

## Maddenin Hal Değişimini İncelemek İçin Arduino Deneyi (Arduino Experiment to Study the Phase Change of Matter)

Abdulsamet KARAŞAHİN<sup>1,\*</sup> ve Uğur SARI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bişek Şehit Adem Kocadağ Ortaokulu, Yozgat, ORCID No: 0000-0002-7813-1137

<sup>2</sup> Kırıkkale Üniverstesi, Kırıkkale, ORCID No: 0000-0002-3469-8959

(Cilt: 10, Sayı: 1, Haziran 2022, s. 208-226)

### Öz:

Hal değişimi konusu öğrencilerin kavramsal olarak anlamakta zorlandığı ve öğrenmede güçlükler yaşadığı konulardan birisidir. Bu çalışmada ortaokul sekizinci sınıf hal değişimi konusu kazanımlarına yönelik olarak, okulda ve evde kolaylıkla yapılabilecek bir Arduino deneyi tasarlanmıştır. Ayrıca deney simülasyon ile desteklenerek atomik boyutta somutlaştırma ve gerçek deney ile sanal deneyi birlikte kullanma imkânı sunulmuştur. Deneyde saf su ve etil alkolün ısıtılması sürecinde hal değişim olayı gözlemlenirken sıcaklık sensörü yardımıyla sıcaklık-zaman verileri toplanmıştır. Bu verilerden, maddeler için sıcaklık-zaman grafikleri oluşturulmuş ve hal değişimi olayı hem gözlem hem de grafikler üzerinden incelenmiştir. Deneyde elde edilen sıcaklık-zaman grafiklerinin beklenen karakteristikte olduğu belirlenmiştir. Deney için kullanılan donanım ve yazılım, hal değişimi olayını incelemek için yeterlidir. Bu nedenle bir laboratuvar ve öğretme-öğrenme bağlamına uyarlanabilir. Sunulan deneyin fen bilimleri dersinde Arduino araçlarının kullanımına yönelik öğretmenlere rehber olabileceği, öğrencilerin ise deney ile hal değişimine yönelik somut deneyimler yaşayarak veriler toplayıp, bu verilerden hareketle grafik çizimlerini gerçekleştirebilecekleri bir ortam oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Arduino mikrodenetleyicisi, hal değişimi olayı, sıcaklık sensörü, fen öğretimi, simülasyon

\* Sorumlu Yazar: E-mail: [sametkarasahin06@gmail.com](mailto:sametkarasahin06@gmail.com)

**Abstract:**

*The phase change of matter is one of the subjects that students have difficulty in understanding conceptually and have difficulties in learning. In this study, a simple and economical Arduino experiment that can be easily done in schools and at home has been designed for the eighth grade secondary school process gains. In addition, the experiment was supported by simulation, and it was possible to embody in atomic dimension and to use real experiment and virtual experiment together. In the experiment, while the phase change phenomenon was observed during the heating of pure water and ethyl alcohol, temperature-time data were collected with the help of the temperature sensor. From these data, temperature-time graphs were created for matters and the process of phase change was examined both through observations and graphs. It was determined that the temperature-time graphs obtained in the experiment were in the expected characteristics. The hardware and software used for the experiment are sufficient to study the process phenomenon and thus can be adapted to a laboratory and teaching-learning context. It is evaluated that the presented experiment can guide teachers in the use of Arduino tools in the science lesson, and students can have concrete experiences about the phase change with the experiment, collect data and make their own graphic drawings.*

**Keywords:** *Arduino microcontroller, phase change, temperature sensor, science teaching, simulation.*

---

**Giriş**

Eğitimin hemen hemen tüm kademelerinde fen/fizik müfredatlarında yer alan konulardan birisi ısı-sıcaklık ve maddenin hal değişimi konusudur. Kışın buzların erimesi, çaydanlıktaki suyun kaynaması ve ağzı açık kaptaki su miktarının azalması gibi günlük yaşamda birçok olayla iç içe olan bu konu, çok küçük yaşlardan itibaren çocuklar tarafından deneyimlenmektedir. Dolayısıyla konuya ilişkin kavramlar daha çok günlük hayattaki deneyimlerden edinilen fikirlerin yorumlanmasıyla oluşur. Bu durum ise soyut ve doğrudan gözlemlenemeyen bu kavramlara yönelik yanlış fikirlerin gelişmesine ve bazı kavram yanlışlarının oluşmasına neden olmaktadır (Ural & Başaran Uğur, 2021). Örneğin çoğu öğrenci ısı ve sıcaklığı birbirinden ayırt etmekte zorlanmakta, birçok öğrenci bir cismi ısıtmanın her zaman sıcaklığı arttırmak anlamına geleceğine inanmakta, çoğu öğrenci ise bir maddenin hal değiştirme sıcaklığını o maddenin ısıtıldığında erişebileceği en yüksek sıcaklık olarak görmektedir (Kartal, 2018). Anderson (1990), 12-16 yaş grubu öğrencilerin madde ve maddenin değişimi ile ilgili kavrama durumlarını incelediği araştırmada, öğrencilerin sıvının kaynadıkça sıcaklığının arttığı şeklinde kavram yanlışlığına sahip olduklarını belirlemiştir. Benzer şekilde birçok çalışmada, ısı-sıcaklık ve hal değişimi konusunda ortaokul öğrencilerinin (Duman & Gülşen, 2016 ), lise öğrencilerinin (Aydoğan, Güneş & Gülçiçek, 2003) ve lisans öğrencisi öğretmen adaylarının (Ural & Uğur, 2021) kavram yanlışlığına ve yetersiz ya da yanlış bilgilere sahip olduğunu tespit edilmiştir. Bu bağlamda eğitimin her aşamasındaki öğrencilerde maddenin değişimi ile ilişkili kavramları anlamakta sorunlar yaşandığı söylenebilir. Öğrencilerde bu yanlış ve yanlış bilgilerin oluşmasında etken olarak ise geçmiş deneyimlerden oluşan fikirlerin yanı sıra somutlaştırma amaçlı deneylerin yapılmaması, öğrenme-öğretme sürecinde yapılan yanlışlıklar ve ders kitaplarında yapılan hatalar belirtilmektedir (Coştu, Ayas & Suat, 2007). Şüphesiz bu konu ve kavramların öğretiminde öğrencinin aktif olduğu

etkinlikler, gerçek veya sanal deneyler ve öğrenilenlerin sorgulanması önemli bir yer tutacaktır.

Nitelikli bir fen eğitimi, kavramsal anlama, süreç becerileri, yaratıcılık, tutum geliştirme ve kavramların günlük yaşamda kullanımı olmak üzere beş alandan etkilenir (Yager & McCormack, 1989). Bu alanlardan ikisi kavramla yakından ilgilidir ve bu durum fen eğitiminde kavramsal anlamının önemini gösterir. Anlam oluşturmaya, yorumlamaya ve açıklamaya içeren kavramsal anlama fen bilimlerinde olguları anlamlandırmak için gereklidir (Phanphech, Tanitteerapan & Murphy, 2019). Öte yandan araştırmalar gerçek veya sanal laboratuvar deneylerinin öğrencilerin kavramsal anlamaları (Husnaini & Chen, 2019), süreç becerileri (Sarı, Duygu, Şen & Kırındı, 2020), derse yönelik tutum ve motivasyonları (Sarı, Pektaş, Çelik & Kırındı, 2019) üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu belirtmektedir. Deneysel etkinliklerde öğrenciler bireysel veya grup halinde çalışarak ilk elden deneyimlerle sorgulama ve öğrenme sürecine girer. Bu süreç öğrencilerde fen/fizik yasalarının işleyişini anlama, kavramları tanıma, anlamlandırma ve güçlendirme ile birlikte bilimsel becerilerin gelişmesini de sağlar (Darrah, Humbert, Finstein, Simon & Hopkins, 2014; Sarı, Pektaş, Çelik & Kırındı, 2019). Günümüzde hızla gelişen bazı teknolojiler öğrenme süreçlerinde yerini alarak sağladığı avantajlarla laboratuvar çalışmaları için önemli fırsatlar sunmaktadır. Buna bağlı olarak araştırma-sorgulama sürecini geliştirmek için teknolojiyle güçlendirilmiş laboratuvarların kullanımı önemli bir araştırma konusu olarak son yıllarda sık sık gündeme gelmektedir (Sarı, Pektaş, Çelik & Kırındı, 2019). Mikrodenetleyiciler, mobil veri toplama araçları, artırılmış gerçeklik, simülasyonlar gibi çeşitli teknolojilerin kullanımıyla deneysel faaliyetler artık daha etkileyici bir noktaya ulaşmaktadır (Husnaini & Chen, 2019). Bu teknolojilerin kullanımı veri toplama, veri işleme ve görselleştirme gibi süreçlerde önemli kolaylık sağlamak ve araştırma-sorgulama için gereken zamanı kısaltmaktadır (Russell, Lucas & McRobbie, 2004; Tortosa, 2012). Böylece geleneksel laboratuvarlarda sıklıkla yaşanan veri toplama sürecindeki veri kayıt yöntemlerinin yavaş olması, verilerin az sayıda örnekleme oranına ve düşük hassasiyete sahip olması gibi problemlerin önüne geçilerek pratik şekilde hızlı veri toplama ve grafik çizime imkânı elde edilmektedir (Tortosa, 2012). Bu bağlamda Arduino mikrodenetleyicisi son yıllarda araştırmacı ve eğitimcilerin dikkatini çekmekte ve deneysel faaliyetlere entegrasyonuna yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Sarı, 2019; Sarı & Kırındı, 2020). Arduino mikrodenetleyicisi, çeşitli sensörler yardımıyla fiziksel dış çevre ile etkileşime girerek veri toplama, veri kaydetme ve eyleme dönüştürme özelliğine sahiptir (<https://www.arduino.cc/>). Arduino'nun maliyetinin ucuz olması, esnek ve kolay uygulanabilir bir yapıya sahip olması, hızlı veri toplaması, verileri veri kaydedici ve işleyici sistemlere (Excel, LabVIEW, Matlab vb.) kolay bir şekilde aktarabilmesi, açık kaynak kodlara sahip olması ile sürekli olarak geliştiriliyor olması gibi özellikleri okullarda tercih edilmesinde ve eğitim sürecine dahil edilmesinde büyük bir paya sahiptir (Nichols, 2017). Bu avantajlarla ilişkili olarak maddi kaynaklar nedeniyle gerçekleştirilemeyen veya geleneksel yöntemlerle gerçekleştirme imkânı olmayan, gerçekleştirilse bile veri toplama süreci uzun zaman alan ve verilerde büyük hata payı ortaya çıkan fen deneylerinde Arduino araçlarının kullanılması öğrenenlere faydalar sağlayabilir.

