Haberleşme Mühendisliği için Mobil Öğrenme Uygulaması

Uğur İlker ATMACA, Nedim Güner UYGUN, Mehmet Fatih ÇAĞLAR[3]
[3]Süleyman Demirel Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Çünür, Isparta
ugurilkeratmaca@hotmail.com, nedimuygun@hotmail.com, fatihcaglar@sdu.edu.tr

Özet: *Hızla gelişen teknoloji içerisinde mobil cihazların haberleşme, bilgi paylaşımı, eğlence ve eğitim için kullanımı artmaktadır. Söz konusu tüm ihtiyaçların tek bir mobil cihaz üzerinden sağlanması için birçok çalışma yapılmaktadır. Mobil öğrenme, eğitim ihtiyaçlarını mobil araçlar yardımıyla karşılamayı hedef edinen bir eğitim modelidir. Mobil öğrenme söz konusu mobil uygulamaların eğitim kısmında yer almaktadır. Zaman ve mekâna bağlı kalmaksızın, eğitim olanağı sağlayan mobil öğrenme, ülkemizde uygulanmakta olan uzaktan eğitim modelinin etkinliğini ve verimliliğini arttıracaktır. Bu çalışmada, mikrodalga devrelerin analizinde grafiksel bir hesaplama aracı olarak kullanılan Smith abağını üzerinde iletim hatları ile empedans uygunlaştırmaya yönelik hesaplamaları yapan ve kullanıcı tarafından girilen veri bitinin ara yüz yardımıyla seçilebilen hat kodlama yöntemine göre kodlanmış şeklini ekranda gösteren bir mobil uygulama örneği geliştirilmiştir.*

Abstract: *With rapidly developing technology, mobile devices increased use for communication, information sharing, entertainment and education. Many studies have been done to obtain all of these needs on a single mobile device. Mobile learning is an education model which aims to provide educational needs with help of mobile devices. Mobile learning is the education part of these studies. Without the concept of time and space, mobile learning which provides educational opportunities for distance learning model currently being implemented in our country will improve the effectiveness and efficiency. In this study, an example of mobile application was developed to make calculations on Smith Chart, which is a graphical calculation tool at analysis of microwave circuits, for impedance matching with transmission lines and the data bits which entered by the user, encode according to the chosen form of line encoding method, displays encoded form on the screen.*

1. Giriş

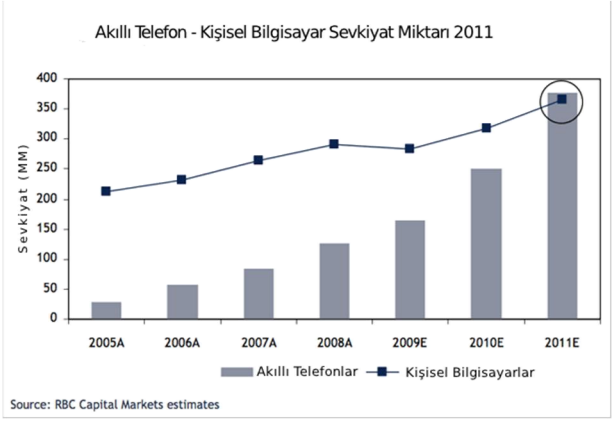
Mobil cihazlardaki donanımsal ve yazılımsal gelişmeler, mobil öğrenimin her yerde ve her zaman yapılabilir olabilmesinin önünü açmıştır. Mobil öğrenme, eğitim ihtiyaçlarını mobil araçlar yardımıyla karşılamayı hedef edinen bir eğitim modeli olarak ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, modern yaşamda popüler bir öğrenme şekli olarak yerini almaya devam ediyor. Mobil öğrenmenin taşınabilir, interaktif, kolay kullanılabilir ve kullanıcı hedefli olması gibi önemli avantajları vardır. Ayrıca bu öğrenme modeli yazılımsal esneklikten dolayı dinamik bir öğrenmeyi de yaşam boyu sağlamaya adaydır. Bunlardan dolayı mobil öğrenme, çok sayıdaki öğrenciyi etkileyebilecek güce sahiptir. Çünkü mobil cihazlar üniversite ve orta öğretim çağındaki çoğu öğrencilerce aktif olarak kullanılmaktadır. Şekil 1'de de görüldüğü üzere, akıllı telefon satış miktarı kişisel bilgisayar satış miktarını 2011 yılında geçmek üzere yakalamıştır.

