



Bilimin Doğası Öğretimi İçin Bir Entegre Fen ve Matematik Etkinliği**

Erdal TATAR^{1*}, Hüseyin ÇOLAK² ve Norman G. LEDERMAN³

¹ Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay

² Northeastern Illinois University, Chicago

³ Illinois Institute of Technology, Chicago

Alındı: 25.04.2016 – Düzeltildi: 24.06.2016 - Kabul Edildi: 27.06.2016

Özet

Bu çalışmada öğrencilerin bilimin doğası hakkındaki öğrenmelerini destekleyen bir entegre fen ve matematik etkinliği tanıtılmaktadır. Etkinlik, fen ve matematik konu içeriklerinin yanı sıra bilimin doğasının; bilimsel bilginin çıkarımsal olma, değişime açık olma ve kanıtlanabilirlik özelliklerini belirten yönleri üzerine odaklanmaktadır. Etkinlikte yapılandırmacı bir yöntem olan 5E öğretim modeli esas alınmıştır. Bilimin doğası kavramları öğretiminde ise en etkili yol olarak bilinen doğrudan-yansıtıcı yaklaşım kullanılmıştır. Öğrenciler bu etkinlik ile verilen bir bileşik üzerinden Proust'un kanunu olarak bilinen belirli oranlar kanununu öğrenirken aynı zamanda bilimsel bir araştırmaya da aktif bir şekilde katılmış olacaklardır. Öğrenciler bilimsel bilgiye ulaşırken aynı zamanda grafik çizme, eğim bulma, oran hesaplama ve ölçüm yapma gibi bir takım matematiksel kavram ve modelleri de kullanmış olacaklardır. Bu etkinliğin öğrencilerin, bilimin doğası hakkında yeterli düzeyde anlayışlara sahip olmada önemli yere sahip olan, bilişsel, akıl yürütme, analitik ve problem çözme gibi bir takım becerilere de sahip olacakları düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilimin Doğası, Fen, Matematik

Geniş Özet

Yüz yılı aşkın bir zamandır, öğrencilerin bilimin doğası anlayışlarını geliştirmek fen eğitiminin amaçlarından biri olmuştur (Lederman, 2007). Bu amaç, bilimdeki ve fen

* Sorumlu Yazar: E-mail: erdaltatares@gmail.com

** Bu çalışma TÜBİTAK BİDEB-2219 kapsamında yürütülen projeden üretilmiştir.

Bilimin Doğası Öğretimi İçin Bir Entegre Fen ve Matematik Etkinliği

eğitimdeki paydaşlar tarafından kabul görmüş (Abd-El-Khalick vd., 1998) ve fen eğitimindeki reformlarla da revize edilmiştir (AAAS, 1993; NRC, 1996; NSTA, 1982; NGSS, 2013). Bununla birlikte araştırmacılar, hem öğrencilerin hem de öğretmenlerin bilimin doğası hakkındaki anlayışlarının hala yetersiz düzeyde olduğunu belirtmektedirler (Wilson 1954; Mead & Metraux 1957; Aikenhead 1973; Lederman & O'Malley 1990; Lederman 1992; Lederman, 2007; Lederman & Lederman, 2014a). Bu yetersizlik durumu, eğitim programlarında bilimin doğası kavramlarının öğretime yeniden odaklanmayı gerekli kılmıştır (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000).

Bilimin doğası, bilimsel bilginin nasıl geliştiğinden hareketle türetilmesi gerekli olan özelliklerini ifade eder (Lederman & Lederman, 2014b). Bu çalışmada bilimin doğasına ait üç özellik üzerine vurgu yapılmaktadır. Bu üç özelliğin anaokulundan lise sona kadar öğretilerilebilir olduğu kabul edilmektedir: (1) bilimsel bilgi sağlam ve güvenilirdir fakat değişime açıktır, (2) bilimsel bilgi ampiriktir (delillere dayalı) ve ampirik bilgiler birçok bilimsel yöntemle kazanılabilirler, (3) tüm bilimsel bilgiler kısmen hem gözlemlerin ve hem de çıkarımların bir sonucudur (NSTA, 2000; NGSS, 2013).

Sorgulama-araştırmaya dayalı öğrenmenin bilimin doğası kavramlarının gelişiminde özellikle tavsiye edildiği (AAAS, 1993; NRC, 1996) ve doğrudan-yansıtıcı yaklaşımına bilimin doğasını anlamada en etkili yöntem olduğu bilinmektedir (Billeh & Hassan, 1975; Akindehin, 1988; Abd-El-Khalick et al., 1998). Matematik, bilimin doğasının öğretiminde bu iki yöntemle tamamlayıcı bir rol üstlenebilir. Çünkü bu iki yöntemde olduğu gibi matematikte de kavramları anlamak ve problemleri çözmeye, eleştirel düşünme, akıl yürütme, analogik düşünme, bilişüstü, bilgiyi yapılandırma ve mantık yürütme kullanılır (Sezer, 2008).

Fen konu alanı kapsamında bilimin doğası öğretimi bilimin doğası kavramlarını daha anlamlı hale getireceğinden dolayı daha etkili ve uygulanabilir olacaktır (Abd-El-Khalick, 2002). Diğer taraftan fen ve matematiğin entegre edilmesi de öğrencileri pasif alıcı olmaktan kurtarıp aktif bilgi yapılandırıcıları yaptığından öğretimi daha kolay hale getirebilir (Berlin, 1990). Öğrenciler değişkenler arasındaki ilişkileri belirleyip, gözlemleri kaydederek, ölçümler ve çıkarımlar yapıp onları başkaları ile paylaşarak doğadaki olayları açıklamada matematiksel modelleri kullanabilirler. Yukarıda bahsedilenlerin hepsi etkili bir bilimin doğası öğretiminin temel bileşenlerini oluşturur.

