

# Bilimsel Bilginin Basitleşmesine Dayalı Didaktik Dönüşümün Kimya Öğretiminin Sorunları ile İlişkisi Hakkında Bir Argüman

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

Davut SARITAŞ<sup>1</sup>, Hasan ÖZCAN<sup>2</sup>

1 Doç. Dr., Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, davutsaritas@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5108-4801.

2 Doç. Dr., Aksaray Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, hozcan@aksaray.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4210-7733.

Gönderilme Tarihi: 12.12.2022 Kabul Tarihi: 19.04.2023 DOI: 10.37669/milliegitim.1217681

**Atf:** “Saritaş, D., ve Özcan, H. (2024). Bilimsel bilginin basitleşmesine dayalı didaktik dönüşümün kimya öğretiminin sorunları ile ilişkisi hakkında bir argüman. *Millî Eğitim*, 53 (242), 907-936. DOI: 10.37669/milliegitim.1217681”

### Öz

*Öğretim ortamına taşınan bilgilerin, bilim ortamında üretilen bilgilerden farklılaşması didaktik açıdan son derece olağan görünmektedir. Bu farklılaşma sürecini anlamada kullanılan kavram, didaktik dönüşümdür. Kimya öğretiminde önemli bir sorun olan kavram yanlışlarının, en yalın hali ile bilimsel bilgi ile öğrenilen bilginin uyuşmaması olduğu göz önünde bulundurulduğunda, kimya eğitiminde temel amacın, üretilmiş bilimsel bilginin mümkün olduğunca bozulmadan öğretim ortamına taşınması olduğu ifade edilebilir. Bu bağlamda didaktik dönüşümün kimyasal bilgide gerçekleşmesinin kimyasal bilginin epistemik niteliğinde ne tür değişimlere neden olduğu, bu değişimlerin kimya eğitiminin temel amaçları noktasında sorun teşkil edip etmediği, önemli bir soru olarak kendini göstermektedir. Son yıllarda kimya felsefesinde sıkça ele alınan kimyasal bilginin kendine has epistemik doğası ve kimya eğitiminde bu doğaya uygun öğretimin gerçekleşmesi gerektiğine yönelik vurgular dikkate alındığında, söz konusu sorunun önemi daha açık hale gelmektedir. Bu çerçevede bu çalışmada, didaktik dönüşümün en temel eğilimi olan bilimsel bilginin sadeleştirilmesi veya basitleştirilmesinin kimyasal bilgiye uygun olmadığına yönelik bir argümanın geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Argümanın kuramsal ve ampirik olarak temellendirilmesinde didaktik dönüşüm, kimya felsefesi ve epistemolojisinin kimyasal bilginin doğasını tanımlayan yaklaşımı ve kimya eğitiminde karşılaşılan kavram yanlışları ile ilgili alanyazın dikkate alınmıştır. Ayrıca kimyasal bilgiyi didaktik olarak basitleştirmenin kimya öğretiminde ve öğreniminde karşılaşılan sorunlar ile ilişkisi değerlendirilmiş ve bilimsel çalışmalarla fark edilebilecek olası sorunlara yönelik ön deyimlerde bulunulmuştur.*

**Anahtar Kelimeler:** kimyasal bilgi, didaktik dönüşüm, kimya eğitimi, kimya felsefesi

## **An Argument about the Relationship between the Didactic Transposition Based on the Simplification of Scientific Knowledge and the Problems of Chemistry Instruction**

### **Abstract**

*From an educational point of view, it seems perfectly normal that the knowledge transferred to the teaching environment differs from the knowledge produced in the scientific environment. The concept of understanding this differentiation process is a didactical translation. Considering those misconceptions, which are an important problem in chemistry education, are simply the incompatibility of scientific knowledge and learned knowledge, it can be stated that the main purpose of chemistry education is to transfer the naive knowledge produced to the teaching environment as much as possible. In this context, it is an important question as to what kind of changes the realization of didactic transposition in chemical knowledge causes in the epistemic quality of chemical knowledge and whether these changes constitute a problem in terms of the basic aims of chemistry education. Considering the unique epistemic nature of chemical knowledge, which has been frequently discussed in the philosophy of chemistry in recent years, and the emphasis on the necessity of teaching in accordance with this nature in chemistry education, the importance of this question becomes clearer. In this framework, this study aims to develop an argument that the simplification or simplification of scientific knowledge, which is the most basic tendency of didactic transposition, is not suitable for chemical knowledge. In the theoretical and empirical grounding of the argument, didactic transposition, the approach of philosophy and epistemology of chemistry defining the nature of chemical knowledge, and the literature on misconceptions encountered in chemistry education were taken into consideration. In addition, the relationship between the didactic simplification of chemical knowledge and the problems encountered in chemistry teaching and learning was evaluated and preliminary statements were made about possible problems that could be recognized through scientific studies.*

**Keywords:** *chemical knowledge, didactic transposition, chemistry education, philosophy of chemistry*

### **Giriş**

#### **Kimya Eğitimi, Kimya Felsefesi ve Kimya Epistemolojisi**

Eğitim bilimleri kapsamındaki alan eğitimi disiplinleri arasında yer alan kimya eğitimi, kimyanın bilgi ve becerilerinin öğretimi ve öğrenimine odaklanmaktadır. Kimya biliminin çalışmalarıyla elde edilen bilimsel bilgilerin, öğretilecek bilgiler haline getirilmesi kimya eğitimcilerinin üzerinde çalıştığı konulardan birisidir. Kimya-

sal bilginin bilimsel kaynaklardan sınıf ortamına gelinceye kadar geçirdiği dönüşümü ve öğrenilmiş bilgi halindeki durumunu anlamak şüphesiz epistemolojik bir bakış açısı gerektirir. Öncelikle bilimsel bilgi olmak üzere, epistemoloji, insan bilgisinin doğası, doğruluğu, türleri, imkânı, kaynağı gibi konuları ele alan felsefi bir disiplindir (Cevizci, 2011). Söz konusu kimyasal bilginin epistemolojik incelenmesi olduğunda, kimya felsefesi ve onun kapsamına giren kimya epistemolojisi bu konuda yetkin bir çerçeve sunmaktadır. Kimya epistemolojisinde, kimyanın temel kavramları (ör. kimyasal özellik, kimyasal tür, kimyasal davranış, kimyasal madde, kimyasal bağ), kimyada deney, gözlem ve çıkarım ilişkisi, kimyasal bilginin temsil sistemi, kimyasal açıklama (ör. kimyasal yasa ve teoriler, teorilerden model oluşturmanın farklı türleri, kimyasal modellerin birbirleriyle ve teorilerle ilişkileri) gibi birçok konuda ortaya konulan problemler üzerinden (Hendry, 2012; Hendry vd., 2012; Needham, 2012; Sarıtaş vd., 2021; Schummer, 2004, 2006; Weisberg, 2012, 2006) kimyasal bilginin niteliğinin tanımlanması amaçlanmaktadır.

Kimya eğitiminin kimya felsefesinden yararlanması gerektiği, kimya öğretiminde karşılaşılan bazı sorunların kimya felsefesinin katkısı ile çözülebileceği ve kimya epistemolojisinin ortaya koyduğu alana özgü yaklaşımın kimyasal bilgiyi öğretmede yeni bakış açıları getireceği birçok kimya felsefeci ve eğitimcisi tarafından bir süredir dile getirilmektedir (Erduran, 2007; Erduran vd., 2007; Erduran ve Scerri, 2002; Kaya ve Erduran, 2013; Sarıtaş ve Tufan, 2019; Scerri, 2001; Tümay, 2016). Bu bağlamda Erduran (2005), tarafından kimyasal bilginin öğretilecek bilgi olarak kullanılmasında kimya eğitimcilerinin gündeminde olması gereken noktaları şu sorular ile özetlenmektedir: (1) Kimya eğitimcileri olarak, kimya bilgilerimize yönelik tanımlamalarımız ile yakın zamanda kimya felsefecilerinin öne sürdüğü tanımlamalar uyuyor mu? (2) Sınıfta kimyasal bilgiyi nasıl tanımlıyoruz? veya ifade ediyoruz? (3) Öğrencilerin öğrenmesini istediğimiz kimyasal bilgi ne demektir? Bu sorular öğretim ortamında kimyasal bilginin hem kendine has niteliğinin hem de bilimselliğinin korunması gerektiğini vurgulamaktadır. Nitekim kimya eğitiminin en temel amacı kimyasal içerik bilgisinin öğrenciler tarafından kavranmasıdır. Kimya eğitiminde alternatif kavramlar olarak da ifade edilen ve üzerinde en fazla çalışılan sorunlardan birisi olan kavram yanılgıları, öğrencilerin bilimsel bilgiler ile çelişen kavramsal yapıları ve bilgilere sahip olmasıdır (Şen ve Yılmaz, 2013). Başka bir ifade ile kavram yanılgısı, öğrenilen veya öğretmenlerin kullandıkları ve sahip oldukları bilgilerin olası nitelikleri (Canpolat vd., 2003; Coştu vd., 2003) düşünüldüğünde, bilim alanında üretilen bilgi ile öğretilen bilgi arasında bir uyumsuzluk olmasıdır.

### **Didaktik Dönüşüm Teorisi ve Bilimsel Bilginin Basitleştirilmesi**

Öğretim ortamına taşınan veya öğretilen bilimsel bilginin durumu, eğitim bilimleri alanında *Didaktik Dönüşüm* kavramı ile ifade edilir. Didaktik dönüşüm kavramı,

bilimsel bilginin öğretim ortamına taşınmasında ve kullanılmasında geçirdiği değişimi ve dönüşümü ifade eder (Chevallard, 1991). Bu kavram bir teori olarak, “Didaktik Dönüşüm Teorisi” (La Théorie de la Transposition Didactique) Chevallard ve Joshua (1982) tarafından matematik öğretimi ile ilgili yürütülen bir çalışma sonrasında gelişim göstermiştir. Teorinin temeli Yves Chevallard tarafından “*La Transposition Didactique, Du Savoir Savant Au Savoir Enseigné*” (Didaktik dönüşüm, bilim insanı bilgisinden öğretilen bilgiye) şeklinde ifade edilmiştir (Chevallard, 1991). Bu teoriye göre bilimsel bir içeriğin bir öğretim içeriği haline gelinceye kadar geçirdiği değişimler, bu değişimde etkili olan bazı kurum ve kişilerin yer aldığı bir ortamda (noosfer) gerçekleşir (Chevallard, 1992). Bilim alanından seçilen bilimsel bilgiler, bu ortamda bilimsel işlevleri ve güçleri korunarak transfer edilir ya da adapte edici ve yaratıcı bir biçimde ve daha basit bir şekilde, öğrenme-öğretme ortamına uygun hale getirilir (Bosch ve Gascón, 2006).

Chevallard (1991) tarafından kuramsal tanımlamaları yapılan bu dönüşüm süreci sonraki araştırmacılar tarafından iki aşamada ele alınmıştır. Bunlardan ilki olan *dış didaktik dönüşüm* (La Transposition didactique externe) “bilimsel bilgilerden öğretilen bilgilere geçiş”, diğeri ise *iç didaktik dönüşüm* (La Transposition didactique interne) “öğretilen bilgilere öğretilen/öğrenilen bilgilere geçiş”, olarak ifade edilebilir (Arsac vd., 1989, Astolfi, vd., 1998).

