



Kimya Eğitiminde Sistem Düşüncesinin Kullanımına Yönelik Bir Eğitim Çerçevesi

An Educational Framework for the Implementation of Systems Thinking in Chemistry Education

Tacettin Pınarbaşı^{a*}

^aAtatürk University, Erzurum, Türkiye

Öz

Yakın dönemde hem bilimsel araştırmalar hem de fen eğitimi büyük ölçüde indirgemeci bir bakış açısıyla şekillenmiştir. İndirgemeci yaklaşım, doğal dünya hakkında bilgi birikimimizin artmasına ve önemli teknolojik ilerlemelere katkı sağlamış olsa da, sürdürülebilirlik, kirlilik, iklim değişikliği ve yoksulluk gibi küresel sorunların çözümünde yetersiz kalmaktadır. Kimya eğitiminin sistem düşüncesi (SD) perspektifiyle yeniden yapılandırılması, öğrencilerin bu küresel sorunlara çözüm üretmelerine katkı sağlayacak bilgi, beceri ve tutumlarla donatılmalarına yardımcı olabilir. Ayrıca kimya, karmaşık-dinamik sistemlerle ilgilenen bir sistem bilimi olduğundan, sistem düşüncesi kimyasal uygulamaların temel bir bileşeni olarak dikkate alınabilir. Bu nedenle, kimya konularının anlamlı bir şekilde öğrenilmesi için kimya eğitiminde sistem düşüncesi yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gerekli eğitim reformunu desteklemek amacıyla, bu makalede, Talanquer ve Szozda (2024) tarafından yapılan bir çalışmanın içeriğine sadık kalınarak özetlenmiş versiyonu kapsamında, kimya eğitimcilerinin, bir SD yaklaşımı doğrultusunda kimya ünitelerini, modüllerini veya derslerini planlama, uygulama ve değerlendirme süreçlerinde yararlanabilecekleri bir eğitim çerçevesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kimya eğitimi, sistem düşüncesi, eğitim çerçevesi.

Abstract

Recently, both scientific research and science education have been largely shaped by a reductionist perspective. While this reductionist approach has contributed to our increased knowledge of the natural world and significant technological advances, it remains inadequate for addressing global challenges such as sustainability, pollution, climate change, and poverty. Restructuring chemistry education through a systems thinking (S&T) perspective can help equip students with the knowledge, skills, and attitudes that will contribute to developing solutions to these global challenges. Furthermore, since chemistry is a systems science that deals with complex-dynamic systems, systems thinking can be considered a fundamental component of chemical applications. Therefore, a systems thinking approach is needed in chemistry education for meaningful learning of chemistry. To support this necessary educational reform, this article proposes an educational framework that chemistry educators can utilize in the planning, implementation, and evaluation of chemistry units, modules, or courses in line with an SD approach, based on a faithfully summarized version of a study by Talanquer and Szozda (2024).

Keywords: Chemistry education, systems thinking, educational framework.

© 2026 Başkent University Press, Başkent University Journal of Education. All rights reserved.

1. Giriş

Modern toplumlar ve gezegenimiz, temiz içme suyuna erişimi garanti altına almak, açlığı sona erdirmek, sera gazı emisyonlarını azaltmak, yeni ve yeniden ortaya çıkan hastalıklarla mücadele etmek ve sürdürülebilir kalkınmayı başarmak gibi çeşitli sosyo-çevresel zorluklarla karşı karşıyadır (Richardson ve diğerleri, 2023). Bu sorunların ele alınması, (1) bu problemleri anlayabilen, (2) karmaşıklık, belirsizlik ve hızlı değişime yanıt verebilen ve bunları yönetmeye hazır olan ve (3) Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına ulaşılmasına katkı

*ADDRESS FOR CORRESPONDENCE: Tacettin Pınarbaşı, Department of Chemistry Education, Kazım Karabekir Faculty of Education, Atatürk University, Erzurum, Türkiye. E-mail address: pinarbasit@atauni.edu.tr. ID: 0000-0003-2153-248X

Received Date: May 18th, 2025. Acceptance Date: December 10th, 2025.

sağlayabilen vatandaşların ve profesyonellerin işbirlikçi eylemlerini gerektirecektir (United Nations (Birleşmiş Milletler), 2024). Sürdürülebilirliğin önündeki en büyük zorlukların çoğu kimyasal süreçlerle ilişkilidir. İklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonları, su kaynaklarını kirleten toksik maddeler ve okyanusları boğan plastik atıklar, kimya biliminin anlaşılmasını gerektirir. Kaliteli bir kimya eğitimi, bu sorunların nasıl ortaya çıktığını ve çevreye ne gibi zararlar verdiğini kavramak için gerekli bilimsel altyapıyı sunar. Bu sayede, öğrenciler ve bireyler, küresel zorlukların karmaşıklığını daha iyi anlayabilirler. Kimya sadece sorunların kaynağı değil, aynı zamanda bu sorunların çözümüdür. Sürdürülebilirlik odaklı kimya eğitimi, yeşil kimya prensiplerini merkeze alır. Bu prensipler, daha az atık üreten, daha az enerji tüketen ve daha güvenli maddeler kullanan kimyasal süreçlerin tasarlanmasını hedefler. Günümüz dünyasında, kimya okuryazarlığı, bilinçli bir tüketici ve sorumlu bir vatandaş olmak için temel bir gerekliliktir. Gündelik yaşamımızdaki ürünlerin (temizlik malzemeleri, gıdalar, ilaçlar) içeriklerini anlamak, geri dönüşümün neden önemli olduğunu kavramak ve çevre politikaları hakkında bilinçli kararlar vermek için kimya bilgisine ihtiyaç duyarız. Kimya eğitimi, bu tür konularda doğru bilgiye sahip olmamızı sağlayarak, daha sürdürülebilir bir yaşam tarzını benimsememize yardımcı olur. Kimya bilgisi, akıl yürütme ve uygulamaları bu sorunlarla yüzleşmede hayati öneme sahip olacaktır (Matlin ve diğerleri, 2016). Ancak, mevcut öğrencileri bu çabalara katkıda bulunmaları için gerekli bilgi, beceri ve eğilimlerle daha iyi donatmak için kimya eğitimcilerinin, öğretim programını, öğretim yöntemlerini ve değerlendirme uygulamalarını bu iddialı hedeflerle uyumlu hale getirmek üzere acil ve somut adımlar atması gerekmektedir (Mahaffy ve diğerleri, 2019; Mahaffy ve diğerleri, 2018; Talanquer ve diğerleri, 2020).

Küresel sorunları analiz etme, anlama ve bunlarla başa çıkma gibi karmaşık görevler, başta bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) kariyerleriyle ilgilenenler olmak üzere tüm öğrencilerin dört temel öğrenme çıktısına ulaşmasını gerektirir: (1) kimyadaki temel kavramları anlamlı bir şekilde öğrenmek (Gillespie, 1997; Atkins, 1999; Cooper ve diğerleri, 2017; Holme ve diğerleri, 2015; Talanquer, 2016), (2) olguları araştırmak ve çözüm tasarlamak için bilim ve mühendislik uygulamalarını kullanmayı öğrenmek (National Research Council, 2012), (3) ilgi duyulan sistemleri analiz etmek için sistem düşüncesi (SD) becerilerini geliştirmek (Assaraf & Orion, 2055; Momsen ve diğerleri, 2022; York & Orgill, 2020) ve (4) sosyo-çevresel sorumlulukla hareket etmek (The Lemelson Foundation (Lemelson Vakfı), 2022; Wiek ve diğerleri, 2011).

İlk iki öğrenme çıktısı, öğrencilerin sistematik bir bakış açısını destekleyen bir dizi kesişen kavramı (örneğin, "sistemler ve sistem modelleri", "örüntüler", "kararlılık ve değişim") kullanarak akıl yürütmeyi öğrenmelerini de bekleyen Yeni Nesil Bilim Standartları'nın (National Research Council (Ulusal Araştırma Konseyi), 2013) eğitim hedefleriyle uyumludur. Bununla birlikte, (Talanquer (2024) tarafından yayımlanan bir makalenin içeriğine sadık kalınarak sunulan) bu çalışmada savunulan yaklaşımda, kesişen kavramlar sürece entegre edilmekte ve sosyo-çevresel sorunlara sürdürülebilirlik merceğinden bakarak olası çözümleri analiz etmek, anlamak ve değerlendirmek için kimyadaki temel kavramların ve temel uygulamaların hayata geçirilmesini destekleyen SD becerilerinin geliştirilmesinde bir temel olarak kullanılmaktadır. Talanquer'in bu çalışması bir araştırma makalesinden ziyade, kavramsal bir çerçevenin tanıtılmasına odaklanmaktadır. Bu nedenle, çalışmada geleneksel anlamda bir metodoloji veya veri toplama aracı kullanılmamıştır. Makale, IUPAC'ın (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği) "Sürdürülebilirlik için Kimyada Sistem Düşüncesi: 2030 ve Ötesi (STCS 2030+)" projesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu çerçeve, kimya eğitimcilerine sistem düşüncesi yaklaşımını derslerine entegre etmeleri için bir rehberlik sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu katkıda açıklanan SD yaklaşımını kullanan kimya öğrenimine yönelik eğitim çerçevesi, kimya ünitelerinin, modüllerinin veya derslerinin anlamlı ve etkili yollarla bu entegrasyonu gerçekleştirebilmesini planlanmayı, uygulanmayı ve değerlendirmeyi yönlendirmeyi ve kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Burada sunulan çerçeve, kimyayı güvenli, sağlıklı ve sürdürülebilir bir dünya inşa etmek için güçlü bir bilme, düşünme ve eyleme geçme aracı olarak öğrenme fırsatları yaratmak için bir plan sunmaktadır (IUPAC, 2024a).

1.1. Kimya Eğitiminde Sistem Düşüncesi

Son yıllarda, kimya eğitimini SD kullanarak yeniden yönlendirme yönünde yapılan çağrılarının sayısında artış yaşanmaktadır (Pazicni & Flynn, 2019; Orgill ve diğerleri, 2019; Tümay, 2023; Bozkurt, 2023). SD, alt mikroskobik ölçekten makroskobik ölçeğe kadar farklı ölçeklerde işleyen birbirine bağımlı bileşenlerin (bir sistem) dinamik etkileşimlerinin neden olduğu karmaşık olgular üzerinde akıl yürütme biçimi olarak tanımlanmaktadır (Orgill ve diğerleri, 2019). Küresel sürdürülebilirlik sorunlarına çözüm bulmak, bu sorunların kimyasal, fiziksel, biyolojik ve çevresel alt sistemler (Dünya alt sistemleri) ile sosyal, politik ve ekonomik alt sistemler (insan alt sistemleri) arasındaki dinamik etkileşimlerden nasıl ortaya çıktığına dair temel bir anlayışa sahip vatandaşlar ve profesyonellerin yetiştirilmesini gerektirmektedir. Bu perspektiften bakıldığında, kimyayı öğrencilerin yaşamlarını ve kişisel, mesleki ve vatandaşlık ilgi alanlarını etkileyen sorunlardan kopuk, statik ve soyut bir teorik bilgi bütünü olarak öğretmeye devam etmek, disiplinimizin çalışılmasını önemsiz veya tali kılmaya olasılığı taşımaktadır.