Fen eğitiminde özellikle soyut ve karmaşık olguların gözlenmesine imkân tanınması ve deneylerde zaman, mekân ve maliyet durumlarını ortadan kaldırması gibi avantajlarıyla sürekli gündemde kalan yöntemlerden biri de sanal laboratuvarlardır. Sanal laboratuvarlar, yüksek etkileşimli bir ortam oluşturmak üzere geliştirilen simülasyon tabanlı bir multimedya ortamıdır (Sarı, 2021). Bu ortamda simülasyonlar öğrencilere sürükleyici bir deneyim sağlayarak kavramların karmaşık ve soyut doğasının görselleştirilmesine ve böylece anlamlı hale gelmesine imkan sağlar (Bogusevschi vd., 2018; Rutten vd., 2012). Ayrıca öğrenciler, simülasyonlarla gerçek nesnelere, olaylar ve süreçler hakkında gözlemler yapar, keşfeder, tasarımlar oluşturur ve anında geri bildirim alırlar (Şahin, 2018). Aktif bir öğrenme sürecinde simülasyonlar soru oluşturma, hipotez geliştirme ve veri toplama gibi özgün sorgulama etkinliklerini desteklemek için kullanılabilir (Rutten, Joolingen & Van der Veen, 2012). Simülasyonlar, üst düzey düşünmeye ve problem çözmeye aktif katılımı teşvik eder ve soyut kavramların öğrenilmesini kolaylaştırır (McDonald, 2016). Bununla birlikte, daha az karmaşık fenomenlere yönelik öğrenme çıktıları için simülasyonların en iyi kullanımı gerçek laboratuvarlarla birlikte kullanılması şeklinde önerilmektedir (Brockman vd., 2020). de Jong ve diğerlerine (2013) göre simülasyonlar, öğrencilerin derslerdeki teori ile gerçek laboratuvardaki uygulama arasındaki bağlantıyı kurmalarına yardımcı olur. Bu bağlamda simülasyonların gerçek deneysel faaliyetlerle birlikte kullanımı öğrenme çıktılarına olumlu etkiler oluşturabilir ve kavramsal anlamayı geliştirebilir.

Covid 19 pandemi sürecinde yüz yüze eğitimden çevrimiçi eğitime geçiş yaparken özellikle fen bilimleri öğretiminde yaşanan ana zorluklardan biri öğrencileri sorgulamaya dayalı aktif öğrenmeye dahil etmek ve öğrencilere bilgilerini deneylerle uygulama imkanı vermektir. Bu süreçte sanal laboratuvarlar bir seçenek olarak yerini almıştır (Hines vd., 2020). Bu bağlamda pandemi sürecinde evde eğitime yönelik arayışlarla sık sık gündeme gelen seçeneklerden biri de kendin yap deneyleri (Do-it-yourself experiments) olmuştur. Bu süreçte kendin yap deneyleri kavramların anlaşılmasında oldukça faydalı bulunmakta ve yapılması tavsiye edilmektedir (Coramik & Ürek, 2021; Gya & Bjune, 2021). Bu tarz deneyler basit ve düşük maliyetli olması nedeniyle pahalı laboratuvar araçları olmadan evde veya okulda öğrencilerin gerçekleştirebileceği etkinlikler olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda Arduino araçlarının ucuz olması ve kullanımı kolay olması nedeniyle kendin yap deneylerinde de rahatlıkla tercih edilebilir.

Bu çalışmanın amacı, öğrencilerin kavramsal olarak anlamakta zorlandığı hal değişimi konusuna odaklanarak öğrenmede karşılaşılan güçlükleri ortadan kaldırmaya yönelik teknoloji ile güçlendirilmiş deneysel etkinlik geliştirmektir. Bu amaçla çalışmada, maddenin hal değişimine yönelik okulda ve evde kolaylıkla yapılabilecek düzeyde ve ekonomik bir Arduino deneyi sunulmaktadır. Ayrıca sanal laboratuvar uygulaması ile desteklenerek atomik boyutta somutlaştırma ve gerçek deney ile sanal deneyi birlikte kullanma imkânı sunulmaktadır.

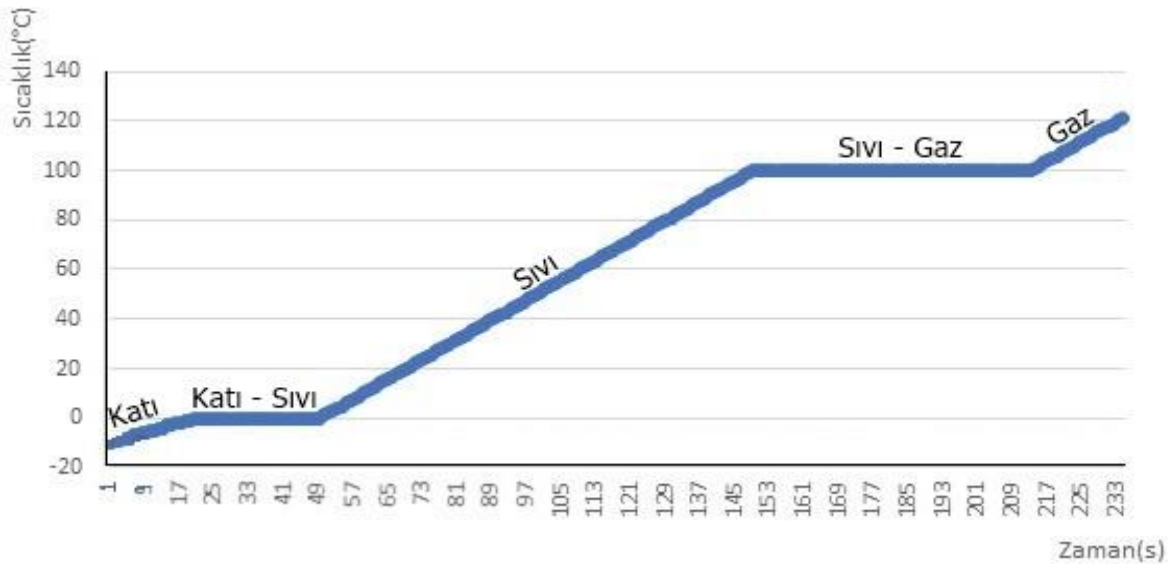
### **Kavramsal Çerçeve**

Isı ve sıcaklık kavramları birbiriyle iç içe olan ve sürekli karıştırılan iki kavramdır. Genel olarak bir maddeyi oluşturan atom ya da moleküller sürekli hareket halindedir ve bu