Bu çalışmada öğrencilerin bilimin doğası hakkındaki öğrenmelerine katkıda bulunabilecek entegre bir fen ve matematik etkinliğinin (*bakınız EK*) tanıtımı amaçlanmıştır. Öğrencilerin bu etkinliği uygulayarak bilimin doğası hakkında yeterli düzeyde anlayışlara sahip olmada önemli yere sahip olan, grafik çizme, eğim bulma, oran hesaplama, ölçüm yapma, bilimsel bilgiye ulaşma ve problem çözme gibi bir takım becerilere de sahip olacakları düşünülmektedir. Bununla beraber böyle bir bilimin doğası etkinliğinin uygulamasına ilişkin olarak aşağıda sıralanan bir takım önerilere yer verilmiştir:

- Fen öğretmenleri bilimin doğasının öğretiminde kullanılan böyle bir entegre fen ve matematik etkinliğinin başarılı bir şekilde uygulamasında önemli bir role sahiptirler. Bu yüzden öğretmenler bilimin doğası anlayışlarını geliştirmeli ve bu yeterli anlayışları öğrenme ortamına yansıtmayı bilmelidirler.
- Etkinlik sürecinde öğrencilerin kendi aktiviteleri ile bilim insanlarının çalışmaları arasındaki benzerlikler önemli bir yer tutmaktadır. Dolayısıyla öğretmenleri her bir etkinlik aşamasında bu benzerlik üzerine özellikle vurgu yapmalıdırlar.
- Etkinlik sürecinde ayrıca sorularla öğrencilerin dikkat çekmek ve onları öğrenmeye hazır hale getirmek önemlidir. Fen öğretmenlerinin etkinliklerde her bir grubun sorulan sorulara yeterli bir şekilde cevap vermesini beklemeli ve daha sonra ise ilgili bilimin doğası kavramını öğrencilere açıklamalıdır.

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK BİDEB-2219 kapsamında yürütülen projeden üretilmiştir.

EK. Etkinlik: Belli Oranlar Kanunu

1.GİRİŞ

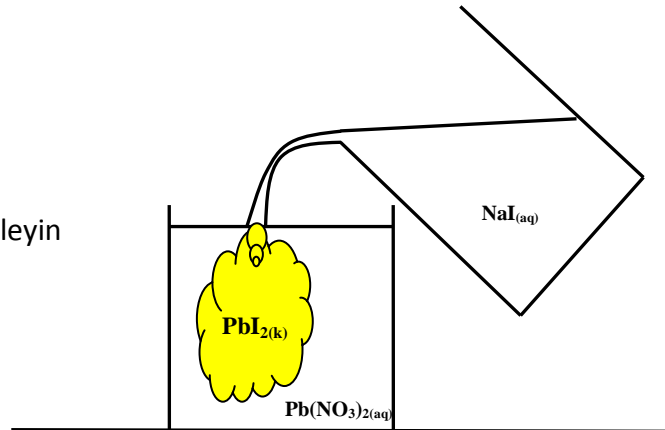
Sorun

- Seker, kabartma tozu ve tuz gibi bileşikler aynı görümlerine rağmen neden farklı özellikler gösterirler? (Bileşiklerin farklı tip elementlerden oluştuğu üzerine odaklanılır)
- Bileşik nedir, açıklar mısınız?
- Su (H_2O) içilebilir bir maddedir. Hidrojen peroksit (H_2O_2) ise genellikle ağartıcı ve temizleyici olarak kullanılan ve içilmesi zararlı olan bir maddedir. Su ve hidrojen peroksitin her ikisi de aynı elementlerden (oksijen ve hidrojen) oluştuğu halde, bu bileşikler neden birbirinden farklı özelliklere sahiptir? (Aynı tür elementlerden farklı bileşiklerin oluşabileceği üzerine odaklanılır).
- Bir bileşikteki her bir elementin belirli bir kütle oranına sahip olduğunu düşünür müsünüz? Yoksa bileşikler elementlerinden rastgele kütle oranlarında mı birleşirler? (Bileşilenlerdeki elementlerin belirli bir kütle oranına sahip olduğu üzerine odaklanılır)

Gösteri deneyi yapın

- $NaI_{(aq)}$ sıvısını $Pb(NO_3)_{2(aq)}$ sıvısı içine dökersek ne olur? Açıklayınız.

- Şimdi 50 ml $NaI_{(aq)}$ ile 200ml $Pb(NO_3)_{2(aq)}$ maddelerinin karışımını dikkatli bir şekilde gözlemleyin (bakınız Şekil1).
(İki renksiz ve şeffaf sıvıdan sarı renkli bir kati çökeleğin oluşması öğrencileri şaşırtacaktır)



| | |
|---|---|
| Bilimin Doğası: Bilimsel bilgi kısmen gözleme kısmen çıkarıma dayalıdır | <p>Sorun</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ne gözlemlediniz? (Öğrenciler muhtemelen "bir reaksiyon oluştu" veya "iki sıvı kimyasaldan bir bileşik oluştu" şeklinde cevaplar vereceklerdir. Bütün cevapları Kabul edin ve herhangi bir değerlendirmede bulunmayın.) ➤ Bu iki madde arasında bir reaksiyonun oluştuğunu nasıl bilebiliyorsunuz? Reaksiyonun nasıl oluştuğunu gördünüz mü (mikro seviye kastedilir)? ➤ Şayet bu gösteri deneyinde reaksiyonun atomik seviyede nasıl oluştuğunu göremediyseniz bu olguyu (gerçeklesen durum) nasıl açıklayacağız? <p>Açıklayın</p> <p>Bu deneyde biz ne olduğunu göremiyoruz, fakat ürünün renk, şekil ve miktar değişimini görebiliyoruz. Bununla birlikte gözlemlerimiz temelinde, "maddeler karıştığı zaman reaksiyon oluştu ve bunun sonucu olarak ta yeni bir ürün meydana geldi" şeklinde çıkarımlar yapabiliriz. Gözlemler, hislerimizle direkt olarak ulaşabildiğimiz doğadaki olaylarla ilgi olarak yaptığımız tanımlayıcı açıklamalardır. Çıkarım ise aksine hislerimizle direkt olarak ulaşamadığımız doğadaki olaylarla ilgi olarak yaptığımız açıklamalardır.</p> <p>Bilim insanları da aynen sizin bu aktivitede yaptığınız gibi, gözlemleri temelinde ayrıca çıkarımlar yaparlar. Örneğin yer seviyesinden yukarıda olan ve düşmekte olan bir cisim gözlemlediğimizi düşünelim. Bu gözleme dayalı olarak cismin yerçekiminden dolayı yere düşme eğiliminde olduğu çıkarımını yapabiliriz. Yerçekimi ifadesi bir çıkarımdır, çünkü yerçekimini biz hislerimizle direkt olarak hissedemeyiz ve onu ancak bulguları veya etkileri sayesinde anlayabiliriz. (Lederman, Khalick, Bell, & Schwartz 2002).</p> <p>İsteyin</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Şimdi, gözlemlerinizi ve bu gözlemleri açıklayan çıkarımlarınızı aşağıya kaydedin. |
| | <p>Sorun</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sizce sarı çökelek NaI ve Pb(NO₃)₂ bileşiklerinin içerdikleri elementlerden herhangi birini içerir mi? Açıklayın ve açıklamalarınızı delillerle destekleyin. <p>Gösteri deneyi yapın</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Şimdi başka bir 50ml NaI_(aq) karışıma yavaşça ekliyorum. ➤ Oluşan çökelek maddenin türü ikinci adımda değişti mi? ➤ Çökelek maddeyi oluşturan elementlerin oranı ikinci adımda değişti mi? ➤ Çökelek maddenin miktarı ikinci adımda değişti mi? |

