

TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
ADANA ŞUBESİ



# VIII. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI SEMPOZYUMU

## BİLDİRİLER KİTABI

<http://yeksem.emo.org.tr>



TMMOB  
ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
ADANA ŞUBESİ



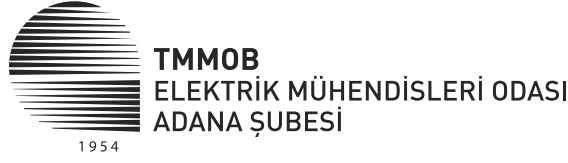


# **VIII. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI SEMPOZYUMU**

15-16 Ekim 2015 | Adana | Çukurova Üniversitesi Mithat Özsan Amfisi

## **BİLDİRİLER KİTABI**

Adana | 2015



## **VIII. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI SEMPOZYUMU BİLDİRİLER KİTABI**

**ISBN: 978-605-01-0765-4**  
**EMO YAYIN NO: SK/2015/610**

**TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI ADANA ŞUBESİ**  
Reşatbey Mh. Adalet Cd. No:35/C Asmakat Seyhan / ADANA  
Tel : 0322 4583838 Faks : 0322 4582450  
E-posta : adana@emo.org.tr  
Web:http://adana.emo.org.tr

**Editör:**  
**Mehmet MAK**  
**Önder MERT**  
**Neslihan YEŞİL**

Bu kitabın bütün hakları Elektrik Mühendisleri Odası  
Adana Şubesi'ne aittir. İzin alınmadan basılamaz, çoğaltılamaz.

**Baskı&Mizampaj:**  
**ulusoymatbaa**  
0322 432 22 32

## YÜRÜTME KURULU

|                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| Mehmet MAK                   | EMO Adana Şube Yön. Kur. Bşk. |
| Yrd. Doç. Dr. İrfan ŞENLİK   | EMO Merkez                    |
| Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY | İstanbul Teknik Üniversitesi  |
| Prof. Dr. Turgut İKİZ        | Çukurova Üniversitesi         |
| Doç. Dr. Yakup HAMEŞ         | Mustafa Kemal Üniversitesi    |
| İlhan YILDIRIM               | EMO Adana Şubesi              |
| İ. Efdal ÇİÇEKDEMİR          | EMO Adana Şubesi              |
| Barış Cem ÖZDOĞAN            | EMO Adana Şubesi              |
| Derya OLPAK KADEŞ            | EMO Adana Şubesi              |
| Önder MERT                   | EMO Adana Şubesi              |
| Neslihan YEŞİL               | EMO Adana Şb. Semp. Sek.      |

## BİLİM KURULU

|                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY  | İstanbul Teknik Üniversitesi     |
| Prof. Dr. Turgut İKİZ         | Çukurova Üniversitesi            |
| Prof. Dr. Güven ÖNBİLGİN      | Ondokuz Mayıs Üniversitesi       |
| Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ  | İnönü Üniversitesi               |
| Doç. Dr. Yakup HAMEŞ          | Mustafa Kemal Üniversitesi       |
| Yrd. Doç. Dr. İrfan ŞENLİK    | EMO Merkez                       |
| Yrd. Doç. Dr. Hacer ŞEKERCİ   | Yaşar Üniversitesi               |
| Yrd. Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ     | Dicle Üniversitesi               |
| Yrd. Doç. Dr. Muammer ÖZDEMİR | Ondokuz Mayıs Üniversitesi       |
| Yrd. Doç. Dr. Zehan KESİLMİŞ  | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi |
| Yrd. Doç. Dr. Alkan ALKAYA    | Mersin Üniversitesi              |

## DÜZENLEME KURULU

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY | İTÜ-Düzenleme Kurulu Başkanı |
| Neriman USTA                 | TMMOB Yönetim Kurulu         |
| Cengiz GÖLTAŞ                | TMMOB Yüksek Onur Kurulu     |
| Hüseyin YEŞİL                | EMO Merkez                   |
| Bahadır ACAR                 | EMO Merkez                   |
| Hüseyin ÖNDER                | EMO Merkez                   |
| İrfan ŞENLİK                 | EMO Merkez                   |
| Erdal APAÇIK                 | EMO Merkez                   |
| İbrahim AKSÖZ                | EMO Merkez                   |
| Abdullah BÜYÜKİŞIKLAR        | EMO Merkez                   |
| H. Suat TÜRKER               | EMO Merkez                   |
| Mustafa DEMİRÖREN            | EMO Merkez                   |
| Tuncay ÖZKUL                 | EMO Merkez                   |
| Gıyasi GÜNGÖR                | EMO Merkez                   |
| B. Kemal ULUSALER            | EMO Merkez                   |
| Musa ÇEÇEN                   | EMO Merkez                   |
| N. Bülent DAMAR              | EMO Merkez                   |
| Teoman ALPTÜRK               | EMO Merkez                   |
| Hamza KOÇ                    | EMO Merkez                   |
| Emre METİN                   | EMO Merkez                   |
| Mehmet MAK                   | EMO Adana Şubesi             |
| İlhan YILDIRIM               | EMO Adana Şubesi             |
| Barış Cem ÖZDOĞAN            | EMO Adana Şubesi             |
| İ. Efdal ÇİÇEKDEMİR          | EMO Adana Şubesi             |
| Derya OLPAK KADEŞ            | EMO Adana Şubesi             |
| Bilal TANBUROĞLU             | EMO Adana Şubesi             |
| Sayim ERGÜL                  | EMO Adana Şubesi             |
| Ali DORAN                    | EMO Adana Şubesi             |
| Ali ERASLAN                  | EMO Adana Şubesi             |
| Bülent BOZDOĞAN              | EMO Adana Şubesi             |
| Ömer ÇELİK                   | EMO Adana Şubesi             |
| Kenan SIKIK                  | EMO Adana Şubesi             |
| Önder MERT                   | EMO Adana Şubesi             |
| Gökhan HÜZMELİ               | EMO Ankara Şubesi            |
| İlhan METİN                  | EMO Antalya Şubesi           |
| İbrahim KÜCÜ                 | EMO Antalya Şubesi           |
| Eda YENİGÜL                  | EMO Bursa Şubesi             |
| Abdullah ŞAVKLI              | EMO Denizli Şubesi           |
| Arif DÖNMEZ                  | EMO Denizli Şubesi           |

## DÜZENLEME KURULU

Ferhat ÇIRA  
Bülent DEMİRCAN  
İslim ARIKAN  
Nahit ESER  
Beyza METİN  
Mahir ULUTAŞ  
Serkan TOPAL  
Seyfettin ATAR  
Yrd. Doç. Dr. Alkan ALKAYA  
Mehmet ÖZDAĞ  
Doç. Dr. H. İbrahim OKUMUŞ  
Tuncay DEĞERMENCİ  
Mert GİRGEN  
Volkan ENGİN  
Eren TÜMER  
Recep NARİNOĞLU  
Prof. Dr. Turgut İKİZ  
Prof. Dr. Arif NACAROĞLU  
Doç. Dr. Yakup HAMEŞ  
Yrd. Doç. Dr. Hacer ŞEKERCİ  
Yrd. Doç. Dr. Zehan KESİLMİŞ  
Yrd. Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ  
Yrd. Doç. Dr. Muammer ÖZDEMİR  
Arş. Gör. Hatice Başak YILDIRIM  
Aydın GÜLER  
Çiğdem ÖZELPINAR  
Murat ÖZÜ  
Mehmet KAYACI  
Alkan Kutluhan ÜNÜVAR  
Gökhan GÜLŞEN  
İsmail ALP  
Nuh KAR  
Serdar TABAKOĞLU  
Mansur Zafer TOPALOĞLU  
Yaşar GÖKOĞLU  
Murat Ozan HANKAŞ

EMO Diyarbakır Şubesi  
EMO Eskişehir Şubesi  
EMO Gaziantep Şubesi  
EMO Gaziantep Şubesi  
EMO İstanbul Şubesi  
EMO İzmir Şubesi  
EMO Kocaeli Şubesi  
EMO Mersin Şubesi  
EMO Mersin Şubesi  
EMO Samsun Şubesi  
EMO Trabzon Şubesi  
EMO Trabzon Şubesi  
EMO Kıbrıs  
İMO Adana Şubesi  
Mimarlar Odası Adana Şubesi  
Adana Sanayi Odası  
Çukurova Üniversitesi  
Gaziantep Üniversitesi  
Mustafa Kemal Üniversitesi  
Yaşar Üniversitesi  
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi  
Dicle Üniversitesi  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi  
EÜAŞ  
TEİAŞ  
TEDAŞ  
Toroslar EDAŞ  
Akenerji  
Beta Transformatör  
Ezinç A.Ş.  
Solitek Mühendislik  
SP Enerji  
Zahit Alüminyum  
Adana NKP  
Çukurova Belediyesi  
Seyhan Belediyesi  
Arsuz Belediyesi

## DÜZENLEYEN KURUMLAR



**TMMOB**  
**ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**ADANA ŞUBESİ**



## SEMPOZYUMA KATKILARINDAN DOLAYI

**SEYHAN BELEDİYESİ**  
**ARSUZ BELEDİYESİ**  
**BEREKET ENERJİ**  
**ZAHİT ENERJİ'ye**

**TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**ADANA ŞUBESİ olarak**  
**TEŞEKKÜR EDERİZ.**

## ÖNSÖZ

VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu'nu (YEKSEM 2015); EMO Adana Şubesi olarak Çukurova ve Mustafa Kemal Üniversitelerinin Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümlerinin desteği ile gerçekleştirmekteyiz.