Bir SD yaklaşımı kullanarak kimya eğitiminin yeniden yönlendirilmesinin aşağıda ifade edilen çeşitli faydaları olabilir (Mahaffy ve diğerleri, 2018):

- Disiplinin temel kavramları arasında bağlantılar kurarak kimyasal bilginin daha bütünlüklü ve anlamlı bir görünümü sağlanır.
- Geleceğin vatandaşlarının ve profesyonellerinin hazırlanması sürecine temel kavramlar, disiplinler uygulamalar, sistem düşüncesi ve sosyo-çevresel yetkinlikler entegre edilir.
- Öğrencilerin, ilgili kişisel ve toplumsal sorunların analizi, tartışılması ve yansıtılması yoluyla öğrenme sürecine aktif katılımı sağlanarak anlamlı öğrenme teşvik edilir.
- Öğrencilerin ön bilgilerini ve deneyimlerini paylaşabilecekleri daha kapsayıcı ve etkileşimli öğrenme ortamları oluşturulur (Sözda ve diğerleri, 2024).
- Öğrencilerin disiplin sınırları ötesinde akıl yürütmelerini sağlayarak, disiplinler arası bağlantılar kurmaları ve bunları güçlendirmeleri desteklenir.
- Kimyanın, küresel sorunlara çözüm üretme ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleme yönü vurgulanarak, kimyaya karşı daha olumlu tutumların geliştirilmesi sağlanır.

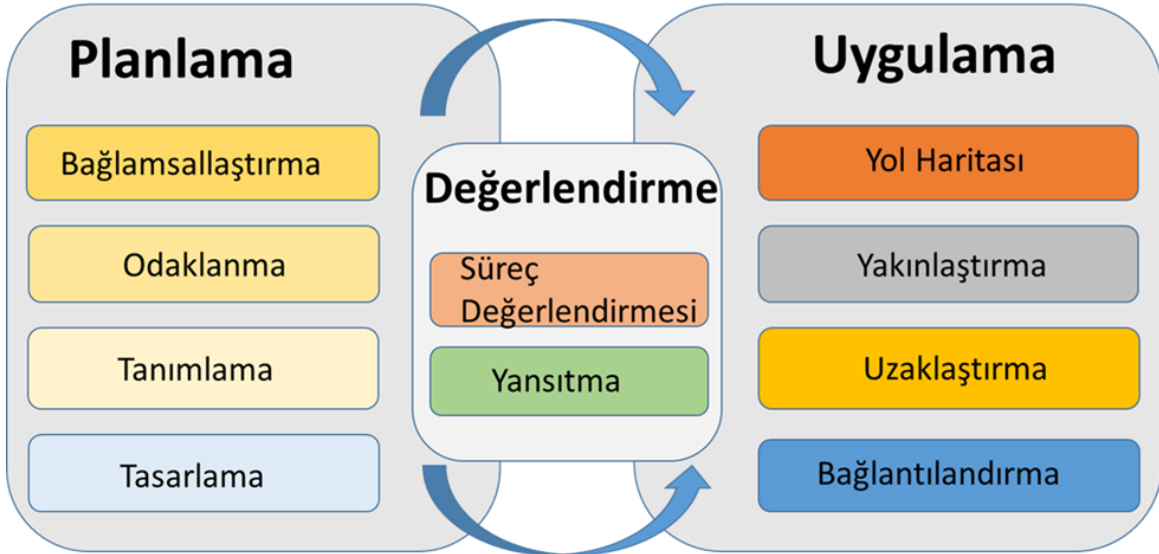
Sonuç olarak, kimya eğitiminin, sürdürülebilir kalkınmaya odaklanan bir SD yaklaşımı aracılığıyla yeniden yönlendirilmesi, kimyasal temelli sorunlar ve potansiyel kimyasal çözümlerle bağlantılı büyük küresel zorlukların olduğu bir dünyada değer temelli bir zorunluluk olarak görülmelidir.

1.2. Eğitim Çerçevesi

Kimya ünitelerinin, modüllerinin veya derslerinin planlanması, uygulanması ve değerlendirilmesinde bir SD bakış açısının uygulanmasını yönlendirmek ve kolaylaştırmak için, Şekil 1'de özetlenen ve aşağıdaki alt bölümlerde açıklanan eğitim çerçevesinin kullanılması önerilmektedir. Çerçevede özetlenen farklı görevler birbirleriyle bağlıdır ve öğretim üniteleri oluşturulurken, uygulanırken ve değerlendirilirken tekrarlayan biçimlerde yeniden gözden geçirilmesi gerekebilir. Bu çerçeve kullanılarak tasarlanan bir öğretim ünitesi örneği Tablo 1 ve 2'de özetlenmektedir. Şekil 1'de vurgulanan ve aşağıdaki bölümlerde açıklanan farklı görevleri analiz ederken bu tablolara başvurulması önerilmektedir. Çerçevenin uygulanmasına dair ek örnekler ve ilgili eğitim kaynakları, IUPAC SaSTICE projesi kapsamındaki (IUPAC, 2024a) "Kimya Eğitiminde Sistem Düşüncesi" web sitesinde (IUPAC, 2024b) bulunabilir.

Şekil 1

*Kimya Eğitiminde Sistem Düşüncesi Yaklaşımını Kullanmaya Yönelik Eğitim Çerçevesi**



* Bu görsel, Sistem Düşüncesi yaklaşımının planlanması, uygulanması ve değerlendirilmesi sürecinin aşamalarına ve bu aşamaların birbirleriyle dinamik ilişkiler içerisinde olduklarına vurgu yapmaktadır.

1.3. Planlama Aşaması

Bir SD yaklaşımı kullanarak kimya programı planlanırken; (1) öğretimi temellendirmek için ilgili bir bağlamın seçilmesi (*Bağlamsallaştırma*), (2) etkileşim halindeki alt sistemlerin belirlenmesi ve dersin veya öğretim biriminin kapsamının tanımlanması (*Odaklanma*), (3) çok boyutlu öğrenme çıktılarının belirlenmesi (*Tanımlama*) ve (4) anlamlı ve ilgi çekici bir öğretim sırasının oluşturulması (*Tasarlama*) dahil olmak üzere dört ana görevin tamamlanması önerilmektedir.

1.3.1. Bağlamsallaştırma

Kimya öğretmenlerinin çoğunluğu, derste tanıtılan kavramları ve fikirleri öğrencilerinin ilgisini çekebilecek sorunlara veya olgulara bağlamanın önemini kabul etmektedir. Ancak, çoğu zaman bu bağlantılar düzensiz bir şekilde yapılmaktadır. Bu durumda, öğrencilerin dikkatini çekmek ve onları motive etmek için derse ilgili bir konudan başlanabilir. Ayrıca, öğrencilerin öğrendiklerini uygulamalı olarak görebilmek için dersin sonunda ilginç bir örnek tartışılabilir (Sjostrom & Talanquer, 2014; Gilbert, 2006).

Kimya öğretiminde bir SD yaklaşımı benimsenirken, bağlamın daha anlamlı yollarla entegre edilmesi gerekmektedir (Ewing & Sadler, 2020; Hancock ve diğerleri, 2019). Analiz edilecek sorun veya olgu, öğrencilerin öğrenmesini beklediğimiz temel kimyasal kavramlara ve fikirlere rehberlik etmeli ve bu süreci yapılandırmalıdır. Ayrıca, öğrencilerin gezegenimizde, yaşadıkları topluluklarda veya kendi kişisel yaşamlarında karşılaştıkları sorunları anlamaları için fırsatlar sunmalı; böylece kimyasal bilgi ve kimyasal bilme, düşünme ve hareket etme yollarının bu sorunları anlamamıza ve potansiyel çözümler tasarlayıp değerlendirmemize nasıl yardımcı olduğunu kavramalarına olanak tanımalıdır (Eilks & Hofstein, 2015).

1.3.2. Odaklanma

Dünyamızdaki sosyo-çevresel sorunlar, farklı faktörlerin karmaşık etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu karmaşıklık, bu konulara odaklanan bir öğrenme ünitesinin planlanmasını zorlaştırmaktadır. Hangi faktörlerin keşfedilmesi önemlidir? Hangi etkileşimler analiz edilmelidir? Hangi alt sistemler dikkate alınmalıdır?

Bir SD yaklaşımı kullanırken, bir sorunun hangi yönlerinin dikkate alınacağına ve odaklanılacağına karar verilmelidir. Örneğin:

- Hangi kimyasal, fiziksel veya biyolojik bileşenler incelenecek?
- Hangi çevresel, ekonomik, sosyal veya politik etkiler tartışılacak?

Tasarlanan eğitim deneyimi, öğrencilerin sorunu anlamlı bir şekilde kavramalarına yardımcı olmalıdır. Tüm faktörleri birden ele almaya çalışmak, yüzeysel içerik kapsamına yol açabilir ve öğrencileri bunaltabilir. Bu nedenle odak noktası daraltılmalıdır.

Bir kimya dersinin odağını belirlemek için şu sorular sorulabilir:

- Öğrencilerden hangi temel kimyasal fikirleri öğrenmelerini bekliyoruz?
- Hangi yetkinlikleri geliştirmelerini istiyoruz?
- Analiz edilen sorunun öğrenciler için en ilgili oldukları yönleri nelerdir?

Öğrencilerin ön bilgileri ve deneyimleri ile bağlantı kurmanın, kimya öğrenme motivasyonunu artırdığı gösterilmiştir (King, 2012). Bu nedenle bir SD yaklaşımıyla tasarlanan dersler, kimya içeriğinin ötesine geçmeli, ancak öğrencilerin seçilen konuları anlamlı şekilde kavrayabilmesi için kapsam dikkatlice sınırlandırılmalıdır gerektiği öngörülebilir (Talanquer ve diğerleri, 2020).

1.3.3. Tanımlama

Bir SD yaklaşımı ile kimya dersleri planlarken, dört ana bileşeni entegre eden öğrenme çıktıları tanımlanmalıdır:

- Öğrencilerin öğrenmesi beklenen kimyadaki temel fikirler.
- Öğrencilerin katılacağı bilimsel ve mühendislik uygulamaları.
- Öğrencilerin geliştireceği sistem düşüncesi becerileri.
- Öğrencilerin kazanacağı sosyo-çevresel yetkinlikler.

