

Farklı Animasyonlarının Anlamlandırılması: Çökme Tepkimesi Örneği (Interpretation of Animations in Variance: An example of Precipitation Reaction)

Sevil Akaygün^{a1}, Emine Adadan^b

(a, b) Boğaziçi Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, İstanbul

Özet

Bu çalışmanın amacı, kimya ve fen bilgisi öğretmen adaylarının izledikleri birbiriyle kavramsal olarak farklılaşan çökme tepkimesini tanecik düzeyinde betimleyen iki animasyonu nasıl anlamlandırdıklarının incelenmesidir. Nitel araştırma yönteminin kullanıldığı bu çalışmaya son sınıfta okumakta olan 20 kimya ve 20 fen bilgisi öğretmen adayı katılmıştır. Katılımcılar önce bir çökme tepkimesinin deney videosunu izlemiş ve bu tepkimeyi tanecik düzeyinde süreç aşamalı çizim oluşturarak betimlemişlerdir. Öğretmen adaylarının süreç aşamalı çizimleri ile ortaya koydukları kavramsal anlama düzeylerinin *tam*, *kısmi*, *eksik* ve *hatalı yapılandırılmış* ve *yapılandırılmamış* olmak üzere 5 kategoride yer aldığı görülmüştür. Öğretmen adaylarının animasyonları anlamlandırmalarının farklılaşmasında kavramsal anlama düzeylerinin rol oynadığı gözlenmiştir. Araştırma bulguları, her iki öğretmen adayları grubunda bazı farklılıklar olsa da, çoğunlukla hatalı yapılandırılmış kavramsal anlama düzeyine sahip kimya öğretmen adaylarının animasyonları kavramsal olarak uygun şekilde nitelendiremediği, ya da nitelendirmekten kaçınarak sadece betimlediği görülmüştür. Tam, kısmi, ya da eksik yapılandırılmış kavramsal anlama düzeylerine sahip kimya öğretmen adaylarının ise animasyonları daha kolaylıkla doğru ya da yanlış olarak nitelendirdiği dikkat çekmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kimya öğretmen adayları, fen bilgisi öğretmen adayları tanecik düzeyi animasyonları, çökme tepkimesi

Abstract

The aim of this study was to investigate how chemistry and science preservice teachers interpret two conceptually varying molecular animations of a precipitation reaction. A total of 20 preservice chemistry and 20 preservice science teachers participated in this qualitative study. The participants first watched an experimental video of a precipitation reaction, then prepared storyboards depicting this reaction at the particulate level. The level of understandings of preservice teachers fell into 4 categories: *scientific*, *moderate*, *weak*, *alternative understanding* and *no understanding*. Having different levels of understandings played a role in the interpretation of conceptually varying animations. The findings of the study revealed that, despite some differences, preservice teachers who had weak understanding interpreted the animations inaccurately or just described their features without stating whether it is accurate or inaccurate. Preservice teachers who had scientific, moderate and weak understanding were better able to interpret the animations accurately.

Keywords: Preservice chemistry teachers, Preservice science teachers, particulate level animations, precipitation reaction

¹Doç. Dr., Boğaziçi Üniversitesi, sevil.akaygun@boun.edu.tr

Giriş

Kimyasal olayların kavramsal olarak anlaşılabilmesi, bu olayların *makroskobik*, *sembolik* ve *tanecik* düzeylerinde ilişkilendirilmesi ile mümkün olabilmektedir (Johnstone, 1993; Taber 2013). Makroskobik düzey duyular ile gözlemlenebilen yapı ve olayları, sembolik düzey sembol, matematiksel ifade ve grafiklerle gösterilen durum ve ilişkileri, tanecik düzeyi ise gözle görülemeyen taneciklerin (örneğin atom, iyon, molekül vb.) yapısını ve tanecikler arasındaki etkileşimleri içermektedir. Genel olarak öğrencilerin kimyasal olayların tanecik düzeyinde nasıl gerçekleştiğini gözlerinde canlandırmakta ve makroskobik ve tanecik düzeyleri ile ilişkilendirmekte zorluk yaşadıkları bilinmektedir (Nakleh, 1992; Smith et al., 2006).

