



T.C.

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ

EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

FEN BİLGİSİ EĞİTİMİ BİLİM DALI

**YEŞİL KİMYA KAVRAMI VE GENEL KİMYA LABORATUVAR
ETKİNLİKLERİNİN YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUN HALE
GETİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül DEMİR

Malatya - 2017

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
FEN BİLGİSİ EĞİTİMİ BİLİM DALI

YEŞİL KİMYA KAVRAMI VE GENEL KİMYA LABORATUVAR
ETKİNLİKLERİNİN YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUN HALE
GETİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betül DEMİR

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Funda OKUŞLUK

Malatya - 2017

ONUR SÖZÜ

Yrd. Doç. Dr. Funda OKUŞLUK'un danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığım **Yeşil Kimya Kavramı ve Genel Kimya Laboratuvar Etkinliklerinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygun Hale Getirilmesi** başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün yapıtların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Betül DEMİR



ÖNSÖZ

Kimya bilimi uygarlığın gelişmesinde çok önemli bir yere sahip olmakla birlikte özellikle de 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren küresel bazda yaşanan birçok çevre tahribatına neden olduğu düşünülen bilimsel gelişmelerin de yaşandığı bir daldır. II. Dünya Savaşı'nın ardından dünyanın çeşitli bölgelerinde kimyasal temelli çevre felaketlerinin yaşanması birçok ulusu çevre kirliliği kavramıyla yüzleşmeye ve bu sorunun etkili bir biçimde çözülmesi için gerekli önlemleri almaya itmiştir. Ancak özellikle Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi büyük ülkelerde birbirinin peşi sıra çıkarılan yasal düzenlemelerin kirliliği azaltmak ve önlemekte yetersiz kaldığı görülünce devrimsel bir anlayış değişikliğiyle yine ABD'de kirliliği henüz oluşmadan kaynağında önleme prensibi kabul edilerek yeşil kimya kavramı geliştirilmiş ve kimya biliminin uygulama alanlarına uyarlanmaya başlanmıştır.

Öncelikle endüstri alanında etkileri görülmeye başlanan yeşil kimya kavramının kimya uygulamalarının bütününe olumlu yönde etki edebileceğinin fark edilmesiyle birlikte özellikle eğitim alanında da bu kapsamda çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmanın da temel amacı, teorik olarak yeşil kimya kavramının ve temel ilkelerinin kapsamlı bir biçimde incelenmesi ve Türkiye'deki üniversitelerde Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü Fen Bilgisi Öğretmenliği programlarının genel kimya laboratuvar çalışmalarında uygulanan deneylerin içeriklerinin yeşil kimya ilkelerine uygun hale getirilmesidir. Bu yolla çevre korumaya yönelik daha etkili ve sürdürülebilir bir kavram olan yeşil kimya kavramının daha iyi bir şekilde anlaşılabilmesi ve uzun vadede çevre bilinci oluşturmada fen bilgisi öğretmenlerinin daha etkili bir rol almasına katkıda bulunacağı öngörülmüştür.

Başta bu araştırmanın yönünün belirlenmesinde ve sonraki tüm aşamalarında birlikte çalıştığımız, emeğini ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Funda OKUŞLUK olmak üzere İnönü Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü akademisyenlerine ve tüm çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca kendilerine ayırmam gereken zamanı esirgememe rağmen sonsuz anlayış gösterip bana ve akademik çalışmalarına katkıları ve yardımları için değerli aileme, eşime (M. Yasin Demir'e) ve kızlarıma (Seran Demir'e ve doğmasına günler kalan ikinci kızıma) teşekkür ederim.

Ekim, 2017

Betül DEMİR

ÖZET

YEŞİL KİMYA KAVRAMI VE GENEL KİMYA LABORATUVAR ETKİNLİKLERİNİN YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUN HALE GETİRİLMESİ

DEMİR, Betül
Yüksek Lisans, İnönü Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Anabilim Dalı
Fen Bilgisi Eğitimi Bilim Dalı

Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Funda OKUŞLUK
Ekim, 2017, xi+186 sayfa

Bu çalışmanın amacı kimya biliminin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak adına geliştirilen yeşil kimya kavramını incelemek ve genel kimya laboratuvarında uygulanan deneyleri yeşil kimya ilkelerine uygun hale getirmektir. Böylelikle gelecek nesilleri yetiştirecek ve fen ve temel bilimleri çocuklara sevdirecek olan fen bilgisi öğretmen adaylarının genel kimya laboratuvar uygulamalarında yaptıkları deneyleri yeşil kimya ilkelerine uyumlu hale getirerek çevre koruma bilincinin kazandırılması, henüz kirlilik oluşmadan giderilmesi ya da azaltılması ve çevre bilincinin genç nesillere akademik araştırma ortamında da aktarılmasını sağlamayı hedeflemiştir.

Çalışmada incelenen ve yeşil kimya ilkelerine uygun hale getirilen deney çalışmaları, üniversitelerin fen bilgisi öğretmenliği programlarında yer alan genel kimya laboratuvarı derslerinde uygulanabilecek içeriğe sahip deneylerden seçilmiştir.

Bu amaç ve öngörüler doğrultusunda gerçekleştirilen bu çalışmanın ilk bölümünde öncelikle kimya biliminin çevreyle ilişkisinin kısa bir tarihçesi verildikten sonra bu bilimin çevrede neden olduğu tahribatı azaltmaya yönelik öncül çalışmalar incelenmiştir. Devamında ise yeşil kimya kavramıyla birlikte çevre korumaya yönelik bakış açısındaki değişiklik ve yeşil kimyanın temel ilkeleri ile yeşil kimya alanında yazılmış olan literatür kapsamlı bir şekilde incelenerek verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise üniversitelerin fen bilgisi öğretmenliği programlarında yürütülebilecek genel kimya laboratuvar deneyleri, yeşil kimya ilkelerine uygun olarak yeniden tasarlanmıştır. Böylece, fen bilgisi öğretmen adaylarının, yeşil kimya ilkeleri ile

yeniden tasarlanan deneyler aracılığı ile gelecekteki öğrencilerine çevre koruma bilincini ve yeni bir çevre koruma programı yaklaşımını laboratuvar ortamından da faydalanarak, aşılabilirmeleri hedeflenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yeşil kimya, yeşil kimya ilkeleri, yeşil kimya deneyleri, genel kimya laboratuvarı deneyleri



ABSTRACT

CONCEPT OF GREEN CHEMISTRY AND ADAPTATION OF GENERAL CHEMISTRY LABORATORY EXPERIMENTS TO THE PRINCIPLES OF GREEN CHEMISTRY

DEMİR, Betül
İnönü University Institute of Educational Sciences
Department of Mathematics and Science Education
Graduate Program of Science Education
Master's Thesis

Adviser: Asst. Assoc. Dr. Funda OKUŞLUK
October, 2017, xi+186 pages

The purpose of this study is to analyse the concept of green chemistry, a relatively new approach developed to reduce the negative effects of chemistry on environment and to adapt the regular experiments of general chemistry to the principles of green chemistry. In this way, by adapting the common experiments done in general chemistry lessons by science teachers in prospect who are expected to educate the next generations and help them love science more, it is aimed to raise environmental protection awareness, to prevent or at least reduce the pollution before it actually happens and to transfer environmental protection awareness to the younger generations in academic research context.

The experiments analysed and adapted to the green chemistry principles here in this study are chosen among the common chemical experiments done in the general chemistry laboratory courses of university level science teaching departments.

In line with this aim and vision, in the first part of this study a brief overview of the relation of chemistry with the nature is given and major pioneer studies on reducing the harmful effects of this science on the nature are discussed. Then in the following part, shifts of general perspective on environmental protection together with green chemistry, basic principles and academic literature on green chemistry concept are thoroughly discussed.

In the next part of this study, general chemistry laboratory experiments done in science teaching departments are re-designed in accordance with the green chemistry principles. In this way, It is aimed that science teacher candidates may raise the

environmental protection awareness among their students in prospect by using the laboratory experiments along with a brand new protection approach.

Key Words: Green chemistry, green chemistry principles, green chemistry experiments, general chemistry laboratory experiments



İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	i
ÖNSÖZ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem Durumu	3
1.2. Amaç	4
1.3. Önem	4
1.4. Varsayımlar	5
1.5. Sınırlılıklar	5
1.6. Tanımlar	6
2. KURAMSAL BİLGİLER ve İLGİLİ ARAŞTIRMALAR	7
2.1. Kuramsal Bilgiler	7
2.1.1. Yeşil Kimya	14
2.1.2. Yeşil Kimyanın İlkeleri	15
2.1.3. Yeşil Kimyanın Uygulama Alanları	38
2.1.3.1. Kimya Endüstrisinde Yapılan Çalışmalar	39
2.1.3.2. Eğitim Alanında Yapılan Çalışmalar	41
2.1.4. Kimya Eğitiminde Deney ve Deneyin Önemi	48
3. YÖNTEM	51
3.1. Araştırma Modeli	51
3.2. Evren ve Örneklem	51
3.3. Verileri Toplama Teknikleri	51
3.4. Verilerin Analizi	52
4. BULGULAR	53
4.1. Yeşil Kimya İlkelerine Göre Düzenlenmiş Deneyler	54
4.1.1. Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi	54
4.1.2. Mol Kavramı ve Avogadro Sayısı	60
4.1.3. Bileşik ve Formülleri	63

4.1.4. Çözünürlük	68
4.1.4.1. Katıların Çözünürlüğü	68
4.1.4.2. Gazların Çözünürlüğü	72
4.1.5. Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri	76
4.1.6. Stokiyometri	80
4.1.7. Elektron Geçişleri (Alev Denemesi)	84
4.1.8. Çöktürme Reaksiyonları	89
4.1.9. Katalizörler	95
4.1.10. Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar	100
4.1.11. Asitler, Bazlar ve pH	108
4.2. Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan Deneyler	116
4.2.1. Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi	116
4.2.2. Bileşikler	118
4.2.3. Çözünürlük	119
4.2.4. Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri	121
4.2.5. Stokiyometri	123
4.2.6. Elektron Geçişleri (Alev Denemesi)	124
4.2.7. Çöktürme Reaksiyonları	125
4.2.8. Katalizörler	126
4.2.9. Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar	127
4.2.10. Asitler, Bazlar ve pH	129
4.3. Deneylerin İncelenmesinden Elde Edilen Bulgular	131
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	135
6. KAYNAKÇA	136
7. EKLER	142

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	Maddelerin Ölçülen Kütleleri.....	66
Tablo 4.2.	Maddelerin Ölçülen Kütleleri ve Hacimleri.....	70
Tablo 4.3.	Maddelerin Ölçülen Kütleleri ve Sıcaklıkları	70
Tablo 4.4.	Maddelerin Ölçülen Kütleleri ve Konsantrasyonları.....	71
Tablo 4.5.	Sıcak Su ve Buz Banyosunun Sıcaklık ve Hacim Ölçümleri.....	74
Tablo 4.6.	Maddelerin Ölçülen Kütleleri.....	78
Tablo 4.7.	Çözeltilerin Alev Denemesi Sonuçları.....	87
Tablo 4.8.	Maddelerin Ölçülen Kütleleri.....	93
Tablo 4.9.	Deney Tüplerinin Ölçüm ve Gözlem Sonuçları	98
Tablo 4.10.	Sıcaklık Ölçümleri ve Gözlem Sonuçları.....	105
Tablo 4.11.	Belirtilen Zamanlarda Ölçülen Sıcaklık Değerleri	105
Tablo 4.12.	Suyun Belirtilen Zamanlarda Ölçülen Sıcaklık Değerleri	106
Tablo 4.13.	İndikatörlerin pH Aralığı ve Çözelti Renkleri.....	113
Tablo 4.14.	Maddelerin Doğal İndikatörlerdeki Gözlem Sonuçları.....	114
Tablo 4.15.	İlkeler Göz Önünde Bulundurulmadan Tasarlanmış Olan ‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi.	131
Tablo 4.16.	‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi.....	132
Tablo 4.17.	‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Değerlendirme ve Kazanç Puanları.....	133
Tablo 4.18.	Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Değerlendirme ve Kazanç Puanları...134	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Londra sis felaketi	1
Şekil 1.2. Minamata salgını	2
Şekil 2.1. Talidomit bebekler.....	8
Şekil 2.2. Love Canal olayı	9
Şekil 2.3. Cuyahoga nehri	11
Şekil 2.4. Yeşil kimyanın ilkeleri	15
Şekil 2.5. Asit yağmurlarının çevreye zararı	29
Şekil 2.6. Asit yağmurlarının çevreye zararı	30
Şekil 2.7. DDT böcek ilacı	35
Şekil 2.8. Laboratuvar çalışması.....	49
Şekil 4.1. Yeşil düşün.....	58
Şekil 4.2. Alev denemesi	84
Şekil 4.3. Alev denemesinde bazı elementlerin aldıkları renkler	84
Şekil 4.4. Katalizörler.....	95
Şekil 4.5. Ekzotermik reaksiyonlar	100
Şekil 4.6. Endotermik reaksiyonlar	101
Şekil 4.7. Bazı maddelerin pH değerleri	108

KISALTMALAR LİSTESİ

- ACS** : Amerikan Kimya Cemiyeti (American Chemical Society)
- AllChemE** : Avrupa Kimya Bilimleri ve Teknolojileri Birliği (Alliance for Chemical Sciences and Technologies in Europe)
- ARC** : Avustralya Araştırma Konseyi (Australian Research Council)
- CCS** : Çekya Kimya Cemiyeti (The Czech Chemical Society)
- CEFIC** : Avrupa Kimya Endüstrisi Konseyi (European Chemical Industry Council)
- DDT** : Bir çeşit böcek ilacı (Dikloro Difenil Trikloroethan)
- ECTN** : Avrupa Kimya Tematik Ağı (European Chemistry Thematic Network)
- EPA** : Çevre Koruma Teşkilatı (Environmental Protection Agency)
- GCI** : Yeşil Kimya Enstitüsü (Green Chemistry Institute)
- GCN** : Yeşil Kimya Ağı (Green Chemistry Network)
- GDCh** : Alman Kimya Cemiyeti (Gesellschaft Deutscher Chemiker)
- GSCN** : Yeşil ve Sürdürülebilir Kimya Ağı (Green & Sustainable Chemistry Network)
- INCA** : Üniversitelerarası Çevre için Kimya Konsorsiyumu (Consorzio Interuniversitario Nazionale “La Chimica per l’Ambiente”)
- IUPAC** : Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (International Union for Pure and Applied Chemistry)
- JCE** : Kimya Eğitimi Dergisi (Journal of Chemical Education)
- NFPA** : Ulusal Yangından Korunma Kurumu (National Fire Protection Association)
- OPPT** : Kirliliği Önleme ve Toksik Ofisi (Office of Pollution Prevention and Toxics)

1. GİRİŞ

“Kimya” biliminin kökenleri M.Ö. 3000’li yıllara denk gelen Tunç Çağı’na kadar indirgenebilir. İlerleyen çağlarda ise kimya ile insan ve toplum ilişkisi giderek yaygınlaşmış ve kimyacılar toplum tarafından bazen yıkıcı salgın hastalıklara karşı kurtarıcı bazen de sebep oldukları kirlilik ve tahribatla çevreye karşı en büyük tehdit olarak algılanmaya başlamıştır (Solbes ve Traver, 2003).

Kimya uğraşının dünyaya ve genel anlamda bilimin gelişmesine yönelik katkıları ateşin icadı ile kalmamış özellikle de son iki yüzyılda yaşanan gelişmeler doğrudan kimya biliminden faydalanılarak gerçekleşmiştir. Çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanabilecek antibiyotikler gibi ilaçların keşfi, dünya nüfusu arttıkça küresel bir sorun haline gelmiş olan gıda stoklarının yetersizliğine karşı en önemli gelişmelerden sayılabilecek üretim artırıcı ve koruyucu kimyasal buluşlar, ulaşım, iletişim, giyinme, barınma vs. gibi hayatın neredeyse tüm alanlarında kimya bilimi önemli gelişmelere ön ayak olmuştur.



Şekil 1.1. Londra sis felaketi

Kimya bilimi özellikle son yüzyılda yukarıda özetlenen gelişmelerin yanı sıra içinde yaşadığımız dünya ve çevremiz üzerinde neden olduğu tahribatla da dikkat çekmiş ve bu durumu azaltmak için uluslararası ölçekte çeşitli önlemler alınmıştır. Kimyanın çevreye verdiği zararları azaltmak adına yapılan düzenlemelerin geçmişinin

II. Dünya Savaşı sonrasında meydana gelen, 1952'deki Londra sis felaketi ya da 1950'lerin sonlarında Japonya'da gerçekleşen Minamata salgını gibi çevresel felaketlerin ardından başlatıldığını söylemek mümkündür (Hoffman, 2001). Bu yasal düzenlemelere örnek olarak Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) Temiz Hava Sözleşmesi ve Temiz Su Sözleşmesi, İngiltere'de yürürlüğe giren Kirliliği Önleme Yasası, Almanya'daki Çevre Programı ve Japonya'daki Hava ve Su Kirliliğini Kontrol Etme Kanunları gösterilebilir (D.Hjeresen, Schut ve Boese, 2000).



Şekil 1.2. Minamata salgını

Çevre korumaya yönelik yukarıda bahsedilen önlemlerin yetersiz kaldığı görülünce 1991 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Çevre Koruma Teşkilatı (Environmental Protection Agency-EPA) tarafından sağlanan yeşil kimya alanındaki ilk araştırma teşvikiyle birlikte alternatif bir çevre koruma programı olarak “Yeşil Kimya Programını” resmi olarak başlatmıştır. Bu program o andan itibaren ABD’de bu alanda yapılan tüm çalışmaların odak noktası haline gelmiştir. Takip eden yıllarda, İtalya, İngiltere, Japonya ve Avustralya gibi ülkeler de yeşil kimya alanında girişimlerde bulundular. 1998’de Paul Anastas ve John Warner yeşil kimya kavramını kapsamlı bir

şekilde açıklayarak yeşil kimyanın 12 temel ilkesini belirlediler (Anastas ve Warner, 1998). Bu 12 temel ilke, yeşil kimya kavramının arka planındaki amaçlar ve kimya biliminden faydalanırken onun olumsuz etkilerini en aza indirmenin yollarını ortaya koymaktadır. Bu temel ilkeler yeşil kimya araştırmaları ve uygulamaları için artık standart haline gelen yaklaşımları belirlemektedir.

EPA'ya göre, sürdürülebilir kimya da denen yeşil kimya, en kısa tanımıyla, tehlikeli maddelerin ortaya çıkması ya da kullanılmasını önleyecek kimyasal ürün veya işlemlerin tasarımı demektir. Yeşil kimya bir kimyasal ürünün tasarlanması, üretilmesi ve kullanılması da dâhil olmak üzere kimyasal süreçlerin her alanında uygulanabilir.

1.1. Problem Durumu

Dünya genelinde yeşil kimyanın eğitim alanına entegrasyonu ve uygulamalarında önemli bir gelişim gözlemlenmiştir. Yeşil kimya ilkelerinin tanımlanması ve yaşam döngüsünün her alanına uygulanabilirliği çalışmalarının yanı sıra, yeşil kimyanın eğitim alanında uygulanması ve yeni nesil bilim adamlarının, öğretmenlerin ve mühendislerin yeşil kimya ilkelerine uygun olarak yetiştirilmesi önemli bir kazanım olarak hedeflenmiştir. Bununla birlikte Türkiye'de durum çok daha farklıdır. Ülkemizde uygulanan kimya eğitimi müfredatında yeşil kimya alanına yönelik çalışmalara gerektiği kadar yer verilmemektedir. Özellikle bir temel bilim olarak kimyanın uygulama temelli öğretimi göz önüne alındığında, tamamen yeşil kimyaya yönelik deney uygulamaları kimyager ve kimya öğretmeni yetiştiren programlarda neredeyse hiç bulunmamaktadır (Andraos ve Dicks, 2012).

Fen bilgisi öğretiminde oldukça önemli olan laboratuvar uygulamalarında kimya deneylerinin yeşil kimya ilkelerine uygun hale getirilmesi ve öğretmen adaylarının bu ilkeleri bilerek ve benimseyerek yetiştirilmesi önemli bir gereklilik ve ihtiyaçtır. Bu bağlamda çağın öne çıkan çevre koruma yaklaşımı olan yeşil kimya ilkelerine uygun deneyler yapan öğretmen adaylarının çevre koruma bilinci gelişmeli ve yeşil kimya kavramının teorik bilgisinden ziyade uygulamalı örneklerini de birebir yaşayıp görmeli ve öğrenmelidirler.

Bu çalışmanın problem durumu şöyledir: Genel kimya laboratuvar etkinlikleri yeşil kimya ilkelerine uygun hale getirilebilir mi?

1.2 Amaç

Yeşil kimya ilkelerini üniversitelerin kimya öğretmenliği ve fen bilgisi öğretmenliği programlarında gerçekleştirilen aktivitelere uyarlanmasının çok önemli kazanımları olacaktır. Bu nedenle bu yüksek lisans tezinin amacı, fen bilgisi öğretmeni adaylarının genel kimya laboratuvar uygulamalarında yaptıkları deneyleri yeşil kimya ilkelerine uyumlu hale getirerek kimyasal temelli çevre kirliliğinin henüz kirlilik oluşmadan giderilmesi ya da azaltılmasını ve çevre bilincinin genç nesillere akademik araştırma ortamında da aktarılmasını sağlamaktır.

1.3 Önem

Kimya bilimi uygarlığın gelişmesinde çok önemli bir yere sahiptir ve bununla birlikte endüstri dünyasındaki rolü de ayrıca çok önemlidir. Günümüzde çok büyük bir öneme sahip alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve yeni yakıt türlerinin ortaya çıkarılması, ilaç sektöründeki gelişmeler, yeni hammaddelerin tasarımı ve sürdürülebilir tarım gibi alanlarda kimyanın önemli bir rolü vardır. Ancak madalyonun bir de diğer yüzünden bahsetmek gerekir. Hava, su ve toprak kirliliği başta olmak üzere çevre kirliliği için kimyanın sorumlu tutulması boşuna değildir. Ancak her ne kadar kimya, çevre kirlilikleri açısından durmaksızın eleştirilebilecek kadar suçlu da görüle, kimyanın ürünlerinden olan ilaçlar, tarım ürünlerini koruyucu maddeler, boyalar ve diğer birçok kimyasal ürünler olmasaydı insanoğlu mevcut gelişmişlik düzeyine ulaşamayabilirdi (Beletskaya ve Kustov, 2010). Bu açıdan bakıldığında kimya biliminden ve onun hayatımıza muhtemel katkılarından çevre koruma mantığıyla vazgeçilmesinden yine kimya biliminin kendi uygulamalarını çevreye karşı daha duyarlı hale getirmek daha doğru olacaktır. Kimyanın neden olduğu çevresel tahribatı azaltmak için yıllar boyunca çok çeşitli yöntemler geliştirilmiş olsa da bu mücadelenin kirliliği ve dolayısıyla zararı yerinde önleme konusunda çok da verimli olmadığı görülmüştür. Tam da bu amaca yönelik yeşil kimya çalışmaları, öncelikle öncü kimya kuruluşları ve akademik düzeyde başlamıştır. Yeşil kimya ayrıca eğitim alanında da önemli bir gelişim göstermiştir.

Yeni nesil bilim adamlarının, öğretmenlerin ve mühendislerin yeşil kimya ilkelerine uygun olarak yetiştirilmesi önemli bir kazanım olacaktır. Bu amaçla akademisyenler, yeni ders kitapları yazarak ve laboratuvar çalışmaları geliştirerek,

öğrenci ve öğretmenler için bu ilkelere uygun eğitim ve çalışma alanları oluşturmalarıdır. Bu çalışmalar meslek örgütleri ve özel teşebbüsler tarafından da desteklenmelidir.

Yeşil kimya ilkelerinin üniversitelerin kimya öğretmenliği ve fen bilgisi öğretmenliği programlarında gerçekleştirilen aktivitelere uyarlanması çok önemlidir. Akademik laboratuvarlarda öğrencilerin oluşturduğu atıkların miktarı ve hacminin azaltılması hem öğrenciler hem de akademisyenler için daha güvenli çalışma ortamıyla birlikte daha az atık temizleme maliyeti sağlayacaktır. Üniversitelerde yapılan deneylerde ortaya çıkabilecek atık miktarını önceden belirleyebilmek zordur. Ancak araştırma bulgularına göre standart bir dönemlik ders alan bir öğrencinin, dönem boyunca katıldığı laboratuvar çalışmalarında, yaklaşık iki litrelik tehlikeli atık ürettiği görülmüştür (American Chemical Society website, 2014).

Yeşil kimya ilkelerine uygun ve çevre bilinci içerisinde deneyler yapan öğrencilerin, gelecekte çevre koruma bilincine sahip bireyler olabilmelerinin yanında yeşil kimya kavramının teorik bilgisinin yanında uygulamalı örneklerini de birebir yaşayarak ve deneysel uygulamalar aracılığıyla öğrenmiş olmaları da olumlu beklentilerdendir.

Üniversitelerin Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü Fen Bilgisi Öğretmenliği programında yürütülen genel kimya laboratuvar deneylerinin, yeşil kimya ilkelerine uygun olarak yeniden tasarlanması ve yeşil kimyanın temel ilkelerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesi sayesinde, geleceğin öğretmenlerinin laboratuvar ortamından da faydalanarak, yeni ve daha etkili bir çevre koruma programı yaklaşımını öğrencilerine aşılayabilmeleri mümkün olacaktır.

1.4. Varsayımlar

Hazırlanan deneyler öğrencilerin bilişsel ve duyuşsal düzeylerine uygundur. Hazırlanan tüm deneyler fen bilgisi öğretmenliği programı genel kimya laboratuvarında uygulanabilme özelliğine sahiptir.

1.5. Sınırlılıklar

Hazırlanan deneyler fen bilgisi öğretmenliği programında Genel Kimya I ve Genel Kimya II ders içeriklerine göre belirlenmiştir.

1.6. Tanımlar

Kimya: Atomları, element ya da bileşik haldeki maddelerin yapısını, özelliklerini, bileşimini, etkileşimini, tepkimelerini araştıran ve uygulayan bilim dalıdır (Chang, 2011).

Fen Bilgisi Laboratuvar Uygulamaları: Fen bilgisi öğretmenliği lisans programlarında yürütülen, öğretmen adaylarına laboratuvar etkinlikleri ile ilgili bilgi ve beceri kazandırmayı hedefleyen uygulama alanlarıdır (Karaca, Uluçınar ve Çansaran, 2006).

Yeşil Kimya: Yeşil kimya, insan sağlığına ve çevreye zararlı bileşiklerin kullanımı ve üretimini azaltmak ya da ortadan kaldırmak için kimyasal ürünlerin ve işlemlerin bulunması, yeniden tasarlanması, geliştirilmesi ve uygulanması aşamalarında bir dizi ilkenin kullanılmasıdır (Anastas ve Warner, 1998).

Yeşil Kimya İlkeleri: 1998 yılında Paul Anastas ve John Warner'ın yeşil kimya kavramını kapsamlı bir şekilde açıklayarak tanımladığı, yeşil kimya alanında yapılan tüm çalışmalar ve uygulamalar için standart haline gelen 12 temel ilkedir (Anastas ve Warner, 1998).

Nitel Araştırma: Gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel veri toplama tekniklerinin kullanıldığı, algıların ve olayların doğal ortamda gerçekçi ve bütüncül bir biçimde ortaya konmasına yönelik nitel bir sürecin izlendiği araştırma türüdür (Yıldırım ve Şimşek, 2008).

İçerik Analizi: Metin ya da metinlerden oluşan bir bütünün içerisindeki belli kelimelerin veya kavramların var olma durumunu belirlemeye yönelik yapılan analiz biçimidir (Büyüköztürk ve diğerleri, 2012).

2. KURAMSAL BİLGİLER ve İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

2.1. Kuramsal Bilgiler

Çevre sorunlarıyla yeşil kimya kavramının ortaya çıkışı

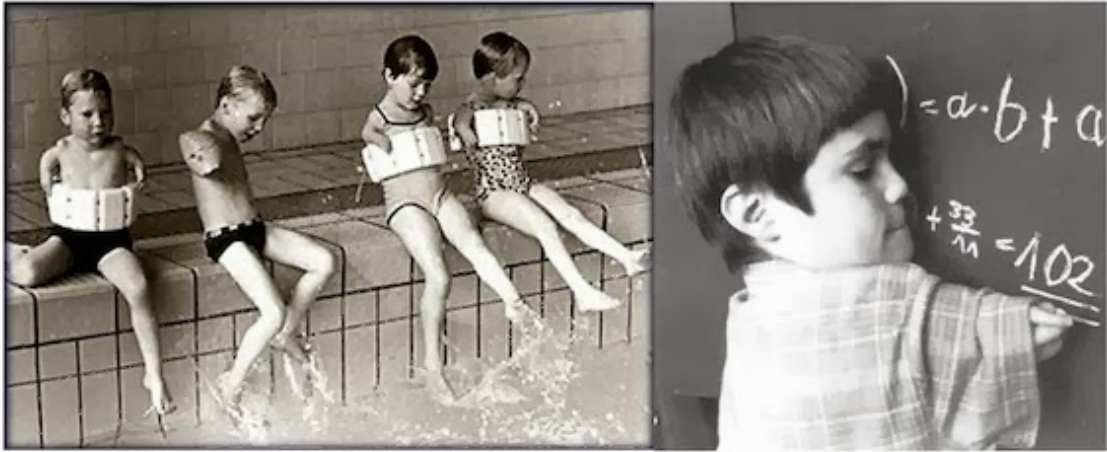
İnsanoğlu çok eski dönemlerden beri kimya uğraşından haberdar olsa da çevre ve çevresel sorunların kimya bilimiyle ilişkilendirilmesi nispeten yeni bir kavramdır. Ancak yirminci yüzyılın sonlarına doğru kimyasal maddelerin çevresel etkisi halk tarafından tartışılmaya ve tam anlamıyla bir sorun olarak tanınmaya başlamıştır. II. Dünya Savaşı'ndan sonraki yıllarda kimyevi ürünlerin üretilmesi, kullanılması ve atılması ile ilgili yok denecek kadar az çevre düzenlemesi mevcuttu. 1950'ler ve 1960'ların başlarına kadar kimyasal maddelerin insan sağlığına ve çevreye zararlı olabileceğine dair kaygılar henüz oluşmamıştı (Anastas ve Warner, 1998).

Günümüz bakış açısıyla diğer endüstri kollarıyla karşılaştırıldığında çevreyi çok daha fazla kirletme potansiyeli olduğu düşünülen kimya endüstrisinin atık ve çevre kirliliği potansiyelini en aza indirmek için özellikle de son 50 yıldır dünya genelinde bir dizi girişim ve düzenlemeler yapılmaktadır. Bu tarz çevre koruma mücadelelerine verilebilecek örneklerin başında "yasal düzenlemeler yaparak kirliliği azaltma" fikri gelmektedir.

Birtakım yasal zorunluluk ve üretim kriterleri getirilerek çevre kirliliğinin azaltılabileceği fikrinin temeli, 1952'de yaşanan ve 4000 insanın ölümüne neden olan Londra sis felaketi, 1950'lerin sonunda Japonya'daki Minamata felaketi gibi 2. Dünya Savaşı'nın hemen ertesinde karşılaşılan çevre felaketlerine dayanır (Hoffman, 2001).

Ancak kimya endüstrisi ve kimyevi ürünlerin yol açtığı çevresel felaketlerle ilgili daha büyük çaplı asıl uyanış Avrupa'da değil de Amerika Birleşik Devletleri'nde kendisini göstermeye başlamıştır. 1962'de Rachael Carson bazı böcek ilaçlarının çeşitli kuşların yumurtaları üzerindeki olumsuz etkilerini *Silent Spring* (Sessiz Bahar) adlı kitabında detaylı bir şekilde anlatmıştır (Carson R., 1962). Bu kitap, DDT (Dikloro Difenil Trikloroetan) ve diğer böcek ilaçlarının kullanımının gıda zincirinde beklenmedik ve geri döndürülemez hasarlara yol açarak nasıl yayıldığını gösteriyordu. Amerika Birleşik Devletleri'nde üretilen ve kullanılan böcek ilaçlarının üzerinde düzenleyici kontrollerin yapılmasına yol açacak olan yaygın halk tepkisini tetikledi.

Avrupa’da kimyasal etkilere karşı bilincin oluşmasına büyük etkisi olan olay, 1960’lı yılların başında, hamile kadınlar tarafından hamilelik sırasında mide bulantısı ve kusma şikâyetlerini hafifletmek için kullanılan talidomit isimli bir ilacın yeni doğan bebeklerde akut doğum kusurlarına yol açtığı fark edilmesidir. Resmi verilere göre 1962 yılına kadar, talidomit kullanımına bağlı olarak Avrupa, Kanada ve İngiltere’de toplam 7 bin, ABD’de de ise 17 bin adet, doğuştan kusurlu bebek vakası saptandı (Anastas ve Warner, 1998).



Şekil 2.1. Talidomit bebekler

Karşılaşılan bu trajedi, üretilen yeni ilaçlarda teratojen (şekil bozukluğunu tetikleyen) etkilerin olup olmadığını test etmek için sıkı hükümet denetimlerinin yürürlüğe girmesine yol açtı. Kendilerine verilen isimle, bu “talidomit bebekler” halkın genelinde sentetik kimyasalların insanlar üzerinde oluşabilecek beklenmedik etkileri hakkında büyük bir korkuya neden oldu.

Yukarıdaki örneklerin ikisinde de halk, toplum için çok faydalı yenilikler sağladıklarını düşündükleri bilim adamlarına duydukları güvene rağmen, kimyasal maddelerin kullanımının neden olabileceği beklenmedik ve feci sonuçların farkına varmaya başlamıştı.

Bu gelişmelerin ardından 1960 ve 1980’li yıllar arasında kimyasal kaynaklı çevre sorunlarıyla mücadele etmek için yaygın bir beklenti ortaya çıktı. Buna göre, kimyasal ürünlerin amaçlarının çok daha ötesinde kullanılmasının yan etkilerinin sonucunda çevresel bir problem baş gösterecek, bunu toplumsal bir tepki izleyecek ve nihayetinde çevre üzerinde olumsuz etkileri olan kimyevi maddelerin kullanımını

kontrol etme ve yönetmeye yönelik bir dizi yasa ve düzenlemeler yapılacaktı. Büyük çaplı bir felaket oluşmasına ve bunun zincirleme tepkilere yol açması yoluyla ancak başarılı bir çevre koruma politikasına ulaşılabileceğine inananlar çoğunlukta idi. Bu arada toplumsal çevre bilinci açısından bir değişim yaşanmasına vesile olan ve çevre konularına daha geniş kamuoyu desteğinin oluşmasını tetikleyen birtakım çevresel sorunlar ve çevre felaketleri de yaşanmaya devam etmekteydi.



Şekil 2.2. Love Canal olayı

Bu felaketlerden bazılarını sıralayacak olursak en başta ABD’de New York, Niagara Falls’taki Love Canal olayı gelir. 1930’lardan 1950’lerin başlarına kadar o bölge bir plastik şirketi tarafından kimyasal çöplük olarak kullanılmıştı. Daha sonra bu alan 1953’de Niagara Falls şehri yönetimine devredildi ve üzerine bir okul inşa edilerek alan istihdama açıldı. Yıllarca önce o alanda yer alan çöplüğe bırakılan kimyasal maddeler, 1971’de bataklığı kapatan kil kaplamadan dışarı sızmaya başladı. Alan,

kanserojen olduğundan şüphelenilen benzen, klorinli hidrokarbon ve dioksin de dâhil olmak üzere en az 82 çeşit kimyasalla kirletilmişti. Love Kanal'daki kimyasal kirlilikle bağlantılı olabilecek sağlık sorunları arasında doğum sırasında karşılaşılan problemler ve düşük yapma, karaciğer kanseri ve bölgedeki çocuklarda yaygın olarak görülen nöbet tetikleyici sinir hastalıkları bulunuyordu. Söz konusu alan bu olaylardan sonra afet bölgesi ilan edildi. Devlet, orada bulunan evlerden bazılarını satın almak için 10 milyon dolar ve sızıntıyı durdurmak için de ayrıca bir 10 milyon dolar daha harcamak zorunda kaldı. Oluşan bu kirliliğin sonucunda 1000 civarında ailenin bölgeden tahliye edilmesi gerekti (Anastas ve Warner, 1998).

1969 yılının Haziran ayında Ohio'daki Cuyahoga nehri o kadar kirlenmişti ki aniden alev aldı. Büyük bir nehrin kimyasal atıklardan kaynaklanan alevler içerisindeki görüntüsü suların temizlenmesine yönelik yasal düzenlemeler yapmayı zorunlu hale getirdi. Böyle yasalara dayanak oluşturabilecek etkin bir çevre politikası oluşturabilmek ve ABD federal hükümetinin sorumluluklarını tek elden yönetmek için 1970'de Birleşik Devletler Çevre Koruma Teşkilatı (United States Environmental Protection Agency–EPA) kuruldu. EPA'nın çalışmalarına ek olarak medya dünyası da artık çevre sorunlarına eğilmeye başlamıştı. Los Angeles ve Pittsburgh gibi büyük şehirlerin semalarında oluşan kahverengi sisi her gece gündeme taşıyan haber bültenleri, Temiz Hava Sözleşmesi (Clean Air Act) de dâhil olmak üzere hava kirliliği ile ilgili bir dizi yasal düzenlemeyi de beraberinde getirdi. Bu yasal düzenlemelerden biri de 1977 yılında yürürlüğe giren Toksik Maddelerin Kontrolü Sözleşmesi (Toxic Substances Control Act) idi. Amerika Birleşik Devletleri'nde satılan ve kullanılan kimyasalların insan sağlığı ve çevre üzerinde belirgin riskler taşımasını önlemek amacıyla oluşturulan bu yasanın uygulanışını yürütmek amacıyla Kirliliği Önleme ve Toksik Ofisi (Office of Pollution Prevention and Toxics-OPPT) kuruldu. 1980'lerde, kloroflorokarbon gazlarının stratosferdeki ozon tabakası üzerindeki etkilerinin uydu fotoğraflarının kullanılmasıyla daha net bir şekilde anlaşılması neticesinde kloroflorokarbon gazlarının aşamalı olarak azaltılmasını ilk kez savunan Montreal Protokolü imzalandı (Anastas ve Warner, 1998).



Şekil 2.3. Cuyahoga nehri

Tüm bu örnekler, beklenmedik kimyasal sonuçlardan kaynaklanan trajedilerdi ve bu trajediler halk arasında huzursuzluğa, bu huzursuzluk da çevre koruma bilincinin gelişmesi ile birlikte kimyasalların üretimi, kullanımı ve atığa dönüşümünü denetleyebilecek yasal mekanizmaların oluşmasına vesile oldu.

Bu yasal mekanizmalardan biri de ABD’de yürürlüğe giren Kirliliği Önleme Yasası (Pollution Prevention Act) idi. Önceki dönemlerde geleneksel yöntemlerle önlenmeye çalışılan çevresel sorunlara alternatif yaklaşımlar öneren bu yasa 1990 yılında yürürlüğe girdi. Bu yasanın dayandığı temel prensip, çevreyi korumada birinci önceliğin atıkların oluşmasını kaynağında önlemektir.

Kirliliği Önleme Yasası ile çalışma alanları genişletilen OPPT tarafından “Kirliliği Önlemeye Yönelik Alternatif Yollar” başlıklı bir araştırma programı başlatıldı. Bu programda, kimyasal maddelerin dizayn ve sentezinde kirliliği önlemeyi amaçlayan projelere mali destek verildi. Yapılan bu çalışmalar daha sonraki yıllarda uygulanacak çevre koruma yaklaşımlarının ve yeşil kimya kavramının oluşmasına da ön ayak oldu.

1991 yılında, EPA yeşil kimya alanındaki ilk araştırma teşvikiyle birlikte Yeşil Kimya Programı’nı Amerika Birleşik Devletleri’nde başlattı. Bu program ABD’de bu alanda yapılan tüm çalışmaların odak noktası oldu. Takip eden yıllarda, İtalya, İngiltere, Japonya ve Avustralya gibi ülkeler de yeşil kimya alanında girişimlerde bulundular.

