

Açık ve Uzaktan Öğrenmede Laboratuvar Uygulamaları*

Laboratory Applications in Open and Distance Learning*

Hanife ÇİVRİL

ÖZ

Bu çalışmada, eğitimde önemli bir yeri olan laboratuvar uygulamalarının açık ve uzaktan öğrenmedeki durumu ele alınmıştır. Açık ve uzaktan öğrenmede öğrenenlerin öğrenme kaynaklarından uzakta olması, laboratuvar uygulamaları için farklı çözümler geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Tarihsel süreç içerisinde bakıldığında laboratuvar uygulamaları gerektiren disiplinlerde uygun öğrenme çıktılarının elde edilebilmesi için çeşitli yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Öğrenenlerin laboratuvar araç ve gereçleri ile fiziksel olarak etkileşim kurarak uygulamalarını gerçekleştirebildikleri yoğunlaştırılmış yüz yüze laboratuvarlar, ev deney kitleri ve mobil (gezici) laboratuvarlar; 21. yüzyıl teknolojilerinin işe koşulduğu sanal laboratuvarlar, uzak laboratuvarlar ve sanal bilişim laboratuvarları bu yöntemlerin başında gelmektedir. Çalışma kapsamında, açık ve uzaktan öğrenmede kullanılan bu laboratuvar uygulamalarının daha iyi anlaşılması için üstünlükleri ve sınırlılıkları ele alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: Açık ve uzaktan öğrenme, Laboratuvar uygulamaları, Sanal ve uzak laboratuvarlar

ABSTRACT

In this study, the practice of open and distance learning of laboratory applications which have an important place in education is discussed. The fact that learners in open and distance learning are away from learning resources has made it necessary to develop different solutions for laboratory applications. Looking at the historical process, it has been seen that various methods are used to obtain appropriate learning outputs in the disciplines that require laboratory applications. Intensive face-to-face laboratories, home experiment kits, and mobile laboratories, where learners can physically interact with and perform their laboratory instruments and equipment; Virtual laboratories, remote laboratories and virtual computing laboratories, where 21st century technologies are used, are at the forefront of these methods. Within the scope of the study, the advantages and limitations of these laboratory applications for open and distance learning are discussed.

Keywords: Open and distance learning, Laboratory applications, Virtual and remote laboratories

GİRİŞ

Laboratuvarlar, mühendislik, sağlık bilimleri, teknik bilimler ve fen bilimleri gibi pek çok disiplinde, eğitimin ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilir. Laboratuvar uygulamaları, teorik olarak öğretilen olayları/durumları gözlemlemek için öğrenenlerin materyallerle etkileşim kurduğu öğrenme deneyimleri şeklinde tanımlanabilir (Hofstein & Lunetta, 1982). Laboratuvarlarda gerçekleştirilen uygulamalar ile teorik kavramların pekiştiril-

mesi sağlanır. Ayrıca, fiziksel manipülasyon, gözlem, ölçüm, tahmin, planlama, hipotez kurma, problem çözme, işbirliği yapma, veri elde etme, sonuçları yorumlama, zaman yönetimi ve hatalarla baş etme gibi uygulama becerilerinin geliştirilmesi amaçlanır (Kennepohl, 2013; Meester & Kirschner, 1995). Ayrıca laboratuvar uygulamaları ile öğrenenlere gerçek olgularla/olaylarla ilgili deneyim sahibi olma imkânı sağlanır. Tüm bu nedenlerden dolayı laboratuvar uygulaması gerektiren

* Bu makale, yazarın Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde hazırlanan ve Prof. Dr. Ali Ekrem ÖZKUL danışmanlığında yürütülen "Açık ve Uzaktan Öğrenmede Sanal Laboratuvarlar: Devre Analizi Uygulaması" isimli doktora tezinden üretilmiştir.

* This article is a part of author's PhD dissertation entitled "Virtual Laboratories In Open And Distance Learning: Circuit Analysis Application" at Anadolu University, Institute of Social Sciences, under the guidance of Prof. Dr. Ali Ekrem ÖZKUL.

Hanife ÇİVRİL (✉)

ORCID ID: 0000-0003-2925-3688

Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye
Süleyman Demirel University, Distance Learning Vocational School, Department of Computer Technology, Isparta, Turkey
hanifecivril@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received : 23.11.2017

Kabul Tarihi/Accepted : 26.01.2018

disiplinlerin bilgi ve teoriye dayalı diğer disiplin alanlarındaki eğitimden farklı olduğu söylenebilir. Laboratuvarların, öğrenme çıktılarının uygun şekilde yansıtılmasını sağlayacak ve öğrenenler için değerli bir öğrenme ortamı olacak şekilde tasarlanması kurumlar açısından pahalı ve karmaşık girişimlerdir (Kennepohl, 2013). Pahalı ekipmanların kullanılması, araç-gereç eksiklikleri, mekân yetersizlikleri gibi durumlar eğitim kurumlarında karşılaşılan sıkıntılardan bazılarıdır (Kaba, 2012). Ayrıca kalabalık sınıflarda öğrencilerin gruplar halinde deneyleri yürütmesi ve zaman sınırlamasının olması gibi olumsuzluklar nedeniyle laboratuvar uygulamaları genellikle öğrencilerin ders kitaplarındaki yönergelerin dışına çıkmadan gerçekleştirdikleri deneyler haline dönüşmekte ve öğrencilerin uygulama becerilerini geliştirmede yetersiz kalmaktadır (Meester & Kirschner, 1995).

Laboratuvarların, geleneksel olarak etkili bir şekilde tasarlanması ve öğrencilere sunulması kesinlikle kolay olmayan bir girişimken, açık ve uzaktan öğrenme sunan kurumlarda bu durum daha zordur (Kennepohl, 2013). Öğrenenlerin, laboratuvar kaynaklarından uzakta olması bu zorluğun en temel sebebidir. Açık ve uzaktan öğrenme, önemli ölçüde öğrenenlerin bireysel çalışmasına bağlı olduğu için, bireysel çalışmayı amaçlayan çalışma materyallerinin düzenlenmesine ve sunumuna önem verilmelidir. Bunun için çeşitli öğrenme ortamları sunulmaktadır. Bunlar arasında özel olarak hazırlanan basılı materyaller başta olmak üzere elektronik ortamlar (ses, video) ve destek hizmetleri öğrenenlerin çalışmalarına yardımcı olmak amacıyla kullanılmaktadır. Belirli bilişsel beceriler bu ortamların kullanımı ile elde edilebilse de, öğrenenlerin uygulama becerilerinin geliştirilebilmesinde yeterli olamamaktadır. Öğrenenlerin laboratuvar uygulamalarına aktif olarak katılmaları beklenmektedir (Meester & Kirschner, 1995; Özkul, 2003). Açık ve uzaktan öğrenmede öğrenenlerin zaman ve mekân bağlamında, birbirlerinden ve öğrenme kaynaklarından uzakta olmasından dolayı laboratuvar uygulaması gerektiren disiplin alanları için çeşitli çözümler geliştirilmiştir. Bu çalışmada, geçmişten günümüze açık ve uzaktan öğrenmede laboratuvar uygulamaları için geliştirilen çözümler ele alınmış ve bu çözümlerin avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

Yoğunlaştırılmış Yüz Yüze Laboratuvar Uygulamaları

Açık ve uzaktan öğrenme sağlayan bazı kurumlar, öğrenenlerin uygulama becerilerini geliştirmek amacıyla laboratuvar çalışmalarını yürütebilecekleri fiziksel ortamlar sunmaktadır. Bu ortamlar, çoğunlukla kurumun kendi bünyesinde olmakla birlikte, kuruma bağlı bazı merkezlerde veya öğrenenlere daha yakın diğer kurumlarda olabilmektedir.

Yoğunlaştırılmış yüz yüze laboratuvar uygulamaları, öğrenenlere kaliteli laboratuvar ekipmanları ile çalışma imkânları sunabilir. Ancak kurum ve öğrenenler açısından finansal ve pratik nedenlerle bu laboratuvar uygulamaları, dönemde veya yılda birkaç gün ile sınırlıdır ve öğrenenlere gruplar halinde verilir (Cooper, 2005; Lyall & Patti, 2010). Bu süre zarfında, öğrenenler, laboratuvar uygulamalarını denetimli bir ortamda, diğer öğrenenlerle etkileşimli bir şekilde yürütür. Öğrenenlere genellikle yüz yüze laboratuvar uygulamalarına katılmadan önce basılı materyaller sunulur ve bu basılı materyallerde, uygulamaların

yürütülmesi ile ilgili yönlendirmeler ve güvenlik prosedürleri mevcuttur (Dalgarno, Bishop, & Bedgood Jr., 2003).

