

## Vivas-Reyes ve Arkadaşlarına Göre “Moleküler Devrim” Felsefesi ve Kimya Eğitiminde “Ortaya Çıkan Özellikler”

### Philosophy of “Molecular Revolution” and “Emergent Properties” in Chemical Education According to Vivas-Reyes et al.

Tacettin Pınarbaşı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sorumlu Yazar, Prof. Dr., Atatürk Üniversitesi, pınarbasit@atauni.edu.tr, (https://orcid.org/0000-0003-2153-248X)

**Geliş Tarihi:** 06.02.2025

**Kabul Tarihi:** 29.12.2025

#### ÖZ

Bu çalışma, bu makalenin yazarı tarafından yapılan sınırlı katkılar haricinde, Vivas-Reyes ve diğerleri (2024) tarafından yayımlanmış bir araştırmanın, içeriğine sadık kalınarak özetlenmiş bir versiyonunu içermektedir ve ilgili literatür ışığında “ortaya çıkan özellikler” ile Félix Guattari'nin "moleküler devrim" kavramlarını inceleyerek bunların felsefe ve kimya eğitiminin kesişim noktasında bir tartışmasını sunma çabasıdır. Bu yönüyle, sözü edilen felsefi fikirlerin kimya pedagojisini zenginleştirmede oynadığı temel rolü vurgulayarak, moleküler süreçler ve makroskobik olgular arasındaki karmaşık ilişkiye dair yeni bir bakış açısını barındırmaktadır. Çalışma, kimyasal sistemler hakkında daha kapsamlı bir anlayış geliştirebilmek adına bu kavramların kimya eğitimine entegre edilmesini önermekte ve disiplinler arası yaklaşımların önemini vurgulamaktadır. Bu amaçla, öğrencilerin çeşitli etkinlikler aracılığıyla kimyasal sistemlerdeki “ortaya çıkan özellikleri” nasıl araştırabileceklerine dair, çözeltiler ve polimerler özelinde, pratik örnekler yer verilmektedir. Sonuç olarak makale, kimya eğitiminin ve onun daha geniş kapsamlı etkilerinin değişen doğasına uyum sağlayabilmek için, öğrenme metodolojilerinin sürekli olarak uyarlanmasının gerekliliğini vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Ortaya Çıkan Özellikler, Moleküler Devrim, Guattari Felsefesi, Kimya Eğitimi

#### ABSTRACT

This study, with the exception of the limited contributions by the author of this article, includes a summarized version of a study published by Vivas-Reyes et al. (2024), adhering faithfully to its content, and attempts to present a discussion of the concepts of “emerging properties” and Félix Guattari’s “molecular revolution” at the intersection of philosophy and chemistry education, in light of the relevant literature. In this respect, it emphasizes the fundamental role played by these philosophical ideas in enriching chemistry pedagogy, providing a new perspective on the complex relationship between molecular processes and macroscopic phenomena. The study proposes the integration of these concepts into chemistry education in order to develop a more comprehensive understanding of chemical systems and emphasizes the importance of interdisciplinary approaches. To this end, practical examples are provided on how students can investigate “emergent properties” in chemical systems through various activities, with a special focus on solutions and polymers. Finally, the article emphasizes the need for continuous adaptation of learning methodologies to align with the changing nature of chemistry education and its broader implications.

**Keywords:** Emergent properties, Molecular revolution, Guattari’s philosophy, Chemistry education

## GİRİŞ

Bir kimya dersi, bir mol ile bir molekül arasındaki ayrımı yapmak gibi veya spesifik problemlere (örneğin, bir molekülün kuvvet sabitinin kızılötesi spektrumundan hesaplanması) bir çözüm aramak gibi, temel prensiplerin ötesine uzanan çeşitli zorluklar sunar. Bu eğitim ortamlarında, öğrenciler karmaşık bilgi katmanları ve kritik kavramlarla karşı karşıya kalırlar. Özellikle molar (makroskobik) ve molekül (mikro altı) düzeylerin ayrımı konusunda görülen bilgi eksikliği, öğrenciler için zorluklar yaratabilir ve potansiyel olarak problem çözme sürecinde hata yapmalarına yol açabilir (Indriyanti, 2016).

Beklenmedik anlarda kendini gösteren ancak güçlü bir araç olan felsefe, bu zorlukları ele almak için değerli bakış açıları ve yenilikçi yaklaşımlar sunma konusunda yetkindir. Yardımcı bir disiplinden kaynaklanan Félix Guattari'nin (2020) 'moleküler devrim' kavramı, geleneksel ve indirgemeci düşüncede bir değişime yol açarak sistemlere dair daha bütünsel ve birbirine bağlı bir anlayış sunmaktadır. Kimyada *indirgemecilik* (reductionism), karmaşık kimyasal olguları ve sistemleri, onları oluşturan daha basit ve temel bileşenler veya prensipler aracılığıyla anlama ve açıklama çabasıdır. Bu felsefi yaklaşım, kimyasal sistemin bütün özelliklerinin, alt düzeydeki parçaların (atomlar, moleküller, elektronlar) özellikleri ve bunlar arasındaki etkileşimler kullanılarak tamamen açıklanabileceğini varsayar. İndirgemecilik, kimya felsefesinde çoğunlukla kimyanın fiziğe indirgenip indirgenemeyeceği problemi üzerinden tartışılmaktadır. 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 görüşü üzerinden yürütülmektedir (Sarıtış & Özcan, 2024). Kimyada *bütünsel yaklaşım* (holistik yaklaşım) ise, indirgemeci yaklaşımın aksine bir olayın, durumun ya da kimyasal sistemin yalnızca tek tek bileşenlerini (atomlar, moleküller, reaksiyonlar vb.) ayrı ayrı incelemek yerine, tüm bileşenleri bir arada ele almayı ve bunlar arasındaki karmaşık ilişkileri ve etkileşimleri göz önünde bulundurmayı ifade etmektedir. Bu yaklaşımın temelinde *holizm* felsefesi yatar: Bütün, kendisini oluşturan parçaların toplamından daha anlamlı ve önemlidir. Özetle, bütünsel yaklaşım, kimyasal olayları izole edilmiş olaylar olarak değil, birbirine bağlı, dinamik bir ağı parçası olarak görmeyi savunmaktadır (Orgill vd., 2019). 'Moleküler devrim' terimi, Guattari'nin, toplumsal değişimlerin yalnızca makro ölçekte (yani büyük ölçekli politik ve ekonomik değişimler) değil, aynı zamanda bireysel ve mikro ölçekte de gerçekleşebileceğine dair vurgusunu ifade etmektedir. Daha açık bir ifadeyle, Guattari'ye göre, toplumsal dönüşümler yalnızca devletler, büyük kurumlar veya ekonomik sistemler gibi "molar" düzeyde olmaz; aynı zamanda bireylerin davranışları, arzuları, duyguları ve ilişkilerinde, yani "moleküler" düzeyde de gerçekleşir. Moleküler devrim, bu anlamda, bireyin ve küçük toplulukların iç dünyasındaki dönüşümlere ve bu dönüşümlerin büyük kitleler üzerindeki etkilerine işaret eder (Guattari, 2020).

Felix Guattari, özellikle Gilles Deleuze (2012) ile birlikte geliştirdiği felsefede, modernitenin tek tip ve hiyerarşik düşünce biçimine karşı çıkarak, *çokluk* (multiplicity) ve *karmaşıklık* (complexity) kavramlarını ön plana çıkarır. Guattari için çokluk, tek bir öz veya özdeşliğe indirgenemeyen birden fazla unsurun bir araya gelmesiyle oluşan, sürekli değişen ve dönüşen bir durumdur. Bu, birey, toplum veya doğa gibi her türlü olgu için geçerlidir. Örneğin, bir dil, sadece kelimelerden ibaret değildir. Aynı kelime farklı bağlamlarda farklı anlamlar taşıyabilir, aynı anlama gelen farklı kelimeler kullanılabilir. Dil, sürekli değişen, gelişen ve dönüşen bir çokluktur. Aynı şekilde bir şehir, farklı kültürlerden insanları, çeşitli mimari yapıları, birbirinden bağımsız işleyen birçok sistemi içinde barındıran karmaşık bir çokluktur. Kimyasal elementler, tek başlarına çokluk örneğidir. Her elementin periyodik tablodaki yeri ve özellikleri, farklı bir kimyasal çokluğu ifade eder. Örneğin, karbon, farklı allotropları (elmas, grafit, grafen) aracılığıyla bir çokluk örneğidir. Benzer şekilde bir kimyasal reaksiyon (yanma gibi) sırasında oluşan ara ürünler ve yan ürünler, kimyanın çoklu yapısına örnek teşkil eder. Guattari için karmaşıklık, basit ve doğrusal neden-sonuç ilişkilerinin ötesinde, çok sayıda değişkenin etkileşim içinde olduğu, öngörülemez ve kaotik bir durumdur. Örneğin, iklim değişikliği, atmosfer, okyanuslar, biyolojik çeşitlilik gibi birçok faktörün etkileşim içinde olduğu karmaşık bir süreçtir.

Bu süreçte, doğrusal ve basit neden-sonuç ilişkileri kurmak zordur. Ya da bir sanat eseri, farklı malzemeler, teknikler ve anlamların bir araya gelmesiyle oluşan karmaşık bir çokluktur. Katalizörler, kimyasal reaksiyonları hızlandırırken karmaşık geçiş durumlarına yol açarlar. Heterojen katalizörlerde yüzeydeki atomların adsorpsiyon, reaksiyon ve desorpsiyon süreçleri, kimyasal karmaşıklığı gözler önüne serer. Kimyasal denge durumları, bir reaksiyonun ileri ve geri yönlerinin sürekli etkileşim içinde olduğu karmaşık sistemlerdir. Ya da küresel ısınma birden fazla etkenin etkileşiminden kaynaklanan, karmaşık bir süreçle kendini göstermektedir.