1998'de Paul Anastas ve John Warner yeşil kimya kavramını kapsamlı bir şekilde açıklayarak yeşil kimyanın 12 temel ilkesini belirledi. Bu 12 temel ilke, yeşil kimya kavramının arka planındaki amaçlar ve kimya bilimini kullanırken onun olumsuz etkilerini en aza indirmenin yollarını açıklamaktadır. Bu temel ilkeler yeşil kimya araştırmaları ve uygulamaları için standart yaklaşımları belirlemektedir (Matus, 2009).

Türkiye'de de yeşil kimyanın uygulanmasının ne kadar gerekli olduğu yaşanan çevre sorunlarıyla ortaya çıkmıştır. Dünya genelinde meydana gelen kimyasal felaketlerin aksine ülkemizde doğrudan can kaybına neden olan bir kirlilik felaketi yaşanmadığı gözlemlenmiştir. Ancak özellikle tedbirsiz sanayileşme koşullarının etkilerini hissettirdiği bölgelerde zaman zaman toplum sağlığını tehdit eden kimyasal zehirlenmeleri çeşitli bölgesel ve ulusal raporlara konu olmuş, basın yoluyla kamuoyunda da kimyasal tehlikenin etkileri tartışılır hale gelmiştir. Bu raporların özellikle de Gediz deltası ve Marmara bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu raporlardan en dikkat çekici olanı 2006 yılında TBMM Dilovası Araştırma Komisyonu tarafından hazırlanan rapordur (Dilovası'nda kirliliğe karşı önlem, 2006). Bu raporun öneriler bölümünde, büyük kapasiteli yanıcı ve tehlikeli madde depolama tesislerinden kira sözleşme süresi bitenlerin sözleşmesinin yenilenmemesi, bu araziler üzerinde yeni kiralama yapılmaması gerektiği vurgulandı. Ayrıca bölgede metal ve hurda ergiterek üretim yapan tesislerdeki radyasyon ölçüm sistemlerinin devlet tarafından işletilmesi ve 24 saat kesintisiz denetim sağlanması önerildi. Raporun en dikkat çekici bölümlerinden biri ise bölgedeki kimyasal atıkların toplum sağlığı üzerine etkileri konusunda ortaya konan verilerdir. Raporda defin kayıtlarına göre yapılan araştırmanın, bölgede kanser hastalığından ölümlerin Türkiye ortalamasının çok üzerinde olduğunu ortaya konularak Sağlık Bakanlığı'na, Dilovası'nın pilot bölge ilan edilmesi, Dilovası OSB'de çalışan ve Dilovası'nda yaşayanlarda bilimsel bir metod kullanılarak çeşitli metallerin ve organik maddelerin biyo-izlemesi yapılması ve bu çalışmaların sonucunda da bölgenin tıbbi afet bölgesi ilan edilmesi gerektiği ifade edildi (Dilovası'nda kirliliğe karşı önlem, 2006).

Yukarıda bahsedilen Meclis Araştırma raporuna benzer biçimde kimyasal tehlikelerin çevreye zararları konusunda hazırlanmış bir başka çevre raporu da Aydın özelinde Gediz deltasıyla ilgili yapılan Aydın Çevre Çalıştayı raporudur. Raporda verilen bilgilere göre Büyük Menderes şu anda Ergene ve Gediz'den sonra Türkiye'nin en kirli üçüncü nehridir. Menderes'in kirlilik sebepleri sanayi ve jeotermal atıklar,

plansız kentleşme, belediye ve evsel atıklar, aşırı gübre ve ilaçlama, Beşparmak dağlarındaki maden ocaklarının kimyasal atıkları olarak sıralanmış, bu kirlilik sebepleri nedeni ile Menderes sulama dahi yapılamayacak düzey olan dördüncü derece kirlilik seviyesinde olduğu ifade edilmiştir. Aydın'da Menderes'in, yerüstü ve yeraltı sularının en önemli kirleticileri arasında, yeraltından çıkarılan ama geri re-enjekte edilmeyen jeotermal akışkanları yer aldığı, yüksek sıcaklığı ve kimyasal içeriği ile bu akışkanların pek çok toksik ve kanserojen kimyasallar taşıdığı belirtilmiştir. Aydın bölgesi jeotermal akışkanlarında bor normalin 190, arsenik 250 katına varan fazla değerde bulunduğu da ayrıca ifade edilmiştir (Aydın'ı yok oluşturan 12 çevre felaketi: Efelerin ılığı, 2016).

Bunlardan başka yine ülkemizde kimyasal felaket kapsamında değerlendirilmesi güç olsa da kimyasal temelli kazalarda da son yıllarda bir artış gözlemlenmiştir. Basına yansıyan kimyasal kazalar; 19 Eylül 2011'de Tuzla Organize Sanayi Bölgesi'nde LMA isimli kimyevi madde imalatı yapılan bir fabrikada saat 10.00 sıralarında patlama meydana geldi ve patlamanın ardından 2 kişi hayatını kaybetti (İstanbul'da korkunç patlama, 2011). Can kaybı olmayan ama ciddi panik yaratan bir başka kaza da 26 Haziran 2015 tarihinde saat 20.00 sıralarında Kayabaşı Mahallesi Fabrikalar Mevkii'nde bulunan "Çevrem Plastik Fabrikası"nın deposu olarak kullanılan binanın bahçesinde çıktı. Deponun çevresindeki duvarı yükseltmek amacıyla yapılan kaynak çalışması sırasında, geri dönüşüme yollanmak üzere bahçeye konulan plastik atıkları ve kimyevi maddelerin üzerine kıvılcım düştü. Bahçedeki malzemeler bir anda alev aldı (Başakşehir'de korkutan yangın, 2015). 22 Haziran 2006'da Gaziantep'te Küsget Sanayi Sitesi'ndeki Alles Kimya Fabrikası'nda deposundan tiner boşaltılırken bir anda alev topuna dönen tankerin neden olduğu yangın yayılarak, çevredeki 3 fabrika ile yirmiye yakın küçük işletmenin de büyük hasar görmesine yol açtı, kazada 3 kişi hayatını kaybetti 36 kişi yaralandı (Gaziantep'te fabrika yangını, 2006). 18 Mart 2011 de Kocaeli'nin Gebze İlçesi'nde Balçık mevkiinde kimyevi madde ve boya imalatı yapılan bir fabrikada yangın çıktı, can kaybının yaşanmadığı yangında ciddi maddi hasar oluştu (Gebze'de boya fabrikasında yangın, 2011).

Son yıllarda zararlı kimyasallar ve çevre kirliliği konusunda ülkemiz kamuoyunun gündemine giren bir başka konu da siyanürle altın madenciliği yürüten şirketlerin çevre üzerine olumsuz etkileri olmuştur. Başta Bergama olmak üzere ülkenin çeşitli yerlerinde siyanür ve sülfürik asitle madenin çözülmesi işleminin uygulandığı

alanlarda ciddi çevre sorunları yaşandığı rapor edilmiştir (Türkiye'nin Siyanür Tehlike Haritası, 2011).

2.1.1. Yeşil Kimya

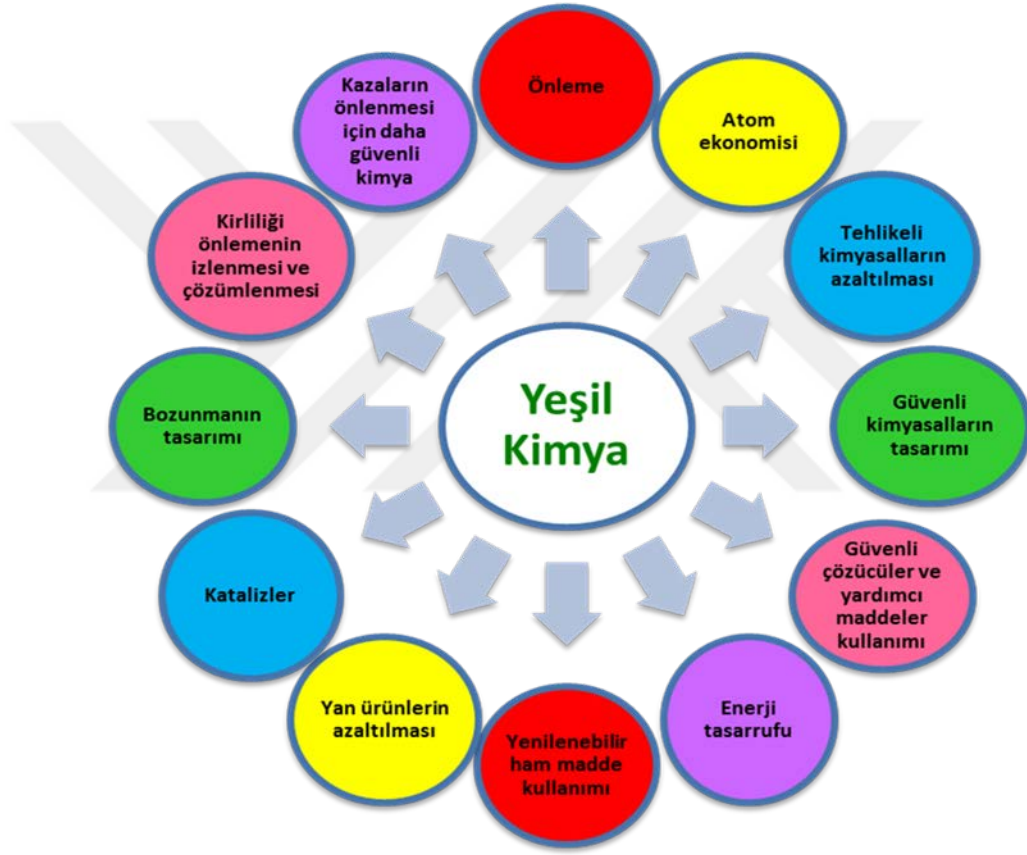
Yeşil kimya, insan sağlığına ve çevreye zararlı bileşiklerin kullanımı ve üretimini azaltmak ya da ortadan kaldırmak için kimyasal ürünlerin ve işlemlerin bulunması, yeniden tasarlanması, geliştirilmesi ve uygulanması aşamalarında bir dizi ilkenin kullanılmasıdır.

Genel olarak çevre sorunlarına yaklaşım tarzı kirlilik oluşuktan sonra oluşan kirliliğin giderilmesine yönelik olmuştur. Ancak bu yaklaşıma bir alternatif olarak oluşan yeşil kimya kavramı, kimyasalların üretim sürecinde önerdiği önleyici tedbirler sayesinde, kirlilik henüz oluşmadan engellenmesini amaçlamaktadır.

Gelişmekte olan dünyada alternatif bir çevre koruma programı olarak yeşil kimyanın önemi göz ardı edilemez. Dünya çapında yeşil kimya kavramını ve uygulamasını şekillendiren büyük güç Yeşil Kimya Enstitüsü'dür (Green Chemistry Institute-GCI). 1997'de kurulan enstitü; araştırma, eğitim ve bilimsel toplantılar yoluyla yeşil kimyanın teşvik edilmesini amaçlamıştır. 2000 yılı Ağustos ayında Amerikan Kimya Derneği'nin (American Chemical Society-ACS) 220. toplantısında yönetim kurulu, ACS ile GCI arasında ortaklık kurulmasını kararlaştırmıştır. ACS/GCI birlikteliğinin temel hedefi; politikacıları, iş dünyası liderlerini ve bilim camiasını bir araya getirerek yeşil kimya anlayışını ulusal araştırmaların odak noktası haline getirmektir (Hjeresen ve diğerleri, 2000). Yeşil kimyanın eğitim-öğretime uyarlanmasını kolaylaştırmak için ACS, EPA ve OPPT'nin yaptığı ortak çalışmalarda yeşil kimyayı uygulama, beceri ve bilgilerine sahip kimyacılar yetiştirmek üzere materyaller tasarlamış ve bu tarz çalışmalarla yeşil kimya ilkelerine uygun olarak bir dizi alternatif araç-gereç ve yöntemler geliştirilmiştir.

2.1.2. Yeşil Kimyanın İlkeleri

Yeşil kimyanın 12 temel ilkesi, Paul Anastas ve John Warner tarafından 1998'de tanıtılmıştır. Bu ilkeler, kullanılan hammaddeden yapılan işlemlerin verimliliği ve güvenliğine, kullanılan ürünlerin ve reaktiflerin toksisitesi ve biyolojik olarak parçalanabilirliğine kadar kimyasal işlemlerin tüm aşamalarında kullanılacak yeni kimyasal ürünler ve işlemlerin tasarlanması için rehber oluşturmaktadır (Anastas ve Eghbali, 2010). Bu 12 temel ilke, aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.



Şekil 2.4. Yeşil kimyanın ilkeleri

2.1.2.1. 1. İlke

Atıklar oluştuğundan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin üretilmesi ve kullanılmasının birtakım masraflarının olduğu bilinen bir gerçektir. Ancak özellikle son yirmi yıldır kimyasal

maddelerin arıtılması ve atılmasında ortaya çıkan maliyetin çok daha çarpıcı boyutlarda olduğu dikkat çekmektedir. Madde ne kadar tehlikeli olursa onunla işlem yapmak o kadar masraflı olur. Bu durum, hem büyük kimyasal üreticiler hem de küçük akademik amaçlı laboratuvarlar için geçerlidir.

Amerika'daki büyük kimyasal şirketlerin çoğunda araştırma-geliştirme üzerine yapılan harcamaların çevre sağlığı ve güvenliği üzerine yapılan harcamalarla aynı oranda olduğu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla kimyasal üretimi ve kullanımının gerçek mağdurları kimya endüstrisi ve biliminin gelişmesidir. Üniversiteler ve daha alt düzeydeki okullar, kimya laboratuvarlarındaki atıkların arıtılması konusunda karşılaştıkları yüksek maliyetlerin çözümü olarak ya deneylerin sayısını azaltmakta ya da deneylerinin kapsamını daraltmaktadır (Anastas ve Warner, 1998).

Tehlikeli maddelerle mücadele etmek adına, gerek onların temizlenmesi gerekse tamamen giderilmesi için yapılan masraflar ciddi oranda artmaya devam etmektedir. Artan bu masrafları önlemenin tek yolu yeşil kimya teknikleri kullanarak zararlı kimyasalların üretilmesi ve kullanılmasından sakınılmasıdır. Bu yöntemle mühendislik kontrollerinden kişisel koruyucu giysilere kadar her türlü maliyet tamamen ortadan kalkmış olmasa bile azaltılabilir ve bunlarla ilişkili diğer masraflar da engellenebilir.

Anastas ve Warner'a göre (1998) atıklar içerisinde en yaygın olarak görülen ve kullanılmaktan kaçınılması genellikle en mümkün olan atık türleri, işlenmemiş başlangıç maddeleri ve reaktiflerdir. Başlangıç maddesi gereksiz yere kullanılıp israf edilecek olursa hem hammadde hem de atık madde olarak iki defa masraf edilmiş olur. Bu durumda da o maddeden hiçbir kar elde edilemez. Ayrıca atık arıtma maliyeti, çoğu zaman işlenmemiş başlangıç maddesinin maliyetinden çok daha fazladır. Bu nedenle, bir hammaddeyi atığa dönüştürmeden önce, maddenin kullanım miktarı ve kimyasal işleme katkısı titizlikle gözden geçirilmelidir.

Toplumda bir sorunu oluşmadan önlemenin o sorun oluştuğundan sonra ondan kurtulmaya çalışmaktan çok daha önemli olduğu takdir edilmekte iken kimya endüstrisi ve kimya üreticileri çevreyi kirletecek maddelerin temizlenmesiyle nasıl başa çıkacaklarını bildiklerini düşündükleri için son yıllara kadar koruyucu önlemleri görmezden gelmişlerdi (Anastas ve Warner, 1998). Ancak bir sorunu gidermenin maliyetinin o sorunu önlemeye çalışmaktan her zaman için daha yüksek olduğu artık iyi bilinen bir gerçektir. "Hayatta bazı tehlikeler ve zararlar hep olacaktır" düşüncesine

sahip olmaktansa olabilecek tehlikeleri önceden saptamaya çalışıp gerekli önlemleri alarak sorunlara hazırlıklı olmak günümüz kimyagerlerinin en önemli misyonu olmalıdır.

Bir kimyasal maddenin arıtılması ya da kontrol edilmesine gerek olup olmadığını anlayabilmek için kullanılan ölçeklerden biri zararın atık üretiminden kaynaklanıp kaynaklanmadığını tespit etmektir. Birçok durumda zarar, gereksiz yere işlem gören ya da dönüştürülen maddelerin son üründen ayrılırken enerji, para ve zaman kaybına yol açmasıyla kendini gösterir ve neredeyse her zaman bu maddelerden kurtulmak ya da zararsız hale getirmek için kullanılması gereken teknoloji de masraflı olur. Bir atığın oluşmasından kaynaklanan zararın denkleminde değerlendirme çoğu zaman insan hayatı ve sağlığı ya da çevrenin refahına odaklanmış durumdadır. Bu kriterler önemli kaygıların başında gelirken önlenabilir atıklar oluştuğunda her zaman “zarar” ve “tehlike” de oluşur.

Bir işlemin atık oluşturabildiği gerçeği tehlikeli maddenin ayrımı, arıtılması ve giderilmesi gerektiği anlamına gelir. Tehlikeli kimyasalların kullanılması özel müdahale yöntemleri, koruyucu başlıklar ve mühendislik kontrolleri gibi tedbirleri de gerektirir. Daha açık bir ifadeyle, hangi maddelerin ve hangi işlemlerin kullanılacağına değerlendirilmesi yapılırken, göz önüne alınması gereken faktör bu tehlikedir. Bazı durumlarda ise bu “zarar” işlemin doğasını değiştirecek kadar önemli sonuçlara yol açmayabilir ama yine de her zaman zararın neden olduğu sonuçlar da göz önüne alınmalıdır.

2.1.2.2. 2. İlke

Sentetik yöntemler son üründe işleme dâhil edilen malzemelerin miktarlarını artırmayı hedeflemelidir.

20. yüzyıl boyunca organik kimya üzerine yazılmış olan metinler kimyasal denge eşitliklerine yer vermemiştir. Çok az da olsa verilen örneklerde göstermiş oldukları reaksiyonlar sentetik bir dönüşüm içerisinde mecburen oluşan yan ürünler ve yardımcı ürünlere karşılık gelmiştir. Bir sentezin verimliliği ve etkinliğinin klasik değerlendirilmesi verim olarak bilinir. Verim aynı zamanda sentezin önemli bölümlerinde yer alan herhangi bir istenmeyen ürünün oluşmasını ya da kullanılmasını tamamen göz ardı eder. Sentetik yöntemin ya da sentetik bir adımın veriminin % 100'e

ulaşması ve istenilen ürünün hacmi ve kütlesinin çok daha fazlasını üretebilmesi de mümkündür ve çoğu zaman karşılaşılan durum da budur. Bu durum; hesaplamalar, başlangıç maddelerinin mollerinin mol kavramına göre değil de ürünün molları üzerine yapıldığında gerçekleşir. Başlangıç maddesinin bir molü istenilen ürünün bir molünü üretirse verim %100'dür ve sentez bu durumda mükemmel düzeyde verimli olarak görülür. Ancak bu dönüşüm, ürünün her molü için bir ya da daha fazla mol atık üretir. Bu atığın her bir molü istenilen ürünün molekül ağırlığından katbekat fazla olabilir. Bu nedenle yüzdelik verim hesaplamasına göre “mükemmel düzeyde verimli bir sentez”, oldukça fazla miktarda atık üretebilir ve bu durum yalnızca bu seçici tepkime kullanılarak önlenir (Anastas ve Warner, 1998).

Verim yaklaşımının klasik bir örneği Wittig reaksiyonudur. Bu reaksiyonda %100 verim elde edilebileceği için atom ekonomisine de uygun olabilir (Anastas ve Eghbali, 2010).

- **Yeniden düzenleme**

Bir molekülü meydana getiren atomların yeniden düzenlenmesi ile tüm reaktantların ürüne dâhil edildiği, %100 atom ekonomisine uygun bir reaksiyon elde edilmiş olur.

- **Katılma**

Katılma reaksiyonları, reaktantın substrata tamamen eklenmesiyle (ör. siklokatılma, brominasyon vs.) gerçekleştiği için atom ekonomisine uygundur.

- **Yer değiştirme**

Yer değiştirme reaksiyonunda ayrılan grubun yerini tepkimeye giren yeni bir grup alır. Ayrılan grup, reaksiyonun son ürüne dâhil olmayan bir atıktır ve bu şekilde meydana gelen dönüşüm atom ekonomisini düşürür.

- **Eliminasyon (Ayrılma)**

Eliminasyon reaksiyonları son ürünü oluşturacak atomların sayısını azaltarak substratı dönüşüme uğratır. Bu durumda, kullanılan hiçbir reaktif son ürünün bir parçası olmaz ve ayrılan atomlar atık olarak kaybolur. Bu nedenle bu reaksiyon temel sentetik

dönüşümler içerisinde atom ekonomisine en az uygun olanıdır (Anastas ve Warner, 1998).

2.1.2.3. 3. İlke

Mümkün olan her yerde, insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan maddeler üretip kullanacak sentetik yöntemler geliştirilmelidir.

Geçmişte çevreyi korumak için kimyasalların azaltılması, kısıtlayıcı kuralların getirilmesi gibi yöntemlerin aksine, yeşil kimya girişimi kimya bilimini sorunun kaynağı olarak değil çözümü olarak görmektedir. Yeşil kimya, kimyacıların sahip oldukları bilgi ve beceriler sayesinde, bilim camiasından beklenen teknolojik gelişmeleri, insan sağlığı ve çevre açısından güvenli bir şekilde gerçekleştireceğine inanmaktadır.

Çevre için kimyasal geliştirilirken tehlikeleri de göz önünde bulundurmamak kaçınılmaz bir ihtiyaçtır. Herhangi bir tehlike riskini azaltmanın yalnızca iki yolu vardır: ya o tehlikeye maruz kalma durumunu engellemek ya da tehlikeyi ortadan kaldırmak. Koruyucu giysiler ve mühendislik kontrolleri gibi yöntemlerle tehlikeye maruz kalma riski azaltılabilir. Bir kimyasalın geliştirilmesi için tehlike faktörünü hesaba katmaya gerek olmadığını düşünenler, çoğu zaman kimya alanındaki uzmanlıklarından dolayı “tehlikelerle mücadele etmenin yolunu en iyi kendilerinin bildiğine” inandıkları için tehlikeye aldirmeden istedikleri herhangi bir kimyasalı kullanabilmeleri gerektiğini savunurlar (Anastas ve Warner, 1998).

Tehlikenin hesaba katılmasının arkasındaki gerekçe çift yönlüdür. Birincisi, bir işlemin maliyetini artırmadan tehlikeye maruz kalmayı kontrol altına almak neredeyse imkânsızdır. Gerek koruyucu giysiler gerekse mühendislik kontrolleri olsun tüm kontrol mekanizmalarının bir maliyeti vardır. Bu nedenle bu önlemler gereksiz yere maliyeti artırmaktadır. İkinci olarak, maruz kalmayı önlemeye yönelik kontroller başarısız olabilir ve bir hata ile geri döndürülemez bir riskle karşı karşıya kalınabilir. Ancak tehlike, işin doğasında var olan değişmez bir özelliktir ve bu yönüyle risk kendiliğinden artış göstermez.

“Neden tehlikeyi de göz önünde bulundurmalıyız?” sorusuna verilecek çok cevap vardır. Meseleye etik açıdan yaklaşıldığında cevaplardan biri “çünkü bunu

yapabiliriz” dir. Kimyacılar genel olarak insanların, çevrenin ve kimyasalları kullananların karşılaştıkları tehlikeleri en aza indirecek bilgi ve becerilere sahiptir. Bu bilgilere sahip olmak tehlikeleri mümkün olan her yerde en aza indirgemeyi garanti etme sorumluluğu demektir. Bu sorumluluk, muhtemel zararları önlemek için tüm bu bilgilerden kaçınmak demek değil aksine kimyacıların sahip oldukları bilgileri insan sağlığı ve çevre adına daha güvenli yöntemlerle, muhtemel yeniliklerin hizmetine sunması anlamına gelir.

Bu soruya verilecek bir diğer cevap Anastas’a göre (1998) “çünkü yapmalıyız” dır. Bunu yapmalıyız çünkü meseleye ister çevresel açıdan ister ekonomik, hukuki ya da sosyal açıdan bakıldığında kimya biliminin, kimyacıların ve kimya endüstrisinin başka seçeneği yoktur. Çevre, yanlış kullanım ve kimya bilimiyle uğraşanlar içerisindeki bazı vizyonsuz kişiler ve genelde de toplumumuz yüzünden çok büyük bir zarar görmüştür. Kimya endüstrisi ve üniversiteler bu tehlikelerle mücadele etmenin maliyeti karşısında ekonomik olarak zorlanmaktadır. Yasal anlamda, eğer bilimsel çözümler onların yerini almazsa giderek daha da kısıtlayıcı olan kanunların, gelişime engel olma ihtimali bulunmaktadır. Sosyal olarak, kimyacıların rolü hem yenilikçi hem de kirlenici ikilemine dönüşmüştür. Ancak bu durum kabul edilebilir değildir. Yeşil kimya tehlikeleri ortadan kaldıran ya da azaltan kimyasallar geliştirerek bu sorunların her biri ile başa çıkabilecek bilimsel seçenekler sunmaktadır.

2.1.2.4. 4. İlke

Zararlar azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler geliştirilmelidir.

Yeşil kimyanın bu alanına çoğu zaman “daha güvenli kimyasallar geliştirmek” de denir. Moleküler yapı hakkındaki bilgileri aracılığıyla kimyacılar bir bileşiğin özelliklerini kolayca belirleyebilmektedirler. Kimya bilimi, boyalar, yapıştırıcılar ve farmasötikler gibi çeşitli kimyasal ürünlerin; renkleri, çekme kuvvetleri, çapraz bağ potansiyelleri ve antitümör etkinlikleri gibi özelliklerini belirleyebilecek ve ölçebilecek kapsamlı cihazlar geliştirmiştir.

Bir kimyasal işlemde beklenen performansı artırmak ve aynı zamanda o kimyasalın toksikliği ve çevreye verdiği zararı en düşük düzeyde tutmak, daha güvenli kimyasallar geliştirmenin temel amacıdır. Bir kimyasalın istenilen performansı

gösterebilmesi için gerekli olan özelliklerin saptanması, gelişmelerin ışığında, başarılı bir şekilde yapılmaktadır. Kimyasal mekanizmaları detaylı olarak bilen kimyacılar artık yapıları değiştirebilir ve zararlı reaksiyonların oluşmasını engelleyerek kimyasalların toksisitesi azaltabilir.

Toksisitesi azaltılmış kimyasallar geliştirmeye yönelik bazı yöntemler aşağıda verilmektedir.

- Birinci yöntem toksik bir mekanizma oluşturacak bir reaksiyon söz konusu ise o reaksiyonun gerçekleşmesini ve böylece toksikliğin oluşmasını önleyebilecek yapısal bir değişiklik yapılmasıdır. Bu yapısal değişikliğin o molekülün işlev ve performansını değiştirmeden emin olmak gerekir.
- İkinci yöntem kimyasal mekanizmanın tam bilinmediği durumlarda uygulanır. Mekanizma tam bilinmese de toksik etki kimyasal yapıdan kaynaklanabilir. Örneğin; işlevsel gruplar toksisiteye neden olabilir. Bu durumda; toksik uç ortadan kaldırılarak ya da azaltılarak toksik etki giderilebilir ya da engellenebilir.
- Üçüncü yöntem ise biyoelverişliliğin azaltılmasıdır. Toksik bir madde hedef organa (örneğin; mide, akciğer, karaciğer vs.) ulaşamıyorsa zararsız olarak kabul edilir. Kimyacılar su çözünürlüğü ve polarite gibi, molekülün kimyasal ve fiziksel özelliklerini değiştirmeyi öğrendiklerinden beri moleküllerin yapılarını değiştirerek biyolojik zar ve dokular aracılığıyla absorbe edilmelerini zorlaştıracak ya da imkânsız hale getirebilecek değişiklikler yapmayı başaramaktadırlar (Anastas ve Warner, 1998). Absorbsiyon ve biyoelverişliliği ortadan kaldırarak toksisite de azaltılmış olur. Bu nedenle, molekülü daha az biyoelverişli hale getirmek için özelliklerini değiştirmek, molekülün kullanımını ve beklenen fonksiyonunu engellemediği sürece hem daha etkili hem de daha az zararlı olacaktır.

2.1.2.5. 5. İlke

Yardımcı maddeler mümkün olduğunca az ve zararsız halde kullanılmalıdır.

2.1.2.5.1. Yardımcı Maddeler

Yardımcı madde, bir kimyasalın ya da kimyasalların işlenmesi aşamasında katkıda bulunan ancak molekülün kendisinin bir parçası olmayan madde olarak tanımlanabilir. Bu maddelerin kullanımı ile bir molekülün ya da kimyasal ürünün üretimi ya da sentezi aşamasında karşılaşılan belirli engellerin üstesinden gelmek amaçlanmaktadır. Yardımcı maddeler o kadar yoğun bir şekilde kullanılıyor ki onlara ihtiyaç olup olmadığına dair bir değerlendirme nadiren yapılmaktadır. Bu durum çoğu zaman çözücüler için olduğu kadar ayırıcı ajanlar için de geçerlidir. Bu yardımcı maddeler, insan sağlığı ve çevre açısından kaygı verici özellikler taşıyabilirler (Anastas ve Warner, 1998).

2.1.2.5.2. Çözücüler

Yaygın olarak kullanılan çözücülerle ilgili bir sürü kaygı verici durum vardır. Metilen klorür, kloroform, perkloretilen ve karbontetraklorür gibi halojenli çözücülerin kanserojen olduklarına dair şüpheler çok uzun zamandan beri bulunmaktadır (Guha ve diğerleri, 2012). Farklı bir mekanizma aracılığıyla benzen ve diğer aromatik hidrokarbonların da insanlar ve diğer canlılarda kanser oluşumuna etkisi olduğu görülmüştür (Alver, Demirci ve Özcimder, 2012). Tüm bu maddeler birçok uygulamada muhteşem çözünürlük özelliklerine sahip oldukları için çok yaygın olarak kullanılır ve çok değerlidir. Ancak bu olumlu özellikler, yukarıda bahsedilen sağlık problemlerini de beraberinde getirebilir.

Çözücülerin çevre üzerindeki bilinen olumsuz etkilerinden biri stratosferdeki ozon tabakasına zarar vermeleridir. Kloroflorokarbon gazları 20. yüzyılın büyük bölümünde yoğun olarak kullanılmıştır. Kullanım amaçlarına göre bakıldığında; temizleyicilerden buzdolaplarına kadar birçok alanda kanıtlanmış bir verimliliğe sahiptir. Ayrıca kloroflorokarbonların insan sağlığına ve vahşi yaşama doğrudan çok az zararı olduğu ve uçucu ya da yanıcı olmadığı için de çok düşük kaza potansiyeli taşıdığı da bilinmektedir. Ancak, kloroflorokarbonların ozon tabakasının aşınmasına verdiği

zarar ve bunun sonucunda ortaya çıkan çevresel etkiler tüm kamuoyunun bilgisi dâhilindedir (Rowlands, 1990; Tuna, 2011).

Çeşitli hidrokarbon gazları ve onların varyasyonlarından oluşan uçucu organik bileşikler birçok uygulamada çözücü olarak kullanılmıştır. Bu sınıfta yer alan kimyasallar birikerek kirli hava kütesine neden olur. Bu çevresel etkinin dolaylı yoldan oluşumu ile solunum problemi olan birçok kişi büyük rahatsızlıklar yaşayabilir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Temiz Hava Sözleşmesi ve diğer yasal otoriteler aracılığıyla çözücü olarak kullanılacak kimyasalların kontrolü ile ilgili birtakım düzenlemeler yapılmıştır. Düzenleyici yasalara uyum aşaması çoğu zaman çok maliyetli olduğu için birçok şirket ya alternatif çözücüler bulmaya çalışmakta ya da daha temel bir yaklaşımla çözücü kullanmanın farklı alternatiflerini aramaktadırlar.

Ayrırma işlemlerinde kullanılan yardımcı maddeler için de bazı kaygılar mevcuttur. Bu kaygıların çoğu, çözücülerde olduğu gibi belirli maddelerin tür ya da sınıflarını hedef almaz, daha genel kapsamlıdır. Ürünleri yan ürünlerden, ek ürünlerden, safsızlıklardan ve diğer benzeri ürünlerden ayırtmak için kullanılan maddeler oldukça maliyetlidir. Buna ek olarak, ayırma yöntemleri, gerek mekanik gerekse termal işlemler açısından bol miktarda enerji gerektirir. Son olarak, işleme sonrasında ayırma gerçekleştirildiğinde, bu yardımcı malzemeler artık atığın bir parçası olurlar ve bir şekilde arıtma ya da temizleme süreci gerektirirler (Anastas ve Warner, 1998).

Enerji gerektiren ayırma/safılaştırma yöntemlerinden biri kristallendirme işlemidir. Bu işlemde, farklı bir çökeltiye ulaşabilmek amacıyla bileşenlerin çözünürlüğünü değiştirmek için madde ve/veya enerjiden faydalanılır. Kullanılan madde ve/veya enerjinin, yalnızca atığa olan katkısı açısından değil aynı zamanda sahip olabileceği iç tehlikeler açısından da değerlendirilmesi gerekir (Mullin, 2001).

Kullanılan yaygın ayırma yöntemlerinden biri de kromatografidir. Kromatografi, analizler ve karakterizasyon için çok az yardımcı madde kullanıyor olsa da daha büyük ölçekli ayırma işlemlerinde sorun oluşturabilir. Hem hareketli hem de sabit faz için yardımcı maddelerin az da olsa tehlikeli yönleri vardır. Tehlikenin önemli boyutlarda olmadığı durumlarda bile bu maddelerin kullanımı, atık oluşumu ve enerji sarfiyatı bakımından göz önünde bulundurulmalıdır (Prudich ve Eykamp, 2008).

2.1.2.5.3. Alternatif Sistemler

- **Süperkritik sıvılar**

Geleneksel olarak kullanılan yardımcı maddelerin yerine yeşil kimyanın tüm ilkelerine uygun olmasına özen gösterilen birtakım alternatifler elbette mevcuttur. Geleneksel organik çözücüler yerine kullanılabilen alternatif çözücülerden bazıları süperkritik sıvılardır. Bu sistemin insan sağlığı ve çevre açısından zararsız olmasının yanı sıra ayırma ve seçicilik için kullanılabilmesi avantajı da vardır.

Süperkritik sıvılar tipik olarak karbondioksit gibi küçük molekülleri, kritik noktaya ulaşabilmeleri için uygun sıcaklık ve basınca maruz bırakarak oluşturulur. Böylece sıvı ve katı hal arasında kalmış olarak tanımlanabilecek sıvı özelliklerine sahip olan moleküllerin oluşması sağlanır. Bu sıvının ayarlı çözücü özelliği vardır. Yani bir çözücü ısı ve basınç parametreleri ayarlanarak düzenlenebilir. Bu özellik süperkritik çözücü sistemlerin tehlikeli olan diğer çözücülerin yerine kullanılabilmesini sağlar (Jessop ve Leitner, 2008).

- **Çözücüsüz sistemler**

Çözücüsüz sistemler, insan sağlığı ve çevre açısından tehlike taşımadığı için çok önemli avantajlara sahiptir. Birçok şirket ve akademik camiadaki birçok bilim adamı reaktifler ve hammaddelerin de çözücü işlevi görebilmesini sağlamak için yöntemler geliştirmeye çalışmaktadırlar. Reaksiyonların özel hazırlanmış balçık gibi katı yüzeyler üzerinde gerçekleştirildiği, çözücüsüz yenilikçi çalışmalar yapılmaktadır (Cave, Raston ve Scott, 2001).

- **Sulu sistemler**

Sulu sistemler yıllar boyunca verimlilik ve seçicilik açısından incelenmiştir. Bu incelemeler, su sistemlerinin çevreye zararı olmayan çözücüler olarak kullanılabilmesi için mükemmel bir dayanak oluşturmaktadır. Suyun dünyadaki en zararsız madde olduğu ve bu nedenle mümkün olan en güvenli çözücü olduğu açıktır. Sulu sistemlerin çözücü olarak kullanıldığı yöntemler ile üretim gerçekleştikten sonra ortaya çıkan ürün ve yan ürünlerin ayrıştırılmasının maliyeti hakkındaki araştırmalar önemlidir çünkü sulu sistemlerle yapılacak herhangi bir işlemde açığa çıkan atık maddenin, geleneksel çözücüler kullanıldığında ortaya çıkacak olan kirletici miktardan daha fazlasını

içermediğinden emin olunması gerekir. Suyun çözücü olarak kullanılmasının çok önemli faydaları vardır ancak çevreye olan genel etkilerini anlayabilmek için her bir durum için ayrı ayrı incelenmelidir (Kerton ve Marriot, 2009).

Hareketsiz çözücü sistemleri

Birçok çözücünün insan sağlığı ve çevre açısından yarattığı en büyük tehlike, insanların buharlaşma özelliğine sahip çözücülere maruz kalması ve havanın kirlenmesidir. Önerilen çözümlerden biri devinimsiz çözücülerin kullanılmasıdır. Devinimsizlik çok farklı şekillerde kullanılabilir ama hepsinin ortak amacı; bir maddenin çözücülüğünün, o maddeyi buharlaştırmadan ve insan ya da çevreye zarar vermeden korunabilmesidir. Bazı durumlarda bu, çözücü molekülün katı bir desteğe bağlanması ya da çözücü molekülünün doğrudan bir polimerin arkasına katılması yoluyla olabilir. Bazı örneklerde ise yeni polimer maddelerin kendileri çözücü özellikler gösterir (Miletic, Nastasovic ve Loos, 2012).

2.1.2.6. 6. İlke

Enerji gereksinimleri çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip en aza indirgenmelidir.

Kimya endüstrisinin enerji kullanımı

Enerji üretimi ve tüketiminin büyük çevresel etkileri olduğu çok uzun zamandır bilinmektedir. Kimya bilimi ve kimyasal dönüşümler; maddeleri enerjiye dönüştürmek ve bununla birlikte mevcut enerji kaynaklarını da toplum tarafından kullanılabilir bir biçime dönüştürmek gibi önemli bir role sahiptir. Elbette, şu anki durumların aksine bu işlemlerin sürdürülebilir bir kazanca dönüşmesi için süreklilik gereklidir. Ayrıca mevcut koşullar altında endüstrinin sanayileşmiş milletlerde kullanılan tüm enerji miktarının büyük bir kısmına hükmettiğini de unutmamak gerekir (Horvath ve Anastas, 2007).

Enerji kullanım alanları

Çoğu zaman birbiriyle benzer şekilde enerji girdisine ihtiyaç olan reaksiyonlara yönelik bir eğilim vardır. Başlangıç maddeleri ve reaktifler; belirli bir çözücü ile iyi çözünüyorsa, o reaksiyon denklemi belirlenen zamana ya da reaksiyon tamamlana kadar geri döndürme işlemi için ısıtılır. Bir sentezin planlanması aşamasında belirli bir

denklem için ısı gerekli olup olmadığı konusunda genellikle bir analiz eksikliği olduğu görülmüştür. Çoğunlukla işlemi daha verimli hale getirmek için gerekli olan herhangi bir enerji ya da ısı gereksinimlerini saptama işi, kimyasal işlemi gerçekleştirecek mühendislere bırakılmıştır.

- **Reaksiyonları ısı ile hızlandırma ihtiyacı**

Termodinamik ürüne dönüşen reaksiyonlar, çoğu zaman termal enerjinin kullanılması ile olur. Termal enerji, reaksiyonu tamamlamak için gereken aktivasyon enerjisini sağlamak için kullanılır. Katalizörlerin en büyük avantajlarından biri, belirli bir reaksiyon türünü gerçekleştirmek için gerekli olan aktivasyon enerjisini azaltarak dönüşümü gerçekleştirmeye yetecek termal enerji miktarını en aza indirmektir (Anastas, Kirchoff ve Wiliamson, 2001).