KEŞFETME

İsteyin

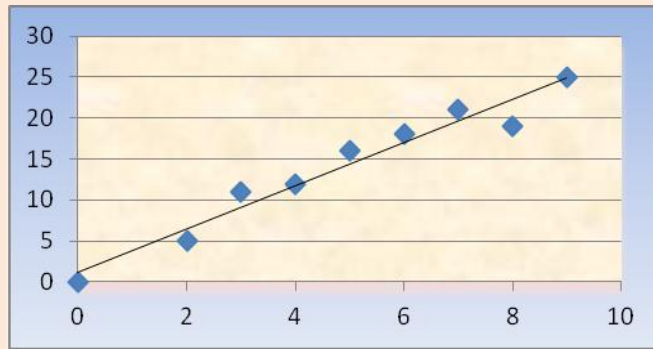
- Üç veya en fazla dört kişilik gruplar halinde çalışmalılar.
 - Aşağıdaki aktiviteyi işbirlikli gruplar halinde ve adımları takip ederek yürütün:
1. Bos krozeyi ve kapağını içinde su, yağ veya diğer kirlilikleri uzaklaştırmak için yaklaşık 3 dakika kadar ateşe tutun. Ve kroze çatlak olmadığından emin olun. Krozenin iç tabanı da yaklaşık 20 saniye kadar kırmızı aleve maruz bırakılmalıdır.
 2. Soğuduktan sonra kroze ve kapağını tartın ve kaydedin. Elinizle dokunmayın.
 3. 0.05 g (5 cm) magnezyum şerit (şeridi elinizle tutmayın) tartın. Şeridi krozenin tabanına uygun gelecek şekilde katlayın.
 4. Krozeyi güvenli bir şekilde kil üçgenin üzerine yerleştirin. Krozenin kapağını krozeyle hava girecek kadar aralıklı ve magnezyum oksidin kaçmasını önleyecek kadarda örtülü bir şekilde yerleştirin.
 5. Bunzen beki yakın ve tabanını yaklaşık bir dakika kadar aleve tutun. Daha sonra ateşi krozenin altına yerleştirin ve güçlü bir şekilde ısıtın (Magnezyum şerit alev almıyorsa şeridin ucunu direkt aleve temas ettirerek tutuşmayı sağlayabilirsiniz).
 6. Magnezyum şeridin tamamı gri-beyaz toza dönüşünceye kadar (yaklaşık 2 dakika) ısıtmaya devam edin.
 7. Isıtmayı bırakın ve kroze, kapak ve içindikileri soğumaya bırakın.
 8. Kroze, kapak ve içindikilerin toplam kütlelerini tartarak kaydedin.
 9. Yukarıdaki her bir adımı 0.10g, 0.15g, 0.20g ve 0.30g magnezyum şeritleri için tekrarlayın.
 - Kayıtlarınızı bir veri tablosuna aktarın.
 - Magnezyum oksit bileşiminde magnezyum ile oksijen arasındaki kütlece oran nedir?
 - Magnezyumun kütlelerine karşı oksijenin kütlelerini grafik edin.
 - Grafik ile ilgili çıkarımlarınız nelerdir?
 - Eğimi bulun ve onu ortalama oran ile karşılaştırın.
 - Bulduğunuz eğim veri tablosunda bulduğunuz sonucu destekliyor mu?

Matematik: Bilimsel ölçümler yapma, oran hesaplama, grafik çizme ve eğim bulma, toplam ve çıkarma yapma

İsteyin

Öğrenciler maddelerin gerekli miktarlarını almak için ölçümler yapacaklardır. Bu ölçümler yapılırken bilimsel ölçüm prensipleri kullanılacaktır:

- Bilimsel ölçümler de öğrenciler şüpheli (tahmini) ve kesin rakamlardan oluşan sayılara ulaşacaklardır. Örneğin şayet bir ölçek maddeyi yüzde bir kesinlikte oluşuyorsa öğrenciler bu ölçekle yüzde bir ile binde bir kesinlik aralığındaki maddeleri ölçemeyeceklerdir. Ancak öğrenciler bu aralıktaki herhangi bir değer için tahminde bulunurlar.
- Öğrenciler magnezyum oksit, kroze ve kroze kapağının toplam kütesinden magnezyum, kroze ve kroze kapağının toplam kütesini çıkaracaklardır. Böylece magnezyum oksit bileşiğindeki oksijenin kütesini bulacaklardır.
- Öğrenciler oksijenin kütesine karşı magnezyumun kütesini grafik edeceklerdir. Veriler grafik kâğıdına islendikten sonra öğrenciler eğim çizgisini çizeceklerdir. Eğim çizgisi aşağıdaki şekildeki gibi olabildiğine çok veriye eşit mesafede bulunacak şekilde çizilmelidir.