Felix Guattari ve Gilles Deleuze'un felsefesinin, özellikle eğitim alanında oldukça radikal ve dönüştürücü bir etki yarattığı söylenebilir (Vivas-Reyes vd., 2024). Onların, hiyerarşik ve merkeziyetçi yapıları sorgulayan, çokluğa, bağlantısallığa ve sürekli değişime vurgu yapan düşünceleri, eğitim sistemlerinin köklü bir şekilde yeniden düşünülmesini gerektirir. Guattari'nin moleküler devrimi, dünyanın sürekli değiştiği ve fikirlerin, tarihin, bilimin ve kültürel temsil biçimlerinin bu değişimlere asla ayak uyduramayacağı öncülüne dayanır. Eğitim sistemi de bu değişime ayak uydurmalı ve öğrencileri sürekli öğrenmeye ve değişmeye hazır hale getirmelidir. Bu değişimler yapısal değildir; yani parçalar aracılığıyla yapılmazlar. Bir kavram, uygulama veya araçta meydana gelen bir değişim ya da dönüşüm, kimya uygulamalarının yapılarında da değişim ya da dönüşümlere neden olur. Bu bağlamda, kimya ile ilgilenen bireyler, bu alandaki fikirleri, araçları, kavramları ve sonuçları, öznel ve deneysel bir kimyaya dönüştürerek, olay ve olguların doğası üzerinde derinlemesine düşünme eğilimindedirler. Bu yeni kimya anlayışı öğrencilerin değişim ve öğrenme arzuları sayesinde bir kez içselleştirildikten sonra, geleneksel saf nesnellik fikri yavaş yavaş terk edilir. Bunun yerine, öznel olan ve kimyanın gelişimine dahil olanların kişisel geçmişinden etkilenen bir kimya anlayışı ortaya çıkar. Guattari-Deleuze düşüncesinde bu anlayış molar bir düzlemden başlar, öte yandan moleküler devrim, bu molar ilişkiyi sürdüren mikro güçlere atıfta bulunur (Deleuze & Guattari, 2012).

Bu bağlamda Guattari'nin bakış açısının kimya eğitimi kapsamında ele alınması, deneysel öğrenmeyi ve disiplinler arası bağlantıları önceliklendiren yenilikçi öğretim metodolojileri geliştirmek için bir katalizör görevi görebilir. Eğitimciler, sosyal ve politik hareketlerden örnekleri entegre ederek, *ortaya çıkan özelliklerin/kavramların (emergent properties/concepts)* hem bilimsel hem de sosyal bağlamlarda nasıl ortaya çıktığını gösterebilirler. Guattari'ye göre, gerçek değişim geleneksel hiyerarşik yapılar veya merkezi güçle elde edilemez; bunun yerine, bireylerin ve grupların kolektif eylemiyle tabandan gelen hareketlerden kaynaklanmalıdır. Bu çerçevede, "moleküler devrim" sürekli bir deney, adaptasyon ve dönüşüm süreci olarak kavramsallaştırılır (Deleuze & Guattari, 1991; Guattari, 2020). Guattari'nin vurguladığı tabandan gelen hareketler ve mikro-politik eylem odakları, katalizörlerin işleyişi ile ilişkilendirilebilir. Katalizörler, reaksiyona girmezler veya tükenmezler, ancak reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli olan aktivasyon enerjisini (dönüşümün zorluğunu) düşürerek, reaksiyonun hızını artırır. Moleküler devrimci bir eylem, büyük bir örgütlenme veya merkezi bir ideoloji olmak yerine, küçük bir yerel komün, bir sanat kolektifi veya bir dil (yeni öznellik) kullanımı olabilir. Bu mikro-birim, toplumsal sistemin (reaksiyon) yavaş ve hantal dönüşümünü (aktivasyon enerjisi) hızlandıran bir katalizör görevi görebilir. Katalizör, tepkime mekanizmasını değiştirerek (ilişki biçimlerini dönüştürerek) reaksiyonun gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu, Guattari'nin "küçük bir müdahalenin büyük yapısal dönüşümü tetiklemesini" ifade etmektedir. "Ortaya çıkan özellikler" (ya da kavramlar), karmaşık sistemlerin içindeki etkileşimlerin sonucu olarak doğal olarak kendiliğinden ortaya çıkan, daha büyük bir bütünün özellikleri olan kavramlardır. Bu kavramlar, sistemin bireysel parçalarının toplamından daha fazlasını ifade ederler ve genellikle tahmin edilemez veya önceden belirlenemezler. Basitçe açıklamak gerekirse: Bir karınca kolonisi düşünün. Her bir karınca, basit görevleri yerine getirirken, tüm koloni birlikte inanılmaz karmaşık davranışlar sergileyebilir ve hatta geometrik problemleri çözebilir. Bu ortaya çıkan davranış, tek bir karıncanın sahip olduğu özelliklerden daha fazlasıdır. Beyin, sinir hücrelerinin karmaşık etkileşimleri sonucu ortaya çıkan bilinç, duyu ve düşünce gibi, "ortaya çıkan özelliklere" sahiptir ve bu özellikler sinir hücrelerinin toplamından

daha fazlasına karşılık gelir. Kültür, dil, normlar gibi sosyal yapılar, insanların etkileşimleri sonucu ortaya çıkan kavramlardır. Maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri (erime noktası, parlaklık, reaktivite, sertlik, elektrik iletkenliği vb.) “ortaya çıkan kavramlar” açısından iyi örneklerdir, çünkü bu özellikler, bireysel parçacıklarının toplamından daha fazlasına karşılık gelen, atomlar ve moleküller arasındaki bağlar ve bu bağların düzeninden kaynaklanmaktadır. Örneğin, elmasın sertliği ve grafitin yumuşaklığı, her ikisi de karbon atomlarından oluşmasına rağmen, atomlarının düzenlenme biçimine dayanmaktadır. “Ortaya çıkan kavramlara” yönelik çok sayıda örnek verilebilir: pH, koligatif özellikler, hibritleşme, ideal gaz denklemi, hal değişimi, bağlar, elektronegatiflik...vb.

“Ortaya çıkan özellikler” son zamanlarda yeni bilimsel yaklaşım olarak adlandırılan *bağlantısal bütünsellik* kavramıyla da uyum içerisindedir. Yirminci yüzyıla kadar baskın kalan bilimsel anlayış mekanistik evren görüşüdür ve bu görüşe göre doğa, mekanik yasalar tarafından yönetilen makine benzeri bir sistem gibi düşünülmelidir. Dolayısıyla bütüne dair bir anlayış kazanmanın yegane koşulu, onu oluşturan parçalar ve parçalar arasındaki ilişkiyi anlamaktır. Oysa bu yeni görme anlayışında parçalar değil, parçaların birbirleriyle ve bütünlükle olan ilişkileri esastır. “Bağlantısal bütünsellik” kavramı, yaşamı oluşturan ağ yapılarının (network) iç içe kendini var ettiğini ve her bütünün bir üst-bütünün parçası olduğu, enformasyon (bilgi) ilişkilerinin bütünlüğünü ifade eder (Kılıç, 2023). Burada önemli olan parçalar yani hücre, atom, nöron gibi yapı taşı unsurlar değil; onların aralarındaki enformasyon ağıdır. Bu yüzden “bağlantısal bütünsellik” yaklaşımı, bütünü oluşturan yapıtaşlarını tanımlamanın yeterli olmadığını çünkü, bütüne dair doğru bir çıkarımda bulunmaya imkan vermediğini iddia eder. Lewontin’in söylediği gibi, bir kek piştikten sonra onu oluşturan malzemelerden daha fazla ve farklı bir şeydir (Koçak, 2024). Örneğin, beyinde, hücrelerin (nöronların) birbirleriyle kurduğu bağlantılar (sinapslar) düşüncenin, bilincin ve öğrenmenin temelini oluşturur. Benzer şekilde, yaşamda da bireyler, toplumlar ve ekosistemler arasındaki etkileşimler büyük resmi belirler. Bir ormanda tek bir ağaç değil, ağaçların, mantarların ve mikroorganizmaların birbirleriyle kurduğu bağlantılar ekosistemi oluşturur. Aynı şekilde, tek tek karbon atomlarından ziyade, bu karbon atomlarının aralarında oluşturdukları enformasyon ağlarındaki farklılık nedeniyle, fiziksel özellikleri bakımından, elmas ve grafit birbirinden önemli ölçüde ayrılmaktadır.

“Ortaya çıkan özellikler” ve “moleküler devrim” kavramları özünde birbiriyle bağlantılıdır, çünkü her ikisi de değişim potansiyellerini anlamak için daha üst düzey analiz gerektiren karmaşık sistemleri içerir. Guattari'nin moleküler devriminin önerdiği gibi, çok sayıda organizasyon düzeyini tanımak, en az iki ayrı düzeyi tanımlamayı içerir: bireysel ve sosyal (veya grup) düzeyi. Bu ilkeler kimyasal ve biyolojik süreçlere uygulanabilir ve moleküler ve hücresel gibi ek düzeylerin tanınmasına olanak tanır. Daha yüksek organizasyon seviyelerinde gelişen ancak daha düşük seviyelerde mevcut olmayan “ortaya çıkan özellikler”, daha eşitlikçi ve uygulanabilir yeni toplumsal ve politik organizasyon biçimlerini teşvik etme potansiyeline sahiptir. Bu disiplinler arası yaklaşım yalnızca eleştirel düşünme becerilerini geliştirmekle kalmaz, aynı zamanda bilimsel ilkelerin toplumsal ve politik bağlamları nasıl etkileyebileceğini ve onlardan nasıl etkilenebileceğini fark etmelerini sağlayarak, öğrencileri, kimyanın çevrelerindeki daha geniş etkilerini düşünmeye teşvik edebilir. Bu tür bir entegrasyon, öğrencilere bilim ve toplum üzerindeki etkisi hakkında daha bütünsel ve bağlamsallaştırılmış bir anlayış sağlayarak, kimya eğitimini önemli ölçüde zenginleştirebilir (Vivas-Reyes vd., 2024).

