



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK GERİLİM HAVAİ HATLARINDA OLUŞAN BUZ YÜKÜNÜ ÇÖZEN BİR SİSTEMİN TASARIMI VE UYGULAMASI

Bahadır AKBAL

DOKTORA TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2015
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Bahadır AKBAL
Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YÜKSEK GERİLİM HAVAİ HATLARINDA OLUŞAN BUZ YÜKÜNÜ ÇÖZEN BİR SİSTEMİN TASARIMI VE UYGULAMASI

Bahadır AKBAL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Musa AYDIN

2015, 82 Sayfa

Jüri
Doç.Dr. Musa AYDIN
Prof.Dr. Mustafa Uğur ÜNVER
Prof.Dr. Salih GÜNEŞ
Doç.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Yrd.Doç.Dr. Mustafa YAĞCI

Elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında genellikle havai hatlar kullanıldığı için elektrik enerjisinin sürekliliğini sağlamada havai hat arızalarının en az seviyeye indirilmesi gerekir. Havai hatlar farklı çevresel etkenlerden dolayı arızalanmaktadır. Bu çevresel etkenlerden buz yükü, havai hatlarda büyük hasarlar meydana getirmektedir. Buz yükünün tespiti ve giderilmesi için kullanılacak olan yöntemlerin mevcut hatlarda büyük tadilatlar gerektirmemesi ve yeni hatlara da uyumlu olması gerekir. Bu tezde buz yükünün tespiti ve giderilmesi için laboratuvar şartlarında uygulamalar yapılmıştır. Öncelikle buz yükü oluşum şartlarını sağlamak için özel bir iklimlendirme kabin prototipi yapılmış ve buz yükü çalışmalarında kullanılmıştır. Buz yükü tespitinde yapılan çalışmalar incelendiğinde en uygun yöntemin görüntü işleme yöntemi olduğu tespit edilmiş ve bu tezde buzlu iletken kalınlığının tespitinde görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır. Buz yükü genellikle soğuk ve aşırı nemli hava şartlarında oluşmaktadır. Gece hava sıcaklığı gündüze göre daha düşük olduğundan dolayı arızlanmaların gece olma olasılığı yüksektir. Bu yüzden görüntü işleme ile buz yükü tespit edililirken karanlık ve aşırı sisli durumlar göz önünde bulundurulmalıdır. Literatürde yeralan çalışmalarda karanlık ve sisli ortam şartları genelde ihmal edilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan iklimlendirme kabini içerisindeki buzlu iletkenlerin görüntüleri bir dış ortam kamerası vasıtasıyla alınarak görüntü işleme yöntemleri ile buz kalınlığının tespiti yapılmıştır. Karanlık ve aşırı sisli ortamda görüntünün netliği düşük olduğundan buz kalınlığının belirlenmesi için eşik sayısının artırılması gerekir. Bu nedenle Çoklu Eşikleme Yöntemi kullanılmıştır. Ancak Çoklu Eşikleme Yönteminin algoritma hızı yüksek eşik sayılarında düşük olmasından dolayı algoritma hızını artırmak için yapay zekâ yöntemleri kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında iki farklı Çoklu Eşikleme Yöntemi ile 5 farklı yapay zekâ yöntemi kullanılarak 10 farklı yöntem elde edilmiştir. Bu yöntemler arasında CSA-Otsu yöntemi en uygun sonuçları vermiştir. 20 eşikli CSA-Otsu yöntemi ile % 99,14 doğrulukla karanlık ve sisli ortam şartlarında buzlu iletken kalınlığı tespit edilmiştir. Literatürde buz yükünün giderilmesinde genellikle DC ya da AC akım kullanılmaktadır. DC yöntemin AC'ye göre daha az kaynak kapasitesine ihtyaç duymasından dolayı genellikle DC yöntem tercih edilmektedir. Fakat DC yöntem kullanıldığında kullanıcıların enerjisi kesilmektedir. Bu tez çalışmasında ise DC ile buz çözmek için özel bir buz çözme devresi oluşturulmuş ve uygulamaları yapılmıştır. Bu devre sayesinde buz eritme esnasında kullanıcıların enerjisinin kesilmesi ortadan kaldırılmıştır. Tasarlanan ve uygulaması gerçekleştirilrn bu devrenin denemelerini yapmak için bir 1000:1 ölçekli 154 kV iletim hattı modeli oluşturulumuş ve DC buz eritme sisteminin buz yüklü iletim hattına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler sonunda DC buz çözme devresinin kaynak ve yük tarafındaki gerlim ve harmonikler üzerinde ciddi etkilerinin olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Buz Yükü, CSA, DEA, GA, GSA, Kapur, Otsu.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

SYSTEM DESIGN AND IMPLEMENTATION TO MELT THE ICE OCCURRING IN HIGH VOLTAGE AERIAL TRANSMISSION LINES

Bahadır AKBAL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERING

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Musa AYDIN

2015, 82 Pages

Jury
Assoc.Prof.Dr. Musa AYDIN
Prof.Dr. Mustafa Uğur ÜNVER
Prof.Dr. Salih GÜNEŞ
Assoc.Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Asst.Prof.Dr. Mustafa Yağcı

Overhead lines are generally used for electric transmission and distribution. Thus, faults on overhead lines must be reduced to provide the continuity of electric energy supply. Faults on lines occur because of different environmental factors. Especially, significant faults occur on lines due to ice load. The methods which will be used for the detection and elimination of ice load must be compatible for the current and the new transmission lines. In this thesis, ice load detection and elimination studies are carried out. Primarily, the prototype of artificial climate cabinet is used to produce ice. It is seen in the literature that the most appropriate method to detect ice load is image processing. Hence image processing method is used in the studies. Ice load generally occurs under cold and heavy fog air conditions. Ice load faults generally occur at night because night temperatures are colder than daytime temperatures. Therefore, heavy fog air conditions at night time are considered to detect ice load. In this thesis, image of the iced conductors is taken by an outdoor camera in the climate cabinet. Detection of the thickness of the iced conductor is difficult under dark and heavy fog conditions because of low image contrast. Under such conditions, threshold levels should be increased. In the thesis, multilevel threshold methods are used to increase threshold level. But computational time of these methods increases at high threshold levels. Optimization methods are used to decrease the computational time. Two different multilevel threshold methods and five different artificial intelligence methods are used together. Namely, ten different methods are used to find optimum threshold level. Accuracy rate of 20-level CSA-Otsu method is found to be better than accuracy rate of the other methods. Therefore, CSA-Otsu Method is suggested to detect ice load in this thesis. DC and AC ice melting circuits are used to eliminate ice load in the literature. DC method has been preferred to melt ice load currently. But Electric energy of the customer is interrupted when DC method is used to melt the ice load. In the studies, a novel DC ice melting circuit is designed and used. The prototype transmission line is used to test this circuit. The harmonic effect of DC ice load melting system on the transmission line model is studied. As a result of the tests, it is observed sending- and receiving-ends of the transmission line are not seriously influenced by the DC melting circuit, and the customer energy is not interrupted during ice melting thanks to this novel DC ice melting circuit.

Keywords: CSA, DEA, GA, GSA, Kapur, Ice load, Otsu, Kapur.

ÖNSÖZ

Havai hatlar elektrik iletiminde ve dağıtımında yeraltı kablolu hatlara göre daha fazla kullanılmaktadır. TEDAŞ ve TEİAŞ'a ait havai hat uzunluklarına bakılırsa bu durum doğrulanmaktadır. Havai hatların elektrik iletim ve dağıtımında tercih edilme nedenlerinin başında maliyeti ve işletme kolaylığı gelmektedir. Örneğin bir yeraltı kablolu hattın havai hatta göre tesisi daha pahalı ve arızasının bulunması daha zordur.

Elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi elektrik kesintileridir. Elektrik kesintilerinin en önemli nedenlerinden birisi de kısa devrelerdir. Kısa devreler, yeraltı kablolu hatlarda genellikle zırh ve kablo başlığı arızaları şeklinde görülürken, havai hatlarda iletken kopması, direk yıkılması ve izolatör arızaları şeklinde görülmektedir. Havai hatlardaki arızaların temel nedeni genellikle çevresel etkenlerdir. Hatlara gelen ek atmosferik yüklerden dolayı sayılan bu arızalar meydana gelmektedir. Hatlara etkiyen ek yükler rüzgâr ve buz yükleridir. Buz yükünden dolayı meydana gelen arızaların sayısı ve maliyeti rüzgâr yüküne göre daha büyüktür. Ayrıca buz yükünden dolayı arızalanan hatların onarımı hattın bulunduğu mevkiye göre çok zaman almaktadır.

Enerji sürekliliğini sağlama çalışmalarında havai hat arızalarının azaltılması büyük önem taşır. Çünkü iletim ve dağıtım hatlarının çoğu havai hattır. Hava hat arızalarında da buz yükü arızalarının azaltılması hem maddiyat hem de zaman yönünden büyük kazanımlar sağlayacaktır. Buz yükü belirleme ve giderme üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde hem literatürde hem de uygulamada kararlı bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Bu tezde buz yükü belirleme ve giderme çalışmaları laboratuvar ortamında uygulamalı olarak yapılmıştır. Buz yükü belirleme çalışmaları gerçek ortam şartlarına yakın koşullarda yüksek doğrulukla gerçekleştirilmiştir. Buz yükü gidermede ise laboratuvar şartlarında oluşturulan iletim hattı deney seti üzerinde kullanılan özel buz yükü eritici devrenin deneyleri yapılmış ve sonuçta tasarlanan devre ile tüketicilerin enerjisini kesmeden ve güç kalitesini ciddi etkilemeden buz yükü eritme işleminin gerçek hatlarda gerçekleştirildiği görülmüştür.

Bu doktora çalışmasında, çalışmalar uygulamalı olduğundan dolayı deney setleri için devre elemanlarının temini, kurulumu ve deneylerin gerçekleştirilmesi için birçok zorlu aşamadan geçilmiştir. Doktora çalışmam esnasında her konuda destek olan Danışman Hocam Sayın Doç.Dr. Musa AYDIN'a, çalışamın ilerlemesi için desteklerini esirgemeyen Sayın Prof.Dr. Mustafa Uğur ÜNVER ve Sayın Prof.Dr. Salih Güneş hocalarıma, deney setlerinin kurulumu ve çalıştırılması esnasında emeğini ve desteğini esirgemeyen Sayın Yrd.Doç.Dr. Bayram AKDEMİR'e ve buz yükü belirleme çalışmalarında eksik kaldığım konularda yardımcı olan Sayın Arş.Gör. Muhammet Üsame ÖZİÇ'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca doktora çalışmam boyunca vermiş oldukları destek ve göstermiş oldukları sabırdan dolayı anneme, babama, kardeşime ve eşime teşekkür ederim.

Bahadır AKBAL
KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **viii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **6**

3. BUZ YÜKÜNÜ TESPİT YÖNTEMLERİ **16**

3.1. İletim Hattı İletkenleri Üzerinde Buz Yükü Oluşumu 16
3.2. Buz Yükü Tespiti 18
3.2.1. Görüntü işleme yöntemleri 19
3.2.2. Optimizasyon yöntemleri 25

4. BUZ YÜKÜ ERİTME ÇALIŞMALARI **32**

4.1. İklimlendirme Kabinin Tanıtımı ve Buz Yükü Oluşturma Çalışmaları 34
4.2. İletim Hattı Modeli ve Buz Eritme Devresinin Oluşturulması 36
4.3. Buz Eritme Akımı ve Süresinin Hesaplanması 41

5. BUZ YÜKÜ TESPİTİ VE ERİTİLMESİ İLE İLGİLİ UYGULAMA ÇALIŞMALARI **45**

5.1. Buz Yükü Tespit Çalışmaları 45
5.2. Buz Yükü Eritme Çalışmalarında Buz Eritme Devresinin İletim Hattına Etkisi 49
5.2.1. 3x954 MCM iletkenli iletim hattı için yapılan deneyler ve sonuçları 50
5.2.2. 2x954 MCM iletkenli iletim hattı için yapılan deneyler ve sonuçları 54

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **60**

6.1 Sonuçlar 60
6.2 Öneriler 63

KAYNAKLAR **64**

ÖZGEÇMİŞ **71**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C_0 ve C_1 : Görüntü sınıfları

w_0 ve w_1 : Gri seviye olasılıkları

μ_i : Sınıfların ortalama seviyesi

μ_T : Görüntünün ortalama seviyesi

X_{ii} : Ajan konumu

M_{ii} : Ajanın inertia ağırlığı

M_{ai} : Ajanın aktif çekimsel ağırlığı

M_{pi} : Ajanın pasif çekimsel ağırlığı

G_0 : Başlangıç değeri

β : Sabit değer

t : Mevcut yineleme sayısı

t_{max} : En yüksek yineleme sayısı

$x_i^d(t)$: i numaralı ajanın konumu

$v_i^d(t)$: I numaralı ajanın hızı

$rand_j$: Rasgele sayı

W_R : Radyasyon yolu ile kaybolan ısı

W_C : Konveksiyon yolu ile kaybolan ısı

W_S : Güneş etkisi ile kazanılan ısı

E : İletken soğurma faktörü (0.5 çelik özlü alüminyum iletken için)

R_{ac70} : 70˚C ‘de AC direnç (ohm)

d : İletken çapı (cm)

I_{max} : İletkenin akım taşıma kapasitesi (A)

I_r : En düşük buz eritme akımı (A)

R_0 : 0˚C'de iletken direnci (ohm/m)

T_r : Buz eritme süresi (saat)

Δt : İletken ile çevre arasındaki sıcaklık farkı (˚C)

g_0 : Buz yoğunluğu

b : Buz kalınlığı (cm)

D : Buzlu iletken kalınlığı (cm)

R_{T0} : Buzun eşdeğer ısıl direnci (K.cm/W)

R_{T1} : Konveksiyonel ve radyasyonel eşdeğer ısıl direnç (K.cm/W)

Kısaltmalar

THDV : Toplam harmonik bozunum

DC : Doğru akım

AC : Alternatif akım

ACF : Alternatif akım filtresi

DCF : Doğru akım filtresi

JEM : Joule Etkisi Yöntemi

GSA : Çekimsel Arama Algoritması

CSA : Klonsal Seçim Algoritması

PF : Güç Faktörü

1. GİRİŞ

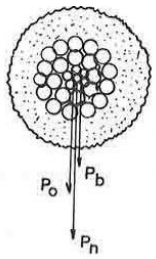
Elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında havai hatlar ile yeraltı kablolu hatlar kullanılmaktadır. 2010 yılı TEDAŞ verilerine göre Türkiye'de elektrik dağıtımında kullanılan havai hattın toplam uzunluğu 969.237,6 km ve TEİAŞ verilerine göre elektrik iletiminde kullanılan toplam havai hat uzunluğu 48.760 km iken yeraltı kablolu hatların toplam uzunluğu 211 km'dir. TEDAŞ ve TEİAŞ verileri değerlendirildiğinde Türkiye'de elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında havai hatların yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında havai hatlar tercih edildiği için, elektrik enerjisinin sürekliliğini sağlamada ve güç kalitesini iyileştirmede havai hat arızaları en az seviyeye indirilmelidir.

Havai hat arızaları genellikle çevresel etkenlerden kaynaklanmaktadır. Bu arızalar direk yıkılması, direk bükülmesi, iletken kopması, izolatör kırılması veya çatlaması gibi nedenlerden olabilir. Ayrıca yabani hayvanlar ve göçmen kuşlardan dolayı kısa devreler görülmektedir. Elektrik hatları tasarlanırken dikey ve yatay kuvvetler dikkate alınır. Hatta gelen dikey kuvvetler iletken ağırlığı, monitör ağırlığı, izolatör, askı veya gergi takımı ağırlığı olarak sıralanabilir. Hatta gelen yatay kuvvetler ise iletkenin çekme kuvveti ve rüzgâr yükü olarak sıralanabilir. Hat bu kuvvetlere göre tasarlanır ve Elektrik Tesisleri Kuvvetli Akım Yönetmeliğine (EKATY) göre oluşabilecek varsayımlara göre ek yükler belirlenerek, hat için gerekli kuvvetlendirmeler yapılır.

Havai hatlara etkiyen ek yatay ve dikey kuvvetler hattın tasarım sınırını aşarsa arızalara neden olurlar. Hatta gelen ek yükler buz yükü ve rüzgâr yüküdür. Buz yükünden dolayı özellikle iletim hatlarında ciddi arızalar oluşmaktadır ve havai hatlarda olşan buz yükü arızalarının etkisi rüzgâr yükü arızalarına göre daha büyüktür. Buz yükü arızaları genellikle iletken kopması veya direk yıkılması şeklinde görülmektedir. Bu arızaların giderilmesi için vinç ve kamyon gibi ağır vasıta araçlara ve zamana ihtiyaç vardır. Arızaların kış şartlarında olması, havai hatların genellikle yerleşim alanlarına uzak mera veya tarla gibi yerlerden geçmesi müdahalenin zor ve maliyetin yüksek olmasına neden olmaktadır. Buz yükü arızaları, yüksek maliyetli olmasının yanında tüketicilerin günlerce elektriksiz kalmalarına da neden olmaktadır. Ülkemizde ve dünyanın birçok yerinde buz yükünden dolayı ciddi arızalar meydana gelmiştir. 12 Şubat 2012 tarihinde Adıyaman'da iletkenlerde oluşan buz yükünden dolayı 122 adet enerji nakil hattı direği yıkılmıştır. Bunun sonucunda bazı yerleşim yerlerine günlerce

elektrik verilemediği gibi meydana gelen maddi zararın 2.500.000 TL civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu arızadan başka Hakkâri, Afyonkarahisar, Tunceli, Sakarya, Aydın, Malatya, Elazığ, İzmit ve Konya illerimizde de buz yükünden dolayı son yıllarda iletim ve dağıtım hatlarında hasarlar oluşmuştur. 2008 yılında Çin ve Kanada'da buz yükünden dolayı iletim ve dağıtım hatları ciddi anlamda zarar görmüş ve bu tarihten sonra elektrik hatlarında meydana gelen buz yükü üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Havada nem oranı yüksek iken sıcaklık aşırı bir şekilde düşerse havadaki nem, havadan daha soğuk olan cisimlerin üzerine yapışır. Havai hatlar yerden yüksekte olduklarından dolayı bu gibi durumlarda havadaki nem iletkenlere yapışarak buz yükü oluşturur. İletken üzerinde oluşan buz yükü Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Bu şekle göre buz yükü iletkene düşeyde bir ek kuvvet uygulamaktadır. Böylece iletkene ve direğe kendi ağırlığının yanında buz yükünün ağırlığı da etkimektedir. Buzlu iken iletkenin toplam ağırlığı denklem (1.1)'de gösterilmektedir (Yunusoğlu, 2014).



Şekil 1.1 Buz yükü oluşan iletken

$$p_n = p_b + p_0 \qquad (kg/m) \tag{1.1}$$

Burada p_b metre başına buz ağırlığı, p_0 metre başına iletken ağırlığı, p_n toplam metre başına ağırlıktır.

Ülkemiz buz yükü bakımından 5 bölgeye ayrılmıştır. Her bölgedeki buz yükünü hesaplamak için deneysel (ampirik) bir formül geliştirilmiştir. Bu formül denklem (1.2)'de gösterilmektedir.

$$p_b = k.\sqrt{d} \qquad (kg/m) \tag{1.2}$$

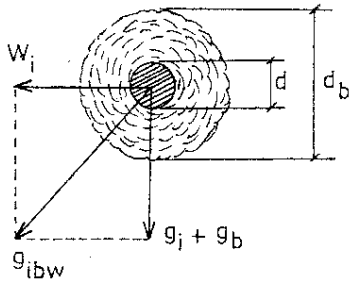
Burada p_b metre başına iletkende oluşan buz ağırlığı, k bölgeye ilişkin katsayı, d mm cinsinden iletkenin çapıdır. k katsayısı bölgelere göre değişmektedir. Bölgelere göre k katsayısı Çizelge 1.1' de gösterilmektedir (EKATY, 2000).

Çizelge 1.1. Bölgelere göre k değerleri

Buz Yükü Bölgesi	k	Ortam Sıcaklığı(^{o}C)	
		En Düşük	En Yüksek
1. Bölge	0	-10	+50
2. Bölge	0,2	-15	+45
3.Bölge	0,3	-25	+40
4. Bölge	0,5	-30	+40
5. Bölge	1,2	-30	+40

Havai hatlar tasarlanırken denklem (1.2)'ye göre tahmini buz yükü hesaplanır. Fakat hat tasarlanırken yapılan hesaplamalar ile her ne kadar önlem alınsa da iklim değişiklikleri ve buz yükü bölgelerinin geniş tutulmasından dolayı tesis edilmiş hatlarda buz yükü arızaları görülmektedir. Bu durumuma örnek olarak Aydın, Adıyaman ve Konya gibi buz yükü oluşma ihtimalinin düşük olduğu illerimizde de buz yükünden dolayı arızaların görülmesidir. Ayrıca denklem (1.2) ile yapılan hesaplamalar, yönetmelikçe bazı varsayımlar gözetilerek yapılmıştır. Bazı durumlarda bu varsayımlar eksik kaldığı için havai hatlar buz yükünden dolayı hasar görmektedirler.

Eğer buzlu iletkene ek olarak rüzgâr yükü eklenirse, buzlu iletkenin rüzgâr yükü çıplak iletkene göre daha büyük olacağı için bu durumda arıza daha az buz yüklerinde bile gerçekleşebilir. Bu durum Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Bu durumda iletkene etkiyen toplam yük denklem (1.3) ile hesaplanır.



Şekil 1.2 Buz yükü üzerine etkiyen rüzgar yükü

$$g_{iwb} = \sqrt{(g_i + g_b)^2 + w_i^2} \qquad (kg/m) \tag{1.3}$$

Burada g_i iletken ağırlığı, g_b buz ağırlığı, g_{ibw} buzlu iletkene etkiyen rüzgâr ve buz yükünün bileşke kuvvetidir. d iletken çapı ve d_b ise buzlu iletken çapıdır.

Ayıca yönetmelikçe 380 kV gerilimli hatlarda 20 kg/m^2 rüzgâr yükü oluştuğu varsayılır. Fakat daha düşük gerilim seviyeli havai hatlarda bu durum gözardı edildiği için buz yüküne ek olarak rüzgâr yükü etkidiğinde arızalar oluşmaktadır.

Yönetmelikte belirtilen şartlara göre tasarlanan hatlarda, iklim ve buz yükü bölgesi değişikliği gibi nedenlerden dolayı aşırı buz yükü oluşma riski taşıyorsa ve bu hatlarda güçlendirme yapımı imkânsız veya yetersiz ise buz yükü oluşumuna göre farklı tedbirler alınmalıdır. Buna göre havai hat sürekli izlenerek üzerinde oluşan buz yükü hesaplanmalı ve hattın dayanabileceği maksimum buz yüküne göre veya belirlenen belli bir sınıra göre müdahale edilmelidir.

Buz yükünü tespit etmek için literaürde birçok yöntem kullanılmıştır. Kullanılacak olan yöntemin buz yükünü sürekli izleyebilmesi, anlık müdahale edebilmesi, mevcut kullanılan ve yeni yapılacak olan havai hatlar için uygulamasının kolay ve maliyetinin düşük olması gibi özelliklere sahip olması gerekir.

Görüntü işleme yöntemi sayılan bu özelliklere sahiptir. Çünkü görüntü işleme yönteminde buzlu iletken kalınlığını ölçmek için bir kameraya ihtiyaç vardır. Kameranın montajı neredeyse bütün havai hatlar için kolay ve maliyeti düşük olan bir işlemdir. Literatürde görüntü işleme yöntemi ile ilgili bazı uygulamalar yapılmıştır. Görüntü işleme yöntemi ile buz yükünü doğru bir şekilde tespit etmek için buz yükü arızalarının oluştuğu tarihlerdeki hava şartları Meteoroloji Müdürlüğünün arşivlerinden incelenmiş ve arızaların genellikle yüksek nem, soğuk hava ve gece şartlarında oluştuğu görülmüştür. Geceleri daha çok arıza olmasının nedeni ise gecenin gündüzden daha soğuk olmasıdır. Gece hava hızlı ve aşırı soğuduğunda havadaki nem iletkenler üzerine yapışarak buz yükü oluşturur. Bu yüzden görüntü işleme yöntemleri ile buz yükü tespit yapılacaksa karanlık ve aşırı sisli ortam şartları ihmal edilmemelidir. Literatürde yapılan çalışmaların çoğunda bu hava şartları ihmal edilmiştir. Dolayısıyla bu tezin amaçlarından birisi karanlık ve aşırı sisli hava şartlarında yüksek doğrulukla buz yükünün belirlenmesidir.

İletken üzerindeki buz yükü belirlendikten sonra eritme işlemine geçilmelidir. Literatürde Joule Etkisi Yöntemi (JEY) yani akımla buz eritme yöntemi önerilmektedir. Diğer buz yükü giderme yöntemlerine bakıldığında akımla buz eritme yöntemi daha kolay, güvenilir ve hızlıdır. Literatürde buz yükü bu yöntemle AC veya DC yöntemler kullanılarak eritilmiştir. AC ile buz yükü eritme uygulamaları kısa devre yöntemi, endüktif veya kapasitif yüklerle reaktif akım artırma ve yüksek frekanslı akım akıtma yöntemi olarak belirtilmiştir. Kısa devre ile iletken üzerinden yüksek akım akıtılarak

iletken üzerindeki buz eritilmektedir. Kısa devre elektrik tesislerinde istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden kaynak ve hattın bazı bölümleri zarar görebilir. Ayrıca tüketicilerin enerjisi buz eritme esnasında kesilmektedir. Kapasitif ve endüktif yükler kullanılarak hattan akan reaktif akımın değeri artırılmaktadır. Bu sayede kullanıcıların enerjisi kesilmeden iletken üzerindeki buz eritilir. Fakat hat gerilimi reaktif akımdan olumsuz etkilenmektedir. Bazı uygulamalarda hattın enerjisinin de kesilmesi gerekmektedir. Yüksek frekanslı akım ile iletkenin direnci deri etkisi nedeniyle artırılmaktadır. Bu yöntem orta ve uzun iletim hatları için uygun değildir. Yüksek frekans yüzünden hattın kapasitif direnci düşmekte ve akım için düşük dirençli bir yol oluşmaktadır. Bu yüzden akım hat başında yüksek iken hat sonuna doğru azalmaktadır çünkü yüksek frekanslı akım hat iletkenleri arasındaki ve iletken ile toprak arasındaki kapasititif dirençler üzerinden akmaktadır.