Kimyadaki temel fikirlerin belirlenmesi, literatürde yayımlanmış kaynakların analizi ile kolaylaştırılabilir (Gillespie, 1997; Atkins, 1999; Cooper ve diğerleri, 2017; Holme ve diğerleri, 2015; Talanquer, 2016). Bir disiplindeki temel fikirler, önemli kavramların düzenlenmesi ve geliştirilmesi için temel oluşturur. Açıklamalar yapmaya, birçok olgu ve sistem hakkında tahminlerde bulunmaya ve ilgili sorunları çözmek için karar alma ve eylem tasarlama süreçlerine rehberlik etmeye yardımcı olur. Örneğin, kimyadaki temel bir fikir, “Maddelerin makroskobik özellikleri, alt

mikroskobik düzeydeki sayısız parçacığın dinamik etkileşimlerinden ortaya çıkar ve bu etkileşimler söz konusu parçacıkların bileşimine ve yapısına bağlıdır” ifadesiyle açıklanabilir. Bu fikir, kimya kavramlarının öğretiminde düzenleyici bir çerçeve sunar ve öğrencilerin sistemlerin özelliklerini açıklarken veya anlamlandırırken akıl yürütmelerine rehberlik eder.

Temel bilim ve mühendislik uygulamaları, bilim insanlarının ve mühendislerin sorunları araştırmak ve çözümler tasarlamak için gerçekleştirdikleri süreçleri ifade eder (National Research Council, 2012). Bunlar arasında model geliştirme ve kullanma, araştırma planlama ve yürütme, veri analizi ve yorumlama, kanıta dayalı argüman oluşturma, açıklama geliştirme ve bilgi iletişimi yer alır.

Sistem düşüncesi becerileri, öğrencilerin ilgi duyulan sistemlerin bileşimini, yapısını, davranışını ve etkilerini tanımlamasına ve analiz etmesine olanak tanır (Assaraf & Orion, 2005; Momsen ve diğerleri, 2022; York & Orgill, 2020). Öğrencilere çeşitli bağlamlarda SD becerilerini uygulama ve geliştirme fırsatları sunmak, bu bilgi ve becerileri farklı durumlarda etkili bir şekilde kullanmalarını ve aktarmalarını kolaylaştırabilir (United Nations (Birleşmiş Milletler), 2024).

Sosyo-çevresel yetkinlikler ise öğrencilerin insan faaliyetlerinin ekolojik ve sosyal sistemlere nasıl yerleştiğini anlamasını ve etkilerini değerlendirmesini sağlar (The Lemelson Foundation, 2022; Wiek ve diğerleri, 2011). Bu yetkinlikler, öğrencileri sorunları empati, etik değerlendirme ve kültürel farkındalık temelinde analiz etmeye ve sosyal-çevresel adalet konularına dikkat ederek çözüm önerileri geliştirmeye hazırlar.

Genel olarak, bir SD yaklaşımı ile planlanan kimya ünitelerindeki öğrenme çıktıları; temel fikirler, bilimsel uygulamalar, sistem düşüncesi becerileri ve sosyo-çevresel yetkinlikleri bütüncül şekilde entegre ederek ders etkinlikleri ve değerlendirme süreçlerini yönlendirmelidir. Bu entegrasyon, öğrenci öğrenimini tüm boyutlarda etkili bir şekilde desteklemelidir.

1.3.4. Tasarlama

Bir SD yaklaşımı kullanarak tasarlanan kimya dersleri, öğrencileri öğrenme sürecine aktif bir şekilde dahil etmelidir. Bu, öğrencilerin anlayışlarını geliştirdiği bilinen, kanıta dayalı öğretim modelleri ve stratejileri kullanılarak sağlanabilir. Örneğin, öğretim üniteleri, öğrencilerin bir olguyu keşfettiği, ilgili kimyasal fikirlerle tanıştığı ve bu fikirleri çeşitli şekillerde uyguladığı çoklu öğrenme döngülerini içerecek şekilde tasarlanabilir (Abraham & Renner, 1986). Tasarlanan bu öğrenme etkinlikleri şunları içermelidir: (1) iddialı öğrenme hedeflerine ulaşmak için işbirlikçi etkinlikleri entegre ederek öğrencilerin aktif ve etkileşimli katılımını teşvik etmek ve sağlamak (Chi & Wylie, 2014; Windschitl ve diğerleri, 2018), (2) halihazırda bildiklerini, derste tanıtılan yeni fikirlere bağlamalarına olanak tanıyarak ve tüm öğrencilerin bilgi, bakış açısı ve deneyimlerini paylaşmaları için fırsatlar yaratarak çeşitliliği kucaklamak ve katılımı teşvik etmek (Dewsbury & Brame, 2019), (3) öğrencilerden ilgi duyulan sistemlerin özelliklerinde ve davranışlarında örüntüler arayarak verileri analiz etmelerini ve yorumlamalarını istemek ve (4) ilgili olguların tahminlerini yapmak, argümanları desteklemek ve açıklamalarını oluşturmak için kimyasal modeller geliştirmelerini ve kullanmalarını sağlamak (National Research Council (Ulusal Araştırma Konseyi), 2012).

İşbirlikçi katılım yoluyla, öğrenme etkinlikleri, öğrencilerin analiz edilen sosyo-çevresel sorunun doğasını, ölçeğini ve önemini anlamalarına yardımcı olurken, sorunu anlamamıza ve ele almamıza yardımcı olan kimyasal kavramları ve fikirleri öğrenmelerini sağlamalıdır. Ek olarak, öğrenme etkinlikleri öğrencilere ilgili etkileşimli sistemlerin bileşimini, yapısını, davranışını ve etkilerini analiz etmek için SD becerilerini uygulama ve sosyal, çevresel, ekonomik ve politik hususlar dahil olmak üzere çeşitli faktörleri analiz edip değerlendirerek sosyo-çevresel yetkinlik geliştirmeleri için fırsatlar yaratmalıdır.

Genel olarak, bir SD yaklaşımı kullanarak öğrenme üniteleri planlanırken, kimya eğitimcileri; öğrenciler ve kimya içeriği arasında, öğrenciler ve yaşadıkları bağlam arasında, öğrenciler ve diğer öğrenciler arasında ve

öğrenciler, eğitimciler ve sundukları eğitim kaynakları arasında anlamlı ilişkiler kuran ve güçlendiren kasıtlı tasarım kararları almalıdırlar (Moreira & Talanquer, 2024).

1.4. Uygulama Aşaması

Bir SD yaklaşımı kullanarak derslerin, modüllerin veya öğretim birimlerinin uygulanması sırasında, planlama aşamasında tasarlanan içerik ve etkinliklerin, öğrencilerin:

- (1) analiz edilen sistemin doğası ve kapsamı hakkında bir anlayış geliştirmelerine (*Yol Haritası*),
- (2) ana kimyasal bileşenleri belirlemelerine ve aralarındaki temel etkileşimleri karakterize etmelerine (*Yakınlaştırma*),
- (3) bileşenler arasındaki etkileşimlerden ortaya çıkan sistem düzeyindeki özellikleri ve davranışları tanımlarına ve bunları etkileyen temel faktörleri incelemelerine (*Uzaklaştırma*) ve
- (4) ilgili alt sistemler (örneğin, kimyasal ve biyolojik ile sosyal ve ekonomik alt sistemlere) arasındaki etkileşimlerin etkilerini keşfetmelerine (*Bağlantılandırma*) yardımcı olacak bir sırayla düzenlenmesi önerilmektedir.

1.4.1. Yol Haritası

Kimya derslerinin bir SD yaklaşımı kullanılarak işlenmesi amaçlandığında, öğrencilerin analiz edilen sistemin doğasını ve kapsamını anlamalarına yardımcı olan etkinliklerle başlanması önerilmektedir. Bu etkinlikler öğrencileri, ilgi duyulan sosyo-çevresel sorun veya olgunun ilk analizine dahil etmeli ve etkileşim halindeki alt sistem türlerini (örneğin, hidrosfer ve atmosfer) ve bunları etkileyen faktörleri tanımlarına yardımcı olmalıdır. Bu faktörler kimyasal, fiziksel, biyolojik, çevresel, sosyal, politik veya ekonomik nitelikte olabilir. Bu giriş etkinliklerinin amacı, dikkate alınması gereken değişkenlerin ve faktörlerin haritasını çıkarmak ve analiz edilecek sorun veya olgunun doğası ile karmaşıklığına dair ilk genel görünümü oluşturmaktır.

Bu hedeflere ulaşmak için öğrenciler konuyla ilgili giriş düzeyindeki okuma ödevlerini tamamlayabilir, sorunları ve potansiyel çözümleri açıklayan kısa videolar izleyebilir, ve ilgili örüntüleri belirlemek için bazı verileri analiz edebilirler. İlk içgörülerini ve anlayışlarını özetlemek için öğrenciler, ana aktörleri ve etkileşimlerini vurgulayan diyagramları işbirlikçi bir şekilde oluşturabilirler. Örneğin, ilgi duyulan sistemin ana bileşenlerini ve ilişkilerini görsel olarak tasvir eden sistem haritaları oluşturabilir veya tamamlayabilirler (Aubrecht ve diğerleri, 2019; Eaton ve diğerleri, 2019). Genel olarak, kimyasal temellere inmeden önce, öğrenciler sorunun etki alanı ve karmaşıklığı hakkında kapsamlı bir anlayış geliştirmelidir.

1.4.2. Yakınlaştırma

Öğrenciler, analiz edilecek sosyo-çevresel sorun hakkında ilk anlayışlarını geliştirdikten sonra, eğitimciler sorunu anlamlandırmaya ve çözüm önerileri sunmaya yardımcı olan kimyasal kavramlara ve fikirlere derinlemesine inebilirler. Bu amaçla, öğrencilerin sorunu veya olguyu uygun ayrıntı düzeylerinde kimyasal modeller kullanarak keşfetmeleri için fırsatlar yaratmalıdırlar. Bu süreç, makroskobik düzeyden alt mikroskobik düzeye ve uzun yıllar süren süreçlerden saniyeler içinde gerçekleşen olaylara kadar uzay ve zamanda farklı ölçeklerde yakınlaştırma yapmayı gerektirir. Yakınlaştırmanın niteliği ve kapsamı, belirtilen öğrenme çıktıları tarafından yönlendirilmelidir.

Bu aşamada öğrenciler, dikkate alınan sistemlerde ve süreçlerde yer alan ana kimyasal bileşenleri tanımlayabilmeli (Momsen ve diğerleri, 2022; York & Orgill, 2020), özelliklerini ve etkileşimlerini inceleyebilmeli ve bu bilgileri sistemin davranışını tahmin etmek ve hedeflenen olguları açıklamak için kullanabilmelidir. Öğrencilerin bu mekanistik açıklamaları üretme becerilerini geliştirmek (Dood & Watts, 2022), kimyada yapı-özellik ilişkilerini anlamak (Talanquer, 2018; den Otter ve diğerleri, 2022), özellikle kimyasal bileşenlerin bileşiminin ve yapısının bir kimyasal sistemin özelliklerini nasıl ve neden belirlediğini kavramak açısından kritik öneme sahiptir.

