

Biyoloji Dersi İçin Arduino-Destekli Deney Tasarımı

Design of Arduino-Supported Experiment for Biology Class

Mustafa DERMAN¹

¹Atatürk Üniversitesi, Erzurum, ORCID No: 0000-0002-5263-4262

Kaynak Gösterimi İçin (For cited in):

Derman, M. (2023). Biyoloji Dersi İçin Arduino-Destekli Deney Tasarımı. *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi*, 11 (1), 180-204. DOI: <https://doi.org/10.56423/fbod.1210918>

Biyoloji Dersi İçin Arduino-Destekli Deney Tasarımı

Mustafa Derman^{1,*}

¹ Atatürk Üniversitesi, Erzurum, ORCID No: 0000-0002-5263-4262

Makale Bilgisi	Öz
Gönderilme Tarihi: 28, Kasım, 2022 Revizyon Tarihi: 01, Mayıs, 2023 Kabul Tarihi: 04, Haziran, 2023	<i>Yüzey alanı/hacim oranı sadece basit bir matematiksel hesaplama değildir. Doğada bulunan birçok canlıda bu fenomene rastlamak mümkündür. Vücut sıcaklığını korumak, akciğerlerde gaz değişimi, cisimlerin ısınıp soğuması, besinlerin emilmesi gibi birçok olay yüzey alanı-hacim oranına göre işlemektedir. Budan dolayı hücre boyutu ile difüzyon hızı arasındaki ilişkiyi göstermek için bu deney tasarlanmıştır. Arduino temelli olarak hazırlanan materyal ile ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları iki şekilde hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların matematiksel hesaplamalar ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte Arduino kullanılarak deneyin tasarlanması öğretmen ve öğrencilerin teknoloji ve fen bilimlerini bir arada uygulama imkanı sunmaktadır. Ayrıca veriler iki farklı grafikte sunulmuştur. Böylelikle öğrencilerin grafikleri düzenleme ve yorumlama becerilerini geliştireceği düşünülmektedir. Bununla birlikte elde edilen veriler fizik, kimya, matematik ve günlük yaşamla ilişkilendirilerek öğrencilerin öğrendikleri bilgileri farklı alanlarda uygulamaları açısından fayda sağlayacaktır.</i>
Anahtar Kelimeler: <i>Yüzey alanı, hücre, Arduino, biyoloji, STEM.</i>	

Design of Arduino-Supported Experiment for Biology Class

Article Information	Abstract
Received: 28, November, 2022 Revised: 01, May, 2023 Accepted: 04, June, 2023	<i>The surface area/volume ratio is not just a simple mathematical calculation. It is possible to encounter this phenomenon in many living things found in nature. Many events such as maintaining body temperature, gas exchange in the lungs, heating and cooling of objects, and absorption of nutrients happen according to the surface area-volume ratio. Therefore, this experiment was designed to demonstrate the relationship between cell size and diffusion rate. Measurements were made with the material prepared on the basis of Arduino. The data obtained as a result of the measurement were calculated in two ways. It was determined that the results obtained were compatible with the mathematical calculations. In addition, designing an experiment using Arduino provides the opportunity for teachers and students to apply technology and science together. In addition, the data is presented with two different graphs. Thus, it is thought that students will improve their ability to organize and interpret graphics. In addition, the obtained data are associated with physics, chemistry, mathematics, and daily life. It gives students the opportunity to apply the knowledge they have learned in different fields.</i>
Keywords: <i>Surface area, cell, Arduino, biology, STEM.</i>	

*Sorumlu Yazar: E-mail: mderman@atauni.edu.tr

Giriş

Günümüzde bilimsel çalışmalardaki hızlı gelişim eğitim alanındaki gelişimleri de etkilemektedir. Bu nedenle çağdaş fen eğitimi, öğrencilerden olguları anlamlandırmaları, bilim insanları ve mühendislerin yaptıklarına benzer şekilde sorunlara çözümler tasarlamalarını imkan sağlayacak şekilde değişim göstermektedir. Diğer bir deyişle öğrencilerin farklı disiplinlerden elde ettikleri bilgi ve becerileri kullanarak uygulamaya yönelik tasarımların yapılması ve problemlere çözüm üretmenleri sağlayacak şekilde yetiştirilmeleri hedeflenmektedir. Bu hedefleri gerçekleştirebilmek için STEM eğitim anlayışı programlarda daha yoğun şekilde yer almaya başlamıştır (Lee & Grapin, 2022). STEM fen, teknoloji, mühendislik ve matematik gibi farklı disiplinleri içeren bir eğitim anlayışıdır. STEM kelimesinin kısaltması ulusal bilim vakfı (NSF) tarafından 2001 yılında tanıtılmıştır. STEM eğitimi anlamınının temelinde farklı disiplinlerden elde edilen bilgi ve becerilerin bütünleştirilerek eğitim müfredatlarında yer alması amaçlanmaktadır (Hallinen, 2022). Bundan dolayı dünyadaki birçok ülkede STEM eğitimi öğretim programlarında yerini almaya başlamıştır (Hallinen, 2022; Lee & Grapin, 2022; Mcdonald, 2016; Williams, 2011). Bütün eğitim kademelerinde (okul öncesi, ilkokul, ortaokul, lise ve üniversite) STEM temelli eğitim anlayışına yer verilerek öğrencilerin 21. yy becerilerini kazanmaları hedeflenmektedir (Carter vd., 2021). Bundan dolayı eğitimciler tarafından programların yeniden yapılandırılmasında farklı disiplinlerin entegrasyonuna ve daha fazla şekilde etkileşim içinde yer verilmesine büyük önem verilmektedir (Davison vd., 1995).

STEM eğitimi yalnız tasarım şeklinde uygulanabildiği gibi diğer yöntemlerle birlikte kullanılarak uygulanabilmektedir. Pedagojik açıdan STEM temelli eğitim yaklaşımının farklı yönetimler ile entegrasyonu konusunda yapılan araştırmalarda önemli artış yaşanmıştır (Li vd., 2020). Özellikle 2008 ve sonraki yıllarda farklı alanlar ile yapılan araştırmalarda yoğun bir artış olduğu ve 2018 yıllarından sonra bu artış önemli ölçüde farklı yaklaşımlar ile entegrasyonuna doğru eğilim göstermektedir (Deák vd., 2021; Li vd., 2020). Bu yöntemlerden en yaygın olarak probleme dayalı öğrenme ve sorgulamaya dayalı öğrenme tercih edilmektedir. Özellikle laboratuvar uygulamalarında eğitimciler tarafından kullanılan yöntemler arasında probleme dayalı öğrenme, sorgulamaya dayalı öğrenme ve yaparak yaşayarak öğrenme yaygın olarak tercih edilmektedir. Öğrencilerin problem çözme, bilimsel süreç becerilerinin gelişmesinde ve bir bilim insanı gibi bilimsel bilgiye ulaşmayı sağlayan deney yapma, hipotezleri test etme ve verileri değerlendirme gibi birçok süreci bu tür yöntemlerle yaparak ve yaşayarak gerçekleştirebilmektedirler (Arnold vd., 2014; Domin, 1999a; Gott & Duggan, 1996; Hmelo-Silver, 2004; Moore vd., 2014). STEM ile öğrenmenin tam anlamlı bir şekilde gerçekleşebilmesi için öğrencilerin problem durumuna dahil olmaları ve bu probleme yönelik çözüm üretme sürecini tamamlamaları gerekmektedir. Çünkü öğrenciler planlama, tasarlama, problem çözme, iletişim becerilerini kullanma, grup halinde çalışma ve farklı disiplinleri kullanma gibi birçok adımı doğrudan uygulama imkânı bulabilmektedirler (Moore vd., 2014). Bundan dolayı sorgulamaya dayalı öğrenme ortamı ile STEM yaklaşımının entegrasyonu daha kolaylaşmaktadır. Sorgulamaya dayalı öğrenme bütün disiplinlerde uygulanabilmektedir. Ancak öğreticinin tasarladığı etkinliğe bağlı olarak farklı seviyelerde sınıflandırılmaktadır. Araştırma probleminin bütün aşamaları öğrencilere adım adım verilmekle birlikte, problem durumundan tasarlama ve sonuca kadar bütün süreçler öğrenci tarafından belirlenebilmektedir.

Öğretici bütün aşamaları öğrenciye vererek tasarlanan etkinlikler en alt seviye olarak ifade edilir. Buna karşın problem cümlesinden başlayarak bütün adım ve süreçlerin öğrenci tarafından belirlenen seviye en üst düzey olarak sınıflandırılır. Bu düzey etkinliklerde deneyin problem cümlesi, tasarımı, hipotezlerin kurulması, deneylerin yapılması ve sonuçların yorumlanması öğrenci tarafından gerçekleştirilir (Brown vd., 2006; Bruck vd., 2008). Eğitimcilerin temel amacı en üst düzeyi gerçekleştirmektir. Ancak öğrencilerin sahip oldukları bilgi ve beceri seviyeleri dikkate alınarak genelde öğrencilere etkinlik süreçleri hazır olarak verilmektedir (Bruck vd., 2008). Özellikle lise ve ortaokul seviyelerinde öğrencilere sonuçlar verilmeden sadece materyaller ve yöntemler verilerek sonuca ulaşmaları istenmektedir. Üst düzey etkinlikler genelde üniversite öğrencileri için daha uygun olduğu ifade edilmiştir. Bu seviyedeki öğrenciler deney tasarlama ve uygulama konusunda bireysel becerilerini kullanarak gerçekleştirebilecekleri belirtilmiştir. Buna karşın hangi seviyede olursa olsun öğrencilerin bu etkinliklere teşvik edilmesi gerekmektedir. Öğrenci seviyeleri dikkate alınarak deneyler tasarlanmalıdır. Çünkü eleştirel düşünme ve problem çözme becerilerinin gelişmesinde sorgulamaya dayalı öğrenmenin önemli katkısı bulunmaktadır (Brown vd., 2006). Araştırmacılar bilimin doğasının anlaşılmasında; problemin belirlenmesi, hipotezlerin kurulması ve deneyler ile test edilmesi fen bilimleri eğitiminde önemli bir yeri olduğunu belirtmişlerdir (Branch & Solowan, 2003; Brown vd., 2006; Dorée, 2017; Hanley, 2021; Laudano vd., 2020; Lewis vd., 2021; Spronken-Smith & Walker, 2010; Wu & Hsieh, 2006). Ancak bu etkinlikler tasarlanmasından başlayarak sonuçlandırılmasına kadar olan süreçler zaman alan, yoğun çaba gerektiren ve sınıf dışında da devam eden süreçleri kapsayabilmektedir (Branch & Solowan, 2003).

