



Journal of Turkish Chemical Society Section C: Chemistry Education (JOTCSC)
Vol. 6, Issue 1, March 2021, pp. 1-22. ISSN: 2459-1734.
Türkiye Kimya Derneği Dergisi Kısım C: Kimya Eğitimi
Cilt 6, Sayı 1, Mart 2021, sayfa 1-22. ISSN:2459-1734.

Derleme / Review



Le Chatelier's Principle: Does It Provide Educational Easiness or Difficulty?

Safiye TEMEL ASLAN

Aksaray University, Bahcesaray, 68100, Aksaray, safiye79temel@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-6969-8871>

Received: 19.11.2020

Accepted: 25.02.2021

Doi: <https://doi.org/10.37995/jotcsc.828470>.

Abstract:

Misconceptions are among the main topics of interest in chemistry education. One of the points emphasized while analyzing the causes of misconceptions is epistemological difficulties. The point analyzed here pertains to the difficulties caused by the nature of concepts or their misconceptions. However, the concept itself can sometimes be the source of misconception due to its ambiguities which in turn leads to hesitation of whether that concept should be taught or not. In this study, Le Chatelier's principle-included in the chemical equilibrium topic-will be illustrated as an example for such a situation. In this respect, the ambiguities and criticisms conducted upon this principle along with the reasons and recommendations have been analyzed altogether.

Keywords: Chemical equilibrium, Le Chatelier's principle, learning/teaching.

Corresponding author: Safiye TEMEL ASLAN, safiye79temel@gmail.com

EXTENDED SUMMARY

Introduction

Many studies in science education involve significant incentives regarding the nature of science and how students can acquire an understanding of it (Demirbaş, 2013; Kutluca & Aydın, 2017; Yenice, 2015). As the literature about the nature of science was reviewed; it is observed to focus on the characteristics of scientific knowledge. In this sense, there are different types of scientific knowledge, and they can be expressed in the following

ways: phenomenon, concept, principle, law, hypothesis, and theory (Bilen, 2015; Çepni, 2012; Çoban & Sağlam, 2016; Çobanoğlu, 2013; Lederman, 2007). In this study, an example of these types of scientific knowledge in chemistry, Le Chatelier's principle was examined. The principle has certain ambiguities which lead to misconceptions. However, the controversial aspect of the principle is not widely known.

What is Le Chatelier's Principle (LCP)?

LCP is used to qualitatively predict how a system evolves when its equilibrium state is disturbed by an external influence that may cause a change in the volume, pressure, temperature, or concentration of the system (García-Lopera et al., 2014). Although Henri Louis Le Chatelier and Karl Ferdinand Braun independently formulated the principle, it is called with Le Chatelier's name in textbooks. Le Chatelier made three qualitative explanations about his principle in 1884, 1888, and 1933 (Olivera-Fuentes & Colina, 2007; Quílez, 2004a). Since then, many researchers and textbook writers have attempted to restate the principle in a general manner (Prigogine & Defay, 1954, cited in Hillert, 1995; Quílez, 2004a). Especially in textbooks, many different qualitative explanations have been made about LCP. For instance, "If an external stress is applied to a system at equilibrium, the system adjusts in such a way that the stress is partially offset as it tries to reestablish equilibrium" (Chang & Goldsby, 2014, p. 646). Although the principle is widely taught to high school and university students, there are many criticisms of this principle.

Criticisms towards LCP

In criticisms of LCP, it is stated that the principle has certain ambiguities and a limited character (Cheung, 2004; Lacy, 2005; Quílez, 2004a; Solaz-Portoles & Quílez-Pardo, 1995; Solaz & Quílez, 2001). However, despite these insufficiencies, it is mostly assumed and used as it has an absolute form (Gold & Gold, 1985). Additionally, the generalizations in the textbooks that were made during the restatement of the principle are also problematic (Cheung et al., 2009). For instance, in the textbooks, it is explained as Le Chatelier's principle states that when stress is applied to a system at equilibrium the equilibrium conditions shift in such a way as to relieve the stress (Ertekin et al., 2019, s. 326-330; Güntut et al., 2019, s. 234, 236, 238). This generalization may ignore the fact that predictions based on the principle may contradict experimental facts and calculations (Cheung et al., 2009).

Misconceptions related to LCP

Misconceptions about LCP may concentrate on three points. The first misconception is related to the misuse of LCP in predicting the change that may occur when more solid reactant or product is added to heterogeneous equilibrium system at constant volume

and temperature (Cliff, 2009; Piquette & Heikkinen, 2005; Voska & Heikkinen, 2000). Over-generalization of the principle can be stated to underlie this misconception (Piquette & Heikkinen, 2005).

The second misconception about LCP indicates the misuse of the principle in predicting the change, which may occur when an inert gas is added to the system in equilibrium (gas-phase equilibrium) at constant volume and temperature (Cheung, 2004; Furio et al., 2000; Yakmacı-Güzel, 2014). Here, the misconception occurs as no change is considered to occur in the equilibrium system with the thought that the variables such as pressure, temperature, volume, and concentration of any substance in the equilibrium system are kept constant and that the inert gas will not react with any substance in the equilibrium system (Furio et al., 2000).

The third misconception about LCP is related to predicting the change, which may occur when a gaseous reactant or product is added to gas-phase equilibrium at constant pressure and temperature (Cheung, 2009a, 2009b; Cheung et al., 2009; Lacy, 2005; Solaz & Quílez, 2001). One of the reasons underlying this misconception can be stated as overconfidence or over-loyalty to the rationale of LCP (Cheung, 2009b). On the other hand, trying to execute LCP without completely understanding it may also be the basis for all the misconceptions.

An Educational Approach to the Context of LCP

LCP's limited character and criticisms towards LCP raise the following question: What else other than LCP can be used in predicting the change, which may occur in a system in equilibrium by the influence of any external effect? When the literature about the answer of this question is reviewed; recommendations/usage tendency related to the topic is observed to focus on reaction quotient, Q (Cheung, 2004, 2009a; 2009b; Cheung et al., 2009; Lacy, 2005; Miller, 1954; Solaz-Portoles & Quílez-Pardo, 1995). The approach regarding the examination of the effect of temperature change on a system in equilibrium is seen to focus on the van't Hoff's thoughts and his equation (Cheung, 2004, 2009a, 2009b; Cliff, 2009; Gold & Gold, 1985; Kemp, 1987; Solaz & Quílez, 2001; Solaz-Portoles & Quílez-Pardo, 1995). Depending on thermodynamic principles, these recommendations can be stated to provide an opportunity to approach chemical equilibrium with an in-depth understanding.

Conclusion

LCP is widely used to predict the direction in which a chemical equilibrium will shift when it is disturbed. Although the principle provides a simpler introduction and easiness conceptually and it is seen as an easy and usable rule by students; it has certain ambiguities and therefore causes misconceptions. In the literature, it is suggested to use

the reaction quotient and van't Hoff's equation instead of LCP. Although the given alternatives are taught in addition to LCP, it is a well-known fact that students have a strong loyalty to LCP (Canpolat & Pınarbaşı, 2012; Cheung, 2009b; Cliff, 2009). Therefore, re-evaluating whether teaching the principle is necessary or not and provides convenience or difficulty is recommended.

Le Chatelier Prensibi: Öğretimsel Kolaylık mı, Zorluk mu?

Safiye TEMEL ASLAN

Aksaray Üniversitesi, Bahçesaray, 68100, Aksaray, safiye79temel@gmail.com,
https://orcid.org/0000-0001-6969-8871

Gönderme Tarihi: 19.11.2020

Kabul Tarihi: 25.02.2021

Doi: <https://doi.org/10.37995/jotcsc.828470>.