hareketten dolayı kinetik enerjiye sahiptirler. Örneğin bir kaptaki kaynayan su düşünülürken, kaynayan su moleküllerinin birbirinden farklı hızlarda olduğu, bazılarının yüksek bazılarının ise daha düşük hıza sahip olduğu söylenebilir. Dolayısıyla bu kaptaki suyun sıcaklığını ifade etmek için su moleküllerinin kinetik enerji ortalamalarının bir göstergesi düşünülmalıdır. Bu durumda sıcaklık; bir maddeyi oluşturan moleküllerin sadece bir tanesinin sahip olduğu ortalama kinetik enerjileri ile orantılı bir büyüklük şeklinde tanımlanabilir (Yılmazlar, 2019). Öte yandan bir maddenin molekülleri öteleme hareketi ile birlikte titreşim ve dönme hareketi de yaparlar. Dolayısıyla bu hareketlere bağlı titreşim ve dönme kinetik enerjileri de vardır. Ayrıca atom veya molekülleri bir arada tutan potansiyel enerjide dikkate alındığında, bir maddenin yapısındaki taneciklerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı maddenin iç enerjisini oluşturur. Buradan anlaşılacağı üzere madde miktarı ile iç enerji doğru orantılıdır. Ayrıca iç enerji sıcaklığa da bağlıdır. Aynı cins ve miktarda maddeden oluşan iki sistem için sıcaklığı yüksek olanın iç enerjisi daha fazla olacaktır. Eğer sıcaklıkları farklı iki madde birbiriyle temas ederse sıcaklığı fazla olandan az olana doğru bir enerji aktarımı olur. Maddelerin iç enerjilerinde değişime neden olan bu enerji akışı her iki maddenin sıcaklıkları eşit oluncaya kadar devam eder. Burada iç enerjinin aktarılan kısmına ısı denir. Bir başka ifadeyle ısı maddenin iç enerjisindeki değişim miktarıdır (Gönen & Akgün, 2005). Isı kavramı bir enerji çeşidi olduğu için birim olarak "joule" kullanılmakta ve ölçümü de kalorimetre kabı ile gerçekleştirilmektedir. Sıcaklık ise ısıdan ziyade küçük ölçekli olmayıp daha büyük ölçekte taneciklerin değil bir sistemin durumunu tanımlayan parametrelerden biridir. Sıcaklık bilgisi (diğer parametrelerle birlikte), bir sistem başka bir sistemle etkileşime girdiğinde meydana gelecek değişiklikleri tahmin etmek için temel bilgidir (Erickson & Tiberghien, 1985). Sıcaklık bir enerji çeşidi değildir, sistemin durumunu karakterize eden bir niceliktir. Sıcaklığın birimi Celsius (°C) tur. Isı ise sistemler arasındaki etkileşimleri tanımlayan bir parametredir ve bir enerji transferi sürecidir.

"Isı alan bir maddenin/sistemin sıcaklığı artar" ifadesi kavram yanlışlığı içeren bir ifadedir. Çünkü bir maddeye/sisteme ısı verildiğinde ısı değişirken sıcaklığın değişmediği durum da vardır. Hal değişimi olarak bilinen bu durum maddenin fiziksel olarak katı, sıvı ve gaz formları arasındaki yer değiştirme durumu olarak tanımlanabilir. Hal değişimi fiziksel bir değişimdir ve bu değişim sürecinde maddenin tanecikleriyle ilgili herhangi bir değişim meydana gelmez. Madde, aldığı ısı etkisiyle hal değiştiriyorsa değişim boyunca sıcaklık artışı olmadığı, yani sıcaklık sabit kalırken ısı aktarımının devam edebildiği (parçacıkların potansiyel enerjilerinin değiştiği) bilinmektedir (Fuchs, 1987). Günlük hayatta ısı, sıcaklık ve hal değişimi kavramlarıyla sürekli olarak karşılaşmaktadır. Örneğin yıkanan çamaşırları kuruması amacıyla açık havaya bırakıldığında kumaş dokusundaki su tanecikleri buharlaşırken bu durum halk arasında hal değişimi olarak değil kuruma olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte bir bölgeye mevsime bağlı olarak yağmur veya kar yağması da yine hal değişimi örneğidir. Hal değişimi kavramı günlük hayatta karşımıza çıkması ile birlikte ilköğretim ortaöğretim kademesine fen/fizik/kimya programlarında yer alan bir konudur (MEB, 2018). Hatta yükseköğretim seviyesinde de bazı bölümlerin ders müfredatlarında fizik ve kimya dersleri içerisinde konu olarak bulunduğu bilinmektedir (YÖK, 2018).

Ortaokul fen bilimleri müfredatında hal değişimi konusuna yönelik öğrencilere matematiksel ifadeler girilmeden, deneysel yollarla hal değişimi kavramı ve buna ilişkin grafiklerin çizilip yorumlama becerisinin kazandırılması beklenmektedir. Öğrencilerin çizdikleri grafikler sonucunda hal değişimi esnasında madde ısı almaya devam ediyor olsa bile sıcaklığın sabit kalabileceğini deneysel olarak gözlemlenmeleri ve yorumlamaları beklenmektedir. Bununla birlikte ısınma ve soğuma grafiklerinin birbirinin tersi olduğunu ve erime-donma, buharlaşma-yoğuşma noktalarının saf maddeler için sabit ve aynı sıcaklık derecesi olduğuna ilişkin yorum yapabilmeleri amaçlanmıştır (MEB, 2018). Bu amaç doğrultusunda hal değişimi konusuna yönelik ders içeriklerinin saf suya ait sıcaklık-zaman değişimi grafiği üzerinden biçimlendirildiği söylenebilir. Şekil 1’de görüldüğü gibi dışarıdan ısı verilen bir buz parçası, 0°C’ a kadar buz (katı hal) halini koruyarak ısı alır ve sıcaklık artışı gözlenir. 0°C sıcaklıkta da buz erimeye başlar ve tamamı sıvı hale geçinceye kadar ısı alımına rağmen sıcaklık değişmez. Tamamen suya dönüşümden sonra ısı artışıyla birlikte sıcaklık artışı devam eder. Alınan enerji yeterli bir noktaya ulaştığında sıvıdan gaz haline değişim başlar ve bu süreçte sıcaklık sabit kalır. Sıvının tamamı gaz haine geçtiğinde ise yeniden sıcaklık değişimi başlar. Veri toplama sürecinin uzun olması ve öğrenme ortamında yapılandırılmaması gibi nedenlerle bu süreç genellikle doğrudan çizilen grafik yardımıyla biçimlendirilir. Oysaki hal değişimi sürecinin deneysel olarak gözlenmesi, ilgili verilerin toplanması ve bu verilerin grafiğe dönüştürülmesi ile anlamlı öğrenme gerçekleşebilir.



**Şekil 1.** Saf suya ait hal değişimi (sıcaklık-zaman değişimi) grafiği

Öğrencilerin ilkököl ve ortaokul kademelerinde ısı, sıcaklık ve hal değişimi kavramlarına ilişkin somut deneyimler gerçekleştirilmesi, öğrenmenin anlamlı ve daha kalıcı olmasına ve ilişkili kavram yanılgılarının önüne geçilebilmesine olanak tanıyabilir. Bu bağlamda mevcut çalışmada öğretmenlere rehber olabilmesi amacıyla, sekizinci sınıf hal değişimi konusuna ilişkin öğrencilerin somut deneyimler yaşayabileceği, hızlı ve ekonomik bir şekilde veri toplayıp

grafik çizimlerini gerçekleştirebilecekleri bir deneysel tasarım sunulmaktadır. Ayrıca deney sanal olarak simülasyonlarla desteklenerek zenginleştirilmiştir.

### **Yöntem**

Bu çalışmada, 8.sınıf fen bilimleri dersi konularından ısı, sıcaklık ve hal değişimi kavramlarının öğrenme - öğretme sürecinde daha kolay anlaşılmasını ve kavramların anlamlı hale gelmesini sağlayacak bir deney tasarlanması üzerine odaklanılmıştır. Öncelikle konuyla ilgili fen bilimleri dersi öğretim programı kazanımları incelenmiş ve deneye dair sınırlar oluşturulmuştur. Bahsi geçen kazanımlar aşağıda verilmiştir (MEB, 2018):

*“F.8.4.5.1. Isınmanın maddenin cinsine, kütlesine ve/veya sıcaklık değişimine bağlı olduğunu deney yaparak keşfeder.*

*a.  $Q=m.c. \Delta t$  bağıntısına girilmez.*

*b. Bağımlı, bağımsız ve kontrol edilen değişkenler örneklerle açıklanır.*

*F.8.4.5.2. Hâl değiştirmek için gerekli ısının maddenin cinsi ve kütlesiyle ilişkili olduğunu deney yaparak keşfeder.*

*a. Saf maddelerin hâl değişimi sırasında sıcaklığının sabit kaldığına değinilir.*

*b. Matematiksel hesaplamalara girilmez.*

*F.8.4.5.3. Maddelerin hâl değişimi ve ısınma grafiğini çizerek yorumlar.*

*F.8.4.5.4. Günlük yaşamda meydana gelen hâl değişimleri ile ısı alışverişini ilişkilendirir.”*

Kazanım ifadeleri incelendiğinde öğrencilerin genel olarak maddelere ait ısı alışverişleri ile ilgili yorum yapabilmeleri amaçlanmış, matematiksel hesaplamalara ise olabildiğince az değinilmesi hedeflendiği görülmüştür. Öğrencilerin saf maddelerin hal değiştirmelerine dair gözlem yapabilmeleri ve bu gözlemleri üzerine yorum yapabilmeleri de kazanım ifadelerinde belirtilenler arasındadır. Ek olarak farklı maddelerin ısınma soğuma durumlarının da öğrenciler tarafından kavranması ve günlük yaşamda gerçekleşen hal değişim olayları hakkında da ısı alışverişi ve sıcaklık değişimleri doğrultusunda yorum yapabilmeleri yönündeki amaçlar da kazanımlarda ifade edilmiştir. Deney tasarlanırken kazanımlarda belirtilen bu sınırlılıkların göz önünde bulundurulmasına özen gösterilmiştir.

