

Buluş yoluyla öğrenme ve anlamlı öğrenme yaklaşımlarına dayalı bir öğretim etkinliği; kimyasal denge tepkimeleri ve stokiyometri ilişkisi

Soner ERGÜL*

Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fen Bilgisi Eğitimi ABD, Kurupelit Yerleşkesi, Samsun

Geliş Tarihi (Received Date): 05.01.2021

Kabul Tarihi (Accepted Date): 09.02.2021

Öz

Kimya eğitiminde bir gösteri deneyinde gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığını belirlemek ve kimyasal denge problemlerini çözmek hem öğretmenlerin hem de öğrencilerin en önemli problemlerinden biridir. Bu çalışmanın amacı, buluş yolu ve anlamlı öğrenme yaklaşımları ile bir gösteri deneyinde gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığının nasıl belirleneceğini ve kimyasal denge problemlerinde denge sabitinin nasıl hesaplanacağını öğretimini aşamalı olarak tasarlamaktır. Bu amaçla, problemlerin çözümünde, her bir aşamanın nasıl çözüleceğini açıklayan iki aşamalı tasarı önerilmektedir. 7 etkinliğin yer aldığı tasarımda Etkinlik 1 ilk aşama için diğer etkinlikler ise ikinci aşama için tasarlanmıştır. Etkinlik 1'in anlaşılması diğer etkinlikler için ön koşuldur. İlk aşama (etkinlik 1) gösteri deneyinde gerçekleşen bir değişimin, kimyasal denge tepkimesi olup olmadığına nasıl karar verileceğini açıklamaktadır. Etkinlik 1 için, dört açık uçlu gösteri deneyi tasarlanmıştır. Bu gösteri deneylerinin amacı, Le Châtelier İlkesi bağlamında sıcaklık değişiminin etkisinin gözlemlenmesidir. Etkinlik 2-7, bir kimyasal denge probleminde, denge sabiti hesaplanırken çözüm yönteminde her bir basamağın nasıl çözüleceğini göstermektedir. Etkinlik 2-7 için, on bir adet çözümlü problem verilmiştir. Tüm etkinlikler lise veya lisans düzeyindeki kimya eğitimi öğrencilerinin kimyasal denge konusu ile ilgili kavramları, Denge Teorisi ve Le Châtelier İlkesi'ni (Etki Tepki İlkesi) öğrenmelerinde yararlı olabilir. Bu etkinlikler ile öğrencilerin kimyasal denge konusunu anlamlı bir şekilde öğrenebilecekleri ve Stokiyometri bağlamında denge sabitini kolay bir şekilde hesaplayabilecekleri söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Kimyasal denge, Stokiyometri, Le Châtelier ilkesi, gösteri deneyi, denge teorisi, dinamik denge.

* Soner ERGÜL, sergul@omu.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-6826-5481>

A teaching activity based on discovery learning and meaningful learning approaches: the relationship between stoichiometry and chemical equilibrium reactions

Abstract

The determination whether a change occurring in a demonstration experiment is a chemical equilibrium reaction and solving equilibrium problems are some of the most important problems for both teachers and students in chemistry education. This study aims to gradually design the teaching of how to determine whether the change occurring in a demonstration experiment is a chemical equilibrium reaction, and how to calculate the equilibrium constant in chemical equilibrium problems through invention and meaningful learning approaches. For this purpose, a two-stage design that explains each stage in solving problems is proposed. In the design including 7 activities, Activity 1 was designed for the first stage and the other activities for the second stage. Understanding Activity 1 is a prerequisite for other activities. The first stage (activity 1) explains how to decide whether a change that occurs in the demonstration experiment is a chemical equilibrium reaction. For Activity 1, four open-ended demonstration experiments whose aim is to observe the effect of temperature change in the context of the Le Châtelier Principle are designed. Activity 2-7 shows how to solve the problem in each stage in the solution method when calculating the equilibrium constant in a chemical equilibrium problem. For Activity 2-7, eleven problems with solutions are given. All activities can be useful for high school or undergraduate chemistry students while learning the concepts of chemical equilibrium, Equilibrium Theory and Le Châtelier Principle. It can be said that via these activities, students will be able to learn the subject of chemical equilibrium in a meaningful way and calculate the equilibrium constant easily in the context of stoichiometry.

Keywords: *Chemical equilibrium, Stoichiometry, Le Châtelier principle, demonstration experiment, equilibrium theory.*

1. Giriş

Kimya eğitiminde anlamlı öğrenme, öğrencinin bilimsel bilgiyi bilmesinin ötesinde, yeni durumlarda bilgiyi kullanabilmesini gerektirir (Hackathorn ve diğerleri, 2011). Öğrencilerin bilgiyi edinmesi ve kullanmasına yönelik yol gösterici olarak fen eğitimi literatüründe iki kuramsal yaklaşım kendini göstermektedir. Öğretim stratejilerini belirleyen bu yaklaşımlardan ilki genelde “Buluş Yoluyla Öğrenme” olarak adlandırılan öğrenme kuramıdır. Buluş yoluyla öğrenme, “bilmek bir ürün değil, bir süreçtir” diyen Bruner tarafından 1960’lı yıllarda geliştirilmiştir (Akman ve Erden, 1997, Senemoğlu, 2001). Bu kurama göre, öğretim ortamı öğretmenin hazır bilgiyi öğrenciye sunmasından çok, öğrencinin kendi kendine öğrenebileceği bir ortam olmalıdır. Bu nedenle öğrencilerin bilgiyi edinmeleri düşünme ve deneme sonucunda bir buluş ile gerçekleşir. Öğretmenin rolü ise bilgiyi doğrudan sunmak yerine öğrencilere deney yapmalarını ve bilimsel bilgilere (ilke ve kavramlara) ulaşmalarını sağlamak ve onlara rehberlik etmektir (Özmen,2004; Aydın, 2001). Buluş yoluyla bir fen konusunun öğretiminin temelini gösteri deneyleri, tümevarım yaklaşımı ve problem çözme oluşturmaktadır (Çepni, S.

2012). Diğer taraftan bilginin yeni durumlara uygulanması ve örneklendirilmesi açısından fen eğitimi için öne çıkan kuram ise D. Ausubel tarafından geliştirilmiştir. Bu kuram genelde sunuş yolu ile öğretimi destekleyen “Anlamlı Öğrenme” kuramıdır. Bu kuramda bilginin birey tarafından anlamlandırılması esastır. Öğrenmenin anlamlı olarak gerçekleştirilebilmesi için; öğrenilecek bilgiler, kendi içinde bir bütünlük ve anlamlılık taşınmalı; öğrenci, öğrenilecek konuyla ilgili doğru ön bilgilere sahip, öğrenmeye karşı istekli ve kararlı olmalıdır. Bu yaklaşım tümdengelim yöntemini esas alır; öğretilecek konunun aşamalı olarak ayrıntılara dönüştürülmesi gerekir. Anlamlı öğrenmenin gerçekleştirilebilmesi için, yeni bilgi ile eski bilgi arasındaki ilişkilerin belirtilmesi, önemli farklılıklar ve benzerliklerin ortaya konması ve anlaşılmayan noktaların giderilmesi gerekir (Fidan ve Erden, 1986).

Bu bağlamda bakıldığında buluş yolu ile öğrenme ve anlamlı öğrenme, başka bir ifade ile sunuş yolu ve buluş yolu, birlikteliğinde bir bütünlük oluşturmak kimya eğitiminde etkili sonuçlar verebilir. Çünkü kimya hem bir öğrencinin tümevarımla ulaşabileceği deneysel bilgileri (ampirik) hem de bir öğrencinin buluş yapması her zaman mümkün olmayan üzerinde uzlaşmış kuramsal bilgileri (teori ve modelleri) içeren bir bilimdir (Sarıtay ve Tufan, 2013). Örneğin kuramsal bilgilerin öğrenilmesi kimya eğitiminde zordur. Örneğin yoğun bir kuramsal bilgi gerektiren kimyasal denge tepkimeleri kimya eğitiminde önemli ve anlaşılması zor olan konulardan biridir. Literatürde bir kimyasal tepkimenin denge tepkimesi olduğunu belirlemek amacıyla yapılmış çok az birinde (Cheung, 2009) Le Châtelier İlkesi (Etki Tepki İlkesi) bağlamında kimyasal dengeye derişimin etkisi ile ilgili uyguladığı testte 33 öğretmenden yalnızca 2 öğretmenin denge teorisini uygulayabildiği ve 31 öğretmenin kimyasal denge problemlerini çözme konusunda başarısız olduğu ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar sabit sıcaklıkta, NO₂ ve N₂O₄ gazlarının dengede olduğu tepkimenin bulunduğu sistemin hacmi azaltıldığında, NO₂ ve N₂O₄ gazlarının derişim veya basıncının başlangıçta ve tekrar denge kurulduğunda nasıl değişeceğini, dengenin hangi yöne kayacağına karar vermede çoğu öğretmenin problem yaşadığını ifade etmişlerdir. Bu durumu, okullar için hazırlanmış ders müfredatının yetersizliği ve kimyasal denge ile ilgili kavramların soyut olmasına dayandırmışlardır. Deneysel bilgilerin edinilmesinde kimya eğitiminde deneysel yaklaşımlar bağlamında laboratuvar yöntemi ve gösteri deneyleri oldukça önemlidir. Ancak kapalı uçlu deneysel etkinlikler öğrencilerin bilim insanı gibi davranış göstermesini sağlamaz iken; açık uçlu deneysel etkinlikler ise öğrencilerin, bilim insanı gibi davranış göstermesini sağlamaktadır. (Gallet, 1998). Bu nedenle deneyler özellikle daha az kuramsal bilgi gerektiren ve deneyden elde edilebilecek bilgileri hedefleyen etkinliklerde öğrencilerin buluşuna imkân vermektedir. Örneğin yine denge konusu ile ilgili olarak Eilks ve Gülaçar (2016), kimya eğitiminde gösteri deneyi uygulamalarının bazı kavramların öğretimini kolaylaştırdığını belirtmişlerdir. Eilks, Gülaçar ve Sandoval (2018), ise oda sıcaklığında katı olan zeolitlerin asit-baz özellikleri ile ilgili bir gösteri deneyi tasarlamışlardır. Bu gösteri deneyinde, etki-tepki ilkesinin öğretimi amacıyla tepkimede türlerden birinin derişiminin değiştirilmesi durumunda tepkimenin hangi yöne değiştiğini gözlem yoluyla elde edilen nitel verilere bağlı olarak basit ve somut bir şekilde yapılabildiğini belirtmişlerdir.

Kimya eğitiminde hem kuramsal hem de deneysel bilgilerin bir arada verilmesi gereken konulardan birisi olan kimyasal dengenin öğretiminde analogi ve bilgisayar destekli uygulamaların etkili olduğu bilinmektedir (Coloman ve Wildman; 200; İhde, 1989). Ancak yukarıda ifade edildiği üzere bu konudaki sorunlar devam etmektedir. Bu nedenle hem deneysel hem de kuramsal bilgilerin sistematik bir şekilde deneyime ve çıkarıma imkan veren bir etkinlik tasarımı ile sağlanabilmesi mümkündür. Bu konuda Ergül ve

arkadaşları (2020) turnusol testi bağlamında turnusol kağıdının asit ve baz çözeltilerindeki renk değişiminin tersinir nitelikte olduğunu somut ve basit bir şekilde gösteren ardışık gösteri deneyleri tasarlamış ve kimyasal denge tepkimeleri üzerinden kimyasal değişimin doğasının öğretiminde kullanılabilir bir öğretim planlaması önermişlerdir. Yine benzer bir etkinlik Ergül (2018) tarafından, az çözünen tuz oluşum tepkimelerine bağlı olarak Ag^{1+} ve Pb^{2+} katyonlarının Cl^{1-} ile $AgCl$ ve $PbCl_2$ az çözünen tuz oluşumu ile birbirinden ayrılabilirliği, gravimetrik olarak nicel analizlerinin yapılabilirliği ile stokiyometri ilişkisi üzerine etkinlik tasarımı önermiştir.