- **Soğutma yoluyla reaksiyonu kontrol etme aşamasında enerji gereksinimi**

Bazı durumlarda, reaksiyonlar o kadar ekzotermiktir ki reaksiyonu aşırı soğutma yöntemleriyle kontrol etmeniz gerekebilir. Reaksiyon derecesini bu şekilde ısı yoluyla kontrol etme biçimi, mikro saniyeler içerisinde gerçekleşen reaksiyonları araştırmayı gerektirmiştir. Ayrıca, kimyasal üretim safhasında, soğutma yoluyla reaksiyon derecesini düşürmek, ciddi kimyasal kazalara yol açabilecek herhangi bir kaçak oluşmasını ya da istenmeyen reaksiyonun gerçekleşmesini önlemek için de gerekli olabilir. Isıtmada olduğu gibi soğutma işleminde de gerçekleşebilecek hem çevresel hem de parasal maliyetler de söz konusudur (Anastas ve Warner, 1998).

- **Ayrırma enerjisi gereksinimleri**

Kimya endüstrisinde en yoğun enerji kullanımı olan işlemlerden biri arıtma ve saflaştırma işlemidir. Saflaştırma işlemi gerek damıtma ve kristallendirme gerekse ultra filtrasyon yoluyla yapılmış olsun ürünün yabancı maddelerden arındırılmasını sağlamak için enerji gereklidir. Kimyagerler saflaştırma işleminde enerji ihtiyacını en aza indirecek bir işlem planlaması yaparak, ürünü elde etmek için termal, elektriksel ya da başka bir türde enerji gereksinimini en aza indirebilir.

- **Mikrodalgalar**

Mikrodalga enerjisinin kullanımı, kimyasal dönüşümleri hızlandırmak ve normalde sıvı çözeltilerde yapılan reaksiyonları katı halde gerçekleştirmek amacıyla

kullanılan bir tekniktir. Birçok durumda, mikrodalga teknikleri bir reaksiyonu gerçekleştirebilmek için uzun süreli ısı kullanımını gerektirmediği için çok önemli avantajlara sahiptir. Ayrıca katı halde gerçekleştirilen kimyasal reaksiyon sırasında gerekli olacak yardımcı çözücülerin tamamını ısıtmakta kullanılacak enerji ihtiyacını da engellemiş olur (Leadbeater, 2010).

- **Ses dalgaları**

Bazı dönüşüm türleri (siklo katılma, perisilik reaksiyonlar), bir sonikatörle ultrasonik enerji kullanarak katalizlenme becerileri açısından incelenmektedir. Bu tekniği kullanarak, kimyasal bir dönüşümü hızlandırmak için reaksiyona giren türlerin ortam koşulları etkin bir biçimde değiştirilir. Diğer bütün enerji türleri gibi, bu enerji de ürüne ulaşmak açısından daha etkin olup olmayacağı konusunda her bir reaksiyon için ayrı ayrı değerlendirilmelidir (Leonelli ve Mason, 2010).

- **Reaksiyonu optimize ederek enerji gereksinimini azaltmak**

Kimyacılar çoğu zaman bir reaksiyonun ya da sentetik yöntemin kullanılabilirliğini ispatlandıktan sonra, optimize etmek için uğraşırlar. Optimizasyon, ürünün verimliliğini ya da başlangıç maddelerinin ürüne dönüşüm yüzdesini artırmaya çalışmak anlamına gelir. Çoğu zaman hesaba katılmayan durum optimizasyon için gerekli olan enerji ihtiyacıdır. Enerji gereksinimlerini dengelemek genellikle işlem mühendislerine bırakılmıştır. Oysa reaksiyonu tasarlayan kimyacı, sentez ve üretim süreçlerinde gereken enerjinin planlanması ve tehlikeli madde ve atıkların kontrolü için en büyük etkiye sahiptir. Reaksiyon sistemlerinin temelden ve yeniden tasarlanmasıyla, gerekli enerji ihtiyacı ayarlanabilir ve optimize edilebilir (Anastas ve Warner, 1998).

2.1.2.7. 7. İlke

Bir hammadde ya da maddeler, teknik ve ekonomik olarak tüketilebilen olmaktansa yenilenebilir olmalıdır.

Yenilenebilir ve tüketilebilir hammaddeler nelerdir?

Bilim, sanayi ve çevre örgütleri arasında yenilenebilir kaynakların kullanımı konusuna büyük önem verilmektedir. Yenilenebilir bir kaynakla, tüketilen bir kaynak arasındaki fark kısaca “zaman” diye açıklanabilir. Fosil yakıtların oluşması için

milyonlarca yıl zaman gerekir ve bunlar ancak bitki örtüsünün yeniden petrole dönüşebileceği sürece yenilebilirdir. Bu pek de pratik görülmediği için, fosil yakıtlar tüketilebilir yakıtlar ve tükenen kaynaklar olarak görülür. Bildiğimiz gerçek tüketilebilir yakıtlardan biri de Güneş ve güneş enerjisidir, ama bu da yine zamana bağlıdır. Güneş milyonlarca yıl boyunca varlığını sürdürdüğü için çoğu zaman sınırsız enerji kaynağı olarak görülür, ancak fosil yakıtlardan farklı olarak kullanılıp tüketildiğinde güneş enerjisi hiçbir zaman yeniden oluşamaz.

Yenilenebilir hammaddeler çoğu zaman biyolojik ve bitki temelli başlangıç maddeleriyle özdeştir. Ancak bu kavram, aynı şekilde insan ömrü içerisinde makul bir zamanda yeniden kolayca üretilebilecek maddeler için de kullanılabilir. Karbondioksit gibi maddeler hem sentetik hem de doğal birçok kaynaktan üretilebildiği için, CO₂ yenilenebilir bir kaynak olarak görülür (Anastas ve Warner, 1998). Aynı durum, memeli hayvanlar ve bataklık bitkileri de dâhil olmak üzere çok çeşitli kaynaklardan elde edilebileceğinden metan gazı için de geçerlidir (Fornasiero ve Graziani, 2011).

- **Sürdürülebilirlik**

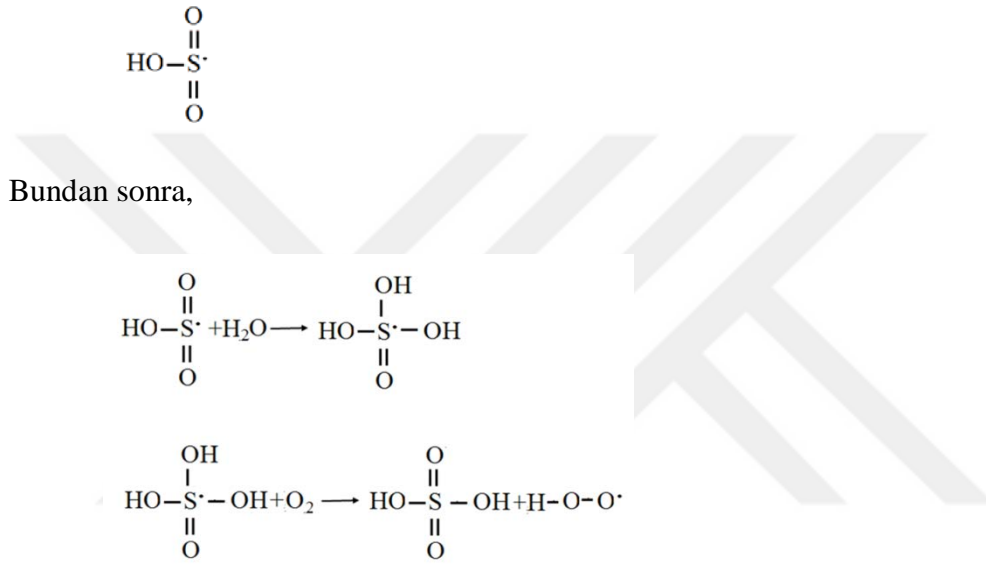
Sınırlı miktardaki ya da sürekli tüketilen kaynakların aşırı kullanımı ile ilgili en önemli kaygı, doğal olarak kolaylıkla bitip kullanılamaz olabilmeleridir. Bu kaçınılmaz durum gerek ekonomik gerekse çevresel açıdan bakıldığında hiç de sürdürülebilir görülmemektedir. Sürdürülebilirliğin bir tanımı yaşam kalitesini artırmaya devam ederken gelecek nesillerin de aynı şekilde gelişime devam edebilmelerini sağlamaktır. Eğer bizim neslimiz petrol kaynaklarını gelecek nesiller için kullanılamaz duruma gelecek kadar tüketmeye devam ederse bu durum sürdürülebilirlik hedeflerini ihlal etmek demektir (Sheldon, 2012).

- **Doğrudan çevresel etkiler**

Bir ülkede teknoloji ne kadar gelişmişse, o ülkede o kadar çok enerji kullanılır enerji de genellikle fosil yakıtlarından elde edilir. Fosil yakıtlar da en korkunç çevre kirleticileridir. Ayrıca;

- a. Kömürün bulunduğu yerden çıkarılması, taşınması, yıkanması, başka yere nakledilmesi, boşaltılması ve küllerinin taşınması,
- b. Petrolün çıkarılması, taşınması, boşaltılması, rafine edilmesi, tekrar taşınması ve yakılması

esnasında da çok büyük çevre kirlenmeleri olur (Gündüz, 2012). Fosil yakıtları havada oluşan kükürt oksitlerinin (SO_x) büyük oranda sorumlusudur. Kömürler farklı oranlarda kükürt ihtiva ederler. Şehirlerin atmosferindeki kükürt dioksit (SO₂) oranı fosil yakıtların kullanılmasına paralel olarak artmaktadır. Son yıllarda petrol kullanımının 3 milyar tona çıktığı hesaplanmıştır. Buna bir bu kadar eşdeğer kömür eklenirse, yıllık yaklaşık 6 milyar ton eder. Bunlardan da atmosfere yıllık ortalama 70 milyon ton SO₂ verilir. Kükürt dioksitin nemli ve kirli havalarda yükseltgenmesiyle önce bisülfat radikali sonra da sülfürik asit ve peroksi radikali oluşur.



oluşan bu sülfürik asit yağmurları olarak bilinir ve çevre için son derece zararlıdır. Başlıca zararları şöyledir:



Şekil 2.5. Asit yağmurlarının çevreye zararı

- a. İnsan, hayvan, ağaç ve bitkilere zehir etkisi gösterir.
- b. Göl ve yüzey sularını asitlendirir ve ekosistemi yok eder.
- c. Binalara ve özellikle de tarihi eserlere zarar verir. Bunun bir sonucu olarak son yıllarda mermer eser ve heykeller bozulmakta, parça parça dökülmektedir (Gündüz, 2012).



Şekil 2.6. Asit yağmurlarının çevreye zararı

Jet motorlarında, termik santrallerde, içten yanmalı motorlarda, kalorifer kazanlarında, orman yangınlarında oluşan azot monoksit etkin bir ozon parçalayıcısı, dolayısıyla da etkin bir ozon tabakası incelticisidir. Ozon tabakasında güneş ışınları süzülür ve kısa dalga boylu ışınlar absorplanır. Uzun dalga boylu olanlarsa yeryüzüne iner. Eğer ozon tabakasında incelmeye olursa yeryüzüne daha fazla ultraviyole (UV) ışınları iner. Bunlar yüksek enerjili oldukları için büyük ekolojik değişikliklere neden olurlar. Çünkü bu ışınlar tek hücreliler için çok toksiktir. Ayrıca insanlarda cilt kanserine neden olduğu düşünülmektedir (Gündüz, 2012).

- **Dolaylı çevresel etkiler**

Petrol 20. yüzyılın son yarısında kimya endüstrisi için önemli bir yapıtaşı olmasıyla insan sağlığı ve çevre üzerinde bir etki oluşturdu. Petrol hidrokarbonları genellikle, tamamen indirgenmiş halleriyle bulunur ve bu yüzden çok çeşitli ürünleri meydana getirmek için oksidasyon kimyasını kullanır. Oksidasyon kimyası, özellikle de oksidasyon ajanı olarak kullanılan krom gibi ağır metallerin insan sağlığı ve çevreye

karşı oluşturduğu risk bakımından en önemli kirleticilerden biri olmuştur (Seinfeld ve Pandis, 2016).

- **Sınırlı kaynakların ekonomik baskı oluşturmaları**

Yenilenebilir kaynaklar yerine tüketilebilir kaynaklar kullanılması, kaynaklar tüketildikçe arz ve talep dengesinin bir kuralı olarak bu maddelerin maliyetinin artacak olmasından dolayı endişe vericidir. Petrol kaynakları tüketildikçe ekonomi, piyasada bulunan diğer tüm petrol kaynakları için alternatifleri zorunlu hale getirecektir. Petrol fiyatları arttıkça, insanlar onları yakıt olarak kullanmak yerine çok daha büyük paralar karşılığında hammaddeleri kullanma eğiliminde olacaktır. Şu anda, biyolojik hammaddelerin yüksek değerde kimyasallar ve ara ürün olarak kullanımı araştırılmakta ve bazı durumlarda bu maddelerin çevreye karşı zararsız halleriyle ticarileştiği görülmektedir (Anastas ve Warner, 1998).

- **Biyolojik hammaddelerle ilgili kaygılar**

- Mevsimsel stok**

Biyolojik ve yenilenebilir kaynaklara yönelik hem ekonomik hem de çevresel kaygılar vardır. Ekonomik kaygı, gerektiğinde biyolojik bir hammaddeye erişebilme imkânı konusundadır. Yenilenebilir kaynakların hızlı bir şekilde üretilebiliyor olması, sürekli olarak bol miktarda hammaddeye ihtiyaç olması durumunda veya kuraklık ya da mahsul kaybı gibi nedenlerden dolayı hammadde arzının yok olması halinde çok da işe yaramayacaktır. Sanayinin çarkları böyle tahmin edilemez bir engelden dolayı işleyemez hale gelebilir.

- Toprak/ enerji kullanımı**

İkinci önemli kaygı, temelinde tarımsal ürünleri kullanarak, ürünlerinin üretimini sürdürmek için gerekli olabilecek toprak kullanım miktarıdır. Elbette, hammadde olarak klasik ürünlerin üretilmesi, toprak ve yoğun enerji üretimi gibi aslında bu ürünlerin hammadde olarak kullanılmasının çok da pratik olmamasına neden olan birçok yöntemi gerektirmekteydi. Bu nedenle yenilenebilir enerjiden faydalanabilmek için birçok geleneksel olmayan biyolojik ürünler ve işlemler geliştirilmiştir.

2.1.2.8. 8. İlke

Mümkün olduğunca, gereksiz türevleştirme (bloklama grubu, koruma/koruyucu grubun uzaklaştırılması, fiziksel/kimyasal işlemlerin geçici modifikasyonu) işlemlerinden kaçınılmalıdır.

Kimyasal sentezler, özellikle de organik sentezlerin incelendiği bilim dalı giderek daha da karmaşık olmakta ve karşılaşılan sorunlar çok daha zorlaşmaktadır. Bu zorluklarla baş etmek için mevcut yöntemleri değiştirip geliştirmek adına belirgin bir çaba harcandığı görülür. Sözü edilen zorluklar ya reaksiyonu etkileyen kararsız fonksiyonel grupların varlığında stereokontrole ulaşamama ya da belirli dönüşümlerin gerçekleşmesi için ihtiyaç duyulan maddelerin yan ürünleri (türevleri) veya moleküler modifikasyonun oluşmamasıdır.

En yaygın kullanılan tekniklerden biri de bloklama gruplarının kullanılmasıdır. Bloklama ya da koruma grupları hassas bir parçayı, korunmaması halinde işlevselliğine zarar verebilecek olan reaksiyon koşullarından koruyan gruplardır. Bu tür bir dönüşümün tipik bir örneği, benzil eter oluşumunda molekülün diğer bir tarafında oksidasyonu gerçekleştirerek alkolün korunmasıdır. Oksidasyon tamamlandıktan sonra, alkol benzil eterin parçalanmasıyla kolay bir şekilde yenilenebilir. Bu türde bir türevleştirme özellikle de iyi kimyasalların, farmasötiklerin, böcek ilaçlarının ve belirli boyaların sentezlerinde oldukça yaygındır. Elbette ki yukarıdaki örnekte (bilinen bir tehlike olan) benzil klorürün dikkatle ele alınması ve malzemenin üretimi aşamasında özenle kullanılması ve koruma amacıyla ortamdan uzaklaştırılmasının yanında atık olarak değerlendirilmesi gerekir (Ahluwalia ve Kidwali, 2012).

- **İşlemleri kolaylaştırmak için tuz oluşturma**

Bazı maddelerin makro veya performans özelliklerine etki etmek için diğer maddelerle karıştırılması ya da yeniden formüle edilmesinin gerekmesi yaygın bir durumdur. Gerekli olan çeşitli işlemler için viskozite, dağılılırılık, buhar basıncı, polarizasyon ve suda çözünürlük gibi özellikler çoğu zaman geçici olarak modifiye edilmelidir. Bu modifikasyon işlemi, tuz türevi oluşturmak gibi basit işlemler de olabilir. Yine burada da, koruma gruplarında olduğu gibi işlevsel gereklilikler tamamlandığı anda, ana bileşik kolayca yenilenebilir (Anastas ve Warner, 1998).

- **Bir bileşeni yalnızca değiştirmek için işlevsel grup katma**

Bir kimyager, sentetik bir yöntem geliştirmeye çalışırken her bir reaksiyonda yüksek seçicilik olmasını ister. Bir molekülde birçok reaktif nokta varken reaksiyonu istenilen noktaya doğru yönlendirmek çok akıllıca olacaktır. Bu işlem, reaksiyonun gerçekleşeceği noktayı reaktif türler için daha çekici hale getirecek şekilde türevleştirerek ve iyi bir ayırıcı grup sağlayarak başarılabilir. Örneğin; nükleofilik yer değiştirme reaksiyonlarını gerçekleştirmek için halojen türevlerini kullanmak yaygındır. Halojen reaksiyon noktasını daha da elektropozitif hale getirerek daha çekici olmasını sağlar ve halojenin kendisi de iyi bir ayrılan grup işlevi görür (Balcı, 2009). Reaksiyona giren maddeleri ve reaktifleri tüketen türev oluşacağını ve bu istenen reaksiyon boyunca atık halojen oluşacağını söylemeye gerek yoktur (Anastas ve Warner, 1998).

2.1.2.9. 9. İlke

Katalitik re ajanlar stokiyometrik re ajanlara göre daha üstündür.

Hiçbir reaktana ihtiyaç duymadan A ve B reaktanının tüm atomlarını içeren C ürünü oluşturmak çok az reaksiyon vardır. Bu nadir durumlarda, stokiyometrik reaksiyonlar diğer reaksiyon türlerinde olduğu gibi malzeme kullanımı kriteri açısından çevreye karşı duyarlıdır. Ancak stokiyometrik reaksiyonlarda aşağıdaki durumlar daha sık görülür:

1. Başlangıç maddelerinden birisi, A ya da B, sınırlayıcı reaktiftir ve bu yüzden reaksiyon verimi %100'lük olsa bile, reaksiyona girmemiş bir başlangıç maddesi bulunacaktır.

2. Başlangıç maddelerinden biri ya da her ikisi son ürün için yalnızca kısmen gereklidir ve böylece molekülün dengesi atığa doğru ilerleyecektir.

3. Reaksiyonu gerçekleştirmek ya da kolaylaştırmak için ilave reaktifler gereklidir ve bu reaktifler reaksiyon tamamlandığında atık oluşturacaktır.

Bu nedenlerden dolayı, katalizörler birçok durumda tipik stokiyometrik reaksiyonlara göre çok daha belirgin avantajlara sahiptir.

Katalizörlerin görevi istenilen dönüşümü reaksiyonun bir parçası olarak tüketilmeden ve son ürüne karışmadan kolaylaştırmaktır. Bu “kolaylaştırma” çeşitli şekillerde olabilir:

a. Seçiciliği geliştirme: Katalizörlerin seçiciliği üzerine son zamanlarda çok fazla araştırma yapılmaktadır. Seçici katalizörler gerçekleşen reaksiyonun derecesinin kontrolü (Tekli katımlara karşılık çoklu katımlar), reaksiyonun gerçekleştiği bölgenin kontrolü (C-metilasyonlara karşı O-Metilasyonlar) ve stereokimya kontrolünü (R'ye karşı S enantiyomer) sağlamak için işe yarar. Katalitik seçicilik alanındaki gelişmelerin yeşil kimya alanına önemli katkıları vardır. Bu durum hem başlangıç maddelerinin geliştirilmesi hem de atık üretiminin en aza indirgenmesi açısından geçerlidir.

b. Enerji ihtiyacını en aza indirme: Malzeme üretimi ve kullanımı açısından görülen faydalarına ek olarak, katalizörler enerji kullanımı alanında da önemli gelişmeler sağlamıştır. Katalitik sistemler, bir reaksiyonun aktivasyon enerjisini azaltarak, yalnızca kontrol sağlamakla kalmaz aynı zamanda bir reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli olan ısı miktarını da azaltır. Büyük ölçekli kimyasal işlemler sırasında, bu enerji dengesinin hem çevresel hem de ekonomik açıdan değerlendirilmesi önemli bir faktördür (Sheldon, Arends ve Hanefeld, 2007).

Katalitik işlemleri stokiyometrik işlemlerle karşılaştırdığımızda, stokiyometrik ajanlar kullanılan her bir mol reaktif için bir mol ürün oluştururken, katalizörler milyonlarca değilse bile binlerce dönüşüm gerçekleştirebilir (Anastas ve Warner, 1998).

2.1.2.10. 10. İlke

Kimyasal ürünler, işlevleri bittikten sonra çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrıştırma ürünlerine dönüşmelidir.

Çevredeki kimyasallar ile ilgili en önemli kaygılardan biri dirençli kimyasallar ya da dirençli biyoakümülatörlerdir. Bu maddeler atıldıktan ya da çevreye salındıktan sonra çevrede kendi yapılarını koruyarak, çeşitli bitki ya da hayvan türleri tarafından alınıp, onların sistemlerinde birikebilmektedirler. Çoğu zaman birikme bu canlı türleri için gerek doğrudan gerekse dolaylı yoldan toksik etki göstermektedir.

Kimyasal ürün tasarlanırken atık haline geldikten sonra çevre ve insan sağlığı üzerindeki muhtemel etkileri göz önüne alınmadığı için, ürünün kullanımından sonra oluşan atıklarla ilgili birçok hukuki sorun yaşanmıştır.

- **Çevrede varlığı sürdürme ısrarı**

Plastikler

Plastikler tarihsel olarak dayanıklılıkları ve uzun ömürlülükleri ile ilgili övgüler alan yaygın bir bileşen sınıfıdır. Ancak, bunun sonucu katı atık sahaları, okyanuslar ve diğer su ortamlarında plastik ürünler, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bir sonucu olarak çevresel sorunlara yol açmıştır. Sindirimi imkânsız olan plastiklerin deniz kuşları ve diğer canlılar tarafından yutulması gibi durumlar sonucunda biyodegrede plastiklerin üretilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Böcek ilaçları

Böcek ilaçlarının çoğu organohalojen yapıdadırlar. Bu kimyasallar çok etkili olmalarının yanı sıra çoğu zaman bitki ve hayvanların yağ hücreleri içerisinde biyolojik olarak birikme eğilimindedirler. Bu durum hem türün kendisine hem de insanlar tarafından tüketilmesi durumunda insanlara zarar verebilir. DDT isimli böcek ilacı, bu yolla zararlı olabileceği tespit edilen ilk böcek ilacı türlerinden biridir.



Şekil 2.7. DDT böcek ilacı

Belli bir fonksiyona göre ürünleri tasarlarken degradasyonun da göz önünde bulundurulması

Bir kimyasal ürün tasarlanırken yapılan ilk iş maddenin sahip olması gereken özelliklerin değerlendirilmesidir. Dirençli biyoakümülatörler ile ilgili sorunlara karşı yeşil kimyanın yaklaşımı; maddeyi tasarlamak ve işlevi sona erdikten sonra maddenin yapısında neler olduğuna yönelmektir. Örneğin; eğer bir plastik, çöp torbası olarak hizmet verecekse, buna uygun bazı özelliklere sahip olmalıdır ve bu özelliklere ek olarak o plastik amacını yerine getirdikten ve işe yarar ömrünü doldurduktan sonra çevrede fiziksel olarak tamamen yok olmalıdır.

Biyodegradasyona uygun tasarımlar yapma

Biyodegradasyon için bir kimyasal tasarlarken ana bileşenlerin hangi maddelere ayrılacağını değerlendirmek gerekir. Kimyasal ürünün parçalanmasını kolaylaştıracak şekilde kimyasalın moleküler yapısına çeşitli özellikler ve fonksiyonel gruplar eklemek mümkündür. Hidroliz, fotoliz veya diğer ayrılmalara karşı duyarlı olacak şekilde fonksiyonelleştirilen ürünler, başarılı bir şekilde biyodegrade olacaktır.

Ancak degradasyon ürünlerinin toksik ya da diğer zararlı etkilerinin de bilinmesi önemlidir. İnsan sağlığı ve çevreye karşı daha tehlikeli bir maddeye dönüşecek şekilde bir ürün tasarlamak yeşil kimya ilke ve hedeflerine uygun değildir. Diğer herhangi bir yeşil kimya ürünü ya da işlemi gibi biyodegradasyon işlemleri de insan sağlığı, ekosistemler, vahşi yaşam ve genel kirlilik yüküne olumlu etkilerde bulunmalıdır (Lancaster, 2016).

2.1.2.11. 11. İlke

İşlem sırasında gerçek zamanlı izleme ve tehlikeli maddelerin oluşumundan önce kontrolü gibi işlemler için de analitik yöntemler geliştirilmelidir.

Analitik kimya çevre hareketinin başlangıcından beri çevre sorunlarını ortaya çıkarmıştır. Şimdilerde analitik kimya alanındaki çalışmaların odak noktası, kimyasal işlemler sırasında tehlikeli maddelerin oluşumunun önlenmesi ve en aza indirgenmesini sağlayacak yöntem ve teknolojilerin geliştirilmesidir.

Yeşil kimya için analitik kimya proseslerinin geliştirilmesi “Ölçemeyeceğiniz bir şeyi kontrol altına alamazsınız” sözünü temel alır. İşlem sırasında meydana gelen değişikliklere etki edebilmek ve var olan tehlikeleri değerlendirebilmek için tam ve güvenilir sensörlere, monitörlere ve analitik tekniklere ihtiyacınız vardır.

Yeşil kimyanın ilkelerini gerçekleştirmek için, hem işlem sırasında hem de gerçek zamanda kullanılacak analitik teknikler geliştirilmektedir. Bu özellikleri kullanarak kimyasal bir işlem, tehlikeli yan ürünlerin ve ikincil reaksiyonların oluşumu açısından izlenebilir. Bu toksik maddeler en düşük düzeyde gözlemlenmiş olsa bile, işlem parametreleri ayarlanarak bu maddelerin oluşumunu azaltmak ya da ortadan kaldırmak mümkün olabilir. Eğer sensörler işlem kontrolleriyle uyumlu olursa, tehlikenin otomatik olarak azaltılması başarılı bir şekilde sağlanabilir.

Analitik kimya proseslerinin bir diğer örneği, reaksiyonların tamamlanmasını belirlemek için, reaksiyonun ilerleyişini ve basamaklarını izlemektir. Birçok durumda, kimyasal işlemler tamamlanana kadar sürekli reaktifler eklenir. İşlem sırasında bir reaksiyonun tamamlanmasını değerlendirecek görüntüleme söz konusuysa aşırı reaktif katılmasına gerek kalmaz ve muhtemel tehlikeli maddeler de kullanılmamış olur. Böylece fazla atık oluşumu engellenmiş olur (Anastas ve Warner, 1998).

2.1.2.12. 12. İlke

Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir

Kimya ve kimya sanayisinde kaza önlemenin önemi tartışılmaz. Halkı, kimyasalların kullanımının kontrol edilmesi gerektiğini düşünmeye sevk eden birçok önemli kimyasal kaza gerçekleşmiştir. Hindistan, Bhopal; İtalya, Seveso ve diğer yerlerde gerçekleşen kazalar yüzlerce insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Kimyasal ürün ve işlemleri planlarken toksisite, patlayıcılık ve yanıcılık gibi tehlikeler göz önünde bulundurulmalıdır. Yeşil kimya sadece basit kirlilik veya ekotoksisiteye odaklanmak yerine tehlikeleri geniş çerçevede ele almalıdır.

Kirliliği önleme aşamasında, atık üretimini en aza indirgerken istemeden de olsa kaza ihtimalini artırmak mümkündür. Bazen bir işlemde kullanılan bir çözücü geri dönüşüm, kirliliği önleme ve çevreye salınım açısından bazı avantajlara sahip olsa da

yangın çıkarma ya da başka bir kazaya yol açma ihtimalini artırıyor olabilir. Bu nedenle bir kimyasal işlemde kirliliği önleme isteği kazayı önleme isteği ile dengeli olmalıdır (Hendershot, 2006).

Doğal olarak güvenli kimyasalların tasarlanması yaklaşımı, kimyasal kazaların çoğuna neden olan gazlar ya da uçucu sıvıların yerine katıların ya da düşük buhar basınçlı maddelerin kullanımını içerir. Diğer yaklaşımlar arasında halojen içeren reaktiflerin yerine daha az zararlı maddeler kullanarak, fazla miktarda moleküler halojen kullanımından sakınmayı içerir (De Simone, 2002).

2.1.3. Yeşil Kimyanın Uygulama Alanları

Son yıllarda kimya bilimi, çevre kirliliğinin merkezi haline gelmiştir. Sürdürülebilir bir gelişme için acil bir şekilde yeşil kimyaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuya artan ilginin nedeni hem ekonomik hem de çevresel amaçlardır. Çevreye dost reaksiyonların, ürünlerin ve süreçlerin geliştirilmesi, kimya endüstrisinde rekabeti artıracaktır. Ekonomik düşünceler ve çevresel değerlendirmeler kimya endüstrisinin yeni çevreye dost teknolojiler geliştirerek pazarda hayatta kalma çabasına itmiştir (Tundo, 2001). Bu amaçla yeşil kimya aktivitelerinin dünya genelindeki gelişimi ile ilgili olarak şu örnekler verilebilir (Erökten, 2006).

- Amerika'da 1990 yılında EPA'da araştırma, sempozyum ve eğitim ile ilgili çalışmalar başlamıştır. 1995 yılında Amerika'da yeşil kimya ödülleri; şirketleri ve akademik araştırma yapan kişileri çalışmaya yönlendirmek için kurulmuştur.
- İtalya'da 1993 yılında Üniversitelerarası Çevre için Kimya Konsorsiyumu (Conorzio Interuniversitario Nazionale "La Chimica per l'Ambiente") kurulmuştur. Bu konsorsiyumun kuruluş amacı; çevre, fizikokimya, organik kimya, anorganik kimya, analitik, endüstriyel ve biyokimya gibi farklı alanlarda çalışan kimyacıları bir araya getirmek, daha temiz reaksiyonlar ve kirlilikten korunma araştırmalarını desteklemektir.
- Ağustos 1996'da Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (International Union for Pure and Applied Chemistry - IUPAC), 3. Komisyonunda yeşil kimya çalışma partisi kurulmuştur. İlk uluslararası yeşil

kimya konferansı 1997’de yapılmıştır. Aynı zamanda Yeşil Kimya Enstitüsü (GCI) kurulmuştur.

- Avrupa Birliği 4. 5. ve 6. yapılandırma programında yeşil kimyayı araştırma alanlarından biri olarak belirlemiştir.
- IUPAC, 2001 yılında yeşil kimya alt komitesini kurmuştur.
- Yeşil kimya ile ilgili olarak ulusal/uluslararası organizasyonlar ve ülkeleri aşağıdaki gibidir (Tundo, 2002)
- Avusturalya: Avustralya Araştırma Konseyi (Australian Research Council-ARC)
- Çekya: Çekya Kimya Cemiyeti (The Czech Chemical Society - CCS)
- Almanya: Alman Kimya Cemiyeti (Gesellschaft Deutsche Chemiker- GDCh)
- İtalya: Üniversitelerarası Çevre için Kimya Konsorsiyumu (Consortio Interuniversitario Nazionale “La Chimica per l’Ambiente” - INCA)
- Japonya: Yeşil ve Sürdürülebilir Kimya Ağı (Green & Sustainable Chemistry Network - GSCN)
- Rusya: D. Mendeleev Kimya Teknolojileri Üniversitesi (D. Mendeleev University of Chemical Technology)
- İngiltere: Yeşil Kimya Ağı (Green Chemistry Network - GCN)
- Amerika: Yeşil Kimya Enstitüsü (Green Chemistry Institute - GCI)
- Amerika: Çevre Koruma Teşkilatı (Environmental Protection Agency -EPA)
- Avrupa: Avrupa Kimya Bilimleri ve Teknolojileri Birliği (Alliance for Chemical Sciences and Technologies in Europe - AllChemE)
- Avrupa: Avrupa Kimya Endüstrisi Konseyi (European Chemical Industry Council - CEFIC)
- Avrupa: Avrupa Kimya Tematik Ağı (European Chemistry Thematic Network - ECTN)

2.1.3.1.Kimya Endüstrisinde Yapılan Çalışmalar

Hızla gelişen teknoloji, ozon tabakasının incilmesi, küresel ısınma, evler, işyerleri ve araçlarda kullanılan yakıtların çevreye etkileri, insan sağlığını tehdit eden kanserojenler, eko-toksisite, fosil yakıtların tükenmesi, aşırı toprak ve su kullanımı gibi bazı sorunları da beraberinde getirmiştir (Bare, 2002). İnsanlığın karşı karşıya kaldığı enerji, ulaşım, ısınma, teknoloji, aydınlanma gibi pek çok problemin kaynağı kimya

olmakla beraber, çözüm yolları da kimya biliminde saklıdır. Fakat enerji, zaman ve emek açısından ele alındığında, sorunu oluşturan etmenleri ortadan kaldırmak, sorunu çözmekten çok daha etkili bir yöntemdir. Geleneksel kimya yöntemleri ile meydana gelen olumsuzlukların kaynağında yok edilmesi için kullanılacak yöntem yeşil kimyadır.

Yeşil kimya alanında sürdürülen çalışmaların büyük bir bölümü çözücülerle ilgilidir. Birçok organik çözücü toksik, yanıcı ya da uçucudur. Ayrıca organik çözücülerin geri dönüşümünü sağlamak oldukça zordur. Bu çözücüler yerine yeşil kimya ilkelerine uygun olarak geliştirilen süperkritik çözücü kullanılır.

Yeşil kimyanın uygulama alanlarından biri de ilaç endüstrisidir. Bu alandaki uygulamalarda alternatif kimyasal yöntemler göze çarpmaktadır. Kanserle karşı kullanılan paclitaxel denen doğal bir maddeden yapılan Taxol, porsuk ağacının (*Taxus baccata*) kabuğundan elde edilirken bu işlemler sırasında ağaç zarar görmekte idi. 1995 yılında Avrupa’da porsuk ağacının yapraklarından paclitaxelden daha karmaşık yapıda bir bileşik elde edildi. Bu işlem ağaca zarar vermemekteydi ancak zararlı çözücü ve diğer zararlı organik kimyasalları içeren çok sayıda kimyasal işlem basamağı bulduran bir yöntem kullanıldığı için yeşil kimya açısından çok da mantıklı değildi (Erökten, 2006). Alternatif bir kimyasal yöntemle hücre kültürleri elde edilerek, fermante edip sırasıyla kromatografi ve kristallendirme işlemleri uygulanarak paclitaxel maddesine ulaşılmıştır. Bu işlemler, kimyasal dönüşüm gerektirmemektedir. Ayrıca bu yolla kullanılan organik çözücüler, işlem basamakları ve enerji gereksinimi azaldığı için yeşil kimya ilkeleriyle uyumludur (Can, 2005).

Yeşil kimya kâğıt ve türevlerinin geri dönüşüm yollarıyla tekrar kazanımı sırasında da uygulanabilir. Kâğıdın geri kazanılması sanıldığından çok daha zordur. Kâğıdın üzerindeki yapışkanlar, plastikler, mürekkeple yapılan işlemler, geri dönüşüm donanımlarına yapışmaktadır. Bu durumda makinelerin düzenli olarak durdurularak organik çözücülerle temizlenmesi gerekmektedir. Uluslararası bir laboratuvar, atık kâğıtlar üzerindeki polivinilasetat vb. polimerleri temizlemek için bir enzim geliştirmiştir. Bu enzimle polimerleri kolayca suda çözünen vinil alkol ve asetik aside çevirmek kolaydır. Bu işlem, yeşil kimyaya iyi bir örnektir (Can, 2005).

Bir diğer önemli çalışma alanı da yeşil plastiklerdir. Biyokimya mühendisleri son zamanlarda çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle petrol türevi olan plastikler

yerine çok daha sürdürülebilir bir malzeme olarak bitkilerden plastik üretme üzerine çalışmalar yürütmektedirler. Bitkisel bazlı plastikler, yenilenebilir ve doğada daha kısa sürede çözünebilir özelliğine sahip oldukları için yeşil plastik olarak adlandırılırlar (Erökten, 2006; Clark, Deswarte ve Farmer, 2009).

2.1.3.2. Eğitim Alanında Yapılan Çalışmalar

Eğitim alanında yapılan ilk çalışmalar yeşil kimya kavramından çok çevre bilincini akademik ortamda oluşturmak ve bunu eğitim kurumlarında da kullanabilmek amacıyla yapılan çalışmalar olmuştur. Bunlara verilebilecek ilk örneklerden biri Perina (1982) tarafından Yugoslavya'daki ilkököl eğitimi için "pedagojik" uygulama olarak, öğrencilerin çevre kirlenmesi ve kirli çevredeki tehlikeler konusundaki bilinçlerini artırmayı amaçlayan çalışmadır.

Sonraki yıllarda eğitimciler çevreyi korumaya yönelik prensipleri lisans ve lisansüstü müfredatlara entegre etme stratejilerini düşünmüşlerdir. Öncelikle yeşil kimya alanının eğitimde temsil edilmesi "Yeşil Kimyaya Giriş" dersi ile Carnegie Mellon Üniversitesi'nde olmuştur ve bu ders Journal of Chemical Education (JCE) ile bilim dünyasına da duyurulmuştur (Collins, 1995). Bu, aynı zamanda JCE'de yeşil kimya kavramına yönelik ilk pedagojik referansı temsil ediyordu (Andraos ve Dicks, 2012).

Yeşil kimya kavramıyla doğrudan ilişkili çalışmalara verilebilecek ilk örneklerden bir diğeri olan Michael Cann tarafından yapılan çalışmada ise; Scranton Üniversitesi'nde güz döneminde Çevre Kimyası dersi verilerek çağdaş, uygulamalı, yeşil sanayi kimyasını sınıflara taşımak amaçlanmıştır. Bu dersin kapsamında yeşil kimya için alternatif sentetik yöntemlerin kullanılması, biyokütle gibi yenilenebilir alternatifler, reaksiyon sırasında kullanılacak kimyasallarla ilgili seçiciliğin artması, çevreye daha az zarar veren ve kaza olasılığı daha düşük materyallerin kullanılması gibi kavramlar vurgulanmıştır (Cann, 1999).

Günümüzde endüstri temsilcileri ve akademik araştırmacılar, çevresel açıdan çok önemli katkılarının olduğu bilinen yeşil kimya yaklaşımının bilimsel ve ekonomik avantajlarının farkına daha çok varmaktadır. Bu nedenle bu alanda yapılan çalışmaları eğitim ortamına da taşıyıp özellikle laboratuvar eğitimlerinde genç nesilleri bilinçlendirmenin önemi daha çok vurgulanmaktadır. Laboratuvar uygulamalarını temel

alan eğitim ortamlarında yeşil kimya ilkelerine uygun deneylerin yapılması, özellikle laboratuvar güvenliğini artırması açısından da büyük önem taşır. Son yıllarda kimya dersinde çevresel konulara yer verilmesine karşın pek az derste çevre konuları, laboratuvar çalışmalarına uyarlanabilmektedir. Bunun nedenlerinden biri, bu alanda basılı materyal sayısının fazla olmamasıdır. Deneylerin olmaması yeşil bir organik laboratuvar programı sunulmasını da büyük oranda engellemektedir. Bu tür bir programın önemli kazanımlarının olabileceği öngörüsüyle Reed ve arkadaşı Oregon Üniversitesi'nde organik kimya laboratuvar dersinde kullanılmak üzere bazı deneyler geliştirmiştir. Bu çalışmada öğrencilere çevreye karşı daha duyarlı koşullar altında siklohekzenin oksidasyonu ile adipik asit sentezlenmesi konusunda bilgi vermek amaçlanmıştır. Bu uygulama, yeşil laboratuvar tekniklerini teorik olarak veren ve yeşil kimya ilkelerini deney ortamına taşıyan başlıca örneklerdendir (Reed, 2000).