Görüldüğü üzere buz yükünü eritecek sistemin tüketiciler üzerindeki etkisinin çok az olması gerekir. Bu tezde iletkenler üzerindeki buz yükünü gidermek için DC yöntem tercih edilmiştir. DC de reaktif bileşenler olmadığı için AC ile buz yükü eritmeye göre daha az kaynak kapasitesine ihtiyaç vardır. DC buz eritme yönteminde daha az kaynak kapasitesi gerektiğinden dolayı son yıllarda genellikle DC buz eritme yöntemi kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemde tüketicilerin elektriği buz eritme esnasında kesilmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı bu durumdur. Bu tezde DC ile buz eritilirken tüketicilerin enerjilerinin kesilmemesi ve bu sistemin tüketiciler üzerindeki etkisinin en alt seviyede tutulması için özel buz eritme devresi tasarlanmış ve uygulaması yapılmştır.

Kaynak araştırması bölümünde buz yükü tespiti ve eritilmesi için literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda bulunan eksik yönler belirtilmiştir. Materyal ve yöntem bölümünde buz yükü tespiti yapılırken karanlık ve aşırı sisli ortamın nasıl oluşturulduğu ve bu ortamda buz yükü tespitinin yapılması için hangi yöntemlerin kullanıldığı açıklanmıştır. Ayrıca buz yükünün giderilmesinde kullanılan önerilen devre şeması da açıklanmıştır. Araştırma bulguları ve tartışma bölümünde buz yükü tespitinde kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve en iyi yöntem belirlenmiştir. Buz eritme devresinde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve karşılaşılan sorunların nedenleri açıklanmıştır. Sonuçlar ve öneriler bölümünde elde edilen sonuçlara göre kullanılan yöntemin uygulanabilirliği belirtilmiş ve bu çalışmanın daha ilerilere götürülmesi için gerekli öneriler verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Davies ve Pierre (1952) "Ice-Melting and Prevention Practices on Transmission Lines" adlı makalede, iletim hattında buz yükünün oluşmasını engelleme ve oluşan buz yükünün hatta zarar vermeden eritilmesi için kullanılan yöntemleri tanıtmışlardır.

Morgan ve Swift (1965) "Effect of ice loads on overhead-line conductors" adlı makalede ani buz yükü oluşumundan sonra iletkenlerin atlama yüksekliğini değerlendirmişledir.

Marshall ve ark. (1994) "Applying MATLAB and C to Monitor Wind and Ice Loads on a Test Transmission Line" adlı makalede havai hatlarda oluşan buz yükünü izlemek için C ve Matlab programlama dillerini kullanmışlardır. C programlama dili ile sensörlerden gelen bilgiler toplanarak, MATLAB programlama dili ile değerlendirilmiştir.

Fekr ve McClure (1998) "Numerical modelling of the dynamic response of ice-shedding on electrical transmission lines" adlı makalede, elektrik iletim hatlarında oluşan buz yükünün dökülmesi esnasında iletkenler üzerinde oluşan dinamik etkinin nümerik bir modeli oluşturularak benzetimi yapılmışlardır. Burada buz yüküne göre 21 çeşit senaryo türetilmiştir. Bu senaryolarda iletken cinsi, direk açıklıkları, oluşacak buz kalınlığı, izolatör uzunlukları göz önünde bulundurularak, iletkenlerdeki buz yükünün dökülmesi esnasında oluşan dinamik etki incelenmiştir.

McCurdy ve ark. (2001) "Using Dielectric Losses to De-Ice PowerTransmission Lines with 100 kHz High-Voltage Excitation" adlı makalede, iletkenlerde oluşan buzu eritmek için Joule etkisinden faydalanmışlardır. Enerji iletim hattına yüksek frekanslı gerilim uygulayarak, hattın dielektrik kayıplarını ve deri etkisinden dolayı oluşan kayıpları artırarak iletkeni ısıtmayı amaçlamışlardır. Bunun için hat sonuna yüksek frekanslı akıma karşı düşük direnç gösterecek bir kapasitif yük bağlanmıştır. Böylece hattan yüksek değerde kapasitif akımlar akıtarak buz yükünü eritme amaçlanmıştır. Kapasitif kayıplarda dalgalanmalar meydana gelmiştir. Bu dalgalanmalar duran dalgalar teorisi kullanılarak, deri etkisi kayıpları ile dengelenmiştir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı 50 km'den fazla uzunluğa sahip hatlar için uygun olmayışıdır. Çünkü uzun iletim hatlarında eş değer pi devresi kullanıldığı için, yüksek frekanslı akım devresini hattın kapasitansından tamamlar. Bundan dolayı hat sonunda akım değeri büyük oranda azalmaktadır. Bu olay iletkenlerde dengeli ısınma yapamaz ve yüksek frekans

kaynağından uzaklaştıkça çözünen buz miktarında azalmalar görülür ve erime bölgesel olur.

Huneault ve ark. (2005) "Combined Models for Glaze Ice Accretion and De-Icing of Current-Carrying Electrical Conductors" adlı makalede, iletkenlerde oluşan buz tabakalarını incelemişlerdir. Buna göre iletkenlerde oluşan buzu eritmek için farklı modeller geliştirmişlerdir.

Baliberdin ve ark. (2005) "Model Group of Controlled Installation for Melting Ice on Transmission Line Conductors" adlı bildiride, iletim hatları üzerinde oluşan buz yükünün çözülmesi için gerekli sistemlerin bulunacağı odanın tasarımı yapılmışlardır. Oda içerisinde yerleşim, havalandırma ve soğutma sistemlerinin tasarımı hakkında bilgi vermişlerdir.

Huneault ve ark. (2005) "Combined Models for Glaze Ice Accretion and De-Icing of Current-Carrying Electrical Conductors" adlı makalede, iletken üzerinde biriken buzun eritilmesi üzerine bir benzetim programı geliştirmişlerdir. Bu benzetim araçları ile bazı senaryolar tanıtılmıştır. Hattın tasarımına ve iletkenin cinsine göre bu senaryolar içinden en iyisi seçilmiştir.

Horwill ve ark. (2006) "An Application of HVDC to the de-icing of Transmission Lines" adlı bildiride, 315 kV gerilim seviyeli çift devre bir iletim hattı için doğru akım kullanarak buz eritme uygulamasını yapmışlardır. Öncelikle iki devre birbirine kısa devre edilmiş ve iletim hattından yaklaşık olarak 6900 A çekilerek buz yükü eritilmiştir. Burada her iki devrenin ucu yükten ve kaynaktan ayrılmıştır. Bundan dolayı tüketicilerin enerjisi kesilmiştir.

Yunqing ve ark. (2006) "The Research of DC Deicing Technology in Power Line" adlı bildiride, doğru akımla buz eritme yöntemini tanıtılmışlardır. Ayrıca alternatif akımla buz eritme yöntemi, doğru akımla buz eritme yöntemiyle süre ve harcanan güç açısından karşılaştırılmıştır. Doğru akımla buz eritme yönteminin daha verimli olduğu belirtilmiştir.

Sadov ve ark. (2006) "Mathematical Model of Ice Melting on Transmission Lines" adlı makalede, iletkenler üzerinde oluşan buz yükünün erimesi esnasında oluşan şeklin matematiksel modelini geliştirmişlerdir.

Cloutier ve ark. (2007) "On-Load Network De-Icer Specification for a Large Transmission Network" adlı makalede, buz yükünün etkisini gidermek için faz kaydırma transformatörünü kullanmışlardır. Aynı istasyonu besleyen iki paralel hat arasında faz kaydırma trafosu kullanılarak iki gerilim arasında faz farkı meydana

getirilerek ve çevrim akımları oluşturulmuştur. Joule etkisinden dolayı hatta oluşan aşırı akımlar buzu eritmiştir. Fakat bu yöntemin uygulanması için iki veya daha fazla devreli hatta ihtiyaç vardır. İşletme açısından zor bir uygulamadır.

Haldar (2007) "Twenty Years of Ice Monitoring Experience On Overhead Lines In Newfoundland and Labrador" adlı bildiride, Newfoundland ve Labrador Hydro iletim hatlarında buz ve rüzgâr yüklerini izlemek için, son 20 yılda kullanılan teknikleri tanıtmıştır.

Elíasson ve Thorsteins (2007) "Ice load measurements in test spans for 30 years" adlı bildiride, iki direk arasındaki buz yükünü ölçmek için son 30 yıldan beri kullanılan yöntemlerin tanıtmışlardır. Bunlar yöntemler kameralar ve kuvvet ölçücüler gibi sıralanabilir.

Bhattacharya ve ark. (2008) "Control Reconfiguration of VSC Based STATCOM for De-icer Application" adlı bildiride, buz yükünün olmadığı durumlarda gerilim düzenini sağlayan, buz yükü oluştuğunda ise hatta doğru akım vererek buz yükünün giderilmesinde kullanılan 150MVA gücünde bir STATCOM üzerinde çalışmışlardır.

He ve ark. (2008) "Research of Rapid Parallel Operation, Automatic Icemeltingon Transmission Lines" adlı bildiride, buz yükünü eritmek için Static VAR ve bütünleşik bir sistem tanıtmışlardır. Bütünleşik sistemde akım yükseltici, gerilim yükseltici, otomatik buz eritici sistemler bulunmaktadır. Bunun için reaktif akım ve gerilim kullanılmaktadır.

Pe´ter ve ark. (2008) "Numerical investigations of a new thermal de-icing method for overhead conductors based on high current impulses" adlı makalede, çevresel etkiler göz önünde bulundurularak matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Frekansın buz eritme süresine ve akımın değerine olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca belirli frekans değerlerine göre, rüzgârın ve çevre sıcaklığının buzun erime süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Liu ve ark. (2008) "Study on the Expert System of Overhead Lines Icing and Icing Melting" adlı bildiride, uzman sistemler kullanılarak iletim hatlarında meydana gelecek olan buz yükü tahmin etmişlerdir. Bunun için bağıl nem sensörü, rüzgar sensörü, ve hava sıcaklığı sensörü kullanılmıştır. Sensörlerden gelen bilgiler DAQ kartı ile toplanarak uzman sistemler aracılığıyla buz yükü tahmin edilmiştir. Böylece çevre şartları da değerlendirilerek, iletim hattında oluşan buzu eritmek için gerekli akımın hesabı yapılmış. Ayrıca bir kamera ile erime takip edilmiştir.

Xinbo ve ark. (2008) “An On-line Monitoring System of Transmission Line Conductor De-icing” adlı bildiride, GSM, SMS ve ZEGBEE sistemleri kullanılarak havai hattın izlenmesini yapmışlardır. Atmosferik şartlarla, iletken üzerindeki buz, izolatör açısı izlenmiştir.

Wang ve ark. (2008) “Study on Edge Extraction Methods for Image-based Icing On-line Monitoring on Overhead Transmission Lines” adlı bildiride, iletkenlerde oluşan buz yükünü belirleme için görüntü işleme yöntemlerini kullanılmışlardır. İletkenlerden alınan görüntüler iki yöntem kullanılarak değerlendirilmiştir. Birinci yöntemde dalgacık dönüşümü ile gürültüler giderilerek kenar belirleme için güvenilirlik arttırılmış ve değişken eşikleme ile izolatör ve iletken üzerindeki kenar belirlemeler yapılmıştır. İkinci yöntemde ise matematiksel yaklaşım ile ışık ve gürültüyü etkisi azaltılmış optimal eşikleme ile kenar belirlemeler yapılmıştır.

Xiaoming ve ark. (2009) “Anti-icing Method Based Synchronous OLTC Technology in Transmission Lines” adlı bilidirde, güç elektroniği elemanlarını kullanarak, iletim hatlarını besleyen transformatörler yüklü durumda iken, bu transformatörler arasında gerilim farkı oluşturarak iki istasyon arasında bulunan hatta çevrim akımları akıtma üzerine çalışmışlardır. Böylece Joule etkisiyle meydana gelen buz yükü giderilmiştir. Aynı iletim hattında farklı gerilimlerin olması tüketicilerin gerilim kalitesini etkiler. Hatta bu yöntemde elektrik kesintileri de gerçekleşebilir.

Ni ve ark. (2009) “Research on Frequency Characteristics of the Overhead Line Parameters” adlı bildiride, havai hatların frekans karakteristiği üzerine çalışmışlardır. Havai hatlardan yüksek frekanslı akım geçirilerek oluşan buzun eritilmesi amaçlanmaktadır. Havai hatlarda yüksek frekanslı akım geçirildiğinde deri etkisi ve yaklaşım etkisinden dolayı kayıplar arttığından dolayı oluşan buzu bu şekilde eritmeyi amaçlamışlardır. Fakat yüksek frekansla buz eritme yönteminde 50 km den daha uzun hatlarda verim çok düşer.

Guanghui ve ark. (2009) “Novel Deicing Approach of Overhead Bundled Conductors of EHV Transmission Systems” adlı makalede, demet iletkenler arasında çevrim akımları oluşturarak buz eritme yöntemi geliştirmişlerdir. Bunun için demet iletkenlerin arasına şalterler tesis edilmiş ve bu şalterler farklı zamanlarda anahtarlanarak bir iletken üzerindeki akım değerleri, fazın nominal akıma eşitlenerek iletkenin ısıtılması sağlanmıştır. Bunun için alternatif akım kullanılmıştır. Bu yöntemle tüketicilerin enerjisi kesilmez fakat iletkenlerde oluşan buzu eritmek için yeterli akımın

oluşturulması sorun olabilir. Ayrıca nominal akımın tek iletken üzerine yüklenmesi de çeşitli sorunlara neden olabilir.

Huang ve ark. (2009) "Design of an Adaptive On-load De-icing Scheme for Overhead Power Transmission Line" adlı bildiride, yüksek frekanslı akım kullanılarak iletkenlerde oluşan deri etkisi ve dielektrik kayıpları artırmıştır. Sistem, meydana gelen buz yükünü algılayıcı elemanlar ile tespit ederek, iletkenlerde oluşan buz miktarına göre gerilimin frekansını ayarlamışlardır. Yüksek frekansla buz eritme yöntemi uzun hatlarda verimli olmadığı için bu çalışmada da uzun hat simülasyonu yapılmamıştır.

Liu ve ark. (2009) "A De-icing Method of Electric Transmission Line by Adjusting Load Based on Controllable Inductor and Capacitor Compensation" adlı bildiride, reaktif akımın etkisiyle buz yükünü engellenmeye çalışmışlardır. Bunun için buz yükü oluşan hattın sonuna ayarlanabilir endüktif yük bağlanmıştır. Buz yükünün derecesine göre endüktif yükün değeri ayarlanarak iletken üzerinden yüksek miktarda endüktif akım akıtılmış, sonuçta Joule etkisi ile buz erimiştir. Fakat endüktif akımdan dolayı gerilim düşümleri artmış ve güç kalitesi bozulmuştur. Bunu önlemek için şönt kapasitörler devreye alınmıştır.

Liu ve ark. (2009) "An Overhead Transmission Line Temperature-rising Method and Experiment Based on Parallel Capacitor Compensating Reactive Power Source" adlı bildiride, havai hatlarda oluşan buz yükünü eritmek için reaktif güç kaynağı kullanmışlardır. Bunun için hat sonuna reaktif güç kaynağı olarak kapasitör kullanılmıştır. Hattaki endüktif akımın artış ya da azalışı kapasitif akımın değerini değiştireceği için buz eritme sürelerinde dengesizlikler görülebilir. Yarıca kapasitif yükten dolayı hattın nominal gerilimi artabilir.

Yan-zhong ve ark. (2009) "Failure Analysis of Transmission Tower Under The Effect of Ice-covered Power Transmission Line" adlı bildiride, buz yükünden dolayı iletim hatlarının direklerinde meydana gelen arızaları sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir.

Fengli ve ark. (2009) "Numerical Simulation on The HV Transmission Tower-Line System under The Ice Shedding" adlı makalede, direk, izolatörler, iletken ve topraklama iletkeninden oluşan, 500kV gerilime sahip bir iletim hattını, 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS programı ile oluşturmuşlardır. Farklı buz yükü durumlarında, buzların iletkenden dökülme esnasındaki iletkenin dinamik cevabı, direkler için test edilmiştir.

Xin ve Xiaoguang (2009) “On-line Monitoring Method and Observation System of Transmission Line Icing” adlı bildiride, iletkenlerdeki buz yükünü tespit etmek için CCD (Charge Coupled Device) kameradan elde edilen görüntüleri kullanılmışlardır. Elde edilen görüntüler görüntü işleme yöntemlerinden biri olan Canny kenar belirleme yöntemine tabii tutularak iletken üzerindeki buz kalınlığı hesaplanmıştır. Ayrıca mikro meteorolojik sensörler kullanılarak buz yoğunluğu tahmin edilmiştir. Fakat buz yoğunluğunun nasıl tahmin edildiği hakkında bilgi verilmemiştir.

Liu ve ark. (2010) “De-icing Schemes and Operations for Overhead Power Line Based on Shunt Capacitor Over-compensation Method” adlı bildiride, aşırı kompanzasyon ile buz eritmek için farklı devreler önermiştir. Öncelikle bu çalışma 2 veya daha fazla devreli hatlarda gerçekleştirilebilir. İlk devrede, çift devre iletim hattında iki devre kısa devre ettirilip yüksek kapaistif akımlar akıtılmıştır. İkinci devrede ise hattın birisi devre dışı bırakılarak, bu hat üzerinden yüksek kapasitif akımlar akıtılmıştır.

Jiang ve ark. (2010) “Simulation and Experimental Investigation of DC Ice-Melting Process on an Iced Conductor” adlı makalede, çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı ve iletkendeki akım yoğunluğunu değerlendirerek hatta meydana gelen buzun eritilme işleminin benzetimini ve deneylerini yapmışlardır. Erime esnasında buz ile iletken arasında oluşan hava aralığının, erime süresine etkisi incelenmiştir.

Wang ve ark. (2010) “Design on DC De-icing Schemes for High Voltage Transmission Line” adlı bildirde, iletim hattında oluşan buzun doğru akımla eritilmesi için iki tane devre şeması önermişlerdir. -5 C˚ çevre sıcaklığında, 5m/s rüzgâr hızında, oluşan 10mm kalınlığında buzun erimesi için iki devre modeli önerilmiştir. Bu iki devre modeli için gerekli akım, gerilim değerleri ve oluşan harmonik bozunum oranları kıyaslanmıştır. Bu hatlarda doğru akım için gidiş-dönüş iletkeni olarak fazlar kullanılmıştır. Faz iletkenleri kısa devre yapıldığı için tüketicilerin enerjisi kesilebilir.

Xingliang ve Songhai (2010) “DC Ice-melting Model for Elliptic Glaze Iced Conductor, iletim hatlarında meydana gelen elips şeklindeki buzlanmalar için doğru akım kullanarak buz eritme modeli geliştirmişlerdir.

Ting ve ark. (2010) “Analyzing a novel controllable rectifier type SVC and de-icing device's impact on the transient stability of power system” adlı bildiride, yeni bir doğrultuculu SVC tasarlamışlardır. Yeni tasarlanan SVC geleneksel TCR ve SVC ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu cihazın buz eritme modu da bulunmaktadır.

Zhao ve ark. (2010) “Improvement of LineROVer: A mobile Robot for De-icing of Transmission Lines” adlı bildiride, iletim hattı üzerinde hareket edebilen bir robot ile oluşan buzu kırma yöntemini kullanmışlardır.

Zhang ve ark. (2010) “Application and research of laser de-icing in power system” adlı bildiride, lazer ile havai hat iletkeni üzerinde oluşan buzu ısıtarak eritme yöntemiyle bir uygulama gerçekleştirmişlerdir.

Ma ve ark. (2010) “Design of Fiber Bragg Grating Load Sensor used in Ice Monitoring on Overhead Transmission Lines” adlı bildiride, iletim hatlarında buz yükünü tespit etmek için bir Fiber Bragg Grating yük sensörü geliştirmişlerdir.

Runhai ve ark. (2010) “Detection of Cladding Ice on Transmission LineBased on SVM and Mathematical Morphology” adlı bildiride, iletkenlerde oluşan buz yükünün tespiti için görüntü işleme yöntemi ve matematiksel yöntemler kullanmışlardır. Görüntü işleme yönteminde öncelikle elde edilen görüntüler iki kategoriye ayrılmış ve bunlar statik vektör makinesi ile sınıflandırılmışlardır.

Moser ve ark. (2010) “Capacitive Icing Measurement in a 220 kV Overhead Power Line Environment” adlı bildiride, kapasitif buz sensörü geliştirerek, 200kV gerilim seviyeli bir hattın buz yükü kalınlığını ölçmüşlerdir.

Runhai ve ark. (2010) “Detection of Cladding Ice on Transmission LineBased on SVM and Mathematical Morphology” adlı bildiride, buz yükünü tespit etmek için elde edilen görüntüleri SVM (Statik Vektör Makinesi) ile öncelikle sınıflandırmış ve matematiksel yöntemler kullanılarak segmantasyon yapmışlardır. Çalışma sonunda iletken üzerindeki buzun sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın daha da geliştirilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

Sun ve Tian (2010) “Transmission Line Image Segmentation Based GA and PSO Hybrid Algorithm” adlı bildiride, çoklu eşikleme yöntemi ve optimizasyon yöntemleri birlikte kullanılarak buz kalınlığı tespiti yapılmıştır. Çoklu eşikleme yöntemi olarak Otsu, optimizasyon yöntemi olarak da Hibrit Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma kullanılmıştır. Çalışma sonunda en uygun eşik seviyelerinin değerleri ve tahmin doğruluğu verilmemiştir. Ayrıca karanlık ve aşırı sisli ortam şartları dikkate alınmamıştır.

Sorokin ve Dorozhko (2011) “The Prevention of The Formation of Glazed Frost on An Overhead Transmission Line Without Disconnecting The Line” adlı makalede, tüketicilerin enerjisi kesilmeden iletim hattındaki buz yükü etkisinin giderilmesini amaçlamışlardır. Bunun için iki yöntem önermişlerdir. Birinci yöntemde iletim hattına

şönt reaktör bağlanarak yüksek endüktif akım akıtmadır. Böylece Joule etkisi ile iletim hattında oluşan buz eriyecektir. Yüksek endüktif akımdan dolayı meydana gelen aşırı gerilim düşümlerini engellemek için by-pass kapasitörleri kullanılmıştır. İkinci yöntemde ise aynı istasyonu besleyen iki iletim hattı arasında çevrim akımları akıtmayı amaçlamışlardır. Bunun için bir yükseltici trafo ile paralel hatlardan birinin gerilimi artırılarak ya da azaltılarak iki hat arasında aktif akım akıtılmış ve böylece buz yükü giderilmiştir. Fakat burada yükse endüktif akım gerilim kalitesini etkilemektedir.

LV ve HE (2011) "Analysis of Dicing Techniques and Methods of Overhead Transmission Line" adlı makalede, iletim hatlarında oluşan buzu çözmek için kullanılan yöntemleri tanıtmış ve enerji tüketimlerini karşılaştırmıştır. Bu yöntemler mekanik ve termal yöntemlerdir. Mekanik yöntemde, buzlu hatta elektromanyetik darbeler verilmektedir. Termal yöntemde, alternatif akımla buz eritme yöntemleri tanıtılmıştır. Fakat bu iki yöntemin enerji tüketimleri karşılaştırıldığında büyük fark görülmüştür. 1 mm kalınlığındaki bir buzu termal yöntemlerle eritmek için 301 kJ/m2 kadar enerji gerekirken, mekanik yöntemlerde 23 kJ/m2 kadar enerji gerekmektedir.

Li ve ark. (2011) "Icing Analysis of Transmission Lines Considering the Current Heat" adlı bildiride, buz yükü oluşan bir hat üzerindeki buzu eritmek için gereken akım hesabı için modellemeler yapmışlardır.

Fan ve ark. (2011) "DC Ice-Melting Model for Elliptic Glaze Iced Conductor" adlı makalede, buzlu bir iletkende doğru akımla buz eritme esnasında buzdaki değişimleri modellemişlerdir.

Yang ve ark. (2011) "Conceptual Design of a Novel De-icing Device for Power Transmission Lines" adlı bildiride, havai hatlarda oluşan buzu engellemek için mekaniksel yöntem denemişler. Yapılan çalışmada iletkenin izolatörlere bağlantı noktasından darbeler vererek oluşan buzu dökmeye çalışmışlardır. Hatta mekanik darbe vermek zararlı olabilir. Fan ve ark., iletkenlerde oluşan buz yükünün her zaman tam silindirik olmadığını tespit etmişlerdir. Buna göre farklı elips şeklinde oluşumlar gözlemişlerdir. Oluşan elips şeklindeki buzun eritilmesi için benzetim ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Meydana gelen buzun eritilmesi için yapılan benzetim ve deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Buzu eritmek için doğru akım kullanmışlardır. Bu durumda kullanıcıların enerjisi kesilebilir.

Liu ve ark. (2011) "Numerical Simulation on De-icing Method for Coupled Transmission Tower-line System" adlı bildiride, elektrik iletim hatlarında meydana gelen buz yükünü yüksek frekanslı titreşimler ile giderilmeye çalışmışlardır. Burada

titreşimlerin frekansı kar yağma hızından yüksek olmalıdır. Ayrıca SAP2000 programı ile bunların benzetimi yapılmıştır.

Pytlaka ve ark. (2011) "Modelling precipitation cooling of overhead conductors" adlı makalede, yağış tabanlı iletim hattı iletkeni soğuması ile akım taşıma kapasitesi oranı uygulamaları ve iletken ısı hesabı yapmışlardır.

Moser ve ark. (2011) "Strong and Weak Electric Field Interfering: Capacitive Icing Detection and Capacitive Energy Harvesting on a 220-kV High-Voltage Overhead Power Line" adlı makalede, kapasitif enerji kullanılarak buz yükü tespiti yapmışladır.

Peng ve ark. (2011) "Time Series Prediction for Icing Process of Overhead Power Transmission Line Based on BP Neural Networks" adlı bildiride, iletim hatlarında oluşan buz yükünü tahmin etmek için, buz yükünün zaman serilerini geri yayılımlı yapay sinir ağlarında kullanmışlardır. Geçmiş yıllardaki meteorolojik veriler kullanılarak iletim hattında oluşabilecek olan buz yükü tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu meteorolojik veriler meteorolojik sensörlerden elde edilmiştir. Fakat tahmin hataları yüksektir. Ayrıca anlık tahmin yapılmamıştır.