Newton & Tonelli (2020) yaptıkları araştırmada STEM temelli yaklaşım ile sorgulama yapma ve sorgulamanın içeriğini öğretmek için nasıl kullanılabileceğini açık bir şekilde belirlenmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Bundan dolayı STEM becerilerine sahip ve toplumun ihtiyaçlarını karşılayabilecek donanımlı bireylerin yetiştirilmesine gereksinim duyulmaktadır. Okullarda bu becerileri öğretecek ve uygulayacak insan kaynağının yeterli donanım ve becerilere sahip olması göz ardı edilmemesi gerekmektedir (Archer vd., 2014). Çünkü bu eksiklikler okullarda bazı problemlerin ortaya çıkmasına ve STEM eğitiminin bütün sınıflarda istenildiği şekilde yürütülmesini ve uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Nitekim en önemli sorunlardan biri öğretmenlerin daha önceki öğretim stratejilerini değiştirmemeleri ve STEM eğitimini hiç uygulayamamaktadırlar. Bir diğer sorun ise disiplinleri entegrasyonda yaşanmaktadır. Öğretmenler sadece bir disipline yönelik öğretim yaklaşımı sürdürmeleri yer almaktadır. Ancak bir disiplinde başarılı olmak için diğer disiplinlerden elde edilen bilgi, beceri ve teknolojilerin kullanılması gerekmektedir (Breiner vd., 2012).

Kuramsal Çerçeve

Fen bilimlerinin anlaşılması ve tam anlamıyla öğrenilmesinde disiplinlerarası etkileşimin önemli olduğu vurgulanmıştır. Öğrencilerin farklı disiplinlerden elde ettikleri bilgileri birlikte ve belirli bir konu üzerinde tecrübe ettiklerinde öğrenmenin daha anlamlı olacağı ifade edilmiştir. Bu nedenle öğrencilere bu fırsat verecek uygulama ve öğretim stratejilerinin sınıflarda etkili şekilde kullanılması gerekmektedir (Kolstad vd., 1995). Öğrenciler gerçek dünya ile ilişkili problemleri okul ortamında uygulama fırsatı bulduklarında farklı

disiplinlerden elde ettikleri bilgilerin bir problemi çözmede ne gibi faydaları olduğunu tecrübe etme imkanı bulacaklardır. Özellikle bilim insanlarının uyguladıkları metotlardan faydalanarak gerçekleştirmeleri bilimsel bilgiye ulaşmanın yolunu da anlamlı şekilde öğrenmeyi sağlayacaktır. Nitekim öğrenciler bilimsel süreç becerilerinde veri toplama, verileri analiz etme, verileri yorumlama ve çeşitli matematiksel hesaplamalardan faydalanırlar. Bu durum da öğrencilerin bilimsel bilgiyi anlamlı bir şekilde kavramanın yanı sıra farklı disiplinlerinden getirdikleri bilgilerin sistematik şekilde kullanımını tecrübe ederler (Davison vd., 1995). Ancak bu süreci etkili ve realisttik bir şekilde sürdürebilmek için öğretmenlerin ve okulların ihtiyaç duydukları ve gerçekleştirebilecekleri olanaklar sağlanmalıdır. Bununla birlikte öğretmenlerin bütün konularda ve disiplinlerde yeterli donanıma sahip olmamaları disiplinlerin entegrasyonunu zorlaştırmaktadır (Williams, 2011). STEM eğitimine bütün öğrencilerin eşit şekilde ulaşması ve aynı fırsatları bulması çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Nitekim bazı okullarda öğrenciler bu becerileri tam anlamıyla deneyimlemeden mezun olabilmektedir (Catterall, 2017). Bundan dolayı öğrencilerin fen eğitiminde aktif katılımını sağlayacak ve öğretmenlerin sınıfta kullanabilecekleri materyallerin geliştirilmesi fen eğitiminin daha derinlemesine ve anlamlı şekilde öğrenilmesini yardımcı olacaktır. Öğrencilerin sahip oldukları teorik bilgilerin laboratuvar ortamında yaparak ve yaşayarak uygulamaları onların geleceğe hazırlamada önemli bir katkı sunacaktır (Harris vd., 2015; Taraban vd., 2007). Yapılan araştırmalarda öğrencilerin katılımını artıracak ve ilgisini çekecek materyallerin geliştirilmesi ve uygulanması öğrencilerin fen bilimlerini öğrenilmelerinde önemli fark yaratacağı vurgulanmıştır (Harris vd., 2015; Wilson vd., 2010). Nitekim öğrencilerin aktif katılımınının sağlandığı ve bilimsel bilgiye yaparak ve yaşayarak ulaştıkları etkinliklerde bilimsel bilginin uygulama prosedürlerinin ötesinde bir beceriye sahip olabilmektedirler. Öğrenciler gerçek materyal ve objeleri kullandıklarında doğrudan bilimsel veriler toplama, analiz, veriyi düzenleme, veriyi değerlendirme ve uygulama becerilerinin geliştirebilmektedirler (Abrahams & Millar, 2008). Bununla birlikte öğrenciler farklı disiplinleri ve teknolojiyi bu sürece dahil ederek konu bağlamındaki bilgiler dışında farklı bilgi ve becerileri de öğrenebilmektedirler (Carter vd., 2021; Catterall, 2017; Kolstad vd., 1995; Lee & Grapin, 2022; Mcdonald, 2016; Williams, 2011).

Problem Durumu

Öğrencilerin aktif katılımını içeren, bilimsel süreç becerilerini geliştiren ve bilim insanları gibi bilimsel bilgiye deneysel yöntemleri kullanarak ulaşmasını sağlayan yaklaşımlar fen bilimlerinde anlamlı öğrenmesini sağlayan en önemli yaklaşımlardandır. Öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirmek ve bilim insanlarının gerçek hayatta uyguladıkları yöntemleri öğrenebilmeleri için formal öğretim sürecinde uygulama fırsatı bulmaları gerekmektedir. Yapararak yaşayarak öğrenme olarak ifade edilen bu durum psikomotor becerilerinin gelişmesine de katkı sağlayacaktır (Hmelo-Silver, 2004). Fen bilimlerinin en önemli amaçlarından birisi öğrencileri aktif öğrenme ortamlarına sokmaktır. Diğer bir deyişle bilimin ve fen bilimlerinin doğasını anlamak için öğrencilerin aktif öğrenme ortamlarında yer almaları gerekmektedir (Bruck vd., 2008). Bununla birlikte öğrencilerin kavramsal düzeyde öğrendikleri teorik bilgileri aktif öğrenme ortamında uygulama fırsatı bulmalıdır. Yapararak yaşayarak yapılan uygulamalar fen bilimlerini kavramsal öğrenmenin ötesine taşımaya yardımcı olacaktır. Derslerde öğrendikleri teorik bilgileri laboratuvar ortamında test ederek

anamlı öğrenme gerçekleştirilmiş olacaktır (Phanphech vd., 2019). Bundan dolayı öğretmenlerin laboratuvar etkinliklerine yer vermeleri bu hedefi gerçekleştirmeye katkı sunacaktır. Hayat boyu öğrenme sürecinde öğrenciler birçok problemle karşılaşmaktadır. Bilimsel süreçlerin en önemli adımı problemi belirlemek ve sonrasında bu problemle ilişkili olarak çözüm üretmektir. Aktif öğrenme sürecine dahil olan öğrenciler deneylerde çeşitli hipotezler kurarak, değişkenleri değiştirerek ve deneylerini test ederek ilgili problemlere çözüm bulabilmektedirler. Bu gibi etkinlikler öğrencileri geleceğe hazırlamada önemli bir rol oynamaktadır (Albanese & Mitchell, 1993). Bundan dolayı araştırmacılar daha ucuz maliyette ve bilimsel gerçeklerle uyumlu deneyler tasarlamak için araştırmalar yapmaktadırlar. Bundan dolayı bütün öğrencilerin uygulayabileceği ve her okulda yapılacak nitelikte deney düzenekleri tasarlanmaktadır (Sigmann & Wheeler, 2004). Bu etkinlikler arasında Arduino temelli etkinlikler yer almaktadır. Arduino, yazılım ve donanımdan oluşan elektronik bir platformdur. Ücretsiz olarak hizmet vermektedir. Araştırmacılar kolaylıkla değişiklik yapabilecekleri ve kullanımı kolay olan bir yazılım diline sahiptir. Serbest erişim imkânıyla dünyanın her tarafında Arduino temelli materyaller geliştirilebilmektedir. Kolay kodlama diline sahip olması her yaş seviyesindeki bireylere hitap edebilmektedir. Kullanıcıların ileri düzey bilgisayar becerisine ihtiyaç duymadan kullanımı basit ve anlaşılır şekilde tasarlanmıştır. Avantajları dikkate alındığında öğrenciler ve öğretmenler için uygun bir uygulama alanı sunmaktadır (Arduino.cc, 2022; Kondaveeti vd., 2021).

Gelişen teknoloji ve bilimsel gelişmeler ile birlikte müfredatlar ile öğretmenlerin laboratuvarında kullandıkları materyallerin düzenlenmesi ve buna uygun materyallerin geliştirilmesi gibi yeni yeniliklerin geliştirilmesine duyulan ihtiyacı beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda fen öğretiminde öğrencilerin 21. yy becerilerine sahip olabilmeleri için; fen, teknoloji, mühendislik ve matematik gibi farklı disiplinleri kullanabilmesini sağlayacak şekilde yetiştirilmeleri hedeflenmektedir (Carter vd., 2021; Deák vd., 2021; Gott & Duggan, 1996; Kolstad vd., 1995; Li vd., 2020; Newton & Tonelli, 2020; Prieto-Rodriguez vd., 2020). Fen eğitiminin hedefine ulaşabilmesi için iki ana unsurun birlikte yürütülmesi gerekmektedir. İlk olarak öğrencilerin fen bilimlerindeki bilimsel temel kavram ve fenomenleri teorik olarak öğrenmeleri. Diğer önemli unsur ise bilimsel bilgiye deneyler yoluyla ulaşılması. Diğer bir ifade ile bilimsel bilgiye ulaşmak için tasarım, problemi belirleme, hipotez kurma ve hipotezi test etme gibi birçok süreci kullanarak bilgiye ulaşmayı kapsar. Bu süreç fen eğitiminin temel modelini oluşturmaktadır. Bilimsel düşünmek ve bilimsel okuryazarlık düzeyini artırabilmek için bu iki unsurun okullarda birlikte yürütülmesi gerekmektedir (Gott & Duggan, 1996; Hmelo-Silver, 2004). Nitekim okullarda ikinci unsur çoğu zaman geri plana itilmektedir. Birçok okulda öğrenciler laboratuvar ortamına dahi girememektedirler. Bunun temel nedenleri arasında yeterli donanım ve ekipmanın laboratuvarlarda bulunmaması yer almaktadır. Bundan dolayı ikinci unsuru gerçekleştirebilmek için öğretmen ve öğrencilerin okullarda laboratuvarlarda uygulayabilecekleri, günümüz teknolojik ve bilimsel gelişmelerine uygun materyallerin ve deneylerin tasarlanması önem kazanmaktadır. Geliştirilen deneylerin bir diğer önemli özelliği öğretmen ve öğrencilerin kolay ulaşabileceği ve düşük maliyette sahip materyallerden yapılmasıdır. Böylelikle öğrencilerin büyük çoğunluğu bu becerileri formal eğitim sürecinde uygulama fırsatı bulacaklardır (Catterall, 2017; Domin, 1999b; Gott & Duggan, 1996).

