüm bu modelleme deneyimleri ve çabalarına rağmen, Thompson ve arkadaşları (2010) biyolojiye ilişkin matematiksel yaklaşımların yararına yönelik öğrenci tutumlarının yavaş değiştiğini ve bu nedenle müfredatın birçok noktasında öğrencilerin pekiştirilmesi gerektiğini de belirtmektedirler (Akt: Akman vd., 2020).

1.2.7. Biyomatemiği Destekleyici Ortamlar ve Örgütler

Biyomatemiği eğitiminde lisansüstü seviyede ve araştırmalar düzeyinde yürütülen çalışmaların lisans ve ortaöğretime yaygınlaştırılabilmesi için biyomatemiği eğitimi destekleyen, Amerika Birleşik Devletlerinde kurulmalarına rağmen tüm dünyada çalışan, bazı merkez, enstitü, dernek ve sanal kurum gibi örgütlenmeler bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri olan ve eğitimdeki sistem değişimini ele alan bazı ortam ve örgütler şöyle sıralanabilir (Eaton vd., 2020, Akman vd., 2020): Biyoloji Matematik Özel İlgi Grubu Amerika Birliği (Biology Special Interest Group of the Mathematical Association of America-BIO SIGMAA), BioInteractive/Howard Hughes Tıp Enstitüsü Ağı, Müfredat Konsorsiyumu Ağı (Curriculum Consortium Network-BioQUEST), Kolejler ve Üniversitelerarası Biyomatemiği İttifakı (Intercollegiate Biomathematics Alliance-IBA), Matematiksel Biyolojik Bilimler Enstitüsü (Mathematical Biosciences Institute-MBI), Ulusal Ekolojik Gözlemevi Ağı (National Ecological Observatory Network - NEON), Ulusal Matematik ve Biyoloji Enstitüsü Sentezi (National Institute for Mathematical and Biology Synthesis - NIMBioS), Yaşam Bilimleri için Profesyonel Toplum İttifakı (Professional Society Alliance for Life Science Education - PSALSE), Nicel Lisans Biyoloji Eğitimi ve Sentezi (Quantitative Undergraduate Biology Education and Synthesis - QUBES), Matematiksel Biyoloji Derneği (Society for Mathematical Biology - SMB). Ayrıca, çevrimiçi bir eğitim modülleri koleksiyonu olan MathBench platformu da biyolojik kavramları güçlendirmeyi, matematik okuryazarlığını artırmayı ve öğrencilerin üst düzey ve karmaşık matematiksel yaklaşımlara hazırlanmasını amaçlamaktadır. Son yıllarda, Türkiye’de de matematiğin alt alanlarını konu edinen ve özellikle biyomatemiği eğitimi veren enstitü ve merkezlerle, bazı bilim platformları oluşmaya başlamıştır (Yüksek Öğretim Kurumu –YÖK, 2021; Url 5).

Biyomatematik örgütleri arasında en aktiflerinden olan ve öğretim programları düzenleyerek eğitimdeki sistem değişimini ele alan BioQUEST, MathBench, QUBES ve IBA örgütlerinin, biyomatematik eğitimi için öncelikli eksikleri kapatmaya çalıştıkları bildirilmektedir (Akman ve ark., 2020). Bu örgütlerin, yeni nesil biyomatematik uzmanlarının gerçek hayattaki biyolojik problemleri çözmeye nicel yaklaşımları kullanmaları için kaynak ve yöntemleri paylaşımlarını sağlayabileceği ve geleceğin biyomatematik eğitimine yön verebilecekleri de bildirilmektedir (Akman vd., 2020). Aşağıda, bu örgütlerle ilgili kısa açıklamalar bulunmaktadır (Akman vd., 2020):