Yüz yüze laboratuvar uygulamaları, öğrenenlere gerçek verilerle çalışma imkânı sunmaktadır. Öğrenenlere teori ve uygulama arasındaki uyumsuzluklardan meydana gelecek beklenmeyen durumlar sunarak farklı öğrenme deneyimleri sağlar (Ma & Nickerson, 2006; Özkul, 2003). Bu laboratuvarlarda, öğrenenlerin laboratuvar çalışmalarını gözlemleyen, ilerlemelerini takip eden, çalışmalarında yardım eden öğretim elemanları, teknisyenler gibi destek personelleri bulunmaktadır (Cooper, 2005).

Bu tür laboratuvar uygulaması, öğrenenlerin gerçek bir laboratuvar deneyimi kazanmaları açısından oldukça değerli olmasına rağmen açık ve uzaktan öğrenme konsepti ile çeliştiği düşünülmektedir. Açık ve uzaktan öğrenmeyi cazip kılan en önemli avantajlarından biri olan zaman ve mekân bağımsızlığı, öğrenenlerin belirli bir zamanda belirli bir mekânda bulunma zorunluluğu ile ortadan kalkmaktadır (Al-Shamali & Connors, 2010; Islam, 2010). Laboratuvar uygulamaları için belirli bir mekâna gelmek, öğrenenler açısından önemli sıkıntılar yaratabilmektedir. Öğrenenler genellikle kurumdan uzakta yaşadıklarından dolayı bu sıkıntıların başında seyahat masrafı ve kalacak yer sıkıntısı gelmektedir. Aile sorumlulukları ve çalışan öğrenenlerin izin alma sıkıntısı da diğer sıkıntılar arasında sayılabilir (Brewer et al., 2013; Lyall & Patti, 2010). Bu gibi durumlar öğrenenlerin, açık ve uzaktan öğrenme ile laboratuvar tabanlı disiplinlerde çalışmalarına engel olabilmektedir. Bazı kurumlar bu sorunların üstesinden gelmek için laboratuvar uygulamalarını, öğrenenlere daha yakın olan kuruma bağlı öğrenme merkezlerinde veya öğrenenlerin bulunduğu bölgelerdeki anlaşmalı kurumlarda sunmaktadır. Ancak bu durum, öğrenenlerin sıkıntılarını bir nebze azaltmasına rağmen gerekli esnekliği sağlayamamaktadır. Fozdar, Kumar ve Kannan (2006), Indira Gandhi Ulusal Açık Üniversitesi'nde, açık ve uzaktan öğrenme ile verilen bilim programında, çalışma merkezlerinde verilen zorunlu yüz-yüze laboratuvar uygulamalarını öğrenenlerin programı bırakma kararını etkileyen en önemli faktörlerden biri olarak bulmuştur.

Laboratuvar uygulamalarının kısa bir zaman periyodu içinde verilmesi ve bu kısıtlı zaman içinde birçok deneyin yapılmak zorunda kalınması, öğrenenlerin bilişsel olarak fazla yüklenmesine neden olabilmektedir (Al-Shamali & Connors, 2010). Ayrıca öğrenenlerin, deneyleri yürütürken farklı değişkenler altında deneyin vereceği tepkileri gözlemlemesi ve elde ettiği sonuçlara dayanarak eleştirel düşünmesi de yeterli zamanın olmamasından dolayı mümkün olamamaktadır (Kamlaskar, 2009). Deneylerin yürütülmesi sırasında öğrenenler genellikle gruplar halinde çalıştığı için, grup içindeki bazı öğrenenler diğerlerinin hızına ayak uyduramayabilir veya deneyin yürütülmesine de aktif olarak katılamayabilir (Dalgarno et al., 2003).

Kurumlar açısından bakıldığında, bu laboratuvar uygulamalarının sunulması mekân, altyapı ve personel gibi ihtiyaçlardan dolayı oldukça pahalı bir girişim olarak düşünülmektedir (Ma & Nickerson, 2006). Belirli bir zamana sıkıştırılan bu laboratuvar uygulamalarının organizasyonu da zor olabilmektedir (Campbell et al., 2002).

Ev Deney Kitleri

Açık ve uzaktan öğrenenlere laboratuvar deneylerini yürütmelerini sağlayacak bir diğer yol ise ev deney kitleridir. Ev deney kitleri, öğrenenlerin evde laboratuvar uygulamalarını gerçekleştirebilmelerini sağlayan materyaller ve ekipmanlardan oluşan bir pakettir. Geleneksel laboratuvarlar, büyük, karmaşık ve pahalı ekipmanlarla donatılırken, ev deney kitleri, daha ucuz ve boyut bakımından daha sınırlı olma eğilimindedir (Al-Shamali & Connors, 2010). Her kitin içeriği, dersin öğrenme hedeflerine göre değişiklik göstermektedir (Reck, Sreenivas, & Loui, 2015).

Ev deney kitlerinin tasarlanması ve geliştirilmesi aşamasında da dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır (Al-Shamali & Connors, 2010; Lyall & Patti, 2010; Sarik & Kymissis, 2010):

- Deneyler, mümkün olduğu kadar geleneksel laboratuvarlarda yürütülen deneylere benzer olarak yapılmalıdır.
- Deney kitlerinin maliyeti mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır.
- Kitlerin taşınabilir nitelikte olması sağlanmalıdır.
- Gözetimli bir ortam olmadığı için kitlerin mümkün olduğu kadar güvenli olması sağlanmalıdır.
- Kitler, sınırlı derecede deneyime sahip olan öğrenenler için basit, ama aynı zamanda anlamlı deneyler gerçekleştirebilecek kadar da etkili olmalıdır.

Ev deney kitlerinin öğrenenler açısından bazı dezavantajları da vardır. En önemli sorun, öğrenenleri gözlemleyen ve onlara rehberlik eden bir personelin olmamasından dolayı öğrenenlerin, deneyleri doğru şekilde yürütüp yürütmediğinin anlaşılmasının zorluğudur (Lyall & Patti, 2010). Bu sorunun çözümü için dijital kamera kullanımı önerilmektedir. Bu sayede, öğrenenlerin gözlenmesi ve gerekli dönütlerin sağlanması mümkün olabilir. Ayrıca öğrenenler, deneyleri tek başlarına yürütmek zorundadır. Ancak, öğrenenlerin akranlarından izole olmaları ve öğrenen-öğrenen etkileşiminin olmaması, laboratuvar deneyimini olumsuz olarak etkileyebilir (Kennepohl, 2007). Diğer taraftan, öğrenenlerin bireysel olarak çalışmaları, deneyleri yürütmek için sarf edilen çabayı artıracaktır; bu durum aktif öğrenmenin önemli bir parçası olarak görülmektedir (Al-Shamali & Connors, 2010).

Diğer sorunlardan biri olan güvenlik nedeniyle bazı deneyleri değiştirme ve basitleştirme zorunluluğu, öğrenenlerin deneylerden elde ettiği deneyimi eğitsel olarak daha az değerli hale getirebilmektedir. Ayrıca gözetim olmadan güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilen deneylerin sayısı sınırlıdır (Lyall & Patti, 2010). Yüksek teknoloji gerektiren bazı derslerin uygulamalarının ev deney kitleri ile verilmesi maliyet faktöründen dolayı neredeyse imkânsızdır. Dolayısıyla ev deney kitleri, laboratuvar çalışmalarında pahalı donanımla ihtiyaç duyan ileri seviye dersler için uygun olamamaktadır (Abdel-Salam, Kauffmann, & Crossman, 2007; Sarik & Kymissis, 2010).

Monash Üniversitesi (Avustralya), Athabasca Üniversitesi (Kanada), İngiltere Açık Üniversitesi, Deakin Üniversitesi (Avustralya), Murdoch Üniversitesi (Avustralya) gibi bazı kurumlar ev deney kitlerini kullanmaktadır. Bu kurumlar, ev deney kitlerini öğrenenlere hazırlayarak göndermektedir. Ancak gönderme prosedürlerinde ülkeden ülkeye farklılıklar olabilmektedir. Örneğin Avustralya'da kitler, öğrenenlerden alınan belli bir ücret karşılığında gönderilmekte ve ders bitiminde kitler, öğrenenlerden eksiksiz olarak geri alındığında ücreti öğrenenlere geri ödenmektedir. Kanada'da ise kitler öğrenenlere ücretsiz olarak gönderilmektedir. Öğrenenlerden kitler dönene kadar, o dersten alınan notlar askıya alınmaktadır (Al-Shamali & Connors, 2010).

