

Kimya Eğitimi Şekillendirecek On Bakış Açısı

Tacettin PINARBAŞI*

Öz: Öğrencilerimizden öğrenmelerini ve geliştirmelerini beklediğimiz kimya bilgisi, oldukça zengin bir içeriğe sahip olmasının yanında, bir o kadar da karmaşık ve çok yönlüdür. Bunun yanında hem orta öğretim hem de üniversite düzeyindeki bazı öğretmenler ve öğretim görevlileri, kimya içeriğinin sunulması sürecinde oldukça katı ve tekdüze bir tutum sergilemektedirler. Son birkaç on yıldır kimya eğitimi alanında gerçekleştirilen araştırmalar, orta öğretim ve üniversite düzeyinde temel kimya derslerini tamamlayan öğrencilerden birçoğunun, arzu edilen anlamlı öğrenmeleri geliştirme konusunda yetersiz kaldıklarını göstermektedir. Bu makalenin amacı da Talanquer (2013) tarafından kaleme alınan “*Chemistry Education: Ten Facets To Shape Us (Kimya Eğitimi: Bizi Şekillendirecek On Bakış Açısı)*” başlıklı çalışmasının, içeriğine sadık kalınarak, özetlenmiş bir versiyonunu okuyucuya ulaştırmak ve böylece kimyaya giriş kapsamında yer alan temel kimya dersi içeriklerinin analiz edilebilmesine olanak sağlayabileceği düşünülen 10 farklı birbirini tamamlayıcı perspektifi veya bakış açısını tanımlamak ve tartışmaktır. Bu çok boyutlu bakış açısının, özellikle mesleğe yeni başlayan kimya eğitimcilerinin, kimyayı bir öğretim konusu olarak anlamalarını zenginleştirmelerine ve kimya programının çeşitli yönleriyle yeniden kavramsallaştırılmasına giden yolu açmalarına yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kimya eğitimi, kimya programı, öğretmen, öğrenci

Ten Perspectives That Will Shape Chemistry Education

Abstract: The chemical knowledge we anticipate our students to acquire and cultivate is both extensive in topic and intricate in nature. In addition, some teachers and instructors at both secondary and university levels exhibit a rather rigid and uniform attitude in conveying chemistry content. Research conducted in chemistry education over the last few decades has shown that many students who complete basic chemistry courses at secondary and university levels are inadequate in developing the desired meaningful learning. The purpose of this article is to present a condensed version of the study titled “*Chemistry Education: Ten Facets to Shape Us*” by Talanquer (2013) while remaining faithful to its content, and thus to identify and discuss 10 different complementary perspectives or viewpoints that are thought to enable the analysis of basic chemistry course content within the scope of introductory chemistry. This multidimensional approach is believed to assist chemistry educators, particularly novices, in enhancing their comprehension of chemistry as a teaching subject and facilitating the reconceptualization of many elements of the chemistry curriculum.

Keywords: Chemistry education, curriculum, teacher, student

*Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, K. K. Eğitim Fakültesi, Erzurum-Türkiye ORCID: 0000-0003-2153-248X , e-posta: pinarbasit@atauni.edu.tr

Giriş

Geçtiğimiz 40 yıllık süre boyunca kimya eğitime yönelik yapılan araştırmalar, orta öğretim ve üniversite düzeyinde genel kimya derslerini başarıyla tamamlayan birçok öğrencinin hedeflenen anlamlı öğrenmeleri geliştirme konusunda yetersiz kaldıklarını göstermektedir (Kind, 2004). Bu sonuçlar, bazı kimya eğitimcilerini, özellikle lise ve üniversite birinci sınıf düzeylerinde temel kimya konularının öğretilmesi ve kavramsallaştırılmasına yönelik farklı yaklaşımlar önermeye, tasarlamaya ve uygulamaya teşvik etmiştir. Ne yazık ki, bu tür iyileştirme çabalarının etkisi, çoğu durumda, bu yenilikçi kimya eğitimcilerinin görev yaptığı okullar, kolejler ve üniversitelerle sınırlı kalmıştır. Geleneksel kimya derslerinin yeterli etkinlikte olmadığına ilişkin mevcut göstergelere rağmen, çeşitli kimya eğitimcileri tarafından yapılan değişiklik çağrıları henüz kolektif bir eyleme dönüşmemiştir (Hawkes, 2005; Cooper, 2010).

Kimya eğitimindeki değişimin sınırlı ya da yavaş ilerlemesinin çeşitli nedenleri olabilir. Eğitimsel sorunlarımızla ilgili mevcut kanıtların geçersiz, güvenilmez veya birçok öğretmen ve eğitmenin dikkatini çekecek kadar kapsamlı olmadığı yargısına varılması mümkündür. Ayrıca, sunulan kanıtların kimya eğitimcileri arasında geniş çapta yayılmamış olması da diğer bir etken olabilir. Belki de eğitimcilerin öğretme ve öğrenmeye ilişkin güçlü kişisel inançları, onların beklentileriyle çelişen kanıtları göz ardı etmelerine neden olmaktadır. Eğitimciler mevcut kanıtları kabul etseler bile alternatif öğrenme yaklaşımlarının daha iyi sonuçlar vereceği konusunda ikna olmayabilirler. Ek olarak, pek çok öğretmen ve üniversite eğitmeni, kimya öğretimine farklı şekillerde yaklaşmak için gerekli olan bilgi ve becerilere sahip olmayabilir ve eğer öyleyse, önerilen değişiklikleri uygulamak için zamanları veya istekleri olmayabilir (Talanquer, 2013).

Farklı eğitim düzeylerinde, kimya öğretimine yönelik etkisiz duran yaklaşımların yaygınlığının ve kalıcılığının arkasında yatan çeşitli nedenler arasında, soruna büyük katkı sağladığı düşünülen bir tanesini vurgulamak isterim ki bu, bir kimya öğretmeni eğitimcisi olarak benim de düzenli olarak karşılaştığım bir durumdur; pek çok genç ve aynı zamanda bazı deneyimli kimya öğretmenleri, öğrettikleri konu hakkında tek yönlü ve sorunsuz bir bakış açısına sahip olduklarını düşünmektedirler. Bu düşüncedeki eğitimciler, çoğunlukla konuyu sorgulamadan veya eleştirel bir analizini yapmadan, kimya öğretimindeki temel zorluğun, öğrencileri önceden belirlenmiş ders kitabı içeriğiyle meşgul edecek en iyi etkinlikleri belirlemek olduğuna inanmaktadır. Ne yazık ki, öğretilecek içerik üzerindeki bu yansıtıcı düşünme eksikliği, en yaratıcı öğretim planlarının ortaya çıkarılmasını engelleme eğilimindedir (Talanquer, 2013).

Öğretmen adayları da dahil olmak üzere, lise ve üniversite düzeyindeki kimya eğitmenlerinin büyük bir kısmı, temel kimya derslerinin içeriğini, stokiyometri, atomik yapı, periyodiklik ve kimyasal bağlar gibi iyi belirlenmiş köklü konuların bir derlemesi olarak düşünme eğilimindedirler. Bu eğitimcilerin, alta yatan temaların veya bu konular arasındaki anlamlı bağlantıların ne ölçüde farkında oldukları, büyük oranda kendilerinin konuları anlama düzeylerine ve kimya sınıflarındaki çalışma deneyimlerine bağlıdır. Bununla birlikte, genel olarak, en güçlü içerik bilgisine veya en fazla öğretim deneyimine sahip eğitmenlerin bile, kimya bilgisini, geleneksel genel kimya ders kitaplarının içindekiler tablosunda yaygın olarak sunulan geniş kategoriler halinde organize edildiği şekliyle tanımlamanın ötesine geçebildiği durumlar nadiren görülmektedir (Talanquer, 2013).

Örneğin, kimya tarihinin kimya eğitimi ile ilişkisine yönelik iki yaklaşım göze çarpmaktadır (jensen, 1998a). İlki, öğrenciler için kimyayı "insancıllaştırma" amacına yönelik, kimya tarihinde yer alan biyografik öykülerin ya da mizahi anekdotların kullanımına odaklanan ve öğretmenler tarafından kabul gören yaklaşımdır. Büyük ölçüde bilim tarihçileri tarafından savunulan ikinci yaklaşım ise, kimya tarihini, bilimin mevcut ilkelerini öğretmek için bir araç olarak değil, bilimsel yöntemin veya bilim ve teknolojinin toplum üzerindeki etkisinin bir vaka çalışması olarak kullanma eğilimine odaklanmaktadır. Benzer şekilde, kimya kavramları ile ilgili makroskobik düzeydeki olgular ile bu kavramları mikroskop altı düzeyde temsil eden modeller arasında ilişki kurmayı öğrenmek zor bir süreç olarak algılanmaktadır (Meijer ve Bulte, 2009). Bu tür modeller hakkında bilgi edinmeye çalışırken öğrenciler, olgular ve onların temsilleri arasındaki ilişkiyi anlamakta zorluk çekerler. Makroskobik olgular seviyesinden en düşük mikroskop altı temsillere geçiş için atılması gereken adımlar çoğu durumda oldukça büyüktür ve genellikle ders kitaplarında açıkça tanımlanmayan bir dizi ilişki ve aşamaları içerir (Han ve Roth, 2006). Kimya bilgisine ilişkin bu sınırlandırılmış görüşler göz önüne alındığında, kimya eğitiminde -özellikle de lise ve üniversite düzeyindeki genel kimyaya giriş derslerinde- kimya öğretmen ve eğitmenlerinin öğrettikleri içerik hakkında düşünme biçimlerini zenginleştirmeye ve çeşitlendirmeye odaklanmaları gerektiği önerisi, değişim için önemli bir strateji olarak dikkate alınabilir. Öğrenciler öğrendikleri kimya kavramlarına anlam verebilmeli, öğrendiklerini yaşamlarının bazı yönleriyle ilgili olduğunun farkında olabilmeli ve konunun tutarlı bir "zihinsel haritasını" oluşturabilmelidir (Gilbert, 2006). Kimya eğitimi araştırmaları ve uygulamaları, kimyanın tarihi ve felsefesi ile kimya eğitimi standartlarının geliştirilmesi alanlarındaki son çalışmalar, bu tür pedagojik içerik bilgisinin geliştirilebileceği bir temeli sağlar (Alonzo ve Gotwals, 2012). Bu alanlarda gerçekleştirilen çeşitli çalışmalardan (aşağıdaki başlıklar içerisinde yeri geldikçe kaynakça olarak verilecektir) ortaya çıkan fikir ve sonuçlardan yararlanılarak, kimya konu içeriğinin etkinliği hakkında eğitmenlerin, yansıtıcı düşüncelerine olanak sağlayabileceği düşünülen 10 farklı bakış açısı veya "yönü" (Tablo 1) açıklanmaktadır (Talanquer, 2013).