Özet:

Yanlış kavramalar, kimya eğitiminin ilgilendiği başlıca konular arasında yer almaktadır. Yanlış kavramaların nedenleri incelenirken vurgu yapılan noktalardan biri de epistemolojik zorluklardır. Burada bahsedilen; kavramın doğasından veya özelliklerinden kaynaklanan zorluklar ya da kavramla ilgili yanlış kavramalardır. Oysa bazen kavramın kendisi içerdiği belirsizliklerden dolayı başlı başına yanlış kavrama kaynağı olabilmekte ve öğretilip öğretilmemesi konusunda soru işaretlerine yol açabilmektedir. Bu çalışmada kimyasal denge konusu içinde yer alan "Le Chatelier prensibi"nin buna dair bir örnek olduğu ileri sürülmektedir. Bu bağlamda çalışmada Le Chatelier prensibinin belirsizlikleri ile prensibe yöneltilen eleştiriler, gerekçeleri ve önerileriyle birlikte alanyazına dayalı olarak incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kimyasal denge, Le Chatelier prensibi, öğrenme-öğretme.

Sorumlu yazar: Safiye TEMEL ASLAN, safiye79temel@gmail.com.

GİRİŞ

Fen bilimleri eğitimi alanında yapılan pek çok çalışma, bilimin doğası ve buna ilişkin anlayışın öğrencilere kazandırılması konusunda önemli teşvikler içermektedir (American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1990; Demirbaş, 2013; Lederman, 2007; Lederman vd., 2002; Kutluca & Aydın, 2017; Yenice, 2015). İlgili çalışmalarda bilimin doğasına dair yapılan açıklamalar incelendiğinde; bilimsel bilginin özelliklerine yer verildiği (Lederman, 2007), bilimsel bilginin türleri olduğu ve bunların olgu, kavram, ilke (prensip), yasa (kanun), hipotez (deneme) ve kuram (teori) şeklinde ifade edilebileceği belirtilmektedir (Bilen, 2015; Çepni, 2012; Çoban & Sağlam, 2016; Çobanoğlu, 2013; Lederman, 2007). Bu çalışmada adı geçen bilimsel bilgi türlerinden ilkenin (prensip), kimya bağlamında bir örneği olan Le Chatelier prensibi (LCP) incelenmiştir. LCP'nin incelenmesinin nedeni; prensipte bazı belirsizliklerin olduğu ve yanlış kavramalara yol açtığı, öğrenciler tarafından ezbere uygulanan bir kural olması nedeniyle kimyasal denge konusunda derin bir anlayış kazandıramaması (Cheung vd., 2009; Quilez, 2004a), her ne kadar prensibin termodinamik yasalara dayalı olarak ifade edildiği belirtilse de (Olivera-Fuentes & Colina, 2007) prensibin dayandığı kimyasal anlayışın ne olduğunun

açıklamalarda yer almaması gibi eğitimsel deneyimlerdir. Öte yandan prensibin tartışmaya açık yanı da yaygın olarak bilinmemektedir.

Alanyazın incelendiğinde LCP'nin kimyasal denge konusu içinde ya da tek başına ele alındığı görülmektedir. İlgili çalışmalarda, prensibin farklı yöntem ve teknikler kullanılarak öğretilmesine ya da prensiple ilgili öğrencilerin anlayışlarının/öğrencilerdeki yanlış kavramaların belirlenmesine yer verilmektedir (Bilgin vd., 2016; Coştu & Ünal, 2004; Doğan vd., 2007; Hanson, 2016; Pekmez, 2010; Şendur vd., 2011). Ancak prensibin içerdiği belirsizlikleri ve bu nedenle tartışmalı yönü olduğunu ele alan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışma ile prensibin alanyazın ışığında incelenmesi, belirsizliklerinin ortaya koyulması ve dikkatlerin prensibin tartışmalı yönüne çekilmesi amaçlanmıştır. Buradaki incelemede her ne kadar ders kitaplarında yer alan açıklamalara değinilmiş olsa da kitap/doküman inceleme çalışmanın kapsamı dışındadır. Çalışmada prensibe odaklanılmıştır. Böylece prensiple ilgili göreceli olarak çok az bilinen konulara değinilerek prensibin öğretilip öğretilmemesi konusu üzerinde tekrar düşünülebileceğinin dikkatlere sunulması hedeflenmiştir. Bunun için öncelikle LCP açıklanmış, daha sonra prensibe yöneltilen eleştirilerden ve yerine kullanılabilir yaklaşımlardan bahsedilmiştir. Ardından prensiple bağlantılı yanlış kavramalar, bunların oluşmaması ya da en aza indirilmesi için LCP yerine kullanılabilir öğretimsel yaklaşımlarla ilişkilendirilerek ele alınmıştır.

Le Chatelier Prensibi (LCP) Nedir?

İlke (prensip), "fenomenleri açıklamada kullanılan genel önerme" (Cevizci, 2013) ya da "benzer pek çok kavramı bağlı olarak içeren, tahmin ve açıklama gücü yüksek olan düşünceler" (Çoban & Sağlam, 2016) olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda LCP; denge konumunda bulunan bir sisteme etki edecek herhangi bir dış etkinin (sistemin derişim, basınç, hacim veya sıcaklığında bir değişim olduğunda) meydana getirebileceği etkiyi nitel olarak yorumlamada kullanılmaktadır (Chang & Goldsby, 2014, s. 646; Petrucci vd., 2012, s. 673). Prensibin içeriği Henri Louis Le Chatelier ve Karl Ferdinand Braun tarafından birbirlerinden bağımsız olarak ifade edilse de (Norwich, 2010), prensip kitaplarda Le Chatelier'in adıyla anılmaktadır.

Le Chatelier, daha sonra kitaplarda ismiyle anılacak olan prensibiyle ilgili üç farklı nitel açıklama yapmıştır (Quilez, 2004a). İlk açıklamasını 1884 yılında basılı olarak şu şekilde ifade etmiştir (akt. Olivera-Fuentes & Colina, 2007):

"Sıcaklığını veya yoğunlaşmasını (basınç, derişim, birim hacim başına düşen molekül sayısı), ya bir bütün olarak ya da bazı kısımlarında değiştirme eğilimi olan bir dış nedenin etkisine maruz kalan kararlı kimyasal dengedeki herhangi bir sistem; dış nedenin meydana getirdiği sıcaklık veya yoğunlaşma değişiminin, tek başına meydana gelmesi şartıyla, tersi yönünde bir değişime yol açabilecek içsel modifikasyonlara uğrayabilir."

Le Chatelier, 1888 yılında karmaşık ve spesifik ilk formülasyonu daha genel hâlde şöyle ifade etmiştir (akt. Fernandez-Prini, 1982; Olivera-Fuentes & Colina, 2007):

“Denge hâlindeki herhangi bir sistem, denge faktörlerinden tek birinin değişmesi üzerine, tek başına gerçekleşmek şartıyla, söz konusu faktörün meydana getirdiği değişimin tersi yönünde bir dönüşüme uğrayacaktır.”

Burada geçen denge faktörleri daha sonra “Kimyasal bir sistemin denge durumunu değiştirebilecek koşullar, değişimi hareket gücünün harcanmasını gerektiren koşullardır.” açıklamasıyla birlikte bunlar, kimyasal dengenin belirleyici koşulları olarak belirtilmiş ve sözü edilen koşullar “fiziksel hâl, yoğunlaşma, sıcaklık, basınç, elektromotor kuvveti, manyetik şiddet vb.” şeklinde ifade edilmiştir.

1933 yılına gelindiğinde ise Le Chatelier, amonyak reaksiyonuna ait incelemeleri sırasında dengenin kayması ile ilgili kendi ifadeleriyle örtüşmeyen durumların olduğunu fark etmiştir. Buradaki sorun kütle değişikliklerinin etkisiyle ilgilidir. Le Chatelier, hatasının kütle artmasının her zaman konsantrasyon artışı anlamına geldiğine inanmak olduğunu ifade ederek 1884 yılındaki beyanları doğru olsa da 1888 yılındakilerin doğru olmayabileceğini kabul etmiştir (Olivera-Fuentes & Colina, 2007).

