

ENERJİ KABLOSU SEÇİMİ İÇİN MOBİL CİHAZ YAZILIMI GELİŞTİRİLMESİ

Mehmet Murat İSPİRLİ^{1,2}, Özcan KALENDERLİ¹

mispirli@marmara.edu.tr, kalenderli@itu.edu.tr

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Maslak - İstanbul

²Marmara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kadıköy – İstanbul

ÖZET

Kablolar, elektriğin bir yerden başka bir yere iletiminde kullanılan bir bağlantı elemanıdır. Kablolar, ilgili standart ve yönetmeliklerdeki koşullar, üretici firmaların katalog değerleri, iletilecek gücün değeri gibi koşullar dikkate alınarak seçilirler. Bu çalışmada, bina tesisatlarında ve alçak gerilim sistemlerinde kullanılacak kabloların seçimini kolaylaştıran, mobil cihazlarda kullanıma uygun bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım, akıllı cep telefonlarında ve tablet bilgisayarlarda çalışmaktadır. Bu yazılımda, kullanıcının seçtiği kablunun amacına ve çalışma koşullarına uygunluğu kontrol edilmektedir. Eğer seçilen kablo amaca ve çalışma koşullarına uygun değilse kullanıcı uyarılmaktadır. Geliştirilen bu yazılım uygulama marketine yüklenerek kullanıcıların erişimine sunulmuştur. Bu çalışmanın bilgilendirme bölümünde verilen link ile uygulamaya erişilip yüklenebilir.

Anahtar Kelimeler: Kablo seçimi, kablo kesiti, akım taşıma kapasitesi, mobil uygulama, karar verme.

1. GİRİŞ

Kablo, elektrik akımını ve gücünü ileten, taşıyan, dağıtan, iki noktayı (elemanı, devreyi vb.) birbirine bağlayan elektrik, ısı (termik), optik, mekanik ve çevre koşullarına uygun bir bağlantı elemanıdır [1]. Kablolar, güvenlik, stratejik ve estetik istekleri karşılamak için, elverişsiz fiziksel koşullarda (su altı geçişlerinde vb.) ve elverişsiz hava koşullarında en uygun çözüm olması gibi nedenlerle kullanılmaktadır [1, 2]. Kablolar kullanım amaçlarına, kullanım koşullarına, döşeme koşullarına ve yalıtım malzemelerine göre sınıflandırılmaktadır.

Kullanım koşullarına göre kablolar, enerji (güç), haberleşme ve sinyal (işaret) ve kumanda kabloları olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Güç kabloları, elektrik enerjisinin iletiminde, dağıtımında ve iç tesisat uygulamalarında kullanılan yüksek güç

taşıyabilen kablolardır [1]. Bir güç kablosu, temel olarak iletken, yalıtkan ve siper (ekran) olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır [1, 3, 4]. Elektrik enerjisinin taşınması için kullanılacak kablo, kullanılacağı fiziksel ve elektriksel koşullarda herhangi bir güvenlik problemi oluşturmayacak şekilde seçilmelidir. Kablo seçiminde, elektriksel olarak üç ana parametre öne çıkmaktadır. Bunlar; akım taşıma kapasitesi, gerilim düşümü ve kısa devre akımıdır [5]. Gerilim düşümü, elektrik akımının kaynaktan yüke ulaşmaya kadar kablunun iletken kısmının direncinden dolayı kablo sonunda oluşan gerilimdeki azalmadır [6]. Bir kablodan akan akım, ilk olarak kablunun iletken kısmının daha sonra kablunun yalıtkan ve diğer kısımlarının ısınmasına yol açar. Bir kablodan kapasitesinden fazla akım akması kablunun iletken, yalıtkan veya diğer kısımlarında bozulmaya sebep olabilir. Bu yüzden, her kablunun üreticisi tarafından belirlenen bir akım taşıma

kapasitesi vardır. Kablonun akım taşıma kapasitesi kablonun bulunduğu fiziksel koşullara göre akım düzeltme faktörleri ile düzenlenebilir.