Ev deney kitlerinin amacı, öğrenci erişimini artırmak ve bireyselleştirilmiş bir öğrenme sağlamaktır (Shaw & Carmichael, 2010). Açık ve uzaktan öğrenmede yüz yüze laboratuvar uygulamaları yerine ev deney kitlerinin kullanılmasının öğrenenler açısından artan esneklik ve erişim nedeniyle öğrenci kayıtlarında önemli bir artış sağladığı belirtilmiştir (Brewer et al., 2013). Ev deney kitlerini kullanan öğrenenlerle yapılan bir çalışmada, öğrenenlerin bu kitler ile yapılan deneyleri ilginç bulduğu ve öğrenenlerin bütün laboratuvar uygulamalarının bu yolla verilmesini istedikleri belirtilmiştir (Kennepohl & Last, 2000). Öğrenenlerin deney kitleri ile ilgili memnuniyetlerinin araştırıldığı çalışmalar, öğrenenlerin bu ortamdaki deneyimlerinden memnun kaldıklarını ortaya koymaktadır (Borgstrom et al., 2012; Sarik & Kymissis, 2010). Reck, Sreenivas ve Loui (2015), ev deney kitlerini kullanan ve normal deney ekipmanlarını kullanan öğrenenleri karşılaştırmış ve her iki grubun da öğrenme çıktılarının benzer olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Mobil (Gezici) Laboratuvarlar

Mobil (gezici) laboratuvarlar, ekipmanların ve uzman personelin TIR, kamyon, karavan, otobüs gibi araçlarla farklı yerlerdeki öğrenenlerin bulunduğu yerlere götürüldüğü laboratuvarlardır. Bu şekilde laboratuvar erişiminin mümkün olmadığı yerlerde yaşayan insanlara, kurumlara mobil laboratuvarlar aracılığıyla uygulama yapma imkânı sunulabilmektedir. Bu laboratuvarlarda, geliştirilmesi amaçlanan beceriler için gerekli olan ekipman ile birlikte bu ekipmanları destekleyen altyapı mevcuttur. Öğrenenlere, kısa bir zaman aralığında yoğunlaştırılmış olarak yüz yüze laboratuvar çalışmalarını yürütme ve becerilerini geliştirme imkânı sağlanır (Hampton, 2002). Örneğin Uganda'da K12 öğrencilerinin bilim laboratuvarlarında uygulama deneylerini gerçekleştirebilmeleri için bir mobil laboratuvar kullanılmaktadır. "TASTE"¹ adı verilen bu faaliyet ile mobil bilim laboratuvarı, çeşitli okulları ziyaret ederek öğrencilere uygulamalı bilim deneylerini sağlamaktadır. Bu mobil laboratuvar, herhangi bir okulda laboratuvar çalışmalarının öğretilmesinde gerekli olan bütün ekipmanlar mevcuttur. Mobil laboratuvar uygulamalarına alternatif bir model de, farklı mekanlarda uzun zaman sarf edilmesi gerektiğinde kullanılması için tasarlanan nakliye konteynirlerinin kullanımınıdır ve bu konteynirler, dönüşümlü olarak laboratuvar ihtiyacı olan bölgelere taşınmaktadır (Hampton, 2002).

¹"The African Science Truck Experience" (<http://www.homepageafrica.com/tag/taste/>)

Sanal Laboratuvarlar

Sanal laboratuvarlar, gerçek laboratuvar ortamlarının benzetimleridir ve çeşitli yazılımlar aracılığıyla geliştirilebilmektedir. Sanal laboratuvarlar, görsel özelliklerine bağlı olarak iki boyutlu ve üç boyutlu (sanal gerçeklik) olarak iki şekilde gruplandırılabilir. Sanal laboratuvarların güçlü bir etkiye sahip olması için gerçekliğe mümkün olduğu kadar yakın ve zengin teknolojiye sahip olmaları gerektiği belirtilmektedir (Couture, 2004; Muthusamy, Kumar, & Latif, 2005). Gerçek laboratuvarlara en güçlü alternatif olan üç boyutlu olarak tasarlanmış laboratuvarların bunu sağlayabileceği düşünülmektedir. 21. yüzyılın yazılım ve grafik teknolojileri sayesinde ileri düzeyde gerçekçi ve fiziksel bulunuşluk hissi veren sanal laboratuvarlar yapılabilmektedir.

Chaturvedi & Dharwadkar (2011) ise, sanal laboratuvarları etkileşim düzeyine göre etkileşimsiz ve etkileşimli olarak gruplandırmaktadır. Öğrenenlerden herhangi bir girdi istenmeyen, sadece gözlem yapmasına izin veren etkileşimsiz sanal laboratuvarlar, karmaşık fiziksel olguların gösterimi için oldukça etkili olabilmektedir. Etkileşimli laboratuvarlar ise bir öğrenenlerden gelen girdiler doğrultusunda laboratuvar uygulamalarının yönlendirebildiği laboratuvarlardır.

Geleneksel laboratuvar ortamında, öğrenenlerin deneylerini gerçekleştirebilmeleri için sınırlı zamanları vardır. Sanal laboratuvarlar, bu zaman kısıtını ortadan kaldırarak öğrenenlere gereken hızda çalışma fırsatı verir. Öğrenenlere deney düzeneklerini oluşturma, farklı senaryoları test etme, deneyleri tekrarlama ve hatalarının sonuçlarını görme konularında esneklikler sunar. Böylece öğrenenler, deneyleri tasarlama, sonuçları analiz etme ve yorumlama konusunda daha rahat olabilirler (Bell, 1999; Finkelstein et al., 2005a). Sanal laboratuvarların kaynak paylaşımını kolaylaştırması, seyahat masraflarını azaltması, düşük maliyetli, ilgi çekici ve etkileşimli olması ve yapılan hatalardan kaynaklanabilecek tehlikelerin olmaması gibi pek çok yararı da vardır (Arjamand & Khattak, 2013). Ancak, öğrenenlerin sanal laboratuvarların kullanılması konusunda veya deneyler ile ilgili desteğe ve rehberliğe ihtiyaçları olabilirse de, gerekli akademik ve teknik desteğin anında sağlanması ile öğrenenler deneylerine daha fazla odaklanabilirler (Holzinger et al., 2009).

Öğrenenler sanal laboratuvarlarda bireysel olarak çalışmaktadır. Diğer taraftan öğrenenlerin deneylerden elde ettikleri sonuçlarını paylaşabilecekleri ve akranlarıyla işbirliği yapabilecekleri öğrenme ortamlarının sunulması onları daha fazla çalışma ve deney yapma konusunda motive edecektir (Stefanovic, 2013). Çoklu ortam destekli, yüksek etkileşimli, işbirlikli sanal laboratuvarlar, yapılandırmacı öğrenmeyi destekleyerek öğrenenlerin problem çözme becerilerini geliştirme konusunda değerli bir öğrenme aracı olacaktır (Sahin, 2006). Sanal laboratuvarların tüm bu yararlarına rağmen, hâlâ bazı araştırmacılar tarafından geleneksel laboratuvar uygulamalarına göre zayıf bir alternatif olarak görülmektedir. Bunun en önemli nedeni olarak öğrenenlerin gerçek laboratuvar araçlarıyla ve dolayısıyla gerçek veri kaynakları ile çalışamamaları gösterilmektedir. Bu yüzden bazı araştırmacılara göre sanal laboratuvarlar, sadece geleneksel laboratuvarlara destek materyali olarak kullanılmaktadır (Nedic, Machotka, & Nafalski, 2003). Bazı araştırmacılara

göre ise iyi tasarlanmış sanal laboratuvarlar, başlangıç aşamasında geleneksel laboratuvarın yerine kullanılabilir (Doiron, 2009). Sanal laboratuvarların geleneksel laboratuvar uygulamalarına destek olarak kullanılmasının öğrenmeye önemli katkılarının olduğu belirtilmektedir. Geleneksel laboratuvar ortamına gelmeden önce kullanılan sanal laboratuvarlar, öğrenenlere deney ortamını tanıtmak, deney sürecini anlatmak ve deneyde kullanılacak araç-gereçleri tanıtarak deney düzeneklerini oluşturmak gibi çeşitli imkânları sunmaktadır. Destek materyali olarak kullanılan iyi tasarlanmış etkileşimli sanal laboratuvarlar, öğrenenlere aşağıdaki fırsatları sunmaktadır (Dalgarno, 2002; Kamlaskar, 2007):