Tablo 1.**Kimya Öğretimi Sürecinde 10 Bakış Açısı**

1. Büyük Fikirler
2. Temel Sorular
3. Kesişen Kavramlar
4. Kavramsal Boyutlar
5. Bilgi Türleri
6. Boyut Ölçekleri
7. Akıl Yürütme Biçimleri
8. Bağlamsal Konular
9. Felsefi Düşünceler
10. Tarihi Görüşler

Modern kimyanın çeşitli teorik kavram ve modellerinin sınıflandırılmasına olan ilgimiz, yalnızca bunların birbirleriyle olan ilişkilerini ve altlarında yatan varsayımlarını daha iyi anlama isteğimizden değil, aynı zamanda bu sınıflandırmanın, bu kavram ve modellerin sunumundaki hataları ve belirsizlikleri tespit edip açıklığa kavuşturmamıza yardımcı olması ve yine bu sınıflandırmanın, bu kavram ve modelleri öğrencilerimize nasıl öğreteceğimiz üzerindeki etkilerini görme isteğimizden kaynaklanmaktadır (jensen, 1998b). Dolayısıyla üstte görülen Tablo 1’de yer alan sınıflandırma başlıkları altında yer verilen içeriğin, kimya öğretmenlerine, etkin bir öğretim planı oluşturabilmeleri hususunda önemli katkılar sağlayacağı öngörülebilir. Yukarıda listelenen bu başlıklar, lise ve üniversite düzeyinde giriş seviyesindeki kimya derslerinin içeriğinin nasıl kavramsallaştırılacağına dair rekabetçi perspektiflerden ziyade tamamlayıcı bakış açıları olarak görülmelidir. Buradaki amaç, kimya bilginin farklı analiz seviyelerinin kapsamlı bir incelemesini sunmak değil, genel kimya içeriğinin zengin ve çok katmanlı doğasını açıklığa kavuşturmak ve kimya eğitimcilerini bu konu üzerinde düşünmeye davet etmektir. Buna yönelik olarak somut örnekler el verdiği ölçüde, bu yönlerden bazılarının uygulamasını gösteren müfredat projeleri veya girişimler üzerinde durulacaktır. Bu makalenin amacı da Talanquer (2013) tarafından kaleme alınan *“Chemistry Education: Ten Facets To Shape Us (Kimya Eğitimi: Bizi Şekillendirecek On Bakış Açısı)”* başlıklı çalışmasının –bu çalışmanın yazarı tarafından giriş ve sonuç kısımlarına sınırlı katkılar haricinde- içeriğine sadık kalınarak, özetlenmiş bir versiyonunu okuyucuya ulaştırmak ve böylece kimyaya giriş kapsamında yer alan temel kimya dersi içeriklerinin analiz edilebilmesine olanak sağlayabileceği düşünülen 10 farklı birbirini tamamlayıcı perspektifi veya bakış açısını tanımlamak ve tartışmaktır. Bu bakış açıları, aşağıda sırasıyla ele alınmaktadır.

Büyük Fikirler

Program tasarımı, "büyük fikir" terimi geleneksel olarak öğrencilerin anlamasını istediğimiz bir disiplindeki temel bilgiyi özetleyen bir ifadeyi temsil eder (Wiggins & McTighe, 1998). Örneğin, "tüm maddeler parçacık yapılıdır" ifadesi kimyada büyük bir fikir olarak kabul edilebilir. Fen programını büyük fikirler etrafında düzenleme kavramı 20 yıldan uzun süredir mevcut olsa da birçok öğretmen adayı ve meslekte yeni olanlar, ilgi alanlarındaki büyük fikirleri belirleme konusunda ciddi zorluklar yaşamaktadırlar. Öğrencilerinin anlamaları gereken kimyadaki büyük bir fikri belirtmeleri istendiğinde, kimya öğretmen adaylarının çoğu öğrencilerin geliştirmesini istedikleri belirli kalıcı anlayışları açıkça ifade etmek yerine "bağlar hakkında bilgi sahibi olmaları gerekiyor" veya "kimyasal reaksiyonları anlamaları gerekiyor" gibi söylemlerde bulunmaktadır (Talanquer, 2013).

Kimyada veya onun bir alt alanında büyük fikirler üretmek, özellikle de daha önce bunlara maruz kalınmamış veya bunlar hakkında düşünülmesi istenmemiş ise, kolay bir iş değildir (Holme ve Murphy, 2012). Bununla birlikte, kimya içeriği hakkında "büyük fikirler" perspektifinden tartışmaları ve düşünceleri başlatmak için kullanılabilecek yol gösterici çalışmalar vardır. Örneğin, alanında tanınmış ve saygın kimya eğitimcileri olan Ronald Gillespie (1997) ve Peter Atkins (1999), kimya disiplini içeriğinde büyük fikirler olarak gördükleri ifadeleri bağımsız olarak belirlemiş ve tartışmışlardır. Ayrıca, Science College Board (2009), orta öğretim ve üniversite seviyelerinde giriş seviyesindeki kimya dersleri için büyük fikirleri güzelce özetleyen standart bir ifadeler setini öne sürmüştür (Tablo 2).

Tablo 2.**Farklı Yazarlar Tarafından Belirlenen Kimyadaki Büyük Fikirler**

Ronald Gillespie	Peter Atkins	College Board Standartları (Örnekler)
------------------	--------------	---------------------------------------

1. Atomlar, moleküller ve iyonlar maddenin temel bileşenleridir.	1. Madde yaklaşık 100 elementten oluşur.	1. Bütün maddeler atomlardan oluşmuştur.
2. Kimyasal bağlar, pozitif yüklü çekirdekler ile negatif yüklü değerlik elektronları arasındaki elektrostatik çekimlerle oluşur.	2. Elementler atomlardan oluşur.	2. Her elementin atomları, elektronlarla çekirdekler arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan kendine özgü yapıya sahiptir.
3. Moleküller ve kristallerdeki atomlar belirli geometrilere düzenlenir.	3. Atomların orbital yapısı periyodikliklerini açıklar.	3. Elementler artan atom numaralarına göre düzenlendiğinde periyodiklik gösterir.
4. Atomlar ve moleküller sürekli hareket halindedir.	4. Elektron çiftleri oluştuğunda kimyasal bağlar oluşur.	4. Atomlar fiziksel ve kimyasal süreçlerde korunur.
5. Molekül ve kristallerdeki atomlar yeniden düzenlenerek yeni moleküller ve kristaller oluşturabilirler.	5. Şekil, işlevin merkezinde yer alır.	5. Bir birimdeki atomları bir arada tutan güçlü elektrostatik çekim kuvvetlerine kimyasal bağlar denir.
6. Evrendeki düzensizlik arttığında tepkimeler meydana gelir.	6. Moleküller birbirlerini çeker ve iterler.	6. Kimyasal ve fiziksel dönüşümler genellikle enerji değişimini içerir.
	7. Enerjinin, depolanma biçimini anlamak kolay değildir.	7. Bağları koparmak enerji gerektirir, bağ kurmak ise enerji açığa çıkarır.
	8. Reaksiyonlar birkaç türdür.	8. Kimyasal denge, karşıt süreçlerin hızlarının eşit olduğu dinamik, geri dönüşümlü bir durumdur.
	9. Tepkime hızları, hız yasaları ile özetlenir.	

Öğretmenlerden yukarıda bahsedilen türde bilgileri içeren bu tür kaynakları eleştirel bir şekilde analiz etmelerini istemek, dikkatlerini, bir kimya dersinde ele alınacak konulardan öğrencilerin geliştirmesi gereken büyük fikirlere kaydırabilir. Dikkatin bir şekilde büyük fikirlere odaklanması neticesinde büyük resmin daha net görülmesine ve bu büyük resim içerisinde yer alan unsurlar arası ilişkilerin çok boyutlu olacak şekilde daha rahat sezilmesine olanak sağlanmış olur. Bu durum, böylece, kimya öğretmenlerinin kimya programındaki farklı kavramlar arasında daha anlamlı bağlantılar kurmasına yardımcı olabilir. Ayrıca öğretmenler ve eğitmenler, büyük fikirleri açıkça düzenleyici ilkeler olarak kullanan kimyaya giriş dersleri için hazırlanan müfredat proje örneklerini incelemekten de faydalanabilirler. Bu yaklaşımların avantajı, kimya programı boyunca iç içe geçmiş tutarlı, öğrenme sürecini ilerleten etkinlikleri kullanarak temel kavramların geliştirilmesini kolaylaştırmalarıdır.

Peki bu büyük fikirlerin önemi nedir ve pratikte nasıl bir işleve sahiptir? Örneğin, kimyasal dengeye etki eden faktörleri dikkate alalım. Genelde bu faktörlerin etkisi ders kitaplarında Le Chatelier prensibiyle birlikte verilmektedir ve doğal olarak hem eğitmenler hem de öğrenciler açıklamalarını bu prensibe dayalı olarak gerçekleştirmektedirler. Ancak bu prensibi kullanmadan, moleküler seviyedeki değişimler açısından dengeye etki eden bu faktörlerin açıklanması sürecinde ise öğrencilerin zorlandıkları görülmektedir (Canpolat ve Pınarbaşı, 2012). Oysa Tablo 1 de yer alan *“Kimyasal denge, karşıt süreçlerin hızlarının eşit olduğu dinamik, geri dönüşümlü bir durumdur”* büyük fikrini dikkate alarak düzenlenen bir kimya programı kapsamında, denge sürecinin moleküler seviyedeki dinamik doğasına daha etkin vurgu yapılabilir. Böylece kimyasal denge denilen kavramın, özünde, hız denilen fiziksel büyüklüklerle ifade edildiğinin farkına varan bir öğrenen, denge kavramını ve onu değiştiren şartları moleküler düzeyde açıklayabilme şansına daha fazla sahip olacaktır.