'Ortaya çıkan özellik' terimi, kütle veya elektrik yükü gibi bireysel özelliklerin doğrudan birleşiminden kaynaklanan 'eklemeli özellikler'den farklı olarak, bileşik sistemler içindeki karmaşık etkileşimlerden kaynaklanan özellikleri ifade eder. Bu özellikler, sadece bileşen parçaların bireysel özelliklerine bağlı olmadıkları için tahmin edilmeleri nispeten zordur. Dahası, karmaşık sistemler içindeki dinamik ve bağlam temelli doğalarını pekiştirircesine, sistem parçalandığında veya yeniden düzenlendiğinde bu özelliklerin varlığı da son bulur. Bu dinamik etkileşim, “ortaya çıkan özelliklerin” grift ve genellikle tahmin edilemez doğasına vurgu yapar ve böylece bilimsel disiplinler arası anlayışımızı zenginleştirir. “Ortaya çıkan özellikler” doğrusal

olmayan karmaşık sistemlerle bağlantılı olsa da, 'ortaya çıkmanın' kimyada temel olduğunu kabul etmek büyük önem taşır çünkü, atomların, moleküllerin ve sıvıların özellikleri, onları oluşturan elementlerden veya bileşenlerden ortaya çıkar (Talanquer, 2008; Tümay, 2016).

Bu teorik temele dayanarak, bu makalenin amacı, Guattari'nin "moleküler devriminin" kimya eğitimi bağlamındaki etkilerini keşfetmek ve bu karmaşık alanın öğrenilmesi sürecine nasıl katkı sağlayabileceğine ışık tutmaktır. Buna yönelik olarak yukarıda bahsedilen *bağlantısal bütünsellik* kavramına yer verilmesi ve ilerleyen bölümlerde sunulan ülkemizde yapılan bazı çalışmalara yönelik literatür katkıları haricinde, Vivas-Reyes ve diğerleri (2024) tarafından yapılan çalışmanın içeriğinin, bağlamından kopmamak adına, olduğu gibi okuyuculara aktarılması hedeflenmektedir. Bu nedenle, okumakta olduğunuz bu makalede yer alan tüm başlıklar ve bu başlıklar altında yer alan açıklamalar, orijinal çalışmada yer aldığı şekliyle ilgililerin dikkatine sunulmaktadır. Orijinal çalışmada, geleneksel bir ampirik (nicel veya nitel veri toplama) araştırma yönteminden ziyade, ağırlıklı olarak kavramsal ve felsefi bir yaklaşım benimsenmektedir ve literatür ışığı altında bu felsefi fikirlerin kimya eğitiminde nasıl kullanılabileceğine dair yeni bir pedagojik perspektif ve çerçeve önerilmektedir. Kısacası, yazarların araştırması, bir fen eğitimi araştırması (bir eğitim deneyinin sonuçlarını test etmek gibi) olmaktan çok, kimya felsefesi ile kimya eğitimi disiplinlerini birleştiren teorik ve pedagojik bir katkı niteliğindedir. Buradaki temel fikir, felsefe ve kimya arasındaki boşluğu bir ölçüde kapatarak, öğrencileri, atomlar ve moleküller dünyasını izole varlıklar olarak değil, daha geniş ve birbirine bağlı bilim dokusunun ayrılmaz bileşenleri olarak görmeye teşvik eden yeni bir bakış açısına ilham verebilmektir.

### 1.1. Felsefe-Kimya İlişkisi: Guattari'nin Moleküler Devrimi ve Eğitim

Guattari'nin "moleküler devrim" eserindeki felsefesini anlamak, kendi sınırlarının ötesindeki çeşitli yönleri arasında bağlantı kuracak şekilde, kimyanın moleküler alandaki temel rolünün kapsamlı bir incelemesini gerektirmektedir. Guattari'nin kimyanın moleküler alandaki önemine ilişkin vizyonunu keşfetmek, hem onun felsefesini anlamak hem de kimya eğitiminin önemini fark etmek için oldukça önemlidir. Onun düşünceleri, tarihsel ve bağlamsal süreklilikler içindeki dinamik süreçleri vurgulayarak, felsefi kavramları kimya eğitimiyle bütünleştirmeye odaklı kendi felsefesinden ortaya çıkan yenilikçi pedagojik yöntemler sunarak ve de "ortaya çıkan özelliklerin" ve daha geniş etkilerinin anlaşılabilirliğini geliştirerek, eğitim söylemlerine önemli ölçüde katkıda bulunur. "Ortaya çıkan özellikler", atomların, moleküllerin ve sıvıların özelliklerinin, onları oluşturan bileşenlerinden ortaya çıktığı kimyada, merkezi bir öneme sahiptir. Örneğin, aşırı doymuş suda şekerin kristalleşmesinde, çözüldüğü şeker molekülleri toplanır ve katı şeker kristalleri oluşur. Bu olgu, "ortaya çıkan özelliklerin", ilgili maddeler arasındaki etkileşimlerden nasıl ortaya çıktığını göstermektedir ve kimyasal olayların ve günlük yaşamdaki uygulamalarının daha iyi anlaşılması için kimya eğitiminde bunların dikkate alınmasının önemine dikkat çekmektedir (Guattari, 2020).

*Guattari açısından moleküler devrim tam olarak neyi temsil etmektedir?* Guattari'nin öngördüğü moleküler devrim, etrafımızdaki dünyayla ilgili anlayışımızda ve etkileşimimizde derin bir değişimi ifade etmektedir. Kimya alanında bu kavram, özellikle kimya eğitimi bağlamında, daha da büyük bir önem kazanıyor. *Peki bu kavram nasıl anlaşılmalıdır?* Asırlar boyunca dünya, sanki ayrı, etkileşime girmeyen parçaların bir koleksiyonuymuş gibi, statik (değişmeyen) ve basitleştirilmiş bir şekilde algılanmaktadır. Moleküler devrim bizi bu bakış açısını değiştirmeye ve basit reaksiyonlardan karmaşık mekanizmalara kadar kimyasal süreçlerin aslında moleküllerin karmaşık ve genellikle beklenmedik şekillerde etkileşime girdiği dinamik sistemler olduğunu kabul etmeye teşvik ediyor. *O zaman bu değişim neyi gerektirmektedir?* Kimyanın yalnızca, ürün elde etmek için elementleri birleştirmek olmadığını, temel düzeyde moleküler etkileşimlerin derinlemesine anlaşılmasına dayanan bir disiplin olduğu yönündeki bakış açısını kabul etmeyi içeriyor.

*Bu bakış açısı değişikliği neden önemlidir?* Bu moleküler sistemlerdeki karmaşıklığın öneminin fark edilmesiyle, imalattan tıba kadar çok geniş uygulama alanlarındaki kimyasal olayları anlayabilme ve tahmin edebilmenin yanında, yeni malzemeler, bileşikler ve ilaçlar daha etkili bir şekilde tasarlanabilir. *Moleküler devrim bizi ne yapmaya zorlamaktadır?* Bizi dünyanın basit ve durağan olduğu fikrinden vazgeçmeye zorluyor ve bunun yerine bizi moleküler düzeyde gerçekliğin içsel karmaşıklığını keşfetmeye teşvik ediyor. *Bu paradigma değişiminin sonucu nedir?* Bu paradigma değişiminin sonucu, moleküler düzeyde anlayışın bütünleştirilmesiyle kimya eğitiminin geliştirilmesidir. Bu ilerleme, öğrenciler arasında kimyasal prensiplerin daha derin bir şekilde anlaşılmasını teşvik edebilir. Moleküler kavramları programlarına dahil ederek eğitimciler, öğrencilere kimyasal reaksiyonları, yapıları ve mekanizmaları anlamak için daha sağlam bir çerçeve sağlayabilir. Bu yaklaşım, öğrencilerin temel kimyasal teorileri kavramasını geliştirmekle kalmaz, aynı zamanda kimyanın gerçek dünya senaryolarındaki karmaşıklıkları ve uygulamaları için bir takdir duygusu da geliştirebilir. Sonuç olarak, bu paradigma değişiminin, bilimsel inovasyon ve keşfe katkıda bulunmak için daha donanımlı olacak şekilde, daha bilgili ve daha yetenekli kimyacılar üretme potansiyelinde olduğu söylenebilir.

Bu bakış açısıyla uyumlu olarak, temel kimya kavramlarının anlaşılabilirliğini artırmak için öğrencilerin pratik aktivitelere katılımını ve açık uçlu sorgulamalarını teşvik eden araştırma tabanlı bir öğrenme yaklaşımı değerli bir alternatif olarak dikkate alınabilir. Bu yaklaşım, kimyanın, semboller ve işaretlerin dinamik olarak etkileşime girdiği ve bağlamsal varyasyonlar içindeki süreçlerin karmaşık yorumlanmasını gerektiren bir semiyotik (gösterge) bilim olarak yeniden derinlemesine değerlendirilmesini yansıtır. Bu metodolojiyi genişletmek, “ortaya çıkan özellikleri” kimya öğretimi için temel kategoriler olarak tanımayı içerir (Vivas-Reyes vd., 2024).