Bu çalışmada, bina iç tesisatlarında ve alçak gerilim tesislerinde kullanılan kabloların seçimi için bir mobil uygulama tasarlanmıştır. Bu uygulama tasarlanırken, bina iç tesisatı için Elektrik Mühendisleri Odası (EMO)'nın Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği'nde ve alçak gerilim tesislerinde kablo seçimi için ise TSE HD 60364-5-52 "Alçak gerilim tesisleri - Bölüm 5-52: Elektriksel tesisatın seçilmesi ve montajı - Bağlantı şekilleri" standardında yer alan koşullar ve hesaplama bilgileri dikkate alınmıştır. Tasarlanan bu uygulamada kullanıcı, uygulama arayüzüne gerekli büyüklükleri tanımladıktan ve kullanmak istediği kablo kesitini seçtikten sonra uygulama, seçilen kablonun uygunluğunu, gerilim düşümü ve akım taşıma kapasitesi bakımından kontrol etmekte ve kullanıcıya bilgi vermektedir.

2. BİNA TESİSATLARI İÇİN KABLO SEÇİMİ MODÜLÜNÜN TASARIMI

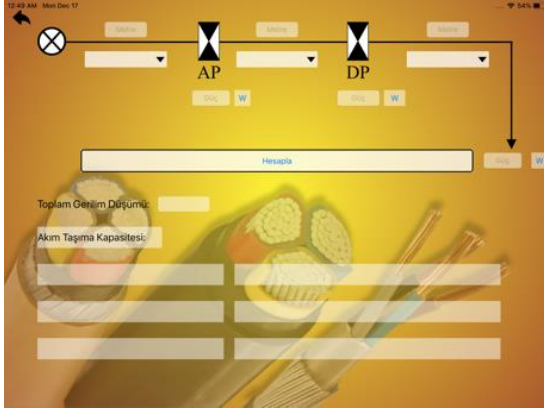
Çalışmanın bu kısmında uygulamaya, bina tesisatlarında kullanılan kabloların uygunluğunu denetleyen bir arayüz tasarlanmıştır. Bu kısımda, dağıtım şebekesinden bina ana panosuna, bina ana panosundan daire panosuna ve daire panosunda priz kadar elektrik enerjisini iletmek için kullanılan kabloların uygunluğu EMO'nun Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği'ne göre kontrol edilmiştir. Bu kontrol yapılırken, tesisata ait toplam gerilim düşümü ve kabloların akım taşıma kapasitesi göz önüne alınmıştır.

Bir iç tesisat projesinde toplam gerilim düşümünün, en uzun ve en güçlü linyeye göre hesaplanması gerekmektedir [7]. Çamaşır makinesi, fırın ve buzdolabı gibi diğer cihazlara göre güçleri büyük cihazların linyeleri elektrik iç tesisleri yönetmeliğine göre ayrı çekilmek zorundadır [7]. Bu sebeple, bir bina iç tesisatı için gerilim düşümü hesaplanırken genellikle bu cihazların bağlı olduğu linyeler kullanılır. Toplam gerilim düşümü, elektrik iç tesisat yönetmeliğine göre priz ve aydınlatma devreleri için %1,5'i geçemez [7].

Çalışmanın bu kısmında, ikinci olarak kullanılan kablolardan geçen akım değerleri hesaplanmış ve kullanılan kabloların akım taşıma kapasitesinin tesisata uygunluğu kontrol edilmiştir. Aynı özelliklerdeki bir kablonun akım taşıma kapasitesi, aynı koşullar altında bile kablonun üreticisine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada, kabloların iletken kesitlerine göre akım taşıma kapasiteleri, TS HD 60364-5-52 numaralı "Alçak Gerilim Tesisleri, Bölüm 5-52: Elektriksel Teçhizatın Seçilmesi ve Montajı – Bağlantı Sistemleri" başlıklı Türk Standardı'ndan alınmıştır [8]. Bu standart, IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) 60364-5-52 kodlu standardı referans alınarak hazırlanmıştır [8]. İç tesisatta kullanılan kablonun kesitinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalarda, eş zamanlı yük esas alınarak hesap yapılmalıdır [7]. Eş zamanlı yük, aynı anda çekilen güçtür. Eş zamanlı yük, kurulu güç değeri ile yönetmelikte işletme koşullarına göre belirtilen katsayıların çarpımı ile elde edilir [7].