Daha sonra konuyla ilgili çalışan pek çok kişi, prensibi genel bir şekilde yeniden ifade etmeye çalışmıştır (Prigogine & Defay, 1954, akt. Hillert, 1995; Quilez, 2004a). Ancak bu ifade edişlerde önemli bir sorun; Le Chatelier’in 1888 yılındaki ve kendisinin de kusurlu olduğunu kabul ettiği ancak söz konusu kabulün büyük ölçüde fark edilmediği formülasyonun, yaygın olarak kabul görmüş olmasıdır. Bu formülasyon zamanla daha geniş/genel formülasyonlara yol açmıştır (Olivera-Fuentes & Colina, 2007). Özellikle kitaplarda LCP adıyla genel bir şekilde ifade edilerek verilmiştir. Örneğin Türkiye’deki öğretim kademelerinde ilk olarak 11. sınıf kimya ders kitaplarında yer alan prensiple ilgili şu açıklamalara yer verildiği görülmektedir:

“Fransız kimyacı Henry Le Chatelier (Henri Lö Şatölye) dengeye ulaşmış sistem koşullarına (sıcaklık, basınç, derişim) etki edildiğinde tepkimede ne gibi değişmeler olacağını incelemiştir. İncelemeleri sonucunda ortaya koyduğu açıklamalara Le Chatelier İlkesi denir. Le Chatelier İlkesi’ne göre dengedeki sisteme etki edildiğinde sistem dengeye ulaşincaya kadar etkiyi azaltacak yönde eğilim gösterir. Yeni tepkime koşullarına göre yeniden denge kurulur” (Güntut vd., 2019, s. 234).

“Dengenin; derişim, basınç, hacim ya da sıcaklık değişimi ile hangi yöne kayacağını belirlemek için genel bir kural vardır. Bu kural adını Fransız kimyacı

Henri Le Chatelier'den alır ve Le Chatelier İlkesi olarak bilinir. Le Chatelier İlkesi: Dengedeki bir sisteme dışarıdan bir etki uygulandığında, sistemin, bu etkiyi karşılayacak yöne tepki vererek yeniden dengeye ulaştığını ifade eder. Burada "etki" kelimesi sistemi denge hâlinde uzaklaştıran derişim, basınç, hacim ya da sıcaklıktaki değişimdir. Bu değişimlerin etkisini incelemek için Le Chatelier İlkesi kullanılır" (Ertekin vd., 2019, s. 326).

"Dengeye dışarıdan yapılan etkiler, denge konumunu istenen ürün ya da tepken yönüne kaydırabilir. Çoğu zaman bizim isteğimize bağlı olarak kontrol edilebilir deneysel değişkenler derişim, basınç, hacim ve sıcaklıktır. Bu değişkenlerin dengeye etkileri Le Chatelier İlkesi ile açıklanır. Le Chatelier İlkesi dengenin derişim, basınç, hacim ya da sıcaklık değişimi ile hangi yöne kayacağını belirlememizi sağlayan genel bir kuraldır. Fransız kimyacı Henri Le Chatelier tarafından açıklanan bu ilke onun adıyla bilinir. Bu ilkeye göre, dengedeki bir sisteme dışarıdan bir etki uygulandığında, sistem bu etkiyi azaltacak yöne tepki vererek yeniden dengeye ulaşır. Buradaki etki sistemi denge hâlinde uzaklaştıran derişim, basınç, hacim ya da sıcaklık değişimidir" (Aydoğan, 2016, s. 331-332).

"Denge hâline ulaşmış sistemin herhangi bir sebeple deneysel koşullarının (sıcaklık, basınç, derişim) değişmesi sonucunda reaksiyonda ne gibi değişimler olacağı, 1884 yılında Fransız kimyacı Henry Le Chatelier tarafından kendi adıyla anılan ilke ile açıklanmıştır. Le Chatelier ilkesine göre; dengede bulunan sisteme dışarıdan bir etki yapıldığında, sistemin dengesi bu etkiyi azaltacak yönde eğilim gösterir" (Dursun vd., 2013, s. 111).

Lise düzeyindeki bazı kitaplarda LCP'nin fiziksel dengelere de uygulanabileceği belirtilmektedir (Ertekin vd., 2019, s. 326; Dursun vd., 2013, s. 111; Karaca & Ertaş, 2014, s. 104-105). Üniversite düzeyi için yazılmış kitaplarda ise şu açıklamalara rastlanmaktadır:

"Bazen, dengedeki tersinir bir tepkimenin bir madde miktarı değişimi ile gideceği net yönü, nitel değerlendirmeler yapmak için öngörmek isteriz. Ayrıca, bazen elimizde nicel hesaplamalar yapmamız için gerekli olan veriler de bulunmayabilir. Bu gibi durumlarda, Fransız kimyacı Henri Le Chatelier (1884) tarafından ileri sürülen ve burada tam olarak açıklanması zor olmakla

birlikte, temeli verilen Le Chatelier ilkesi denilen görüşü kullanabiliriz. Le Chatelier ilkesi, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir. Denge konumunda bulunan bir sistemdeki sıcaklık, basınç ve tepkimeye girenlerin derişiminde herhangi bir değişiklik olursa, sistem bu etkiye karşı, yeni bir denge oluşturarak tepki gösterir” (Petrucci vd., 2012, s. 673).

“Dengedeki bir sistemin derişim, basınç, hacim veya sıcaklığında bir değişim olduğunda hangi yöne ilerleyeceğini belirlemekte yararlanan bir kural vardır. Bu kural Le Chatelier ilkesi olarak bilinir. Bu ilkeye göre, dengedeki bir sisteme dışarıdan bir etki yapılırsa, sistem bu etkiyi kısmen bertaraf edecek şekilde hareket eder ve yeni bir denge konumuna erişir. Buradaki “etki” kelimesi, sistemin denge durumundan uzaklaşmasına yol açacak olan derişim, basınç, hacim veya sıcaklıktaki değişimdir. Le Chatelier ilkesi bu değişimlerin etkilerini değerlendirmede kullanılır” (Chang & Goldsby, 2014, s. 646).

“Fransız kimyacı Henri Le Chatelier tarafından tanımlanan genel ilkeleri izleyerek, koşullar değiştirildiği zaman dengedeki bir tepkime karışımının bileşiminin nasıl değişeceğini öngörebiliriz. Le Chatelier ilkesi: Dinamik dengedeki bir sisteme bir etki uygulandığı zaman denge bu etkiyi en aza indirmek eğilimindedir” (Atkins & Jones, 2013, s. 405).

LCP'ye lise ve üniversite düzeyindeki kimya ders kitaplarında özellikle lise düzeyindekilerde önemle yer verildiği görülmektedir (Gold & Gold, 1985). Lise seviyesindeki kitaplarda, denge koşullarındaki değişikliklerin dengeyi nasıl etkileyeceğine yönelik soruların çözümünde de sıklıkla LCP'ye başvurulmaktadır (Aydoğan, 2016, s. 334-336; Ertekin vd., 2019, s. 333-334; Karaca & Ertaş, 2014, s. 106-107; Özkazan, 2019, s. 231-232). LCP'nin temel öğretimlerde kavramsal olarak daha basit bir tanıtım ve kolaylık sağladığı (Gold & Gold, 1985), öğrencilerin de prensibi uygulanabilir kolay bir kural olarak gördükleri (Solaz & Quilez, 2001) bilinmektedir. Ancak prensibe yönelik eleştiriler, eleştirilerin gerekçeleri ve öneriler üzerine yapılan tartışmalar, yaygın olarak bilinmemektedir.