Bu tanıma, kimyasal sistemlerin dinamik doğasını daha derinlemesine inceleme fırsatı sunarak, öğrencileri, moleküler bileşenler arasındaki etkileşimlerden “ortaya çıkan özelliklerin” nasıl ortaya çıktığını keşfetmeye teşvik edebilir. Kimya öğretmenleri, öğrenme ortamlarına araştırma tabanlı öğrenme yöntemlerini entegre ederek, ve bu arada ortaya çıkan özellikleri anlamının önemini vurgulayarak, öğrencileri bu karmaşık bilimsel manzarada gezinmeleri için gerekli araçlarla daha iyi donatabilirler. Bu kavramlara aşinalık, eğitimcilerin kimyayı daha açık ve kapsamlı bir şekilde sunmalarını, hem içerik hem de pedagojik yönleri ele almalarını ve böylece kimyasal bilginin etkili bir şekilde kazanımını sağlayabilir. Bununla birlikte, kimya felsefesinden gelen anlayışların kimya eğitimine dahil edilmesi arzu edilen düzeyin altındadır. (Erduran, 2000).

Öğrencilerin çoğunluğu atomları, molekülleri ve kimyasal reaksiyonları, “ortaya çıkan özellikleri” bileşenleri arasındaki etkileşimlerden ortaya çıkan dinamik varlıklar olarak kavramsallaştırma konusunda zorluk çekmekte ve bunları genellikle statik nesnelere olarak algılamaktadırlar (Sevian & Talanquer, 2014). Bu bakış açısı onların, karmaşık süreçleri içeren mekanik açıklamalar geliştirme konusundaki yeteneklerini engellemektedir. Sistem düşüncesinin kimya eğitimine entegre edilmesi, bu tür zorlukların üstesinden gelebilmek için öğrenme yöntemlerine ve içeriğe odaklanması yönüyle, umut verici bir çözüm sunabilir. “Ortaya çıkan özelliklerle” yakından bağlantılı olan bu yaklaşım, ölçek, sınırlar ve hiyerarşiler gibi temel sistem özelliklerini dikkate aldığı için eğitimde dönüştürücü bir rol üstlenebilir (Constable, 2019). Kimya derslerinde etkili öğrenme yöntemlerine duyulan ihtiyaca yanıt olarak, matematiksel kavramların entegrasyonu ile geliştirilen problem tabanlı öğrenme stratejileri de kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, öğrenci etkileşimlerini ve pratik uygulamaları ön planda tutarak daha derin bir anlayışın gelişmesinde rol oynayabilmektedir. “Ortaya çıkan özelliklere” ilişkin farkındalığı teşvik eden akademik müdahaleler, öğrencilerin temel kimya kavramlarına ilişkin anlayışlarını daha da geliştirebilir.

## 1.2. Kimya Eğitiminde “Ortaya Çıkan Özellikler”

Kimyadaki “ortaya çıkan özellikler”, moleküller ve atomlar arasındaki karmaşık etkileşimleri gözler önüne serer ve ısı kapasitesi, entropi ve madde rengi gibi olguları yönlendirir. Bu özellikler, pH, çözünürlük ve reaktivite gibi çeşitli kimyasal olguların temelini oluşturur ve sistem etkileşimlerinin bütünsel bir anlayışına karşılık gelir. Bu bütünleştirme, düşüncede dönüştürücü değişimleri vurgulayan Guattari'nin "moleküler devrim"ini yansıtır. Öğrenciler, bu kavram aracılığıyla, sadece değişimleri değil, aynı zamanda kuvvetler altındaki bileşenlerin tepkimelerini ve dönüşümlerini de keşfeder ve böylece sistemlerin köklü değişimlere karşı sürekli bir yatkınlık içerisinde olduğunun farkına varabilir. Bir maddenin katı, sıvı veya gaz halleri de tanecikler arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan “ortaya çıkan özelliklerdir”. Tanecikler arasındaki moleküller arası kuvvetlerin gücü, maddenin halini belirler. Örneğin, katılar, taneciklerini sabit bir pozisyonda tutan güçlü moleküller arası kuvvetlere sahipken gazlar, taneciklerinin serbestçe hareket etmesini sağlayan zayıf moleküller arası kuvvetlere sahiptir (Vivas-Reyes vd., 2024).

Kimyada ortaya çıkan özelliklerin incelenmesi, karmaşık kimyasal sistemleri ve bunların çevresel etkileşimlerini anlamak, ileri düzeyde eleştirel düşünme ve analitik becerileri geliştirmek için önemlidir. Bir taraftan kimya felsefesindeki, özellikle “ortaya çıkan özellikler” alanındaki son gelişmeler kimya eğitimini şekillendirirken diğer taraftan “ortaya çıkan özelliklerin” öğrenilmesi, moleküler etkileşimlerin anlaşılmasını derinleştirmektedir. Eğitimciler, artan bu karmaşıklık ortamında öğrenme etkinlikleri geliştirmek için kimya kavramlarına yönelik anlayışlarını derinleştirmelidirler (Vivas-Reyes vd., 2024).

Scerri, kimya felsefesi ile kimyanın kendisi arasındaki temel ayrımı vurgulayarak, kimyanın basitçe felsefi temellerine indirgenemeyeceğinin anlaşılmasının önemini vurgular. Eğitimciler genellikle bir açıklamanın sezgisel özünü kavramalarına rağmen, “ortaya çıkan özellikler” gibi belirli kavramlarla uğraşırken bilimsel açıklamaları analiz etmekte zorlanabilirler. Scerri'nin bu yöndeki düşüncelerinden haberdar olunması, kimya alanında bilimsel açıklamalar yapma sürecinde kimya eğitmeninin rolünü anlamak için bir temel teşkil etmektedir (Scerri, 2000).

Felsefi araştırma, yansıtıcı bir yaklaşım sağlayarak, öğrenme ortamlarındaki açıklamaları geliştirerek ve farklı kitleler için özel olarak hazırlanmış alternatifleri kolaylaştırarak kimya eğitimine katkıda bulunur. Güncel araştırma çalışmaları, kimyasal açıklamaların diğer disiplinlere kıyasla karmaşık yönlerini araştırmakta ve böylece kimyasal yönlerinin daha net ve anlaşılır bir biçimde sunulmasına olanak sağlamaktadır. Öğretmenlere sadece içerik ve eğitim psikolojisi konusunda eğitim vermek yeterli olmayıp, onları kimyanın doğasıyla tanıştırmak esastır (Goedhart, 2015).

Kimya eğitiminde karşılaşılan kavramsal zorlukların ve öğrenme eksikliklerinin temel nedenlerinden birinin, bilimsel bilginin okullarda öğretilmek üzere geçirdiği *didaktik dönüşüm (didactic transposition)* süreci olduğunu ileri süren felsefi ve kuramsal argümanlar bulunmaktadır. Bu dönüşüm, genellikle, idealleştirmeler ve yaklaşımlar ile kimyasal bilginin basitleştirilmesini içermektedir. Kimyasal bilginin bu şekilde 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 (Saritaş & Özcan, 2024).

Kimya eğitiminde, öğrencilerin *makro* (gözlemlenebilen) ve *mikro altı* (gözlemlenemeyen, moleküler düzeydeki) seviyeler arasında hatalı geçişler yapması, birçok kavram yanlışlığına yol açmaktadır. Örneğin, öğrenciler makro düzeydeki bir gözlemi (bir sıvının kaynaması) mikro altı düzeydeki bir olguya (moleküllerin birbirinden ayrılması) indirgerken yanlış çıkarımlar yapabilirler. Saritaş ve diğerleri (2021), kimya eğitiminde yaygın olan ve öğrencilerin kavram yanlışlıklarının ana nedeni olarak görülen bu seviyeler arasındaki geçiş sorununu gidermek için

didaktik bir çerçeve sunmaktadır. Yazarlar, bu iki bilgi türü arasında uygun ilişkiler kurmayı sağlayacak, *model temelli bir yaklaşım* önermektedirler ve bu yaklaşımın, öğrencilerin *gözlem* ile *teorik çıkarım* arasındaki karmaşık ilişkiyi anlamalarına ve böylece kimyasal olguları daha sağlam, tutarlı ve kapsamlı bir şekilde açıklamalarına yardımcı olacağını öne sürmektedirler.

Sarıtaş ve Tufan (2019), kimya eğitiminde bilim tarihi ve felsefesi perspektifinin kullanılmasının, öğrencilere sadece *ne* olduğunu değil, aynı zamanda *nasıl* ve *neden* olduğunu öğretmede kritik rol oynadığını, periyodik tablonun öğretimi özelinde, savunmaktadırlar. Bilim tarihi ve felsefesinin entegrasyonu, öğrencilerin Bilimin Doğası hakkındaki anlayışlarının geliştirilebileceği ve periyodik tablonun öğretiminin, bu sayede, basit bir ezberleme aktivitesi olmaktan çıkıp, bilginin nasıl inşa edildiğini, teorilerin rolünü ve bilimin açıklayıcı gücünü içeren zengin ve anlamlı bir öğrenme deneyimine dönüştürülebileceği ileri sürülmektedir. Bunun yanında, diğer bir çalışma kapsamında da, öğrencilerin bilimsel verilerle çalışarak *tümevarım* yoluyla periyodik özelliklerin kurallarını kendilerinin keşfetmelerinin, konuyu daha derin ve kalıcı bir şekilde öğrenmelerini sağlayan etkili bir pedagojik yaklaşım olduğu savunulmaktadır (Sarıtaş & Tufan, 2012).

Sarıtaş ve Tufan (2013), indirgemeci yaklaşımın kimya öğretimi materyallerinde (özellikle ders kitaplarında), makro düzeylerden mikro altı düzeylere geçişlerde, yaygın olarak kullanıldığına dikkat çekmektedir. Makro ve mikro seviyeler arasındaki bu hızlı ve sık indirgemeci geçişlerde, öğrencilerin kavramsal zorluklar yaşadığı ve bu iki seviye arasındaki ilişkiyi tam olarak kurmakta güçlük çektikleri belirtilmektedir. Bu bağlamda, kimyasal olayları açıklarken sadece indirgemeci bir yaklaşımla yetinmek yerine, *bütüncül* (holistik) ve *emergent* (yeni özelliklerin ortaya çıkması) perspektiflerin de kullanılmasının gerekliliği vurgulanmaktadır.

