



Mustafa Kemal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi
Mustafa Kemal University Journal of the Faculty of Education
Yıl/Year: 2025 ♦ Cilt/Volume: 9 ♦ Sayı/Issue: 15, s. 40-58

KİMYASAL TEMSİLLER VE KULLANIMLARI İLE İLGİLİ ANLAYIŞLARDAKİ ZORLUKLAR

Prof. Dr. Tacettin PINARBAŞI

Atatürk Üniversitesi, K. K. Eğitim Fakültesi, pinarbasit@atauni.edu.tr

Orcid: 0000-0003-2153-248X

Özet

Kimyasal varlıkların ve süreçlerin dışsal görsel temsilleri (kimyasal temsiller), kimyasal düşünme ve uygulamalarda kritik bir rol oynamaktadır. Çevremizdeki maddelerin özelliklerini ve davranışlarını anlamamıza yardımcı olan kimyasal modeller ile makroskobik dünya arasında köprü görevi görerek akıl yürütme sürecini desteklemektedirler. Sonuç olarak, kimya alanında, öğrencilerin temsillerle ilgili yetkinliklerini keşfetmeye ve geliştirmeye yönelik çok sayıda araştırma çalışmaları yürütülmektedir. Bununla birlikte, kimyasal temsillerin ayırt edici özelliklerinin öğrencilerin akıl yürütmelerini nasıl etkilediğine yönelik daha derinlemesine yapılacak bir analiz, bu alanda yürütülen araştırmalara fayda sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla, Talanquer (2022)'in kimyasal temsillerin farklı boyutlardaki değişiminin analizine yönelik yapmış olduğu bir çalışmanın, kısıtlı katkılar haricinde, aslına sadık kalınarak özetlenmiş bir versiyonu okuyucuların ilgisine sunulmakta ve böylece, temsillerin gösterimindeki dört farklı boyut (ikoniklik, niceliksellik, granülerite, boyutsallık) tanımlanmakta ve bunların öğrencilerin kimyasal temsilleri yorumlama, ilişkilendirme, oluşturma ve kullanma becerilerini nasıl etkilediği tartışılmaktadır. Bu özelliklerin farklı görev türleri sırasında, bilginin paketlenmesini veya paketlenmiş bilginin açılmasını nasıl etkilediği ve böylece anlamlandırma ve algısal yetkinliğe olan tesirleri ele alınmaktadır. Ayrıca, kimya eğitimi araştırmaları ve uygulamalarına yönelik çıkarımlar değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kimya Eğitimi, Kimyasal Modeller, Temsiller, Öğrenci Anlayışları

CHALLENGES IN UNDERSTANDING CHEMICAL REPRESENTATIONS AND THEIR USES

Abstract

External visual representations of chemical entities and processes (chemical representations) play a critical role in chemical thinking and practices. They support the reasoning process by acting as a bridge between chemical models, which help us understand the properties and behaviors of substances around us, and the macroscopic world. Consequently, numerous research studies are being conducted in the field of chemistry to explore and develop students' representational competencies. However, it is believed that a more in-depth analysis of how the distinctive characteristics of chemical representations affect students' reasoning could benefit the research conducted in this area. To this end, a faithfully summarized version of Talanquer's (2022) work on the analysis of the variation of chemical representations across different dimensions, with minor contributions, is presented for the readers' interest. In this way, four different dimensions in the representation of representations are defined (iconicity, quantitateness, granularity, dimensionality), and how these affect students' abilities to interpret, connect, generate, and use chemical representations is discussed. How these characteristics affect the packing or unpacking of information during different task types, and thus their influence on sense-making and perceptual competency, is addressed. Furthermore, implications for chemistry education research and practice are evaluated.

Key Words: Chemistry Education, Chemical Models, Representations, Student Reasoning

Giriş

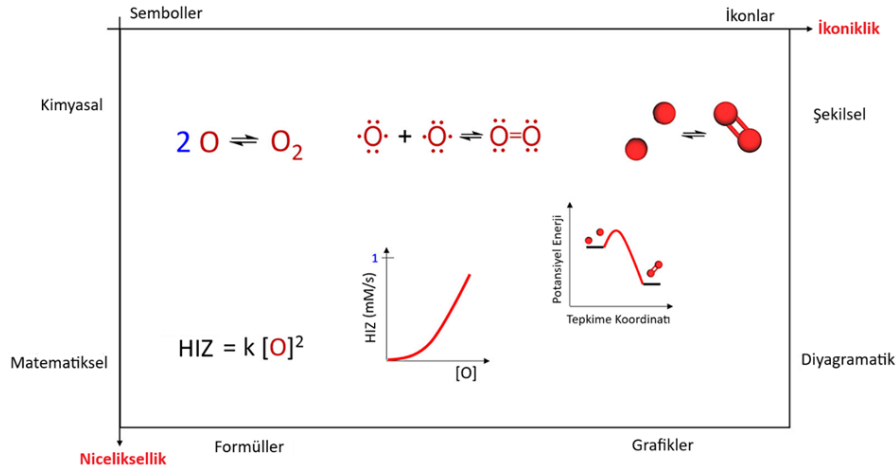
Kimya eğitime yönelik araştırma ve uygulamalar, kavram ve fikirlerin iletilmesi, akıl yürütmenin yönlendirilmesi ve desteklenmesi ve de anlayışların geliştirilebilmesi için, kimyasal varlıkların ve süreçlerin dışsal görsel temsillerinin (kimyasal temsiller) kullanımıyla, karmaşık bir şekilde bağlantılıdır (Kozma ve Russell; Wu ve Shah, 2004). Eğitim alanında, öğrencilerin ve öğretmenlerin kimyasal temsillerle nasıl etkileşim kurduklarına ve olguları anlamlandırırken, açıklamalar oluştururken, tahminlerde bulunurken veya argümanlar geliştirirken bunları nasıl yapılandırdıklarına, yorumladıklarına, ilişkilendirdiklerine ve kullandıklarına dair içgörüler elde etmek için çok sayıda araştırma yürütülmektedir (Chi ve diğ., 2018; Farheen ve Lewis, 2021; Kiernan ve diğ., 2021). Benzer şekilde, çeşitli eğitim projeleri vasıtasıyla, öğrenme süreci boyunca kimya öğretmenlerini ve öğrencilerini kimyasal temsillerin kullanımı sürecinde desteklemek için çeşitli stratejiler ve araçların geliştirilmesi ve bunların uygulanması amaçlanmaktadır (Patron ve diğ., 2021; Rau ve diğ., 2021). Genel olarak, kimya eğitimi topluluğu tarafından, kimya alanında öğrencilerin temsil yetkinliğine yönelik kazanımlarını daha iyi desteklemek için önemli araştırma ve geliştirme çabaları harcanmaktadır (Ainsworth, 2006).

Bu önemli ve etkili çabalara rağmen, kimyasal temsillerin kendine özgü doğasının, öğrencilerin onlarla ilgili oluşturacakları akıl yürütmeyi nasıl etkileyebileceğine dair daha ayrıntılı bir analizin, bu alandaki çalışmalara katkı sağlayacağı söylenebilir. Tüm doğa bilimleri, kendi disiplin uygulamaları sürecinde dışsal görsel temsillere büyük ölçüde güvenmekle birlikte, ilgili alanda öğrencilerin akıl yürütmelerini ve öğrenmelerini daha iyi desteklemek için, bu temsillerin her birinin bilinmesi gereken, o alana özgü özellikleri vardır (Treagust ve diğ., 2017). Bu nedenle, bu makalenin temel amacı, kimyasal temsillerin doğasına yönelik daha derinlemesine bir bakış açısı sunmak ve bunların kendine has özelliklerinin, öğrenci akıl yürütmeleriyle nasıl etkileşime girebileceğini tartışmaktır.

Talanquer (2022), bu alanda 20 yılı aşkın süredir çalışan bir kimya eğitimi araştırmacısı olarak, eğitim araştırmalarına ve öğretime rehberlik etmek için kimyasal bilgi ve uygulamanın doğasını dikkatlice düşünmenin önemli olduğuna vurgu yapmaktadır. Sunulmakta olan bu çalışmada da, Talanquer (2022)'in kimyasal temsillerin farklı boyutlardaki değişiminin analizine yönelik yapmış olduğu bir çalışmanın, kısıtlı katkılar haricinde, aslına sadık kalınarak özetlenmiş bir versiyonu okuyucuların ilgisine sunulmaktadır. Bu makalede ileri sürülen fikirler, dünya çapındaki ortaöğretim okullarında ve üniversite düzeyinde temel kimya derslerinde (yani genel ve organik kimya) kullanılan kimyasal temsil türlerine ilişkin, onun kişisel analizlerine dayanmaktadır (Ferreira ve Lawrie, 2019). Bu analizler, öğrencilerin, öğretmenlerin ve öğretim tasarımcılarının bu tür dışsal görselleştirmelerle nasıl etkileşim kurduğuna ve bunları nasıl kullandığına dair mevcut araştırmaların temel bulgularından elde edilen bilgilerle şekillenmiştir. Bu analize, kimyada uzman ve uzman olmayanların akıl yürütmelerini konu edinen ve kimya ile diğer bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) alanlarındaki temsil yetkinliği ile ilgili çalışmalardan büyük ölçüde faydalanmış bir araştırmacının bakış açısıyla yaklaşmıştır.

Kimyasal Temsillerin Değişim Boyutları

Farklı yazarlar, kimyasal temsillerin kimyanın düşünce yapısında ve pratiğinde oynadığı merkezi rolü tartışmaktadırlar (Hoffmann ve Laszlo, 1991; Luisi, 2002; Talanquer, 2011). Bu temsiller, yalnızca kavramların veya fikirlerin iletişimini kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda kimyasal varlıklar ve süreçler hakkında akıl yürütmeleri de mümkün kılmaktadırlar (Hoffmann ve Laszlo, 1991). Açıklamaya, anlamaya, dönüştürmeye ve kontrol etmeye çalıştığımız somut maddi dünya ile çevremizdeki maddelerin özelliklerini ve davranışlarını anlamak için, kimyacılar tarafından geliştirilen teorik ilkeler ve modeller arasında köprü görevi görürler (Talanquer, 2011). Kimyasal temsiller oldukça çeşitli olmakla birlikte, bunlar arasındaki önemli farklılıkların aşağıdaki paragraflarda tanımlanan dört ana analiz boyutu içerisinde değerlendirilebileceği öngörülmektedir:



Şekil 1. Aynı kimyasal süreçle ilgili ancak ikoniklik ve niceliğe göre boyutlarında farklılık gösteren kimyasal gösterim örnekleri (bu gösterimler granülarite ve boyutsallık açısından da farklılık gösterir, ancak bu farklılıklar şekilde vurgulanmamıştır). Kimyasal semboller ve resimli ikonlar tipik olarak matematiksel sembollerden ve şematik ikonlardan (örneğin, grafikler) daha açık nitel bilgi sağlar.