Dış didaktik dönüşüm, bilimsel bilginin öğretim programlarında, ders kitaplarında, diğer öğretim ve ölçme materyallerinde yeniden yapılandırılmasını ve konumlandırılmasını; iç didaktik dönüşüm ise öğrencilerin bilişsel seviyeleri, öğrenme stilleri, ön bilgileri gibi faktörlerce belirlenen öğretim/öğrenim sürecindeki bir dönüşümü ve bu kapsamda öğretmen tarafından bilimsel bilginin kullanılması, sunulması veya öğrenciler tarafından öğrenilmesi ve yapılandırılmasını ifade etmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere bu aşamada öğretmenler ve tercihleri, belirleyici durumdadır. Öğretmenler öğretim program ve ders kitaplarında bağlamsallaştırılmış olan bilimsel bilgiyi amaçları ve öğrencilerin seviyeleri doğrultusunda yeniden düzenleyerek öğretime hazır hale getirirler ve öğretim sürecinde de kendilerine özel dönüşümü gerçekleştirirler (Chevallard, 1992). Kısaca öğretim içeriğinin formal çerçevesinde öğretim programı ve ders kitapları gibi kaynaklar yoluyla yapılan dönüşüm dış didaktik dönüşüm, öğretim ortamındaki süreç ise iç didaktik dönüşümüne karşılık gelmektedir.

Didaktik dönüşüm teorisinin özü bilimsel bilgi, öğretilen ve öğrenilen bilgiler arasında oluşan ve programın amaçları, felsefesi, ders kitabının niteliği, öğretmenin deneyimi, mesleki gelişimi, öğrenci yetenekleri gibi farklı etkenlerin yönlendirdiği bir farka dayanır. Bu farkın oluşması, dönüşümü koşullandıran bazı didaktik gereksinimler veya eğilimlerle gerçekleşir. Söz konusu eğilimler alanyazında

farklı şekillerde ifade edilmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir: désynchronisation, décontextualisation, dépersonnalisation, recontextualisation, textualisation, décomposition, tranformation, translocation (Achiam, 2014; Bergsten, vd., 2010; Brousseau, 2002; Chevallard, 1991; Dowling, 2020; Paun, 2006; Perrenoud, 1998; Vellopoulou ve Ravanis, 2010). Bu terimler ile kastedilen, bilimsel bilginin öğretilecek/öğrenilen bilgi halinde dönüşürken, bilim bağlamından yeni bir bağlama geçişi ve yeni bazı nitelikler kazanmasıdır.

Dönüşüm sürecinde bilimsel bilginin ne kazanıp ne kaybettiği; kaybedilen ve kazanılanın, eğitimin amaçları açısından değeri, başka bir ifade ile bilimsel bilginin dönüşüm serüvenindeki durumu, didaktik dönüşüm teorisine ilişkin kuramsal alanyazında epistemolojik tartışmaya neden olmuştur. Bu tartışmada en kayda değer iki uzlaşım noktası tespit edilebilir. İlk nokta, öğretme-öğrenme süreçlerinin bireysel ve sosyal etkenleri altındaki bilimsel bilginin beyanının yeniden oluşturulmayı gerektirmesi nedeniyle, eğitimin doğası gereği didaktik dönüşümün kaçınılmaz olmasıdır. Başka bir ifade ile, bilim alanında üretilmiş olan bilimsel epistemolojik bir model eğitim alanına girdiğinde öğretme-öğrenme ihtiyaçları için inşa edilmiş bir epistemolojik model içinde konumlanmakta veya ona dönüşmektedir (Paun, 2006). İkinci nokta ise, bilimsel bilginin dönüşüm sürecinde basitleşmeye yönelmesi ve bu yönelmenin bilimsel bilgide fakirleşme, çarpıtılma, aslı ile çelişme, bağlamsızlaşma ve yeniden bağlamsallaşma gibi çok farklı epistemik nitelik değişikliklerine neden olmasıdır (Perrenoud, 1998). Bu durum dönüşmüş bilgilerin, bilimsel ilk (naif) hallerine karşılık gelmediği anlamına gelir (Paun, 2006). Nitekim didaktik dönüşümün eğilimleri okul tarafından yansıtılan bilginin filtre edilmiş, değişime uğramış, yorumlanmış ve deforme olmuş bir bilgi olduğunu göstermektedir (Johnaert, 1988). Buna karşın alanyazında bazı araştırmacıların bilginin referansının bilimsel bilgi olarak kalması yönündeki ısrarı da göz önünde tutulmalıdır. Buna göre didaktik dönüşüm sürecinin temeli, bilimsel bilgi ve öğretilen bilgi farkı göz önünde bulundurularak bilim insanlarının didaktik dönüşüme uğrayan bir bilgiyi reddetmelerini engellemek için dönüşen bilgilerin, bilimsel bilgilere kabul edilebilir düzeyde yakın olması gerektiğidir (Joshua, 1996; Chevallard ve Joshua, 1982).

Didaktik dönüşüm teorisini temel alan çalışmalarının çoğunlukla matematik eğitimi alanında yürütüldüğü görülmektedir (Bosch ve Gascón, 2006). Bu durumun teoriye temel teşkil eden çalışmanın, matematik öğretimine yönelik olmasından (Chevallard ve Joshua, 1982) kaynaklandığı söylenebilir. Bununla birlikte, teori zamanla dil bilimleri, fen bilimleri ve bilgisayar bilimleri gibi farklı alanların öğretiminde yapılan birçok çalışmada da kuramsal zemin olarak kullanılmıştır (Banegas, 2014, Hazzan vd., 2010; Vellopoulou ve Ravanis, 2010). Fen eğitiminde rastlanan sınırlı sayıda-

ki çalışmalarda ders kitabı, öğretim programı ve öğretmen gibi noosferin bileşenleri arasındaki didaktiksel uyumu incelenmiştir. Dönüştürülmüş bilgileri epistemolojik açıdan ele alan bir çalışmaya rastlanmamakla birlikte, bazı çalışmalarda ilgili vurgular görülebilir. Örneğin, fen ders kitaplarında biyoloji ile ilgili olarak, insan genetiği kavramının doğrusal bir nedensellik ve fenotipten genotipe giden bir indirgeme ile verilmesi; insanın genetik özelliklerinin belirlenmesinde çevre etkisinin ihmal edilerek genom rolü üzerinde durulması; güncel olmayan bilimsel bilgilerin kullanılması; çoğunlukla mikro seviyede bilgilerin verilmesi nedeni ile öğrencilerin yüzeysel solunum ile moleküler seviyedeki solunum olayları ile ilgili bilgileri ilişkilendirememeleri (akt. Yıldırım, 2008) gibi epistemolojik açıdan sorunlu dönüşümlere yönelik bulgular vardır. Kimya ile ilgili olarak fen ve teknoloji dersine yönelik bir çalışmada, öğretmenlerin yaptıkları didaktik dönüşümün olumlu bir etkisinin olmadığı gibi bir takım olumsuz etkilere neden olduğu belirlenmiştir. Örneğin, öğrencilerin maddelerin yığın özelliklerinin o maddenin atomlarında da gözlemlenebileceğini gibi kavram yanılgısı niteliğindeki düşüncelere sahip oldukları ve bu durumun öğretim sırasında hiçbir şekilde olumlu yönde değişmediği tespit edilmiştir (Kaya ve Ergun, 2012). Fen alanlarındaki didaktik dönüşüm ile ilgili alanyazında, bilimsel bilgi ile noosferin etkin olduğu dönüşüm sürecindeki bilgi arasındaki epistemolojik farklılıkları veya uyumu analiz eden belirgin bir çalışmaya rastlanmamaktadır.

### **Amaç ve Gerekçe**

Didaktik dönüşüm teorisini temel alan çalışmaların haricinde yine bu teoriyi temel alarak, daha genel bir bağlamda eğitim bilimleri alanında yapılan çalışmalar için farklı bir bakış açısı önerilebilir. Matematik özelinde “... *bilimsel bilginin nesnelere öğretilecek bilgiye dönüştürüldüğü, öğretim projesine dahil edildiği ve ardından öğretim bilgisine dönüştürüldüğü süreç*” (Conne, 1992, s.266) olarak ifade edilen ve didaktik dönüşüm kavramını temel alan bir teorinin ortaya koyduğu kuramsal çerçeve eğitim bilimlerinin çalışma alanlarını analiz eden bir paradigma sunmaktadır. Daha açık bir ifade ile bilimsel bilginin öğrenilen bilgi oluncaya kadar geçirdiği süreçleri kapsayan soru ve sorunlar üzerinde yürütülen tüm eğitim bilim çalışmalarına, bu teorinin ortaya koyduğu kuramsal çerçeveden bakılabilir. Bu çalışmalar, didaktik dönüşümün hem dış hem de iç aşamalarında karşılaşılan sorunları belirlemeye, gidermeye ve bu aşamaları geliştirmeye yönelik çalışmalar olarak görülebilir. Örneğin, öğretim programları üzerinde yapılan çalışmaların dış, kavram öğretimi üzerine yapılan çalışmaların da iç didaktik dönüşüm üzerine yapılan çalışmalar olduğu açıktır. Bu bağlamda kimya eğitimi de dahil olmak üzere eğitim bilimleri genelinde yürütülen çalışmalar didaktik dönüşümün ortaya koyduğu kuramsal çerçeve açısından meta-değerlendirmeye tabi tutulabilir.

Didaktik dönüşüm teorisinin söz konusu çerçevesi dikkate alındığında amaca yönelik olarak öğretim ortamına getirilen ve kullanılan her türlü bilimsel bilginin değişim geçirmekte olduğunun mümkün ve gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, özellikle sınıf ortamında öğretim sürecindeki (iç didaktik dönüşüm) bilginin analizi gerekli görünmektedir. Nitekim, didaktik dönüşümün temelinde epistemolojik bir soruşturma yapma gereği de vurgulanır (Bosch ve Gascón, 2006). Bu soruşturma yukarıda ifade edilen bilimsel bilgi ve öğretilen/öğretilecek bilgi arasındaki kabul edilebilir yakınlığa ilişkin olabilir. Bu yakınlığın kimya açısından ne derece mümkün olabileceği, kimyasal bilginin niteliği göz önünde bulundurularak kimyasal bilginin didaktik dönüşüme uğramasının kimya eğitimi açısından uygun olup olmayacağı gibi akla gelecek sorular üzerinden değerlendirilebilir. Bu sorulara yönelik tartışmalar da kimya felsefesi ve kimya epistemolojisi çerçevesinde yürütülebilir. Buradan hareketle bu çalışmada *bilimsel bilginin basitleştirilmesi* eğilimi çerçevesinde, laboratuvarında veya kimya alanında üretilen bilimsel bilginin didaktik dönüşümüne yönelik bir argüman girişiminde bulunulacaktır. Argüman kimyasal bilginin sınıf ortamında öğretilen/öğrenilen bilgi haline gelinceye kadar geçirdiği basitleştirilmenin, kimya öğretiminin belirli bir boyutunda uygulanmasına yöneliktir. Argümanın kimya eğitimi çalışmalarının sonuçlarının değerlendirilmesinde yeni bir bakış açısı getirmesi bakımından alana katkı sunacağı umulmaktadır.