### **Arduino deneyi**

Deney düzeneği; Arduino Uno kartı (Şekil 2a), breadboard, jumper kablo, DS18B20 sıvı geçirmez sıcaklık sensörü, beherglas, ispirto ocağı, uçayak, bir miktar distile edilmiş(saf) su ve saf etil alkolden oluşmaktadır. Deneyde kullanılan DS18B20 su geçirmez sıcaklık sensörü, dijital bir sensördür ve 1m uzunluğundaki kablosu yardımıyla derin mesafelerdeki sıcaklık rahatlıkla ölçülebilir (Şekil 2b). 1-Wire terminali kullanarak mikroişlemci ile iletişim kurar ve 9-12 bit arası okuma gerçekleştirebilir. -55 °C ile +125 °C sıcaklık aralığında  $\pm 0.5$  °C hata payı ile ölçebilen hassas bir sensördür. DS18B20 suya dayanıklı kablolu modeli, su ve yağ gibi ıslak ortamlarda, kuru havada ve toprak gibi sert zeminlerde ölçüm yapılmasını sağlar. Sensörde sarı kablo

data(DQ) kablosu, siyah kablo GND şase kablosu, kırmızı kablo ise VCC gerilim kablosudur. (DS18B20 Waterproof Temperature Sensor Datasheet).

İlk olarak distile su tek bir kütle halinde dondurulmuş ve dondurma işlemi esnasında sıcaklık sensörünün buz kütlesi içerisinde kalması sağlanmıştır. Bunun amacı deney sırasında ısıtma işlemi uygulanırken değişen sıcaklık değerini en az hatayla tespit edebilmektir. Tamamen donan buz kütlesine ısı verilmeden önce Arduino devresinin kurulumuna ve verileri toplayacak uygun kodları yazma işlemine geçilmiştir. Kullanılacak olan sıcaklık sensörünün doğru çalışmasını sağlayacak şekilde bağlantıları gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Daha sonra ise yine sıcaklık sensörünün yazılımı için gerekli olan kütüphane dosyaları (OneWire, DallasTemperature) Arduino programı içerisine kurulmuş ve kod yazılımı işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Yazılan kod sonrasında hata ayıklama süreci gerçekleştirilerek doğru ölçüm yapılıp yapılmadığı kontrol edilmiş ve eksik olan kısımlar düzeltilerek doğru bir şekilde veri toplaması sağlanmıştır. Tüm bağlantılar ve kod işlemleri tamamlandıktan sonra beher içerisindeki buzun ilk sıcaklığının ölçülmesi ve kaydedilmesi sağlanmıştır. Daha sonra beher içerisindeki buz kütlesi uçayak üzerine koyarak ispirota ocağı ile sabit bir ısı enerjisi verilmeye başlanmış ve ölçüm sonuçları Arduino'nun seri portunda toplanmaya başlanmıştır. Bir süre sonra ölçülen sıcaklık değerinin 0°C dolaylarında olduğu ve sabite yakın bir biçimde ihmal edilebilecek seviyelerde artıp azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda bu sabit sıcaklıkta buzun da erimeye başladığı gözlemlenmiştir. Buz kütlesi tamamen eriyip sıvı hale(su) gelene kadar ise sıcaklık değerinin sabit sayılabilecek düzeyde kaldığı gözlemlenmiştir. Bu sabit kalma esnasında verilerin dikkatli bir şekilde kaydedilmesi için düzenek sık sık kontrol edilmiş ve verilen ısı miktarında veya sensörün katı - sıvı karışım içerisindeki konumunun değişmemesi için özen gösterilmiştir. Katı - sıvı haldeki madde bir süre sonra tamamen sıvı hale gelmiş ve sıcaklığı yeniden doğrusal bir biçimde artmaya başlamıştır. Verilen ısı sabit olmasına rağmen sıcaklık iki madde fazında sabit kalıyorken tek madde fazında doğrusal olarak artmıştır. Artan sıcaklık dolayısıyla sıvıda bir süre hareketlilik gözlenmiştir. Bulunulan ortamın deniz seviyesinden yüksekliği ve dolayısıyla açık hava basıncı nedeniyle sıcaklık 100°C'a ulaşmadan 97°C dolaylarında( $\pm 0,5$ ) kaldığı görülmüş ve bu sıcaklık seviyesinde kaynamaya başladığı yani hal değiştirmeye başladığı gözlemlenmiştir. Kaynama süresince beher içerisindeki tüm sıvı buharlaşana kadar veri toplanmaya devam edilmiş ve sıcaklığın sıvının kaynamaya başladığı sıcaklıkla aynı kaldığı görülmüştür. Hal değişimleri tamamlandıktan ve beherdeki su tamamen buharlaştıktan sonra veri kaydına devam edilmiş ve sensörün algıladığı sıcaklık değerinin tekrar doğrusal bir biçimde arttığı gözlemlenmiştir. Sensörün ölçebileceği en yüksek değere gelindiğinde ise (125°C) sıcaklık değeri ısı verilmesine rağmen sabit kalmıştır. Sensörün özellikleri göz önünde bulundurularak ısı verme işlemleri sona erdirilmiştir.



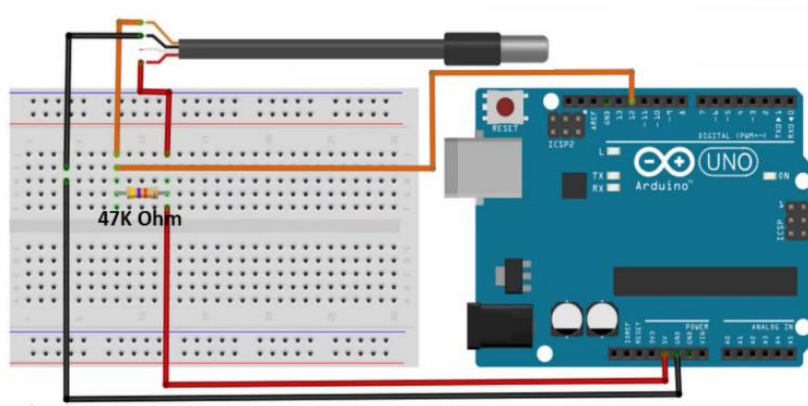


(a)

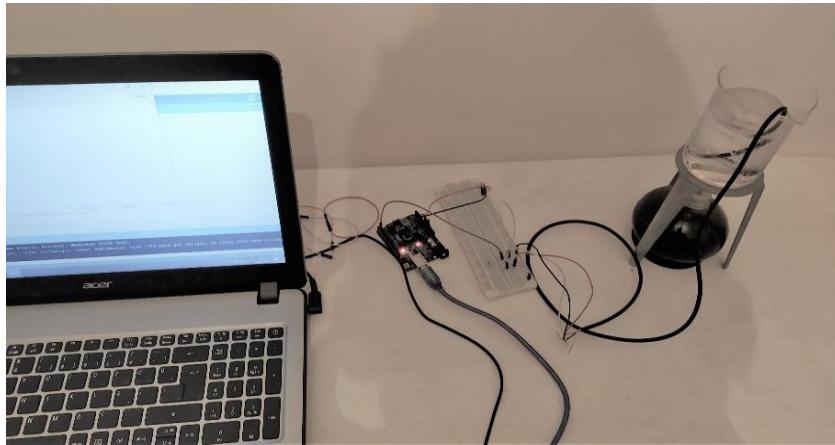


(b)

Şekil 2. (a) Arduino Uno mikrodenetleyicisi, (b) DS18B20 sıcaklık sensörü



(a)



(b)