Temel Sorular

Kimya derslerinde uygulanan geleneksel öğretim yaklaşımlarında, öğrencilere, üzerinde yaşadıkları dünyayla ilgili sorulara cevap bulma sürecindeki teorik veya pratik potansiyelleri fazla dikkate alınmadan, çeşitli kavramlar, fikirler ve deneysel metodolojiler tanıtılır. Bu açıdan bakıldığında, kimya alanının entelektüel amaçlarının ve kimya bilgileriyle yanıtlanabilecek temel soruların dikkatli bir şekilde analiz edilmesi, kimya öğretimi açısından faydalı olabilir. Önde gelen kimya bilim insanları ve mühendislerinden oluşan bir komite, modern kimyanın temel hedeflerini ve zorluklarını güzel bir şekilde özetlemiştir (National Research Council, 2003). Buna göre, spesifik konulara veya standart akademik alt bölümlere (örneğin, analitik, organik ya da fizikokimya) herhangi bir vurgu yapılmadan, kimyayı bir disiplin olarak nitelendiren dört ana etkinlik ve onlarla ilişkili temel sorular şu şekilde tanımlanmaktadır:

1. Analiz (*Bu nedir?*)
2. Sentez (*Bunu nasıl yaparım?*)
3. Dönüşüm (*Bunu nasıl değiştiririm?*)
4. Modelleme (*Bunu nasıl açıklarım?*)

Kimya bilgilerimizle cevaplayabileceğimiz temel soruların farkında olunması, öğretmenlerin kimya dersinde kavramların ve fikirlerin tanıtılma ve tartışılma biçimlerini yeniden kavramsallaştırmalarına olanak sağlayacaktır. Böylece eğitim sürecinde yer alan öğrenciler için daha motive edici, daha anlamlı ve daha kullanışlı olacak şekilde kimya içeriğinin yeniden şekillendirilmesine yardımcı olabilir (Talanquer ve Pollard, 2011). Örneğin, bir genel kimya dersi müfredatı kapsamında yer alan üniteler, kimya alanındaki temel arayışları yansıtan sorularla yönlendirilebilir. Bu tür sorulara şu örnekler verilebilir; *Maddeleri nasıl ayırt ederiz?*, *Özelliklerini nasıl tahmin ederiz?*, *Kimyasal reaksiyonları nasıl kontrol ederiz?*, *Kimyasal maddeleri nasıl sentezleriz?*, *Kimyasal enerjiden nasıl yararlanırsınız?* Böyle bir müfredat, öğrencileri modern toplumun karşılaştığı problemleri (örneğin sağlık, çevre, gıda ve enerji sorunları, vb.) analiz etme bağlamında bu tür soruların cevabını aramaya ve keşfetmeye teşvik eder. Bu yaklaşımın faydalarından biri de, öğrencilerin çeşitli bağlamlarda kritik sorulara cevap bulma sürecinde kimyasal kavramların, fikirlerin ve düşünme biçimlerinin gücünü tanımlarına olanak sağlamasıdır.

Kesişen Kavramlar

Genel kimya ders içeriğinin sunumuna yönelik geleneksel yaklaşım, müfredat genelindeki altta yatan kavramsal temaları veya ortak düşünme biçimlerini kolayca gizleyebilir. Ders içeriğinin analizine, kesişen kavramları veya birleştirici temaları belirlemeye yönelik yaklaşmak, öğretmenlerin bu bağlantıları daha açık hale getirmesine yardımcı olabilir. Kesişen kavramlar, disiplinler arası öz sınırları aşan, bilim ve mühendisliğin büyük bölümünde açıklayıcı değere sahip kavramlardır. Bu kavramlar, öğrencilere çeşitli disiplinlerden gelen bilgileri tutarlı ve bilimsel temelli bir dünya görüşüne bağlamak için örgütsel bir çerçeve sağlamaya yardımcı olur. Amerikan Ulusal Araştırma Konseyinin ana hatlarını çizdiği ve yeni nesil bilim standartlarında yer alan 7 kesişen kavram vardır; 1- *Örüntüler (Desenler)*, 2- *Neden ve Sonuç*, 3- *Ölçek, Oran ve Nicelik* 4- *Sistem ve sistem modelleri*, 5- *Enerji ve Madde: akışlar, döngüler ve korunum*, 6- *Yapı ve İşlev*, 7- *Kararlılık ve Değişim* (National Research Council, 1996). Bu kavramlardan bazıları (örneğin *örüntüler*, *yapı ve işlev*, *neden ve sonuç*) tüm eğitim seviyeleri için kimyanın merkezinde yer alır, ancak öğretmenlerin bu kesişen kavramların genellikle farklı kimya sınıflarında tartışılan kimyasal modeller ve açıklamalarla nasıl iç içe olduğunu belirlemeleri, analiz etmeleri ve üzerinde düşünmeleri gerekir. Kesişen kavramların tamamını burada tanımlamak, özelliklerinden bahsetmek ve örneklendirmek mümkün değildir. Ancak yine de birkaç tanesini kısaca tanımlamak ve örneklendirmek bu kavramların anlaşılabilirliğine katkı sunacaktır. Bir örüntü (ya da desen) , tekrar eden bir olay, tasarım veya sayı dizisidir. Örneğin, ay döngüsü, DNA yapısı veya bitkilerdeki simetri, mevsimler, hepsi birer desen örneğidir. Bu tür desenleri tanımayı öğrenmek, öğrencilerin verileri analiz etmelerine ve yorumlamalarına, sınıflandırmalarına ve tahminlerde bulunmalarına yardımcı olur. Yapı, bir nesnenin şekli ve bileşimini ifade ederken işlev, amacını ifade eder. Örneğin, DNA'nın çift sarmal yapısı protein sentezinin ve DNA replikasyonunun gerçekleşmesini sağlar ya da metalik yapı onların parlak görünmelerini ve iletken olmalarını sağlar. Bu kavramları öğrenmek, öğrencilerin bir nesnenin veya canlı bir varlığın yapısının işlevselliğini doğrudan etkilediğini anlamalarına yardımcı olacaktır. Nedensel ilişkileri belirlemek bilimin önemli bir yönüdür ve olguları açıklamak için olmazsa olmazdır. Bir nedenin bir sonuç ürettiğini ve etkilerin belirli eylemlerin sonuçları olduğunu anlamak, deneylerin ve araştırmaların temelidir. Örneğin, fosil yakıtlarla küresel ısınma arasındaki ilişki ya da sıcaklığın reaksiyon hızı üzerindeki etkileri.

Kesişen kavramlar hakkında düşünmek, kimya müfredatını izole konular yerine ana temaları vurgulayacak şekilde yeniden şekillendirmemize yol açabilir. Örneğin, eğitim etkinlikleri öğrencilerin farklı madde türleri arasında yapı-işlev ilişkilerini anlamalarına, açıklamalarına ve tahmin etmelerine yardımcı olmaya odaklanabilir (örneğin, metaller dövülebilir ve işlenebilirken ametaller neden kırılmalıdır?). Fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki desenlerin analizinin, farklı madde türlerinin davranışlarını açıklamak ve tahmin etmek için modeller oluşturmak amacıyla nasıl kullanılabileceğini keşfetmeyi amaçlayacak şekilde içerik sunumu organize edilebilir (örneğin, tuz suda çözünürken yağ neden çözünmez? Ya da metaller parlak iken ametaller neden mat görünümlüdür?).

Bu şekilde kesişen kavramlara vurgu yapılması, öğrencilerin dikkatinin maddeyi anlamak ve dönüştürmek için kullanılan kimyasal modellerin yüzeysel özelliklerinden ziyade temel unsurlarına odaklanmasını kolaylaştırabilir. Bu tür vurgulamalar, örneğin kurşun geçirmez esnek bir yekek tasarımı veya glütensiz bir ekmek türü geliştirme gibi sorunların çözümünde argüman olarak yapı-özellik ilişkilerinin kullanıldığı (vurgulandığı) durumlarda olduğu gibi, gerçek yaşam bağlamlarıyla daha otantik bağlantılar kurmaya da yardımcı olabilir. Nitekim araştırma sonuçlarının da ortaya koyduğu gibi kesişen kavramların kullanımı, öğrenciler açısından daha anlamlı öğrenmeyle de sonuçlanabilir (Talanquer, 2010). Bu araştırma sonuçları (Cooper vd., 2012), geleneksel sınıf öğrencilerine oranla, kesişen kavramların üzerinde durulduğu sınıflardaki öğrencilerin daha üst yeterlilik seviyelerine ulaştıkları ve özellikle basit ve karmaşık moleküllerin Lewis yapılarını çizmede ve bu tür yapıların içinde örtük olarak kodlanmış kimyasal bilgileri anlamada daha başarılı olduklarını rapor etmektedir.

Kavramsal Boyutlar

Kimya içeriği, ayrıca, kimyasal modellerin ve açıklamaların, üzerine inşa edildiği temel fiziksel özellikler açısından da analiz edilebilir. Bu fiziksel özellikler, kimyasal sistemlerin davranışlarını analiz etmek ve tanımlamak için kimyada yaygın olarak kullanılan kavramsal boyutları tanımlar. Örneğin, Jensen (1998a) kimyasal kavramların ve modellerin üç ana boyuta ayrılabilirliğini öne sürmüştür: *Bileşim ve Yapı, Enerji ve Zaman* (Tablo 2).

Tablo 3.

William Jensen Tarafından Önerilen Kimyanın Kavramsal Boyutları

	Bileşim ve Yapı Boyutu	Enerji Boyutu	Zaman Boyutu
Molar Seviye	1. Basit ve bileşik halindeki saf maddelerin nispi bileşimleri, çözeltiler ve karışımlar, allomorfların deneysel tanımlanması (renk, kristal şekli, α , β , vs.)	4. Kalorimetrik oluşum entalpi ve entropileri. Serbest enerji ve denge sabiti.	7. Deneysel hız yasaları. Deneysel Arrhenius parametreleri ve/veya aktivasyon entropi ve ısıları.
Moleküler Seviye	2. Mutlak ve yapısal formüller. Mutlak bileşim (polimerler) ya da yapıdaki (izomerler) değişimlere bağlı olarak allomorfların rasyonalizasyonu.	5. Entropinin moleküler yorumu. Ortalama bağ enerjileri ve atomizasyon ısıları açısından oluşum ısılarının yorumu. Moleküler hareket.	8. Moleküler reaksiyon mekanizmaları. Aktivasyon entropilerinin ve aktifleşmiş komplekslerin moleküler görünüşü.
Elektriksel Seviye	3. Elektronik formüller (Lewis yapıları ve elektron dizilimi). Elektronik ya da çekirdek bileşimindeki (iyonlar ve izotoplar) ya da yapıdaki (uyarılmış hal) meydana gelen değişimler	6. Elektronik yapı temelinde enerjilerin hesaplanması. Spektrum yorumu. Spektroskopik entropilerin, atomizasyon ısılarının vs. hesaplanması	9. İyonik ve fotokimyasal reaksiyon mekanizmaları. İzotop etkileri. Aktivasyon enerjilerinin hesaplanması. Elektronik reaktivite indisleri.