BioQUEST: Kâr amacı gütmeyen bir kuruluş olan BioQUEST, fen eğitiminde sınırları test etmeye ve tüm dünyada öğrencilerin bilim deneyimi sunan uygulamaları kullanmasını teşvik etmektedir. 1986 yılında iki araştırmacının, öğrencilerin de bilim insanları gibi bilimi uygulamaları ve deneyimlemeleri gerektiği fikrinden doğan BioQUEST, "Problem Oluşturma, Problem Çözme ve Akran İknası" felsefi bakış açısı ile oluşmuştur (Peterson & Jungck 1988, Akt: Akman vd., 2020). Peterson ve Jungck'ın (1988) kurguladıkları bu felsefe, öğrenmeye bütüncül olarak yaklaşılması sonucunda, biyolojinin disiplinlerarası doğası ve öğrenci başarısında kaynaştırma ve sosyal ilgi düzeyinin öne çıkarılmasıyla ortaya konmuştur (Akt: Akman vd., 2020).. Böyle bir öğrenme ortamı birçok resmi kurum, üniversite ve ticari şirketler tarafından sağlanan fonlarla halen desteklenmektedir. BioQUEST Müfredat Konsorsiyumu, öğrencileri bilgisayar teknolojileri aracılığıyla aktif kılarak biyolojik yapıları keşfetmeye özendirme için yazılım simülasyonları geliştiren, disiplinlerarası eğitimcileri bir araya getirmiş ve ilk eğitim modülleri olarak genetik kavramları öğretmek için Genetik İnşaat Kiti simülasyonlarını üretmiştir. Öğretim üyeleri ve öğrencilerle birlikte yeni eğitim materyallerinin geliştirilmesi halen desteklenmekte olup, düzenlenen yaz atölyelerinde özellikle biyoinformatikle ilgili nicel biyoloji çalışmaları Excel gibi kolay erişilebilir programlar da kullanılarak yürütülebilmektedir. BioQUEST topluluğu tarafından üretilen materyallerin çoğu, birbiriyle bağlantılı kılınmakta ve böylelikle geniş kullanım ve uyarlamalara olanak sağlayan açık eğitim kaynakları olarak sunulmaya devam edilmektedir. Veri bilimi gibi yeni ortaya çıkan etkili disiplinleri de araştırmalarına katan BioQUEST topluluğuna, fakülteler, eğitim kurumları ve öğrencilerin, her yıl düzenlenen yaz atölyeleri ve QUBES ya da Science Case Network gibi projeler aracılığıyla katılabilecekleri de bildirilmektedir.

MathBench Biyoloji Modülleri: MathBench 2018 yılından beri, modülleri derslerinde uygulamak isteyen öğretim üyelerine profesyonel gelişim sağlamak için QUBES Fakülte Mentorluk Ağına sponsor olmuştur. Biyolojiye olan nicel ve disiplinlerarası yaklaşımların

artmasıyla 2004 yılında Maryland Üniversitesi'nde biyoloji ve matematiği bir arada kullanan MathBench Biyoloji Modülleri oluşturulmuştur. Çevrimiçi olarak kullanılabilen MathBench modülleri, örneğin, logaritmalar, temel istatistikler ve grafik konuları içermektedir ve ders saati dışında ev ödevi olarak yapılacak şekilde tasarlanmışlardır (Akman vd., 2020). Ayrıca modüller biyoloji bölümü lisans öğrencilerinin matematik kaygısını gidermek için, mizah, çizgi hikaye ve gerçek hayatla bağlantı kurmak, öğrenci katılımlı aktif öğrenmeyi teşvik etmek için etkileşimli öğeler kullanmak, öğrencilere kişiselleştirilmiş geri bildirimler vermek gibi fen eğitimi literatürüne dayanan üç stratejiyi kullanılmaktadır (Nelson vd., 2009, Akt: Akman vd., 2020) MathBench'in yıllar içindeki gelişiminin FETEMM (STEM) eğitiminin değişikliklerini büyük ölçüde yansıttığı bildirilmekte ve öğrencileri dersin bütünleyici bir bileşeni olarak kabul ettiği, modül kazanımlarının dersin dokusuna bağlı olduğu, modüllerle pekiştirilen becerilerin başarılı olmak için gerekli olduğu belirtilmektedir (Karsai vd., 2015, Akt: Akman vd., 2020).

QUBES: Birbirini tamamlayan faaliyet alanlarının birleşiminden oluşan QUBES, konsorsiyum, farklı projeler, kurumlar, dernekler ve nicel biyoloji eğitimi toplulukları arasında işbirliğini ve iletişimi kolaylaştırır. Etkinlikleri desteklemek için gereken siber altyapıya; açık eğitim kaynakları, projelerden ve topluluklardan gelen, özgürce kullanılabilen, değiştirilebilen ve paylaşılabilen müfredat ve yazılımlara ev sahipliği yapan merkez, mesleki gelişim, fakülte mentorluk ağları, yeni eğitim kaynakları ve uygulamalarda akran ve uzmanlar desteğini sağlayan bir bağlantıdır. Gelişmekte olan bir alanın eğitiminde önemli bir yapı olan QUBES, meslektaşların bağlantılarını sağlayan ve FETEMM (STEM) eğitimindeki eşitsizliği gidermek için sorumluluk almakta ve açık, etik, kapsayıcı, evrensel bir nicel biyoloji eğitimini şekillendirmeye çabalamaktadır.