Leung ve Angel yaptıkları çalışmalarla yeşil kimya ilkelerine uygun deneyler geliştiren araştırmacılar arasındadır. Bu araştırmacıların yaptıkları deneylerin birçoğu, organik çözücülerde gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında oluşan atık maddelerin büyük kısmını bu çözücüler oluşturmaktadır. Bu nedenle çevre dostu çözücülerin veya çözücüsüz reaksiyonların geliştirilmesinin, çevre koruma bilinci ve sürdürülebilir çevre koruma uygulamaları açısından büyük önem taşıdığı vurgulanmıştır. Elde ettikleri bulgulara dayanarak, üniversite düzeyinde yürütülen deneylere alternatif olarak çözücü kullanılmayan bir "Wittig reaksiyonu" deneyi geliştirmişlerdir (Leung ve Angel, 2004). Bu deney aynı zamanda bir kimya öğretimi laboratuvarında gerçekleştirilen çözücülü genel reaksiyonlara bir çeşitlilik katmıştır.

Yeşil kimya uygulamalarını laboratuvar ortamına taşımayı hedefleyen bir başka çalışmada ABD'de Hendrix Koleji'nde gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuvar uygulamalarında yürütülen çalışmalarda etanol gibi tehlikesi az olan çözücülerin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Kimyasal atık miktarını azaltmak için, deneylerde kullanılan kimyasal maddelerin miktarları da azaltılmıştır. Tüm yeşil deneyler, çözücü kullanılmadan ya da en azından çözücü olarak su kullanılarak yürütülmüştür. Uygulamanın başlangıcında, halojenlenmiş ve aromatik çözücülerin kullanılmasından kaçınılmış; mümkün oldukça, asetik asit, aseton, dietil eter, etanol, etil asetat, petrol eteri, 2-propanol ya da su kullanılmasına dikkat edilmiştir. Kimyasal maddelerin az miktarlarda kullanılması, oda sıcaklığında tepkimeye girmesi, diğer tepkimelere göre daha az zararlı atıkların oluşması, daha çok bilinen ve güvenilir çözücülerin

kullanılması bu deneylerin yeşil kimyaya uygun olduğunu göstermektedir (Goodwin, 2004).

McCarthy ve Gordon-Wylie (2005); kolligatif maddelerin ölçümünde daha çevreci bir laboratuvar çalışması sunmuşlardır. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde aromatik çözücüler yerine yağ asitleri kullanılmıştır. Bu durum, fiziksel koşullar ve düşük maliyetleri nedeniyle daha uygundur ve böylelikle iki temel çevreci amaca ulaşılabilmektedir. Birincisi atıkların çevre için bir tehdit oluşturmaması ve ayrıca başka maddelerin yapımında hammadde olarak kullanılmasıdır. Bunlara ek olarak bu atıkları atmak yerine değerlendirerek eğitici laboratuvar hedeflerine de ulaşılmıştır. İkinci olarak, yağ asitlerinin endüstriyel sentezinin palmye yağı, pamuk yağı gibi tarımsal hammaddelerle hidrojenlenme yoluyla sağlanmasıdır. Petrol kaynaklı maddelere kıyasla yağ asitlerinin kullanımı yenilenebilir kaynaklar tanımına daha uygundur. Bu “yeşil laboratuvar” yaklaşımı bir dönemde 250 öğrenci tarafından başarıyla uygulanmıştır.

McKenzie ve arkadaşları ise (2005); iki farklı reaksiyon üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Birinde pridinium tribromür, diğerinde hidrojenperoksit-hidrojenbromür kullanılarak geleneksel stilbenin bromlanma süreciyle kıyaslanmıştır. Bir üniversite laboratuvarında yapılan deneyin verimliliği kadar güvenlik ve çevresel kontroller de büyük önem taşımaktadır. Geleneksel kimya kavramları ve laboratuvar uygulamalarına farklı bir yaklaşımla yeni bir uygulama türü ve yeni bir kavramsal yaklaşım geliştirmek hedeflenmiştir. Alkenlerin bromlanması sürecinde öğrencilere daha güvenli, verimli ve modern bir uygulama sunulabileceği öngörülmüştür. Bu laboratuvar işlemi sırasında, bromlama deneyi daha çevreci bir şekilde yürütülmüştür. Çevreyi daha etkin bir biçimde korumaya yönelik geliştirilen ilkeler ve kimyasal kavramları daha verimli bir şekilde öğretmek adına elde edilen sonuçlar, kullanılan yönetimin başarısını da ortaya koymuştur.

Üniversitelerin lisans düzeyi eğitim fakülteleri laboratuvarlarında yürütülen deneyleri yeşil kimya ilkelerine daha uygun hale getirme ve böylece daha az tehlikeli bir eğitim ortamı oluşturma amacıyla Andrew Dicks organik kimya reaksiyonlarında kullanılan çözücüler yerine suyun çözücü olarak kullanılabileceği bir dizi deneysel çalışma yayınlamıştır. Yürütülen bu çalışmalarla, öncesinde daha uzun zaman alan ve ciddi oranda kimyasala maruz kalma riskleri taşıyan deneyler çok daha kısa sürede,

daha az zahmetle ve daha güvenli koşullarda lisans düzeyinin her aşamasında uygulanabilir hale gelmiştir (Dicks, 2009).

Lisans düzeyinde yapılan yeşil kimya çalışmalarına bir başka örnek olarak kimyasal seçici olarak sitral reaksiyonları gösterilebilir. Sitral, sitronella yağı, geraniyol ve nerol güzel koku veren doğal maddelerdir ve melisa, gül ve sardunya gibi çiçeklerin özlerinde bulunurlar. Bu maddelerin güzel kokusu, laboratuvar deneylerinde kullandıkları maddelerin çoğunun kötü kokusundan rahatsız olan öğrenciler için oldukça cezbedicidir. Bu maddelerin kokularının yanında eğitim açısından çok daha önemli bir başka özelliği de bu maddelerin reaksiyona girerken göstermiş oldukları kimyasal seçicilik özellikleridir. Yapılan çalışmada bu maddeler organik kimya dersi laboratuvarında yapılan deneylerde kullanılarak öğrencilere hem biyoseçicilik kavramı uygulamalarla gösterilmiş hem de yeşil kimyanın birçok ilkesi deneylerle uygulamaya dönüşmüştür. Çalışmada verilen her bir reaksiyon pahalı olmayan basit katalizörlerle hidrojen gazı ya da yüksek sıcaklık gibi tehlikelerden uzak olarak çok daha güvenli laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir (Cunningham, Ham ve Vosburg, 2010).

Yeşil kimya ilke ve yöntemlerini eğitime uyarlamaya yönelik bir diğer örnek çalışma da çözücüsüz bir yöntemle bakır fitalosiyenin sentezi deneyidir. Mikrodalga yardımıyla yapılan organik sentez deneyleri son yıllarda oldukça yaygın bir yöntem olsa da lisans düzeyinde eğitim veren inorganik sentez laboratuvarlarında mikrodalga ısıtıcılı sentez deneylerinin örneklerine pek rastlanmamıştır. Mikrodalga destekli reaksiyonların avantajı sadece hızlı olması değil aynı zamanda çevreyi daha az kirletmesi ve standart reaksiyonlara göre daha ekonomik olmasıdır. Yapılan bu çalışmada mikrodalga destekli reaksiyonlar çözücü kullanılmadan gerçekleştirilmiş böylece kimya öğretimi ve uygulamasında daha fazla çevre dostu ve yeşil kimya ilkelerine uygun bir yöntem geliştirilmek hedeflenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkış noktası, Hindistan Milli Eğitim Bakanlığı tarafından oluşturulan Yeşil Kimya Çalışma Grubu'nun bir grup akademisyenden lisans ve lisansüstü öğrencileri için yeşil kimya deney rehberi hazırlamalarını istemesiydi. Yeşil kimyayı mevcut müfredata uyarlama amacıyla bakır fitalosiyenin sentezi, daha tehlikeli bir çözücü olan piridin yerine çevreye daha az zararlı bir çözücü olan N-metil 2- prolidinon ve geleneksel ısıtıcı yöntemler yerine de mikrodalga kullanarak yeşil kimya ilkelerine uygun hale getirilmiştir (R.Sharma, C.Sharma ve Sidwani, 2010).

Yeşil kimya ilkelerine uygun eğitici deney çalışmalarından bir diğer örnek de Naylon 6.6'nın sikloheksanol ile sentezidir. Yeşil kimya ilkelerinin birçoğunu aynı anda karşılayan bu sentez lisans düzeyi organik kimya laboratuvar dersleri için geliştirilen bir projedir. Çoklu reaksiyonlar bulunan bu projede öğrenciler yeşil kimya ilkelerine uygun çeşitli işlemler sonucunda sikloheksanolu naylona dönüştürürler. Projede gerçekleştirilen her bir reaksiyon çevreye karşı duyarlı metodolojilere sahiptir, üretilen atığın miktarı geleneksel yöntemlere göre daha azdır ve bir reaksiyondan elde edilen ürün bir sonraki reaksiyon için başlangıç maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu yönüyle de bu deneysel proje yeşil kimya ilkelerinin laboratuvar ortamına uyarlanması için önemli bir örnek oluşturmaktadır (Dintzner, Kinzie, Pulkrabek ve Arena, 2011).

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının giderek azalması ve dolayısıyla fazlasıyla tartışılması gündemdeyken kimya eğitimcileri de bu konuya kayıtsız kalmamış ve kimya eğitimini sürdürülebilir temellere oturtmaya yönelik çalışmalar da yapmışlardır. Yeşil kimya ilkelerinin de doğrudan referans olarak alındığı böyle bir çalışmada J. Silverman, organik kimya deneylerinin yürütüldüğü lisans düzeyi laboratuvar çalışmalarında petrol kaynaklı ürünler yerine çok daha sürdürülebilir ve yeşil kimya ilkelerine uygun bir kaynak olarak biyobazlı ürünlerle yürütülen deneysel çalışmalar yayınlamıştır. Böylelikle bir taraftan lisans eğitimi düzeyinde büyük önem taşıyan organik kimya deneyleri yürütürken öğrencilere daha yeşil ve sürdürülebilir bir uygulama alanı sunmakla birlikte diğer yandan yeni nesli yenilenebilir enerji kullanımı konusunda tarihsel sorumluluklarını da hatırlatmış ve yaşatmış olmaktadır (Silverman, 2016).

Yeşil kimya ilkelerine uygun olarak üniversite öğrencileri için gerçekleştirilen, ilgi çekici bir başka çalışma da Meksika'daki Nuevo Leon Üniversitesi'nde kimya bölümü eğitimcileri ve öğrencilerinin iş birliğiyle gerçekleştirilen tehlikeli atık yönetimi konulu çalışmadır. Söz konusu çalışmada üniversite laboratuvarında gerçekleştirilen deneyler sırasında açığa çıkan atıklar öncelikle biriktirilip zarar derecesine göre sınıflandırılmış daha sonra da çeşitli işlemler ile zararları ortadan kaldırılabilen kimyasallar zararsız hale getirilmiş ve diğer kimyasallar da ilgili çevre koruma prensiplerine uygun olarak imha edilmiştir. Lisans düzeyinde gerçekleştirilen böyle bir çalışmayla öğrencilerin de gönüllü işbirliği neticesinde çevre bilinci ve daha zararsız laboratuvar ortamı oluşturma çabaları laboratuvar güvenliği, kimyasalların sınıflandırılması ve arındırılması gibi teorik bilgilerle bir araya getirilmiş, atık yönetimi

ve daha yeşil bir kimya eğitimi için önemli bir örnek oluşturmuştur (Lara ve diğerleri, 2017).

Yeşil kimyanın eğitime entegrasyonu ile ilgili çeşitli yanılsamalar ve eksiklikler ve bunlara getirilen çözümlerle ilgili de çalışmalar mevcuttur. Öncelikle dikkat çeken konu ders materyallerinde yeşil kimya kavramının bulunmasıdır. Yeşil kimyaya yönelik fikirler ve örnek çalışmalar lisans düzeyi ders kitaplarında genellikle “isteğe bağlı” materyal gibi kullanılmaktadır. Kitaplarda geçen kavramlar genellikle öğrencilerin zorunlu olarak bilmesi gereken ve sınava tabi tutulacakları bir konu olarak değil de sadece yüzeysel verilen konular olarak görülmektedir (Andraos ve Dicks, 2012).

Yukarıda bahsedilen tüm bu çalışmalara rağmen halen üniversite düzeyinde yeşil kimya alanına yönelik derslerin yeterli olmadığı görülmektedir. Verilen dersler genellikle seçmeli olarak verilmekte ve lisans mezuniyet için koşul olarak görülmemektedir. Akademik camiada yeşil kimya ile ilgili en önemli yanılgılardan biri, yeşil kimyanın basit içerikli, sadece sınırlı oranda sayısal analiz gerektiren sözel bir içeriğe sahip olduğunun düşünülmesidir. Toksikoloji, tehlike analizi, güvenlik ve atık azaltma stratejileri gibi kavramlara ek olarak reaksiyonlar için yeşil kimyaya uygun eşitliklerin oranını hesaplamak lisans öğrencileri için şüphesiz önemli bir kazanım olacaktır.

Yeşil kimyanın mevcut akademik derslere entegrasyonu kimya endüstrisi ile doğrudan bağlantılı olan işletme, hukuk gibi kimya biliminin dışında yer alan akademik branşlar açısından da avantajlı olacaktır. Yeşil kimya ilkelerine odaklanan bir içerikle öğrenciler de ders verenler de mevcut yasal düzenlemeler ve ekonomik perspektife geleneksel yaklaşımın dışında yenilikçi ve çevre dostu bir bakış açısıyla yaklaşma fırsatı bulmuş olacaktır (Andraos ve Dicks, 2012).

Bu çalışmalara ek olarak yeşil kimya eğitimi ile ilgili önemli bir olgu da örnek vaka incelemeleridir. En yeni ve en güncel vaka incelemeleri etkili yeşil kimya öğretiminin önemli bir parçasıdır. Bu çalışmalar derslerin teorik ya da pratik uygulamalarına kolayca dâhil edilebilir. Araştırmaların bu yönü Amerika Birleşik Devletleri Yeşil Kimya Ödülleri ile de sıkça vurgulanmaktadır (Marteel-Parrish, 2007). Her yıl verilen bu ödüller Daha Yeşil Sentetik Yöntemler Ödülü, Yeşil Reaksiyon Koşulları Ödülü, Yeşil Kimyasallar Tasarlama Ödülü, Küçük Sanayii İşletmeleri ve

Akademik Ödüller olmak üzere 5 farklı dalda verilmektedir. Ödül alan çalışmaların birçoğu lisans düzeyinde kimya müfredatına dâhil edilebilir içeriktedir.

Genel olarak ülkemizde yeşil kimya konusuna yeterince önem verilmemiş olsa da son yıllarda bir takım akademik çalışmaların yapıldığı da gözlemlenmiştir. Bu alanda yapılan ilk akademik çalışmalardan biri olan Erökten'in çalışmasında, çeşitli öğretim yöntemleri kullanılarak öğrencilere "Yeşil Kimya" konusunun anlatılması ve uygulamalar sonucunda öğrenci performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışma ile ilgili 7 hipotez kurulmuştur. Bu hipotezlerde yeşil kimya konusunun öğrencilere bilgisayar destekli öğretim ve beyin fırtınası tekniği ile verilmesi hedeflenmiş, ayrıca uygulanan yöntemlerin öğrencilerin çevre bilgileri, bilimsel işlem becerileri, çevre bilinçleri ve çevreye yönelik davranışları üzerine etkileri araştırılmıştır (Erökten, 2006).

Yapılan bir diğer çalışma da 2008 yılında S. Yücel tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmada, yeşil kimya sloganı içinde yer alan kavramsal süreçlerin, bireylerde davranış olarak gelişmesini sağlayıcı ve interdisipliner tüm alanlardaki bireylerin yeşil kimyaya yönelik tutumlarını belirlemek için uygun olabilecek bir tutum ölçeğinin oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmanın evrenini, 196 üniversite öğrencisi oluşturmuştur. Bu öğrencilerin bir kısmı fen bölümlerinde okurken, diğer bir kısmı da sosyal bölümlerde okumakta olan öğrencilerdir. Yeşil kimya bilinciyle ilgili olarak, üniversitelerin fen ve sosyal bölümlerinde okuyan öğrencilerin, yeşil kimya ile ilgili tutumlarını belirlemek amacıyla uygulanan ölçeğin sonuçları; yeşil kimya kavramı ile birçok çevresel, bilimsel ve eğitimsel süreçlerin ilişkilendirilebileceğini ve daha ileri boyutta da ilişkilendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, yeşil kimyanın slogan olabilmesi için, uygulanan ölçek sonuçlarından yola çıkılarak bir yeşil kimya piramidi oluşturulmuştur. Araştırmacı sonuç olarak, yeşil kimya bilinç ölçeğinden çıkan sonuçların, gelecek nesillere çevre koruma konusunda daha detaylı bir bakış açısı kazandıracağını, yeşil çevre oluşumuna büyük katkı sağlanacağını ve yeşil kimya bilincinin, global bir parola haline geleceğini düşünmektedir (Yücel, 2008).

2012 yılında yapılan bir başka çalışma da R. Çakmak, M. Çakmak ve G. Topal tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, kimya öğretmen adaylarının yeşil kimya hakkındaki bilinç ve davranışlarını incelemektir. Çalışma, 2012 yılında Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi 4. ve 5. sınıf kimya öğretmen adayları ile

yapılmıştır. Çalışmanın verileri “yeşil kimya bilinç” ve “yeşil kimya davranış” ölçekleri ile toplanmıştır. Araştırma sonucuna göre öğretmen adayları yeşil kimya bilinç ölçeğinden “tamamen katılıyorum”, yeşil kimya davranış ölçeğinden de “çoğu zaman” düzeyinde görüşe sahip oldukları görülmüştür. Cinsiyetlerine göre yapılan karşılaştırmada yeşil kimya düşünce ölçeği puan ortalamasının kız öğretmen adayları lehinde anlamlı olarak farklılaştığı bulunmuştur. Sınıflar düzeyinde yapılan karşılaştırılmada da her iki ölçekten de alınan puan ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Araştırmada bütün değişkenlere ait sonuçlar incelendiğinde öğrencilerin yeşil kimya bilinç ölçeği aritmetik puan ortalamalarının daha fazla olduğu görülmüştür. Verilerden hareketle öğrencilerin düşüncelerini davranışlara dönüştürmede sıkıntı yaşadıkları fark edilmiştir. Bu nedenle yeşil kimya konusunun farklı öğretim kademelerinde programlara dâhil edilmesi önerisinde bulunulmuştur (R. Çakmak, M. Çakmak ve G. Topal, 2012).

2.1.4. Kimya Eğitiminde Deney ve Deneyin Önemi

Deney yoluyla öğretim de denen laboratuvarlı öğretimin temel felsefesi olayların ve olguların deney ortamında gözlenerek sonuçların çıkarılması ve genellemelerle bilginin üretilmesidir. Laboratuvar kullanımının amaçları eğitimin üç temel bileşeni olan duyuşsal, bilişsel ve devinişsel (psiko-motor) becerileri kapsamaktadır (DeKorver ve Towns, 2015).

19. yüzyılın ortalarından itibaren laboratuvar metodu fen bilimleri öğretiminin temel öğelerinden biri olarak kabul edilmiş olup öneminin gittikçe arttığı görülmektedir (Shakh ve Reid, 2007). Bu alandaki gelişmeler çoğunlukla çevre ve laboratuvar araştırmalarında daha da öne çıkmaktadır. Bundan dolayıdır ki ülkeler, Fen Bilimleri müfredatlarında laboratuvar çalışmalarına önem vermektedirler. Laboratuvar çalışması; sorgulama yeteneğini, eleştirel düşünmeyi, bilimi anlamayı etkilemekte ve öğrencilere bilgi üretme yollarını öğretmektedir (Hofstein ve Lunetta, 2004).

Fen bilimleri konuları çoğunlukla soyut ve karmaşık olduğundan öğrencilere kavratılabilmesi için laboratuvarlarda somut deneyimler sağlanması, fen öğretiminde laboratuvar kullanımının temel amaçlarından birisidir (Morgil, Güngör Seyhan ve Seçken, 2009). Fen laboratuvarı öğrencilerin bilimsel kavramları ve bilimsel süreç becerilerini anlamaları için oluşturulan bir çeşit girişim merkezidir (Hofstein, Nahum ve

Shore, 2001). Bu açıdan bakıldığında bu laboratuvarlarda geleceğin bilim insanları yetiştirilmektedir. Laboratuvar deneyimleri öğrencilerimize bir bilim insanı gibi davranmayı, bilimsel çalışmayı, bilimsel çalışma disiplinini tam olarak yaptırarak ve yaşatarak öğretir.



Şekil 2.8. Laboratuvar çalışması

Bugünün modern fen laboratuvarı anlayışı, öğrencilerin derste öğrendikleri kuramsal bilgileri bireysel veya grup deneyleri yoluyla araştırdıkları, tasarladıkları deneylerle araştırma bulgularını ispatladıkları, kuram ile uygulama arasında anlamlı bağlar oluşturdukları öğrenme merkezleri haline dönüşmüştür (Tatar, Korkmaz ve Ören, 2007).

Öğrenciler, fen bilimlerini gerçek yaşamla ilişkilendirerek çalışırlarsa, öğrenmeleri kolaylaşabilir. Fen derslerinin, deneylerle birlikte işlenmesi öğrencilerin fen bilgisi dersine ilişkin başarı ve tutumlarını artırmakta ve dersi daha çok sevmelerine neden olmaktadır (Aydoğdu, 2000; Aycan, Arı, Türkoğuz, 2001; Ergin, Akgün, Küçüközer, Yakal, 2001). Ayrıca deneylerle zenginleştirilmiş kimya dersine karşı öğrencilerin ilgi ve tutumlarının olumlu yönde değiştiği de tespit edilmiştir (Aydoğdu, 1991; Ayas ve diğerleri, 1997).

Fen bilgisi öğretmen adaylarının yetiştirilmesinde laboratuvar kullanımının önemi giderek artmaktadır. Son yıllarda öğrenci merkezli ve yapılandırmacı öğretim

yaklaşımlarının eğitime uygulanması konusundaki çabalar fen bilimleri eğitiminde etkinlik ve deney ağırlıklı bir yaklaşımın benimsenmesini zorunlu kılmaktadır. Geleceğin fen eğitimcileri bu ihtiyacı karşılayabilecek bir donanımla yetişmelidir. Bu yeni yaklaşımlar öğrencinin mümkün olan her fırsatta konuları deneysel etkinliklerle sorgulayarak, sonuçlar çıkarıp genellemeler yapmasını, böylece bilgi üretim sürecine bizzat katılarak bilgiyi kendisinin yapılandırmasını sağlamalıdır.

Günümüzde artık yeşil kimyanın 12 temel ilkesinin deney uygulamalarına doğrudan uyarlanması öğretmenlerin göz ardı etmemesi gereken öneme ve kolaylığa sahiptir. Günümüz öğrencilerinin birçoğu eskilere nazaran çok daha fazla çevre koruma sorumluluğuna sahiptir ve laboratuvar sürdürülebilirliği konusunda hassasiyet göstermenin önemini farkındadırlar (Kitchens ve diğerleri, 2006). Örnek vermek gerekirse öğrenciler ilk başta derste duyduklarının aksine suyun birçok organik reaksiyon için muhteşem bir çözücü olduğunu duyunca oldukça şaşırdıkları gözlemlenmiştir. Ders kitaplarında geçen diklorometan ve asetonitril gibi çözücüler hakkında birçok şey öğrendikten sonra çözücüsüz koşullarda da reaksiyonlar gerçekleştirmekten memnuniyet duymaktadırlar. Bu bağlamda veri oluşturma ve yorumlamanın yeşil kimya ilkeleri oluşturmaya yönelik sonuçlar verdiği yeni çalışmalar da yine bu alanda görülmektedir (Teixeira, Nedrow Byers, Perez ve Holman, 2010).

Yukarıda değinilen çalışmalardan çıkarılan yorumlar ve fen bilgisinin genel bilimsel özellikleri dikkate alındığında deney temelli fen bilgisi öğretiminin önemi yadsınamaz. Ayrıca kimya alanında deneylerin kullanımı da elbette çok önemlidir ancak bu çalışmanın başında da belirtildiği gibi kimya biliminin doğası gereği çevre kirliliği riskine sahip olması ve hatta zaman zaman ölümcül sonuçlar dahi doğurabilecek nitelikte olması nedeniyle kimya eğitiminde deney kullanımında çok daha özenli olunması gerekliliğini de beraberinde getirmektedir. Eğitimsel kazanımların yanı sıra özellikle de çevre koruma bilinci açısından kimya deneylerinin, yeşil kimya ilkelerine uygun olarak yeniden tasarlanması uzun vadede de büyük faydalar sağlayabilir. Yeşil kimya ilkelerine uygun ve çevre bilinci içerisinde deneyler yapan öğrenciler gelecekte çevre koruma bilinci açısından çok daha iyi durumda olabilmekle birlikte, çağın öne çıkan çevre koruma yaklaşımı olan yeşil kimya kavramının teorik bilgisinden ziyade uygulamalı örneklerini de birebir yaşamış, görmüş ve öğrenmiş olurlar.

3. YÖNTEM

3.1. Araştırma Modeli: Bu çalışma ilköğretim fen bilgisi öğretmenliği adaylarının genel kimya laboratuvar uygulamalarında yaptıkları deneyleri yeşil kimya ilkelerine uygunlukları açısından inceleyip daha uyumlu hale getirerek, kimyasal temelli çevre kirliliğinin henüz kirlilik oluşmadan giderilmesi ya da azaltılmasını ve çevre bilincinin genç nesillere akademik araştırma ortamında da aktarılmasını sağlayacak öneriler getirmek amacıyla yapılmıştır. Bu çalışma nitel bir araştırma olup deneylerin yeşil kimyaya uygunluğu ve mevcut literatür içerik analizi yöntemi ile araştırılmıştır. Nitel araştırmayı, “gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel veri toplama tekniklerinin kullanıldığı, algıların ve olayların doğal ortamda gerçekçi ve bütüncül bir biçimde ortaya konmasına yönelik nitel bir sürecin izlendiği araştırma” olarak tanımlamak mümkündür (Yıldırım ve Şimşek, 2008). Nitel araştırma, disiplinler arası bütüncül bir bakış açısını esas alarak, araştırma problemini yorumlayıcı bir yaklaşımla incelemeyi benimseyen bir yöntemdir. Üzerinde araştırma yapılan olgu ve olaylar kendi bağlamında ele alınarak, insanların onlara yükledikleri anlamlar açısından yorumlanır (Altunışık ve Diğerleri, 2010). İçerik analizi metin ya da metinlerden oluşan bir bütünün içerisindeki belli kelimelerin veya kavramların var olma durumunu belirlemeye yönelik yapılır. Araştırmacılar bu kelime ve kavramların var olma durumunu, anlamlarını ve ilişkilerini belirleyip, analiz ederek metinlerdeki mesaja ilişkin çıkarımlarda bulunurlar (Büyüköztürk ve diğerleri, 2012).

3.2. Evren ve Örneklem: Araştırmanın evreni, İnönü Üniversitesi Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü Fen Bilgisi Öğretmenliği programı genel kimya laboratuvarı dersinde yürütülen deneylerdir.

3.3. Verileri Toplama Teknikleri: Yapılan çalışmada örnek odak grubu olarak üniversitelerin eğitim fakültelerinin fen bilgisi öğretmenliği programlarında yer alan genel kimya laboratuvar uygulamalarında yapılabilecek deney örnekleri seçilmiştir. Çalışmanın teorik kısmıyla ilgili literatür taraması yapılmış ve elde edilen bilgiler ilgili bölümlerde verilmiştir. Araştırmada kullanılan veriler yine bu çalışmada hazırlanan yeşil kimya ilkelerine uygunluk ölçeği ile toplanmıştır. Ölçeklerin her biri 12 maddeden oluşan 3'lü likert tipi olarak hazırlanmıştır.

Likert-tipi sorular araştırılan konu hakkında tutum veya görüş içeren bir ifade ve bu ifadeye katılım düzeyini belirten seçenekler içerir. Likert-tipi sorularda katılım

düzeyini belirlemek amacıyla iki aşırı uç arasında yer alan birden çok seçenek sunulur. Bu seçenekler “en yüksekten en düşüğe” veya “en iyiden en kötüye” doğru dereceli bir şekilde sıralanır. Analiz aşamasında bu seçenekler derecelerine göre birer sayısal değer atanarak kodlanır ve böylece nitel veri nicel veriye dönüştürülerek analiz edilir (Turan, Şimşek ve Aslan, 2015).

3.4. Verilerin Analizi: Verilerin çözümlenmesinde, betimsel analiz yöntemi kullanılmıştır.



4. BULGULAR

2000'li yıllardan itibaren yeşil kimya, dünya genelinde üniversitelerde ders konusu olarak yer almaya başlamıştır. Yeşil kimya teorik olarak sıklıkla tartışılan ve önemi anlatılan bir konu olsa bile uygulamalarının çok yaygın olmadığı gözlenmektedir. Teorisi bilinen ve önemi herkes tarafından kabul edilen yeşil kimya uygulamalı olarak laboratuvarlarda da geniş yer bulduğu zaman uzun vadede etkisi gözlenebilecektir. Derslerde ve laboratuvarlarda yapılan etkinliklerin yeşil kimya ilkelerine uygun olarak yeniden düzenlenmesi bu nedenle çok önemlidir.

Bu çalışmada yeşil kimya kavramı deneylerle harmanlanıp yükseköğrenim düzeyinde laboratuvar uygulamalarına dâhil edilecek ve böylece yeşil kimya ve ilkelerinin daha etkin biçimde kavranması ve laboratuvar ortamı başta olmak üzere kimyanın diğer uygulama alanlarında da daha kalıcı etkiler oluşturması sağlanacaktır.

Deneylerin yeşil kimya ilkelerine göre yeniden düzenlenmesi, geleceğin öğretmenleri olacak öğrencilerin hem günlük yaşantılarında hem de meslek hayatlarında çevreci yaklaşımlara yeterince yer vermesini sağlayacak bakış açısı kazanmalarına katkıda bulunacaktır. Bu beklentiler doğrultusunda, kimya laboratuvar uygulamaları için yeşil kimya ilkeleri kullanılarak bir dizi deney hazırlanıp çalışmada sunulmuştur. Bu deneyler aşağıdaki gibidir:

1. Yeşil Kimya 12 Temel İlkesi
2. Mol Kavramı ve Avogadro Sayısı
3. Bileşik ve Formülleri
4. Çözünürlük
5. Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri
6. Stokiyometri
7. Elektron Geçişleri (Alev Denemesi)
8. Çöktürme Reaksiyonları
9. Katalizörler
10. Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar
11. Asitler, Bazlar ve pH

4.1. YEŞİL KİMYA İLKELERİNE GÖRE DÜZENLENMİŞ DENEYLER

Yeşil kimya ilkelerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve bu ilkeler ışığında her ortamda olduğu gibi laboratuvar ortamında da çevre koruma bilincinin öğrencilere kazandırılması amacıyla, genel kimya laboratuvarında uygulanan deneylerden bazıları ilkelere daha uygun hale getirilerek, ilkelerle uyumlu yönleri vurgulanmıştır. Yeşil kimya ilkelerine göre düzenlenmiş deneyler aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi

Deneyin Adı: Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi

Deneyin Amacı: Yeşil kimyanın 12 ilkesinin tanıtılması ve bu ilkelerin bir kimyasal süreç ile nasıl ilişkilendirilebileceğinin açıklanması.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Yeşil kimyanın 12 ilkesinin temellerini anlar.
- Hacim ve kütle ölçümü yapmayı öğrenir.
- Deneysel bir sürecin nasıl geliştirilebileceği hakkında eleştirel düşünür.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Yağsız süt tozu
- Beyaz sirke
- Kabartma tozu
- Bir kutu pancar konservesi
- Sim tozu
- Dezenfektan mendil
- İzopropil alkollü mendil
- Beher
- Mezür
- Huni
- Spor
- Termometre
- Plastik kaşık
- Baget
- Pens
- Süzgeç kâğıdı
- Elektronik terazi
- Isıtıcı

Güvenlik Bilgileri

- Sıcaklık yükselirken ısıtıcıya dokunmayın çünkü ısıtıcı yanıklara neden olabilir.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. 40 g yağsız süt tozunu 100 mL yağsız süt oluşturacak şekilde sulandırın.
2. Bu karışımın 50 mL'sini 100 mL'lik behere koyun. Kalan sütü sıvı atık kutusuna dökün.
3. Dört parça pancarı alıp sütün içine ekleyin. Pancarın geri kalanını da atın.
4. Pancar ve sütü 30 dakika plastik kaşıkla karıştırın.
5. Pancarları pens yardımı ile süttten çıkarıp atın. Artık sütünüz kırmızımsı pembe bir renk almış olmalı.
6. Pembe renk alan sütünüzü 45 °C'ye kadar ısıtın.
7. Mezür kullanarak ölçtüğünüz 20 mL sirkeyi, içinde sütün bulunduğu behere koyun.
8. Plastik bir kaşıkla yavaş yavaş karıştırarak ısıtmaya devam edin.
9. Pıhtılaşır pıhtılaşmaz ısıtıcıdan indirin.
10. Pıhtılaşmış sıvıyı, süzgeç kâğıdını her seferinde değiştirmek şartıyla iki kez süzün. Süzüntüyü sıvı atık kutusuna atın.
11. Geride kalan katıya kazein denir. İzopropil alkollü mendil kullanarak kazein içindeki sirke kalıntılarını uzaklaştırın.
12. Elde ettiğiniz kazeinin içine 4,75 g kabartma tozu ve 0,5 g sim tozu ekleyerek baget ile karıştırın.
13. Karışımın üzerine 30 mL su ekleyin.
14. Karışımı kuru bir yerde birkaç gün bekleterek suyun bir kısmını buharlaştırın. Bu işlem sonucunda yoğun bir tutkal elde etmiş olursunuz.
15. Dezenfektan mendil ile çalıştığınız yeri silin ve mendili çöp kutusuna atın.
16. Sıvı atık konteynirini lavaboda durulayın.

Deney İle İlgili Sorular

1. Deneyi, yeşil kimya ilkelerine uygun olarak tekrar düzenleyiniz.
2. Deney sırasında kullanılan, izopropil alkollü mendili ve sim tozunu çevresel etki ve toksik özellikleri açısından değerlendiriniz.
3. Kazeinin yapısı ve özellikleri hakkında bilgi veriniz.

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

Deney yeşil kimyanın on iki ilkesini kapsamaktadır.

1. İlke: Atıklar oluşuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Artan sütü ve pancarı atmaktansa ne kadara ihtiyaç varsa o kadarı hazırlanıp kullanılmalıdır.

2. İlke: Sentetik yöntemler nihai üründe işleme dâhil edilen malzemelerin miktarlarını artırmayı hedeflemelidir.

Sütün üzerine sirke eklendikten sonra karıştırma işlemi çok yavaş bir şekilde yapılırsa oluşacak kazein miktarı artırılabilir. Böylece kazein verimi artar ve atık azalır.

3. İlke: Mümkün olan her yerde, insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan maddeler üretecek ve kullanacak sentetik yöntemler geliştirilmelidir.

Sütten izole edilen kazein kullanılarak, sentetik yöntemlerle tamamen doğal ve çevre dostu bir tutkal elde edilmiştir.

4. İlke: Zararlar azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler geliştirilmelidir.

Tutkalın renkli olmasını sağlayacak pancar ve sentetik bir polimer olan sim tozu kullanılmayarak daha az zararlı bir ürün oluşturulabilir. Bu basamakların çıkarılması tutkalımızın yapıştırıcı özelliğini değiştirmeyecektir. Renklendirme için istenirse çok az miktarda gıda boyası kullanılabilir.

5. İlke: Yardımcı maddeler mümkün olduğunca az ve zararsız halde kullanılmalıdır.

Tutkalın renkli olmasını sağlayacak pancar ve sentetik bir polimer olan sim tozu kazeine eklenmeyerek, kullanılan yardımcı maddeler azaltılabilir.

6. İlke: Enerji gereksinimleri çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip en aza indirgenmelidir.

Son basamakta eklenen su miktarı azaltılarak yoğun kıvamlı bir tutkal elde edilmesi için gereken süre kısaltılabilir. Kurutma sırasında ekstra ısı işlem uygulanmaması da enerji tasarrufu açısından önemlidir.

7. İlke: Bir hammadde ya da maddeler, teknik ve ekonomik olarak mümkün olduğunda tüketilebilen olmaksızın yenilenebilir olmalıdır.

Karışımı karıştırmak için plastik kaşık yerine cam baget kullanılabilir. Ayrıca sirkenin fazlasını uzaklaştırmak için izopropil alkollü mendil yerine kurutma kağıdı kullanılabilir. Kurutma kâğıdı kullanım sonrasında atık kağıt geri dönüşüm kutusuna atılabilir. Çalışma alanının temizliği için de dezenfektan mendil kullanılmayabilir.

8. İlke: Mümkün olduğunca gereksiz türevleştirme (bloklama grubu, koruma/koruyucu grubun uzaklaştırılması, fiziksel/kimyasal işlemlerin geçici modifikasyonu) işlemlerinden kaçınılmalıdır.

Pancarlar tutkalın rengini değiştirmek için kullanılıp atılmıştır ve gereksiz atık oluşturulmuştur. Atığı önlemek için gıda boyası kullanılabilir.

9. İlke: Katalitik ajanlar stokiyometrik ajanlara göre daha üstündür.

Katalitik ajan olarak zararsız olan sirke kullanılmıştır.

10. İlke: Kimyasal ürünler işlevleri bittikten sonra çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrıştırma ürünlerine dönüşmelidir.

Sim tozları sentetik polimerlerdir ve petrol ürünüdür. Tutkalın yapımında sim tozu kullanılmazsa tutkal daha zararsız hale gelir. Tutkal atık haline geldiğinde bile ayrıştırma ürünleri daha az zararlı olur.

11. İlke: İşlem sırasında gerçek zamanlı izleme ve tehlikeli maddelerin oluşumundan önce kontrol gibi işlemler için de analitik yöntemler geliştirilmelidir.

Deneyin yapımı sırasında, çevreye zararlı olduğu bilinen plastik malzemedan yapılan kaşık yerine cam baget kullanılabilir. Ayrıca deney sırasında, bazı basamaklar atlanmalı ve deney prosedürü daha basit hale getirilmelidir.

12. İlke: Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir.

Muhtemel kazaları önlemek için koruyucu gözlük ve eldivenler kullanılabilir ve ısıtma basamakları sınırlandırılarak kaza, patlama ve yangın ihtimalleri azaltılabilir. (Beyond Benign, 2015)

İlkeleri Yazma: Yeniden Düzenlenmiş Deney Basamakları



Şekil 4.1. Yeşil düşün

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. 20 g yağsız süt tozunu 50 mL yağsız süt oluşturacak şekilde sulandırın.
3. Renk vermek istiyorsanız sütün içerisine bir miktar gıda boyası atıp homojen oluncaya kadar karıştırın.
4. Sütünüzü 45 °C'ye kadar ısıtın.
5. Mezür kullanarak ölçtüğünüz 10 mL sirkeyi, içinde sütün bulunduğu behere koyun.
6. Sütü bagetle yavaş yavaş karıştırarak hafifçe ısıtın.
7. Pıhtılaşır pıhtılaşmaz ısıtıcıdan indirin.
8. Pıhtılaşmış sıvıyı, süzgeç kâğıdını her seferinde değiştirmek şartıyla iki kez süzün. Süzüntüyü sıvı atık kutusuna atın.
9. Geride kalan katıya kazein denir. Kurutma kâğıdı kullanarak kazein içindeki sirke kalıntılarını uzaklaştırın.

10. Elde ettiğiniz kazeinin içine 4,75 g kabartma tozu ekleyerek baget ile karıştırın.
11. 10 mL su ekleyin.
12. Karışımı kuru bir yerde bekleterek suyun bir kısmını buharlaştırın. Bu işlem sonucunda yoğun bir tutkal elde etmiş olursunuz.
13. Çalışma alanınızı temizleyin.