## Yöntem

Bu kuramsal çalışmada ortaya konulan argümanın gelişim süreci üç aşama ile ifade edilebilir. İlk olarak kimya eğitimi, didaktik dönüşüm ve kimya felsefesine yönelik alanyazın okumaları sonucunda argümana ilişkin ilk fikirlere yol açan ilişkilere ve kanıtlara rastlanmıştır. Ardından argümanı daha belirgin bir hale getirmek ve tanımlamak için odaklı ve ilişkiyel bir bakış açısı ile alanyazın okumalarına devam edilmiştir. Son aşamada ise, tanımlanmış argümanın kuramsal ve ampirik olarak temellendirilmesi için argümanın merceğinden ilgili alanyazın analitik bir yaklaşımla tekrar okunmuş ve ilk aşamada beliren ilişkiler ve kanıtlar netleştirilmiştir.

Çalışmada etik kurul iznine gerek yoktur.

### **Argümanın Ampirik Temelleri: Didaktik dönüşüm merceğinden kimya eğitimi araştırmalarında bilginin basitleştirilmesi**

Bilimsel bilgi ile öğretilen bilgi arasındaki uyumsuzluk öğrenme güçlüklerine neden olmakta ve bu güçlüklerden kaynaklanan başarısızlık genellikle eğitim sisteminde, öğretim programına, ders kitabına, öğretmene veya öğrenciye atfedilmektedir (Brousseau, 2002). Bu durum öğrenci başarısının değerlendirilmesinde genel olarak ölçütün, en nihayetinde bilimsel bilgi olduğu düşünüldüğünde, sorunun bilimsel bilgi-

den değil onun didaktik dönüşümünden kaynaklandığı anlamına gelebilir. Fen eğitimi alanyazınında farklı amaçlarla yapılmış *bazı çalışmaların bulguları meta bir bakış açısı ile bilimsel bilgi, öğretilecek bilgi ve öğretilen/öğrenilen bilgi uyumsuzluğuna örnek olarak değerlendirilebilir* ve kimya eğitiminden buna ilişkin bazı örnekler verilebilir.

Sarıtaş (2012), Sarıtaş ve Tufan, (2012a, 2013a, 2019) tarafından periyodik sistemin öğretimi ile ilgili yapılan bir dizi çalışmadan elde edilen bulgulara göre, öğrenciler bilimsel olarak tek düze açıklanamayan, birçok faktöre bağlı olan periyodik eğilimleri *basit genelleme önermeleri* şeklinde açıklamaktadır. Öğretmenlerin sınıftaki bilimsel açıklamaları da benzer şekildedir. Öğretmenlerden bazıları bilginin bu şekilde dönüştürülmesini benimsememelerine rağmen, *basitleştirme ve kolay anlaşır kılma* gibi pragmatik nedenlerle kaçınılmaz görmektedir. Ayrıca pragmatik olmamakla birlikte öğrencilerin ve bazı öğretmenlerin de periyodik eğilimlere ilişkin genellemeleri yasa gibi düşündükleri, periyodik sistemi bu tür genellemelerden formel mantıksal çıkarım yapmaya imkân tanıyan aksiyomatik bir sistem gibi anladıkları ve formel mantığın (tümevarımsal, tümdengelimsel) periyodik sistemi kullanmada çok kullanışlı olduğu yönünde anlayışları olduğu görülmüştür.

Moran (2006), incelediği ders kitaplarında asitlik kuvveti ile ilgili farklı durumlarda *belirleyici olan çok sayıdaki faktörün iki faktöre indirgenerek* ifade edildiğini vurgulamaktadır. Tsaparlis ve Baba (2018), çoğu ders kitabının kimyasal bağ türü olarak sadece kovalent ve iyonik bağı sunduğunu, koordine bağlardan bahsetmeyi ihmale ettiğini ve *moleküller arası bağlara genellikle sadece kuvvetler olarak atıfta bulunduğunu* belirlemiştir. Pekdağ ve Azizoğlu (2013) yaptıkları çalışmada ders kitaplarında madde miktarı kavramının dört farklı kavramın (kütle, molar kütle, tanecik sayısı veya molar hacim) karşılığı olarak uyumsuz kullanıldığını ve ayrıca *daha uzun cümleler gerektiren bilgilerin eksik terim ve kavramlarla daha basit bir şekilde* ifade edildiğini ve bunun sonucunda anlamsal hataların ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar bunların öğrencilerde öğrenme gücüne ve kitaptan faydalanma noktasında sorunlara neden olduğunu değerlendirmektedirler.

Bunların yanı sıra farklı araştırmacıların bulguları, öğretmenlerin kimya eğitiminde belli bilgileri (ör. oktet kavramı) ve onları *en iyi yansıtan tipik örnekleri* sıklıkla derslerde kullandıklarını göstermiştir. Ayrıca öğrencilerin de; (1) bunları *a priori açıklayıcı bir çerçevede olarak anladıkları, aşırı genelleyerek yasa şeklinde kurallaştırdıkları*, (2) öğretmenlerin açıklamalarından yola çıkarak kendi kurallarını oluşturdukları (ör. asit-baz kuvveti veya periyodik eğilimler ile ilgili genellemeler), (3) bunlardan *basit formal çıkarımlar yapmaya ve kimyasal olaylarda göze çarpan özelliklere ve sınırlı sayıda basit nedensel ilişkilere odaklanma eğilimi* gösterdikleri, (4) bir kimyasal



fenomene ilişkin (ör. kimyasal tepkime veya bağlanma) açıklamalarını oluştururken duruma bağlı olarak değişkenlik gösteren baskın *nedensel etkenleri veya diğer herhangi bir nedensel mekanizma türünü fark edemedikleri* ve kendi sezgisel çıkarımlarını kullandıkları belirlenmiştir (DeFever vd., 2015; García-Franco, 2010; McClary ve Talanquer, 2011b; Sarıtaş ve Tufan, 2019; Taber ve Tümay, 2016a; Talanquer 2013; Tsaparlis, vd., 2018). Bu bağlamda öğrencilerin *formal yapıları daha basit buldukları ve karmaşık ilişkileri içeren kavramsal anlamadan ziyade algoritmik problem çözmeye odaklanma* eğiliminde oldukları da ifade edilmiştir (Furió-Más vd., 2005; Salta ve Tzougraki, 2011).

Bu çalışmalar öğrenilen bilgi (öğrenci) başta olmak üzere öğretilen (öğretmen) ve öğretilen (ders kitabı) bilgilerin kimya öğretiminde bir şekilde basitleşerek dönüştüğünü göstermektedir. Bu durumun kavramsal öğrenmeye engel olduğu, kavram yanlışları ile ilişkili olduğu söylenebilir. Örneğin Tsaparlis ve diğerlerine (2018) göre kavram yanlışlarının çoğu doğrudan ders kitapları aracılığı ile öğretim ortamına getirilen bağlanma *modellerinin aşırı basitleştirilmesinden* kaynaklanmaktadır. Ayrıca Luxford ve Bretz'in (2014), yüksekokul öğrencilerinin kimyasal bağlarla ilgili temsillere yönelik anlayışlarını ve kavram yanlışlarını inceleyen çalışmalarının bulguları yukarıda bahsedilen basitleştirilen bilimsel bilgilerle ilgili görünmektedir. Çalışmada kavram yanlışları dört tema altında belirlenmektedir (1) periyodik eğilimler, (2) elektrostatik etkileşimler, (3) oktet kuralı ve (4) temsillerin gösterilme biçimleri (ör. atomlar arasındaki noktaların aralığı eşit paylaşımı gösterir).

Öte yandan Tümay (2016a ve 2016b) tarafından yapılan çalışmaların, kimyasal bilginin basitleştirildiğine ilişkin görüşleri temellendiren açık bulgu ve çıkarımlar öne sürdüğü ifade edilebilir. Örneğin, Tümay (2016a) asit ve bazlar ile ilgili yaptığı çalışmasında, çoklu ilişkileri ve etkenleri içerecek şekilde sistemli kavranması gereken kimyasal bilginin, öğrenciler tarafından nasıl kavrandığına ilişkin belirlenen şu temalar, basitleştirmeyi açık bir şekilde yansıtmaktadır: (1) Bir sistemin ortaya çıkan bir özelliğini belirli bileşenlere atfetmek, (2) Bir sistemin ortaya çıkan bir özelliğini, onu oluşturan varlıkların özelliklerinin toplamı olarak görmek, (3) Kimyasal buluşsal (sezgisel) yöntemleri kesin belirleyici kurallar olarak görmek, (4) İlgili tüm faktörlerin sistemik olarak değerlendirilmesi yerine, göze çarpan faktörlere veya neden-sonuç ilişkisine tek başına odaklanmak. Ayrıca çalışmada yer alan bu temalar ile kimya alan yazınındaki bir dizi kavram yanlışlığı ilişkilendirilmiştir (Tümay, 2016b). Tümay'a (2016a) göre bu durum kimyasal varlıkların bir sistem olarak taşıdığı özellikler (emergent; ortaya çıkan özellikler) ile ilgilidir. Sistem anlayışına uygun olmayan öğretimin de etkisi ile öğrencilerin, kimya alanındaki bilim insanlarının yaptığı gibi atomların, moleküllerin vb. oluşturduğu varlıkları bir sistem olarak anlamamaları ve buna uygun

düşünmemeleri, onlarda öğrenme güçlüğüne neden olmakta ve kimya ile ilgili kavram yanlışları oluşmaktadır.

Bu genel bağlamda değişime çok dirençli oldukları bilinen kavram yanlışlarının öğretim sürecinin niteliği ile ilişkili olduğu açıktır. Bu görüş, iç didaktik dönüşüm sürecindeki yaygın sınıf ortamlarında, öğretmenin bilgileri sunuş ve kullanım biçiminin ve konunun öğretilme şeklinin (didaktik dönüşümünün) kavram yanlışlarına neden olabildiğine veya onları değiştirmede etkisiz olabildiğine ilişkin bulgularla uyumludur (Kikas, 2004; Levy Nahum vd., 2010; Summer, 1992). Bu görüşün öğretim sürecindeki basitleştirmenin etkisini de ortaya koyan farklı bir şekli öğretmenler tarafından da ifade edilmektedir. Örneğin Coştu ve diğerlerinin (2003), aktardığına göre deneyimli kimya öğretmenleri kavram yanlışlarının olası sebeplerini şu şekilde sıralamaktadır: (1) öğretmenlerce somutlaştırma amaçlı deneylerin yapılmaması (doğrudan deneyimlenen *karmaşık gerçeğin sunulmaması*), öğretmenlerin konuları sunuş biçimleri, (2) ders kitapları, bilgileri yanlış ilişkilendirmelerle sunmaları ve *aşırı genelleme* yapmaları, (3) öğretmenlerin konu anlatımı esnasında kavram yanlışlarına neden olacak ifadelerin ve modellemelerin farkında olmamaları.

Kimya eğitimi alanyazındaki birçok araştırma sonucuna göre verilen yukarıdaki örnekler ve işaret edilen vurgular, araştırmaların odağında didaktik dönüşüm olmasa da kimya eğitiminde kimyasal bilginin didaktik dönüşümünün bir şekilde "*basitleştirmeye dayalı didaktik dönüşüm*" olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu dönüşümün öğrenme güçlükleri, kavram yanlışlığı, yanlış anlayışlar ve düşünme biçimleri gibi sorunlarla ilgili olduğu görülmektedir.

### **Argümanın Kuramsal Temelleri: Kimya Felsefesinde Bilimsel Bilginin Basitleştirilmesi ve Kimyasal Bilginin Niteliği**

Bilimsel bilginin basitleştirilmesindeki didaktik eğilimin kimya felsefesindeki iki kavramla yakından ilişkisi kurulabilir. Bunlar kimya felsefesinin önemli tartışma konusu olan indirgemeciliğin düşünsel ve epistemik araçları olan idealleştirme ve yaklaştırma kavramlarıdır. Bu nedenle öncelikle kısaca indirgemecilikten bahsedip ardından bu kavramlara odaklanmak açıklayıcı olacaktır.