Bu tabloda yer alan boyut terimlerinden bazılarını açıklamak bu terimlerin anlaşılabilirliğini artırması bakımından gerekli görünmektedir. Bileşim ve yapı boyutu, esasen, kimyasal formüllere, formülde yer alan atom sayısı ve türlerine ve molekül şekline karşılık gelmektedir. Enerji boyutu termodinamik özellikleri, zaman boyutu ise kinetik süreci dikkate almaktadır. Molar seviye, makroskopik ya da bulk özellikleri; moleküler seviye, mikroskop altı süreçleri; elektriksel seviye, atom içi düzenlenmelerdeki değişimleri temsil etmektedir. Örneğin oksijen gazının özelliklerini betimleyen bazı tanımlamaların seviyelere göre dağılımı aşağıda gösterildiği gibi yapılabilir:

Seviye	Tanımlama
Molar	Renksiz, kokusuz, paramanyetik, yüksek reaktiviteye sahip gazdır, çoğu yaşam için gereklidir, havada hacimce %21 oranında bulunur, erime noktası= 54,8K, kaynama noktası= 90,2K, $d= 1,43\text{kg/m}^3$ (273K)
Moleküler	Düzlemsel, çift bağa sahip iki atomlu (O_2) molekül olup molekül ağırlığı 31,98 akb dir.
Elektriksel	$\ddot{\text{O}}=\ddot{\text{O}}$ ya da $(2s\sigma)2(2s\sigma^*)2(2p\pi_x)2(2p\pi_y)2(2p\sigma)2(2p\pi_x^*)1(2p\pi_y^*)1$

Bu kavramsal boyutlar, Claesgens ve diğerleri (2009) tarafından kimyada öğrencilerin kavramsal anlayışlarının gelişimini tanımlamak ve değerlendirmek için tasarlanan bir değerlendirme çerçevesinde “ana ilerleme değişkenleri” olarak tanımlanan boyutlarla benzerlik taşımaktadır. Bu değerlendirme çerçevesinde, kimyadaki büyük fikirler ve temel sorular *Madde, Enerji ve Değişim* kavramsal boyutları altında düzenlenmektedir (Tablo 4).

Tablo 4.

Claesgens Tarafından Önerilen Kimyanın Kavramsal Boyutları

Madde	Madde, çeşitli şekillerde düzenlenmiş atomlardan oluşur.
Değişim	Değişim, atomların yeniden düzenlenmesiyle ilişkilidir.
Enerji	Enerji, meydana gelen değişikliklerle ilişkilidir.

Bu boyutların lise kimya müfredatının organizasyonunda kullanımı, *Living by Chemistry (Hayatımızdaki Kimya)* projesi kapsamında, içerik ve eğitim faaliyetlerinin geliştirilmesi aşamasında uygulamaya konulmuştur (Stacy, 2010). Kimya içeriğinin kavramsal boyutlar açısından ele alınması, öğretmenlerin sınıfta tartışılan kimyasal modellerin ve açıklamaların kapsamını ve sınırlamalarını daha iyi belirlemelerine, vurgulamalarına ve karşılaştırmalarına olanak tanıyabilir. Örneğin, öğrencilerden, çoğunlukla enerji boyutuna dayalı maddenin termodinamik modellerinin güçlü ve zayıf yönlerini, yapı ve zaman boyutlarını içeren eşdeğer sistemlerin kinetik-moleküler modelleriyle kıyaslayarak tartışmaları istenebilir (buna yönelik elmas/grafit örneği verilebilir: termodinamik olarak, oda şartlarında, grafit elmasdan daha karardır. Bu durumda elmasın grafitte dönüşmesi beklenen bir durumdur. O halde elmas bir yüzüğün neden grafitte dönüştüğünü gözlemlemiyoruz? Diğer bir örnek olarak reaksiyon denge sabiti verilebilir: iki denge reaksiyonundan hangisinin daha hızlı gerçekleşeceğini, denge sabitlerinin sayısal büyüklüklerine bakarak öngörebilir miyiz?). Kavramsal boyutlara dayalı konu analizi, öğretmenlerin müfredatta daha fazla üzerinde durulması gereken alanları tanımları hususunda da yardımcı olabilir. Örneğin, orta öğretim düzeyindeki mevcut giriş kimya dersleri, zaman boyutunu dikkate almak yerine bileşim-yapı ve enerji boyutlarına odaklanarak kimyasal modellerin tartışılmasına vurgu yapma eğilimindedirler. Bu dengesiz yaklaşım, öğrencilerin rekabet halindeki eş zamanlı süreçlerin (örneğin, kimyasal denge) analizini gerektiren olgular için açıklamalar oluşturmada karşılaştıkları zorluklardan kısmen sorumlu olabilir.

Bilgi Türleri

Okullarda yer alan kimya dersi içeriği, öğrencilerin geliştirmesini istediğimiz alan bilgisinin farklı türleri açısından da analiz edilebilir. Özellikle, kimya eğitimcileri alanla ilgili üç bilgi türünü ayırt ederler (Johnstone, 2010):

1. *Deneyimler*- Duyularımız veya aletler aracılığıyla kimyasal maddeler ve işlemler hakkında sahip olduğumuz veya topladığımız deneysel bilgiyi ifade eder: örneğin, demir, havanın varlığında paslanır.
2. *Modeller*- Kimyacıların deneyimlenen dünyayı anlamlandırmak için geliştirdikleri teorik modelleri kapsar: örneğin, paslanma, elementel demirin elementel oksijenle reaksiyona girerek kimyasal bir bileşik olan demir oksit ürettiği kimyasal bir işlemdir.
3. *Görselleştirmeler*- Kimyada hem deneyimler hem de modeller hakkında akıl yürütmeyi ve iletişimi kolaylaştırmak için kullanılan farklı görsel işaretleri (sembollerden ikonlara, hareketsiz diyagramlardan hareketli animasyonlara kadar) içerir: örneğin, $4\text{Fe}_{(k)} + 3\text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(k)}$.

Kimya eğitiminde yapılan çok sayıda araştırma, öğrencilerin bu üç bilgi türü arasında ayırım yapmakta zorlandığını ve birçok kimya öğretmeni ve kimya eğitimcinin sınıfta tartışılan deneyimler, modeller ve görselleştirmeler arasında net ayırım yapmada genellikle başarısız olduğunu ayrıca, birçok öğrencinin belirli bir kimyasal sistem için, bu üç bilgi türü arasında anlamlı bağlantılar kuramadığını veya bilgileri dönüştüremediğini göstermektedir (Gilbert ve Treagust, 2009). Bu sonuçlar, dersleri planlarken kimya içeriğini bu bakış açısından analiz etmenin önemini vurgulamaktadır. Öğretmenlerin, öğrencileri ilgili kimyasal sistemleri keşfetmeye bilerek dahil etmeleri ve üç bilgi türü arasında net bağlantılar kurmaları gerekir. Bunun yapılmaması durumunda, kimyayı anlayanın, düşünme araçları olarak görselleştirmeleri kullanarak dünyamızdaki gerçek deneyimleri anlamlandırmak ve kontrol etmek için modellerden anlamlı bir şekilde yararlanmaktan ziyade, onun görsel sembollerini ustaca kullanmayı öğrenmekle ilgili olduğu yönündeki safiyane inancın devam etmesine neden olunabilir. Bir genel kimya ders kitabı kapsamında, öğrencilerin kimyasal sistemlere dair entegre bir görüş oluşturmalarına yardımcı olmaya odaklanan, farklı bilgi türlerini uygulayan ve birbirine bağlayan bir eğitim müfredatı sayesinde öğrenciler, hem maddenin alt mikroskobik modellerinin anlaşılmasında hem de bu modellerin makroskobik deneyimleri tanımlamak, açıklamak ve tahmin etmek için nasıl kullanılabileceği konusunda önemli kazanımlar sergileyebileceklerdir.

Boyut Ölçekleri

Kimyacılar, maddenin özelliklerinin farklı uzunluk, zaman ve enerji ölçeklerindeki görselleştirmelerini keşfeder, modeller ve oluştururlar. Bu nedenle, kimya içeriği, sınıflarda yapılan tanımlamalarda, açıklamalarda veya tahminlerde, farklı ölçekler dikkate alınarak da analiz edilebilir (Talanquer, 2011). Kimya eğitimcilerinin, kimyada, makroskobik ve parçacık düzeydeki analizlere atıfta bulunmaları genel bir durumdur. Ancak, bu ikili görüş kimyasal sistemlerin analizinde diğer ilgili ölçeklerin varlığını gizleyebilir veya öğretmen ve eğitimcilerin bazı ölçeklerdeki açıklamaları diğerlerine göre aşırı vurgulamasına yol açabilir. Örneğin, uzunluk ölçekleri açısından, kimyasal modeller ve açıklamalar çeşitli düzeylerde geliştirilebilir: makroskobik, çok parçacıklı, mezoskopik (mikro ve makro arası), supramoleküler (çok moleküllü), moleküler ve atom altı. Bu farklı açıklama düzeylerinin bilinmesi, öğretmenler açısından önemli görünmektedir çünkü öğrencilerin, bu farklı uzunluk ölçeklerinin her birinde tanımlanan kavram ve fikirleri birbiriyle ilişkilendirme veya dönüştürme konusunda sorun yaşamaları beklenen bir durumdur.