Günlük hayatta sıklıkla karşılaşılan olayların (örneğin demirin paslanması, kağıdın yanması vb.) aslında birer kimyasal tepkime olmasına rağmen, kimyasal tepkimelerin kavramsal olarak zorlayıcı olduğu ve öğrencilerin bu konuda çeşitli kavram yanlışlarına sahip oldukları bilinmektedir (Ahtee, 1998; Boo & Watson, 2001; Chandrasegaran et al., 2008). Bunun nedeni kimyasal tepkime sürecinde tanecikler arasında gerçekleşen etkileşimlerin zihinde canlandırılmasının güçlüğü olduğu söylenebilir. Bu nedenle, kimya eğitiminde tanecikler arasındaki etkileşimleri modelleyen animasyon ve simülasyon gibi dinamik bilgisayar görsellerinden yararlanılmaktadır (National Research Council, 2012; Williamson, 2008).

Pek çok önemli kimyasal olayın tanecik düzeyinde nasıl gerçekleştiğini betimleyecek şekilde hazırlanan animasyonların öğrencilerin kimyasal kavramları anlamaları üzerinde olumlu etkilerinin olduğu görülmektedir (Akaygun & Jones, 2013; Ardac & Akaygun, 2004; Kelly & Jones, 2007; Williamson & Abraham, 1995). Öte yandan, bazı öğrenciler animasyonları izleseler bile sahip oldukları kavram yanlışlarını değiştirmemektedirler (Akaygun & Jones, 2013, Kelly, 2014; Rosenthal & Sanger, 2012; Tasker & Dalton, 2006). Bunun nedeni, öğrencilerin animasyon izleme sürecinde zihinsel dengesizlik durumundan geçmemeleri ve bu nedenle zihinsel modellerini değiştirememeleri olabilir (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982; Vosniadou, 1994). Oysa, öğrencilerin kavram yanlışlarını bırakmaları ancak ilk sahip oldukları zihinsel modellerini eleştirmeleri ile mümkün olabilir (Merriam, Caffarella & Baumbartner, 2007). Her ne kadar tanecik düzeyi animasyonları kavramların zihinde canlandırılmasını kolaylaştırır da öğrencilerin kavram yanlışlarıyla yüzleşmeleri ve kendi zihinsel modelleri ile farklılaşan gösterimleri karşılaştırmaları gerekmektedir (Marton, 2015). Örneğin, bir kimyasal tepkime sürecinde sadece bilimsel olarak doğru gösteren animasyonu inceleyen öğrencilerin animasyonun genel özelliklerine odaklandıklarını ve bu süreçte önemli bazı özellikleri göz ardı ettikleri görülmüştür (Kelly, 2014). Öte yandan, redoks tepkimesini tanecik düzeyinde betimleyen ve kavramsal olarak farklılaşan birden fazla animasyonu inceleyen öğrencilerin bu animasyonları karşılaştırarak irdeledikleri gözlenmiştir (Kelly, Akaygun, Hansen & Villalta-Cerdas, 2017).

Bu çalışmanın amacı, farklı kavramsal anlama düzeylerine sahip kimya ve fen bilgisi öğretmen adaylarının izledikleri birbiriyle kavramsal olarak farklılaşan çökme tepkimesini tanecik düzeyinde betimleyen iki animasyonu nasıl anlamlandırdıklarının incelenmesidir.

Yöntem

Bu çalışmada, kimya ve fen bilgisi öğretmen adaylarının kavramsal olarak farklılaşan animasyonları anlamlandırmalarının belirlenmesi için nitel durum çalışması (Yıldırım & Şimşek, 1999) yöntemi kullanılmıştır. Araştırmada incelenen durum, kimya ve fen bilgisi öğretmen adaylarının izledikleri animasyonları nasıl anlamlandırdıklarının değerlendirilmesi olup nitel veri toplama araçları ve analiz yöntemleri kullanılmıştır (Creswell & Plano Clark, 2011).

Örneklem

Çalışmaya son sınıfta okumakta olan 20 (5 erkek, 15 kadın) kimya ve 20 (4 erkek, 16 kadın) fen bilgisi öğretmen adayı katılmıştır. Kimya öğretmen adaylarının yaş ortalamaları 26, genel not ortalamaları (GNO) ise 2.31 olup, fen bilgisi öğretmen adaylarının yaş ortalamaları 22, GNO'ları ise 3.14'dür. Öğretmen adaylarının tümü çökme tepkimelerinin işlendiği zorunlu 'Genel Kimya', 'Nitel Analiz' ve 'Analitik Kimya' derslerini tamamlamışlardır.