LCP'ye Yönelik Eleştiriler

LCP, lise düzeyindeki kitaplar başta olmak üzere ders kitaplarında kendine yer bulup denge ile ilgili problemlerin çözümünde kullanılsa da prensibin birtakım belirsizlikler içerdiği ve sınırlı karaktere sahip olduğu bazı araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir

(Cheung, 2004; Cheung vd., 2009; Lacy, 2005; Quílez, 2004; Solaz-Portoles & Quílez-Pardo, 1995; Solaz & Quílez, 2001). Bu bağlamda prensibe eleştiriler yöneltilmektedir. Söz konusu eleştirilerin özellikle iki noktada toplandığı söylenebilir. Birinci eleştiri, prensibin bazı yetersizlikler içerdiği yönündedir. Prensibin formülasyonunda uygulanabilirliği için koşullar bulunmamaktadır ve prensibin nitel karakteri, sistem üzerindeki dış etkinin azaltılma derecesini ya da mekanizmasını açığa çıkarmamaktadır (Nesis & Skibin, 2000). Ancak bu yetersizliklerine rağmen prensip, çoğunlukla kesin bir form gibi düşünülmektedir (Gold & Gold, 1985). Oysa LCP'nin uygulanabilmesi için "dış etkiye maruz kalan bir termodinamik sistemin ilk anda kararlı bir denge durumunda olması gerekir ve dış etkinin yoğunluğu/şiddeti bu sistemin yok edildiği sınır değeri aşmamalıdır" (Nesis & Skibin, 2000). Öte yandan kimyasal dengede konsantrasyon değişiklikleri, her zaman reaksiyona katılan kimyasalların kütledeki değişiklikleri takip etmemektedir (Quílez, 2004a).

İkinci eleştiri ise daha sonra kitaplarda prensibi yeniden ifade ederken yapılan genellemenin sorunlu olduğu yönündedir (Cheung vd., 2009). Örneğin ders kitaplarında LCP'nin 'değişimin, etkiyi indirgeyen/azaltan ya da yükselten/artıran yönde olacağını belirttiği' ifade edilmektedir (Ertekin vd., 2019, s. 326-330; Güntut vd., 2019, s. 234, 236, 238). Ancak bu genelleme, prensibe dayalı olarak yapılan tahminlerin deneysel gerçeklerle ve yapılan hesaplamalarla çelişebileceği gerçeğinin görmezden gelinmesine neden olabilmektedir (Cheung vd., 2009). Örneğin sabit sıcaklık ve basınçta gaz hâlinde maddelerin yer aldığı bir denge karışımına, tepkenlerden ya da ürünlerden birinin eklenmesi ya da çıkarılması durumunda, denge durumunun nasıl değişeceğine ilişkin LCP'ye dayalı olarak yapılacak yorum hatalı olabilmektedir (Cheung, 2004). Daha açık ifade edilirse pek çok ders kitabında denge hâlindeki bir sisteme reaktantlardan biri ilave edildiğinde, dengenin daha fazla ürün oluşturacak şekilde ürünler yönüne kayacağı belirtilmektedir (Ertekin vd., 2019, s. 326-327; Güntut vd., 2019, s. 236). Ancak bunun sabit hacimli izotermal bir sistemde gözlenebileceği ya da sabit basınçlı izotermal bir sistemde aynı durumun gözlenmeyeceği belirtilmemektedir. Bunun için çok iyi bilinen amonyak sentezi, Haber-Bosch prosesi ($N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$) örneği verilmektedir (Ertekin vd., 2019, s. 327; Güntut vd., 2019, s. 236). Bu örnek için bazı durumlarda reaktant (örneğin $N_{2(g)}$) ilavesi, reaksiyonun daha fazla azot üreten yönde ilerlemesine neden olabilmektedir (Uline & Corti, 2006). Buna göre sabit sıcaklık ve basınçta daha fazla $NH_{3(g)}$ oluşmasıyla sonuçlanan bir $N_{2(g)}$ ilavesinin ancak $N_{2(g)}$ 'nin mol kesrinin 1/2'den daha az olması durumunda gerçekleşeceği, aksi takdirde $NH_{3(g)}$ 'ün ayrışacağı, başka bir ifadeyle azotun mol sayısı, tüm türlerin toplam mol sayısının yarısından daha fazla ölçüde artırılırsa, daha fazla ürün oluşturmaktan ziyade dengenin, reaksiyona giren maddelere doğru kayacağı ve amonyağın parçalanacağı belirtilmektedir (Katz, 1961; Lacy, 2005; Solaz-Portoles & Quílez-Pardo, 1995). Konuyla ilgili bir başka örnek; katiysıyla

çözeltisi arasında dinamik bir dengenin olduğu doymuş bir çözeltide, katının çözünürlüğünün sıcaklıkla nasıl değişebileceğine ilişkin LCP'ye dayalı olarak yapılacak tahminin hataya düşürebileceğidir. Bu bağlamda molar çözünme entalpisi negatif değer olan ekzotermik bir çözünme olayında; LCP'ye göre sıcaklığın artırılması, çözünürlüğün azalmasına neden olacağı şeklinde yorumlanabilir. Molar çözünme entalpisi pozitif değer olan endotermik bir çözünme olayında ise tersi bir yorum yapılabilir. Örneğin NaCl ve NaI çözeltileri dikkate alındığında, iki çözeltinin entalpilerinin işaretlerinin farklı olduğu görülmektedir (NaCl_(aq) için $\Delta H = +4$ kJ/mol, NaI_(aq) için $\Delta H = -9$ kJ/mol). Ancak sıcaklık arttıkça her iki tuzun da sudaki çözünürlüklerinin arttığı bilinmektedir (Bodner, 1980). Bundan başka NaOH_(k)'ın suda çözünmesi ekzotermik ($\Delta H = -44$ kJ/mol) olarak gerçekleşir (Clugston & Flemming, 2000, s. 287). LCP'ye göre değerlendirildiğinde NaOH_(k)'ın çözünürlüğünün sıcaklık arttıkça azalması gerektiği önerilebilir ancak NaOH_(k)'ın çözünürlüğü kabaca 0° ile 100 °C arasında bir faktör artmaktadır (Bodner, 1980).

LCP'nin Kullanıldığı Bağlama Öğretimsel Yaklaşım

LCP açıklanırken, yukarıda ifade edildiği gibi genel bir formülasyon sunulduğu görülmektedir. Ancak sözü edilen formülasyonun yanında heterojen kimyasal denge sistemlerinde saf katıların ve sıvıların miktarındaki değişimin dengeyi bozmayacağı (Alpaydın & Şimşek, 2017, s. 278; Ertekin vd., 2019, s.334); sabit hacim ve sıcaklıkta bir kimyasal denge sistemine inert bir gaz eklendiğinde dengenin bozulmayacağı, bu eklemenin sabit basınçta yapılması durumunda dengenin bozulacağı gibi özel açıklamalara da yer verilmektedir (Aydoğan, 2016, s. 335; Güntut vd., 2019, s. 239; Özkazan, 2019, s. 231). Aslında bu şekilde prensibin eksiklikleri ifade edilmektedir. Ancak özel açıklamalara rağmen pek çok açıklamada denge sistemine yapılan etkinin, hangi koşullarda yapıldığının önemli olduğu ve yapılan etkinin birden fazla değişikliğe neden olabileceği ve bu yüzden de LCP'ye dayalı olarak yapılacak yorumların hataya sebep olabileceği açık bir şekilde belirtilmemektedir. Öğrenciler de çoğu kez prensibi genelleyerek kullanma eğilimi göstermektedirler. Bu durum ise hatalara ve yanlış kavramalara neden olabilmektedir (Yakmacı-Güzel, 2014).