Şekil 1'de mobil uygulamanın bu kısmı için tasarlanan arayüz gösterilmiştir. Burada kullanıcı, dağıtım şebekesinden

bina ana panosuna, bina ana panosundan daire panosuna ve daire panosundan en yüksek güç çekilen en uzun linyenin mesafesini metre olarak yazar. Daha sonra, bina ana panosunun eş zamanlı gücünü, daire panosunun eş zamanlı gücünü ve en uzun linyenin gücünü arayüzde yazar. Burada güç alanının yanında yer alan birim değiştirme butonu ile tanımlanan gücün birimi Watt (W), kiloWatt (kW) veya megaWatt (MW) olarak seçilebilir.



Şekil 1: Bina iç tesisatı için tasarlanan uygulama arayüzü.

Son olarak kullanıcı, her kablonun kesitini ayrı ayrı alta açılır menüden seçerek hesaplama için gereken tüm değerleri uygulamaya girmiş olur. “Hesapla” butonuna basılması ile program toplam gerilim düşümünü ve seçilen her bir kablo için ayrı ayrı kablodan geçen akımı hesaplar. Eğer hesaplanan toplam gerilim düşümü, %1,5’in altında ise seçilen kabloların gerilim düşümü bakımından uygun olduğunu değilse uygun olmadığına ilişkin uyarı gösterir. Uygulama her kablodan geçen akım değeri ile seçilen kablo kesitinin akım taşıma kapasitesini karşılaştırır ve seçilen kablonun akım taşıma kapasitesi bakımından uygun olup olmadığına ilişkin uyarı gösterir. Yazılımın bu kısım için geliştirilen programın algoritma akış şeması Şekil 2’de gösterilmiştir. Burada toplam gerilim düşümü hesaplanırken aşağıda

verilen denklem yazılım içerisine tanımlanmıştır [6].

$$\%e = \frac{100 \times L_{AP} \times P_{AP}}{56 \times S_{AP} \times V_{AP}^2} + \frac{2 \times 100 \times L_{DP} \times P_{DP}}{56 \times S_{DP} \times V_{DP}^2} + \frac{2 \times 100 \times L_L \times P_L}{56 \times S_L \times V_L^2} \quad (1)$$

Bu denklemde;

L: kablonun uzunluğu [m]

P: kablonun sonundaki yük [W]

S: kablonun kesiti [mm²]

V: işletme gerilimi [V]

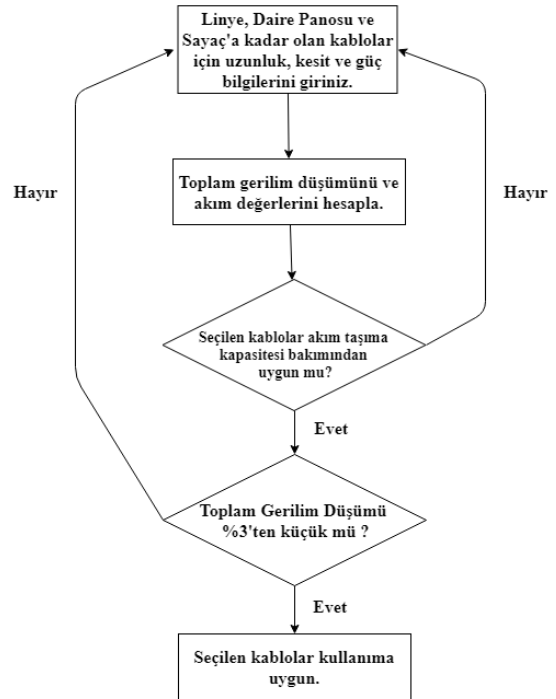
büyükliklerini, alt simgeler ise

AP: ana pano

DP: daire panosu

L: linye

belirtmektedir.