- Deneylerin gerçek ortamda yürütülmesinden önce sanal laboratuvar uygulamalarının denenmesi
- Gerçek veri veya ekipmanla etkileşime girmeden zamandan ve mekândan bağımsız uygulamalar yapmak
- Öz güven oluşturarak çalışılan ortamda kendilerini rahat hissetmek
- Farklı değerler için deneyin sonuçlarını yordamak ve gözlemlemek
- Laboratuvar kurallarını daha iyi anlamak ve güvenli çalışma yapmak
- Deney ortamında gerekli araç-gereçleri tanımak, bu araç-gereçleri doğru bir şekilde kullanmak ve deney düzeneklerini oluşturmada zorluk yaşamamak
- Öğrenenlerin gerçek ortamda laboratuvar aktivitelerini etkili olarak yürütmeye hazır olup olmadıklarını kendi kendilerine test etmeleri imkânını vermek

Sanal laboratuvarların eğitsel olarak etkililiğinin değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır. Bazı çalışmalar sanal laboratuvarların geleneksel laboratuvarlara hazırlanma konusunda oldukça etkili olduğunu ileri sürmektedir (Abdulwahed & Nagy, 2009; Campbell et al., 2002; Chaturvedi & Dharwadkar, 2011; Zacharia & Anderson, 2003). Sanal laboratuvarlar ile geleneksel laboratuvarlarda öğrenenlerin performanslarının karşılaştırıldığı çalışmalardan bir kısmı kavramsal değişimin hem sanal, hem de gerçek uygulama deneyimleri ile mümkün olabileceğini, öğrenenlerin bu iki ortamdaki performansları arasında fark olmadığını ve öğrenme hedeflerinin sağlanabildiğini gösterirken (Başer ve Durmuş, 2010; Hall, 2000; Hawkins ve Phelps, 2013; Hsu ve Thomas, 2002; Lammi, 2009; Oser, 2013; Tatlı ve Ayas, 2012) bir kısmı ise sanal laboratuvarların geleneksel laboratuvarlara göre daha etkili olduğu sonucuna ulaşmıştır (Barnea & Dori, 1999; Finkelstein et al., 2005b; Holzinger et al., 2009; Javidi, 2004; Martínez-Jiménez et al., 2003; Tüysüz, 2010). Ayrıca sanal laboratuvar deneyimlerine yönelik öğrenenlerin yaklaşımlarının incelendiği çalışmalarda öğrenenlerin algılarının olumlu olduğu da bazı çalışmalarda ortaya konmuştur (Arjamand & Khattak, 2013; Kamlaskar, 2009; Stuckey-Micell & Stuckey-Danner, 2007).

Uzak Laboratuvarlar

Uzak laboratuvarlar, belirli bir mekânda bulunan laboratuvar

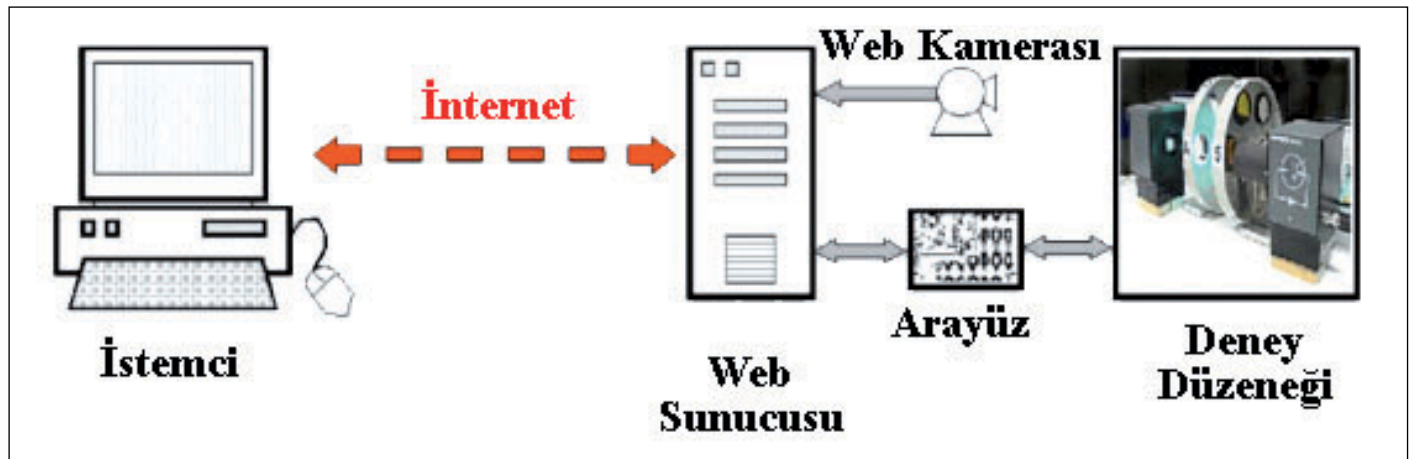
ekipmanına internet aracılığıyla ulaşılmasını ve uygulamaların gerçek zamanlı yürütülebilmesini sağlayarak öğrenenlere, belirli bir mekâna gitmeden gerçek ekipmanları kontrol etmek, deney değişkenleri ile oynayarak çeşitli ölçümler yapmak, elde ettiği bilgileri sentezlemek ve topladığı verilere dayanarak kendi sonuçlarını oluşturmak imkânı sunar (Alhalabi, Anandapuram, & Hamza, 2000; Kennepohl, 2010). Uzak laboratuvarların hazırlanması ve öğrenenlere sunulması için belirli donanımlara ve yazılımlara ihtiyaç vardır. Şekil 1’de bir uzak laboratuvarın çalışma prensibi basitçe gösterilmiştir. Düzeneğin dört ana bölümden oluşmaktadır: Deneyin yürütüleceği istemci bilgisayar, “web” sunucusu, “web” kamerası-arayüzü ve deney düzeneği. İstemci bilgisayar, öğrenenlerin deneylerini gerçekleştirmek için kullandıkları bilgisayarı ifade etmektedir. Öğrenenler, istemci bilgisayardan bir yazılım ve internet aracılığı ile deneyle ilgili isteklerini “web” sunucusuna bildirir. “Web” sunucusu ise bu istekleri bir arayüz ile deney düzeneğine iletir. Deneyin sonuçları ve video görüntüleri de, aynı şekilde “web” sunucusu üzerinden internet aracılığı ile öğrenenlere iletilir (Gröber et al., 2007). Uzak laboratuvarlarda, öğrenenler tarafından uygulamaların kolay gerçekleştirilebilmesi için kullanılan yazılımların kullanıcı dostu olması önemlidir. Bu laboratuvarlarda platformdan bağımsız, ücretsiz veya düşük ücretli istemci yazılımlarının kullanılması, istemci tarafı uygulamaların güvenliğinin sağlanması, istemci/sunucu yazılımlarının kolay yüklenebilir olması, laboratuvar deneylerinin ve sonuçların bir veri tabanında saklanması ve kullanılan yazılımların kolay anlaşılabilir olması da önerilmektedir (Stefanovic et al., 2013). Ayrıca uzak laboratuvarlarla çalışan öğrenenlerin deneyleri daha iyi yürütebilmeleri için hızlı ve gelişmiş özelliklere sahip bilgisayarlara ve hızlı bir internet bağlantısına sahip olması gerektiği de ileri sürülmektedir (Al-Sharif et al., 2011).