Yukarıda bahsedilenler dikkate alındığında denge konumundaki bir sisteme etki edecek herhangi bir dış etkinin meydana getirebileceği değişikliği öngörmede, LCP dışında ne kullanılabilir sorusu önemli hâle gelmektedir. Sorunun yanıtına ilişkin alanyazın incelendiğinde; konuyla ilgili önerinin/kullanım eğiliminin tepkime oranı (denge kesri; Q) üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Cheung, 2004, 2009a; 2009b; Cheung vd., 2009; Lacy, 2005; Miller, 1954; Solaz-Portoles & Quílez-Pardo, 1995). Tepkime oranının kullanımına ilişkin önerilere bakıldığında Miller'in (1954), tepkime oranı ifadesini ve sembolü Q'yu kullanmaksızın "K" ifadesini kullandığı ve bununla denge sabiti K_p ifadesini karşılaştırdığı görülmektedir. Bu karşılaştırmayı kullanmayı tercih etmesini ise

öğrencilerin basınç değiştiğinde gaz hâlindeki maddelerin yer aldığı bir reaksiyonda denge pozisyonunun nasıl değiştiğiyle ilgili tatmin edici açıklamalar yapamamalarına dayandırmaktadır. Bunun için amonyak sentezine ilişkin tepkimeyi ($N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$) kullanarak tepkimenin gerçekleştiği kabın hacminin yarıya indirilmesi durumunda denge durumunun nasıl değişeceğine ilişkin öngörüyü, Boyle yasasını da kullanarak şöyle ifade etmektedir:

“Denge durumunda reaksiyonun denge sabiti aşağıdaki gibidir:

$$K_p = \frac{(p_{NH_3})^2}{(p_{N_2})(p_{H_2})^3}$$

Kabın hacmi yarıya indirildiğinde basınç iki katına çıkar. Bu ise reaksiyon karışımının her bir bileşenin basıncını anlık olarak iki katına çıkarır. Böylece sistem yeni durum için yeniden düzenlenmeden (uyum sağlamadan) önce;

$$“K” = \frac{(2p_{NH_3})^2}{(2p_{N_2})(2p_{H_2})^3} = K_p/4$$

eşitliği yazılabilir. Denge sabiti sabit sıcaklıkta, sabit olduğu için (yüksek basınçta ortaya çıkan ideallikten sapmalar dışında ve burada düşünülmesine gerek yoktur) denge, “K” nın, K_p ’ye eşit olana dek artacağı şekilde kaymalıdır. Bu durum daha fazla amonyak oluşturmak için azotun hidrojenle tepkimesi ile meydana gelir ki bu da “K”, K_p ’ye eşit olana kadar, sistem yeniden dengeye gelene kadar, payın değerini artırır, paydanın değerini azaltır.” Miller önerisinin basınç değişikliğinde denge konumunda kayma olabileceğini gösterdiğini ve kullanılmasının öğrenciler açısından açıklayıcı olduğunu deneyimlerine dayanarak belirtmiştir.

Katz (1961) ise LCP’nin belirsizliklerine atıf yaparak öncelikli olarak lisans düzeyindeki kimya derslerine yönelik bir yöntem tasarladıklarını belirtmiştir. Yöntemin, termodinamik prensiplere dayalı olarak sunulduğunu ve denge sabiti ifadelerinin daha rasyonel bir kullanımını içerdiğini ifade etmiştir. İdeal gaz tepkimesi üzerinden açıkladığı yönteminde; Q_p ifadesini kullanmış ve Q_p ’ye ilişkin eşitliği tanıtarak Q_p ve K_p , Q_c ve K_c kıyaslamasını açıklamıştır. Bu bağlamda izotermal koşullarda sabit basınçta inert gaz ekleme, sabit hacimde inert gaz ekleme, hacmi azaltarak basıncı artırma (piston ayarlama), sabit hacimde bir miktar reaktant ya da ürün ekleme, sabit basınçta bir miktar reaktant ya da ürün ekleme şeklindeki etkilerde dengenin nasıl değişeceğine ilişkin öngörülerde, yöntemin nasıl kullanılacağına yönelik açıklamalar sunmuştur.

Solaz-Portoles ve Quílez-Pardo (1995) da yaptıkları çalışmada, termodinamik yasaların derinlemesine analizi sonucunda, bozulan denge karışımlarındaki değişikliği öngörmeye Q ’nun kullanılabilirliğini açıklamışlardır. Buna göre izotermal koşullarda herhangi bir denge sistemine yapılan etkiye ilişkin öngöründe tepkime oranı (Q) ile denge sabiti (K)

değerlerinin kıyaslanması önerilmektedir. Kıyaslama da şayet $Q=K$ ise ($\Delta G=0$) sistem dengede, $Q>K$ ise ($\Delta G>0$) reaksiyon ürünler yönünden tepkenler yönüne doğru, $Q<K$ ise ($\Delta G<0$) reaksiyon tepkenler yönünden ürünler yönüne doğru kendiliğinden gerçekleştiği çıkarımı, termodinamik prensiplere dayalı olarak sunulmuştur.

Sıcaklık değişiminin denge konumundaki bir sistem üzerindeki etkisinin incelenmesi konusunda alanyazında yer alan öneri/kullanım eğilimi incelendiğinde ise bakış açısının van't Hoff'un görüşleri ve adıyla anılan eşitliği üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Cheung, 2004, 2009a, 2009b; Cliff, 2009; Gold & Gold, 1985; Kemp, 1987; Solaz & Quílez, 2001; Solaz-Portoles & Quílez-Pardo, 1995). Van't Hoff'un görüşleri kimyasal dengenin anlaşılması açısından oldukça önemlidir. 1850'den önce kimyasal bir sistem dengede olduğunda tüm reaksiyonun durduğu düşünülmektedir (Quilez, 2007). Daha sonra Williamson (1850) ve Pfaundler (1867), dengenin dinamik yönüne işaret eden görüşler ortaya koymuşlardır (Quilez, 2004b, 2007). O dönemde van't Hoff'un fikirleri de statikten çok dinamiğe dayanmaktadır. Bunu da "...denge, zıt yönlerde aynı hızla gerçekleşen iki değişikliğin bir sonucu olarak kabul edilmelidir." (van't Hoff, 1884, s. 144; akt. Quilez, 2007) şeklinde ifade etmiştir. Onun bu kinetik yaklaşımına dayalı olarak denge sabitini temsil eden matematiksel denklem çıkarılabilmektedir (Quilez, 2007).

Van't Hoff'un termodinamiğe dayalı olarak çıkardığı ve sıcaklık ile denge sabiti arasındaki ilişkiyi gösteren eşitliği ise şöyledir (Atkins, 2001, s. 225; Gold & Gold, 1985);

$$\left[\frac{d \ln K_p}{dT} \right]_P = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

Eşitliğin düzenlenerek integrali alınması sonucu ulaşılan aşağıdaki eşitlik de daha öğretilebilir bulunmaktadır (Cheung, 2004):

$$\ln K_p = \text{sabit} - \Delta H^\circ / RT$$

Kısmi basınçlar açısından denge sabitini (K_p), integral sabitini (sabit, c gibi), ileri yöndeki tepkimenin standart entalpi değişimini (ΔH°), molar gaz sabitini (R), Kelvin sıcaklığını (T) içeren yukarıdaki denklemde; ΔH° 'ın sıcaklıkla değişmediği varsayılarak şöyle yorum yapılabileceği ifade edilmektedir (Cheung, 2004):

- Ekzotermik bir reaksiyonda ΔH° negatif olacağı için $-\Delta H^\circ / RT$ değeri pozitif olacaktır. Sıcaklık arttığında $-\Delta H^\circ / RT$ terimi azalır ve bu durumda K_p 'nin azalmasına neden olur.
- Endotermik bir reaksiyonda ise ΔH° pozitif olacağı için $-\Delta H^\circ / RT$ teriminin değeri negatif olacaktır. Sıcaklık arttığında $-\Delta H^\circ / RT$ terimi artar ve bu durumda K_p 'nin artmasına neden olur.