Bu çalışmada ise bilişsel kurama ait ve kimya konularındaki öğrenmelere uygun olan “Buluş Yoluyla Öğrenme Yaklaşımı” ve “Anlamlı Öğrenme Yaklaşımı” temel alınarak “Kimyasal Denge Tepkimeleri” konusunun öğretimi için ders tasarımı geliştirilmiş ve uygulamaya hazır hale getirilmiştir.

2. Etkinlik

2.1. Etkinlik, aşamalar ve soruları

Etkinlikler iki ana aşama içermektedir ve bu aşamalara bağlı olarak iki ana soruya cevap vermektedir;

İlk aşamada, açık uçlu bir gösteri deneyinde gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığının nasıl belirleneceği konusuna odaklanılmıştır. Bu aşamada şu soruya cevap aranmıştır; *Açık uçlu bir gösteri deneyinde gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığına nedensellik ilkesi bağlamında nasıl karar verilir?*

İkinci aşamada kimyasal denge tepkimelerinde hesaplamaların nasıl yapılacağı örnek problemlerin çözümü yer almaktadır. Bu aşamada ise şu soruya cevap aranmıştır; *Bir kimyasal denge tepkimesinin denge sabiti (k_d) nasıl hesaplanır?*

Etkinlikte bir gösteri deneyinde gerçekleşen kimyasal değişimin türünün nasıl belirleneceğinin ve kimyasal denge problemlerinin nasıl çözüleceğinin öğretimi için yedi etkinlik önerilmiş ve on beş adet çözümlü kimyasal denge problemi verilmiştir. Önerilen etkinlikler, kazanımları ve ilgili örnek problem numaraları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Önerilen etkinlikler, kazanımları ve örnek problem dağılımı.

Etkinlik ismi	Kazanımlar	Örnek Problem
Etkinlik 1	Kimyasal denge tepkimesini belirleme.	Problem 1–4
Etkinlik 2	Kimyasal denge tepkimesini denkleştirebilme. Homojen denge tepkimesi ve heterojen denge tepkimesini ayırt etme	Problem 5–6
Etkinlik 3	Denge sabiti eşitliğini yazma.	Problem 7-8
Etkinlik 4	Bir kimyasal denge probleminde dengedeki türlerin molar derişimleri verildiğinde, denge sabitini hesaplama	Problem 9
Etkinlik 5	Bir kimyasal denge probleminde dengedeki türlerin mol sayıları ve sistemin hacmi verildiğinde, denge sabitini hesaplama	Problem 10
Etkinlik 6	Bir kimyasal denge probleminde dengedeki türlerin kütleleri, mol kütleleri ve sistemin hacmi verildiğinde, denge sabiti hesaplama	Problem 11
Etkinlik 7	Bir kimyasal denge probleminde toplanabilirlik ilkesine göre, denge sabitini hesaplama	Problem 12-15

1. Aşama: Kimyasal Denge Tepkimesi

Bu aşamada 1 etkinlik ve 4 gösteri deneyi tasarlanmıştır.

Bir gösteri deneyinde gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığına nasıl karar verileceğinin öğretimi Etkinlik 1’de açıklanmaktadır.

Etkinlik 1. (Değişim kimyasal denge tepkimesi mi değil mi?)

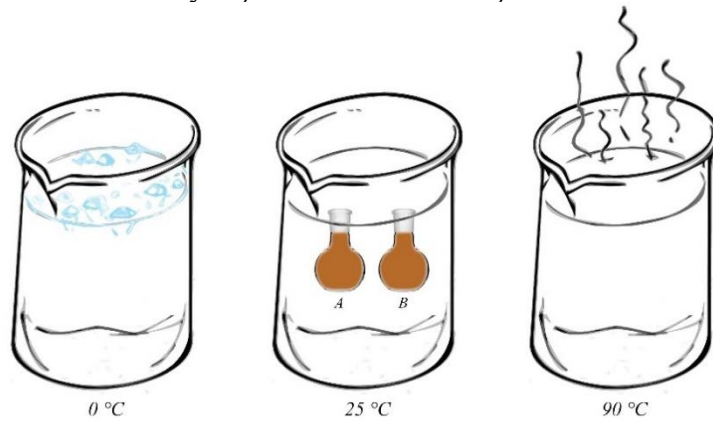
Açık uçlu bir gösteri deneyinde gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığını öğrencinin belirlemesi amaçlanmıştır. Açık uçlu bir gösteri deneyi Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklık değişiminin dengeye etkisinin incelenmesine dayanır. Etkinlik 1’deki örnek problemlerde, sıcaklık değişimi ile renk şiddetinin değişimine bağlı olarak, değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığını öğrenci tarafından belirlenmesi istenmektedir. Problem 4 basamakta çözülür. **Birinci basamakta**, öğrenci gösteri deneyindeki NO_2 ve N_2O_4 gazlarının hangi renkte olduğunu belirlemelidir. **İkinci basamakta**, sıcaklık değiştiğinde, NO_2 ve N_2O_4 gazlarının miktar veya derişimlerinin nasıl değiştiğini belirlemelidir. **Üçüncü basamakta**, Maddenin Korunumu Yasası ve Atom Teorisi’ne göre, renk şiddetindeki değişime bağlı olarak fiziksel değişim mi yoksa kimyasal değişim mi gerçekleştiğine karar vermelidir. **Dördüncü basamakta**, renk şiddetindeki değişim ve bu değişime neden olan fiziksel veya kimyasal değişimin tersinir mi yoksa tersinmez mi olduğuna karar vermelidir. **Son olarak**, gösteri deneyinde gerçekleşen değişimin, kimyasal denge tepkimesi olup olmadığına karar vermelidir.

Öğretmen ders anında gösteri deneyi metnini okuduktan sonra, tekrar okumalı ve öğrencilerin her bir basamak ile ilgili soruyu yanıtlamalarını istemelidir. Bu amaçla dört açık uçlu gösteri deneyi tasarlanmıştır.

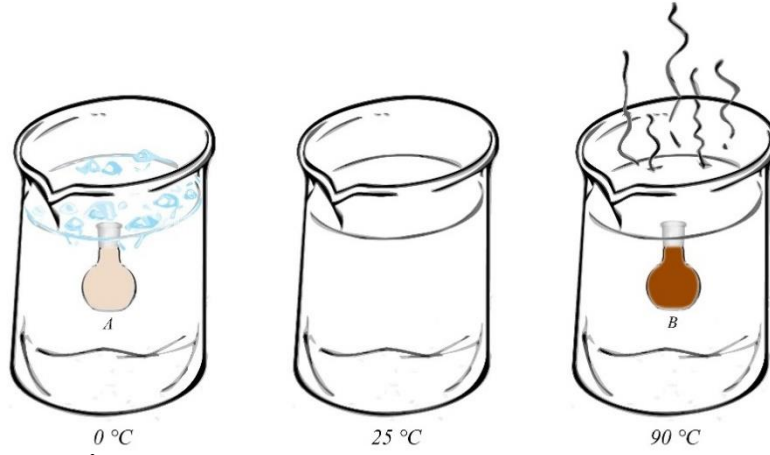
Gösteri Deneyi 1, Pimental G. C. (1963)’den yararlanılarak yeniden tasarlanmıştır.

Gösteri Deneyi 1 (Kimyasal dengeyi görebilir miyim?)

0°C , 25°C ve 90°C ’de N_2O_4 gazı renksiz iken, NO_2 gazı kızıl kahve renkli olduğu bilinmektedir. Deneysel etkinliğin **birinci basamağında**, oda sıcaklığındaki (25°C) su banyosuna daldırılmış iki özdeş balona, aynı basınçta saf NO_2 gazı doldurulmaktadır. **İkinci basamakta**, NO_2 gazı dolu balonlardan birisi 0°C ’deki buz banyosuna, diğeri ise 90°C ’deki su banyosuna daldırılmaktadır. 0°C ’deki balondaki gazın zamana bağlı olarak kızıl kahve renk şiddetinin azaldığı ve belli bir süre sonra renk şiddetinin sabit kaldığı, 90°C ’deki balondaki gazın zamana bağlı olarak kızıl kahve renk şiddetinin arttığı ve belli bir süre sonra renk şiddetinin sabit kaldığı gözlemlenmektedir. **Son basamakta**, her iki balonda tekrar 25°C sıcaklıktaki balona daldırıldığında, her iki balonda da kızıl kahve renk şiddetinin aynı olduğu gözlenmektedir. Deneysel etkinliğin birinci, ikinci ve son aşamalarının görüntüleri sırasıyla Şekil 1-3’de verilmiştir.



Şekil 1. **Birinci basamak:** 25°C ’deki su banyosuna daldırılmış aynı basınçta saf NO_2 gazı içeren A ve B balonlarının görüntüsü. (Açık kızıl kahve renkli).



Şekil 2. **İkinci basamak:** 0°C'de A balonunun ve 90°C'de B balonunun görüntüsü. (0°C'de renksiz yakın kızıl kahve, 90°C'de koyu kızıl kahve renkli).



Şekil 3. **Son basamak:** 25°C'de aynı basınçta NO₂ gazı içeren A ve B balonlarının görüntüsü. (Aynı şiddette açık kızıl kahve renkli).

Problem 1. Gösteri Deneyi 1'de gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığına karar veriniz.

Gösteri Deneyi 1'in amacı nedir?

Yanıt: 25°C'de aynı basınçta NO₂ gazı doldurulmuş özdeş iki balonun Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklığı değiştirildiğinde, kızıl kahve renk şiddetinin nasıl değiştiğini gözlem yoluyla incelemek ve nedensellik ilkesi bağlamında değişimlerin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığını açıklamaktır.

Gösteri Deneyi 1'de ne gözlenmektedir?

Yanıt: 25°C'den 0°C'deki buz banyosuna daldırılan balonda, kızıl kahve renk şiddetinin azaldığı, 25°C'den 90°C'deki su banyosuna daldırılan balonda ise, kızıl kahve renk şiddetinin arttığı gözlenmektedir. 0°C ve 90°C'deki balonlar tekrar 25°C'deki su banyosuna daldırıldığında, kızıl kahve renk şiddetinin her ikisinde de aynı olduğu gözlenmektedir.

Gösteri Deneyi 1'de NO₂ ve N₂O₄ gazlarının renkleri neden farklıdır?

Yanıt: Bazı bileşiklerin molekülleri görünür bölge ışığını hiç absorblamaz iken, bazı bileşiklerin molekülleri ise görünür bölge ışığın bir miktarını absorblayabilir. Gösteri Deneyi 1'de, N₂O₄ molekülleri görünür bölge ışınlarını absorblamaz iken, NO₂ molekülleri bazı görünür bölge ışınlarını absorblar. Bu nedenle, N₂O₄ gazı renksiz görünürken, NO₂ gazı kızıl kahve renkli görünür.

Gösteri Deneyi 1'de aynı şartlarda iki gaz örneğinin renginin farklı olması ne anlama gelir?

Yanıt: Atom Teorisi'ne göre, aynı şartlarda iki gaz örneğinin renginin farklı olması, moleküler yapılarının birbirinden farklı olduğu başka bir deyişle farklı maddeler olduğu anlamına gelmektedir. Gösteri Deneyi 1'de NO₂ ve N₂O₄ gazları aynı tür (N ve O) atomlardan oluşmalarına rağmen, molekül yapıları bağlamında birleşen N ve O atomu sayılarının, molekül formüllerinin ve molekül geometrilerinin farklı olması nedeniyle maksimum absorpsiyon yaptıkları dalga boyu (λ_{max}) değerleri veya renkleri farklıdır.

Gösteri Deneyi 1'de renk şiddetinin azalması veya artmasının nedeni fiziksel değişim mi yoksa kimyasal değişim midir?

Yanıt: Lambert Beer Yasası'na göre, NO₂ gazı derişimi ile kıvıl kahve renk şiddeti doğru orantılıdır. Balonun sıcaklığı 25°C'den 0°C'ye azaltıldığında kıvıl kahve renk şiddeti azaldığına göre, NO₂ gazı derişimi de azalır. Bu durumda, Maddenin Korunumu Yasası ve Atom Teorisi'ne göre NO₂ gazı, renksiz yeni bir maddeye (N₂O₄ gazı) dönüşmektedir. Bu nedenle, kimyasal değişim gerçekleştiği söylenebilir.