İkoniklik (Iconicity)

Kimyasal temsiller, bir nesne, durum, olay veya süreç hakkında bilgi ileten görsel işaretler olarak kavramsallaştırılabilir. Bu işaretler, kimyasal elementlerin kimyasal sembolleri gibi, işaret ile temsil ettiği içerik arasında keyfi bir bağlantı olması anlamında "sembolik" olabilir. Ya da, moleküllerin top-çubuk resimli temsilleri gibi, işaret ile içerik arasında bir dereceye kadar doğal ve keyfi olmayan bir ilişki sergilemeleri anlamında "ikonik" olabilirler (Grosholz ve Hoffmann, 2012). İkonik işaretler genellikle anlamı aktarmak için analogik (örneğin, bir atomun küçük bir küre olarak tasvir edilmesi) veya metaforik (örneğin, bir enerji diyagramındaki daha yüksek bir tepe noktasının sıklıkla daha büyük bir enerji "bariyeri" olarak yorumlanması) bağlantılara dayanır. Kimyasal temsiller, semboller ve ikonlar arasındaki sürekliliği genişleterek farklı derecelerde ikoniklik sergilerler (Hoffmann & Laszlo, 1991). Örnek olarak, farklı atom türlerinin sembollerinin atomik bağlantıyı veya moleküler geometriyi temsil eden yapısal ikonlarla birleştirildiği Lewis yapılarını veya moleküllerin top-çubuk gösterimleri verilebilir.

Niceliksellik (Quantitativeness)

Kimyasal temsiller, temsil edilen varlıkların fiziksel halleri, kimyasal bileşimleri veya kısmi yükleri gibi doğası ve özellikleri hakkında açık nitel bilgiler iletebilirler. Ancak aynı zamanda, ölçülebilir özelliklerin göreceli değeri (örneğin, kimyasal formüllerdeki bileşim oranları, moleküler modellerde daha büyük ve daha küçük yarıçaplar, enerji diyagramlarında daha yüksek ve daha düşük enerjiler), gerçek sayısal veriler (örneğin, grafikler, spektrumlar) veya değişkenler arasındaki matematiksel ilişkiler (örneğin, $PV = nRT$) şeklinde farklı derecelerde açık nitel bilgiler de iletebilirler.

Granülarite (Tanecikli olma düzeyi (Granularity))

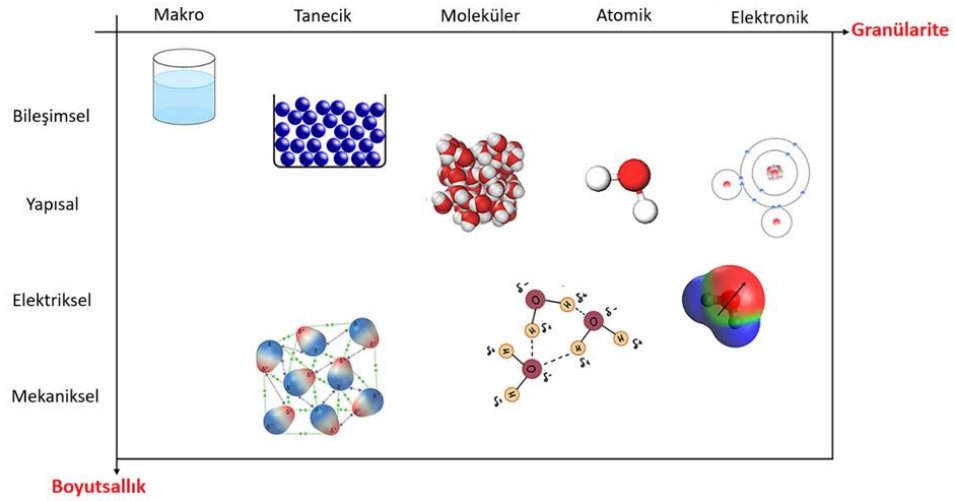
Kimyadaki görsel temsiller, varlıkları veya süreçleri makroskobik ölçekten elektronik ölçeğe kadar bir veya birden fazla granülarite (taneciklik) düzeyinde tasvir eder. (Vogt, 2019). Her granülarite düzeyi, atomik düzeyde atomlar veya elektronik düzeyde elektronlar gibi, vurgulanmak istenen özelliklere sahip belirli nesnelerle karakterize edilir. Bu özellikler genellikle, daha düşük bir granülarite düzeyindeki nesne topluluklarının dinamik etkileşimlerinden ortaya çıkar (Luisi, 2002). Örneğin, atomik düzeydeki bağlı atomlar arasındaki etkileşimler, moleküler

düzeyde sistemin molekül geometrisini oluşturur; elektronik düzeydeki protonlar ve elektronlar arasındaki etkileşimler, atomik düzeydeki atom boyutlarını belirler.

Boyutsallık (Dimensionality)

Kimyasal temsiller, kimyasal bileşim, yapı (örneğin, atomik bağlantı, geometri), elektriksel özellikler (örneğin, yük, polarite), mekanik özellikler (örneğin, etkileşim kuvvetleri, potansiyel enerji) ve kinetik özellikler (örneğin, hız, zaman) dahil olmak üzere, gözlem altındaki varlıkların bir veya daha fazla fiziksel veya kimyasal boyutuna karşılık gelen farklı özelliklerini açık bir biçimde vurgulamaktadırlar (Jensen, 1998).

Şekil 1 ve 2, yukarıda açıklanan dört analiz boyutunda yer alan kimyasal temsillerdeki değişimi göstermeyi amaçlamaktadır. Dört farklı boyut boyunca oluşan değişimi aynı anda tasvir etmek zor olduğundan, şekiller, seçilen herhangi iki boyuttaki farklılıkları vurgulamaktadır. Şekil 1, atomik oksijenden diatomik oksijenin oluşumuyla bağlantılı temsilleri örnek olarak kullanarak, ikoniklik ve niceliksellik boyutlarındaki değişimi vurgulamaktadır. Bu kimyasal süreç, şekilde sembolik bir kimyasal denklemden, ilgili atomların ve moleküllerin daha ikonik bir temsiline kadar çeşitli görselleştirmeler kullanılarak temsil edilmektedir. Bu temsiller, görüldüğü gibi, kimyasal bileşim ve yapı hakkında açık bir şekilde, nitel ve nicel bilgiler sağlamaktadır. Reaksiyon hızı ile atomik oksijen konsantrasyonu arasındaki matematiksel ilişki hakkında hem sembolik hem de grafiksel biçimde bilgi veren temsiller için, niceliksel olma düzeyi artmaktadır. Bu son örneklerin aksine, Şekil 1'deki enerji diyagramı, yalnızca göreceli potansiyel enerji değerlerini (yani daha yüksek veya daha düşük enerjiler) ve aktivasyon enerjisi bariyerinin temsiliinde daha yüksek bir ikoniklik derecesini tasvir ettiği için nispeten daha düşük bir niceliksel olma derecesi sergilemektedir.



Şekil 2. Aynı kimyasal maddeyle ilgili ancak granülarite ve boyutsallık alanlarında farklılık gösteren kimyasal temsil örnekleri (bu gösterimler, şekilde vurgulanmayan ikoniklik ve niceliğe göre küçük farklılıklar sergilemektedir). Temsiller, diğer seviyelerden öğeler içerebilmelerine rağmen, en açık hale getirdikleri granülarite ve boyutsallık seviyelerine yerleştirilmiştir.

Şekil 2, aynı kimyasal maddeyle (su) ilgili, ikoniklik ve niceliksellik açısından küçük farklılıklar gösteren, ancak granülarite ve boyutsallık eksenleri boyunca çok daha büyük farklılıklar içeren çeşitli kimyasal temsilleri içermektedir. Granülarite eksenini boyunca yer alan temsiller, farklı analiz ölçeklerindeki ilgili parçacıklar, moleküller, atomlar ve elektronlar gibi farklı bileşenleri açıkça belirtir. Boyutsallık eksenini boyunca yer alan temsiller, kimyasal bileşimden moleküler yapıya, yük dağılımına ve moleküller arası etkileşimlere kadar açık hale getirilen veya vurgulanan

kimyasal veya fiziksel özellik türleri bakımından farklılık gösterir. Bazı kimyasal temsillerin çeşitli granülarite veya boyutsallık düzeyleri hakkında açık bilgiler sunması beklenebilir, ancak bu durum, onları çok boyutlu bir uzayda konumlandırmayı zorlaştırır. Örneğin, elektriksel boyutta bilgi görüntüleyen kimyasal temsiller, bileşimsel ve yapısal bilgiler içerebilir ve bir elektronik granülarite düzeyindeki temsiller muhtemelen atomik ve moleküler öğeleri içerecektir. Bununla birlikte, belirli bir temsil tipik olarak Şekil 2'deki elektrostatik potansiyel haritasında gösterildiği gibi belirli bileşenleri ve özellikleri vurgulamak için kullanılır; bu harita açık yapısal bilgiler içerir ancak çoğunlukla elektriksel boyutu vurgular. Bu nedenle, belirli bir temsili karakterize eden boyutlar, nasıl ve hangi amaçla kullanıldığına bağlı olarak değişebilir.

Şekil 1 ve 2'de gösterildiği gibi, kimyasal temsillerdeki farklılıkların, yalnızca, kimya üçgeni veya üçlüsü (makroskobik-sembolik-submikroskobik) olarak iyi bilinen üç kategoriye dayalı seçilerek belirlenmesi, kimya öğrencilerinin etkileşim kurması beklenen çok sayıda temsil türünün zenginliğini ve karmaşıklığını tam olarak yansıtamaz (Johnstone, 1991). Bu yaklaşım, çeşitli bağlamlarda ve farklı amaçlar için çeşitli kimyasal temsil türlerini üretken bir şekilde yorumlamak, ilişkilendirmek, oluşturmak ve kullanmak için gereken akıl yürütmeleri gizleyebilir. Bir sonraki bölümde tartışılacağı üzere, böyle bir karmaşıklığın kabul edilmesi, kimyasal temsillerin, kimya öğrenenler için ortaya çıkardığı akıl yürütme zorluklarının daha iyi anlaşılması ve kimyada temsil yetkinliğinin gelişimini destekleyen stratejilerin geliştirilmesi için gerekli görünmektedir.