Yeni nesil mobil cihazlar özellikle gençler arasında çokça yaygınlaştığından, sadece haberleşme amacıyla değil, birçok farklı uygulama için de kullanılmaktadır. Dünyada hemen hemen yarım milyar yeni nesil mobil cihaz (akıllı telefonlar) kullanılmaktadır ve bunun büyük bir yüzdesini öğrenciler kullanmaktadır. Gelecek 10 yılda öğrenciler bu cihazları sınıf ortamında daha da çok kullanacaklardır [1]. Ülkemizdeki FATİH (Fırsatları Artırma ve Teknolojiyi İyileştirme Hareketi) projesi bunun en büyük göstergesidir.

Herhangi bir öğretim modelinin avantajları ve kaçınılmaz olmakla birlikte dezavantajları vardır. Öğretimde mobil cihazların kullanımı öğrenci başarısına katkı sağlamaktadır. Mobil cihazların farklı stratejilerle bilgisayar bilimi müfredatına eklenip kullanılmasının başarılı olduğu örnekler mevcuttur [3],[4] ve [5].

Öğrenme materyalleri almak için herhangi başka bir teknoloji edinme yerine, dünya çapında neredeyse tüm insanlar mevcut mobil cihazlarından öğrenme materyaline ulaşmak isteyeceklerdir. Bu durumda, eğitimciler ve eğitmenlerin farklı türlerdeki mobil cihazlarda kullanmak üzere öğrenme materyalleri tasarlaması gerekmektedir. Mobil öğrenme materyalleri tasarımlarının etkili olması için iyi öğrenme kuramları ve öğrenme için uygun öğretim tasarımlarının izlemesi gerekir. Yirmi birinci yüzyılda, her yerde ve her zaman mobil teknoloji kullanılarak öğrenci ve işçi iyi tasarlanmış öğrenme materyallerinde yararlanacaktır. Özellikle, bir yerden bir

yere sık sık seyahat eden öğrenciler ve çalışanlar aynı yerde ve herhangi bir zamanda bilgiye ve öğrenme materyaline ulaşmak için mobil teknolojisini rahatlıkla kullanacaktır [6].



Şekil 1. Yıllara göre akıllı telefon ve kişisel bilgisayar satış miktarı karşılaştırması [2].

Bilginin miktar olarak çok büyük bir hacme, değişim ve dönüşüm hızına sahip olması "Yaşam Boyu Öğrenme" kavramının önemini artırmıştır. Bilginin çok büyük bir hacme sahip olması onun insan zihnine kaydedilmesini ve korunmasını güçleştirirken; diğer yandan bu işlem başarıyla yapılsa bile sürekli ve hızlı değişimin bir sonucu olarak insanın gereksinim duyduğu bilgi de değişmektedir. Bu aşamada çözüm, esnek, hızlı ve pratik araçlarla yeni bilgileri öğrenenlere en kolay şekilde kazandırabilmektir [7]. Diğer bir sorun da; kesintisiz öğretim çabalarının öğreneni bunaltmasıdır. Çözüm olarak karşımıza çıkabilecek konu "Farkında Olmadan Öğrenme" kavramını gündeme getirmektedir. Bireye yaşamın içinde, sanki yaşamın bir parçasıymış gibi gerekli bilgilere ulaştırarak hem yaşam boyu öğrenmenin gerekleri yapılmakta, hem de birey biçimsel bir öğrenme ortamının sıkıcı şartlarından kurtularak farkında olmadan gerekli bilgileri öğrenmektedir. Mobil teknolojiler modern insanın bu farklı öğrenim taleplerini karşılamada oldukça tatmin edici boyutlara gelmiştir. Herhangi bir bilgiye ihtiyaç duyulmadığı zaman önem verilmez ve bu nedenle kavranması ve öğrenilmesi çok zordur. Oysa bilgilere ihtiyaç anında ve yerinde ulaşılırsa, hem faydası daha yüksektir, hem de o anda öğrenme daha kolay ve kalıcıdır. Mobil öğrenme ihtiyaç duyulan anda ve yerde kolaylıkla öğrenmeyi sağlayabilir. Günümüzde, uzaktan eğitim çalışmaları için bilgisayarlar ve internet kişileri zamana ve mekâna belli ölçüde bağlar. Çünkü bilgisayarı her yere taşımak ve özellikle mobil haberleşme üzerinden olmayan interneti her yerde bulmak mümkün değildir. Bu nedenle tam olarak zaman ve mekân bağımsız öğrenme, mobil cihazlar (akıllı telefonlar) ile mümkündür [8].