Mevcut kimya müfredatları ve öğretim uygulamaları, sistemin doğası ne olursa olsun, moleküler (tek parçacık) ve atom altı düzeylerdeki açıklamalara odaklanma eğilimindedir. Öğrencilerden, örneğin, polimerler ve seramikler gibi önemli malzemelerin analizinde kritik öneme sahip olan mezoskopik madde modellerini keşfetmeleri veya canlı organizmaları anlamadaki önemlerine rağmen süpermoleküler sistemleri analiz etmeleri nadiren istenir. Kimya öğretmenlerinin öğrencileri farklı enerji ve zaman ölçeklerinde ortaya çıkan veya gerçekleşen kimyasal özelliklerin ve süreçlerin keşfine ve tasavvuruna dahil etmeleri de yaygın değildir. Bu nedenle, öğrencileri farklı uzunluk, zaman ve enerji ölçeklerinde oluşturulan kimyasal maddelerin ve süreçlerin modellerini keşfetmeye, inşa etmeye ve birbirine bağlamaya ve bunun yanında bu modellerin açıklayıcı ve öngörücü güçlerini karşılaştırmaya, çelişkilerini göstermeye ve değerlendirmeye dahil etmeye odaklanan yenilikçi bir kimya müfredatı hayata geçirilebilir. Bir örnek vermek gerekirse, bir atomda yer alan çekirdek ve onun etrafında bulunan elektronların birbirine göre konumları arasındaki mikroskobik mesafeyi makroskopik boyutta temsil etmek için sıkça başvurulan, orta merkezinde bir tenis topunun bulunduğu bir futbol sahası benzetmesinde olduğu gibi, farklı mikroskobik süreçleri makroskopik boyuta taşıyan örnek durumların da öğrenciler tarafından oluşturulması beklenebilir. Örneğin, bir çözelti, bir kolloid ve bir süspansiyon ortamında yer alan taneciklerin boyutları arasındaki farkları makroskopik seviyede karşılaştırmalarına olanak veren şekiller çizmeleri, modeller oluşturmaları veya benzetimler yapmaları istenebilir. Ya da, nötr bir atomun iyon durumuna geçmesi durumunda atom hacminde meydana gelen değişimin makroskobik boyutta temsillerine yönelik örnekler vermesi istenebilir. Kimyasal bilginin bulunduğu çeşitli boyut ölçekleri hakkında daha derinlemesine analiz ve düşünme, öğrencilerin bir hücre, bir plastik parçası veya bir yıldız gibi birbirinden çok farklı sistemleri keşfetmek için kimyasal modelleri ve fikirleri nasıl uygulayacaklarını anlamalarına yardımcı olabilir. Örnek olarak, kavramlar ve fikirler bileşim-yapı boyutu boyunca sunulurken, atomlardan moleküllere, makromoleküllere ve hücresel ortamlara kadar artan karmaşıklık seviyelerine sahip kimyasal sistemler analiz edilebilir ya da öğrencilerin dikkatini ilgili içeriklerde, makro düzeyle mikro düzey arasındaki bağlantılara odaklayan özgün etkinliklerin geliştirilmesinde boyut ölçeklerinin kılavuz olarak nasıl kullanılacağı gösterilebilir.

Akıl Yürütme Biçimleri

Kimya, genellikle kimyasal maddelerin ve süreçlerin özelliklerini ve davranışlarını tanımlamaya, açıklamaya ve tahmin etmeye odaklanan prototip bir bilim olarak tasvir edilir (Talanquer, 2013). Bu süreci başarmak için, kimya alanında çalışan bilim insanları ilgi duydukları sistemler hakkında modeller oluşturur, değerlendirir ve revize eder. Model tabanlı akıl yürütme, mevcut önceki bilgi ve kanıtlarla tutarlı modeller kullanmayı veya oluşturmayı, farklı modellerin gözlenen özellikleri açıklama ve yeni fenomenleri tahmin etme yeteneğini karşılaştırmayı ve değerlendirmeyi, bunun yanında modelleri açıklayıcı ve öngörücü güçlerini artırmak için revize etmeyi içerir. Bu nedenle kimya içeriğini bir "modelleme" perspektifinden analiz etmek, öğrencilerin bu tür akıl yürütmeye katılmaları için fırsatları belirlemede kritik öneme sahiptir.

İlginçtir ki, kimya aynı zamanda bilimsel uğraşları teknolojik hedeflerle harmanlayan bir "teknobilim" olarak da tanımlanmaktadır (Bensaude-Vincent, 2008). Kimya bilimcileri yalnızca kimyasal maddelerin özelliklerini açıklamak ve tahmin etmekle ilgilenmezler; aynı zamanda onları dönüştürmek ve potansiyel uygulamaları olan yeni kimyasal türler yaratmak isterler. Bu bakış açısından, hem modelleme hem de tasarım bu alanın merkezi uygulamaları olarak görülmelidir. Bu nedenle, en iyi çözümleri bulmak için kimya öğrencileri, tasarım kriterlerini belirleme, sınırlılıkları belirleme ve bilinen durumlara ve deneysel kurallara güvenme gibi tasarım uygulamalarına dahil edilmelidir. Bu durum, kimyada içerik analizi yapılırken, öğrencilerin üç ana türde akıl yürütmeye (*model tabanlı*, *durum tabanlı* ve *kural tabanlı akıl yürütme*) katılmaları için gerekli fırsatların dikkatlice analiz edilmesinden faydalanılması gerektiğini göstermektedir. Kimyasal modellerin yanı sıra, kimya bilgisinin önemli bir kısmı, bilinen kimyasal madde ve reaksiyon türlerinin kimyagerlerin olası sentetik yollar veya analiz yöntemleri hakkında etkili kararlar almalarına yardımcı olan paradigmatik durumlar olarak hizmet ettiği, birbirine bağlı sınıflandırma sistemleri kümelerinde düzenlenir. Teknolojik dünyada yaygın olduğu gibi, kimyacılar ayrıca, hızlı kararlar almak için sezgisel yöntemler veya pratik kurallar olarak kullanılan çeşitli ampirik genellemelerin uygulanmasına da güvenirliler. Araştırmalar, kimya öğrencilerinin karşılaştıkları görevlerin doğasına bağlı olarak model tabanlı, durum tabanlı veya kural tabanlı akıl yürütmeyi ne zaman ve nasıl uygulayacaklarını daha iyi belirleme konusunda desteğe ihtiyaç duyduklarını göstermektedir (Kraft vd., 2010). Bu durum sadece öğrenciler için değil, öğretmenler için de geçerlidir. Araştırmalar, öğretmenlerin bir kısmının kendilerini yeterli hissetmemeleri sebebiyle derslerinde akıl yürütme becerilerine yönelik etkinliklere yer veremediklerini belirtmektedir (Kocagül Sağlam ve Ünal Çoban, 2020). Bu bağlamda Messick (1982), akıl yürütme biçimlerinin etkin kullanımına yönelik gerekli adımları şu şekilde sıralamaktadır: öğrencilerin düşünme ve öğrenme stratejilerinin geliştirilmesi, öğretmen davranışı ve farkındalığının geliştirilmesi, eğitim amaç ve çıktıların genişletilmesi. Buradan hareketle, öğretmenlerin öğrencilerde akıl yürütme becerilerini geliştirmek üzere tartışma ortamı oluşturma, öğrencilerini sabırla dinleme, öğrencilerden düşüncelerini gerekçelendirmelerini isteme, onlara gerçek yaşamdan problemler sunma ve söz konusu problemin çözümüne yönelik düşüncelerini açıklamaya teşvik etme, bir problemin çözümüne yönelik kendi düşüncüklerini sesli olarak ifade etme, farklı öğrencilerden gelen yanıtlar arasında bağ kurma, öğrencileri düşüncelerini açıklama konusunda motive etme vb. davranışları sınıf içerisinde modellemeleri ve öğrenci-öğrenci ve öğretmen-öğrenci arasında etkili iletişim kurabilmeye

dayalı bir sınıf kültürü oluşturmaları gerektiği önerilebilir. Ama öncesinde, öğretmenlere bu tür davranışlarını geliştirmek üzere sorgulayıcı soru sorma, sınıf içi tartışmaları verimli ve etkili bir şekilde yönetebilme konularında eğitimler verilebilir. Bilindiği kadarıyla, bu alanda analiz edilen üç tür akıl yürütmeyi destekleyici öğrenme ortamları oluşturma görevini ele alan müfredat girişimleri yoktur. Ancak, öğrencilerin öğrenme deneyimlerini modellerin keşfi yoluyla yapılandıran bir takım yenilikçi projeler bulunmaktadır. (Stieff, 2005). Ayrıca, öğrencileri çeşitli fiziksel ve kimyasal sistemlerin modellerini kullanma ve oluşturma konusunda aktif olarak dâhil etmek için kullanılabilen Moleküler Çalışma Tezgâhı gibi mükemmel, ücretsiz olarak erişilebilen çevrimiçi öğrenme ortamları da vardır (Xie ve Tinker, 2006). Öğrencileri modelleme etkinliklerine dahil etmenin, onların konu bilgisi edinmelerine ve kimyasal bilginin nasıl üretildiğine dair daha iyi bir anlayış geliştirmelerine yardımcı olduğu bilinmektedir.