### **İndirgemecilik**

İndirgemecilik (reductionism), kimya felsefesinde çoğunlukla kimyanın fiziğe indirgenip indirgenemeyeceği problemi üzerinden tartışılmaktadır (Scerri, 2007). Bu tartışma en basit hali ile kimyasal özellik ve davranışların temelde fiziksel nedenlere dayandığı, fiziksel yasa ve kuramları temel alan açıklayıcı modeller ve yöntemler ile ifade edilebilir olduğu görüşüne yöneltilen eleştiriler ile yürümektedir. Bir bilim alanına ait bilgilerin diğer bir bilim alanında incelenen olgu ve süreçleri açıklama-

da kullanılması şeklinde ortaya çıkan indirgeme, epistemolojik indirgeme olarak adlandırılmaktadır (Allen, 2020). Kimyasal bilginin fiziğe indirgenebileceğini savunan görüşler, kimyanın incelediği maddenin değişim ve dönüşümüne ait özellik ve davranışların daha alt varlık seviyesinde, maddenin temel tanecikleri ve bunların sahip oldukları enerji gibi fiziğin konusu olan özellikler ve davranışlardan kaynaklandığını, bu nedenle fizik yasa ve kuramları ile açıklama yöntemlerinin, kimyasal olguları da açıklayabileceği iddiasına dayanmaktadır. Bu iddia ise indirgemeciliğin en yaygın tanımı olan bütünün parçaya indirgenmesi, başka bir ifade ile bir bütün, parçaların toplamından ibarettir, parçanın özellikleri ve davranışlarından bütün hakkında kesin ve açıklayıcı bilgilere ulaşılabilir, düşüncesinin (Cevizci, 2011) kimya ve fizik ilişkisi ile ifade edilmesidir.

İndirgemecilik modern bilimin doğuşu ile ortaya konulan bir yaklaşımdır ve bilim tarihinde modern bilimlerin en tipik örneği olan fizik temelinde, fen bilimlerinin indirgemeci bilimler şeklinde tanımlanmasına neden olmuştur (Lecourt 2006). Bunun yanı sıra indirgemeciliğin pozitivist bir temelini olduğu ve bilimler arasındaki ilişkiler açısından bakıldığında Auguste Comte (1798-1857) tarafından ortaya konulan “Bilimlerin Hiyerarşisi” ile ilişkili olduğu söylenebilir. Nitekim bu hiyerarşide kimyanın ontolojik açıdan fiziğe bağlı olduğu ve daha genel geçer bir bilim olarak fiziğin kimyayı kapsadığı ifade edilmektedir (Mill, 1865, akt. Sarıtaş, 2012).

### **İndirgeme Araçları: İdealleştirme ve Yaklaştırma**

Fizikte kullanılan açıklama modellerini biçimlendiren idealleştirme (idealisasyon) ve yaklaşımlar (approximation) Galileo’un bilimsel yönteminin düşünsel süreçleri olarak ifade edilmektedir (Hendry, 2011). Düşünce (reason) bilimde, bulma ve doğrulama/test etme bağlamlarında iki farklı şekilde etkindir. Bilimin bulma bağlamında düşünce, gözlemlerden kuramsal bir yapı, bilgi veya model oluşturur. Doğrulamada ise bu kuramsal modeli referans olarak deneyimlememiz mümkün olabilecek olası gözlemlere yönelik çıkarımlarda bulunulur veya test edilebilir hipotezler üretilir (Nola, 2004; Sarıtaş ve Tufan, 2013).

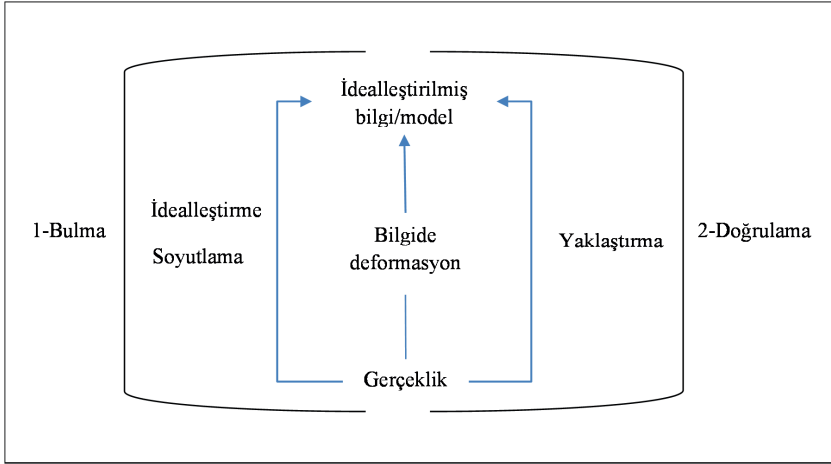
İdealleştirme ilk aşama olan bulma bağlamına eşlik eder. Çünkü idealleştirme tekil deneyimlenen duyuşal nesnelere (tekil olguları) birleştiren, onları genelleştiren, gerçekliğin karmaşıklığını ve değişkenliğini içermeyen *kavramsal bir forma* sokan işlemdir. Başka bir deyişle bir idealleştirme, onu daha basit açıklanabilir hale getirmek amacıyla karmaşık bir şeyin *kasıtlı bir basitleştirilmesi veya sadeleştirilmesidir*. Bu nedenle gerçekliğe ilişkin genel bir temsil oluşturma işlevine sahip olan idealleştirme sürecinde, gerçekliğin bozulmuş bir halinin tasvir edilmesi (ör. ağırlıksız pistonun veya öz hacmi sıfır olan gaz taneciğinin düşünülmesi gibi) söz konusudur. Ayrıca, *bir olguya ilişkin belirli bir değişkene odaklanıp diğer değişkenleri sabitleme veya*

*bağlamsal etkileri ihmal* (ör. sürtünmesiz pistonun var sayılması, gaz taneciklerin çarpışmasında enerji kaybının ihmal edilmesi gibi) etme anlamına gelen soyutlama da (abstraction) idealleştirmenin bir yönünü oluşturur (Cartwright, 1989).

Yaklaştırma ise karmaşık bir gerçekliği/olguyu daha basit açıklanabilen bir gerçekliğe/olguya veya ilk aşamada bahsedilen idealize edilmiş bir modele yaklaştırarak/benzeterek bilgi üretmedir. Gerçek bir gazın davranışlarını çıkarsamada ideal gaz modelini kullanma, gazı modele yaklaştırarak tanımlamak, gerçek bir tuzun çözünme davranışına yönelik olarak ideal çözelti modeli temelinde ön deyide bulunma, bu duruma örnek olarak verilebilir. Buradan anlaşılacağı üzere *ideal modellere yaklaştırma* ile üretilen olgusal bilgiler, gözlemlerden ve gerçek deneyimlerden sapmalar gösterebilir (Nola, 2004).

### Şekil 1

*Bilgi Üretiminde İdealleştirme ve Yaklaştırma*



Şekil 1’de görüldüğü üzere idealleştirme ve yaklaştırma iç içe süreçlerdir. İdealleştirme ve yaklaştırmanın indirgeme ile ilişkisi ise şu örnekle açık hale getirilebilir: eğer çok elektronlu bir sistem (gerçeklik; çok elektronlu bir atom veya iyon) hakkında bir açıklama geliştirmek veya ampirik olarak test edilebilir bir hipotez üretmek istenir ve sistemin tek elektronlu (ideal model; özellikle H gibi tek ideal varsayılan veya  $Li^{2+}$  gibi idealleştirilmiş bir sisteme) sistemlere yaklaştırılması yapılırsa, bu durum, incelenen çok elektronlu sistemin ideal tek elektronlu bir sisteme indirgenmesi demektir. Bu indirgeme, çok elektronlu sistemin de ideal olana benzetilmesini ve bu amaçla basitleştirilmesini gerektirir ki, bu durum da yeni idealleştirmeleri gerekli kılar (Hendry, 2012).

## Kimyasal Bilginin İdealleştirme ve Yaklaştırma ile Basitleştirilmesinde Epistemik Engeller

İdealleştirme terimi Platon felsefesine dayanan bir kökene sahiptir. Gerekçe *idein* ve *eidos* terimlerinden türediği düşünülen *idea* (Menkhaus, 2013) görüntü, biçim, akılla kavranan *form* veya biçim, *maddeden bağımsız form* (ör. sayı, geometrik şekil) gibi anlamlara gelmektedir. Platon felsefesinin çekirdeğini oluşturan *idea* kavramı, duyusal-maddi olan nesnelerin veya her şeyin değişim ve dönüşümüne rağmen bu nesnelerin asılları olarak, ancak akıl ile kavranan maddi içerikten bağımsız olan, nesnelerin ortaklıkları ve en genel, en kusursuz, en değişmez halleri olarak kavranan *basit olan*, *bu nedenle onu karmaşıklştıracak parçalardan oluşmayan tümel bilgi nesnelere* olarak anlaşılır (Kılıç, 2014). Bu nedenle idealleştirme bir nesneyi veya maddi bir olguyu koşulların etkilediği değişebilirlikten, değişmeye açık maddi içeriğinden, onu etkileyen başka nesnelere soyutlayarak onu basit genel bir formda düşünmek ve ifade etmek anlamına gelmektedir. Başka bir ifade ile Platona göre her maddi nesnenin değiştiği bir dünyada, bilginin imkânı için değişmeyen, sabit olan şeylerin bilgisine ihtiyaç duyarız. Bu nedenle içinde yaşadığımız ve duyumsadığımız maddi tekil olan her şeyi kapsayan, içine alan, zihinsel, değişmez, kavramsal ve duyularla değil akılla kavranan *ideal modeller* olmalıdır. Bu modeller idealardır. İdea niteliğini gösteren şeylerin en iyi örnekleri matematik biliminin nesnelere olan sayılar ve gerçek nesnelerin kusursuz formlarını ifade eden geometrik nesnelere (Arslan, 2014).