Gösteri Deneyi 1'de renk şiddetinin değişimi tersinir mi yoksa tersinmez mi?

Yanıt: 25°C'den 0°C'ye daldırılan balonun renk şiddeti azalırken, 25°C'den 90°C'ye daldırılan balonunun renk şiddetinin artması ve her iki balonda tekrardan 25°C'deki balona daldırıldığında aynı renk şiddetine sahip olması, gerçekleşen renk değişiminin tersinir özellikte olduğunu göstermektedir.

Gösteri Deneyi 1'de renk şiddetinin değişiminin tersinir olması ne anlama gelmektedir?

Yanıt: Tersinir renk değişimi nedeniyle gerçekleşen kimyasal değişimin, kimyasal denge tepkimesi olduğu anlamına gelir.

Gösteri Deneyi 1'de renk şiddetinin sabit olması ne anlama gelmektedir?

Yanıt: Kimyasal Kinetik Teori'ye göre, ileri tepkimenin hızının, geri tepkimenin hızına eşit olduğu, Termodinamik açıdan denge kesrinin denge sabitine eşit olduğu, sonuç olarak sistemde gerçekleşen tepkimenin denge konumuna ulaştığı anlamına gelmektedir.

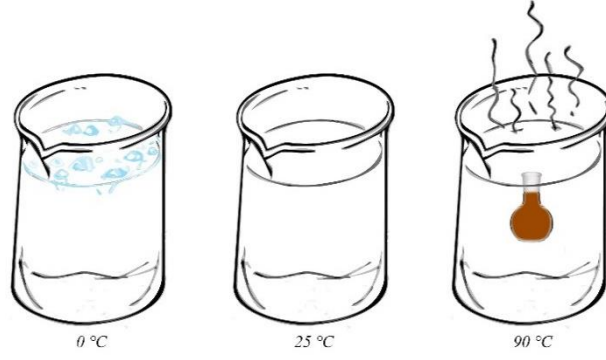
Gösteri Deneyi 1'de renk şiddetinin sabit olması Denge Teorisi'ne göre nasıl açıklanır?

Yanıt: Denge Teorisi'ne göre, sabit sıcaklıkta kapalı bir sistemde renk şiddeti gibi bir makroskobik özelliğın sabit olması, sistemde gerçekleşen değişimin dengede olduğunu göstergesidir. Ancak, renk şiddeti değişmemesine rağmen, dinamik dengenin doğası gereği moleküler düzeyde girenlerin ürünlere, ürünlerin girenlere dönüşümü devam eder.

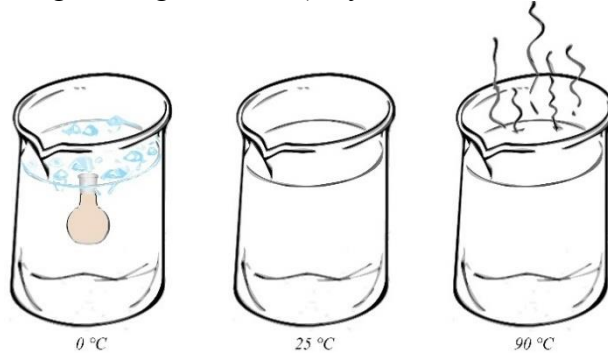
Gösteri Deneyi 2 (Kimyasal dengeyi görebilir miyim?)

Deneysel yöntem: 0°C, 25°C ve 90°C'de N₂O₄ gazı renksiz iken, NO₂ gazı kıvıl kahve renkli olduğu bilinmektedir. Deneysel etkinliğin **birinci basamağında**, 90°C'deki su banyosunda olan ağzı kapalı bir balona saf kıvıl kahve renkli NO₂ gazı doldurulmaktadır.

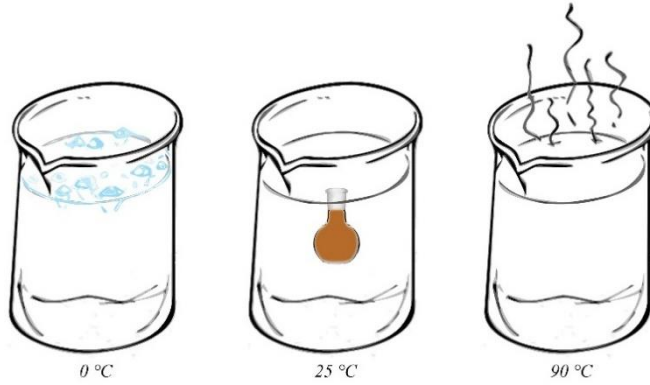
İkinci basamakta, 90°C'deki balon su banyosundan çıkarılıp 0°C'deki buz banyosuna daldırıldığında, zamana bağlı olarak kıvıl kahve renk şiddetinin azaldığı ve belli bir süre sonra renk şiddetinin sabit kaldığı gözlemlenmektedir. **Son basamakta**, 0°C'deki buz banyosundaki balon 25°C'deki su banyosuna konulduğunda, zamana bağlı olarak kıvıl kahve renk şiddetinin arttığı ve belli bir süre sonra renk şiddetinin sabit kaldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca 90°C'deki kıvıl kahve renk şiddetinin 25°C'deki renk şiddetinden daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Deneysel etkinliğin birinci, ikinci ve son aşamasının görüntüleri sırasıyla Şekil 4- 6'da verilmiştir.



Şekil 4. **Birinci basamak:** 90°C'deki su banyosuna daldırılmış balondaki saf NO₂ gazının görüntüsü. (Koyu kırmızı kahve renkli).



Şekil 5. **İkinci basamak:** 0°C'deki buz banyosuna daldırılmış balondaki gazın görüntüsü. (Renksiz yakın kırmızı kahve renkli).



Şekil 6. **Üçüncü basamak:** 25°C'deki su banyosuna daldırılmış balondaki gazın görüntüsü. (Açık kırmızı kahve renkli).

Problem 2. Gösteri Deneyi 2'de gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığına karar veriniz.

Gösteri Deneyi 2'in amacı nedir?

Yanıt: 90°C sıcaklıkta yalnızca NO₂ gazı içeren bir balonun Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklığı değiştirildiğinde, kırmızı kahve renk şiddetinin nasıl değiştiğini gözlem yoluyla incelemek ve nedensellik ilkesi bağlamında değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığını açıklamaktır.

Gösteri Deneyi 2'de ne gözlenmektedir?

Yanıt: Balondaki gazın sıcaklığı 90°C'den 0°C'ye azaltıldığında kırmızı kahve renk şiddetinin azaldığı, 0°C'den 25°C'ye artırıldığında ise kırmızı kahve renk şiddetinin arttığı

gözlenmektedir. Ayrıca 90°C'deki kıvıll kahve renk şiddetinin 25°C'deki renk şiddetinden daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Gösteri Deneyi 2'de renk şiddetinin azalmasının nedeni fiziksel değişim mi yoksa kimyasal değişim midir?

Yanıt: Lambert Beer Yasası'na göre, renge neden olan maddenin derişimi ile renk şiddeti doğru orantılıdır. Bu nedenle Gösteri Deneyi 2'de NO₂ gazı derişimi ile kıvıll kahve renk şiddeti doğru orantılıdır. Balonun sıcaklığı 90°C'den 0°C'ye azaltıldığında kıvıll kahve renk şiddeti azaldığına göre, NO₂ gazı derişimi de azalır. Bu durumda, Maddenin Korunumu Yasası ve Atom Teorisi'ne göre NO₂ gazı, renksiz yeni bir maddeye (N₂O₄ gazı) dönüşmektedir. Bu nedenle, kimyasal değişim gerçekleştiği söylenebilir.

Gösteri Deneyi 2'de renk şiddetinin değişimi tersinir mi yoksa tersinmez mi?

Yanıt: Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklık azaltıldığında ve artırıldığında, aynı renk (kıvıll kahve renk) azalıyor ve tekrar artıyorsa renk değişimi ve renk değişimine neden olan değişim tersinirdir. Bu nedenle, Gösteri Deneyi 2'de, balonun sıcaklığı 90°C'den 0°C'ye azaltıldığında, kıvıll kahve renk şiddetinin azalması ve 0°C'den 25°C'ye artırıldığında kıvıll kahve renk şiddetinin artması, gerçekleşen renk değişiminin tersinir özellikte olduğunu göstermektedir.

Gösteri Deneyi 2'de renk şiddetinin değişiminin tersinir olması ne anlama gelmektedir?

Yanıt: Tersinir renk değişimi nedeniyle gerçekleşen kimyasal değişimin, kimyasal denge tepkimesi olduğu anlamına gelir.

Gösteri Deneyi 2'de renk şiddetinin sabit olması ne anlama gelmektedir?

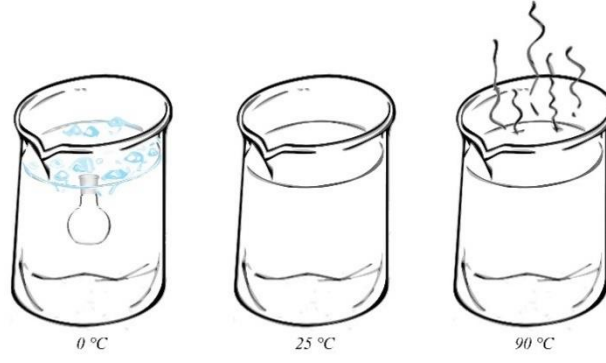
Yanıt: Kimyasal Kinetik Teori'ye göre, ileri tepkimenin hızının, geri tepkimenin hızına eşit olduğu, Termodinamik açıdan denge kesrinin denge sabitine eşit olduğu, sonuç olarak sistemde gerçekleşen tepkimenin denge konumuna ulaştığı anlamına gelmektedir.

Gösteri Deneyi 2'de renk şiddetinin sabit olması Denge Teorisi'ne göre nasıl açıklanır?

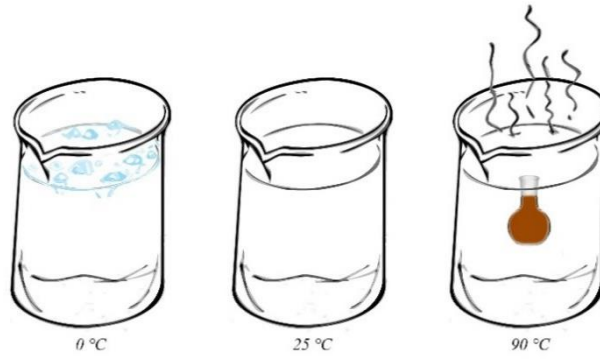
Yanıt: Denge Teorisi'ne göre, sabit sıcaklıkta kapalı bir sistemde renk şiddeti gibi bir makroskobik özelliğin sabit olması, sistemde gerçekleşen değişimin dengede olduğunun göstergesidir. Ancak, renk şiddeti değişmemesine rağmen, dinamik dengenin doğası gereği moleküler düzeyde girenlerin ürünlere, ürünlere girenlere dönüşümü devam eder.

Gösteri Deneyi 3 (Kimyasal dengeyi görebilir miyim?)

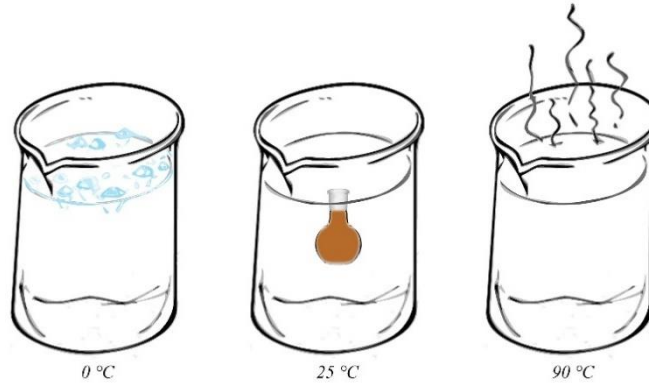
Deneyel Yöntem: 0°C, 25°C ve 90°C de N₂O₄ gazı renksiz iken, NO₂ gazı kıvıll kahve renkli olduğu bilinmektedir. Deneyel etkinliğin **birinci basamağında**, 0°C'deki buz banyosunda olan ağzı kapalı bir balona saf renksiz N₂O₄ gazı doldurulmaktadır. **İkinci basamakta**, 0°C'deki balon buz banyosundan çıkarılıp 90°C'deki su banyosuna konulduğunda, zamana bağlı olarak kıvıll kahve renk şiddetinin arttığı ve belli bir süre sonra renk şiddetinin sabit kaldığı gözlemlenmektedir. **Son basamakta**, 90°C'deki su banyosundaki balon 25°C'deki su banyosuna daldırıldığında, zamana bağlı olarak kıvıll kahve renk şiddetinin azaldığı ve belli bir süre sonra renk şiddetinin sabit kaldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca 90°C deki kıvıll kahve renk şiddetinin 25°C'deki renk şiddetinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Deneyel etkinliğin birinci, ikinci ve son aşamasının görüntüleri sırasıyla Şekil 7- 9'da verilmiştir.