Bağlamsal Konular

Kimya öğretmenleri, kimyanın ve onun ürünlerinin modern toplumlar için önemli olduğunun bilincindedirler. Buna karşın, öğrencilerin daha anlamlı şekillerde öğrenmelerine yardımcı olmak için kimyanın modern dünyadaki merkezi konumundan yararlanma konusunda genellikle başarısız kalınmaktadır. Bu başarısızlık muhtemelen, öğrettiğimiz kimya içeriğinin farklı bağlamlarla nasıl alakalı olduğu ve bu bağlamların, öğrencileri bilgi edinme sürecine dahil etmek için nasıl kullanılacağı konusunda gerekli olan analiz ve düşünce eksikliğinden kaynaklanmaktadır (Bennett ve Holman, 2002). Eğitim araştırmaları, ilgili bağlamların, öğrencilerin kimya kavramlarının ve fikirlerinin anlamlı kullanımını gerektiren iyi tanımlanmış sorunları ele alan uygulama topluluklarına katıldıklarında, onların öğrenmeleri için üretken ortamlar sağladığını göstermektedir (Gilbert vd., 2011). Üretken öğrenme görevlerinin belirlenmesi, uygulama alanlarıyla ilişkili olarak öğretilecek kimya içeriğinin eleştirel bir analizinin yapılmasını gerektirir. Bu tür bir analiz, öğretmenlere, öğrencilerin kimya bilgisini ve düşünme biçimlerini en az üç ana yolla uygulayabilecekleri öğrenme fırsatlarını belirlemelerinde yardımcı olabilir:

1. *Açıklayıcı-Tahmin Edici*: Öğrenciler, atmosferdeki sera gazlarının etkisi gibi, bir konu ile ilgili olayları açıklayabilen ve tahmin edebilen varlık ve sürece ilişkin modeller üretirler. Bağlamsal konular, öğrencilerin verileri analiz etme, modeller ve açıklamalar oluşturma, kanıtlara dayalı argümanlar üretme ve savunma, ayrıca fikirlerini temsil etme ve iletme yolları konusunda fikir birliğine varma süreçlerine katılımını sağlamak için kullanılır.
2. *Dönüştürücü*: Öğrenciler, bulundukları yerin kanalizasyon suyunu arıtmak gibi, bir konu ile ilgili sorunları ele almak için materyal veya süreçler tasarlar. Bağlamsal konular, öğrencilerin özellikleri tanımlamalarına, sınırlılıkları belirlemelerine ve ayrıca bilgi ve deneyimlerine dayalı prototipleri tasarlamalarına, test etmelerine ve revize etmelerine dâhil etmek için kullanılır.
3. *Sosyo-Kimyasal*: Öğrenciler, plastik ambalaj tüketmek gibi kimyasal faaliyetlerin veya kimyasal ürünlerin kullanımının sosyal, ekonomik ve çevresel maliyetlerini ve faydalarını analiz eder, sentezler ve değerlendirir. Bağlamsal konular, öğrencilerin ahlaki ve etik konuların yanı sıra temel kimya kavramları, fikirleri ve uygulamaları hakkında sağlam bir anlayış gerektiren kararlar almalarına dahil etmek için kullanılır.

Bağlamsal konulara ilişkin yürütülen eğitim araştırmaları, öğrencilerin kimya öğrenmeye olan ilgi, tutum ve motivasyonlarının, bağlam temelli yaklaşımlarla arttığını ve bu tür yaklaşımların doğru ve etkin bir şekilde uygulanması halinde öğrencilerin kavramsal anlayışlarında da bir artış sağlayabileceğini göstermektedir (King, 2012).

Felsefi Düşünceler

Kimya felsefesi üzerine yapılan yayınlar son 20 yılda önemli ölçüde artmıştır (Scerri, 2000). Bu yönde yapılan çalışmalar, kimya alanının ve aynı zamanda onun ürettiği bilginin, onları diğer bilimsel disiplinlerden farklı kılan kritik özelliklerini ortaya koymaktadır. Bu benzersiz özellikleri analiz etmek ve bunlar üzerinde düşünmek, öğretmenlerin ve eğitimcilerin, kimyanın hem bir uygulama hem de bir bilgi yığını olduğu yönündeki anlayışlarını zenginleştirmelerine yardımcı olabilir. Mevcut felsefi çalışmaların kimya öğretimi ve öğrenimi için çıkarımları yeni yeni açıklanmaya başlanmış olsa da, içerik analizi ve yansıtıcı düşünme sürecinde dikkate alınabilecek önemli alanlar şunlardır (Erduran ve Mugaloglu, 2013):

Kimyasal Kavramlar: Kimya bir fizik bilimi olarak sınıflandırılır ve insanlar genellikle kimyasal kavramların her zaman fiziğin temel prensipleri açısından indirgenebileceğini veya açıklanabileceğini varsayarlar. Ancak, bileşim, yapı, kimyasal bağ veya aromatiklik gibi birçok temel kimyasal kavramın indirgenebilirliği hakkında önemli tartışmalar vardır (Scerri, 2000). Bu tartışmanın doğasını anlamak, kimya eğitimcilerinin öğrettiğimiz kavramların ve oluşturduğumuz açıklamaların gücünü, kapsamını ve sınırlamalarını daha iyi tanımlamalarına yardımcı olabilir.

Kimyasal Yasalar: Enerjinin korunumu yasaları gibi fiziğin başlıca yasaları, uygun sınırlılıklar verildiğinde her zaman geçerli olmaları beklendiği için kesin kabul edilirken, kimya filozofları kimya yasalarının çoğunluğunun yaklaşık, istisnai veya kesin olmadığını belirtmektedir (örneğin gaz yasası ve Raoult yasası sırasıyla ideal gaz ve ideal çözelti davranışlarını açıklar.

İdeallikten uzaklaştıkça bu yasaların hata payı da artmaktadır.) (Bhushan, ve Rosenfeld, 2000). Öğrencilerin açıklayıcı ve öngörücü düşüncelerini daha iyi değerlendirmelerini ve kullanmalarını istiyorsak, kimyasal düşünceyi yönlendiren yasaların, ilkelerin ve pratik kuralların doğasının daha dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

Kimyasal Modeller: Kimya bilim insanları, diğer bilimsel disiplinlerden farklı şekillerde modeller oluşturur ve kullanırlar. Örneğin, aynı olguyu farklı (örn. Arrhenius, Brønsted–Lowry ve Lewis asitlik modelleri) veya rekabet eden (örn. kimyasal bağların valans bağları veya moleküler orbital modelleri) modeller kullanarak tanımlayabilir ve kendi amaçlarına en uygun olanı benimseyebilirler (Bhushan, ve Rosenfeld, 2000). Modellemelerdeki bu "çeşitlilik" öğrenciler için oldukça kafa karıştırıcı olabilir ve bu nedenle öğretmenler tarafından iyi bilinmeli ve üzerinde iyi düşünülmelidir.

Kimyasal Dil: Kimyasal düşünce, yalnızca bilgi iletmek için değil, aynı zamanda açıklamaların oluşturulmasında ve yeni ürünlerin tasarlanmasında da kritik öneme sahip olan oldukça karmaşık bir sembol ve simge sistemine büyük ölçüde bağlıdır. Kimyagerlerin bu sembolik dili laboratuvar deneyimleri dünyası ile moleküler modeller dünyası arasında köprü kurmak için nasıl kullandıkları birçok felsefi analizin konusudur (Bhushan, ve Rosenfeld, 2000). Bu tür tartışmalara katılmak, öğretmenlere kimyasal dildeki akıcılığın gelişimini en iyi şekilde nasıl destekleyecekleri konusunda fikir verebilir.

Kimya eğitimine felsefi bakış açılarının nasıl dahil edilebileceğine dair özel fikirler, bu özel konuya ayrılmış Science and Education dergisinin ilgili sayısında bulunabilir (Erduran, 2013). Bu felsefi bakış açılarından birisine Guattari'nin "moleküler devrimi" örnek olarak verilebilir (Vivas-Reyes vd., 2024). Guattari'nin "moleküler devrimi", moleküler süreçlerin makroskobik özellikler üzerindeki etkisini aydınlatarak ve disiplinler arası bağlantılar geliştirerek kimya eğitimini geliştirebilecek felsefi bir çerçeve sunar. Vivas-Reyes ve diğerleri (2024), Guattari'nin bu fikirlerini "çözeltiler ve özellikleri"nin öğrenilmesi sürecine entegre ederek, bu süreçte yer alan kimyasal etkileşimlere ve geniş çaplı etkilerine vurgu yapan kapsamlı bir yaklaşım önermektedirler. Bu yaklaşım, şu etkinlik dizisini içermektedir: Öncelikle öğrenciler farklı maddelerin farklı konsantrasyonlarındaki çözeltileriyle deneyler yürüteceklerdir. Sonrasında, çözeltilerin kimyasal özelliklerini ve işlevlerini eleştirel bir şekilde değerlendireceklerdir. Bu özelliklerin çeşitli kimyasal reaksiyonları ve uygulamaları nasıl etkilediğini araştıracaklardır. Ayrıca, çözelti davranışının altında yatan karmaşık mekanizmaları kavrayabilmek amacıyla çözünen maddeler ve çözücüler arasındaki moleküler etkileşimleri ayrıntılı olarak inceleyeceklerdir. Daha sonra, öğrenciler çözünen maddeler ve çözücüler arasındaki moleküler etkileşimleri mikroskobik altı düzeyde araştıracaklardır. Bu aşamada öğrencilerden, bu etkileşimlerin viskozite ve yoğunluk gibi çözeltilerin makroskobik özelliklerini nasıl etkilediğine dair ayrıntılı bir anlayışa sahip olmaları ve böylece mikroskobik altı ve molar seviyeler arasında bir bağlantı kurmaları beklenecektir. Sonrasında, öğrenciler, çözeltilerin ortaya çıkan özelliklerinin, onların çok yönlülüğüne ve pratik uygulamalarına nasıl katkıda bulunduğunu analiz etmeleri için yönlendirilecektir. Bu aşamada, viskozite ve yoğunluk gibi özellikleri inceleyecekler ve bunların karmaşık çözünen-çözücü etkileşimlerinden nasıl ortaya çıktığını anlamaya çalışacaklardır. Son olarak, öğrenciler gerçek dünya sorunlarını ele alan yenilikçi çözümlere yönelik araştırmaları keşfedebilmeleri hususunda teşvik edileceklerdir. Çözeltilerin moleküler özelliklerinin, çevre sorunlarını çözebilmek için nasıl kullanılabileceğini düşünmeye teşvik edilecekler ve bu da mikroskobik altı düzeyde ayrıntılı bir analiz gerektirecektir. Böylece, öğrencilerin, çözeltilerin kimyasal yönlerini daha iyi anlayabilmeleri ve aynı zamanda bu sürecin karmaşıklığını takdir edebilmeleri sağlanmaya çalışılacaktır.