Bu nedenle maddi bir şeyi (kimyanın maddesini ve onun niteliklerini) *idea* gibi düşünme, onu idealleştirme ve dolayımında yaklaştırma ile ele almanın olgusal mütakabiliyet ölçütü açısından “yanlış” bilgiler üretme ile sonuçlanacak bir girişim olduğu açıktır. Nitekim idealleştirme en temelde çalışmanın ilgilendiği nesne ve durum için doğru olmadığına inanılan bir varsayım/önerme/ifade olarak tanımlanmaktadır (Lind, 1993). Ayrıca daha özel olarak Shaffer (2012, s.16) idealleştirmenin doğasına ilişkin şu tespitlerde bulunmaktadır:

“...idealleştirmenin kasıtlı basitleştirmeyi içerdiğini artık gördüğümüz için, *idealleştirmeleri içeren fiziksel teorilerin gerçekliğin tam olmayan, eksik veya “bulanık” temsilleri olduğunu ve bu nedenle yanlış olabileceğinin makul olarak düşünülebileceği noktasında daha iyi bir konumdayız.*”

Bu ifadeler aynı zamanda idealleştirme ve onun belirlediği yaklaşımların doğası gereği bilgiyi daha iyi anlaşılır ve ifade edilebilir hale getirme gibi bilimde özellikle de fizik biliminde bir *farkındalıkla* ve pragmatik bir işlevle kullanıldığını göstermektedir. Ancak söz konusu kimya bilgisi olduğunda, durum farklılaşmaktadır. Başka bir ifade ile fizikte kompleks sistemleri anlamak için işlevsel olan bu yakla-

şımların gerekçeleri olan basitleştirme ve daha net açıklama, kimya epistemolojisi açısından bir sorun teşkil eder. Bu bağlamda kimyasal bilgi doğası gereği idealleştirme ile anlaşılır bir bilgi değildir. Kimya bilimi maddelerin (the science of substances) bilimi olarak ifade edilmektedir (Pauling, 1970). “Substances” tanecikleri değil, tanecikler bir arada bulduklarında var olan, onların aralarındaki ilişkilerden doğan özellikleri ile kendini gösteren maddelere gönderme yapmaktadır. Örneğin su, H<sub>2</sub>O molekülü ile özdeş değildir (Weisberg, 2006). Suyun kimyasal özellikleri, örneğin bir maddeyi çözmesi ancak belli bir miktar su molekülü var ise zihin için anlamlıdır ve bir gerçekliği karşılar. Aynı zamanda suyun bu özelliğini belirleyen hem diğer moleküllerin varlığı hem de bazı dış etkenlerdir (sıcaklık, basınç, fiziksel hal vb.). Benzer şekilde bir maddenin asidik özellik göstermesi onun moleküler yapısına bağlı olduğu kadar, moleküler yapının davranışını belirleyen ortamdaki diğer moleküllerin yapısı ve aralarındaki etkileşimin bir ürünüdür. Dahası makro boyutta bir maddenin asitliği ve bazlığını belirlemek için çoğunlukla (kimya dersi laboratuvarlarında) taneciklerin birlikteliğinde görünür olan özelliklerden faydalanılır (ör. indikatöre karşı renk değişimi). Bu nedenle *kimyasal özellik onu etkileyen bazı koşulların, etkenlerin ihmal edilmesi ile anlaşılabilir*. Kısaca ifade etmek gerekirse kimyasal bilginin yapılandırılmasının kendine has bir mantığı vardır. Schummer’e göre (2004) kimyasal mantık, kimyasal özellik kavramını farklı iki madde arasındaki dinamik ve bağlamsal çok değerli bir ilişki ile (A, belirli koşullar altında B ile C ve D oluşturma özelliği vardır, gibi) ve ayrıca tamamen farklı olan klasik özellikleri ile tanımlar. Buna göre kimyasal bir tepkime birden çok nedensel ilişkiye dayanmakta veya kimyasal özellik, temelde, maddenin kendi dışındaki diğer madde ve koşullar açısından bağlı bir karakter sergilemektedir.

Bu bağlamda bakıldığında, idealleştirme ve yaklaşımların kimyasal bilgi odaklı bilimsel bir söyleme taşınması, başka bir ifade ile epistemolojik olarak bilgi ortaya koyma veya önerme-üretme bağlamında kullanılmasının sorunlu olduğu açık bir şekilde görünür. Bu nedenle yaklaştırma veya idealleştirme ile ortaya konulan fizik modellerinin birçok kimya kitabında, mahiyetleri hakkında herhangi bir bilgi içermeden olduğu gibi doğrudan kullanılması (Hendry, 2012) hem de bu yaklaşımların kimyasal açıklamalarının kendi iç yapısına uyarlanması, sorunlu görünmektedir. Bunun yerine, ideal ve gerçeklik (olgu) arasındaki çizgide, belki de en uygunu, bu yaklaşımların kimyada olguya dönük bir şekilde (doğrulama bağlamı yönünde Şekil 1’deki okun yönünü aşağıya yönlendirerek); idealden sapmaları ve anomalileri de açıklamaya imkân vermek anlamına gelen ad hoc karakterlerini ortaya koyarak bir tür olguya-yaklaştırma (Sarıtış ve Tufan 2013) veya de-idealize etme (Portides 2007) en uygun tercih olacaktır.

### Argümanın Netleştirilmesi: Kimya Eğitiminde Bilginin Basitleştirilmesi

Yukarıdaki başlıklarda ifade edildiği üzere, kimya felsefesinin çıkarımları dikkate alındığında kimya öğretiminde kimyasal bilginin sunuş ve ifadesinde veya açıklanmasında *indirgeme araçları ile basitleştirilmesi*, başka bir ifade ile kimyasal bilginin, fizik biliminin rasyonel araçları ile yapılandırılması uygun görünmemektedir. Nitekim kimya eğitiminde kavram yanlışlarının giderilmesi noktasındaki bir amaç olan *bilimsel bilgi ve öğrenilen bilgi uyumu* için bu gereklidir. Söz konusu uyum ise didaktik dönüşüm teorisinin matematik gibi diğer alanlarda daha net görünen yaygın eğilimi açısından gerçekleşebilir değildir. Nitekim söz konusu eğilim gereği basitleşen her bilgi deforme olur (Achiam, 2014; Brousseau, 2002; Johnaert, 1988).

Kimya eğitimi ile bilimsel bilginin deforme olmasının daha önce kurulan ilişkisi kavram yanlışları üzerinden biraz daha netleştirilebilir. Bir yandan iç didaktik dönüşümün hem öğretecek hem de öğretilen (öğrenci tarafından öğrenilen) bilgiyi şekillendirdiği düşünüldüğünde, diğer yandan öğretmenlerin öğretim biçimlerinin kavram yanlışlarında bir etken olduğuna ilişkin bulgular da dikkate alındığında, kimya ile ilgili kavram yanlışları kimyasal bilginin deforme bilgiler olarak sunulması ve kavranması sonucunda oluşmaktadır. Başka bir ifade ile kavram yanlışları büyük oranda iç didaktik dönüşümün ürünleridir. Bu iddia daha önce argümanın ampirik temellerinin ele alındığı başlıkta değinilen birçok çalışmanın bulgularına, bilginin basitleştirilmesi merceğinden bakılarak gerekçelendirilebilir. Bu çalışmalar, öğrencilerdeki kavram yanlışlarının ve ortaya çıkan öğrenme güçlüklerinin ön bilgiler ve günlük deneyimler kadar öğretim ortamındaki deneyimlerinden kaynaklandığını, öğrenme ortamının, başka bir ifade ile iç didaktik dönüşüm sürecinin, bileşenleri olan ders kitabı ve öğretmenden kaynaklanan nedenlerin etkisinde geliştiğini göstermektedir (Kikas, 2004; Levy Nahum vd., 2010; Moran, 2006; Pekdağ ve Azizoğlu, 2013; Sumner, 1992; Tsaparlis vd., 2018). Ders kitabı ve öğretmenlerin bilgileri sunmalarında görülen basitleştirme eğiliminin doğal olarak öğrenciler tarafında benimsendiğini ve onların da kimyasal bilgiyi bilimsel bilgiye uygun olmayan şekilde basitleştirme eğilimine girdikleri görülmektedir (DeFever vd., 2015; McClary ve Talanquer, 2011; Sarıtaş, 2019, 2012; Taber ve García-Franco, 2010; Talanquer 2013; Tsaparlis vd., 2018; Tümay, 2016a). Öğretimin desteklediği bu basitleştirme eğilimi ile edinilen öğrenci bilgisinin kimyasal bilginin doğasından uzaklaştığı, kimyacıların kavramsallaştırmalarından farklılaştığı ve dolayısı ile bilimsel olmayan kavramsal yapıları veya kavram yanlışlarını oluşturduğu görülebilir (Furió-Más vd., 2005; Luxford ve Bretz, 2014; Salta ve Tzougraki, 2011; Tümay, 2016a, 2016b). Bu nedenle iç didaktik dönüşümün en son ürünü olarak öğrenilen bilginin niteliği açısından basitleştirmeye dayalı didaktik dönüşümün, kavramsal öğrenme açısından sorunlu olduğu anlaşılmaktadır.

### Argümanın ifadesi

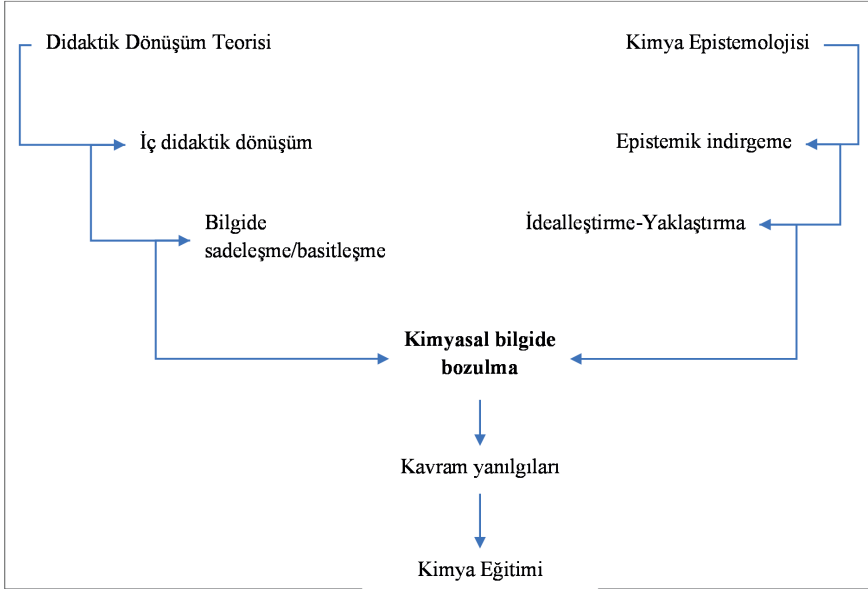
Gerek kimya eğitiminde yapılan ampirik çalışmaların bulguları ve araştırmacıların bunlardan yaptıkları çıkarımları (argümanın ampirik temelleri), gerekse kimya felsefesinde kimyasal bilginin doğasına ilişkin görüşleri (argümanın kuramsal temelleri) ile oluşturulan genel çerçevede argüman, daha net bir şekilde ifade edilebilir:

- Kimya eğitiminde rastlanan yaygın *kavram yanlışlarının epistemik nitelikleri ve nedenleri* dikkate alındığında, kimya felsefesinde kimyasal bilgi için uygun bulunmayan *idealleştirme ve yaklaşılmalar* ile didaktik dönüşümün bilgiyi deforme eden *basitleştirme eğilimi* arasında üçlü bir ilişki olduğu daha net görünmektedir (Şekil 2.).
- Nitekim, kavram yanlışlarının veya bilimsel bilgi ile uyumsuz olan kavram-sallaştırmaların ifade şekilleri ve öğretimden kaynaklanan: *aşırı genelleme, uygun olmayan modelleme, deneyimlenebilir maddesel gerçekliğin karmaşıklığından ve çok değerli ilişkisinden uzak öğrenim deneyimleri, çoklu nedenleri indirgeme, kural oluşturma ve formel çıkarımlar yapma* gibi nedenleri idealleştirme ve yaklaştırma süreçlerini tam olarak karşılamaktadır.
- O halde, bu süreçlerin bir tür öğretim/öğrenim stili olarak ortaya çıkması bir tür iç didaktik dönüşüm olarak *kimyasal bilginin basitleştirilmesine* neden olmaktadır. Bunun sonucu ise öğretilen/öğrenilen kimyasal bilginin bilimsel niteliğinin bozulması ve kavram yanlışlarının oluşmasıdır.
- Bu durumda, didaktik dönüşümün basitleştirme eğilimleri ile kimyasal bilgiye uygulanması kimya eğitiminin amaçları açısından uygun değildir. *Kimyasal bilgiye uygun bir didaktik dönüşüm* sağlanmalıdır.