Mobil öğrenme avantajlarıyla birlikte bireysel eğitimde faydalı bir şekilde kullanılabilir. Liu Q. ve arkadaşlarına göre, bireysel öğrenimin ihtiyaçlarının %70'lik kısmını müfredat dışı öğrenme doldurur. Mobil öğrenme müfredat dışı öğrenmenin gerekliliklerini gidermekte anahtar rol oynayacak olan bir eğitim modelidir [9].

Bu çalışmada, haberleşme mühendisliği eğitiminde kullanılan kanal kodlamalarını ve Smith abağı uygulamasını gerçekleştiren bir iPhone İşletim Sistemi (IOS) tabanlı mobil uygulama geliştirilmiştir.

2. Apple Tümleşik Geliştirme Ortamı (IDE): Xcode

Xcode, Macintosh İşletim Sistemi (Mac OS) ve IOS işletim sistemleri için yazılım geliştirme araçlarını içeren bir tümleşik geliştirme ortamıdır. Yazılım geliştirmek için kullanılan pek çok fonksiyonu tek bir pencerede sunabilmektedir. Grafiksel bir kullanıcı ara yüzüne de sahiptir [10].

iPhone mobil uygulaması geliştirmek için, Xcode derleyicisinin grafiksel ara yüzü tasarlama aracı Cocoa Touch çerçevesi ve nesneye yönelik C dili kullanılır. Nesneye yönelik C, C dilinin üzerine yazılmış, yansımalı, nesne yönelimli bir programlama dilidir. Günümüzde Mac OS işletim sistemlerinde kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanıldığı alan Cocoa Touch çerçevesinin kullanıldığı yazılımlardır. Sınıf yapısı diğer nesneye yönelimli programlama dilleri ile aynı yapıdadır. Döngü ve metotlar ya da formlar gibi nesne yönelimli programlamanın temel yapıtaşlarına sahiptir. Nesne yönelimli uygulamalar metotlar aracılığı ile birbirlerine mesaj gönderirler. Buradan tipik Java komut satırı uygulamalarında olduğu gibi ana sınıf (main) metodu ile program çalışmaya başlar. Nesneye yönelik C dilinin sınıf yapısı iki bölümden oluşur. Bunlar ara yüz ve uygulama bölümleridir.

Ara yüz bölümü değişkenlerin ve metotların tanımlandığı alandır. Standart C header (.h) dosya yapısındadır. Uygulama bölümü programın hesaplamalarının yapıldığı, metotlarının tanımlandığı ve çalıştığı kısımdır.

Bu çalışmada, Xcode 4.3.3 versiyonu ve IOS yazılım geliştirme kiti (SDK) 5 kullanılmıştır.

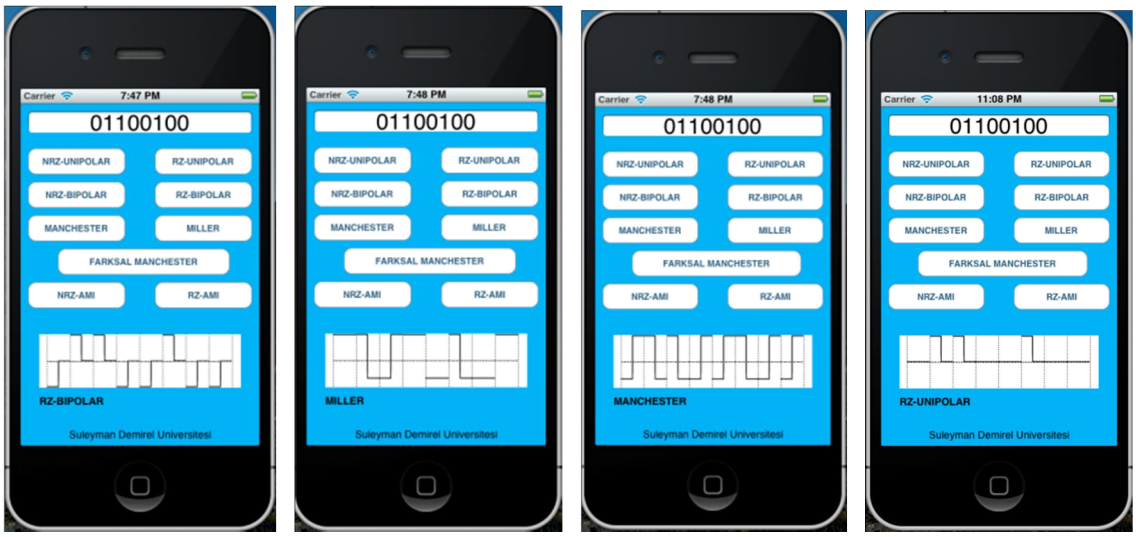
3. Haberleşme Mühendisliği Mobil Öğrenme Uygulaması