Van't Hoff eşitliğinin iki farklı denge sabiti ve sıcaklık için iki defa yazılması ve düzenlenmesi sonucu aşağıdaki eşitliğin elde edildiği (Atkins, 2001, s. 227; Cheung,

2004) ve bu eşitliğe dayalı olarak şöyle yorum yapılabileceği de yine öneriler arasındadır (Massachusetts Institute of Technology, 2008):

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

- Ekzotermik bir reaksiyonda sıcaklık artırılırsa; ΔH° negatif olacağı için $-\Delta H^\circ/R$ değeri pozitif olacaktır. $T_2 > T_1$ olacağından $1/T_2 - 1/T_1$ terimi negatif olacaktır. Bu durumda eşitliğin sağ tarafı negatif değer alacağı için $K_1 > K_2$ olacaktır. $K_1 > K_2$ olması ise daha az ürün oluşumunu ifade eder.

- Ekzotermik bir reaksiyonda sıcaklık azaltılırsa; ΔH° negatif olacağı için $-\Delta H^\circ/R$ değeri pozitif olacaktır. $T_2 < T_1$ olacağından $1/T_2 - 1/T_1$ terimi pozitif olacaktır. Bu durumda eşitliğin sağ tarafı pozitif değer alacağı için $K_1 < K_2$ olacaktır. $K_1 < K_2$ olması ise daha fazla ürün oluşumunu ifade eder.

- Endotermik bir reaksiyonda sıcaklık artırılırsa; ΔH° pozitif olacağı için $-\Delta H^\circ/R$ değeri negatif olacaktır. $T_2 > T_1$ olacağından $1/T_2 - 1/T_1$ terimi negatif olacaktır. Bu durumda eşitliğin sağ tarafı pozitif değer alacağı için $K_1 < K_2$ olacaktır. $K_1 < K_2$ olması ise daha fazla ürün oluşumunu ifade eder.

- Endotermik bir reaksiyonda sıcaklık azaltılırsa; ΔH° pozitif olacağı için $-\Delta H^\circ/R$ değeri negatif olacaktır. $T_2 < T_1$ olacağından $1/T_2 - 1/T_1$ terimi pozitif olacaktır. Bu durumda eşitliğin sağ tarafı negatif değer alacağı için $K_1 > K_2$ olacaktır. $K_1 > K_2$ olması ise daha az ürün oluşumunu ifade eder.

LCP ile Bağlantılı Yanlış Kavramalar ve Öğretimsel Bakışa Dayalı Öneriler

Alanyazında LCP ile ilgili yanlış kavramalar incelendiğinde; bunların üç noktada yoğun olarak görüldüğü söylenebilir. Birincisi sabit hacim ve sıcaklıktaki dengedeki bir sisteme (heterojen dengeler), sistemde yer alan (derişim değişimine neden olmayan) bir katı ilave edildiğinde meydana gelebilecek değişimi öngörmede LCP'nin hatalı bir şekilde kullanıldığına işaret eden yanlış kavramalardır (Cliff, 2009; Furio vd., 2000; Kousathana & Tsapalis, 2002; Piquette & Heikkinen, 2005; Voska & Heikkinen, 2000). Söz konusu yanlış kavramanın temelinde prensibin aşırı genelleştirilmesinin yer aldığı söylenebilir (Piquette & Heikkinen, 2005). Bunun yanında dengeyi tekrar kurmak veya bir değişikliği dengelemek için 'kimyasal reaksiyonun ilerlemesi, istemesi, eğilimi veya kayması' gibi ifadeler de öğrencilere LCP'yi çağrıştırabilmekte (ki bu çağrışım prensibin ders kitaplarındaki açıklamalarına dayanmaktadır) ve böylece LCP'nin adından bahsederek ya da bahsetmeyerek prensibe ilişkin bir anlayışın ifade edilmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle LCP'nin denge değişikliklerini tahmin etmede yegâne veya evrensel yaklaşım olarak görülmesinden kaçınılmalıdır (Cliff, 2009). Piquette ve Heikkinen (2005), çalışmalarında görüşünü aldıkları bir katılımcının böylesi bir yanlış kavramaya düşmemek için Q ile K 'yı

karşılaştırmanın yararlı olduğunu ve bu karşılaştırma sırasında ilave edilen katının bu oranlardan hiçbirinde yer almayışının görülmesinin yanlış kavramayı önleyeceğini belirttiğini ifade etmektedirler. Öte yandan sözü edilen kavramaya "kütle" ile "derişim" kavramlarının karıştırılması, kütleyle derişim olarak düşünme de neden olabilmektedir (Cliff, 2009; Furio vd., 2000). Onun için kütle ve derişim arasındaki ayrımın yapılabilmesi gerekmektedir.

LCP ile ilgili yanlış kavramaların ikincisi; sabit basınç ve sıcaklıktaki dengedeki bir sisteme (gaz dengesine), inert bir gaz ilave edildiğinde meydana gelebilecek değişimi öngörmeye prensibin hatalı bir şekilde kullanıldığına işaret eden yanlış kavramalardır. (Cheung, 2004; Furio vd., 2000; Yakmacı-Güzel, 2014). Burada basınç, sıcaklık, hacim, denge sisteminde yer alan herhangi bir türün derişimi gibi değişkenlerin sabit tutulmasına ve inert gazın denge sistemindeki herhangi bir tür ile tepkimeye girmeyeceğine dair düşünceyle denge sisteminde herhangi bir değişiklik olmayacağı yanlış kavraması gözlenmektedir (Furio vd., 2000).

LCP ile ilgili yanlış kavramaların üçüncüsü ise sabit basınç ve sıcaklıktaki bir gaz sistemine, sistemde yer alan türlerden birinin eklenmesi durumunda meydana gelebilecek değişimi öngörmeye gözlenmektedir (Cheung, 2009a, 2009b; Cheung vd., 2009; Lacy, 2005; Solaz & Quilez, 2001). İlgili çalışmalarda; söz konusu yanlış kavramanın temelinde yer alan nedenlerden biri olarak LCP'nin mantığına olan aşırı güven ya da bağlılık ifade edilmektedir (Cheung, 2009b). Öte yandan bahsi geçen tüm yanlış kavramaların temelinde LCP'nin anlamaksızın uygulanmaya çalışılıyor olması da görülebilmektedir (Quilez, 2004a).

Yukarıda ifade edilen yanlış kavramalar dışında öğrencilerin LCP ile ilgili anlamlandırmakta güçlük çektikleri konular olduğu da bilinmektedir. Bunlardan biri, denge konumundaki bir sisteme basınç, hacim, derişim değişikliğine neden olacak bir etki yapıldığında bu etkinin K'da herhangi bir değişikliğe neden olmaksızın dengede kaymaya sebep olabilirken, sıcaklık değişikliğinin hem K'da değişikliğe hem de dengede kaymaya neden olabilmesidir (Piquette & Heikkinen, 2005). Bu durumun anlaşılır hâle gelmesinde ise yine yukarıda açıklandığı üzere van't Hoff eşitliğinin kullanılabilmesi ve eşitliğin denge sabitinin bağlı olduğu faktörün sıcaklık olduğunu açıkça göstermesi açısından anlamlı bir kanıt sunduğu söylenebilir. Ayrıca sözü edilen yanlış kavramalara düşmemek için tepkime oranının (Q) kullanılmasının önerildiği daha önce belirtilmişti. Ancak öğrencilerin Q'nun kullanımıyla ilgili en büyük güçlüğü; iki değer (Q ile K) arasındaki farkı ayırt etmede deneyimledikleri görülmektedir (Piquette & Heikkinen, 2005). Piquette ve Heikkinen'in (2005) çalışmalarında görüşünü aldıkları bir katılımcı K ve Q ile ilgili güçlüğü; denge sabiti ifadesinin, denge dışı bir duruma uygulanması olarak ifade etmektedir. Bu nedenle Q ve K arasındaki fark üzerindeki vurgunun güçlü yapılması ile Q ve K kavramalarının anlamlı

bir şekilde açıklanmasının, öğrencilerin yaşadıkları güçlüğün üstesinden gelmelerine katkı sağlayabileceği söylenebilir.