Şekil 7. **Birinci basamak:** 0°C'deki su banyosuna daldırılmış balondaki saf N_2O_4 gazının görüntüsü. (Renksiz).



Şekil 8. **İkinci basamak:** 90°C'deki su banyosuna daldırılmış balondaki gazın görüntüsü. (Koyu kırmızı kahve renkli).



Şekil 9. **Üçüncü basamak:** 25°C'deki su banyosuna daldırılmış balondaki gazın görüntüsü. (Açık kırmızı kahve renkli).

Problem 3. Gösteri Deneyi 2'de gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığına karar veriniz.

Gösteri Deneyi 3'ün amacı nedir?

Yanıt: 0°C sıcaklıkta yalnızca N_2O_4 gazı içeren bir balonun Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklığı değiştirildiğinde, kırmızı kahve renk şiddetinin nasıl değiştiğini gözlem yoluyla incelemek ve nedensellik ilkesi bağlamında değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığını açıklamaktır.

Gösteri Deneyi 3'de ne gözlenmektedir?

Yanıt: Balonun sıcaklığı 0°C'den 90°C'ye arttırıldığında renk şiddetinin arttığı, 90°C'den 25°C'ye azaltıldığında ise renk şiddetinin azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca 90°C'deki kıvı kahve renk şiddetinin 25°C'deki renk şiddetinden daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Gösteri Deneyi 3'de renk şiddetinin artmasının nedeni fiziksel değişim mi yoksa kimyasal değişim midir?

Yanıt: Lambert Beer Yasası'na göre, NO₂ gazı derişimi ile kıvı kahve renk şiddeti doğru orantılıdır. Balonun sıcaklığı 0°C'den 90°C'ye arttırıldığında kıvı kahve renk şiddeti arttığına göre, NO₂ gazı derişimi de artar. Bu durumda, Maddenin Korunumu Yasası ve Atom Teorisi'ne göre renksiz N₂O₄ gazı, kıvı kahve renkli yeni bir maddeye (NO₂ gazı) dönüşmektedir. Bu nedenle, kimyasal değişim gerçekleşmektedir.

Gösteri Deneyi 3'de renk şiddetinin değişimi tersinir mi yoksa tersinmez mi?

Yanıt: Balonun sıcaklığı 0°C'den 90°C'ye arttırıldığında, renk şiddetinin artması ve 90°C'den 25°C'ye azaltıldığında renk şiddetinin azalması, gerçekleşen renk değişiminin tersinir özellikte olduğunu göstermektedir.

Gösteri Deneyi 3'de renk şiddetinin değişiminin tersinir olması ne anlama gelmektedir?

Yanıt: Tersinir renk değişimi nedeniyle gerçekleşen kimyasal değişimin, kimyasal denge tepkimesi olduğu anlamına gelir.

Gösteri Deneyi 3'de renk şiddetinin sabit olması ne anlama gelmektedir?

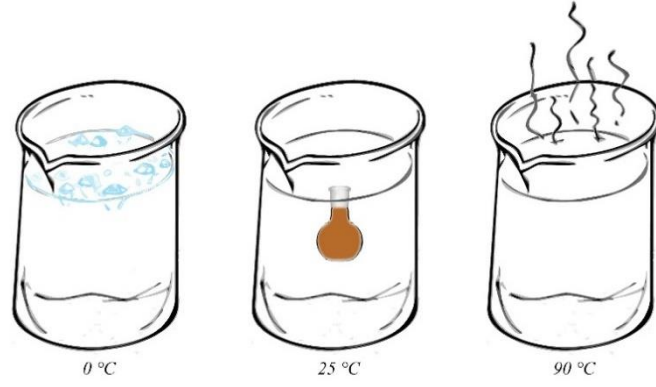
Yanıt: Kimyasal Kinetik Teori'ye göre, ileri tepkimenin hızının, geri tepkimenin hızına eşit olduğu, Termodinamik açıdan denge kesrinin denge sabitine eşit olduğu, sonuç olarak sistemde gerçekleşen tepkimenin denge konumuna ulaştığı anlamına gelmektedir.

Gösteri Deneyi 3'de renk şiddetinin sabit olması Denge Teorisi'ne göre nasıl açıklanır?

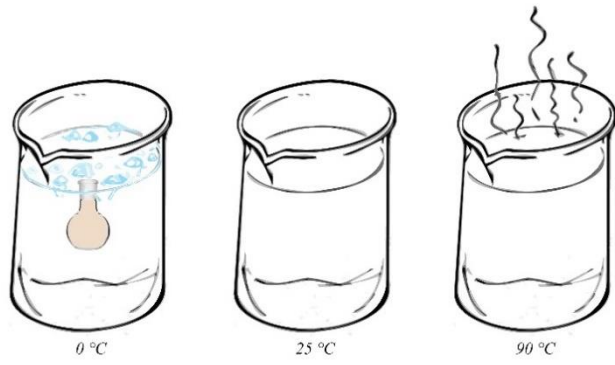
Yanıt: Denge Teorisi'ne göre, sabit sıcaklıkta kapalı bir sistemde renk şiddeti gibi bir makroskobik özelliğin sabit olması, sistemde gerçekleşen değişimin dengede olduğunu göstergesidir. Ancak, renk şiddeti değişmemesine rağmen, dinamik dengenin doğası gereği moleküler düzeyde girenlerin ürünlere, ürünlerin girenlere dönüşümü devam eder.

Gösteri Deneyi 4 (Kimyasal dengeyi görebilir miyim?)

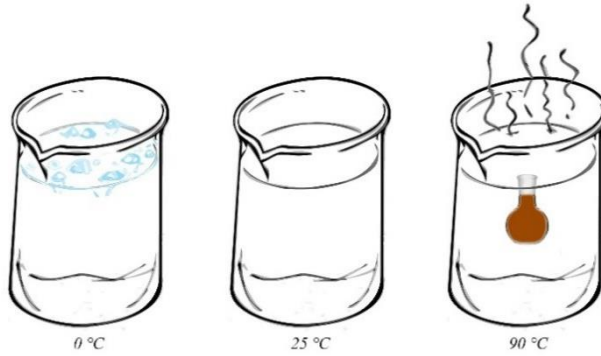
Deneyel Yöntem: 0°C, 25°C ve 90°C'de N₂O₄ gazı renksiz iken, NO₂ gazı kıvı kahve renkli olduğu bilinmektedir. Deneyel etkinliğinin **birinci basamağında**, 25°C'deki su banyosunda olan ağzı kapalı bir balona bir miktar NO₂ ve N₂O₄ gazlarından doldurulmakta ve renk şiddeti sabit kalıncaya kadar bekletilmektedir. **İkinci basamakta**, 25°C'deki balon su banyosundan çıkarılıp 0°C'deki buz banyosuna daldırıldığında, zamana bağlı olarak kıvı kahve renk şiddetinin azaldığı ve belli bir süre sonra renk şiddetinin sabit kaldığı gözlemlenmektedir. **Son basamakta**, 0°C'deki buz banyosundaki balon 90°C'deki su banyosuna konulduğunda, zamana bağlı olarak kıvı kahve renk şiddetinin arttığı ve belli bir süre sonra renk şiddetinin sabit kaldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca 90°C'deki kıvı kahve renk şiddetinin 25°C'deki renk şiddetinden daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Deneyel etkinliğin birinci, ikinci ve son aşamasının görüntüleri sırasıyla Şekil 10- 12'de verilmiştir.



Şekil 10. **Birinci basamak:** 25°C'deki su banyosuna daldırılmış N_2O_4 ve NO_2 gazı içeren balonun görüntüsü. (Açık kırmızı kahve renkli).



Şekil 11. **İkinci basamak:** 0°C'deki buz banyosuna daldırılmış balondaki gazın görüntüsü. (Renksiz yakın kırmızı kahve renkli).



Şekil 12. **Üçüncü basamak:** 90°C'deki su banyosuna daldırılmış gazı içeren balonun görüntüsü. (Koyu kırmızı kahve renkli).

Problem 4. Gösteri Deneyi 4'de gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığına karar veriniz.

Gösteri Deneyi 4'ün amacı nedir?

Yanıt: 25°C'deki NO_2 ve N_2O_4 gazı içeren bir balonun Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklığı değiştirildiğinde, kırmızı kahve renk şiddetinin nasıl değiştiğini incelemek ve nedensellik ilkesi bağlamında değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığını açıklamaktır.

Gösteri Deneyi 4'de ne gözlenmektedir?

Yanıt: Balonun sıcaklığı 25°C'den 0°C'ye azaltıldığında renk şiddetinin azaldığı, 0°C'den 90°C'ye arttırıldığında ise renk şiddetinin arttığı gözlenmektedir. Ayrıca 90°C'deki kıvı kahve renk şiddetinin 25°C'deki renk şiddetinden daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Gösteri Deneyi 4'de renk şiddetinin azalmasının nedeni fiziksel değişim mi yoksa kimyasal değişim midir?

Yanıt: Lambert Beer Yasası'na göre, NO₂ gazı derişimi ile kıvı kahve renk şiddeti doğru orantılıdır. Balonun sıcaklığı 25°C'den 0°C'ye azaltıldığında kıvı kahve renk şiddeti azaldığına göre, NO₂ gazı derişimi de azalır. Bu durumda, Maddenin Korunumu Yasası ve Atom Teorisi'ne göre NO₂ gazı, renksiz yeni bir maddeye (N₂O₄ gazı) dönüşmektedir. Bu nedenle, kimyasal değişim gerçekleştiği söylenebilir.

Gösteri Deneyi 4'de renk şiddetinin değişimi tersinir mi yoksa tersinmez mi?

Yanıt: Balonun sıcaklığı 25°C'den 0°C'ye azaltıldığında, renk şiddetinin azalması ve 0°C'den 90°C'ye arttırıldığında renk şiddetinin artması, gerçekleşen renk değişiminin tersinir özellikte olduğunu göstermektedir.

Gösteri Deneyi 4'de renk şiddetinin değişiminin tersinir olması ne anlama gelmektedir?

Yanıt: Tersinir renk değişimi nedeniyle gerçekleşen kimyasal değişimin, kimyasal denge tepkimesi olduğu anlamına gelir.

Gösteri Deneyi 4'de renk şiddetinin sabit olması ne anlama gelmektedir?

Yanıt: Kimyasal Kinetik Teori'ye göre, ileri tepkimenin hızının, geri tepkimenin hızına eşit olduğu, Termodinamik açıdan denge kesrinin denge sabitine eşit olduğu, sonuç olarak sistemde gerçekleşen tepkimenin denge konumuna ulaştığı anlamına gelmektedir.

Gösteri Deneyi 4'de renk şiddetinin sabit olması Denge Teorisi'ne göre nasıl açıklanır?

Yanıt: Denge Teorisi'ne göre, sabit sıcaklıkta kapalı bir sistemde renk şiddeti gibi bir makroskobik özelliğin sabit olması, sistemde gerçekleşen değişimin dengede olduğunun göstergesidir. Ancak, renk şiddeti değişmemesine rağmen, dinamik dengenin doğası gereği moleküler düzeyde girenlerin ürünlere, ürünlerin girenlere dönüşümü devam eder.

Bir kimyasal tepkimenin nasıl denkleştirileceği ve homojen denge tepkimesi mi yoksa heterojen denge tepkimesi mi olduğuna nasıl karar verileceğinin öğretimi Etkinlik 2'de açıklanmaktadır.