Bu alanda öğrencilerin akıl yürütmeleri, çevrimiçi olarak ücretsiz erişilebilen çeşitli etkileşimli görselleştirme ve simülasyon araçlarıyla desteklenebilir (The King's Centre for the Visualization of Science (Kral Bilim Görselleştirme Merkezi), 2024; The Concord Consortium (Concord Konsorsiyumu), 2024; University of Colorado Boulder (Kolorado Boulder Üniversitesi), 2024). Öğrencilerle kimyasal modeller geliştirirken ve uygularken, farklı kimyasal varlıkların bileşimi ve yapısı hakkındaki bilgileri kullanarak kararlılık, reaksiyona olasılığı ve oluşabilecek ürünler gibi sonuçları

tahmin etmelerine yardımcı olunmalıdır. Sonuç olarak, kimya yalnızca ezberlenecek bir bilgi birikimi olarak değil, dünyayı anlamak için güçlü bir düşünme ve eylem yolu olarak sunulmalıdır (Talanquer & Pollard, 2010).

1.4.3. Uzaklaştırma

Geleneksel kimya derslerinde, eğitimciler genellikle az sayıda parçacıktan oluşan kimyasal sistemleri analiz ederler. Örneğin, birkaç atom içeren küçük moleküllerin özelliklerini inceleyebilir veya az sayıda reaktan ve ürün molekülünün yer aldığı kimyasal reaksiyonları temsil edebilir ve sadece birkaç saniye veya en fazla birkaç saat içinde meydana gelen olguları ele alabilirler. Ayrıca, kimyasal maddelerin özellikleri ve davranışları çoğunlukla parçalı bir biçimde incelenir; örneğin, bir ünite stokiometrik konular işlenirken, diğerlerinde enerjik veya kinetik hususlar ele alınır. Ancak, dünyamızı etkileyen karmaşık sorunlar, çoklu ölçeklerde ve boyutlarda (örneğin, *bileşim, enerji ve zaman*) meydana gelen süreçlerden kaynaklanmaktadır. Çoğu zaman, ilgi duyulan sistemlerin birçok özelliği ve davranışı tek bir bileşene indirgenemez ve analiz yalnızca tek bir değişken veya boyutla sınırlandırılmaz. Bunun yerine, bu özellikler, gezegenin her yanına dağılmış ve sayıca çok fazla olan parçacıkların etkileşimlerinden ortaya çıkar. İlgi duyulan süreçler aylar veya yıllar gibi uzun zaman ölçeklerinde gerçekleşir ve nedenleri genellikle uzay ve zamanda uzak kökenlere sahiptir. Dolayısıyla bu tür analizler farklı ayrıntı düzeylerini ve fiziksel boyutları aşmayı ve çeşitli bilgi türlerini entegre etmeyi gerektirir.

Sonuç olarak, bir SD yaklaşımı kullanarak kimya öğretirken, eğitimciler alt mikroskobik ölçekten makroskobik dünyaya doğru odaklarını genişletmelidir. Öğrencilere, ilgi duyulan sistemlerdeki madde ve enerji döngüleri veya bir sistemin kararlılığını etkileyen pozitif ve negatif geri bildirim döngüleri gibi büyük ölçekli olguları anlamaları için kimyasal fikirleri ve düşünme biçimlerini uygulamada rehberlik etmelidirler. Öğrenciler, örneğin atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonlarındaki artışın deniz yaşamı üzerindeki etkileri veya antibiyotiklerin aşırı veya yanlış kullanımı sonucu gelişen antibiyotik direncin gibi karmaşık sistemlerin ortaya çıkan özelliklerine dair mekanistik açıklamalar oluşturmak için kimyasal bilgilerini kullanabilmelidir.

Bir sistemin davranışını etkileyen bileşenleri anlamak için sistemin kimyasal bileşimine ve yapısına yakından odaklanmak kritik öneme sahipken, bu bileşenlerin etkileşimlerinin ve organizasyonunun gezegenimizin karşı karşıya olduğu küresel zorluklara nasıl yol açtığını anlamak ve kimyanın merkezi bir rol oynadığı çözümleri belirlemek için daha geniş bir bakış açısına yönelmek gerekir.

1.4.4. Bağlantılandırma

Geleneksel kimya dersleri genellikle yoğun içerikle yüklüdür ve bu durum, öğrencilerin öğrenmelerini bütünleştirme ve üzerine düşünme fırsatlarını sınırlar. Bir SD yaklaşımı kullanarak işlenen kimya derslerinde, eğitimciler öğrencilerin bu fırsatlara sahip olmasını sağlamalıdır. Dersin sonunda uygulanan kapanış etkinlikleri, öğrencilerin ders sırasında geliştirdikleri temel anlayışları özetlemelerine olanak tanımalıdır. Bu etkinlikler, bilgi bağlantılarını pekiştirmelerine, genel resmi görebilmelerine ve öğrendikleri üzerine düşünmelerine yardımcı olmalıdır. Kapanış etkinlikleri, ayrıca öğrencilerin, etkileşim halindeki sosyo-çevresel sorunun farklı yönleri arasındaki bağlantıları vurgulamalarını, tespit edilen sorunlara yönelik stratejilerin faydalarını, maliyetlerini ve risklerini değerlendirmelerini ve bilgilerini bireysel veya kolektif eylemler önermek için kullanmalarını sağlamalıdır.

Bu hedeflere ulaşmak için eğitimciler, öğrencilerden, analiz edilen sistemdeki temel örüntüleri, derste tartışılan kimyasal nedenleri ve mekanizmaları ve ilgili alt sistemler arasındaki bağlantıları tanımladıkları bir özet tablo veya rapor hazırlamalarını isteyebilirler (Windschitl ve diğerleri, 2018). Ayrıca, öğrencilere dersin başında oluşturdukları ilk sistem haritasını güncellemelerini önerebilirler. Bu harita, öğrencilerin geliştirdikleri yeni anlayışlar doğrultusunda revize edilerek zenginleştirilmelidir. Eğitimciler ve öğrenciler ayrıca hedeflenen sorunu ele almak için kimyasal

bilgileri ve düşünme biçimlerini nasıl uygulayacaklarını tartışabilecekleri sunumlar, sınıf tartışmaları veya münazaralar düzenleyebilirler. Şu sorular bu süreçte yol gösterici olabilir:

- Hangi bireysel ve kolektif eylemler uygulanabilir?
- Hangi potansiyel çözümler güvenli ve eşitlikçi sonuçlar sağlayabilir?
- Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için kimyasal, biyolojik, sosyal veya politik düzeyde hangi aktörler ve süreçler etkilenebilir?

Bu etkinlikler sayesinde öğrenciler, öğrendiklerinin kapsamını ve değerini fark etmeli ve anlayışlarının derinliğini ortaya koyabilmelidir.

1.5. Değerlendirme Aşaması

Bir SD yaklaşımı kullanılarak yürütülen dersler, modüller veya öğretim birimlerini değerlendirirken, öğrencilerin, anlayışlarını ölçmek (Değerlendirme) ve öğretimin öğrenci öğrenmesini nasıl daha iyi destekleyebileceğini sorgulamak (Yansıtma) amacıyla düzenli olarak etkinliklere dahil edilmeleri önerilmektedir.

1.5.1. Süreç Değerlendirmesi

Öğrenci öğrenimi, öğrencilerin anlayışlarını geliştirmelerine yardımcı olacak geri bildirimler sağlamak ve dersleri iyileştirmek için kullanılabilecek bilgileri toplamak amacıyla düzenli olarak biçimlendirici değerlendirilmelerle izlenmelidir (Black ve diğerleri, 2003). Öğrenci anlayışı ayrıca, entegre öğrenme hedeflerine ulaşmayı ölçmek amacıyla tasarlanmış özetleyici değerlendirmelerle de değerlendirilmelidir (Laverty ve diğerleri, 2016).

Kimya derslerinde düzenli olarak uygulanan biçimlendirici değerlendirmeler, öğrenci anlayışını geliştirmek ve öğretimi yönlendirmek için önemlidir. Bu değerlendirmeler, planlanmış sınıf içi etkinlikler yoluyla resmi veya öğrencilerin anlık etkileşimleriyle gayri resmi olarak yapılabilir. Genellikle şu döngüyü izler: öğrencilerin fikirlerini ortaya çıkarma, düşüncelerini yorumlama ve anlayışlarını ilerletmek için gerekli adımları belirleme (Black & Wiliam, 2009). Biçimlendirici değerlendirmenin tasarlanması ve uygulanmasına yönelik kullanılabilecek ölçüt ve araçlara örnek olarak şunlar verilebilir:

- *Gözlem ve Kontrol Listeleri:* Öğretmen tarafından hazırlanan, belirli beceri veya davranışları içeren kontrol listeleri ve gözlem notları gibi araçlar, öğrencilerin sınıf içi etkileşimleri, grup çalışmaları, soru-cevap süreçleri sırasında gösterdikleri davranışlar ve katılım seviyelerini ölçmek için kullanılabilir. Örneğin, bir grup projesinde öğrencilerin iş birliği yapma, fikirleri paylaşma ve problem çözme becerileri değerlendirilebilir.
- *Sınıf İçi Soru-Cevap ve Tartışmalar:* Kahoot!, Mentimeter veya Plickers gibi anında geri bildirim sağlayan dijital araçlar kullanarak, öğrencilerin anonim veya isimli olarak sorulara cevap vermesine ve böylece öğretmenin sınıfın genel anlama seviyesi hakkında bilgi sahibi olmasına olanak sağlanabilir. Böylece öğrencilerin konuyu anlama derinliği, kavramlar arasındaki bağlantıları kurabilme yeteneği ve kendi fikirlerini ifade edebilme becerileri değerlendirilebilir.
- *Kısa Sınavlar ve Çıkış Kartları:* Dersten çıkmadan önce öğrencilerin bir kağıda veya çevrimiçi bir forma o gün öğrendikleri en önemli şeyi veya akıllarına takılan bir soruyu yazmaları istenebilir. Böylece, hem dersin sonunda veya belirli bir konunun bitiminde öğrencilerin anahtar kavramları ne kadar anladığına hem de öğretmenin, bir sonraki dersi nasıl planlaması gerektiğine dair önemli veriler elde edilebilir.
- *Akran Değerlendirmesi ve Öz Değerlendirme:* Rubrikler (değerlendirme ölçütleri), öğrencilerin bir projenin veya ödevin belirli unsurlarını değerlendirirken kullanabileceği net kriterler sunar. Böylece, öğrencilerin birbirlerinin veya kendi çalışmalarını nesnel bir şekilde değerlendirebilme ve yapıcı geri bildirim verebilme becerileri ortaya çıkarılabilir.