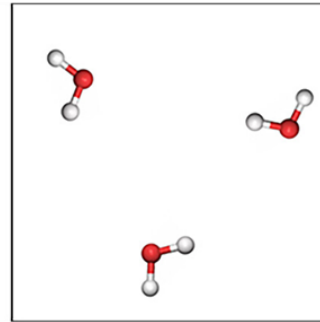
Kimyasal Temsillerin Yorumlanması

Önceki bölümde tanımlanan ve açıklanan kimyasal temsillerin dört değişim boyutu, anlamını doğru bir şekilde yorumlayabilmek için tanınması gereken belirli bir temsilin temel yönlerine veya özelliklerine işaret etmektedir. Bir kimyasal temsili yorumlamak, şu gibi sorulara cevap vermeyi gerektirir: Hangi tür varlıklar (granülarite) ve özellikler (boyutsallık) temsil ediliyor? Hangi tür nitel ve nicel bilgiler doğrudan veya dolaylı olarak çıkarılabilir (niceliksellik)? Temsil hangi ilgili özellikleri (açık veya örtük) iletiyor (ikoniklik)? Bu sorulardan herhangi birine yeterince cevap verilememesinin, temsil hakkında ve onunla ilgili akıl yürütmeleri etkileyecek yanlış yorumlamalara yol açması muhtemeldir. Bir sonraki paragrafta gösterildiği gibi, granülarite, boyutsallık, ikoniklik veya niceliksel olma boyutları boyunca çıkarım hatalarından kaynaklanan akıl yürütme sorunlarına dair örnekler, kimya eğitimi araştırma literatüründe bol miktarda bulunmaktadır.

Örneğin, öğrenciler sıklıkla moleküler bir varlığa işaret eden H_2O sembolü ile makroskobik bir kimyasal maddeye işaret eden $H_2O(s)$ sembolü arasındaki farkı anlamakta başarısız olurlar (Taskin ve Bernholt, 2014). $H_2O(s)$ gösterimini makroskobik düzeyde değil de moleküler düzeyde (granülarite sorunu) bir kimyasal varlığa karşılık geliyormuş gibi düşünmek, moleküllerin makro benzeri özelliklere sahip olduğuna dair sezgisel inancı güçlendirebilir (Talanquer, 2006). Aynı türden sezgisel bir akıl yürütme, farklı atom türlerini temsil etmek için kullanılan renklerin sembolik ipuçları yerine ikonik olarak düşünülmesinden (ikoniklik sorunu) kaynaklanabilir (Ben-Zvi ve diğ., 1986). Benzer şekilde, $NaCl$ sembolünün iyonik bir varlık yerine moleküler bir varlığa karşılık geldiğini varsaymak (granülarite ve boyutsallık sorunları), atıfta bulunduğu kimyasal varlığın yapısı ve özellikleri hakkındaki çıkarımları etkileyecektir (Bowe ve diğ., 2022; Taber ve diğ., 2012). Bir elektrostatik potansiyel haritasındaki farklı renklerin elektrik potansiyelindeki değişimlerden ziyade sıcaklık veya ısıdaki değişimlerin göstergesi olduğunu düşünmek (boyutsallık sorunu), moleküller arası etkileşimler hakkındaki akıl yürütmeleri sınırlandıracaktır (Luxford, 2013). Bir enerji diyagramındaki tepkime koordinatını, bir reaksiyon yolu boyunca dönüşüm ilerlemesi yerine zamanın bir ölçüsü olarak düşünmek (boyutsallık sorunu), göreceli reaksiyon hızları hakkındaki akıl yürütmeleri etkileyecektir (Popova ve Bretz, 2018). Son olarak, $3H_2$ sembolünü üç bağımsız diatomik molekül yerine altı hidrojen atomlu tek bir molekülü temsil ediyormuş gibi almak (granülarite ve niceliksel sorunlar), kimyasal bir reaksiyon sırasında meydana gelen değişikliklerin anlaşılmasını muhtemelen engelleyecektir (Yarroch, 1985).

Kimyasal bir temsille etkileşim halindeyken uygun granülarite, boyutsallık, ikoniklik ve niceliksellik düzeylerini yorumlamak, özellikle bu temsilin taşıdığı bazı bilgilerin açık yerine örtük olması durumunda, yeterli deneyime sahip olmayan bireyler için kolay değildir (Kiernan ve diğ., 2021). Bu bilgilerin büyük bir kısmı açık olsa bile, temsil edilen özelliklerden hangilerinin anlam oluşturmak için konuya ilişkin olduğunu belirlemek gerekir (Adu-Gyamf ve diğ., 2012). Bir temsilin ikoniklik derecesi ne kadar düşükse veya ne kadar fazla sembole benziyorsa, temsilde yer alan ilgili özelliklerin ilgisiz olanlara oranının o kadar yüksek olması beklenebilir, bu da bir yorum oluşturmak için gereken bilişsel çabayı azaltabilir. Bununla birlikte, sembolik gösterimler ikonik olanlardan daha soyut olma eğilimindedir ve bu da anlamlandırma süreçlerini engelleyebilir (Bosse ve diğ., 2011). Ek olarak, temsillerde yer alan açık ve örtük özelliklerin oranının da akıl yürütmeler üzerinde etkili olması beklenebilir. Örneğin, öğrencilerin, atomik bileşim gibi açık bilginin atomik bağlantı ve elektron alanları gibi örtük bilgiye oranının daha düşük olduğu bir moleküler formülden, onun moleküler geometrisi hakkında çıkarımlar yapmada, bu iki özelliğin açık hale getirildiği ilişkili Lewis yapısına oranla, daha fazla zorluk çekmeleri muhtemeldir. Öğrencilerin farklı kimyasal temsillerle nasıl etkileşim kurduğunu analiz ederken bu farklı ve bazen birbirleriyle rekabet eden faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Bir temsildeki açık özelliklerin, temsilin belirli granülarite, boyutsallık ve niceliksellik düzeyleriyle uyumlu bilgiler sağlaması muhtemeldir ve böylece bu düzeylerdeki akıl yürütmeleri kolaylaştırabilir, ancak aynı durum diğer düzeyler için geçerli olmayabilir. Örneğin, Şekil 3'teki su buharının ikoniklik, granülarite ve boyutsallık düzeyleri farklılık gösteren iki gösterimini ele alalım. Solda yer alan sembolik ($\text{H}_2\text{O}_{(g)}$) gösterimdeki çoğu özellik, temsil edilen makroskobik maddenin (granülarite) kimyasal bileşimi ve fiziksel durumu (boyutsallık) hakkında çıkarımlar yapmak için açık ve uygundur. Öte yandan, Şekil 3'ün sağ tarafındaki ikonik moleküler gösterimi kullanarak aynı türden çıkarımlar yapmak için gereken özelliklerin çoğu örtüktür. Örneğin, elementel bileşim bir renk kodundan, madde hali ise moleküller arasındaki göreceli mesafeden çıkarılmalıdır. Ek olarak, bu ikonik gösterim, kimyasal bileşim ve fiziksel durum hakkında çıkarım yapmak için ilgisiz (gereksiz) olan, şekilde gösterildiği haliyle, moleküllerin sayısı, konumu ve yönelimi gibi çeşitli özellikleri içerir. Bu nedenle, kimyasal bileşim hakkında çıkarımlar, büyük olasılıkla sembolik gösterim kullanılarak daha kolay yapılabilir. Ancak, sağdaki moleküler gösterim, bu görselleştirmede açıkça belirtildiği için, moleküler yapı hakkında çıkarımlar üretmeyi kolaylaştırmaktadır; oysa su buharının moleküler yapısı ile moleküllerinin atomik bağlantısı ve moleküler geometrisi hakkındaki bilgilerin, $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ sembolik gösteriminden çıkarılması, bu sembole örtük olarak bağlı bilgilere (örneğin, değerlik elektron sayısı, göreceli elektronegatiflik) dayanan uzun ve bilişsel olarak zorlu bir çıkarım zincirini gerektirmektedir. Bu nedenle, öğrenci akıl yürütmeleri, bilgi, temsillerin açık özelliklerinden doğrudan çıkarılabildiği durumlarda, büyük olasılıkla kolaylaşacaktır (Farheen ve Lewis, 2021).



Şekil 3. Su buharının sembolik ve ikonik (moleküler) gösterimleri.

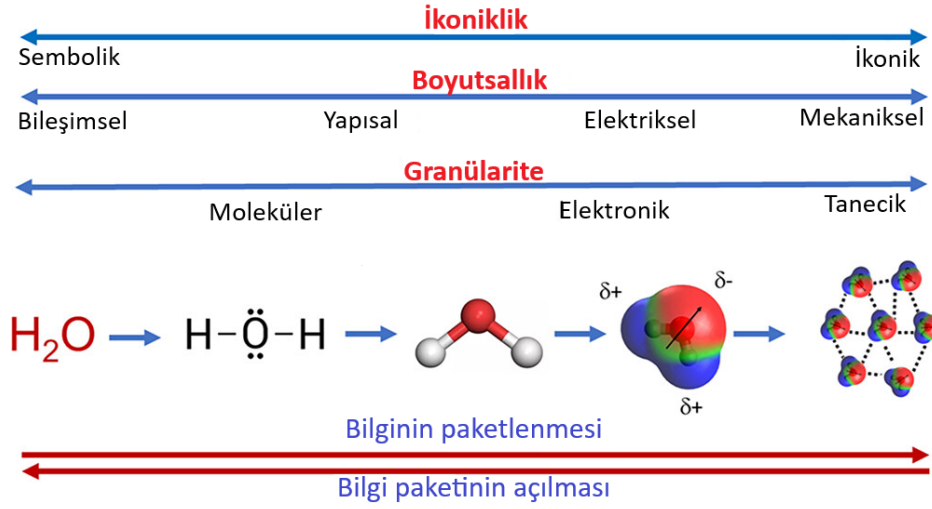
Kimyasal Temsillerin Birleştirilmesi

Yüksek düzeyde sembolik olan kimyasal temsiller, diğer temsillerle bağlantı kurmak veya bu çalışmada vurgulanan dört boyuttan bir veya daha fazlasında farklılık gösteren yeni temsiller oluşturmak için açılması veya açığa çıkarılması gereken bilgileri kapsüllemektedir (gizlemektedir) (Patron ve diğ., 2021). Bu bilgi kapsüllerini "açma" işlemi, kimyasal gösterimler hakkında ve onlarla ilgili akıl yürütmeleri destekleyen disiplindeki kurallar, bilinen örüntüler, sınıflandırma sistemleri, prosedürel kurallar ve primitif (ilk/ilkel) modelleme bilgilerini gerektirmektedir. "Primitif modelleme" terimi, çeşitli sistemlerin modellenmesinde ve oluşturulmasında yeniden kullanılabilen, bir alandaki genel uygulanabilirliğe sahip bilgi parçalarını ifade etmek için kullanılmaktadır (Talanquer, 2021). Primitif modellemelere şu örnekler verilebilir: bir bağdaki en elektronegatif atom negatif bir kısmi yük kazanma eğilimindedir, kimyasal bağların oluşumu enerji açığa çıkarır, en yüksek aktivasyon enerjisine sahip mekanistik adım hız belirleyicidir.