Yukarıda bahsi geçen yanlış kavramaların dışında LCP'nin, fiziksel dengelere de uygulanabileceğine dair düşüncenin olduğu ve bu düşüncenin bazı yanlış kavramaları beraberinde getirdiği de dikkate değer bir konudur. Örneğin 'suyun katı hâlden sıvı hâle

geçiş ($\text{H}_2\text{O}_{(k)} \xrightleftharpoons{P \text{ (basınç)}} \text{H}_2\text{O}_{(s)}$) üzerinden 0 °C'ta basınç artırıldığında hacim azalacağından sistemin bu etkiyi en aza indirebilmek için hacmi artırmak isteyeceği' şeklinde LCP'ye dayalı olarak yorum yapıldığı görülmektedir (Dursun vd., 2013, s. 111). Bu yorumun, denge konumunun $\text{H}_2\text{O}_{(k)}$ yönüne kayacağını düşündürmesi beklenir. Zira aynı miktar üzerinden bir kıyaslama yapıldığında, aynı sıcaklıktaki $\text{H}_2\text{O}_{(k)}$ 'nin hacmi, $\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ hacminden daha büyüktür. Oysa suyun katı fazdan sıvı faza geçmesiyle (erimesiyle) hacminde azalma meydana gelir ve basınç artışı ile katı fazdan sıvı faza geçişi istemli dönüşümdür. Bu durum, suyun faz diyagramı incelendiğinde görülmektedir (Atkins, 2001, s. 143-144). Bunun yanında yine 'aynı örnek üzerinden ($\text{H}_2\text{O}_{(k)} + \text{ısı} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_{(s)}$) sistemin sıcaklığının artırılmasının LCP'ye göre $\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ oluşturacak yönde dengenin bozulmasına neden olacağı ve bir süre sonra yeniden dengenin kurulacağı' yorumunun yapıldığı da görülmektedir (Dursun vd., 2013, s. 111; Karaca & Ertaş, 2014, s. 105). Oysa faz değişimine sıcaklığın etkisinin; suyun faz diyagramına (Atkins, 2001, s. 143-144; Petrucci vd., 2012, s. 524-525), moleküllerarası etkileşime (Petrucci vd., 2012, s. 503-504) ve moleküler harekete (Petrucci vd., 2012, s. 520) atıfta bulunulmaksızın LCP'ye dayalı olarak açıklanması, derinlemesine kavramayı sağlamayacağı gibi ezberle öğrenmeye sebep olabileceğini akla getirmektedir. Suyun katı hâlden sıvı hâle geçişi örneği üzerinden LCP'nin uygulanmasına ilişkin verilen bu iki örnek, prensibin genellenerek mekanik bir biçimde (Furio vd., 2000) kullanıldığını düşündürmektedir. Bundan kaçınılması gerektiği dikkatlerden uzak tutulmamalıdır.

SONUÇ

Bu çalışmada LCP, prensibin içerdiği belirsizlikler ile prensibe yöneltilen eleştiriler, gerekçeleri ve önerileri ile birlikte ele alınmaya çalışılmıştır. Prensibin tarihsel süreci incelendiğinde geldiği noktanın; Le Chatelier'in 1888'deki ifadelerinin hata içerdiğini kabul etmesine rağmen bunun fark edilmeyerek prensibin genel bir form hâline dönüştürüldüğü ve bu hâlin kullanıcıları (kitap yazarları/öğretmenler/öğrenciler) tarafından çoğunlukla tüm denge durumları için kullanıldığıdır. Öte yandan denge koşulları anlaşılaksızın dengeye ilişkin değerlendirme yapmak mümkün değilken prensibin, denge koşullarını dikkate almadan bir değerlendirme yapılmasına kapı aralamakta olduğu düşünülmektedir. Üstelik prensibin ezberle ve mekanik bir şekilde kullanılmasının, derinlemesine öğrenmeyi ifade etmediği de söylenebilir. Prensibin kavramsal olarak daha basit bir tanıtım ve

kolaylık sağladığı düşünülse ve öğrenciler açısından uygulanabilir kolay bir kural olarak görülse de içerdiği belirsizliklerden dolayı yanlış kavramalara neden olduğu anlaşılmaktadır. Alanyazında LCP yerine termodinamik prensiplere dayalı olarak geliştirilen tepkime oranı (Q) ve van't Hoff eşitliğinin kullanılmasının önerildiği görülmektedir. Her ne kadar LCP yanında çoğunlukla bunların öğretildiği düşünülse de öğrencilerin LCP'ye olan bağlılıklarının çok güçlü olduğu bilinmektedir (Canpolat & Pınarbaşı, 2012; Cheung, 2009b; Cliff, 2009). Öğrenciler, tepkime oranı (Q) ve van't Hoff eşitliğini öğrenseler dahi LCP'yi kullanma konusunda güçlü bir eğilim göstermektedirler. Bu nedenle prensibin öğretilmesinin gerekli olup olmadığı, prensibi öğretmenin kolaylık mı yoksa zorluk mu sağladığı tekrar değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

- AAAS (1990). *Science for all Americans*. Oxford University Press.
- Alpaydın, S., & Şimşek, A. (2017). *Genel kimya*. Eğitim Kitabevi.
- Atkins, P. W. (2001). *Fizikokimya* (S. Yıldız, H. Yılmaz, & E. Kılıç, Çev. Ed.). Bilim Yayıncılık.
- Atkins, P., & Jones, L. (2013). *Genel Kimya: İlkeler ve içyüzünü kavrama* (A. R. Türker, Çev. Ed.). Palme Yayıncılık.
- Aydoğan, F. S. (2016). *Ortaöğretim kimya 11 ders kitabı*. Dikey Yayıncılık.
- Bilen, K. (2015). Bilim nedir? Ne değildir? İçinde N. Yenice (Ed.), *Bilimin doğası, gelişimi ve öğretimi* (s. 1-44). Anı Yayıncılık.
- Bilgin, İ., Aktaş, İ., Tatar, E., & Tüysüz, C. (2016). Rehberli araştırma yönteminin üniversite öğrencilerinin kimya konularındaki bazı kavramları anlamalarına etkisinin incelenmesi. *Türkiye Kimya Derneği Dergisi Kısım C: Kimya Eğitimi*, 1(1), 129-146.
- Bodner, G. M. (1980). On the misuse of Le Chatelier's principle for the prediction of the temperature dependence of the solubility of salts. *Journal of Chemical Education*, 57(2), 117-119.
- Canpolat, N., & Pınarbaşı, T. (2012). Le Chatelier prensibi ve kavramsal öğrenme. *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24, 99-114.
- Cevizci, A. (2013). *Felsefe Sözlüğü*. Paradigma Yayıncılık.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2014). *Genel kimya* (R. İnam, & S. Aksoy, Çev. Ed.). Palme Yayıncılık.
- Cheung, D. (2004). The scientific inadequacy of Le Châtelier's principle. *Hong Kong Science Teachers' Journal*, 22(1), 35-43.