Uygulama ve Veri Toplama Süreci

Öğretmen adayları önce 3.5 dakikalık sodyum hidroksit ve bakır(II) sülfat çözeltisi arasında gerçekleşen çökme tepkimesinin deney videosunu izlemiş ve bu tepkimeyi tanecik düzeyinde süreç aşamalı çizim oluşturarak betimlemişlerdir. Ardından bu tepkimeye ilişkin, araştırmacılar tarafından geliştirilmiş biri kavramsal açıdan doğru, diğeri ise kavram yanlışlığı içeren iki tanecik düzeyi animasyonunu izlemiş ve animasyonlara ilişkin yansıtıcı düşünme sorularını cevaplamışlardır. Ayrıca öğretmen adayları ile bireysel görüşmeler yapılarak animasyonlar hakkındaki düşünceleri sorulmuş ve animasyonları açıklayarak anlamlandırmaları beklenmiştir. Öğretmen adaylarının bireysel görüşmelerdeki cevapları ve süreç aşamalı çizimleri ayrı ayrı açık kodlama ile kodlanmış, kategori ve temalar oluşturulmuştur. Öğretmen adaylarının oluşturduğu süreç aşamalı çizimler kullanılarak ortaya çıkarılmış olan kavramsal anlama düzeyleri ile kavramsal olarak farklılaşan animasyonları nasıl anlamlandırdıkları arasında bir ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Katılımcıların *süreç aşamalı çizimleri* ve *animasyonların nitelendirilmesine ilişkin yazılı cevapları* bu çalışmanın verileridir.

Veri Analizi

Çalışmada öncelikle, öğretmen adaylarının oluşturduğu süreç aşamalı çizimler *sürekli karşılaştırmalı analiz* yöntemiyle analiz edilmiştir (Glaser, 1965). Süreç aşamalı çizimleri önce açık kodlama yapılarak kodlanmış, ortaya çıkan kodlar tüm katılımcıların süreç aşamalı çizimleriyle karşılaştırılarak, kodların betimlemeleri belirlenmiştir. Daha sonra ortaya çıkan kodlar vasıtasıyla katılımcıların kavramsal anlamalarını gösteren 5 temel kategori oluşturulmuştur. Bu kategoriler *tam yapılandırılmış*, *kısmi yapılandırılmış*, *eksik yapılandırılmış*, *hatalı yapılandırılmış* ve *yapılandırılmamış* olarak isimlendirilmiştir. Bu kategorilerin özelliklerinin betimlemesi Tablo 1’de görülebilir.

Tablo 1. Çökme tepkimesini kavramsallaştırma düzeylerini betimleyen kriterler

Kavramsal Anlama Düzeyi	Kriterler
Tam yapılandırılmış	Sodyum hidroksit, bakır(II) sülfat ve sodyum sülfat çözeltilerindeki iyonların su molekülleriyle birlikte çözünmüş olarak ayrı ayrı gösterilmesi Süreç içerisinde bakır(II) hidroksit iyonları düzgün bir yapı oluşturarak çökerken gösterilmesi Bu süreçte iyonların ve su moleküllerinin korunması
Kısmi yapılandırılmış	Tam yapılandırılmış kavramsallaştırma düzeyi kriterlerinin sağlanması Süreç içerisinde su molekülü ve iyon sayılarının korunmaması
Eksik yapılandırılmış	Bazı taneciklerin (iyon, atom, molekül vb.) tepkime sürecinde gösterilmesi Bakır(II) hidroksit katı olarak çökmüş gösterilse bile iyonların belirli bir yönelimde birleşmemesi Süreç içerisinde su molekülü ve iyon sayılarının korunmaması
Hatalı yapılandırılmış	Tepkimeye giren sulu çözeltilerin karıştırılmadan önce her birindeki iyonların moleküler çift olarak gösterilmesi Tepkime sonucunda oluşan ürünlerin her birindeki iyonların moleküler çift olarak gösterilmesi Süreç içerisinde su molekülü ve iyon sayılarının korunmaması
Yapılandırılmamış	Sadece reaksiyon sürecindeki yapıların gösterilmesi, tepkime sürecinin gösterilmemesi