- Öğrenciler eğimi alarak hesaplanan ortalama oranla karşılaştıracaklardır. Eğim çizgisi üzerinde iki nokta alındıktan sonra karşı kenar komsu kenara bölünerek eğim bulunabilir. Örneğin; magnezyum ile oksijen elementlerinin kütle değerleri ile ilgili olarak eğim çizgisi üzerindeki koordinatlar (7;20) ve (3;10) olsun. Eğim $(20-10)/(7-3)$ yani 2,5 olacaktır.

Bilimin Doğası: Bilimsel bilgi ampiriktir (delillere dayalıdır).

Sorun

- İddianızı/sonuçlarınızı destekleyecek delilleriniz nelerdir?

Açıklayın

Tipik bir şekilde öğrenciler bu soruyu “Biz bulduğumuz sonuçlara, gözlemler veya araştırmalarla yaptığımız deneyler ve çıkarımlar ile ulaştık” diyeceklerdir. Tam bu noktada aşağıdaki türden açıklamalar yapabilirsiniz:

Bilim insanları bilimsel araştırmaları boyunca, vardıkları sonuçları destekleyip doğrulayacak ampirik verilere ihtiyaç duyarlar. Bilimsel bilgiler doğal dünyanın gözlemlenmesine dayalı ve bu gözlemlerden çıkarılırlar. Bu ampirik özelliği bilimi diğer alanlardan (ör: tarih, sanat, matematik) ayırır (Lederman, 2006).

AÇIKLAMA

Sorun

- Farklı miktar reaktant kullanımı urunun türünü değiştirdi mi?
- Farklı miktar reaktant kullanımı ürünlerdeki oranı değiştirdi mi?

Öğrencilerden araştırmalarını takiben beklenen örnek bir cevap;

- Her bir bileşiğin onu oluşturan elementlerin kütleleri arasındaki kütlece oran birbirinden farklıdır. Kimyasal bir reaksiyonda reaktantların miktarı ne olursa olsun oluşan bileşiğin elementleri arasındaki kütlece oran değişmez. Elementler arasında kütlece belirli bir oran bulunmaktadır.

Sorun

1. Bileşikler hakkında sahip olduğunuz anlayışlar yaptığınız araştırma sonrasında değişti mi?
2. Evet ise, sizin anlayışlarınızı ne değiştirdi?

Açıklayın

Bilimsel bilgi mutlak ve kesin değildir, dolayısıyla geçici yani değişime açıktır. Bilimsel bilginin değişebilirlik özelliği onun değerini ve dayanıklılığını azaltmaz, çünkü onun hala ampirik desteği söz konusudur. Bilimsel bilgiler, ileride daha gelişmiş araçlarla yapılan bilimsel araştırmalar ile elde edilen yeni ampirik veriler ile değişebilir. Örneğin Proust, onun belirli oranlar kanununu ortaya koyduğunda, bütün bileşiklerin aynı özelliği gösterdiği düşünülürdü. Bununla birlikte Berthollet adındaki bilim insanının yönlendirmesi ile Demir oksit gibi Proust'un kanununa uymayan bazı bileşiklerinde olduğu bulundu. Bu yeni bilgiyle ulaşıldıktan sonra belirli oranlar kanunu, belirli bileşiklere özgü olduğu şeklinde daraltılarak revize edildi.

Bilimsel bilgi ayrıca mevcut bilgilerin yeni bir bakış açısıyla yeniden ele alınması sonucu değişebilir. Örneğin Charles Darwin evrim anlayışı, yavaş ve dereceli bir süreçti. Fakat rakip bilim insanları bu teoriye, şayet evrim dereceli ise onun yeni bir türe götüren ve artımlı değişikli gösteren küçük bir fosil kaydı olmalı şeklinde karşı çıktılar. Bununla beraber bilim insanları bu aradaki fosil örneklerinin çoğunu hala bulamadılar. İki rakip bilim insanı Stephen Jay Gould ve Niles Eldredge, 1972`de adına "sıçramalı denge" dedikleri yeni bir yorum getirdiler. Onlar türlerin genelde kararlı olduğunu ve milyonlarca yılda çok az değişime uğradığını belirttiler. Bu yavaş süreç, yeni bir tür ile sonuçlanan ve arkasında birkaç fosil bırakan "sıçramalı" süreciydi (Lederman, 2006, 2010)

Bilimin Doğası: Bilimsel bilgi değişime açıktır

DERİNLEŞTİRME*İsteyin*

- Elinizde 0.35 g, 0.45g ve 0.60g magnezyum şeritler olduğunu farz edin. Yukarıdaki gibi bir deney yapmaksızın her bir şerit için yanma sonucu oluşabilecek oksijen ve magnezyum oksidin (MgO) kütlelerini hesaplayın?

| Mg (g) | Mg (g) / O (g) | O (g) | MgO(g) |
|----------|----------------|-------|--------|
| 0.35g Mg | ? | ? | ? |
| 0.45g Mg | | | |
| 0.60g Mg | | | |

- Magnezyumun yanma reaksiyonu için farklı renlerdeki oyun hamurlarını ve kürdanları kullanarak bir model dizayn edin.
- Modelinizi önceki araştırmanızdaki gözlemlerinizi ve ölçümlerinizi bazında yapmaya çalışın.
- Her bir grup modelini farklı reaktant miktarları için test etsin ve sınıfta sunsunlar.
- Yukarıdaki araştırmayı sülfür ile bakırın yanma reaksiyonu için tekrar yapınız.

Bilimin Doğası: Bilimsel bilgi kısmen gözleme kısmen de çıkarıma dayalıdır

Sorun

1. Sizin modeliniz ile gerçekte olan arasındaki benzerlik ve farklılıklar nelerdir?
2. Modeliniz gözlemsel mi yoksa çıkarımsal bir bilgi midir? Açıklayın.