Kimyasal temsiller, mevcut atom türleri, atomik bağlar ve moleküler geometri gibi, diğer gösterimlerle bağlantıyı veya onların inşasını destekleyen ilgili kavramsal ve prosedürel bilgileri tetiklemek için kullanılabilecek açık ipuçları içermektedir. Örneğin, bir su molekülünün sembolik temsili olan H_2O 'yu ele alalım. Bu temsil, yalnızca kimyasal dil kuralları (örneğin, H hidrojen elementini temsil eder) ve kimyasal formül kuralları (örneğin, bir sembolden sonraki alt indisler o elementin kaç atomunun bulunduğunu gösterir) bilgisine sahipseniz doğru bir şekilde çıkarılabilecek açık bir bileşim bilgisi taşır. Bu temsili bir Lewis yapısına bağlamak veya çevirmek, hidrojen ve oksijenin ametal elementler olarak sınıflandırılmasına ve ametal elementlerin kimyasal birleşiminin büyük olasılıkla moleküler bileşikler oluşturduğunu belirten modelleme ilkesinin tanınmasını gerektirir. Lewis yapısı daha sonra periyodik örüntüler bilgisini gerektiren prosedürel kuralların uygulanmasıyla oluşturulabilir.

Bir temsili açma (anlamlandırma) süreci oldukça zorlu olabilir, çünkü çeşitli bilgi parçalarını (kavramsal ve prosedürel) etkinleştirmek ve entegre etmek için kullanılabilecek ilgili açık ipuçlarının tanımlanmasını gerektirmektedir. Kimya eğitimi alanındaki araştırmalar, tüm eğitim seviyelerindeki öğrencilerin, maddeleri kimyasal formül veya yapı temsillerine göre kimyasal gruplara ayırmak ve sınıflandırmak (örneğin, elementleri, bileşikler ve karışımları, iyonik ve moleküler bileşikler, asitleri ve bazları, nükleofilleri ve elektrofilleri ayırt etmek), bileşimsel özellikleri yapısal özelliklerle ilişkilendirmek (örneğin, kimyasal formülleri Lewis yapılarına çevirmek) veya yapısal bilgilerden elektronik özellikleri çıkarmak (örneğin, süstitüent türüne göre kısmi yükleri atamak) gibi yaygın açma görevlerinde zorlandıklarını göstermektedir (Cooper ve diğ., 2010; Caspari ve diğ., 2018).

Kimyasal temsiller, daha düşük ikoniklik derecelerine sahip temsiller oluşturmak için paketlenebilir veya sıkıştırılabilir. Bir gösterimi "paketlemek", temsil edilen bilgi miktarını azaltır ve gösterimi daha genel, ilgili özellikler açısından daha yoğun ancak aynı zamanda daha soyut hale getirir. Bu süreç, hangi özelliklerin korunması gerektiğini ve daha açık hale getirmek için onların temsillerinin nasıl değişebileceğini anlamayı gerektirir (Adu-Gyamf ve diğ., 2012). Örneğin, Şekil 4'te moleküler gösterimden Lewis yapısına doğru geçiş esnasında, kimyasal semboller açık hale gelirken, bağ yönelimi önemsiz hale gelir. Lewis yapısını kimyasal formüle sıkıştırırken, atomlar arası bağlantılar hakkındaki açık bilgi korunmaz ve 'kimyasal bileşim' bilgisi açık hale getirilir.

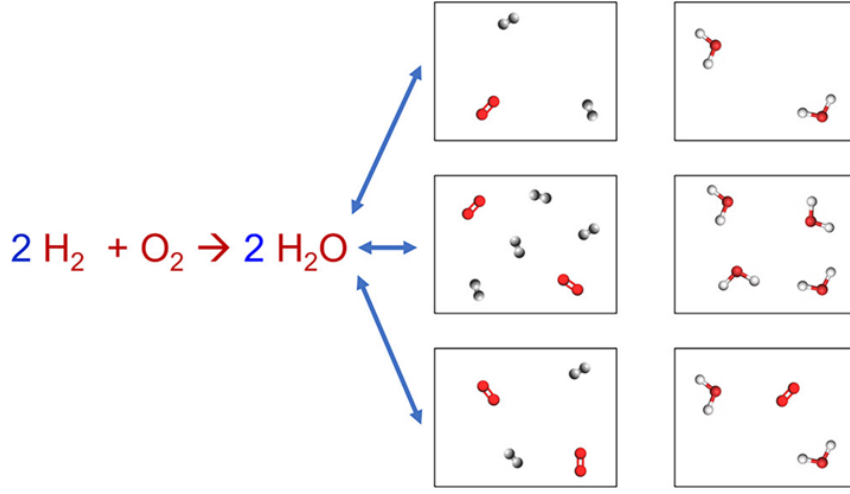


Şekil 4. Bir dizi kimyasal temsiller ile bilgi paketini açma ve bilgiyi paketlemenin örnekleri ve bunların temsilin ikonikliği, boyutsallığı ve granüleritesi üzerindeki etkisi. Gösterimler, görüntüde temsil edilen çıkarım sırası içinde açık hale getirdikleri granülerite ve boyutsallık seviyelerine yerleştirilmiştir (yani, moleküler bileşimden yararlanarak moleküler geometri, yük dağılımı ve moleküller arası kuvvetleri çıkarma [yorumlama]).

Bilginin açılması ve paketlenmesi yoluyla, Şekil 4'te gösterildiği gibi, kimyasal temsillerin granüleritesini, boyutsallığını, ikonikliğini ve nicelikselliğini değiştirebiliriz. Açma, genellikle bağları temsil etmek için çizgilerin veya çubukların kullanılması ya da pozitif ve negatif kısmi yükleri ayırt etmek için sembollerin veya renklerin eklenmesi gibi, anlamlarının bilinmesi gereken daha fazla sembol veya ikonun dahil edilmesi yoluyla, bazı bilgileri açık hale getirir. Ancak, açık kimyasal sembollerin kimyasal kimlik hakkında örtük bilgi taşıyan bir renk kodlama şemasıyla değiştirilmesi gibi durumlarda, diğer bilgiler örtük hale gelebilir. Açma, bizi daha genel sembolik gösterimlerden, yorumlama veya çeviri amaçları için genellikle daha fazla ilgisiz özellik içeren daha yüksek ikonikliğe sahip daha spesifik temsillere götürür. Bu durum Şekil 3 ve 4'te gösterilmektedir. Örneğin, Şekil 3'ün sağ tarafındaki gösterim, genel sembolik formül $H_2O(g)$ ile ilişkilendirilebilecek birçok olası moleküler gösterimden biridir. Bu moleküler gösterimler, madde hali, kimyasal bileşim veya moleküler yapı hakkında çıkarım yapmada ilgisiz oldukları için, temsil edilen molekül sayısı ve bunların yönelimleri açısından farklılık gösterebilir. Öte yandan, paketleme, daha yüksek yoğunlukta ilgili özelliklere sahip daha genel ve soyut gösterimlerle sonuçlanmaktadır.

Bir temsilin paketlenmesinden (kapsüllenmesinden) ziyade, bir temsilin paketini açma görevinin, bilişsel olarak daha fazla emek gerektireceği öngörülebilir. Ancak, mevcut araştırmalar, birincil türdeki görevlerin de zorlayıcı olabileceğini göstermektedir, çünkü bunlar hangi bilginin ve nasıl korunduğuna dair kurallar ve gelenekler hakkında bilgi gerektirmektedir (Duval, 2006). Örneğin, Şekil 4'teki suyun çubuk-küre modelini sembolik gösterim olan H_2O 'ya çevirmek için, farklı türdeki atomları temsil etmek için kullanılan renk kodlama sisteminin yanında kimyasal formüllerin yazım kurallarının da bilinmesi gerekmektedir. Eğitim araştırmaları, öğrencilerin mikro altı veya parçacıklı olarak tanımlanan ikonik temsillerden sembolik olanlara (ki bunlar genellikle paketleme bilgisi gerektirir), sembolik olanlardan parçacıklı olanlara (ki bunlar genellikle paketi açmayı gerektirir) olduğundan daha kolay geçiş yapmadığını göstermektedir (Kiernan ve diğ., 2021). Örneğin, birçok öğrenci, tanecik düzeyinde temsil edilen bir kimyasal reaksiyona karşılık gelen uygun kimyasal denklemi yazmakta başarısız olurken, tersi süreçte daha başarılı gibi görünmektedir (Nurrenbern ve Pickering, 1987). Bu, büyük olasılıkla, tanecik temsilden

kimyasal denklemi oluşturmak için gereken bilginin örtük doğası ve Şekil 5'te suyun sentez reaksiyonu için gösterildiği gibi, sembolik bir temsil (genel) ile ilişkili tanecik temsilleri (özel) arasındaki çoklu ilişkiyle ilgilidir.



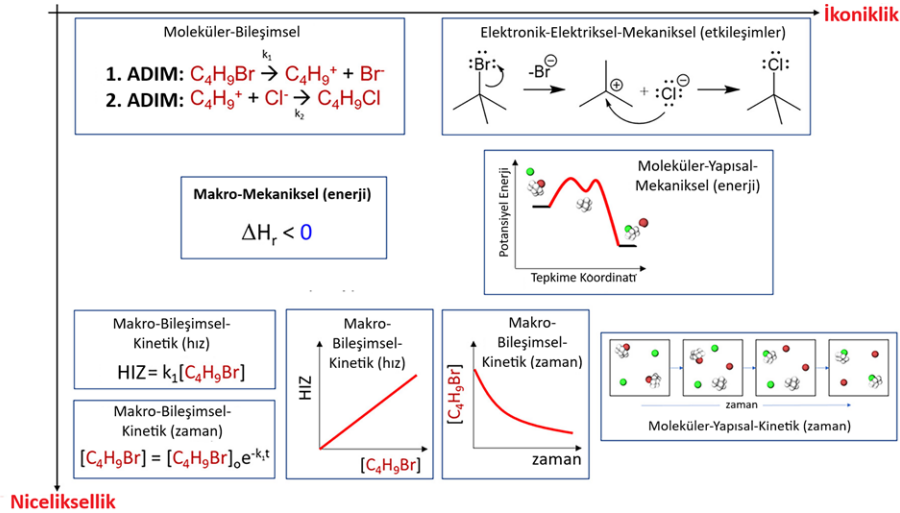
Şekil 5. Suyun sentez reaksiyonu için sembolik-moleküler gösterimle (kimyasal denklem) ilişkili farklı ikonik-moleküler gösterimler.