Bu çalışmada, Smith abağı üzerinde tek-yan hat empedans uyumlama ve hat kodlama konularına yönelik grafiksel bir hesap makinesi mobil uygulaması geliştirilmiştir. Bu uygulama ile haberleşme mühendisliği öğretimi sırasında mobil cihazların tamamlayıcı bir öğrenim aracı olarak kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

3.1. Hat Kodlama Mobil Uygulaması

Haberleşme sistemleri verileri bir kanaldan gönderirken genellikle verileri kodlayarak gönderirler. Çok farklı hat kodlama çeşitleri günümüz haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır. Aynı veri dizisi farklı kodlama tiplerinde farklı sinyal biçimlerinde ifade edilir. Hat kodlama uygulamasında kullanıcı tarafından girilen 8 bitlik veriyi, yine kullanıcı tarafından seçilebilen kodlama türüne göre şeklini göstermektedir. Program ekrandan 8 bitlik veriyi okuyacak, sırasıyla bitlerin 0 veya 1 olup olmadıklarını karşılaştıracak ve böylece girilen verinin durumuna göre ve seçilen kodlama tipine göre uygun sinyal şeklini ekrana getirecektir.

Sonuçta, geliştirilen hat kodlama mobil uygulaması kullanıcının girdiği 8 bitlik veriyi, kullanıcının seçtiği kodlama metoduna göre kodlamaktadır. Şekil 2'de örnek olarak girilen rastgele 8 bitlik veriyi, seçilen 3 farklı kodlama metoduna göre kodlayarak geliştirilen uygulamanın ara yüz ekranında göstermektedir.



(a) (b) (c) (d)

Şekil 2. Hat Kodlama Uygulaması,(a) Örnek Bipolar RZ kodlaması, (b) Örnek Miller kodlaması, (c) Örnek Manchester kodlaması, (d) Örnek Unipolar RZ kodlaması.

3.2. Hat Kodlama Çeşitleri

Sayısal verinin haberleşme kanalından iletilebilmesi için verinin fiziksel bir işaret haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Veri işaretlerinin fiziksel yapısı haberleşme kanalına bağlı olarak değişim gösterebilir. Haberleşme sistemlerinde sayısal veriler genellikle elektriksel temel bant işaretlerine dönüştürülür. Sayısal sembollerin temel bant elektriksel darbelere dönüştürülmesi işlemine hat kodlaması denir. Haberleşme sistemlerinde, öncelikli ihtiyaçlara göre kullanılacak hat kodlama çeşidi seçilir. Kodlamada kullanılan elektriksel darbe biçimi doğrudan işaretin bant genişliğini etkiler. Ayrıca iletim gücü ve hata oranı ile de arasında ilişki vardır. Bu sebeplerden dolayı, kullanılan hat kodlama çeşidi haberleşme sisteminin başarısını etkiler [11].

3.3. Smith Abağı Mobil Uygulaması

Orijinal olarak Smith abağı 1939 yılında Bell laboratuvarında P. H. Smith tarafında geliştirilmiştir. Smith abağı, karmaşık sayılarla yapılan baş edilmesi zor işlemlerin azaltılması için grafiksel bir çözüm olarak önerilmiştir. Smith abağı gerilim yansıma katsayısının kutupsal çizilimidir. Eğer yansıma katsayısı genlik ve faz değeri olarak

$\Gamma=|\Gamma|e^{j\emptyset}$ polar gösterimle alınırsa, genliği $|\Gamma|$ abağın merkezinden bir yarıçap ($|\Gamma| \leq 1$) ve fazı $-\pi \leq \Phi \leq \pi$ arasında değişen sonsuz noktaların oluşturduğu birim daire olarak ortaya çıkar.