Açıklayın

Hiçbir bilim insanı tek bir atomun neye benzediğini görmemiştir. Bununla birlikte duyularımızla ulaşamadığımız bu olgu türleri hakkında açıklamalar ortaya koyarlar. Atomlarla ilgili bilgiler çıkarımsal olduğundan dolayı Dalton modeli, Thomson modeli ve Rutherford modeli gibi atom modelleri bilim tarihi boyunca sürekli değişmişlerdir. Bu aktivitede biz sadece karışan reaktantları görüyoruz, atomik seviyede reaksiyonun nasıl gerçekleştiğini göremiyoruz. Araştırmalarımıza dayalı olarak biz bu olguları açıklayabilen modeller inşa ederiz. Sizin modellerinizde reaksiyonla hem benzerlikler hem de farklılıklar arz eder. Bu yüzden sizin modellerinizin gözlemlerinizi aracılığıyla elde ettiğiniz çıkarımsal bilgilerdir.

| DEĞERLENDİRME | |
|-----------------------|---|
| Fen/Matematik | <p><i>Sorun</i></p> <ul style="list-style-type: none">➤ Belirli oranlar kanununu kendi ifadelerinizle tanımlarsınız?”➤ Su bileşiminde her 16 gram oksijene karşın 2 gram hidrojen bulunur. Şayet 40g H₂ 80g O₂, ile tepkimeye girerse ne kadar su oluşur? |
| Bilimin Doğası | <ul style="list-style-type: none">➤ Bilimsel bilginin gelişimi açısından bu etkinlik boyunca yürüttüğünüz çalışmaları, bilim insanlarının yaptığı çalışmalarla kıyaslamalar yaparak değerlendiriniz. (<i>üç veya dört kişilik gruplar halinde</i>)➤ Bilimsel gözlem ile çıkarım arasındaki fark nedir? Aktiviteden örneklerde vererek açıklayınız.➤ Aynı doğal olgu hakkında birden fazla çıkarıma sahipsen hangisinin daha mümkün olguna nasıl karar verirsiniz? Açıklayınız. (<i>bilimsel bilgi delillere dayalıdır</i>)➤ Bilim insanları ne gibi durumlarda gözlem, ne gibi durumlarda çıkarım yaparlar? Kendi etkinliğinizden örneklerle açıklayınız. (<i>Gözlem & Çıkarım</i>)➤ Şayet daha fazla veya daha farklı veriler toplarsan çıkarımların değişir mi? Açıklayınız. (<i>Bilimsel bilgi değişime açıktır</i>)➤ Sence aynı gözlemsel verileri farklı bir bakış açısıyla yorumlanırsa sonuçların değişip değişmediği hakkında neler söylersin? Açıklayınız. (<i>Bilimsel bilgi değişime açıktır</i>) |

An Integrated Science and Math Activity to Teach Nature of Science

Abstract

This paper describes an integrated science and math activity that promotes students learn about nature of science (NOS). Besides the science and math content, the activity focuses on the following NOS aspects: inferential, tentative, and empirical characteristics of scientific knowledge. The 5-E instructional model, a constructivist method, is used, and the NOS concepts are taught in the explicitly/reflective approach, which is the most effective way to teach NOS. Students will be actively involved in a scientific inquiry activity and learn about the law of definite proportions, Proust's law, for a given compound. Students will also employ mathematical concepts and models, such as graphing, calculating ratio and slope, and measuring, to derive scientific knowledge. It will improve their cognitive, reasoning, analytical, and problem solve skills, which are very essential in order to develop more adequate NOS views.

Keywords: Nature of science, Science, Mathematics

Introduction

Assisting students in the development of informed understandings of nature of science (NOS) has been an objective of science education for over 100 years (Lederman, 2007). This objective is agreed upon by most stakeholders in science and science education (Abd-El-Khalick et al., 1998) and has been revisited through reforms in science education with Benchmarks for Science Literacy and the National Science Education Standards (AAAS, 1993; NRC, 1996; NSTA, 1982; NGSS, 2013). However researchers confirm that both students and their teachers hold inadequate views of NOS and explain that students do not implicitly learn NOS, but rather an explicit, reflective approach facilitates students' learning (Wilson 1954; Mead & Metraux 1957; Aikenhead 1973; Lederman & O'Malley 1990; Lederman 1992; Lederman, 2007; Lederman & Lederman, 2014a). This inability of students to develop informed views of the NOS has resulted in a refocusing that introduces NOS concepts within education curricula (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000).

NOS commonly refers to the characteristics of scientific knowledge that are necessarily derived from how the knowledge is developed (Lederman & Lederman, 2014b). Although the nature of science has many of aspects, the activity introduced in this study focused on three of them. These items are generally agreed upon and developmentally appropriate for K-12 and college students: (1) scientific knowledge is durable and reliable, but tentative; (2) scientific knowledge is empirical, and empirical evidence can be acquired through multiple scientific methods; (3) all scientific knowledge is partially a result of both observations and inferences (NSTA, 2000; NGSS, 2013).

Teaching NOS with Math

The use of inquiry is strongly recommended to teach and improve conceptions of NOS in science instruction (AAAS, 1993; NRC, 1996). Investigating science concepts in the course of authentic scientific activities, through which learners actively employ scientific practices, is essential for teaching NOS as well. Therefore, scientific inquiry serves as a feasible context under which target NOS concepts can be addressed and discussed so that learners can develop their NOS conceptions (Ryder et al., 1999). In addition, literature reveals that an explicit/reflective instructional approach is most effective in helping students to improve their NOS understandings (e.g. Billeh & Hassan, 1975; Akindehin, 1988; Abd-El-Khalick et al., 1998). In an explicit and reflective approach, NOS is taught by using discussion, questioning, activities, and investigations, and students' attention is drawn to targeted aspects of NOS (Schwartz & Lederman, 2002). For teaching NOS the key variable is that it be made explicit during instruction, just like anything else one is trying to teach. Any approach (e.g. reading, inquiry) that can be used to do this is fine. The relationship of inquiry and NOS is that when science is taught through inquiry it is a natural environment in which students can reflect on what they did and the conclusions they reached. This easily allows for a discussion about scientific knowledge and how it is developed (i.e., NOS). Mathematics may have a complementary function to both the inquiry approach and explicit/reflective instruction for teaching NOS. In parallel with these two methods, in math, critical thinking, reasoning, analogical thinking, metacognition, knowledge construction, and logic are applied to understand the concepts and problem solve (Sezer, 2008). These processes facilitate the inquiry-based learning as they facilitate an explicit/reflective instructional approach.