4.1.2. Mol Kavramı ve Avogadro Sayısı

Atomun kütlesinin çok küçük bir değer olması ve bir elementin veya bileşiğin çok küçük örneklerinde bile çok büyük sayıda atom veya molekül olması nedeniyle mol kavramı geliştirilmiştir. Tam olarak 12 gram karbon-12 izotopu içeren bir örnekte, $6,02214179 \times 10^{23}$ tane atom bulunur ve bu sayıya Avogadro sayısı (N_A) denir. Avogadro sayısı kadar atom veya molekül içeren herhangi bir maddenin miktarı 1 mol olarak kabul edilmiştir. Mol sayısı, n ile gösterilir. Bu durumu, 1 mol karbon-12 atomu örneği, $6,02214179 \times 10^{23}$ tane karbon-12 atomu içerir ve kütlesi 12 gramdır şeklinde de ifade edebiliriz. 1 mol maddenin kütlesine, mol kütlesi (M_A) denir ve mol kütlesinin birimi g/mol'dür.

Hesaplamalarda mol kavramının kullanılmasıyla, çok küçük bir değer olan atomun kütlesi ile işlem yapmak yerine, mol başına $6,022 \times 10^{23}$ tane atoma sahip bir kütleyle işlem yapılır. Bu da işlemlerdeki sayıların bol sıfırlı olmasını engeller ve işlemlerin basitleşmesini sağlar. Örneğin; demirin mol kütlesi, 55,84 g/mol, gümüşün mol kütlesi 107,86 g/mol ve karbonun mol kütlesi 12,01 g/mol'dür.

Çok küçük kütleli maddelerin, özellikle de atom ve moleküllerin ağırlıklarını hesaplamak için kullanılan ve kısaca akb olarak yazılan kütle birimine atomik kütle birimi denir. Bir karbon atomunun kütlesinin tam olarak 1/12'sine eşittir (Petrucci ve diğerleri, 2012).

Mol kütlesi ile atom kütlesi arasında şu şekilde bir ilişki vardır: Herhangi bir element için mol kütlesi ile atom kütlesi sayısal değer olarak aynıdır ancak birim olarak mol kütlesinin birimi g/mol, atom kütlesinin birimi akb'dir. Örneğin; karbonun mol kütlesi 12,01 g/mol iken, atom kütlesi 12,01 akb'dir. Bir atom veya molekülün mol sayısı (n), kütlesinin (m) mol kütlesine (M_A) bölünmesiyle hesaplanır.

$$n = \frac{m}{M_A} \quad (4.1)$$

Diğer yandan, bir bileşiğin mol kütlesi, bileşiği oluşturan atomların mol kütlelerinin toplanmasıyla bulunur (Chang, 2010).

Özetle, bir bileşiğin mol sayısı biliniyorsa, Avogadro sayısı yardımıyla bileşiği oluşturan molekül sayısı ve mol kütlesi (M_A) yardımıyla kütlesi (m) hesaplanabilir. Bu ilişkiye kütle-mol-tanecik sayısı ilişkisi denilir.

Deneyin Adı: Mol, Atom, Gram

Deneyin Amacı: Mol kavramının öğrenilmesi ve mol, gram, atom/molekül dönüşümlerinin hesaplanması.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Çeşitli maddelerin kütlelerini ölçer ve mol miktarlarını hesaplar.
- Çeşitli maddelerin içerdikleri atom miktarlarını hesaplar.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Tuz (NaCl)
- Su
- Bakır tel
- Elektronik terazi
- Amonyum sülfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)
- Pipet
- Beher
- Spatül

Güvenlik Bilgileri

- Amonyum sülfatı solumayın. Gerekirse maske kullanın.
- Kimyasallar cildiniz ile temas ederse su ve sabunla birkaç dakika yıkayın.
- Kimyasallar gözünüz ile temas ederse de on beş dakika göz banyosu yapın ve hemen tıbbi yardım isteyin.
- Hiçbir kimyasalın tadına bakmayın ve yutmayın.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. Üç adet beheri tuz, su ve amonyum sülfat için etiketleyip darasını alarak kaydedin.
3. Spatül ile az miktarda tuz alın ve etiketlenmiş beherin içerisine koyun ve tartın.

4. Tarttığınız tuzun mol miktarını hesaplayın.
5. Amonyum sülfat olarak etiketlenmiş diğer behere spatül kullanarak bir miktar amonyum sülfat koyun ve tartın.
6. Tarttığınız amonyum sülfatın mol miktarını hesaplayın.
7. Pipet ile birkaç damla su alın, tartın ve kaç tane su molekülü içerdiğini hesaplayın.
8. Bakır telden bir parça kesin, tartın ve kaç tane atom içerdiğini hesaplayın.
9. Çalışma alanınızı ve deney malzemelerinizi temizleyin.

Deney İle İlgili Sorular

1. Mol nedir? Açıklayın.
2. Hesapladığınız su molekülü içerisinde kaç tane oksijen atomu vardır? Hesaplayın.
3. Deney sırasında yapılan hesaplamaların hatalı çıkmasının nedenleri neler olabilir? Açıklayın.

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluşuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Malzemeler daha sonraki yıllarda tekrar kullanılabilir durumda olduğundan hiç atık oluşmamıştır.

3. İlke: Mümkün olan her yerde, insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan maddeler üretecek ve kullanacak sentetik yöntemler geliştirilmelidir.

Mol kavramının öğrenilmesi sırasında su ve tuz kullanılarak insan sağlığı ve çevre açısından zararsız malzemeler tercih edilmiştir.

6. İlke: Enerji gereksinimleri çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip en aza indirgenmelidir.

Deney sırasında herhangi bir ısı işlem uygulanmadığı için enerji tasarrufu sağlamıştır (Beyond Benign, 2015).

4.1.3. Bileşik ve Formülleri

Bileşikte bulunan elementlerin kimyasal sembolleri ile her bir elementin diğerlerine göre bağıl sayısını (indis olarak) içeren formüllere kimyasal formül denir. Amacımıza göre kimyasal formülleri birkaç şekilde yazmak veya çizmek mümkündür.

Molekül formülü, bir maddenin en küçük biriminde bulunan elementlerin atom sayısını tam olarak gösteren formüldür. Örneğin; hidrojenin molekül formülü H_2 , oksijenin O_2 , ozonun O_3 ve suyun ise H_2O 'tir. Bu formüllerde alt indis herhangi bir elementin atom sayısını gösterir. H_2O 'te O'in alt indisi yoktur; çünkü bir su molekülünde yalnızca bir tane oksijen atomu bulunur ve formüllerde 'bir' rakamı gösterilmez (Chang, 2011).

Basit formül, bir molekülde hangi elementlerin bulunduğunu ve bu elementlerin atomlarının en basit tam sayılı oranını gösteren formüldür. Antiseptik özelliği olan, saç ve tekstil malzemeleri için ağartıcı olarak kullanılan hidrojen peroksidin molekül formülü H_2O_2 'tir. Bu formül hidrojen peroksit molekülünün iki tane hidrojen ve iki tane oksijen içerdiğini gösterir. Bu molekülde hidrojen atomlarının oksijen atomlarına oranı 2 : 2 veya 1 : 1'dir. Yani hidrojen peroksidin basit formülü HO'tir.

Basit formüller en sade kimyasal formüllerdir; bunlar molekül formülündeki alt indislerin mümkün olan en küçük tam sayıya dönüştürülmesi ile elde edilir. Molekül formülleri ise moleküllerin gerçek formülleridir. Bir bileşiğin molekül formülü biliniyorsa basit formülü de bilinir, ancak bunun tersi geçerli değildir (Chang, 2011).

Deneyin Adı: Bir Bileşiğin Basit Formülü

Deneyin Amacı: Bir bileşiğin basit formülünün bulunması.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Verileri nitel ve nicel bir şekilde değerlendirir.
- Bilinmeyen bir bileşiğin basit formülünü belirleyebilmek için verileri kullanır.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Hidrojen peroksit (H_2O_2)
- Sodyum klorür (NaCl)
- Elektronik terazi
- Süzgeç kâğıdı
- Demir tozu
- Spatül
- Baget
- Huni
- Spor
- Beher
- Erlen

Güvenlik Bilgileri

- Pas ve hidrojen peroksit tahriş edici özelliğe sahiptir. Eğer cildiniz ile temas ederse su ve sabunla birkaç dakika yıkayın.
- Kimyasal maddeler, gözünüz ile temas ederse on beş dakika göz banyosu yapın ve hemen tıbbi yardım isteyin.
- Hiçbir kimyasalın tadına bakmayın ve yutmayın.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. Gün

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. 0,5 g demir tozu tartın.
3. Demir tozlarını behere koyun.
4. 100 mL %3'lük hidrojen peroksidi demir tozlarının üzerine ekleyin.
5. Reaksiyonda elektrolit olarak görev yapması için çözeltiliye az miktarda sodyum klorür ekleyin. Reaksiyonun gerçekleşmesi için bir gün bekletin.

2. Gün

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. Beherin içindekileri karıştırın ve ilave kabarcıklar arayın. Hala reaksiyona girmemiş demir olup olmadığını kontrol edin.
3. Behere 30 mL %3'lük hidrojen peroksit ilave edin ve baget ile karıştırın. Demir ve pasın hiç bir parçasının yapışmaması için bageti beherin içinden dikkatli bir şekilde çıkarın. Çözeltiyi bir gün daha bekletin.

3. Gün

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. Süzgeç kâğıdını tartın.
3. Süzme düzeneğini hazırlayarak beherin içindekileri süzün. Süzme sırasında beherin içinde partikül kalmadığından emin olun.
4. Süzgeç kâğıdındaki çökeltiyi suyla iyice durulayın ve kurumaya bırakın.
5. Süzüntüyü kimyasal atık kutusuna dökün.

4. Gün

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. Kuruyan süzgeç kâğıdını ve çökeltiyi tartın.
3. Pasın kütlesini belirlemek için, bulduğunuz kütleden süzgeç kâğıdının kütlesini çıkarın.

Pasın kütlesi = c'nin kütlesi - b'nin kütlesi (Tablo 4.1.'e göre)

4. Pasın kütlesinden başlangıçtaki demirin kütlesini çıkararak oksijenin kütlesini hesaplayın.

Oksijenin kütlesi = Pasın kütlesi - Demirin kütlesi

5. Bulunan kütleleri atomik kütlelerine bölerek demir ve oksijenin mol sayısını hesaplayın.

6. Bulunan mol sayılarını, en küçük mol sayısına bölerek demirin oksijene mol oranını hesaplayın.
7. Pas bileşiğinin basit formülünü bulun.
8. Çalışma alanınızı ve deney malzemelerinizi temizleyin.

Tablo 4.1. Maddelerin Ölçülen Kütleleri

Madde	Kütle, g
a. Demir tozu	
b. Süzgeç kağıdı	
c. Kurumuş paslı süzgeç kağıdı	

Deney İle İlgili Sorular

1. Deneyde ne tür bir reaksiyon gerçekleşmiştir?
2. Deneyde karşılaşılabilecek muhtemel hatalar neler olabilir?
3. Sodyum klorürün reaksiyonundaki görevi nedir?

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluşuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Deneyin gözlenebilmesi için yeterli olacak az miktarda malzeme kullanıldığı için atık oluşumu da minimum seviyededir.

3. İlke: Mümkün olan her yerde, insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan maddeler üretecek ve kullanılacak sentetik yöntemler geliştirilmelidir.

Basit formül kavramını öğretmek için geleneksel olarak kullanılan magnezyum oksit sentezi, gümüş oksidin ayrıştırılması ve kükürt, bakır ve demir arasındaki tepkimelerin incelendiği laboratuvar uygulamaları, zararlı bileşiklerin oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle deneyde, daha yeşil reaktantlar olan demir tozu, hidrojen peroksit ve sodyum klorür kullanılmıştır.

6. İlke: Enerji gereksinimleri çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip en aza indirgenmelidir.

Basit formül kavramını öğretmek için geleneksel olarak kullanılan magnezyum oksit sentezi, gümüş oksidin ayrıştırılması ve kükürt, bakır ve demir arasındaki tepkimelerin incelendiği laboratuvar uygulamaları, çok yüksek enerji gerektirir. Ancak burada önerilen alternatif yöntemde daha yeşil reaktantlar kullanılarak, ortam ısısında pas oluşumu sağlanır. Böylece deneyin gerçekleşmesi için gerekli olan enerji gereksinimi de minimum seviyeye indirilmiş olur.

12. İlke: Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir.

Deney sırasında ekstra ısı işlem uygulanmaması yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini düşürmekle birlikte daha az zararlı olan yeşil reaktantların kullanılması da atmosfere karışan gaz miktarının azalmasını sağlar (Beyond Benign, 2015).

4.1.4. Çözünürlük

4.1.4.1. Katıların Çözünürlüğü

Belirli bir sıcaklıkta, belli miktar çözücüde çözünen maddenin maksimum miktarına çözünürlük denir. Çoğunlukla bir katı maddenin çözünürlüğü sıcaklık ile artar. Bununla birlikte, çözünürlüğün sıcaklıkla değişimi ile $\Delta H_{\text{çözelti}}$ 'n işareti arasındaki ilişki açık değildir. Örneğin; kalsiyum klorürün (CaCl_2) çözünme işlemi ekzotermik iken amonyum nitratın (NH_4NO_3) endotermiktir. Fakat her iki bileşiğin çözünürlüğü de sıcaklık artışı ile artar. Genellikle sıcaklığın çözünürlüğe etkisi en iyi deneysel yöntemle belirlenir (Chang, 2011).

Deneyin Adı: Katıların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Deneyin Amacı: Katılarda sıcaklık ve çözünürlük arasındaki ilişkinin kalitatif ve kantitatif bir şekilde tanımlanması.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Katılarda sıcaklık ve çözünürlük arasındaki ilişkiyi anlar.
- Bir katının sıcaklığa bağlı olarak konsantrasyondaki değişimini grafikte gösterir.
- Çözünürlük kurallarını öğrenir.
- Bazı kimyasalların toksisitesini tahmin etmek için çözünürlüğün nasıl kullanılacağını anlar.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Alüminyum tartım kabı
- Alkollü termometre
- Elektronik terazi
- Beher
- Mezür
- Pipet
- Baget
- Saf su
- Spatül
- Isıtıcı

- Magnezyum klorür heksahidrat ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)
- Magnezyum sülfat heptahidrat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)

Güvenlik Bilgileri

- Sıcaklık yükselirken ısıtıcıya dokunmayın çünkü ısıtıcı yanıklara neden olabilir.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. 25 g $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ tartarak behere koyun ve beheri etiketleyin.
3. Aynı behere 12,5 mL su ekleyip ve maddenin tamamı çözünene kadar karıştırın.
4. 25 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ tartarak ikinci behere koyun ve beheri etiketleyin.
5. Aynı behere 25 mL su ekleyin ve maddenin tamamı çözünene kadar karıştırın.
6. İki çözeltinin de sıcaklıklarını ölçün ve Tablo 4.3.'e kaydedin.
7. Alüminyum tartım kaplarını birden sekize kadar etiketleyin.
8. Alüminyum kapların darasını alın ve Tablo 4.3.'e kaydedin.
9. Çözeltilerin her ikisinden de 1 mL alıp sırasıyla birinci ve beşinci olarak etiketlenmiş alüminyum tartım kaplarına koyun.
10. İki beheri de ısıtıcının üstüne yerleştirin. Çözeltilerin sıcaklığı 30 °C'ye ulaşana kadar arada sırada karıştırarak kontrollü bir şekilde ısıtın.
11. 30 °C'deki $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltisinden 1 mL alın ve iki olarak etiketlenmiş alüminyum tartım kabına koyun. İçerisinde 1 mL çözelti bulunan kabın kütlesini Tablo 4.3.'e kaydedin.
12. 30 °C'deki $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ çözeltisinde hiç katı kalmadığından emin olduktan sonra 1 mL alın ve altı olarak etiketlenmiş alüminyum tartım kabına koyun.

İçerisinde 1 mL çözelti bulunan alüminyum tartım kabının kütesini Tablo 4.3.'e kaydedin.

13. Beherdeki iki çözeltiyi de 40 °C'ye kadar ısıtın ve tekrar 1 mL çözelti ayırın. Ayırmış olduğunuz $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltisini üç ve $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ çözeltisini de yedi olarak etiketlemiş olduğunuz alüminyum tartım kabına koyun. İçerisinde çözelti bulunan kapların kütlelerini Tablo 4.3.'e kaydedin.
14. Beherdeki iki çözeltiyi de 50 °C'ye kadar ısıtın ve tekrar 1 mL çözelti ayırın. Ayırmış olduğunuz $MgCl_2$ çözeltisini dört ve $MgSO_4$ çözeltisini de sekiz olarak etiketlemiş olduğunuz alüminyum tartım kaplarına koyun. İçerisinde çözelti bulunan bu kapların kütlelerini Tablo 4.3.'e kaydedin.
15. Sekiz alüminyum tartım kabını güvenli bir yerde bir gece suyun tamamen buharlaşması için bırakın.
16. Kapların kuruduktan sonraki kütlelerini Tablo 4.3.'e kaydedin.
17. Çalışma alanınızı ve deney malzemelerinizi temizleyin.

Tablo 4.2. Maddelerin Ölçülen Kütleleri ve Hacimleri

Madde	Kütle, g	Hacim, mL
$MgCl_2$		
$MgSO_4$		

Tablo 4.3. Maddelerin Ölçülen Kütleleri ve Sıcaklıkları

Kap	Katı	Boş kabın kütlesi, g	Sıvı dolu kabın kütlesi, g	Alınan örneğin sıcaklığı, °C	Kuruduktan sonra kabın kütlesi, g
1	$MgCl_2$				
2	$MgCl_2$				
3	$MgCl_2$				
4	$MgCl_2$				
5	$MgSO_4$				
6	$MgSO_4$				
7	$MgSO_4$				
8	$MgSO_4$				

Tablo 4.4. Maddelerin Ölçülen Kütleleri ve Konsantrasyonları

Kap	Katı	Kuruduktan sonra kalan katının kütlesi, g	Örnekteki suyun kütlesi, g (kurumadan önce)	Örneğin konsantrasyonu, g/mL*
1	MgCl ₂			
2	MgCl ₂			
3	MgCl ₂			
4	MgCl ₂			
5	MgSO ₄			
6	MgSO ₄			
7	MgSO ₄			
8	MgSO ₄			

*1 mL su = 1 g su olarak kabul edin.

Deney İle İlgili Sorular

1. Milimetrik kağıt ya da excel programını kullanarak, MgCl₂.6H₂O'nun ve MgSO₄.7H₂O'nun sıcaklığa karşı konsantrasyon grafiğini çizin. Her ikisini de aynı grafik üzerinde gösterin.
2. Grafiğe göre, 60°C'deki 100 mL suda kaç gram MgSO₄.7H₂O çözünür?
3. Elde edilen sonuçlar düşünüldüğünde baryum klorür ve baryum sülfatın çözünürlüğünü tahmin edilebilir mi?
4. Çözünürlüğü anlamının önemini tartışın ve bazı kimyasalların toksisitesi ile çözünürlük arasında nasıl bir ilişki vardır? Açıklayın.

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluşuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Deney için kullanılacak çözeltiler ihtiyaç olduğu kadar hazırlandı. Böylece kimyasal atık azaltılmaya çalışıldı.

3. İlke: Mümkün olan her yerde, insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan maddeler üretecek ve kullanacak sentetik yöntemler geliştirilmelidir.

Birçok deneyde nitrat tuzları gibi çözünürlüğü yüksek olan iyonik katılar kullanılır. Bu bileşiklerin doğaya salınması sucul canlılar üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Camargo, Alonso ve Salamanca, 2005). Bu nedenle deneyde nitrat tuzları yerine klorür ve sülfat tuzları kullanılmıştır.

6. İlke: Enerji gereksinimleri çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip en aza indirgenmelidir.

Kurutma sırasında ekstra ısı işlem uygulanmaması enerji tasarrufu açısından önemlidir.

4.1.4.2. Gazların Çözünürlüğü

Belirli bir sıcaklıkta, belli miktar çözücüde çözünen maddenin maksimum miktarına çözünürlük denir.

Gazların sudaki çözünürlüğü genellikle sıcaklık artışı ile azalır. Bir cam kap (beher) içerisindeki su ısıtıldığında kaynamadan önce camın kenarında hava kabarcıkları oluşur. Çözünmüş hava molekülleri su kaynamadan çok önce çözüldükten uzaklaşır (Chang, 2011).

Oksijen molekülünün sıcak sudaki azalan çözünürlüğü ısı kirlenmeye neden olur. Isıl kirlenme çevre ısısının (genellikle su yollarında) canlılara zarar verecek derecede yükselmesi demektir. Birleşik Devletlerde her yıl 100 milyar galon suyun, çoğunlukla elektrik ve nükleer güç üretiminde, endüstriyel soğutma suyu olarak kullanıldığı tahmin edilmektedir. Bu işlem, alındığı göllere ve nehirlere daha sonra geri gönderilen suyu ısıtır. Çevre bilimcileri ısı kirlenmenin sudaki yaşam üzerine etkileriyle ilgili yoğun çalışmalar yapmaktadır. Balıklar, diğer bütün soğukkanlı hayvanlar gibi, ani sıcaklık değişimlerinden, insanlardan daha fazla etkilenmektedirler. Su sıcaklığındaki her 10 °C'lik yükselme bu canlıların metabolizma hızını genellikle iki kat artırır. Metabolizma hızının artması, balıkların oksijen ihtiyacını da artırır. Ancak, oksijenin ısınmış sudaki düşük çözünürlüğünden dolayı oksijen miktarı azalmıştır.

Bu nedenle elektrik santrallerini soğutmak için biyolojik çevreye en az zarar veren etkili yollar araştırılmalıdır (Chang, 2011).

Gaz çözünürlüğünün sıcaklıkla azaldığını öğrenen zeki bir balıkçı, bu bilgisini daha çok balık tutmak yönünde kullanabilir. Örneğin; sıcak bir yaz gününde, tecrübeli bir balıkçı oltadaki yemi atmak için nehirde veya gölde genellikle derin yeri seçer. Çünkü en derin ve en soğuk kısımlardaki oksijen içeriği daha fazla olduğundan, balıkların çoğu orada bulunacaktır (Chang, 2011).

Deneyin Adı: Gazların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Deneyin Amacı: Gazların çözünürlüğünün sıcaklıkla değişiminin kalitatif ve kantitatif bir şekilde tanımlanması.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Gazlarda sıcaklık ve çözünürlük arasındaki ilişkiyi anlar.
- Çözünürlük kurallarını öğrenir.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Maden suyu
- Buz
- Su
- Parafilm
- Baget
- Beher
- Mezür
- Termometre
- Termostatlı ısıtıcı

Güvenlik Bilgileri

- Sıcaklık yükselirken ısıtıcıya dokunmayın çünkü ısıtıcı yanıklara neden olabilir.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. 400 mL'lik bir beher içerisine 150 mL çizgisine gelinceye kadar buz ve 100 mL su koyarak buz banyosu hazırlayın. Beş dakika sıcaklığın dengelenmesi için bekleddikten sonra buz banyosunun sıcaklığını Tablo 4.5.'e kaydedin.

3. Başka bir 400 mL'lik behere 150 mL çizgisine gelinceye kadar su ekleyin. Beherdeki suyu 80 °C'ye kadar ısıtıp Tablo 4.5.'e kaydedin ve bu sıcaklıkta sabit kalmasını sağlayın.
4. 100 mL'lik iki mezürü, tam dolana kadar maden suyu ile doldurun.
5. Parafilm kullanarak mezürlerin ağzını sıkıca kapatın.
6. Yavaşça her mezürü ters çevirin ve sızıntı olup olmadığını kontrol edin. Eğer sızıntı olursa parafilm sıkıca sararak sızdırmamasını sağlayın.
7. İnce bir baget kullanarak, her iki mezürün ağzında bulunan parafilmde eşit büyüklükte bir delik açın.
8. Eş zamanlı olarak, birinci mezürü buz banyosunun içine ve ikinci mezürü sıcak su banyosunun içine ters bir şekilde yerleştirin. Mezürlerin beher içerisinde beş dakika kalmasını sağlayın.
9. Beher içindeki sıvıların başlangıç-bitiş hacimlerini kaydedin.
10. Çalışma alanınızı ve deney malzemelerinizi temizleyin.

Tablo 4.5. Sıcak Su ve Buz Banyosunun Sıcaklık ve Hacim Ölçümleri

Madde	Sıcaklık, °C	İlk hacim, mL	Son hacim, mL
Buz banyosu			
Sıcak su banyosu			

Deney İle İlgili Sorular

1. Hangi mezürde daha fazla gaz toplanır. Neden?
2. Deney sonunda, sıcak su banyosundaki suyun hacmi buz banyosundaki suyun hacimden neden daha fazladır?
3. Gazların çözünürlüğü sıcaklık ile nasıl değişir?
4. Gazlı içeceklerin sıcak mı yoksa soğuk mu tercih edileceğini deneydeki gözlemlerinize göre açıklayın.
5. 30 saniye sonra, hangi mezür daha çok kabarcık oluşur? Bu kabarcık oluşumuna hangi gaz neden olur?

6. İki dakika sonra, buz banyosundaki ve sıcak su banyosundaki mezürlerde gaz kabarcığı var mı?

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluştuğundan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Deneyin hiçbir aşamasında zararlı atık oluşmamıştır.

3. İlke: Mümkün olan her yerde, insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan maddeler üretecek ve kullanacak sentetik yöntemler geliştirilmelidir.

Deney yapımında su ve maden suyu gibi zararsız maddeler kullanılmıştır (Beyond Benign, 2015).

4.1.5. Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri

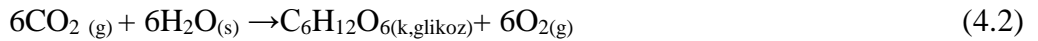
Pozitif yüklü bir iyonun elektron alarak yüksüz hâle gelmesine ya da nötr atomun elektron alarak negatif yüklü iyon hâline gelmesine indirgenme denir. Yüksüz bir atomun elektron vererek pozitif yüklü iyon hâline gelmesine ya da negatif yüklü bir iyonun yüksüz hâle gelmesine yükseltgenme denir. Yükseltgenme ve indirgenme tepkimelerinin bir arada olduğu tepkimelere yükseltgenme-indirgenme tepkimeleri ya da redoks tepkimeleri denir.

Bir redoks tepkimesinde yükseltgenen maddeye indirgen, indirgenen maddeye de yükseltgen denir.

Yükseltgenme tepkimesi, elektron kaybının olduğu yarı tepkimedir. Kimyacılar eskiden yükseltgenme deyimini elementlerin oksijenle birleşmesi anlamında kullanırlardı. Ancak şimdi oksijen içermeyen tepkimeleri de kapsayan geniş bir anlamı vardır. İndirgenme tepkimesi elektron kazanmanın gerçekleştiği yarı tepkimedir.

Çevremizdeki tepkimelerin pek çoğu indirgenme-yükseltgenme tepkimeleridir. Bunlar fosil yakıtlarının yanmasından, evlerde kullanılan ağartıcı maddelere kadar çeşitlilik gösterir. Ayrıca pek çok metal ya da ametaller filizlerinden yükseltgenme-indirgenme tepkimeleriyle elde edilirler (Chang, 2010).

Atmosferdeki karbon dioksitin karbondihidratlara dönüştüğü fotosentez reaksiyonu önemli bir yükseltgenme-indirgenme tepkimesidir:



Diğer bir önemli reaksiyon da teknolojik toplumlarda kullanılan doğal gazın ana bileşeni olan metanın yanma reaksiyonudur:



İlk bakışta, bu iki reaksiyon arasında fazla bir ortak yön görülmemektedir. Bu reaksiyonlarla magnezyum ve oksijen arasındaki



etkileşmesi, çinko üzerine seyreltik asit döküldüğünde elde edilen reaksiyon,



arasındaki ilişkiler daha da az gibi görünmektedir.

Yine de, bütün bu reaksiyonlar aynı ailenin bir üyesidir. Bu reaksiyonların hepsi, redoks reaksiyonları adı verilen yükseltgenme indirgenme reaksiyonlarına ait örneklerdir (Chang, 2012).

Deneyin Adı: Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri

Deneyin Amacı: Yükseltgenme-indirgenme tepkimelerinin incelenmesi.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Tek bir yer değiştirme reaksiyonu içerisindeki yükseltgenme-indirgenme reaksiyonunu gözlemler.
- Stokiyometri aracılığıyla, teorik sonuçları bulur ve yüzde verimi hesaplar.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Çinko klorür ($ZnCl_2$) çözeltisi
- Magnezyum (Mg) şerit
- Saf su
- Çelik yünü
- Beher
- Erlen
- Piset
- Baget
- Pens
- Huni
- Süzgeç kâğıdı
- Elektronik terazi

Güvenlik Bilgileri

- Çinko klorür sağlığa zararı olan maddelerdendir. Eğer cildiniz ile temas ederse su ve sabunla birkaç dakika yıkayın. Gözünüz ile temas ederse de on beş dakika göz banyosu yapın ve hemen tıbbi yardım isteyin.
- Hiçbir kimyasalın tadına bakmayın ve yutmayın.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. 0,15 M 125 mL çinko klorür çözeltisi hazırlayın.
3. Mg şeridi çelik yünü ile parlatıp tartın ve Tablo 4.6.'ya kaydedin.
4. Bir behere hazırlamış olduğunuz çinko klorür çözeltisi koyun.
5. 0,15 g Mg şeridi beher içerisine yerleştirin ve reaksiyonun gerçekleşmesi için 20 dakika bekleyin. Bu süre boyunca her iki dakikada bir karıştırın.
6. 20 dakika sonra Mg şeridi çıkarın ve şerit üzerinde hiç katı kalmayınca kadar yıkayın.
7. Mg şeridi kuruyana kadar bekletip tartın ve Tablo 4.6.'ya kaydedin.
8. Süzme düzeneğini hazırlayarak beherin içindekileri süzün. Süzme sırasında beherin içinde partikül kalmadığından emin olun.
9. Süzüntüyü kimyasal atık kutusuna dökün.
10. Süzme işlemi tamamlandıktan sonra süzgeç kâğıdını kuruması için bir gece bekletin.
11. Ertesi gün süzgeç kâğıdını tartarak son kütlelerini bulun ve Tablo 4.6.'ya kaydedin.

Tablo 4.6. Maddelerin Ölçülen Kütleleri

Madde	Kütle, g
Mg şeridinin başlangıç kütlesi	
Mg şeridinin son kütlesi	
Reaksiyona giren magnezyum	
Süzgeç kâğıdı	
Süzgeç kâğıdı + çinko	
Oluşan katı çinko	

Deney İle İlgili Sorular

1. Deneyde gerçekleşen reaksiyonun denge eşitliğini yazın.
2. Sınırlayıcı reaktant hangisidir?
3. Teorik olarak ne kadar çinko üretilmiştir?

4. Deneyinizdeki yüzde verim kaçtır?
5. Deneyde gerçekleşen redoks reaksiyonunu açıklayın.
6. Yeşil kimya prensipleri düşünüldüğünde, deneyde niçin bakır tel/gümüş nitrat çözeltisi değil de magnezyum şerit/çinko klorür çözeltisi kullanıldı?

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluştuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Deneyin gözlenebilmesi için yeterli olacak az miktarda malzeme kullanıldığı için atık oluşumu da minimum seviyededir.

3. İlke: Mümkün olan her yerde, insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan maddeler üretecek ve kullanacak sentetik yöntemler geliştirilmelidir.

Deney, geleneksel olarak bakır tel ve gümüş nitrat çözeltisi kullanılarak yapılırdı; gümüş ve bakır, insan ve çevre için çok zararlı olan ağır metallere aittir. Çinko da ağır bir metaldir ancak canlılar için daha az toksiktir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

5. İlke: Yardımcı maddeler mümkün olduğunca az ve zararsız halde kullanılmalıdır.

Deneyde yardımcı madde (çözücü) olarak zararsız olan saf su kullanılmıştır.

6. İlke: Enerji gereksinimleri çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip en aza indirgenmelidir.

Deney sırasında herhangi bir ısı işlem uygulanmaması deneyin yapılması için gerekli olan enerji gereksinimini en aza indirger.

7. İlke: Bir hammadde ya da maddeler, teknik ve ekonomik olarak mümkün olduğunda tüketilebilen olmaktansa yenilenebilir olmalıdır.

Deney sonunda artan magnezyum şerit çelik yünü ile parlatılarak tekrar kullanılabilir.

12. İlke: Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir.

Süzgeç kâğıdının ve magnezyum şeridin kurutulması da dâhil deneyin hiçbir aşamasında herhangi bir ısı işlem uygulanmaması yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirger (Beyond Benign, 2015).

4.1.6. Stokiyometri

Yunancada stoicheion sözcüğü element anlamına gelir. Anlam olarak stokiyometri element ölçüsü demektir. Formüller ve kimyasal denklemlerle ilgili tüm sayısal ilişkileri içerir (Petrucci, 2012).

Stokiyometri, kimyasal formüller ve tepkimelerdeki kütle bağıntıları ile ilgilenen; mol, kütle, hacim vb. nicelikleri hesaplama bilimidir. Kimyasal tepkimelerdeki tepkenlerin ve ürünlerin mol sayıları arasındaki ilişkilerden yararlanılarak bileşiklerin en basit formülleri ve molekül formülleri bulunabileceği gibi, oluşan ürünlerin ve kalıyorsa kalan tepkenlerin nicelikleri, tepkime verimi ve tepkimeye giren karışımların kütle yüzdesi, mol yüzdesi vb. gibi nicel bileşimleri de saptanabilir (Sayılkan ve diğerleri, 2012).

Kimyasal eşitlikler stokiyometrik olarak değerlendirilirse,



tepkime denklemindeki katsayıların anlamı,



şeklinde ifade edilir ya da



anlamına gelir. $X = 6,02214 \times 10^{23}$ (Avagadro sayısı kadar) alındığı varsayılırsa X molekül sayısı 1 mol demektir. Bu kez kimyasal eşitlik



şeklinde yazılır.

Denklemden katsayılardan aşağıdaki ifadeler çıkarılabilir.

- Tepkimede iki mol H_2 tüketilir, iki mol H_2O oluşur.
- Bir mol O_2 tepkimeye girer, iki mol H_2O oluşur.
- Tüketilen bir mol O_2 'e karşılık iki mol H_2 tepkimeye girer (Petrucci, 2012).

Deneyin Adı: Stokiyometri

Deneyin Amacı: Kalsiyum karbonat (CaCO_3) oluşumu incelenerek stokiyometri kavramının öğrenilmesi.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Farklı derişimlerde kalsiyum klorür (CaCl_2) ve sodyum karbonat (Na_2CO_3) çözeltilerinin nasıl hazırlanacağını öğrenir.
- Belirlenen miktarda kalsiyum karbonat (CaCO_3) elde eder.
- Deneyin verimini hesaplar ve hata kaynaklarını analiz eder.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- 2,2 g CaCl_2
- 2,1 g Na_2CO_3
- Saf su
- Huni
- Huni halkası
- Beher
- Parafin kâğıdı ya da alüminyum folyo
- Erlen
- Süzgeç kâğıdı
- Baget
- Spatül
- Plastik ölçü kabı
- Elektronik terazi

Güvenlik Bilgileri

- Kalsiyum klorür tahriş edici özelliğe sahiptir. Eğer cildiniz ile temas ederse su ve sabunla birkaç dakika yıkayın.
- Kimyasal maddeler, gözünüz ile temas ederse on beş dakika göz banyosu yapın ve hemen tıbbi yardım isteyin.
- Hiçbir kimyasalın tadına bakmayın ve yutmayın.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. Her biri 1 M 20 mL çözelti hazırlamak için ne kadar CaCl_2 ve Na_2CO_3 'a ihtiyacınız olduğunu hesaplayın ve çözeltileri hazırlayın.
3. Temiz bir beherin içine 20 mL CaCl_2 ve 20 mL Na_2CO_3 çözeltilerini ekleyin ve karıştırın.
4. Oluşan çökeltiyi süzün ve süzüntüyü sıvı atık kutusuna atın.
5. Süzgeç kâğıdı ve çökeltiyi kuru bir yerde bir gece bekletin.
6. Çalışma alanınızı ve deney malzemelerinizi temizleyin.
7. İkinci gün çökeltiyi tartın ve yüzde verimi hesaplayın.

Deney İle İlgili Sorular

1. CaCl_2 ve Na_2CO_3 için denge reaksiyonunu yazın.
2. İhtiyacınız olan CaCl_2 kütlesini hesaplayın.
3. İhtiyacınız olan Na_2CO_3 kütlesini hesaplayın.
4. Elde edilen ürünün kütlesini hesaplayın.
5. Yüzde verimi hesaplayın.

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluştuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Çok az miktarda ürün oluşturulduğu için atık oluşumu da minimum seviyededir.

2. İlke: Sentetik yöntemler nihai üründe işleme dahil edilen malzemelerin miktarlarını artırmayı hedeflemelidir.

Nihai ürün içerisindeki tek atık tuzlu sudur ki bu da yeşil kimya ilkeleri düşünüldüğünde zararsız bir maddedir.

3. İlke: Mümkün olan her yerde, insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan maddeler üretecek ve kullanacak sentetik yöntemler geliştirilmelidir.

Nihai ürünün her ikisi de geri dönüşümlü ve toksik olmayan maddelerdir.

5. İlke: Yardımcı maddeler mümkün olduğunca az ve zararsız halde kullanılmalıdır.

Çözücü olarak su kullanılması, yardımcı maddenin hem az miktarda hem de zararsız formda kullanılmasını sağlamıştır.

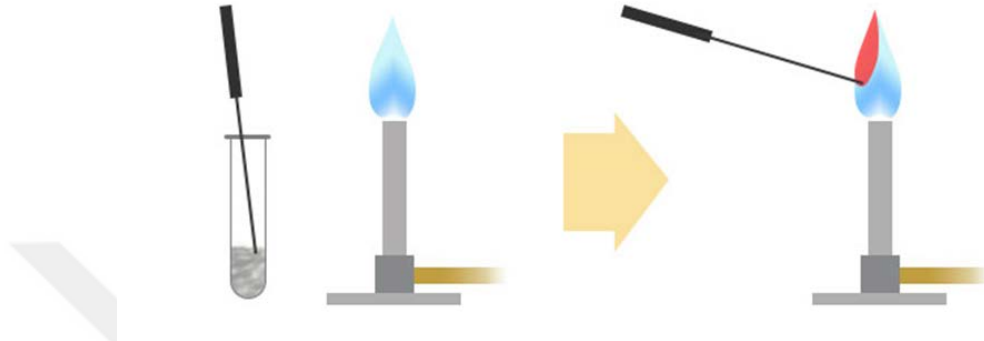
12. İlke: Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir.

Toksik olmayan kimyasalların kullanımı ve herhangi bir ısıl işlem uygulanmaması kimyasal kaza ihtimalleri minimum seviyeye indirilmiştir (Beyond Benign, 2015).



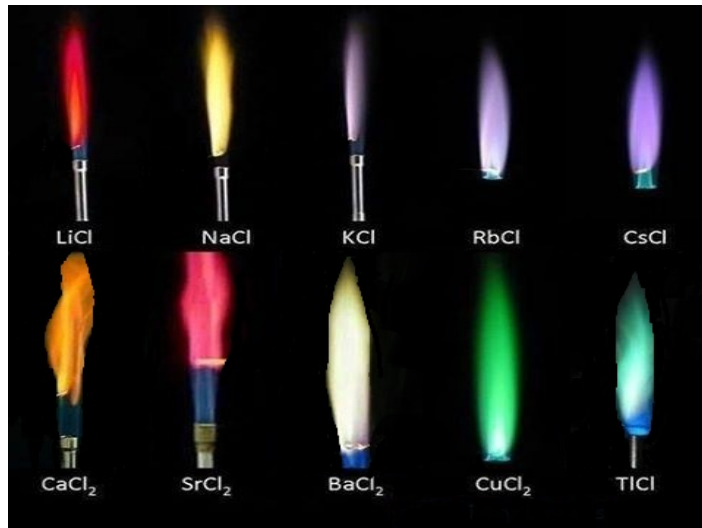
4.1.7. Elektron Geçişleri (Alev Denemesi)

Elektromagnetik işmanın madde ile (atomlar ve moleküller) etkileşmesini konu alan bilim dalına spektroskopi, bu etkileşmenin çıplak gözle incelendiği aletlere spektroskop, fotoğraf alınarak kaydedildiği aletlere spektrofotometre ve etkileşmenin şiddetinin spektrum olarak kaydedildiği aletlere spektrometre denir.