Alanyazında aktif katılımı, deney yapma, tasarım ve problem çözme becerilerini bilim insanlarının kullandıkları yöntemlerle yapılması öğrencilerin fen eğitiminde başarılı olması, motivasyonu artırıcı ve derslere daha istekli katılımına neden olduğu ifade edilmiştir. Araştırmacılar tarafından fen eğitiminin amaçlarının gerçekleştirilmesinde laboratuvar etkinliklerinin ve yaparak-yaşayarak öğrenmenin önemli bir etkisi olduğunu vurgulanmıştır (Arnold vd., 2014; Costa vd., 2023; Domin, 1999a; Dorée, 2017; Fančovičová & Prokop, 2018; Gericke vd., 2022; Gott & Duggan, 1996; Halawa vd., 2020; Harris vd., 2015; Hmelo-Silver, 2004; Leonard & Chandler, 2003; Mohrig, 2004; Mohrig vd., 2007; Prokop vd., 2007; Spaan vd., 2022; Taraban vd., 2007). Bununla birlikte yeni teknolojinin ve farklı disiplinlerin entegrasyonu ile birlikte öğretmen ve öğrencilere farklı alanlarda yeni ve farklı bakış açıların gelişmesine imkan sağlamaktadır. Çünkü bilimsel bilgiyi öğrenmek, farklı disiplinler ile entegrasyonunu kurmak ve yeni teknolojiler ile daha da geliştirmek bilimsel anlayışın anahtarını oluşturmaktadır (Bers & Portsmore, 2005; Dare vd., 2018; Kelley & Knowles, 2016; Moore vd., 2014; Prieto-Rodriguez vd., 2020; Sanders, 2009; Stohlmann vd., 2012).

Yukarıda incelenen çalışmalar dikkate alındığında öğretmen ve öğrencilerin ihtiyacını karşılayacak, okullarda kolayca uygulanabilecek, öğrencilerin ilgisini çekebilecek ve günümüz teknolojileri ile uyumlu laboratuvar etkinliklerinin geliştirilmesi büyük önem kazanmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada biyoloji dersinde kullanılmak üzere Arduino temelli bir laboratuvar etkinliği geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda hücre boyutu ile madde geçişi arasındaki ilişkiyi göstermek için hücrede madde geçişi konusu seçilmiştir. Hücre boyutu ile difüzyon hızı arasındaki ilişki Arduino temelli olarak hesaplanması hedeflenmiştir. Hücreye madde geçişleri ve yüzey alanı ilişkisi araştırmacılar tarafından en fazla çalışılan konulardan birini oluşturmaktadır. Bu konu kapsamında yer alan difüzyon ve ozmos ise en zor biyoloji konularından biri olarak sayılmıştır (Friedler vd., 1987). Hücreye alınan ya da atılan maddeler bu mekanizmalara göre işler (Friedler vd., 1987). Aktif taşıma ise hücrenin enerji harcayarak madde taşıma yöntemini ifade etmektedir. Biyolojik sistemlerin anlaşılmasında (vücut sıcaklığının korunması, besinlerin emilmesi gibi) önemli bir süreci kapsadığı için hücreye madde geçişleri ve yüzey alanı ilişkisi öğrenciler tarafından anlaşılması önemlidir (Christianson & Fisher, 1999; Odom & Barrow, 1995). Bununla birlikte öğrencilerin ilgisini çekecek şekilde öğretim sürecini devam ettirmek önem arz etmektedir (Prokop vd., 2007). Bundan dolayı öğrencilerin ilgisini çekmek ve biyolojiyi daha eğlenceli hale getirmek için öğretmenler yoğun bir çaba sarf etmektedirler. Özellikle canlılar ile ilgili bir bilim olması, deney ve gözlem yapmak için geniş uygulama alanları bulunmasından dolayı öğrencilerin ilgisini çekebilecek etkinliklerin geliştirilmesine imkan sağlayabilmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada Arduino temelli agar hücre difüzyonu deneyi tasarlanmıştır. Agar hücre difüzyonu deneyi biyoloji derslerinde yaygın olarak kullanılan bir etkinliktir. Hücre boyutu ile difüzyon hızı arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılmaktadır. Öğrenciler farklı boyutlarda kestikleri agar bloklarındaki renk değişimlerini zaman ve birim cinsinden ölçerek difüzyon hızı belirleyebilmektedirler. Öğretmen ve öğrenciler yaygın olarak kronometre ve cetvel kullanarak hesaplama yapmaktadırlar. Bu hesaplamalarda hacim, yüzey alanı ve yüzey alanı-hacim arasındaki ilişki belirlenmektedir (Exploratorium, 2017). Manuel olarak yapılan ölçümlerden ziyade deneyleri yeni teknolojilerle uyarlanması ve farklı disiplinleri içerecek şekilde tasarlanması hem ölçümlerin daha hassas yapılmasını hem de öğrencilerin ilgisini çekmesine

yardımcı olacaktır. Bu bağlamda agar hücre difüzyon deneyi öğrencilerin tasarlama, kodlama, yeni teknolojileri biyoloji dersinde uygulama, deney düzeneği kurma, değişken belirleme, veri toplama, verilerin analizi, grafiklerin düzenlenmesi ve yorumlanması gibi birçok beceriyi içerecek şekilde tasarlanması ve uygulanması amaçlanmıştır.

Araştırmada aşağıdaki sorulara cevaplar aranmıştır;

Difüzyon hızı ile hücre boyutu arasında nasıl bir ilişki vardır?

Arduino temelli materyal ölçümleri ile matematiksel hesaplamalar arasında uyumluluk bulunmakta mıdır?

- Arduino temelli materyal ölçümleri ile renk değişimi arasında nasıl bir ilişki bulunmaktadır?
- Grafikte hesaplanan eğim ile difüzyon hızı arasında nasıl bir ilişki bulunmaktadır?

Yöntem

Güncel öğretim programında *yetkinlikler* bölümünde öğrencilere kazandırılması hedeflenen beceriler “*Matematiksel yetkinlik, düşünme (mantıksal ve uzamsal düşünme) ve sunmanın (formüller, modeller, kurgular, grafikler ve tablolar) matematiksel modlarını farklı derecelerde kullanma beceri ve isteğini içermektedir.*” şeklinde ifade edilmiştir. Bu bağlamda öğrencilerin matematik ve bilimsel yönden yetkinliklerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bununla birlikte özel amaçlar kapsamında öğrencilerin özgün tasarımlar yapmaları, problem çözme becerilerinin geliştirilmesi, bilimsel süreç becerilerini öğrenmeleri ve öğrendikleri bilgileri kullanabilecek düzeye ulaşmalarını sağlayacak şekilde yetiştirilmeleri istenmektedir (MEB, 2018a).

Etkinlik ile ilişkili kazanımlara biyoloji 9. Sınıf öğretim programlarında “Hücre” ünitesi kapsamında yer verilmiştir.

“9.2.1.3. Hücre zarından madde geçişine ilişkin kontrollü bir deney yapar.

a. Hücre zarından madde geçişine ilişkin deney öncesi bilimsel yöntem basamakları bir örnekle açıklanır.

b. Biyoloji laboratuvarında kullanılan temel araç gereçler tanıtılarak laboratuvar güvenliği vurgulanır.

c. Hücre zarından madde geçişini etkileyen faktörlerden (yüzey alanı, konsantrasyon farkı, sıcaklık) biri hakkında kontrollü deney yaptırılır.”

Etkinliğin kimya dersi ile ilişkili kazanımlarına *asitler, bazlar ve tuzlar* ünitesinde yer verilmiştir (MEB, 2018b):

“c. Asitler ve bazların bazı renkli maddelerin (çay, üzüm suyu, kırmızı lahana) rengini değiştirmesi deneyleri yapılarak indikatör kavramı ve pH kâğıdı tanıtılır.”

Yüzey alanı hacim oranı arasındaki ilişki günlük hayatta ve doğada sürekli karşımıza çıkan bir durumdur. Doğada yaşaya birçok canlı bu orana göre çevreleri ile etkileşim haline geçerler. Canlıların çevrelerinden maksimum seviyede faydalanabilmeleri için yüzey alanlarını

artıracak adaptasyonlara sahip oldukları gözlemlenmiştir. Bağırsaklarda besinlerden en fazla seviyede faydalanmak, vücut sıcaklığını sabit tutmak, küçük boyutlu canlıların soğuk iklim koşullarında vücut ısılarını korumak için daha fazla efor sarf etmeleri, akciğerlerde gaz alışverişini daha işlevsel hale getirmek veya suda yaşayan canlılar daha az enerji ile uzun mesafeler kat edebilmek için yüzey alanlarını yüksek düzeyde tutarlar. Fizik alanında termal fizik ile ilişkili durumlar yüzey alanı hacim oranı arasındaki ilişkiye göre açıklanır. Cisimlerin boyutlarından yola çıkarak soğuma ve ısınma davranışları açıklanmaya çalışılmaktadır. Fizik alanında yapılan çalışmalar ile bu durumlar matematiksel hesaplamalar kullanılarak fiziksel yönden değerlendirilmiştir (Ahlborn & Blake, 1999; Planini & Vollmer, 2008; Yorke, 1973). Matematik derslerinde öğrenciler birçok geometrik şekil ile ilgili yüzey alanı-hacim hesaplamaları yapmaktadırlar. Bu konuda yapılan matematiksel hesaplamalar günlük yaşam ile ilişkilendirildiğinde öğrencilerin daha ilgili oldukları belirtilmiştir. Çünkü öğrenciler yaptıkları yüzey alanı/hacim oranı hesaplamalarının günlük hayatta ne gibi kullanım alanları olduğunu görme fırsatı bulmaktadırlar. Özellikle biyoloji ile ilişkilendirildiğinde matematik ve biyoloji bilgileri daha anlamlı bir şekilde yapılandırılmaktadır (Adam, 2020).

Kazanımlar dikkate alındığında öğrencilerin madde geçişlerini etkileyen etmenlerden biri ile ilgili kontrollü deney tasarımları istenmektedir. Bununla birlikte yüzey alanı ile hücreye madde girişi konusunda bilgi sahibi olmaları hedeflenmektedir. Bundan dolayı bu deney hedeflenen kazanımların gerçekleştirilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca öğrenciler indikatör ve pH değişimi sırasındaki ilişkiyi de gözleme fırsatı bulmaktadırlar. Doğada birçok örneği bulunan bu fenomenin anlaşılması ve birçok alanla ilişkilendirilebilmesi (fizik, kimya ve matematik) için bu gibi etkinliklerin laboratuvarlarda yapılması öğrencilere fayda sağlayacaktır.

Materyallerin Hazırlanması Aşaması

Etkinlik iki bölümden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. İlk aşama agar bloklarının hazırlanması, ikinci aşama ise renk sensörünün tasarlanmasını kapsamaktadır. Etkinlikte kullanılan bütün materyaller satın alınmıştır.

Agar bloklarının hazırlanması

Agar bloklarının hazırlanması 1 litreye göre hesaplanmıştır.