Aycan ve Aycan (2016), kimya felsefesinin temel kavramlarından biri olan *bütün* ve *parça* ilişkisini, felsefi bir disiplin olan *Mereoloji* (Parça-Bütün Kuramı) çerçevesinde ele almakta ve kimyanın doğasını, özellikle de kimyasal tepkimelerdeki dönüşümleri ve maddenin hiyerarşik yapısını Mereoloji'nin kavramsal araçlarını kullanarak analiz etmektedirler. Yazarlar, böylece, kimyanın özündeki parça-bütün dinamiklerini, Mereoloji'nin katı mantıksal çerçevesiyle ele alarak, kimyasal ontoloji ve epistemoloji üzerine yeni bir perspektif sunmaktadırlar.

Cetin ve diğerleri (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, bilim felsefesi bakış açılarının, bilim eğitimine entegrasyonunun gerekliliği vurgulanmakta ve kimya eğitiminde kimya felsefesinin uygulamalarına çok az değinilmiş olmasına dikkat çekilmektedir. Ayrıca, bilim eğitiminde argümantasyonun önemli bir araştırma alanı olarak yükselişine odaklanılmakta ve kimya öğretmen adaylarının *bilimsel argümantasyon* becerileri ile *kimyanın doğasına* yönelik anlayışlarının birbiriyle güçlü bir şekilde ilişkili olduğu savunularak, öğretmen eğitiminde bu iki konunun birlikte ele alınmasının gerekliliği vurgulanmaktadır.

Kavramların, işaretlerin ve sembollerin ezberlenmesi tek başına yeterli olmadığı gibi, olguların salt tanımı da yeterli değildir. Bir ögenin ortaya çıkmasını ve işlevini görmesini sağlayan bağlamları göz önünde bulundurarak, o ögenin birbiriyle bağlantılı iç bileşenlerinden zuhur eden özelliklerin analiz edilmesini içerir. Eğitim alanı, kendi öğrenme süreçlerini anlamaya yönelik teorik çerçevelerden yoksundur. İçeriğin nasıl sunulduğuna yapılan vurgu, günümüzde öğretilenlerin özünden önce gelmekte ve bu durum, belirli bir olguyu mümkün kılan iç dinamiklerin anlaşılmasını engellemektedir. Moleküler devrimin teorik çerçevesi kapsamında, “ortaya çıkan özellikler ya da kavramlar”, kimya öğretmenlerini, açıklayacakları olgunun anlaşılmasını ve gözlenmesini sağlayan temel unsurları açıkça ortaya koymaları hususunda zorlayıcı bir işleve sahip olabilir (Lakatos, 1978).

Guattari'nin felsefi fikirlerinin öğrenme ortamlarına entegrasyonuna yönelik örnek bir çalışma kapsamında, kimya programına kayıtlı son sınıf öğrencilerine yönelik bir seminer dersi çerçevesinde tek bir su molekülünün ağırlığının hesaplanmasına yönelik bir değerlendirme çalışması yapılmıştır (Vivas-Reyes vd., 2024). Ancak bu değerlendirme, öğrencilerin verdiği

yanıtlar arasında önemli bir tutarsızlığı ortaya çıkarmakla kalmamış, aynı zamanda onların temel kavramları anlayışlarındaki derin bir eksikliği de ortaya koymuştur. Katılımcıların çoğunluğu yalnızca tek bir molekülün ağırlığına odaklanmak yerine, farkında olmadan bir mol suyun ağırlığını hesaplamışlardır. Bu durum, mol ve molekül gibi temel kavramların anlaşılmasında yaygın bir eksikliğe işaret etmektedir. Öğrencilerin spesifik molekül ağırlığı yerine, istemsizce, molar niceliğe vurgu yapmaları kavramsal bir kırılmanın varlığını düşündürmektedir. Sonuç olarak, çalışma kapsamında, kimyasal hesaplamalarda moleküler ve makroskobik ölçekler arasındaki ayrımın netleştirilmesinin gerekliliği vurgulanarak, Guattari'nin fikirlerinin de dahil edildiği, öğrenme yöntemlerinin bir incelemesi yapılmıştır.

Yukarıdaki çalışmanın devamı niteliğinde, aynı ders kapsamında, öğrenciler dersin başlangıcından itibaren Guattari'nin moleküler devriminin temel ilkelerine maruz bırakılmışlardır. Öğrenciler, onun ilgili çalışmalarını derinlemesine incelemeleri ve bu çalışmalar ile kimyasal kavramları öğrenmeleri arasındaki ilişkiye daha yakından bakmaları konusunda teşvik edilmişlerdir. Sonuç olarak, kimyada “ortaya çıkan özellikler ve kavramların” anlaşılmasında önemli düzeyde gelişmeler gözlemlenmiştir. Böylece, felsefi fikirlerin kimya eğitimiyle bu şekilde bir araya getirilmesi, öğrencilerin kavrayışını zenginleştirmekle kalmayıp aynı zamanda bütünsel bir bakış açısı sunarak kimyasal kavramlar ve hesaplamalarda var olan karmaşıklıkların daha derin bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır.

Öğretim uygulamaları aracılığıyla öğrenciler geleneksel eğitim uygulamalarını sorgulamaya ve daha kapsayıcı ve katılımcı yaklaşımları desteklemeye teşvik edilebilir. Bu, Guattari'nin sunduğu fikirlerle oldukça uyumludur ve tüm öğrenciler için daha eşitlikçi ve zenginleştirici bir kimya eğitimine doğru önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir (Vivas-Reyes vd., 2024).

### **1.3. “Ortaya Çıkan Özellikleri” Araştırmak İçin Örnek Etkinlikler**

“Ortaya çıkan özellikleri” anlamak, kavramların daha derinlemesine geliştirilmesi ve anlaşılması ve kimyasal sistemlerin temel doğası hakkında özümsemesine bir anlayış elde edilmesi için önemlidir. Bu başlık altında, öğrencilerin çeşitli aktiviteler aracılığıyla kimyasal sistemlerdeki (çözeltiler ve polimerler) “ortaya çıkan özellikleri” nasıl araştırabileceklerine dair pratik örnekler incelenecektir.

#### **1.3.1. Çözeltiler**

Guattari'nin fikirlerini çözeltiler özelliklerinin keşfine entegre etmek için, hem kimyasal etkileşimleri hem de bu fenomenlerin daha geniş ölçekli etkilerini ele alan kapsamlı bir yaklaşım dikkate alınabilir. Bu yaklaşımla öğrencilerin, “ortaya çıkan özellikler” kavramıyla tanışmalarına olanak sağlanması amaçlanmaktadır. Başlangıç olarak, farklı çözünen maddeler ve konsantrasyonlarda deneylerin yürütülmesi, “ortaya çıkan özelliklerin” karmaşık dünyasını araştırmaya olanak tanıyabilir. Böylece öğrencilerin, çözeltilerdeki değişiklikleri gözlemleyerek, bu özelliklerin ortaya çıkmasına neden olan temel mekanizmaları daha iyi çözebilecekleri düşünülmektedir. Bu amaca yönelik olarak aşağıdaki başlıklar altında yer alan etkinlik dizisi önerilebilir (Vivas-Reyes vd., 2024):

##### **1.3.1.1. Çözeltilerin Rolünün Araştırılması ve Analizi**

Öğrenciler araştırmalarına, çözeltilerin kimyasal özelliklerini ve işlevlerini eleştirel bir şekilde değerlendirerek başlayabilirler. Sonrasında bu özelliklerin, çeşitli kimyasal reaksiyonları ve uygulamaları nasıl etkilediğini araştırabilirler. Buna ilaveten, çözeltiler davranışının altında yatan karmaşık mekanizmaları kavrayabilme amacına yönelik olarak, çözünen maddeler ve çözücüler arasındaki detaylı moleküler etkileşimleri inceleyebilirler. Bu ayrıntılı kimyasal analiz öğrencilerin, çözeltiler kimyasında yer alan karmaşıklıkları, Guattari'nin çokluk ve karmaşıklık kavramlarıyla uyumlu bir şekilde anlamalarına katkı sağlayabilir.

### 1.3.1.2. Çözeltilerin Kimyasal Bileşimi ve Yapısının Keşfi

Bu başlık altında öğrenciler, çözünen maddeler ve çözücüler arasındaki moleküler etkileşimleri mikro altı düzeyde araştırabilirler. Bu aşamada, öğrenciler, bu etkileşimlerin viskozite ve yoğunluk gibi çözeltilerin makroskobik özelliklerini nasıl etkilediğine dair ayrıntılı bir anlayış sergileyebilmeleri ve böylece mikro altı ve molar seviyeler arasında bir bağlantı kurabilmeleri yönünde teşvik edilebilirler.

### 1.3.1.3. Çözeltilerin “Ortaya Çıkan Özelliklerinin” Analizi

Öğrencilere, çözeltilerin “ortaya çıkan özelliklerinin”, onların çok yönlülüğüne ve pratik uygulamalarına nasıl katkıda bulunduğunu analiz etmeleri konusunda rehberlik edilebilir. Böylece öğrencilerin, viskozite ve yoğunluk gibi özellikleri inceleyerek bunların, karmaşık çözünen-çözücü etkileşimlerinden nasıl ortaya çıktığını anlayabilmelerine olanak sağlanmış olur. Bu yöndeki analiz, Guattari'nin felsefesindeki “ortaya çıkış” kavramını yansıtmaktadır.