Bulgular

Kimya ve fen bilgisi öğretmen adaylarının süreç aşamalı çizimlerindeki çökme tepkime süreci gösterimlerine göre belirlenen kavramsal anlama düzeylerinin dağılımı Tablo 2’de verilmektedir. Bulgular kimya öğretmen adaylarından sadece 1 kişinin *tam*, 4 kişinin *kısmi* yapılandırılmış kavramsal

anlama düzeyine olduğunu, yarıya yakınının (8) ise çökme denge tepkimesine dair kavramsal yanlışlarının olduğunu göstermiştir. Hiçbir kimya öğretmen adayının *yapılandırılmamış* kavramsal anlama düzeyine sahip olmadığı görülmüştür. Fen bilgisi öğretmen adaylarından hiç biri *tam*, *kısmi* ya da *eksik* yapılandırılmış kavramsal anlama göstermezken, 16 fen bilgisi öğretmen adayının ise *hatalı yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Tablo 2. Kimya ve fen bilgisi öğretmen adaylarının süreç aşamalı çizimlerdeki çökme tepkime süreci gösterimlerine göre katılımcıların kavramsal anlama düzeylerinin dağılımı

Kavramsal Düzeyleri	Anlama Kimya Öğretmen Adayları (N)	Fen Bilgisi Öğretmen Adayları (N)
Tam yapılandırılmış	1	-
Kısmi yapılandırılmış	4	-
Eksik yapılandırılmış	7	-
Hatalı yapılandırılmış	8	16
Yapılandırılmamış	-	4

Öğretmen adaylarının başlangıçtaki zihinsel modellerindeki farklılıklar izledikleri animasyonları anlamlandırmalarının da farklılaşmasına yol açmıştır. Tablo 3’de görüldüğü üzere *tam yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip kimya öğretmen adayı her iki animasyonu da açıkça doğru ya da yanlış olduğunu belirtmeden sadece betimlemiştir. Kimya öğretmen adaylarından *kısmi yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip tüm katılımcılar kavram yanlışlığı içeren animasyonu yanlış olarak nitelendirirken, katılımcılardan üçü tepkime sürecini kavramsal olarak doğru gösteren animasyonu doğru olarak nitelendirirken diğer katılımcı animasyonu sadece betimlemiştir. *Eksik yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip 7 katılımcıdan 3’ü kavramsal olarak doğru olan animasyonu doğru olarak nitelendirirken 4’ü sadece betimleme yapmıştır. Bu katılımcıların 5’i kavram yanlışlığı içeren animasyonu yanlış, 1’i doğru olarak nitelendirirken, 1 kişi ise bu animasyonu sadece betimlemiştir. *Hatalı yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip 8 kimya öğretmen adayının 1’i kavramsal olarak doğru animasyonu doğru olarak nitelendirirken, 4 katılımcı aynı animasyonu sadece betimlemiş, 3 katılımcı ise yanlış olarak nitelendirmiştir. Buna karşılık *hatalı yapılandırılmış* kavramsallaştırma düzeyine sahip kimya öğretmen adaylarından 3’ü kavram yanlışlığı içeren animasyonu yanlış olarak nitelendirirken, 2 katılımcı sadece betimlemiş ve 3 katılımcı ise kavram yanlışlığı içeren bu animasyonu doğru olarak nitelendirmiştir. Yine *hatalı yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip 16 fen bilgisi öğretmen adayının 2’si kavramsal olarak doğru animasyonu doğru olarak nitelendirirken, 12 katılımcı aynı animasyonu sadece betimlemiş, 2 katılımcı ise yanlış olarak nitelendirmiştir. Öte yandan, *hatalı yapılandırılmış* kavramsallaştırma düzeyine sahip fen bilgisi öğretmen adaylarından 3’ü kavram yanlışlığı içeren animasyonu yanlış olarak nitelendirirken, 12 katılımcı sadece betimlemiş ve 1 katılımcı ise kavram yanlışlığı içeren bu animasyonu doğru olarak nitelendirmiştir. *Yapılandırılmamış* kavramsallaştırma düzeyine sahip 4 fen bilgisi öğretmen adayının 2’si her iki animasyonu da sadece betimlerken, 2 katılımcı ise animasyonları yanlış şekilde nitelendirmiştir.