- Agar : 15 gr
- KH_2PO_4 : 2 gr
- Fenol kırmızısı: 0,012 gr
- Erlen 1000 mL
- Petri kutuları
- pH metre
- Isıtıcı
- Baget
- Mezür 500 mL
- Saf su
- 0,1 M HCl
- 0,1 M NaOH

- Cetvel
- Maket bıçağı

Agar, KH_2PO_4 ve fenol kırmızısı belirtilen miktarlarda sırayla tartılır. Daha sonra erlen içerisine aktarılır. Saf su azar azar miktarda ilave edilerek karıştırılır. Karışım homojen bir şekilde karıştıktan sonra son hacim 1 litreye tamamlanır. İndikatör olarak fenol kırmızısı kullanılmıştır. Fenol kırmızısı asidik ortamda sarı, bazik ortamda mor renge yakın bir renk alır. Ancak fenol kırmızısı olan çözeltilerde tampon kullanılması gerekmektedir. Çünkü tampon olmadan hazırlanan çözeltiler açık havada bekletildiklerinde kendiliğinden renk değişimi meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, tampon olarak KH_2PO_4 kullanılmıştır. Ancak fenol kırmızı dışında başka indikatörler de kullanılabilir. Bu araştırmada fenol kırmızısı kullanılmasının nedeni öğrencilerin tamponun ne olduğunu ve çözeltideki rolünü göstermek için kullanılmıştır. Hazırlanan besi yerinin pH değeri 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH kullanılarak ayarlanır. Sarı renge yakın renk oluşuncaya kadar asit ya da baz ilavesi yapılır. pH metrede okunan değere bağlı olarak pH değeri 6.4 olacak şekilde ayarlanır. Daha sonra karışım otoklava yerleştirilir. Otoklavda nemli ısıya maruz kalarak hazır hale gelir. Öğretmen otoklav yerine normal ısıtıcı ile karışımı kaynayana kadar ısıtabilir. Besiyeri sürekli karıştırılarak kaynatılır. İyice berrak hale gelinceye kadar kaynatmaya devam edilir. Daha sonra ısıtıcı kapatılır ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Agarlı besiyerleri 45 derecenin altında katılaştığından bu dereceye yakın durumda petrilere dökülür ve sertleşmesi beklenir. Petride katılaşmış olarak hazırlanan agarlı besiyeri cetvel yardımıyla farklı boyutlarda olacak şekilde küplere bölünür. Agar blokları Şekil 1’de gösterildiği gibi farklı hacimlerde kesilirler. Yüksekliğin 1 cm olarak tercih edilmesinin nedeni agar bloklarının petri içinde tam olarak gömülmesine imkan sağlamak için yapılmıştır. Ancak isteğe bağlı olarak boyutlar değiştirilebilir (Ek 1 ve Şekil 1).

Agar bloklarının boyutları;

a- 4 cm^3 (2 cm x 2 cm x 1 cm)

b- 9 cm^3 (3 cm x 3 cm x 1 cm)

c- 16 cm^3 (4 cm x 4 cm x 1 cm)

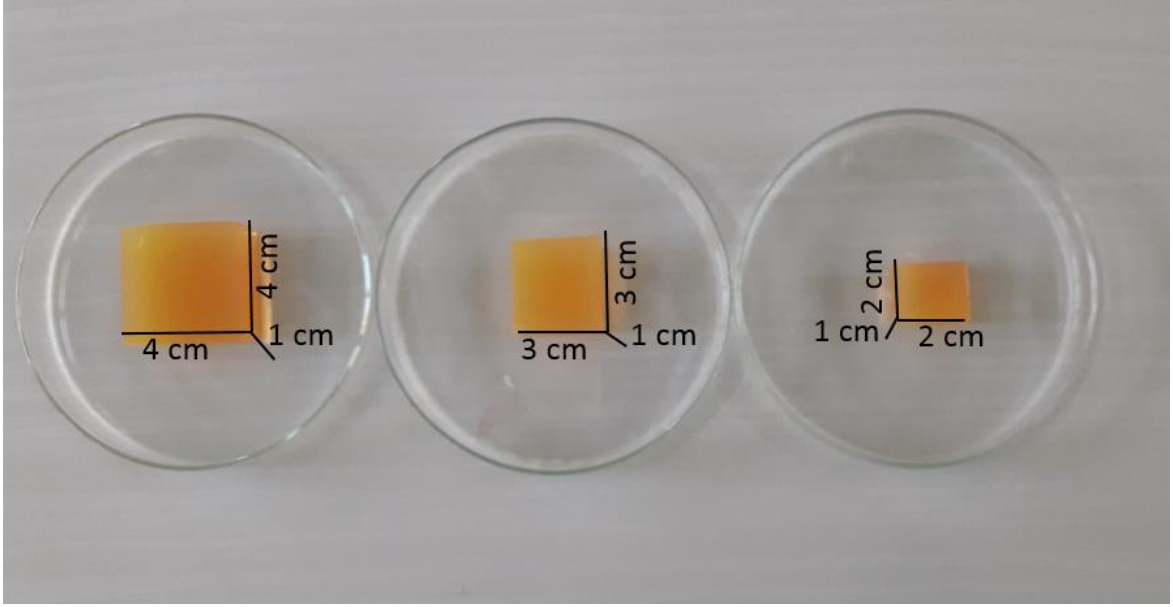
Yüzey alanı (YA) /Hacim (V) arasındaki ilişkinin matematiksel olarak hesaplanması;

a-Yüzey alanı/Hacim = $16/4$, YA/V=**4**

b- Yüzey alanı/Hacim = $30/9$, YA/V=**3.3**

c- Yüzey alanı/Hacim = $48/16$, YA/V=**3**

Matematiksel hesaplamalardan anlaşılacağı gibi hücre boyutu büyüdükçe yüzey alanı/hacim oranı düşmektedir.



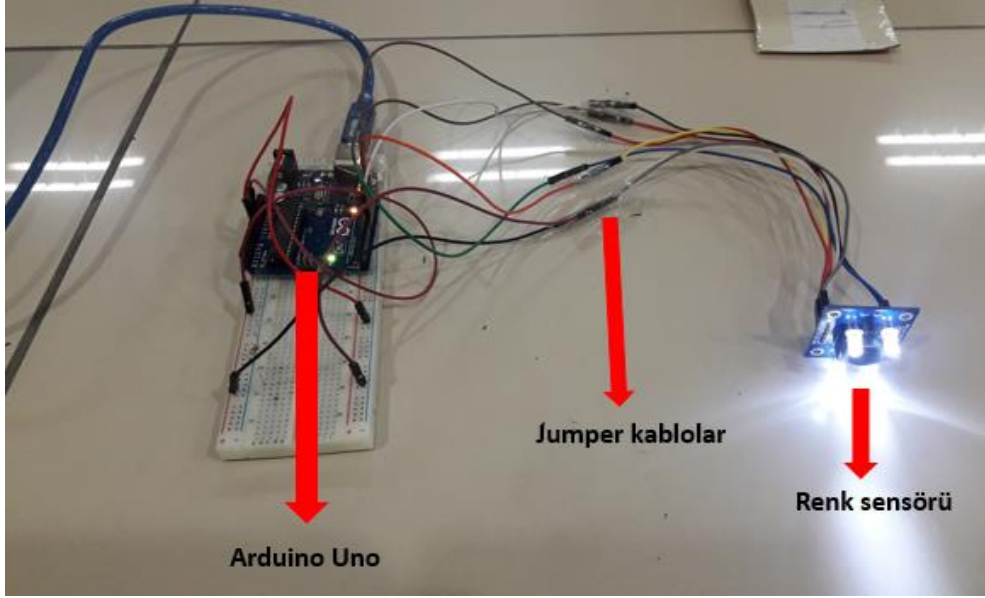
Şekil 1. Farklı boyutlarda kesilmiş agar blokları

Renk sensörünün hazırlanması

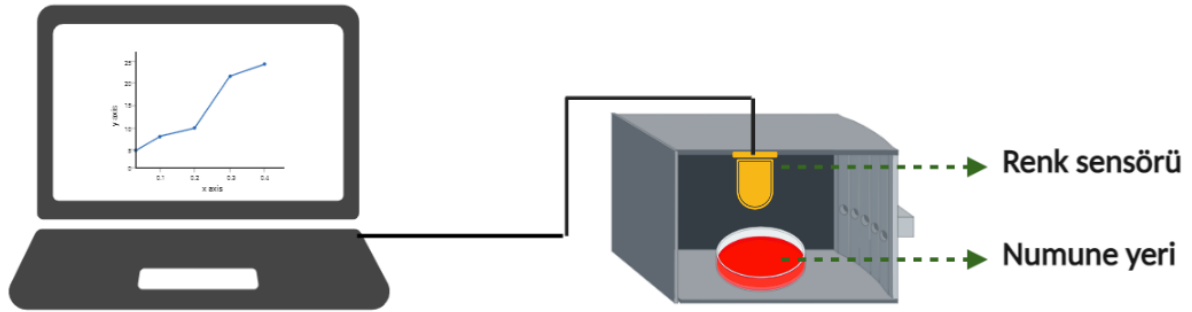
Basit bir renk sensörü tasarlamak için aşağıda verilen ekipmanlar kullanılır.

- Renk sensörü (TCS3200)
- Arduino Uno
- Jumper kabloları (Dişi ve erkek)
- Bilgisayar
- Arduino yazılımı (<https://www.arduino.cc/en/software>)
- PLX-DAQ yazılımı (<https://www.parallax.com/package/plx-daq/>)

Renk sensörü Şekil 2’de gösterildiği gibi bağlanır. USB kablosu yardımıyla bilgisayara entegre edilir. Daha sonra bilgisayara Arduino yazılımı indirilir ve deneyde kullanılacak kodlar girilir. Kodlarda ölçüm süresi isteğe bağlı olarak değiştirilebilir. Milisaniye, saniye, dakika ya da saat şeklinde kodlamalar yapılarak ölçüm sıklığı ayarlanabilir. Bu etkinlikte her 15 milisaniyede bir ölçüm alınacak şekilde kodlama yapılmıştır. Diğer bir deyişle renk sensörü her 15 milisaniyede bir renk değişimini algılar ve bilgisayara aktarır. Verilerin Excel formatında bilgisayara kaydedilmesi için erişimi bedava olan PLX-DAQ yazılımı kurulur. Ölçüm süreci bittikten sonra gerekli hesaplamaların ve grafiklerin kolay bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 2. Renk sensörü devresi



Şekil 3. Renk sensörü ölçüm elemanları

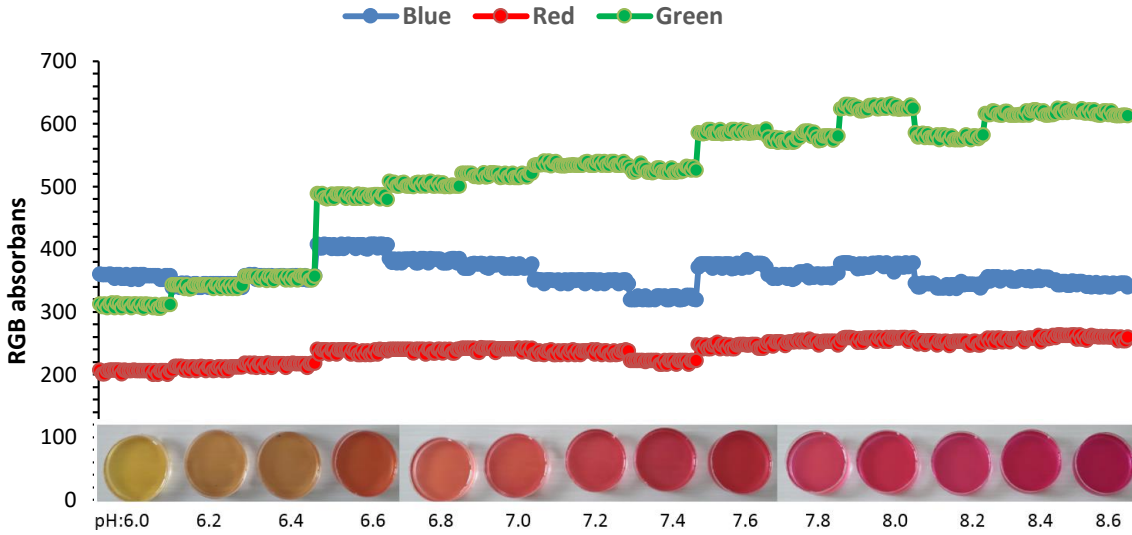
Deney aşaması

Bu süreç referans rengin belirlenmesi, agar bloklarında ölçümlerin yapılması ve verilerin analiz edilmesini kapsamaktadır.