Tarihi Görüşler

Kimya, çoğu modern ders kitabında oldukça tarih dışı bir bakış açısıyla sunulur. Kimya alanı tarihindeki önemli şahsiyetlere sıklıkla atıflar yapılsa da kimyasal fikirlerin ve uygulamaların gelişimini yönlendiren temel sorular, ikilemler ve endişeler hakkında çok az sayıda tartışma ve analize yer verilir (Talanquer, 2013). Ayrıca, kimyanın bir insan çabası olarak rollerinin ve algılarının zaman içinde nasıl geliştiğine dair net bir tasvir yoktur. Kimyaya tarihsel bir bakış açısıyla bakmak, kimya eğitimcileri için faydalıdır çünkü bu alandaki temel kavramların ve büyük fikirlerin anlaşılmasındaki mücadelelerin -ki birçoğu sınıflarda öğrencilerin de maruz kaldığı mücadelelerle benzerdir- tanınmasına yardımcı olur (Wandersee, 1986). Ayrıca, kimyacıların asırlar boyu süren çalışmaları sonucunda ortaya çıkan, altta yatan temalara, temel sorulara, analiz ölçeklerine, kavramsal boyutlara, bağlamsal konulara ve felsefi düşüncelere karşı gözlerimizi açar. Kimya tarihi eğitimi yoluyla öğrenciler kimyacıların araştırma yöntemlerini taklit edebilir, onların deneyimlediği başarılı araştırma yaklaşımlarını ve bilimsel yöntemlerini tekrarlayabilir ve öğretmenlerin rehberliğinde bilimsel araştırma faaliyetleri yürütebilirler (Yaru vd, 2020). Örneğin, havanın bileşiminin öğrenilmesi sürecinde, Lavoisier'in havanın bileşimini bulmak için tasarlamış olduğu deney örnek gösterilerek öğrencilere, kırmızı fosforun yanması yoluyla havadaki oksijen içeriğini ölçmeleri için rehberlik edilebilir. Kimya tarihi eğitimi yoluyla öğrenciler, tarihteki kimyacıların sorgulamaya cesaret ettikleri, keşfetmeye cesaret ettikleri ve bilimsel bir amaç uğruna sürdürdükleri bilimsel ruhu öğrenebilirler. Örneğin, Lavoisier deneyler yoluyla "flogiston teorisini" sorgulamış, reddetmiş ve yanma teorisinin tarihsel gerçeklerini ortaya koymuştur; Madam Curie, iki ton uranyumun atık cürufundan 0,1 gram radyum bileşimini ayırmak için birkaç yılını harcamıştır. Thomas Edison, ampülü icat etme sürecinde doğru maddeyi bulmak için sayısı binlerle ifade edilen denemede bulunmuştur. Bu tarihi gerçekler, şüphesiz öğrencilerin bilimsel ruhunun ve bilimsel yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

Örneğin, Jensen'in (1998b) kimya alanı tarihindeki büyük "devrimler" üzerine yaptığı tarihsel analizi ele alalım. Jensen bu çalışmada, kimyanın bilimsel bir disiplin olarak gelişimindeki kritik tarihsel aşamalar ile kimyasal sistemlerin analiz ölçeğindeki, molar (makroskopik) ile moleküler ve elektriksel (atom altı) düzeyler arasındaki bileşim-yapı kavramsal boyutundaki değişimler arasında bir bağlantı kurar. Farklı bir bakış açısından, Knight'in (1992) çalışması kimyadaki fikirlerin evrimini takip ederek bu alanın zaman içinde oynadığı farklı rolleri ortaya koyar; gizemli (doğaüstü) bir bilimden mekanik bir bilime, tümevarımsal bir bilimden tımdengelimli bir bilime, betimleyici bir bilimden indirgenmiş bir bilime, yararlı bir bilimden hizmet bilimine. Son bir örnek olarak, Bensaude-Vincent ve Simon (2008)'un tarih ve felsefe arasındaki sınırda yazdıkları, kimyanın etik boyutları üzerine düşünmemizi sağlar. Genel kimya öğretiminde tarihsel ve felsefi bakış açılarının nasıl kullanılacağına dair öneriler birkaç yazar tarafından yapılmıştır (Niaz, 2008).

Sonuç ve Öneriler

Bir kimya dersinin planlanması aşamasında, yukarıda tartışılan kimya içeriğine yönelik bakış açılarının tüm farklı yönlerine dikkat edilmesinin çok da mümkün olmadığı düşünülebilir. Bu kabul edilebilir bir düşüncedir. Bunun yerine, ortaöğretim veya üniversite düzeyinde genel kimya dersleri veren öğretmenlerin ve eğitmenlerin şu ön hazırlık çalışmalarını göz önünde bulundurmaları önerilebilir:

-Bu bakış açılarının varlığından haberdar olunmalıdır. Böylece öğrencilerin kimya kavramlarını öğrenme sürecinde hangi boyutlarda zorlandıkları konusunda farkındalık kazanılmış olur.

-Öğretim süreci her ne kadar yoğun olsa da, bu bakış açılarından en azından birini keşfetmek, analiz etmek ve üzerinde düşünmek için zaman ayrılmalıdır. Böylece öğrencilerin en azından bir boyuttaki öğrenme güçlükleriyle baş etme şansı kazanılmış olur.

-Kimya içeriğinin çok yönlü anlaşılabilirliğini daha fazla yansıtabilmek için, öğretim sürecinde bazı değişiklikler yapma konusunda cesaretli olunmalıdır. Böylece öğrenme sürecinde gerekli değişikliklerin yapılabilmesi için ilk adımı atma şansı yakalanmış olur.

Bu çalışma kapsamında ele alınan 10 bakış açısı, kimyanın bir öğrenme alanı olarak çok boyutlu doğasını gözler önüne sermektedir. Ayrıca, dünya çapında birçok okul ve üniversitede baskın olan kimya programına yönelik tekdüze yaklaşımların sorgulanması için birçok neden sunmaktadır. Dahası, bu 10 bakış açısı, öğrettiğimiz içeriğe daha derinlemesine bakmanın, entelektüel olarak ne kadar zorlayıcı ancak aynı zamanda son derece uyarıcı olabileceğini göstermektedir.

Katkıda Bulunanlar

Bu çalışmaya katkısı olan herhangi bir kişi, kurum ya da kuruluş bulunmamaktadır.

Etik Kurul Onay Bilgileri

Bu çalışma insan ya da hayvan katılımcı içermeyen bilgilendirici bir makaledir. Bu nedenle etik kurul onayı gerekmemektedir.

Çıkar Çatışması

Yazarının bir başka kişi, kurum ya da kuruluşla çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Finansal Destek

Bu çalışma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

Yazar Katkıları

Bu çalışmanın yazarının çalışmaya katkısı %100'dür.

Kaynakça

- Alonzo, A. C., & Gotwals, A. W. (2012). *Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directions*. Sense Publishers.
- Atkins, P. (1999). Chemistry: The Great Ideas. *Pure Applied Chemistry*, 71, 927–929. <https://doi.org/10.1351/pac-con-12-11-17>
- Bennett, J., & Holman, J. (2002). Context-based Approaches to the Teaching of Chemistry: What are they and What are their Effects? J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust, J. H. vanDriel (Eds), *Chemical Education: Towards Research-Based Practice* (165-184), Kluwer.
- Bensaude-Vincent, B., & Simon, J. (2008). *Chemistry: The Impure Science*. Imperial College Press.
- Bhushan, N., & Rosenfeld, S. (2000). *Of Minds and Molecules*. Oxford University Press.
- Canpolat N., & Pınarbaşı T. (2012). Le Chatelier prensibi ve kavramsal öğrenme. *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 024,99-114.
- Claesgens, J., Scalise, K., Wilson, M., & Stacy, A. (2009). Mapping Student Understanding in Chemistry: The Perspectives of Chemists. *Science Education*, 93, 56–85. <https://doi.org/10.1002/sce.20292>
- Cooper, M. M. (2010). The Case for Reform of the Undergraduate General Chemistry Curriculum. *Journal of Chemical Education*, 87, 231–232.
- Cooper, M. M., Underwood, S., Hilley, C. Z., & Klymkowsky, M. W. (2012). Development and Assessment of a Molecular Structure and Properties Learning Progression. *Journal of Chemical Education*, 89, 1351–1357. <https://doi.org/10.1021/ed300083a>
- Erduran, S. (2013). Philosophy, Chemistry and Education: An Introduction. *Science & Education*, 22, 1559–1562. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9526-9>.
- Erduran, S., & Mugaloglu, E.Z. (2013). Philosophy of Chemistry in Chemical Education: Recent Trends and Future Directions. M. Matthews (Ed), *International Handbook of Research in History and Philosophy for Science and Mathematics Education* (287-315), Springer.
- Gilbert, J. K., & Treagust D.F. (2009). Eds. *Multiple Representations in Chemical Education*. Springer.
- Gilbert, J. K., Bulte, A. M. W., & Pilot, A. (2011). Concept Development and Transfer in Context-Based Science Education. *International Journal of Science Education*, 34, 817–837. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.493185>
- Gillespie, R. J. (1997). The Great Ideas of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74, 862–864. <https://doi.org/10.1021>
- Han, J., & Roth, W.M. (2006). Chemical inscriptions in Korean textbooks: Semiotics of macro and micro-world, *Science Education*, 90, 173–201. <https://doi.org/10.1002/sce.20091>
- Hawkes, S. J. (2005). Introductory Chemistry Needs a Revolution. *Journal Of Chemical Education*, 82, 1615–1616. <https://doi.org/10.1021>
- Holme, T., & Murphy, K. (2012). The ACS Exams Institute Undergraduate Chemistry Anchoring Concepts Content Map I: General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89(6), 721–723. <https://doi.org/10.1021>
- Jensen, W. B. (1998a). Logic, History, and the Chemistry Textbook: I. Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75, 679–687. <https://doi.org/10.1021>
- Jensen, W. B. (1998b). Logic, History, and the Chemistry Text-book: III. One Chemical Revolution or Three? *Journal of Chemical Education*, 75, 961–969. <https://doi.org/10.1021>
- Johnstone, A. H. (2010). You Can't Get There from Here 1. *Journal of Chemical Education*, 87, 22–29. <https://doi.org/10.1021/ed800026d>
- Kind, V. (2004). *Beyond Appearances: Students' Misconceptions about Basic Chemical Ideas*. Royal Society of Chemistry..
- King, D. (2012). New perspectives on context-based chemistry education: using a dialectical sociocultural approach to view teaching and learning. *Studies in Science Education*, 48(1), 51–87. <https://doi.org/10.1080/03057267.2012.655037>
- Knight, D. (1992). *Ideas in Chemistry*. Rutgers University Press.
- Kocagül Sağlam, M., & Ünal Çoban, G. (2020). Öğrencilerde Bilimsel Akıl Yürütme Becerilerini Geliştirme Konusunda Fen Bilimleri Öğretmenlerinin İhtiyaçlarının Belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 50, 399-425. <https://doi.org/10.9779/pauefd.595490>
- Kraft, A., Strickland, A. M., & Bhattacharyya, G. (2010). Reasonable reasoning: multi-variate problem-solving in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 281–292.
- Meijer, M. R., Bulte, A. M. W., & Pilot, A. (2009). Structure–Property Relations Between Macro and Micro Representations: Relevant Meso-levels in Authentic Tasks. J. K. Gilbert, D. Treagust (Eds), *Multiple Representations in Chemical Education* (195-213), Springer: Dordrecht..
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. National Academy Press.
- National Research Council. (2003). *Beyond the Molecular Frontier: Challenges for Chemistry and Chemical Engineering*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10633>..