Tablo 3. Kimya ve fen bilgisi öğretmen adaylarının kavramsal anlama düzeylerine göre tanecik düzeyindeki kavramsal olarak farklılaşan çökme tepkimesi animasyonlarını nitelendirme dağılımı

Kavramsallaştırma	Kimya Öğretmen Adayları				Fen Bilgisi Öğretmen Adayları	
Nitelendirme	Tam	Kısmi	Eksik	Hatalı	Hatalı	Yapılandırılmamış
Doğru Animasyon - Doğru	-	3	3	1	2	-
Doğru Animasyon-Betimleme	1	1	4	4	12	2
Doğru Animasyon -Yanlış	-	-	-	3	2	2
Yanlış Animasyon -Yanlış	-	4	5	3	3	-

Yanlış Animasyon-Betimleme	1	-	1	2	12	2
Yanlış Animasyon -Doğru	-	-	1	3	1	2

Sonuç ve Tartışma

Kimyasal tepkimelerin bir türü olan çökme tepkimeleri öğrenciler için anlaşılması zorlayıcı konulardan biridir (Ahtee, 1998; Boo & Watson, 2001; Chandrasegaran et al., 2008). Bu çalışmanın bulguları da kimya öğretmen adaylarının yarıya yakınının (8 kişi) ve fen bilgisi öğretmen adaylarının çoğunluğunun (16 kişi) hatalı yapılandırılmış kavramsal anlama düzeyine sahip olması bu durum ile ilişkilendirilebilir.

Öğrencilerin kimyasal tepkimeler konusunu anlamada güçlük yaşamalarının nedeni ise tepkime sürecinin dinamik yapısının ve tanecikler arası etkileşimleri öğrencilerin zihinlerinde canlandırmada yaşadıkları zorluk olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle tanecik düzeyini betimleyen animasyonlara kimya eğitiminde yer verilmektedir (Williamson, 2008). Bu çalışmada da öğretmen adayları çökme tepkime videosunu izlemelerinin ardından tepkime sürecini tanecik düzeyinde görselleştiren animasyonlar izlemişlerdir.

Tanecik düzeyi animasyonlarının kimya eğitiminde kullanımı üzerine yapılan araştırmalarda, öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerinin animasyonlar yardımıyla ilerleyebileceği görülse de (Akaygun & Jones, 2013; Ardac & Akaygun, 2004; Kelly & Jones, 2007; Williamson & Abraham, 1995) bazen sahip oldukları kavram yanlışlarını değiştirmedikleri de görülmektedir (Akaygun & Jones, 2013, Kelly, 2014; Rosenthal & Sanger, 2012). Bunun nedenin, öğrencilerin sahip oldukları zihinsel modellerin, yani kavramsal anlama düzeylerinin animasyonları anlamlandırmadaki rollerinin olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın bulguları da kimya ve fen bilgisi öğretmen adaylarının çökme tepkimelerine ilişkin var olan kavramsal anlama düzeylerinin tanecik düzeyindeki kavramsal olarak farklılaşan animasyonları uygun şekilde nitelendirmelerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Açıkça ifade etmek gerekirse, *hatalı yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip hem kimya hem de fen bilgisi öğretmen adaylarının animasyonları kavramsal olarak uygun şekilde nitelendiremediği, ya da nitelendirmekten kaçınarak sadece betimlediği görülmüştür. Çalışmaya katılan kimya öğretmen adaylarından 8'inin kavramsal anlama düzeyinin hatalı yapılandırılmış olduğu görülmüş ve bu öğretmen adaylarından sadece 1'i kavramsal olarak doğru animasyonu doğru, 3'ü de kavramsal olarak yanlış animasyonu yanlış olarak nitelendirmiştir. Bu öğretmen adaylarından 3'ü doğru animasyonu yanlış, yanlış da doğru olarak nitelendirmiştir. Diğerleri ise açıkça bir nitelendirme yapmadan sadece betimlemiştir. Tam, kısmi, ya da eksik yapılandırılmış kavramsal anlama düzeylerine sahip kimya öğretmen adaylarının ise animasyonları doğru ya da yanlış olarak nitelendirdiği dikkat çekmiştir. Süreç aşamalı çizimlerinde, çökme tepkimesi gösterimleri kavram yanlışlığı barındırmayan ancak gösterimlerinde eksikler olan *eksik yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip kimya öğretmen adaylarından 3'ü kavramsal olarak farklılaşan animasyonlardan doğru animasyonu doğru, 5'i de kavram yanlışlığı içeren animasyonu yanlış olarak nitelendirmiştir. Bu öğretmen adaylardan 4 katılımcı doğru animasyonu, 1 kişi de kavram yanlışlığı içeren animasyonu doğru ve yanlış olmalarına değinmeden sadece betimlemiştir. *Kısmi yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip 4 kimya öğretmen adayının tümü kavram yanlışlığı içeren animasyonu yanlış olarak nitelendirirken, bu öğretmen adaylarından üçü kavramsal olarak doğru animasyonu doğru olarak nitelendirebilmiş, 1 kişi ise sadece betimlemiştir. Bilimsele yaklaşan bir model olan kısmi yapılandırılmış kavramsal anlama düzeyine sahip öğretmen adaylarının animasyonları daha kolaylıkla kavramsal açıdan nitelendirebildiği görülmüştür. *Tam yapılandırılmış* kavramsal anlama düzeyine sahip tek katılımcı ise her iki animasyonu sadece betimlemiştir. Bu çalışmada öğretmen adaylarının her iki animasyonu inceleyerek kendi zihinsel modellerini irdeledikleri dikkat çekmiştir.

