

## Yapılandırıcı Öğrenme Teorisine Dayanan Laboratuvar Aktivitesi: Üniversite Öğrencilerine Suyun Otoprotoliz Sabiti Tayininin Öğretilmesi

A Laboratory Activity Based on Constructivist Learning Approach: Teaching of Determination of Autoprotolysis Equilibrium Constant to Undergraduate Students

Yüksel ALTUN

G.Ü. Gazi Eğt. Fak., OFMA Eğt. Böl. Kimya Eğitimi Anabilim Dalı Ankara-TÜRKİYE

### ÖZET

*Bu çalışmada, lisans ve lisans üstü programlarındaki öğrencilere otoprotoliz denge sabiti ve bu sabite iyonik şiddetin ve sıcaklığın etkisi ile ilgili kavramları öğretmeye yardımcı olacak yapılandırıcı öğrenme teorisine dayalı bir laboratuvar aktivitesi hazırlanmıştır. Gösteri, rehberli sorgulama, kavram oluşturma ve uygulama aşamalarından oluşturulan aktivite 2001-2002 öğretim yılında G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi Anabilim Dalı 4. Sınıf öğrencilerinden rasgele seçilen 22 öğrenciye uygulanmıştır. Aktivitenin etkisi araştırmacıların sınıf içi gözlemleri, işlem yapıklarının incelenmesi ve laboratuvar raporlarının değerlendirilmesiyle kalitatif olarak araştırılmıştır. Aktivitenin, öğrencilerin derse karşı ilgi ve tutumlarını artırdığı, motivasyonlarını pozitif yönde etkilediği, derse aktif katılımlarını sağladığı ve sosyalleşmelerinde etkili olduğu görülmüştür.*

**Anahtar kelimeler:** Yapılandırıcı öğrenme, laboratuvar aktivitesi, otoprotoliz sabiti, iyonik şiddet, potansiyometri, pH metre

### ABSTRACT

*In this study, a laboratory activity based on constructivist learning approach was prepared for teaching undergraduate and graduate students autoprotolysis equilibrium constant and effect of ionic strength and temperature to this constant. The activity that consisted of demonstration, guided inquiry, concept generation and application phases was carried out with twenty-two students randomly selected from senior students in Gazi University, Faculty of Gazi Education, Department of Chemistry Education during the terms of 2001-2002. The effect of activity was qualitatively investigated with in-class*

*observation of researchers, examination of worksheets and evaluation of lab reports. The following has been observed: The activity increases interest and attitude, is positively effective for increasing their motivation, enables them to engaged in to subjects and is also effective their socialization.*

**Key words:** Constructivist learning, laboratory activity, autoprotolysis constant, ionic strength, potentiometry, pH meter

## 1. Giriş

“Asetik asidin  $K_a$ , iyonlaşma sabiti,  $1,75 \times 10^{-5}$  ise asetik asidin konjüge bazı olan asetat iyonunun  $K_b$ , denge sabiti kaçtır?” Eğitim hayatımız boyunca çoğumuz bu tür bir problemle karşılaşmışız ve/veya bu tür bir problemi öğrencilerimize sormuşuzdur. Çok kolay olarak gördüğümüz bu probleme belki de hiç düşünmeden verdiğimiz cevap  $5,71 \times 10^{-10}$ ’dur. Sıcaklığın, ortamın iyonik şiddetinin, suyun otoprotoliz denge sabitinin, asetik asit için verilen  $K_a$  değerinin hangi tür büyüklük olduğunun belirtilmediği bu soruya verilen  $5,71 \times 10^{-10}$  cevabı ne kadar doğrudur? Denge problemlerinin çözümü için sadece matematiksel işlem yapabilmek yeterli midir? Çok basit gibi görünen bu problemde dahi hataya düşmemizin sebebi nedir? Gerek bizlerin gerekse öğrencilerimizin bu tür problemlerde hataya düşmesinin temel sebebi denge konusunun tam olarak kavranamamasıdır.