Referans rengin belirlenmesi

Kullanılan indikatöre göre referans renk belirlenmelidir. Bu etkinlikte kullanılan indikatöre alternatif olarak fenolftalein de kullanılabilir. Ticari olarak birçok indikatör satılabilmektedir. Etkinliği gerçekleştirecek olan öğretmen ya da öğrenciler en kolay şekilde bulabildikleri indikatörü etkinlikte tercih edebilirler. Bu etkinlikte fenol kırmızısı kullanılmıştır. Kullanılan indikatör (Fenol kırmızısı) farklı pH değerlerinde farklı renklere dönüşebilmektedir. Bu nedenle renk sensörü ile ölçülen değerler farklı pH değerlerine göre belirlenmiştir. Ancak temel olarak, renk değişimi sarıdan mora doğrudur. Bununla birlikte turuncu ve kırmızı renk tonları da gözlemlenebilmektedir. Çünkü pH değişiminde renkler keskin şekilde bir renkten diğerine geçiş yapmamaktadır. Bundan dolayı RGB tabanlı ölçümlerde referans rengin seçimi

önemlidir. RGB’de ifade edilen her bir harf farklı renkleri temsil etmektedir. Kırmızı (Red:R), yeşil (Green: G) ve mavi (Blue: B) renklerinin İngilizce kısaltmalarından yola çıkarak ifade edilir. Referans rengi belirlemek için içinde fenol kırmızı ve tampon (KH_2PO_4) bulunan farklı pH değerlerinden oluşan çözeltiler hazırlanmıştır. Her pH değeri için 30 dakikalık ölçümler yapılmıştır. Elde edilen verilerden yola çıkarak kırmızı, yeşil ve mavi rengin değişim grafiği elde edilmiştir. Deney ölçümleri dinamik değişim gösteren referans renk dikkate alınarak yapılmıştır. Yeşil renkte dinamik değişim açıkça görülmektedir (Şekil 4). Ancak diğer renklerde (mavi ve kırmızı) fazla bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Kırmızı ve mavi renk değerlerinde doğrusal bir eğilim olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Farklı pH değerlerinin renk sensörü tarafından algılanan absorban değerleri

RGB değerleri pH değerlerine bağlı olarak değişir. Her pH değerinde farklı absorban ölçülür. Bu değerler kullanılan indikatöre göre değişiklik gösterebilir. Bu nedenle yeşil renk referans olarak seçilmiş ve yeşil rengin değeri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Agar bloklarında ölçüm yapılması

Farklı boyutlarda (4 cm^3 , 9 cm^3 ve 16 cm^3) kesilen agar bloklarından hazırlanan dikdörtgen bloklar kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Renk sensöründe ölçüm yapabilmek için agar bloğu petriye yerleştirilmiştir. Daha sonra bloğu tamamen kaplayacak şekilde 0.1 M NaOH çözeltisi ilave edilmiştir. Çünkü agar blokları asidik değerlere göre hazırlandığından bazik çözelti ilave edildiğinde renk mor renge doğru değişim göstermektedir. Bu işlemden sonra agar bloğu renk sensörünün altına konularak ölçüm yapılmıştır. Benzer işlem farklı boyutlardaki agar blokları için sırayla gerçekleştirilmiştir. Ölçüm süreleri bütün agar blokları için aynı şekilde belirlenmiştir. Bu ölçümlerde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta denge durumuna geçiş süreleridir. Ölçüm verileri otomatik olarak bilgisayar ortamında kaydedildiği için deney süresince öğrencilerin deney başında beklemelerine gerek duyulmamaktadır. Ancak Arduino kullanılmadan cetvelle yapılan ölçümlerde öğrenciler deney başında sürekli beklemeleri ve renk değişimi son bulana kadar zamanı kaydetmeleri gerekmektedir. Bundan dolayı Arduino temelli ölçüm daha avantajlı bir durum sağlamaktadır.

Verilerin Analiz Edilmesi

Agar Hücre Difüzyon aktivitesi, hücre boyutu ve difüzyon hızı arasındaki ilişkiyi belirlemek için en yaygın şekilde okullarda gerçekleştirilen bir deneydir. Deneyde ölçüm yöntemi olarak genellikle cetvel kullanılır. Ancak Arduino kullanırken difüzyon hızı ile hücre boyutu arasındaki ilişki dinamik bir şekilde ölçülebilir. Farklı hacimlerde hazırlanan agar bloklardaki renk değişimine göre hesaplama yapılır. Ölçüm sırasında elde edilen veriler otomatik olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen *ham veriler* iki şekilde işlenmiştir: Ham verilerin normalize edilerek karşılaştırılması ve verileri normalize etmeden elde edilen grafiğin eğimi hesaplanarak karşılaştırmaların yapılması.

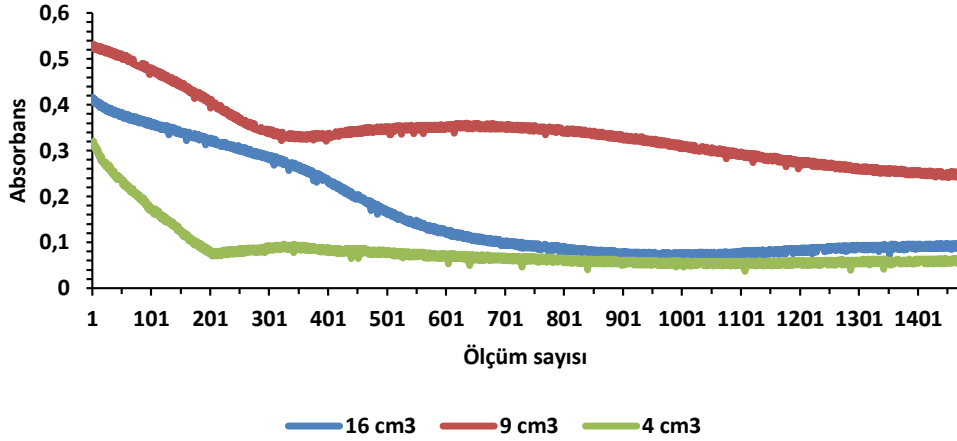
Verilerin normalizasyonu

Normalize işlemi verileri aynı noktadan başlatarak karşılaştırılmasına dayanan bir yöntemdir. Çünkü ölçüm sırasında her agar blok için ölçülen ilk değerler farklılık göstermektedir. Bu değerlerin karşılaştırılabilmesi için normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Hubbard vd., 2022):

$$G_{\text{Normalize}} = [1 - (G_{\text{Ölçülen değer}} / G_{\text{En yüksek değer}})]$$

Veriler normalize edildikten sonra bütün değerler 1 ile 0 arasında değer alacak şekilde dağılım gösterirler. Normalizasyon sonucunda yeşil renginde en hızlı düşüş olan agar bloğun difüzyon hızı ile hücre yüzey alanı arasındaki ilişki en yüksek olarak kabul edilir. Çünkü yeşil renk sarıdan mora doğru değiştikçe daha yüksek değerler almıştır. Ancak veriler normalize edildikten sonra difüzyon hızı daha hızlı olan agar bloklarında yeşil renk 0'a daha yakın bir değer alacaktır.

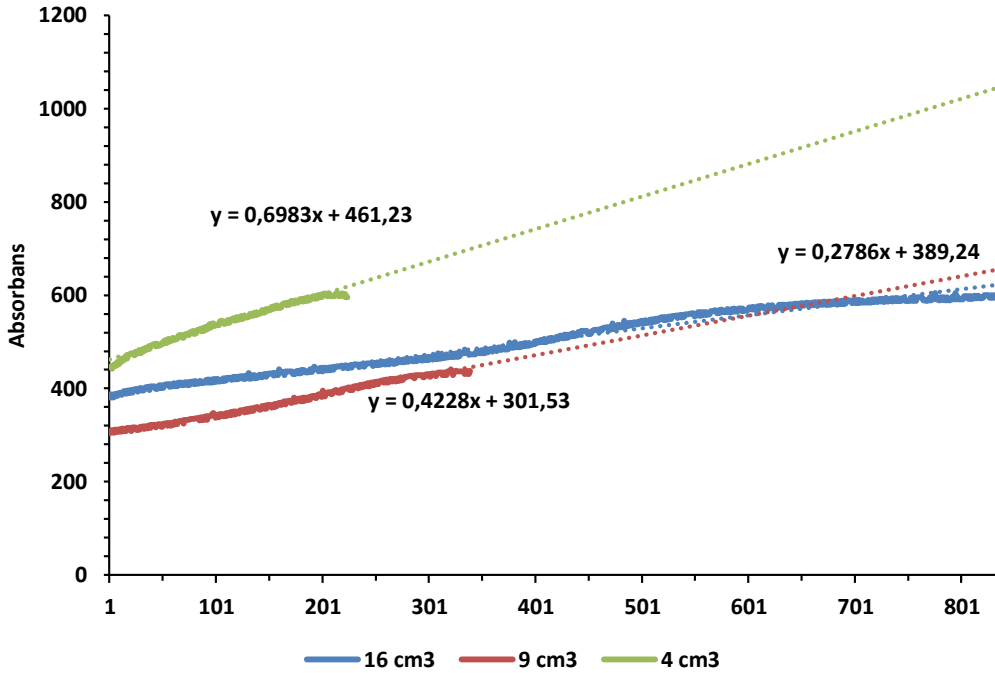
Şekil 5'te gösterildiği gibi her blok için denge durumuna geçiş süreleri farklılık göstermektedir. En hızlı şekilde denge durumuna geçen agar bloğun 4 cm³ olduğu belirlenmiştir. Ölçüm sayısı 201 olduğunda en küçük boyutta hazırlanan bloğun denge durumunda olduğu söylenebilir. 9 cm³ olarak hazırlanan agar blok 301 numaralı ölçüm sırasında denge durumuna ulaşmıştır. En son denge durumuna ulaşan küp ise 16 cm³ olduğu görülmektedir. Böylelikle küçük hücrelerde difüzyon hızının büyük hücrelere göre daha hızlı bir şekilde gerçekleştiği söylenebilir. Hücre boyutlarının büyük olması besin maddelerinin alınması ve atıkların hücreden dışarı atılmasını zorlaştırır. Bundan dolayı küçük hücreler besinlerden maksimum seviyede faydalanırlar.