Şekil 3. (a) DS18B20 sıcaklık sensörü bağlantı şeması, (b) Deney düzeneği

Deneyin ikinci adımında sıvı halde bulunan etil alkolün sabit ısı enerjisi verilerek hal değiştirmesi amaçlanmıştır ve ilk adımda saf su ile kurulan düzeneğin aynı etil alkol sıvısı ile kurulmuş, ilk sıcaklık ölçümü yapılmış, kaydedilmiş ve sabit ısı enerjisi verilerek Arduino seri portunda sıcaklık artışı ve hal değişim durumu gözlemlenmiştir. Isınma sürecinde seri portta

okunan sıcaklık değerinin sürekli olarak artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı gerçekleştikçe etil alkol sıvısının taneciklerinin hareketlendiği de net bir şekilde gözlemlenmiş ve 76°C dereceye geldiğinde ise kaynamaya başlamış ve sıcaklık değişimleri ihmal edilebilir düzeyde yükselip alçalmıştır ve genel itibariyle sıcaklığın sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Etil alkol sıvısının deniz seviyesi ve 1atm basınçta 78°C derecede kaynadığı bilinmekle beraber, bulunulan ortamda daha düşük bir sıcaklıkta kaynama ve hal değişimine uğrama durumu tıpkı saf suda olduğu gibi yükseklik ve açık hava basıncı etkenlerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Hal değişimi tamamlandıktan ve beherdeki etil alkol tamamen buharlaştıktan sonra veri kaydına saf suda da olduğu gibi devam edilmiş ve sensörün algıladığı sıcaklık değerin doğruşal bir biçimde arttığı gözlemlenmiştir.

```
#include <OneWire.h> // OneWire kütüphane dosyası çağrıldı
#include <DallasTemperature.h> // DallasTemperature kütüphane dosyası çağrıldı
OneWire oneWire(2);
DallasTemperature DS18B20(&oneWire);
DeviceAddress DS18B20adres;
float santigrat;
void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  DS18B20.begin();
  DS18B20.getAddress(DS18B20adres, 0);
  DS18B20.setResolution(DS18B20adres, 12);
}
void loop(void) {
  DS18B20.requestTemperatures();
  santigrat = DS18B20.getTempC(DS18B20adres);
  Serial.print(santigrat);
  Serial.print(" C -- ");
  delay(1000);
}
```

**Şekil 4.** Veri toplamak için kullanılan Arduino program kodu

### ***eduMedia simülasyon uygulaması***

eduMedia, fen bilimleri ve matematik alanlarında animasyon, video ve simülasyonlar gibi etkileşimli uygulamalar sunan HTML5 formatında bir eğitim portalıdır (<https://www.edumedia-sciences.com>). Bu ortam içerisinde yer alan “Suyun 3 Hali” (<https://www.edumedia-sciences.com/tr/media/133-suyun-3-hali>) isimli simülasyon uygulaması kullanılarak hal değişimi olayı incelenebilir. Bu uygulama maddenin üç haline göre moleküllerin davranışlarını, hal değişimi esnasında sıcaklığın değişmediğini ve maddenin iki fazda birden bulunabileceğini sanal olarak gözleme imkânı sunar. Sanal ortamda uygulama; bir beherglas, dijital termometre, sacayak, bünzen beki ve buz parçalarından oluşur. Beherglas içerisinde buz parçaları varken kullanıcılar “ısıt” butonunu kullanarak simülasyon başlatılır. Bu esnada sistem ısı alırken dijital termometre ile sıcaklık değişimi gözlenir. Ayrıca maddenin bulunduğu faza göre moleküllerin yapısı ve hal değişimine bağlı

olarak moleküllerin davranışı simüle edilmiş halde gözlenir. Simülasyon sayesinde buzun ısıtılması sürecinde; katı, sıvı ve gaz halinde iken sıcaklığın arttığı, hal değişimi esnasında sıcaklığın sabit kaldığı ve maddenin aynı anda katı - sıvı, sıvı - gaz şeklinde iki fazda birden bulunduğu gözlemlenir. Bu uygulama sanal laboratuvar uygulaması olarak tek başına kullanılabilir. Bu çalışmada Arduino araçlarıyla gerçekleştirilen gerçek deneyi destekleyici olarak kullanılması planlanmıştır.

### **Etik ile İlgili Hususlar**

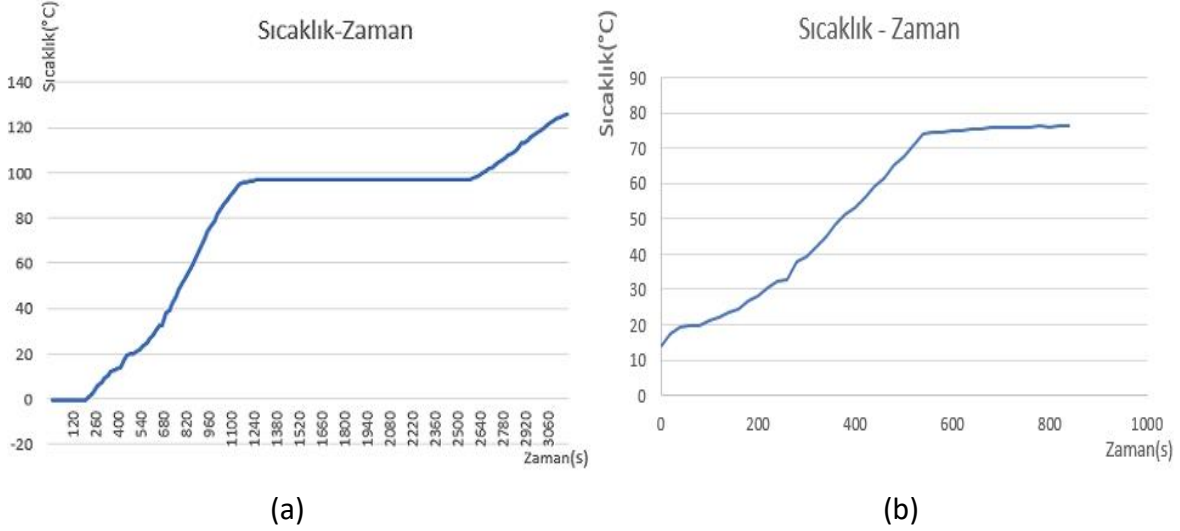
Bu çalışma fen öğretimi alanına yönelik bir etkinlik geliştirme/deney tasarımı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma herhangi bir veri toplama süreci içermediğinden etik izin belgesi gerektirmemektedir.

### **Bulgular**

Deneyde saf su ve etil alkolün ısı alması süreçlerinde sıcaklık sensörünün Arduino seri porta aktardığı veriler Microsoft Excel programına aktararak iki ayrı tablo haline getirilmiştir. Saf suya ait verilerden örnekler Tablo 1’de verilmiştir. Her iki maddeden elde edilen veriler ayrı ayrı kullanılarak sıcaklık-zaman değişimine ait grafikler oluşturulmuştur (Şekil 5).

**Tablo 1.** Arduino deneyinde toplanan saf suya ait sıcaklık-zaman verilerinden örnekler

Zaman (s)	Sıcaklık ( °C)	Zaman (s)	Sıcaklık ( °C)
0	-0,31	740	41,94
20	-0,31	760	44,94
40	-0,31	780	48,5
60	-0,31	800	51,25
80	-0,31	880	56,19
100	-0,31	960	59,6
120	-0,31	1000	67,75
400	13,63	1160	79
420	13,81	1240	86,56
460	17,31	1320	93,87
500	19,75	1400	97
580	24,62	1420	97
620	28,31	1440	97,06
660	32,44	3140	124,68
700	37,88	3160	125,34