NOS teaching in the context of science content might be the most effective and feasible because it makes learning about NOS more meaningful for students (Abd-El-Khalick, 2002). Questions and discussions bring NOS to the surface, and promote student learning of both the subject matter and the targeted aspects of NOS (Lederman & Lederman, 2004). On the other hand, The National Science Education Standards (NRC, 1996) and the National Council of Teachers of Mathematics Standards (NCTM, 2000) state that establishing a connection between science and math improves student attitudes and achievement in both science and math subject areas. In the integrated approach, teachers facilitate the learning activities in which students are active knowledge constructors, rather than being passive receivers of facts (Berlin, 1990). Mathematics enables students to analyze data, and quantify and explain scientific relationships, in order to draw conclusions throughout the scientific process of observation and data collection (Sherrod et al., 2009). Students may use mathematical models to explain natural phenomena; construct relationships between variables by quantifying them; and record observations, measurements and inferences, and present them to others. All of those mentioned above are key contributors to an effective learning environment for NOS. Models are the same as inferences about the natural world. They are a form of theories. Science often uses models to develop explanations about natural phenomena. Using mathematics in science teaching for K-12 helps students to make

predictions of the behavior of physical systems and to test these predictions (NRC, 2012; 2014).

In this paper, we describe an activity that promotes students' learning about NOS concepts and relevant math concepts in the context of teaching about the law of definite proportions for the students in high school level. Proust's law also known as this law is generally defines as different samples of a compound have a fixed chemical composition in textbooks (Pauling, 1964; Myers, 2003). The activity is prepared based on the 5-E instructional model, which is one of the most effective ways to facilitate scientific instruction (Bybee et al., 2006), and the explicit/reflective approach to teach NOS. The 5-E model is a constructivist instructional model and has five steps: engagement, exploration, explanation, elaboration, and evaluation. Engagement step engages students in a learning task through the use of short activities that promote their curiosity, make connections between past and present learning experiences, and organize students' thinking. In the exploration step, students design and conduct an investigation that facilitates conceptual change and help students use prior knowledge to generate new ideas. The explanation step provides opportunities to demonstrate students' conceptual understanding. The teacher may guide students toward a deeper understanding. Elaboration step helps students to develop, extend, or elaborate the concepts or adequate skills through further experiences. In the evaluation step, students assess their own understanding and abilities. The teachers also assess students' educational outcomes (Bybee, 2009).

The Activity Plan

Goal: Students will able to explain the law of definite proportions using mathematical tools and discussing nature of the scientific discovery.

Objectives:

Science Content

Students will:

1. Understand how a compound consists of different types of elements
2. Identify that a compound consists of elements that have definite proportions by mass

Math Content

Students will:

1. Conduct scientific measurements
2. Calculate ratio and proportion
3. Use problem solving skills
4. Generate graphs and take slope
5. Use addition and subtraction

Nature of Science

Student will learn:

1. That all scientific knowledge is both observed and inferred.
2. That scientific knowledge is empirical

3. That scientific knowledge is tentative

Procedures

1. Engagement

The activity below may be demonstrated in order to generate curiosity and engage students' minds with the content. (A yellow solid precipitate occurs from two colorless and transparent liquids. It will surprise the students.)

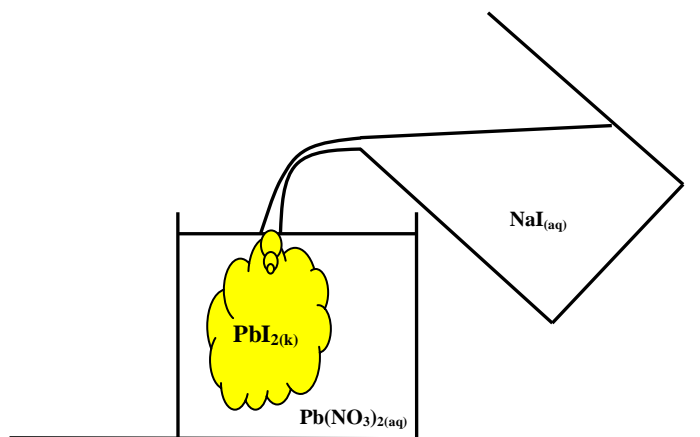


Figure 2. Precipitation reaction

Teacher may ask, “What did you observe?” Typically, students will answer, “A reaction occurred,” or, “A compound was created from two chemical liquid substances.” Teacher may then ask, “How do you know that a reaction happened between these two substances?” and, “Did you see how the reaction occurred at the atomic level?” At this point, teacher can explicitly explain how observation is different from inference. In this demonstration, the students did not see what happened but observed the color change, the shape, and the size of the product. However, based on what they observed, they made inferences as they stated that a reaction occurred when the substances were mixed, and as a result of this a new substance was produced. An observation is a descriptive explanation about a natural phenomenon that is directly accessible to the senses. In contrast, an inference is an explanation about a phenomenon that is not directly accessible to the senses.

Teacher can then continue to add $NaI_{(aq)}$ to the mixture, and ask, “Did the type of substance (precipitate) change?” and, “Has the proportion of elements in the substance changed?”. As required by the guided inquiry method teachers can supply to students such questions (Heron, 1971). Students' answers will allow for monitoring changes in their inferences during the instruction.