Günümüzde artan enerji talebi, iklim değişikliği, fosil kaynakların yoğun kullanımı ve yakın gelecekte bu kaynakların tükenecek olması Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve enerji verimliliği konularının önemini artırmıştır. Fosil kaynakların çevreye ve insana verdiği zararlar açıkça bilinmektedir. Bu problemlerin çözümünde, çevre dostu Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı, önemli bir yere sahiptir.

Bu Sempozyumda;

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının kullanımının bilimsel, teknik, ekonomik, toplumsal ve sosyal boyutlarının derinlemesine tartışılması ile önemli sonuçların ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Bu kapsamda akademisyen ve araştırmacıların sunacağı bildiriler ile bu alandaki bilimsel gelişmelerin sektörle buluşması; üretici, sanayici, kurum ve sektör temsilcilerinin sunumları ve tartışmaları ışığında eksik ve hataların giderilerek daha iyi bir regülasyon sağlanması; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını kısıtlayan engellerin kaldırılmasına yönelik çözümlerin belirlenmesi; toplumun bilinçlendirilmesi ve bu kaynakların en etkili ve verimli bir şekilde kullanımının yaygınlaşması hedeflenmektedir.

Sempozyuma bildiri gönderen ve sunan üniversiteler ve diğer kurumlardan katılımcılara, oturum ve panel yöneticilerine, panelistlere, kurullardaki üyelere, sempozyumun gerçekleşmesinde katkı sağlayan ve destekleyen tüm kişi ve kuruluşlara teşekkür eder, saygılar sunarız.

**Mehmet MAK**

Elektrik Mühendisleri Odası  
Adana Şubesi Yönetim Kurulu Başkanı



# İÇİNDEKİLER

## I. OTURUM

ANEMOMETRE KALİBRASYONU İÇİN PROTOTİP RÜZGAR TÜNELİ TASARIMI VE  
PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

**Mehmet KURTOĞLU, Vedat Mehmet KARSLI - Gaziantep Üniversitesi ..... 3-6**

RÜZGAR TÜRBİNLERİ VE ÇİFTLİKLERİ İÇİN ÜÇ BOYUTLU TOPRAKLAMA AĞI TASARIMI

**Semih GÜNDEN, Aytuğ FONT, Özcan KALENDERLİ - İstanbul Teknik Üniversitesi ..... 7-11**

BİLECİK İLİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ANALİZİNDE WEIBULL DAĞILIM PARAMETRELERİNİ  
BELİRLEME METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

**Emrah DOKUR, Mehmet KURBAN, Salim CEYHAN - Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi ..... 13-17**

DEĞİŞKEN-HIZLI RÜZGÂR TÜRBİNİ SİSTEMLERİNİN ÇIKIŞ GÜCÜ HESABI İÇİN  
GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLERİN GEÇERLİLİKLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ

**Ömer TÜRKSOY - İskenderun Teknik Üniversitesi,  
Ulaş EMİNOĞLU - Niğde Üniversitesi ..... 19-23**

KAIMAL SPEKTRUMU TABANLI RÜZGAR HIZI MODELİ İLE KANAT AÇISININ  
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KONTROLÜ

**Oğuzhan ÖZER - Sütçü İmam Üniversitesi Elbistan Meslek Yüksekokulu,  
Kadir ABACI - Mersin Üniversitesi, Zafer ÖZER - Mersin Meslek Yüksekokulu ..... 25-29**

## II. OTURUM

DIYARBAKIR İLİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİSİ AÇISINDAN METEOROLOJİK VERİLERİN  
ÖLÇÜLMESİ VE ANALİZİ

**Hibetullah KILIÇ, Bilal GÜMÜŞ - Dicle Üniversitesi,  
Musa YILMAZ - University of California ..... 33-36**

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

**Yeliz YOLDAŞ - Abdullah Gül Üniversitesi, Ahmet TEKE - Çukurova Üniversitesi ..... 37-41**

ADIYAMAN İLİNDE GÜNEŞ BACASI SİSTEMİNDEN ELEKTRİK  
ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

**Yasin İÇEL, Abdulcelil BUĞUTEKİN - Adıyaman Üniversitesi,  
M.Salih MAMIŞ - İnönü Üniversitesi ..... 43-47**

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE EVİRİCİ TOPOLOJİLERİNİN  
SİSTEM PERFORMANSINA OLAN ETKİLERİ

**Özgür ÇELİK, Hatice Başak YILDIRIM - Adana Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi,  
Ahmet TEKE - Çukurova Üniversitesi ..... 49-53**

ARAZİ TİPİ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ TASARIMI

**Orhan TOY, Canan KARATEKİN - İstanbul Teknik Üniversitesi ..... 55-60**

### III. OTURUM

|                                                                                                                                                                                                                                                             |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| STRATEJİK ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ (SÇED) YAKLAŞIMININ<br>HİDROELEKTRİK SANTRAL (HES) PROJELERİ KAPSAMINDA İRDELENMESİ<br>Evren TURHAN, Atakan TANTEKİN - Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi,<br>Abidin KEÇECİ - Çevre ve Şehircilik Bakanlığı..... | 63-67 |
| DALGA ENERJİSİ ELEKTRİK SANTRALİ UYGULAMA ÖRNEĞİ<br>Bahtiyar USLU, Gökhan TURAN - Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi<br>Yüksel OĞUZ - Afyon Kocatepe Üniversitesi .....                                                                                         | 69-73 |
| KIYI TİPİ DALGA ENERJİSİ DÖNÜŞÜM TEKNOLOJİLERİ VE GWE-5 SİSTEMİ<br>İbrahim ÜÇGÜL , Raşit AKSOY, Ufuk ELİBÜYÜK,<br>Gabil ABDULLA - Süleyman Demirel Üniversitesi.....                                                                                        | 75-78 |
| İSKENDERUN KÖRFEZİ'NDE AKINTIDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ<br>Selva BAL, Yakup HAMEŞ, Murat FURAT - İskenderun Teknik Üniversitesi.....                                                                                                                     | 79-82 |
| PİEZOELEKTRİK MATERYAL KULLANILARAK DENİZ DALGASINDAN ENERJİ HASADI YÖNTEMLERİ<br>Adem POLAT, Mehmet KURBAN - Bilecik Şeyh Edabali Üniversitesi.....                                                                                                        | 83-87 |

### IV. OTURUM

|                                                                                                                                                                                                                                       |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| BİYOKÜTLE VE KATI ATIKLARIN YAKIT OLARAK KULLANILDIĞI GAZ MOTORLU<br>KOJENERASYON SANTRALLERİ İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ<br>Kasım ZOR, Ahmet TEKE, Mehmet TÜMAY - Çukurova Üniversitesi.....                                    | 91-95   |
| TEG MODÜLLER KULLANILARAK ATIK ISININ GERİ<br>DÖNÜŞÜMÜNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ<br>Ali Ekber ÖZDEMİR - Ordu Üniversitesi, Tahsin ATALAY, Yavuz KÖYSAL,<br>Yücel Yaşar BÜYÜKLÜ - Ondokuz Mayıs Üniversitesi.....                           | 97-101  |
| EKONOMİYE KATKI: YEŞİL ENERJİ İSTİHDAMI<br>Ufuk ERKAN - Ordu Üniversitesi.....                                                                                                                                                        | 103-105 |
| RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN YAPISAL SAĞLIK TAKİBİNDE<br>YENİ YÖNTEM VE ÇÖZÜMLER<br>Muammer ÖZBEK, Burak TONGA - İstanbul Bilgi Üniversitesi.....                                                                                             | 107-111 |
| BİNALARDAKİ FOTOVOLTAİK UYGULAMASININ TEKNİK, ÇEVRESEL VE<br>EKONOMİK İNCELENMESİ: MERAM TIP FAKÜLTESİ HASTANESİ ÖRNEĞİ<br>Rıza BÜYÜKZEREN, Hasan Basri ALTINTAŞ, Kerim MARTİN,<br>Ali KAHRAMAN - Necmettin Erbakan Üniversitesi..... | 113-117 |