**Şekil 5.** a) Saf suyun ısınma grafiği, b) Etil alkolün ısınma grafiği

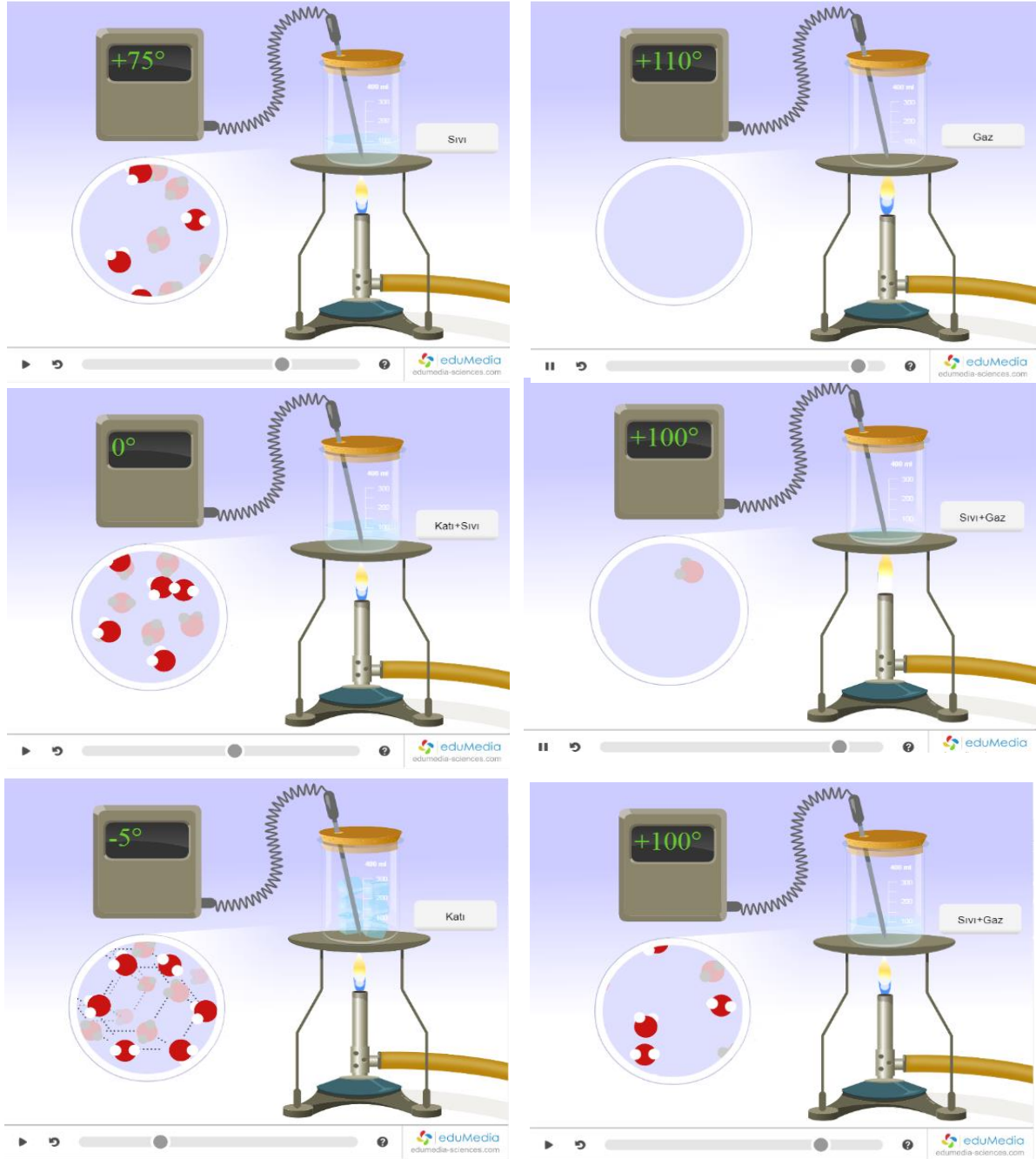
Şekil 5(a) ve Şekil 1’de verilen grafikler karşılaştırıldığında deneysel grafik ile literatürde verilen teorik grafiğin aynı karakteristik özellikleri sergilediği ve dolayısıyla deney verilerinin beklenen veriler ile yüksek oranda uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca etil alkole ait ısınma grafiğinin de benzer karakteristik sergilediği söylenebilir. Saf su ve etil alkole ait her iki grafikte de sıcaklığın belirli süre aralıklarında sabit kaldığı, belirli süre aralıklarında da doğrusal bir şekilde yükseldiği gözlenmektedir. Sabit sıcaklık değerlerinde ısı verme sürecine katı halde başlanılan saf su için erime ve buharlaşma, sıvı halde başlanılan etil alkol için ise sadece buharlaşma gözlemlenmiştir. Sıcaklığın sabit kaldığı zaman aralıklarında maddelerin iki fazının da (katı - sıvı, sıvı - gaz) bir arada bulunduğu durumlar gözlenmiştir. Şekil 5’te sıcaklığın saf su için 0°C ve 97°C derecede, etil alkol için ise 76°C derecede sabit kaldığı görülmektedir. Bu sıcaklıklarda maddeler hâl değiştirmiştir. Yani 0°C buzun erime sıcaklığı, 97°C ise suyun kaynama sıcaklığıdır. Etil alkolde ise 76°C kaynama sıcaklığıdır. Buharlaşma ise her sıcaklıkta olur. Deneyde beherglas içerisinde maddenin tek fazının gözlemlendiği durumlarda (sadece katı, sıvı veya gaz) ise sıcaklık artışının doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Deneyde elde edilen bu bulgular literatürde kabul gören ve oluşması beklenen grafikler ile uyumludur (Yılmazlar, 2019).

Deney süresince ısı kaynağından maddelere sürekli ısı verildiği halde hal değişimi esnasında sıcaklık sabit kalmıştır. Hal değişimi esnasında maddelerin sıcaklığının sabit kalma sebebi maddenin belirli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra kendisini oluşturan taneciklerinin birbirlerinden uzaklaştığı (hal değiştirdiği) anlarda aralarındaki bağları koparabilmek için ısı kaynağından alınan ısı enerjisinin kullanımınıdır (Beichner, 2002). Yani ısı enerjisi, saf maddenin sıcaklığını sürekli olarak arttırmadığı zamanlarda da maddeye etkisini sürdürmektedir. Ayrıca deney süresince sıcaklık sensörünün topladığı veriler ve bu verilerden oluşturulan grafik detaylı olarak incelendiğinde maddenin deneye başlandığındaki kütlesi ile sabit ısı etkisinde gerçekleşen sıcaklık değişiminin süreç boyunca aynı oranda olmadığı görülmektedir. Suyun 10°C dereceden 30°C’ye gelmesi 300 saniye sürmüştür ve bu zaman diliminde kütlesinin 270g olduğu not edilmiştir. Belli bir süre ısıtmaya devam eden maddenin bulunduğu kabın ağızının

açık olması dolayısıyla buharlaşma gerçekleşmiş ve maddenin bir kısmı kaptan eksilmiştir. 60°C'den 80°C'ye ulaşması için geçen sürenin ise 140sn olduğu gözlenmiştir. Bu süre zarfında maddenin kütlesinin 263g'a düştüğü ve buharlaşmadan kaynaklı olarak da azalmaya devam ettiği gözlenmiştir. Gözlemlenen bu durumlar maddeye sabit ısı verilmesi durumunda gerçekleşen sıcaklık artışının madde miktarı azaldıkça, yani buharlaşma gerçekleştikçe daha hızlı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda verilen ısı enerjisi sabit kalmak koşuluyla madde miktarı azaldıkça maddenin sıcaklığındaki artış oranının birim zaman bazında arttığı, madde miktarı arttığında ise bu artışın birim zamanda bazında daha az olduğu görülmektedir. Bir başka ifadeyle maddelerin ısınma ve soğumasında etkili olan faktörlerden biri de maddenin kütlesidir şeklinde bir sonuç çıkarılabilir.

Deneyden çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise hâl değiştirmek için gerekli ısının maddenin cinsi ile ilişkili olduğu sonucudur. Maddeler üzerinde ayırt edici özelliklerden olan erime, donma ve kaynama noktası gibi özellikler deney süresince gözlenebilmektedir. Öyle ki saf su 97°C derecede kaynarken etil alkol 76°C derecede kaynamaya başlamış ve bu maddelerin birbirlerinden ayırt edilebilmesini sağlamıştır. Ayrıca tasarlanan deney ile maddeye ait öz ısı kavramı da irdelenebilir. Özgül ısı, öz ısı ya da ısınma ısısı, bir maddenin 1 gramının sıcaklığını 1C° arttırmak için gerekli olan ısı enerjisi miktarıdır (Yılmazlar, 2019). Deneyde önce saf su, daha sonra ise etil alkol kullanımı ile maddenin öz ısısına bağlı olarak ısınma ve hal değişim süreci incelenmiştir. Saf suyun öz ısı değeri 1 cal/g°C veya 4.18 J/g°C, etil alkolün öz ısı değeri ise 0.58 cal/g°C veya 2.54 J/g°C değerleri ile ifade edilmektedir. Öz ısı değeri arttıkça maddenin ısınma ve soğuma süresi de artış gösterirken aynı şekilde maddenin öz ısı değeri azaldıkça ısınma ve soğuma süresi doğru orantılı olarak azalmaktadır. Deney verilerinden (Şekil 5) saf su ile etil alkolün eşit süre sonunda gerçekleşen sıcaklık değişimleri karşılaştırıldığında etil alkolün saf suya göre daha yüksek değerlerde bir sıcaklık artışı gösterdiği gözlenmektedir. Bu da öz ısı değerinin birim zamanda gerçekleşen sıcaklık değişimi ile doğru orantılı olduğunu desteklemektedir.