2. Exploration

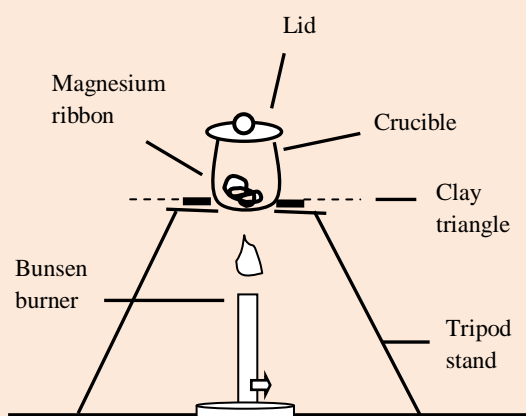
Teacher should ask the students to follow the procedures (with teacher guidance) (Kellow, 2016) below and conduct the investigation about the combustion reaction of magnesium, a popular laboratory activity, in cooperative groups of three or four at the most.

Steps

1. Weigh and record the mass of a crucible and its lid. Weigh about 0.050g magnesium ribbon.

Math:

At this point, teacher may ask the students to read the instrument by using the principles of scientific measurement. They will include certain numbers and estimated number. For example, if the instrument can measure the mass of a substance up to hundredths place with certainty, students will not be able to measure any value in between hundredths and thousandths. However, they will estimate any digit that falls within this range (e.g. they can estimate as 0,052 if the pointer closer to 0.05, as 0,059 if it closer to 0,06, and as 0,055 if it shows the exact midpoint of the two values). While the latest digit in the value will be estimate number, the others will be certain numbers.



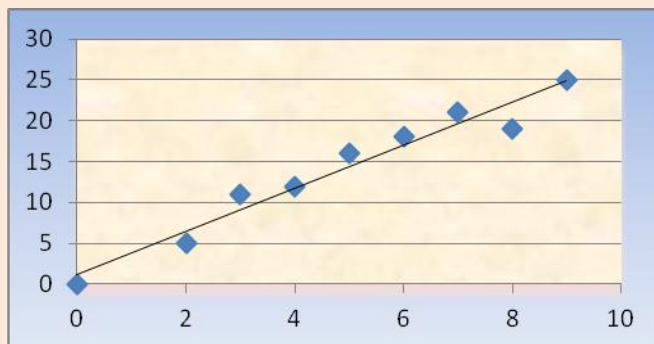
2. Fold and put the ribbon into the crucible.
3. Burn until all the magnesium ribbon turns into gray-white powder (probably around two minutes). After cooling record the mass of the crucible, lid, and contents.
4. Repeat above steps for amounts of 0.100g, 0.150g, 0.200g and 0.300g magnesium ribbons.
5. Weigh and record the total mass of crucible, lid, and magnesium oxide formed at the end of each combustion process.

Math:

Teacher may ask the students

- to subtract the total mass of crucible, lid, and magnesium from the total mass of crucible, lid, and magnesium oxide. It will give the mass of oxygen in the magnesium oxide.
- to find the ratio between the elements in the magnesium oxide compound by taking the mass of the magnesium element and dividing it by the mass of the oxygen element.
- to graph the data as the mass of magnesium versus that of oxygen. Once the data is plotted on the graph paper students will draw a trend line (or best fit line). The trend line must be at equal distance to as many data points as possible as in the graph

below:



to take the slope of the trend line and compare it with the calculated mean ratio. Taking any two points on the trend line and dividing the rise by the run will determine the slope.

6. After drawing your graph answer the question, “What is your inference, based on your graph?”

Figure 3. Investigation steps

Teacher may then ask, “Do you have any evidence to support your claim/conclusion?” to point out that scientific knowledge is based on and/or derived from observations of the natural world. Typically, the students would answer, “We tested and inferred it based on our observations through our experiments or investigations.” At this point, teacher should explain to students that what they have done is very similar to what scientists do in their scientific investigations, and scientists need to gather empirical data through scientific investigations in order to support and justify their conclusions. Teacher should point out that its empirical character distinguishes science from other subjects such as history, art, and mathematics. If the students do not get the anticipated answer. This is a good place to stress how different students will interpret data differently and it can be used to stress tentativeness, another objective of the activity, as well as inference.

3. Explanation

Teacher should guide students in making inferences through with additional data, and in reaching a conclusion by asking, “Did using different amounts of reactants change the type of product?” and, “Did using different amounts of reactants affect the proportions in the product?”

Teacher may then ask, “What changes have you made to your inferences throughout the investigation?” Students` responses probably would indicate that their inferences changed. At this point, teacher may ask the reasons for this change, and guide the students

to realize that scientific knowledge is not absolute and certain; therefore, it is tentative and subject to change. Scientific knowledge changes when new data are acquired through new scientific investigations and developments in theory or technology, or when the existing data are reinterpreted in the light of new theoretical advances or by different viewpoints.

4. Elaboration:

Teacher should ask the students to extend their investigation for different amounts of magnesium samples.

1. Assume that you have 0.35g, 0.45g, and 0.60g - magnesium ribbons. Without conducting any experiment, can you predict the mass of elements and their relative proportions in the product of magnesium oxide (MgO)?
2. Design a model for combustion reaction of magnesium by using play-dough in different colors and toothpicks.
3. Build your model based on your previous investigations in this activity. Your model should, to the some extent, represent the magnesium-oxide compound.
4. Present your model and test it for different amounts of the reactants in class.

Teacher may then ask, “What are the similarities and differences between your model and the real phenomenon (magnesium-oxide)?” and “Is your model an observation or inferential information? Explain”. Teacher can then explain that any scientists have not seen a single atom looks like. However, they generated explanations about these types of phenomena, which are not accessible through our senses. Since the information related to atoms is inferential, the atomic models have changed throughout the history of science, such as Dalton’s model, Thomson’s model, and Rutherford’s model. In our case, we saw the results when we mixed the reactants, but could not see how the reaction happened at the atomic level. Based on what we investigated, we built models to explain this phenomenon. Your models have both similarities and differences with the reaction. Therefore, your models are inferential information acquired through your observations.

The students can also investigate the combustion reaction of sulfur with copper, another popular laboratory activity.

5. Evaluation:

To assess students` content knowledge and math skills, teacher may ask,

“Describe the law of definite proportions with your own words.”