2. Aşama: Kimyasal Denge Tepkimelerinde Hesaplamalar

Bu aşamada 6 etkinlik yer almaktadır.

Etkinlik 2. (Kimyasal denge tepkimesi homojen mi heterojen mi?)

Bir problemde gerçekleşen kimyasal denge tepkimesinin denkleştirilmiş olarak yazılması ve tepkimenin homojen mi yoksa heterojen mi olduğuna öğrencinin karar vermesi istenir. Problem 3 basamakta çözülür. **Birinci basamakta**, kimyasal denge tepkimesi doğru olarak yazmalıdır. **İkinci basamakta**, kimyasal denge tepkimesi denkleştirmelidir. **Son basamakta ise**, tepkimenin homojen denge tepkimesi mi yoksa heterojen denge tepkimesi mi olduğuna karar vermelidir.

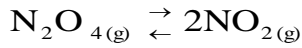
Öğretmen ders anında, soru metnini okuduktan sonra, soru metnine göre, öğrencilerin her bir basamaktaki soruyu yanıtlamalarını istemelidir. Bu amaçla biri homojen denge tepkimesi, diğeri ise heterojen denge tepkimesi olmak üzere iki problem tasarlanmıştır.

Problem 5. Sabit sıcaklıktaki kapalı bir balonda N_2O_4 gazının NO_2 gazına dönüşümü bir denge tepkimesidir. Denkleştirilmiş kimyasal tepkimeyi yazınız. Bu tepkime homojen denge tepkimesi mi yoksa heterojen denge tepkimesi midir?

Çözüm:

1. Denge tepkimesini yazalım.

Kimyasal tepkimede, N_2O_4 gazı NO_2 gazına dönüştüğüne göre, N_2O_4 gazı tepkimeye giren, NO_2 gazı ise oluşan üründür. Denge tepkimesi olduğuna göre, giren ve oluşan ürünün formülleri arasına çift yönlü ok konulmalı, formüllerinin sağ alt kısmına ise indis olarak parantez için g harfi yazılmalıdır. Maddenin Korunumu Yasası veya Atom Sayılarının Korunumu Yasası bağlamında tepkimeye giren atom türü ve sayıları korunarak tepkime denkleştirilmelidir. NO_2 gazının katsayı 2, N_2O_4 gazının katsayısı 1 olduğunda tepkime eşitlenmiş olur. Tepkime denklemi aşağıdaki gibi yazılır.



2. Homojen denge tepkimesi mi heterojen denge tepkimesi mi belirleyelim.

Kimyasal tepkimede hem N_2O_4 hem de NO_2 gaz halde olduğu için homojen denge tepkimesidir.

Problem 6. Katı haldeki $NaHCO_3$ yüksek sıcaklıkta kapalı bir kaptaki ısıtıldığında, katı halde Na_2CO_3 , CO_2 gazı ve su buharının (H_2O) oluştuğu bir denge tepkimesi gerçekleşmektedir. Denkleştirilmiş tepkimeyi yazınız. Bu tepkime homojen denge tepkimesi mi yoksa heterojen denge tepkimesi midir?

Çözüm:

1. Denge tepkimesini yazalım.

Kimyasal tepkimede, $NaHCO_3$ ve Na_2CO_3 katı halde iken, CO_2 ve su buharı (H_2O) gaz haldedir. $NaHCO_3(k)$ ve ısı tepkimeye giren, $Na_2CO_3(k)$, $CO_{2(g)}$ ve $H_2O_{(g)}$ ise oluşan ürünlerdir. Denge tepkimesi olduğuna göre, giren ve oluşan ürünün formülleri arasına çift yönlü ok konulmalı, $NaHCO_3$ ve Na_2CO_3 formüllerinin sağ alt köşesine indis olarak parantez içinde k , CO_2 ve H_2O için ise g harfi yazılmalıdır. Maddenin Korunumu Yasası ve Atom Sayılarının Korunumu Yasası bağlamında tepkimeye giren atom türü ve sayıları korunarak tepkime denkleştirilmelidir. Bu durumda, $NaHCO_3$ 'ün katsayısı 2, diğerlerinin katsayısı 1 olduğunda tepkime eşitlenmiş olur. Tepkime denklemi aşağıdaki gibi yazılır.



2. Homojen denge tepkimesi mi heterojen denge tepkimesi mi olduğunu belirleyelim.

Kimyasal tepkimede CO_2 ve H_2O gaz halde iken, $NaHCO_3$ ve Na_2CO_3 katı haldedir. Bu durumda, sistem hem katı hem de gaz halde olmak üzere iki farklı faza sahiptir. Bu nedenle, heterojen denge tepkimesidir.

Bir denge tepkimesinin denge sabiti eşitliğinin nasıl yazılacağına öğretimi Etkinlik 3'de açıklanmaktadır.

Etkinlik 3. (Denge sabiti eşitliğini yaz.)

Bir sistemde gerçekleşen homojen veya heterojen denge tepkimesi denkleştirilmiş olarak yazıldıktan sonra, öğrencinin denge sabitini yazması istenir. Problem 2 basamakta çözülür. **Birinci basamakta**, Etkinlik 2 bağlamında denge tepkimesinin tam ve denk yazılıp yazılmadığı, ayrıca tepkimesinin homojen mi yoksa heterojen mi olduğu belirlenir. **İkinci basamakta**, tepkimedeki katı, saf sıvı ve çözücü türler denge sabiti

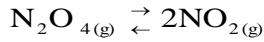
eşitliğinde yer almayacak şekilde, kütlelerin tesiri kanununa göre, denge sabiti eşitliği yazılır. Kütlelerin tesiri kanununa göre, ürünlerin molar derişimi paya, girenlerin molar derişimi ise paydaya yazılmalı ve türlerin stokiyometrik katsayıları tür derişimlerine üs olarak yazılmalıdır.

Öğretmen ders anında, soru metnini okuduktan sonra, öğrencilerin soru metnindeki kimyasal denge tepkimesinin denge sabiti eşitliğini yazmalarını istemelidir. Bu amaçla biri homojen denge tepkimesi, diğeri ise heterojen denge tepkimesi olmak üzere iki problem tasarlanmıştır.

Problem 7. Sabit sıcaklıktaki kapalı bir balonda N_2O_4 gazının NO_2 gazına dönüşümü bir kimyasal denge tepkimesidir. Denge sabiti eşitliğini yazınız.

Çözüm:

1. Denkleştirilmiş kimyasal tepkime denklemini yazalım.



2. Denge sabiti eşitliğini yazalım.

Kütlelerin tesiri kanununa göre, denge sabiti eşitliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$K_d = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

Problem 8. Katı haldeki $NaHCO_3$ yüksek sıcaklıkta kapalı bir kaptaki ısıtıldığında, katı halde Na_2CO_3 , CO_2 gazı ve su buharının (H_2O) oluştuğu bir kimyasal denge tepkimesi gerçekleşmektedir. Denge sabiti eşitliğini yazınız.

Çözüm:

1. Denkleştirilmiş kimyasal tepkime denklemini yazalım.



2. Denge sabiti eşitliğini yazalım.

Kütlelerin tesiri kanununa göre, denge sabiti eşitliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$K_d = [CO_2][H_2O]$$

Bir kimyasal denge tepkimesinin denge sabitinin hesaplanması

Bir denge tepkimesinin denge sabitinin nasıl çözüleceğinin öğretimi Etkinlik 4-7’de açıklanmaktadır.

Bir kimyasal denge probleminde dengedeki türlerin molar derişimleri verildiğinde, denge sabitinin nasıl hesaplanacağını öğretimi Etkinlik 4’de açıklanmaktadır.

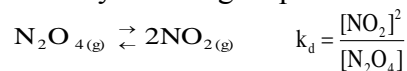
Etkinlik 4. (Denge sabitini hesapla.)

Bir kimyasal denge tepkimesi dengede iken, tepkimedeki türlerin molar derişimleri verilir ve denge sabitinin hesaplanması istenirse, problem 2 basamakta çözülür. **Birinci basamakta**, kimyasal denge tepkimesi ve denge sabiti eşitliği yazılır. **İkinci basamakta**, türlerin molar derişim değerleri denge sabiti eşitliğinde yerine konur ve denge sabiti hesaplanır.

Problem 9. 25°C’deki ağız kapalı 500 mL’lik bir balonda N_2O_4 gazının NO_2 gazına dönüşüm tepkimesi dengede iken yapılan analizde, N_2O_4 ve NO_2 gazlarının molar derişimlerinin sırasıyla 1.0×10^{-4} M ve 2.0×10^{-2} M olduğu belirlenmiştir. Buna göre, kimyasal denge tepkimesinin derişime bağlı denge sabitini (K_d) hesaplayınız.

Çözüm:

1. Kimyasal denge tepkimesini ve denge sabiti eşitliğini yazalım.



2. Denge sabitini (K_d) hesaplayalım.

$$k_d = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{(2.0 \times 10^{-2})^2}{(1.0 \times 10^{-4})} = \frac{4.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-4}} = 4.0$$

Bir kimyasal denge probleminde dengedeki türlerin mol sayıları ve sistemin hacmi verildiğinde, denge sabitinin nasıl hesaplanacağını öğretimi Etkinlik 5’de açıklanmaktadır.

Etkinlik 5. (Denge sabitini hesapla.)

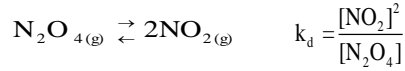
Bir kimyasal denge tepkimesi dengede iken, sistemin hacmi ve tepkimedeki türlerin mol sayıları verilirse, problem 3 basamakta çözülür. **Birinci basamakta**, kimyasal denge tepkimesi ve denge sabiti eşitliği yazılır. **İkinci basamakta**, türlerin molar derişimleri hesaplanır. **Son basamakta ise**, türlerin molar derişim değerleri denge sabiti eşitliğinde yerine konur ve denge sabiti hesaplanır.

Problem 10. 25°C’deki ağzı kapalı 500 mL’lik bir balonda N₂O₄ gazının NO₂ gazına dönüşüm tepkimesi dengede iken yapılan analizde, N₂O₄ ve NO₂’nin mol sayılarının sırasıyla 5.0x10⁻⁵ mol ve 1.0x10⁻² mol olduğu belirlenmiştir. Buna göre, denge tepkimesinin derişime bağlı denge sabitini (k_d) hesaplayınız.

Çözüm:

Formül kullanma yöntemi ile çözelim.

1. Kimyasal denge tepkimesini ve denge sabiti eşitliğini yazalım.



2.1. N₂O₄’ün molar derişimlerini hesaplayalım.

$$M_{\text{N}_2\text{O}_4} (\text{mol/L}) = \frac{n_{\text{N}_2\text{O}_4} (\text{mol})}{V_{\text{Sistem}} (\text{L})} = \frac{5.0 \times 10^{-5} \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L N}_2\text{O}_4$$

2.2. NO₂’nin molar derişimini hesaplayalım.

$$M_{\text{NO}_2} (\text{mol/L}) = \frac{n_{\text{NO}_2} (\text{mol})}{V_{\text{Sistem}} (\text{L})} = \frac{1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L NO}_2$$

3. Denge sabitini (k_d) hesaplayalım.

$$k_d = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{(2.0 \times 10^{-2})^2}{(1.0 \times 10^{-4})} = \frac{4.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-4}} = 4.0$$

Çevirme faktörü yöntemi ile çözelim.

1. N₂O₄’ün molar derişimlerini hesaplayalım.

$$? \text{ mol/L N}_2\text{O}_4 = 5.0 \times 10^{-5} \text{ mol N}_2\text{O}_4 \times \frac{1000 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \equiv 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L N}_2\text{O}_4$$

2. NO₂’nin molar derişimini hesaplayalım.

$$? \text{ mol/L NO}_2 = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol NO}_2 \times \frac{1000 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \equiv 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L NO}_2$$

3. Denge sabitini (k_d) hesaplayalım.

$$k_d = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{(2.0 \times 10^{-2})^2}{(1.0 \times 10^{-4})} = \frac{4.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-4}} = 4.0$$

Bir kimyasal denge probleminde dengedeki türlerin kütleleri, mol kütleleri ve sistemin hacmi verildiğinde, denge sabitinin nasıl hesaplanacağını öğretimi Etkinlik 6’da açıklanmaktadır.