Şekil 5'teki sembolikten ikonik olana dönüşüm, reaktanlar ve ürünlerin sembolleri ile bunlara karşılık gelen ikonlar arasında doğrudan bağlantılar kurularak yapılabilir (örneğin $2H_2$ doğrudan, birleşmiş iki kürenin iki kopyası olarak temsil edilir) ve aynı kimyasal denkleme karşılık gelen birden fazla kabul edilebilir moleküler gösterim vardır. Buna karşılık, tersi durumda, dengelenmiş kimyasal denklemin, moleküler gösterimlerde açıkça görünen görüntüde yer alan her bir türün toplam parçacık sayısının bir temsili olmadığını, bunun yerine bu tür gösterimlerde örtük olan, reaksiyona giren türler ve oluşan ürünler arasındaki minimum oranların bir ilişkisinin temsili olduğunu fark etmeyi gerektirir. Bu durumda, her bir türün toplam parçacık sayısı, göz ardı edilmesi gereken ilgisiz bir özelliktir. Bu örnek, ilgili/ilgisiz ve açık/örtük özelliklerin bir karışımını içeren kimyasal temsiller hakkındaki akıl yürütme süreçlerinde, ilgili örtük bilginin tanınması, çıkarılması ve kullanılmasının rolünü göstermektedir.

Yukarıda açıklananlara benzer akıl yürütme zorlukları, öğrencilerin daha nicel matematiksel gösterimleri (örneğin, matematiksel fonksiyonların sembolik gösterimlerini sayısal tablolara, grafik biçimine dönüştürme ya da bunun tersini yapma) yorumlamasına, ilişkilendirmesine, üretmesine ve kullanmasına odaklanan çalışmalarda da bildirilmiştir (Adu-Gyamf ve diğ., 2012; Bosse ve diğ., 2011). Matematiksel formüller, daha özel, daha somut ve ilgili olan özelliklerin olmayanlara göre daha düşük bir orana sahip olan grafiksel gösterimlere kıyasla daha genel, soyut ve ilgili özellikler açısından daha yoğundur. Sembolik gösterimleri grafiksel olanlara açmak, yer değiştirme hataları gibi işlemsel hatalara daha yatkınken, grafiksel temsilleri sembolik olanlara başarılı bir şekilde paketlemek (kapsüllemek), ilgili açık (örneğin, y eksenini kestiği nokta) ve örtük (örneğin, bir doğrunun eğimi) ipuçlarının belirlenmesinde kavramsal boşluklara veya yorumlama hatalarına karşı daha hassastır (Adu-Gyamf ve diğ., 2012; Bosse ve diğ., 2011).

Matematik eğitimi alanındaki çalışmalar, temsiller arası bağlantılardaki akıl yürütme zorluklarının aynı zamanda bu temsiller arasındaki bilişsel mesafeyle de bağlantılı olduğunu göstermektedir (Adu-Gyamf ve diğ., 2012; Bosse ve diğ., 2011). Bu, dönüştürme eylemiyle ilişkili açık veya örtük adım sayısıdır. Örneğin, suyun moleküler formülünü Şekil 4'teki su tanecikleri arasındaki moleküller arası kuvvetlerin moleküler temsiliyle ilişkilendirmek, büyük olasılıkla böyle

bir formülü Lewis yapısıyla ilişkilendirmekten, bilişsel olarak daha zorlayıcıdır. Temsilleri birbirine bağlamadaki bilişsel zorluğun, ikoniklik, granülerite, boyutsallık ve niceliğe boyutlarındaki mesafelerle nasıl ve ne ölçüde bağlantılı olabileceğini belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu "mesafelerin" bazıları, periyodik örüntüler (örneğin, klor atomları brom atomlarından daha küçük ve daha elektronegatif), prosedürel kurallar (örneğin, mekanistik oklar elektron kaynağından elektron boşluğuna çizilir) ve modelleme ilkeleri (örneğin, daha kısa ve daha polar bağlar daha güçlüdür, bağ kırılması endotermiktir) kullanılarak bir sübstitüsyon reaksiyonu için SN1 mekanizmasının sembolik moleküler-bileşimsel gösteriminin açılmasıyla oluşturulabilen çeşitli temsilleri gösteren Şekil 6'da açıkça belirtilmektedir.



Şekil 6. Bir sübstitüsyon reaksiyonu için SN1 reaksiyon mekanizmasıyla ilişkili kimyasal gösterimler. Her bir gösterimin konumu ve etiketlenmesi, ikoniklik, niceliğe boyutlarındaki mesafeleri göstermektedir. Her bir gösterimin konumu ve etiketlenmesi, ikoniklik, niceliğe boyutlarındaki mesafeleri göstermektedir.

Şekil 6'da, ikoniklik ve niceliğe boyutlarındaki mesafeler, her bir temsilin görüntü üzerindeki göreceli konumuyla temsil edilirken, diğer iki boyuttaki mesafeler, ilgili granülerite (makro → tanecik → moleküler → atomik → elektronik) ve boyutsallık (bileşimsel → yapısal → elektriksel → mekanik → kinetik) seviyelerini vurgulayan etiketlerden çıkarılmalıdır. Bu çok boyutlu uzayda birbirine daha uzak olan temsilleri birbirine bağlamanın, örneğin makro-bileşimsel gösterimi moleküler-yapısal-kinetik gösterime çevirmenin, çoğu öğrenci için oldukça zorlayıcı olacağı ve büyük olasılıkla diğer daha yakın temsillerin inşası yoluyla aracılık edileceği beklenebilir (Kiernan ve diğ., 2021). Temsiller arasındaki bilişsel mesafe ne kadar fazlaysa, görevi başarıyla tamamlamak için imgesel olandan analitik olana kadar çoklu ve çeşitli stratejilerin kullanılması olasılığı o kadar artar (Stieff ve diğ., 2010).

Genel olarak, bu bölümde sunulan analiz, kimyasal gösterimlerin paketlenmesi ve paketin açılmasının, yalnızca ikoniklik, granülerite, boyutsallık ve niceliğe boyutlarındaki mesafelerin dört ana boyutu boyunca temsil edilenlerde değil, aynı zamanda şunlarda da değişikliklere yol açtığını göstermektedir:

- Bir temsilin genel (daha soyut) ve daha özel (daha somut) karakteri.
- Temsil edilen ilgili ve ilgisiz özelliklerin oranı.
- Bir temsildeki açık veya örtük olan özelliklerin sayısı ve türleri.

Tüm bu faktörlerin, kimyasal temsillerin yorumlanması, ilişkilendirilmesini, üretilmesini ve kullanılmasını etkilemesi beklenebilir. Öğrencilerin bu görevlerden herhangi birini yerine getirirken karşılaşmaları muhtemel olan akıl yürütme zorlukları, her durumda uygun bilgiyi çıkarmak veya çıkarım yapmak için gereken oldukça uzmanlaşmış bilgi göz önüne alındığında kavramsal olabilir veya ilgili ve ilgisiz özellikleri tanımlama ve ayırt etme ve kuralları ve çeviri prosedürlerini uygun şekilde uygulama ihtiyacı göz önüne alındığında prosedürel olabilir. Temsilleri birbirine bağlamadaki zorlukların, temsiller arasındaki bilişsel mesafeyle daha da kötüleşmesi muhtemeldir. Bir sonraki bölümde açıklandığı gibi, diğer bir akıl yürütme zorlukları kümesi, bilişsel-algisal olarak daha iyi karakterize edilmektedir.

Kimyasal Gösterimler ile İlgili Akıl Yürütmelerde “Bilişsel-Algisal” Zorluklar

Bilişsel psikoloji alanındaki araştırmalar, temsil yetkinliğinin birbiriyle ilişkili iki yetkinlik üzerine inşa edildiğini göstermektedir. Bunlar, anlamlandırma (veya kavramsal) yetkinlikleri ve algısal yetkinliklerdir (Rau, 2017). Anlamlandırma yetkinlikleri, bir temsildeki görsel özellikleri, ilgili kavramlara bağlamaya veya eşleştirmeye yardımcı olan bilgi ve becerilere bağlıdır; bu sayede temsil edilen varlıkların veya süreçlerin özellikleri ve davranışları hakkında çıkarımlar yapılabilir. Kimyada, anlamlandırma süreçleri, kimyasal gösterimler ile ilgili akıl yürütmeleri destekleyen disiplin kurallarının, bilinen örüntülerin, sınıflandırma sistemlerinin, prosedürel kuralların, kimyasal prensiplerin ve primitif modellemelerin, açık kavramsal ve prosedürel bilgisine dayanmaktadır. Önceki bölümde açıklanan akıl yürütme zorlukları çoğunlukla anlamlandırma süreçleriyle ilgilidir.

Algısal yetkinlikler ise, bir temsildeki ilgili görselin ipuçlarına hızlı ve zahmetsizce anlam atfetme yeteneğini ifade etmektedir (Rau, 2017). Bu yetkinlikler, bir temsilde yer alan görsel bilgiyi işlemekte ve farklı türde olan temsillerdeki görsel özellikleri birbirine bağlamakta akıcılık gerektirir. Bu tür yetkinlikler, genellikle, birçok örnekle çalışmaya maruz kalma ve deneyim yoluyla tümevarımsal olarak gelişir. Yargı ve karar verme süreçlerinin çift-süreç teorilerinde genellikle Sistem 1 veya Tip 1 düşünme olarak nitelendirilen akıl yürütmeye dayanırlar (Evans, 2008). Bu tür akıl yürütme, otomatik, hızlı, çalışma belleğinden bağımsız ve kontrollü dikkate ihtiyaç duymadan otonom olarak tetiklenen ve uygulanan süreçleri içerir.

Tip 1 akıl yürütme, genellikle sezgisel yöntemler olarak adlandırılan, bilişsel yükü en aza indiren kısa yol akıl yürütme stratejilerine dayanır. Bu stratejiler, bir yargı veya karar verirken dikkate alınan ipuçlarının seçimini kolaylaştırarak ve sayısını azaltarak ya da ilgili bilginin nasıl ve nerede aranacağına dair pratik kurallar sağlayarak işler (Kahneman, 2011). Bu akıl yürütme stratejileri, dünyayla kişisel etkileşim yoluyla örtük olarak geliştirilen sezgisel yöntemleri veya açık ve uzun süreli pratik yoluyla geliştirilen uzman sezgisel yöntemlerini içerebilir (Kahneman ve Klein, 2009). Sezgisel yöntemler, seçim yapmak veya çıkarımlar oluşturmak için kolayca erişilebilir bilgiyi verimli bir şekilde kullanan genellikle etkili bilişsel araçlardır. Ancak, özellikle ilgili ipuçları açık yerine örtük olduğunda, yargıya varma sürecinde sistematik hatalara (önyargılara) neden olabilirler. Çeşitli STEM disiplinlerindeki mevcut eğitim araştırmaları, deneyimsiz öğrencilerin görsel temsillerden bilgi çıkarmaya ve anlamlandırmaya çalışırken sıklıkla sezgisel yöntemleri etkinleştirdiğini göstermektedir (Heckler, 2011). Alan uzmanları da, temsillerle etkileşim halindeyken sezgisel akıl yürütmelere güvenirlir, ancak uzmanı oldukları disiplinde sistematik hale getirilmiş ve içselleştirilmiş stratejileri etkinleştirirler.