### V. OTURUM

|                                                                                                                                                                                      |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| SICAKLIĞIN FOTOVOLTAİK SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ<br>Betül BEKTAŞ EKİCİ - Fırat Üniversitesi.....                                                                    | 121-124 |
| KIRSAL TESİSLER İÇİN HİBRİT (RÜZGÂR + GÜNEŞ) ENERJİ SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ<br>Veli TÜRKMENÖĞLU - Ordu Üniversitesi,<br>Halil ULUTAŞ - Ordu Teknik ve Endstri Meslek Lisesi ..... | 125-130 |

|                                                                                                                                                        |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| GÜNEŞ PANELLERİ VE LED ARMATÜRLER İLE BİR EVİN AYDINLATMASININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ<br>Sinan AKBAŞ, Canan KARATEKİN - İstanbul Teknik Üniversitesi ..... | 131-135 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                                              |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ<br>Yıldırım ÖZÜPAK - Dicle Üniversitesi, M. Salih MAMİŞ - İnönü Üniversitesi..... | 137-141 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                                                                                     |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ ÜRETME GÜCÜ VE GELECEK SENARYOLARI<br>Hasan GÜRBÜZ, Ahmet TUNCER - Meteoroloji 1. Bölge Müdürlüğü İstanbul ,<br>Murat GEZER - İstanbul Üniversitesi..... | 143-147 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

## VI. OTURUM

|                                                                                                                               |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| DÜŞEY EKSENLİ RÜZGAR TÜRBİNİ ARAŞTIRMALARINDA SON GELİŞMELER<br>Ziya Haktan KARADENİZ - İzmir Katip Çelebi Üniversitesi ..... | 151-155 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                                                                  |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| PSS/E MODELLENMESİ İLE RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLERİNİN KISA DEVRE<br>AKIM ANALİZİ YAPILMASI<br>Halil İbrahim AYDINÖZ - TEİAŞ, Orhan EKREN - Ege Üniversitesi..... | 157-161 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                                        |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| ADANA BÖLGESİNDE WEIBULL KATSAYILARININ FARKLI METODLAR İLE HESAPLANMASI<br>Yusuf Alper KAPLAN - Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi..... | 163-167 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                            |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| OPERASYONEL MODAL ANALİZ TEMELLİ TÜRBİN KONTROL VE BAKIM STRATEJİLERİ<br>Muammer ÖZBEK - İstanbul Bilgi Üniversitesi ..... | 169-172 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                                                             |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI İLE ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE<br>ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI<br>Şule KUŞDOĞAN - Kocaeli Üniversitesi..... | 173-179 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

## VII. OTURUM

|                                                                                                                                              |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE YAKIN GÖLGE KAYIPLARININ İNCELENMESİ<br>Sami EKİCİ - Fırat Üniversitesi, Mehmet Ali KÖPRÜ - Bingöl Üniversitesi..... | 183-187 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                                          |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİNİN MATLAB/SİMULİNK SİMÜLASYONU<br>Düzgün AKMAZ - Tunceli Üniversitesi, Mehmet Salih MAMİŞ - İnönü Üniversitesi..... | 189-192 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                             |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ UYGULAMALARININ ENERJİ KAZANCINA ETKİSİ<br>Sabir RÜSTEMLİ, Zeki İLCİHAN - Bitlis Eren Üniversitesi..... | 193-197 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                                                                                                     |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| GÜNEŞ ENERJİSİ SEKTÖRÜNDE KULLANILAN BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİMÜLASYON PROGRAMLARI ;<br>PV*SOL EXPERT PROGRAMI İNCELENMESİ<br>Selçuk BALI - Giresun Üniversitesi, Mesut SÜMER - Ordu Üniversitesi..... | 199-203 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

|                                                                                                                                                 |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| FOTOVOLTAİK HÜCRELERE UYGULANAN İŞİNİM YAPISININ ENERJİ DÖNÜŞÜMÜNE ETKİLERİ<br>Nazım İMAL, Harun ÇINAR - Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi..... | 205-209 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

## VIII. OTURUM

TÜRKİYE’NİN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ KAYNAKLI SERA GAZI EMİSYONLARINI SINIRLANDIRMADA KULLANABİLECEĞİ ARAÇLARIN İNCELENMESİ

**Mustafa ÖZCAN - Şişli Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi**

**Semra ÖZTÜRK - Kocaeli Üniversitesi ..... 213-218**

ELEKTRİKLİ ARAÇLARA GEÇİŞİN CO2 EMİSYONUNA ETKİSİ

**Hikmet BÜRKAV, Bekir FİNCAN, Önder POLAT - İstanbul Teknik Üniversitesi ..... 219-222**

YENİLENEBİLİR KAYNAKLARA DAYALI ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KAYDEDİLEN BÜYÜMENİN PANEL VERİ İLE ANALİZİ

**Seraser Gizem DİLİŞEN, Nazif Hülagü SOHTAOĞLU - İstanbul Teknik Üniversitesi ..... 223-229**

AKILLI ŞEBEKELERDE ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

**Şule KUŞDOĞAN - Kocaeli Üniversitesi ..... 231-236**

AFYONKARAHİSARDA KURULU OLAN İNCE FİLM GÜNEŞ PANELİNİN ENERJİ ÜRETİMİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ OLARAK İNCELENMESİ

**Yüksel OĞUZ, Abdil KARAKAN - Afyon Kocatepe Üniversitesi ..... 237-241**

ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ VE PİL YÖNETİM SİSTEMİ - İNCELEME

**Yusuf MURATOĞLU, Alkan ALKAYA - Mersin Üniversitesi ..... 243-248**

## POSTER

RÜZGAR ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM SİSTEMLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Abdil KARAKAN, Riyad ŞİHAB - Afyon Kocatepe Üniversitesi,**

**Bahtiyar USLU - Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi ..... 251-253**

İSKENDERUN İLÇESİNDEKİ BİR KONUTUN ENERJİ İHTİYACI İÇİN TASARLANAN YAPIYA ENTEGRE FOTOVOLTAİK SİSTEMİN MALİYET ANALİZİ

**Yakup HAMEŞ, Arzu GÖLGE - İskenderun Teknik Üniversitesi ..... 255-257**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ UMUTTEPE YERLEŞKESİ GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

**Atakan ALKAN, Mehmet Zeki BİLGİN - Kocaeli Üniversitesi ..... 259-263**

DALGA ENERJİSİ TEKNOLOJİSİ VE ENERJİ ÜRETİM POTANSİYELİ

**İbrahim ÜÇGÜL , Serap Gamze SERDAR, Gabil ABDULLA - Süleyman Demirel Üniversitesi ..... 265-269**

ENERJİ ÜRETİMİ AMAÇLI HİDROELEKTRİK SANTRAL VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Kadir AYKUT, Faruk ORAL - Bitlis Eren Üniversitesi, Rasim BEHÇET - İnönü Üniversitesi ..... 271-276**

BİYOKÜTLE KAYNAĞI OLARAK SERA ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

**Harun TÜRKMENLER , Ruşen CAN, Mustafa GÜMÜŞ - Adıyaman Üniversitesi ..... 277-280**

ADANA’DA GLOBAL AYLIK ORTALAMA GÜNLÜK GÜNEŞ İŞİNİMİNİN MODELLENMESİ

**Recep KÜLCÜ, Cihannur CİHANALP, Ahmet SÜSLÜ,**

**Deniz YILMAZ - Süleyman Demirel Üniversitesi ..... 281-285**

# I. OTURUM

- ▶ ANEMOMETRE KALİBRASYONU İÇİN PROTOTİP RÜZGAR TÜNELİ TASARIMI VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ  
**Mehmet KURTOĞLU - Gaziantep Üniversitesi**  
**Vedat Mehmet KARSLI - Gaziantep Üniversitesi**
- ▶ RÜZGAR TÜRBİNLERİ VE ÇİFTLİKLERİ İÇİN ÜÇ BOYUTLU TOPRAKLAMA AĞI TASARIMI  
**Semih GÜNDEN - İstanbul Teknik Üniversitesi**  
**Aytuğ FONT - İstanbul Teknik Üniversitesi**  
**Özcan KALENDERLİ - İstanbul Teknik Üniversitesi**
- ▶ BİLECİK İLİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ANALİZİNDE WEIBULL DAĞILIM PARAMETRELERİNİ BELİRLEME METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI  
**Emrah DOKUR - Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi**  
**Mehmet KURBAN - Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi**  
**Salim CEYHAN - Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi**
- ▶ DEĞİŞKEN-HIZLI RÜZGÂR TÜRBİNİ SİSTEMLERİNİN ÇIKIŞ GÜCÜ HESABI İÇİN GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODELLERİN GEÇERLİLİKLERİNİN ANALİZ EDİLMESİ  
**Ömer TÜRKSOY - İskenderun Teknik Üniversitesi**  
**Ulaş EMİNOĞLU - Niğde Üniversitesi**
- ▶ KAIMAL SPEKTRUMU TABANLI RÜZGAR HIZI MODELİ İLE KANAT AÇISININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KONTROLÜ  
**Oğuzhan ÖZER - Sütçü İmam Üniversitesi Elbistan Meslek Yüksekokulu**  
**Kadir ABACI - Mersin Üniversitesi**  
**Zafer ÖZER - Mersin Meslek Yüksekokulu**