Şekil 2: Bina iç tesisatı için geliştirilen programın algoritmasının akış şeması.

Program içerisine tanımlanan, kablo kesitine göre akım taşıma kapasiteleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Burada

- Daire içerisindeki linyeler için standartta belirtilen “ısıtılarak yalıtılmış duvardaki boruda yalıtılmış iletkenler (tek damarlı kablolar) (A1)” tesis yöntemi XLPE

ve EPR yalıtımlı kablolar için akım taşıma kapasiteleri,

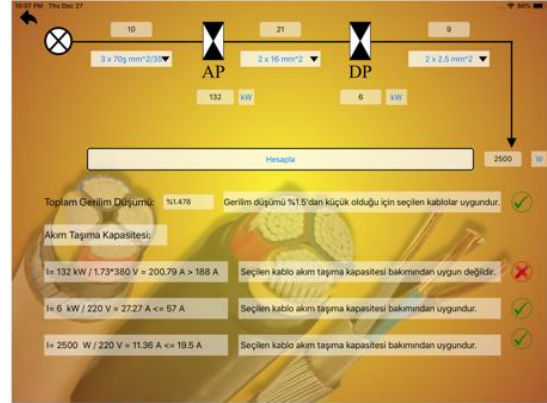
- Bina ana panosundan daire ana panosuna kadar olan kablolar için “ısıl olarak yalıtılmış duvardaki boruda çok damarlı kablo (A2)” tesis yöntemi XLPE ve EPR yalıtımlı kablolar için akım taşıma kapasiteleri ve
- Dağıtım şebekesinden bina ana panosuna gelen kablo için “doğrudan zemindeki kılıflı çok damarlı kablo (D2)” tesis yöntemi XLPE ve EPR yalıtımlı kablolar için akım taşıma kapasiteleri esas alınmıştır [8].

Tablo 1: Bina tesisatında kablo seçimi arayüzünde kullanılan akım taşıma kapasiteleri

İletkenin anma kesit alanı (mm ²)	A1 tesis yöntemi için (A)	A2 tesis yöntemi için (A)	D2 tesis yöntemi için (A)
1,5	14,5	14	23
2,5	19,5	18,5	30
4		25	39
6		32	49
10		43	65
16		57	84
25		75	107
35		92	129
50		110	153
70		139	188
95		167	226
120		192	257
150		219	287
185		248	324
240		291	375
300		334	419

Ana pano eş zamanlı gücü 132 kW, daire panosu eş zamanlı gücü 6 kW ve en güçlü linyesi 2,5 kW olan bir bina tesisat projesi göz önüne alınarak bir örnek yapılırsa, uygulama ara yüzüne gerekli tüm değerler tanımlandıktan sonra seçilen kabloların uygun olduğu ve uygun olmadığı iki durum için

hesaplanan örnek gösterimler Şekil 3(a) ve Şekil 3(b)'de gösterilmiştir. Burada Şekil 3(a)'da gösterilen örnek durumda, seçilen kablolar gerilim düşümü bakımından ve bina ana panosundan daire panosuna ve daire panosundan prize kadar olan kablolar akım taşıma kapasitesi bakımından uygun olmasına rağmen dağıtım şebekesinden bina ana panosuna kadar olan 3×70+35 mm²'lik kablo akım taşıma kapasitesi bakımından uygun değildir. Bu olumsuz durum, uygulama ile kolayca görülmüş ve kablo kesiti 3×95+50 mm² çıkartılarak tüm kabloların kesit değerleri uygun bir şekilde belirlenmiştir.