Yeryüzünde bol miktarda bulunması, kolayca saflaştırılabilmesi, zehirli olmaması nedeniyle en fazla kullanılan çözücü olan suda gerçekleşen kimyasal reaksiyonları öğrencilerin kavrayabilmesi öncelikle suyun otoprotoliz dengesini öğrenmesine bağlıdır. Bir çözücünün moleküllerinin kendiliğinden reaksiyona girerek bir çift iyon oluşturması olarak ifade edilen otoprotoliz dengesi özellikle kimyasal denge problemlerinin çözümünde çok önemlidir. Çözücüdeki iyon çiftlerinin aktivite veya konsantrasyonlarının çarpımı olarak tanımlanan otoprotoliz denge sabiti sadece sulu ortamdaki çeşitli dengelerin denge sabitlerinin tayininde değil, sulu ortamda çeşitli dengeleri göz önüne alarak yapılan kantitatif tayinlerde de önemlidir (Kılıç ve arkadaşları, 1996). Kimya, lisans, hatta lisansüstü mezunu pek çok kimyacının hangi şartlarda suyun otoprotoliz denge sabiti  $K_{su}$  değeri için termodinamik değer olan  $1,0 \cdot 10^{-14}$

<sup>14</sup> değerinin kullanılabilceğini veya hangi şartlarda bu  $K_{su}$  değeri için daha doğru bir değerin nasıl tayin edileceğini bilmediği gözlenmiştir. Stokiyometrik denge sabitleri ile termodinamik denge sabitleri arasındaki farkı anlayamaktan kaynaklanan bu sorunun ortadan kaldırılabilmesi için anlamlı öğrenme gerçekleştirecek öğretim yöntemlerinin araştırılması, ders materyallerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Lâboratuvar, öğrencilerin bilimle ilgili doğrudan deneyim kazanabilecekleri, problemlerle karşılaştıkları, hipotez kurma ve test etmeyle problem çözümlerini tartışma fırsatlarına sahip olabilecekleri ve bilimin araştırmaya dayalı doğasını anlayabilecekleri bir yerdir. Öğrenciler veri toplayıp analiz edebilirler ve problemlere kısmî veya tam çözümler bulabilirler. Doğru çözüme ulaşamayıp alternatif çözüm yollarını araştırmak zorunda da kalabilirler. Her durumda, öğrencilere kendi bilgi ve kavramlarını kullanarak ve onları genel bir fikre varıncaya kadar diğer öğrencilerle paylaşarak problemlere çözümler bulmaları için fırsat verilmelidir. Bu yaklaşım öğrencileri yapılandırıcı (constructivist) bir öğrenme modeline yerleştirir. Yapılandırıcı öğrenme modeline göre öğrencilere doğrudan deneyim kazanarak öğrenmeleri için fırsat ve de düşünmeleri, öğrendiklerini anlamlandırmaları için zaman verilmelidir (Tobin, 1990). Shulman ve Tamir (1973) lâboratuvar çalışmasının amaçlarını başlıca beş alanda özetlemiş ve bu amaçlara ulaşmak için, lâboratuvar hem bilginin sunulduğu ve alındığı hem de bilginin yapılandırıldığı bir yer olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bilginin sunulması; bilgiyi düzenlemede, sunmada, göstermede ve açıklamada kullanılan içerik ve eğitim materyallerini vurgular. Öğretmen, öğrenciyi motive etmek, bilgisini pekiştirmek ve değerlendirmek için iyi düzenlenmiş bir müfredat ve strateji geliştirir (Fosnot, 1988). Bilgi yapılandırma, içeriği ve bilgi oluşturma araçlarını vurgular. Bilginin yapılandırılmasında; aktif katılımı, delil toplamayı, öğrencilerin etkileşimini, fikir alış verişinde bulunmayı, eleştirel düşünmeyi, tartışmayı ve kanaate varmayı gerektiren strateji ve taktikler kullanılır. Hedef, öğrencilerin bilimsel kavramları ve prensipleri keşfetmesini kolaylaştırmaktır.

Son yıllarda fen eğitimi alanında yapılan çalışmalarda, birçok insanın doğa hakkında yanlış kavramaya sahip olduğu, geleneksel eğitimin yanlış kavramaları ortadan

kaldırmada etkili olmadığı ifade edilmiş, geleneksel eğitime alternatif olarak yapılandırıcı öğrenme teorisi gösterilmiştir. Yapılandırıcılık, insanların nasıl öğrendiğine ilişkin bir bilgi teorisidir. Yapılandırıcılığın kökleri, bilimsel bilginin deneyimlerimiz sonucunda aktif bir şekilde yapılandırıldığını söyleyen Kant'a kadar uzanır (Hawkins, 1995, Veath, 1988; Allen et.al.,1986; Wufsberg, 1983; Fowler, 1980; Pavelich and Abraham, 1979; Richardson and Renner, 1970). Yapılandırıcı öğrenme teorisinin temel bir teması, öğrenmenin öğrencilerin ön bilgi ve deneyimlerine dayanarak yeni bilgiyi yapılandırdıkları aktif bir proses olduğudur. Yapılandırıcı öğrenme teorisine göre, bilgi öğrencinin zihninde aktif bir şekilde yapılandırılır (Bodner,1986), davranışçı yaklaşımın savunduğu gibi öğretmenin zihninden öğrencinin zihnine hiç değişikliğe uğramadan aktarılamaz. Gunstone and Champagne (1990) ise lâboratuvar deneylerinin öğrencilerin zihninde bilişsel çatışma yaratarak onların kendi kavramlarının sınırlılıklarını idrak etmesi için yeterli bir aktivite olduğuna inanır.