Etkinlik 6. (Denge sabitini hesapla.)

Bir sistemdeki kimyasal denge tepkimesi dengede iken, sistemin hacmi, tepkimedeki türlerin kütleleri ve mol kütleleri verilirse, problem 4 basamakta çözülür. **Birinci basamakta**, kimyasal denge tepkimesi ve denge sabiti eşitliği yazılır. **İkinci basamakta**, türlerin mol sayıları hesaplanır. **Üçüncü basamakta**, türlerin molar derişimleri

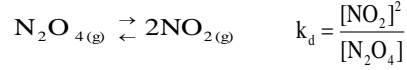
hesaplanır. **Son basamakta ise**, türlerin molar derişim değerleri denge sabiti eşitliğinde yerine konur ve denge sabiti hesaplanır.

Problem 11. 25°C'deki ağzı kapalı 500 mL'lik bir balonda N₂O₄ gazının NO₂ gazına dönüşüm tepkimesi dengede iken yapılan analizde, N₂O₄ ve NO₂'nin kütlelerinin sırasıyla 4.6x10⁻³ g ve 4.6x10⁻¹ g olduğu belirlenmiştir. Buna göre tepkimenin derişime bağlı denge sabitini (k_d) hesaplayınız. (N₂O₄: 92 g/mol, NO₂: 46 g/mol)

Çözüm:

Formül kullanma yöntemi ile çözelim.

1. Kimyasal denge tepkimesini ve denge sabiti eşitliğini yazalım.



2. Türlerin mol sayılarını hesaplayalım.

2.1. N₂O₄'ün mol sayısını hesaplayalım.

$$n_{\text{N}_2\text{O}_4 (\text{mol})} = \frac{m_{\text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})}}{M_{\text{N}_2\text{O}_4 (\text{g/mol})}} = \frac{4.6 \times 10^{-3} \text{ g}}{92 \text{ g/mol}} = 5.0 \times 10^{-5} \text{ mol N}_2\text{O}_4$$

2.2. NO₂'ün mol sayısını hesaplayalım.

$$n_{\text{NO}_2 (\text{mol})} = \frac{m_{\text{NO}_2 (\text{g})}}{M_{\text{NO}_2 (\text{g/mol})}} = \frac{4.6 \times 10^{-1} \text{ g}}{46 \text{ g/mol}} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol NO}_2$$

3. Türlerin molar derişimlerini hesaplayalım.

3.1. N₂O₄'ün molar derişimini hesaplayalım.

$$M_{\text{N}_2\text{O}_4 (\text{mol/L})} = \frac{n_{\text{N}_2\text{O}_4 (\text{mol})}}{V_{\text{Sistem (L)}}} = \frac{5.0 \times 10^{-5} \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L N}_2\text{O}_4$$

3.2. NO₂'nin molar derişimini hesaplayalım.

$$M_{\text{NO}_2 (\text{mol/L})} = \frac{n_{\text{NO}_2 (\text{mol})}}{V_{\text{Sistem (L)}}} = \frac{1.0 \times 10^{-2} \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L NO}_2$$

4. Denge sabitini (k_d) hesaplayalım.

$$k_d = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{(2.0 \times 10^{-2})^2}{(1.0 \times 10^{-4})} = \frac{4.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-4}} = 4.0$$

Çevirme faktörü yöntemi ile çözelim.

1. N₂O₄'ün molar derişimini hesaplayalım.

$$? \text{ mol/L N}_2\text{O}_4 = 4.6 \times 10^{-3} \text{ g N}_2\text{O}_4 \times \frac{1.0 \text{ mol N}_2\text{O}_4}{92 \text{ g N}_2\text{O}_4} \times \frac{1000 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol N}_2\text{O}_4 \equiv 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L N}_2\text{O}_4$$

2. NO₂'nin molar derişimini hesaplayalım.

$$? \text{ mol/L NO}_2 = 4.6 \times 10^{-1} \text{ g NO}_2 \times \frac{1.0 \text{ mol NO}_2}{46 \text{ g NO}_2} \times \frac{1000 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol NO}_2 \equiv 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L NO}_2$$

3. Denge sabitini (k_d) hesaplayalım.

$$k_d = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{(2.0 \times 10^{-2})^2}{(1.0 \times 10^{-4})} = \frac{4.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-4}} = 4.0$$

Bir kimyasal denge probleminde toplanabilirlik ilkesine göre, bir kimyasal denge tepkimesinin denge sabitinin nasıl hesaplanacağının öğretilmesi Etkinlik 7'de açıklanmaktadır.

Etkinlik 7. (Denge sabitini hesapla.)

Bir kimyasal denge tepkimesi herhangi bir katsayı ile çarpıldığında, tepkimedeki türlerin stokiometrik katsayıları aritmetik olarak değişirken, denge sabiti üstel olarak değişir. Denge sabiti bilinen bir denge tepkimesi 2, ½, veya -1 ile çarpıldığında, yeni oluşan tepkime için denge sabitinin hesaplanması veya iki denge sabiti arasındaki matematiksel eşitliğin yazılması istenebilir. Bu durumda, problem 4 basamakta çözümlenir. **Birinci basamakta**, denge sabiti değeri bilinen tepkime ve denge sabiti (k_{d1}) eşitliği yazılır.

İkinci basamakta, birinci basamaktaki denge sabiti bilinen tepkime bir katsayı ile çarpıldığında, yeni oluşan tepkime ve denge sabiti (k_{d2}) eşitliği yazılır. **Üçüncü basamakta**, k_{d2} ve k_{d1} arasındaki matematiksel eşitlik yazılır. **Son basamakta ise**, k_{d2} hesaplanır.

Bir kimyasal denge tepkimesi 2 ile çarpıldığında, türlerin stokiyometrik katsayıları 2 kat artar. Tepkimenin denge sabiti ise karesi kadar değişir. Başka bir deyişle, ikinci tepkimenin denge sabiti birinci tepkimenin denge sabitinin karesine eşittir. Problem 12 örnektir.

Problem 12. NO gazının O_2 ile tepkimesinde NO_2 gazının oluştuğu denge tepkimesi gerçekleşmektedir. Gerçekleşen denge tepkimesi ve denge sabiti (k_{d1}), aşağıda (1) eşitliği ile verilmiştir.



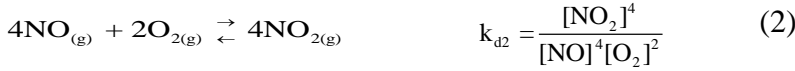
(1) tepkimesi 2 ile çarpıldığında oluşan yeni tepkimenin denge sabiti değeri k_{d2} olarak ifade edilmiştir. Buna göre, k_{d1} ile k_{d2} arasındaki matematiksel eşitliği yazınız.

Çözüm:

1. (1) tepkimesi için denge sabiti eşitliğini yazalım.



2. (1) tepkimesi 2 ile çarpıldığında oluşan (2) tepkimesini yazalım.



3. k_{d2} ile k_{d1} arasındaki matematiksel ilişkiyi yazalım.

k_{d2} sabiti eşitliğinin denge kesri, k_{d1} sabiti eşitliğinin denge kesrinin karesine eşittir. Bu durumda, k_{d2} ile k_{d1} arasında aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$k_{d2} = k_{d1}^2$$

Bir denge tepkimesi 1/2 ile çarpıldığında, türlerin stokiyometrik katsayıları yarı kadar değişirken, tepkimenin denge sabiti ise karekökü kadar değişir. Başka bir deyişle, ikinci tepkimenin denge sabiti birinci tepkimenin denge sabitinin kareköküne eşittir. Problem 13 örnektir.

Problem 13. NO gazının O_2 ile tepkimesinde NO_2 gazının oluştuğu denge tepkimesi gerçekleşmektedir. Gerçekleşen denge tepkimesi ve denge sabiti (k_{d1}), (1) eşitliği ile verilmiştir.



(1) tepkimesi 1/2 ile çarpıldığında gerçekleşen yeni tepkimenin denge sabiti değeri k_{d2} olarak ifade edilmiştir. Buna göre, k_{d1} ile k_{d2} arasındaki matematiksel eşitliği yazınız.

Çözüm:

1. (1) tepkimesi için denge sabiti eşitliğini yazalım.



2. (1) tepkimesi 1/2 ile çarpıldığında elde edilen (2) tepkimesini yazalım.



3. k_{d2} ile k_{d1} arasındaki matematiksel eşitliği yazalım.

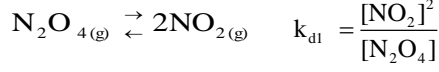
$$k_{d2} = \sqrt{k_{d1}}$$

Bir denge tepkimesi -1 ile çarpıldığında, türlerin stokiyometrik katsayıları değişmez ancak tepkime ve denge sabiti tersine döner. Başka bir deyişle, ikinci tepkimenin denge sabiti birinci tepkimenin denge sabitinin tersine eşittir. Problem 14 örnektir.

Problem 14. Sabit sıcaklıkta 500 mL'lik bir balonda N_2O_4 'ün NO_2 'e dönüşüm tepkimesi için denge sabiti, k_{d1} : 4.0 olarak belirlenmiştir. Buna göre, NO_2 'in N_2O_4 'e dönüşüm tepkimesinin k_d değerini hesaplayınız.

Çözüm:

1. N_2O_4 'ün NO_2 'e dönüşüm tepkimesi ve denge sabiti eşitliğini yazalım.



2. NO_2 'in N_2O_4 'e dönüşüm tepkimesi ve denge sabiti eşitliğini yazalım.



3. k_{d2} ve k_{d1} arasındaki ilişkiyi yazalım.

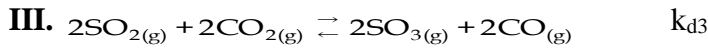
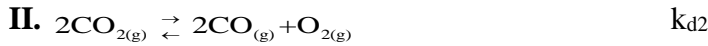
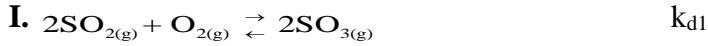
$$k_{d2} = \frac{1}{k_{d1}}$$

4. k_{d2} değerini hesaplayalım.

$$k_{d2} = \frac{1}{k_{d1}} = \frac{1}{4.0} = 0.25$$

İki denge tepkimesi toplanırsa, elde edilen üçüncü denge tepkimesinin denge sabiti, k_{d3} , toplanan tepkimelerin denge sabitlerinin çarpımına eşit olur. Problem 15 örnektir.

Problem 15. Aşağıda verilen I ve II tepkimelerinin denge sabitleri ile III tepkimesinin denge sabiti arasındaki matematiksel ilişkiyi belirleyiniz.



Çözüm:

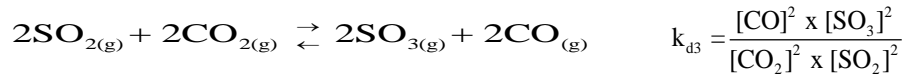
1. I tepkimesini ve denge sabiti eşitliğini yazalım.



2. II tepkimesini ve denge sabiti eşitliğini yazalım.



3. III tepkimesini ve denge sabiti eşitliğini yazalım.



4. k_{d2} ve k_{d1} ile k_{d3} arasındaki ilişkiyi yazalım.

k_{d1} ve k_{d2} eşitliklerinin denge kesirleri çarpılırsa, k_{d3} eşitliğindeki denge kesri elde edilir. Bu durumda, k_{d3} 'ün k_{d1} ve k_{d2} çarpımına eşit olduğu görülür.

$$k_{d3} = k_{d1} \times k_{d2}$$

4. Etkinliğin Değerlendirilmesi ve Tartışma

Kimya eğitiminde, kimyasal denge ile ilgili kavramların soyut ve karmaşık olması nedeniyle öğrenme ve öğretim hem öğretmen hem de öğrenciler için problemdir. Bu çalışmada, bir değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığının nasıl belirleneceğinin ve kimyasal denge tepkimelerinin k_d sabitinin nasıl hesaplanacağını öğretimi için yedi etkinlik ve on beş çözümlü örnek problem tasarlanmıştır.