# Anemometre Kalibrasyonu için Prototip Rüzgar Tüneli Tasarımı ve Performans Değerlendirmesi

Mehmet KURTOĞLU<sup>1</sup>, Vedat Mehmet KARSLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gaziantep Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gaziantep, mkurtoglu@gantep.edu.tr

<sup>2</sup>Gaziantep Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gaziantep, vkarsli@gantep.edu.tr

## ÖZET

*Anemometre (rüzgar hız ölçer) rüzgar türbinleri için en önemli cihazlardan birisidir. Tespit edilmek istenen rüzgar hız bilgisinin güvenilirliği adına bu cihazlar ölçüme başlamadan önce mutlaka kalibre edilmelidir. Bu çalışmada, anemometrelerin kalibrasyon işlemi için basit bir rüzgar tüneli tasarlanmış ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma, anemometre kalibrasyonunu ekonomik anlamda örneklerine göre daha avantajlı olan prototip tünel sistemiyle yapılabileceğini göstermektedir. Test anemometresi tünel sisteminde kalibre edilmiş ve Plint & Partners TE 54 model farklı bir rüzgar tünelinde de kalibre edildikten sonra alınan verilerle karşılaştırma yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda elde edilen verilerle sistemin hata oranı tespit edilmiştir. Tünel sisteminin hata oranı 0.54 % olarak belirlenmiştir. Deneysel veriler tasarlanan tünel sisteminin kritik olmayan uygulamalarda kullanılabilirliğini göstermekte olup ekonomik olarak uygun çözüm sunabilmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Anemometre, Kalibrasyon, Rüzgar Tüneli

## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji sistemleri enerji ihtiyacının gün geçtikçe artmasıyla fakat mevcut kaynakların sınırlı miktarda olması sebebiyle dikkatleri daha da üzerine çekmektedir. Günümüzde jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, rüzgar enerjisi ve dalga enerjisi popüler yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Bu kaynaklar arasında en cazip olan rüzgar enerjisidir [1]. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de Rüzgar Enerji Santralleri (RES) sayısı gün geçtikçe artmakta ve gündemdeki yerini korumaktadır. Rüzgar enerji santrallerinde hız bilgisini doğru almak en kritik işlemlerden biridir. Bu amaçla kullanılan rüzgar hız ölçerler (anemometre) kalibrasyon sürecinden geçmek durumundadırlar.

Rüzgar ölçüm tesislerinde fincan tip anemometreler (cup anemometer) yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Kullanılan bu anemometreler uluslararası alanda kabul görmüş yöntemlere göre kalibre edilmelidirler. MEASNET (Measuring Network of Wind Energy Institutes) rüzgar ölçüm konularında danışmanlık hizmetleri veren enstitüleri kapsayan uluslararası akreditasyon kuruluşudur. Bu kuruluş, anemometre kalibrasyon işlemi içinde hizmet vermektedir. Söz konusu anemometre kalibrasyon işlemi, uluslararası platformda kabul edilmiş olup MEASNET Programı kapsamında ölçüm kalitesinin daha iyi seviyeye gelmesini amaçlamaktadır [2]. Rüzgar türbinlerinde rüzgarın hızını ölçmek amacıyla kullanılan anemometreler ölçüm işlemine başlamadan önce kalibre edilmelidirler. Bununla birlikte, kalibrasyonu yapılmış anemometrelerin yıllar içindeki ölçüm hassasiyeti net bir şekilde bilinmemektedir [3].

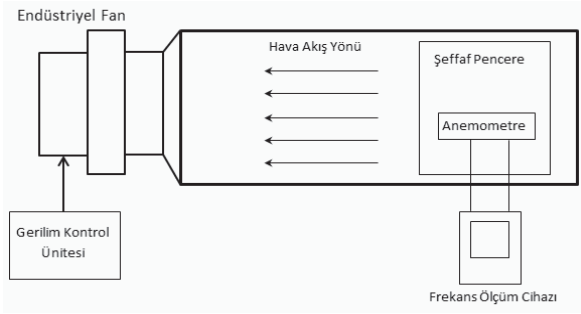
Bu çalışmada, anemometrelerin kalibrasyon işlemini gerçekleştirmek için prototip rüzgar tüneli tasarlanmıştır. Hava akımı oluşumu için endüstriyel tip havalandırma fanı kullanılmış olup gerilim kontrolü yoluyla farklı hızlarda hava akımları oluşturularak Şekil 1'de gösterilen NRG Maximum #40 anemometresi kalibre edilmiştir. Tünel sisteminden elde edilen veriler referans olarak alınan Plint & Partners TE 54 model rüzgar tünelinden elde edilen verilerle karşılaştırılarak performans değerlendirme yapılmıştır. Tasarlanan rüzgar tüneli örneklerine göre çok daha ucuza imal edilmiş olup ekonomik olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 1: NRG Maximum #40 Anemometre [4]

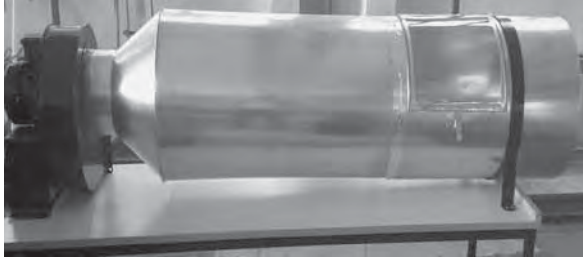
## 2. SİSTEM TANITIMI

Şekil 2'de tasarlanan rüzgar tüneli için taslak çalışma şeması verilmiştir. Rüzgar tünelinde en kritik noktalardan biri kullanılan fanın motor gücünün olabildiğince yüksek olmasıdır. Bu sayede birim zamanda taşınan hava akışı daha fazla olacaktır.



Şekil 2: Tasarlanan rüzgar tüneli için ön çalışma modeli

Tasarlanan tünel başlangıçta yaklaşık olarak 180 cm uzunluğunda düşünülmüştür. Tünelin dairesel çapı 40 cm olarak gerçekleştirilmiş olup havanın tünele girdiği dış kesitin alanı ise yaklaşık olarak 1256 cm<sup>2</sup>'dir. Tünelde kullanılan endüstriyel tip fan 230V/50 Hz, 1000W, 4.75 A, 2700 rpm, IP 54 tip etiket değerlerine sahip olup tek faz asenkron motordan oluşmaktadır. Tünelin boru sistemi için galvanizli sac malzemesi öngörülmüştür ve sistem bu şekilde tasarlanmıştır. Tünelde ölçümü yapılacak anemometrenin yerleştirilmesi ve gözlemlenebilmesi amacıyla şeffaf pencere ilave edilmiştir. Tünelde kullanılan motorun hızı gerilim kontrolü yoluyla tek faz varyak yardımıyla yapılmıştır ve bu sayede farklı şiddetlerde hava akışı sağlanmıştır. Tasarlanan tünel sisteminin başlangıçtaki görünümü Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Tasarlanan rüzgar tünelinin görünümü

Hava akışının beklenmeyen şekilde homojen olmaması üzerine sistem tekrar gözden geçirilerek fan tarafından gerçekleştirilen hava emişinin daha rahat ve güvenli olabilmesi için sistem Şekil 4'de olduğu gibi tekrar düzenlenmiştir. Tünelin uzunluğu artırılarak 230 cm civarına yaklaştırılmıştır. Ayrıca havanın girdiği yüzey alanı yaklaşık 1800 cm<sup>2</sup>'ye yükseltilmiştir.



Şekil 4: Tasarlanan rüzgar tünelinin son halinden bir görünüm

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Fincan tip anemometre kalibrasyonu için kullanılan transfer fonksiyonu aşağıdaki eşitlikte verilmiştir [5].

$$v = A.f + B \quad (1)$$

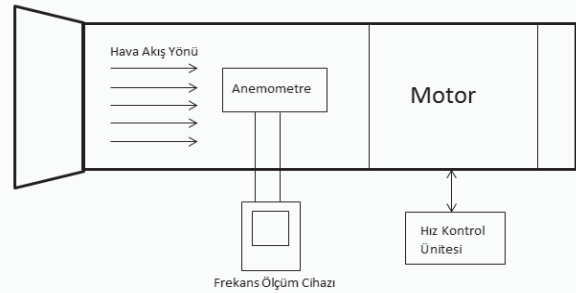
Verilen 1 numaralı denklemden  $v$  hava akış hızını,  $A$  doğru denkleminin eğimini,  $f$  anemometre çıkış frekansını ve  $B$  ise çıkış frekansının sıfıra eşit olduğu durumdaki hava akış hızına karşılık gelen değeri göstermektedir.

Bu çalışmada hava akış hızı Şekil 5'de gösterilen Lutron AM-4220 dijital anemometre kullanılarak tespit edilmiştir [6].



Şekil 5: Lutron AM-4220 Dijital Anemometre [6]

Şekil 1'de gösterilen anemometrenin kalibrasyonu öncelikle prensip şeması Şekil 6'da gösterilen Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında yer alan Plint & Partners TE 54 model gerçek hali Şekil 7'de verilen rüzgar tüneline yapılmıştır.