Uzak laboratuvarlara erişim mümkün olduğu kadar esnek olmalı; öğrenenler zaman ve mekân bağlamında kısıtlama olmadan laboratuvar uygulamalarını gerçekleştirebilmelidir (Balamuralithara & Woods, 2009). Uzak laboratuvar uygulamalarında herhangi bir karışıklık yaşanmaması için genellikle rezervasyon sistemi kullanılmaktadır. Öğrenenler, uzak laboratuvarlar için kurumun sunduğu web ara yüzünden kendi

seçtiği bir zaman dilimi için rezervasyon yaptırmaktadır. Hem geleneksel eğitim için, hem de açık ve uzaktan öğrenme için laboratuvar uygulamalarına erişimi artıran önemli fırsat olarak görülen uzak laboratuvarlar, zaman ve mekân bağlamında geleneksel laboratuvar uygulamalarına göre daha esnek olmalarının yanında engelli öğrenciler için erişimi artırmada, uygulama esnasında riskleri azaltarak tehlikeli ve pahalı ekipmanlara erişimi güvenli bir şekilde sağlamada ve pahalı kaynakların kurumlar arasında paylaşılmasını da hayata geçirmede önemli yere sahiptir (Alhalabi, Hamza, & Humos, 2008; Cooper, 2005; Kennepohl, 2010). Ancak, uzak laboratuvarların geliştirilmesi, bakım ve onarımları da ekonomik zorlukları beraberinde getirmektedir. Bir kurum, bu laboratuvar uygulamasını eğitimine entegre etmeden önce fayda-maliyet analizi yapmalıdır. Bu tür bir analizin yapılmasında dikkat edilmesi gereken anahtar konular ise şunlardır (Cooper, 2005):

Öğrenci sayısı ve ölçeklenebilirlik: Öğrenci sayısı, uzak laboratuvarların fayda-maliyet analizinin yapılmasında dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. Büyük miktardaki öğrenci grubu, laboratuvarların yoğun kullanımından dolayı ve fazla sayıda araç gereç ihtiyacı olacağından dolayı maliyeti artıracaktır. Buna karşın, küçük öğrenci grupları da uzak deneylerin kullanılması için uygun olmayabilir. Bu durumda, uzaktan erişimli laboratuvarlar yüklü bir yatırım gerektirmesine karşın sadece belirli zamanlarda kullanımları söz konusu olacaktır. Bu laboratuvar uygulamaları kurumlar arasında paylaşırsa, hem yüksek bir kullanım oranı söz konusu olacak, hem de maliyetler azalacaktır.

Danışman ve teknik destek: Araç-gereçlerin, sunucuların veya yazılımların maliyeti, uzaktan erişimli laboratuvarların hayata geçirilmesi için gerekli olan harcamaların başında gelir. Uzak laboratuvarlarda kullanılan araçların eskimesi veya arızalanması durumunda kaçınılmaz bir şekilde tamamen değiştirilmeleri gerekebilir. Bunun yanında bazı araçların hız ve fonksiyon bakımından artan beklentileri karşılayamaması ve bu araçların bozulmadan teknolojik yaşam sürelerinin sonuna erişmeleri de kuruma mali yük getirecektir (Kara et al., 2011). Ayrıca, öğrenenlere deneyleri yürütmeleri sırasında rehberlik edecek



Şekil 1: Uzaktan erişimli laboratuvarın çalışma prensibi (Kaynak: Gröber et al., 2007)

danışman ve teknisyen gibi destek personelinin giderleri de uzaktan erişimli laboratuvar uygulamalarında sürekli maliyetin en büyük bileşenlerinden olacaktır.

Fırsat maliyeti: Uzak laboratuvarları kullanıma sunmadan önce aynı öğrenme amaçlarını sağlayacak diğer laboratuvar uygulamaları ile karşılaştırma yapılmalıdır. Uzaktan kontrol sistemlerinin geçmişi daha eskiye dayanmasına rağmen, internet üzerinden uzaktan kontrolün eğitim alanında kullanılması 1990'ların başında başlamıştır. Öncelikli olarak robotik, bilişim ve mühendislik alanlarında kullanılmış ve dolayısıyla literatüre de bu alanlarda katkı sağlanmıştır (Kennepohl, 2010). Uzak laboratuvar ile ilgili ilk çalışmalar daha çok teknik özelliklere ve bu laboratuvarları çalıştıracak donanım ve yazılım sistemlerine odaklanmıştır (Lindsay & Good, 2005). Doğa ve fizik bilimlerinde uzak laboratuvarların kullanılması çok yaygın değildir. Gröber ve ark. (2007)'nin çalışmasında uzak laboratuvar çalışmalarının yaklaşık %60-70'inin mühendislik, %30'unun fizik (elektronik laboratuvarları dahil) ve %10'dan daha az kısmının ise diğer disiplin alanlarına ait olduğu belirtilmektedir. Cooper (2005)'a göre mühendislik alanında daha çok çalışma olmasının iki nedeni vardır. Birincisi, mühendislik alanındaki konuların, uzaktan laboratuvar uygulamaları ile kolayca sunulabilmesi ve ikincisi ise, bu disiplinlerdeki eğitimcilerin, uzak laboratuvar uygulamalarını geliştirme ve kullanma konusunda diğer disiplinlerdeki eğitimcilere göre daha fazla teknik beceriye sahip olmasıdır. Uzak laboratuvarlar, sadece belirli bir konu alanına veya müfredata yönelik olmayıp, günümüzde ilginin artması ile birlikte bazı kurumlar bu laboratuvarların geliştirilmesine, sunulmasına ve kaynakların paylaşılmasında işbirliği yapmaktadır. Örneğin, bunlardan "Global Online Laboratory Consortium (GOLC)", uzak laboratuvarların eğitsel kullanımı, geliştirilmesi, paylaşılması ve bu konuda araştırmalar yapılması konularında üyelerine destek vermektedir. Öğrenenlerin gerçek deneylerle çalışma yapmasının önemli olduğu araştırmacılar tarafından sıklıkla dile getirilmektedir. Uzak laboratuvarlar, öğrenenlere gerçek deneyler yapma imkânı sunduğu için gerçek problemlerle, hatalarla ve ideal olmayan sonuçlarla çalışma fırsatı sağladığından, sanal laboratuvarların bir adım ötesinde olduğu ve gerçek laboratuvar ortamında çalışmaya en iyi alternatif olduğu ileri sürülmektedir (Jara et al., 2011; Kennepohl & Shaw, 2010).

Olumlu birçok yönüne karşın uzak laboratuvarlar, araştırmacılar tarafından iki açıdan eleştirilmektedir. Birincisi, gerçek laboratuvar ortamındaki atmosfere (koku, dokunma deneyimi vs.) benzer bir laboratuvar ortamı sunmadığı düşünülmektedir (Kennepohl, 2010). Ancak, beş duyudan duyma ve görme, düşük bir gecikmeyle de olsa bilgisayar ağları üzerinden öğrenenlere iletilebilmektedir (Aktan et al., 1996). İkincisi, öğrenen-öğrenen ve öğrenen-öğreten etkileşimlerinin olmadığı veya azaldığı yönündedir (Kennepohl, 2010). Öte yandan günümüzde internet ortamında sunulan çeşitli araçların, bu etkileşimleri sağlayarak öğrenenlerin işbirliği ile çalışabilmelerine ve öğrenenlerin, öğretenlerle iletişim kurmalarına imkân sağladığı da düşünülmektedir (Anderson, 2010).

Uzak laboratuvarların geleneksel laboratuvarlar ile karşılaştırıldığı çalışmalarda uzak laboratuvarların geleneksel laboratu-

varlara benzer öğrenme çıktılarını sağladığı ve öğrenme farklılıklarının anlamlı olmadığı belirtilmiştir (Corter et al., 2004; Corter et al., 2007; Corter et al., 2011; Lang, 2012; Lindsay & Good, 2005; Ogot, Elliott, & Glumac, 2003; Sicker et al., 2005; Sonnenwald, Whitton, & Maglaughlin, 2003). Öğrenenlerin uzak laboratuvarları, geleneksel laboratuvarlardan daha etkili bulunduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur (Cmuk, Mutapcic, & Zoino, 2006; Malaric et al., 2008).

Sanal Bilişim Laboratuvarları

Bilgisayar bilimlerinde, teorik derslerin pekiştirilmesi için bilgisayar laboratuvarlarına da ihtiyaç vardır. Bu bağlamda bilgisayar ağları ve sistem yönetimi, "web" uygulamaları geliştirme ve veri tabanı yönetimi gibi uygulama gerektiren derslerin uzaktan yürütülmesini sağlayacak stratejiler gerektirir. Günümüzde, bilgisayar laboratuvarlarının da uzaktan sunulması mümkün hale gelmiştir. Bilgisayar laboratuvarlarında yürütülen uygulamalar yazılım, donanım ve hem yazılım hem de donanım (hibrid) uygulamaları olmak üzere üç başlık altında gruplandırılabilir. Sanal bilişim laboratuvarları, öğrenenlere yazılım ve donanımlarla etkileşim kurarak bilgisayar uygulamalarını uzaktan yürütebilme imkânı sunmaktadır (Gercek & Saleem, 2008). Ağ, işletim sistemi ve sanal makine teknolojilerindeki gelişmeler, sanal bilişim laboratuvarı uygulamalarının geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Burd, Seazzu, & Conway, 2009).