(a)

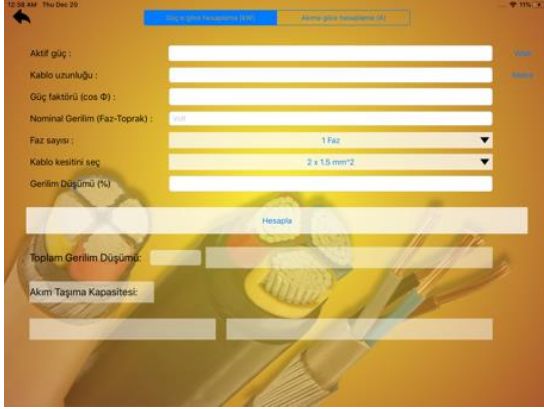


(b)

Şekil 3: Kablo seçimi için örnekler
a) Uygun olmayan bir kablo seçimi örneği; b) Uygun bir kablo seçimi örneği.

3. ALÇAK GERİLİM TESİSLERİ İÇİN KABLO TASARIMI

Çalışmanın bu kısmında uygulamaya, elektrik motorları, fırınlar, kaynak makinaları gibi yüksek güç tüketimi yapan ve doğrudan tek hat üzerinden beslenen cihazların kablo seçimi için ayrı bir arayüz geliştirilmiştir. Bu tasarımda, TSE HD 60364-5-52 numaralı “Alçak Gerilim Tesisleri – Bölüm 5-52: Elektriksel Teçhizatın Seçilmesi ve Montajı – Bağlantı Sistemleri ” Türk standardına göre gerilim düşümü hesabı yapılmıştır. Uygulamanın esnek kullanılabilmesi için yüzde gerilim düşümü sınırının seçimi kullanıcıya bırakılmıştır. Şekil 4’te tasarlanan arayüz gösterilmiştir.



Şekil 4: Alçak gerilim tesisleri için tasarlanan uygulama arayüzü.

Burada kullanıcıya, aktif güç veya akım olmak üzere iki adet hesaplama seçeneği sunulmuştur. Elektrik motorları kalkış anlarında anma akım değerlerinden daha fazla akım çekmektedir ve motorların kalkışta çekmiş oldukları akım yol verme yöntemlerine göre değişmektedir. Elektrik motorlarının kablo seçimi, kalkış akımlarına göre yapılması gerekmektedir [8]. Bu sebeple, uygulamaya akıma göre kablo kesiti hesaplama özelliği de eklenmiştir. Bu arayüzde kullanıcı, aktif güç, kablo uzunluğu, güç faktörü (cos φ), nominal

gerilim (faz-toprak), faz sayısı (1 veya 3), kablo kesitini ve son olarak sistem için belirlediği maksimum yüzde gerilim düşümünü tanımladıktan sonra “Hesapla” butonu ile gerilim düşümünü hesaplar. Eğer hesaplanan gerilim düşümü değeri kullanıcının belirlediğinden daha yüksek ise program kullanıcıya uyarı verir. Akıma göre hesaplama seçeneğinde ise, kullanıcı aktif güç yerine sistemin çektiği akım değerini uygulamaya tanımlar ve aynı şekilde hesaplama yapar. Yazılımın bu kısmı için geliştirilen programın algoritma akış şeması Şekil 5’de gösterilmiştir. Çalışmanın bu kısmında gerilim düşümü hesaplanırken denklem (2) kullanılmıştır.

$$\%e = \frac{100b(\rho_1 \frac{L}{S} \cos\theta + \lambda L \sin\theta) I_B}{U_0} \quad (2)$$

Bu denklemden;

%e: yüzde gerilim düşümü

ρ_1 : iletkenin öz direnci (bakır için 0,0225 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ dir.)