Şekil 6: Plint & Partners TE 54 model rüzgar tünelinin prensip şeması



Şekil 7: Plint & Partners TE 54 model rüzgar tünelinin görünümü

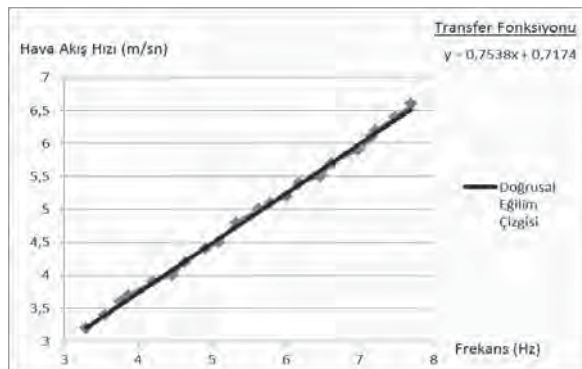
Referans alınan Plint & Partners TE 54 model rüzgar tünelinin uzunluğu yaklaşık olarak 4 m'dir. Bu tünelde hava akış hızı üç faz motorla sağlanmaktadır. Plint & Partners TE 54 model rüzgar tüneline yapılan ölçüm sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Elde edilen verilerle ortaya çıkan doğru denklemi grafiği ve transfer fonksiyonu değeri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Plint & Partners TE 54 model rüzgar tüneline yapılan ölçümler sonucunda eşitlik (2)'de elde edilen transfer fonksiyonu yardımıyla sistemin 10 Hz. frekansa karşılık hava akış hızı cevabı 8.2554 m/sn olarak ortaya çıkar.

$$v[m / sn] = 0.7538f[Hz] + 0.7174 \quad (2)$$

Tablo 1: Plint & Partners TE 54 model rüzgar tüneline elde edilen veriler

| NRG Maximum #40 Anemometre Çıkış Frekansı (Hz) | Dijital Anemometreyle Ölçülen Hava Akış Hızı (m/sn) |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 3,297                                          | 3,2                                                 |
| 3,552                                          | 3,4                                                 |
| 3,766                                          | 3,6                                                 |
| 3,868                                          | 3,7                                                 |
| 4,207                                          | 3,9                                                 |
| 4,464                                          | 4                                                   |
| 4,64                                           | 4,2                                                 |
| 4,916                                          | 4,4                                                 |
| 5,089                                          | 4,5                                                 |
| 5,327                                          | 4,8                                                 |
| 5,64                                           | 5                                                   |
| 5,792                                          | 5,1                                                 |
| 6,011                                          | 5,2                                                 |
| 6,179                                          | 5,4                                                 |
| 6,471                                          | 5,5                                                 |
| 6,621                                          | 5,7                                                 |
| 6,98                                           | 5,9                                                 |
| 7,169                                          | 6,1                                                 |
| 7,217                                          | 6,2                                                 |
| 7,482                                          | 6,4                                                 |
| 7,696                                          | 6,6                                                 |



Şekil 8: Plint & Partners TE 54 model rüzgar tüneline elde edilen verilerle ortaya çıkan doğru denklemi grafiği ve transfer fonksiyonu değeri

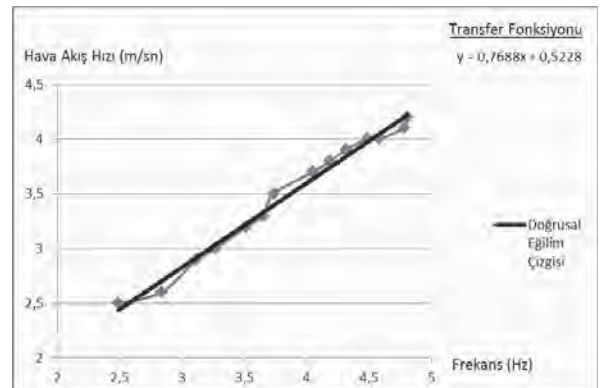
Tasarlanan rüzgar tüneline içerisinde kalibrasyonu yapılacak NRG Maximum #40 anemometrenin test edilmesi sonucunda elde edilen veriler Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla ortaya çıkan doğru denklemi grafiği ve transfer fonksiyonu Şekil 9'da gösterilmiştir.

Tasarlanan rüzgar tüneline yapılan ölçümler sonucunda eşitlik (3)'de elde edilen transfer fonksiyonu yardımıyla sistemin 10 Hz. frekansa karşılık hava akış hızı cevabı 8.2108 m/sn olarak ortaya çıkar.

$$v[m / sn] = 0.7688f[Hz] + 0.5228 \quad (3)$$

Tablo 2: Tasarlanan rüzgar tüneline elde edilen veriler

| NRG Maximum #40 Anemometre Çıkış Frekansı (Hz) | Dijital Anemometreyle Ölçülen Hava Akış Hızı (m/sn) |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 2,492                                          | 2,5                                                 |
| 2,836                                          | 2,6                                                 |
| 3,12                                           | 2,9                                                 |
| 3,271                                          | 3                                                   |
| 3,515                                          | 3,2                                                 |
| 3,652                                          | 3,3                                                 |
| 3,735                                          | 3,5                                                 |
| 4,051                                          | 3,7                                                 |
| 4,189                                          | 3,8                                                 |
| 4,311                                          | 3,9                                                 |
| 4,489                                          | 4                                                   |
| 4,579                                          | 4                                                   |
| 4,779                                          | 4,1                                                 |
| 4,806                                          | 4,2                                                 |



Şekil 9: Tasarlanan rüzgar tüneline elde edilen verilerle ortaya çıkan doğru denklemi grafiği ve transfer fonksiyonu değeri

Kalibrasyonda önemli olan elde edilen transfer fonksiyonu değeridir. Ortaya çıkan transfer fonksiyonlarının matematiksel olarak karşılaştırılması sonucunda tasarlanan rüzgar tünelinin hata oranı belirlenir ve sistemin performansı ortaya çıkar. Deneysel çalışma sonucunda; tasarlanan rüzgar tünelinin karşılaştırması Tablo 3’de verilmiştir. Referans olarak alınan Plint & Partners TE 54 model rüzgar tüneline göre tasarlanan sistemin hata oranı 0.54 % olarak belirlenmiştir.

Tablo 3: 10 Hz frekans değerinde rüzgar tünellerinin karşılaştırılması

| NRG Maximum #40 Anemometre |          |             |                       |        |
|----------------------------|----------|-------------|-----------------------|--------|
| Rüzgar Tüneli              | Eğim (A) | Kesişim (B) | Hava Akış Hızı (m/sn) | % Fark |
| Plint & Partners TE 54     | 0.7538   | 0.7174      | 8.2554                | 0.54   |
| Tasarlanan                 | 0.7688   | 0.5228      | 8.2108                |        |

#### 4. SONUÇLAR

Rüzgar hız ölçümünde kullanılan fincan tip anemometreler, ölçümlere başlamadan önce mutlaka kalibrasyon işleminden geçmelidirler. Bu çalışmada anemometre kalibrasyonu için rüzgar tüneli tasarlanmış ve referans alınan Plint & Partners TE 54 model farklı bir rüzgar tüneliyle karşılaştırma yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Her iki tünelde de aynı NRG Maximum #40 Anemometre için yapılan kalibrasyon işlemlerinin sonucunda çok fazla hassasiyet gerektirmeyen çalışmalarda tasarlanan rüzgar tünelinin güvenilirliğinin ve kullanılabilirliğinin uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

Gerçekleştirilen prototip rüzgar tüneli, örneklerine göre çok daha ekonomik olup anemometre kalibrasyonu için uygun çözüm sunabilmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Çalışmada referans olarak alınan Plint & Partners TE 54 model rüzgar tünelinin kullanımı hususunda desteklerini esirgemeyen Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederiz.

#### 6. KAYNAKÇA

[1]. İncecik S., Erdoğan F., "An Investigation of The Wind Power Potential on The Western Coast of Anatolia", Renewable Energy, Vol. 6, No. 7, pp. 863-865, 1995.

[2]. MEASNET Document, Anemometer Calibration Procedure v.2, October 2009.

[3]. Ronsten G., Dahlberg J-A., "Calibration of Anemometers in FFA-L2 Wind Tunnel Including Twin Calibration and Tests of Sensitivity to Wind Velocity Gradient and Tilt", The Aeronautical Research Institute of Sweden, FFA TN 1996-51.

[4]. <https://www.renewableenergysystems.com/products/met-sensors/anemometers/detail/40c-anemometer>

[5]. Can H., "Multi Point Wind Speed and Direction Measurement and Data Logging of Remote Sites Using Microcontrollers", Master's Thesis, University of Gaziantep, Gaziantep, Turkey, July 2006.