Sanal bilişim laboratuvarı, kullanıcıların buldukları mekândan ve zamandan bağımsız olarak kullanıcılara yazılımların ve donanımların uzaktan dağıtıldığı teknolojik bir yöntemdir. Sanal bilişim laboratuvarı, öğrenenlere ve öğretenlere, web tabanlı sanal bilişim arayüzü aracılığıyla maksimum erişilebilirlik ve esneklik sağlayarak eğitsel amaçları gerçekleştirmelerinde yardımcı olur. Kullanıldığı yükseköğretim kurumunun lisanslı bilgisayar yazılımlarına veya öğrenenler için ayırdığı depolama alanlarına internet üzerinden erişim imkânı sunar. Öğrenenler, platformdan bağımsız olarak kendilerine sunulan bu imkânlardan faydalanabilir. Kişisel bilgisayarlardan olduğu gibi tablet bilgisayarlardan ve akıllı telefonlardan, vb. cihazlardan da sanal bilişim laboratuvarlarına erişim sağlanabilir. Sadece internet bağlantısı olan bir cihaz yeterlidir. Kurumun kullanıcılara sağladığı kullanıcı adı ve şifre ile giriş yapıldıktan ve sisteme bağlandıktan sonra herhangi bir lisans ücreti ödenmeden veya kişisel cihazlara herhangi bir kurulumla gerek kalmadan, yazılımlara erişilebilmektedir.

Günümüzde çoğu öğrenen kişisel bilgisayar sahibidir ve bu bilgisayarlara gerekli olan yazılımların kurulması öğrenenler için zor değildir. Ancak bu durum kurum tarafından sağlanan bilgisayar ihtiyacını ortadan kaldırmada yeterli değildir. Öğrenmeyi desteklemek amacıyla uygun bir işletim sistemi platformuna, yazılımlara, güçlü bir donanıma ve güvenli yürütme ortamına her zaman ihtiyaç vardır. Bunun yanı sıra öğrenenlerin bazı yazılımları düşük fiyatlara bulabilmelerine rağmen, bazı özel yazılımlar oldukça pahalı da olabilmektedir. Bunlar öğrenenleri yazılım sahteciliğine itmektir. Ayrıca, bazı yazılım paketlerinin öğrencilere yönelik versiyonları önemli özellikleri içermeyebilmekte veya kısıtlandırılmış olabilmektedir (Burd, Seazzu, & Conway, 2009). Bazı bilgisayar bilimlerinde ihtiyaç duyulan

çeşitli yazılımların kombinasyonlarına öğrencilerin erişmesi de mümkün olamamaktadır.

Dünyada sanal bilişim laboratuvarı uygulamalarının daha çok geleneksel eğitimde ve kampüsteki bilgisayar ve fiziksel ortam eksikliklerinin ve maliyet sıkıntılarının üstesinden gelinmesi amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Çoğu kurum sanal bilişim laboratuvarını, kurumun lisanslı yazılımlarını uzaktan paylaşmak amacıyla, sadece bilgisayar bilimi öğrencilerine değil, bütün öğrencilerin ve akademik personelin kullanımına açmaktadır. Öğrenenler, sanal bilişim laboratuvarlarına kampüsten veya kampüs dışından istedikleri zaman erişim sağlayabilmektedirler. North Carolina Devlet Üniversitesi, California Devlet Üniversitesi, Old Dominion Üniversitesi, Colorado Devlet Üniversitesi (Amerika Birleşik Devletleri) öğrencilerine sanal bilişim laboratuvarı imkânı sunan kurumlardandır. North Carolina Devlet Üniversitesi, sanal bilişim laboratuvarını 2004 yılında kullanmaya başlamış, kullanım yazılım ve donanım sorunlarından dolayı başlangıçta oldukça sınırlı kalmıştır. 2008'de, üniversite sanal bilişim laboratuvarı yazılımını "Apache Software Foundation"a devretmiş ve böylece proje 'açık kaynak yazılımı' projesi haline gelmiştir (Averitt et al., 2009). Günümüzde, hem kampüs, hem de uzaktan eğitim öğrencilerine bu sanal bilişim laboratuvarı aracılığıyla ihtiyaç duyulan yazılımlar uzaktan sunulabilmektedir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Açık ve uzaktan öğrenmede, uygulama veya laboratuvar derslerinin verilmesi, bilgi ve teorinin öğretilmesinden daha zordur (Hampton, 2002). Bu yüzden çoğu kurum deneysel bilimlerden kaçınmaktadır (Abdel-Salam et al., 2007; Mosse & Wright, 2010; Özkul, 2003). Bazı eğitimlerde laboratuvar gerektiren disiplinlerde öğrencilerin eğitilmesinin açık ve uzaktan eğitim ile mümkün olmayacağı ve laboratuvar çalışmalarının sadece denetlenen fiziksel laboratuvarlarda ve özel ve pahalı ekipmanların kullanımı ile yapılabileceği algısı mevcuttur (Al-Shamali & Connors, 2010). Wedemeyer, geleneksel ortamda gerçekleştirilebilen bütün öğrenme çıktılarının açık ve uzaktan öğrenme ile de kazanılmasının mümkün olduğunu savunmaktadır. Wedemeyer'e göre asıl sorun bu derslerin açık ve uzaktan öğrenme ile verilip verilemeyeceği değil, en iyi nasıl verilebileceği şeklindedir. Eğitimcilerin gerekli çaba gösterip yaratıcılıklarını kullanmaları durumunda bu sorunların üstesinden gelinebileceğini düşünmektedir (Wedemeyer & Najem, 1969; Moore, 2010).

Laboratuvar uygulamalarının açık ve uzaktan öğrenme ile sunulabilmesi için çeşitli çözümler geliştirilmiştir. Bu çözümlerden bir kısmı öğrenenlerin laboratuvar araç ve gereçleri ile fiziksel olarak etkileşime geçerek deneyim sahibi olmalarını sağlarken, bir kısmı da 21. yüzyıl bilgi ve iletişim teknolojilerinin sunduğu fırsatlar ile zaman ve mekân bağlamında esnekliği artıran laboratuvar uygulamalarının uzaktan gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır. Bu çalışmada açık ve uzaktan öğrenme bağlamında bu laboratuvar uygulamalarının avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

Açık ve uzaktan öğrenmede laboratuvar uygulamalarının kullanıma sunulması için tek ve kesin bir çözüm yoktur. Her bir