Eğitmciler, öğrencilere derinlemesine sorular yönelterek ve yanıtlarını ayrıntılandırmalarını teşvik ederek ön bilgilerini ve mevcut fikirlerini ortaya çıkarabilirler. Daha fazla öğrenme için temel oluşturabilecek kavramları belirlemek veya öğrencilerin yanlış anlamalarını düzeltmek için, gerekli durumlarda tartışmalar düzenlenmelidir. Bu çıkarımlara dayanarak eğitimciler, öğrencilere hangi fikirleri eklemeleri veya yeniden gözden geçirmeleri gerektiği ve sonraki adımlarda ne yapmaları gerektiği konusunda hedefli geri bildirimler sunmalıdır. Bu geri bildirim yalnızca eğitimciden değil, akranlardan da gelmelidir. Biçimlendirici değerlendirme, tüm öğrenenleri saygılı bir şekilde sürece dahil ederek grubun genel anlayışını ilerletmelidir.

Değerlendirme sürecinin bir parçası olarak, eğitimciler öğrencilerin öğrenme çıktılarını ne kadar iyi karşıladığını belirlemek için özetleyici değerlendirmeler tasarlamalı ve uygulamalıdır. Bir SD yaklaşımıyla yürütülen kimya derslerinde bu çıktılar çok boyutludur. Bu nedenle, özetleyici değerlendirmeler öğrencilerin hedeflenen temel fikirleri, bilim ve mühendislik uygulamalarını, sistem düşüncesi becerilerini ve sosyo-çevresel yetkinlikleri entegre biçimde

kullanıp kullanmadıklarını ortaya koymalıdır. Sistem düşüncesi becerilerinin nicel olarak değerlendirilmesi, genellikle bu becerinin temelini oluşturan eleştirel ve analitik düşünme yetkinliklerini ölçen “Cornell Eleştirel Düşünme Testi” ve “Analitik Düşünme Ölçekleri” gibi standart testler ve ölçeklerle gerçekleştirilir. Bu araçlar, bireyin bilişsel süreçlerini yapılandırılmış bir formatta değerlendirme avantajı sunar. Sistem düşüncesinin dinamik ve uygulamalı doğası, sadece nicel testlerle tam olarak yakalanamaz. Bu nedenle, “Kavram Haritaları”, “Nedensel Döngü Diyagramları” ve “Simülasyon Tabanlı Değerlendirme” gibi nitel ve performansa dayalı değerlendirme yöntemleri, öğrencilerin gerçek bağlamlarda nasıl düşündüğünü ortaya çıkarmak için gereklidir. Sosyo-çevresel yetkinliklerin nicel değerlendirmesi, büyük ölçekli araştırmalar ve bireysel gelişim takibi için “Algılanan Sosyal Yetkinlik Ölçekleri” gibi ölçekler ve PISA gibi uluslararası karşılaştırmalı sınavlar aracılığıyla yapılır. Sosyo-çevresel yetkinliklerin özü, uygulamaya ve etkileşime dayanır. Bu nedenle, “Proje Tabanlı Öğrenme” ve Gözleme Dayalı Rubrikler ve Formlar” gibi nitel ve performansa dayalı yöntemler, bu becerilerin gerçek potansiyelini ortaya çıkarmak için en uygun araçlardır. Sonuç olarak, sistem düşüncesi ve sosyo-çevresel yetkinliklerin değerlendirilmesi, sadece bir beceri testi olmanın ötesinde, öğrencilerin karmaşık dünyada bilinçli ve sorumlu bireyler olarak ne kadar donanımlı olduğunu gösteren bütüncül bir yaklaşımdır. Bu yetkinliklerin doğrusal olmayan doğası, geleneksel ölçme ve değerlendirme yöntemlerinin yetersizliğini ortaya koymaktadır. Bu yetersizliğin üstesinden gelmek için, nicel testlerin yapısal güvenirliği ile proje tabanlı öğrenme ve gözlem rubriklerinin bağlamsal geçerliliğini birleştiren entegre bir modelin benimsenmesi önemli görünmektedir. İzole bilgi parçalarını ölçen geleneksel sınavlar yerine, öğrencilerden öğrendiklerini sınıfta ele alınan sorun veya olguları analiz etmek için aktararak uygulamalarını gerektiren entegre değerlendirmeler önerilmektedir (Laverty ve diğerleri, 2016). Özetleyici değerlendirmeler kapsamında kullanılabilecek değerlendirme ölçüt ve araçlarına şu örnekler verilebilir:

- *Geleneksel Sınavlar ve Testler:* Çoktan seçmeli, doğru-yanlış, boşluk doldurma veya açık uçlu sorular içeren yazılı testler ve sınavlar. Bu araçlar, öğrencilerin bilgi, kavrama, uygulama ve analiz seviyeleri gibi geniş bir yelpazedeki bilgilerini hızlıca ölçmek için etkili olabilir.
- *Proje Tabanlı Değerlendirmeler:* Uzun dönemli araştırmalar, grup projeleri, maketler veya sunumlar, öğrencilerin öğrendikleri bilgileri gerçek dünya bağlamında uygulama, sentezleme ve yaratıcı problem çözme becerilerini ortaya çıkarmada etkili olabilir. Bunun yanında, bu tür değerlendirmeler için detaylı **rubrikler** hazırlamak, öğrencilerin neye göre not alacaklarını anlamaları açısından da kritik öneme sahiptir.
- *Performans Görevleri:* Bir laboratuvar raporu, bir gösteri deneyi veya bir des sunumu, öğrencilerin belirli bir beceriyi ne kadar yetkin bir şekilde sergileyebildikleri ortaya koyabilir. Böylece, sadece teorik bilginin değil, aynı zamanda pratik becerilerin de ölçülmesi sağlanmış olur.
- *Portfolyo Değerlendirmesi:* Öğrencilerin dönem boyunca yaptıkları ödevler, projeler, taslaklar, öz değerlendirme yazıları ve diğer çalışmaların bir araya getirildiği fiziksel veya dijital bir dosya, öğrencilerin belirli bir zaman dilimi içinde kaydettikleri gelişme, öğrenme süreci ve en iyi çalışmalarının bir koleksiyonu. Portfolyolar, hem sürecin hem de sonucun değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Genel olarak, biçimlendirici ve özetleyici değerlendirmeler hem öğrenciler için öğrenme deneyimleri sunmalı hem de eğitimciler için öğrenci anlayışını değerlendirme ve öğretimi geliştirme konusunda değerli veriler sağlamalıdır.

1.5.2. Yansıtma

Biçimlendirici ve özetleyici değerlendirmeler, bir ders sırasında öğrenci öğrenimine ilişkin veri toplamak için güçlü araçlardır. Eğitimciler bu verileri, öğretim etkinliğini değerlendirmek, öğrenci öğrenimini destekleyecek değişiklikleri belirlemek ve ders etkinliklerini güçlendirmek amacıyla kullanabilirler (Machost & Stains, 2023). Eğitimciler, bu verileri dersin öğrenme süreçlerini geliştirecek şekilde eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirmelidir. Bu yansıtma süreci, yalnızca bilişsel faktörlere değil, aynı zamanda öğrenci öğrenimini etkileyen duygusal unsurlara da odaklanmalı ve bireysel ya da sınıf düzeyinde öğrenmeyi engelleyen faktörlerin belirlenerek ortadan kaldırılmasını içermelidir (Talanquer & Kelly, 2024; Talanquer ve diğerleri, 2024). Dersleri yapılandırmada kullanılan karmaşık konular, doğa bilimleri, sosyal bilimler ve beşeri bilimler gibi farklı disiplinlerden bilgi ve düşünme biçimlerinin entegrasyonunu gerektirir (Ewing & Sadler, 2020; Hancock ve diğerleri, 2019). Gezeganimizin karşı karşıya olduğu büyük zorlukları anlamak ve bunlara çözüm geliştirmek disiplinlerarası bir yaklaşımı zorunlu kılar. Dolayısıyla, öğrencilerin karmaşık konulara ve sorunlara farklı disiplin perspektiflerinden yaklaşabilmelerini sağlamak için tüm okul öğretim programının entegrasyonu ideal bir hedef olarak görülmektedir.

Tablo 1

Sera Gazlarını Bağlam Olarak Kullanarak Bir Kimya Ünitesinin Planlanması, Uygulanması ve Değerlendirilmesinde SD Eğitim Çerçevesinin Uygulanmasına Yönelik Bir Örnek

Aşama	Görev	Örnek
Planlama	<i>Bağlamsallaştırma</i>	Sera gazlarının bileşimi ve yapısının analizi, atmosferdeki elektromanyetik radyasyonla etkileşimleri ve bu etkileşimlerin gezegenimizdeki ortalama sıcaklıklar üzerindeki etkileri; elektronegatiflik, kısmi yük, bağ polaritesi, moleküler polarite ve ışık-madde etkileşimleri gibi merkezi kimyasal kavramları bir SD perspektifi kullanarak tanıtmak ve uygulamak için ideal bir bağlam sunar. Bu bağlam, kimyasal maddelerin submikroskopik düzeydeki bileşimi ve yapısının fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlediği temel fikri keşfetmek için kullanılabilir.
	<i>Odaklanma</i>	Bu derste, sera gazlarının kimyasal bileşimi ve yapısının analizi ve bunların Dünya'dan yansıyan kızılötesi radyasyonla etkileşimlerinin gezegenimizin sıcaklığı üzerindeki sonuçlarına odaklanılacaktır.
	<i>Tanımlama</i>	Bu ünite için bütünsel bir öğrenme çıktısı olarak, öğrenciler yaygın kullanılan bir dizi maddeyi (örneğin, soğutucular) analiz edebilmeli, atmosfere salındıklarında sera gazı etkisi gösterip göstermeyeceklerini belirleyebilmeli, moleküler modellere dayalı olarak ışık-madde etkileşimlerini tahmin edebilmeli ve gerekçelendirebilmeli, verilere dayalı olarak potansiyel küresel ısınma etkilerini analiz edebilmeli ve çevresel, sosyal ve ekonomik faktörleri dikkate alarak bu emisyonları azaltmaya yönelik stratejileri önerebilmeli ve değerlendirebilmelidir.
	<i>Tasarlama</i>	Öğretim birimi, öğrencilerin küçük işbirlikçi gruplar halinde tamamlamaları ve ardından fikirlerini tüm sınıfta paylaşmaları beklenen etkinlikler kullanılarak tasarlanmıştır. Bu etkinliklerde öğrencilerden: • Veri analizi (ör. Güneş ve Dünya'dan yayılan radyasyon türleri), • Model oluşturma (ör. moleküler polarite modelleri geliştirme), • Açıklama üretme (ör. neden tüm atmosferik bileşenlerin IR radyasyonunu emmediğini açıklama) beklenir. Etkinlikler ayrıca, öğrencilerin sistem düşünme becerilerini geliştirmelerine (ör. etkileşimli sistemlerin bileşimi, yapısı ve davranışlarını analiz etme) ve sosyo-çevresel yeterliliklerini artırmalarına (ör. sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik eylemleri analiz etme) olanak tanır.