[6]. <http://www.instrumentcatalog.com.au/images/s/1421/352-datasheet.pdf>

# RÜZGAR TÜRBİNLERİ VE ÇİFTLİKLERİ İÇİN ÜÇ BOYUTLU TOPRAKLAMA AĞI TASARIMI

Semih Günden<sup>1</sup>, Aytuğ Font<sup>1</sup>, Özcan Kalenderli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul

semih.gunden@gmail.com, font@itu.edu.tr, kalenderli@itu.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada, CYMGRD yazılımı kullanarak rüzgar türbini çiftlikleri için üç boyutlu topraklama tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımın Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği ve IEEE 80-2000 standardına uygunluğa dikkat edilmiştir. Topraklama sistemi tasarımı farklı toprak öz direnç değerleri için incelenerek bazı durumlarda tasarımda topraklayıcı şekil ve boyutlar değiştirilmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen toprak öz direnç değeri kullanılarak ilk önce tekil türbinler için iki farklı tasarım yapılmıştır. Tekil sistem için uygun tasarım belirlendikten sonra seçilmiş tasarım, çok türbinli rüzgar çiftliklerine uygulanmış, topraklama direnci, adım ve dokunma gerilimindeki değişimler hesaplanmıştır. Yapılan dört farklı tasarımın karşılaştırması yapılmış ve topraklama sistemindeki türbin sayısının topraklamanın kalitesine olan etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar türbinleri, Topraklama, Topraklama direnci, Adım gerilimi, CYMGRD

## 1. Giriş

Artan dünya nüfusuyla birlikte enerji ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Artan enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi devam etmektedir. Genellikle yüksek yerlere kurulan rüzgar türbinleri ve çiftliklerinin sayısı giderek artmaktadır. Yüksek alanlara kurulan rüzgar türbinlerinde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri yıldırım çarpma riskidir. Rüzgar türbinlerine isabet eden yıldırım akımları kanatlar, rotor ve türbin kulesi üzerinden akmaktadır. Rüzgar türbinlerinde arıza veya yıldırım darbesi sonucu oluşan tehlikeli gerilimlerin türbin bileşenleri ve canlılara zarar vermesini engellemek adına topraklama sistemi tasarımları yapılır [1, 2].

Topraklama sistemi analizinde topraklama direnci, adım ve dokunma gerilimleri önemli bileşenlerdir. Ulusal topraklama yönetmeliği [3] ve IEEE 80-2000 standardına [4] göre topraklama tasarımı içinde aranacak koşullardan biri adım ve dokunma gerilimlerinin izin verilen değerlerden küçük olmasıdır. Topraklama direnci ise yine belirtilen değerden küçük olmalıdır. Böylece arıza akımı kolayca dağıtılabilir.

Topraklama sistemi tasarlanırken kullanılan deneyime dayalı formüller doğruluk ve süre açısından yetersiz kalmaktadır. Günümüzde kullanılan kompleks

yapılı topraklama sistemlerinde bu yetersizlikleri gidermek için bilgisayar yazılımları kullanılmaktadır [5-7]. Kullanılan bilgisayar yazılımları sayesinde gerçeğe uygun üç boyutlu modeller üzerinde çalışılabilmektedir [8]. Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile çözümleme yapan CYMGDR topraklama hesaplama yazılımı kullanılmıştır [9]. Farklı tabakalı toprak modellerinde uygun tabaka öz direnç ve kalınlıkları belirlenmiştir. Farklı geometrik şekilli topraklama sistemi tasarlanarak CYMGRD yazılımında topraklama dirençleri, toprak potansiyel yükselmesi, adım ve dokunma gerilimleri hesaplanmıştır. Son olarak rüzgar türbinlerinin topraklama ağları birbirlerine bağlanarak rüzgar çiftliklerinin adım ve dokunma gerilimleri incelenmiştir.

## 2. Topraklama Hesabı

CYMGRD yazılımı güvenlik değerlendirmelerini IEEE 80-2000 standardında yer alan formüllere göre yapmaktadır. Bunlar adım ve dokunma gerilimleridir. Bu standarda göre 50 kg ve 70 kg vücut ağırlıkları için maksimum adım ve dokunma gerilimleri aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır [4]:

50 kg vücut ağırlığı için dokunma gerilimi

$$E_{dokunma-50} = \frac{(1000 + 1.5C_s\rho_s)0.116}{\sqrt{t}} \quad (1)$$

ve adım gerilimi;

$$E_{adım-50} = \frac{(1000 + 6C_s\rho_s)0.116}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

70 kg vücut ağırlığı için dokunma gerilimi

$$E_{dokunma-70} = \frac{(1000 + 1.5C_s\rho_s)0.157}{\sqrt{t}} \quad (3)$$

ve adım gerilimi;

$$E_{adım-70} = \frac{(1000 + 6C_s\rho_s)0.157}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

Bu denklemlerde,  $t$  arıza süresi,  $\rho_s$  yüzey malzemesinin öz direnci ve  $C_s$  yüzey tabakasının azaltma katsayısıdır [4].  $C_s$  katsayısı;  $h_s$  kalınlığındaki ve  $\rho$  öz dirençli, yüksek dirençli yüzey malzemesinin altındaki toprak için formül 5 ile hesaplanır:

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09} \quad (5)$$

### 3. Rüzgar Türbinleri Topraklama Sisteminin Üç Boyutlu Tasarımı

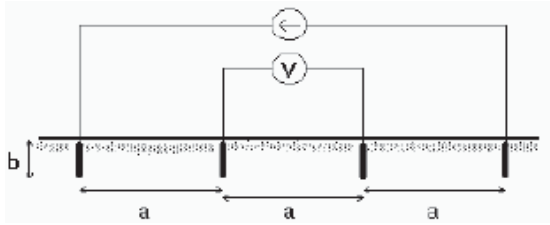
Bu bölümde CYMGRD yazılımı sayesinde rüzgar türbinleri topraklama tasarımı incelenmiştir. Yazılım bir veya iki tabakadan oluşan topraklarda, topraklama ağlarının analizini yaparak IEEE 80-2000 standartına göre adım ve dokunma gerilimlerini hesaplar [4].

CYMGRD yazılımı [9] ile topraklama tasarımı yapılmadan önce M. I. Lorentzou ve diğerlerinin çalışması dikkate alınmıştır [1]. Bu çalışmaya göre tasarım yapılırken izlenecek metodoloji belirlenmiştir.

Bu metodolojiye göre ilk önce topraklama alanının özdirenci ölçümlerle hesaplanır. Daha sonra rüzgar türbini baralarında oluşabilecek tek fazlı kısa devre akımı hesaplanır ve bu akıma göre izin verilen maksimum adım ve dokunma gerilimleri bulunur. Tek bir rüzgar türbininin topraklama tasarımı yapılır ve topraklama direnci ile bir kişinin tehlikeye maruz kalabileceği toprak yüzeyindeki adım ve dokunma gerilimlerinin hesaplanır.

#### 3.1. Toprak Özdirenci Ölçümü ve Toprak Katmanlarının Modellenmesi

Topraklama alanının özdirenci ölçümleri Wenner dört kazık yöntemine göre yapılmıştır. Şekil 1'de Wenner yönteminin prensibi görülmektedir [3, 4].



Şekil 1: Wenner dört kazık yöntemi.

Özdirenci ölçülecek toprak üzerinde dört adet elektrot eşit aralıklarla istenilen derinliğe saplanır. En dıştaki elektrotlara akım uygulanır ve içteki elektrotlar arasında oluşan potansiyel farkı bir voltmetre ile ölçülür. Bu ölçüm değerlerinden denklem (6) yardımıyla toprağın özdirenci her derinlik için hesaplanır [3, 4].

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot a \cdot \left(\frac{V}{I}\right)}{\left[1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right]} \quad (6)$$

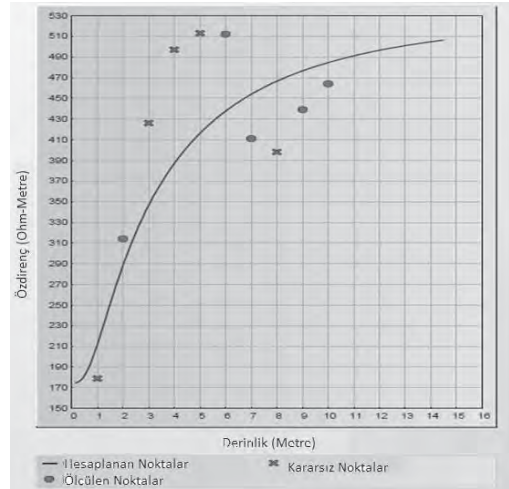
Bu denklemde  $a$  elektrotlar arası uzaklık,  $b$  elektrotların boyu,  $I$  uygulanan akım ve  $V$  oluşan gerilimdir. Bu denklem ile 10 farklı  $a$  ve  $b = 2,5$  m için ölçülen  $V$ ,  $I$  değerleriyle hesaplanan toprak özdirenci değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu değerler söz konusu programa girildiğinde istenen toprak modeline göre tabaka kalınlıkları ve bu tabakaların özdirencileri belirlenir. M. I. Lorentzou [1] çalışmasında da belirtildiği gibi gerçek toprak modeline en yakın kabul edilen model iki tabakalı

toprak modeli olduğu için hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Tablo 1: Hesaplanan toprak özdirenci değerleri

| Ölçüm Sırası | Açıklık, $a$ (m) | Özdirenci $\rho$ ( $\Omega \cdot m$ ) |
|--------------|------------------|---------------------------------------|
| 1            | 1                | 178,7                                 |
| 2            | 2                | 314                                   |
| 3            | 3                | 426                                   |
| 4            | 4                | 497                                   |
| 5            | 5                | 513                                   |
| 6            | 6                | 512                                   |
| 7            | 7                | 411                                   |
| 8            | 8                | 398                                   |
| 9            | 9                | 439                                   |
| 10           | 10               | 464                                   |
| Ortalama     |                  | 415,27                                |

Şekil 2'de farklı elektrot açıklıkları için hesaplanmış toprak özdirencilerinin topraklama yazılımına girilmiş hali görülmektedir. Yazılım bu değerlerden yanlış ölçüm nedeniyle oluşan kararsız noktaları atarak derinliğe bağlı toprak özdirenci değişimini kendi elde eder. Bu eğri yardımıyla da kullanılacak toprak modelini oluşturur.