Empedans uyumlama mikrodalga devre tasarımı için çok önemlidir. Temel amacı yük veya kaynak empedansını süren veya sürülen devreye bir uyumlama devresi ile eşleştirmektir. İdeal şartlarda uyumlama devresinin kayıpsız olduğu kabul edilir. Böylece güç kaybı olmaz [12].

Smith abağında empedanslarla çalışırken genellikle normalize değerler kullanılır. Normalize değer küçük harflerle gösterilir. Normalizasyon sabiti genellikle iletim hattının karakteristik empedansıdır. Böylece, $z = Z/Z_0$ değeri, Z empedansının normalize değerini temsil eder. Karakteristik empedansı Z_0 olan kayıpsiz bir iletim hattı, Z yük empedansı ile sonlandırılmış ise yükteki yansıma katsayısı aşağıdaki formda yazılır.

$$\Gamma=\frac{Z-1}{Z+1}=|\Gamma|e^{j\emptyset} \tag{1}$$

Eğer yük hatta uyumlanmamış ise $\Gamma = 0$'dır; ve hat üzerindeki gerilim büyüklüğü $|V(z)| = |V_0^+|$'dır ve sabittir. Fakat yük hatta uygunlaştırılmamış ise yansıyan dalga sabit dalgalar oluşturur ve hat üzerindeki gerilim değeri sabit değildir.

$$|V(z)| = |V_0^+|\left|1 + \Gamma e^{2j\beta z}\right| = |V_0^+|\left|1 + \Gamma e^{-2j\beta z}\right| = |V_0^+|\left|1 + \Gamma e^{j(\theta-2\beta\ell)}\right| \tag{2}$$

$\ell = -z$ değeri $z = 0$ yüküne olan pozitif uzaklığın değeridir ve θ yansıma katsayısının fazıdır. Maksimum gerilim faz terimi $e^{j(\theta-2\beta\ell)} = 1$ olduğu değerdedir. Minimum gerilim değeri ise faz terimi $e^{j(\theta-2\beta\ell)} = -1$ olduğu değerdedir.

$$V_{max} = |V_0^+|(1 + |\Gamma|) \tag{3}$$

$$V_{min} = |V_0^+|(1 - |\Gamma|) \tag{4}$$

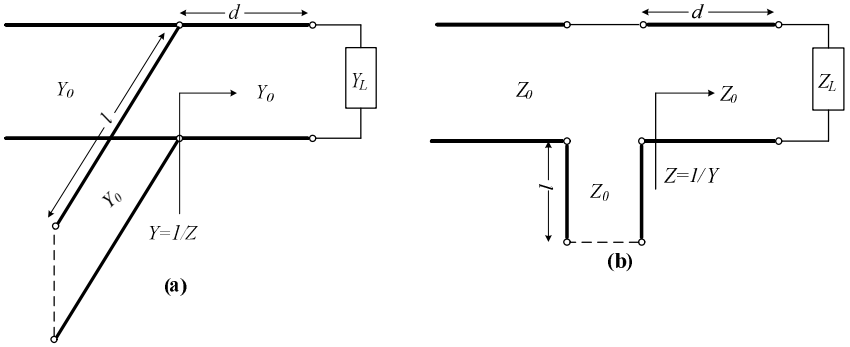
$|\Gamma|$ değeri artarken V_{max}'ın V_{min}'e olan oranı da artar. Hat uyumsuzluğunun bir ölçüsü olan 'Gerilim Duran Dalga Oranı' (VSWR) şu şekilde tanımlanır ve $1 \leq VSWR \leq \infty$ dır. VSWR=1 ise hat yükle uyumlandırılmıştır.

$$VSWR=\frac{Vmax}{Vmin}=\frac{(1+|\Gamma|)}{(1-|\Gamma|)} \tag{5}$$

Smith abağı normalize empedans ile kullanılabildiği gibi normalize admintans ile de kullanılabilir. Admintans ve normalize admintans aşağıdaki formüller ile bulunur.

$$Y_L = 1/Z_L \tag{6}$$

$$y_L = Y_L . Z_0 \tag{7}$$



Şekil 3. Tek Saplama Ayarlama Devreleri, (a) Paralel saplama, (b) Seri saplama.