**Şekil 2**

*Kimya Epistemolojisi ve Didaktik Dönüşümün Kimya Eğitiminde Kavram Yanılgıları Bağlamında İlişkisi*

**Argümanın Açıklanması; Kavramlar, Çıkarımlar ve Ön deyimler**

Bu bölümde daha önceki bölümlerde bahsedilen argümanın ampirik ve kuramsal temelleri ışığında kimya eğitiminde kimyasal bilginin basitleştirilmesini yönlendiren iki ana süreç örneklendirilecektir. Ardından kimya eğitimine yönelik çıkarımlara/ön deyimlere yer verilecektir.

**Modellerin İdealleştirilmesi**

Kimya eğitiminde üçlü ilişkinin (Johnstone,1993), özellikle makro ve mikro arasındaki ilişkinin, sağlıklı bir şekilde kurulması gündemde olan bir sorun olarak görülmektedir (Gilbert ve Treagust, 2009; Sarıtaş, vd., 2021). Başka bir ifade ile diğer taneciklerden yalıtılmış bir biçimde bir tanecik hakkında sınıf ortamındaki bir açıklamanın, taneciklerinin belirlenime çok açık olmayan (Luisi, 2002; Nevman, 2013) ilişkilerinden doğan makro yapı özelliklerini ifade etmede yeterli olmadığı açıktır. Nitekim kimya eğitiminde kavram yanılgılarını özellikle kimyasal yapı ve bağlanma gibi sub-mikro boyuta ilişkin alt kavramlara yönelik yanılgılar temellendirmektedir. Bu yanılgıların ise model ve modelleme süreci ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir (Erduran vd., 2007; Moran, 2006; Tsaparlis, vd., 2018). Bu, beklenmeyen bir durum

değildir, nitekim modelleme, kaçınılmaz olarak kompleks olmayan daha basit gösterimi esas alır ve tanecikler ancak belli bir sayıda modellenebilir. Öğrencilerin; (1) yığınsal nitelikleri taneciklere atfetmeleri, (2) öğretimde kullanılan tanecik modellerini taneciklerin gerçekliğinin replikaları gibi anlamaları (Erduran 2005; Pallester Pérez vd., 2017) ve semiyotik açıdan taneciklere ve yığınlara gönderme yapan sembolik unsurları belli bir seviyede (örneğin makroyu tanımlayan söylemlerinde) özdeş olarak kullanmaları (Sarıtaş ve Tufan 2012) gibi bulgular, deneyimlenen yığınsal gerçekliği, idealleştirilmiş tanecik imajları ve modelleri temelinde anlaşıldığını veya bu ideallere yaklaştırılarak anlaşıldığını göstermektedir. Başka bir ifade ile bu durum şu şekilde değerlendirilebilir: öğrenciler kimyada kullanılan ve çoğu kez taneciklere ait ideal modeller ile yığını anlamak durumunda kalmakta, yığınları gerçekliğin bir kopyası olarak düşündükleri ideal tanecik modellerinin (Justi ve Gilbert, 2003) yığınları olarak görmektedir. Bu durumda, her taneciğin modelini diğer modelden bağımsız olarak düşünmekle ve maddenin bir tür basit davranışlar gösteren taneciklerinin bir yığını gibi algılayarak, taneciklerin özelliklerinin yığına olduğu gibi yansıdığını düşünmeleri çıkarılabilir. Öğrencilerin öğrenme sonucunda oluşturdukları zihinsel modellerin bilimsel modellere yakın ve uyumlu olması fen eğitiminin temel amaçlarından birisidir, çünkü fen öğrenmede kavramsallaştırmanın niteliğini olgu veya olayın modellenme süreci belirler (Gilbert ve Boulter, 1998). Bu bakımdan öğretim sürecinde didaktik kaygılarla yapılan ideal modelleme genelde fen öğretimi olmak üzere kimya öğretiminin doğasına uygun değildir.

### **Kimyasal Bazı Bilgilerin İdealleştirilmesi**

Kimyada genelleme, yasa, prensip ve gösterim olarak nitelenen birçok farklı bilgi türü kullanılmaktadır. Öğrencilerin kimya yasaları, prensipleri ve gösterimleri hakkındaki anlayışlarına yönelik bilimsel bulgular, bu bilgi türlerinin de modeller gibi basitleştirildiğini göstermektedir. Örneğin öğrencilerin periyodik sistemin yasalardan oluşan bir sistem, periyodik eğilimleri ifade eden önermeleri de yasalar olarak düşünmeleri ve bunlardan formal tümdengelimsel/tümevarımsal çıkarımlar yapmaları öğretmenlerin sınıf içi bilimsel söylemlerini yapılandırma şekillerinden kaynaklanmaktadır (Sarıtaş ve Tufan, 2019; 2013, Sarıtaş, 2012). Benzer şekilde öğrencilerin, (1) oktet kuralının özellikle bileşiklerde kararlılığının açıklayıcı basit bir apriori çerçeve olarak kullanmaları (Tsaparlis, vd. 2018), (2) olgusal fenomenleri kavramsallaştırmak yerine ideal nesnelere dayalı algoritmik hesaplamaları yapmaya eğilim göstermeleri (Furió-Más vd., 2005; Salta ve Tzougraki, 201), (3) asitliği, maddenin saf halinin kendinde bir özelliği olarak düşünmeleri ve asitliğin bir sistem içerisinde bütüncül olarak anlamlı olduğunu kavramakta zorlanmaları (Tümay, 2016a), (4) bir kimyasal fenomene ilişkin açıklamalarında bir çok faktör tarafından belirlenen neden-

sel mekanizmaları fark etmeden kendi sezgisel çıkarımlarını kullanmaları (Talanquer, 2013), kimyasal bilgilerin düşünsel ve işlemsel olarak idealleştirildiğini göstermektedir. Kimyasal bilginin bağıl, sistemli ve bir bütün içinde anlamlandırılması gereken kavramlara dayanması ve kimyacıların, bu bilgilere dayalı düşünme şekillerinin, matematikte olduğu gibi bir kesinlik içermeyen çıkarımlar ürettiği düşünüldüğünde; kimyasal bilginin yalıtılmış, tek yönlü nedensellik ve genel geçer yasalar gibi matematiksel mantık ile kullanılmasının önündeki engellerdir (Sarıtış, 2013b). Bu kapsamda bu bilgilerin idealleştirilerek dönüştürülmesi kimyasal bilginin doğasına uygun öğrenilmesini mümkün kılmamaktadır.

### Ön deyiler/Çıkarımlar

İdealleştirme ve bağlamında yaklaşımlar ile didaktik dönüştürülerek sadeleştirilen veya basitleştirilen kimyasal bilginin kimya eğitimi açısından kavram yanlışlıkları da dahil olmak üzere aşağıda verilen bazı sorunlu durumların oluşmasına neden olması mümkündür:

- Kimyasal özelliğin bağıl ve bağlamsal niteliğinin (sistemli-holistik) ele alınmadığı bir öğretimde, öğrencilerin kimya eğitimcilerinin önceden belirlenmiş faktörleri ve ilkeleri her durumda geçerli olan kesin kurallar olarak değil buluşsal yöntemler olarak görmelerini (Taber, 2009), sağlayan epistemik bir anlayışın geliştirilmesi zordur. Bu nedenle öğrencilerin kimyayı *anlaşılması zor istisnalar bilimi* olarak görmeleri olasıdır.
- Parça-bütün ilişkisinin kimyasal mantığı üzerine odaklanmamış bir öğretimde öğrencilerin, atomun molekülle ilişkisini, bağ kavramını ve tanecik-yığın ilişkisini anlamlandırması zor olabilir (Pallester Pérez vd., 2017). Bu nedenle öğrencilerde *bileşik-molekül özdeşliğini* yansıtan bir kavram yanlışlığı ile karşılaşmak sürpriz olmaz.
- Kimyada temsillerin (gösterimler, sembolik unsurlar ve görsel modellerin vb.) dolaylı ve idealleştirilmiş bir şekilde maddeyi ima ettiğine yönelik pragmatik amacın farkında olunmadığı bir öğretimde, öğrencilerde *rezonans hibritlerinin birbirine dönüşen iki farklı moleküler yapı* gibi anlaşılması olasıdır (Şendur vd., 2020).
- Kimyasal yasaların hipotetik niteliğinin ve diğer bilimlerdeki yasalardan farkının açıkça vurgulanmadığı ve örneklendirilmediği bir kimya dersinde, *kimyasal yasalar kendine has apriori bilgiler gibi formel bir mantığın öncülleri* olarak kullanılabilir (Sarıtış, 2012). Bu ise *kimyanın matematikleşmesi* anlamına gelebilir.

- Kimyada ideal modellerin (ideal gaz, ideal çözelti, saf madde vb.) epistemik mahiyetine ilişkin bir farkındalığın amaçlanmadığı bir kimya öğretimi sonucunda, “gerçek gazların ideal gibi davranması” bilgisi sorgulanmayan bir varsayım olarak öğrencilerin muhakeme süreçlerine yön verebilir (Papuçcu, 2016). Bu durum söz konusu *ideal bilginin gerçekliğe yaklaştırılarak* olumlu bir yönde transfer edilmesine engel olabilir.
- Kendilerini ifade eden sembolik unsurlarla element ve bileşiklerin özdeşleştirilmesi ve sembolik unsurların Platon felsefesindeki ideal matematik nesnelere olduğu gibi meta-sembollerle ( $X$  veya  $XY_2$ ) ifade edilmesinin oluşturduğu bilinç altı, kimyayı ana konusu olan *maddi duyu nesnelere uzak, hayatla ilişkilendirilemeyen* (Sarıttaş ve Tufan, 2012b) bir ders olarak görme eğilimini tetikleyebilir.

### Tartışma ve Sonuç

İdealleştirmeler ve yaklaşımlar ile kimyasal bilginin basitleştirilmesi, bunlar aracılığı ile bilginin rasyonel üretimi, bir ortamda sunulması ve ifade edilmesine yönelik felsefi kaygular ile öğretim ortamındaki didaktik dönüşümün bilginin basitleştirilmesi eğilimi bir çelişki oluşturmaktadır. Oysa kimyasal bilginin öğretim ortamında bilimselliğini koruyarak açıklanması, sunulması ve öğrencilerin kimyasal bilgiyi rasyonel olarak üretmesi ya da yapılandırması, bir kimya sınıfında amaçlanan süreçlerdir. Bu nedenle kimya felsefesinin belirlemelerine uygun bir bilginin sınıfta kullanılması didaktik dönüşümün kimya eğitimi açısından yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini göstermektedir. Kimyasal bilginin idealleştirme ve yaklaştırma şeklinde didaktik amaçla basitleştirilmesi, kimya felsefesi penceresinden hem kimyanın bilimsel niteliğine uygun olmayan epistemik indirgemecilik yapılması hem de kimya eğitimi açısından kimyasal bilginin deforme olması gibi istenmeyen bir durumu tasvir etmektedir. Bu nedenle kimya öğretmenlerinin kimyada kullanılan ideal bilgi ve modeller ile bunların doğasına yönelik epistemik farkındalıklarının olması gerekir. Bu farkındalık, kimyacıların da bilimsel bilgi üretiminde kullandıkları indirgeme araçlarının pragmatik mahiyetini bilmelerine dayanır. Bu ise daha gerçekçi ve makul bir didaktik dönüşümü mümkün kılabilir. *Epistemik farkındalık*; söylemlerde kullanılan bilginin mahiyetinin didaktik dönüştürücüler tarafından bilinmesini gerektirir. Didaktik dönüşüm esasen bilginin mahiyetini de incelemektedir. Bu nedenle daha önce vurgulandığı üzere epistemolojik bir soruşturma gerektiren didaktik dönüşümde bilginin bilimsel niteliğinin korunmasının yollarının aranması ve öğretim ortamındaki bilgiye (iç didaktik dönüşüm) odaklanması gereklidir (Bosch ve Gascón, 2006). Ayrıca bu farkındalığın öğretim sürecine yansıtılması için; sunulan bilgilerin geçerlik koşullarına, sınırlılıklarına ve basitleştirmenin gerekçesine, kısaca bilimsel bilginin

epistemoloji niteliğine yer verilmelidir. Bilimsel alan bilgisinin bir tür transformasyonu ve translokasyonu anlamına gelen didaktik dönüşüm kaçınılmaz olarak gerekli görülebilir, ama bir açıdan sorunludur ve gözetim altında tutulmalıdır (Brousseau, 2002), çünkü herhangi bir bilgi dönüşümü aşırı basitleştirmeler veya hatta hatalar getirme riski taşımaktadır (Achiam, 2014).