Üniversitelerarası Biyomatematik İttifakı (IBA): Yeni ve disiplinlerarası bir alan olarak biyomatematik, akademik kaynakların eksikliği, uzmanların eksikliği, ileri düzeydeki öğrencilerin eksikliği ve müfredat sıkıntıları yaşayabilecek olması nedenleriyle, Üniversitelerarası Biyomatematik İttifakının (IBA) oluşumu düşüncesi ortaya çıkmıştır. Biyomatematik programlarının ihtiyaçlarını ele alan kapsamlı bir akademik işbirliği kuruluşu olan IBA'nın başlatılması, Illinois Eyalet Üniversitesi'nde 2014 yılında olmuştur. Üniversitelerarası Biyomatematik İttifakı'nın amacı, işbirliği gruplarının araştırma faaliyetlerinin desteklenebileceği bir havuza fonlar sağlayan küçük bir üniversite ağı oluşturmak ve aidat ödeyen üye kurumlardan oluşan bir konsorsiyum oluşturmaktır. Üniversitelerarası Biyomatematik İttifakı'nın bazı ana bileşenleri arasında üyelere ücretsiz çalıştayların yapıldığı Kurumlar Arası Lisans Araştırma Deneyimi (CURE); lisans araştırmaları

için fon sağlayan Uygulamalar ve Yöntemlerle Biyomatematik Eğitimi (BEAM) Projesi; araştırmacılar için disiplinlerarası bilimsel destek hizmet programı olan Partners in Extending Education and Research (PEER); yüksek performanslı bilgisayar barındıran Verileri Katmanlama, Düzenleme ve Kullanma için Bulut (IBA-CLOUD); çevrimiçi ve yüz yüze kurslarda sunulan sertifika programı olan Lisansüstü Sertifika Programı ve yapılan çalışmalarını yayınlayıp, yaygınlaştırmak için Sponsorlu Dergiler sayılabilir.

2. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, elde edilen bilgilerin, düzenlenmesi ihtiyacı ve güncel problemlerin çözümünde biyomatematik uygulamalarının gerekliliği biyomatematik (matematikselsel biyoloji) hakkında bilgilenmeyi ve aktif olmayı zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle etkin ve nitelikli biyomatematik çalışmaları yapılması ve biyomatematik (matematikselsel biyoloji) eğitim-öğretiminin düzenlenmesi özenle ele alınmalıdır.

Biyomatematikin, çalışma konuları, yaşam bilimleri (biyoloji, jeoloji, tıp, fizik, kimya vb.) ve matematik derslerine ait eğitim-öğretim programlarında hangi şekilde yer alacağı, kullanılacak öğretim yöntemleri ve öğretim materyalleri konularının detaylı olarak araştırılması gerekmektedir. Bu araştırmalar geçmiş ve gelecek biyomatematik uygulamalarının potansiyeli ortaya koyacak şekilde düzenlenmeli ve hem lisans-lisansüstü hem de ilk-orta öğretimde yetkin öğretim elemanlarınca öğretilmelidir. Gerçekten de üniversitelerde biyoloji, jeoloji, matematik öğretimi yapan ilgili bölümlerde, multi disiplinler bir şekilde, ayrı bir ders olarak okutulması mutlak dikkate alınmalıdır. Üniversitelerin lisans ve yüksek lisans-doktora düzeylerinde yetişmiş uzman eleman ve ders veren öğretim üyesi ihtiyacının karşılanması, biyomatematik araştırma ve uygulamalarının çeşitlenmesine ve hayatımızı ilgilendiren birçok problemin çözülebilmesine büyük ivme kazandıracaktır.

Biyomatematikle ilgili çabaların sonuç verebilmesinde lisans-lisansüstü düzeylerde olduğu gibi, ilk-orta öğretimde biyoloji, fen, coğrafya ve matematik gibi alanların öğretmenliğini yapacak olan öğretmen adaylarının da yetiştirme programları da yeniden ele alınmalıdır. Öğretmen yetiştirmede, biyomatematik konulu derslere yer verilmeye başlanmalı ve biyomatematikin hem tanınması hem de tanıtılması ve öğretimiyle ilgili biyoloji, fen, coğrafya ve matematik gibi alan öğretmenleri adayları bilgilendirilmelidir. Bununla beraber, hâlihazırda görev başında bulunan öğretmenlere de biyomatematikin tanıtımı ve açıklanması sağlanmalıdır.