Jiazheng ve ark. (2011) "An Image Recognition Algorithm Based On Thickness Of Ice Cover Of Transmission Line" adlı bildiride, hat arama algoritması (line search algorithm) kullanılarak iletkenler üzerindeki buz yükü tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmada tahmin hatası 2 pikseldir. Bu sonuç iyidir, fakat karanlık ve sisli hava şartları dikkate alınmadığından dolayı güvenilir olmayabilir.

Juanjuan ve ark. (2012) "Research and Application of DC De–Icing Technology in China Southern Power Grid" adlı makalede, farklı gerilim sevilerine ait iletim hatlarının iletkenlerinde meydana gelen buz yükünün doğru akımla eritilmesi için gerekli olan akım hesabı üzerine çalışmışladır. Ayrıca eritme süresi, hat uzunluğu ve buz kalınlığı dikkate alınarak her bir iletken için gerekli olan doğrultucu güçleri belirlenmiştir. Bu çalışmada da doğru akım kullanılmış ve gidiş-dönüş iletkeni olarak faz iletkenleri kısa devre edilmiştir. Yani hattan alternatif akım akmamaktadır.

Hou ve ark. (2012) "Unbalanced Tensions and Vertical Space Calculation of Tranmission Lines under Non-uniform Ice-coating and Ice- Shedding" adlı makalede, enerji iletim hatlarında buz yükünün oluşturduğu dengesiz gerilmelerin elektrik direklerine etkisi incelemişlerdir. Direk açıklıkları, iletken türü ve iletkenin sınır yüksekliği dikkate alınarak, buz yükünün oluşturduğu dengesiz gerilmenin direkler ve izolatörler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Cheng-Zhong ve ark. (2012) “De-icing Method for Coupled Transmission Tower-Line System” adlı bildiride, yeni bir buz yükü giderme yöntemi ileri sürmüşlerdir. Yapılan çalışmada buz ile iletkenin bütünleştiğini ve bunu gidermek için de titreşim kullanılacağından bahsedilmektedir. Bu titreşimlerin frekansı kar yağma hızına göre değişebilir. Burada titreşimlerin genliğinin hat iletkenine zarar vermeyecek seviyede ayarlanması gerektiği vurgulanmaktadır.

Wancheng (2012) “Monitoring System of Power Line Icing Based on GPRS” adlı bildiride, iletim hatlarında GPRS tabanlı buz yükü izleme yapmıştır. Burada görüntü işleme tekniklerinden kenar bulma yöntemi ile buz kalınlığı tespit edilmiştir. Kenar bulma işleminde Sobel kenar tespit yöntemi ile Hough dönüşümü tekniği kullanılmıştır. Buz yükü belirli bir kalınlığa ulaştığında sistem alarm vermektedir.

Akay (2013) “A Study on Particle Swarm Optimization and Artificial Bee Colony Algorithms for Multilevel Thresholding” adlı makalede buz yükü ile ilgisi olmayan bazı görüntülerin bölütlemeleri çoklu eşikleme yöntemlerinin yapay zekâ yöntemleri ile birlikte kullanılmasıyla yapılmıştır.

Akbal ve Aydın (2014) “Usage of GA with Multilevel Thresholding to Detect Ice Thickness of Iced Conductor” adlı bildiride, yapay zekâ ve çoklu eşikleme yöntemlerini birlikte kullanarak ağaçlık alanda oluşna buz yükünü tespit etmişlerdir. Fakat karanlık ve sisli ortam şartları göz önünde bulundurulmamaıştır.

Akbal ve Aydın (2014) “DE-Otsu Method to Eliminate Ice Load Effect” ve “Multilevel Threshold and PSO for Ice Load Detection on Aerial Lines” adlı makalelerde sıra ile DE ve PSO yöntemlerini Otsu çoklu eşikleme yöntemi ile kullanarak buzlu iletken kalınlığını tahmin etmişlerdir. Fakat tahmin doğruluğu ve ağır hava şartlarını dikkate almamışlardır.

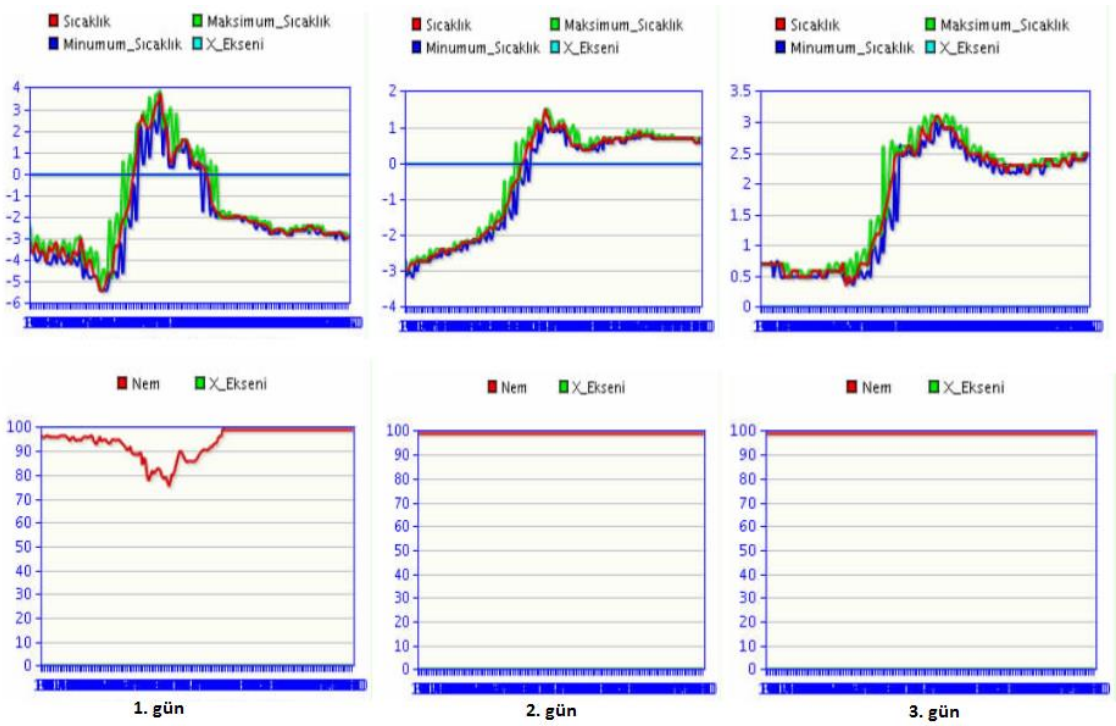
Akbal ve Aydın (2014) “Determining of Iced Conductor Thickness Using CSA-Kapur and GA- Kapur Methods” ve “CSA-Kapur Method to Determine Ice Load Amount on Electric Transmission Line Conductors” adlı bildirilerde, karanlık ve sisli ortam şartlarında CSA ve GA yöntemleri ile Kapur çoklu eşikleme yöntemini birlikte kullanarak buzlu iletkenin kalınlığını tespit etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalarda tahmin doğruluğundan bahsedilmemiştir. Akbal ve Aydın (2014) “Comparison of PSO-Kapur and DE-Kapur Methods to Determine Ice Load on Aerial Lines” adlı bildiride, DE ve PSO yöntemlerini Kapur çoklu eşikleme yöntrmi ile birlikte kullanarak, ağır hava şartlarında buzlu iletken kalınlığının tespiti için çalışmışlardır. Bu çalışmada da tahmin doğruluğu ile ilgi bilgi verilmemiştir.

3. BUZ YÜKÜNÜ TESPİT YÖNTEMLERİ

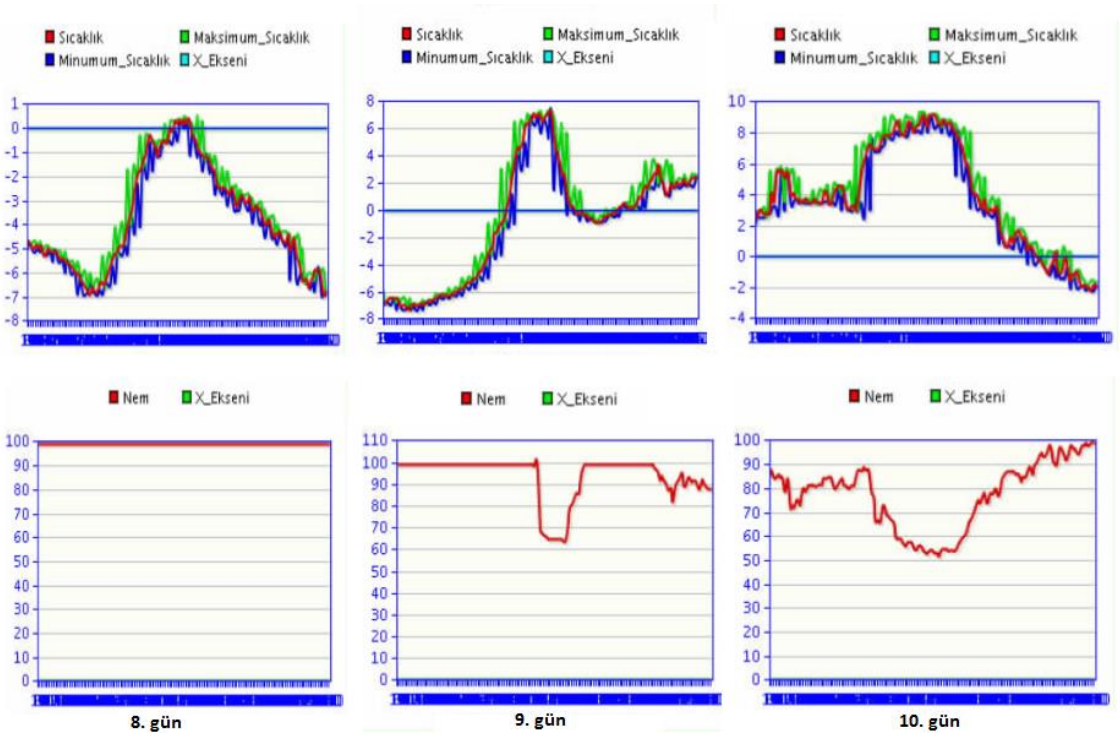
Bu tez çalışması iki bölümden oluşmaktadır. İlk olarak buz yükünün tespiti üzerine uygulamalar yapılmış sonrada tespit edilen buz yükünün giderilebilmesi için laboratuvar ortamında deney setleri ile uygulamalı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların yapılabilmesi için öncelikle buz yükünün oluşturulması gereklidir. Bu tezde buz yükünü oluşturabilmek için özel bir iklimlendirme kabini tasarlanarak uygulamalarda kullanılmıştır.

3.1. İletim Hattı İletkenleri Üzerinde Buz Yükü Oluşumu

Buz yükü soğuk ve aşırı sisli hava şartlarında oluşmaktadır. Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği (EKATY)'ne göre buz yükü 2˚C ile -8˚C arasında ve en hızlı -5˚C'de oluşmaktadır. Ülkemizde meydana gelen buz yükü arızalarının yerleri ve zamanları araştırılmış ve arızaların oluştuğu tarihteki hava durumları T.C. Meteoroloji Müdürlüğü'nün internet sitesindeki arşivinden alınmıştır. Örnek olarak Çorum'da 13.01.2014 tarihinde 10 gün boyunca süren kötü hava koşulları sonucu buz yükü arızası olmuştur. Buz yükünden dolayı 477 MCM iletkenli enerji nakil hattı ve alternatifi olan Çorum TM II -Tozluburun enerji nakil hattı arızalanmıştır. Bu bölgenin ilk 3 ve son 3 günlük sıcaklık ve nem değerleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Bu şekillerde x ekseni zamanı göstermekte ve 00.00 ile 23.59 saatleri arasını kapsamaktadır. Buna göre bağıl nem oranı genellikle gece saatlerinde en yüksek değerini ve sıcaklık da gece saatlerinde en düşük değerini almaktadır. Bu yüzden buzlanma geceleri daha da artmaktdır. Buzlanmanın artması da buz yükü arızalarına neden olmaktadır. Geceleri buzlanma hızı daha yüksek olduğu için buz yükü gecede izlenmelidir. Eğer buz yükü görüntü işleme yöntemi ile tespit edilecekse karanlık ve yüksek sisli ortam şartları göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 3.1. İlk 3 günlük değerler



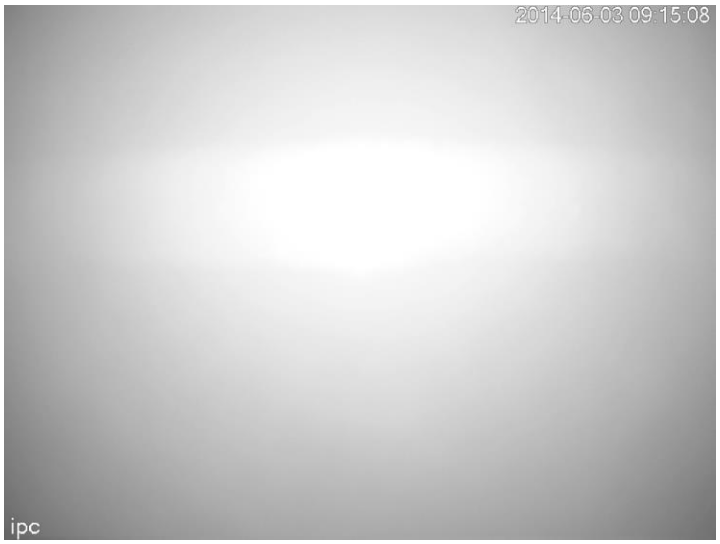
Şekil 3.2. Son 3 günlük değerler

3.2. Buz Yükü Tespiti

Buz yükü tesipiti üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Fakat kullanılan yöntemin kararlı olması için mevcut hatlara uyumlu olması ve hat üzerinde herhangi bir değişikliğe gerek bırakmamasıdır. Çünkü iletim ve dağıtım için kullanılan havai hat miktarı çok ve uzundur. Aksi halde bu kadar uzunluktaki hatlarda yapılacak tadilatlar hem maliyeti çok artırır hem de tadilatlar esnasında tüketicilerin günlerce enerjisi kesilmesine neden olabilir. Bazı durumlarda arazi şartlarından dolayı bu tadilatlar imkânsızdır.

Bu tezde iletkenler üzerindeki buz yükünü belirlemek için görüntü işleme yöntemi seçilmiştir. Görüntü işleme yöntemi ile buz yükünü belirlemek için bir dış ortam kamerasından görüntü alınması yeterlidir ve kameranın montajı için hatlarda önemli tadilatlara gerek yoktur. Alınan bu görüntünün bir yazılım programında görüntü işleme yöntemlerinde kullanılmasıyla buz yükü tespit edilebilir. Bu yöntemin mevcut iletim hatlarında ciddi bir değişiklik yapmadan uygulamasının kolay, maliyetinin düşük olması ve buz yükü tespitininde hızlı olması tercih nedenleridir. Literatürde buz yükü tespiti için önerilen bazı yöntemlerin mevcut hatlar için uygulamasının çok zor, maliyetinin yüksek olması veya sadece yeni yapılacak hatları kapsaması tercih dışı kalmalarına neden olmuştur. Daha öncede belirtildiği gibi buz yükü genellikle gece ve yoğun sisli hava şartlarında oluşmaktadır. Karanlık ve yoğun sisli ortam görüntünün netliğini azalttığı için görüntü işleme yönteminde bu şartların dikkate alınması gerekmektedir. Kaynak araştırmasından da görüleceği üzere literatürde yapılan çalışmaların çoğunda bu hava şartları dikkate alınmamıştır. Bu tezde karanlık ve aşırı sisli ortam göz önünde bulundurularak gerçek ortam şartlarına en yakın değerlerde uygulamalar yapılmıştır.

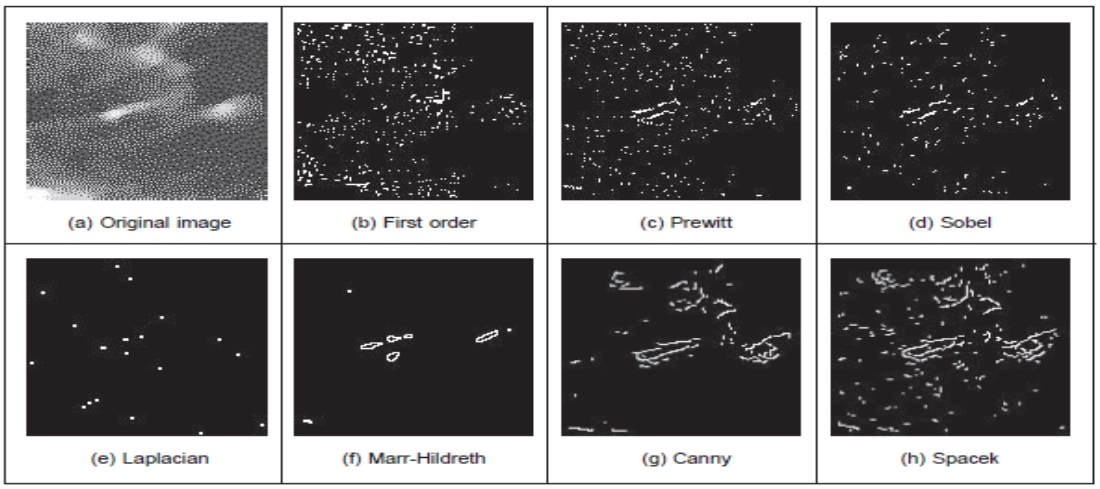
Bu tezde buzlu iletken kalınlığını tespit etmek için bölüm 4.1'de açıklaması yapılan iklimlendirme kabini içerisinde 954 MCM iletkeni temsil eden çelik borular buzlandırılmıştır. İletkenler üzerinde oluşan buz yükününün görüntüsünü almak için 3,1 mega piksel çözünürlüğe sahip dış ortam kamerası kullanılmıştır. Şekil 3.5'te iklimlendirme kabini içerisinde karanlık ve aşırı sisli ortam şartlarında dış ortam kamerasıyla alınan buzlu iletkenin görüntüsü gösterilmektedir. İletken üzerindeki buz yaklaşık olarak -1˚C sıcaklıkta, % 99,5 bağıl nem oranında 27 saat içerisinde oluşmuştur.



Şekil 3.5. -1˚C sıcaklıkta, % 99,5 bağıl nem oranında 17 saat içerisinde iletkenler üzerinde oluşan buz yükü

3.2.1. Görüntü işleme yöntemleri

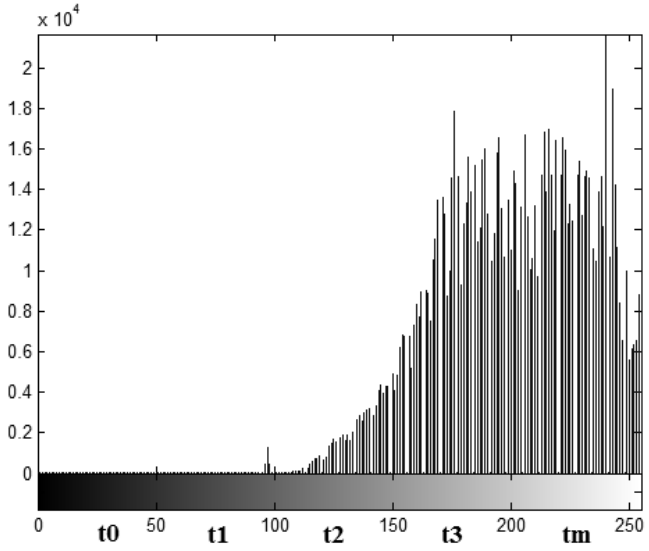
Görüntü işleme yöntemleri ile resim üzerindeki bir nesnenin özellikleri elde edilebilinir. Görüntü işleme yöntemlerinin temelinde bölütleme (segmentasyon) vardır. Bölütleme ile istenen nesnenin görüntü üzerindeki sınırları belirlenir. Bu sınırların belirlenmesinde kenar belirleme yöntemleri kullanılmaktadır. Görüntü üzerindeki gürültüler görüntü kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Görüntü bölütlenmeden önce gürültülerin süzülmesi gerekmektedir. Bunun için görüntüyü bir alçak geçiren filtreden geçirilir ve kenar belirleme yöntemleri uygulanır. Kenar belirleme işi belli bir eşik değerine göre yapılır. En çok kullanılan kenar belirleme yöntemleri birinci dereceden ve ikinci dereceden kenar belirleme yöntemi olarak iki kısma ayrılabilir. Birinci dereceden kenar belirleme yöntemlerinde birinci dereceden türev işlemi uygulanmaktadır. Birinci dereceden kenar belirleme yöntemleri Prewit, Sobel ve Canny olarak sıralanabilir. İkinci dereceden kenar belirleme yönteminde ikinci dereceden türev kullanılır. Bu yöntemin en büyük avantajı hareketli nesnelerin kenarlarının belirlenebilmesidir. Fakat bu yöntemin hassas oluşu dezavantajdır. İkinci dereceden yöntemler Laplasyan (Laplacian) filtre, Sıfır geçiş filtresi, LoG filtre, Spacek operatörü ve Petrou operatörü olarak sırlanabilir. Bazı kenar belirleme yöntemleri Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Bazı kenar belirleme yöntemlerinin karşılaştırılması

3.2.1.1. Çoklu eşikleme yöntemi

Eğer görüntüdeki gürültü fazla ise bu durumda alçak geçiren filtreler yetersiz kalır ve kenar belirleme yöntemleri hassas bir şekilde yapılamaz. Bu sorunun çözümü için eşik sayısının artırılması bir çözüm alternatifidir. Buz yükü belirleme çalışmalarında karanlık ve yüksek sis görüntünün netliğini azalttığı için tek eşikli görüntü işleme algoritmaları ile buz yükü tespitinin yüksek doğrulukla yapılması zordur. Bu yüzden bölütlemede eşik sayısının artılmasına karar verilmiş ve çoklu eşikleme yöntemi seçilmiştir. Çoklu eşikleme yöntemi olarak Otsu ve Kapur yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler kullanılmadan önce görüntü gri seviyeye dönüştürülerek gri seviye histogramının çıkarılması gerekir. Şekil 3.7'de, Şekil 3.5'te gösterilen görüntünün gri seviye histogramı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Gri seviye histogramı

Gri seviyeler 0 ile 255 arasındadır. Siyah noktalar yani en karanlık bölgelerin piksel değeri sıfır, beyaz yani en parlak bölgelerin piksel değeri ise 255'dir. Buna göre herhangi bir noktadan veya noktalardan eşik noktaları seçilebilir. Burada yatay eksende eşik noktaları $t_0,t_1,t_2\ldots,t_m$ şeklinde gösterilir. Dikey eksende ise her gri seviyesindeki piksel sayısı gösterilmektedir. Ayrıca bu durum Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Otsu yönteminde kümeleme yapılırken, Kapur yönteminde en yüksek entropi yöntemi kullanılmıştır.

a) Otsu yöntemi

Otsu görüntü bölütleme için sınıflar arası varyansı belirtmiştir. Bu yöntemde sınıflar arası varyans maksimumdur. Bir görüntü iki sınıfa ayrılırsa bu sınıflar C_0 ve C_1 olarak tanımlanabilir. Eğer C_0 ve C_1'in eşik seviyesi t olarak tanımlanırsa, C_0, 0 ile t-1 arasındaki gri sevileri, C_1, t ile L arasındaki gri seviyeleri içerir. Gri seviye olasılıkları w_0 ve w_1 şeklinde ifade edilir ve gri seviye olasılık dağılımı aşağıda gösterilmektedir (Otsu, 1979) .

$$C_0 = \frac{p_0}{w_0},\ldots\ldots\ldots,\frac{p_{t-1}}{w_{t-1}} \quad \text{ve} \quad C_1 = \frac{p_t}{w_t},\ldots\ldots\ldots,\frac{p_L}{w_L} \tag{3.1}$$

$$w_0 = \sum_{i=0}^{t-1} P_i \quad \text{ve} \quad w_1 = \sum_{i=t}^{L} P_i \tag{3.2}$$

Sınıfların ortalama seviyeleri μ_i şeklinde ifade edilir. Görüntünün ortalama seviyesi μ_T olarak ifade edilir.