### 1.3.1.4. Yenilikçi Çözümler Arayın

Son aşamada öğrenciler, gerçek dünya sorunlarını ele alan ve bu sorunlara yenilikçi çözümler geliştirmeyi amaçlayan araştırmalarla ilgilenmeleri konusunda yönlendirilebilir. Çözeltilerin moleküler özelliklerinin, çevre sorunlarını çözmek için nasıl kullanılabileceğini düşünmeleri için cesaretlendirilebilirler ve böylece mikro altı düzeyde ayrıntılı bir analiz yapmalarına olanak sağlama şansı elde edilmiş olur. Bu genişletilmiş yaklaşım, öğrencilerin çözeltilerin kimyasal yönlerini anlamalarının yanı sıra, Guattari'nin “çokluk” ve “karmaşıklık” kavramları doğrultusunda, bunların karmaşıklığını daha geniş bir bağlam içerisinde değerlendirmelerini sağlayabilir (örneğin, tuzlu suyun, su ve tuzun basit toplamı olmayıp, iyon-dipol etkileşimleriyle oluşan yeni bir faz olması ve çözelti içindeki moleküllerin ve iyonların sürekli hareket ederek birbirleriyle merkezi olmayan ve sayısız etkileşim kurması, sırasıyla “çokluk” ve “karmaşıklık” kavramlarıyla ilişkilendirilebilir).

Bu bütünsel yaklaşım, öğrencilerin kimyasal olgulara ilişkin anlayışlarını geliştirmekle kalmaz, aynı zamanda bilimsel, sosyal ve çevresel boyutların birbiriyle bağlantılılığının önemini kavrayarak bunlara yönelik eleştirel düşüncelerini de teşvik edebilir. Öğrencilerin bu etkinliklere katılımıyla, moleküler devrimin mantığına uygun düşecek biçimde, kimyasal olguların gelişimini sürekli ve öznel bir süreç olarak deneyimlemeleri sağlanabilir. Bu yöntem, öğrencileri yüzeyin ötesini görmeye, yeni malzemelerin dönüştürücü potansiyelini ve daha geniş kapsamlı etkilerini fark ederek yerleşik normları anlamaya ve sorgulamaya teşvik edebilir.

## 1.3.2. Polimerler ve Plastikler

Guattari'nin fikirlerini polimerler ve plastikler konusuna entegre etmek için, bu malzemelerin kimyasal bileşimlerinden sosyal ve çevresel etkilerine kadar çok yönlü yönlerini ele alan disiplinler arası bir yaklaşım dikkate alınabilir (örneğin, petrolün çıkarılması, polimerizasyon, şişe üretimi, dağıtımı ve nihayetinde okyanuslarda birikimi, plastiklerin küresel bir makine içinde durmaksızın hareket eden bir "akış" olarak işlediğini gösterir). Bu bağlamda, aşağıdaki başlıklar altında yer alan etkinlik dizisi önerilebilir (Vivas-Reyes vd., 2024):

### 1.3.2.1. Polimerlerin ve Plastiklerin Rolünün Araştırılması ve Analizi

Öğrenciler, polimerlerin ve plastiklerin toplum üzerindeki etkisini farklı perspektiflerden eleştirel bir şekilde inceleyerek araştırmalarına başlayabilirler. Öğrencilerin, kimyasal özelliklerinin ötesinde, sosyal, ekonomik ve çevresel yönleri üzerindeki etkilerini incelemeleri teşvik edilebilir ve böylece Guattari'nin çokluk ve karmaşıklık kavramı doğrultusunda, bu malzemelerle ilişkili sorunların karmaşıklığını anlayabilmelerine zemin sağlanmış olur (örneğin, plastiklerin ucuzluğu ve pratikliği, tüketicilerde "arzu makinesi" (haz alma ve kolaylık arayışı) tarafından körüklenen sürekli bir atma ve yenileme döngüsü yaratmaktadır. Bu durum, büyük

şirketlerin tek kullanımlık ürünlerle kar marjlarını artırırken, atıkların yükünü genellikle, güney ülkelerindeki yoksul topluluklara yıkan hiyerarşik ve eşitsiz bir "sosyal ekoloji" ortaya çıkarmaktadır).

### **1.3.2.2. Plastiklerin Kimyasal Bileşimi ve Yapısının Araştırılması**

Bir sonraki adımda öğrencilerin, çeşitli plastik türlerinin moleküler yapısını mikro altı düzeyde inceleyebilmelerine olanak veren ortamlar sağlanabilir. Bu aşamada öğrenciler, kimyasal bileşimin, malzemelerin makroskobik özelliklerini nasıl etkilediğine dair ayrıntılı bir anlayış kazanmaları ve böylece mikro altı ve molar seviyeler arasında bir bağlantı kurabilmeleri için yönlendirilebilir.

### **1.3.2.3. Polimerlerin “Ortaya Çıkan Özelliklerinin” Analizi**

Öğrenciler, polimerlerin “ortaya çıkan özelliklerinin” çok yönlülüğüne ve onların pratik uygulamalarına nasıl katkıda bulunduğunu analiz etmeleri için yönlendirilebilir. Sonrasında moleküler düzeydeki etkileşimlerin makroskobik özelliklere nasıl yol açtığı vurgulanabilir ve böylece Guattari'nin felsefesindeki “ortaya çıkma” kavramına dikkat çekilebilir.

### **1.3.2.4. Plastik Tüketiminin Sosyoekonomik ve Çevresel Yönlerinin Araştırılması**

Öğrenciler bu aşamada, bireysel ve bağlamsal faktörlerin plastiklerin aşırı tüketimi ile çevre ve toplum üzerindeki etkilerine nasıl katkıda bulunduğunu inceleyebilirler. Bu yönde bir analiz, öğrencilerin, sosyoekonomik dinamiklerin plastikleri çevreleyen sorunları nasıl etkilediğini anlamalarını sağlayabilir ve böylece mikro altı ve sosyoekonomik-çevresel seviyeleri birbirine bağlayabilmelerine olanak tanıyabilir.

### **1.3.2.5. Biyolojik Olarak Parçalanabilir Alternatiflerin Aranması**

Son olarak öğrenciler, geleneksel plastiklere oranla biyolojik olarak parçalanabilir alternatifler üzerine araştırma yapabilirler. Öğrenciler, bu yeni malzemelerin moleküler özelliklerinin, geleneksel olarak kullanılan plastiklerden kaynaklanan çevre problemlerinin üstesinden nasıl gelebileceğini düşünmeleri için teşvik edilebilir ve böylece mikro altı düzeyde ayrıntılı bir analiz gerçekleştirmeleri sağlanabilir. Bu genişletilmiş yaklaşım, öğrencilerin polimerlerin ve plastiklerin kimyasal yönlerini anlamalarını ve aynı zamanda Guattari'nin çokluk ve karmaşıklık kavramlarıyla uyumlu olarak bunların karmaşıklığını daha geniş bir bağlam içerisinde değerlendirmelerini sağlayabilir. Bu yöntem, bütünsel bir bakış açısı geliştirerek, bu malzemelerin bilimsel, sosyal ve çevresel boyutlarını ele almaktadır. Bu yaklaşım, öğrencileri yüzeyin ötesini görmeye, yeni malzemelerin dönüştürücü potansiyelini ve daha geniş kapsamlı etkilerini fark ederek yerleşik normları anlamaya ve sorgulamaya teşvik edebilir (Vivas-Reyes vd., 2024).

## **TARTIŞMA ve SONUÇ**

Kimya eğitimi alanında, “ortaya çıkan özellikler” ve “moleküler devrim” gibi kavramlar, moleküler süreçlerin kimyasal sistemlerin özelliklerini şekillendirmedeki etkisini vurgulamaktadır. Ancak öğrenciler genellikle bir mol ile bir molekül arasındaki farkta olduğu gibi temel ayrımları yapmada zorlanmaktadırlar ve bu da onların sorunların üstesinden etkili bir şekilde gelebilme becerilerini sınırlandırmaktadır. Guattari'nin “moleküler devrimi”, özel unsurları ve güç dinamiklerini hesaba katarak bu kavramları tarihsel ve sosyo-yapısal olarak bağlandırmak için teorik bir bakış açısı sağlamaktadır. Bu devrim, etkileşimler gibi mikro düzeydeki dinamiklerin daha geniş güç yapılarını nasıl yansıttığına dikkat çekmektedir. Özellikle mol-molekül ayrımında olması gerektiği gibi, kimyanın temel kavramlarının, net bir şekilde anlaşılması, etkili bir kimya eğitimi için kaçınılmazdır, ancak bu durumun öğrenciler için bir zorluk olmaya devam ettiği gözlenmektedir.

Guattari'nin "moleküler devrimi", moleküler süreçlerin makroskobik özellikler üzerindeki etkisini aydınlatarak ve disiplinler arası bağlantılar kurarak, kimya eğitiminin gelişimine katkıda bulunan felsefi bir çerçeve sunmaktadır. Bu bütünsel bakış açısı, bilimsel ve toplumsal alanlarda "ortaya çıkan özelliklerin" önemini vurgulayarak indirgemeci görüşlere meydan okumaktadır. Kolektif, aşağıdan yukarıya olan bir yaklaşımı benimsemek, "ortaya çıkan özelliklerin" öngörülemez doğasıyla uyumludur ki bu özellikler, karmaşık sistemler hakkında ayrıntılı bir anlayışı teşvik eder ve birbirine bağlılığı savunur. Kimyanın moleküler alandaki rolünün bilinmesi, Guattari'nin bakış açısının, kimyasal sistemler ve diğer disiplinler arasındaki karmaşık etkileşimi anlamadaki önemini vurgulamakta ve böylece kapsamlı bir eğitim yaklaşımının şekillenmesine zemin oluşturmaktadır.

Bunge (1982), kuantum kavramı özelinde kimyasal süreçlerin fiziksel ilkelere indirgenip indirgenemeyeceğini sorguladığı bir çalışmada, kuantum kimyasının kuantum fiziğine dayandığını ancak onun bir parçası olmadığını, dolayısıyla fiziğin bir dalı olarak görülemeyeceğini, aksine her iki bilim dalının karşılıklı olarak birbirlerini besleyecek şekilde bağımlı olduklarını iddia etmektedir. Bu durum, Vivas-Reyes'in makalesinin temelini oluşturan, kimyasal seviyedeki özelliklerin fiziksel seviyeden daha fazlası olduğu ve indirgenemez bir ontolojik statüye sahip olduğu iddiasıyla doğrudan paralellik göstermektedir.