Bir Değişimin Denge Tepkimesi Olabilirliği (Etkinlik 1, Problem 1-4)

Stokiyometri eğitiminde bir değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığını belirlemek problemdir. Bazı problemlerde, en az bir gösteri deneyi verilir ve deneyde gözlemlenen nitel veya nicel verilere bağlı olarak değişimin denge tepkimesi olup olmadığını öğretmenin veya öğrencinin belirlemesi gerekebilir. Bu tip problemlerde, Etki Tepki İlkesi bağlamında derişim, basınç, hacim, sıcaklık, pH gibi dengeye etki eden faktörlerden birinin incelendiği açık uçlu bir gösteri deneyi verilir. Bu durumda, ilk olarak; gösteri deneyindeki kimyasal maddelerin renk ve renk değişimi gibi bir özelliği bilinmeli, deneyde gerçekleşen değişimlerin neler olduğu ve nasıl değiştiği belirlenmelidir. İkinci olarak; gerçekleşen değişimin kimyasal değişim mi yoksa fiziksel değişim mi olduğu, üçüncü olarak; değişimin tersinir mi yoksa tersinmez mi olduğu sorgulanmalıdır. Son olarak, değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığına karar verilmelidir. Etkinlik 1 bağlamında Problem 1-4 bu amaçla hazırlanmış çözümlü problemlerdir.

Problem 1-4, renk ve renk değişimi, tersinir ve tersinmez özellik, fiziksel ve kimyasal değişim gibi betimsel kavramlarla, fiziksel dinamik denge, kimyasal dinamik denge Lambert Beer Yasası, Maddenin Korunumu Yasası, Atom Teorisi, Denge Teorisi ve Etki Tepki İlkesi gibi teorik kavramlar ile doğrudan ilişkilidir. Bu tip problemlerin çözümü için Etkinlik 1 önerilmiştir.

Gösteri Deneyi 1-4 ün kimya eğitimi bağlamında tartışılması

Gösteri Deneyi 1'in tartışılması

Gösteri deneyi 1, 25°C'deki iki özdeş balona doldurulmuş NO₂ gazının N₂O₄ gazına dönüşüm tepkimesine Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklığın etkisinin incelendiği açık uçlu bir deneysel etkinliktir.

Şekil 1-3 incelendiğinde, 25°C'deki NO₂ gazı içeren balonlardan biri 0°C'deki buz banyosuna daldırıldığında kızıl kahve renk şiddeti azalırken, diğeri 90°C'deki sıcak su banyosuna daldırıldığında kızıl kahve renk şiddetinin arttığı gözlenmektedir. 0°C ve 90°C'deki balonlar tekrar 25°C'deki su banyosuna daldırıldığında ise, her iki balondaki kızıl kahve renk şiddeti aynı olduğu gözlenmektedir. Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklık değiştiğinde gözlemlenen renk şiddetindeki artış ve azalışa neden olan değişim, tersinirlik özelliğine sahiptir. Renk şiddetindeki değişim bağlamında sıcaklık 25°C'den 0°C'ye azaltıldığında, NO₂ gazının bir kısmının renksiz N₂O₄ gazına dönüştüğünü, 0°C'den 25°C'ye arttırıldığında ise oluşan N₂O₄ gazının tekrar NO₂ gazına dönüştüğünü başka bir deyişle kimyasal değişim gerçekleştiğini göstermektedir. Lambert Beer Yasası, Maddenin Korunumu Yasası, Atom Teorisi ve Denge Teorisi bağlamında gösteri deneyinde gerçekleşen tersinir renk değişimine neden olan değişimin tek tipte bir kimyasal denge tepkimesi olduğu söylenebilir.

Gösteri Deneyi 2'in tartışılması

Tanecik Modeli veya Atom Teorisi bağlamında bir maddenin sıcaklığı değiştiğinde molekül geometri değişebilir. Bu durumda, sıcaklık azaltıldığında, kızıl kahve renkli NO₂ gazı, NO₂ formülüne sahip geometrisi farklı renksiz bir forma dönüşebileceği düşünülebilir. Benzer durum, sıcaklık arttırıldığında, renksiz N₂O₄ gazı, N₂O₄ formülüne sahip kızıl kahve renkli geometrisi farklı yeni bir forma dönüşeceği de düşünülebilir. Bu nedenle, Gösteri Deneyi 1-4'de, 0°C, 25°C ve 90°C'de N₂O₄ gazı renksiz iken, NO₂ gazı kızıl kahve renkli olduğu özellikle belirtilmiştir.

Maddenin Korunumu Yasası bağlamında madde vardan yok olmaz, yoktan da var olmaz. Diğer yandan, Lambert Beer Yasası'na göre, renge neden olan bir maddenin renk şiddeti veya absorbanası derişimi ile doğru orantılıdır. Gösteri Deneyi 2'de, yalnızca NO₂ gazı içeren balonun sıcaklığı 90°C'den 0°C'ye azaltıldığında, kızıl kahve renk şiddetinin azaldığı, balonun sıcaklığı 0°C'den 25°C'ye arttırıldığında ise, kızıl kahve renk şiddetinin arttığı gözlemlenmektedir. Bu durumda, Maddenin Korunumu Yasası ve Lambert Beer Yasası'na göre, renk şiddetindeki azalma; NO₂ gazının renksiz yeni bir maddeye (N₂O₄ gazı) dönüşümü nedeniyle NO₂ derişiminin azaldığını, renk şiddetindeki artma ise N₂O₄ gazının NO₂ gazına dönüşümünden dolayı NO₂ derişiminin arttığını göstermektedir. Bu nedenle, sıcaklık değiştiğinde, renk şiddetindeki değişime bağlı olarak NO₂ gazının N₂O₄ gazına, N₂O₄ gazının da NO₂ gazına dönüştüğü söylenebilir. Sonuç olarak, balonda yalnızca NO₂ gazı olmasına rağmen, balonun sıcaklığı azaltıldığında kızıl kahve renk şiddetinin azalması, renksiz yeni bir madde (N₂O₄ gazı) oluştuğunu başka bir deyişle balonda kimyasal değişim gerçekleştiğinin nitel göstergesidir.

Gösteri Deneyi 2'de, sıcaklık azaltıldığında, zamana bağlı olarak renk şiddetinin azaldığı ve belli bir süre sonra renk şiddetinin sabit kaldığı, sıcaklık arttırıldığında ise, zamana bağlı olarak renk şiddetindeki arttığı ve belli bir süre sonra tekrar sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklık değişimi nedeniyle renk şiddetindeki değişim, renk değişiminin tersinirlik özelliğine başka bir deyişle renk değişimine neden olan kimyasal tepkimenin de tersinirlik özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Bir kimyasal tepkimenin tersinirlik özelliğine sahip olması, Denge Teorisi bağlamında denge tepkimesi olduğu anlamına gelmektedir. Diğer yandan, renk şiddetinin sabit kalması, gerçekleşen kimyasal değişimin denge konumuna ulaştığını göstermektedir. Renk şiddetinin sabit olması, kimyasal tepkimede değişimin durduğu anlamına gelmez. Denge Teorisi'ne göre, tersinirlik özelliğine sahip bir denge tepkimesinde, moleküler düzeyde girenlerin ürünlere, ürünlerinde girenlere dönüşümü devam eder. Sonuç olarak, balonda sıcaklık değişimi nedeniyle gerçekleşen kimyasal tepkime, tersinirlik özelliğine sahip olduğu için bir kimyasal denge tepkimesidir.

Gösteri Deneyi 2'de, 90°C'deki kızıl kahve renk şiddetinin 25°C'deki renk şiddetinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda, sıcaklık artarken kızıl kahve renk şiddetinin artışı bağlamında NO₂ derişiminin arttığı, N₂O₄ derişiminin azaldığı, tersi durumda ise, tam tersi gerçekleşmektedir. Bu bağlamda, Termodinamik açıdan değişimin endotermik mi yoksa ekzotermik mi olduğu ayrıca NO₂ ve N₂O₄ gazlarının kararlılığı açıklanabilir. Balonun sıcaklığı azaltıldığında NO₂ gazının N₂O₄ gazına dönüşme eğilimi artarken, sıcaklık arttırıldığında N₂O₄ gazının NO₂ gazına dönüşme eğilimi artmaktadır. Bu dönüşüm eğiliminin nedeni, NO₂ gazının yüksek sıcaklıkta **daha kararlı**, düşük sıcaklıkta **daha az kararlı olmasına**, N₂O₄ gazının düşük sıcaklıkta daha kararlı, yüksek sıcaklıkta daha az kararlı olmasına dayanmaktadır. Diğer yandan, sıcaklık arttırıldığında, NO₂ gazı derişiminin artışı nedeniyle, N₂O₄ gazının NO₂ gazına dönüşümü **endotermiktir**. Sıcaklık azaltıldığında, NO₂ gazı derişiminin azalışı nedeniyle, NO₂ gazının N₂O₄ gazına dönüşümü **ekzotermik** bir kimyasal tepkime olduğu söylenebilir. Kimyasal tepkime denkleminde NO₂ gazının stokiyometrik katsayısının N₂O₄ gazının stokiyometrik katsayısından daha büyük olması N₂O₄ gazının NO₂ gazına dönüşümünün endotermik, NO₂ gazının N₂O₄ gazına dönüşümünün ise ekzotermik olduğunu desteklemektedir. Termodinamik açıdan, bir kimyasal tepkimede mol sayısı azalırken, sistemin hem düzensizliği hem de enerjisi azalır. Başka bir deyişle, enerji açığa çıkar ve kimyasal tepkime ekzotermiktir.

Gösteri Deneyi 2'deki gözlem yoluyla elde edilen verilere göre, Etki Tepki İlkesi bağlamında balonun sıcaklığın artırılması ve azaltılmasında gerçekleşen renk değişimine neden olan değişimin fiziksel değişim mi yoksa kimyasal değişim mi olduğu, renk değişiminin tersinir mi yoksa tersinmez mi olduğu, kimyasal değişimin denge tepkimesi olup olmadığı, bir kimyasal denge tepkimesine sıcaklığın etkisini ve dengedeki türlerin termodinamik açıdan kararlı olup olmadıkları bağlamında yukarıda Gösteri Deneyi 2 için yapılan tartışma, Gösteri Deneyi 3-4 içinde benzer bir şekilde yapılabilir. Yukarıdaki tartışmalar ışığında, Gösteri deneyi 1-4, bir kimyasal denge tepkimesine Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklığın etkisinin incelendiği açık uçlu bir deneysel etkinliktir.

Bir Denge Tepkimesinin Homojen veya Heterojen Denge Tepkimesi Olabilirliği (Etkinlik 2, Problem 5-6)

Denge tepkimesinin yazılması ve denkleştirilmesi

Bir denge tepkimesi eşitliğinde, makro mikro ve sembol ilişkisi bağlamında tepkimeye girenler ile oluşan ürünlerin sembol/formülleri arasına çift yönlü ok konulmalı ve türlerin sembol/formüllerinin sağ alt köşesinde indis olarak fiziksel halleri (gaz: g , sıvı: s ve katı: k gibi) belirtilmelidir. Çift yönlü ok, kimyasal denge tepkimesi olduğunun göstergesidir. Bir kimyasal tepkime eşitliğinde, Maddenin Korunumu Yasası, Kütleinin Korunumu Yasası veya Atom Sayılarının Korunumu Yasası'na göre, girenler ile ürünlerdeki atom türleri ve atom sayıları korunmalıdır. Ayrıca, Tanecik Modeli bağlamında Atom Teorisi'ne göre, maddenin tanecikli yapısı gereği türlerin stokiyometrik katsayıları en küçük tam sayılar olmalıdır.

Bir Denge Tepkimesinin Homojen veya Heterojen Olabilirliği

Bir denge tepkimesinde yer alan her tür denge sabiti eşitliğinde yer almaz. Denge sabitinde hangi türlerin yer alacağını karar vermek için denge tepkimesinin homojen mi yoksa heterojen mi olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bir kimyasal tepkimenin yazılması, denkleştirilmesi ve homojen denge tepkimesi mi yoksa heterojen denge tepkimesi mi olduğunun nasıl belirleneceğinin öğretimi için Etkinlik 2 önerilmiş ve Problem 5-6 çözümlü örnek problem olarak verilmiştir.