Şekil 2: Özdirencin elektrot açıklığıyla değişimi.

Tablo 1'deki değerler yardımıyla program iki tabakalı bir toprak modeli oluşturmuştur. Bu modele göre toprak, üst katmanı 1 m kalınlığında, 174,37  $\Omega \cdot m$  özdirence sahip ve alt katman 535,1  $\Omega \cdot m$  özdirence sahip olacak şekilde modellenmiştir. Yapılan benzetimlerde toprağın bu modeli kullanılmıştır.

#### 3.2. Topraklama Ağı, Elektrotlar ve İletkenlerin Tasarımı

Tasarımın bu bölümünde sistemin tek fazlı kısa devre arıza akımı hesaplanmıştır. Arıza akımı olarak topraklama tasarımının yapılacağı tesisin kısa devre arıza akımı dikkate alınmıştır. Buna göre maksimum toprak arıza akımı 5 kA olarak, maksimum kısa devre süresi 0,5 saniye olarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde maksimum ağ sıcaklığı (bakırın ergime sıcaklığı olan) 1083 °C ve maksimum çevre sıcaklığı

40°C olarak belirtilmiştir. Bu koşullar dikkate alınarak rüzgar türbini temel topraklama elektrotları ve iletkenlerinin boyutları seçilirken yüksek arıza akımı ve mekanik zorlanmaya dayanım göz önünde tutulmuş ve Tablo 2’deki değerler belirlenmiştir.

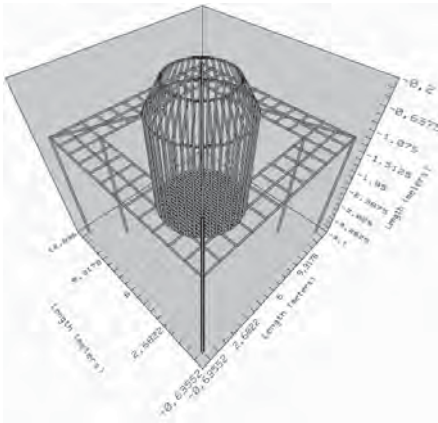
**Tablo 2:** Topraklama elektrotunun özellikleri

|                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| Topraklama Elektrodu Çapı             | 16 mm           |
| Topraklama İletkeni Çapı              | 16 mm           |
| Topraklama Elektrodu Uzunluğu         | 2.5 m           |
| Temel Boyutları (Yarıçap × Yükseklik) | 2 m × 2 m       |
| Topraklama Ağı Çevre Uzunluğu         | 4 × 12 m = 48 m |

Bu veriler kullanılarak dört farklı topraklama modeli oluşturulmuş ve standarda göre gerekli hesaplamaları bilgisayar ortamında yapılmıştır. İlk model tekil rüzgar türbini için 1 m<sup>2</sup> gözlere sahip ağ tasarımıdır. İkinci modelde gözlerin alanı 0,25 m<sup>2</sup> olacak şekilde küçültülmüştür. Üçüncü modelde, ikinci modelde kullanılan topraklama yapısı dört rüzgar türbininden oluşan bir çiftlik için birlikte tasarlanmıştır. Son model ise üçüncü modeldeki türbin sayısının iki katı olması durumunu kapsamaktadır.

#### 4. Tek Bir Rüzgar Türbininin Topraklama Tasarımının Yapılması

Birinci modele göre tek bir rüzgar türbininin temel topraklaması Şekil 3’de görüldüğü gibi yapılmıştır. Çevre topraklama ağının aralıkları 1 m × 1 m olacak şekilde gözlerden oluşturulmuştur. Çevre topraklama ağının iç kısımlarının dört köşesine boyları 2,5 m olan çubuk topraklama elektrodu yerleştirilmiştir.



**Şekil 3:** Tek türbin için oluşturulmuş topraklama modeli I.

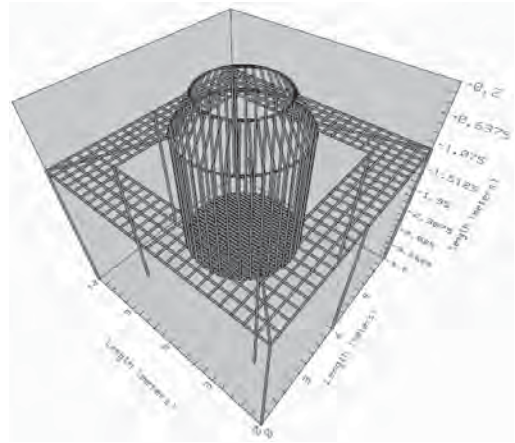
Bu şekilde oluşturulmuş modelde Tablo 3’deki parametreler kullanılarak topraklama direnci ve potansiyel yükselmeleri (GPR: Ground Potential Rise) hesaplanmıştır. Benzetim sonucunda topraklama direnci 13,438 Ω ve potansiyel yükselmesi 69202,8 V olarak bulunmuştur. Hesaplanan topraklama direnci 10 Ω değerini aştığı için tasarlanan topraklama ağı tek

başına kullanılamaz. Tasarım izin verilen değerleri aşmayacak şekilde yeniden tasarlanmıştır.

**Tablo 3:** Topraklama hesabında kullanılan değerler

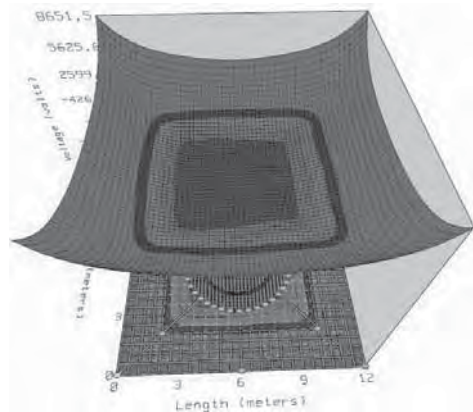
|                              |          |
|------------------------------|----------|
| Vücut ağırlığı               | 70 kg    |
| Vücut direnci                | 1000 Ω   |
| Yüzey tabakasının öz direnci | 3000 Ω.m |
| Yüzey tabakasının kalınlığı  | 0,2 m    |
| Arıza açma süresi, $t_s$     | 0,5 s    |

Topraklama direncinin değeri olması gereken değerin üzerinde çıktığı için topraklama ağına tasarım değişikliğine gidilmiştir. çevre topraklama ağı aralıkları 0,5 m × 0,5 m yapılarak ilk durumdaki tasarıma ek olarak eklenen topraklama çubuklarıyla beraber toplam 10 adet 2,5 m boyunda çubuk topraklama çubuğu kullanılarak Şekil 4’teki tasarım elde edilmiştir.



**Şekil 4:** Tek türbin için oluşturulmuş topraklama modeli II.

Yeni tasarım için yazılım tarafından Tablo 3’e göre yapılan hesaplanan topraklama direnci 8,1309 Ω’dur. Bu direnç değeri standartlara uygundur. Tasarımın toprak potansiyel yükselmesi değeri ise 43786,6 V’dur. Ayrıca IEEE 80-2000 standardına dayanılarak hesaplanan en yüksek adım ve dokunma gerilimleri sırasıyla 2983,45 V ve 912,39 V’dur.



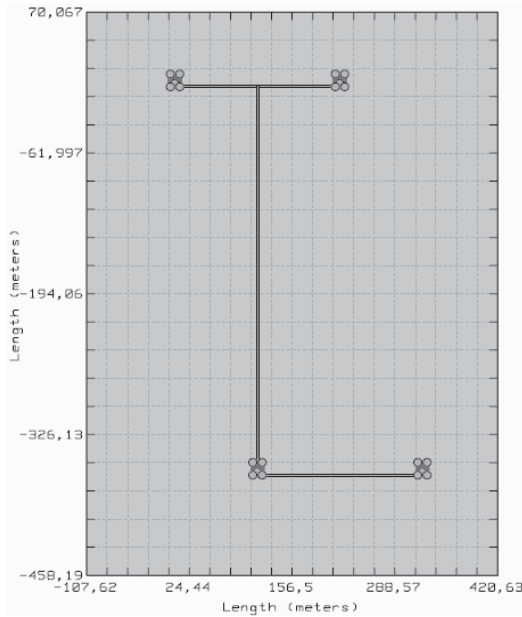
**Şekil 5:** Model II için potansiyel dağılımı.