Tablo 1. Devamı

Aşama	Görev	Örnek
Uygulama	<i>Yol Haritası</i>	Ünite başında öğrencilerden, önceki bilgi ve deneyimlerini kullanarak başlıca atmosferik bileşenleri ve bunların alt sistemlerle etkileşimlerini (ör. Güneş ve Dünya'dan gelen radyasyon, canlı organizmalar ve insan toplulukları) içeren başlangıç bir sistem haritası oluşturmaları istenir.
	<i>Yakınlaştırma</i>	Öğrenciler, önemli atmosferik bileşenleri (O_2 , N_2 , CO_2 , H_2O) belirler ve bunların elektromanyetik radyasyonla etkileşimlerini etkileyen özelliklerini inceler. Bağ polaritesi ve moleküler polarite kavramları tanıtılır ve atmosferdeki farklı kimyasal türlerin polaritesini belirlemek için etkileşimli araçlar kullanılır. Daha sonra, bağ ve moleküler polaritenin IR radyasyon emilimini ve küresel ısınmaya katkısını nasıl etkilediğini araştırırlar.
	<i>Uzaklaştırma</i>	Öğrenciler, hedeflenen olguyu mikroskobik düzeyde anladıktan sonra, Güneş ve Dünya'nın emisyon spektrumlarını H_2O ve CO_2 'nin emilim spektrumlarıyla birlikte analiz ederek gezegenimiz için çıkarımlar yaparlar.
	<i>Bağlantılandırma</i>	Bu son aşamada öğrenciler, ele alınan çevre sorununa yönelik bireysel veya kolektif eylemler önermek ve karar alma süreçlerinde kimyasal bilgilerini uygulamak üzere etkinliklere katılırlar.
Değerlendirme	<i>Süreç Değerlendirmesi</i>	Ünite boyunca yerleştirilmiş etkinlikler, öğrencilerin öğrenmelerini biçimlendirici olarak değerlendirmek ve öğrenme hedeflerine ulaşmak için onlara hedeflenmiş geri bildirimler sağlamak amacıyla kullanılır. Özetleyici bir değerlendirme olarak, öğrencilerden daha az bilinen sera gazlarının bileşimini ve yapısını analiz etmeleri, özelliklerini tahmin etmeleri ve küresel ısınma üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmeleri istenir.
	<i>Yansıtma</i>	Ders sırasında toplanan biçimlendirici değerlendirme verileri, öğrencilerin hedeflenen temel kimya fikirlerini, temel uygulamaları, sistem düşünme becerilerini ve sosyo-çevresel yeterliliklerini desteklemek için ünitenin iyileştirilmesi gereken yönlerini belirlemede kullanılır.

*Tabloda yer alan bilgiler Sera Gazları özelinde küresel ısınma konusunun sistem düşüncesi kullanılarak sınıf içinde işlenmesine yönelik bir etkinlik şablonunu yansıtmaktadır. Dersin planlanması, uygulanması ve değerlendirilmesi sürecinde dikkate alınabilecek başlıklara yer verilerek, bu başlıklar altında öğrenilecek kavramlara ve gerçekleştirilebilecek etkinliklere yer verilmiştir. Burada yer alan örnekler sadece bir öneri kapsamında olup, uygulayıcıların tercihleri doğrultusunda yeniden düzenlenebilirler.

Tablo 2

Haber-Bosch Porsesini Bağlam Olarak Kullanarak Bir Kimya Ünitesinin Planlanması, Uygulanması ve Değerlendirilmesinde SD Eğitim Çerçevesinin Uygulanmasına Yönelik Bir Örnek

Aşama	Görev	Örnek
Planlama	<i>Bağlamsallaştırma</i>	Dünyadaki milyarlarca insanın hayatını doğrudan etkileyen Haber-Bosch Prosesinin (Amonyak Üretimi) tanıtılması, atmosferimizin azot kaynağı olarak kullanımı, amonyağın gübre üretiminin ana bileşeni olması, gıda üretimine katkısı, toprak veriminin artırılması, çevre kirliliğine etkisi, kimyasal reaksiyonların doğası, sıcaklık/basınç değişiminin ve katalizör kullanımının etkileri, kimyasal reaksiyonların dinamik ve karmaşık yapısı, ara reaksiyonlar ve enerji değişimleri, reaksiyon kinetiği, çarpışma kuramı, aktivasyon enerjisi gibi merkezi kimyasal kavramları bir SD perspektifi kullanarak tanıtmak ve uygulamak için ideal bir bağlam sunar. Bu bağlam, bir kimyasal reaksiyonun sadece reaktanlardan ürünlere dönüşüm olmadığı, sıcaklık, basınç, katalizör, yan reaksiyonlar ve enerji dönüşümleri gibi birçok faktörle etkileşim içinde olan karmaşık ağlardan oluştuğu anlayışını keşfetmek için kullanılabilir.
	<i>Odaklanma</i>	Bu derste, Haber Bosch yönteminin kimyasal analizi özelinde kimyasal reaksiyonların doğası, farklı şartlar altındaki oluşma verimliliği, yan ürünleri, sanayi kimyası ve çevresel etkileri, insan yaşamı için önemi gibi başlıklara odaklanılacaktır.
	<i>Tanımlama</i>	Bu ünite için bütünlük bir öğrenme çıktısı olarak, öğrenciler yaygın kullanılan farklı kimyasal türleri tanıyabilmeli ve bunlar arasında gerçekleşecek reaksiyonları tahmin edebilmeli, reaksiyon türlerini sınıflandırabilmeli, reaksiyonların dinamik doğasını takdir edebilmeli, değişen şartlara reaksiyonların nasıl tepki vereceğini öngörebilmeli sanayi kimyasının olası çevresel etkilerini yorumlayabilmeli ve insanların yaşam standartlarını nasıl değiştirdiğini ve bu tür değişimlerin ileride neden olabileceğini olumlu olumsuz sonuçları değerlendirebilmeli ve gerekli durumlarda çeşitli önerilerde bulunabilmelidir.
	<i>Tasarlama</i>	5E modeli, öğrenci merkezli bir öğrenme yaklaşımıdır ve sistem düşüncesini kimyasal reaksiyonlar konusuna entegre etmek için uygun bir çerçeve sunabilir. Giriş etkinliği olarak öğrencilere patlayan veya renk değiştiren basit bir kimyasal deney videosu izletilebilir (örneğin, volkan deneyi). Sonrasında gruplar halinde bir simülasyon veya interaktif bir deney üzerinde çalıştırılabilir (örneğin, amonyak üretimi). Daha sonra öğrencilerden keşfettikleri bulguları bir sistem haritası veya akış şeması şeklinde çizmelerini istenebilir. Bir sonraki aşamada öğrencilere farklı bir kimyasal reaksiyon sistemi (örneğin, fotosentez veya iklim değişikliği) verilebilir. Son aşamada öğrencilerden, ilk başta izledikleri deney videosunu şimdi sistem düşüncesi perspektifinden yeniden yorumlamaları istenebilir.

Tablo 2. Devamı

Aşama	Görev	Örnek
Uygulama	<i>Yol Haritası</i>	Başlangıç olarak patlayan veya renk değişimi oluşturan basit bir kimyasal deney videosu çeşitli sorular (örneğin, bu reaksiyonu başlatan ve devam ettiren şey nedir?) eşliğinde etkileşimli olarak izletilerek, öğrencilerden mevcut bilgileri doğrultusunda reaksiyonun oluşumunda rol oynayan faktörler ve reaksiyonun özelliklerini oluşturan kavramlar ile reaksiyonların çevresel etkileşimlerine yer veren bir kavram haritası oluşturmaları istenebilir.
	<i>Yakınlaştırma</i>	Öğrenciler, reaksiyonların sadece "kimyasallar karıştırıldığında patlama olur" ya da "kimyasallar karışınca gaz çıkışı olur/renk değişimi olur" şeklinde basit bir olay olmadığı, birçok görünmeyen faktörün rol oynadığı moleküler seviyede gerçekleşen oldukça kompleks etkileşimlerle açıklanabileceği örnekleri inceler ve farklı türdeki reaksiyonların moleküler düzeyde oluşma mekanizmalarını araştırırlar.
	<i>Uzaklaştırma</i>	Öğrenciler, hedeflenen olguyu mikroskobik düzeyde anladıktan sonra, farklı türdeki makroskobik örnekler üzerindeki (fotosentez, küresel ısınma, ozon tabakasının delinmesi gibi küresel ya da boya üretimi, çimento üretimi, çelik üretimi, kimyasalların üretimi gibi kimya sanayisi örnekleri) anlayışlarını sorgulayabilirler.
	<i>Bağlantılandırma</i>	Bu son aşamada öğrenciler, küresel ölçekte gerçekleşen reaksiyonların çevresel etkilerine yönelik bireysel veya grup olarak çözüm yolları önermek ve karar alma süreçlerinde kimyasal bilgilerini uygulamak üzere etkinliklere katılabilirler.
Değerlendirme	<i>Süreç Değerlendirmesi</i>	Ünite boyunca yerleştirilmiş etkinlikler, öğrencilerin öğrenmelerini biçimlendirici olarak değerlendirmek ve öğrenme hedeflerine ulaşmak için onlara hedeflenmiş geri bildirimler sağlamak amacıyla kullanılır. Özetleyici bir değerlendirme olarak, öğrencilerden gruplar halinde sistem haritaları oluşturmaları ve/veya kısa bir yazı/sunum eşliğinde "neden bir kimyasal reaksiyon sadece bir denklemden ibaret değildir?" sorusuna daha derin ve bilimsel bir dille yanıt vermeleri istenebilir.
	<i>Yansıtma</i>	Ders sırasında toplanan biçimlendirici değerlendirme verileri, öğrencilerin hedeflenen temel kimya fikirlerini, temel uygulamaları, sistem düşünme becerilerini ve sosyo-çevresel yeterliliklerini desteklemek için ünitenin iyileştirilmesi gereken yönlerini belirlemede kullanılabilir.

*Tabloda yer alan bilgiler Haber-Bosch Prosesi özelinde kimyasal reaksiyonlar konusunun sistem düşüncesi kullanılarak sınıf içinde işlenmesine yönelik bir etkinlik şablonunu yansıtmaktadır. Dersin planlanması, uygulanması ve değerlendirilmesi sürecinde dikkate alınabilecek başlıklara yer verilerek, bu başlıklar altında öğrenilecek kavramlara ve gerçekleştirilebilecek etkinliklere yer verilmiştir. Burada yer alan örnekler sadece bir öneri kapsamında olup, uygulayıcıların tercihleri doğrultusunda yeniden düzenlenebilirler.