laboratuvar uygulamasının kendine has avantajları ve dezavantajları vardır. Kurum, bütün bunları dikkate alarak kendisi ve öğrencileri için en uygun çözümü belirlemelidir. Kurumların, öğrenenlere sunacağı laboratuvar uygulamalarını seçerken dikkat etmesi gereken en önemli nokta öğrenme amaçlarıdır. Bunlar, başlangıçta açıkça belirlenmeli ve bunları gerçekleştirmede hangi laboratuvar uygulamasının mali açıdan daha uygun olduğu sorgulanmalıdır. Öğrenenlerin becerileri, özellikleri ve önceki deneyimleri de laboratuvar seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli unsurlar arasındadır. Öğrenme amaçlarını gerçekleştirmek için, laboratuvar uygulamaları birleştirilerek kullanılabilir. Birleştirilen bu laboratuvar uygulamalarından her birinin kurum ve öğrenenler açısından üstün özellikleri kullanılarak öğrenenlere daha etkili laboratuvar deneyimleri yaratılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Salam, T. M., Kauffmann, P. J., & Crossman, G. R. (2007). Are distance laboratories effective tools for technology education? *American Journal of Distance Education*, 21(2), 77–91. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/08923640701299041>
- Abdulwahed, M., & Nagy, Z. K. (2009). The impact of the virtual lab on the hands-on lab learning outcomes, a two years empirical study. In C. Kestell, S. Grainger, & J. Cheung (Eds.), *Proceedings of the 20th annual conference for the Australasian Association for Engineering Education* (pp. 255-260), Adelaide, Australia: The School of Mechanical Engineering, The University of Adelaide.
- Al-Shamali, F., & Connors, M. (2010). Low-cost physics home laboratory. In D. Kennepohl, & L. Shaw, (Eds.), *Accessible Elements: Teaching Science Online and at a Distance* (pp. 131–145). Canada: AU Press.
- Al-Sharif, L., Saleem, A., Ayoub, W., & Naser, M. (2011). Teaching control system principles using remote laboratories over the internet. In S. I. Ao, L. Gelman, D. W. Hukins, A. Hunter, & A. M. Korsunsky (Eds.), *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011* (pp. 1375-1379), London, U.K.
- Alhalabi, B., Anandapuram, S., & Hamza, K. (2000). Real laboratories: An innovative repartee for distance learning. In *Proceedings of the 4th Multiconference on Systemic, Cybernetics and Informatics, SCI2000*. Orlando, USA.
- Alhalabi, B., Hamza, M. K., & Humos, A. A. E. (2008). Distance education: Remote labs environment. In *ASEE Middle Atlantic Annual Meet proceedings*. Retrieved from <https://www.asee.org/documents/sections/northeast/2008/Distance-Education-Remote-Labs-Environment.pdf>
- Aktan, B., Bohus, C. A., Crawl, L. A., & Shor, M. H. (1996). Distance learning applied to control engineering laboratories. *IEEE Transactions on Education*, 39(3), 320–326. doi:10.1109/13.538754
- Anderson, T. (2010). Interactions affording distance science education. In D. Kennepohl, & L. Shaw, (Eds.), *Accessible elements: Teaching science online and at a distance* (pp. 1–18). Edmonton: Athabasca University Press.
- Arjamand, M. J., & Khattak, M. D. (2013). *Virtual labs: A new horizon for localised distance education*. Paper presented at the 27th Annual Conference of Asian Association of Open Universities 2013, Islamabad, Pakistan. Retrieved from <http://www.aaou2013.com/pdf/190.pdf>

- Averitt, S. F., Peeler, A., Schaffer, H. E., Hoit, M. I., Vouk, M. A., & Sills, E. D. (2009). NCSU's virtual computing lab: A cloud computing solution. *Computer*, 42(1), 94-97, 2009. doi:10.1109/MC.2009.230
- Balamuralithara, B., & Woods, P. C. (2009). Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. *Computer Applications in Engineering Education*, 17(1), 108-118. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/cae.20186>
- Barnea, N., & Dori, Y. J. (1999). High-school chemistry students' performance and gender differences in a computerized molecular modeling learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 8(4), 257-271.
- Başer, M., & Durmuş, S. (2010). The effectiveness of computer supported versus real laboratory inquiry learning environments on the understanding of direct current electricity among pre-service elementary school teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(1), 47-61.
- Bell, J. (1999). The biology labs on-line project: Producing educational simulations that Promote active learning. *Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer Enhanced Learning*, 1(2). Retrieved from <http://imej.wfu.edu/articles/1999/2/01/index.asp>
- Borgstrom, P. H., Kaiser, W. J., Chung, G., Nelson, Z., Paul, M., Stoytchev, S. M., & Ding, J. T. K. (2012). *Science and engineering active learning (seal) system: A novel approach to controls laboratories*. Paper presented at the 2012 ASEE Annual Conference and Exposition, San Antonio, Texas. Retrieved from <https://peer.asee.org/21900>
- Brewer, S. E., Cinel, B., Harrison, M., & Mohr, C. L. (2013). First year chemistry laboratory courses for distance learners: Development and transfer credit acceptance. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 14(3), 488-507.
- Burd, S. D., Seazzu, A. F., & Conway, C. (2009). Virtual computing laboratories: A case study with comparisons to physical computing laboratories. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 8, 55-78. Retrieved from <http://jite.org/documents/Vol8/JITEv8IIP055-078Burd693.pdf>
- Campbell, J. O., Bourne, J. R., Mosterman, P. J., & Brodersen, A. J. (2002). The effectiveness of learning simulations for electronic laboratories. *Journal of Engineering Education*, 91(1), 81-87. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2002.tb00675.x>
- Chaturvedi, S. K., & Dharwadkar, K. A. (2011). Simulation and visualization enhanced engineering education – development and implementation of virtual experiments in a laboratory course. In J. Bernardino, & J. C. Quadrado, (Eds.), *1st World Engineering Education Flash Week (WEE2011)* (pp. 933-942), Lisbon, Portugal.
- Cmuk, D., Mutapcic, T., & Zoino, F. (2006). *Remote versus classical laboratory in electronic measurements teaching - effectiveness testing*. Paper presented at the XVIII IMEKO World Congress, Rio de Janeiro, Brazil. Retrieved from http://bib.irb.hr/datoteka/273019.IMEKO_Cmuk_00517_.pdf
- Cooper, M. (2005). Remote laboratories in teaching and learning – issues impinging on widespread adoption in science and engineering education. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 1(1).
- Corter, J. E., Nickerson, J. V., Esche, S. K., & Chassapis, C. (2004). Remote versus hands-on labs: A comparative study. In *34th Annual Frontiers in Education, 2004* (pp. F1G-17-21), Savannah, GA, USA. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/FIE.2004.1408586>
- Corter, J. E., Nickerson, J. V., Esche, S. K., Chassapis, C., Im, S., & Ma, J. (2007). Constructing reality: A study of remote, hands-on, and simulated laboratories. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 14(2).
- Corter, J. E., Esche, S. K., Chassapis, C., Ma, J., & Nickerson, J. V. (2011). Process and learning outcomes from remotely-operated, simulated, and hands-on student laboratories. *Computers & Education*, 57(3), 2054-2067.
- Couture, M. (2004). Realism in the design process and credibility of a simulation-based virtual laboratory. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20(1), 40-49. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2004.00064.x>
- Dalgarno, B. (2002). The potential of 3D virtual learning environments: A constructivist analysis. *Electronic Journal of Instructional Science and Technology*, 5(2). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/216458729_The_Potential_of_3D_Virtual_Learning_Environments_A_Constructivist_Analysis
- Dalgarno, B., Bishop, A. G., & Bedgood-Jr., D. R. (2003). The potential of virtual laboratories for distance education science teaching: Reflections from the development and evaluation of a virtual chemistry laboratory. In K. Placing, (Ed.), *Proceedings of Improving Learning Outcomes Through Flexible Science Teaching* (pp. 90-95), Sydney, Australia. Retrieved from <http://openjournals.library.usyd.edu.au/index.php/IISME/article/view/6527>
- Doiron, J. B. (2009). *Labs not in a lab: A case study of instructor and student perceptions of an online biology lab class* (PhD Thesis). Retrieved from ProQuest Dissertations and Theses database (UMI No. 3344919).
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., & Reid, S. (2005a). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(1), 1- 8. Retrieved from <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>
- Finkelstein, N. D., Perkins, K. K., Adams, W., Kohl, P., & Podolefsky, N. (2005b). Can computer simulations replace real equipment in undergraduate laboratories? In J. Marx, P. Heron, & S. Franklin, (Eds.), *Physics Education Research Conference Proceedings* (pp. 101-104). Sacramento, California.
- Fozdar, B. I., Kumar, L. S., & Kannan, S. (2006). A survey of a study on the reasons responsible for student dropout from the bachelor of science programme at Indira Gandhi National Open University. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 7(3). Retrieved from <https://doi.org/10.19173/irrodl.v7i3.291>
- Gercek, G., & Saleem, N. (2008). Transforming traditional labs into virtual computing labs for distance education. *International Journal of Online Engineering*, 4(1), 46-51.
- Gröber, S., Vetter, M., Eckert, B., & Jodl, H. J. (2007). Experimenting from a distance-remotely controlled laboratory (RCL). *European Journal of Physics*, 28(3), 127-141. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/28/3/S12>