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^{t-1} \frac{i.P_i}{w_0} \text{ ve } \mu_1 = \sum_{i=t}^{L} \frac{i.P_i}{w_1} \tag{3.3}$$

$$\mu_0.w_0 + \mu_1.w_1 = \mu_T \text{ ve } w_0 + w_1 = 1 \tag{3.4}$$

Otsu yöntemi denklem (3.5) ile ifade edilir.

$$f(t) = \sigma_0 + \sigma_1 \tag{3.5}$$

$$\sigma_0 = w_0.(\mu_0 - \mu_T)^2 \text{ ve } \sigma_1 = w_1.(\mu_1 - \mu_T)^2 \tag{3.6}$$

Tekli eşikleme çalışmalarında en uygun eşik değeri denklem (3.7) ile belirlenmektedir.

$$t = \arg\max\{f(t)\} \tag{3.7}$$

Çoklu eşikleme yönteminde ise sınıflar arası varyans ifadesi genişletilebilir.

$$f(t) = \sum_{i=0}^{m} \sigma_i \tag{3.8}$$

Eğer eşik sayısı m ise (t_0,t_1,t_2,.....,t_m) ve görüntünün sınıf sayısı da m'dir (C_0,C_1,C_2,.....C_m) (Akay, 2013).

$$f(t) = \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 + ... + \sigma_m \tag{3.9}$$

$$\begin{aligned}\sigma_0 &= w_0.(\mu_0 - \mu_T)^2 \\ \sigma_1 &= w_1.(\mu_1 - \mu_T)^2 \\ \sigma_2 &= w_2.(\mu_2 - \mu_T)^2 ... \\ \sigma_m &= w_m.(\mu_m - \mu_T)^2\end{aligned} \tag{3.10}$$

En uygun eşik seviyeleri (t_0,t_1,t_2,....,t_m) denklem (3.11) ile belirlenir.

$$(t_0, t_1, t_2, ..., t_m) = \arg\max\{f(t)\} \tag{3.11}$$

b) Kapur Yöntemi

Kapur görüntü bölütleme için maksimum entropi yöntemini belirtmiştir. Gri seviye histogramı elde edildikten sonra en uygun eşik seviyeleri belirlenebilir. Görüntü L adet gri seviyesi ile gösterilebilir (0, 1,...,L-1). i.nci seviyenin olasılığı p(i) olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Shaoo ve ark, 1985).

$$p(i) = \frac{h(i)}{\sum_{i=0}^{L-1} h(i)} \tag{3.12}$$

i. gri sevideki bulunan piksel sayısı h(i) olarak tanımlanmaktadır. Tek eşikli Kapur yöntemi denklem (3.13) ve denklem (3.14) ile gösterilmektedir.

$$H(0) = -\sum_{i=0}^{t-1} \frac{p(i)}{\omega_0} \ln \frac{p(i)}{\omega_0},\ \omega_0 = \sum_{i=0}^{t-1} p(i) \tag{3.13}$$

$$H(1) = -\sum_{i=t}^{t-1} \frac{p(i)}{\omega_1} \ln \frac{p(i)}{\omega_1},\ \omega_1 = \sum_{i=t}^{L-1} p(i) \tag{3.14}$$

Eğer sınıfların entropilerinin toplamı maksimum ise eşik seviyesi en uygun değerdedir. Bu durum denklem (3.15)'te gösterilmektedir.

$$t = \arg\max(H_0 + H_1) \tag{3.15}$$

Çoklu eşikleme Kapur yöntemi ile denklem (3.16)'nın kullanılmasıyla yapılabilir (Akay, 2013).

$$
\begin{aligned}
H(0) &= -\sum_{i=0}^{t_1-1} \frac{p(i)}{\omega_0} \ln \frac{p(i)}{\omega_0}, \omega_0 = \sum_{i=0}^{t_1-1} p(i) \\
H(1) &= -\sum_{i=t_1}^{t_2-1} \frac{p(i)}{\omega_1} \ln \frac{p(i)}{\omega_1}, \omega_1 = \sum_{i=t_1}^{t_2-1} p(i) \\
H(2) &= -\sum_{i=t_2}^{t_3-1} \frac{p(i)}{\omega_2} \ln \frac{p(i)}{\omega_2}, \omega_2 = \sum_{i=t_2}^{t_3-1} p(i) \\
H(j) &= -\sum_{i=t_j}^{t_{j+1}-1} \frac{p(i)}{\omega_j} \ln \frac{p(i)}{\omega_j}, \omega_j = \sum_{i=tj}^{t_{j+1}-1} p(i) \\
H(m) &= -\sum_{i=t_m}^{L-1} \frac{p(i)}{\omega_m} \ln \frac{p(i)}{\omega_m}, \omega_m = \sum_{i=t_m}^{L-1} p(i)
\end{aligned}
\tag{3.16}
$$

En uygun eşik değerinin belirlenmesi için entropilerin toplamının maksimum olması gerekir. Bu durum denklem (3.17) ile gösterilmektedir.

$$
(t_0, t_1, t_{2,\ldots\ldots,} t_m) = \arg\max\left(\sum H(i)\right) \tag{3.17}
$$

En uygun eşik sayısının tespiti Otsu veya Kapur yöntemleri ile yapılabilir. Fakat netliği az olan görüntülerde hassas ölçümler için eşik sayısının artırılması gerektiği için eşik sayısı arttıkça bu yöntemler ile kalınlık tespit işlemi çok uzun zaman almaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda en fazla 5 eşik kullanılmıştır. Fakat bu tez çalışması kapsamında yapılan deney sonuçlarına bakıldığında buzlu iletkenin buz yükünü tespit etmek için daha yüksek sayıda eşikleme gerekmektedir. Otsu ve Kapur yöntemleri bir maksimizasyon problemi olduğu için en uygun eşik sayısı yapay zekâ yöntemleri kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca literatürde yer alan çalışmalarda yüksek sayıda eşik kullanılmadığı için önerilen yöntemlerin yüksek eşik sayısındaki performansları da bilinmemektedir.

3.2.2. Optimizasyon yöntemleri

Optimizasyon yöntemleri genellikle optimizasyon ve sınıflama çalışmalarında kullanılmaktadır. Otsu ve Kapur yöntemleri birer maksimizasyon problemidir ve bu sorunların çözümü için optimizasyon yönteminin kullanımı uygundur. Literatürde çoklu eşikleme yöntemlerinin optimizasyonu için genellikle Parçacık Sürü Algoritması (PSO) ve Genetik Algoritma (GA) kullanılmıştır. Bu yöntemler buz yükü tespit çalışmalarında kullanıldıklarında karanlık ve yoğun sisli ortam şartları değerlendirilmediğinden dolayı yüksek eşik sayılarındaki performansları bilinmemektedir. Bu tezde en uygun eşik noktalarını bulabilmek için bu yöntemlere ek olarak 3 yöntem daha eklenmiş ve kullanılan yapay zekâ yöntemi 5'e çıkarılmıştır. Eklenen yöntemler Klonsal Seçim Algoritması (CSA), Diferansiyel Evrim Algoritması (DEA), Çekimsel Arama Algoritması (GSA)'dır.

3.2.2.1. Klonsal seçim algoritması (CSA)

CSA bağışıklık sisteminden esinlenerek oluşturulan bir algoritmadır. Bu algoritma optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanıldığı gibi sınıflama alanında da kullanılmaktadır. CSA antikor ve antijen etkileşimine göre çalışmaktadır. Klonsal seçim algoritmasında Klonlama ve Mutasyon işlemleri en önemli işlemlerdendir. Klonsal seçim algoritmasının işleyişi aşağıdaki gibidir (Akbal ve Ürkmez, 2013):

1- Rastgele olarak bir antikor nüfusu oluşturulur. Antikorların özellikleri değişkenleri içermektedir. Bu çalışmanın değişkenleri eşik seviyeleridir.
2- Antikor nüfusu içerisinde bulunan antikorların amaç fonksiyonuna göre uygunluk değerleri hesaplanır. Amaç fonksiyonları Otsu yöntemi için denklem (3.11), Kapur yöntemi için denklem (3.17)'dir.
3- Uygunluk değerine göre en iyi değerli antikorlar klonlama için seçilir. Burada amaç fonksiyonları bir maksimizasyon problemi olduğu için en yüksek değerli antikorların seçilmesi gerekir.
4- Klonlama sonucunda en iyi değerli antikorlar klonlama çarpanına göre çoğaltılırlar ve Klon Nüfusu oluşturulur.
5- Klon Nüfusuna uygunluk değerleri ile zıt oranda mutasyon işlemi yapılır. Yani uygunluk değeri ne kadar iyi ise o kadar az özelliğinde değişiklik olur.

6- Mutasyon Nüfusu oluşturulduktan sonra her bir antikorun yeniden uygunluk değerleri hesaplanır.
7- Benzer antikorlar elenir ve nüfus güncellenir. Elde edilen yeni antikor nüfusunun en iyilerinden bir kısım alınır ve ilk antikor nüfusundaki antikor sayısını tamamlamak için rastgele antikorlar üretilir ve yeni bir işlem başlatılır.

Eğer yineleme sayısına ulaşıldıysa veya istenen uygunluk değeri elde edildiyse algoritma durdurulur. Aksi halde 2 ile 7 basamak arasındaki işlemler devam ettirilir.

3.2.2.2 Çekimsel arama algoritması (GSA)

GSA optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan yeni algoritmalardan birisidir. GSA, Newton çekim algoritmasına göre çalışmaktadır. GSA'da her bir parçacık bir ajan olarak nitelendirilmektedir. Ajanlar hareket ve yerçekim kanunlarının etkisiyle en iyi çözümü bulmaya çalışırlar. Ajanların çekimsel güçleri kütleleriyle doğru orantılıdır. Kütlesi büyük olan ajan diğerlerini çeker ve hareket etmelerine neden olur. Ve böylece diğer ajanların etrafında birikmesine neden olur. Yani kütlesi büyük olan ajan en uygun sonuca daha yakındır. Her bir ajanın 4 özelliği vardır. Bunlar konumu (X_{ii}), ataletsel kütlesi (M_{ii}), aktif çekimsel kütlesi (M_{ai}), ve pasif çekimsel kütlesidir (M_{pi}). $M_{ai} = M_{pi} = M_{ii}$ ve denklem (3.18) ve denklem (3.19) ile hesaplanmaktadır (Rashedi ve ark.,2009).

$$m_i(t) = \frac{Uygunluk_\text{de}\breve{g}eri(t) - en_k\ddot{o}t\ddot{u}(t)}{en_iyi(t) - en_k\ddot{o}t\ddot{u}(t)} \tag{3.18}$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^{N} m_j(t)} \qquad i = 1, 2, ...N \tag{3.19}$$

Eğer arama uzayındaki ajanların sayısı N ise, her bir ajanın konumu denklem (3.20) ile belirlenmektedir.

$$X_i = (x_i^1 ... x_i^d ... x_i^n) \qquad i = 1, 2, ...N \tag{3.20}$$

Ajanlar n boyutludur ve x_i^d ajanın parçacıklarıdır. F, t zamanında i. ajan ile j. ajan arasındaki kuvvettir. Çekimsel kuvvet, denklem (3.21)'de gösterilmektedir.

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \tag{3.21}$$

M_i, i. Ajanın kütlesi, M_j, j. ajanın kütlesi, $R_{ij}(t)$, i. ajan ile j. ajan arasındaki Öklid uzaklığıdır ve denklem (3.22) ile ifade edilir. Çekimsel sabit olan G(t) denklem (3.23) ile ifade edilir.

$$R_{ij}(t) = \left\| X_i(t), X_j(t) \right\|_2 \tag{3.22}$$

$$G(t) = G_0 . e^{-\beta(t/t_{\max})} \tag{3.23}$$

G_0 herhangi bir başlangıç değer, β sabit değer, t anı esnasındaki yineleme sayısı, t_{max} maksimum yineleme sayısı, ve t. yinelemede ajanlar üzerindeki toplam kuvvet denklem (3.24) ile ifade edilir.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in K_{best}, j \neq i}^{N} rand_j . F_{ij}^d(t) \tag{3.24}$$

$rand_j$, 0 ile 1 arasında seçilen rastgele bir sayı ve Kbest en iyi uygunluk değerine sahip olan ajanladır. Ajanların ivmeleri denklem (3.25) ile hesaplanmaktadır. t. yinelemede ajanların ivmelerine göre hız ve konumları denklem (3.26) ve denklem (3.27) ile güncellenir.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \tag{3.25}$$

$$v_i^d(t+1) = rand_i . v_i^d(t) + a_i^d(t) \tag{3.26}$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \tag{3.27}$$

$x_i^d(t)$ i. ajanın konumu, $v_i^d(t)$ i. ajanın hızı ve $rand_j$ 0 ile 1 arasında rasgele bir sayıdır. GSA'nın çalışma ilkesi aşağıdaki gibidir:

1- Başlangıç olarak rasgele bir ajan nüfusu oluşturulur. Bu ajanların konum ve hızları da rasgele belirlenir.
2- Amaç fonksiyonlarına göre her bir ajanın uygunluk değerleri hesaplanır.
3- En iyi ve en kötü ajanlar nüfus içinden seçilir ve G güncellenir.
4- Ajanların kütleleri (M) ve ivmeleri (a) hesaplanarak konum ve hızları güncellenir.

Güncellenen ajanların uygunluk değerleri hesaplanır. İstenen çözüm bulunduğunda veya maksimum yineleme sayısına ulaşıldığında algoritma durdurulur. Aksi halde yukarıdaki 2. ve 4. basamak arasındaki işlemler yinelenir.

3.2.2.3. Genetik algoritma (GA)

Genetik algoritma optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan en yaygın ve güçlü algoritmalardan birisidir. Genetik algoritmada kromozomlar ve genler arasındaki ilişkilere göre problem çözümü yapılmakta ve her işlem rasgele gerçekleşmektedir. Genetik algoritmanın çalışma ilkesi aşağıda sıralanmıştır (Akbal ve Ürkmez, 2012):

1- Öncelikle rasgele bir kromozom nüfusu oluşturulur. Kromozomlar genlerden oluşmaktadır ve genlerde problemin değişkenlerini temsil etmektedir.
2- Amaç fonksiyonuna göre kromozomların uygunluk değerleri hesaplanır ve seçim aşamasına geçilir.
3- Çaprazlama işleme seçilecek kromozomlar için Turnuva seçim yöntemi uygulanmıştır. Turnuva seçim yönteminde kromozomlar rasgele olarak çift halinde seçilir. Seçilen iki kromozomun uygunluk değerleri karşılaştırılır ve uygunluk değeri iyi olan kromozom çaprazlama işlemi için seçilir. Böylece seçilmiş yeni bir kromozom topluluğu oluşur.
4- Çaprazlama işleminde 0 ile 1 arasında bir sayı seçilir. Buna çaprazlama oranı denilir ve bu değer genellikle 0,7 olarak seçilir. Her kromozom için rasgele bir sayı seçilir. Eğer kromozom için seçilen sayı 0,7 den küçükse o kromozom çaprazlama için seçilir. Seçilen kromozomlar ikili çift haline getirilerek çaprazlama formülü

uygulanır. C=(C(1),C(2),C(3),..,C(m)) ve K=(K(1),K(2),K(3),..,K(m)) şeklinde iki küme oluşturulur. Çaprazlama denklem (3.28) ile yapılmaktadır.

$$\mathrm{Cn(i)} = \beta.C(i) + (1-\beta).K(i) \text{ ve } \mathrm{Kn(i)} = \beta.\mathrm{K}(i) + (1-\beta).\mathrm{C}(i) \quad (3.28)$$

Böylece yeni kromozomlar oluşturulmuştur. Burada i, gen numarası ve β, 0 ile 1 arasında rasgele bir sayıdır.

5- Kromozomlarda köklü değişiklik yapmak için mutasyon işlemi uygulanmaktadır. Mutasyon işlemi için yine 0 ile 1 arasında bir sayı mutasyon oranı için seçilir. Mutasyon oranı genellikle 0,01 olarak seçilir. Kromozomun her bir geni için 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı üretilir. Üretilen bu sayı mutasyon oranından küçükse o gen mutasyona uğratılır ve gen rasgele üretilen bir sayı ile değiştirilir.

İstenilen çözüm bulunduğunda veya maksimum yineleme sayısına ulaşıldığında algoritma durdurulur aksi halde yukarıda verilen 2 ile 5 arasındaki işlemler tekrar edilir.

3.2.2.4 Parçacık sürü optimizasyonu (PSO)

Parçacık sürü algoritması sürü zekâsına dayalı bir algoritmadır. PSO'da her bir eleman parçacık olarak tanımlanmaktadır. Her bir parçacığın bir konumu ve bir hızı bulunmaktadır. Parçacıkların konumu $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, ..., x_{iD})$ şeklinde ve hızı $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, ..., v_{iD})$ şeklinde ifade edilir. Arama uzayında parçacıkların konumu ve hızına göre sürü en iyi çözümü bulmaya çalışır. Her bir parçacığın belleği bulunmaktadır. Her yineleme sonunda bu bellekte bir önceki konum saklı tutulur. Bellek $pbest = (p_{best1}, p_{best2}, p_{best3}, ..., p_{best.i})$ şeklinde ifade edilir. Her yineleme sonunda en iyi konuma sahip parçacık seçilir ve bu parçacık $gbest_i = (g_{i1}, g_{i2}, g_{i3}, ..., g_{iD})$ olarak ifade edilir. En uygun çözüm g_{best} ve p_{best} değerlerine göre aranır. Parçacıkların hızları denklem (3.29) ile konumları da denklem (3.30) ile güncellenir (Akbal ve Ürkmez, 2013).

$$v_{id}(t+1) = w.v_{id}(t) + c_1.r_1(pbest_{id} - x_{id}) + c_2.r_2(gbest_{id} - x_{id}) \quad (3.29)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (3.30)$$

Burada r_1 ve r_2, 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı, c_1 ve c_2 öğrenme katsayısıdır. c_1 ve c_2 genellikle $c_1+c_2 = 4$ şeklinde belirlenir. PSO'nun çalışma ilkesi aşağıda maddeler halinde gösterilmiştir:

1- Rasgele bir parçacık nüfusu oluşturulur ve bu parçacıkların konumları rasgele belirlenir. İlk durumda parçacıkların hızları sıfır kabul edilir.
2- Parçacıkların uygunluk değerleri amaç fonksiyonlarına göre hesaplanır. Otsu ve Kapur yöntemleri ile en uygun eşik seviyesini bulmak bir maksimizasyon problemi olduğu için uygunluk değeri yüksek olan parçacık en iyi konuma sahip parçacık olarak tanımlanır. En iyi konumlar pbest içerisinde saklanır. Her bir yinelemede o anki konum ile bir en iyi önceki konum karşılaştırılır. Eğer yeni durum eski durumdan iyi ise pbest içindeki konum yeni konum ile değiştirilir. Aksi parçacığın pbest içindeki en iyi konum bilgisi aynı kalır.
3- Pbest içindeki en iyi değerli parçacık gbest olarak seçilir ve diğer parçacıklar gbest değerine göre güncellenir.

Eğer en uygun sonuç bulunursa veya maksimum yineleme sayısına ulaşılırsa gbest değeri saklanır ve algoritma durdurulur. Aksi halde yukarıdaki 2 ile 3 tekrarlanır.

3.2.2.5. Diferansiyel evrim algoritması (DEA)

Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir diğer güçlü algoritma DEA'dır. DEA'nın çalışma ilkesi GA'ya benzer. DEA'nın en önemli operatörleri çaprazlama ve mutasyondur. Genetik algoritmada olduğu gibi yine kromozomlar ve genlerin etkileşimi ile en uyun çözüm bulunmaya çalışılmıştır (Akbal ve Aydın, 2014).

DEA'nın çalışma ilkesi aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır:

1- Rasgele olarak başlangıç kromozom nüfusu oluşturulur. Bu tezde kromozomların genleri eşik seviyeleridir. Kromozom nüfusu en az 4 bireyden oluşmalıdır.
2- Hedef ve temel kromozomlar seçilir. Bu kromozomlardan farklı olarak 2 tane daha birbirinden farklı kromozom seçilir. Bu iki farklı kromozomun farkı alınarak ağırlıklı fark kromozomu oluşturulur.
3- Temel kromozom ile ağırlıklı fark kromozomu toplanarak mutant kromozom oluşturulur. Mutasyon işleminin topluluk içindeki tüm kromozomlara uygulanmasıyla mutant nüfus oluşturulmuş olur. Mutasyon işlemi denklem (3.31) ile yapılmaktadır. F parametresi genellikle 0 ile 2 arasında bir sayı seçilir.

$$\forall j \le D : n_{j,i,G+1} = x_{j,r3,G} + F.(x_{j,r1,G} - x_{j,r2,G}) \quad (3.31)$$

4- Mutasyon sonucu elde edilen kromozom çaprazlama işlemi için kullanılır. Çaprazlama için 0 ile 1 arasında çaprazlama oranı seçilir. Mutasyon için hazırlanan kromozom için de 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı üretilir. Üretilen bu sayı eğer çaprazlama oranından küçükse çaprazlama için gerekli gen mutasyona uğramış kromozomdan, aksi halde mevcut değişiklik yapılmamış kromozomdan alınır. Fakat en az 1 tane gen yeni kromozomdan alınır.
5- Yeni aday kromozom ve hedef kromozomun uygunluk değerleri amaç fonksiyonuna göre hesaplanır. Buna göre bu iki kromozom arasında seçim yapılır. Kromozom nüfusunda bulunan bütün kromozomlar sıra ile hedef kromozom yapılarak bahsedilen işlemler her birisi için yapılır ve yeni kromozom nüfusu oluşturulur.

Eğer istenen çözüm değerine ya da maksimum yineleme değerine ulaşılırsa algoritma durdurulur. Aksi halde 2 ile 5 arasındaki işlemler tekrarlanır.

Bu tez çalışmasında karanlık ve yoğun sisli ortam şartlarında elde edilen buzlu iletkenin görüntüsü kabin içinde bulunan dış ortam kamerası ile alınarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Buzlu iletkenin kalınlığını ölçmek için kullanılacak eşik sayısı ve değerleri çoklu eşikleme yöntemleri ve yapay zekâ yöntemleri ile tespit edildikten sonra LoG filtre uygulanmıştır. Böylece buzlu iletkenin kenarları tespit edilmiş ve kalınlığı ölçülmüştür. Çoklu eşikleme ve yapay zekâ yöntemlerinin birlikte kullanılması ile 10 farklı yöntem elde edilmiş ve bu yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerin içinden doğruluk oranı en yüksek olan ile buzlu iletkenin toplam çapı tespit edildikten sonra iletken çapı toplam çaptan çıkarılarak buzun hacmi bulunur.

Ülkemizde buz yükünün yoğunluğu 0,4 g/cm^3 ile 0,8 g/cm^3 arasında değişmektedir (Dengiz, 1991). Buz yükü yoğununu ortamın bağıl nem oranı ve sıcaklığı doğrudan etkilemektedir. Elektrik Tesisleri Kuvvetli Akım Yönetmeliğine göre buz yoğunluğu 0,6 kg/dm^3 (g/cm^3) alınmaktadır. Buz hacmi ile yoğunluğunun çarpımı ise metre başına buz ağırlığını vermektedir. Böylece iletken üzerindeki buzun eritilmesi için gerekli akım miktarı hesaplanabilir.

4. BUZ YÜKÜ ERİTME ÇALIŞMALARI

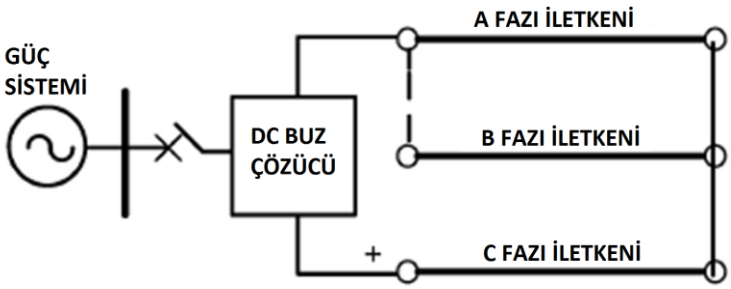
İletken üzerindeki buzun miktarı hesaplandıktan sonra bunu eritmek için gerekli akım hesaplanabilir. Literatürde yapılan buz yükü eritme çalışmalarında Joule Etkisi ile buz eritme önerilmiş ve bunun için AC ve DC uygulamalar yapılmıştır. Literatürde alternatif akımla buz eritme yönteminde, iletkenlerden akan akım, hattın kısa devresi, yük kaydırma, demet iletkenlerde anahtarlama ve hat sonuna bağlanan endüktif veya kapasitif yüklerle artırılmıştır.

Kısa devre yönteminde, hat iletkenleri kısa devre edilerek yüksek miktarda akım çekilir. Fakat hat iletkenleri kısa devre olduğu için tüketicilerin enerjisi kesilmektedir. Ayrıca kısa devre elektrik tesislerinde istenmeyen bir durumdur ve kaynak barası ve hat iletkenleri bu durumdan olumsuz etkilenebilir. Yük kaydırma ve demet iletkenlerde anahtarlama yönteminde yükler fazla akım çekerken anahtarlama yapıldığında gerilim dalgalanmaları veya koruma elemanlarında arızalanmalar olabilir. Endüktif veya kapasitif yüklerle yüksek miktarda reaktif akım hattan akıtılarak iletkendeki buz eritilmiştir. Fakat yüksek reaktif akımdan, hat gerilimi olumsuz etkilenmektedir ve bazı uygulamalarda buz eritme esnasında tüketicilerin enerjisi kesilmiştir. Alternatif akımla buz eritme yöntemlerinden bir diğeri ise yüksek frekanslı akımın iletkenlerden akıtılmasıdır. Yüksek frekanslı akım hattın empedansını yükselterek kayıpları artırmasının yanında deri etkisi ve dielektrik kayıplarını artırarak meydana gelen ısı enerjisini artırmaktadır. Bu yöntemde kullanıcıların enerjisi de kesilmemektedir. Fakat hattın eşdeğer pi devresi göz önünde bulundurulduğunda, yüksek frekanslı akım, hat kapasitansı üzerinden akar ve hat sonuna varmadan akım değeri sıfırlanır. Bu yüzden uzun hatlar için uygun değildir. Literatürde alternatif akımla buz eritme yönteminin uzun hatlar için uygun olmadığı da ayrıca belirtilmiştir (McCurdy ve ark., 2001). Alternatif akımla buz eritme yönteminde hattın reaktif bileşenlerinden dolayı buz eritme işlemi için doğru akım yöntemine göre daha fazla güç kapasitesi gereklidir. Doğru akımla buz eritme yönteminde ise hattın reaktif bileşeni etkili olmadığı için alternatif akıma göre gereken güç kapasitesi daha azdır. Yunqing ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada alternatif akım ve doğru akımla buz eritme yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Buz eritme esnasında hava sıcaklığı -3ºC, buz kalınlığı 10mm, iletken LGJ-400 olarak belirlenmiş ve Çizelge 4.1 elde edilmiştir. Buna göre doğru akımda daha az güç kapasitesine gereksinim vardır (Yunqing ve ark., 2006).

Çizelge 4.1. Buz yükü gidermede AC ve DC karşılaştırılması

Akım (A)		832	650
Süre(dk.)		62	188
Hat uzunluğu(km)		59	76
AC üç faz kısa devre buz eritme	AC gerilim (kV)	35	35
	Kaynak Kapasitesi (MVA)	**50,4**	**39,4**
DC buz eritme	AC gerilim (kV)	10	10
	DC gerilim (kV)	7,7	7,7
	Kaynak Kapasitesi (MVA)	**6,7**	**5,3**

Literatürde doğru akımın, hem kısa hem de uzun hatlar için uygun olduğu belirtilmiştir. Doğru akımın hassas bir şekilde ayarlanabilir olması, alternatif akıma göre aynı miktardaki buzu eritmede daha az kaynak güç kapasitesine gereksinim duyması, kısa ve uzun hatlara daha uyumlu olması gibi nedenlerden dolayı bu tez çalışmasında buz eritmek için doğru akım tercih edilmiştir. Doğru akım uygulamalarının alternatif akıma göre birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen buz eritme esnasında tüketicilerin enerjisi kesilmektedir. Bunun nedeni ise doğru akımda, havai hat faz iletkenlerinin akım gidiş-dönüş (+ -) iletkeni olarak kullanılmasıdır. Bu esnada faz iletkenleri kısa devre edildiğinden dolayı, doğru gerilim uygulanacak hat parçası, kaynak ve tüketiciler tarafından ayrılmaktadır. Bu da tek noktadan beslenen tek devreli hatlarda tüketicilerin enerjilerinin kesilmesine neden olmaktadır. Bu yönteme ait devre şeması Şekil 4.1'de gösterilmektedir (Juanjuan ve ark., 2012). Bu yöntem ile yapılan uygulamalarda en büyük sorun tüketicilerin enerji sürekliliğinin tam anlamıyla sağlanamamasıdır.