Kavram yanlışlarının sürgit bir sorun olarak kimya eğitiminde devam etmesi birçok araştırmacının onlarla ilgili çalışmaları eleştirmesine neden olmuştur. Kavram yanlışlarını tespit edip listelemek yerine kavram yanlışlarının ve bağlamında öğrenme güçlüklerinin temel nedenlerini belirlenmesi ve onların giderilmesi için gereken didaktik yaklaşımların geliştirilmesi gerektiği araştırmacılar tarafından birçok kez vurgulanmıştır (Mulford ve Robinson, 2002; Taber, 2000; Talanquer, 2006; Tümay, 2016). Kavram yanlışlarının olası nedenlerine yönelik çıkarımlarda ise neredeyse alanyazın tarihi boyunca onların giderilmesi için belirli görüşlerin (ör. öğrenci ön bilgileri, günlük deneyimler vb.) sürekli ifade edildiği görülmektedir (Demircioğlu vd., 2005; Gomez-Zwiep, 2008; Goris ve Dyrenfurth, 2010; Kallia ve Sentance, 2019; Hin ve Riddle, 2023; Palisoa, vd., 2023; Sanger ve Greenbowe, 1999; Schmidt, 1991; Schmidt vd., 2003). Buna rağmen kavram yanlışları güncelliğini korumakta ve tespit etme çalışmaları devam etmektedir (Barke ve Buechter, 2023; Hin ve Riddle, 2023; Kareti ve Howitz, 2023; Palisoa, vd., 2023). Bu durum kavram yanlışlarına ilişkin şimdiye kadar yapılan didaktik önerilerin yeterince açıklayıcı olmadığını göstermektedir. Bu konuda kimya eğitiminin farklı bir bakış açısına ihtiyaç duyduğu söylenebilir.

Oysa kimya eğitiminde konu ile ilgili yürütülmüş birçok araştırma didaktik dönüşün teorisinin önerdiği kuramsal mercek ile incelendiğinde farklı resimler karşımıza çıkmaktadır. Birçok araştırmacının öğrencilerdeki öğrenme güçlükleri ve bağlamında sıkça karşılaşılan kavram yanlışlarına ilişkin bulgularının ve çıkarımlarının esasen sorunlu didaktik dönüşümü, özellikle basitleştirmeye dayalı didaktik dönüşümü, *farkında olmadan*, vurgulamaktadır. Bu çalışmada ortaya konulan argüman ise öğrenme güçlüğü ve kavram yanlışlarının ortaya çıkma biçimi, olası nedenlerine açık, somut bir belirlenim çerçevesi ve kavram yanlışlarının giderilmesi için yeni bir bakış açısı önermektedir. Ayrıca argüman, kavramsal öğrenme ile ilgili sorunu, kimyasal bilginin kendine has niteliği ile ilişkilendiren birçok çalışmanın çıkarımlarının (Erduran 2005, 2007; Kaya ve Erduran 2013; Tümay, 2016a, 2016b) daha somut ve işlevsel hale getirilmesine kapı açacak bir zemin olarak *“kimyasal bilgiye uygun bir didaktik dönüşüm”* yaklaşımına dikkat çekmektedir. Bu çerçevede argüman söz konusu çalışmalarda önerilen *öğrenilen bilginin kimyasal bilgiye uyumu* hedefi için yerleşik bir teorinin kimya eğitiminde yeniden ele alınması noktasında açık bir hedef koymak-

tadır. Ayrıca, kimyasal bilgiye uygun bir didaktik dönüşüm ile söz konusu sorunların üzerinde tartışılacağı, yeni somut önerilerin sunulacağı ve daha önce verilmiş olsa bile çözüm önerilerinin üzerinde yapılandırılacağı bir zemin sunmaktadır.

### Kaynakça

- Achiam, M. (2014). Didactic transposition: From theoretical notion to research programme. *Paper presented at the biannual ESERA (European Science Education Research Association) doctoral summer school, August 25-29 in Cappadocia, Turkey.*
- Allen, R. T. (2020). Reductionism in education. *Paideusis, 5*(1), 20–35. <https://doi.org/10.7202/1073354ar>
- Arsac, G., Tiberghien, A., and Develay, M. (1989). La transposition didactique en mathématiques, In Irem Et Lirdis de Lyon (eds.), *La transposition didactique en mathématiques, en physique et biologie*, (pp. 3-36). Lyon
- Arslan, A. (2014). *Felsefeye giriş* (21. Baskı). Adres Yayınları.
- Astolfi, J. P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y., and Toussaint, J. (1998). *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographies*. De Boeck Université.
- Banegas, D. L. (2014). Democratizing didactic transposition: Negotiations between learners and their teacher in a secondary school. *Latin American Journal of Content & Language Integrated Learning, 7* (2), 1–26. <https://doi.org/10.5294/laclil.2014.7.2.1>
- Barke, H. D., and Buechter, J. (2023). Laboratory jargon and misconceptions in Chemistry an empirical study. *ASEAN Journal of Science and Engineering Education, 3* (1), 65–70.
- Bergsten, C., Jablonka, E., and Klisinska, A. (2010). A remark on didactic transposition theory. In C. Bergsten, E. Jablonka, and T. Wedege (Eds.), *Mathematics and mathematics education: Cultural and social dimensions* (pp. 58-68). (Skrifter från Svensk förening för matematikdidaktisk forskning). Svensk förening för matematikdidaktisk forskning, SMDF.
- Bosch, M., and Gascón, J. (2006). Twenty-five years of didactic transposition. *ICMI Bulletin, 58*, 51–65.

- Brousseau, G. (2002). *Theory of didactical situations in mathematics*. Kluwer Academic Publishers.
- Canpolat, N., Pınarbaşı, T. ve Sözbilir, M. (2003). Kimya öğretmen adaylarının kovalent bağ ve molekül yapıları ile ilgili kavram yanlışları. *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2(25), 66-72.
- Cartwright, N. (1989). *Nature's capacities and their measurement*. Oxford University Press.
- Cevizci, A. (2011). *Felsefe sözlüğü*. Say Yayınları.
- Chevallard, Y., and Joshua, M. A. (1982). Un exemple d'analyse de la transposition didactique: La notion de distance. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 3 (2), 157–239.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. Du savoir savant au savoir enseigné (2ème édition). La Pensée Sauvage Ed.
- Chevallard, Y. (1992). Fundamental concepts in didactics: Perspectives provided by an anthropological approach. In R. Douady and A. Mercier (Eds.), *Research in didactique of mathematics, selected papers* (pp. 131–167). La Pensée Sauvage.
- Conne, F. (1992). Savoir et connaissance dans la perspective de la transposition didactique, *Recherches en Didactique des Mathématiques* 12 (2.3), 221-270.
- Coştu, B., Karataş, F. Ö. ve Ayas, A. (2003). Kavram öğretiminde çalışma yapılarının kullanılması. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14 (14), 33–48.
- DeFever, R. S., Bruce, H., and Bhattacharyya, G. (2015). Mental rolodexing: Senior chemistry majors' understanding of chemical and physical properties. *Journal of Chemical Education*, 92 (3), 415–426. <https://doi.org/10.1021/ed500360g>
- Dowling, P. (2020). Recontextualization in mathematics education. In S. Lerman (Ed.), *Encyclopedia of mathematics education* (pp. 717–721). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15789-0\\_133](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15789-0_133)
- Erduran, S. (2005). Applying the philosophical concept of reduction to the chemistry of water: Implications for chemical education. *Science & Education*, 14 (2), 161–171. <https://doi.org/10.1007/s11191-005-0687-7>

- Erduran, S. (2007). Breaking the law: Promoting domain-specificity in chemical education in the context of arguing about the periodic law. *Foundations of Chemistry*, 9 (3), 247–263. <https://doi.org/10.1007/s10698-007-9036-z>
- Erduran, S., and Scerri, E. (2002). The nature of chemical knowledge and chemical education. In J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, D., and J. van Driel (Eds.), *Chemical education: towards research-based practice* (pp.7-27). Kluwer Academic Publishers. [https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X\\_1](https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_1)
- Erduran, S., Aduriz, A. B., and Naaman, R. M. (2007). Developing epistemologically empowered teachers: Examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. *Science & Education*, 16 (9-10), 975–989. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9072-4>
- Furió-Más, C., Calatayud, M. L., Guisasola, J., and Furió-Gómez, C. (2005). How are the concepts and theories of acid–base reactions presented? Chemistry in textbooks and as presented by teachers. *International Journal of Science Education*, 27 (11), 1337–1358. <https://doi.org/10.1080/09500690500102896>
- Gilbert, J. K., and Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, sub-micro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. In Gilbert, J. K., and Treagust, D. F (Eds.), *Multiple representations in chemical education, models and modeling in science education* (pp.1-8). Springer
- Hazzan, O., Dubinsky, Y., and Meerbaum-Salant, O. (2010). Didactic transposition in computer science education. *ACM Inroads*, 1 (4), 33–37. <https://doi.org/10.1145/1869746.1869759>
- Hendry, R. F. (2011). *The metaphysics of chemistry*. Oxford University Press.
- Hendry, R. F. (2012). Reduction, emergence and physicalism. In D. M. Gabbay, P. Thagard, and J. Woods. (Gen. Eds.), R, F. Hendry, P. Needham and A.I. Woody (Vol. Eds.). *Handbook of the philosophy of science, philosophy of chemistry* (V.6), (pp.367-386). Amsterdam: North Holland- Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51675-6.50027-X>
- Hendry, R. F., Needham, P., and Woody, A. I. (2012). Philosophy of chemistry. In D. M. Gabbay, P. Thagard, and John Woods. (Gen. Eds.). R, F. Hendry, P. Needham and A.I. Woody (Vol.Eds.). *Handbook of the philosophy of science* (pp.3-18). Amsterdam: North Holland- Elsevier.