Bulgular ışığında, kimyasal tepkimeler gibi öğrenciler için anlaşılması zorlayıcı kavramların öğretiminde tanecik düzeyini betimleyen animasyonların kimya derslerine dâhil edilmesi önem taşımaktadır. Ancak bu süreçte öğrencilerin sadece pasif izleyici olmamaları, izledikleri animasyonları eleştirel gözle değerlendirmeleri gerekli görülmektedir. Kimya öğretmenlerinin ise öğrencilerinin muhtemel kavramsal anlamalarının farkında olmaları oldukça önemli olup animasyonları derslerine

dâhil ederken öğrencilerine bilişsel çelişki sürecini yaşatacak şekilde derslerini planlamaları, tartışma ve yansıtıcı günlüklerle öğrenmeyi desteklemeleri önerilebilir.

Kaynakça

- Ahtee, M. & Varjola, I. (1998). Students' understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, 20 (3), 305-316.
- Akaygun, S. & Jones, L. (2013). Research-based design and development of a simulation of liquid-vapor equilibrium. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 324-344.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 317-337.
- Boo, H.K. & Watson, J.R. (2001). Progression in high school students' (aged 16-18) conceptualizations about chemical reactions in solution. *Science Education*, 85(5), 568-585.
- Chandrasegaran, A.L., Treagust, D. F. & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293-307.
- Creswell, J.W., & Plano Clark, V.L. (2011). *Designing and conducting mixed methods research* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Glaser, B. (1965). The constant comparative method of qualitative analysis. *Social Problems*, 12(4), 436-445.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-704.
- Kelly, R. M. (2014). Using variation theory with metacognitive monitoring to develop insights into how students learn from molecular visualizations. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1152-1161.
- Kelly, R. M. (2017). Learning from contrasting molecular animations with a metacognitive monitoring activity. *Educación Química*, 28, 181-194.
- Kelly, R. M., Akaygun, S., Hansen, S. J. R., & Villalta-Cerdas, A. (2017). The effect that comparing molecular animations of varying accuracy has on students' submicroscopic explanations. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 582-600.
- Kelly, R. M. & Jones, L. L. (2007). Exploring how different features of animations of sodium chloride dissolution affect students' explanations. *Journal of Science Education and Technology*, 16(5), 413-429.
- Marton, F. (2015). *Necessary conditions of learning*. New York: Routledge.
- Merriam, S. B., Caffarella, R. S. & Baumbartner, L. M. (2007). *Learning in adulthood a comprehensive guide*. San Francisco: John Wiley & Sons.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting concepts, and Core Ideas*. Washington D.C.: National Academies Press.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Rosenthal, D. P. & Sanger, M. J. (2012). Student misinterpretations and misconceptions based on their explanations of two computer animations of varying complexity depicting the same oxidation-reduction reaction. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 471-483.
- Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic molecular theory. *Measurement*, 4(1-2), 1-98.
- Taber K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education, *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 156-168.
- Tasker R. & Dalton R. (2006). Research into practice: visualization of the molecular world using visualizations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 141-159.
- Vosniadou, S. (1994). *Capturing and modeling the process of conceptual change*. *Learning and*



Instruction, 4(1), 45-69.

Williamson, V. (2008). *Nuts and Bolts of Chemical Education Research*. In D. Bunce & R. S. Cole (Eds.) (pp: 67-78). Washington DC: American Chemical Society.

Williamson, V. M., Abraham, M. R. 1995. "The effects of computer visualization on the particulate mental models of college chemistry students". *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521-534.

Yıldırım A. & Şimşek, H. (1999). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*. Ankara: Seçkin Yayınevi.



MARMARA
ÜNİVERSİTESİ