“In the water compound, for each 16 grams of oxygen, two grams of hydrogen are needed. If 40g of H₂ reacts with 80g of O₂, how much water compound will be produced?”

Further, to assess NOS, teacher may ask,

“Assess your own studies during this activity in terms of the development of scientific knowledge and by comparing yourself with scientists”(in groups of three or four students).

“How would you decide which inference is more plausible, if there are more than one inference about the same natural phenomena? Explain” (empirically based).

Bilimin Doğası Öğretimi İçin Bir Entegre Fen ve Matematik Etkinliği

“What natural phenomena can scientists make observations about? Explain with examples from the activity” (*observation vs. inference*).

“What natural phenomena can scientists make inferences about? Explain with examples from the activity” (*observation vs. inference*).

“What do you think about whether the results would change, if you gathered different and more data or if you interpreted the same observational data from different point of views? Explain (*tentativeness*).

Results and Implications

In this paper, we describe an activity that promotes students' learning about NOS concepts and relevant math concepts in the context of teaching about the law of definite proportions for the students in high school level.. NOS teaching in the context of science content might be the most effective and feasible because it makes learning about NOS more meaningful for students (Abd-El-Khalick, 2002). Students will also employ mathematical concepts and models, such as graphing, calculating ratio and slope, and measuring, to derive scientific knowledge. It will improve their cognitive, reasoning, analytical, and problem solve skills, which are very essential in order to develop more adequate NOS views. In addition, some suggestions for teaching of NOS activity listed below;

- Science teachers have an important role in the implementation integrated science and math activity that promotes students' understanding about nature of science. Therefore, they should improve views about NOS, and they should know to reflect their views to the learning environment.
- The similarities between the work of scientists and student activities are critical to students understanding about NOS. So science teachers should particularly emphasize such similarities in the activity procedures.
- Science teachers should allow each group to adequately answer questions and then they should explicitly explain the characteristics of scientific knowledge.

References

- Abd-El-Khalick, F. (2002). Rutherford's enlarged: a content-embedded activity to teach about nature of science, *Physics Education*, 37(1), 64-68.
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R.L., & Lederman, N.G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural, *Science Education*, 82(4), 417-736.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N.G. (2000). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education* 22(7): 665–701.
- Aikenhead, G. (1973). The measurement of high school students' knowledge about science and scientists, *Science Education*, 57(4), 359–349.
- Akindehin, F. (1988). Effect of an instructional package on preservice science teachers' understanding of the nature of science and acquisition of science-related attitudes, *Science Education*, 72(1), 73-82.
- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report*. New York: Oxford University Press.
- Berlin, D.F. (1990). Science and mathematics integration: Current status and future directions. *School Science and Mathematics*, 90(3), 254-257.
- Billeh, V.Y., & Hasan, O.E. (1975). Factors influencing teachers' gain in understanding the nature of science, *Journal of Research in Science Teaching*, 12(3), 209-219.
- Bybee, R.W. (2009). *The BSCS 5E instructional model and 21st century skills*. Colorado Springs, CO: BSCS.
- Bybee, R., Taylor, J., Gardner, A., Van Scotter, P., Carson Powell, J., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*. Colorado Springs, CO: BSCS.
- Herron, M.D. (1971). The nature of scientific enquiry. *School Review*, 79(2), 171- 212.
- 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.
- Lederman, N.G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In Abell, S. & Lederman, N. (Eds.) *Handbook of Research on Science Education* (pp.831-879). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Lederman, N.G. and Lederman J.S. (2004). Revising Instruction to Teach Nature of Science. *The Science Teacher*, 71(9), 36.
- Lederman N.G, & Lederman J.S. (2014a). Research on teaching and learning of nature of science. In: Lederman NG, Abell SK, editors. *Handbook of research on science education*. II. Routledge; New York, pp. 600–620.
- Lederman, N.G., & Lederman, J.S. (2014b). Is nature of science going, going, going, gone?. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 235-238. Doi: 10.1007/s10972-014-9386-z.
- Lederman, N.G., and O'Malley, M. (1990). Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use, and sources of change, *Science Education*, 74(2), 225–239.
- Kellow, J.M. (2016). Inquiring Mind. From http://www.inquiringmind.co.nz/Herron_Model.htm , Accessible date: 27.06.2016.
- Mead, M., and Metraux, R. (1957). Image of the scientist among high school students. *Science* 126: 384–390.

Bilimin Doğası Öğretimi İçin Bir Entegre Fen ve Matematik Etkinliği

Myers, R. (2003). *The Basics of Chemistry*. Greenwood Publishing Group. Westport, CT.

National Council of Teachers of Mathematics, (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. NCTM: Reston, VA.: Author.

National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academic Press.

National Science Teachers Association. (1982). *Science–technology–society: Science education for the 1980s* (an NSTA position statement). Washington, DC: Author.

National Science Teachers Association. (2000). NSTA position statement: The nature of science. Retrieved April 9, 2012, from <http://www.nsta.org/about/positions/natureofscience.aspx>

NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington, DC: National Academies Press.

National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.

National Research Council. (2014). *Developing Assessments for the Next Generation Science Standards*. Committee on Developing Assessments of Science Proficiency in K-12. Board on Testing and Assessment and Board on Science Education, J.W. Pellegrino, M.R. Wilson, J.A. Koenig, and A.S. Beatty, Editors. Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.

Pauling, L. (1964). *General Chemistry*, 3rd edn., Freeman, San Francisco.

Ryder, J., Leach, J. & Driver, R. (1999). Undergraduate science students' images of science, *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 201–219.

Schwartz, R.S., & Lederman, N.G. (2002). “It’s the nature of the beast”: The influence of knowledge and intentions on learning and teaching nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* 39(3): 205-236.

Sherrod, S.E., Dwyer, J. & Narayan, R. (2009). Developing science and math integrated activities for middle school students, *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 40(2), 247–257.

Sezer, R. (2008). Integration of critical thinking skills into elementary school teacher education courses in mathematics, *Education*, 128(3), 349-363.

Wilson, L. (1954). A study of opinions related to the nature of science and its purpose in society, *Science Education*, 38(2), 236–242.