Deneyimsiz öğrencilerin sıklıkla kullandığı sezgisel yöntemlerin, temsil edilen nesnelerin veya süreçlerin özellikleri veya davranışları hakkında çıkarımlar oluşturmak için bir temsildeki açık özelliklere aşırı derecede güvendiği iyi bilinmektedir (Shah ve Oppenheimer, 2008). Açık özellikler, deneyimsizler için daha dikkat çekicidir ve bu nedenle daha kolay fark edilir. Bu özellikler, öğrenciler tarafından sezgisel olarak ilgi alanındaki konunun özellikleri veya davranışlarıyla ilişkilendirildiği durumlarda, bilhassa dikkat çekicidir. Örneğin, iki farklı molekülün kimyasal formüllerinde açık bir şekilde yer alan toplam atom sayısına dikkat etmek, daha büyük ve daha

ağır moleküllerin ayrılması (veya parçalanması) için muhtemelen daha yüksek sıcaklıklar gerektirdiğini sezgisel olarak varsayan öğrenciler için ilgili maddelerin göreceli kaynama noktaları hakkında çıkarımlar oluşturmada oldukça çekici olması beklenebilir. Açık özellikler, ayrıca, örtük ipuçlarına göre daha kolay ve daha hızlı işleme eğilimindedir (Heckler, 2011). Bir önceki örnekte, kimyasal formüllerden moleküller arası kuvvetlerin göreceli gücünü çıkarmanın, karşılaştırılan moleküllerdeki toplam atom sayısını basitçe saymaya oranla, bilişsel olarak daha yorucu ve dolayısıyla daha yavaş bir görev olması beklenebilir.

Öğrenciler bir temsilin analizinde hem açık hem de örtük özellikleri dikkate alsalar bile, otomatik çıkarımlarının, en dikkat çekici ve en hızlı işlenen özellik tarafından yönlendirilmesi muhtemeldir. Bu özellik görevin tamamlanmasıyla ilintiliyse ya da yol açtığı çıkarımlar, ilgili özelliklerin analizinden elde edilenlerle uyumluysa, bu durumda, öğrenciler uygun çıkarımlar üretebilirler (örneğin, daha büyük moleküllerin daha güçlü moleküller arası kuvvetleri olabilir ve bu nedenle daha yüksek kaynama noktalarına sahip maddelere karşılık gelebilir). Ancak, bir gösterimdeki örtük ilgili özelliklerden ziyade açık ilgisiz özelliklere dayanan sezgisel akıl yürütmenin, normatif olmayan yanıtlara yol açabildiğine dair çeşitli araştırma bulguları bulunmaktadır. Bu, örneğin, şu durumlarda olabilir: ortaya çıkan moleküler özellikler (örneğin, moleküler polarite, asit-baz özellikleri, kaynama ve erime noktaları, nükleofiliklik) hakkında çıkarımlar yapmak için örtük atomik bağlanma ve moleküler geometri (yapısal özellikler) yerine bir moleküler formülde temsil edilen açık atom türlerine ve sayısına (kompozisyonel özellikler) dikkat etmek; sistemdeki parçacıkların benimseyebileceği kimyasal bağ türlerindeki ve konfigürasyon sayısındaki örtük değişikliklerin analizine değil, bir kimyasal denklemde temsil edilen varlıkların açık boyutuna (büyüklüğüne) ve sayısına dayanarak bir reaksiyonun termodinamik olarak tercih edilebilirliği hakkında çıkarımlarda bulunmak; veya bir grafikteki y bağımlı değişkeninin x noktasındaki değişim hızı hakkında, o noktadaki türevinin değerine (örtük eğim) değil, mutlak değerine (grafikteki açık yükseklik) dayanarak yargılarda bulunmak (Heckler, 2011, Furio ve diğ., 2000).

Belirgin ve daha kolay işlenen açık özelliklerin analizine aşırı güvenmek, kimyasal temsiller arasındaki yüzeysel benzerliğe dayanan sezgisel yargıları ayrıcalıklı hale getirdiği bilinmektedir (Graulich ve diğ., 2019). Bu nedenle, deneyimsiz öğrenciler, temsillerindeki açık özelliklerinin ortak olduğu varlıklar, sistemler ve süreçler için benzer özellikler veya davranışlar çıkarabilir ve böylece, bir süreçte yer alan türlerin kimyasal doğası gibi örtük özellikleri veya bir grafikte çizilen değişkenlerin doğası gibi daha az açık özellikleri göz ardı edebilir veya etkilerini en aza indirebilirler. Sezgisel akıl yürütme, genellikle dikkatin verildiği ve yorum oluşturmak için kullanılan özelliklerin sayısını azaltma eğilimi ile de karakterize edilir (Todd ve Gigerenzer, 2000). Genel olarak çoğu kimya öğrencisi, yalnızca en belirgin, tek bir ipucunun etkisini tanıyarak veya dikkate alarak bilişsel yükü azaltmaktadır (Domin ve diğ., 2008). Ancak, bir öğrenci için neyin dikkat çekici olduğu, bir temsilin belirli özellikleri ile öğrencinin ön bilgisi ve deneyimleri arasındaki etkileşime bağlı olacaktır; bu da görevler esnasında, öğrencilerin akıl yürütmelerinde değişkenliğe yol açar. Bir özelliğin belirginliği: temsil edilen varlıkların hangi özelliklerinin, incelenmekte olan özellik veya davranışı belirlediğine dair sezgisel varsayımlardan (örneğin, bir molekülün büyüklüğünün kararlılığını nasıl etkilediği); bilinen durumlara yüzeysel benzerlikten (örneğin, şekil benzerliğine dayalı olarak bir konsantrasyon-zaman grafiğini bir pH-hacim grafiği olarak yorumlanması); özellikle bir öğrencinin zihninde bir şekilde ön plana çıkarılan durumlardan (örneğin, yakın zamanda sınıfta veya laboratuvarında maruz kalınan) ve insan zihnindeki baskın tanıma kalıplarından (örneğin, nesnelerdeki dikey simetri genellikle yatay simetriden daha belirgindir) etkilenecektir (Treder, 2010).

Mevcut araştırmalar, uzmanların da görsel temsillerden bilgi çıkarmak ve anlamlandırmak için sezgisel akıl yürütmeye güvendiğini göstermektedir. Ancak kullandıkları sezgisel yöntemler, uzun süreli pratik ve alan bilgisi birikimi yoluyla geliştirilmiş özel stratejilerdir. Alana özgü

örüntülere tekrar tekrar maruz kalmak, karmaşık bilgi parçalarını hızlı bir şekilde tanımlarını ve işlemelerini sağlar (Stieff ve diğ., 2020). Uzmanlar, bir temsilin tek tek açık özelliklerini fark edip kodlamak yerine, bileşen gruplarını ve ilişkilerini, bir temsilin yorumlanmasını, çevrilmesini, üretilmesini ve kullanılmasını kolaylaştıran kavramsal şemaları, prosedürel komut dosyalarını, bilişsel çerçeveleri veya zihinsel imgeleri otomatik olarak tetikleyen tekil "öbekler" olarak kodlarlar. Örneğin, kimya alanı uzmanları: moleküllerin sembolik veya ikonik gösterimlerinde fonksiyonel grupların varlığını otomatik olarak tespit ederler ve bunları reaktivite veya ışık-madde etkileşimleri hakkında çıkarımlar yapmak için kullanırlar; spektrumlardaki sinyal örüntülerini otomatik tanırlar ve bunları analiz edilen moleküllerdeki belirli yapısal özelliklerle ilişkilendirirler; matematiksel denklemlerdeki sembolik formları otomatik fark ederler ve bunları uygun kavramsal şemalara bağlarlar (örneğin, $[\text{O}] = [\text{O}]$ sembolik şablonunu eşit miktar veya dengeleyici etkilerin göstergesi olarak algılarlar); veya grafiklerin şeklindeki grafiksel formları otomatik fark ederler ve bunları ilgili örtük bilgilere hızlı bir şekilde bağlarlar (örneğin, bir eğrinin dikliği, temsil edilen bir bağımlı değişkenin değişim hızıyla ilişkilendirilir) (Connor ve diğ., 2021).

Tartışma ve Sonuç

Bu metin kapsamında, kimyada kullanılan ve öğrencilerin akıl yürütmelerini etkilemesi beklenen, görsel temsillerin ayırt edici özelliklerinin daha derinlemesine bir analizi sunulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada tanımlanan kimyasal temsillerdeki dört değişim boyutu (ikoniklik, nicelikselleştirme, boyutsallık, granülarite) -öğrencilere, kimyasal sistemleri ve olguları anlamlandırmak için bu görsel araçları nasıl yorumlamaları, ilişkilendirmeleri, üretmeleri ve kullanmaları gerektiğini öğrenmeleri sürecinde en iyi şekilde nasıl destek olunacağını planlanması aşamasında dikkate alınması gereken- kimyasal temsillerin farklı yönlerine işaret etmektedir. Kimyasal gösterimlerin analizini ve tartışmasını çerçevelemek için kimya üçlüsünü (makroskobik, mikro altı ve sembolik) kullanmak kimya eğitimi literatüründe oldukça verimli olmasına rağmen, bu yaklaşım birçok öğrenme etkinliğinin deneyimsiz kimya öğrencilerinden talep ettiği akıl yürütmelerin karmaşıklığını her zaman yansıtmayabilir (Ferreira ve Lawrie, 2019). Ayrıca, kimya eğitimi araştırmacılarının kimya alanındaki temsil yetkinliğiyle ilgili verilerin analizinde ve öğretmenlerin bunu geliştirmek için kullanabileceği öğretim stratejilerinde kullandıkları bakış açılarını da sınırlayabilir.

Bu makalede sunulan fikirler, öğrencilerin öğrenmelerini uygun şekilde desteklemek ve karşılaşılabilecekleri özel akıl yürütme zorluklarını belirlemek için öğrencilerden yapmaları istenen temsili görev türlerinin daha dikkatli bir şekilde ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Verilen bir görevin, bilgi paketini açmayı mı yoksa bilgiyi paketlemeyi mi gerektireceği, analiz edilmesi gereken açık ve örtük özelliklerin doğası ve sayısı, dikkate alınması gereken ilgili ve ilgisiz unsurların yoğunluğu ve dört ana değişim boyutu boyunca bağlanacak temsiller arasındaki bilişsel mesafe gibi faktörlerin, bu görevin bilişsel zorluğunu etkilemesi ve bir öğrencinin ön bilgisi ve deneyimleriyle önemli bir şekilde etkileşime girmesi muhtemeldir.