Brakel (2012), kimyanın kendine özgü varlıkları (moleküller, bağlar, reaksiyonlar) ve bu varlıkların fiziksel dünyanın diğer parçalarıyla ilişkisinin maddelerin kendi varlıklarının ötesinde bir anlam taşıdığını ortaya koymaktadır. Benzer şekilde "ortaya çıkan özellikler" (emergent), sistemin bütünsel varlığının (ontolojisinin) bir parçasıdır ve bu varlıkların atomik parçacıkların toplamından nasıl "farklı" olduğunu incelemektedir.

Tüysüz (2016), kimyadaki öğrenme zorluklarının ve kavram yanlışlarının temel kaynaklarından birinin, öğrencilerin kimyasal varlıkların "ortaya çıkan özelliklerinin" doğasını anlamadaki yetersizliği olduğunu savunmaktadır. Sistem düşüncesinin, kimyasal uygulamaların vazgeçilmez bir yönü olduğunu tartışmakta ve öğrencileri sistemleri modelleme, tahmin etme ve yansıtma döngülerine dahil ederek bunun kimya eğitimine nasıl uygulanabileceğini göstermektedir.

Luisi (2002), Bu çalışma, ortaya çıkan özellikler kavramının kimyaya ve özellikle kimya eğitimine yeniden dahil edilmesinin, kimyasal karmaşıklığın anlamının daha derin bir şekilde anlaşılmasını sağlayacağını ileri sürmektedir. Bileşiklerin, elementel bileşenlerinin sahip olmadığı karakteristiklere sahip olması örneği üzerinden, "bütün, parçaların toplamından daha fazladır" ilkesini vurgulamaktadır.

"Ortaya çıkan özelliklerin" kimya eğitimine entegre edilmesinin önemine yapılan vurgu, öğrencilerin karmaşık sistemleri anlama becerilerinin artırılması amacıyla yapılmaktadır. Bu nedenle, kimya eğitimcilerinin, "ortaya çıkan özelliklerle" aşinalık derecesinin önemine vurgu yapan "sorgulamaya dayalı öğrenme" ve "sistem düşüncesi" gibi stratejilerin kullanılması önerilmektedir. Öğrencilerin, özellikle moleküler etkileşimleri analiz ederken "ortaya çıkan özellikleri" kavramda yaşadıkları zorlukların farkına varılması, indirgemeci bakış açılarından bütünsel bakış açılarına geçişin önemini vurgulamakta ve öğrencilerin zihinsel çerçevelerinin kapsamlı bir şekilde elden geçirilmesini teşvik etmektedir. Bu bağlamda kimya eğitimlerine yönelik şu önerilerde bulunulabilir:

#### *Bütüncül ve Dinamik Bir Görüşün Benimsenmesi*

- *Makro-Mikro-Sembol Üçlüsünün Köprülenmesi:* Öğrencilerin, makroskopik (gözlemlenebilir özellikler), mikroskopik (moleküler/atomik düzey) ve sembolik (denklemler, formüller) seviyeler arasındaki geçişleri net bir şekilde anlamaları teşvik edilebilir. Özellikle, makroskopik bir özelliğin (örneğin suyun kaynama noktası,) tek

tek moleküllerin değil, moleküller arası etkileşimlerin karmaşık bir sonucu (ortaya çıkan bir özellik) olduğu vurgulanabilir.

- *Dinamizmin Vurgulanması:* Kimyasal sistemler, statik ürünler olarak değil, sürekli etkileşim ve değişim halindeki dinamik sistemler olarak dikkate alınmalıdır. Örneğin, kimyasal reaksiyonlar, sadece başlangıç ve son durumlardaki değişimleriyle değil, moleküllerin birbirini nasıl etkilediği ve sistemi nasıl dönüştürdüğü (moleküler devrim) açısından da incelenebilir.

#### *Araştırmaya Dayalı Öğrenmenin (Inquiry-Based Learning) Kullanılması*

- *Keşifsel Senaryoların Oluşturulması:* Öğrencileri, bir sistemin toplu bir özelliğini (örneğin polimerin esnekliği, enzimin spesifikliğı) oluşturan temel moleküler etkileşimleri sorgulamaya ve keşfetmeye yönlendiren problem senaryoları tasarlanabilir.
- *Felsefi Sorgulamanın Teşvik Edilmesi:* "Ne?" ve "nasıl?" gibi basit soruların ötesine geçerek "neden?" ve "ne anlama geliyor?" gibi sorularla eleştirel düşünmenin geliştirilmesine odaklanılabilir. Örneğin, "Tek bir su molekülü ıslak mıdır? Islaklık özelliğı kaç molekülde ortaya çıkar?" gibi felsefi sorular sorulabilir.

#### *Disiplinler arası Yaklaşımların Entegre Edilmesi*

- Kimyanın yükselen özelliklerinin en belirgin olduğu biyolojik sistemler (proteinlerin katlanması, hücre zarı akışkanlığı) ve yeni malzemelerin (nanomateryaller) tasarımı gibi alanlarla bağlantılar kurarak konunun geniş kapsamına dikkat çekilebilir.

Bu felsefi bakış açısının, alan eğitimi araştırmacıları tarafından, kimya eğitiminin teorik ve yapısal düzeyine taşınabilmesi için atılabilecek adımlara yönelik şu önerilerde bulunulabilir: Kimya programına "ortaya çıkan özellikler" ve "sistem düşüncesi" kavramlarının hangi seviyelerde (lise, lisans, lisansüstü) ve hangi ana konularla (termodinamik, kimyasal kinetik, organik kimya) entegre edilebileceğine dair detaylı kavram haritaları ve öğrenme hedefleri oluşturulabilir. Kimya Felsefesi dersleri veya modülleri oluşturularak, indirgemecilik, açıklama biçimleri, yasalar, teoriler ve ortaya çıkan özellikler gibi kritik temaların öğretmen adaylarına ve öğrencilere aktarılması sağlanabilir. Öğretmenlerin, geleneksel indirgemeci bakış açılarından bütüncül/dinamik yaklaşıma geçişini destekleyecek pratik atölye çalışmaları ve kaynak materyaller (vaka çalışmaları, simülasyonlar) hazırlanabilir. Bu makalede ele alınan Guattari'nin "moleküler devrimi" ve "üçlü bilgi görüşü (triplet view of chemical knowledge)" gibi felsefi temellerin anlaşılmasını sağlayacak akademik seminerler düzenlenebilir. Yeni pedagojik stratejilerin geliştirilmesi için kritik veriler sağlayabilmesi açısından, öğrencilerin "ortaya çıkan özellikleri" ve karmaşık sistemleri kavramakta karşılaştıkları zorlukları ve bu alandaki kavram yanlışlarını tespit etmek için nitel ve/veya nicel eğitim araştırmaları tasarlanabilir.

Çözeltilerin, polimerlerin ve plastiklerin özelliklerini keşfetme, moleküler yapıları analiz etme ve kimyasal sistemleri simüle etme gibi pratik etkinlikler, öğrencilerin kimyasal sistemlerdeki "ortaya çıkan özellikleri" araştırmalarına yardımcı olmak için önerilebilir. Bu tür etkinlikler eleştirel düşünme becerilerini teşvik etmekte ve gerçek dünya uygulamalarına ilişkin anlayışlar sağlamaktadır. Aynı zamanda bu uygulamalar, kimya eğitiminde gelişen bakış açılarını ve zorlukları dikkate almak için öğretim uygulamalarında sürekli bir uyarlama yapmanın önemini vurgulamaktadır. Bu uyarlanabilirlik, kavramsal değişimleri benimsemek ve "ortaya çıkan özelliklerin" ve bunların etkilerinin daha derin bir şekilde anlaşılmasını kolaylaştırmak için oldukça önemli görünmektedir.

Öğretim uygulamalarının sürekli olarak ayarlanması, kimya eğitiminin değişen manzarasına etkili bir şekilde yanıt vermek için esastır. Bu anlamda Guattari'nin moleküler devrim kavramı, moleküler dinamikler ile makroskobik özellikler arasındaki karmaşık etkileşimi açıklayan sağlam bir teorik çerçeve sunuyor gibi görünmektedir. Kimya eğitimi, Guattari'nin