Şekil 4.1. DC buz eritme yöntemi devre şeması

DC ile buz eritme yönteminin AC ile buz eritme yöntemine göre üstün kalmasına rağmen buz eritme esnasında tüketicilerin enerjisinin kesilmesi en büyük dezavantajıdır. Bu tezde buz yükünün eritilmesi için DC yöntem önerilmiştir. Buz eritme esnasında tüketicilerin enerji sürekliliğini sağlamak ve güç kalitesini korumak için özel bir devre tasarlanmış ve bu devrenin denemeleri yapılmıştır. Bunun için öncelikle bir iletim hattı modeli oluşturulmuş ve önerilen devre bu hat üzerine kurularak gerçek durumlarda iletim hattına olan etkisi incelenmiştir.

4.1. İklimlendirme Kabinin Tanıtımı ve Buz Yükü Oluşturma Çalışmaları

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilen buz yükünün oluşum şartlarını laboratuvar ortamında sağlayabilmek için özel bir iklimlendirme kabini tasalanmıştır. Tasarlanan bu iklimlendirme kabininde karanlık ve aşırı sisli ortam şartları oluşturulmuştur. İklimlendirme kabininde nem ve sıcaklık ayarı PLC ile yapılan otomasyon sistemi sayesinde hassas bir şekilde yapılmıştır. Kabin içerisideki nem ve sıcaklık değerleri otomasyon sistemindeki sensörler ile toplanarak kabin üzerinde bulunan dokunmatik ekranda gösterilmektedir. Ayrıca bu ekran üzerinden istenen nem ve sıcaklık değerlerinin ayarı yapılabilmektedir. Kabin içerisindeki ultrasonik nemlendirici ile % 99,9 oranına kadar bağıl nem ayarı, özel tasarlanan soğutma sistemi ile -10˚C ile 50˚C arasında sıcaklık ayarı yapılmaktadır. Ayrıca iklimlendirme kabininde, rüzgâr hızı 10 m/s kadar ayarlanabilmektedir. Tasarlanan iklimlendirme kabini Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Kabinin eni 119 cm, boyu 250 cm ve yüksekliği 161cm'dir.



Şekil 4.2. Özel iklimlendirme kabini

İklimlendirme kabininde Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilen buz yükü oluşum şartları oluşturulmaya çalışılmış ve bir çok deneme yapılmıştır. Bu denemelerden bir tanesi Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Şekil 4.3'de yaklaşık -2˚C sıcaklıkta, % 99,5 bağıl nem oranında 15 saat içerisinde iletkenler üzerinde oluşan buz yükü gösterilmektedir.



Şekil 4.3. -2˚C sıcaklıkta, % 99,5 bağıl nem oranında 15 saat içerisinde iletkenler üzerinde oluşan buz yükü

Buradaki iletkenler 954 MCM iletkenini temsil etmektedir. Bu görüntü, normal bir kamera ile kabin aydınlatılarak ve mevcut nem dağıtılarak elde edilmiştir. 3 iletken üzerinde oluşan buz yükleri birbirine yakındır.

Buz yükünün oluşumunu incelemek için 58,5 saat boyunca farklı sıcaklıklarda iklimlendirme kabini çalıştırılmış ve elde edilen veriler ile Çizelge 4.2 oluşturulmuştur. Kullanılan iletkenin çapı 3 cm ve 954 MCM' i temsil etmektedir.

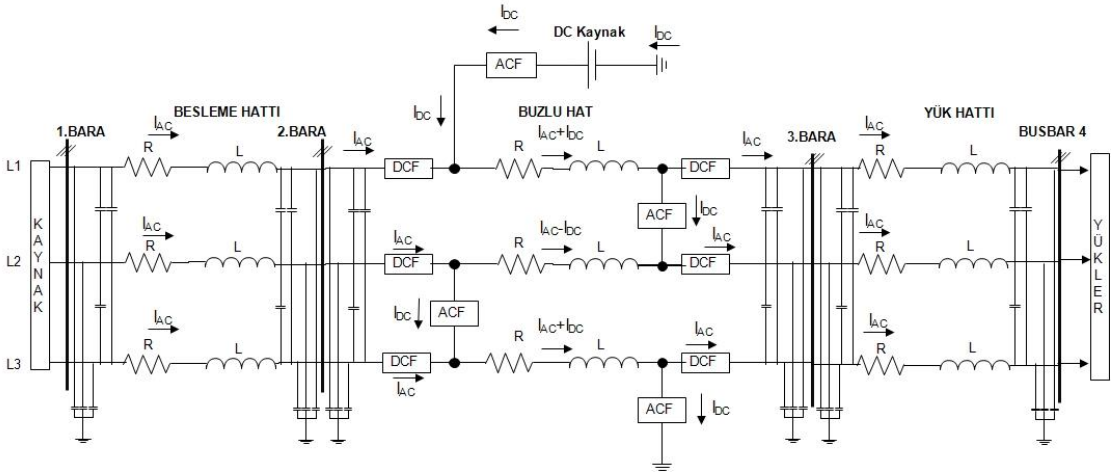
Çizelge 4.2 Buz yükü oluşum sonuçları

Buzlandırma Süre Aralığı (saat)	Ortam Sıcaklığı (˚C)	Ortamım Bağıl Nem Oranı (%)	Buzlu İletken Kalınlığı (cm)
0-9	-5	%99	3,38
9-15	-2	%99	3,68
15-22	0	%99	4,39
22-25,5	-1	%99	4,73
25,5-27,5	0	%99	4,73
27,5-31,5	1	%99	4,95
31,5-38,5	-0,5	%99	5,44
38,5-41,5	-0,5	%99	5,50
41,5-47	1	%99	5,83
47-50	1	%99	6,02
50-55,5	-1	%99	6,49
55,5-58,5	-0,5	%99	6,60

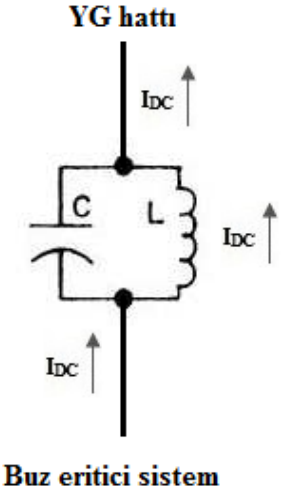
4.2. İletim Hattı Modeli ve Buz Eritme Devresinin Oluşturulması

Daha önce de bahsedildiği gibi DC ile buz eritme esnasında yüklerin enerjisi kesilmektedir. Bu tezde hem DC yöntemin üstünlüklerini kullanmak hemde tüketicilerin enerji kalitesini bozmamak amaçlanmıştır. Hedefler doğrultusunda iletim hatları için DC buz eritme devresi tasarlamıştır. İletim hattı ve buz yükünü eritecek sistemin devre şeması Şekil 4.4'de gösterilmektedir. İletim hattı 3 parçadan oluşmaktadır. İlk hat parçası Besleme Hattı (The Supply Line), ikinci hat parçası Buzlu Hat (The Iced Line) ve üçüncü hat parçası da Yük Hattı (The Load Line) olarak adlandırılmıştır. Buzlu hat olarak adlandırılan hat parçası üzerinde sürekli buz yükü arızalarının oluştuğu varsayılarak buz eritme devresi bu hat üzerine kurulmuştur. Buzlu hat uzunluğu artırılıp azaltılabilinir ve farklı iletkenlerde kullanılabilinir. Kullanılan AC ve DC filtreler ile

AC ve DC sistemlerin birbirini etkilemesinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. AC filtre (ACF) 50 Hz şebeke frekansında paralel rezonans oluşturan bir LC devresidir. Bu devre Şekil 4.5'de gösterilmektedir.



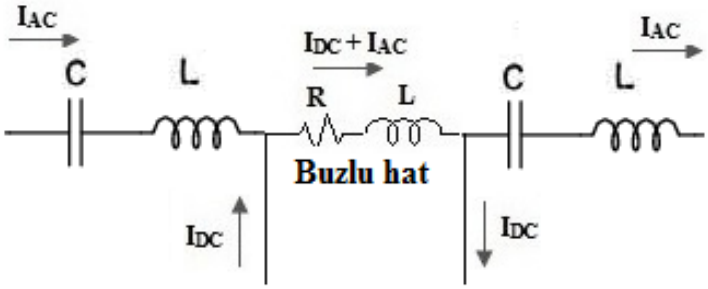
Şekil 4.4. İletim hattı modeli ve buz eritici devrenin gösterilişi



Şekil 4.5. Paralel rezonans devre şeması

LC devresi 50 Hz frekansta paralel rezonans ile AC'ye yüksek direnç gösterir. Böylece AC'nin DC kısma geçmesi engellenmiş olur. Doğru akım ise ACF'nin endüktansı üzerinden akarak devresini tamamlar.

DCF ise DC'nin AC sistem tarafına geçişinin engellenmesi için 50 Hz şebeke frekansında seri rezonans oluşturan bir LC devresidir. Bu devre Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

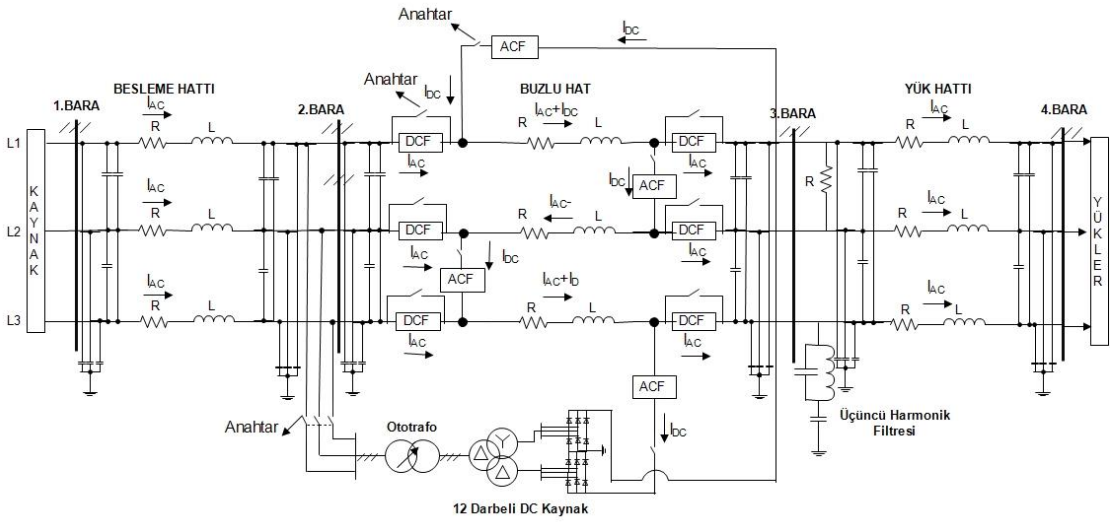


Şekil 4.6. Seri rezonans devre şeması

50 Hz frekansta endüktans ve kapasitansın dirençleri birbirine eşit olduğu için seri rezonans devresi alternatif akıma her hangi bir direnç göstermez ve hat kaybına neden olmaz. Aynı zamanda yapısında bulunan kapasitans doğru akımı geçirmeyeceği için DC filtre olarak çalışır.

Tasarlanan bu devrenin gerçek iletim hattı üzerinde denemelerinin yapılması imkânsızdır. Çünkü iletim hatları belli bir bölgeyi veya yerleşim alanlarını besler. Denemeler esnasında yaşanan arızalar, kısa devreler ve karşılaşılan olumsuz durumlardan dolayı tüketiciler enerjisiz kalabilir veya güç kaliteleri olumsuz olarak etkilenebilir. Bu yüzden öncelikle bir iletim hattı modeli oluşturulmuştur. İletim hattı modeli elemanları oluşturulurken gerekli hesaplamalar yapılmış ve iletim hattı laboratuvarı için hazırlanan deney setleri de incelenmiştir. Laboratuvar şartlarında kurulan iketim hattı ve buz eritme devresinin devre şeması Şekil 4.7'de ve bu devrenin deney seti Şekil 4.8'de gösterilmektedir. İletim hatlarının deneylerinin laboratuvarlarda yapılması için kullanılan deney setlerinde gerilim ve akım 1000:1 oranına düşürülmektedir. Bu tez kapsamında yapılan buz yükü eritme çalışmalarında kullanılan iletim hattı modeli ve buz eritme devresinin deney setinin akım ve gerilim oranları da 1000:1 oranında düşürülmüştür. Yani eğer iletken üzerindeki buzu eritmek için gerçek ortam şartlarında 1000 A gerekiyorsa, deney setinde bu 1 A olarak alınmıştır. Aynı zamanda iletim hattının anma gerilimi değeri de örneğin 154 kV ise deney seti için bu değer 154 V alınmıştır. Daha önceden de belirtildiği üzere iklimlendirme kabini içerisinde bulunan iletkenler üzerinde gerçek ortam şartlarına yakın değerlerde buz yükü oluşturulmuştur. Oluşturulan buz yükü önerilen yöntemler ile tespit edilmiştir. Buz yükü tespit edildikten sonra buzu eritmek için gerekli akım hesaplanabilir ve eritme süresi de belirlenebilir. Tezin bu kısmında iklimlendirme kabininde tespit edilen buz yükünü eritecek akım 1000: 1 oranında küçültülerek buzlu hatta verilmiş ve buz ertime

devresi ve doğru akımın iletim hattı ve tüketiciler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kısımdaki asıl amaç buz eritme devresinin incelenmesidir. Yani buzu doğrudan eritme değildir. Asıl amaç buz yükünü eritme olsaydı yine çok yüksek akım gerekliydi çünkü buz yükü gerçek ortam şartlarına yakın durumlarda elde edilmiştir. Ayrıca bu akım değerini laboratuvar şartlarında temin etmekde oldukça zordur.

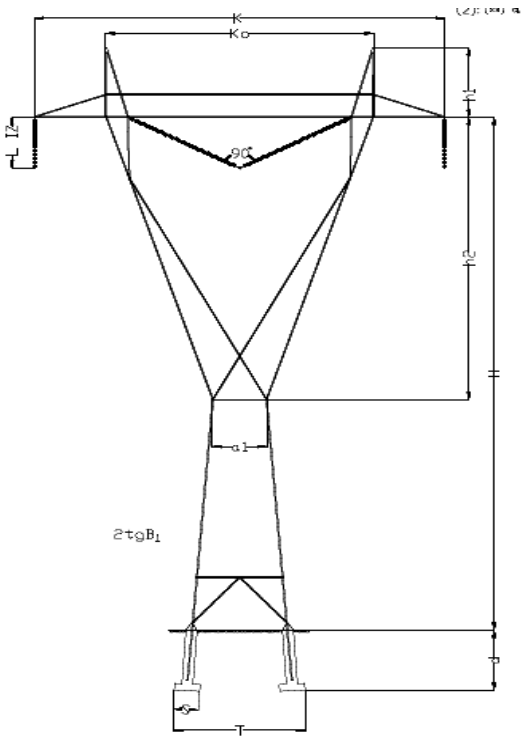


Şekil 4.7. Laboratuvar şartlarında kurulan iletim hattı modeli ve buz eritme devrenin gösterilişi

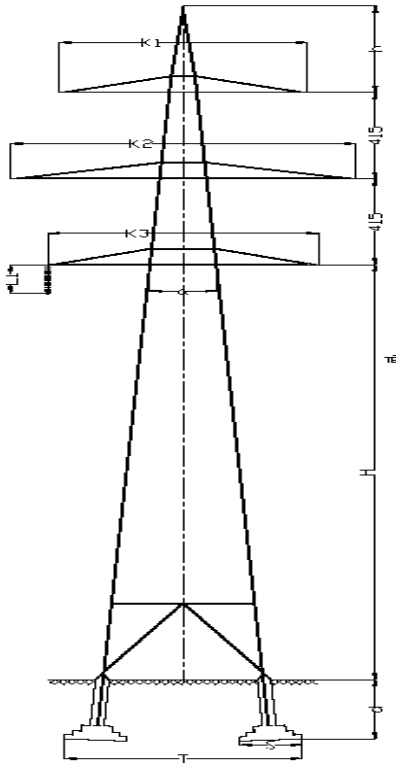


Şekil 4.8. İletim hattı ve buz eritme devresi deney seti

Devrede bulunan anahtarlar vasıtası ile DC buz eritme devresi buz eritme zamanı dışında devre dışı bırakılarak hat normal şartlarda çalıştırılmaktadır. Buz oluşum şartları oluşmaya başlayınca yine devrede bulunan anahtarlar ile buz eritme devresi devreye alınmaktadır. Deneyler sırasında doğru akım miktarı ayarlanabilir transformatör ile sağlanmıştır ve devrede bulunan anahtarlar vasıtasıyla buz eritme sistemi devreye alınıp çıkarılabilmektedir. Yük hattının L_1 ve L_2 fazları arasında bulunan direnç ani gerilim sıçramalarını önlemede, üçüncü fazda bulunan üçüncü harmonik filtre ise harmonik bozunum oranını düşürmede kullanılmıştır. Bu tezde 954 MCM iletkenli iletim hattı temel alınarak buz yükü izleme ve buz eritme sistemi yapılmıştır. Fakat önerilen yöntemler sadece 954 MCM iletkenli iletim hatları için değil diğer iletkenli iletim hatları için de kullanılabilir. Bunun için üçlü demet iletkenli ve iklili demet iletkenli iletim hatları modellenmiştir. Üçlü demet iletkenin parametrelerini elde etmek için 3A1 taşıyıcı direği, ikili demet iletkenli iletim hattının parametrelerini elde etmek için de TA1 taşıyıcı direği kullanılmıştır. 3A1 direği ve ölçüleri Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Burada L IZ izolatör uzunluğunu göstermekte ve değeri 400 cm'dir. h_1 uzunluğu 4980 mm, h_2 uzunluğu 12.520 mm, H uzunluğu 19.820 mm ± 0 gövde 1 metre ayak için direğin tevziat boyu, fazlar arası mesafe 7.500 mm, α değeri 3.900 mm, T değeri 5.793 mm (Arı 2012). Şekil 4.10'da ise ikili demet iletkenli 954 MCM için taşıyıcı direği gösterilmektedir. Burada L1 izolatör uzunluğunu göstermekte ve değeri 2200 mm'dir. K1 uzunluğu 7.000 mm, K2 uzunluğu 9.400 mm, K3 uzunluğu 7.400 mm, h_1 uzunluğu 3150 mm, h_2 uzunluğu 12.520 mm, H uzunluğu 16.219 mm ± 0 gövde 0 metre ayak için direğin tevziat boyu, α değeri 1.400 mm, T değeri 4.395 mm (Arı 2012). Her iki durumda da demet iletkenler arası mesafe yaklaşık 45,72 cm (18 inç)'dir.



Şekil 4.9. 3x954 MCM iletim hattı
3A1 direği



Şekil 4.10. 2 x954 MCM iletim hattı
TA1 direği

Burada her iki durum da hatlar için sadece taşıyıcı direklerin özellikleri verilmiştir. Çünkü hattın çoğunluğu taşıyıcı direktir ve hat parametrelerini en çok taşıyıcı direkler etkileyecektir. Bu aşamadan sonra hattın uzunluğuna göre hat parametreleri hesaplanarak deneyler yapılmıştır.

4.3. Buz Eritme Akımı ve Süresinin Hesaplanması

Buz yükünü yüksek akım ile eritmek için birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları laboratuvar şartlarında bazıları da gerçek ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar şartları her ne kadar gerçek ortam şartlarına yaklaştırılsa da bazı durumlarda gerçek ortam şartlarında elde edilen sonuçlarla farklılıklar oluşmaktadır. Çin'de Juanjuan ve ark.(2012) iletim hatları üzerinde oluşan buz yükünü DC ile eritmek için gerekli akımın belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmalar iletim hattı üzerinde kurulu olan DC buz eritme sistemi ile gerçek şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonunda iletkenler üzerinde oluşan buz yükünü eritme için gerekli akımın hesaplanmasında denklem (4.1) elde edilmiştir (Juanjuan ve ark., 2012).

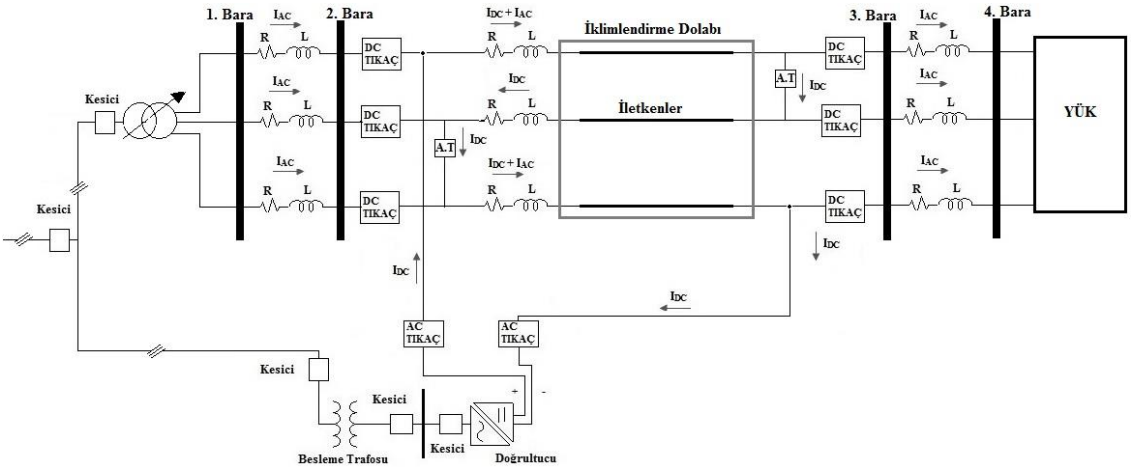
$$I^2.R_0.T_r = \frac{\Delta t}{R_{T0}+R_{T1}}.T_r + 10.g_0.d.b + \frac{0,045.g_0.D^2}{R_{T0}+R_{T1}}.\left(R_{T1}+0,22.\frac{R_{T0}}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}\right).\Delta t \qquad (4.1)$$

Burada, I buz çözme akımı (Amper), R_0 0C°'de iletkenin direnci (ohm), T_r buz eritme zamanı (saat), Δt iletken sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki fark (˚C), g_0 buz yoğunluğu (g/cm^3), D buz kaplı iletkenin toplam çapı (cm), g iletken çapı (cm), R_{T0} buzun eşdeğer termal direnci (K.cm/W) ve $R_{T0}=\left(\frac{\ln(D/d)}{273.\lambda}\right)$ formülü ile hesaplanmaktadır. λ termal geçirgenlik (W/(K.cm)) (sır için 0,0227, kalın buz için 0,0012), R_{T1} taşıma ve ışıma eş değer termal direnç (K.cm/W), R_{T1} sır tabakası için $R_{T1}=\frac{1}{(0,09.D+0,22+0,73.(V.D)^{2/3})}$ ve kalın buz için $R_{T1}=\frac{1}{(0,04.D+0,84.(V.D)^{3/4})}$ formülleri ile hesaplanmaktadır. V ise rüzgâr hızıdır (m/s).

Denklem (4.1)'nin doğruluğunu denemek için bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan iklimlendirme kabininde, üzerinde buz yükü oluşturulan iletkenlerin buzu DC akımla eritilmiş ve Çizelge 4.3 elde edilmiştir. Bu tezde gerçekleştirilen deneylerin yapıldığı komple deney setinin devre şeması Şekil 4.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Buz eritme deneyi ile Denklem (4.1)'den elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Buz kalınlığı (cm)	Buz Yoğunluğu (g/cm^3)	Ortam Sıcaklığı (˚C)	Ortam Bağıl Nem Oranı (%)	Eritme Akımı (A)	Deney Sonunda Eritme Süresi (dk.)	Denklem (4.1)'e Göre Eritme Süresi (dk.)
0,73	0,18	-0,5	99	16	164	162
0,67	0,15	0	99	17	90	89
1,05	0,11	0	99	18	91	93
1,05	0,11	0	99	19	83	82,27
1,06	0,11	-0,5	99,5	20	88	86,3
0,915	0,11	0	99	21	60	58,6
1	0,12	-0,5	99,5	22	71	71,63
1	0,12	0	99	23	60	58,3
0,43	0,07	-5	99	23	75	73,36



Şekil 4.11. Buz eritme ve iletim hattı modellerinin bulunduğu deney seti ile iklimlendirme kabininin bağlantı şeması

Denklem (4.1) ile elde edilen buz yükü eritme süresi ile laboratuvarda yaklaşık olarak elde edilen buz yükü eritme süreleri birbirine çok yakındır. Ayrıca laboratuvar şartlarında elde edilen buz yükü yoğunlukları yaklaşık değerlerdir. Denklem (4.1)'in gerçek uygulama şartlarından elde edilmesi, Juanjuan ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmanın güncel ve güvenilir bir yayın kaynağından elde edilmesi gibi etkenler göz önünde bulundurularak, bu tezdeki çalışmalarda buz eritme akımı ve erime süresinin belirlenmesinde denklem (4.1)'in kullanılmasına karar verilmiştir. Denklem (4.1)'den de anlaşılacağı üzere iletken üzerindeki buz yükünü eritmek için gerekli enerjinin birimi w/m'dir. Bu yüzden buz yüklü iletkenin uzunluğu artarsa buz yükünü eritmek için gerekli enerji miktarıda uzunluğa bağlı olarak artacaktır. Yani hat uzunluğu artarsa kaynak kapasitesi de artar.