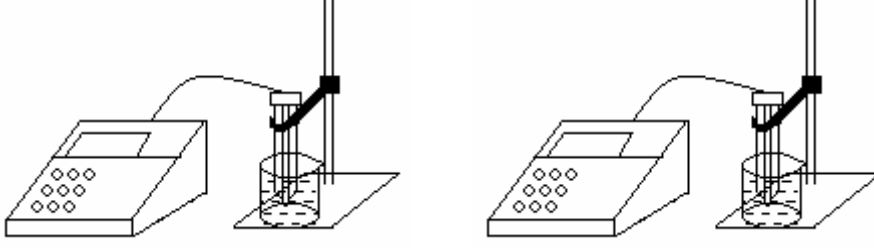
Bu çalışmanın amacı, lisans ve lisansüstü programlarındaki öğrencilerine *otoprotoliz denge sabiti, denge sabitine iyonik şiddetin ve sıcaklığın etkisi* konularındaki kavramları öğretmeye yardımcı olacak yapılandırıcı öğrenme teorisine dayalı bir lâboratuvar aktivitesi geliştirmek ve öğrencilerin kavramsal gelişimlerine bu aktivitenin etkisini araştırmaktır.

## 2. Yöntem

Otoprotoliz denge sabiti, suyun otoprotoliz denge sabitinin tayini, denge sabitine iyonik şiddetin ve sıcaklığı etkisi konularını öğrencilere kavratmak için araştırmacılar tarafından geliştirilen aktivite 2001-2002 öğretim yılında G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Kimya Eğitimi Anabilim Dalı 4. Sınıf öğrencilerinden rastgele seçilen 22 öğrenciye uygulanmış, aktivitenin etkisi araştırmacıların sınıf içi gözlemleri, işlem yapraklarının incelenmesi ve lâboratuvar raporlarının değerlendirilmesiyle kalitatif olarak araştırılmıştır.

### 3. Aktivitenin Tanıtımı

Potansiyometrik titrasyon (Serjant, 1984) verilerinden faydalanarak otoprotoliz denge sabitinin nasıl tayin edilebileceğini öğrencilere kavratmayı amaçlayan bu aktivite, öğretim elemanlarına ve öğrencilere verilmek üzere iki formda oluşturulmuştur. Gösteri, rehberli sorgulama, kavram oluşturma ve uygulama aşamalarından oluşturulan bu aktivitenin ilk aşamasında, öğrencilerin ilgisini konuya çekmeye yarayan bir gösteri deneyi sunulmuştur. Bu amaçla elektrot kalibrasyon sabitleri bilinen, elektrot dolu çözeltileri 0,1 M NaCl ve 0,5 M NaCl olan iki farklı elektrot ile 0,1 M NaCl ve 0,5 M NaCl çözeltilerinin pH'ları öğrencilere tayin ettirilmiş, nötral bir tuz olarak bilinen NaCl çözeltilerinin pH'larının neden farklı çıktığı sorulmuştur. Suyun otoprotoliz denge sabitine sıcaklığın etkisini fark etmeleri sağlamak için ise su banyosunun sıcaklığı 35°C'ye çıkartılmış ve pH tayinleri yapılmıştır. Gösteri deneyi sonunda öğrencilerin bilgilerinin yetersiz ve yanlış olduğunu onlara fark ettirerek yeni bilgi öğrenmeye motive etmek için tartışma soruları yöneltilmiş ve bunların cevaplarını kaydetmeleri istenmiştir. Bu sorularda suyun otoprotoliz denge sabitinin, denge sabiti tayinlerindeki önemi fark etmeleri sağlanmıştır.