2. Tartışma ve Sonuç

Bu makalede açıklanan eğitim çerçevesi, belirtilen sırada izlenmesi gereken katı bir adımlar dizisi olarak algılanmamalıdır. Daha ziyade, bir SD yaklaşımı kullanarak öğretim birimleri planlanırken, uygulanırken ve değerlendirilirken dikkate alınması ve üzerinde düşünülmesi gereken önemli alanları vurgulamayı amaçlamaktadır. Örneğin, öğrenme çıktıları tanımlandıktan sonra, planlama aşamasında biçimlendirici ve özetleyici değerlendirmeleri tasarlamak en iyisi olabilir. Bu çerçeveyi benimseyen eğitimciler, onu kendi bağlamlarına ve öğrencilerinin özelliklerine ve ihtiyaçlarına göre uyarlamalıdır. İstenen yaklaşımla uyumlu ders kitapları gibi eğitim kaynaklarına erişim olmaması veya çalışmalara rehberlik edebilecek yeterli sayıda özel örnek bulunmaması durumunda, eğitim materyallerinin geliştirilmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle, öğretimlerini bir SD perspektifi kullanarak yeniden

yönlendirmek isteyen kimya eğitimcileri, çevrimiçi olarak ulaşabilecekleri mevcut örnekleri incelemeleri konusunda teşvik edilmelidir (IUPAC, 2024a; IUPAC, 2024b; American Chemical Society (Amerikan Kimya Derneği), 2024). Bu kaynaklar, yeni materyaller oluşturulurken rehber ve referans görevi görebilir.

Sistem düşüncesi, mevcut kimyacıların, geleceğin kimyacılarının ve geleceğin küresel vatandaşlarının, kimyayı yalnızca öğrenilecek ve çalışılacak bir nesne olarak değil, aynı zamanda bir toplum olarak bugün karşılaştığımız karmaşık küresel zorlukların bazılarını ele almak için yararlı bir araç olarak görmelerine yardımcı olabilir. Kimya eğitimi, modern bilimin yürütüldüğü dinamik ve etkileşimli doğayı yansıtmalıdır. Bu, sistem düşüncesini kimya öğretim programına, araştırmaya ve topluma ulaşmaya entegre ederek başarılabilir. Öğrenciler, öğretmenlerin bilimsel yöntemi uygularken araştırma sorularının keşfini kolaylaştırdıkça kendi kendine yönlendirilen öğrenenler haline gelirler. Kimya eğitimcileri, kimya prensiplerini, öğrencilerin gelecekteki yaşamları ve kariyerleriyle ilişkilendirebilir ve disiplinimizin önemini ve etkisini görmelerine yardımcı olabilirler. Sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmak için bilim eğitimi geliştirirken, insan doğası ve birbirimizle etkileşimlerimiz dikkate alınmalı, insanlar çevresiyle bütünleşmiş olarak kabul edilmelidir. Öğretimde, bilimdeki güncel fikirlerin öğrencilerin günlük yaşamları ve gelecekteki kariyerleriyle nasıl ilişkili olduğu vurgulanabilir. Sistem düşüncesini modern bilim öğretim programına entegre etmek, bilim eğitimi sürdürülebilir kalkınmaya göre uyarlanmanın bir yoludur.

Sistem Düşüncesi, kimya eğitiminde, atomik ve moleküler düzeydeki etkileşimlerden çevresel ve endüstriyel süreçlere kadar uzanan karmaşık ilişkileri anlamak için güçlü bir çerçeve sunar. Ancak, bu yaklaşımın teknolojik altyapısı sınırlı okullarda veya farklı müfredat yapılarına sahip eğitim ortamlarında nasıl uyarlanabileceği önemli bir tartışma konusudur. Kimya eğitiminde SD yaklaşımını benimsemek için pahalı laboratuvar ekipmanlarına veya gelişmiş simülasyon yazılımlarına her zaman ihtiyaç duyulmayabilir. Temel amaç, öğrencilerin kimyasal olayları tekil reaksiyonlar olarak değil, birbirine bağlı sistemlerin parçaları olarak görmesini sağlamaktır. Teknolojik altyapısı sınırlı eğitim ortamlarında SD yaklaşımının uygulanmasına yönelik şu önerilerde bulunulabilir:

- *Günlük Hayat Örnekleri ve Analojiler:* Öğrencilerin kimyayı günlük yaşamla ilişkilendirmesi, ilgili kavramları somutlaştırmalarına yardımcı olabilir. Örneğin, bir yiyeceğin sindirim süreci, vücuttaki farklı enzimlerin ve organların birbirini etkilediği bir kimyasal sistem olarak ele alınabilir. Bu, "besin zinciri" veya "atık yönetimi" gibi konularla birleştirilerek daha geniş bir sistemik bakış açısı oluşturulabilir.
- *Basit Görsel Modeller ve Fiziksel Canlandırma:* Molekül yapılarının veya reaksiyon mekanizmalarının üç boyutlu modellerle açıklanması, öğrencilerin soyut kavramları daha iyi anlamasını sağlayabilir. Plastik toplar, kürdanlar, hatta hamur gibi basit malzemelerle molekül modelleri oluşturulabilir. Bir reaksiyonun denklemini ezberlemek yerine, "girenler" ve "ürünler" arasındaki ilişki, öğrencilerin fiziksel olarak hareket ederek canlandırmasıyla bir sisteme dönüştürülebilir.
- *Saha Çalışmaları ve Çevresel Gözlemler:* Kimya, laboratuvar duvarlarının dışına taşınabilir. Yerel bir su kaynağının pH değerini ölçmek, toprağın asitliğini test etmek veya yerel bir geri dönüşüm tesisini ziyaret etmek, kimyasal süreçlerin daha büyük bir ekosistemin parçası olduğunu gösterir. Bu tür gözlemler, öğrencilerin sadece formülleri ezberlemek yerine, kimyanın çevresel ve sosyal sistemlerle olan etkileşimini anlamalarını sağlayabilir.

Kimya dersleri genellikle dersin kendi içindeki belirli konulara odaklanmaktadır. Sistem Düşüncesi, bu silo yapısını kırarak öğretim programını daha disiplinler arası bir hale getirme potansiyeline sahiptir. Aşağıda verilen örneklerde ifade edildiği gibi, bu durum, SD yaklaşımına, farklı müfredat yapılarına uyarlanabileceği (uyum sağlayabileceği) bir esneklik boyutu kazandırmaktadır:

- *Disiplinlerarası Proje Tabanlı Öğrenme:* Biyoloji, fizik ve sosyal bilimler dersleriyle ortak projeler geliştirilebilir. Örneğin, "Asit Yağmuru" konusu sadece kimyasal reaksiyonları değil, aynı zamanda hava kirliliğinin biyolojik etkilerini (biyoloji) ve bu sorunun çözümü için alınacak politik ve ekonomik kararları (sosyal bilimler) da içerebilir. Bu, öğrencilerin farklı bilim dallarının nasıl birbiriyle bağlantılı olduğunu görmelerine olanak sağlayacaktır.
- *Soru Odaklı Öğrenme:* Öğretim programının her aşamasında, öğrencileri sadece "ne?" sorusunu sormaya değil, "nasıl?" ve "neden?" sorularını sormaya teşvik etmek önemlidir. "Bir pil nasıl çalışır?" sorusunu sadece elektrokimyasal bir süreç olarak ele almak yerine, "Pilin üretimi, kullanımı ve atık yönetimi hangi sistemleri etkiler?" gibi daha geniş sorularla desteklemek, Sistem Düşüncesini öğretim programına entegre edecektir.
- *Tarihsel Bağlam ve Hikâyeler:* Kimyasal keşiflerin ve endüstriyel süreçlerin tarihi, kimyanın bir sistem olarak nasıl evrildiğini anlamak için zengin bir kaynaktır. Örneğin, Haber-Bosch süreci sadece amonyakın sentezini değil, aynı zamanda tarım, nüfus artışı ve savaş teknolojileri gibi farklı sistemler üzerindeki devrim niteliğindeki etkilerini de içerir. Bu tür hikâyeler, öğrencilere kimyanın sadece laboratuvarlarda değil, tüm insanlık tarihinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Daha önce ifade edildiği gibi, geleneksel kimya öğretim programı içeriğinin yoğunluğu, yeni pedagojik yaklaşımların uygulanmasını zorlaştıran önemli bir engeldir. Sunulan bu çalışma kapsamında pratik zorluklara doğrudan bir "ders programı" veya kesin bir zaman çizelgesi sunulamamasının ana nedeni, makalenin doğası gereği

kavramsal bir çerçeve olmasıdır. Çalışma, bir öğretmenin hazır olarak alıp uygulayabileceği bir öğretim programı planından ziyade, kimya öğretmenlerine derslerini tasarlarken izleyebilecekleri bir rehberlik felsefesi sunmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, öğretmene kendi ders programı, öğrencileri ve mevcut zaman kısıtlamaları içinde esneklik sağlamaktadır. Çalışmanın önerdiği sistem düşüncesi yaklaşımı, her konuyu derinlemesine ele almayı ve ezberden ziyade anlamayı teşvik eder. Bu, geleneksel yaklaşıma göre daha fazla zaman gerektirebilir, ancak her konunun bu şekilde işlenmesi de zorunlu değildir. Bu yaklaşımı ders içeriğine entegre etmek için şu stratejiler izlenebilir:

- Öğretmen, müfredattaki tüm konuları değil, yalnızca anahtar kavramları veya karmaşık sistemleri (örneğin, iklim değişikliği, plastik döngüsü, enerji üretimi) ele alırken sistem düşüncesi yaklaşımını kullanabilir. Bu, öğrencilerin en kritik konular üzerinde derinlemesine düşüncelerine olanak tanıyabilir.
- Öğretmen, ders içeriğinin tamamını değiştirmek yerine, müfredata birkaç özel "sistem düşüncesi modülü" ekleyebilir. Bu modüller, birkaç ders saati süren, proje tabanlı veya etkinlik odaklı birimler şeklinde tasarlanabilir.
- Bazı küçük sistem düşüncesi etkinlikleri (örneğin, bir konu sonu tartışması veya vaka analizi) dersin içine entegre edilerek ders süresinin tamamı sistem düşüncesine ayrılmak zorunda kalmadan etkili bir şekilde kullanılabilir.