Üniversite ve alt düzeylerde eğitimler verilerken, biyomatematik uygulamalarının yapılması ve anlaşılmasında oldukça etkin olabilen FETEMM (STEM) etkinliklerinin sıklığının artırılması ve öğrencilerin yaratıcılık ve çabalarının ortaya çıkarılacak şekilde doğru ve anlaşılır şekilde uygulanması sağlanmalıdır. Böylelikle, biyomatematik bakış açısının gerek lisans ve gerekse ilk-orta öğretimde aktif kılınması gerçekleşeceğinden, geleceğin bilimsel gelişmelerinde söz sahibi olma potansiyeli ortaya çıkarılabilir.

Biyomatematik uygulamaları yürütebilme yetkinliğine ulaşma ve biyomatematik eğitim-öğretiminin güçlendirilmesi için, bu alanda şimdiye dek kullanılan bilgisayar programları, hesaplamalı bilgisayar uygulamaları ve ajan/etmen bazlı model (ABM) simülasyon programlarının elde edilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca dünya çapında biyomatematik eğitimi ve uygulamaları verebilen, bu alanda çalışma yapma, eleman yetiştirme konusunda yıllardır hizmet veren örgüt ve kurumlarla işbirliği yoluna gidilmelidir.

Biyomatematik yardımıyla günlük problemleri çözebilen yeni uygulamalar kurgulamak, son 60 yılda hızla artan verileri işleyen bilgisayar uygulamalarında geri kalmamak, gelecekteki gelişmelere ve bilimin hızına ayak uydurabilmek ve dünyamızı daha güzel yarınlara hazırlama yolunda etkili adımlar atılabilir. Bu amaçla, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de uygulamalı matematiğin biyomatematik (matematiksel biyoloji) açılımlarının, lisansüstü araştırmalarda ve lisansüstü-lisans-orta-ilköğretimde yaygınlaştırılması için gereken çabaların gösterilmesi ciddi bir sorumluluk olarak karşımızda durmaktadır.

3. ETİK BEYANI

Bu çalışmada etik konulara dikkat edilmiştir, ancak çalışma derleme türünde olduğundan etik izin gerektirmemektedir.

4. ÇIKAR VE KATKI BEYANI

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır. Bu çalışmada herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

5. KAYNAKÇA

- [1]. Aikens, M. L. (2020). Meeting the needs of a changing landscape: advances and challenges in undergraduate biology education. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology* 82, 60. [doi: 10.1007/s11538-020-00739-6](https://doi.org/10.1007/s11538-020-00739-6).
- [2]. Akman, O., Eaton, C. D., Hrozencik, D., Jenkins, K. P. ve Thompson, K. V. (2020). Building community-based approaches to systemic reform in mathematical biology education. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 109.
- [3]. Bodine, E. N. Panoff, R. M. Voit, E. O. ve 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.
- [4]. Bressoud, D. M. (2020). Opportunities for change in the first two years of college mathematics. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 61.
- [5]. Cozzens, M. ve Roberts, F. S. (2020) introductory college mathematics for the life sciences: has anything changed?. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 87.
- [6]. Duralı, T. (1981). Biyoloji felsefesine giriş denemesi. *Felsefe Arkivi*, 11, 161-184. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları. <https://www.teomandurali.com.tr/biyoloji-felsefesine-giris-denemesi-fa1981/>(Erişim Tarihi 01.06.2021)
- [7]. Eaton, C. D., LaMar, M. D. ve 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.
- [8]. Enderling, H., Altrock, P. M., Andor, N., Basanta, D., Brown, J. S. Gatenby , R.A. Marusyk, A. Silva, K. A. R. A. ve Anderson, A. R. A. (2020). High school internship program in integrated mathematical oncology (HIP IMO): five-year experience at Moffitt Cancer Center. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 91.
- [9]. Gordon, R. (1993). *Careers in theoretical biology*. Carolina Tips 56(3), 9-11. <https://web.archive.org/web/20190914233407/http://life.biology.mcmaster.ca/~brian/biomath/careers.theo.biol.html> (Erişim Tarihi 07.01.2021).
- [10]. Greer M. L., Akman O., Comar T. D., Hrozencik D. ve Rubin J. E. (2020). Paying our dues: the role of professional societies in the evolution of mathematical biology education. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 59.
- [11]. Hoff, Q. ve Harding, A. (2019). Elemental access to limit cycle existence in biomath education. *Biomath Communications*, 6, 96-118.
- [12]. Jungck J. R., Robeva R. ve Gross L. J. (2020). Mathematical biology education: changes, communities, connections, and challenges. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 117.
- [13]. Keleshteri, M. E. (2011). *A survey on mathematical modeling of cancer incidence rates*, Institute of Graduate Studies and Research Degree of Master of Science in Applied Mathematics and Computer Sciences Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus.