0,1 M NaCl için pH=.....(25°C)      0,5 M NaCl için pH=.....(25°C)

0,1 M NaCl için pH=.....(35°C)      0,5 M NaCl için pH=.....(35°C)

İkinci aşamada öğrencilerin denge, denge sabiti, aktivite, aktivite kat sayısı, iyonik şiddet, termodinamik ve stokiyometrik denge sabiti kavramları hakkındaki ön bilgilerini açığa çıkarmak için sorular yöneltilmiş, öğrencilerin stokiyometrik otoprotoliz denge

sabitini tayin edebilmeleri için deney yapmaları sağlanmıştır. Öğrencilerin suyun otoprotoliz denge sabitine sıcaklığın ve iyonik şiddetin etkisini araştırabilmesi için üç farklı grupta deney yaptırılmıştır. Deneylerin yapılabilmesi için öğrencilere derişimi önceden belirlenmiş standart 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH çözeltileri verilmiş ve birinci grubun 25°C ve 0,1 M NaCl'li ortamda, ikinci grubun 25°C ve 0,5 M NaCl'li ortamda, üçüncü grubun ise 35°C ve 0,1 M NaCl'li ortamda HCl'li NaOH ile potansiyometrik olarak titre etmeleri istenmiştir. Grupların potansiyometrik titrasyon hücrelerini aşağıdaki bileşimlerde oluşturmaları sağlanmıştır.

I.Grup : 1 mL 0,1 M HCl + 5 mL 1,0 M NaCl + 44 mL deiyonize su

II.Grup : 1 mL 0,1 M HCl + 25 mL 1,0 M NaCl + 24 mL deiyonize su

III.Grup : 1 mL 0,1 M HCl + 5 mL 1,0 M NaCl + 44 mL deiyonize su

Yukarıdaki şekilde oluşturulan potansiyometrik titrasyon hücrelerinin 0,05 mL standart 0,1 M NaOH ilâvesiyle yapılan titrasyonlarında her bir ilâveden sonra öğrencilerin pH metreden mV değerlerini okumaları istenmiş, bu mV değerlerinden elektrot kalibrasyon sabitleri kullanılarak pH'lar hesaplatılmıştır.

Tablo-1: Örnek Öğrenci Veri Tablosu

0,1 M NaCl (25°C)			0,5 M NaCl (35°C)		
$E^{\circ}=307,43$ $k=59,11$ $pH=(E^{\circ}-E)/k$			$E^{\circ}=298,15$ $k=59,05$ $pH=(E^{\circ}-E)/k$		
mL NaOH	mV	pH	mL NaOH	mV	pH
0,00	145,82	2,734	0,00	142,73	2,632
0,05	144,61	2,754	0,05	141,80	2,647
0,10	143,43	2,774	0,10	140,88	2,663
....	....	....	....	....	....
1,95	-348,81	11,102	1,95	-362,51	11,188
2,00	-349,65	11,128	2,00	-363,45	11,204

Üçüncü aşamada öğrencilerin önceki bilgileri ile yeni bilgilerinin yapılandırılmalarını sağlamak amacıyla sınıf tartışmalarını gerçekleştirmeleri için konular verilmiş, öğrencilerin deneyden elde ettiği verileri değerlendirerek stokiyometrik  $K_{su}$  değerlerini hesaplamaları istenmiştir. Bu amaçla öğrencilerden öncelikle suyun otoprotoliz

dengeyi yazarak bu dengenin denge sabitini ifade etmeleri söylenmiş, denge sabiti ifadesinde yer alan hidrojen iyonu ve hidroksil iyonu derişimini nasıl hesaplayabilecekleri tartışılmıştır. Tartışmayı yönlendirmek amacıyla “Hidrojen iyonu derişimi deneysel olarak nasıl tayin edilir?”, “Hidroksil iyonu derişimi deneysel olarak tayin edilebilir mi?” “pH metreden okuduğunuz mV değerlerini kullanarak pH’ı nasıl hesaplırsınız?” “pK<sub>su</sub> değerini bilmediğimize göre pH’ı kullanarak pOH’ı bulabilir misiniz?” “pOH’ı nasıl hesaplayabilirsiniz?” “Derişimi kesin olarak bilinen asit çözeltisi ile baz çözeltisinin titrasyonunda ortamdaki türlerin derişimini nasıl hesaplırsınız?” gibi sorular sorulmuş ve öğrencilerin pH’ı pH metreden okudukları mV değerlerinden, pOH’ı ise stokiyometrik hesaplamalardan bulabileceklerini fark etmeleri sağlanmıştır. Tartışma sonucunda grupların elektrot kalibrasyon sabitlerini kullanarak pH’ı, stokiyometrik ilişkileri kullanarak pOH’ı hesaplamaları istenmiştir. Titrasyonun bazik bölgesindeki her bir nokta için pH ve pOH’lar hesaplandıktan sonra öğrencilerin pH+pOH = pK<sub>su</sub> eşitliğinden pK<sub>su</sub> değerlerini bulmaları sağlanmıştır. Suyun otoprotoliz denge sabitine sıcaklığın ve iyonik şiddetin etkisini tartışabilmek için her bir gruba çalıştıkları ortama ait ortalama pK<sub>su</sub> değerini ve bu değer için güven aralığını bulmaları için zaman verilmiş ve bulunan sonuçlar bütün sınıfta tartışılmıştır.