Arduino ile gerçekleştirilen deneyle birlikte "Suyun 3 Hali" isimli simülasyon kullanılarak öğrenme çıktıları artırılabilir. Sanal ortamda suyun hal değişimi olayı incelenerek gerçek deneyle benzer çıkarımlara ulaşılabilir. Şekil 6'da görüldüğü gibi sanal ortamda suyun buz halinde ısıtılması ile deney başlatılır. Deney süresince maddenin sıcaklık değişimi ve faz değişimi sanal olarak gözlenir. Dijital termometre ile sıcaklık değerleri okunur ve hal değişimi esnasında sıcaklığın sabit kaldığı ancak maddenin molekül diziliminin değiştiği, yani faz değişiminin olduğu gözlenir. Gerçek deneyde hal değişimi sürecinde moleküllerin davranışının gözlenme imkânı yoktur. Simülasyon ile bu süreç gözlenerek hal değişimi esnasında ısıtılma sürecinin devam ettiği ve maddeye verilen ısının moleküllerin dizilimini etkilediği gözlenir. Bir başka ifadeyle maddeye verilen ısının maddenin sıcaklığını sürekli olarak arttırmadığı zamanlarda maddeye etkisini görme imkânı verir. Böylece gerçek deneyde hal değişim sürecindeki sıcaklık değerinin sabit kalması durumu öğrenciler için daha anlamlı hale gelecektir. Sanal deneyde ayrıca maddenin aynı anda iki fazda bulunduğu da gözlenebilmektedir.



Şekil 6. Buzun ısıtılması sürecine ait eduMedia simülasyon görüntüleri.

### **Tartışma ve Sonuç**

Bu çalışmada saf maddelerin (su ve etil alkol) hal değişim süreçlerini incelemek için Arduino tabanlı bir deney tasarlandı. Ayrıca gerçek ekipmanlarla gerçekleştirilen bu deney sanal ortamla desteklendi. Deney Arduino Uno kart ile birlikte DS18B20 sıcaklık sensörü, ısıpito ocağı, sacayak, beherglas gibi ekipmanlar kullanarak ucuz ve pratik şekilde yapılabilir. Deneyde saf su ve etil alkolün ısıtılma sürecine ait sıcaklık-zaman verileri toplanmıştır. Süreç boyunca maddelerin aynı anda iki fazda (örneğin katı - sıvı gibi) bulunabileceği, maddeler ısıtıldıkça sıcaklığının arttığı ancak hal değişimi esnasında sıcaklığın sabit kaldığı gözlenmiştir. Benzer bulguların simülasyon programı ile sanal olarak da gözlenebileceği, ayrıca hal değişim

esnasında molekül davranışlarının izlenebileceği ve böylece hal değişimi sürecinde ısının maddeye etkisinin sanal olarak görülebileceği belirtilmiştir. Deneyde saf su ve etil alkol için elde edilen sıcaklık-zaman değişimi grafiği ile literatürde verilen grafikler arasında uyum olduğu görülmüştür (Beichner, 2002). Eğiticiler öğrenme-öğretme sürecinde Arduino deneyi ile sanal deneyi birlikte kullanarak öğrenme çıktılarını artırabilirler ve kavramsal anlamayı geliştirebilirler (Brockman vd., 2020; de Jong vd., 2013).

Öğrenciler kimi zaman bilinçli kimi zaman ise farkında olmadan hal değişimi ile ilişkili günlük yaşamdan örneklerle karşılaşmaktadırlar. Ortaokul müfredatında ise daha çok saf suyun hal değişim grafiği üzerinden konu işlenmektedir. Ancak okullarda araç-gereç eksikliği, maliyet ve zaman problemi gibi nedenlerle hal değişimi olayı deneysel olarak incelemek ve deney verilerinden grafiği oluşturmak yerine daha çok literatürde verilen grafik üzerinden değerlendirilmektedir. Literatüre göre öğrencilerin hal değişimi konusuna yönelik yetersiz bilgi, yanlış bilgi ve kavram yanılgılarına sahip olduğu (Duman & Gülşen, 2016; Ural & Uğur, 2021) değerlendirildiğinde ilgili deneyin gerçekleştirilmesi bu sorunlar giderilebilir ve somut deneyimler ile öğrenme daha anlamlı olabilir.

Çalışmada sunulan deneyde sadece sıcaklık-zaman verilerini toplamak değil aynı zamanda bu verilerden grafik oluşturmak da amaçlanmaktadır. Dolayısıyla öğrencilerin süreçte aktif olarak deney verilerinden hal değişim grafiğini kendilerinin oluşturmaları ve elde edilen grafik ile gözlemlenen deney sürecini birlikte yorumlamaları beklenmektedir. Bir başka ifadeyle öğrencilerin grafik çizme, okuma ve anlama becerilerini kullanmaları beklenmektedir. Grafikler, birçok fen kavramı arasındaki ilişkileri ifade eden önemli araçlardır. Bu nedenle öğrencilerin fen kavramlarında değişkenler arasındaki ilişkileri anlama ve yorumlama becerisi doğrudan grafikleri anlama ve yorumlama derecesine bağlıdır (Demirci & Uyanık, 2009; Sari, Pektaş, Çelik & Kirindi, 2019). Öte yandan bazı araştırmalar öğrencilerin fen derslerinde grafik çizme, okuma ve anlama ile ilgili zorluklar yaşadığını işaret etmektedir (Tairab & Khalaf Al-Naqbi, 2004; Kranda & Akpınar, 2019; Yayla & Özsevgeç, 2015). Tekerek ve Cebesoy (2017), çalışmalarında ortaokul sekizinci sınıf öğrencilerin ısı ve sıcaklık konusundaki grafikleri okuma ve yorumlamada güçlükler yaşadıklarını ortaya koymuşlardır. Bu bağlamda geliştirilen deneyin okulda gerçekleştirilmesi ile öğrencilerin grafik çizme, okuma ve anlama becerilerine de katkı sağlayacağı düşünülebilir. Zira bu becerilerin geliştirilmesinde en etkili yol ilgili becerileri kullanmaktır.

Günümüzde öğrencilerin küçük yaşlardan itibaren teknolojiyle buluştuğu dijital bir dönem yaşanmaktadır. Bu durum öğrencilerin teknolojiye yönelik ilgi, tutum ve hazırbulunuşluklarını arttırmakla beraber bu tarz etkinliklerin öğrencilerle birlikte gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Böyle bir teknolojik dönemde Arduino araçlarının öğrenme sürecinde kullanılması veri toplama, veri işleme ve görselleştirme gibi süreçlerde önemli kolaylık sağlamakla birlikte öğrencilerde önemli bir motivasyon kaynağı da olabilir (Tortosa, 2012). Bu bağlamda Arduino araçlarının fen bilimleri öğrenme-öğretme sürecine dahil edilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.



Deneyde kullanılan araç-gereçler ucuz ve kolaylıkla temin edilebilecek düzeydedir. Ayrıca ispirto ocağı, sacayak gibi araçların yerine her evde bulunabilen araç-gereçler de tercih edilebilir. Öte yandan günümüz öğrencilerinin teknoloji ile yakın ilişkisi düşünüldüğünde basit düzeyde kodlama bilgisi olan öğrenciler evde deney düzeneğini hazırlayıp olası tehlike ve risklere karşı güvenlik önlemlerini alarak deneyi gerçekleştirebilir. Hatta hiçbir kodlama bilgisi olmayan öğrenciler bile bu çalışmada verilen deneysel süreci adımı adım işleterek deneyi gerçekleştirebilir. Bu bağlamda tasarlanan deney evde eğitime yönelik kendin yap deneyi olarak kullanılabilir. Böylece pandemi gibi çeşitli nedenlerle gerçekleşen evde eğitim sürecinde ilgili kavramların anlaşılmasına önemli katkılar sağlayabilir (Gya & Bjune, 2021).

### **Öneriler**

Arduino araçları kullanılarak tasarlanan bu deney, maliyeti ucuz ve basit olması nedeniyle öğrenme ortamlarında öğretmen ve öğrenciler tarafından yapılabilir.

Deney süreci uygun şekilde yapılandırılarak hal değişimi konusunda yaşanan öğrenme problemleri giderilebilir ve öğrencilerde grafik çizme, okuma ve anlama becerilerinin gelişimine katkı sağlanabilir.

Özellikle Covid-19 pandemi sürecinde ön plana çıkan uzaktan öğretim sürecinde bu deney, basit ve düşük maliyetli olması nedeniyle öğrenciler tarafından evde kendin yap deneyi olarak rahatlıkla kullanılabilir.

Deneyde kullanılan sıcaklık sensörü yerine mesafe sensörü, basınç sensörü ve kuvvet sensörü gibi farklı araçlar kullanılarak fen bilimlerinde farklı konulara yönelik deneysel tasarımlar gerçekleştirilebilir.

### ***Yazarların Makaleye Katkı Oranları***

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında her iki yazarda %50 oranında katkıda bulunmuştur.

### ***Çıkar Beyanı***

Bu çalışmanın yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması söz konusu değildir.

### ***Destek Beyanı***

Bu çalışmada sunulan öğretim etkinliği TÜBİTAK tarafından desteklenmiş bilim toplum projesi (Proje No: 119B987) kapsamında geliştirilmiştir.