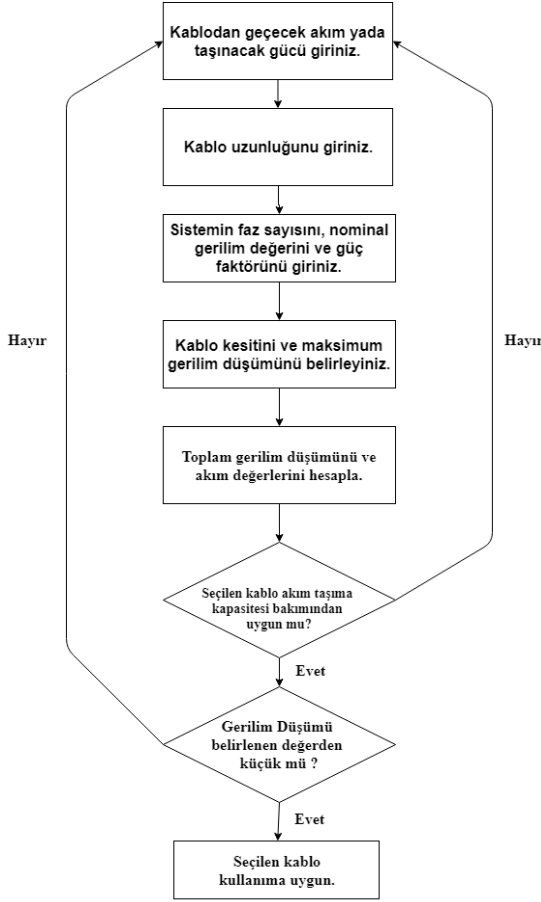
L: kablunun uzunluğu [m]

S: kablunun kesit alanı [mm^2]

λ : iletkenin birim uzunluk başına reaktansı [$8 \times 10^{-5} \Omega/\text{m}$]

I_B : kablodan akan akım [A]

U_0 : sistemin faz-nötr gerilimi [V]



Şekil 5: Alçak gerilim tesisleri için geliştirilen programın algoritma akış şeması.

Çalışmanın ilk kısmında olduğu gibi burada da seçilen kablonun akım taşıma kapasitesi kontrol edilmiş ve eğer uygun değilse kullanıcıya uyarı verilmiştir. Gerilim düşümü ile beraber girilen aktif güç değerinden kablonun çekeceği akım değeri hesaplanır ve seçilen kablo kesitinin akım taşıma kapasitesi ile karşılaştırılır. Eğer seçilen kablo kesiti akım taşıma kapasitesi bakımından uygun değilse kullanıcıya uyarı verilir. Çalışmanın ilk kısmında da olduğu gibi burada da akım taşıma kapasitesi değerleri TSE HD 60364-5-52 standardından alınmıştır. Burada standartta yer alan “Zemindeki boruda veya kablo kanalında bulunan kablo (D1)” tesis yöntemi XLPE veya EPR yalıtımlı kablo için akım taşıma kapasitesi alınmıştır. Bu tesis yöntemi için tek fazlı ve üç fazlı sistemler için

standartta belirtilen akım taşıma kapasiteleri Tablo 2’de verilmiştir [8].

Tablo 2: Alçak gerilim tesislerinde kablo seçimi arayüzünde kullanılan akım taşıma kapasiteleri

İletkenin anma kesit alanı (mm ²)	D1 tesis yöntemi tek fazlı kablo için (A)	D1 tesis yöntemi üç fazlı kablo için (A)
1,5	25	21
2,5	33	28
4	43	36
6	53	44
10	71	58
16	91	75
25	116	96
35	139	115
50	164	135
70	203	167
95	239	197
120	271	223
150	306	251
185	343	281
240	395	324
300	446	365

Alçak gerilim tesisleri için kablo seçimi modülünde yüksek güçlü bir cihaz için yapılan örneğe ait erkan görüntüleri Şekil 6’da gösterilmiştir. Burada, 100 kW gücündeki bir cihaz, 50 m uzunluğundaki bir kablo ile alçak gerilim dağıtım şebekesinden direkt beslenmektedir. Alçak gerilim dağıtım şebekesinden doğrudan beslenme durumunda izin verilen maksimum gerilim düşümü %5’dir [8]. Bu durumda, Şekil 6(a)’da görüldüğü gibi kullanıcı eğer 3×50+25 mm² kesite sahip kablo seçerse akım taşıma kapasitesi bakımından seçilen kablo uygun değilken, kablo kesitini 3×70+35 mm² artırırsa, Şekil 6(b)’de görüldüğü üzere gerilim düşümü ve akım taşıma kapasitesi bakımından uygundur.