Alan bilgisi ve geçmiş deneyimlerin, öğrencilerin anlamlandırma (kavramsal) yetkinlikleri üzerinde büyük bir etkisinin olması beklenebilir, ancak algısal akıcılıkları üzerinde de önemli bir rol oynadığı söylenebilir (Rau, 2017). Özellikle bir temsildeki ilgili çıkarımsal özellikler örtük olduğunda, doğru çıkarımlar oluşturmak için birden fazla unsurun dikkate alınması gerektiğinde veya temsil, öğrencinin daha aşına olduğu temsillerde bulunan bileşenlere çok benzeyen bileşenler içerdiğinde, sezgisel yöntemlerin, deneyimsiz öğrencilerin kimyasal temsiller ile ilgili akıl yürütmelerindeki kritik rolü hafife alınmamalıdır. Öğrenciler görsel bilgiyi ilgili öbekler halinde sıkıştırmayı öğrendikçe algısal akıcılıkları da artacaktır.

Kimyasal gösterimler ile ilgili akıl yürütmelerin karmaşıklığı, bu alanda daha kasıtlı ve açık bir öğretim yaklaşımını gerektirmektedir. Kimyadaki geleneksel öğrenme yaklaşımları, çoğunlukla, temsil yetkinliğini açıkça hedefleyen öğrenme kazanımları tarafından yönlendirilmemektedir. Öğrencilerin, algısal ve anlamlandırma yetkinliklerinin gelişimini kasıtlı olarak destekleyen açık bir

öğretim olmaksızın, birçok kimyasal temsili yorumlamayı, ilişkilendirmeyi, üretmeyi ve kullanmayı öğrenecekleri genellikle üstü kapalı varsayılır. Muhtemelen, çok az sayıda eğitmen, görsel bilginin paketini açmayı veya paketlemeyi en iyi şekilde destekleyebilecek belirli öğrenme stratejileri üzerinde bilinçli olarak düşünür. Güncel araştırmalar, kimya bilgisi ve deneyimindeki bireysel farklılıkların öğrenci akıl yürütmesini nasıl etkileyebileceğine dikkat ederek, hem anlamlandırmayı hem de algısal akıcılığı açıkça hedefleyen bir öğretim tasarlamasının önemine işaret etmektedir (Rau ve diğ., 2021). Bu alandaki araştırmalar ayrıca, öğrencilere kimyasal temsillerin paketini açma/paketleme konusunda rehberlik etmek için kullanılan öğretmen merkezli ve öğrenci merkezli öğrenme stratejilerinin eleştirel bir analizine duyulan ihtiyacı da vurgulamaktadır (Patron ve diğ., 2021).

Kimya eğitimindeki mevcut araştırmalar, karşılaştırma-zıtlştırma ve çizim etkinlikleri gibi farklı görev türlerinin yanı sıra, uyarlanabilir teknolojilerden veya somutlaştırılmış bilişten (örneğin, jestler, simüle edilmiş eylem) yararlanan görevlerin, öğrencilerin kimyadaki temsil yetkinliğinin farklı yönleri üzerinde olumlu etkilerini göstermektedir (Kiernan ve diğ., 2021). Ancak bu araştırmalar, tipik olarak farklı kimyasal gösterimlerin ayırt edici özellikleri ve boyutlarının, öğrenci performansını etkilemek için görev özellikleriyle nasıl etkileşime girdiğini dikkate almamaktadır. Kimyada kullanılan görsel gösterimlerin kapsadığı zengin ve karmaşık alan göz önüne alındığında, hangi öğrenme etkinliklerinin farklı bağlamlarda en etkili olabileceğini karakterize etmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Benzer şekilde, bu çalışmada vurgulanan farklı değişim boyutlarının ve faktörlerin, öğrencilerin kimyasal temsillerle ilgili akıl yürütmelerini nasıl etkilediğini daha iyi karakterize etmek için daha incelikli araştırmalar yürütülebilir. Göz izleme tekniklerini kullanan son çalışmalar, öğrencilerin algısal akıcılığındaki farklılıklara ve bunu etkileyen faktörlere dair içgörüler sağlamaktadır (Heckler, 2011). Ancak bu araştırmaların çoğu, analiz edilen kimyasal gösterimlerin kritik özelliklerine göre katılımcıların performansını ayırt etmemektedir. Öğrencilerin anlamlandırma yetkinlikleriyle ilgili mevcut çalışmalar çeşitlidir, ancak genellikle çok geniş çerçeveler tarafından yönlendirilir ve hedeflenen etkinliklerin karmaşıklığını azaltır (örneğin, bir görevi diğer boyutlara dikkat etmeden basitçe tanecikli ve sembolik gösterimler arasında bir dönüşüm gerektiriyormuş gibi karakterize etmek). Genel olarak, daha ayrıntılı analizler, bu alandaki öğrenme uygulamalarını, daha doğrudan ve etkili bir şekilde bilgilendiren içgörüler üretmemize yardımcı olacaktır. Bu durum öğretmen olduktan sonra kazanacakları deneyim ile başarılı olacaklarını ve öğretmen eğitimindeki teorik derslerin gereksiz olduğu düşüncesinden kaynaklanır (Holt-Reynolds, D. 2000).

Katılımcıların mikro öğretim sırasında genellikle sunuş yoluyla öğretime ağırlık verdikleri belirlenmiştir. Öğretmen adayları kendi eğitimleri sırasında en fazla sunuş yoluyla öğretim ile karşılaştıkları için eğitim için en uygun yöntemin sunuş yoluyla öğretim yöntemi olduğuna dair gizli bir inanç geliştirmiş olabilirler. Benzer bir sonuca Stuart ve Tullow (2000) da ulaşmıştır. Stuart ve Tullow, öğretmen adaylarının farkında olmadan geçmişteki öğretmenlerinin yöntemlerini uyguladıklarını gözlemlemiştir.

Benzer bulgular görüşme sonucunda da elde edilmiştir. Matematik eğitimi için oluşturdukları inançların kendi öğrencilik hayatlarından etkilendiği ve bu dönemde yaşadıkları deneyimlerin özellikle öğrencilerin yaşadıkları zorluklar ve kavram yanılgıları bilgisinin temelini oluşturduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Lortie (1975) öğretmen adaylarıyla yapmış olduğu çalışmada, öğretmen adaylarının geçmiş öğrencilik deneyimleri sonucunda öğretimin nasıl olduğuna dair temel bilgilere sahip olarak öğretmenlik eğitimine başladıkları bulgusuna ulaşmıştır.

Kaynakça

- Adu-Gyamfi, K., Stiff, L. V., & Bosse, M. J. (2012). Lost in Translation: Examining Translation Errors Associated with Mathematical Representations. *School Science and Mathematics*, 112 (3), 159-170. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00129.x>
- Ainsworth, S. (2006). Deft: A Conceptual Framework for Considering Learning with Multiple Representations. *Learning and Instruction*, 16 (3), 183 – 198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S., & Silberstein, J. (1986). Is an Atom of Copper Malleable? *Journal of Chemical Education*, 1986, 63 (1), 64. <https://doi.org/10.1021/ed063p64>
- Bosse, M. J., Adu-Gyamfi, K., & Cheetham, M. R. (2011). Assessing the Difficulty of Mathematical Translations: Synthesizing the Literature and Novel Findings. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 6 (3), 113-133. <https://doi.org/10.29333/iejme/264>
- Bowe, K. A., Bauer, C. F., Wang, Y., & Lewis, S. E. (2022). When All You Have Is a Covalent Model of Bonding, Every Substance Is a Molecule: A Longitudinal Study of Student Enactment of Covalent and Ionic Bonding Models *Journal of Chemical Education*, 99 (8), 2808-2820. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00188>
- Caspari, I., Kranz, D., & Graulich, N. (2018). Resolving the Complexity of Organic Chemistry Students' Reasoning through the Lens of a Mechanistic Framework. *Chemistry Education Research and Practice*, 19 (4), 1117-1141. DOI <https://doi.org/10.1039/C8RP00131F>
- Chi, S., Wang, Z., Luo, M., Yang, Y., & Huang, M. (2018). Student Progression on Chemical Symbol Representation Abilities at Different Grade Levels (Grades 10 – 12) across Gender. *Chemistry Education Research and Practice*, 19 (4), 1055-1064. <https://doi.org/10.1039/C8RP-00010G>
- Connor, M. C., Glass, B. H., Finkenshaedt-Quinn, S. A., & Shultz, G. V. (2021). Developing Expertise in (1)H Nmr Spectral Interpretation. *The Journal of Organic Chemistry*, 86 (2), 1385-1395. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.0c01398>
- Cooper, M. M., Grove, N., Underwood, S. M., & Klymkowsky, M. W. (2010). Lost in Lewis Structures: An Investigation of Student Difficulties in Developing Representational Competence. *Journal of Chemical Education*, 87 (8), 869-874. <https://doi.org/10.1021/ed900004y>
- Domin, D. S., Al-Masum, M., & Mensah, J. (2008). Students' Categorizations of Organic Compounds. *Chemistry Education Research and Practice*, 9 (2), 114-121. <https://doi.org/10.1039/B806226A>
- Duval, R. A. (2006). Cognitive Analysis of Problems of Comprehension in a Learning of Mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 2006, 61 (1-2), 103-131. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
- Evans, J. S. B. T. (2008). Dual-Processing Accounts of Reasoning, Judgment, and Social Cognition. *Annual Review of Psychology*, 2008, 59 (1), 255-278. <https://doi.org/10.1146/annu-rev.psych.59.103006.093629>
- Farheen, A. & Lewis, S. E. (2021). The Impact of Representations of Chemical Bonding on Student' Predictions of Chemical Properties. *Chemistry Education Research and Practice*, 22 (4), 1035-1053. <https://doi.org/10.1039/D1RP00070E>