şekil 4.2. Alev denemesi

Alkali ve toprak alkali metaller ve tuzları, bunzen beki alevinde ısıtılırsa, alev, metale özđün bir renge boyanır. Metallerin, buhar halinde, elektronları ısı enerjisiyle uyarılır ve oluşan işmanın bir bölümü görünür bölgede bulunur. Örneğin; sodyum ve tuzları sarı işık, potasyum ve tuzları mor işık, lityum ve tuzları kırmızı işık, kalsiyum tuzları kiremit rengi işık, stronsiyum tuzları karmen kırmızısı işık ve baryum tuzları sarı-yeşil işık yayımlar. Alkali ve toprak alkali metallerin bu yolla analizi alev denemesi olarak bilinir ve bir platin telin metal tuzu çözeltisine daldırılıp bunzen beki alevine tutulmasıyla kolayca uygulanır (Erdik ve Sarıkaya, 2014).



şekil 4.3. Alev denemesinde bazı elementlerin aldıkları renkler

Deneyin Adı: Alev Denemesi ile Katyonların Nitel Analizi

Deneyin Amacı: Elementlerin ve bileşiklerin enerji absorpsiyonunun, elektron geçişlerine neden olduğunun öğrenilmesi.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Alev denemelerinin, katyon belirlemek için kullanılan nitel analiz yöntemlerinden olduğunu öğrenir.
- Absorbe edilen enerjinin, ışık olarak atomlar tarafından yayılabileceğini öğrenir.
- Işığın renklerini, dalga boyu ve enerjileri ile ilişkilendirir.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Mezür
- Cam baget
- Platin tel
- Sodyum klorür (NaCl) çözeltisi
- Derişik hidrojen klorür (HCl) çözeltisi
- Sodyum asetat (CH₃COONa) çözeltisi
- Potasyum asetat (CH₃COOK) çözeltisi
- Deney tüpü
- Bunzen beki
- Ateşleyici

Güvenlik Bilgileri

- Sodyum asetat, sodyum klorür ve potasyum asetat çözeltileri hafif tahriş edici özelliğe sahiptir. Eğer cildiniz ile temas ederse su ve sabunla birkaç dakika yıkayın.
- Kimyasal maddeler, gözünüz ile temas ederse on beş dakika göz banyosu yapın ve hemen tıbbi yardım isteyin.
- Bunzen bekinde çalışırken dikkatli olun çünkü açık alev ciddi yanıklara neden olabilir.

- Hiçbir kimyasalın tadına bakmayın ve yutmayın.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. Aşağıdaki çözeltileri hazırlayın.
 - 0,1 M 1 mL sodyum asetat çözeltisi hazırlayın. (CH_3COONa , MA:82,03 g/mol)
İpucu: 0,1 M sodyum asetatın 1 mL'lik çözeltisini hazırlamak için, 1 mL'lik suda 0,082 g CH_3COONa çözün.
 - 0,1 M 1 mL sodyum klorür çözeltisi hazırlayın. (NaCl , MA:58,44 g/mol)
İpucu: 0,1 M sodyum klorürün 1 mL'lik çözeltisini hazırlamak için, 1 mL'lik suda 0,058 g NaCl çözün.
 - 0,1 M 1 mL potasyum asetat çözeltisi hazırlayın. (CH_3COOK , MA:98,15 g/mol)
İpucu: 0,1 M potasyum asetatın 1 mL'lik çözeltisini hazırlamak için, 1 mL suda 0,098 g CH_3COOK çözün.
3. Hazırladığınız çözeltileri ayrı ayrı deney tüplerine alın ve etiketleyin.
4. Bunzen bekini yakın.
5. Cam bağı ucuna tutturulmuş platin teli sodyum asetat çözeltisine daldırıp aleve tutun. Alev rengini gözlemleyin ve Tablo 4.7.'ye kaydedin.
6. Platin teli derişik HCl çözeltisine daldırıp alev en sıcak bölgesinde tutarak temizleyin.
7. Aynı işlemleri sodyum klorür ve potasyum asetat çözeltileri için de tekrar edin.
8. Bunzen bekini kapatın ve artan çözeltileri kimyasal atık kutusuna dökün.
9. Çalışma alanınızı temizleyin.

Tablo 4.7. Çözeltilerin Alev Denemesi Sonuçları

Çözelti	Alevin Rengi
Sodyum asetat	
Sodyum klorür	
Potasyum asetat	

Deney İle İlgili Sorular

1. Alev denemesi, anyon belirlenmesi için mi yoksa katyon belirlenmesi için mi uygun olan bir yöntemdir? Açıklayın.
2. Sodyum asetat, sodyum klorür ve potasyum asetat çözeltileri ile alev denemesinde hangi renkleri gözlemlediniz?
3. Sodyum asetat ve sodyum klorür çözeltilerinin alevde aynı rengi göstermesini nasıl açıklarsın?
4. Tanımlama için alev denemesinin kullanımında ne gibi zorluklarla karşılaşılabilir?
5. Aşağıdaki bileşikler için alev denemesinde hangi renklerin gözlendiğini belirtin.
 - a. Lityum klorür (LiCl)
 - b. Bakır (II) nitrat ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$)
 - c. Baryum asetat ($\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$)
 - d. Kalsiyum nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)
 - e. Stronsiyum klorür (SrCl_2)
6. Yeşil kimya prensipleri düşünüldüğünde, bu deneyde niçin stronsiyum ve baryum tuzları değil de sodyum ve potasyum tuzları kullanıldı?

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. **İlke:** Atıklar oluşuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Deney için kullanılacak çözeltiler ihtiyaç olduğu kadar hazırlandı. Böylece kimyasal atık azaltılmaya çalışıldı.

10. İlke: Kimyasal ürünler işlevleri bittikten sonra çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrıştırma ürünlerine dönüşmelidir.

Deney sırasında, her zaman az tehlikeli, ayrıştırılması kolay maddelerle, az atık oluşturacak şekilde çalışılmalıdır. Nitekim bu deneyde de daha az zararlı türler olan sodyum ve potasyum tuzları tercih edilmiştir. Ayrıca, deneyden sonra artan kimyasal olursa mutlaka kimyasal atık kutusuna dökülmelidir. Deney sırasında veya sonrasında hiçbir madde asla lavaboya dökülmemelidir.

12. İlke: Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir.

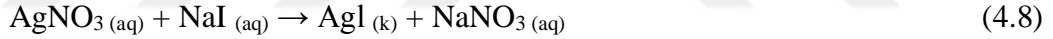
Stronsiyum ve baryum aleve renk vermesine rağmen, sodyum ve potasyumdan çok daha toksiktir. Bu kimyasallar, insan sağlığı ve çevre için daha ağır ve daha zararlı olan metaller olduğundan dolayı deneyde sodyum ve potasyum tuzları tercih edilmiştir (Beyond Benign, 2015).

4.1.8. Çöktürme Reaksiyonları

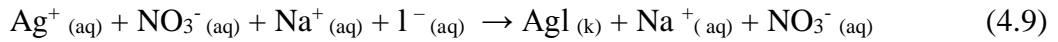
Sodyum klorür (NaCl) gibi bazı metal tuzları suda çok iyi çözünürken, gümüş klorür (AgCl) gibi diğer bazı metal tuzları çok az çözünen tuzlardır. Hatta AgCl'ün suda hiç çözünmediğini söylemek mümkündür. Bir çökeltme tepkimesinde belirli katyon ve anyonlar birleşerek, çökelti denen ve çözülmeyen iyonik bir katı verirler. Çökeltme tepkilerinin laboratuvar uygulamalarından biri, bir çözeltide iyonların var olup olmadığının araştırılmasıdır. Çökeltme tepkimesi bazı kimyasal maddelerin elde edilmesi için endüstride kullanılır. Örneğin; deniz suyundan magnezyum metalinin elde edilmesi işleminde birinci basamak magnezyum hidroksit (Mg(OH)₂) iyonlarının Mg(OH)_{2(k)} şeklinde çöktürülmesidir. Aşağıda çökeltme tepkimelerini kimyasal eşitliklerle gösterilmiş ve çökeltmenin olup olmayacağını öngörebilmek için bazı kurallar verilmiştir (Petrucci, 2012).

Net İyonik Eşitlikler

Bir sulu çözeltideki gümüş nitrat ve sodyum iyodürün tepkimesi sulu sodyum nitrat çözeltisi ve sarı gümüş iyodür çökeleğini verir. Bu eşitliği yazarsak



elde edilir. Bu eşitlik iyonik eşitlik yazma ilkeleri göz önüne alınarak iyonlar halinde de ifade edilebilir. Çünkü AgNO_{3(aq)}, NaI, NaNO₃ bileşikleri kuvvetli elektrolitlerdir ve sulu çözeltilerinde iyonlarına ayrılırlar. Buna göre



yazılır. 4.8. eşitliğe “ bütüncül” yazılış, 4.9. eşitliğe “iyonik” yazılış denir. Ayrıca 4.9. eşitlikte Na⁺_(aq) ve NO₃⁻_(aq) eşitliğin her iki yanında da görülmektedir. Bunlar tepkimede değişmediğine göre tepken değildirler. Böyle iyonlara gözlemci iyonlar denir. Eğer gözlemci iyonları eşitlikten çıkarırsak geriye aşağıdaki net iyonik eşitlik kalır.



Net iyonik eşitlik tepkimeyi oluşturan gerçek katılımcı iyonları içerir. İyonlar ayrı ayrı ve Ag⁺_(aq) gibi, tüm formülde katı ve çözünmeyen maddeyi ifade etmek üzere

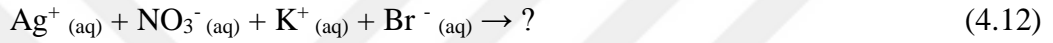
AgI_(k) şeklinde yazılır. Net iyonik eşitlik de diğerleri gibi hem atomlar hem de yükler bakımından denk olmalıdır (Petrucci, 2012).

Çökeltme Tepkimelerinin Öngörülmesi

Aşağıda verilen sulu çözeltiler karıştırıldığı zaman bir çökeltmenin olup olmadığı sorulduğunda



Soruyu yanıtlamanın en iyi yolu bu eşitliği iyonik halde yazarak incelemeye başlamaktır.



burada iki olasılık vardır. Ya bazı anyon ve katyonlar birleşerek suda çözünmeyen bir katı (çökelek) verecek ya da böyle bir birleşme mümkün olmayacak ve çökelek oluşmayacaktır.

Laboratuvara girip deney yapmadan hangi iyonik bileşiklerin suda çözünüp hangilerinin çözünmeyeceğini öngörmek için bazı bilgilere gereksinim vardır. Bu bilgilere çözünürlük kuralları denir. Bazı basit çözünürlük kuralları aşağıda verilmiştir.

Çözünen bileşikler;

- Alkali metallerin (grup I) bileşikleri ve amonyum (NH₄)⁺ bileşikleri
- Nitratlar, perkloratlar ve asetatlar.

Büyük oranda çözünen bileşikler;

- Çözünmeyen Pb²⁺, Ag⁺ ve Hg₂⁺, bromür ve klorürleri hariç; klorürler, bromürler, iyodürler
- Sr²⁺, Ba²⁺, Pb²⁺, Hg₂⁺² sülfatları hariç (CaSO₄ suda az miktarda çözünür) diğer sülfatlar.

Büyük oranda çözünmeyen bileşikler;

- Hidroksitler ve sülfürler (grup I metallerinin ve NH_4^+ 'un hidroksitleri çözünür. Grup 2 metallerinin sülfürleri çözünür. Ca^{2+} , Sr^{2+} ve Ba^{2+} hidroksitleri az çözünür)
- Karbonatlar ve fosfatlar (grup1 metallerinin NH_4^+ fosfatları ve karbonatları çözünür).

Bu kurallara göre, $\text{KNO}_3(\text{k})$ 'ın aksine $\text{AgBr}(\text{k})$ suda çözünmez, çökelek oluşturur. Bu durumda denklem iyonik bir eşitlik için şu şekli:



alır. Net iyonik bileşik ise şöyledir:



Çöktürme reaksiyonları, özellikle istenen ürünün çökelek olması durumunda yararlıdır. AgCl hazırlamak istenirse, çözünür bir Ag^+ tuzu, örneğin AgNO_3 ile çözünür bir Cl^- tuzu, örneğin; KCl karıştırılması yeterlidir, KNO_3 çözeltide kalır.



İstenen ürün, çözeltide kalıyorsa, çözeltilinin buharlaştırılmasıyla ele geçer (Petrucci, 2012).

Sınırlayıcı Bileşen

Bir kimyasal tepkimede tüm tepkenler aynı zamanda ve tamamen tükeniyorsa, bunların stokiometrik oranlarda olduğunu söyleriz. Bu durum bazı kimyasal analizlerde gerekebilir. Çöktürme tepkimeleri gibi birçok tepkimede, bir kısım tepkenlerin aşırısı kullanılarak, bir tepken tamamen ürünlere dönüştürülebilir. Tamamen tükenen maddeye sınırlayıcı reaktant denir ve bu reaktant, oluşan ürünlerin miktarlarını belirler (Petrucci, 2012).

Deneyin Adı: Çöktürme Reaksiyonları

Deneyin Amacı: Yeşil reaktantlar kullanılarak çinko karbonatın (ZnCO_3) çöktürülmesi.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Verileri nitel ve nicel bir şekilde değerlendirir.
- Sınırlayıcı reaktantı ve yüzde verimi belirlemek için verileri kullanır.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Sodyum karbonat (Na_2CO_3)
- Süzgeç kâğıdı
- Tartım kâğıdı
- Elektronik terazi
- Balon Joje
- Mezür
- Çinko asetat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$)
- Beher
- Erlen
- Kıskaç
- Baget
- Spor
- Huni

Güvenlik Bilgileri

- Çinko asetat cildi tahriş edici özelliğe sahiptir. Eğer cildiniz ile temas ederse su ve sabun ile birkaç dakika yıkayın.
- Kimyasallar gözünüz ile temas ederse on beş dakika göz banyosu yapın ve hemen tıbbi yardım isteyin.
- Hiçbir kimyasalın tadına bakmayın ve yutmayın.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı:

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. 1 M 10 mL sodyum karbonat çözeltisi hazırlamak için gerekli olan Na_2CO_3 'ı tartıp behere alın ve az miktarda su ile çözün.
3. Na_2CO_3 tamamen çözüldükten sonra balon jøjeye aktarın ve üzerine 10 mL çizgisine kadar su ekleyip karıştırın.

4. 1 M 10 mL çinko asetat çözeltisi hazırlamak için gerekli olan $Zn(CH_3COO)_2$ 'ı tartıp behere alın ve az miktarda su ile çözün.
5. $Zn(CH_3COO)_2$ tamamen çözüldükten sonra balon jøjeye aktarın ve üzerine 10 mL çizgisine kadar su ekleyip karıştırın.
6. Sodyum karbonat çözeltisinin üzerine hazırlanan çinko asetat çözeltisini ekleyin ve karıştırın. Bir çökelti oluşacaktır.
7. Oluşan çökeltiyi süzmek için süzme düzeneği hazırlayın.
8. Süzgeç kâğıdını tartın ve Tablo 4.8.'e kaydedin.
9. Çökeltiyi süzün ve süzüntüyü sıvı atık kutusuna atın.
10. Süzgeç kâğıdı ve çökeltiyi kuru bir yerde bir gece bekletin.
11. Ertesi gün, filtre kâğıdı üzerindeki çökeltiyi tartın ve Tablo 4.8.'e kaydedin.
12. Çalışma alanınızı ve deney malzemelerinizi temizleyin.

Tablo 4.8. Maddelerin Ölçülen Kütleleri

Madde	Kütle, g
Sodyum karbonat	
Süzgeç kâğıdı	
Süzgeç kâğıdı + Çinko karbonat	
Çinko karbonat	

Deney İle İlgili Sorular

1. Sodyum karbonat ve çinko asetat arasında gerçekleşen çöktürme tepkimesini yazın.
2. Sınırlayıcı reaktant hangisidir?
3. 1 M 10 mL sodyum karbonat çözeltisi hazırlamak için kaç gram Na_2CO_3 gerekli olduğunu hesaplayın.
4. Teorik olarak ne kadar çinko karbonat üretilmiştir?
5. Deneyinizdeki çinko karbonatın yüzde verimi kaçtır?

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluşuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Deneyin gözlenebilmesi için yeterli olacak az miktarda ürün kullanıldığı için atık oluşumu da minimum seviyededir.

3. İlke: Mümkün olan her yerde, insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan maddeler üretecek ve kullanacak sentetik yöntemler geliştirilmelidir.

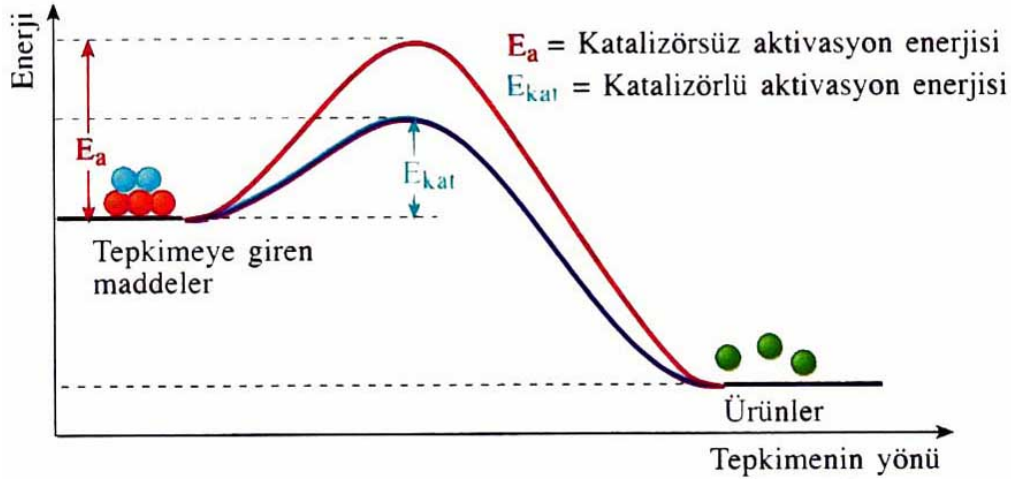
Geleneksel çöktürme reaksiyonlarında kullanılan gümüş nitrat çürütücü ve aşındırıcı bir madde olmakla birlikte NFPA (National Fire Protection Association) standartlarına göre yanıcı malzemelerle teması halinde yangına sebep olma olasılığı yüksek bir maddedir. Bu reaksiyonda oluşan gümüş klorür çökeleği de tıpkı gümüş nitrat gibi çevreye zararlı maddelerdendir. Yine bu reaksiyonlarda kullanılan biri olan kalsiyum klorürün ise insan sağlığına büyük zararları vardır. Bu malzemelerin çevreye ve insan sağlığına zararları dolayısıyla yeşil kimya ilkelerine daha uygun olan çinko asetat ve sodyum karbonat kullanılmıştır.

12. İlke: Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir.

Filtre kâğıdının ve çökeltinin kurutulması da dâhil deneyin hiçbir aşamasında herhangi bir ısıl işlem uygulanmaması yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirger. Ayrıca daha az zararlı olan yeşil reaktantların kullanılması; atmosfere karışan gaz miktarının azalmasını sağlar (Beyond Benign, 2015).

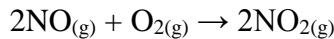
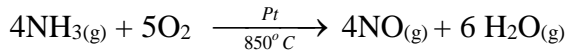
4.1.9. Katalizörler

Kendisi tepkimeye girmedeği halde tepkime hızını artıran maddelere katalizör denir. Katalizörler tepkimeden değişmeden çıkarlar. Katalizör aktiflenme enerjisini düşürerek aktiflenme enerjisini aşabilen tanecik sayısını dolayısı ile tepkime hızını artırır ancak tepkime ısısına (ΔH) etki etmez (Chang, 2010).



Şekil 4.4. Katalizörler

Nitrik asit üretiminde olduğu gibi bir tepkimenin yürüyüp yürümeyeceği uygun bir katalizöre bağlıdır. Örneğin; NH_3 'ın Pt-Rh katalizörü kullanılarak, çok kısa bir sürede (1 milisaniyeden daha kısa) yükseltgenmesi sonucunda ürün olarak $\text{N}_2(\text{g})$ yerine $\text{NO}(\text{g})$ elde edilir ve $\text{NO}(\text{g})$ 'ten de $\text{HNO}_3(\text{aq})$ kolayca üretilir (Petrucci, 2012).



Katalizör, mekanizmalı tepkimelerde, en yavaş adımın aktiflenme enerjisini düşürerek tepkimeyi hızlandırırken tepkimenin yönünü ve verimini değiştirmezler.

Tepkime hızını azaltan katalizörler de vardır. Bunlara negatif katalizör veya inhibitör denir (Petrucci, 2012).

Deneyin Adı: Tepkime Hızına Katalizörün Etkisi

Deneyin Amacı: Katalizörün bir kimyasal üzerindeki etkisinin öğrenilmesi.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- Katalizör ve reaksiyon oranları kavramını açıklar.
- Bir katalizörün, tepkimenin verimini nasıl geliştirebileceğini anlar.
- Bir kimyasal reaksiyonun içerdiği reaktantları ve birbirinden farklı olan ürünleri tanır.
- Reaksiyon ürünlerinin tehlikesiz ve/veya yararlı olabileceğinin farkına varır.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Hidrojen peroksit (H_2O_2)
- Musluk suyu
- Yeşil gıda boyası
- Beher
- Deney tüpü
- Geri dönüşümlü bulaşık deterjanı
- C vitamini tableti (3,40 g C vitamini içerecek kadar)
- Mezür
- Termometre
- Havan ve havan eli
- Termostatlı ısıtıcı

Güvenlik Bilgileri

- Hidrojen peroksit tahriş edici özelliğe sahiptir. Eğer cildiniz ile temas ederse su ve sabunla birkaç dakika yıkayın. Gözünüz ile temas ederse de on beş dakika göz banyosu yapın ve hemen tıbbi yardım isteyin.
- Sıcaklık yükselirken ısıtıcıya dokunmayın çünkü ısıtıcı yanıklara neden olabilir.
- Hiçbir kimyasalın tadına bakmayın ve yutmayın.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.

2. 250 mL'lik beherin yarısını musluk suyu ile doldurun. Termometreyi beherin içerisine yerleştirin.
3. Beheri ısıtıcının üstüne koyun ve suyu 60°C'ye kadar ısıtın ve bu sıcaklıkta sabit kalmasını sağlayın. Bu beher sonraki basamaklarda sıcak su banyosu olarak kullanılacaktır.
4. Deney tüpüne 10 mL %3'lük H₂O₂ koyun. Kullandığımız bu deney tüpünü A olarak etiketleyin.
5. A tüpüne iki damla gıda boyası ekleyin ve iyice karıştırın.
6. Aynı tüpe iki damla geri dönüşümlü sıvı bulaşık deterjanı ekleyin ve iyice karıştırın.
7. İkinci deney tüpüne 10 mL %3'lük H₂O₂ koyun. Kullandığımız bu deney tüpünü B olarak etiketleyin.
8. B tüpüne de iki damla gıda boyası ekleyin ve iyice karıştırın.
9. Aynı tüpe iki damla geri dönüşümlü sıvı bulaşık deterjanı ekleyin ve iyice karıştırın.
10. Havan ve havan eli kullanarak, 3,40 g C vitamini elde etmek için yeterli miktarda C vitamini tableti ezin.
11. B tüpüne ezdiğiniz C vitamini tabletini ekleyin.
12. 60°C'de sabit tutulan sıcak su banyosunun içine her iki deney tüpünü de yerleştirin ve tüplerin içine hiç su kaçırmayın.
13. Deney tüpünü su banyosunun içine yerleştirdikten sonra, sıfırıncı dakikadan başlayarak iki dakika aralıklarla, on dakika boyunca sıcaklık değişimlerini ve gözlemlerinizi Tablo 4.9.'a kaydedin.
14. Deney tüplerini çıkarın ve tüplükte soğumaya bırakın.
15. Isıtıcıyı kapatıp çalışma alanı temizleyin ve atıklarınızı geri dönüşüm kutularına atın.

Tablo 4.9. Deney Tüplerinin Ölçüm ve Gözlem Sonuçları

Zaman, Dk	Su Banyosu Sıcaklığı, °C	Deney Tüpü	Sıvıda Kabarcık Oluşumu E/H	Köpük Oluşumu E/H	Sıvının Rengi
0		A			
		B			
2		A			
		B			
4		A			
		B			
6		A			
		B			
8		A			
		B			
10		A			
		B			

Deney İle İlgili Sorular

1. Ne tür bir kimyasal reaksiyon gerçekleşmiştir? Reaksiyon için bir denge denklemi yazın.
2. Tepkimelerdeki reaktant ve ürünleri belirleyiniz?
3. Hangi deney tüpünde bir katalizör var? Nasıl anlarsınız?
4. Deneyde kullanılan katalizörün adı ve görevi nedir? Açıklayın.

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluşuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Deneyin gözlenebilmesi için yeterli olacak az miktarda ürün kullanıldığı için atık oluşumu da minimum seviyededir.

5. İlke: Yardımcı maddeler mümkün olduğunca az ve zararsız halde kullanılmalıdır.

Az miktarda yardımcı madde kullanmak amacıyla gıda boyası ve bulaşık deterjanı sadece iki damla kullanılmıştır. Yardımcı madde olarak zararsız olan geri dönüşümlü sıvı bulaşık deterjanı ve C vitamini tercih edilmiştir.

6. İlke: Enerji gereksinimleri çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip en aza indirgenmelidir.

Çalışılan madde miktarı azaltılarak gerekli olan enerji miktarı minimum seviyeye indirilmiştir. Ayrıca tüpler kendi kendine soğumaya bırakılarak soğuma aşamasında ekstra bir işlem uygulanmamıştır.

12. İlke: Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir.

Deney sırasında düşük derişimli hidrojen peroksit kullanılarak yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimalleri en aza indirilmiştir (Beyond Benign, 2015).

4.1.10. Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar

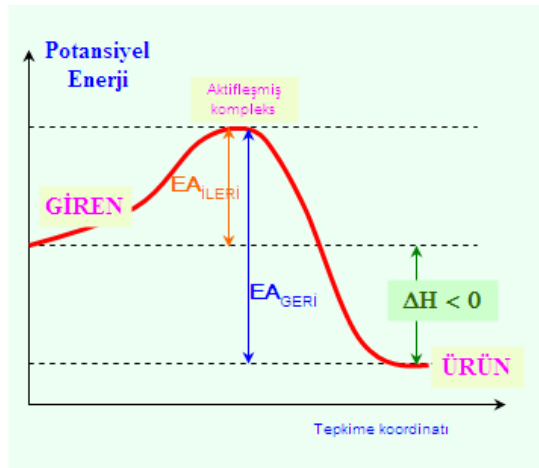
Ekzotermik reaksiyonlar

Tepkimenin oluşumu sırasında dışarıya ısı veren reaksiyonlara ekzotermik reaksiyon denir. Bir reaksiyonda ısının açığa çıkması maddelerin daha düşük enerjili ve daha kararlı olma isteğinden kaynaklanır. Maddenin doğal eğiliminin de aynı yönde olmasının sonucu, ekzotermik tepkimeler başlatıldıktan sonra ayrıca enerjiye ihtiyaç duymazlar ve kendiliğinden yürüyebilirler (Chang, 2012).

Hidrojenin oksijenle yanma tepkimesi, önemli derecede ısı salan kimyasal tepkimelerden biridir.



Bu durumda tepkime karışımı (hidrojen oksijen ve su molekülleri) sistem, evrenin geri kalan kısmı ise çevre olarak adlandırılır. Enerji yoktan var edilemeyeceğine veya var olan enerji yok edilmeyeceğine göre sistem tarafından kaybedilen enerji çevre tarafından kazanılacaktır. Böylece, bir yanma olayında ısı sistemden çevreye aktarılır. Bu tepkime ekzotermik bir olaya örnektir. Ekzotermik olayda ısı salınır diğer bir deyişle ısı enerjisi çevreye aktarılır (Petrucci, 2012).



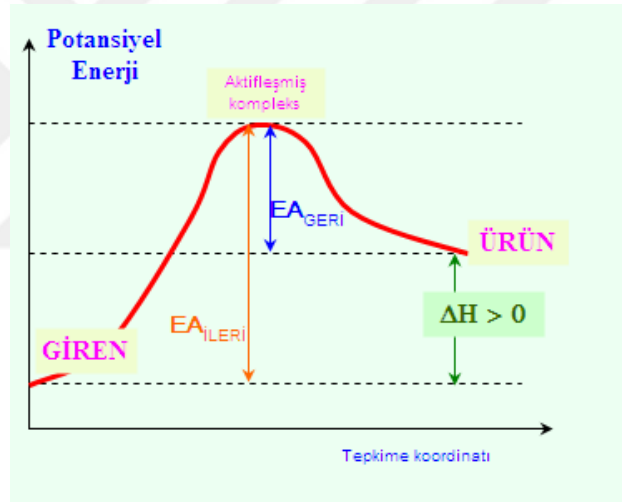
Şekil 4.5. Ekzotermik reaksiyonlar

Endotermik reaksiyonlar

Tepkimenin oluşumu sırasında dışarıdan ısı alan reaksiyonlara endotermik reaksiyon denir. Maddenin doğal eğilimi daha düşük enerjili ve kararlı olma yönündedir. Endotermik tepkimelerin gerçekleşebilmeleri için dışardan sürekli enerji verilmesi gerekir. Verilen enerji, ürünlerin daha yüksek enerjili olmasına neden olur. Bu durum maddenin doğal eğilimine zıt olduğundan, endotermik tepkimeler kendiliğinden yürüyemez. Bağların kırılması ve bir atom ya da iyondan elektron koparılması gibi işlemler endotermik reaksiyonlara örnek olarak gösterilebilir. Örneğin; cıva (II) oksit (HgO)'in yüksek sıcaklıkta bozunması



endotermik bir tepkimedir, ısı çevreden sisteme, HgO'e aktarılır (Chang, 2010).



Şekil 4.6. Endotermik reaksiyonlar

Ekzotermik tepkimelerde, ürünlerin toplam enerjisi, tepkimeye girenlerin toplam enerjisinden daha düşüktür. Bu iki büyüklük arasındaki fark sistem tarafından çevreye verilen ısı miktarıdır. Endotermik tepkimelerde ise tam tersi gerçekleşir ve ürünlerin enerjileri tepkimeye girenlerin enerjilerinden daha büyük olup, aradaki fark çevre tarafından sisteme verilen enerjiye eşittir (Petrucci, 2012).

Isı bakımından bir kaptaki ekzotermik bir reaksiyon gerçekleşiyorsa, sistemin sıcaklığında artış olur; endotermik bir tepkime gerçekleşiyorsa, sistemin sıcaklığında azalma olur (Sayılkan ve diğerleri, 2012).

Kimyasal tepkimelerdeki enerji değişmeler entalpi, ΔH , ile izlenir: sabit basınçta bir sistemin dışarı verdiği veya dışardan aldığı ısı, entalpi değişimine eşittir. Bir sistemin ısı şeklinde dışarıya verdiği enerjinin büyüklüğü entalpi olarak düşünülebilir. Sabit basınçta sisteme dışardan enerji verilirse sistemin entalpisi artar. Sistemden ısı şeklinde enerji kaybı olursa sistemin entalpisi azalır. Üzeri atmosfere açık bir kapta gerçekleşen tepkime, atmosfer basıncına eşit sabit bir basınçta oluyor demektir. Bu nedenle bu koşullarda transfer edilen ısı, sistemin entalpi değişimine eşittir (Atkins ve Jones, 1999).

Bir sistemin iki hali arasındaki entalpi farkı şöyle verilir:

$$\text{Entalpi değişimi} = \Delta H = H_{\text{son}} - H_{\text{ilk}} \quad (4.19)$$

Bu sistemin sabit basınç altında ısı absorbladığında, son halin entalpisi başlangıçtakinden büyük olacağı için entalpi değişimi pozitiftir. Endotermik bir tepkimede ısı absorblandığından; endotermik tepkimelerin tamamının entalpi değişimleri pozitiftir.

Endotermik değişim için: $\Delta H > 0$

Örneğin; belli miktardaki amonyum nitrat suda çözüldüğünde 2 kJ ısı absorplanırsa $\Delta H = +2$ kJ şeklinde gösterilir. Bu durumda katı çözülürken sistem ısı alır ve sistemdeki deponun enerji seviyesi yükselir (bu nedenle pozitif işaretle gösterilir) (Atkins ve Jones, 1999).

Bir olay dışarıya ısı veriyorsa entalpi değişimi negatiftir. Çünkü enerjinin ısı şeklinde kaybı nedeniyle, deponun enerji seviyesinde azalma olur. Ekzotermik tepkimelerde dışarı ısı verildiği için, entalpi değişimleri negatiftir.

Ekzotermik değişim için: $\Delta H < 0$

Örneğin; belli kütledeki bir yakıt yandığında ortama 100 kJ ısı veriyorsa $\Delta H = -100$ kJ'dür.

Entalpi bir sistemin hal fonksiyonu olup, bir sistem için sabit basınçtaki mevcut ısı enerjisinin ölçüsüdür. Endotermik süreçler için $\Delta H = 0$ 'dır (Atkins ve Jones, 1999).

Deneyin Adı: Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar

Deneyin Amacı: Ekzotermik ve endotermik reaksiyonların ilkelerinin öğrenilmesi.

Deneyin Hedefleri: Öğrenciler;

- Ekzotermik ve endotermik reaksiyonları tanımlar.
- Endotermik bir reaksiyondaki entalpi değişimini (ΔH) tanımlar.
- Laboratuvar güvenlik kurallarını uygular.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Hidrojen peroksit (H_2O_2)
- Saf su
- Mezür
- Deney tüpü
- Termometre
- Tahta çubuk
- Kibrit
- Kronometre
- Tüplük
- Kâğıt havlu
- Toz şeker
- Bezelye büyüklüğünde 2 parça karaciğer (tavuk veya sığır eti de olabilir)

Güvenlik Bilgileri

- Hidrojen peroksit tahriş edici özelliğe sahiptir. Eğer cildiniz ile temas ederse su ve sabunla birkaç dakika yıkayın. Gözünüz ile temas ederse de on beş dakika göz banyosu yapın ve hemen tıbbi yardım isteyin.
- Hiçbir kimyasalın tadına bakmayın ve yutmayın.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Ekzotermik Reaksiyon (Protein Sindirimi)

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.

2. Aşağıdaki malzemeleri hazırlayın.

- H_2O_2
 - Saf su
 - Tahta çubuk
 - Mezür
 - Deney tüpü
 - Tüplük
 - Kibrit
 - Kâğıt havlu
 - Kronometre
 - Termometre
- Bezelye büyüklüğünde 2 tane karaciğer parçası (tavuk veya sığır eti de olabilir)

3. 5 mL saf suyu deney tüpüne dökün ve bu tüpü A olarak etiketleyin.

4. 5 mL %3'lük H_2O_2 'i deney tüpüne dökün ve bu tüpü de B olarak etiketleyin.

5. Saf su bulunan A tüpüne termometreyi yerleştirin.

6. Saf suyun başlangıç sıcaklığını, Tablo 4.10.'a kaydedin.

7. Saf su içerisine bir parça karaciğer atıp 180 saniye boyunca, 30 saniye aralıklarla gözlenen sıcaklık değişimini Tablo 4.11.'e kaydedin.

8. Tahta çubuğu bir kibritle yakın, kor haline geldiğinden emin olduktan sonra, A tüpünün içine daldırın ve gözlemlerinizi Tablo 4.10.'a kaydedin.

9. Tablo 4.10.'a bitiş sıcaklığını kaydedin.

10. Termometreyi bir kâğıt havlu ile silerek temizleyin ve B tüpünün içerisine yerleştirin.

11. H_2O_2 'in başlangıç sıcaklığını Tablo 4.10.'a kaydedin.

12. H_2O_2 içerisine bir parça karaciğer atıp 180 saniye boyunca, 30 saniye aralıklarla gözlenen sıcaklık değişimini Tablo 4.11.'e kaydedin.

13. Tahta çubuğu bir kibritle yakın, kor haline geldiğinden emin olduktan sonra, B tüpünün içine daldırın ve gözlemlerinizi Tablo 4.10.'a kaydedin.

14. Tablo 4.10.'a bitiş sıcaklığını kaydedin.

15. Bütün malzemeleri temizleyin ve atıklarınızı geri dönüşüm kutularına atın.

Tablo 4.10. Sıcaklık Ölçümleri ve Gözlem Sonuçları

Deney Tüpü	Başlangıç sıcaklığı, °C	Karaciğer ekledikten sonraki gözlemler	Bitiş sıcaklığı, °C	Tüpe yerleştirilen çubukta gözlenen değişimler
A (H ₂ O)				
B (H ₂ O ₂)				

Tablo 4.11. Belirtilen Zamanlarda Ölçülen Sıcaklık Değerleri

Deney Tüpü	0 s	30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s
A (H ₂ O)							
B (H ₂ O ₂)							

Endotermik Reaksiyon

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.
2. Aşağıdaki malzemeleri hazırlayın.
 - Toz şeker
 - Saf su
 - Mezür
 - Deney tüpü
 - Tüplük
 - Termometre
3. 10 mL saf suyu ölçün ve bir deney tüpüne dökün.
4. Deney tüpünü tüplüğe yerleştirin.
5. Suyun içerisine bir termometre yerleştirin ve başlangıç sıcaklığını Tablo 4.12.'ye kaydedin.
6. 3 g toz şekeri hızlıca ekleyin. Şekerin hepsinin çözünmesine gerek yok.
7. 60 saniye boyunca 10 saniye aralıklarla, sonra da 180 saniyeye kadar 30 saniye aralıklarla gözlenen sıcaklık değişimini Tablo 4.12.'ye kaydedin.
8. Bütün malzemeleri temizleyin ve atıklarınızı geri dönüşüm kutularına atın.

Tablo 4.12. Suyun Belirtilen Zamanlarda Ölçülen Sıcaklık Değerleri

	0 s	10 s	20 s	30 s	40 s	50 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180s
Su sıcaklığı, °C											

Deney İle İlgili Sorular

1. A tüpü içinde ekzotermik ya da endotermik bir reaksiyon gerçekleşti mi? Nasıl anlarsınız?
2. B tüpü içinde ekzotermik ya da endotermik bir reaksiyon gerçekleşti mi? Nasıl anlarsınız?
3. Proteinin sindirim işlemi süresince sıcaklığın nasıl değiştiğini açıklayın.
4. Toz şeker ve su bulunan deney tüpü içinde ekzotermik ya da endotermik bir reaksiyon gerçekleşti mi? Nasıl anlarsınız?
5. Toz şeker ve su ile reaksiyon işlemi süresince sıcaklığın nasıl değiştiğini açıklayın.

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluşuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Deney sırasında ihtiyaç olan miktarda malzeme kullanıldı. Böylece atık oluşumu engellendi.

5. İlke: Yardımcı maddeler mümkün olduğunca az ve zararsız halde kullanılmalıdır.

Deneyde, ekzotermik ve endotermik reaksiyon kavramı, mümkün olduğunca az ve zararsız kimyasallar kullanılarak anlatılmaya çalışılmıştır. Örneğin; endotermik reaksiyon anlatılırken, amonyum tiyosiyanit (NH_4SCN) ile baryum hidroksit $\text{Ba}(\text{OH})_2$ gibi daha zararlı kimyasallar da kullanılabilirdi. Bunun yerine toz şeker ve su gibi son derece zararsız maddeler tercih edilmiştir.

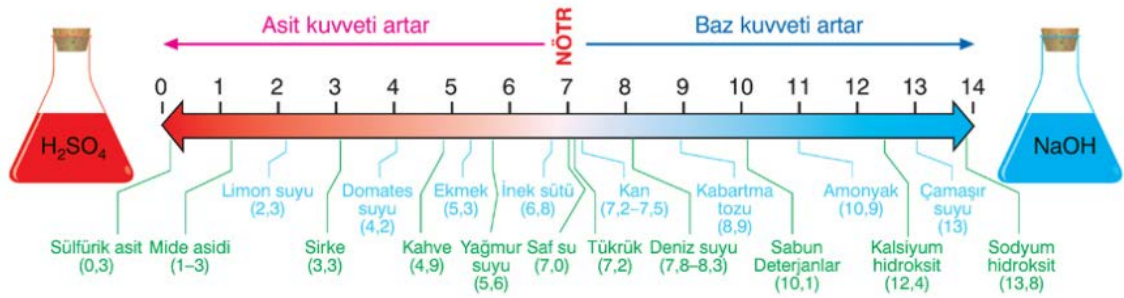
12. İlke: Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir.