(a)

(a)

(b)

(b)

Şekil 6: a) Yüksek güçlü bir cihaz için uygun olmayan kablo seçimi; b) yüksek güçlü bir cihaz için uygun kablo seçimi.

Uygulamanın bu kısmında yer alan “akıma göre hesaplama” özelliği kullanılarak yapılan kablo seçimi örneğine ait ekran görüntüleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Kullanıcı burada, kalkış anında 210 A akım çeken 3 fazlı bir asenkron motor için kablo seçimi yapmıştır. Kablo uzunluğu olarak 100 m, güç faktörü 0,95, nominal gerilim (faz-toprak) 220 V ve maksimum izin verilen gerilim düşümü değeri %3 olarak tanımlanmıştır. Bu durumda, Şekil 7(a)’da görüldüğü gibi kullanıcı eğer $3 \times 70 + 35 \text{ mm}^2$ kesite sahip kablo seçerse akım taşıma kapasitesi ve gerilim düşümü bakımından seçilen kablo uygun değilken, eğer kullanıcı kablo kesitini $3 \times 120 + 70 \text{ mm}^2$ artırırsa, Şekil 7(b)’de görüldüğü üzere seçilen kablo gerilim düşümü ve akım taşıma kapasitesi bakımından uygundur.

Şekil 7: a) Üç fazlı asenkron motor için uygun olmayan kablo seçimi; b) üç fazlı asenkron motor için uygun kablo seçimi.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bina iç tesisatlarında ve alçak gerilim tesislerinde kullanılan kabloların seçimi için bir mobil uygulama tasarlanmıştır. Bu uygulamanın “bina tesisatları için kablo seçimi” arayüzü ile binalar için büyük öneme sahip olan kabloların, EMO’nun iç tesisat yönetmeliğine uygun şekilde herhangi bir insani hata yapılmadan seçimi sağlanmıştır. Uygulamanın “alçak gerilim tesisleri için kablo seçimi” arayüzü ile de kullanıcıya sisteminin özelliklerini uygulamaya tanımlayarak sistemi için uygun kablo seçiminde kullanışlı bir arayüz sağlanmıştır. Bu çalışmanın, kısa devre akımı, iletken tipi, yalıtkan tipi

parametrelerinin uygulama arayüzüne eklenmesi ve kabloların akım düzeltme faktörlerinin dikkate alındığı durumlar ile geliştirilmesi düşünülmektedir.

5. BİLGİLENDİRME

Bu çalışma kapsamında geliştirilen mobil uygulama, aşağıda verilen linkteki uygulama marketinden yüklenebilir.

<https://itunes.apple.com/us/app/güç-kablosu-kesit-seçimi/id1440375356>

KAYNAKLAR

1. Kalenderli, Ö., *Yüksek Gerilim Yeraltı Kabloları*, Ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2002.
2. İspirli, M. M., Ersoy Yılmaz, A., Kalenderli, Ö., "Investigation of Tracking Phenomenon in Cable Joints as 3D with Finite Element Method", Springer Electrical Engineering, Vol. 100, No. 4, pp. 2193–2203, 2018.
3. Anders, G. J., *Rating of Electric Power Cables in Unfavorable Thermal Environment*, Wiley-IEEE Press, New York, 2005.
4. Thue, W., *Electrical Power Cable Engineering*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 3rd ed. 2012.
5. IEC 60364-5-52:2009 Low-voltage electrical installations - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems. Intern. Electrotechnical Committee, 3rd ed. Geneva, Switzerland, 2009.
6. Özkaya, M., Tüfekçi, T., *Aydınlatma Tekniği*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2011.
7. Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği, TMOBB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara, Haziran 2015 (Bu Yönetmelik 16 Haziran 2004 tarih ve 25494 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir).
8. TSE HD 60364-5-52 Alçak gerilim elektrik tesisleri - Bölüm 5-52: Elektriksel teçhizatın seçilmesi ve montajı - Bağlantı sistemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.