Bir Denge Tepkimesi İçin Denge Sabiti Eşitliğinin Yazılması (Etkinlik 3, Problem 7-8)

Kimya Eğitimi alan lisans düzeyindeki çoğu öğrenci için bir denge tepkimesinin denge sabiti eşitliğini yazabilmek problemdir. Kimyasal Kinetik Teori ve Termodinamik bağlamında Kütleinin Tesiri Kanuna göre denge sabiti eşitliği yazılmalıdır.

Dengede olmayan bir sistemin dengeye gelmesi sürecinde, katı ve saf sıvıların derişimi değişmez. Çözeltideki çözücünün derişimi ise ihmal edilecek kadar küçük değişime uğrar. Bu nedenle, katı ve saf sıvı maddelerin derişimi sabit iken, çözeltideki çözücünün derişimi ise sabit kabul edilir. Sonuç olarak, bir denge tepkimesindeki katı haldeki türler (element veya bileşikler), saf sıvılar ve çözeltideki çözücü tür denge sabiti eşitliğinde yazılmaz. Kütleinin Tesiri Kanunu'na göre, denge konumuna etki eden ürünlerdeki türler paya, girenlerdeki türler ise paydaya stokiyometrik katsayıları üs olacak şekilde yazılır. Homojen ve heterojen denge tepkimeleri için denge sabiti eşitliğinin nasıl yazılacağına öğretimi için Etkinlik 3 önerilmiş ve Problem 7-8 çözümlü örnek problem olarak verilmiştir.

Problem 7'de gerçekleşen tepkimede hem tepkimeye giren N_2O_4 hem de oluşan NO_2 bileşikleri gaz haldedir. Bu durumda gerçekleşen tepkimede bütün türler aynı fiziksel hale

sahiptir. Bu nedenle, gerçekleşen denge tepkimesi bir homojen denge tepkimesidir ve hem NO_2 hem de N_2O_4 gazları denge sabiti eşitliğinde yazılmalıdır. Problem 8’de gerçekleşen kimyasal denge tepkimesinde ise, CO_2 ve H_2O gaz halde iken, NaHCO_3 ve Na_2CO_3 katı haldedir. Bu durumda, sistemde hem katı hem de gaz halde olmak üzere iki farklı faz mevcuttur. Bu nedenle, gerçekleşen tepkime, heterojen denge tepkimesidir ve $\text{CO}_{2(g)}$ ve $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ denge sabiti eşitliğinde yazılırken, $\text{NaHCO}_{3(k)}$ ve $\text{Na}_2\text{CO}_{3(k)}$ katı olduğu için yazılmaz.

Denge Sabitinin Hesaplanması (Etkinlik 4-6, Problem 9-11)

Bir denge tepkimesinin denge sabitinin değeri, dengedeki türlerin molar derişimleri ile ilişkilidir. Gaz içeren sistemlerde gaz türlerin molar derişimi, gaz haldeki türün kütlesi veya mol sayısı ve sistemin hacmi ile ilişkilidir. Etkinlik 4-6 sırasıyla basitten karmaşığa sarmallık ilişkisi dikkate alınarak tasarlanmıştır.

Etkinlik 4; dengedeki türlerin molar derişimleri verildiğinde, Etkinlik 5; dengedeki türlerin mol sayıları ve sistemin hacmi verildiğinde, Etkinlik 6; dengedeki türlerin kütleleri, mol kütleleri ve sistemin hacmi verildiğinde, K_d sabitinin nasıl hesaplanacağını açıklamaktadır. Bu bağlamda, Problem 9-11 çözümlü örnek problemlerdir. Problem 10’da mol sayısı ve sistemin hacminden türlerin molar derişimlerinin hesabı, Problem 11 de ise, türlerin kütleleri, mol kütleleri ve sistemin hacminden molar derişimlerinin hesaplanması formül yöntemi ve çevirme faktörü ile olmak üzere iki farklı yöntemle çözülmüştür. Problem 11’de, türlerin kütleleri ile mol kütlelerinden mol sayıları, mol sayıları ile sistemin hacminden molar derişimleri ve molar derişimlerden denge sabitinin hesaplanması ardışık olarak yapılmaktadır. Bu şekilde problem çözümü ile kütle, mol sayısı, mol kütlesi sistemin hacmi, molar derişim ve K_d sabiti arasındaki ilişki dikkate alınmaktadır. Problem 9’dan Problem 11’e artan kapasite yaklaşımı bağlamında sarmallık ilişkisi ile hem öğretimin kolaylaştığı hem de öğrenmenin daha etkin hale geldiği söylenebilir.

Toplanabilirlik İlkesi ile Denge Sabitinin Hesaplanması (Etkinlik 7, Problem 12-15)

Bir denge tepkimesinin denge sabiti, deneysel yöntemde elde edilen verilere bağlı olarak veya denge sabiti bilinen tepkimelere toplanabilirlik ilkesinin uygulaması ile hesaplanabilir. Toplanabilirlik ilkesine göre, denge sabitini hesaplamak için denge tepkimesi bir katsayı ile çarpıldığında, tepkimedeki türlerin stokiyometrik katsayıları ve denge sabitinin nasıl değiştiğini öğretmek gerekir. Bu bağlamda, denge sabitinin nasıl hesaplanacağını Etkinlik 7 açıklamaktadır.

Etkinlik 7 bağlamında Problem 12, bir denge tepkimesi 2 ile çarpıldığında tepkimenin denge sabitinin nasıl hesaplanacağını öğretimi için örnektir. Bir denge tepkimesi 2 ile çarpıldığında, türlerin stokiyometrik katsayıları 2 kat artar. Tepkimenin denge sabiti ise karesi kadar değişir. Başka bir deyişle, ikinci tepkimenin denge sabiti birinci tepkimenin denge sabitinin karesine eşittir. Problem 12 örnektir.

Etkinlik 7 bağlamında Problem 13, bir denge tepkimesi 1/2 ile çarpıldığında, tepkimenin denge sabitinin nasıl hesaplanacağını öğretimi için örnektir. Bir denge tepkimesi 1/2 ile çarpıldığında, türlerin stokiyometrik katsayıları yarisına düşer. Tepkimenin denge sabiti ise karekökü kadar değişir. Başka bir deyişle, yeni oluşan tepkimenin denge sabiti birinci tepkimenin denge sabitinin kareköküne eşittir. Problem 13 örnektir.

Etkinlik 7 bağlamında Problem 14, bir denge tepkimesi -1 ile çarpıldığında, tepkimenin denge sabitinin nasıl hesaplanacağını öğretimi için örnektir. Bir denge tepkimesi -1 ile çarpıldığında, türlerin stokiyometrik katsayıları değişmez ancak tepkimenin denge sabiti tersine döner. Başka bir deyişle, yeni oluşan tepkimenin denge sabiti birinci tepkimenin denge sabitinin tersine eşittir.

Etkinlik 7 bağlamında Problem 15, denge sabiti bilinen kimyasal denge tepkimelerinden denge sabiti bilinmeyen tepkimenin denge sabitinin nasıl hesaplanacağını öğretimi için örnektir. Toplanabilirlik ilkesine göre, iki denge tepkimesi toplanırsa, yeni oluşan denge tepkimesinin denge sabiti, toplanan tepkimelerin denge sabitlerinin çarpımına eşittir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, bir sistemde gerçekleşen değişimin kimyasal denge tepkimesi olup olmadığının nasıl belirleneceği ayrıca denge tepkimelerinde K_d sabitinin nasıl hesaplanacağını aşamalı olarak öğretimi anlamlı ve buluş yolu ile öğrenme yaklaşımına uygun olarak tasarlanmıştır.

Bu bağlamda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- (1) Gösteri deneyi 1-4, NO_2 gazının dimerleşme tepkimesine Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklığın etkisinin incelendiği açık uçlu bir deneysel etkinliktir.
 - (a) Etkinlik 1'e göre, Etki Tepki İlkesi bağlamında sıcaklık değişiminin gerçekleşen renk şiddetindeki değişime neden olan değişimin, fiziksel değişim mi yoksa kimyasal değişim mi olduğu,
 - (b) Etkinlik 1'e göre, kıvılcak kahve renk değişiminin tersinir mi yoksa tersinmez mi olduğu,
 - (c) Etkinlik 1'e göre, gerçekleşen kimyasal değişimin bir denge tepkimesi olup olmadığı,
 - (d) Etkinlik 1'e göre, Etki Tepki İlkesi bağlamında bir kimyasal denge tepkimesine sıcaklığın etkisi,
 - (e) Gerçekleşen değişimin ekzotermik mi yoksa endotermik mi olduğu,
 - (f) Dengedeki türlerin termodinamik açıdan kararlılığı, somut ve basit bir şekilde açıklanabilir ve öğretilir.
- (2) Denge Teorisi bağlamında kimyasal denge tepkimeleri ile Stokiyometri birbiri ile ilişkilidir. Bu ilişki, Etkinlik 2-7 ile örneklendirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Akman, Y. & Erden, M., Eğitim Psikolojisi: Gelişim-Öğrenme-Öğretme. Ankara: **Arkadaş Yayınevi**, (1997).
- [2] Aydın, A., Gelişim ve Öğrenme Psikolojisi. Bursa: Alfa Kitabevi, (2001).
- [3] Cheung, D., The Adverse Effects of Le Châtelier's Principle on Teacher Understanding of Chemical Equilibrium, **Journal of Chemical Education**, 86(4), 514-518, (2009).
- [4] Coloman, W. F. & Wildman, R. J., "From Our Peer-Reviewed Collection, **Journal of Chemical Education**, 80(4), 456, (2003).
- [5] Eilks, I. & Gulaçar, Ö., A Colorful Demonstration to Visualize and Inquire into Essential Elements of Chemical Equilibrium, **Journal of Chemical Education**, 93(11), 1904-1907, (2016).

- [6] Eilks, I., Gulaçar Ö. & Sandoval J., Thinking Acid-Base Chemistry and Chemical Equilibrium: Exploring the Mysterious Substance, X and Y: Challenging Students, **Journal of Chemical Education**, 95(4) 601–604, (2018).
- [7] Ergül, S., Three Hypothetical Problems For Quantitative Precipitation, **Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education**, 24(2), 247-255, (2015).
- [8] Ergül, S., Nine Hypothetical Problems For Linkage Between Qualitative Analysis and Stoichiometric Calculations, **Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education**, 27(4), 598-614, (2018).
- [9] Ergül, S., Sarıtaş, D. & Özcan, H., Hipotetik TGA (Tahmin-Gözlem-Açıklama) Döngüsü ile Kimyasal Değişimin Doğasının Öğretimi: Asit Baz İndikatör Tepkimesi Örneği, **BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 22(2), 490-506, (2020).
- [10] Fidan, N. & Erden, M. Eğitim Bilimine Giriş. Ankara: Kadioğlu Matbaası (1986).
- [11] Gallet, C., Problem Solving Teaching in the Chemistry Laboratory: Leaving the Cooks..., **Journal of Chemical Education**, 75(1), 72, (1998).
- [12] Hackathorn, J., Solomon, E. D., Blankmeyer, K. L., Tennial, R. E. & Garczynski, A. M., Learning by Doing: An Empirical Study of Active Teaching Techniques, **Journal of Effective Teaching**, 11(2), 40-54, (2011).
- [13] Hennis, A. D., Highberger, C. S. & Schreiner, S., Formation and Dimerization: A General Chemistry Experiment, **J Journal of Chemical Education**, 74(11), 1340-1342, (1997).
- [14] Ihde, J., Le Chatelier and The Chemical Equilibrium, **Journal of Chemical Education**, 66(3), 238-239, (1989).
- [15] Pimental G. C., Chemistry: An experimental science. Chemical education material study. London: W. H. Freeman and Company, (1963).
- [16] Senemoğlu, N., Gelişim Öğrenme ve Öğretim Kuramdan Uygulamaya. Ankara: Gazi Kitabevi, (2001).
- [17] Sarıtaş, D. ve Tufan, Y., (2013). İndirgemecilik Açısından Kimya Öğretiminde Makro ve Mikro Bilgi Seviyeleri, **GEFAD / GUJGEF**, 33(2), 165-192.