Deney sırasında gerekleŒen tepkimelerde zararlı gazlar aıĒa ıkmadıĒı için atmosfere zarar vermez. Ayrıca kullanılan kimyasallar patlama Œeklinde reaksiyon vermez. Bu yüzden, kaza ihtimali minimumdur. Endotermik tepkimenin anlatılması için kullanılan ve yukarıda da bahsedilen deneyde (amonyum tiyosiyanit ile baryum hidroksit arasındaki tepkimede) NH_3 gazı aıĒa çıkar. Bu nedenle deney mutlaka eker ocakta yapılmalıdır (Beyond Benign, 2015).



4.1.11. Asitler, Bazlar ve pH

Bir asit olan aspirin ve bir baz olan magnezya sütü bize tanıdık gelmekle birlikte, bunların kimyasal adlarının asetilsalisilik asit (aspirin) ve magnezyum hidroksit (magnezya sütü) olduğu bilinmektedir. Asitler ve bazların çoğu ilaç ve ev ürünlerinin temel maddesidir. Ayrıca asit-baz kimyası sanayide ve biyolojik işlemlerde oldukça önemlidir. Asit ve bazların genel özellikleri aşağıda verilmiştir.



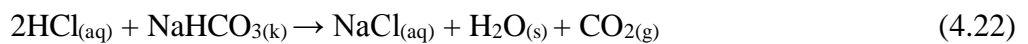
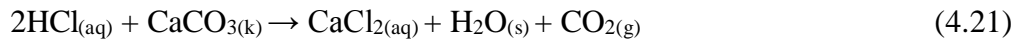
Şekil 4.7. Bazı maddelerin pH değerleri

Asitler

- Asitlerin tadı ekşidir. Örneğin; sirkenin ekşiliği asetik asit yüzündendir. Limon ve diğer turuncgiller sitrik asit içerir.
- Asitler turnusol kâğıdında renk değişimine neden olurlar. Örneğin; mavi turnusol kâğıdının rengini kırmızıya çevirirler.
- Asitler çinko, magnezyum ve demir gibi metallerle tepkimeye girerek hidrojen gazı açığa çıkarırlar. Örneğin; hidroklorik asit ve magnezyum arasında meydana gelen tepkime şöyledir:



- Asitler karbonatlarla (Na_2CO_3 , CaCO_3 gibi) ve NaHCO_3 gibi bikarbonatlarla tepkimeye girerek CO_2 gazı açığa çıkarırlar. Örneğin;



- Sulu asit çözeltileri elektrik akımını iletirler (Chang, 2011).

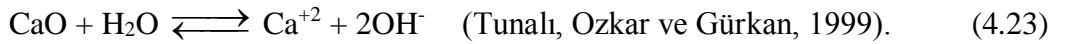
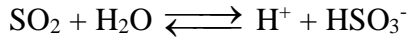
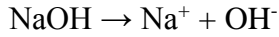
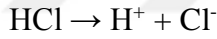
Bazlar

- Bazların tatları acıdır. Örneğin; diş macununun acılığı sodyum karbonat yüzündendir. Alçı ve çimento kalsiyum hidroksit içerir.
- Bazlar kayganlık hissi verirler. Örneğin; sabunlar, baz içerdiklerinden, bu özelliği gösterirler.
- Bazlar turnusol kağıdında renk değişimine neden olurlar. Örneğin; kırmızı turnusol kağıdının rengini maviye çeviriler.
- Sulu baz çözeltileri elektrik akımını iletirler (Chang, 2011).

Asit ve bazların bazı önemli tanımları aşağıdaki gibidir.

1. Arrhenius Asit-Baz Tanımı

Sudaki çözeltilerinde H^+ iyonu oluşturabilen maddelere asit, OH^- iyonu oluşturabilen maddelere de baz denir.



2. Bronsted-Lowry Asit-Baz Tanımı

1923 te J. N. Braonsted ve T. M. Lowry birbirinden bağımsız olarak asitlerin proton veren maddeler, bazların proton alan maddeler olduğunu söylemişlerdir. Bu tanıma göre nütürleşme, bir asitten bir baza proton aktarımı olayıdır.

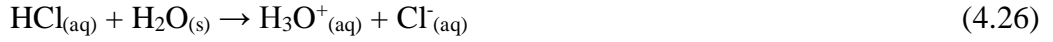


Asit1 Baz2 Asit2 Baz1 (Tunalı, Ozkar ve Gürkan, 1999)

Hidroklorik asit sulu ortamda bir proton verdiği için Bronsted asididir.



hidrojen iyonu elektronunu kaybetmiş hidrojen atomudur; yalnızca çıplak bir protondur. Protonun boyutu 10^{-15} m çapında, ortalama bir atom ya da iyon ise, yaklaşık olarak 10^{-10} m çapındadır. Protonlar, son derece küçük tanecikler olduğundan ve suyun negatif kısmı ile kuvvetle çekildiğinden, sulu çözeltilerde tek başlarına bulunamazlar. Sonuç olarak proton hidratlaşmış halde bulunur. Bundan dolayı hidroklorik asitin iyonlaşması aşağıdaki şekilde yazılmalıdır.



Hidratlaşmış proton, H_3O^+ , hidronyum iyonu olarak adlandırılır. Yukarıdaki eşitlik bir Bronsted asitinin (HCl) Bronsted bazına (H_2O) bir proton verdiğini gösterir (Chang, 2011).

3. Lewis Asit-Baz Tanımı

G. N. Lewis 1923 yılında asitleri elektron çifti alan maddeler, bazları da elektron çifti veren maddeler olarak tanımlamıştır. Bu tanım kapsam olarak Bronsted-Lowry tanımından daha geniştir. Proton içermeyen bileşikler arasındaki tepkimeler de bu tanıma göre asit-baz tepkimeleridir. Ancak iki tanım arasında bir uyum vardır. Bronsted-Lowry'ye göre asitler artı yüklü tanecik (proton) veren maddeler olduğu halde, Lewis'e göre asitler eksi yüklü tanecikler (elektron çifti) alan maddeler olarak tanımlanmaktadır. Lewis sistemine göre karakteristik asit-baz tepkimesine örnek olarak trialkilamin ile bor triflorür arasındaki tepkime verilebilir (Chang, 2010).



Trialkilaminde azot atomu üzerinde ortaklanmamış bir elektron çifti vardır. Bor triflorürde ise bor atomu oktetini tamamlayamamıştır ve bir elektron çifti eksikliği vardır. Moleküller birleşirken azot atomu üzerindeki ortaklanmamış elektron çifti N-B kovalent bağının oluşmasında kullanılır (Tunalı, Özkar ve Gürkan, 1999).

pH ve pOH kavramları

Çözeltilerin asitlik ve bazlığı 'pH ve pOH' kavramları ile ifade edilir. pH ve pOH, 1 ile 14 arasında tanımlanmış olup formülleri

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] \quad (4.28)$$

şeklindedir.

Çok seyreltik çözeltilerdeki H_3O^+ derişimi çok küçüktür. pH skalası kullanılarak çok küçük rakamlar ile ifade edilen $[\text{H}^+]$ iyonu derişimini tam sayılarla ifade edilebilmektedir. Örneğin; hidrojen iyon derişimi $1,0 \times 10^{-4}$ mol/L olan bir çözeltinin pH değeri 4'tür.

Oda sıcaklığında saf suyun hidrojen iyonu $[\text{H}^+]$ derişimi $1,0 \times 10^{-7}$ mol/L olarak bulunmuştu. Saf suyun pH değeri

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (1,0 \times 10^{-7}) = 7 \text{ dir.} \quad (4.29)$$

Çözeltiler;

pH < 7 ise, çözelti asidik

pH > 7 ise, çözelti bazik

pH = 7 ise çözelti nötrdür (Bağ ve diğerleri, 2011).

İndikatör

İndikatör, pH değıştikçe çözeltide renk değıştiren zayıf asit veya zayıf baz özelliği gösteren organik yapılı bileşiklerdir. Bunların asidik veya bazik şekillerinin renkleri farklıdır (Bağ ve diğerleri, 2014).

Deneyin Adı: Günlük Hayatta Kullanılan Asitler, Bazlar ve İndikatörler

Deneyin Amacı: Evde bulunan kimyasal ve malzemelerle asit, baz ve pH kavramlarının öğrenilmesi.

Deneyin Hedefi: Öğrenciler;

- pH metre, pH veya turnusol kâğıdı ve/veya indikatör kullanarak pH belirler.
- Pancar suyu, kırmızı lahana suyu ve yaban mersini suyunun pH'sını ölçer.
- Doğal indikatörler kullanarak evde bulunan maddeleri asit ya da baz olarak sınıflandırır.

- Evde bulunan bütün maddeler içinde en iyi doğal indikatörün hangisi olduğunu belirler.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Limon suyu
- Portakal suyu
- Kuşburnu çayı
- Sirke
- Soda
- Süt
- Tuzlu su
- Saf su
- Kabartma tozu
- Geri dönüşümlü bulaşık deterjanı
- Çeşitli doğal indikatörler (Kırmızı lahana, yaban mersini, pancar suyu)
- pH metre
- pH kâğıdı
- Turnusol kâğıdı
- Beher
- Baget
- Pipet
- Damlalık
- Şampuan
- Isıtıcı

Güvenlik Bilgileri

- Kimyasal maddeler cildiniz ile temas ederse su ve sabunla birkaç dakika yıkayın.
- Kimyasal maddeler gözünüz ile temas ederse on beş dakika göz banyosu yapın ve hemen tıbbi yardım isteyin.
- Sıcaklık yükselirken ısıtıcıya dokunmayın çünkü ısıtıcı yanıklara neden olabilir.
- Hiçbir kimyasalın tadına bakmayın ve yutmayın.
- Deneyinizi tamamladıktan sonra ellerinizi iyice yıkayın.

Deneyin Yapılışı

1. Koruyucu gözlük ve eldivenlerinizi takın.

2. Kırmızı lahanayı küçük parçalar halinde kesip üzerine bir miktar sıcak su dökün. Hazırlanan karışımın sıcaklığı oda sıcaklığına gelinceye kadar bekleyin.
3. Karışım soğuduktan sonra lahana yapraklarını sıvı kısımdan ayırın.
4. 2. ve 3. basamaktaki işlemleri pancar ve yaban mersini için de tekrarlayın.
5. pH kâğıdı ya da pH metre kullanarak hazırlamış olduğunuz doğal indikatörlerin pH aralığını belirleyin ve renklerini gözlemleyip sonuçları Tablo 4.13.'e kaydedin.
6. Üç ayrı behere doğal indikatörlerden onar mL ekleyin ve her bir indikatörün üzerine limon suyu damlatarak gözleyin ve gözlemlerinizi Tablo 4.14.'e kaydedin.
7. Gözlemlerinizi tamamladıktan sonra beherdeki malzemeleri atık kutusuna boşaltarak yıkayın.
8. Limon ile yaptığınız işlemleri kabartma tozu, süt, sirke gibi deney listesindeki diğer malzemeler ile de tekrarlayarak renk değişimlerini Tablo 4.14.'e kaydedin.
9. pH kâğıdı ya da pH metre ile doğal indikatörler dışındaki tüm malzemelerin pH'larını ölçün ve Tablo 4.14.'e kaydedin.
10. pH metre ve pH kâğıdı kullanarak limon, kabartma tozu, süt, sirke gibi deney listesindeki malzemelerin pH aralığını ve renk aralığını belirleyin ve Tablo 4.14.'e kaydedin.

Tablo 4.13. İndikatörlerin pH Aralığı ve Çözelti Renkleri

Çözelti	pH	Renk
Kırmızı Lahana Suyu Çözeltisi		
Pancar Suyu Çözeltisi		
Yaban Mersini Suyu Çözeltisi		

Tablo 4.14. Maddelerin Doğal İndikatörlerdeki Gözlem Sonuçları

Madde	Kırmızı lahana suyundaki rengi	Pancar suyundaki rengi	Yaban mersini suyundaki rengi	Asit veya baz	Tahmini pH
Sirke					
Limon suyu					
Portakal suyu					
Kuşburnu çayı					
Süt					
Saf su					
Tuzlu su					
Soda					
Geri dönüşümlü bulaşık deterjanı					
Şampuan					

Deney İle İlgili Sorular

1. Nötral maddelerin belirlenmesinde indikatörler ne renk aldı?
2. Kırmızı lahana suyu çözeltisi asidi ve bazı belirlerken ne renk aldı?
3. Pancar suyu çözeltisi asidi ve bazı belirlerken ne renk aldı?
4. Yaban mersini suyu çözeltisi asidi ve bazı belirlerken ne renk aldı?
5. Bu üç indikatör arasında en iyi çalışan hangisidir ve neden?

Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk

1. İlke: Atıklar oluşuktan sonra onları temizlemektense hiç atık oluşturmamak daha iyidir.

Deneyin yapım aşamasında çok az miktarda madde kullanılması atık oluşumunu büyük oranda azaltmıştır.

5. İlke: Yardımcı maddeler mümkün olduğunca az ve zararsız halde kullanılmalıdır.

Deney yapımında oldukça az ve evde bulunan doğal maddeler tercih edilmiştir.

6. İlke: Enerji gereksinimleri çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip en aza indirgenmelidir.

Deney sırasında yoğun ve uzun bir ısı işlem uygulanmaması deneyin yapılması için gerekli olan enerji gereksinimini en aza indirger.

12. İlke: Kimyasal bir işlemde kullanılan maddeler, atmosfere karışma, yangın ve patlama gibi kimyasal kaza ihtimallerini en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir.

Deney yapımında doğal ve evde bulunan maddeler kullanıldığı için kimyasal kaza ihtimali de minimum seviyeye indirilmiştir (Beyond Benign, 2015).



4.2. KİMYA LABORATUVARLARINDA UYGULANAN DENEYLER

Üniversitelerin kimya laboratuvarlarında uygulanan deneylerin çok büyük bir kısmı yeşil kimya kavramı ortaya çıkıp yaygınlaşmadan önce akademik müfredata dâhil olan deneylerden oluşmaktadır. Bu deneylerin tasarlanma aşamasında yeşil kimya kavramı ve ilkeleri bulunmadığı gibi birçoğunda göze çarpan bir çevreci yaklaşım da gözlemlenmemektedir. Bu deneylerden bazıları, yeşil kimya ilkeleri ile uyumlu halleriyle aradaki farklarının daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıda verilmiştir. Ayrıca yeşil kimya ilkelerine göre hazırlanan ‘Mol, atom, gram’ ve ‘Gazların çözünürlüğü üzerine sıcaklığın etkisi’ deneylerinin Türkiye’deki üniversitelerin kimya laboratuvarlarında uygulanan örneğine basılı metinlerde ulaşılamamıştır.

4.2.1. Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi

Deneyin Adı: Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi

Deneyin Amacı: Yeşil kimyanın 12 temel ilkesinin incelenmesi

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Yağsız süt tozu
- Beyaz sirke
- Kabartma tozu
- Bir kutu pancar konservesi
- Sim tozu
- Dezenfektan mendil
- İzopropil alkollü mendil
- Beher
- Mezür
- Huni
- Spor
- Termometre
- Plastik kaşık
- Baget
- Pens
- Süzgeç kâğıdı
- Elektronik terazi
- Isıtıcı

Deneyin Yapılışı

1. 40 g yağsız süt tozunu 100 mL yağsız süt oluşturacak şekilde sulandırın.
2. Bu karışımın 50 mL’sini 100 mL’lik behere koyun. Kalan sütü sıvı atık kutusuna dökün.

3. Dört parça pancarı alıp sütün içine ekleyin. Pancarın geri kalanını da atın.
4. Pancar ve sütü 30 dakika plastik kaşıkla karıştırın.
5. Pancarları pens yardımı ile süttten çıkarıp atın. Artık sütünüz kırmızımsı pembe bir renk almış olmalı.
6. Pembe renk alan sütünüzü 45 °C'ye kadar ısıtın.
7. Mezür kullanarak ölçtüğünüz 20 mL sirkeyi, içinde sütün bulunduğu behere koyun.
8. Plastik bir kaşıkla yavaş yavaş karıştırarak ısıtmaya devam edin.
9. Pıhtılaşır pıhtılaşmaz ısıtıcıdan indirin.
10. Pıhtılaşmış sıvıyı, süzgeç kâğıdını her seferinde değiştirmek şartıyla iki kez süzün. Süzüntüyü sıvı atık kutusuna atın.
11. Geride kalan katıya kazein denir. İzopropil alkollü mendil kullanarak kazein içindeki sirke kalıntılarını uzaklaştırın.
12. Elde ettiğiniz kazeinin içine 4,75 g kabartma tozu ve 0,5 g sim tozu ekleyerek baget ile karıştırın.
13. Karışımın üzerine 30 mL su ekleyin.
14. Karışımı kuru bir yerde birkaç gün bekleterek suyun bir kısmını buharlaştırın. Bu işlem sonucunda yoğun bir tutkal elde etmiş olursunuz.
15. Dezenfektan mendil ile çalıştığınız yeri silin ve mendili çöp kutusuna atın.
16. Sıvı atık konteynırını lavaboda durulayın (Beyond Benign, 2015).

4.2.2. Bileşikler

Deneyin Adı: FeS Bileşimini Oluşturma

Deneyin Amacı: Demir ile kükürt elementlerinden kimyasal yolla demir sülfür (FeS) bileşiminin elde edilmesi.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Demir tozu
- Kükürt tozu
- Deney tüpü
- Saat camı
- Mıknatıs
- Spatül
- Maşa
- Bunzen beki / Isıtıcı

Deneyin Yapılışı

1. Eşit miktarda kükürt, demir tozu ve bu iki maddeden oluşan karışımı ayrı ayrı saat camına koyun.
2. Bir mıknatısı bu üç saat camının altında gezdirin. Gözlemlerinizi not edin.
3. Eşit miktarda kükürt ve demir tozundan oluşturulan karışımı bir deney tüpüne yerleştirin.
4. Şiddetli olmayan alevle bunzen bekini yakın ve deney tüpünü ısıtın.
5. Karışım kor halini aldığı anda/parlamaya başladığında, tüpü bekten uzaklaştırın.
6. Tüpte meydana gelen değişimleri gözlemleyin (eğer korlaşma azalırsa tekrar ısıtın).
7. Deney tüpünde sarı renkli kükürt tozu (solunmaması gerekiyor) kalmayınca kadar ısıtma işlemine devam edin.
8. Isıtma işlemi tamamlandıktan sonra tüpte oluşan demir sülfür bileşimini soğumaya bırakın.
9. Yeni oluşan ürünü saat camına koyarak değişiklikleri gözlemleyin.
10. Bir mıknatıs ile FeS'ü test edin. Gözlemlerinizi not edin (Sayılkan ve diğerleri, 2012).

4.2.3. Çözünürlük

Deneyin Adı: Katıların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Deneyin Amacı: Katıların çözünürlüğü üzerine sıcaklığın etkisinin incelenmesi.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Borik asit (H_3BO_3)
- Amonyum sülfat ($(NH_4)_2SO_4$)
- Potasyum kromat (K_2CrO_4)
- Potasyum nitrat (KNO_3)
- Sodyum klorür ($NaCl$)
- Saf su
- Beher
- Mezür
- Deney tüpü
- Huni
- Bakır (II) sülfat pentahidrat ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
- Cam çubuk
- Kıskaç
- Etüv
- Termometre
- Tıpa
- Terazî
- Spor
- Amyant tel
- Isıtıcı

Deneyin Yapılışı

1. Uygun büyüklükte deney tüpü veya beher alarak içerisine bir magnet koyun.
2. Yukarıdaki maddelerden birini (1 gram ile 5 gram arasında) uygun miktarda iyice toz hale gelmiş şekilde tartarak tüpe (veya behere) koyun.
3. Beherin (veya tüpün) dışına, çözünmeden kalan maddenin yüksekliğini ölçmek için milimetrik bir şerit yapıştırın.
4. Behere 15 mL su ilave ederek, termometreyi yerleştirin ve ısıtıcı magnetik karıştırıcıyı çalıştırın.
5. Yavaş yavaş beherdeki suyun $100\text{ }^{\circ}C$ 'ye kadar ısınmasını sağlayın.
6. Karıştırıcıyı kapatarak, 10 dakika çözünmeyen maddenin çökmesini bekleyin.

7. Beherdeki sıcaklık 85 °C'ye düştüğünde, milimetrik şeritten çözüñmeden kalan tuzun yüksekliğini ve o andaki sıcaklığı not edin.
8. Tüpteki çözeltiliyi karıştırarak ve soğutarak deneyi 70 °C, 55 °C, 40 °C ve 25 °C'de tekrarlayarak çözüñmeden kalan tuz yüksekliklerini ve sıcaklıkları ölçerek not edin.
9. 25 °C'de tüpte çözüñmeden kalan maddeyi, darası alınmış süzgeç kâğıdından süzün.
10. Etüvde kurutup tartın.
11. 25 °C'de tüpü aynı konumda behere yerleştirin.
12. 25 °C'de çözüñmeden kalan tuz yüksekliği kadar su ile doldurun.
13. Suyun hacmini mezürle ölçün. Bu işlemi, diğer sıcaklıklardaki yükseklikler için yenileyin (Sayılkan ve diğerleri, 2012).

4.2.4. Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri

Deneyin Adı: Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri

Deneyin Amacı: Yükseltgenme-indirgenme tepkimelerinin incelenmesi.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Karbon tetraklorür (CCl_4)
- Sodyum nitrit (NaNO_2)
- Potasyum iyodür (KI)
- Bakır şerit
- 0,1 M Gümüş nitrat (AgNO_3) çözeltisi
- 0,1 M Bakır sülfat (CuSO_4) çözeltisi
- Derişik nitrik asit (HNO_3) çözeltisi
- Derişik sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi
- Çinko levha
- Deney tüpü
- Spatül

Deneyin Yapılışı

1. Bir deney tüpüne 2 mL 0,1 N AgNO_3 çözeltisi koyup üzerine 3 mL saf su ekleyin. Bu çözeltiliye küçük bir parça bakır şerit (~0,2 g) atın ve 5-10 dakika süreyle gözleyerek gözlemlerinizi yazın.
2. Bir deney tüpüne küçük bir parça bakır şerit (~0,2 g) atıp üzerine 3 mL derişik HNO_3 çözeltisi ekleyin ve 5-10 dakika süreyle gözleyerek gözlemlerinizi yazın.
3. 400 mL'lik bir beheri yarısına kadar musluk suyu ile doldurun ve suyu kaynatın. 2 nolu işlemde hazırlanan çözeltiliye kaynayan suyun içine koyarak gaz çıkışı bitine kadar bekletin ve gözlemlerinizi yazın.
4. 3 nolu işlemdeki çözeltiliye küçük bir parça çinko (~0,2 g) metali atın ve 10 dakika süreyle gözleyerek gözlemlerinizi yazın.

5. Bir deney tüpüne 2 mL CuSO_4 çözeltisi koyup üzerine 3 mL saf su ekleyin. Bu çözeltiye küçük bir parça çinko (~0,2 g) metali atın ve 5-10 dakika süreyle gözleyerek gözlemlerinizi yazın.
6. Bir deney tüpüne bir spatül ucu kadar (~0,1 g) KI koyup üzerine 10 mL saf su ekleyin tümü çözüne kadar tüpü sallayarak çözeltiyi karıştırın. Bu çözelti üzerine KI kadar (~0,1 g) NaNO_2 ekleyin ve tüm NaNO_2 çözüne kadar tüpü sallamaya devam edin.
7. 6 nolu işlemde hazırlanan çözeltiye 1 damla derişik H_2SO_4 çözeltisi ekleyin ve tüpü sallayarak tepkimenin sonlanmasını bekleyin. Çözelti duru ise üzerine 1-2 mL CCl_4 'ü doğrudan ekleyin. Çözelti duru değilse, duru olan bir kısmını ayrı bir deney tüpüne aldıktan sonra yine üzerine 1-2 mL CCl_4 ekleyin. Tüpü sallayarak CCl_4 'ün tüpün dibinde toplanmasını sağlayın. Gözlemlerinizi yazın (Güler, Sarıaydın ve Ulusoy, 1996).

4.2.5. Stokiyometri

Deneyin Adı: Stokiyometri

Deneyin Amacı: Bir ayrışma reaksiyonu incelenerek stokiyometri kavramının öğrenilmesi.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Mangan dioksit (MnO_2)
- Potasyum klorat ($KClO_3$)
- Potasyum klorür (KCl)
- Deney tüpü
- Spatül
- Tahta veya metal maşa

Deneyin Yapılışı

1. Temiz ve kuru bir deney tüpüne bir spatül ucu kadar MnO_2 konur ve tüp içindekiyle birlikte hassas bir şekilde tartılır.
2. 1 gram kadar $KClO_3$ ilave edilir ve deney tüpü tekrar tartılır.
3. Deney tüpü avuç içine hafif hafif vurulmak suretiyle içindeki maddelerin karışması sağlanır.
4. Tüp 45° 'lik açıyla spora tutturulur ve bek alevinde hafifçe ısıtılır. Bu işleme katı madde eriyinceye kadar devam edilir.
5. Katı tamamen eridikten sonra tüp birkaç dakika mümkün olduğu kadar şiddetle ısıtılır, soğumaya bırakılır ve tartılır.
6. Temiz ve kuru bir deney tüpüne yine bir spatül ucu kadar MnO_2 (katalizör olarak) konur ve hassas şekilde tartılır.
7. Bilinmeyen bir $KClO_3+KCl$ karışımı alınır. Bu karışımdan 1 g deney tüpüne konur ve tekrar tartılır.
8. Avuç içine vurularak iyice karışması sağlanır.
9. Daha sonra yukarıda anlatıldığı şekilde ısıtılır, soğutulmaya bırakılır ve tartılır (Aktaş ve Kirman, 2014).

4.2.6. Elektron Geçişleri (Alev Denemesi)

Deneyin Adı: Alev Denemesi ile Katyonların Nitel Analizi

Deneyin Amacı: Görünür bölgede emisyon yapan Li^+ , Na^+ , Cu^+ , Ba^+ , Ca^+ , Fe^+ gibi katyonların uçucu tuzlarının yaydıkları ışığın renginden faydalanarak kalitatif tayininin yapılması.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Lityum klorür (LiCl)
- Bakır klorür (CuCl_2)
- Baryum klorür (BaCl_2)
- Kalsiyum klorür (CaCl_2)
- Krom (II) klorür (CrCl_2)
- Demir (II) klorür (FeCl_2)
- Derişik HCl çözeltisi
- Platin tel

Deneyin Yapılışı

1. Alev denemesi deneyinde kullanılan platin telde, alevi renklendiren herhangi bir yapışmış madde bulunmamalıdır.
2. Telin ucu küçük bir halka şeklinde kıvrılır ve şöyle temizlenir: Tel deney tüpündeki derişik HCl çözeltisine batırılır ve alevde kızıl dereceye kadar ısıtılır.
3. Eğer alev renkli ise tel tekrar aside batırılır ve alevde tekrar ısıtılır. Bu işlem platin telin alevde renk vermeyinceye kadar tekrarlanır.
4. Bir alev denemesi yapmak için temiz platin telin halkası denenecek çözeltiliye batırılır ve sonra tel renksiz bir gaz alevinin oksitleyici kısmına tutulur ve oluşan renk gözlenir (Aktaş ve Kirman, 2014).

4.2.7. Çöktürme Reaksiyonları

Deneyin Adı: Çöktürme Reaksiyonları

Deneyin Amacı: Kurşun iyodürün çöktürme reaksiyonunun incelenmesi.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Kurşun nitrat ($Pb(NO_3)_2$)
- Potasyum iyodür (KI)
- Cam huni
- Mezür
- Beher
- Saat camı

Deneyin Yapılışı

1. Bir beherde yaklaşık 20 mL su içinde 1 g kurşun nitrat; başka bir beher içinde, yine yaklaşık 20 mL suda 1 g potasyum iyodür çözülür ve bu iki çözelti karıştırılır.
2. Meydana gelen sarı renkli çökelek çözününceye kadar çözeltiliye su (300 mL) ilave edilir ve ısıtılır. (Bu işlem için çok miktarda su gerektiğinden, büyük bir beher içinde çalışılmalıdır).
3. Kaynar haldeki çözelti, kırmalı süzgeç kâğıdı bulunan bir huni ile başka bir behere süzülür.
4. Süzme işleminden önce huninin kaynamakta olan suyun buharına tutularak ısıtılması gerekir.
5. Toplanan süzüntüler buz içinde soğutularak kristallendirilir.
6. Süzülen kristaller kurutulur (Gürek, 2017).

4.2.8. Katalizörler

Deneyin Adı: Tepkime Hızına Katalizörün Etkisi

Deneyin Amacı: Katalizörün tepkime hızına etkisinin öğrenilmesi.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Erlen
- Hidroklorik asit (HCl) çözeltisi
- Sodyum okzalat ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) çözeltisi
- Potasyum permanganat (KMnO_4) çözeltisi
- Mangan (II) sülfat (MnSO_4) çözeltisi
- Tıpa

Deneyin Yapılışı

Adım 1

1. Erlenin içerisine 25 mL sodyum okzalat çözeltisi koyun.
2. Üzerine %20'lik HCl çözeltisinden 10 mL ilave edin.
3. Elde ettiğiniz karışıma 25 mL KMnO_4 çözeltisinden koyun. Vakit kaybetmeden erlenin tıpasını kapatın.
4. Açığa çıkan CO_2 gazının miktarını gaz toplama tüpünden okuyun.

Adım 2

1. Erlenin içerisine 25 mL sodyum okzalat çözeltisi koyun.
2. Üzerine %20'lik HCl çözeltisinden 10 mL ilave edin.
3. Karışıma 10 mL MnSO_4 çözeltisinden (katalizör olarak) ilave edin.
4. Elde ettiğiniz karışıma 25 mL KMnO_4 çözeltisinden koyun. Vakit kaybetmeden erlenin tıpasını kapatın.
5. Açığa çıkan CO_2 gazının miktarını gaz toplama tüpünden okuyun (Doğan, 2006).

4.2.9. Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar

Deneyin Adı: Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar

Deneyin Amacı: Ekzotermik ve endotermik reaksiyonların ilkelerinin öğrenilmesi.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Derişik sülfürik asit (H_2SO_4)
- Amonyum klorür (NH_4Cl)
- Sitrik asit ($C_6H_8O_7$)
- Magnezyum tozu ve şeridi
- Sodyum hidroksit ($NaOH$) çözeltisi
- Seyreltik hidroklorik asit (HCl) çözeltisi
- Sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) çözeltisi
- Seyreltik sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi
- Bakır (II) sülfat ($CuSO_4$) çözeltisi
- Su
- Deney tüpü
- Termometre

Deneyin Yapılışı

Reaksiyon 1:

1. Deney tüpünün içine 2 mL musluk suyu koyun.
2. 10 damla derişik H_2SO_4 ilave edin.
3. Tüpe dokun ve sıcaklığını kaydedin (termometreyi su ile yıkarken çok dikkat edin).

Reaksiyon 2:

1. Test tüpüne 1 spatül NH_4Cl koyun.
2. 2 mL su ilave edin.
3. Tüpü kapatın ve karıştırın. Çözeltinin sıcaklığında ve malzemenin görüntüsünde herhangi bir değişiklik var mı gözlemleyin ve not edin.

Reaksiyon 3:

1. Beherin içerisine 10 mL sodyum hidroksit çözeltisi koyun ve sıcaklığını ölçün. Aynı çözeltiye 10 mL seyreltik hidroklorik asit koyun, termometre ile karıştırın ve sıcaklığını ölçüp not edin.
2. (a) sodyum hidrojen karbonat ve sitrik ait
(b) bakır (II) sülfat ve magnezyum tozu
(c) seyreltik sülfürik asit ve magnezyum şerit içinde aynı prosedürü izleyin ve karıştırmadan önceki ve sonraki sıcaklıkları not ettikten sonra reaksiyonun ekzotermik mi endotermik mi olduğunu söyleyin (Sayılkan ve diğerleri, 2012).



4.2.10. Asitler, Bazlar ve pH

Deneyin Adı: Asit-Baz Tepkimeleri

Deneyin Amacı: Asit, baz ve pH kavramlarının öğrenilmesi.

Deney İçin Gerekli Olan Malzemeler

- Sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi
- Nitrik asit (HNO_3) çözeltisi
- Fenolftalein
- Deney tüpü
- Hidroklorik asit (HCl) çözeltisi
- Sodyum hidroksit ($NaOH$) çözeltisi
- Magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$) çözeltisi
- Baget
- Turnusol kâğıdı
- Etiket

Deneyin Yapılışı

1. İki deney tüpü alın birine 0,1 M $Mg(OH)_2$ diğerine ise 0,1 M $NaOH$ etiketi yapıştırın.
2. Üzerinde yazılı olan maddelerden her birine yaklaşık 1 mL koyun.
3. Bagetle her bir çözeltiden alacağınız birer damlayı kırmızı ve mavi turnusol kâğıtlarının üzerine damlatın ve sonuçlarını gözlemleyin.
4. Her bir tüpe birer damla fenolftalein çözeltisi damlatın.
5. Daha sonra tüplere damla damla 0,1 M HCl çözeltisi ilave edin.
6. Her ilaveden sonra renk kayboluncaya kadar tüpü çalkalayın.
7. Nötrleşme için gereken damla sayısını bulun ve tepkime denklemlerini yazın.
8. İki yeni deney tüpü alarak birini 0,1 M HNO_3 ve diğerini 0,1 M H_2SO_4 olarak etiketleyin.
9. Sonra sırasıyla her bir deney tüpüne yaklaşık 1 mL çözeltilerden koyun.

10. Baget yardımıyla her bir çözeltiden alacağın damlaları mavi ve kırmızı turnusol kâğıtlarına damlatın ve sonuçları kaydedin.
11. Her tüpe birer damla fenolftalein çözeltisi damlatın.
12. Sonra damla damla 0,1 M NaOH çözeltisi ilave ederek nötralleşmenin olduğu anda her tüpe kaç damla baz ilave ettiğinizi bulun ve tepkime denklemlerini yazın (Güneş ve diğerleri, 2008).



4.3. DENEYLERİN İNCELENMESİNDEN ELDE EDİLEN BULGULAR

Çalışmada kullanılan deneylerin yeşil kimya ilkelerine uygunluk durumları içerik analizi yöntemiyle belirlenmiştir. Ek 10’da verilen ‘Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeği’ ile deneylerin ilkelere uyumluluğu incelenmiş ve daha sonra da uygunluk kazanç puanları hesaplanmıştır. Seçilen birinci deney olan ‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ deneyinin ilkeler göz önünde bulundurulmadan tasarlanmış halinin ölçeğe göre değerlendirilmiş hali Tablo 4.15.’deki gibidir. Kimya laboratuvarlarında uygulanan deneyler için yapılan değerlendirmeler ekte verilmiştir.

Tablo 4.15. İlkeler Göz Önünde Bulundurulmadan Tasarlanmış Olan ‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluşuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)		X	
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)	X		
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)	X		
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)		X	
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)			X
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)	X		
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)		X	
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)		X	
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Aynı deneyin yeşil kimyaya daha uygun hale getirilmesi için gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonraki halinin ölçeğe göre değerlendirilmiş hali Tablo 4.16.'daki gibidir. Yeşil kimya ilkelerine göre düzenlenmiş deneyler için yapılan değerlendirmeler ekte verilmiştir.

Tablo 4.16. ‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)			X
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Bu tablolardan elde edilen veriler ve kazanç puanı hesaplama formülü ile yapılan hesaplamalarla deneylerin yeşil kimyaya uygunluk durumları kazanç puanları olarak verilmiştir. Bu hesaplamada kullanılan formül:

$$\text{Kazanç Puanı} = \frac{B-A}{24-A}$$

şeklindedir. Bu formülde; B: Yeşil kimya ilkelerine göre yeniden düzenlenmiş deneyden alınan toplam puanı, A: Yeşil kimya ilkelerine göre düzenlenmemiş deneyden alınan toplam puanı ifade etmektedir. Hesaplama formülünde B ve A arasındaki farkın bölüdüğü 24 sayısı da bir deneyin tüm ilkelere uyumlu olması durumunda verilebilecek maksimum puandır. Kazanç puanı ise söz konusu deneylerin yeşil kimya ilkelerine daha uyumlu hale getirilerek edilen kazancı göstermektedir. Bu hesaplamalara göre; ‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ deneyinin yeşil kimya ilkelerine uygunluk değerlendirme ve kazanç puanları Tablo 4.17.’ deki gibidir.

Tablo 4.17. ‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Değerlendirme ve Kazanç Puanları

Deneyler	A	B	Fark	Kazanç Puanı
1. Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi	10	24	14	1

Seçilen birinci deney olan ‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ deneyinin ilkelere göre düzenlenmemiş halinin uygunluk puanı 10 iken ilkelerle uyumlu düzenlemelerle tasarlanan deneyden elde edilen puanı 24 olmuş; buna göre de uygunluk kazanç puanı 1 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre yeniden uyarlanan deneyin ilkelere fazlasıyla uygun hale getirildiği gözlemlenmiştir. Bu hesaplamalara göre deneylerin yeşil kimya ilkelerine uygunluk açısından değerlendirme ve kazanç puanları Tablo 4.18.’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4.18. Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Değerlendirme ve Kazanç Puanları

Deneyler	A	B	Fark	Kazanç Puanı
1. Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi	10	24	14	1,00
2. Mol, Atom, Gram	-	16		
3. Bir Bileşiğin Basit Formülü	7	21	14	0,82
4.1. Katıların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi	5	21	16	0,84
4.2. Gazların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi	-	20		
5. Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri	2	22	20	0,90
6. Stokiyometri	7	20	13	0,76
7. Alev Denemesi ile Katyonların Nitel Analizi	8	22	14	0,87
8. Çöktürme Reaksiyonları	4	20	16	0,80
9. Tepkime Hızına Katalizörün Etkisi	7	21	14	0,82
10. Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar	7	21	14	0,82
11. Günlük Hayatta Kullanılan Asitler, Bazlar ve İndikatörler	10	21	11	0,78

Tabloda da görüldüğü gibi yapılan düzenlemelerle deneylerin yeşil kimya ilkelerine daha uyumlu hale getirilmesi yönünde her bir deney için olumlu bir değişim göze çarpmakta ve bu durum kazanç puanları ile ortaya konmaktadır. Yeşil kimya ilkelerine en fazla uyumlu hale getirilen deney; ilkelere uyumlu olarak tasarlanmamış hali 10 puan iken ilkelere uyumlu hale getirildiğinde ölçüğe göre 24 puan alan ve böylece uyumluluk kazanç puanı hesaplama denklemine göre 1,00 kazanç puanı ile yeşil kimyanın 12 temel ilkesi deneyidir. Aradaki farkın en az olduğu gözlemlenen deney ise 0,76 kazanç puanı ile stokiyometri deneyidir. Tüm deneyler incelendiğinde yapılan değişikliklerin deneylerin belirgin bir biçimde yeşil kimya ilkelerine daha uygun hale getirilmesini sağladığı görülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

İnsanlığın karşı karşıya kaldığı enerji, ulaşım, ısınma, teknoloji, aydınlanma gibi pek çok problemin kaynağı kimya olmakla beraber, çözüm yolları da kimya biliminde saklıdır. Fakat enerji, zaman ve emek açısından ele alındığında, sorunu oluşturan etmenleri ortadan kaldırmak, sorunu çözmekten çok daha etkili bir yöntemdir. Geleneksel kimya yöntemleri ile meydana gelen olumsuzlukların kaynağında yok edilmesi için kullanılacak yöntem yeşil kimya olarak karşımıza çıkmaktadır.

2000'li yıllarda yeşil kimya, dünya genelinde üniversite sınıflarında yer almaya başlamıştır. Teorik olarak üniversitelerde yavaş yavaş kendine yer bulmaya başlayan bir çalışma alanı olsa da yeşil kimya, uzun vadede asıl etkisini laboratuvar deneylerinin yeşil kimya ilkelerini temel alarak yeniden düzenlenmesi ile gösterebilecektir.