- Cheung, D. (2009a). The adverse effects of Le Châtelier's principle on teacher understanding of chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 86(4), 514-518.
- Cheung, D. (2009b). Using think-aloud protocols to investigate secondary school chemistry teachers' misconception about chemical equilibrium. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(2), 97-108.
- Cheung, D., Ma, H. J., & Yang, J. (2009). Teachers' misconceptions about the effects of addition of more reactants or products on chemical equilibrium. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 1111-1133.
- Cliff, W. H. (2009). Chemistry misconceptions associated with understanding calcium and phosphate homeostasis. *Advances in Physiology Education*, 33, 323-328.
- Clugston, M., & Flemming, R. (2000). *Advanced chemistry*. Oxford University Press.
- Coştu, B., & Ünal, S. (2004). Le-Chatelier prensibinin çalışma yaprakları ile öğretimi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1(1), 1-22.
- Çepni, S. (2012). Bilim, fen, teknoloji kavramlarının eğitim programlarına yansımaları. İçinde S. Çepni (Ed.), *Kuramdan uygulamaya fen ve teknoloji öğretimi* (s. 1- 32). Pegem Akademi.
- Çoban, G. Ü., & Sağlam, M. K. (2016). Fen bilimleri öğretmenlerinin bilimsel içerik ve süreç becerileri bilgi düzeylerinin incelenmesi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi (KEFAD)*, 17(3), 261-279.
- Çobanoğlu, E. O. (2013). Epistemoloji, bilimsel kavramların doğası, bilimsel bilgi ve özellikleri. İçinde M. Demirbaş (Ed.), *Bilimin doğası ve öğretimi* (s. 55-71). Pegem Akademi.
- Demirbaş, M. (Ed.) (2013). *Bilimin doğası ve öğretimi*. Pegem Akademi.
- Doğan, D., Aydoğan, N., Işıkgil, Ö., & Demirci, B. (2007). Kimya öğretmen adayları ve lise öğrencilerinin Le Chatelier prensibini kavramsal sorunlarla anlama düzeyleri ve yanlışlarının araştırılması. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7(13), 17-32.
- Dursun, M. F., Gülbay, İ., Özkoç, F., Tek, Ü., & Güntut, M. (2013). *Ortaöğretim kimya 11 ders kitabı*. Millî Eğitim Bakanlığı, Devlet Kitapları.
- Ertekin, A. B., Kurt, A., Demirbaş, O., & Erkuş, S. (2019). *Ortaöğretim fen lisesi kimya 11 ders kitabı*. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.
- Fernandez-Prini, R. (1982). Le Châtelier's principle and the prediction of the effect of temperature on solubilities. *Journal of Chemical Education*, 59(7), 550-553.

- Furio, C., Calatayud, M.L., Barcenas, S.I., & Padilla, O.M. (2000). Functional fixedness and functional reduction as common sense reasonings in chemical equilibrium and in geometry and polarity of molecules. *Science Education*, 84(5), 545-565.
- García-Lopera, R., Calatayud, M. L., & Hernández, J. (2014). A brief review on the contributions to the knowledge of the difficulties and misconceptions in understanding the chemical equilibrium. *Asian Journal of Education and e-Learning*, 2(6), 448-463.
- Gold, J., & Gold, V. (1985). Le Châtelier's principle and the laws of van't Hoff. *Education in Chemistry*, 22, 82-85.
- Güntut, M., Güneş, P., & Çetin, S. (2019). *Ortaöğretim kimya 11 ders kitabı*. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.
- Hanson, R. (2016). Using an embedded conceptual strategy to enhance students' understanding of Le Chatelier's summation of some stress factors on equilibrium position. *International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education*, 7(3), 2889-2899.
- Hillert, M. (1995). Le Chatelier's principle-restated and illustrated with phase diagrams. *Journal of Phase Equilibria*, 16(5), 403-410.
- Karaca, F., & Ertaş, C. (2014). *Ortaöğretim kimya 11 ders kitabı*. Paşa Yayıncılık Ltd.
- Katz, L. (1961). A systematic way to avoid Le Chatelier's principle in chemical reactions. *Journal of Chemical Education*, 38(7), 375-377.
- Kemp, H. R. (1987). The effect of temperature and pressure on equilibria: A derivation of the van't Hoff rules. *Journal of Chemical Education*, 64(6), 482-484.
- Kousathana, M., & Tsaparlis, G. (2002). Students' errors in solving numerical chemical-equilibrium problems. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3(1), 5-17.
- Kutluca, A. Y., & Aydın, A. (2017). Changes in pre-service science teachers' understandings after being involved in explicit nature of science and socioscientific argumentation processes. *Science and Education*, 26(6), 637-668.
- Lacy, J. E. (2005). Equilibria that shift left upon addition of more reactant. *Journal of Chemical Education*, 82, 1192-1193.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. In S. K. Abell, & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-880). Lawrence Erlbaum Associates.

- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of NOS questionnaire toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of NOS. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Massachusetts Institute of Technology (2008). Lecture 20: Le Chatelier's principle [Video]. MIT opencourseware chemistry video lectures. <https://ocw.mit.edu/courses/chemistry/5-111-principles-of-chemical-science-fall-2008/video-lectures/>
- Miller, A. J. (1954). Le Châtelier's principle and the equilibrium constant. *Journal of Chemical Education*, 31(9), 455.
- Nesis, E. I., & Skibin, Y. N. (2000). Some special features of the Le Chatelier-Braun principle. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 73(4), 859-862.
- Norwich, K. H. (2010). Le Chatelier's principle in sensation and perception: fractal-like enfolding at different scales. *Frontiers in Physiology*, 1, Article 17, 1-7.
- Olivera-Fuentes, C. G., & Colina, C. M. (2007, September 3-7). *Stability, displacement and moderation of chemical equilibrium: Rediscovering Le Chatelier's principle* [Paper presentation]. International Conference on Engineering Education – ICEE, Coimbra, Portugal.
- Özkazan, N. (2019). *Ortaöğretim kimya 11 ders kitabı*. E Kare Eğitim Yayıncılık Mat. San. ve Tic. Ltd. Şti.
- Pekmez, E. S. (2010). Using analogies to prevent misconceptions about chemical equilibrium. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(2), Article 2, 1-34.
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2012). *Genel kimya ilkeler ve modern uygulamalar* (T. Uyar, S. Aksoy, & R. İnam, Çev. Ed.). Palme Yayıncılık.
- Piquette, J. S., & Heikkinen, H. W. (2005). Strategies reported used by instructors to address student alternate conceptions in chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(10), 1112-1134.
- Quilez, J. (2004a). Changes in concentration and in partial pressure in chemical equilibria: Students' and teachers' misunderstandings. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(3), 281-300.
- Quilez, J. (2004b). A historical approach to the development of chemical equilibrium through the evolution of the affinity concept: Some educational suggestions. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(1), 69-87.

Temel Aslan, S.

Quilez, J. (2007, June 24-28). *A Historical/Philosophical Foundation for Teaching Chemical Equilibrium* [Paper presentation]. Ninth International History Philosophy & Science Teaching Conference, Calgary/Canada.

Solaz-Portoles, J. J., & Quílez-Pardo, J. (1995). Thermodynamics and the Le Chatelier's principle. *Revista Mexicana de Física*, 41(1), 128-138.

Solaz, J. J., & Quilez, J. (2001). Changes of extent of reaction in open chemical equilibria. *Chemistry Education: Research And Practice in Europe*, 2(3), 303-312.

Şendur, G., Toprak, M., & Pekmez, E. Ş. (2011). How can secondary students perceive chemical equilibrium? *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(2), 1512-1531.

Uline, M. J., & Corti, D. S. (2006). The ammonia synthesis reaction: An exception to the Le Châtelier principle and effects of nonideality. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 138-144.

Voska, K. W., & Heikkinen, H. W. (2000). Identification and analysis of student conceptions used to solve chemical equilibrium problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 160-176.

Yakmacı-Güzel, B. (2014). 12. Sınıf öğrencilerinin bazı temalardaki kimya kavram yanılgılarının belirlenmesi ve bu bulguların etkili kullanımına dair öneriler. *Boğaziçi Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 31(2), 5-26.

Yenice, N. (Ed.) (2015). *Bilimin doğası, gelişimi ve öğretimi*. Anı Yayıncılık.