### ***Etik Beyanı***

Bu çalışmanın yazım sürecinde bilimsel, etik ve alıntı kurallarına uyulmuş olduğunu; toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamış olduğunu, karşılaşılabilecek tüm etik ihlallerde "*Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi Yayın Kurulunun*" hiçbir sorumluluğunun olmadığını, tüm sorumluluğun yazarlara ait olduğunu ve bu çalışmanın herhangi başka bir akademik yayın ortamına değerlendirme için gönderilmemiş olduğunu taahhüt ederim.



## Kaynakça

Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53–85.

Aydoğan, S., Güneş, B., & Gülçiçek, Ç. (2003). Isı ve sıcaklık konusunda kavram yanılgıları. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23(2), 111-124.

Beichner, S. (2002). *Fen ve mühendislik için fizik 1*. Kemal Çolakođlu(Çev.) Ankara: Palme Yayıncılık.

Bogusevschi, D., Muntean, C.-H., Gorgi, N., & Muntean, G.-M. (2018). Earth Course: Primary School Largescale Pilot On Stem Education. *EDULearn*. Palma de Mallorca, Spain.

Brockman, R. M., Taylor, J. M., Segars, L. W., Selke, V., & Taylor, T. A. (2020). Student perceptions of online and in-person microbiology laboratory experiences in undergraduate medical education. *Medical education online*, 25(1), 1710324.

Coramik, M., & Ürek, H. (2021). Calculation of kinetic friction coefficient with Phyphox, Tracker and Algodoo. *Physics Education*, 56(6), 065019.

Coştu, B., Ayas, A., & Ünal, S. (2007). Kavram Yanılgıları Ve Olası Nedenleri: Kaynama Kavramı. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 15(1), 123-136.

Darrah, M., Humbert, R., Finstein, J., Simon, M., & Hopkins, J. (2014). Are virtual labs as effective as hands-on labs for undergraduate physics? A comparative study at two major universities. *Journal of science education and technology*, 23(6), 803-814.

De Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of educational research*, 68(2), 179-201.

Demirci, N. , Uyanık, F., & Uyanık, F. (2009). Onuncu Sınıf Öğrencilerinin Grafik Anlama ve Yorumlamaları İle Kinematik Başarıları Arasındaki İlişki. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi*, 3(2), 22-51.

DS18B20 Waterproof Temperature Sensor Datasheet Website ([show \(terraelectronics.ru\)](http://www.tterraelectronics.ru))

Duman, M. Ş., & Avcı, G. (2016). Sekizinci Sınıf Öğrencilerinin Maddenin Halleri Ve Isı Ünitesine Yönelik Kavram Yanılgıları. *Uşak Üniversitesi Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 129-165.

eduMedia, Anasayfa. <https://www.edumedia-sciences.com>

eduMedia, Suyun 3 hali. <https://www.edumedia-sciences.com/tr/media/133-suyun-3-hali>

Erickson, G., & Tiberghien, A. (1985). Heat and temperature. *Children's ideas in science*, 52-84.

Fuchs, H. U. (1987). Entropy in the teaching of introductory thermodynamics. *American Journal of Physics*, 55(3), 215-219.

Gönen, S., & Akgün, A. (2005). Isı ve sıcaklık kavramları arasındaki ilişki ile ilgili olarak geliştirilen çalışma yaprağının uygulanabilirliğinin incelenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi (elektronik)*, 3(11), 92-106.

Gya, R., & Bjune, A. E. (2021). Taking Practical Learning In STEM Education Home: Examples From Do-It-Yourself Experiments In Plant Biology. *Ecology And Evolution*, 11(8), 3481-3487.

Hines, S. L., Vedral, A. J., Jefferson, A. E., Drymon, J. M., Woodrey, M. S., Mabey, S. E., & Sparks, E. L. (2020). Engaging online students by activating ecological knowledge. *Ecology and Evolution*, 10(22), 12472-12481.

Husnaini, S. J., & Chen, S. (2019). Effects of guided inquiry virtual and physical laboratories on conceptual understanding, inquiry performance, scientific inquiry self-efficacy, and enjoyment. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010119.

Kite, V., Park, S., McCance, K., & Seung, E. (2021). Secondary science teachers' understandings of the epistemic nature of science practices. *Journal of Science Teacher Education*, 32(3), 243-264.

Koç. A. & Böyük, U. (2012). Basit malzemelerle yapılan deneylerin fene yönelik tutuma etkisi. *Türk Fen Eğitimi Dergisi*, 9(4), 102-118.

Kranda, S., & Akpınar, M. (2019). Grafik okuma ve çizmede yaşanan zorluklara ilişkin öğrenci görüşleri. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 35(2), 415-427.

Milli Eğitim Bakanlığı (MEB, 2018). Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı ve Kılavuzu (İlkokul ve Ortaokul 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. sınıflar). Ankara: MEB Yayınları.

Nichols, D. (2017). Arduino-based data acquisition into Excel, LabVIEW, and MATLAB. *The Physics Teacher*, 55(4), 226-227.

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.

Russell, D. W., Lucas, K. B., & McRobbie, C. J. (2004). Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 41(2), 165-185.

Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.

Sarı, U., & Kırındı, T. (2019). Using Arduino in Physics Teaching: Arduino-based Physics Experiment to Study Temperature Dependence of Electrical Resistance . *Journal of Computer and Education Research*, 7(14) , 698-710.

Sarı, U., Pektaş, H. M., Çelik, H., & Kırındı, T. (2019). The Effects of Virtual and Computer Based Real Laboratory Applications on the Attitude, Motivation and Graphic Interpretation Skills of University Students. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 27(1), 1-17.

Sarı, U. (2019). Using the Arduino for the experimental determination of a friction coefficient by movement on an inclined plane. *Physics Education*, 54(3), 035010.

Sarı, U., Duygu, E., Şen, Ö. F., & Kırındı, T. (2020). The Effect of STEM education on scientific process skills and STEM awareness in simulation based inquiry learning environment. *Journal of Turkish Science Education*, 17(3), 387-405.

Sarı, U. (2021). Dijital/Sanal okul dışı öğrenme ortamlarında STEM eğitimi. Büşra Bakiöğlü, Mustafa Çevik (Ed.). *Okul dışı ortamlarda STEM eğitimi içinde* (s. 17-50). Ankara: Nobel Akademi Yayınları.

Şahin, E. (2018). Üstün/Özel yetenekli öğrencilerin STEM eğitim yaklaşımına ve bir STEM materyali olarak Algodoo'ya yönelik görüşlerinin belirlenmesi. *Akdeniz Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 12(26), 259 - 280.

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.

Taşar, M. F., Kandil İnceç, Ş., & Ünlü Güneş, P. (2002, Eylül). *Grafik çizme ve anlama becerisinin saptanması*. V. Ulusal Fen Bilimleri ve Matematik Eğitimi Kongresi, ODTÜ, Ankara.

Tekerek, B., & Cebesoy, Ü. B. (2017). 8. sınıf öğrencilerinin ısı-sıcaklık ünitesindeki çizgi grafiği ile ilgili zorlukları üzerine disiplinlerarası bir çalışma. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi*, 11(2), 307-332.

Tortosa, M. (2012) The Use Of Microcomputer Based Laboratories İn Chemistry Secondary Education: Present State Of The Art And Ideas For Research-Based Practice. *Chemistry Education Research And Practice*, 13(3), 161-171.

Ural, E., & Başaran Uğur, A. R. (2021). Fen Bilgisi Öğretmen Adaylarının Isı-Sıcaklık ve Maddenin Halleri Konularına İlişkin Kavram Yanılgıları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi .*OPUS International Journal of Society Researches*, 18(40), 2221-2257.

Yager, R. E., & McCormack, A. J. (1989). Assessing Teaching/Learning Successes İn Multiple Domains Of Science And Science Education. *Science Education*, 73(1), 45-58.

Yayla, G., & Özsevgeç, T. (2015). Ortaokul öğrencilerinin grafik becerilerinin incelenmesi: Çizgi grafikleri oluşturma ve yorumlama. *Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu Eğitim Dergisi*, 23(3), 1381-1400.

Yılmazlar, M. (2019). Sıcaklık ve Isı. Karamustafaoğlu, O. & Yılmazlar, M. (Der.), *Fizik 3 içinde* (1-23). Ankara: Nobel Yayıncılık

Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı (YÖK, 2018). *Fen Bilgisi Öğretmenliği Lisans Programı*. Ankara: YÖK Yayınları.

#### **Kaynak Gösterimi İçin (For cited in):**

Karaşahin, A. & Sarı, U. (2022). Maddenin Hal Değişimini İncelemek İçin Arduino Deneyi, *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi*, 10(1), 208 - 226. DOI: <https://doi.org/10.56423/fbod.1108976>