Çevre kirliliğinin önüne geçmek, güvenli, yeşil ürünler elde etmek ve yeşil işlemler tasarlamak için ilk basamak, günümüz öğretmenlerini ve gelecek öğretmen adaylarını yeşil kimya alanında eğitmektir. Geleneksel kimya eğitiminin modern bir versiyonu olması, daha az toksik madde kullanılması, öğrenciler için güvenli bir deney ortamı sağlaması, kritik düşünme becerileri kazandırması, daha ucuz çözümler ve düzenekler kullanması ve atık miktarını azaltarak maliyeti düşürmesi, bilimsel kavramları sürdürülebilirlik ve sorumlu liderlik kavramlarıyla birleştirmesi, lisans öğrencilerinin araştırmalarda yer almalarını sağlamasından dolayı yeşil kimya, kimya lisans düzeyindeki bilim eğitimi için ideal bir odaktır.

Bu çalışmada verilen deneylerin uygulanması ile öğrenciler, kavramsal olarak yeşil kimya hakkında bilgi sahibi olmalarının yanında uygulama alanında da daha çevreci bir yaklaşım olarak yeşil kimya uygulamalarını görmüş olacaktır. Her ne kadar günümüzde yeşil kimya eğitim alanında daha fazla karşılaşılan bir kavram olsa da ülkemizde henüz yeterince ilgi görmüş bir alan olmadığı söylenebilir. Özellikle, deneysel çalışmaların yeşil kimyaya uygun hale getirilerek öğrencilere sunulması, yeşil kimyayı Eğitim fakültelerinin yanısıra Fen fakültelerinde de uygulanabilir bir forma dönüştürmüş olacaktır.

6. KAYNAKÇA

- Ahluwalia, V. K., and Kidwai, M. (2012). *New trends in green chemistry*. Springer Science & Business Media.
- Akgün, Ö. E. (2005). Bilgisayar destekli ve fen bilgisi laboratuvarında yapılan gösterim deneylerinin öğrencilerin fen bilgisi başarısı ve tutumları üzerindeki etkisi. *Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2(1).
- Aktaş, Ö ve Kirman, A. (2014). *Fen Bilgisi Öğretmenliği Genel Kimya-I Laboratuvarı Deneyleri*. Kars: Kafkas Üniversitesi Eğitim Fakültesi
- Alver, E., Demirci, A., ve Özcimder, M. (2012). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve sağlığa etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 45-52
- Anastas, P. T. and Warner, J.C., (1998), *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press; New York
- Anastas, P. T., Kirchoff, M. M., and Williamson, T. C. (2001). Catalysis as a foundational pillar of green chemistry. *Applied Catalysis A: General*, 221(1), 3-13.
- Anastas, P., and Eghbali, N. (2010). Green chemistry: principles and practice. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301-312.
- Andraos, J., and Dicks, A. P. (2012). Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2), 69-79.
- Andrew P. Dicks (2009) A review of aqueous organic reactions for the undergraduate teaching laboratory, *Green Chemistry Letters and Reviews*, 2:1, 9-21,
- Atkins, P., and L. Jones. (1999). *Temel Kimya: moleküller, maddeler ve değişimler*. (Çev. Ed. P., Kılıç, E., Köseoğlu, F. Yılmaz) Bilim Yayıncılık.
- Ayas, A., Çepni, S., Johnson, D. ve Turgut, F. (1997). *Kimya öğretimi*. Ankara: YÖK/Dünya Bankası, MEGP Projesi Hizmet Öncesi Öğretmen Eğitimi Dizisi
- Aycan, Ş., Aycan, N., Arı, E. ve Türkoğuz, S. (2001). Manisa Demirci Lisesi'nde kimya laboratuvar uygulamalarının kimya dersi başarısına etkisi üzerine bir çalışma. *IV. Fen Bilimleri Eğitimi Kongresi 2000, Bildiriler Kitabı*, 486-489. Ankara: Milli Eğitim Basımevi
- Aydın'ı yok oluşturan 12 çevre felaketi: Efelerin çığılığı. (2016). birgun.net. <https://www.birgun.net/haber-detay/aydin-i-yok-olusa-surukleyen-12-cevre-felaketi-efelerin-cigliği-105116.html> adresinden 8 Ekim 2017 tarihinde alınmıştır.
- Aydoğdu, C. (1991). *Kimya öğretiminde laboratuvarın önemi, laboratuvar teknikleri ve uygulamaları*. Hacettepe Üniversitesi Yayınlanmamış Bilim Uzmanlığı Tezi, Ankara
- Aydoğdu, C. (2000). Kimya öğretiminde deneylerle zenginleştirilmiş öğretim ve geleneksel problem çözme etkinliklerinin kimya ders başarısı açısından karşılaştırılması. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* 19, 29 – 31

- Bağ, H.(ed), Sürücü, A., Caner, F., Meriç, G., Çokadar, H., Toy, M., Tuncel, M., Doğru, M., Özden, M. ve Durkan, N. (2011). *Genel Kimya. 3.Baskı*. Ankara: Pegem Akademi.
- Bağ, H., Kendüzler, E.(ed), Sayılkan, H., Akgün, A., Saraçoğlu, S., Divrikli, Ü. ve Doğan, A. (2014). *Genel Kimya 3 Analitik Kimya. 5.Baskı*. Ankara: Pegem Akademi.
- Balcı, M. (2009). *Organik Kimya Reaksiyon Mekanizmaları.2.Baskı*. Türkiye Bilimler Akademisi Vakfı
- Bare, J. C. (2002). Traci. *Journal of industrial ecology*, 6(3-4), 49-78.
- Başakşehir'de korkutan yangın. (2015). Hürriyet. <http://www.hurriyet.com.tr/basaksehirde-korkutan-yanigin-29383301> adresinden 8 Ekim 2017 tarihinde alınmıştır.
- Beletskaya, I. P.,and Kustov, L. M. (2010). Catalysis as an important tool of green chemistry. *Russian Chemical Reviews*, 79(6), 441-461.
- Beyond Benign. (2015). *Middle School Curriculum / Beyond Benign*. [websitesi] <http://www.beyondbenign.org/cur-middle-school> sitesinden 15 Ekim 2015 tarihinde alınmıştır.
- Camargo, J. A., Alonso, A., and Salamanca, A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58(9), 1255-1267.
- Can, T., (2005), Sürdürülebilir Dünya Umudu: Yeşil Kimya, *Bilim ve Teknik*, Ocak 66-69
- Cann, M.C., (1999), Bringing State-of-the-Art, Applied, Novel, Green Chemistry to the Classroom by Employing the Presidential Green Chemistry Challenge Awards, *Journal of Chemical Education*, v76, n.12, 1639-1641
- Carson, R. (2002). *Silent spring*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Cave, G. W., Raston, C. L., and Scott, J. L. (2001). Recent advances in solventless organic reactions: towards benign synthesis with remarkable versatility. *Chemical Communications*, (21), 2159-2169.
- Chang, R. (2010). *Chemistry 10th Edition*. McGraw Hil.
- Chang, R. (2011). *Genel Kimya: Temel Kavramlar* (Çev. Ed.: Uyar, T., Asoy, S. ve İnam, R., dördüncü baskıdan çeviri). Ankara Palme Yayıncılık.
- Collins, T. J. (1995). Introducing green chemistry in teaching and research.
- Cunningham, A. D., Ham, E. Y., and Vosburg, D. A. (2010). Chemoselective Reactions of Citral: Green Syntheses of Natural Perfumes for the Undergraduate Organic Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 322-324.
- Çakmak, R., Topal, G., ve Çakmak, M. (2012). Kimya Öğretiminde Yeni Bir Kavram: Yeşil Kimya. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 5(8), 359-371
- DeKorver, B.K., and Towns, M. H. (2015). General chemistry students' goals for chemistry laboratory coursework. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2031-2037.
- DeSimone, J. M. (2002). Practical approaches to green solvents. *Science*, 297(5582), 799-803.
- Dilovası'nda kirliliğe karşı öneri. Hürriyet (2006) <http://www.hurriyet.com.tr/dilovasininda->

- kirlilige-karsi-oneri-5286902 adresinden 8 Ekim 2017 tarihinde alınmıştır.
- Dintzner, M. R., Kinzie, C. R., Pulkrabek, K., and Arena, A. F. (2011). The cyclohexanol cycle and synthesis of Nylon 6, 6: green chemistry in the undergraduate organic laboratory. *Journal of Chemical Education*, 89(2), 262-264.
- Doğan, M. (2006). Reaksiyon Hızına Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi. <http://mustafadogan2006.blogcu.com/reaksiyon-hizina-etki-eden-fak-inceleme/290013> sitesinden 1 Ekim 2017 tarihinde alınmıştır.
- Erdik, E., Sarıkaya, Y. (2014). *Temel Üniversite Kimyası. 21. Baskı. Ankara: Gazi Kitabevi*
- Ergin, Ö., Akgün, D., Küçüközer ve H. Yakal, O. (2001). Deney ağırlıklı fen bilgisi öğretimi. *IV. Fen Bilimleri Eğitimi Kongresi 2000 Bildiriler Kitabı*, 345-348 Ankara: Milli Eğitim Basımevi
- Erökten, S. (2006). Kimya Eğitiminde “Yeşil Kimya” Konusunun Öğretimi ile ilgili Çeşitli Değerlendirmeler (Yayınlanmamış Doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fornasiero, P., and Graziani, M. (Eds.). (2011). *Renewable resources and renewable energy: a global challenge*. CRC press.
- Gaziantep'te fabrika yangını: 3 ölü, 36 yaralı. (2006). Hürriyet. <http://www.hurriyet.com.tr/gaziantep-fabrika-yangini-3-olu-36-yarali-5130196> adresinden 8 Ekim 2017 tarihinde alınmıştır.
- Gebze'de boya fabrikasında yangın (2011). Hürriyet. <http://www.hurriyet.com.tr/gebze-de-boya-fabrikasinda-yangin-17308832> sitesinden 8 Ekim 2017 tarihinde alınmıştır.
- Goodwin, T. E. (2004). An asymptotic approach to the development of a green organic chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 81(8), 1187.
- Guha, N., Loomis, D., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., El Ghissassi, F., Bouvard, V., ... and Straif, K. (2012). Carcinogenicity of trichloroethylene, tetrachloroethylene, some other chlorinated solvents, and their metabolites. *Lancet Oncology*, 13(12), 1192.
- Güler, Ç., and Çobanoğlu, Z. (1997). Kimyasallar ve Çevre. *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, 50.
- Güler, H., Sarıaydın, D., ve Ulusoy, U. (1996). *Genel Kimya Laboratuvarı* (2. Baskı). Ankara: Hatiboğlu Yayınları.
- Gündüz, T. (2012). *Çevre kimyası*. 2. Baskı. Gazi Kitabevi.
- Güneş, T., Güneş, H., Çelikler, D., ve Demir, S. (2008). *Fen Bilgisi Laboratuvar Deneyleri*. Ankara: Anı Yayıncılık.
- Gürek, A. G. (2017). *KİM 114 - Genel Kimya Laboratuvarı II Föyü*. Kocaeli: Gebze Teknik Üniversitesi
- Gürpınar, T., Aşıröz, M. (2007). Baryum Bileşikleriyle Meydana Gelen Toksikasyonlar. *Toksikoloji dergisi*, 5(1-2), 5-9r.

- H Clark, J., El Deswarte, F., and J Farmer, T. (2009). The integration of green chemistry into future biorefineries. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(1), 72-90
- Hendershot, D. C. (2006). An overview of inherently safer design. *Process safety progress*, 25(2), 98-107.
- Hjeresen, D. L., David, L. S. and Boese, J. M., (2000), Green Chemistry and Education, *Journal of Chemical Education*, v77, n12, 1543-1544, 1546- 1547.
- Hoffman, A. J. (2001). *From heresy to dogma: An institutional history of corporate environmentalism*. Stanford University Press.
- Hofstein, A., and Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science education*, 88(1), 28-54.
- Hofstein, A., Nahum, T. L. and Shore, R. (2001). Assessment of the learning environment of inquiry-type laboratories in high school chemistry. *Learning Environments Research*, 4, 193–207
- Horváth, I. T., and Anastas, P. T. (2007). Innovations and green chemistry.
- İstanbul'da korkunç patlama: 2 ölü. (2011). Hürriyet. <http://www.hurriyet.com.tr/istanbulda-korkunc-patlama-2-olu-18768149> adresinden 8 Ekim 2017 tarihinde alınmıştır.
- Jessop, P. G., and Leitner, W. (Eds.). (2008). *Chemical synthesis using supercritical fluids*. John Wiley & Sons.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., ve Timur, S. (2003). Metallerin çevresel etkileri- I. *Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.
- Karaca, A., Uluçınar, Ş., ve Cansaran, A. (2006). Fen bilgisi eğitiminde laboratuvarla karşılaşılan güçlüklerin saptanması. *Milli Eğitim Dergisi*, 170, 250-259.
- Kerton, F. M., and Marriott, R. (2013). *Alternative solvents for green chemistry*(No. 20). Royal Society of Chemistry.
- Kitchens C., Charney R., Naistat D., Farrugia J., Clarens A., O'Neil A., Lisowski C. and Braun B., (2006), Completing our education. Green chemistry in the curriculum, *Journal of Chemical Education*, 83, 1126–1129
- Lancaster, M. (2016). *Green Chemistry 3rd Edition: An Introductory Text*. Royal society of chemistry.
- Lara, E. R., De la Rosa, J. R., Castillo, A. I. R., de Jesús Cerino-Córdova, F., Chuken, U. J. L., Delgadillo, S. S. F., and Rivas-García, P. (2017). A comprehensive hazardous waste management program in a Chemistry School at a Mexican university. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1486-1491.
- Leadbeater, N. E. (Ed.). (2010). *Microwave heating as a tool for sustainable chemistry*. CRC Press.

- Leonelli, C., and Mason, T. J. (2010). Microwave and ultrasonic processing: now a realistic option for industry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(9), 885-900.
- Leung, S. H. and Angel, S. A., (2004), Solvent-Free Wittig Reaction: A Green Organic Chemistry Laboratory Experiment, *Journal of Chemical Education*, v81, n10, 1492-1943
- Marteel-Parrish A. E., (2007), Toward the greening of our minds: a new special topics course, *Journal of Chemical Education*, 84, 245–247.
- Matus, K. J. M. (2009). *Green chemistry: A study of innovation for sustainable development*. Harvard University.
- McCarthy, S. M., and Gordon-Wylie, S. W. (2005). A greener approach for measuring colligative properties. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 116.
- Mckenzie, L. C., Huffman, L. M. and Hutchison, J. E., (2005), The Evolution of a Green Chemistry Laboratory Experiment: Greener Brominations of Stilbene, *Journal of Chemical Education*, v82, n2, 306-310
- Miletić, N., Nastasović, A., and Loos, K. (2012). Immobilization of biocatalysts for enzymatic polymerizations: possibilities, advantages, applications. *Bioresource Technology*, 115, 126-135.
- Morgil, İ. G. G. Seyhan ve Seçken, N. (2009). Proje destekli kimya laboratuvarı uygulamalarının bazı bilişsel ve duyuşsal alan bileşenlerine etkisi. *Türk Fen Eğitimi Dergisi*, 6(1), 89-107.
- Mullin, J. W. (2001). *Crystallization*. Butterworth-Heinemann
- Özyörük G., Salih B., Gökoğlu E., Pekmez N. (2004). *1. Analitik Kimya Laboratuvarı Nitel Analiz Uygulamaları, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Tezsirleri* No: 30, 2. baskı.
- Perina, I., (1982), Popularization of Chemistry through Ecological Topics, *Journal of Chemical Education*, v59, n12, 1016-1017
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., and Bissonette, C. (2012). *Genel kimya: ilkeler ve modern uygulamalar*. (10. baskı) (Çev. Edt. Uyar, T., Aksoy, S., İnam, R.) Ankara: Palme yayıncılık.
- Prudich, M. E., and Eykamp, W. (2008). Alternative separation processes. *Extraction (ROSE)*, 22, 17.
- Reed, S. M. and Hutchison, J. E., (2000), Green Chemistry in the Organic Teaching Laboratory: An Environmentally Benign Synthesis of Adipic Acid, *Journal of Chemical Education*, v77, n12, 1627-1629.
- Reid, N., and Shah, I. (2007). The role of laboratory work in university chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 172-185.

- Rowland, F. S. (1990). Stratospheric ozone depletion by chlorofluorocarbons. *Ambio*, 281-292.
- Sayılkan, F., Emre, F.B., Sayılkan, H. ve Bağ, H. (2012). *Genel kimya laboratuvarı 1-2* (4.baskı).
- Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons.
- Sharma, R. K., Sharma, C., and Sidhwani, I. T. (2010). Solventless and one-pot synthesis of Cu (II) phthalocyanine complex: a green chemistry experiment. *Journal of Chemical Education*, 88(1), 86-87.
- Sheldon, R. A. (2012). Fundamentals of green chemistry: efficiency in reaction design. *Chemical Society Reviews*, 41(4), 1437-1451.
- Sheldon, R. A., Arends, I., and Hanefeld, U. (2007). *Green chemistry and catalysis*. John Wiley & Sons.
- Silverman, J. R. (2016). Biobased Organic Chemistry Laboratories as Sustainable Experiment Alternatives. *Journal of Chemical Education*, 93(10), 1679-1681.
- Solbes, J., Traver, M. (2003). Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry. *Science and Education*, 12, 703-717.
- Tatar, N., Korkmaz, H. ve Ören, F. Ş. (2007). Effective tools as a developing scientific process skills in inquiry based science laboratories: vee and ı diagrams. *Elementary Education Online*, 6(1), 76-92.
- Teixeira J. M., Nedrow Byers J., Perez M. G. and Holman R.W., (2010), The question-driven laboratory exercise: a new pedagogy applied to a green modification of Grignard reagent formation and reaction, *Journal of Chemical Education*, 87, 714-716
- Tuna, M. (2011). Çevresel sorunların küreselleşmesi. *Sosyal Ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 1(2).
- Tunalı, N. K., Özkar, S., ve Gürkan, P. (1999). *Anorganik kimya*. Gazi kitabevi.
- Tundo, P., 2002-b, Green Chemistry Series no:3, IUPAC Workshop on Green Chemistry Education held in co-operation with the OECD, 12-14 September, 2001, Venice, Italy
- Tundo, P., Clemenza, L., and Perosa, A. (2001). Green Chemistry Series no. 1. *Collection of Lectures of the Summer Schools on Green Chemistry, Venice*
- Türkiye'nin Siyanür Tehlike Haritası. (2011). Bianet - Bağımsız İletişim Ağı. <https://m.bianet.org/bianet/cevre/129955-turkiye-nin-siyanur-tehlike-haritasi> adresinden 8 Ekim 2017 tarihinde alınmıştır.
- Vural, N. (2005). *Toksikoloji*. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, 73, 342-373.
- Yücel, S. A. (2008). A New Motto in Environmental Protection: Green Chemistry. *Eurasian Journal of Educational Research*, 32, 145-154.

7. EKLER

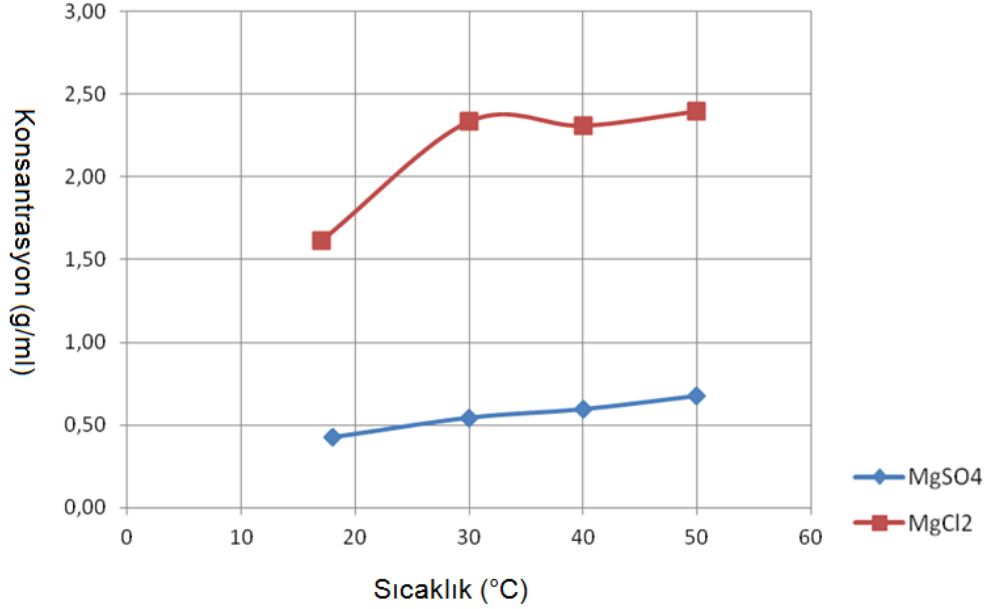
Ek 1: Bir Bileşimin Basit Formülü Deneyinin Cevapları

1. Deneyde redoks reaksiyonu gerçekleşmiştir.
2. Deneyde karşılaşılabilecek muhtemel hatalar şunlardır;
 - Reaksiyon sonucu elde edilen ürünler demir (II) oksit, demir (III) oksit veya bunların bir karışımı olabilir. Öğrencilerin cevapları, elde edilen sonuçlara göre demir dolguların saflığından dolayı değişkenlik gösterebilir.
 - Demirin tamamı reaksiyona girmeyebilir ve/veya pasın tamamı süzgeç kâğıdına aktarılamayabilir.
3. Sodyum klorür, reaksiyonunun daha hızlı ilerlemesi için elektrolit olarak görev yapar.

Ek 2: Çözünürlük Deneylerinin Cevapları

Katıların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi Deneyinin Cevapları

1. Magnezyum tuzlarının sıcaklığa karşı konsantrasyon grafiği aşağıdaki gibidir.



Ek Şekil 1: Magnezyum tuzlarının konsantrasyonlarının sıcaklıkla değişimi

2. Çizeceğiniz grafiğe göre, 60°C'deki konsantrasyon yaklaşık 0,75 g/mL olmalıdır. Bu sebeple, 100 mL suda
- $$0,75\text{mg}/1\text{mL} \times 100\text{mL} = 75\text{g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$$
- çözünmelidir.
3. Sülfat tuzu daha az çözüldüğü için baryum sülfatın baryum klorürden daha az çözüneceğini tahmin edilebilir.
4. Çözünürlük birçok standart durumda kullanılan ve mutlaka anlaşılması gereken önemli bir kavramdır. Birçok deneyde nitrat tuzları gibi çözünebilen iyonik katılar kullanılır. Bu bileşiklerin doğaya salınması sucul canlılar üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bir ekosistemde nitratın bulunması alglerin büyümesini tetikler ve dalgalanma etkisi besin zincirine zarar verir. Oluşabilecek en kötü senaryo ötrofikasyon oluşumudur.

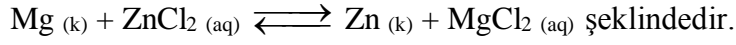
Çözünürlük ayrıca kimyasal maddelerin bazı formlarının tehlikelerini tartışmak için de kullanılabilir ve aynı zamanda öğrencilerin çözünürlük kurallarını anlamalarına yardımcı olabilir. Baryum örneği faydalı örneklerden biridir. Çözünür olmayan baryum bileşikleri tıbbi uygulamalar için çok yararlı olabilirken, çözünebilir baryum bileşikleri insanlar için zararlıdır (klorür, nitrat ve karbonat tuzları). Tanı yöntemleri için hastalara X-ray görüntülemesi öncesinde baryum sülfat verilir çünkü bu işlemde baryum X-ray ışınlarını diğer bileşiklerden daha fazla absorbe eder (Gürpınar ve Aşırdizer, 2007).

Gazların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi Deneyinin Cevapları

1. Sıcak su banyosundaki mezürde daha fazla gaz toplanır. Çünkü gazların çözünürlüğü sıcaklıkla azalır. Böylece gaz sıcak su içerisine dağılmayacak ve kabarcık oluşturarak dışarı çıkacaktır.
2. Gaz, sıcak su içerisinde çözünmeyeceği için kabarcıklar şeklinde dışarı çıkar ve mezürün üst kısmındaki boşlukta toplanır. Toplanan bu gaz mezür içindeki sıvıya basınç uygular. Böylece maden suyunun beher içine geçmesini hızlandırarak beherdeki sıvı hacminin artmasına neden olur.
3. Gazların çözünürlüğü sıcaklık ile ters orantılı olarak değişir.
4. Gazların çözünürlüğü sıcaklık ile ters orantılı olduğu için soğuk içeceklerde daha fazla karbondioksit bulunur. Bu yüzden de gazlı içecekler genellikle soğuk tercih edilir.
5. Sıcak su banyosundaki mezürde daha çok kabarcık oluşur. Kabarcık oluşumuna neden olan gaz karbondioksittir.
6. Buz banyosunda gaz kabarcığı ya çok az gözlenir ya da hiç gözlenmez. Buna rağmen sıcak su banyosunda gaz kabarcıkları gözlenir.

Ek 3: Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri Deneyinin Cevapları

1. Deneyde gerçekleşen reaksiyonun denge eşitliği



2. Sınırlayıcı reaktant magnezyumdur.
3. Teorik olarak 0,41 g çinko üretilmiştir.

$$* 0,15\text{g Mg} \times \frac{1\text{mol Mg}}{24,21\text{g Mg}} \times \frac{1\text{mol Zn}}{1\text{mol Mg}} \times \frac{65,41\text{g Zn}}{1\text{mol Zn}} = 0,41\text{g Zn}$$

* (Kullanılan Mg şeridin 0,15 g olduğu düşünülerek hesaplanmıştır.)

4. Yüzde Verim = * Gerçek Ürün Kütlesi / Teorik Ürün Kütlesi

Teorik Ürün Kütlesi = 0,41g Zn (Kullanılan Mg şeridin 0,15 g olduğu düşünülerek hesaplanmıştır.)

*Gerçek ürün kütlesi deneyden elde edilen ürün miktarıdır.

5. Magnezyum şerit, çinko klorür çözeltisinde bekletildi. Çinko magnezyumdan daha yüksek elektronegatifliğe sahip olduğu için magnezyumdan iki elektron çeker ve magnezyumu pozitif yüklü hale getirir. Magnezyumun indirgen ajan olarak kullanılmasıyla çinko indirgenir magnezyum da yükseltgenir.
6. Gümüş ve bakır, insan ve çevre için çok zararlı olan ağır metallere dendir. Gümüşe maruz kalmak ölüme kadar gidebilen ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir (Güler, 1997). Çinko da ağır bir metal olmakla birlikte canlılar için daha az toksiktir (Kahvecioğlu, Kartal, Güven ve Timur, 2004).

Ek 4: Stokiyometri Deneyinin Cevapları

1. $\text{CaCl}_{2(k)}$ ve $\text{Na}_2\text{CO}_{3(k)}$ için denge reaksiyonunu



2. İhtiyacınız olan CaCl_2 kütlesi=

Gerçek CaCl_2 kütlesi =

$$20\text{mL} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} \times \frac{1\text{mol}}{1\text{L}} \times \frac{110,98\text{g CaCl}_2}{1\text{mol CaCl}_2} = 2,22\text{g CaCl}_2$$

3. İhtiyacınız olan Na_2CO_3 'ın kütlesi =

Gerçek Na_2CO_3 'ın kütlesi =

$$20\text{mL} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} \times \frac{1\text{mol}}{1\text{L}} \times \frac{105,99\text{g Na}_2\text{CO}_3}{1\text{mol Na}_2\text{CO}_3} = 2,12\text{g Na}_2\text{CO}_3$$

4. Elde edilen ürünün kütlesi =

5. Yüzde Verim = (* Gerçek Ürün Kütlesi / Teorik Ürün Kütlesi) \times 100

*Gerçek ürün kütlesi deneyden elde edilen ürün miktarıdır.

Teorik ürün kütlesi =

$$2,12\text{g Na}_2\text{CO}_3 \times \frac{1\text{mol Na}_2\text{CO}_3}{105,99\text{g Na}_2\text{CO}_3} \times \frac{1\text{mol CaCO}_3}{1\text{mol Na}_2\text{CO}_3} \times \frac{100,09\text{g CaCO}_3}{1\text{mol CaCO}_3} = 2,00\text{g CaCO}_3$$

$$\text{Yüzde Verim} = (\text{Gerçek Ürün Kütlesi} / 2,00\text{g CaCO}_3) \times 100$$

Ek 5: Alev Denemesi ile Katyonların Nitel Analizi Deneyinin Cevapları

1. Elementler, alev denemesi sırasında yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak uyarılırlar. Uyarılmış enerji düzeyi kararsız hal olduğu için buradaki elementler temel enerji düzeyine dönmek isteyecekler. Bunu sağlamak içinde fazla enerjilerini farklı dalga boylarında ışın yayarak verirler. Bu olaylar katyonlarda gözlemlendiğinden alev denemesi, katyonların belirlenmesi için uygun olan bir yöntemdir.
2. Alev denemesinde gözlemlenen renkler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Ek Tablo 1. Çözeltilerin Alev Denemesi Sonuçları

Çözelti	Alevin Rengi
Sodyum asetat	Parlak Sarı
Sodyum klorür	Parlak Sarı
Potasyum asetat	Mor

3. Sodyum asetat ve sodyum klorür çözeltilerinin her ikisi de alevde sarı rengi verir. Çünkü bu iki çözelti de sodyum metali içerir.
4. Nitel olarak iki metalin de alevde benzer renkleri açığa çıkarması mümkündür. Bu nedenle, farklılıkları ayırt etmek ya da tanımlamak zor olabilir. Ayrıca, alev denemesi anyon belirlenmesi için geçerli bir nitel analiz yöntemi olmadığından, aynı metali içeren iki farklı bileşik arasında ayırım yapılamaz.
5.
 - a. Lityum klorür: Kırmızı
 - b. Bakır (II) nitrat: Yeşil
 - c. Baryum asetat: Sarı-Yeşil
 - d. Kalsiyum nitrat: Kiremit rengi
 - e. Stronsiyum klorür: Karmen kırmızısı
6. Stronsiyum ve baryum aleve renk vermesine rağmen, sodyum ve potasyumdan çok daha toksiktir. Bunlar insan sağlığı ve çevre için daha

zararlı olan ağır metallerdir. Daha az zararlı türlerin kullanımı yeşil kimya açısından önemlidir (Vural, 2005; Güler ve Çobanoğlu, 1997).



Ek 6: Çöktürme Reaksiyonları Deneyinin Cevapları

1. Sodyum karbonat ve çinko asetat arasında gerçekleşen çöktürme tepkimesi $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \rightarrow 2 \text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) + \text{ZnCO}_3$ şeklindedir.

2. Bu çöktürme reaksiyonundaki sınırlayıcı reaktant sodyum karbonattır.

3. $M = \frac{n}{v}$

$$1M \text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{?g \text{Na}_2\text{CO}_3}{0,01} \quad ? \cong 1g \text{Na}_2\text{CO}_3$$

4. Teorik olarak 1,18 g çinko karbonat üretilmiştir.

$$1g \text{Na}_2\text{CO}_3 \times \frac{1 \text{mol Na}_2\text{CO}_3}{105,99g \text{Na}_2\text{CO}_3} \times \frac{1 \text{mol ZnCO}_3}{1 \text{mol Na}_2\text{CO}_3} \times \frac{125,40g \text{ZnCO}_3}{1 \text{mol ZnCO}_3} = 1,18g \text{ZnCO}_3$$

(Kullanılan sodyum karbonatın 1g olduğu düşünülerek hesaplanmıştır.)

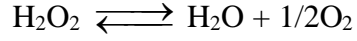
5. Yüzde Verim = * (Gerçek Ürün Kütlesi / Teorik Ürün Kütlesi) × 100

Teorik Ürün Kütlesi = 1.18 g ZnCO_3 (Kullanılan sodyum karbonatın 1g olduğu düşünülerek hesaplanmıştır.)

*Gerçek ürün kütlesi deneyden elde edilen ürün miktarıdır.

Ek 7: Tepkime Hızına Katalizörün Etkisi Deneyinin Cevapları

1. Meydana gelen reaksiyon, bağların kırılmasını içeren bir bozunma tepkimesidir. Bu tür tepkimelerin gerçekleşmesi için ekstra enerji ya da katalizör gereklidir. Reaksiyon için denge denklemi,



şeklindedir.

2. Reaktant : H_2O_2
Ürünler : H_2O ve O_2
3. B tüpünde katalizör vardır çünkü B tüpündeki reaksiyon A tüpüne göre daha hızlı gerçekleşmiştir.
4. Deneyde katalizör olarak C vitamini kullanılmıştır. Katalizör, reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli olan aktiflenme enerjisini düşürerek reaksiyonun daha kısa bir sürede tamamlanmasını sağlamıştır.

Ek 8: Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar Deneyinin Cevapları

1. Sıcaklıkta bir değişiklik olmadığı için ekzotermik ya da endotermik bir reaksiyon gerçekleşmemiştir.
2. 3 dakika içerisinde sıcaklıkta artış meydana geldiği için (Örneğin; sıcaklık 23°C'den 28°C'ye yükselebilir) ekzotermik bir reaksiyon gerçekleşmiştir.
3. Protein sindirim süreci sırasında sıcaklık artar. Oksijen katalaz sürecine girdiğinde, ısı açığa çıktığı için ekzotermik bir reaksiyon meydana gelir.
4. Suyun sıcaklığı zamanla azalmış ve deney tüpü soğumuştur. Dolayısıyla endotermik bir reaksiyon meydana gelmiştir.
5. Sıcaklık 30 saniyede hızlı bir şekilde düşer. Sonraki 150 saniye boyunca, sıcaklık yavaş yavaş artar ve bir süre sonra sabitlenir ama asla ilk sıcaklığına ulaşamaz. Toz şeker suya eklendiğinde, ısının sistem içerisine absorbe edildiği endotermik bir reaksiyon meydana gelir.

Ek 9: Günlük Hayatta Kullanılan Asitler, Bazlar ve İndikatörler Deneyinin Cevapları

1. Nötral maddelerin belirlenmesinde indikatörlerin renkleri daha açık tonlara dönüştü.
2. Kırmızı lahana suyu çözeltisi asitleri belirlerken kırmızı, bazları belirlerken açık yeşil – sarı tonda renk aldı.
3. Pancar suyu çözeltisi asitleri belirlerken kırmızı, bazları belirlerken kahverengi – sarı tonda renk aldı.
4. Yaban mersini suyu çözeltisi asitleri belirlerken turuncu, bazları belirlerken açık kahverengi tonda renk aldı.
5. Üç indikatör arasında en iyi çalışan kırmızı lahana suyu çözeltisidir çünkü asit ve bazların belirlenmesi sırasında renk ayrımı en net şekilde bu indikatörle gözlemlendi.

Ek Tablo 2. İndikatörlerin pH Aralığı ve Çözelti Renkleri

Çözelti	pH	Renk
Kırmızı Lahana Suyu Çözeltisi	6,8	Mor
Pancar Suyu Çözeltisi	6,3	Koyu kırmızı
Yaban Mersini Suyu Çözeltisi	2	Kırmızı (Pembemsi)

Ek Tablo 3. Maddelerin Doğal İndikatörlerdeki Gözlem Sonuçları

Madde	Kırmızı lahana suyundaki rengi	Pancar suyundaki rengi	Yaban mersini suyundaki rengi	Asit veya baz	Tahmini pH
Limon suyu	Açık kırmızı	Kırmızı	Turuncu	Asit	1
Süt	Açık lila	Pembe	Ekru	Nötr	6-7
Çamaşır deterjanı	Açık yeşil	Koyu kahverengi	Açık kahverengi	Baz	11-12
Çamaşır suyu	Açık sarı	Açık sarı	Beyaz	Baz	12-13

Ek 10: Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeği

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)			
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			

Ek 11: İlkeler Göz Önünde Bulundurulmadan Tasarlanmış Olan ‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)		X	
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)	X		
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)	X		
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)		X	
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)			X
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)	X		
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)		X	
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)		X	
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 12: Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan FeS Bileşimini Oluşturma Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)		X	
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)	X		
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)	X		
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)		X	
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)	X		
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)	X		
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)		X	

Ek 13: Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan Katıların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)		X	
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)		X	
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)	X		
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)	X		
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiyometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)	X		
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)	X		
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)	X		
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)		X	

Ek 14: Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)	X		
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)		X	
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)	X		
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)		X	
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)	X		
9. Deneyde stokiyometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)	X		
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)	X		
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)	X		
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)	X		

Ek 15: Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan Stokiyometri Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)		X	
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)		X	
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)	X		
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiyometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)		X	
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)	X		
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)	X		
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)	X		

Ek 16: Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan Alev Denemesi ile Katyonların Nitel Analizi Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)	X		
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)		X	
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)	X		
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiyometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)		X	
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)	X		
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)	X		

Ek 17: Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan Çöktürme Reaksiyonları Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)		X	
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)	X		
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)		X	
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)	X		
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)	X		
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)	X		
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)	X		
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)	X		

**Ek 18: Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan Tepkime Hızına Katalizörün Etkisi
Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi**

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)	X		
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)	X		
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)		X	
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)	X		
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)	X		
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)	X		

Ek 19: Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)		X	
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)	X		
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)		X	
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)	X		
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)		X	
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)	X		
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)	X		

Ek 20: Kimya Laboratuvarlarında Uygulanan Asit-Baz Tepkimeleri Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)	X		
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)		X	
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)		X	
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)	X		
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)	X		
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)	X		

Ek 21: ‘Yeşil Kimyanın 12 Temel İlkesi’ Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)			X
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 22: Mol, Atom, Gram Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)	X		
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)	X		
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)	X		
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)			X
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)	X		
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 23: Bir Bileşimin Basit Formülü Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)		X	
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 24: Katıların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)	X		
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)		X	
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 25: Gazların Çözünürlüğü Üzerine Sıcaklığın Etkisi Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)	X		
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 26: Yükseltgenme-İndirgenme Tepkimeleri Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)	X		
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)			X
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 27: Stokiyometri Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiyometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)	X		
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 28:Alev Denemesi ile Katyonların Nitel Analizi Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 29:Çöktürme Reaksiyonları Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)	X		
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 30:Tepkime Hızına Katalizörün Etkisi Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)		X	
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 31:Ekzotermik ve Endotermik Reaksiyonlar Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)	X		
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)			X
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)		X	
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X

Ek 32:Günlük Hayatta Kullanılan Asitler, Bazlar ve İndikatörler Deneyinin Yeşil Kimya İlkelerine Uygunluk Ölçeğine Göre Değerlendirilmesi

YEŞİL KİMYA İLKELERİNE UYGUNLUK KRİTERLERİ	Hayır (0)	Kısmen (1)	Evet (2)
1. Atık oluştuktan sonra temizlemek yerine deney sırasında atık oluşması önlenmeye çalışılmıştır. (1. İlke)			X
2. Deneyde kullanılan sentetik yöntemler ürüne dahil edilen malzemelerin miktarını artırmayı hedeflemiştir. (2. İlke)			X
3. Deneyde insan sağlığına ve çevreye en az zararı olan sentetik yöntemler kullanılmıştır. (3. İlke)			X
4. Deneyde zararları azaltılırken fonksiyonlarını koruyan kimyasal ürünler kullanılmıştır. (4. İlke)			X
5. Deneyde yardımcı maddeler az ve zararsız halde kullanılmıştır. (5. İlke)			X
6. Deneyde enerji gereksinimi çevresel ve ekonomik etkileri açısından değerlendirilip minimum seviyede tutulmuştur. (6. İlke)			X
7. Deneyde yenilenebilir hammaddeler kullanılmıştır. (7. İlke)		X	
8. Deneyin yapım aşamasında gereksiz türevleştirme işlemlerinden kaçınılmıştır. (8. İlke)			X
9. Deneyde stokiometrik ajanlar yerine katalitik ajanlar kullanılmıştır. (9. İlke)	X		
10. Deneyde çevrede varlıklarını sürdürmek yerine tehlikesiz ayrışma ürünlerine dönüşebilen ürünler kullanılmıştır. (10. İlke)			X
11. Deney sırasında işlemler izlenmiş ve tehlikeli maddelerin oluşumu kontrol edilmiştir. (11. İlke)			X
12. Deneyde kimyasal kaza ihtimali en az olan kimyasallar kullanılmıştır. (12. İlke)			X