Herhangi bir yük empedansı tek saplamalı ayarlama kullanılarak uyumlama yapılmak istenen hatta uyumlanabilir. Tek saplama ayarlama devrelerinin yapısı Şekil 3'de verilmiştir. Devrede, sonu kısa devre ya da açık devre aynı zamanda paralel ya da seri bir ℓ uzunluklu yan hat, yükten itibaren d uzunluklu seri bağlanmış bir iletim hattı bulunmaktadır. Paralel tek saplamalı ayarlama devrelerinde d ve ℓ denklemlerini türetmek için yük empedans denklemini, $Z_L = \frac{1}{Y_L} = R_L + jX_L$ formunda yazalım.

$$Z = Z_0 \frac{(R_L+jX_L)+jtZ_0}{Z_0+jt(R_L+jX_L)} \tag{8}$$

$$G = \frac{R_L(1+t^2)}{R_L^2+(X_L+Z_0 t)^2} \tag{9}$$

$$B = \frac{R_L^2 t-(Z_0-X_L t)(X_L+Z_0 t)}{Z_0[R_L^2+(X_L+Z_0 t)^2]} \tag{10}$$

Denklem (9), $G = Y_0 = \frac{1}{Z_0}$ eşitlenerek çözülür ve sonuç olarak *t*'nin ikinci dereceden çözüm denklemine ulaşılır.

$$Z_0(R_L - Z_0)t^2 - 2X_L Z_0 t + (R_L Z_0 - R_L^2 - X_L^2) = 0 \tag{11}$$

$$R_L \neq Z_L \text{ için, } \quad t=\frac{X_L \pm \sqrt{R_L[(Z_o-R_L)^2+X_L^2]/Z_0}}{R_L-Z_0} \tag{12}$$

Eğer $R_L = Z_0$ ise $t = -X_L/2Z_0$ olur ve *d* için şu iki temel çözüm elde edilir.

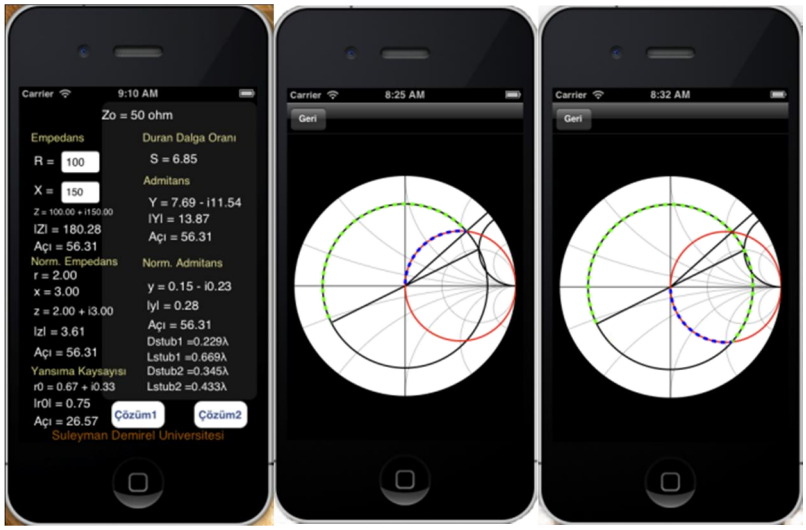
$$\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{2\pi}\tan^{-1} t\,, \qquad t\geq 0 \tag{13a}$$

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{2\pi}(\pi + \tan^{-1} t)\,, \quad t<0 \tag{13b}$$

Gereken hat uzunluğunu bulmak için, hat suseptansını ($B_s = -B$) bulmak için *t* değeri kullanılır. Açık devre saplama uzunluğu (ℓ_o) için ve kısa devre saplama uzunluğu (ℓ_s) için çözüm elde edilir [13].

$$\frac{\ell_o}{\lambda} = \frac{1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{B_s}{Y_0}\right) = \frac{-1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{B}{Y_0}\right) \tag{14a}$$

$$\frac{\ell_s}{\lambda} = \frac{-1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{Y_0}{B_s}\right) = \frac{1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{Y_0}{B}\right) \tag{14b}$$



(a) (b) (c)

Şekil 4. Smith Abağı mobil uygulaması,(a) Uygulama ana ekranı,(b) 1. Çözüm Smith abağı çizimi, (c) 2. Çözüm Smith abağı çizimi.