Tablo- 2: Örnek Öğrenci Hesap Tablosu

0,1 M NaCl (25°C)					
E <sup>0</sup> =307,43 ; k=59,11 ; C <sub>HCl</sub> = 0,100 M C <sub>NaOH</sub> = 0,0980 M					
mL NaOH	mV	pH=(E <sup>0</sup> -E)/k	[OH <sup>-</sup> ]=(V <sub>B</sub> ×C <sub>B</sub> -V <sub>A</sub> ×C <sub>A</sub> )/V <sub>T</sub>	pOH	pK <sub>su</sub> =pH+pOH
0,00	145,82	2,734	-----		
0,05	144,61	2,754	-----		
0,10	143,43	2,774	-----		
....	....	....	-----		
1,95	-348,81	11,102	1,75x10 <sup>-3</sup>	2,756	13,86
2,00	-349,65	11,128	1,85x10 <sup>-3</sup>	2,734	13,86
Ortalama pK <sub>su</sub> =ΣpK <sub>su</sub> / N					<b>13,86</b>

Son aşama uygulama aşamasıdır. Bu aşamada öğrencilerin öğrendikleri yeni kavramları başka durum yada olaylara transfer edebilmesi için 25°C ve 0,1 M KCl'lü ortamda suyun otoprotoliz denge sabitini tayin etmeleri istenmiştir. Deney sonuçları bir hafta sonra rapor hâlinde alınmıştır.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, suyun otoprotoliz denge sabitin nasıl tayin edildiğini, otoprotoliz denge sabitine iyonik şiddetin ve sıcaklığın nasıl etki ettiğini öğrencilere yapılandırıcı öğrenme teorisine dayalı olarak öğretmeye yardımcı olacak bir laboratuvar aktivitesi geliştirilmiştir. Lisans, özellikle de lisansüstü çalışmalarda denge sabitlerinin tayininde önemli bir büyüklük olan fakat nasıl tayin edileceği tam olarak bilinmediği için ihmal edilen suyun otoprotoliz denge sabitinin tayini ile ilgili olan bu aktivitenin etkisi kalitatif olarak incelenmiş ve öğrencilerin;

- ✓ derse karşı ilgi ve tutumlarını artırdığı,
- ✓ motivasyonlarını pozitif yönde etkilediği,
- ✓ derse aktif katılımlarını sağladığı,
- ✓ sosyalleşmelerinde etkili olduğu görülmüştür.

Aktivitenin öğrenci başarısına etkisi kantitatif olarak araştırılmamasına karşın gerek öğrencilerle ders sonunda yapılan resmî olmayan görüşmeler gerekse sınıf içindeki araştırmacı gözlemlerinden aktivitenin otoprotoliz denge sabiti konusunda öğrencilerin bilgi yapılandırmasında, anlamlı öğrenme gerçekleştirmesinde etkili olduğu bulunmuştur. Örneğin, resmî olmayan bir görüşmede öğrenciye “Suyun otoprotoliz denge sabiti 25°C’de  $pK_{su}=14$  olduğu bilinirken bu deneyde 13,86 olarak bulunmuştur. Bu farkın sebebini nasıl açıklarsınız?” sorusu yöneltildiğinde öğrenci, “  $pK_{su}$  için 14 değeri otoprotoliz denge sabiti için termodinamik denge sabiti değeridir. Yani bu değer sadece sıcaklıkla değişir, konsantrasyon veya ortamın iyonik şiddeti ile değişmez. Bizim tayin ettiğimiz değer ise stokiyometrik denge sabitidir. Stokiyometrik denge sabitleri ortamın iyonik şiddetine ve sıcaklığa bağlıdır. Bu yüzden fark çıkmaktadır.”