- [14]. Lee, S. ve Clinedinst, L. S. (2020). Mathematical biology: expand, expose, and educate!. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 120.
- [15]. Lehrer R. ve Schauble, L. (2010). What kind of explanation is a Model? In Book: *Instructional Explanations in the Disciplines*, 9-22. doi: 10.1007/978-1-4419-0594-9_2.
- [16]. Lehrer, R. Schauble, L. ve Wisittanawat, P. (2020). Getting a grip on variability. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 106.
- [17]. Longo, G. ve Soto, A. M. (2016). Why do we need theories?. Progress in biophysics and molecular biology. Elsevier, From the Century of the Genome to the Century of the Organism: *New Theoretical Approaches*, 122(1), 4-10. ff10.1016/j.pbiomolbio.2016.06.005ff. fahal-01413488f
- [18]. Macauley, M. ve Youngs, N. (2020). The case for algebraic biology: from research to education. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 115.
- [19]. Mayes, R. Long, T. Huffling, L., Reedy, A. ve Williamson, B. (2020). Undergraduate quantitative biology impact on biology preservice teachers. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 63.
- [20]. Montévil, M. ve Mossio, M. (2015). Biological organisation as closure of constraints. *Journal of Theoretical Biology*, 372, 179-91. ff10.1016/j.jtbi.2015.02.029ff. fahal-01192916f.
- [21]. Nasibov, F. ve Kaçar, A. (2005). Matematik ve matematik eğitimi hakkında. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 13(2), 339-346.
- [22]. Robeva, R. ve Laubenbacher, R. (2009). Mathematical biology education: beyond Calculus. *Science*, 325, 5940, 542-543.
- [23]. Robeva, R. (2009). Desegregating undergraduate mathematics and biology—interdisciplinary instruction with emphasis on ongoing biomedical research. *Methods in Enzymology*, 454, 305-321.
- [24]. Robeva, R. (2010). Systems biology – old concepts, new science, new challenges. *Frontiers Psychiatry*, 1, 1-2. | doi: 10.3389/fpsy.2010.000011 1. |
- [25]. Robeva, R. (2016). Mind the gap: is biomathematics education keeping up with research?. *ISU ReD: Research and eData*. <https://core.ac.uk/download/pdf/48842425.pdf> (Erişim Tarihi 08.10.2021).
- [26]. Robeva, R. S. Jungck, J. R. ve Gross, L. J. (2020). Changing the nature of quantitative biology education: data science as a driver. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 127.
- [27]. Seshaiyer, P. ve Lenhart, S. (2020). Connecting with teachers through modeling in mathematical biology. *Special Issue: Mathematical Biology Education, Bulletin of Mathematical Biology*, 82, 98.
- [28]. Seshaiyer, P. (2019). Multidisciplinary education and research in biomathematics for solving global challenges. *Symposium on BEER, 4-6 October*, University of Wisconsin, La Crosse.
- [29]. Taşkiran, G. ve Bayık Temel, A. (2017). Tutkulu bir istatistikçi Florence Nightingale. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, 10(2), 113-120.

- [30]. Url 1. *Matematiğin dalları*. https://tr.wikipedia.org/wiki/Matemati%C4%9Fin_dallar%C4%B1#Uygulamal%C4%B1_matematik (Erişim Tarihi 08.10.2021).
- [31]. Url 2. *Matematiksel ve teorik biyoloji*. https://tr.wikipedia.org/wiki/Matematiksel_ve_teorik_biyoloji (Erişim Tarihi 08.07.2021).
- [32]. Url 3. *What is mathematical biology*. Centre for Mathematical Biology University of Bath. <https://www.bath.ac.uk/research-centres/centre-for-mathematical-biology/> (Erişim Tarihi 20.12.2020).
- [33]. Url 4. *Matematiksel biyoloji nedir?*. <https://mathematist.wordpress.com/2012/09/10/matematiksel-biyoloji-nedir/> (Erişim Tarihi 22.12.2020).
- [34]. Url 5. *Matematik ve biyoloji arasında köprü: Biyomatematik*. <https://www.matematikselsel.org/matematik-ile-biyoloji-arasinda-bir-kopru-biyomatematik/> (Erişim Tarihi 22.12.2020).
- [35]. Url 6. *Biyomatematik dersi öğrenme çıktıları*. <https://www.eskisehir.edu.tr/akademik/fakulteler/ders/146870/biyomatematik/ders-ogrenme-ciktilari> (Erişim Tarihi 08.10.2021).
- [36]. Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) (2021). *İstatistikler*. <https://istatistik.yok.gov.tr/> (Erişim Tarihi 07.07. 2021).