Bu çalışmada geliştirilen mobil uygulama, kullanıcı tarafından girilen Z yük empedans değerini Z_0=50Ω iletim hattına uyumlayan matematiksel işlemleri yapmaktadır. Kullanıcı Z=R+jX formunda empedans değerini girdikten sonra, |Z| değerini, karmaşık empedansın derece cinsinden açı ölçüsünü, z=r+jx normalize empedans değerini, |z| değerini, ve normalize karmaşık empedansın derece cinsinden açı ölçüsünü, yansıma katsayısını, duran dalga oranını, admintans değerini, normalize admintans değerini ve paralel tek saplama ayarlama işlemi için gereken D_{stub1}, L_{stub1}, D_{stub2}, L_{stub2}, yani sırasıyla d_1, ℓ_1, d_2, ℓ_2, değerlerini hesaplamaktadır. Şekil 4.(a)'da örnek olarak, Z=100+j150Ω empedansı için hesaplanan sonuçlar liste halinde bulunmaktadır.

Uygulamanın ana sayfasında bulunan 'Çözüm 1' butonuna basınca, açılan sayfada Smith abağı üzerinde birinci çözüme d_1, $\ell_1$değerleri için yapılan çizimleri göstermektedir (Sekil 4.(b)). Yine aynı olarak ana sayfada bulunan 'Çözüm 2' butonuna basılınca, açılan sayfada ikinci çözüme ait d_2, ℓ_2 değerleri için yapılan çizimleri göstermektedir (Şekil 4.(c)).

4. Sonuçlar

Mobil öğrenme araçları, doğru bir şekilde geliştirilip ve doğru bir şekilde kullanılırsa, geleneksel öğretim modellerinin verimliliğini ve etkinliğini arttıracaktır. Bundan dolayı, bu çalışmada haberleşme mühendisliği öğrenimi süresinde kullanılabilecek bir mobil uygulama geliştirilmiştir. Sayısal haberleşmede kullanılan hat kodlama metotlarını pekiştirebilecek ve Smith abağı ile ilgili teorik bilgileri alan öğrenciler, geliştirilen mobil uygulama ile örnek çözümler yapabileceklerdir. Böylece, zor bir mühendislik dalı olan haberleşme mühendisliği derslerine mobil öğrenme ile destek sağlanacaktır.

Gelecekteki çalışmalarda, uygulamanın grafiksel ara yüzünün geliştirilmesi, uygulamaya adım-adım kendi kendine öğrenme aracı eklenmesi, kullanıcıya eski çalışmalarını kaydetme imkânı sağlanması planlanmaktadır.

5. Kaynaklar

[1] Madeira, N. R., Pires, F. V., Dias, O. P., Martins, F. J. "Development of a Mobile Learning Framework for an Analog Electronics Course", IEEE EDUCON Education Engineering 2010, 14-16 Nisan 2010.
[2] RBC Capital Markets "Smartphone Sales To Beat PC Sales by 2011".
[3] Mahmoud, Q. H., "Integrating Mobile Devices into the Computer Science Curriculum." Proceedings of the Frontiers in Education Conference (FIE), 2008.
[4] Mahmoud, Q.H., ve Dyer, A., "Integrating BlackBerry Wireless Devices into Computer Programming and Literacy Courses", Proceedings of the 45th Annual Southeast Regional Conference (ACM-SE) 2007.
[5] Mahmoud, Q.H. ve Popowicz, P., "A Mobile Application Development Approach to Teaching Introductory Programming", 40th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 2010.
[6] Mohamed A., "Mobile Learning Transforming the Delivery of Educationand Training", AU Press, Athabasca University, 2009.
[7] Barkan M "Eğitim İletişiminin Kavramsal Temelleri ve İşlevleri", Anadolu Üniversitesi İletişim Bilimleri Fakültesi Yayınları, Eskişehir,1994.
[8] Bulun, M. Gulnar, B. Gulnar, S. "Eğitimde Mobil Teknolojiler", The Turkish Online Journal Of Education Technology, Nisan 2004.
[9] Liu, Q. Diao, L. ve Tu, G. "The Application Of Artificial Intelligence In Mobile Learning", IEEE - Intertaional Conference On System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization, 2010.
[10] "Mac Dev Center". Apple Developer
[11] Ertürk, S., "Sayısal Haberleşme" Birsen Yayınevi, 2010.
[12] Çağlar, M. F., "Yapay Sinir Ağı İle Smith Abağı Modeli", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 2007.
[13] Pozar, D.M. (Çeviri Ed. Köksal, A.) "Mikrodalga Mühendisliği: Dördüncü Baskıdan Çeviri", Palme Yayıncılık, 2014.