Bu tez çalışmasında kullanılan devrede buz eritme esnasında buzlu iletkenden buz eritmek için DC akım geçtiği gibi kullanıcılara ait yük akımı da geçmektedir. Bu yüzden toplam buz eritme akımı belirlenirken doğru akımın yanı sıra alternatif akım olan yük akımının da hesaba katılması gerekir. Aksi takdirde iletkenin akım taşıma kapasitesi aşılabilir. Bu yüzden AC ve DC'nin toplam etkin değeri hesaplanmalıdır. AC ve DC'nin etkin değeri denklem (4.2) ile hesaplanmaktadır (Knight, 2009).

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{I^2_{ACMax}}{2} + I^2_{DC}} \tag{4.2}$$

Burada I_{ACMax} alternatif akımın tepe değeridir.

İletkenlerin akım taşıma kapasitesi belirlenirken Şekil 4.4'de gösterilen devrenin buzlu hat parçasının akım taşıma kapasitesinin 0˚C'de hesaplanması gerekir. Çünkü iletkenler üzerindeki buz 0˚C'de erimeye başlar ve erime bitene kadar sıcaklık değişmez. Diğer hat parçaları için 20˚C'de akım taşıma kapasitelerinin hesaplanması yeterlidir. Çünkü bu hat parçalarında buz yükü oluşmadığı varsayılır.

İletken üzerinde buz yükü oluştuğunda bunun hızlı bir şekilde giderilmesi gerekmektedir. Eğer bir an önce giderilmezse buzlu iletken üzerine rüzgâr yükü geldiğinde iletken kopması veya direk yıkılması görülebilir. Çünkü buzlu iletkene etkiyen rüzgâr yükü, çıplak iletkene etkiyen rüzgâr yüküne göre çok daha fazladır. Bu yüzden buz yükü eritilirken iletkenin taşıyabileceği en yüksek akım değerinden yararlanılmıştır. 954 MCM iletken için yapılan deneylerde iletkenin 0˚C'deki akım taşıma kapasitesi 1113 A olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla buz eritme için AC ve DC toplam 1113 A'e kadar akım verilecek şekilde akım ayarı yapılmıştır. Burada AC akım yük akımı olduğu için bunun değişimi yüke bağlıdır. Bu yüzden DC akım buz yükünü eritmek için ayarlanabilir.

5. BUZ YÜKÜ TESPİTİ VE ERİTİLMESİ İLE İLGİLİ UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Bu tezde buz yükü tespiti ve tespit edilen buz yükünün giderilmesi üzerine uygulamalı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneylerden elde edilen araştırma sonuçları iki kısımda incelenmiştir. Bunlar buz yükü tespit çalışmalarının sonuçları ve buz yükü eritme çalışmalarında buz çözme devresinin iletim hattına etkisinin sonuçlarıdır.

5.1. Buz Yükü Tespit Çalışmaları

Buz yükünün gerçek oluşum şartlarını oluşturmak için tasarlanan özel iklimlendirme kabininde iletkenler üzerinde buz yükü oluşturulmuştur. Oluşturulan buz yükünü tespit etmek için dış ortam kamerası ile iklimlendirme kabini içinden alınan ve Şekil 3.5'de gösterilen buzlu iletkenin görüntüsü kullanılmıştır. Buz yükü genellikle gece ve yüksek nem durumlarında oluştuğu için gerçek ortam şartlarında çalışmak için görüntü çok yüksek nem ve karanlık ortamda elde edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde nesne tanıma çalışmalarında çoklu eşikleme yöntemi ile iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Karanlık ve yüksek nemli ortam görüntünün netliğini azalttığı için buzlu iletken kalınlığının tespiti zorlaşmaktadır. Bu yüzden bu tezde buzlu iletken kalınlığının tespiti için çoklu eşikleme yöntemleri ile yapay zekâ yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Otsu ve Kapur yöntemleri ayrı ayrı CSA, PSO, GA, GSA ve DEA yöntemleri ile kullanılmış, yani toplamda 10 ayrı yöntem uygulanmıştır. Kullanılan optimizasyon algoritmaların parametre değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Algoritma parametre değerleri

Algoritmaların Parametre Değerleri									
CSA		**GA**		**PSO**		**GSA**		**DEA**	
Parametre	**Değer**	**Parametre**	**Değer**	**Parametre**	**Değer**	**Parametre**	**Değer**	**Parametre**	**Değer**
Nüfus Boyutu	50	Nüfus Boyutu	50	Nüfus Boyutu	50	Nüfus Boyutu	50	Nüfus Boyutu	50
Yineleme Sayısı	50	Yineleme Sayısı	50	Yineleme Sayısı	50	Yineleme Sayısı	50	Yineleme Sayısı	50
Çarpan	5	Çaprazlama Oranı	0.7	C_1 Katsayısı	2			Çaprazlama Oranı	0.7
		Mutasyon Oranı	0.001	C_2 Katsayısı	2				

Parametre değerleri verilmiş olan yapay zekâ yöntemleri ile çoklu eşikleme yöntemlerinden elde edilen sonuçlar çizelgeler halinde sıra ile verilmiştir. Bu çizelgelerde eşik sayısı, eşik değerleri, eşik sayılarına göre tespit edilen buzlu iletken kalınlıkları gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. PSO sonuçları

	PSO-Otsu		**PSO-Kapur**	
Eşik Seviyesi	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Değerleri**	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Değerleri**
5	7.43 cm	146 171 187 213 241	11.35 cm	123 149 175 200 226
10	5.53 cm	42 78 122 140 161 174 196 209 227 245	8.62 cm	116 129 141 154 168 182 196 210 224 237
15	5.23 cm	20 69 101 131 143 161 169 179 182 187 191 206 218 231 246	7.27 cm	102 112 123 133 143 152 160 168 177 188 200 210 221 231 240
20	4.93 cm	48 62 128 151 156 161 168 174 177 178 187 192 197 207 213 219 226 235 240 249	5.21 cm	41 72 102 111 122 131 139 147 155 164 171 177 184 194 202 211 219 229 237 246
25	4.24 cm	13 43 44 53 83 109 126 135 145 154 162 172 178 184 189 199 207 214 223 233 237 241 244 252 254	4.95 cm	1 8 39 51 55 62 100 111 121 129 137 145 152 160 168 177 187 195 206 211 218 225 231 238 247

Çizelge 5.3. GA Sonuçları

	GA-Otsu		**GA-Kapur**	
Eşik Seviyesi	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Seviyelerinin değerleri**	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Seviyelerinin değerleri**
5	9.21 cm	142 163 188 213 235	11.1 cm	117 143 168 198 228
10	6.43 cm	109 125 141 154 172 184 198 212 228 243	7.85 cm	101 107 117 136 153 171 188 206 222 239
15	5.27 cm	7 47 102 120 132 146 159 171 178 187 196 205 216 229 246	7.27 cm	29 35 101 116 135 144 155 168 181 190 198 206 216 226 241
20	5.04 cm	25 29 34 64 66 97 102 130 141 155 162 172 185 195 206 213	5.21 cm	21 45 51 59 67 101 108 115 123 131 144 154 168 181 188 198
25	4.61 cm	39 43 53 63 65 74 96 100 104 116 127 139 153 162 171 178	4.95 cm	3 50 78 100 106 111 117 124 132 138 145 153 161 166 170 176

Çizelge 5.4. CSA Sonuçları

	CSA-Otsu		CSA-Kapur	
Eşik Seviyesi	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Seviyelerinin değerleri**	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Seviyelerinin değerleri**
5	8.6 cm	150 174 196 215 237	11.35 cm	124 144 174 192 226
10	6.43 cm	50 118 145 159 177 194 205 224 233 243	8.24 cm	112 125 143 164 183 201 210 219 230 238
15	4.95 cm	114 132 142 150 155 163 173 182 192 200 211 222 233 240 248	7.01 cm	33 66 99 110 125 136 151 166 182 187 193 209 216 229 242
20	4.69 cm	11 85 99 105 108 110 121 126 148 156 170 175 187 194 203 209	4.95 cm	11 85 99 105 108 110 121 126 148 156 170 175 187 194 203 209
25	4.60 cm	1 4 17 36 49 82 110 126 142 149 161 169 178 184 193 198 206 212 220 226 229 233 234 241 251	4.80 cm	32 56 60 62 100 102 105 117 123 127 134 139 144 157 172 177 184 191 199 211 218 223 231 237 249

Çizelge 5.5. DEA Sonuçları

	DEA-Otsu		DEA-Kapur	
Eşik Seviyesi	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Seviyelerinin değerleri**	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Seviyelerinin değerleri**
5	9,20 cm	150 173 192 212 235	10,56 cm	123 149 175 201 226
10	5,21 cm	122 147 162 176 192 200 211 222 234 246	6,6 cm	52 118 135 153 168 183 199 213 227 240
15	4,95 cm	7 54 122 142 151 161 169 180 186 199 209 219 226 238 247	4,80 cm	14 50 111 121 131 141 154 167 183 193 203 215 222 236 249
20	4,6 cm	34 42 60 65 121 137 152 159 162 173 179 187 199 203 213 221 229 236 243 251	4,37 cm	98 110 115 123 130 144 148 157 163 171 181 189 197 207 217 226 234 240 245 253
25	4,37	13 47 52 98 105 111 112 134 144 153 159 166 178 183 190 198 205 212 218 222 229 236 244 250 253	4,15 cm	21 36 49 102 111 121 125 132 140 148 153 163 173 177 184 188 197 205 211 217 230 234 242 250 254

Çizelge 5.6. GSA Sonuçları

	GSA-Otsu		GSA-Kapur	
Eşik Seviyesi	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Seviyelerinin değerleri**	**Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı**	**Eşik Seviyelerinin değerleri**
5	9,42 cm	83 139 181 216 233	10,75 cm	124 151 186 207 230
10	6,39 cm	73 82 113 130 162 185 200 216 236 242	5,51 cm	81 111 136 142 161 169 190 222 226 245
15	5,25 cm	50 68 99117 147 157 169 183 194 201 210 214 225 239 244	4,95 cm	60 114 121 124 133 156 161 182 198 206 215 218 224 230 248
20	4,95 cm	30 73 85 97 103 127 137 150 160 173 175 176 189 203 212 218 220 236 240 247	4.60 cm	29 40 54 62 82 102 108 121 135 157 176 181 192 213 224 230 239 242 245 251
25	4,95 cm	62 77 86 98 113 119 130 139 145 158 159 168 178 184 192 199 201 207 214 217 223 230 235 243 248	4,95 cm	46 52 61 84 98 101 103 112 118 131 138 147 158 166 174 176 188 190 202 207 215 220 225 229 248

Şekil 3.5'de gösterilen buzlu iletkenin kalınlığı 4,65 cm ölçülmüştür. Algoritma sonuçlarının yer aldığı çizelgeler incelendiğine, algoritmaların eşik sayıları artırıldığında hassas sonuçların elde edildiği görülür. Fakat bazı algoritmalarda eşik sayısının artırılması sonucu çok etkilememiştir. Bazı algoritmalarda ise tespit edilen buzlu iletken kalınlığı gerçek ölçüden daha küçük tespit edilmiştir. Eşik sayısının artırılmasında asıl sorun eşik çakışmasıdır. Yani iki ayrı değişkene aynı eşik numarası denk gelirse ve hata oluşmaktadır. Örneğin 7 eşik seviyeli programda 6. ve 7. eşiklere 255 değeri denk gelirse hata oluşmaktadır. Genellikle 20 eşik seviyesinden sonra eşik çakışma sayısı arttığı için program hata vererek sık sık kesilmelere neden olmuştur. Bu yüzden eşik sayısının aşırı artırılmaması gerekir.

Sonuçlara bakıldığında optimizasyon algoritmaları içinden en hassas sonuçları veren CSA, DEA ve GSA algoritmalarıdır. CSA en iyi sonucu 20 eşik seviyesinde Otsu yöntemi ile vermiştir. Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı 4,69 cm ve doğruluk oranı %99,14'dür. DEA en iyi sonucu 20 eşik seviyesinde Otsu yöntemi ile vermiştir. Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı 4,60 cm ve doğruluk oranı %98,90'dır. GSA en iyi sonucu 20 eşik seviyesinde Kapur yöntemi ile vermiştir. Tespit edilen buzlu iletken kalınlığı 4,60 cm ve doğruluk oranı %98,90'dır. Burada en yüksek doğruluğa sahip CSA-Otsu yöntemidir. CSA-Otsu ile DEA-Otsu ve GSA-Kapur yöntemlerinin doğrulukları arasında fazla fark yoktur. Fakat DEA-Otsu ve GSA-Kapur yöntemlerinde tespit edilen buz kalınlığı gerçek ölçüden küçük olduğu için buzu eritmede gerekli akım gerçek

akıma göre daha düşük tespit edilecektir. Bu yüzden buz istenen zamanda eritilemez. Fakat bu tezde buz eritme akımı olarak maksimum akım taşıma kapasitesi belirlendiği için bu yöntem kullanılırsa gerçekte buz erime süresinin tahmin edilenden uzun olduğu görülecektir. Eğer tahmin edilen sürede akım verilir de, buz erime esnasında buzlu iletkenin çapı izlenemezse iletken üzerindeki buz tamamen erimeyebilir. Eğer hava aniden soğursa iletken üzerinde kalan sulu buz yüksek yoğunluklu buza dönüşür. Havadaki buzlanma devam ederse tahmin edilen akım ile bu buz eriyemez ve buz yükünden dolayı arıza oluşabilir. CSA-Otsu yönteminde 20 eşik seviyesinde en uygun sonuç elde edilmiştir. Eşik sayısı yüksek olsa da eşik çakışma hataları fazla yoktur. Bu yöntemle buzlu iletken kalınlığı 4,69 cm bulunmuştur. Bu sonuç gerçek değerden biraz fazladır. Bu yöntem kullanıldığında buz tahmin edilen süreden biraz kısa sürede eriyecektir. Dolayısıyla tahmin edilen süre içeresinde buz tamamen eridiği için yüksek yoğunluklu buz oluşma olasılığı ortadan kalkacaktır. Denklem (4.1)'e göre gerçek erime süresi 4,93 dk. ve tahmin edilen süre 5 dk.'dır ve gerçek süre ile tahmin edilen süre arasındaki fark 4,2 sn'dir. Bu süre içinde iletkenin akım taşıma kapasitesi de aşılmadığı için arıza olasılığı da düşüktür.

5.2. Buz Yükü Eritme Çalışmalarında Buz Eritme Devresinin İletim Hattına Etkisi

DC ile buz eritme yönteminin AC ile buz eritme yöntemine göre birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Fakat literatürde DC ile buz eritme esnasında tüketicilerin enerjileri kesilmektedir. Bu tez çalışmasında DC ile buz eritme yönteminin üstün yönleri kullanılmış ve buz eritme esnasında tüketicilerin enerjisini kesmeyecek bir devre tasarlanarak uygulanmıştır. Bu devrenin bir iletim hattına kurulup deneme olanağı olmadığı için laboratuvar şartlarında iletim hattı modeli ile bir deney seti yapılmış ve buz eritme devresinin iletim hattına etkisi incelenmiştir. İletim hattı iletkeni 954 MCM seçilmiş ve buna uygun hat modelleri geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında ikili demet iletkenli ve üçlü demet iletkenli 954 MCM iletim hattının modelleri oluşturulmuş ve bu devreler deney setinde çalıştırılmıştır. İletim hatları için yapılan deney setleri incelendiğinde akım ve gerilimin 1000:1 oranında düşürüldüğü görülmüştür. Bu tezde kullanılan deney setinde de akım ve gerilim 1000:1 oranında küçültülmüştür. Deneyler 154 kV seviyesinde farz edilerek yapılmıştır. Deneylerde Şekil 4.4'de gösterilen her bir parçası 80 km uzunluğunda olan üç parçalı 3x954 MCM hat ile her bir parçası 100 km olan üç parçalı 2x954 MCM iletim hatları kullanılmıştır. Deney setinde hattın alternatif

akım ve gerilim değerini görmek için her baraya ait güç analizörleri kullanılmıştır. Doğru akım ve gerilimi görmek için de her barada DC voltmetre ve ampermetreler kullanılmıştır.

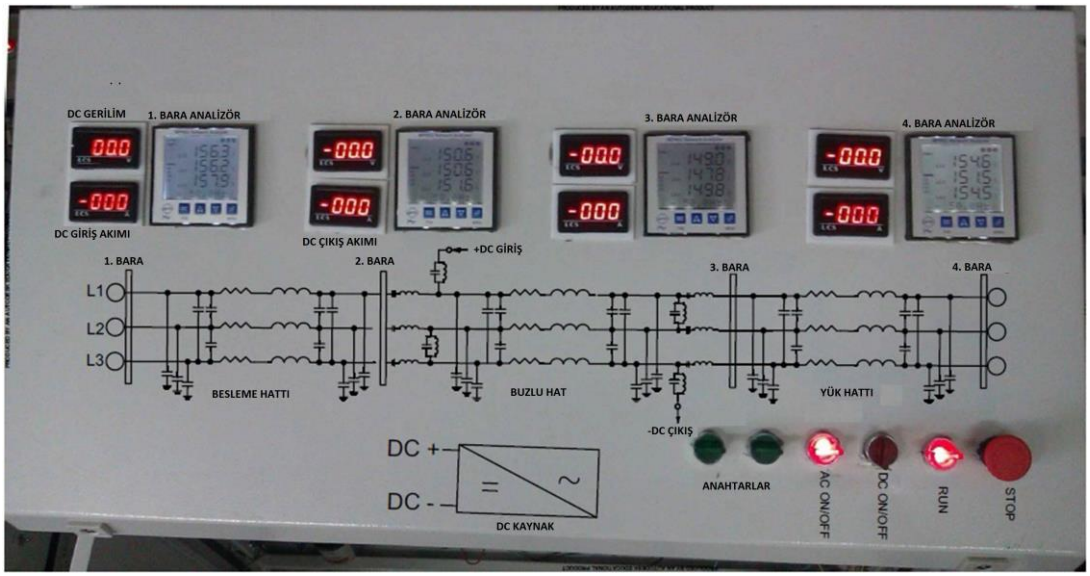
Deneylerde hatlar önce normal bir şekilde çalıştırılmış ve parametre değerleri alınmıştır. Daha sonra buz çözme devresi devreye alınarak deneyler yapılarak parametre değerleri alınmıştır. Sonuçta bu iki durumun parametre değerleri karşılaştırılmış ve buz çözme devresinin iletim hattı üzerindeki olumlu ya da olumsuz etkileri incelenmiştir.

5.2.1. 3x954 MCM iletkenli iletim hattı için yapılan deneyler ve sonuçları

3x954 MCM iletkenli hat için normal çalışma ve DC buz eritme devreli çalışma olarak 2 türlü çalışma yapılmıştır. Burada hat normal koşullarda çalışırken Şekil 4.7'de gösterilen devreye göre kurulan deney setinden elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan 3x954 MCM iletkenli iletim hattının her bir parçası 80 km uzunluğunda ve toplam uzunluğu 240 km'dir. İletim hattı parametreleri oluşturulurken hattın taşıyıcı direği olarak Şekil 4.9'da gösterilen ve ölçüleri verilen 3A1 direği seçilerek ve buna göre yaklaşık parametre hesabı yapılmıştır. Ayrıca Şekil 5.1'de 3x954 MCM iletim hattının normal koşullarda (DC devre dışı) çalışması durumunda deney setindeki her bir baranın gerilim değeri görülmektedir.

Çizelge 5.7. 3x954 MCM hattın normal çalışma durumu

		Gerilim (U)	Akım (A)	Güç Fak.	Cos φ	THDV (%)	THDI (%)	P (W)	Q (Var)	S (VA)
1.Bara	L1	157.7	0.222	1	0.99	2.0	2.9	19.8	1.8	19.8
	L2	154.9	0.216	1	0.99	1.8	3.1	19.2	1.8	19.2
	L3	156.2	0.216	1	0.99	1.5	4.1	19.2	1.8	19.8
2.Bara	L1	149.7	0.222	1	0.99	3.5	3.4	18.6	1.8	18.6
	L2	149.5	0.216	1	0.98	3.7	3.8	18.0	2.4	18.0
	L3	150.4	0.216	1	0.99	3.8	5.0	18.6	1.8	18.6
3.Bara	L1	147.5	0.222	0.97	0.96	4.5	3.5	18.0	4.8	18.6
	L2	146.8	0.216	0.97	0.96	4.7	3.7	17.4	4.8	18.6
	L3	149.2	0.216	0.97	0.96	4.7	4.9	17.4	4.8	18.0
4.Bara	L1	154.3	0.222	0.88	0.89	7.4	3.4	17.4	8.4	19.8
	L2	151.5	0.216	0.90	0.88	7.4	3.7	16.8	8.4	18.6
	L3	153.8	0.216	0.90	0.89	7.5	4.1	16.2	8.4	18.6



Şekil 5.1 3x954 MCM iletim hattının normal çalışma durumu

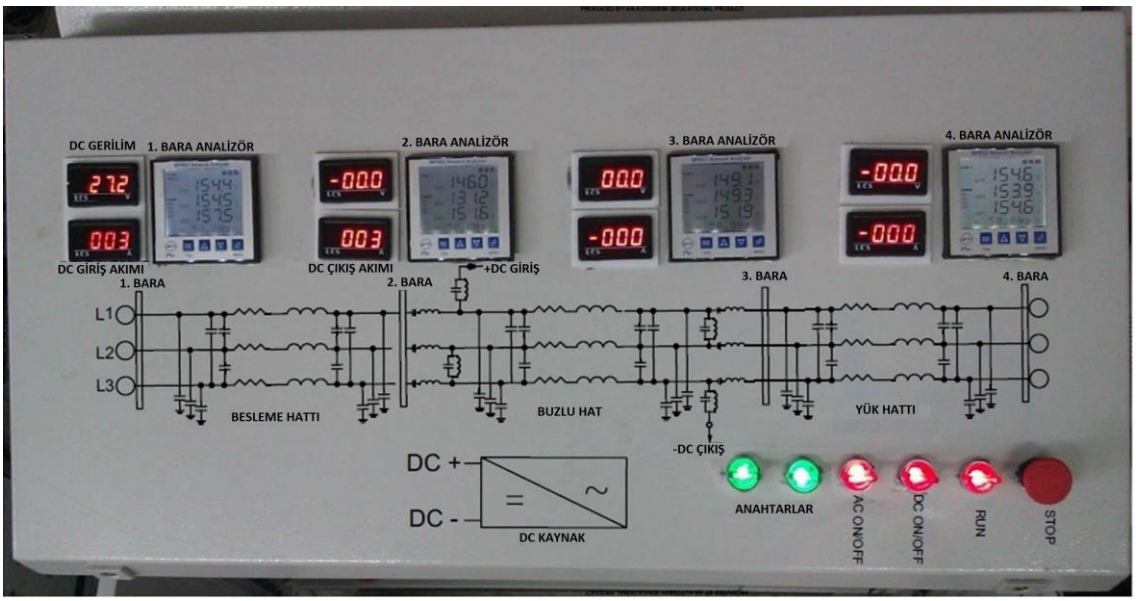
Buz eritme devresinin iletim hattına olan etkisini görmek için buz eritme devresi devreye alınmıştır. İletken üzerindeki buzu eritme için iletkenlerin maksimum akım taşıma kapasitesinden yararlanıldığından daha önceki bölümlerde bahsedilmişti. Buna göre hatta AC yük akımı akarken buz çözmek için DC akım verilmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi iletim hattı için akım ve gerilim oranları 1000:1 oranında düşürüldüğünden dolayı DC buz çözme devresinde de akım ve gerilim oranları 1000:1 oranında düşürülmüştür. Hat normal çalışırken her baradaki faz akımlarının değerleri yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.8. 3x954 MCM iletim hattının DC buz çözme devreli hali

		Gerilim (U)	Akım (A)	Güç Fak.	Cos φ	THDV (%)	THDI (%)	P (W)	Q (Var)	S (VA)
	L1	152.8	0.690	0.87	0.86	2.0	5.6	54.0	31.2	62.4
1.Bara	L2	152.6	0.756	0.98	0.98	1.7	4.0	64.8	10.8	66.0
	L3	155.0	0.762	1.00	1.00	1.3	4.1	67.2	0.60	66.6
	L1	145.0	0.426	0.55	0.54	7.3	3.7	22.2	33.6	40.2
2.Bara	L2	132.0	0.426	0.90	0.90	9.4	3.2	28.2	12.6	31.2
	L3	150.0	0.624	0.85	0.84	7.7	3.3	40.8	25.8	48.6
	L1	147.5	0.330	0.75	0.75	8.0	12.7	25.2	21.6	33.0
3.Bara	L2	152.1	0.624	0.72	0.72	6.7	4.1	35.4	33.6	49.2
	L3	151.8	0.300	1.00	0.99	6.9	5.5	24.6	2.40	24.6
	L1	153.5	0.240	0.98	0.95	8.1	12.1	23.0	6.60	24.6
4.Bara	L2	156.8	0.246	0.85	0.88	10.4	10.7	18.0	9.60	20.4
	L3	155.4	0.186	0.81	0.81	7.6	9.3	12.6	9.00	15.6

Çizelge 5.7'de ölçülen en yüksek akım 0.222 A olup gerçekte bu değer 222 A akımı temsil etmektedir. Buna göre eğer hattın her bir fazındaki her bir iletkenine 1 A yani gerçekte 1000 A uygulandığında bunun hatta olan etkisinin nasıl olacağını görmek için DC devre devrede iken deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.

1000 A DC değeri belirlenirken hat iletkeninin akım taşıma kapasitesi ve yük akımı göz önünde bulundurulmuş ve denklem (4.2) ile hesaplanmıştır. Bu durumda buzlu hatta 222 A AC varken 1000 A DC uygulanırsa her bir iletkenden toplamda 1024 A akım akacaktır. Şu halde 0˚C'deki 954 MCM iletkenin akım taşıma kapasitesi 1113 A olduğu için buz eritmede 1000 A DC seçilmesinin bir sakıncası yoktur. Çizelge 5.8'de DC buz eritme devresi devrede iken iletim hattı parametrelerinin değerleri verilmiştir. Her bir fazda 3 iletken olduğundan dolayı doğrultucunun çıkış akımı 3 A gerçekte ise 3000 A'dir. İletim hattına 3 A DC uygulanınca doğrultucu gerilimi de 27,2 V olarak ölçülmüştür. Şekil 5.2'de buz çözme devresi devrede iken iletim hattına ait baralardaki gerilim değerleri gösterilmektedir. 3x954 MCM iletim hattına buz eritme devresinin etkisi incelenmiş ve alt başlıklar halinde açıklanmıştır.