Şekil 5. Difüzyon hızındaki dinamik değişim

Ham verilerin kullanılması (Normalize edilmeden)

Bu yöntemde elde edilen verilerin denge durumuna ulaştıkları nokta belirlenir. Her bir agar blok için denge durumuna ulaştığı ölçüm sayısı belirlendikten sonra Excel ile grafikler oluşturulur. Daha sonra her bir grafiğin eğimi hesaplanır. Eğimlerden yola çıkarak difüzyon hızı arasında ilişki kurulur. Çünkü difüzyon hızı ile eğim arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. (<https://www.pathwayz.org/Tree/Plain/RATE+OF+REACTION>). Bu yöntemde normalizasyona ihtiyaç duyulmadan doğrudan eğim değerleri dikkate alındığından daha pratik ve kısa sürmektedir. Bununla birlikte agar blokları denge durumuna ulaştıkları sürelerden yola çıkarak kıyaslama yapılabilir.



Şekil 6. Difüzyon hızı ve eğim arasındaki ilişki

$y=mx+c$ denklemi kullanılarak eğim (m) ve difüzyon hızları hakkında çıkarımlarda bulunabilirler. Bu nedenle eğimi yüksek agar bloğunda (4 cm^3) difüzyon hızı daha hızlıdır. Her bir blok için yüzey alanı/hacim arasındaki ilişki matematiksel olarak hesaplanmıştır. Matematiksel olarak hesaplanarak yüzey alanının hacim oranı 4 cm^3 , 9 cm^3 ve 16 cm^3 için sırasıyla 4, 3.3 ve 3 olarak bulunmuştur. Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi, sonuçlar matematiksel hesaplama ile uyumluluk göstermiştir. Ayrıca dengeye ulaşma süresi de farklılık göstermiştir. En büyük hacme sahip agar bloğu en geç dengeye ulaşmıştır. Öğrenciler eğimi (m) ve dengeye ulaşma sayılarını kullanarak kolaylıkla karşılaştırma yapabilirler.

Tartışma ve Sonuç

Arduino temelli etkinlikler eğitimde yerini hızla almaktadır. Eğitimde kullanımı pratik ve ucuz olduğundan öğretmen ve öğrenciler tarafından tercih edilmektedir. Bununla birlikte Arduino temelli etkinlikler birçok disiplinin etkileşimine ve öğrencilerin farklı disiplinlerde öğrendikleri kavramsal bilgileri uygulama alanı sunmaktadır. Bu etkinlikte bilgisayar, kimya, matematik ve biyoloji derslerini kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Öğrenciler bu etkinlik ile kodlama, renk değişimi ile pH arasında ilişki kurma, hücre yüzey alanı/hacim ilişkisi ve matematiksel hesaplamaları kullanarak grafikleri yorumlama gibi birçok alanı bir arada uygulama fırsatı bulabilmektedirler. Bununla birlikte öğrenciler aynı ölçüm sonucunda elde edilen verilerin farklı şekilde analiz edilebileceğini ve yorumlanabileceğini uygulamalı olarak öğrenmektedirler. Çünkü bilimin doğasında sadece tek bir yöntem bulunmadığı, birçok yöntem ve teknik kullanılarak deneylerin yapılabileceği ve deneylerin test edilebileceği ifade edilmiştir. Geliştirilen bu etkinlik ile öğrenciler “Hücreler neden küçük boyuta sahiptir?” sorusunun cevabını Arduino temelli olarak gözlemleyebilmektedirler.

Grafikler ile verilerin sunulması birçok alandı kendine yer bulmaktadır. İster bilimsel çalışmalar olsun isterse ticari ve günlük yaşamdaki işlerde olsun verileri daha anlaşılır hale getirmek ve daha doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için grafikler sıklıkla kullanılır (Berg & Smith, 1994; Donnelly-Hermosillo et al., 2020). Bununla birlikte verilerin nicelleştirilmesi incelenen durumun daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Biyoloji biliminde de diğer bilimlerde olduğu gibi bilimsel verilerin daha güçlü bir şekilde ifade edilebilmesi için grafiklerden yararlanır. Ancak yapılan araştırmalarda öğrencilerin grafikleri yorumlamada zorluklar yaşadıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte elde edilen verilerden grafik oluşturma konusunda zorluklar yaşadıkları ifade edilmiştir. Diğer bir deyişle öğrencilere grafik halinde sunulan bilgiler anlamlı bir şekilde yorumlamada güçlükler yaşanmaktadır (Tairab & Khalaf Al-Naqbi, 2004). Öğrencilerin değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyebilmeleri ve veriler konusunda daha doğru çıkarımlarda bulunabilmeleri için grafiklerin daha yaygın bir şekilde kullanılması gerekmektedir (Berg & Smith, 1994). Grafiklerin anlaşılabilmesi için verilen değişkenlerin öğrenciler tarafından anlaşılması gerekmektedir (Leinhardt et al., 1990). Nitekim 21. yy becerileri arasında ifade edilen bilişim teknolojilerindeki en önemli beceri veri işleme ve veriyi değerlendirme yer almaktadır. Öğrencilerin bu becerileri kazanabilmeleri için veri düzenleme ve işlemeye yönelik etkinliklere dahil olmaları gerekmektedir (Glazer, 2011). Bundan dolayı geliştirilen etkinlikte veriler iki farklı grafik şeklinde düzenlenmiştir. Böylelikle öğrenciler her grafik için farklı değerlendirme ve yorumlama yöntemini kullanma imkanı bulacaklar. Bununla birlikte farklı grafiklerin nasıl oluşturulduğunu karşılaştırmalı olarak öğreneceklerdir (Şekil 5 ve 6). Ancak yapılan araştırmalar öğrencilerin grafikleri düzenleme ve yorumlama

konusunda eksikliklerin olduğu tespit edilmiştir (Berg & Smith, 1994; Whitaker & Jacobbe, 2017).

Geliştirilen etkinliğin bir diğer önemli yanı deneylerin farklı şekillerde yapılabilmesi. Bilimin doğası konusunda yapılan araştırmalarda bilim insanları deneyleri farklı şekillerde gerçekleştirdikleri ifade edilmektedir. Bilimsel çalışmalarda sadece bir yöntem bulunmamaktadır. Ölçümler yapılırken teknolojiye yararlanmanın daha doğru sonuçların elde edilmesine imkân sağladığı belirtilmiştir (Sumranwanich & Yuenyong, 2014). Bilimsel bilgiyi elde etmenin birçok yolu bulunmaktadır. Araştırmacılar birçok yöntemi kullanarak aynı durum için daha doğru sonuç bulmaya çalışmaktadırlar. Bilimin doğasında kesinlik yoktur ve bilimsel bilgi değişebilir. Her kullanılan yöntemde mutlaka hataların bulunduğu belirtilmiştir. Ancak bilimin amacı bu hataları daha aza indirmektir (Abd-El-khalick & Lederman, 2000; Lederman, 1992, 1999). Ölçüm aracındaki hassasiyet arttıkça hata payı azalacaktır. Buna bağlı olarak bu deneyde daha önce cetvel kullanılarak ölçüm yapılmakta buradan elde edilen veriler kullanılarak hesaplamalar yapılmaktaydı. Ancak ölçen kişinin referans noktasını belirlerken yaptığı hatalar ile kronometre ile zaman dilimini belirlenmesindeki hatalar bir araya gelince çok sayıda hata payı oluşmaktadır. Bundan dolayı öğrenciler bilimin doğasını deneyleri kıyaslayarak yaptıklarında daha anlamlı şekilde öğrenme fırsatı bulacaklardır. Nitekim öğrenciler hem cetvelle ölçüm verilerini kullanabilecekler hem de Arduino temelli ölçüm yaparak veri elde edebileceklerdir.

Günümüzde teknoloji eğitimin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Öğretim kademelerinin çeşitli seviyelerinde yazılım ve kodlama ile ilgili bilgiler verilmektedir. Öğrencileri geleceğe hazırlamak için bu konuda etkinlikler ve projeler öğretim programlarında yer almalıdır. Öğrencilerin teknolojiyi kullanarak laboratuvarlarda ya da evde deney yapmaları hem bilime hem de derslere yönelik ilgilerini ve yaratıcılıklarını geliştirecektir. Derslerde monotonluğu ortadan kaldırabilmek için öğrencilerin aktif katılımını sağlayan ve yüzyılın becerilerine uygun etkinlikler geliştirilmelidir (Tortosa, 2012). Ancak bu konuda yeterli düzeye ulaşılmadığı belirtilmiştir. Özellikle STEM eğitiminin programlarda yer almasıyla birlikte bu alanda yeterli uygulamaların bulunmaması büyük sorunlar meydana getirmektedir (English, 2016). Bundan dolayı STEM temelli etkinliklerin yaygınlaştırılması ve fen bilimlerinde yer alan deneylerin bu bağlamda güncelleştirilerek geliştirilmesi öğretmen ve öğrenciler için fayda sağlayacaktır. Öğrencilerin öğrenme ve ilgilerine olum yönde katkı sunacaktır. Çünkü öğrenciler birçok disiplinde öğrendikleri bilgiyi uygulama ve geliştirme fırsatı bulmaktadırlar (Barrett et al., 2014).

Öneriler

Geliştirilen etkinlik öğrenciler ve öğretmenler tarafından kolaylıkla okulda yapılabilecek düzeydedir. Maliyeti düşük ve günümüz teknolojisi açısından uyumlu olması öğrencilerin ilgilerini çekebilecek niteliktedir. Özellikle öğretmenlerin laboratuvar etkinliklerini yapmakta zorlandıkları günümüz şartlarında uygun bir deney tasarımı olarak düzenlenmiştir. Çünkü öğretmenlerin en önemli problemlerinden birisi ucuz ve ilgi çekici etkinliklere yeterli bir şekilde ulaşamaması yer almaktadır. Öğrenciler bu etkinlik ile hücre yüzey alanı/hacim arasındaki ilişkiyi farklı yöntemlerle test edebileceklerdir. Bununla birlikte Arduino ile deneylerde nasıl ölçüm yapabileceklerini uygulamalı olarak öğrenme fırsatı bulacaklardır.

Çıkar Beyanı

“Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması söz konusu değildir”

Destek Beyanı

Bu araştırma hiçbir kurum veya kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Etik ile İlgili Hususlar

Yapılan bu çalışmada “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması belirtilen tüm kurallara uyulmuştur. Yönergenin ikinci bölümü olan “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbiri gerçekleştirilmemiştir.