cevabını vermiştir. Bir diğer görüşmede ise öğrenciye “İyonik şiddet değiştikçe otoprotoliz denge sabitinin değişmesini nasıl açıklarsınız?” sorusu yöneltildiğinde öğrenciden “İyonik şiddet ile aktivite kat sayısı ilişkilidir. Aktivite kat sayısı ise aktiviteyi etkiler. Bu nedenle eğer iyonik şiddet değişirse aktivite değişmiş olur. Denge sabitleri ortamdaki iyonik türlerin aktivitesine bağlı olduğundan farklı iyonik şiddetlerde farklı denge sabitleri bulunur” cevabı alınmıştır.

## 5. Öneriler

Bu çalışmanın bulguları ışığında l aboratuvar eğitimi ile ilgili aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

\* Kavramsal bütünleşme, rehberli soruŐtırma olayları, kavramsal değişim için rehberlik ve sosyal etkileşimle karakterize edilen yapılandırıcı metot lisans, özellikle de lisansüstü çalışmalarda l aboratuvarlarında öğrencilerin başarılarını anlamlı olarak daha fazla artırır.

\* Kavramsal bütünleşme, rehberli soruŐtırma olayları, kavramsal değişim için rehberlik ve sosyal etkileşimle karakterize edilen yapılandırıcı metot l aboratuvar eğitiminde kavramsal değişim meydana getirmede daha etkilidir.

\* Kavramsal bütünleşme, rehberli soruŐtırma olayları, kavramsal değişim için rehberlik ve sosyal etkileşimle karakterize edilen yapılandırıcı metot lisans ve lisansüstü l aboratuvarlarında mantıksal düşünme yeteneği ne olursa olsun bütün öğrenciler için başarıyı artırmada ve kavramsal değişim meydana getirmede anlamlı olarak daha etkilidir.

\* Öğrencilerin tutum ve algılamaları değişime direnç gösterir ve kullanılan öğretim yönteminden bağımsız olarak kısa bir sürede öğrencilerin tutum ve algılamalarını deęiŐtirmek zordur.

## Kaynaklar

- Allen, B.J., Barker, L.N. and Ramsden, J.H. (1986). Guided inquiry laboratory. *Journal of Chemical Education*. 63 (6), 533-534.
- Bodner, George M. (1986). Constructivism: A theory of knowledge. *Journal of Chemical Education*. 63(10), 873-878.
- Fosnot, C.T. (1988). The Dance of Education. Paper presented at the annual meeting of the Association of Educational Communications and Technology, New Orleans.
- Fowler, L.S. (1980). An application of Piaget's theory of cognitive development in teaching chemistry: the learning chemistry. *Journal of Chemical Education*. 57(2), 135-136.
- Gunstone, Richard F. ve Audrey B. Champagne (1990). *Promoting conceptual change in the laboratory*. Elizabeth Hegarty-Hazel (Ed.), The Student Laboratory and the Science Curriculum. Routledge: London.
- Hawkins, David (1995). *Constructivism: Some history*. Peter Fensham (Ed.), The Content of Science: A Constructivist Approach to Its Teaching and Learning. Falmer Press.
- Kılıç, E. and Köseoğlu, F., (1996). *Analitik kimya temelleri I, Bölüm, 19*. Bilim Yayıncılık, Ankara.
- Pavelich, M.J. and Abraham, M.R. (1979). An Inquiry format laboratory for general chemistry, *Journal of Chemical Education*. 53(2), 100-103.
- Richardson, V. and Renner, J.W. (1970). A study of the inquiry-discovery method of laboratory instruction. *Journal of Chemical Education*. 47(1), 77-79.
- Serjant, E.P. (1984). *Potentiometry and Potentiometric Titrations*. New York: John Wiley and Sons.
- Shulman, L.D. ve Pinchas Tamir (1973). *Research on teaching in the natural sciences*. In R.M.W. Travers (Ed.), Second Handbook of Research on Teaching. Chicago: Rand McNally.
- Tobin, K., (1990). *Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning*. *School Science and Mathematics*, 90(5), 403-418.
- Veath, M.L., (1988). *Comparing the effect of different laboratory approaches in bringing about conceptual change in the understanding of physics by university students*. Dissertation Abstracts International, 49, 3676A
- Wulfsberg, G. (1983). A piagetian learning-cycle laboratory approach to teaching descriptive inorganic chemistry. *Journal of Chemical Education*. 58(6), 52-57.