- Hall, T. M. (2000). *Using simulation software for electronics engineering technology laboratory instruction*. Paper presented at the American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. St. Louis, Missouri.
- Hampton, C. (2002). Teaching practical skills. In A. K. Mishra, & J. Bartram, (Eds.), *Perspectives on distance education skills development through distance education* (pp. 83–91), Vancouver: The Commonwealth of Learning.
- Hawkins, I., & Phelps, A. J. (2013). Virtual laboratory vs. traditional laboratory: Which is more effective for teaching electrochemistry? *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 516–523. Retrieved from <https://doi.org/10.1039/c3rp00070b>
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201–217.
- Holzinger, A., Kickmeier-Rust, M. D., Wassertheurer, S., & Hessinger, M. (2009). Learning performance with interactive simulations in medical education: Lessons learned from results of learning complex physiological models with the HAEMODynamics SIMulator. *Computers & Education*, 52(2), 292–301.
- Hsu, Y. S., & Thomas, R. A. (2002). The impacts of a web-aided instructional simulation on science learning. *International Journal of Science Education*, 24(9), 955–979. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/09500690110095258>
- Islam, M. T. (2010). Challenges and opportunities for teaching laboratory sciences at a distance in a developing country. In D. Kennepohl, & L. Shaw, (Eds.), *Accessible elements: Teaching science online and at a distance* (pp. 213–234), Edmonton: Athabasca University Press.
- Jara, C. A., Candelas, F. A., Puente, S. T., & Torres, F. (2011). Hands-on experiences of undergraduate students in automatics and robotics using a virtual and remote laboratory. *Computers & Education*, 57(4), 2451–2461.
- Javidi, G. (2004). *A comparison of traditional physical laboratory and computer simulated laboratory experiences in relation to engineering undergraduate students' conceptual understandings of a communication systems topic*. Unpublished PhD Thesis. Retrieved from <http://scholarcommons.usf.edu/etd/2936>
- Kaba, A. U. (2012). *Uzaktan fen eğitiminde destek materyal olarak sanal laboratuvar uygulamalarının etkililiği* (Unpublished master thesis). Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Kamlaskar, C. H. (2007). Multimedia simulation for electronics laboratory activity in India. *Asian Journal of Distance Education*, 5(3), 33–45.
- Kamlaskar, C. H. (2009). Assessing effectiveness of interactive electronics lab simulation: Learner's perspective. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 10(1), 193–209. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/156170>
- Kara, A., Ozbek, M. E., Cagiltay, N. E., & Aydin, E. (2011). Maintenance, sustainability and extendibility in virtual and remote laboratories. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 28, 722–728. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.11.134>
- Kennepohl, D. (2007). Using home-laboratory kits to teach general chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 337–346. Retrieved from <https://doi.org/10.1039/b7rp90008b>
- Kennepohl, D. (2010). Remote control teaching laboratories and practicals. In D. Kennepohl, & L. Shaw, (Eds.), *Accessible elements: Teaching science online and at a distance* (pp. 167–187). Edmonton: Athabasca University Press.
- Kennepohl, D. K. (2013). Learning from blended chemistry laboratories. In S. Iyer (Ed.), *2013 IEEE Fifth International Conference on Technology for Education* (pp. 135–138), Kharagpur, West Bengal, India. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/T4E.2013.40>
- Kennepohl, D., & Last, A. M. (2000). Teaching chemistry at Canada's Open University. *Distance Education*, 21(1), 183–197. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/0158791000210111>
- Kennepohl, D., & Shaw, L. (2010). *Accessible elements: Teaching science online and at a distance*. Edmonton: AU Press.
- Lammi, M. D. (2009). *Student achievement and affective traits in electrical engineering laboratories using traditional and computer-based instrumentation* (Unpublished Master thesis). Retrieved from <https://digitalcommons.usu.edu/etd/228>
- Lang, J. (2012). Comparative study of hands-on and remote physics labs for first year university level physics students. *Transformative Dialogues: Teaching & Learning Journal*, 6(1), 1–25.
- Lindsay, E. D., & Good, M. C. (2005). Effects of laboratory access modes upon learning outcomes. *IEEE Transactions on Education*, 48(4), 619–631.
- Lyall, R., & Patti, A. F. (2010). Taking the chemistry experience home - home experiments or "kitchen chemistry." In D. Kennepohl, & L. Shaw, (Eds.), *Accessible elements: Teaching science online and at a distance* (pp. 83–108). Edmonton: Athabasca University Press.
- Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 1–24.
- Malaric, R., Jurcevic, M., Hegedus, H., Cmok, D., & Mostarac, P. (2008). Electrical measurements student laboratory-replacing hands-on with remote and virtual experiments. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 45(4), 299–309.
- Martínez-Jiménez, P., Pontes-Pedrajas, A., Climent-Bellido, M. S., & Polo, J. (2003). Learning in chemistry with virtual laboratories. *Journal of Chemical Education*, 80(3), 346–352.
- Meester, M. A. M., & Kirschner, P. A. (1995). Practical work at the Open University of the Netherlands. *Journal of Science Education and Technology*, 4(2), 127–140.
- Moore, M. G. (2010). Foreword. In D. Kennepohl, & L. Shaw, (Eds.), *Accessible elements: Teaching science online and at a distance*. Edmonton: Athabasca University Press.
- Mosse, J., & Wright, W. (2010). Acquisition of laboratory skills by on-campus and distance education students. In D. Kennepohl, & L. Shaw, (Eds.), *Accessible elements: Teaching science online and at a distance* (pp. 109–129). Edmonton: Athabasca University Press.
- Muthusamy, K., Kumar, P. R., & Latif, S. R. S. A. (2005). Virtual laboratories in engineering education. *Asian Journal of Distance Education*, 3(2), 55–58.
- Nedic, Z., Machotka, J., & Nafalski, A. (2003). Remote laboratories versus virtual and real laboratories. In *33rd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference* (pp. T3E-1-T3E-6), Westminster, CO, USA. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/FIE.2003.1263343>

- Ogot, M., Elliott, G., & Glumac, N. (2003). An assessment of in-person and remotely operated laboratories. *Journal of Engineering Education*, 92(1), 57–64. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2003.tb00738.x>
- Oser, R. R. (2013). Effectiveness of virtual laboratories in terms of achievement, attitudes, and learning environment among high school science students (Unpublished PhD thesis). Retrieved from <https://espace.curtin.edu.au/handle/20.500.11937/2328>
- Özkul, A. E. (2003). E-öğrenme ve mühendislik eğitimi. *TMOB Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi*, 41(419), 18–27.
- Reck, R. M., Sreenivas, R. S., & Loui, M. C. (2015). Assessing an affordable and portable laboratory kit in an undergraduate control systems course. In 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) (pp. 1-4), El Paso, Texas. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344319>
- Sahin, S. (2006). Computer simulations in science education: Implications for distance education. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 7(4), 132–146.
- Sarik, J., & Kymissis, I. (2010). Lab kits using the Arduino prototyping platform. In 2010 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) (pp. T3C-1-T3C-5), Washington, D. C. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/FIE.2010.5673417>
- Shaw, L., & Carmichael, R. (2010). Needs, costs, and accessibility of de science lab programs. In D. Kennepohl, & L. Shaw (Eds.), *Accessible elements: Teaching science online and at a distance* (pp. 191–211). Edmonton: Athabasca University Press.
- Sicker, D. C., Lookabaugh, T., Santos, J., & Barnes, F. (2005). Assessing the effectiveness of remote networking laboratories. In *Proceedings Frontiers in Education 35th Annual Conference* (pp. S3F-7- S3F-12), Indianapolis, IN. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/FIE.2005.1612279>
- Sonnenwald, D. H., Whitton, M. C., & Maglaughlin, K. L. (2003). Evaluating a scientific collaboratory: Results of a controlled experiment. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 10(2), 150–176.
- Stefanovic, M. (2013). The objectives, architectures and effects of distance learning laboratories for industrial engineering education. *Computers & Education*, 69, 250–262. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.011>
- Stefanovic, M., Tadic, D., Nestic, S., & Djordjevic, A. (2013). An assessment of distance learning laboratory objectives for control engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 23(2), 191–202. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/cae.21589>
- Stuckey-Mickell, T. A., & Stuckey-Danner, B. D. (2007). Virtual labs in the online biology course: Student perceptions of effectiveness and usability. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*, 3(2), 105–111.
- Tatli, Z., & Ayas, A. (2012). Virtual chemistry laboratory: Effect of constructivist learning environment. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 13(1), 183–199. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/155895>
- Tüysüz, C. (2010). The effect of the virtual laboratory on students' achievement and attitude in chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2(1), 37–53.
- Wedemeyer, C. A., & Najem, C. (1969). AIM: From concept to reality. The articulated instructional media program at Wisconsin. Syracuse, NY: Center for the Study of Liberal Education for Adults, Syracuse University.
- Zacharia, Z., & Anderson, O. R. (2003). The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of Physics. *American Journal of Physics*, 71, 618–629.