- Hin, S. L. F., and Riddle, H. (2023). Students' Misconceptions in Chemical Equilibria and Suggestions for Improved Instruction. *New Directions in the Teaching of Natural Sciences*, 18 (1). <https://journals.le.ac.uk/ojs1/index.php/new-directions/article/view/3900>
- Johnaert, P. (1988). *Conflicts de savoirs et didactique*. Edition De Boeck Université.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70, 701–705. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>
- Joshua, S. (1996). Le concept de transposition didactique n'est-il propre qu'au mathématique? In C. Raisky et M. Caillot (dir.), *Au-delà des didactiques, le didactique. Débats autour de concepts fédérateurs* (p. 61-73). De Boeck.
- Justi, R. S., and Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1369–1386. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070324>
- Kareti, M. S., and Howitz, W. J. (2023). A Thin Layer Chromatography Prelaboratory Activity Using a 3D-Printed Model to Address Student Misconceptions about Polarity and Intermolecular Forces. *Journal of Chemical Education*, 100, 1392–1397 <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jchemed.2c01142>
- Kaya, E., and Erduran, S. (2013). Integrating epistemological perspectives on chemistry in chemical education: The case of concept duality, chemical language, and structural explanations. *Science and Education*, 22, 1741–1755. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9399-3>
- Kaya, G., and Ergun, M. (2012). An investigation of the particulate nature of matter unit according to didactic transposition theory. *Elementary Education Online*, 11 (4), 1101-1120. <http://ilkogretim-online.org.tr>
- Kikas, E. (2004). Teachers' conceptions and misconceptions concerning three natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (5), 432–448. <https://doi.org/10.1002/tea.20012>
- Kılıç, C. (2014). Platon'un metafizik terminolojisi ve mağara alegorisinin mistik temelleri. *Journal of International Social Research*, 7 (34), 686–702.
- Lecourt, D. (2006). *Bilim felsefesi*. (Çeviren: Işık Ergüden). Dost Kitabevi, Ankara

- Levy Nahum T., Mamlok-Naaman R., Hofstein A., and Taber K., (2010), Teaching and learning the concept of chemical bonding. *Studies in Science Education*, 46 (2), 179–207.
- Lind, H. (1993). A note on fundamental theory and idealizations in economics and physics. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 44 (3), 493–503. <https://doi.org/10.1093/bjps/44.3.493>
- Luisi, P. L. (2002). Emergence in chemistry: Chemistry as the embodiment of emergence. *Foundations of Chemistry*, 4, 183–200. <https://doi.org/10.1023/A:1020672005348>
- Luxford, C. J., and Bretz, S. L. (2014). Development of the bonding representations inventory to identify student misconceptions about covalent and ionic bonding representations. *Journal of Chemical Education*, 91 (3), 312–320. <https://doi.org/10.1021/ed400700q>
- McClary, L., and Talanquer, V. (2011b). Heuristic reasoning in chemistry: Making decisions about acid strength. *International Journal of Science Education*, 33 (10), 1433–1454. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.528463>
- Menkhaus, T. (2013). *Eidos, Psyche und Unsterblichkeit*. De Gruyter.
- Mill, J. S. (2015). *Auguste Comte and positivism*. Cambridge University Press.
- Moran, M. J. (2006). Factors that influence relative acid strength in water: A simple model. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 800–803. <https://doi.org/10.1021/ed083p800>
- Mulford, D. R., and Robinson, W. R. (2002). An Inventory for Alternate Conceptions among First-Semester General Chemistry Students. *Journal of Chemical Education*, 79 (6), 839–844. <https://doi.org/10.1021/ed079p739>
- Needham, P. (2012). Modality, mereology and substance, In D. M. Gabbay, P. Thagard and J. Woods. (Gen. Eds.), R, F. Hendry, P. Needham and A.I. Woody (Vol.Eds.). *Handbook of the Philosophy of Science, Philosophy of Chemistry* (V.6),(pp. 231-254). North Holland- Elsevier
- Newman, M. (2013). Emergence, supervenience, and introductory chemical education. *Science & Education*, 22, 1655–1667. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9441-0>

- Nola, R. (2004). Pendula, models, constructivism and reality. *Science & Education*, 13 (4), 346–377. <https://doi.org/10.1023/B:SCED.0000041832.90947.b1>
- Pabuçcu, A. (2016). Fen bilgisi öğretmen adaylarının gaz basıncıyla ilgili bilgilerini günlük hayatla ilişkilendirebilme seviyeleri. *Türkiye Kimya Derneği Dergisi Kısım C: Kimya Eğitimi*, 1 (2), 1-24. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jotcsc/issue/32793/364441>
- Palisoa, N., Lumamuly, V. E., and Lumamuly, A. (2023, January). Advance organizer integrated conceptual change learning model to prevent potential misconceptions of high school students in chemical concept. In. *AIP Conference Proceedings: Vol. 2642*. No. 1 (p. 090016). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0110604>
- Pauling, L. (1970). *General chemistry* (3rd ed.). Dover Publication Inc.
- Paun, E. (2006). Transposition didactique: un processus de construction du savoir scolaire. *Carrefours de l'éducation*, (2), 3-13. <https://doi.org/10.3917/cdle.022.0003>
- Pekdağ, B., and Azizoğlu, N. (2013). Semantic mistakes and didactic difficulties in teaching the “amount of substance” concept: A useful model. *Chemistry Education Research and Practice*, 14 (1), 117–129. <https://doi.org/10.1039/C2RP20132A>
- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir de pratiques: Des savoirs aux compétences. *Revue des Sciences de l'Éducation*, 24 (3), 487–514. <https://doi.org/10.7202/031969ar>
- Portides, D. P. (2007). The relation between idealisation and approximation in scientific model construction. *Science & Education*, 16, 699–724. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9001-6>
- Salta, K., and Tzougraki, C. (2011). Conceptual versus algorithmic problem-solving: Focusing on problems dealing with conservation of matter in chemistry. *Research in Science Education*, 41(4), 587–609. <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9181-6>
- Sarıtaş, D. ve Tufan, Y. (2013a). Periyodik sistemin epistemolojik niteliğine yönelik analizler. III. *Ulusal Kimya Eğitimi Kongresi Kitabı*. <https://turchemsoc.org/ulusal-kimya-egitimi-kongresi-bildiri-ozet-kitaplari/>

- Sarıtaş, D. ve Tufan, Y. (2012a). Periyodik sistemin öğretiminde epistemolojik bilgi üretme yöntemlerinden biri olan tümevarımın kullanımı. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 20 (1), 203–218.
- Sarıtaş, D. ve Tufan, Y. (2012b). Öğrencilerin kimyasal bilgilerinin kimyasal semiyotik; sentaks ve semantik açıdan incelenmesi. *X. Ulusal Fen Bilimleri ve Matematik Eğitimi Kongresi*, Turkey/Niğde
- Sarıtaş, D., and Tufan, Y. (2013b). Macro and micro knowledge levels for chemistry teaching in terms of reductionism. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 33(2), 165–192.
- Sarıtaş, D., and Tufan, Y. (2019). How to establish periodic law and periodic system relation? Inferences in the history and philosophy of science for chemistry teaching. *Hacettepe University Journal of Education*, 34(1), 27–53. <https://doi.org/10.16986/HUJE.2018043649>
- Sarıtaş, D., Özcan, H., and Adúriz-Bravo, A. (2021). Observation and inference in chemistry teaching: A model-based approach to the integration of the macro and submicro levels. *Science & Education*, 30, 1289–1314. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00216-z>
- Sarıtaş, D. (2012). *Periyodik sistemin öğretim sürecinde oluşan rasyonel bilginin üretimi; epistemolojisi ve metodolojisi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Scerri, E. (2001). The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education. *Chemistry Education: Research and Practice In Europe*, 2(2), 165-170. [http://www.uoi.gr/cerp/2001\\_May/11.html](http://www.uoi.gr/cerp/2001_May/11.html)
- Scerri, E. (2007). The ambiguity of reduction. [HYLE]. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 13(2), 67–81.
- Schummer, J. (2004). Philosophie der chemie: rück- und ausblicke. Erscheint. In K. Griesar (Ed.), *Wenn der geist die materie küßt* (pp. 1–12). Harry Deutsch.
- Schummer, J. (2006). The philosophy of chemistry: from infancy towards maturity. In D. Baird, E. Scerri, and L. McIntyre (Eds.), *Philosophy of chemistry: Synthesis of a new discipline* (pp. 19–43). Springer. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3261-7\\_2](https://doi.org/10.1007/1-4020-3261-7_2)

- Şen, Ş. ve Yılmaz, A. (2013). Kimya öğretmen adaylarına göre kavram yanlışlarının nedenleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, (35), 59–95.
- Şendur, G., Otman, T., Kafadar, F., Aktaş, E. ve Kaya, M. (2020). Modelleme Destekli TaTGA Etkinliklerinin Organik Kimya Dersindeki Etkinliğinin İncelenmesi: Rezonans Konusu. *Fen Matematik Girişimcilik ve Teknoloji Eğitimi Dergisi*, 3(3), 197-218. <https://dergipark.org.tr/en/pub/fmgted/issue/60204/787053>
- Shaffer, M. (2012). *Counterfactuals and scientific realism*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9781137271587>
- Summers, M. (1992). Improving primary school teachers' understanding of science concepts theory into practice. *International Journal of Science Education*, 14, 25-40. 32.
- Taber, K. S., and García-Franco, A. (2010). Learning processes in chemistry: Drawing upon cognitive resources to learn about the particulate structure of matter. *Journal of the Learning Sciences*, 19 (1), 99–142. <https://doi.org/10.1080/10508400903452868>
- Talanquer, V. (2013). In G. Tsaparlis and H. Sevian (Eds.), *How do students reason about chemical substances and reactions?* In *Concepts of matter in science education* (pp. 331–346). Springer.
- Tsaparlis, G., Pappa, E. T., and Byers, B. (2018). Teaching and learning chemical bonding: Research-based evidence for misconceptions and conceptual difficulties experienced by students in upper secondary schools and the effect of an enriched text. *Chemistry Education Research and Practice*, 19 (4), 1253–1269. <https://doi.org/10.1039/C8RP00035B>
- Tümay, H. (2016a). Emergence, learning difficulties, and misconceptions in chemistry undergraduate students' conceptualizations of acid strength. *Science & Education*, 25, 21–46. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9799-x>
- Tümay, H. (2016b). Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: Emergence in chemistry and its implications for chemical education. *Chemistry Education Research and Practice*, 17 (2), 229–245. <https://doi.org/10.1039/C6RP00008H>

- Vellopoulou, A., and Ravanis, K. (2010). A methodological tool for approaching the didactic transposition of the natural sciences in kindergarten school: The case of the “states and properties of matter” in two Greek curricula. *Review of Science. Mathematics and ICT Education*, 4(2), 29–42.
- Weisberg, M. (2006). Water is not H<sub>2</sub>O. In D. Baird, E. Scerri, and L. McIntyre (Eds.), *Philosophy of chemistry* (pp. 337–345). Springer. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3261-7\\_18](https://doi.org/10.1007/1-4020-3261-7_18)
- Weisberg, M. (2012). Chemical modeling, In D. M. Gabbay, P. Thagard and John Woods. (Gen.Eds.), R. F. Hendry, P. Needham and A.I. Woody (Vol.Eds.). *Handbook of the philosophy of science, philosophy of chemistry* (V.6), (pp.351-363). Amsterdam: North Holland- Elsevier.
- Yıldırım, M. (2008). *İlköğretim fen ve teknoloji dersinde genetik ünitesinin bilimsel bilgilerden öğretmen bilgilerine geçişinin “didaktiksel dönüşüm teorisi” yaklaşımıyla değerlendirilmesi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.