Bu çalışmada sunulan sistem düşüncesi yaklaşımına yönelik çerçeve kapsamında önerilen uygulama etkinliklerinin süresine yönelik kesin bir zaman sınırlaması oluşturmak mümkün değildir. Çünkü bu süre, büyük ölçüde öğretmenin kendi kararına ve sınıfın ihtiyaçlarına bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Bir öğretmen, bir model oluşturma etkinliğini 15 dakikalık bir grup çalışması olarak tasarlayabileceği gibi, bir haftalık bir proje ödevi haline de getirebilir. Bu yaklaşım, bir konuyu geleneksel ders, uygulama ve değerlendirme aşamalarıyla parça parça işlemek yerine, öğrencilerin kavramları daha geniş bir bağlamda entegre etmelerini amaçlamaktadır. Dolayısıyla, zaman yönetiminin, geleneksel öğretim programının "Konu A: 1 ders saati, Konu B: 2 ders saati" gibi katı yapısından farklı olarak daha esnek bir yapıda planlanması gerekli görünmektedir. Sonuç olarak, sunulan eğitim çerçevesi, öğretmenlerin kendi programlarında ve zaman çizelgelerinde pedagojik esneklik sağlayarak bu yaklaşımı kendi koşullarına uygun bir şekilde nasıl uyarlayabileceklerini düşüncelerinin önünü açmaktadır.

Yapılacak daha çok iş olmasına rağmen, diğer STEM eğitim alanlarında sistem düşünme yaklaşımlarının kullanımından görülen fayda ve sonuçların, gelecekte kimya eğitiminde bu yaklaşımların kullanımı için büyük bir potansiyel taşıdığına inanılmaktadır. Hem kimya eğitimcileri hem de kimya eğitimi araştırmacıları, sistem düşünme yaklaşımlarının kimya derslerinde en iyi şekilde nasıl uygulanabileceği ve değerlendirilebileceği konusunda düşünceleri için teşvik edilmelidirler.

3. Katkı Oranı Beyanı

Yazarın bu çalışmaya katkısı % 100'dür.

4. Conflict of Interest / Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması kapsamına dahil değildir.

Kaynakça

- Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1986). The Sequence of Learning Cycle Activities in High School Chemistry. *J. Res. Sci. Teach.* 1986, 23 (2), 121-143.
- American Chemical Society. (2024). *Green Chemistry Learning Modules*; <https://www.acs.org/greenchemistry/students-educators/learning-modules.html>
- Assaraf, O. B.-Z., & Orion, N. (2005). Development of System Thinking Skills in the Context of Earth System Education. *J. Res. Sci. Teach.*, 42 (5), 518–560.
- Atkins, P. (1999). Chemistry: The Great Ideas. *Pure Appl. Chem.*, 71(6), 927–929.
- Aubrecht, K. B., Dori, Y. J., Holme, T. A., Lavi, R., Matlin, S. A., Black, P., & Wiliam, D. (2009). Developing the Theory of Formative Assessment. *Educ. Assess. Evaluation Account.*, 21 (1), 5-31.
- Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B., & William, D. (2003). *Assessment for Learning-Putting It into Practice*; Open University Press.
- Bozkurt, E. (2023). A Bibliometric Analysis of Systems Thinking Research in Science Education 1991-2022. *Sci. Educ. Int.*, 34 (3), 225–234.
- Chemical Thinking Curriculum. (2024). *Chemical Thinking Interactives*. <https://sites.google.com/site/ctinteractives/>
- Chi, M. T. H., & Wylie, R. (2014). The Icap Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes. *Educ. Psychol.*, 49 (4), 219-243.

- Cooper, M. M., Posey, L. A., & Underwood, S. M. (2017). Core Ideas and Topics: Building up or Drilling Down? *J. Chem. Educ.*, 94 (5), 541–548.
- den Otter, M.J., Juurlink, L. B. F., & Janssen, F. J. J. M. (2022). How to Assess Students' Structure-Property Reasoning? *J. Chem. Educ.*, 99(10), 3396–3405.
- Dewsbury, B., & Brame, C. J. (2019). Inclusive Teaching. *CBE Life Sci. Educ.*, 18 (2), fe2.
- Dood, A. J., & Watts, F. M. (2022). Mechanistic Reasoning in Organic Chemistry: A Scoping Review of How Students Describe and Explain Mechanisms in the Chemistry Education Research Literature. *J. Chem. Educ.*, 99 (8), 2864–2876.
- Eaton, A. C., Delaney, S., & Schultz, M. (2019). Situating Sustainable Development within Secondary Chemistry Education Via Systems Thinking: A Depth Study Approach. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2968–2974.
- Eilks, I., & Hofstein, A. (2015). *Relevant Chemistry Education: From Theory to Practice*; SensePublisher.
- Ewing, M., & Sadler, T. D. (2020). Commentary: Socio-Scientific Issues Instruction: An Interdisciplinary Approach to Increase Relevance and Systems Thinking. *Science Teacher*, 88 (2), 18–21.
- Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of “Context” in Chemical Education. *Int. J. Sci. Educ.*, 28 (9), 957–976.
- Gillespie, R. J. (1997). The Great Ideas of Chemistry. *J. Chem. Educ.*, 74 (7), 862.
- Hancock, T. S., Friedrichsen, P. J., Kinslow, A. T., & Sadler, T. D. (2019). Selecting Socio-Scientific Issues for Teaching. *Sci. & Educ.*, 28(6), 639–667.
- Holme, T., Luxford, C., & Murphy, K. (2015). Updating the General Chemistry Anchoring Concepts Content Map. *J. Chem. Educ.*, 92(6), 1115–1116.
- IUPAC. (2024a). Systems Thinking in Chemistry for Sustainability: 2030 and Beyond (STCS 2030+) project. *Sustainability and Systems Thinking in Chemistry Education*; SaSTICE, <https://sastice.com/>
- IUPAC. (2024b). Systems Thinking in Chemistry for Sustainability: 2030 and Beyond (STCS 2030+) project. *Systems Thinking in Chemistry Education*; 2024; <https://sites.google.com/view/sastice/home>
- King, D. (2012). New Perspectives on Context-Based Chemistry Education: Using a Dialectical Sociocultural Approach to View Teaching and Learning. *Stud. Sci. Educ.*, 48 (1), 51–87.
- Laverty, J. T., Underwood, S. M., Matz, R. L., Posey, L. A., Carmel, J. H., Caballero, M. D., Fata-Hartley, C. L., Ebert-May, D., Jardeleza, S. E., & Cooper, M. M. (2016). Characterizing College Science Assessments: The Three-Dimensional Learning Assessment Protocol. *PLoS One*, 11(9), No. e0162333.
- Machost, H., & Stains, M. (2023). Reflective Practices in Education: A Primer for Practitioners. *CBE Life Sci. Educ.*, 22(2), es2.
- Mahaffy, P. G., Krief, A., Hopf, H., Mehta, G., & Matlin, S. A. (2018). Reorienting Chemistry Education through Systems Thinking. *Nature Reviews Chemistry*, 2 (4), 0126.
- Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Whalen, J. M., & Holme, T. A. (2019). Integrating the Molecular Basis of Sustainability into General Chemistry through Systems Thinking. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2730–2741.
- Matlin, S. A., Mehta, G., Hopf, H., & Krief, A. (2016). One-World Chemistry and Systems Thinking. *Nat. Chem.*, 8 (5), 393–398.
- Momsen, J., Speth, E. B., Wyse, S., & Long, T. (2022). Using Systems and Systems Thinking to Unify Biology Education. *CBE Life Sci. Educ.*, 21 (2), es3.
- Moreira, P., & Talanquer, V. (2024). Exploring Relationships That College Instructors Seek to Build with Intention in Chemistry Classrooms. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 25 (1), 225–241.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education*; The National Academies Press.
- National Research Council. (2013). *Next Generation Science Standards*; The National Academies Press.
- Orgill, M., & Skaza-Acosta, H. (2019). Graphical Tools for Conceptualizing Systems Thinking in Chemistry Education. *J. Chem. Educ.*, 96(12), 2888–2900.
- Orgill, M., York, S., & MacKellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2720–2729.
- Pazicni, S., & Flynn, A. B. (2019). Systems Thinking in Chemistry Education: Theoretical Challenges and Opportunities. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2752–2763.
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., ve diğerleri (2023). Earth Beyond Six of Nine Planetary Boundaries. *Sci. Adv.*, 9 (37), eadh2458.
- Sjostrom, J., & Talanquer, V. (2014). Humanizing Chemistry Education: From Simple Contextualization to Multifaceted Problematization. *J. Chem. Educ.*, 91 (8), 1125–1131.
- Szozda, A. R., Lalani, Z., Behroozi, S., Mahaffy, P. G., & Flynn, A. B. (2024). Systems Thinking Encourages a Safe Space to Offer Different Perspectives and Insights. *ChemRxiv*, DOI:10.26434/chemrxiv-2024-twmpk.
- Talanquer, V. (2016). Central Ideas in Chemistry: An Alternative Perspective. *J. Chem. Educ.*, 93(1), 3–8.

- Talanquer, V. (2018). Progressions in Reasoning About Structure-Property Relationships. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 19 (4), 998-1009.
- Talanquer, V., & Kelly, R. Thinking and Learning in Nested Systems: The Individual Level. *J. Chem. Educ.*, 101 (2), 283-294.
- Talanquer, V., & Pollard, J.(2010). Let's Teach How We Think Instead of What We Know. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 11(2), 74-83.
- Talanquer, V., & Szozda, A. R. (2024). An Educational Framework for Teaching Chemistry Using a Systems Thinking Approach. *Journal of Chemical Education*, 101, 1785-1792.
- Talanquer, V., Bucat, R., Tasker, R., & Mahaffy, P. G. (2020). Lessons from a Pandemic: Educating for Complexity, Change, Uncertainty, Vulnerability, and Resilience. *J. Chem. Educ.*, 97 (9), 2696–2700.
- Talanquer, V., Cole, R., & Rushton, G. T. (2024). Thinking and Learning in Nested Systems: The Classroom Level. *J. Chem. Educ.*, 101 (2), 295-306.
- The Concord Consortium. (2024). *Molecular Workbench*; 2024; <http://mw.concord.org/modeler/>
- The King's Centre for the Visualization of Science. (2024). *KCVS Visualizations*; <https://www.kcvs.ca/cards.html?type=visualizations>
- The Lemelson Foundation. (2022). *The Engineering for One Planet Framework: Essential Sustainability-Focused Learning Outcomes for Engineering Education*; Portland, OR.
- Tümay, H. (2023). Systems Thinking in Chemistry and Chemical Education: A Framework for Meaningful Conceptual Learning and Competence in Chemistry. *J. Chem. Educ.*, 100 (10), 3925-3933.
- United Nations. (2023). *United Nations' Sustainable Development Goals*. <https://sdgs.un.org/goals>
- University of Colorado Boulder. (2024). *PhET Interactive Simulations*; <https://phet.colorado.edu/>
- Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key Competencies in Sustainability: A Reference Framework for Academic Program Development. *Sustainability Science*, 6 (2), 203–218.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2018). *Ambitious Science Teaching*; Harvard University Press.
- York, S., & Orgill, M. (2020). Chemist Table: A Tool for Designing or Modifying Instruction for a Systems Thinking Approach in Chemistry Education. *J. Chem. Educ.*, 97 (8), 2114-2129.