Şekil 5.2. 3x954 MCM iletim hattında DC buz eritme devresinin çalışma durumu

DC buz eritme devresi devreye girdikten sonra 1. bara parametrelerinde oluşan değişiklikler:

- 1. baranın akımı artmıştır. Bunun nedenlerin birisi doğrultucunun çektiği akımdır. Diğer neden ise seri ve paralel rezonans devrelerinde oluşan ufak rezonans noktası kayıklığıdır. 1. baranın akım değeri artmasına rağmen Besleme Hattına ait 954 MCM iletkenin akım taşıma kapasitesi aşılmamıştır. Çünkü 1. baranın en yüksek akımı 756 A'dir ve iletken başına 252 A düşer. 954 MCM iletkenin 20˚C'de akım taşıma kapasitesi 763,2 A'dir.
- Gerilim seviyesi normaldir. Aşırı artış veya düşüşler görülmemiştir.
- Aktif ve reaktif güçteki artışın nedeni doğrultucunun çektiği akım ve paralel rezonans filtrelerinin rezonans noktalarının kaymasından dolayı çektiği akımdandır.
- Gerilim ve akım harmoniklerinde aşırı artış olmamıştır. Paralel rezonans filtrelerinin çektiği küçük çaplı akımlardan dolayı L_1 fazının güç faktöründe ve cosφ değerinde azalma olmuştur.

DC buz eritme devresi devreye girdikten sonra 2. bara parametrelerinde oluşan değişiklikler:

- Aktif güç düşmüş ve reaktif güçte ufak artışlar görüşmüştür fakat hat akımları 1. baraya göre düşmüştür. Hat akımları normal duruma göre yüksektir ama 954 MCM iletkenin akım taşıma kapasitesi aşılmamıştır.
- L_2 fazının gerilimi sınır gerilimin altındadır. İletim hatları için en fazla % 10 gerilim düşümüne müsaade edilir. Bu değer 154 kV hatlar için 138 kV'dur. Fakat bu hattan beslenen yük olmaması ve buz eritme süresinin çok kısa olmasından dolayı bu gerilim düşümü çok önemli değildir. Ayrıca % 10 gerilim düşümü değerine çok yakındır.
- Akım harmonikleri çok değişmemiş fakat gerilim harmonikleri artmıştır. Bunun nedeni ise endüktans nüvelerinin doyuma gitmesi ve 3. harmonik üretmesidir. Harmonik artışından dolayı cosφ ve güç faktörü de düşmüştür.

DC buz eritme devresi devreye girdikten sonra 3. bara parametrelerinde oluşan değişiklikler:

- Aktif ve reaktif güçlerde düşüşler olmuş ve bu yüzden akımlarda da düşüşler görülmüştür. L_2 faz akımının ve aktif gücünün artışında dengeleme direncinin etkisi vardır. Yük akımının artması halinde bu dirence gerek kalmayabilir.
- Akım ve gerilim harmoniklerinde 3. harmonik yüzünden artış olmuştur. Harmonik oranın artmasından dolayı cosφ ve güç faktöründe düşüşler olmuştur.
- Bara gerilimleri ise müsaade edilen sınırlar içerisindedir. Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğine göre 154 kV iletim hatları için sınır gerilim 170 kV'dur.

DC buz eritme devresi devreye girdikten sonra 4.bara parametrelerinde oluşan değişiklikler:

- Filtreler bu kısımda olmadığından dolayı aktif ve reaktif güç değerleri normal çalışma koşullarına yakın değerdedir. Bu yüzden çekilen faz akımları da normal değerlere yaklaşmıştır. L_3 fazının akımında normal çalışma koşullarına göre bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Bunun nedeni çekilen reaktif gücün normal çalışma koşullarına göre artmasından kaynaklanabilir.
- Akım ve gerilim harmoniklerinde 3. harmonik yüzünden artış olmuştur. Harmonik oranın artmasından dolayı cosφ ve güç faktöründe düşüşler olmuştur.
- Bara gerilimleri normaldir. Güç faktörü ve cosφ normal koşullara göre fazla etkilenmemiştir.

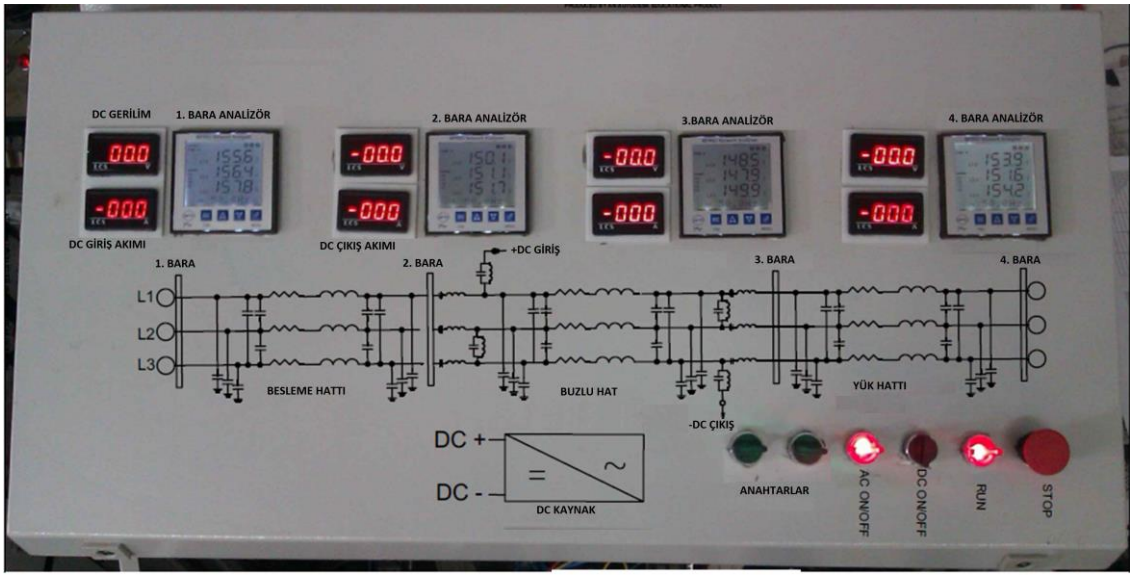
5.2.2. 2x954 MCM iletkenli iletim hattı için yapılan deneyler ve sonuçları

2x954 MCM iletkenli hat için de normal çalışma ve DC buz eritme devreli çalışma olarak 2 türlü çalışma yapılmıştır. Burada hat normal koşullarda çalışırken Şekil 4.7'de gösterilen devreye göre kurulan deney setinden elde edilen deney sonuçları ile Çizelge 5.9 oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan 2x954 MCM iletkenli iletim hattının her bir parçası 100 km uzunluğunda ve toplam uzunluğu 300 km'dir. İletim hattı parametreleri oluşturulurken hattın taşıyıcı direği olarak Şekil 4.10'da gösterilen ve ölçüleri verilen TA1 direği seçilmiş ve buna göre yaklaşık parametre hesabı yapılmıştır.

Çizelge 5.9. 2x954 MCM hattın normal çalışma durumu

		Gerilim (U)	Akım (A)	Güç Fak.	Cos φ	THDV (%)	THDI (%)	P (W)	Q (Var)	S (VA)
	L1	155.6	0.222	1	0.99	1.9	3.2	19.8	1.8	19.8
1.Bara	L2	156.4	0.216	1	0.99	2.0	3.3	18.6	1.2	18.6
	L3	157.8	0.216	1	0.99	1.8	4.1	19.2	1.2	19.2
	L1	150.1	0.222	0.97	0.99	3.5	3.6	18.6	2.4	19.2
2.Bara	L2	151.1	0.216	1	0.99	4.0	4.2	17.4	2.4	18.0
	L3	151.7	0.216	1	0.99	3.9	4.8	18.6	2.4	18.6
	L1	148.5	0.222	0.97	0.97	4.5	3.6	18.0	4.8	18.6
3.Bara	L2	147.9	0.216	0.97	0.97	4.8	4.1	16.8	4.8	17.4
	L3	149.9	0.216	0.97	0.97	4.4	4.9	17.4	4.8	18.6
	L1	153.9	0.222	0.88	0.89	7.4	3.4	17.4	8.4	19.8
4.Bara	L2	151.6	0.210	0.87	0.88	7.6	4.0	15.6	8.4	18.0
	L3	154.2	0.216	0.90	0.89	7.4	4.9	16.8	7.8	18.6

Ayrıca Şekil 5.3'de 3x954 MCM iletim hattının normal çalışması durumunda deney setindeki her bir baranın gerilim değeri gösterilmektedir.



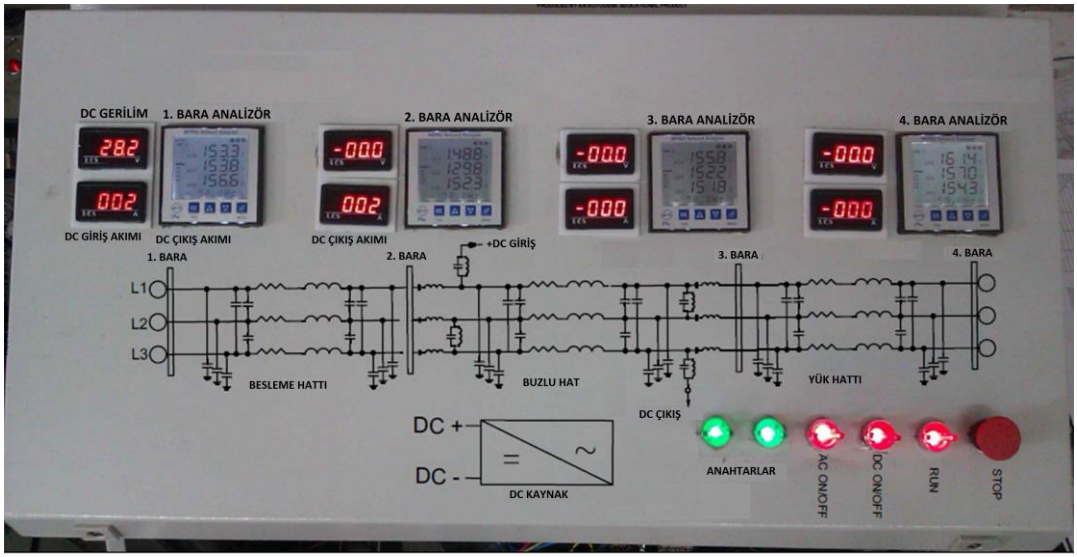
Şekil 5.3. 2x954 MCM iletim hattının normal çalışma durumu

Bu iletim hattında da buzlanan iletken 954 MCM olduğu için yine 1000 A DC uygulanılması düşünülmüştür. 2x 954 MCM iletkenli iletim hattının fazlarında bulunan her bir iletkenden 1000 A DC geçirmek için doğrultucunun çıkış akımının 2000 A olması gerekir. Bu durum deney setindeki DC kaynaktan, her bir fazdan 1 A ve toplamda 2 A geçirilecek şekilde yapılmıştır. DC'nin iletim hattı üzerindeki etkisini

görmek için deney setinden alınan veriler ile Çizelge 5.10'da verilmiş olup DC buz eritme devresi devrede iken bara gerilimleride Şekil 5.4'de görülmektedir. Burada devreye 2 A uygulandığında doğrultucu gerimi 28,2 V olmaktadır. Bu değerler gerçekte 2000 A ve 28,2 kV'dur.

Çizelge 5.10. 2x954 MCM iletim hattının DC buz çözme devreli hali

		Gerilim (U)	Akım (A)	Güç Fak.	Cos φ	THDV (%)	THDI (%)	P (W)	Q (Var)	S (VA)
1.Bara	L1	153.3	0.804	0.84	0.84	1.8	5.3	61.2	39.6	73.2
	L2	153.8	0.882	0.99	0.99	1.4	4.0	76.2	9.0	76.8
	L3	156.6	0.816	1.00	1.00	1.3	4.0	73.2	3.0	73.2
2.Bara	L1	148.8	0.498	0.65	0.64	7.7	3.4	31.8	37.8	49.2
	L2	129.8	0.480	0.92	0.92	10.0	3.0	33.6	13.2	36.6
	L3	152.3	0.726	0.94	0.94	7.6	2.4	53.4	18.6	56.4
3.Bara	L1	155.8	0.348	0.75	0.75	7.2	13.0	27.6	24.0	36.6
	L2	152.2	0.660	0.76	0.75	6.2	3.8	40.2	35.4	54.0
	L3	151.8	0.318	1.00	0.99	6.0	4.9	25.8	1.80	25.8
4.Bara	L1	161.4	0.252	0.98	0.96	7.2	13.1	25.8	7.20	26.4
	L2	157.0	0.264	0.86	0.88	9.4	12.1	19.2	10.2	22.2
	L3	154.3	0.180	0.76	0.80	7.5	9.9	11.4	8.40	15.0



Şekil 5.4. 2x954 MCM iletim hattında DC buz eritme devresinin çalışma durumu

DC buz eritme devresi devreye girdikten sonra 1. bara parametrelerinde oluşan değişiklikler:

- Burada da 1. baranın akımı artmıştır. Bunun nedenleri doğrultucunun çektiği akım, seri ve paralel rezonans devrelerinde oluşan ufak rezonans noktası kayıklığıdır. 1. bara fazlar arasında en yüksek akım 0,882 A'dir. Gerçekte 882 A olacağı için iletken başına en fazla 441 A düşecektir. 954 MCM iletkenin 20˚C'de akım taşıma kapasitesi 763,2 A olduğu için bu durum besleme hattı iletkenleri için tehlike oluşturmaz.
- Gerilim seviyesi normaldir. Aşırı artış veya düşüşler görülmemiştir.
- Yine burada da aktif ve reaktif güçteki artışın nedeni doğrultucu ve filtrelerin çektiği akımdandır.
- Gerilim ve akım harmoniklerinde aşırı artış olmamıştır. Filtrelerin çektiği küçük çaplı akımlardan dolayı güç faktöründe ve cosφ değerinde azalma olmuştur.

DC buz eritme devresi devreye girdikten sonra 2. bara parametrelerinde oluşan değişiklikler:

- Filtrelerden dolayı reaktif güçte ufak artışlar görüşmüştür fakat hat akımları 1. baraya göre düşmüştür.
- L_2 fazının gerilimi buradada sınır gerilimin altındadır. Fakat bu hattan beslenen yük olmaması ve buz eritme süresinin çok kısa olmasından dolayı bu gerilim düşümü çok önemli değildir. Ayrıca % 10 gerilim düşümü değerine çok yakındır.
- Endüktans nüvelerinin doyumundan dolayı burada da gerilim harmoniklerinde 3. harmonik yüzünden artışlar meydana gelmiştir.
- Harmonik artışından dolayı cosφ ve güç faktörü de düşmüştür.

DC buz eritme devresi devreye girdikten sonra 3. bara parametrelerinde oluşan değişiklikler:

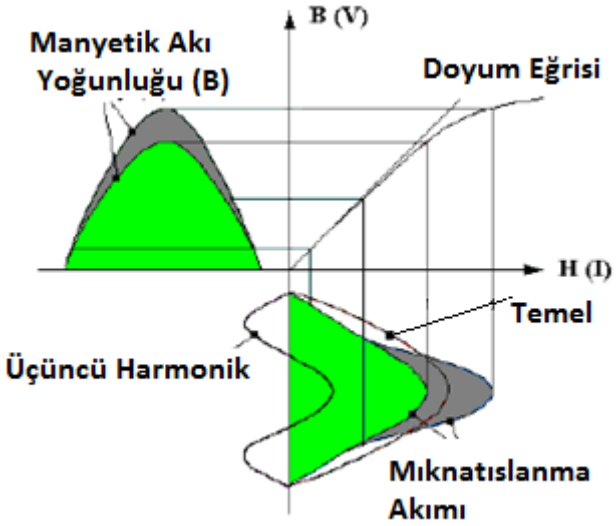
- Akım düşüşlerinin nedeni aktif ve reaktif güçlerin düşmesindendir. Yine burada da L_2 fazı akımının ve aktif gücünün artışında dengeleme direncinin etkisi vardır.

- Akım ve gerilim harmoniklerinde 3. harmonik yüzünden artış olmuştur. Harmonik oranın artmasından dolayı cosφ ve güç faktöründe düşüşler olmuştur.
- Bara gerilimleri ise EKATY'ne göre 154 kV iletim hattı için müsaade edilen sınırlar içerisindedir.

DC buz eritme devresi devreye girdikten sonra 4.bara parametrelerinde oluşan değişiklikler:

- Burada da filtrelerin bu kısımda olmayışında dolayı aktif ve reaktif güç değerleri normal çalışma koşullarına yakın değerdedir. Bu yüzden çekilen faz akımları da normal değerlere yaklaşmıştır. L_3 fazının akımında normal çalışma koşullarına göre bir miktar düşüş, diğer fazlarda ise yükselmeler görülmüştür. Yükselmelerin nedeni fazlar arası gerilimlerin bir miktar artması ve akım düşüşünün nedeni çekilen reaktif gücün normal çalışma koşullarına göre artmasındandır.
- Bu çalışmada da akım ve gerilim harmoniklerinde 3. harmonik yüzünden artış olmuştur. Harmonik oranın artmasından dolayı cosφ ve güç faktöründe düşüşler olmuştur.
- Bara gerilimleri normaldir ve güç faktörü ve cosφ normal koşullara göre fazla etkilenmemiştir.

Deney sonuçları incelendiğinde en önemli sorun harmonik artışı olarak görülmektedir. Harmonik artışının en önemli nedeni deney düzeneğindeki iletim hattını modellemede kullanılan endüktans çekirdeklerinin manyetik metal malzemeden olmasıdır. Endüktanslardan alternatif akım akarken DC uygulandığında, DC'den dolayı endüktans çekirdekleri doyuma gitmekte ve endüktanslar deney boyunca doyum bölgesinde çalışmak zorunda kalmaktadırlar. Şekil 5.5'de bu durum daha iyi açıklanmaktadır (Liu, 1998).



Şekil 5.5 Manyetik demir çekirdeğin mıknatıslanma eğrisi

Manyetik alanın değeri, çekirdeğin doyum bölgesini aşmadığı sürece manyetik alan yoğunluğunun dalga şeklinde önemli değişiklikler görülmemektedir. Fakat manyetik alanın değeri artar ve trafo, çekirdeğin doyum bölgesinde çalışmaya zorlanırsa bu durumda gerekli akımın dalga şeklinde bozulmalar olur ve şekli sivrileşir. Bu durumda 3. harmonik üretilmektedir. Bozulma daha çok akımda olduğu için akım harmonikleri artmaktadır ve artan akım harmonikleri de gerilimi bozarak gerilim harmoniklerinin artmasına neden olur. 3. harmoniğin artışından dolayı bazı baralarda güç faktörü ve cosφ değerlerinde düşüş ile toplam harmonik bozunum oranında artış meydana gelmiştir. Yapılan deneylerde DC kaynağın harmonik bakımından bozunumu artıran bir etkisinin olmadığı görülmüştür. DC kaynakta kullanılan doğrultucu trafosu 12 darbelidir ve 12 darbeli doğrultucular 11, 13 ve 21 dereceden harmonikler üretmektedir. Yapılan ölçümlerde bu derecelerdeki harmonik bozunum değerleri sıfıra yakın veya sıfır olduğu görülmüştür. Bu yüzden asıl bozunumu 3. harmonik yapmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu tez çalışması, elektrik enerjisinin iletiminde kullanılan havai hatlarda oluşan buz yükünden kaynaklanan arızaları önlemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada, iletken üzerindeki buz yükünün tespiti ve önlenmesi için iki kısımdan oluşan deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Literatürde, iletkenler üzerindeki buz yükünü tespit etmek için birçok yöntem kullanılmıştır. Kullanılacak olan yöntemin, mevcut havai iletim hatlarında ağır tadilatlar gerektirmemesi, maliyetinin yüksek olmaması, buz yükünün sürekli izlenerek anında müdahale yapılabilmesi, buz yükü tespit doğruluğunun yüksek olması gibi gereksinimleri karşılaması gerekmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bu gereksinimleri en iyi karşılayacak yöntemin görüntü işleme olduğuna karar verilmiş ve bu tezde de görüntü işleme yöntemi kullanılmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan buz eritme deneysel çalışmalara başlamadan önce ülkemizde görülen arızaların bölgeleri ve tarihleri tespit edilmiştir. Tespit edilen tarihlerdeki nem ve sıcaklık durumu T.C. Meteoroloji Müdürlüğünün internet sitesinde bulunan arşivlerden temin edilmiştir. Buna göre arızaların daha çok gece, soğuk ve yüksek nemli durumlarda olduğuna karar verilmiştir. Arızaların gece olmasının nedeni ise gece hava sıcaklığının gündüze göre daha düşük olmasıdır. Bu yüzden görüntü işleme yöntemi için karanlık ve yüksek nemden dolayı oluşan aşırı sisli hava şartları göz önünde bulundurulmalıdır. Literatürde görüntü işleme ile yapılan çalışmalarda bu koşullar dikkate alınmamıştır.

Bu çalışmada öncelikle buz yükü şartlarını oluşturmak için özel bir iklimlendirme kabin prototipi yapılarak ve gerçek buz oluşum şartlarına yakın ortam oluşturulmuştur. Buz yükü oluşum hızının gece ve yüksek sisli hava şartlarında arttığı ve eğer buzlu iletken kalınlığı görüntü işleme ile belirlenecekse bu durumun gözardı edilemeyeceği tespit edilmiştir. Karanlık ve yüksek sisli ortamda dış ortam kamerası ile kabin içindeki buzlu iletkenin görüntüsü alınmıştır. Karanlık ve yüksek sis görüntünün netliğini azalttığı için elde edilen görüntüdeki buzlu iletken kalınlığı çoklu eşikleme yöntemleri ve yapay zekâ yöntemlerinin birlikte kullanılması ile belirlenebilmiştir. Kullanılan çoklu eşikleme yöntemleri birer maksimizasyon problemi olduğu için

eşikleme yöntemleri ile yapay zekâ yöntemleri birlikte kullanılarak en uygun eşik seviyesi belirlenmiştir.

5 ayrı yapay zekâ yöntemi ile 2 ayrı çoklu eşikleme yöntemi birleştirilmiş ve böylece 10 farklı yöntem ile buzlu iletkinin kalınlığını tespit etmek için en uygun sonuç aranmıştır. Bu iki yöntem beraber kullanıldığında eşik sayısı fazla artırılırsa bu durumda eşik çakışması hataları oluşmakta veya buzlu iletken kalınlığı gerçek değere göre daha küçük tespit edilmiştir. Tespit doğruluğu ve eşik çakışması hata durumları göz önünde bulundurulduğunda CSA-Otsu yöntemi en uygun sonucu vermiştir. 20 eşikli CSA-Otsu yöntemi ile %99,14 oranında doğrulukla buzlu iletkenin kalınlığı tespit edilmiş ayrıca eşik çakışması hatasıda yok denecek kadar azdır. Diğer yöntemlerin bazıları ile yüksek doğruluk elde edilmiştir. Fakat bunlar CSA-Otsu yöntemini doğrulukta geçememiş, bazıları buzlu iletkenin kalınlığını gerçek değerden daha düşük tespit etmiş ve bazılarında da eşik çakışması hatalarının sayısı fazladır. Bu yüzden CSA-Otsu yöntemi bu çalışma için kullanılmıştır.

İletken üzerindeki buz yükünü gidermede en etkili yöntemlerden birisi iletkeni akımla ısıtma yöntemidir. Bu yöntem literatürde Joule Etkisi Yöntemi olarak geçmekte ve buz yükü gidermede bu yöntem önerilmektedir. Bu yöntemde AC ve DC akım kullanılmaktadır. AC yöntemler kısa devre, endüktif ve kapasitif yük ve yüksek frekanslı akımdır. Kısa devrede elektrik tesislerinde istenmeyen bir durumdur. Kısa devre esnasında kaynak ve hat zarar görebilir. Ayrıca kısa devre ile buz yükü eritmede tüketicilerin enerjisi kesilmektedir. Bu yüzden kısa devre ile buz eritme önerilmez. Yüksek frekanslı akım yöntemi de hattın kapasitansı yüzünden uzun iletim hatları için uygun değildir. Endüktif ve kapasitif yöntemlerde de reaktif akımdan dolayı güç kalitesi olumsuz etkilenebilmektedir. Bu yüzden DC yöntem son zamanlarda çoğu uygulamada tercih edilmiştir. Ayrıca DC sistemde kullanılan kaynak kapasitesi AC sisteme göre daha küçüktür.

DC sistemde akımın gidiş ve dönüş yolu hattın faz iletkenleri ile sağlandığından dolayı iki fazın kısa devre edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden buz eritme esnasında tüketicilerin enerjileri kesilmektedir. Buz yükünün ne zaman oluşacağı belli olmadığından dolayı bu enerji kesme işlemi tüketicilerden habersiz gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden sanayi tesisleri, hastaneler gibi enerjiye sürekli ihtiyaç duyan tüketiciler için büyük sorunlar oluşmaktadır. Bu tezde buz yükünü gidermek için DC yöntem tercih edilmiştir. DC yöntemin en büyük dezavantajı olan tüketicilerin enerjisi kesme işlemi tasarlanan buz çözme devresi ile çözülmüştür. Yani

DC akım ile buz eritmenin tüm üstünlükleri tasarlanan devre ile kullanılmış ve buz eritme esnasında da tüketicilerin enerji sürekliliği sağlanmıştır. Tasarlanan devrenin denemelerini yapmak için gerçek bir iletim hattının kullanımı tüketiciler için olumsuz sonuçlara neden olabilir. Bu yüzden iletim hattı ile buz eritme devresinin denemeleri için iletim hattı modeli oluşturularak deney seti yapılmış ve deneyler bu set üzerinde gerçekleştirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken hususlar DC buz eritme devresi devreye alındığında baraların gerilimlerin sınır gerilimi aşmaması, kaynak ve yük baralarının parametre değerlerinin DC buz eritme devresinden aşırı derecede etkilenmemesini sağlamaktır.