- Niaz, M. (2008). *Teaching General Chemistry: A History and Philosophy of Science Approach*. Nova Science Publishers.
- Scerri, E. (2000). Philosophy of Chemistry—A New Interdisciplinary Field? *Journal of Chemical Education*, 77, 522–525. <https://doi.org/10.1021>
- Science: College Board Standards for College Success; The College Board. <https://secure-media.collegeboard.org/apc/cbscs-science-standards-2009.pdf>
- Stacy, A. M. (2010). *Living by Chemistry*. Key Curriculum Press.
- Stieff, M. (2005). Connected Chemistry—A Novel Modeling Environment for the Chemistry Classroom. *Journal of Chemical Education*, 82(3), 489–493. <https://doi.org/10.1021>
- Talanquer, V. (2010). Exploring Dominant Types of Explanations Built by General Chemistry Students. *International Journal of Science Education*, 32, 2393–2412. <https://doi.org/10.1080/09500690903369662>
- Talanquer, V. & Pollard, J. (2010). Let's teach how we think instead of what we know. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 74–83. <https://doi.org/10.1039/C005349J>
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33, 179–195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Talanquer, V. (2013). Chemistry Education: Ten Facets To Shape Us. *Journal of Chemical Education*, 90, 832–838. <https://doi.org/10.1021/ed300881v>
- Wandersee, J. H. (1986). Can The History of Science Help Science Educators Anticipate Students Misconceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 581–597. <https://doi.org/10.1002/tea.3660230703>
- Wiggins, G., & McTighe, J. (1998). *Understanding by Design*. Merrill/Prentice Hall.
- Xie, Q., & Tinker, R. (2006). Molecular Dynamics Simulations of Chemical Reactions for Use in Education. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 77–83. <https://doi.org/10.1021>
- Yaru Y., Liang X., Yanan Y., Chenyang H., & Yingying G. (2020). Chemistry History Education Infiltrating Cultivation of Scientific Literacy. *Frontiers in Educational Research*, 3(12), <https://doi.org/10.25236/FER.2020.031201>.

Extended Abstract

Introduction

Research in chemistry education over the past 40 years has shown that many students who complete general chemistry courses at the secondary and university levels fall short of developing the meaningful learning that is intended (Kind, 2004). These results have encouraged some chemistry educators to propose design and implement different approaches to teaching and conceptualizing basic chemistry topics, especially at the high school and freshman levels. Unfortunately, the impact of such improvement efforts has been limited, in most cases, to the schools, colleges, and universities where these innovative chemistry educators work. Despite current indications that traditional chemistry courses are not sufficiently effective, calls for change by various chemistry educators have not yet translated into collective action.

Given these limited views of chemistry knowledge, the suggestion that chemistry education—especially in introductory chemistry courses at the high school and university levels—should focus on enriching and diversifying how chemistry teachers and instructors think about the content they teach may be considered an important strategy for change. Recent work in chemistry education research and practice, the history and philosophy of chemistry, and the development of standards for chemistry education provide a foundation from which such pedagogical content knowledge can be developed. Drawing on ideas and conclusions from a variety of studies in these areas, we present 10 different perspectives or “facets” that may enable instructors to reflect on the effectiveness of chemistry content.

Big Ideas

In curriculum design, the term “big idea” traditionally represents a statement that summarizes the fundamental knowledge in a discipline that we want students to understand. For example, the statement “all matter is made up of particles” would be considered a big idea in chemistry. Although the concept of organizing science curricula around big ideas has been around for more than 20 years, many preservice teachers and those new to the profession have significant difficulty identifying the big ideas in their areas of interest. When asked to specify a big idea in chemistry that their students need to understand, many of my preservice chemistry teachers say things like “they need to know about bonding” or “they need to understand chemical reactions” rather than articulating the specific enduring understandings they want their students to develop.

Essential Questions

Traditional teaching approaches in chemistry courses introduce students to a variety of concepts, ideas, and experimental methodologies without much consideration of their theoretical or practical potential in answering questions about the world they live in. From this perspective, careful analysis of the intellectual goals of chemistry and the fundamental questions that can be answered with chemical knowledge can be beneficial to teaching chemistry. A committee of leading chemical scientists and engineers has nicely summarized the fundamental goals and challenges of modern chemistry.

Cross-cutting Concepts

The traditional approach to presenting general chemistry course content can easily obscure underlying conceptual themes or common ways of thinking across the curriculum. Approaching course content analysis to identify crosscutting concepts or unifying themes can help teachers make these connections more explicit. Crosscutting concepts are ideas that transcend disciplinary boundaries and possess explanatory significance across various fields of science and engineering. These concepts help provide students with an organizational framework for connecting information from multiple disciplines into a coherent, scientifically based worldview. There are seven crosscutting concepts outlined by the National Research Council and included in the new generation of science standards: 1- Patterns, 2- Cause and Effect, 3- Scale, Proportion, and Quantity, 4- Systems and system models, 5- Energy and Matter: flows, cycles, and conservation, 6- Structure and Function, and 7- Stability and Change.

Conceptual Dimensions

The use of these dimensions in the organization of the high school chemistry curriculum has been put into practice in the development of content and educational activities within the Living by Chemistry project (Stacy, 2010). Discussing chemistry content in terms of conceptual dimensions may allow teachers to better identify, emphasize, and compare the scope and limitations of chemical models and explanations discussed in class. For example, students may be asked to discuss the strengths and weaknesses of thermodynamic models of matter, which are mostly based on the energy dimension, in comparison with kinetic-molecular models of equivalent systems that include the structure and time

dimensions. Thematic analysis based on conceptual dimensions may also help teachers recognize areas that need more emphasis in the curriculum.

Knowledge Types

The content of school chemistry courses can also be analyzed in terms of the different types of subject knowledge we want students to develop. Specifically, chemistry educators distinguish three types of subject knowledge:

1. *Experiences*- This refers to the empirical knowledge we have or gather about chemical substances and processes through our senses or instruments: for example, iron rusts in the presence of air.

2. *Models*- This includes the theoretical models that chemists develop to make sense of the experienced world: for example, rusting is a chemical process in which elemental iron reacts with elemental oxygen to produce the chemical compound iron oxide.

3. *Visualizations*- This includes the different visual cues (from symbols to icons, from static diagrams to animated animations) used in chemistry to facilitate reasoning and communication about both experiences and models.

Dimensional Scales

Chemists explore, model, and create visualizations of the properties of matter at different lengths, time, and energy scales. Therefore, chemistry content can also be analyzed at different scales in classroom descriptions, explanations, or predictions. It is common for chemistry educators to refer to macroscopic and particulate analyses in chemistry. However, this dual view can obscure the existence of other relevant scales in the analysis of chemical systems or lead teachers and instructors to overemphasize descriptions at some scales over others.

Modes of Reasoning

Chemistry is often portrayed as a prototypical science focused on describing, explaining, and predicting the properties and behaviors of chemical substances and processes. To accomplish this process, scientists working in chemistry create, evaluate, and revise models about systems of interest. Model-based reasoning involves using or creating models that are consistent with existing prior knowledge and evidence, comparing and evaluating the ability of different models to explain observed properties and predict new phenomena, and revising models to increase their explanatory and predictive power. Therefore, analyzing chemistry content from a “modeling” perspective is critical to identifying opportunities for students to engage in this type of reasoning.

Contextual Issues

Chemistry teachers recognize that chemistry and its products are important to modern societies. Yet they often fail to take advantage of chemistry's centrality in the modern world to help students learn in more meaningful ways. This failure is likely due to a lack of analysis and thought about how the chemistry content we teach is relevant to different contexts and how those contexts can be used to engage students in the process of learning.

Philosophical Considerations

Publications on the philosophy of chemistry have increased significantly in the last 20 years (Scerri, 2000). Studies in this direction reveal critical features of the field of chemistry and the knowledge it produces that distinguish it from other scientific disciplines. Analyzing and reflecting on these unique features can help teachers and educators enrich their understanding of chemistry as both a practice and a body of knowledge.

Historical Views

Chemistry is presented in a rather ahistorical light in most modern textbooks. Although important figures in the history of chemistry are frequently cited, there is little discussion or analysis of the fundamental questions, dilemmas, and concerns that have driven the development of chemical ideas and practices. Furthermore, there is no clear depiction of how the roles and perceptions of chemistry as a human endeavor have evolved. Viewing chemistry from a historical perspective is useful to chemistry educators because it helps us recognize the struggles in understanding the field's fundamental concepts and big ideas, many of which are similar to those experienced by students in the classroom (Wandersee, 1986). It also opens our eyes to the underlying themes, fundamental questions, scales of analysis, conceptual dimensions, contextual issues, and philosophical ideas that have emerged over the centuries of chemists' work.

Conclusion

It may be thought that it is not possible to pay attention to all the different aspects of the perspectives on chemistry content discussed above when planning a chemistry course. This is an acceptable thought. Instead, it can be suggested that teachers and instructors teaching general chemistry courses at secondary or university levels should consider the following preliminary preparation studies:

- Be aware of the existence of these perspectives.
- Although the teaching process is intensive, time should be allocated to explore, analyze, and reflect on at least one of these perspectives.
- To enhance the multifarious comprehensibility of chemical knowledge, modifications to the teaching approach are necessary.

This study analyzes 10 perspectives that illustrate the multifaceted character of chemistry as an educational discipline. This indicates its intricacy while also highlighting its richness and beauty. It also offers numerous causes to scrutinize the standardized methodologies in chemistry curricula prevalent in numerous educational institutions globally. Furthermore, these ten viewpoints illustrate that a profound examination of the topic we teach may be both cognitively demanding and highly invigorating.