Çalışma biyoloji dersine yönelik bir deney tasarımı olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmada veri toplama amacıyla kişi ya da canlı kullanılmadığından etik izin gerektirmemektedir.

Kaynakça

Al, U., Şahiner, M. & Tonta, Y. (2006). Arts and humanities literature: Bibliometric characteristics of contributions by Turkish authors. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(8), 1011-1022. <https://doi.org/10.1002/asi.20366>.

Abd-El-khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665–701. <https://doi.org/10.1080/09500690050044044>.

Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945–1969. <https://doi.org/10.1080/09500690701749305>

Adam, J. A. (2020). What's Your Sphericity Index? Rationalizing Surface Area and What's Your Sphericity Index? *Rationalizing Surface Area and Volume Volume*. 46(2), 48–53. <http://www.vctm.org/VOL-462>

Ahlborn, B. K., & Blake, R. W. (1999). Lower size limit of aquatic mammals. *American Journal of Physics*, 67(10), 920–922. <https://doi.org/10.1119/1.19150>

Albanese, M. A., & Mitchell, S. (1993). Problem-based learning: A review of literature on its outcomes and implementation issues. *Academic Medicine*, 68(1), 52–81. <https://doi.org/10.1097/00001888-199301000-00012>

Archer, L., DeWitt, J., & Dillon, J. (2014). “It didn't really change my opinion”: Exploring what works, what doesn't and why in a school science, technology, engineering and mathematics careers intervention. *Research in Science and Technological Education*, 32(1), 35–55. <https://doi.org/10.1080/02635143.2013.865601>

Arduino.cc. (2022). *What is Arduino?* <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Arnold, J. C., Kremer, K., & Mayer, J. (2014). Understanding Students' Experiments-What kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, 36(16), 2719–2749. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.930209>

Barrett, B. S., Moran, A. L., & Woods, J. E. (2014). Meteorology meets engineering: an interdisciplinary STEM module for middle and early secondary school students. *International Journal of STEM Education, 1*(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/2196-7822-1-6>.

Berg, C. A., & Smith, P. (1994). Assessing students' abilities to construct and interpret line graphs: Disparities between multiple-choice and free-response instruments. *Science Education, 78*(6), 527–554. <https://doi.org/10.1002/sce.3730780602>.

Bers, M. U., & Portsmore, M. (2005). Teaching partnerships: Early childhood and engineering students teaching math and science through robotics. *Journal of Science Education and Technology, 14*(1), 59–73. <https://doi.org/10.1007/s10956-005-2734-1>.

Branch, J. L., & Solowan, D. G. (2003). Inquiry-based learning: The key to student success. *Library Skills. School Libraries in Canada, 22*(4), 6–12.

Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What Is STEM? A Discussion About Conceptions of STEM in Education and Partnerships. *School Science and Mathematics, 112*(1), 3–11. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>.

Brown, P. L., Abell, S. K., Demir, A., & Schmidt, F. J. (2006). College science teachers' views of classroom inquiry. *Science Education, 90*(5), 784–802. <https://doi.org/10.1002/sce.20151>.

Bruck, L. B., Bretz, S. L., & Towns, M. H. (2008). Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *Journal of College Science Teaching, 38*(1), 52–58.

Carter, C. E., Barnett, H., Burns, K., Cohen, N., Durall, E., Lordick, D., Nack, F., Newman, A., & Ussher, S. (2021). Defining STEAM Approaches for Higher Education. *European Journal of STEM Education, 6*(1), 13. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/11354>.

Catterall, L. (2017). A Brief History of STEM and STEAM from an Inadvertent Insider. *The STEAM Journal, 3*(1), 1–13. <https://doi.org/10.5642/steam.20170301.05>.

Christianson, R. G., & Fisher, K. M. (1999). Comparison of student learning about diffusion and osmosis in constructivist and traditional classrooms. *International Journal of Science Education, 21*(6), 687–698. <https://doi.org/10.1080/095006999290516>.

Costa, M. C., Ferreira, C. A. F., & Pinho, H. J. O. (2023). Physics of Sound to Raise Awareness for Sustainable Development Goals in the Context of STEM Hands-On Activities. *Sustainability (Switzerland), 15*(4). <https://doi.org/10.3390/su15043676>.

Dare, E. A., Ellis, J. A., & Roehrig, G. H. (2018). Understanding science teachers' implementations of integrated STEM curricular units through a phenomenological multiple case study. *International Journal of STEM Education, 5*(4), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0101-z>.

Davison, D. M., Miller, K. W., & Metheny, D. L. (1995). What Does Integration of Science and Mathematics Really Mean? *School Science and Mathematics, 95*(5), 226–230. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1995.tb15771.x>

Deák, C., Kumar, B., Szabó, I., Nagy, G., & Szentesi, S. (2021). Evolution of new approaches in pedagogy and STEM with inquiry-based learning and post-pandemic scenarios. *Education Sciences, 11*, 319. <https://doi.org/10.3390/educsci11070319>

- Domin, D. S. (1999a). A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*, 76(2–4), 543–547. <https://doi.org/10.1021/ed076p543>
- Domin, D. S. (1999b). A Review of Laboratory Instruction Styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543–547. <https://doi.org/10.1021/ed076p543>
- Donnelly-Hermosillo, D. F., Gerard, L. F., & Linn, M. C. (2020). Impact of graph technologies in K-12 science and mathematics education. *Computers and Education*, 146, 103748. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103748>
- Dorée, S. I. (2017). Turning Routine Exercises Into Activities that Teach Inquiry: A Practical Guide. *Primus*, 27(2), 179–188. <https://doi.org/10.1080/10511970.2016.1143900>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Exploratorium. (2017). *Agar Cell Diffusion*. 4th NGSS STEM Conference MAKING SCIENCE COUNT Integrating Math into an NGSS Classroom. <https://www.exploratorium.edu/sites/default/files/stem/AgarCellDiffusion.pdf>, 24.11.2022
- Fančovičová, J., & Prokop, P. (2018). Effects of hands-on activities on conservation, disgust and knowledge of woodlice. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(3), 721–729. <https://doi.org/10.12973/ejmste/80817>
- Friedler, Y., Amir, R., & Pinchas, T. (1987). High school students' difficulties in understanding osmosis. *International Journal of Science Education*, 9(5), 541–551. <https://doi.org/10.1080/0950069870090504>
- Gericke, N., Högstrom, P., & Wallin, J. (2022). A systematic review of research on laboratory work in secondary school. *Studies in Science Education*, 00(00), 1–41. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2090125>
- Glazer, N. (2011). Challenges with graph interpretation: A review of the literature. *Studies in Science Education*, 47(2), 183–210. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.605307>
- Gott, R., & Duggan, S. (1996). Practical work: Its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 791–806. <https://doi.org/10.1080/0950069960180705>
- Halawa, S., Hsu, Y. S., Zhang, W. X., Kuo, Y. R., & Wu, J. Y. (2020). Features and trends of teaching strategies for scientific practices from a review of 2008–2017 articles. *International Journal of Science Education*, 42(7), 1183–1206. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1752415>
- Hallinen, J. (2022). *STEM*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/STEM-education>. Accessed 7 March 2023.
- Hanley, J. (2021). Team-based learning in social work law education: a practitioner enquiry. *Social Work Education*, 40(8), 1038–1050. <https://doi.org/10.1080/02615479.2020.1770720>
- Harris, C. J., Penuel, W. R., D'Angelo, C. M., DeBarger, A. H., Gallagher, L. P., Kennedy, C. A., Cheng, B. H., & Krajcik, J. S. (2015). Impact of project-based curriculum materials on student learning in science: Results of a randomized controlled trial. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(10), 1362–1385. <https://doi.org/10.1002/tea.21263>

Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.

Hubbard, K., Birycka, M., Britton, M. E., Coates, J., Coxon, I. D., Jackson, C. H., Nicholas, C. L., Priestley, T. M., Robins, J. J., Ryczko, P. R., Salisbury, T., Shand, M., Snodin, G., & Worsley, B. (2022). The ‘Tea Test’ - a mobile phone based spectrophotometer protocol to introduce biochemical methods independent of the laboratory. *Journal of Biological Education*, 00(00), 1–12. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2072934>

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(11), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

Kolstad, R. K., Briggs, L. D., & Barton, L. A. (1995). Better Teaching of Science Through Integration. *Journal of Instructional Psychology*, 22(2), 130.

Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E., & Vappangi, S. (2021). A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, 40, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100364>

Laudano, F., Tortoriello, F. S., & Vincenzi, G. (2020). An experience of teaching algorithms using inquiry-based learning. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51(3), 344–353. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1565453>

Lederman, N. G. (1992). Students’ and teachers’ conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331–359. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290404>

Lederman, N. G. (1999). Teachers’ understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 916–929. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199910\)36:8<916::AID-TEA2>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199910)36:8<916::AID-TEA2>3.0.CO;2-A)

Lee, O., & Grapin, S. E. (2022). The role of phenomena and problems in science and STEM education: Traditional, contemporary, and future approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(7), 1301–1309. <https://doi.org/10.1002/tea.21776>

Leinhardt, G., Stein, M. K., & Zaslavsky, O. (1990). Functions, Graphs, and Graphing: Tasks, Learning, and Teaching. *Review of Educational Research*, 60(1), 1–64. <https://doi.org/10.3102/00346543060001001>

Leonard, W. H., & Chandler, P. M. (2003). Where Is the Inquiry in Biology Textbooks? *American Biology Teacher*, 65(7), 485–487. <https://doi.org/10.2307/4451546>

Lewis, D., Clontz, S., & Estis, J. (2021). Team-Based Inquiry Learning. *Primus*, 31(2), 223–238. <https://doi.org/10.1080/10511970.2019.1666440>

Li, Y., Wang, K., Xiao, Y., Froyd, J. E., & Nite, S. B. (2020). Research and trends in STEM education: a systematic analysis of publicly funded projects. *International Journal of STEM Education*, 7, 1–16. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00213-8>

Mcdonald, C. V. (2016). STEM Education: A review of the contribution of the disciplines of science, technology, engineering and mathematics. *Science Education International*, 27(4), 530–569.

MEB. (2018a). *Ortaöğretim Biyoloji Dersi (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar) Öğretim Programı*. Milli Eğitim Bakanlığı. http://mufredat.meb.gov.tr/Dosyalar/20182215535566-Biyoloji_döp.pdf

MEB. (2018b). *Ortaöğretim Kimya Dersi (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar) Öğretim Programı*. Milli Eğitim Bakanlığı. <http://mufredat.meb.gov.tr>

Mohrig, J. R. (2004). The Problem with Organic Chemistry Labs. *Journal of Chemical Education*, 81(8), 1083. <https://doi.org/10.1021/ed081p1083>

Mohrig, J. R., Hammond, C. N., & Colby, D. A. (2007). On the successful use of inquiry-driven experiments in the organic chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 84(6), 992–998. <https://doi.org/10.1021/ed084p992>

Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., Smith, K. A., & Stohlmann, M. S. (2014). A Framework for Quality K-12 Engineering Education: Research and Development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 4(1), 1–13. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1069>

Newton, X. A., & Tonelli, E. P. (2020). Building undergraduate STEM majors' capacity for delivering inquiry-based mathematics and science lessons: An exploratory evaluation study. *Studies in Educational Evaluation*, 64, 100833. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2019.100833>

Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 45–61. <https://doi.org/10.1002/tea.3660320106>

Phanphech, P., Tanitteerapan, T., & Murphy, E. (2019). Explaining and enacting for conceptual understanding in secondary school physics. *Issues in Educational Research*, 29(1), 180–204.