Deneyler 154 kV seviyesinde ikili demet iletkenli 954 MCM (2x954 MCM) iletim hattı ve üçlü demet iletkenli 954 MCM (3x954MCM) iletim hattı için yapılmıştır. Deneyler esnasında deney setinin akım ve gerilimi gerçek hatta göre 1000:1 oranında küçültülmüştür. DC buz eritme devresi devreye alınınca 2x954 MCM iletkenli hatta en yüksek bara gerilimi 161,4 V ve 3x954 MCM iletkenli hatta en yüksek bara gerilimi 156,8 V olarak ölçülmüştür. Bu değerler 1000:1 oranında küçültülmüş olduğu için geçekte sıra ile 161,4 kV ve 156,8 kV seviyelerindedir. Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğine göre 154 kV hatlar için sınır gerilim 170 kV olarak belirlenmiştir. Buna göre DC sistem devreye girdiğinde bara gerilimlerinde sorun oluşturacak bir durum görünmemektedir. Ayrıca hat iletkenlerinin akımları incelendiğinde, akım değerleri artmış fakat iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri aşılmamıştır. Bazı baraların da güç faktörleri, harmonik bozunum oranları ve cosφ değerleri olumsuz etkilenmiştir. Harmonik bozunum oranlarının artma nedeni 3. harmoniğin artmasından kaynaklanmaktadır. 3. harmoniğin artma nedeni ise DC'den dolayı endüktans çekirdeklerinin doyuma gitmesidir. Bu durum ayrıca güç faktörü ve cosφ'nin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Gerçek iletim hattında endüktanslar hava çekirdekli olduğu için doyum olmayacak ve harmonik artışı da olmayacaktır.

Akımdaki artışın, cosφ ve güç faktörü değerlerinde ise düşüşün nedenlerinden biri kullanılan filtrelerdeki küçük rezonans kaymalarıdır. AC filtre olarak kullanılan paralel rezonans filtrelerinde olan küçük bir kayma filtre empedansını düşürmekte ve çekilen AC'yi artırmaktadır. Bu durumda çekilen aktif ve reaktif güç de arttığı için cosφ ve güç faktörü düşmektedir. Kaynak ve yük baralarındaki parametrlerin değişimi aşırı olmadığından dolayı önemli sorunların oluşmadığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak bu tezde önerilen buz yükü tespit yöntemi ve buz yükü eritme devresinin iletim hatları için gerçekçi olduğu uygulamalar ile gösterilmiştir.

6.2 Öneriler

Görüntü işleme ile buz yükü tespiti hem mevcut kullanılan hem de yeni yapılacak olan havai iletim hatları için uygulaması kolay ve maliyeti düşük bir yöntemdir. Ayrıca görüntü işleme ile iletim hattı sürekli izlenerek buz yüküne anında müdahale yapılabilir. Buz tez sonunda denenen yöntemler içinde en uygun sonuca sahip yöntem CSA-Otsu yöntemi olarak belirlenmiştir. Bu yöntem ile en büyük sorun olan karanlık ve aşırı sisli ortamda %99,14 doğrulukla buzlu iletken kalınlığı tespit edilmiştir. Bu doğruluk oranı ile gerçek durum arasında, buz eritme süresi üzerinde yaklaşık olarak 4,2 saniye fark gibi çok kısa bir süre hesaplanmıştır. Ayrıca diğer bir sorun olan eşik çakışma sorunu bu yöntemde diğer yöntemlere göre azdır. Bu yüzden buz yükü tespit çalışmalarında 20 eşikli CSA-Otsu Yöntemi önerilmektedir.

Buz yükü eritme için literatürde ve uygulamada akımla buz eritme yöntemleri kullanılmakta ve genellikle DC yöntem önerilmektedir. Bu çalışmada DC buz eritici devre ile buz eritme önerilmektedir. DC ile buz eritmenin en önemli sorunu olan buz eritme esnasında tüketicilerin enerjilerinin kesilmesi tasarlanan devre ile çözülmüştür. Bu devrenin iletim hatlarına etkisi laboratuvar koşullarında denenmiş ve bazı sorunlarla karşılaşılmıştır. Bu sorunlardan birincisi yüksek harmonik bozunum oranıdır. Harmonik bozunum oranını en çok etkileyen 3. harmoniktir. 3. harmoniğin ise doyuma giden endüktans çekirdeklerinden dolayı olduğu daha önce belirtilmiş ve açıklanmıştır. Gerçek iletim hattının endüktansları hava çekirdekli olduğu için 3.harmonik bozunumu çok az olacak veya hiç olmayacaktır. Laboratuvar ortamında daha gerçekçi sonuçlar elde edilmek isteniyorsa kullanılan endüktanslar hava çekirdekli yapılabilir. Bu durumda endüktansların boyutu akım değerlerine göre çok büyük olabileceği için deney düzeneğine geniş bir yer ayrılması gerekir. Deneylerde karşılaşılan diğer sorunlar ise akım artışı, cosφ ve güç faktörünün düşüşüdür. Bunların nedeni AC filtre için kullanılan paralel rezonans filtrelerinin rezonans noktasında olan hafif kaymalardır. Eğer filtrelerin rezonans noktaları tam 50 Hz frekansına odaklanırsa bu sorunlarda ortadan kalkacaktır. Devrenin bu halde bile gerçek hatlarda kullanılması çok büyük sorunlar oluşturmayabilir. Çünkü buz eritme süresi çok kısadır ve buz eridikten sonra sistem kesiciler vasıtası ile devreden çıkarılacaktır.

KAYNAKLAR

Akay, B., 2013, A Study on Particle Swarm Optimization and Artificial Bee Colony Algorithms for Multilevel Thresholding. Elsevier Applied Soft Computing, 13(6), 3066–3091.

Akbal, B. and Ürkmez, A., 2012, Clonal Selection Algorithm to Reduce Parallel Resonance Effect in Electrical Networks, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, Trabzon, Turkey, 1-5.

Akbal, B. and Ürkmez, A., 2012, Detection of the Most Suitable Method to Estimate Short-Circuit Parameter's Values of the Electric Facility, 9th International Conference On Electronics, Computer And Computation, Ankara, Turkey, 202-206.

Akbal, B. and Ürkmez A., 2013, PSO and Inertia Weight to Determine Parallel Resonance Power in Electrical Networks, 5th edition of the International Conference Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI 2013), Pitesti, Romania, 13-18.

Akbal, B. and Ürkmez A., 2013, PSO and CSA to Estimate of Parameter in Power Line, 5th edition of the International Conference Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI 2013), Pitesti, Romania, 1-6.

Akbal, B. and Ürkmez A., 2013, Genetic Algorithm to Solve Electrical Network Problems, 10th International Conference On Electronics, Computer And Computation, Ankara, Turkey, 235-238.

Akbal, B. and Aydın, M., 2014, Usage of GA with Multilevel Thresholding to Detect Ice Thickness of Iced Conductor, AASRC 9th INTERNATIONAL Conference On "Innovative Trends inManagement, Information, Technologies, Computing and Engineering to tackle A Competitive Global Environment", İstanbul, Turkey, 103-108.

Akbal, B. and Aydın, M., 2014, Comparison of PSO-Kapur and DE-Kapur Methods to Determine Ice Load on Aerial Lines, ECAI 2014 - International Conference 6th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence, Bucharest, ROMÂNIA, 23-27.

Akbal, B. and Aydın, M., 2014, CSA-Kapur Method to Determine Ice Load Amount on Electric Transmission Line Conductors, ECAI 2014 - International Conference 6th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence, Bucharest, ROMÂNIA, 19-22.

Akbal, B. and Aydın, M., 2014, Determining of Iced Conductor Thickness Using CSA-Kapur and GA- Kapur Methods, 2014 International Conference on Trends in Computer Science, IT and Civil Engineering (TCSICE-2014), Antalya, Turkey, 1-5.

Akbal, B. and Aydın, M., 2014, DE-Otsu Method to Eliminate Ice Load Effect, Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 4(7S), 423-427.

Akbal, B. and Aydın, M., 2014, Multilevel Threshold and PSO for Ice Load Detection on Aerial Lines, Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 4(7S), 50-55.

Anonıim, 2000, Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 12-16.

Arı, M., 2012, 154/380 kV Enetji İletim Hatları Proje Uygulamaları, Karaca Tan. Hiz. Matbaacılık Kağ. Tic. Ltd. Şti., Ankara, 119-125.

Aydin, I., Karakose, M. and Akin, E., 2009, The Fault Diagnosis Model Based On Artificial Immune System Using Genetic Algorithm, Dokuz Eylül University Journal of Engineering Sciences, 11, 58-72.

Bhattacharya, S., Xi, Z., Fardenesh, B. and Uzunovic, E., 2008, Control Reconfiguration of VSC Based STATCOM for De-icer Application, 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, 1-7.

Baliberdin, L.L., Kozlova, M.A. and Shershnev, Y.A., 2005, Model Group of Controlled Installation for Melting Ice on Transmission Line Conductors, 2005 IEEE Russia Power Tech, St. Petersburg, 1-5.

Cloutier, R., Bergeron, A. and Brochu, J., 2007, On-Load Network De-Icer Specification for a Large Transmission Network, IEEE Transactions on Power Delivery, 22(3), 1947-1954.

Cheng-Zhong, Q. and Yue-Jun, L., 2012, De-icing Method for Coupled Transmission Tower-Line System, 2012 International Conference on Future Electrical Power and Energy System, Los Angeles, CA, USA, 1383-1389.

Davies, V. L., Pierre, L. C. ST.,Ice-Melting and Prevention Practices on Transmission Lines, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, DOI:10.1109/AIEEPAS.1952.4498515, 593-597, 1952

Dengiz, H. H., 1991, Enerji Hatları Mühendisliği, Kardeş Kitabevi, Ankara, 25-31.

Elíasson, Á. J. and Thorsteins, E., 2007, Ice load measurements in test spans for 30 years, the 12th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS), Yokohama City, Japan, 1-6.

Fan, S., Jiang, X., Shu, L., He, P., Liu, P. and Nie, H., 2011, DC Ice-Melting Model for Elliptic Glaze Iced Conductor, IEEE Transactions on Power Delivery, 26(4), 2697-2704.

Fan, S., Jiang, X., Sun, C., Zhang, Z. and Shu, L., 2011, Temperature characteristic of DC ice-melting conductor, Cold Regions Science and Technology, 65(1), 29–38.

Fekr, M. R. and McClure, G., 1998, Numerical modelling of the dynamic response of ice-shedding on electrical transmission lines, Atmospheric Research, 46(1–2), 1–11.

Fengli, Y., Jingbo, Y., Junke H. and Dongjie, F., 2009, Numerical Simulation on The HV Transmission Tower-Line System under The Ice Shedding, Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, Seoul, 1-5.

Guanghui, C., Sheng, S., Mingming, L. and Daifeng C., 2009, Novel Deicing Approach of Overhead Bundled Conductors of EHV Transmission Systems, IEEE Transactions on Power Delivery, 24(3), 11745-1747.

Haldar, A., 2007, Twenty Years of Ice Monitoring Experience On Overhead Lines In Newfoundland and Labrador, the 12th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures (IWAIS), Yokohama City, Japan, 1-8.

He, C., Liu, J. and Zhang, X., 2008, Research of Rapid Parallel Operation, Automatic Icemeltingon Transmission Lines, Static VAR &Compound System, 2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application, Chongqing, China, 128-133.

Horwill, C., Davidson, C. C., Granger, M. and Déry, A., 2006, An Application of HVDC to the de-icing of Transmission Lines, 2005/2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Dallas, 529- 534.

Hou, J., Li, Y. and Sun, Z., 2012, Unbalanced Tensions and Vertical Space Calculation of Tranmission Lines under Non-uniform Ice-coating and Ice- Shedding, Energy Procedia, 17, 1034-1042.

Huang, Q., Chen, Y., and Zhang, C., 2009, Design of an Adaptive On-load De-icing Scheme for Overhead Power Transmission Line, PES '09 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Calgary, AB, 1-5.

Huneault, M., Langheit, C. and Caron, J., 2005, Combined Models for Glaze Ice Accretion and De-Icing of Current-Carrying Electrical Conductors, IEEE Transactions on Power Delivery, 20(2), 1611-1616.

Huneault, M., Langheit, C., R. Arnaud, St., Benny, J., Audet. J. C. and Richard, J., 2005, A Dynamic Programming Methodology to Develop De-Icing Strategies During Ice Storms by Channeling Load Currents in Transmission Networks, IEEE Transactions on Power Delivery, 20(2), 1604-1610.

Jiang, X., Fan, S., Zhang, Z., Sun, C. and Shu, L., 2010, Simulation and Experimental Investigation of DC Ice-Melting Process on an Iced Conductor, IEEE Transactions on Power Delivery, 25(2), 1919-1928.

Jiazheng, L., Jing, L., Hongxian, Z. and Bo, L., 2011, An Image Recognition Algorithm Based On Thickness Of Ice Cover Of Transmission Line, International Conference on Image Analysis and Signal Processing, Hubei, 210-213.

Juanjuan, W., Chuang, F., Yiping, C., Hong, R., Shukai, X., Tao, Y. and Licheng, L., 2012, Research and Application of DC De–Icing Technology in China Southern Power Grid, IEEE Transactions on Power Delivery, 27(3), 1234-1242.

Knight, D. W., 2009, *The RMS Average* [online], http://www.g3ynh.info/zdocs/AC_theory/RMS.pdf [Ziyaret Tarihi: 06 Mart 2014].

Li, K., Du, L. and Han, W., 2011, Icing Analysis of Transmission Lines Considering the Current Heat, 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Wuhan, China, 1-4.

Liu, Y. and Wang, Z., 1998, Modeling of Harmonic Sources Magnetic Core Saturation, Virginia Tech, Blacksburg, VA, 24061-0111.

Liu, H., Tang, W., Ma, X. and Gu, X., 2008, Study on the Expert System of Overhead Lines Icing and Icing Melting, ISKE 2008 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering, Xiamen, 103-107.

Liu, G., Zhao, X., Chen, Y., Jiang, S., Wang, D. and Liu, Z., 2009, A De-icing Method of Electric Transmission Line by Adjusting Load Based on Controllable Inductor and Capacitor Compensation, 2009 IEEE Bucharest Power Tech Conference, Bucharest, Romania, 1-5.

Liu G., Zhao X., Lehtonen M., Isa M., Chen Y., Jiang S., and Liu Z., 2009, An Overhead Transmission Line Temperature-rising Method and Experiment Based on Parallel Capacitor Compensating Reactive Power Source, APPEEC 2009 Power and Energy Engineering Conference, Asia-Pacific, 1-5.

Liu, G., Peng, H., Lehtonen, M., Degefa, M., Chen, Y., Jiang, S., Sun, L. and Wang, D., 2010, De-icing Schemes and Operations for Overhead Power Line Based on Shunt Capacitor Over-compensation Method, 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering, Wuhan, China, 3525-3528.

Lv, X. and He, Q., 2011, Analysis of Dicing Techniques and Methods of Overhead Transmission Line, Procedia Engineering, 15, 1135–1139.

Liu, Y., Qu, C. and Tang, A., 2011, Numerical Simulation on De-icing Method for Coupled Transmission Tower-line System, 2011 International Conference on Multimedia Technology (ICMT), Hangzhou,1625-1628.

Ma, G., Li, C., Jiang, J., Quan, J. and Cheng, Y., 2010, Design of Fiber Bragg Grating Load Sensor used in Ice Monitoring on Overhead Transmission Lines, 2010 International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), New Orleans, LA, 684- 687.

Marshall, M. A., Nugent, W. J., Hemeon, B. C. and Haldar, A. K., 1994, Applying MATLAB and C to Monitor Wind and Ice Loads on a Test Transmission Line,

1994 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Halifax, NS, 159-164.

McCurdy, J. D., Sullivan, C. R. and Petrenko, V. F., 2001, Using Dielectric Losses to De-Ice PowerTransmission Lines with 100 kHz High-Voltage Excitation, Thirty-Sixth IAS Annual Meeting Conference Record of the 2001 IEEE Industry Applications Conference, Chicago, IL, USA, 2515- 2519.

Morgan, V. T., and Swift, D. A., 1965, Effect of ice loads on overhead-line conductors, Electronics and Power, 11(1), 22- 23.

Moser, M. J., Bretterklieber, T., Zang, H. L. and Brasseur G., 2010, Capacitive Icing Measurement in a 220 kV Overhead Power Line Environment, 2010 IEEE Sensors, Kona, HI, 1754 - 1758.

Moser, M. J., Bretterklieber, T., Zangl, H. and Brasseur, G., 2011, Strong and Weak Electric Field Interfering: Capacitive Icing Detection and Capacitive Energy Harvesting on a 220-kV High-Voltage Overhead Power Line, IEEE Transactions on Power Delivery, 58(7), 2597-2604.

Ni, X., Zhao, J. and Sun, K., 2009, Research on Frequency Characteristics of the Overhead Line Parameters, APPEEC 2009 Power and Energy Engineering Conference, Asia-Pacific, 1-5.

Otsu, N., 1979, A threshold selection method from gray-level histograms, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 9(1), 62-66.

Peng, L., Qima, L. O., Min, C., Shangfei, G.A.O. and Haiyan H., 2011, Time Series Prediction for Icing Process of Overhead Power Transmission Line Based on BP Neural Networks, Proceedings of the 30th Chinese Control Conference, Yantai, China, 5315-5318.

Pe´ter, Zs., Volat, C., Farzaneh, M. and Kiss, L.I., 2008, Numerical investigations of a new thermal de-icing method for overhead conductors based on high current impulses , IET Generation, Transmission & Distribution, 2(5), 666–675.

P.K. Sahoo, J.N. Kapur, A.K.C. Wong, A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram, Computer Vision Graphics Image Processing 29 (1985) 273–285.

Pytlaka, P., Musileka, P., Lozowskib, E. and Tothc, J., 2011, Modelling precipitation cooling of overhead conductors, Electric Power Systems Research, 81, 2147–2154.

Rashedi, E., Nezamabadi, H. and Saryazdi, S., 2009, GSA: A Gravitational Search Algorithm, Information Sciences, 179, 2232–2248.

Runhai, J., Bin L. and Yuancheng, L., 2010, Detection of Cladding Ice on Transmission LineBased on SVM and Mathematical Morphology, 2010 3rd

International Congress on Image and Signal Processing (CISP), Yantai, 1624-1628.

Sadov, S. Yu., Shivakumar, P. N., Firsov, D., Lui, S. H. and Thulasiram R., 2006, Mathematical Model of Ice Melting on Transmission Lines, Journal of Mathematical Modelling and Algorithms, 6(2), 273-286.

Sorokin, V. M. and Dorozhko, L. I., 2011, The Prevention of The Formation of Glazed Frost on An Overhead Transmission Line Without Disconnecting The Line, Power Technology and Engineering, 44(6), 498-501.

Sun, F. and Tian, Y., 2010, Transmission Line Image Segmentation Based GA and PSO Hybrid Algorithm, International Conference on Computational and Information Sciences, Chengdu, 677-680.

Ting, X., Daozhuo, J., Jie, G., Gang, S. and Qian, Z., 2010, Analyzing a novel controllable rectifier type SVC and de-icing device's impact on the transient stability of power system, 2010 International Conference on Power System Technology (POWERCON), Hangzhou, 1-8.

Wancheng, X., 2012, Monitoring System of Power Line Icing Based on GPRS, 2012 International Conference on Medical Physics and Biomedical Engineering, Qingdao, China, 705 – 711.

Wang, X., Hu, J., Wu, B., Du, L. and Sun, W., 2008, Study on Edge Extraction Methods for Image-based Icing On-line Monitoring on Overhead Transmission Lines, International Conference on High Voltage Engineering and Application, Chongqing-China, 661-665.

Wang, C., Wen, J., Li, S., Ma, X. and Wang, J., 2010, Design on DC De-icing Schemes for High Voltage Transmission Line, 2010 5th International Conference on Critical Infrastructure (CRIS), Beijing, 1-5.

Yunqing, B., Kongjun, Z. and Ke, Z., 2006, The Research of DC Deicing Technology in Power Line, PowerCon 2006 International Conference on Power System Technology, Chongqing, 1-7.

Xiaoming, L., Junjie, H., Xin, S. and Shiqi, L., 2009, Anti-icing Method Based Synchronous OLTC Technology in Transmission Lines, APPEEC 2009 Power and Energy Engineering Conference, Asia-Pacific, 1-5.

Xin, G. and Xiaoguang, H., 2009, On-line Monitoring Method and Observation System of Transmission Line Icing, 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Xian-China, 1265-1269.

Xinbo, H., Qindong, S. and Jianguo, D., 2008, An On-line Monitoring System of Transmission Line Conductor De-icing, 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Singapore, 891- 896.

Xingliang, J. and Songhai, F., 2010, DC Ice-melting Model for Elliptic Glaze Iced Conductor, IEEE Transactions on Power Delivery, 26(4), 2697-2704.

Yan-zhong, J., Qing-lian, X. and Hua, L., 2009, Failure Analysis of Transmission Tower Under The Effect of Ice-covered Power Transmission Line, ICISE '09 Proceedings of the 2009 First IEEE International Conference on Information Science and Engineering, Nanjing , 4301-4304.

Yang, J., Zhu, K. and Liu, B., 2011, Conceptual Design of a Novel De-icing Device for Power Transmission Lines, 2011 IEEE Power Engineering and Automation Conference (PEAM), Wuhan, 457- 459.

Zhang, G., Chen, S., Xu, S., Luo, B. and Zhao Y., 2010, Application and research of laser de-icing in power system, 2010 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC), Atlanta, GA, 470- 473.

Zhao, J., Guo, R., Cao, L. and Zhang F., 2010, Improvement of LineROVer: A mobile Robot for De-icing of Transmission Lines, 2010 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry Delta Centre-Ville Montréal, Canada, 1-4.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bahadır AKBAL
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Kahramanmaraş/Elbistan 24.07.1983
Telefon : 05384516636
Faks : 03322410635
e-mail : bakbal@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**Aksaray Lisesi, Merkez, Aksaray**	**2000**
Üniversite	:	**İnönü Üniversitesi, Merkez, Malatya**	**2006**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya**	**2011**
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2007-2011	**Koçak Mühendislik**	**Mühendis**
2011-…	**Selçuk Üniversitesi**	**Araştırma Görevlisi**

UZMANLIK ALANI

Elektrik Üretimi, Dağıtımı, İletimi, Yüksek Gerilim, Optimizasyon Yöntemleri, Endüstriyel Otomasyon.

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

SCI ve SCI-Expanded Yayınlar

B.Akbal, A.Ürkmez "The parallel resonance impedance detection method for parameter estimation of power line and transformer by using CSA, GA and PSO" Turkish Journal of Electrical Engineering &Computer Sciences, accepted for publishing, DOI: 10.3906/elk-1305-114, 2013. (Yüksek lisans tezinden)

B.Akbal, M. Aydın “Practical Studies of Novel Methods to Eliminate Ice Load Effect for 2x1272 MCM 154 kV Transmission Lines” IET Generation, Transmission & Distribution. Hakem değerlendirmesinde. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M. Aydın “Multilevel thresholding and artificial intelligence methods to determine the iced conductor thickness in the real air conditions” Turkish Journal of Electrical Engineering &Computer Sciences. Hakem değerlendirmesinde. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M. Aydın “Applications of New Method for Determination and New Schema for Elimination of Ice Load of Transmission Lines” International Journal of Electrical Power & Energy Systems. Hakem değerlendirmesinde. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M. Aydın “Experimental Applications of Novel Methods for Determination and Elimination of Ice Load in 154 kV 2x954 MCM Transmission Lines” Electric Power Components and Systems. Hakem değerlendirmesinde. (Doktora tezinden)

Diğer Hakemli Dergi Yayınları

B.Akbal, M.Aydın “Usage of GA with Multilevel Thresholding to DetectIce Thickness of Iced Conductor” American Academic & Scholarly Research Journal, Vol. 6, No. 4, July 2014. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M.Aydın “Multilevel Threshold and PSO for Ice Load Detection on Aerial Lines” J. Appl. Environ. Biol. Sci, 4(7S)50-55, 2014. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M.Aydın “DE-Otsu Method to Eliminate Ice Load Effect” J. Appl. Environ. Biol. Sci, 4(7S)423-427, 2014. (Doktora tezinden)

Uluslararası Konferans Bildirileri

B.Akbal, A. Ürkmez " Clonal Selection Algorithm to Reduce Parallel Resonance Effect in Electrical Networks" INISTA 2012, Trabzon, Turkey, 2012. (Yüksek lisans tezinden)

B.Akbal, A. Ürkmez , "Detection of the Most Suitable Method to Estimate Short-Circuit Parameter's Values of the Electric Facility," ICECCO’12, Ankara, Turkey, 2012. (Yüksek lisans tezinden)

B.Akbal, A. Ürkmez " PSO and Inertia Weight to Determine Parallel Resonance Power in Electrical Networks" ECAI’13, Pitesti, Romania, 2013. (Yüksek lisans tezinden)

B.Akbal, A. Ürkmez " PSO and CSA to Estimate of Parameter in Power Line"ECAI’13, Pitesti, Romania, 2013. (Yüksek lisans tezinden)

B.Akbal, A. Ürkmez ” Genetic Algorithm to Solve Electrical Network Problems” in Proc. ICECCO’13, Ankara, Turkey, 2013. (Yüksek lisans tezinden)

B.Akbal, M. Aydın ” Determining of Iced Conductor Thickness Using CSA-Kapur and GA- Kapur Methods” in Proc. TCSICE-2014, Antalya, Turkey, 2014. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M. Aydın ” CSA-Kapur Method to Determine Ice Load Amount on Electric Transmission Line Conductors” in Proc. ECAI-2014, Bucharest, Romania, 2014. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M. Aydın ” Comparison of PSO-Kapur and DE-Kapur Methods to Determine Ice Load on Aerial Lines” in Proc. ECAI-2014, Bucharest, Romania, 2014. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M. Aydın ” GSA-Kapur Method for The Iced Conductor Thickness Determination Studies” in Proc. INISTA 2015, Madrid, Spain, 2015. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M.Aydın “Usage of GA with Multilevel Thresholding to DetectIce Thickness of Iced Conductor” in Proc.ITMICE 2014, İstanbul, Turkey, 2014

B.Akbal, M.Aydın “Multilevel Threshold and PSO for Ice Load Detection on Aerial Lines” in Proc. ICCSS 2014, Rize, Turkey, 2014. (Doktora tezinden)

B.Akbal, M.Aydın “DE-Otsu Method to Eliminate Ice Load Effect” in Proc. ICCSS 2014, Rize, Turkey, 2014. (Doktora tezinden)