bakış açısının dahil edilmesiyle, geleneksel indirgemeci yaklaşımların ötesine geçerek moleküler süreçlerin sosyo-yapıcı doğasına kucak açmaktadır. Bu paradigma değişiminin, kimyasal sistemleri anlama yaklaşımımızı temelden yeniden tanımlamakta ve bunların çeşitli bilimsel disiplinlerdeki özelliklerin ortaya çıkışı üzerindeki derin etkilerini vurgu yapmakta olduğu iddia edilebilir. Bununla birlikte, Guattari'nin fikirlerinin gelişmiş bir kimya müfredatına entegre edilerek, öğrencilerin kavramsal anlayışlarında ve onların analitik düşünme becerilerinde kanıtlanabilir değişimlere yol açıp açmadığını gösterebilecek daha fazla sayıda araştırmanın gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Aycan, H. Ş. & Aycan, N. (2016). Kimya felsefesi ve mereoloji. *Türkiye Kimya Derneği Dergisi Kısım C: Kimya Eğitimi*, 1(2), 25-38.
- Brakel, J. V. (2012). *Substances: The Ontology of Chemistry*. Editor(s): Andrea I. Woody, Robin Findlay Hendry, Paul Needham, In *Handbook of the Philosophy of Science, Philosophy of Chemistry*, Volume 6, Pages 191-229, ISSN 18789846, ISBN 9780444516756, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51675-6.50018-9>.
- Bunge, M. (1982). Is chemistry a branch of physics?. *Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*, 13, 209–223. <https://doi.org/10.1007/BF01801556>
- Cetin, P. S., Erduran, S. & Kaya, E. (2010). Understanding the nature of chemistry and argumentation: the case of pre-service chemistry teachers, *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(4), 41-59.
- Constable, D. J. C., Jimenez-Gonzalez, C. & Matlin, S. A. (2019). Navigating complexity using systems thinking in chemistry, with implications for chemistry education. *J. Chem. Educ.* 96, 2689–2699. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00368>
- Deleuze, G. & Guattari, F. (1991). *What is Philosophy?* Columbia University Press, New York.
- Deleuze, G. & Guattari, F. (2012). *Anti-Ödipus - Kapitalizm ve Şizofreni 1*. Bilim ve Sosyalizm Yayınları, (çev. Fahrettin Ege, Hakan Erdoğan, Mustafa Yiğitalp).
- Erduran, S. (2000). Emergence and application of philosophy in chemistry education. *School Science Review*, 81(297), 85 - 87. <http://www.ase.org.uk/journals/school-science-review/2000/06/297/>
- Goedhart, M. (2015). Changing Perspectives on the Undergraduate Chemistry Curriculum. In J. GarciaMartinez, & E. Serrano-Torregrosa (Eds.), *Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends* (pp. 73-97). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527679300.ch4>
- Guattari, F. (2020). *Moleküler devrim*. Otonom Yayıncılık, (çev. Işık Ergüden).
- Indriyanti, N. Y. (2016). *The mole concept: students' misconception, difficulties, and the challenge*. Schöling Verlag.
- Kılıç, T. (2023). *Yeni Bilim: Bağlantısallık - Yeni Kültür: Yaşamdaşlık*. Ayrıntı Yayınları.
- Koçak, P.D. (2024). *Kitap İnceleme: Türker Kılıç'tan Bağlantısallık ve Yaşamdaşlık*. <https://pelindilaracolak.substack.com/p/baglantsallk-ve-yasamdaslk>
- Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes: philosophical papers*, Vol. 1; Cambridge University Press.

- Luisi, P. L. (2002). Emergence in chemistry: Chemistry as the embodiment of emergence. *Foundations of Chemistry*, 4(3), 183-200.
- Orgill, M., York, S. & MacKellar, J. (2019). Introduction to systems thinking for the chemistry education community. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2720-2729.
- Sarıtaş, D. & Tufan, Y. (2012). Periyodik Sistemin Öğretiminde Epistemolojik Bilgi Üretme Yöntemlerinden Biri Olan Tümevarımın Kullanımı. *Kastamonu Education Journal*, 20(1), 203-218.
- Sarıtaş, D. & Tufan, Y. (2013). İndirgemecilik açısından kimya öğretiminde makro ve mikro bilgi seviyeleri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 33(2), 165-192.
- Sarıtaş, D. & Tufan, Y. (2019). Periyodik Yasa-Sistem İlişkisi Nasıl Kurulmalıdır? Kimya Öğretimine Bilim Tarihi ve Felsefesinden Çıkarımlar. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 34(1), 27-53. <https://doi.org/10.16986/HUJE.2018043649>
- Sarıtaş, D., Özcan, H. & Adúriz-Bravo, A. (2021). Observation and inference in chemistry teaching: a model-based approach to the integration of the macro and submicro levels. *Sci & Educ* 30, 1289–1314. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00216-z>
- Sarıtaş, D. & Özcan, H. (2024). Bilimsel bilginin basitleşmesine dayalı didaktik dönüşümün kimya öğretiminin sorunları ile ilişkisi hakkında bir argüman. *Milli Eğitim Dergisi*, 53(242), 907-936. <https://doi.org/10.37669/milliegitim.1217681>
- Scerri, E. R. (2000). *Naïve realism, reduction and the intermediate position*. In *Of Minds and Molecules*; Bhushan, Rosenfeld, Eds.; Oxford University Press.
- Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 10-23.
- Talanquer, V. (2008). Students' predictions about the sensory properties of chemical compounds: additive versus emergent frameworks. *Sci. Educ.*, 92(1), 96–114. <https://doi.org/10.1002/sce.20235>
- Tümay, H. (2016). Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: emergence in chemistry and its implications for chemical education. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 17 (2), 229–245. DOI: 10.1039/c6rp00008h
- Vivas-Reyes, R., Navarro, D. & Cortes, L. E. (2024). Exploring Emergent Properties in Chemistry Education: A Philosophical Perspective on the Molecular Revolution. *J. Chem. Educ.*, 101, 4173–4181. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00238>

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

The concepts of “emergent properties” and “molecular revolution” are intrinsically linked, as both involve complex systems that require higher-level analysis to understand their potential for change. Recognizing multiple levels of organization, as suggested by Guattari’s molecular revolution, involves identifying at least two distinct levels: the individual and the social (or group) level. These principles can be applied to chemical and biological processes and allow for the recognition of additional levels, such as the molecular and the cellular. “Emergent properties,” which develop at higher levels of organization but are not present at lower levels, have the potential to foster new forms of social and political organization that are more equitable and viable. This interdisciplinary approach not only fosters critical thinking skills, but can also encourage students to consider the broader impact of chemistry in their environment by

recognizing how scientific principles can affect and be affected by social and political contexts. Such integration can significantly enrich chemistry education by providing students with a more holistic and contextualized understanding of science and its impact on society (Vivas-Reyes et al., 2024).

The term ‘emergent properties’ refers to properties that arise from complex interactions within composite systems, as opposed to ‘additive properties’ that arise directly from the combination of individual properties, such as mass or electric charge. These properties are relatively difficult to predict because they do not depend solely on the individual properties of the component parts. Furthermore, reinforcing their dynamic and context-dependent nature within complex systems, these properties cease to exist when the system is broken down or rearranged. This dynamic interaction highlights the intricate and often unpredictable nature of ‘emergent properties’, thus enriching our understanding of scientific interdisciplinary issues. Although ‘emergent properties’ are associated with nonlinear complex systems, it is important to recognize that ‘emergence’ is fundamental to chemistry because the properties of atoms, molecules and liquids emerge from the elements or components that compose them (Talanquer, 2008; Tümay, 2016).

Sarıtaş and Tufan (2013) point out that the reductionist approach is widely used in chemistry teaching materials (especially textbooks) in transitions from macro-level to sub-micro levels. They note that students experience conceptual difficulties in these rapid and frequent reductionist transitions between macro and micro levels, and struggle to fully establish the relationship between these two levels. In this context, they emphasize the necessity of using holistic and emergent perspectives, rather than relying solely on a reductionist approach when explaining chemical phenomena. In chemistry education, students' erroneous transitions between macro (observable) and sub-micro (unobservable, molecular level) levels lead to many misconceptions. For example, students may make incorrect inferences when reducing a macro-level observation (a liquid boiling) to a sub-micro-level phenomenon (separation of molecules from each other). Sarıtaş et al. (2021) offer a didactic framework to address this problem of transitions between levels, which is common in chemistry education and considered a major cause of students' misconceptions. The authors propose a model-based approach that will enable students to establish appropriate relationships between these two types of knowledge, and suggest that this approach will help them understand the complex relationship between observation and theoretical inference, thus enabling them to explain chemical phenomena in a more robust, consistent, and comprehensive way.

Based on this theoretical foundation, the aim of this article is to explore the implications of Guattari's "molecular revolution" in the context of chemistry education and to shed light on how it can contribute to the learning of this complex field. The basic idea here is to bridge the gap between philosophy and chemistry to some extent, inspiring a new perspective that encourages students to see the world of atoms and molecules not as isolated entities but as integral components of a larger and interconnected fabric of science.

What exactly does the molecular revolution represent for Guattari? The molecular revolution that Guattari envisions represents a profound change in our understanding and interaction with the world around us. In the field of chemistry, this concept takes on even greater importance, especially in the context of chemistry education. So how should this concept be understood? For centuries, the world has been perceived in a static (unchanging) and simplified way, as if it were a collection of separate, non-interacting parts. The molecular revolution challenges us to change this perspective and to recognize that chemical processes, from simple reactions to complex mechanisms, are actually dynamic systems in which molecules interact in complex and often unexpected ways. So what does this change entail? It involves accepting the view that chemistry is not just about combining elements to produce products, but is a discipline based on a deep understanding of molecular interactions at a fundamental level.

## Results and Discussion

Guattari's "molecular revolution" provides a philosophical framework that contributes to the development of chemistry education by illuminating the impact of molecular processes on macroscopic properties and establishing interdisciplinary connections. This holistic perspective challenges reductionist views by emphasizing the importance of "emergent properties" in scientific and societal domains. Adopting a collective, bottom-up approach is consistent with the unpredictable nature of "emergent properties," which encourages a detailed understanding of complex systems and advocates for interconnectedness. Recognizing the role of chemistry in the molecular domain highlights the importance of Guattari's perspective in understanding the complex interactions between chemical systems and other disciplines, thus paving the way for a comprehensive educational approach.

The emphasis on the integration of "emergent properties" into chemistry education is intended to increase students' ability to understand complex systems. Therefore, it is recommended that chemistry educators use strategies such as "inquiry-based learning" and "systems thinking," which emphasize the importance of familiarity with "emergent properties." Recognizing the difficulties students have in grasping "emergent properties," especially when analyzing molecular interactions, highlights the importance of shifting from reductionist to holistic perspectives and encourages a comprehensive revision of students' mental frameworks. Practical activities such as exploring the properties of solutions, polymers, and plastics, analyzing molecular structures, and simulating chemical systems can be suggested to help students investigate "emergent properties" in chemical systems. Such activities foster critical thinking skills and provide insights into real-world applications. At the same time, these practices emphasize the importance of continually adapting teaching practices to account for evolving perspectives and challenges in chemistry education. This adaptability seems crucial to embracing conceptual changes and facilitating a deeper understanding of "emergent properties" and their implications.