Planini, G., & Vollmer, M. (2008). The surface-to-volume ratio in thermal physics: From cheese cube physics to animal metabolism. *European Journal of Physics*, 29(2), 369–384. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/29/2/017>

Prieto-Rodriguez, E., Sincok, K., & Blackmore, K. (2020). STEM initiatives matter: results from a systematic review of secondary school interventions for girls. *International Journal of Science Education*, 42(7), 1144–1161. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1749909>

Prokop, P., Prokop, M., & Tunnicliffe, S. D. (2007). Is biology boring? Student attitudes toward biology. *Journal of Biological Education*, 42(1), 36–39. <https://doi.org/10.1080/00219266.2007.9656105>

Sanders, M. (2009). STEM,STEMEducation,STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20–27. <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/51616/STEMmania.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sigmann, S. B., & Wheeler, D. E. (2004). The quantitative determination of food dyes in powdered drink mixes. *Journal of Chemical Education*, 81(10), 1475–1478. <https://doi.org/10.1021/ed081p1475>

Spaan, W., Oostdam, R., Schuitema, J., & Pijls, M. (2022). Analysing teacher behaviour in synthesizing hands-on and minds-on during practical work. *Research in Science and Technological Education*, 00(00), 1–18. <https://doi.org/10.1080/02635143.2022.2098265>

Spronken-Smith, R., & Walker, R. (2010). Can inquiry-based learning strengthen the links between teaching and disciplinary research? *Studies in Higher Education*, 35(6), 723–740. <https://doi.org/10.1080/03075070903315502>

Stohlmann, M., Moore, T., & Roehrig, G. (2012). Considerations for Teaching Integrated STEM Education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 2(1), 28–34. <https://doi.org/10.5703/1288284314653>

Sumranwanich, W., & Yuenyong, C. (2014). Graduate Students' Concepts of Nature of Science (NOS) and Attitudes toward Teaching NOS. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 2443–2452. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.589>

Tairab, H. H., & Khalaf Al-Naqbi, A. K. (2004). How do secondary school science students interpret and construct scientific graphs? *Journal of Biological Education*, 38(3), 127–132. <https://doi.org/10.1080/00219266.2004.9655920>

Taraban, R., Box, C., Myers, R., Pollard, R., & Bowen, C. W. (2007). Effects of active-learning experiences on achievement, attitudes, and behaviors in high school biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 960–979. <https://doi.org/10.1002/tea.20183>

Tortosa, M. (2012). The use of microcomputer based laboratories in chemistry secondary education: Present state of the art and ideas for research-based practice. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 161–171. <https://doi.org/10.1039/c2rp00019a>

Whitaker, D., & Jacobbe, T. (2017). Students' understanding of bar graphs and histograms: Results from the LOCUS assessments. *Journal of Statistics Education*, 25(2), 90–102. <https://doi.org/10.1080/10691898.2017.1321974>

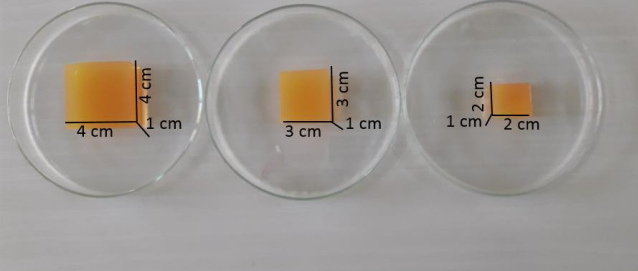



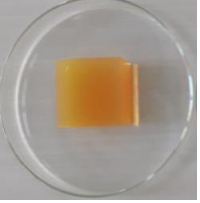
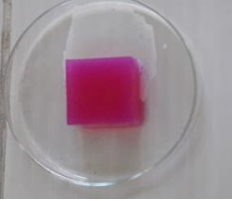
Williams, J. P. (2011). STEM Education : Proceed with caution. *Design and Technology Education: An International Journal*, 16(1), 26–35.

Wilson, C. D., Taylor, J. A., Kowalski, S. M., & Carlson, J. (2010). The relative effects and equity of inquiry-based and commonplace science teaching on students' knowledge, reasoning, and argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(3), 276–301. <https://doi.org/10.1002/tea.20329>

Wu, H. K., & Hsieh, C. E. (2006). Developing sixth graders' inquiry skills to construct explanations in inquiry-based learning environments. *International Journal of Science Education*, 28(11), 1289–1313. <https://doi.org/10.1080/09500690600621035>

Yorke, E. D. (1973). Energy Cost and Animal Size. *American Journal of Physics*, 41(11), 1286–1287. <https://doi.org/10.1119/1.1987546>

Ek 1. Agar bloklarının hazırlanması ve ölçümlerin yapılması

<p>Agar bloklarının boyutları; a-4 cm^3 (2 cm x 2 cm x 1 cm) b-9 cm^3 (3 cm x 3 cm x 1 cm) c-16 cm^3 (4 cm x 4 cm x 1 cm) Yüzey alanı (YA) /Hacim (V) arasındaki ilişkinin matematiksel olarak hesaplanması; a-Yüzey alanı/Hacim =$16/4$, YA/V=4 b- Yüzey alanı/Hacim =$30/9$, YA/V=3.3 c- Yüzey alanı/Hacim =$48/16$, YA/V=3</p>	
<p>1 litre için gerekli miktarlar: Agar: 15 gr Fenol kırmızısı: 0,012 gr KH_2PO_4: 2 g Bütün maddeler tartılır ve erlene eklenir. Daha sonra 900 ml su ilave edilerek iyice karıştırılır ve son hacim 1 litreye tamamlanır.</p>	
<p>pH değeri $6.4 \pm 0,1$ (25°C) olacak şekilde ayarlanır (Bu işlem için 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH kullanılır)</p>	
<p>Hazırlanan besiyeri iyice kaynatılır ve kaynama süresince sürekli karıştırılır. Daha sonra kaynatma işlemi sonlandırılır ve sıcaklık $45-50^\circ\text{C}$ düşünceye kadar beklenir.</p>	
<p>İstenilen sıcaklığa düşen besiyeri petrilere aktarılır ve oda sıcaklığında katılaşması için beklenir.</p>	
<p>Petrilerden çıkarılan agar kalıpları cetvel yardımı ile istenilen boyutlarda kesilir.</p>	
<p>Petriye yerleştirilen agar bloklarının üzerine 50 ml 0,1 M NaOH çözeltisi ilave edilir. Daha sonra bu blok renk sensörün altına yerleştirilerek ölçüm işlemi başlatılır. Renk tamamen mora döndüğünde denge durumuna ulaşmış olur.</p>	

EXTENDED SUMMARY

The rapid development in scientific studies affects developments in education. For this reason, contemporary science education is changing to enable students to find solutions to problems like scientists and engineers do. In other words, it aims to educate students in a way that will enable them to make practical designs and solve problems using the knowledge and skills obtained from different disciplines. To achieve these goals, the STEM education approach is being included more intensively in the programs (Lee & Grapin, 2022). STEM education can be implemented in the form of design alone or combination with other methods. Pedagogically, there has been a significant increase in research on the integration of STEM-based education approach with different administrations (Li et al., 2020). Especially in 2008 and later years, there was an intensive increase in research in various fields, and after 2018, this increase tends toward integration with different approaches (Deák et al., 2021; Li et al., 2020). For STEM learning to be significant, students need to be involved in the problem situation and complete the process of producing solutions for this problem. Thus students can directly apply many steps, such as planning, designing, problem-solving, using communication skills, working in groups, and using different disciplines (Moore et al., 2014). Therefore, integrating an inquiry-based learning environment and a STEM approach becomes more manageable. Inquiry-based learning can be applied in all disciplines. However, it is classified at various levels depending on the activity designed by the instructor. Although all stages of the research problem are given to the students step-by-step, the student can determine all processes from the problem situation to the design and result.

Technological and scientific developments bring with them the need for developing innovations, such as the organization of the curricula and the materials used by teachers in the laboratory and the development of appropriate materials. In this context, for students to have 21st-century skills in science education, it is aimed to enable them to use different disciplines such as science, technology, engineering, and mathematics (Carter et al., 2021; Deák et al., 2021; Gott & Duggan, 1996; Kolstad et al., 1995; Li et al., 2020; Newton & Tonelli, 2020; Prieto-Rodriguez et al., 2020). Two main elements should be combined for science education to achieve its goal. First, students should theoretically learn the basic scientific concepts and phenomena in science. The other essential element is to reach scientific knowledge through experiments. In other words, it involves getting scientific knowledge by using many processes such as designing, determining the problem, hypothesizing, and evaluating the hypothesis. This process constitutes the basic model of science education. These two elements should be conducted together in schools to increase the level of scientific thinking and scientific literacy (Gott & Duggan, 1996; Hmelo-Silver, 2004). The second element is often relegated to the background in schools. In many schools, students cannot even enter the laboratory environment. One of the main reasons for this is the lack of adequate hardware and equipment in laboratories. Therefore, to realize the second element, it is vital to design materials and experiments suitable for today's technological and scientific developments that teachers and students can apply in school laboratories. Another essential feature of the developed experiments is that they should be made of materials that are easily accessible and affordable. Thus, most students can apply

these skills in the formal education process (Catterall, 2017; Domin, 1999b; Gott & Duggan, 1996).

Considering the studies examined above, it is crucial to develop laboratory activities that will meet the needs of teachers and students, can be easily implemented in schools, attract students' interest, and are compatible with today's technologies. Therefore, this study aimed to develop an Arduino-supported laboratory activity for biology courses. In this context, the topic of diffusion in the cell was chosen to show the relationship between cell size and diffusion rate. It is aimed to calculate the relationship between cell size and diffusion rate based on Arduino. Agar Cell Diffusion activity is an experiment most commonly performed in schools to determine the relationship between cell size and diffusion rate. A ruler is usually used as a measurement method in the investigation. However, using Arduino, the relationship between diffusion rate and cell size can be measured dynamically. The calculation is based on the color change in agar blocks prepared in different volumes. The data obtained during the measurement are automatically saved to the computer. The raw data received from the measurement are organized in two ways: normalizing the raw data and calculating the slope of the graph without normalizing the data. Both data organized by using two methods showed compatibility with the mathematical calculations.

Students and teachers can easily conduct the developed activity at school, and its low cost and compatibility with today's technology can attract students' interest. It is organized as a suitable experiment design, especially when teachers have difficulty performing laboratory activities. Because one of the most critical problems of teachers is that they cannot reach cheap and engaging activities sufficiently, with this activity, students will be able to test the relationship between cell surface area/volume with different methods. In addition, they will be able to learn how to make measurements in experiments with Arduino.