- Ferreira, J. E. V., & Lawrie, G. A. (2019). Profiling the Combinations of Multiple Representations Used in Large-Class Teaching: Pathways to Inclusive Practices. *Chemistry Education Research and Practice*, 20 (4), 902-923. <https://doi.org/10.1039/C9RP00001A>
- Furio, C., Calatayud, M. L., Barcenas, S. L., & Padilla, O. M. (2000). Functional Fixedness and Functional Reduction as Common Sense Reasonings in Chemical Equilibrium and in Geometry and Polarity of Molecules. *Science Education*, 84 (5), 545-565. [https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200009\)84:5<545::AID-SCE1>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200009)84:5<545::AID-SCE1>3.0.CO;2-1)
- Graulich, N., Hedtrich, S., & Harzenetter, R. (2019). Explicit Versus Implicit Similarity-Exploring Relational Conceptual Understanding in Organic Chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 20 (4), 924-936. <https://doi.org/10.1039/C9RP00054B>
- Grosholz, E. R., & Hoffmann, R. (2012). How Symbolic and Iconic Languages Bridge the Two Worlds of the Chemist: A Case Study from Contemporary Bioorganic Chemistry. In *Roald Hoffmann on the Philosophy, Art, and Science of Chemistry*; Kovac, J., Weisberg, M., Eds.; Oxford University Press, pp 230-247.
- Heckler, A. F. (2011). The Role of Automatic, Bottom-up Processes: In the Ubiquitous Patterns of Incorrect Answers to Science Questions. In *Psychology of Learning and Motivation*; Mestre, J. P., Ross, B. H., Eds.; Academic Press, Vol. 55, pp 227-267.
- Hoffmann, R., & Laszlo, P. (1991) Representation in Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 30 (1), 1-16. <https://doi.org/10.1177/039219218903714702>
- Jensen, W. B. (1998). Logic, History, and the Chemistry Textbook: I. Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75 (6), 679. <https://doi.org/10.1021/ed075-p679>
- Johnstone, A. H. (1991). Why Is Science Difficult to Learn? Things Are Seldom What They Seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7 (2), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Luisi, P. L. (2002). Emergence in Chemistry: Chemistry as the Embodiment of Emergence. *Foundations of Chemistry*, 4 (3), 183-200. <https://doi.org/10.1023/A:1020672005348>
- Luxford, C. J. (2013). *Use of Multiple Representations to Explore Students' Understandings of Covalent and Ionic Bonding as Measured by the Bonding Representations Inventory*; Miami University. (13)
- Kahneman, D. & Klein, G. (2009). Conditions for Intuitive Expertise: A Failure to Disagree. *American Psychologist*, 64 (6), 515-526. <https://doi.org/10.1037/a0016755>
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*; Farrar, Straus and Giroux.
- Kiernan, N. A., Manches, A., & Seery, M. K. (2021). The Role of Visuospatial Thinking in Students' Predictions of Molecular Geometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 22 (3), 626-639. <https://doi.org/10.1039/D0RP00354A>
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In *Visualization in Science Education*; Gilbert, J. K., Ed.; Springer, pp 121-145.
- Nurrenbern, S. C., & Pickering, M. (1987). Concept Learning Versus Problem Solving: Is There a Difference? *Journal of Chemical Education*, 64 (6), 508.
- Oppenheimer, D. M. (2008). The Secret Life of Fluency. *Trends in Cognitive Sciences*, 12 (6), 237-241.
- Patron, E., Linder, C., & Wikman, S. (2021). Qualitatively Different Ways of Unpacking Visual Representations When Teaching Intermolecular Forces in Upper Secondary School. *Science Education*, 105 (6), 1173-1201. <https://doi.org/10.1002/sce.21662>

Popova, M., & Bretz, S. L. (2018). Organic Chemistry Students' Interpretations of the Surface Features of Reaction Coordinate Diagrams. *Chemistry Education Research and Practice*, 19 (3), 919-931. <https://doi.org/10.1039/C8RP00063H>

Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing Stem Learning. *Educational Psychology Review*, 29 (4), 717-761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>

Rau, M. A., Zahn, M., Misback, E., Herder, T., & Burstyn, J. (2021). Adaptive Support for Representational Competencies During Technology-Based Problem Solving in Chemistry. *Journal of Learning Science*, 30 (2), 163-203. <https://doi.org/10.1080/10508406.2021.1888733>

Shah, A. K. & Oppenheimer, D. M. (2008). Heuristics Made Easy: An Effort-Reduction Framework. *Psychological Bulletin*, 134 (2), 207-222. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.2.207>

Stieff, M., Hegarty, M., & Dixon, B. (2010). Alternative Strategies for Spatial Reasoning with Diagrams. In *Diagrammatic Representation and Inference*; Goel, A. K., Jamnik, M., Narayanan, N. H., Eds.; Springer, pp 115-127. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14600-8_13

Stieff, M., Werner, S., DeSutter, D., Franconeri, S., & Hegarty, M. (2020). Visual Chunking as a Strategy for Spatial Thinking in STEM. *Cognitive Research Principles and Implications*, 5 (1), 18. <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00217-6>

Taber, K. S., Tsapalis, G., & Nakiboglu, C. (2012). Student Conceptions of Ionic Bonding: Patterns of Thinking across Three European Contexts. *International Journal of Science Education*, 34 (18), 2843-2873. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.656150>

Talanquer, V. (2006). Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83 (5), 811. <https://doi.org/10.1021/-ed083p811>

Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The Many Faces of the Chemistry "Triplet. *International Journal of Science Education*, 33 (2), 179-195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>

Talanquer, V. (2021). Qualitative Reasoning in Problem-Solving in Chemistry. In *Problems and Problem Solving in Chemistry Education: Analysing Data, Looking for Patterns and Making Deductions*; Tsapalis, G., Ed.; The Royal Society of Chemistry, pp 15-37.

Talanquer, V. (2022). The Complexity of Reasoning about and with Chemical Representations. *Journal of American Chemical Society*, 2, 2658-2669. <https://doi.org/10.1021/jacsau.2c00498>

Taskin, V., & Bernholt, S. (2014). Students' Understanding of Chemical Formulae: A Review of Empirical Research. *International Journal of Science Education*, 36 (1), 157-185. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.744492>

Treagust, D. F., Duit, R., & Fischer, H. E. (2017). *Multiple Representations in Physics Education*; Springer.

Treder, M. S. (2010). Behind the Looking-Glass: A Review on Human Symmetry Perception. *Symmetry*, 2 (3), 1510-1543. <https://doi.org/10.3390/sym2031510>

Todd, P. M., & Gigerenzer, G. (2000). Precis of Simple Heuristics That Make Us Smart. *Behavioral and Brain Sciences*, 23 (5), 727 – 741. discussion 742-780. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00003447>

Vogt, L. (2019). Levels and Building Blocks-toward a Domain Granularity Framework for the Life Sciences. *Journal of Biomedical Semantics*, 10 (1), 4. <https://doi.org/10.1186/s13326-019-0196-2>

Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring Visuospatial Thinking in Chemistry Learning. *Science Education*, 88 (3), 465-492. <https://doi.org/10.1002/sce.10126>

Yarroch, W. L. (1985). Student Understanding of Chemical Equation Balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22 (5), 449-459. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220507>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Different authors discuss the central role that chemical representations play in the thought structure and practice of chemistry (Talanquer, 2011). These representations not only facilitate the communication of concepts or ideas but also enable reasoning about chemical entities and processes (Hoffmann & Laszlo, 1991). They serve as a bridge between the concrete material world that we try to explain, understand, transform, and control, and the theoretical principles and models developed by chemists to understand the properties and behaviors of substances around us (Talanquer, 2011). Although chemical representations are quite diverse, it is anticipated that the significant differences between them can be evaluated within the four main analysis dimensions defined in the following paragraphs:

Iconicity

Chemical representations can be conceptualized as visual signs that convey information about an object, situation, event, or process. These signs can be "symbolic" in the sense that there is an arbitrary connection between the sign and the content it represents, such as the chemical symbols of chemical elements. Or, they can be "iconic" in the sense that they exhibit a degree of natural and non-arbitrary relationship between the sign and the content, such as ball-and-stick pictorial representations of molecules (Grosholz & Hoffmann, 2012). Iconic signs often rely on analogical (e.g., depicting an atom as a small sphere) or metaphorical (e.g., interpreting a higher peak in an energy diagram as often representing a larger energy "barrier") connections to convey meaning. Chemical representations exhibit different degrees of iconicity, extending the continuum between symbols and icons (Hoffmann & Laszlo, 1991). Examples include Lewis structures, where symbols of different types of atoms are combined with structural icons representing atomic connectivity or molecular geometry, or ball-and-stick representations of molecules.

Quantitativeness

Chemical representations can convey explicit qualitative information about the nature and properties of the entities represented, such as the physical states, chemical compositions, or partial charges of substances. However, they can also convey different degrees of explicit quantitative information in the form of the relative value of measurable properties (e.g., compositional ratios in chemical formulas, larger and smaller radii in molecular models, higher and lower energies in energy diagrams), actual numerical data (e.g., graphs, spectra), or mathematical relationships between variables (e.g., $PV = nRT$).

Granularity

Visual representations in chemistry depict entities or processes at one or more levels of granularity, ranging from the macroscopic scale to the electronic scale (Vogt, 2019). Each level of granularity is characterized by specific objects with the properties to be emphasized, such as atoms at the atomic level or electrons at the electronic level. These properties often emerge

from the dynamic interactions of collections of objects at a lower level of granularity (Luisi, 2002). For example, interactions between bonded atoms at the atomic level give rise to the molecular geometry of the system at the molecular level; interactions between protons and electrons at the electronic level determine the atomic sizes of atoms at the atomic level.

Dimensionality

Chemical representations explicitly highlight different properties corresponding to one or more physical or chemical dimensions of the observed entities, including chemical composition, structure (e.g., atomic connectivity, geometry), electrical properties (e.g., charge, polarity), mechanical properties (e.g., interaction forces, potential energy), and kinetic properties (e.g., speed, time) (Jensen, 1998).

The four dimensions of variation of chemical representations, defined and explained in the previous section, point to fundamental aspects or characteristics of a particular representation that must be recognized to interpret its meaning correctly. Interpreting a chemical representation requires answering questions such as: What types of entities (granularity) and properties (dimensionality) are being represented? What types of qualitative and quantitative information can be directly or indirectly inferred (quantitativeness)? What relevant properties (explicit or implicit) does the representation convey (iconicity)? Failure to adequately answer any of these questions is likely to lead to misinterpretations that will affect reasoning about and with the representation. As illustrated in the next paragraph, examples of reasoning problems arising from inferential errors along the dimensions of granularity, dimensionality, iconicity, or quantitativeness are abundant in the chemistry education research literature.

Discussion and Conclusion:

Within this text, a more in-depth analysis of the distinctive characteristics of visual representations used in chemistry, which are expected to influence students' reasoning, has been attempted. The four dimensions of variation in chemical representations identified in this study (iconicity, quantitativeness, dimensionality, granularity) point to different aspects of chemical representations that should be considered when planning how to best support students in the process of learning how to interpret, connect, generate, and use these visual tools to make sense of chemical systems and phenomena. 1 Although using the chemistry triplet (macroscopic, sub-microscopic, and symbolic) to frame the analysis and discussion of chemical representations has been quite productive in the chemistry education literature, this approach may not always reflect the complexity of the reasoning that many learning activities demand from novice chemistry learners (Ferreira & Lawrie, 2019). 2 It may also limit the perspectives used by chemistry education researchers in their analysis of data related to representational competency in the field of chemistry and the teaching strategies that instructors may use to foster it.

The ideas presented in this article highlight the need for a more careful consideration of the types of representational tasks in which students are asked to engage to properly support their learning and to identify the specific reasoning challenges that they may face. Factors such as whether a given task will require unpacking or packing information, the nature and number of explicit and implicit features that need to be analyzed, the density of relevant versus irrelevant elements to be considered, and the cognitive distance between representations to be connected along each of the four major dimensions of variation are likely to affect the cognitive demand of the task and interact significantly with a student's prior knowledge and experiences.