Şekil 5’de tasarlanan topraklama ağının üç boyutlu potansiyel dağılımı görülmektedir. Potansiyel dağılımında kırmızı ve tonları adım geriliminin izin verilen değerlerden yüksek olduğu değerleri, mavi ve tonları ise izin verilen sınırların altında olduğunu göstermektedir. Şekil 5’den de görüleceği gibi rüzgar türbini ve çevresinde izin verilen en yüksek adım ve dokunma gerilimi değerleri aşılmadığı için tasarım güvenli bir topraklama sistemidir.

## 5. Rüzgar Çiftliğinin Topraklama Tasarımı

Bir rüzgar türbini için yapılan hesabın istenilen toprak direnci ve gerilim değerlerini sağladıktan sonra birbirine bağlı rüzgar türbinlerinin oluşturduğu rüzgar çiftlikleri için tümleşik topraklama sistemleri tasarlanmış ve elde edilen değerler tekil topraklama tasarımı değerleri ile karşılaştırılarak çiftlikler için optimum topraklama tasarımı belirlenmiştir.

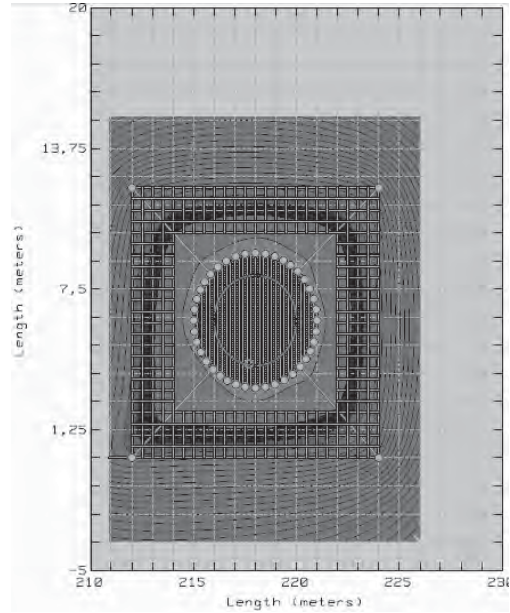
İlk olarak dört türbinden oluşan bir sistem için tasarım yapılmıştır. Rüzgar türbinleri rüzgardaki enerjiyi elektrik enerjisine çevirirken rüzgarı yavaşlattığından dolayı türbin yerleşim planında türbinler arasında yeteri kadar mesafe bırakılmalıdır. Bu plana göre türbinler arasında hakim rüzgar yönünde kanat çapının 5 veya 9 katı kadar, düşey yönde ise 3 veya 5 katı kadar mesafe bırakılır. Tasarımda ise kanat çapı 50 m olan Nordex N50 rüzgar türbini baz alınarak aynı sıradaki türbinler arasında kanat çapının 4 katı (200 m) sıralar arasında ise rotor çapının 7 katı (350 m) mesafe bırakılmıştır.



Şekil 6: Dört türbinden oluşan sistemin topraklaması.

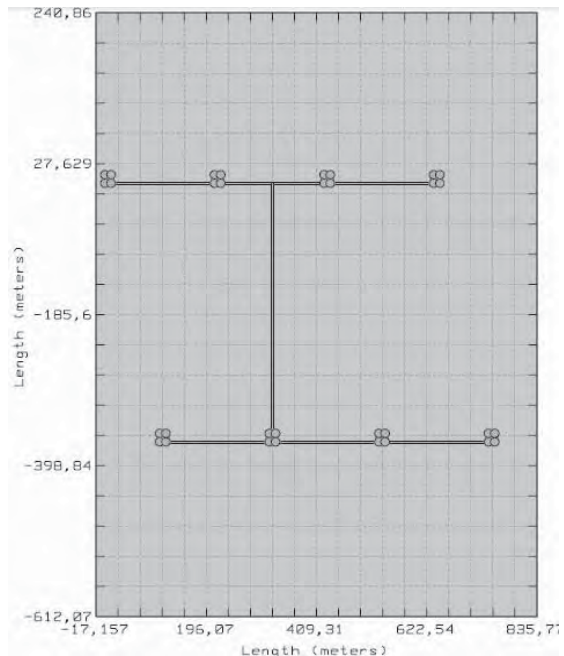
Belirtilen açıklıklara sahip rüzgar çiftliği bölümü için tasarlanan topraklama sisteminin kuşbakışı görünüşü Şekil 6’da görülmektedir. her bir rüzgar türbini Şekil 4’deki topraklama tasarımına sadık kalınacak şekilde yapılmış ve birbirlerine

bağlanmıştır. Bu şekilde yapılan sisteme ilişkin potansiyel dağılımı –tek bir türbin için- Şekil 7’de verilmiştir. Yeni rüzgar çiftliği için yazılım tarafından hesaplanan topraklama direnci  $5,11017 \Omega$ ’dur. Rüzgar türbini sayısının artması topraklama direncinin değerini azaltmıştır. Tasarımın toprak potansiyel yükselmesi değeri ise 26338,1 V’dur. Rüzgar türbini ve çevresinde adım ve dokunma gerilimi değerleri sırasıyla 3185,47 V ve 962,89 V hesaplanmıştır.



Şekil 7: Dört türbinden oluşan sistemde türbin çevresinde potansiyel dağılımı.

İncelenen son tasarımda rüzgar çiftliğindeki türbin sayısı iki katına çıkartılarak sekiz türbin için topraklama modeli tasarlanmıştır. Türbinler arası mesafeler önceki sistemle aynı alınmıştır.



Şekil 8: Sekiz türbinden oluşan sistemin topraklaması.

Tek türbin için kullanılacak topraklama modeli üzerinde değişiklik yapılmadan Şekil 8'de görülen sistem için topraklama sistemi tasarlanmıştır. Bu durumda elde edilen topraklama direnci 3,03138  $\Omega$ 'dur. Tasarımın toprak potansiyel yükselmesi değeri ise 15627,2 V'dur.

Tablo 4'de topraklama tasarımı yapılan dört farklı modelin sonuçları görülmektedir. Topraklama modellerinin sonuçlarının karşılaştırılması hesaplanan topraklama direnci ve toprak potansiyel yükselmelerine (GPR) göre yapılmıştır. Tablo 4'ten görüleceği gibi topraklama ağını oluşturan gözlerin alanı küçüldükçe daha fazla iletken kullanılmasından dolayı topraklama direnci ve buna bağlı olarak GPR değerleri azalmaktadır. Ayrıca topraklama sistemi genişletilip çok sayıda türbini içine alacak şekle getirildiğinde topraklama direncinde büyük ölçüde azalma gözlemlenmiştir. Bu azalış topraklama sistemine dahil edilen türbin sayısı ile orantılı olacak şekilde azalmaktadır.

**Tablo 4:** Topraklama modellerinin karşılaştırılması

| Topraklama modeli | Topraklama direnci ( $\Omega$ ) | Toprak Potansiyel Yükselmesi (GPR) (V) |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| 1                 | 13,438                          | 69202,8                                |
| 2                 | 8,1309                          | 43788,6                                |
| 3                 | 5,11017                         | 26338,1                                |
| 4                 | 3,03138                         | 15627,2                                |

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada, dört farklı durum için rüzgar türbinleri topraklama tasarımı incelenmiştir. Türbin temel donatıları dikkate alınarak tasarlanan topraklama sisteminde toprak öz direnç değeri sabit tutulmuş ve iki toprak modeli kullanılmıştır. Her bir durumda kullanılan topraklama tasarımında elektrot boyları ve topraklama ağı boyutları değiştirilerek standartlara [4] uygun topraklamalar oluşturulmuştur. Oluşturulan farklı durumlar topraklama analizi için kullanılan CYMGRD programı ile topraklama direnci, toprak potansiyel yükselmesi (GPR), adım ve dokunma gerilimleri ve yüzey potansiyelleri bakımından karşılaştırılmıştır. Tasarımda güvenlik ölçütleri olarak IEEE 80-2000 standardı sınır değerleri alınmıştır.

Yapılan benzetimler sonucunda tek başlarına kullanılan rüzgar türbinlerinin topraklama tasarımından temel donatılarının yanında ek elektrot ve iletkenlerle topraklamayı iyileştirme gereği duyulmuştur. Ağ topraklama sisteminin göz büyüklükleri küçültülerek topraklama direnci ve GPR değeri azaltılmıştır. Topraklama direnci tek başına 10  $\Omega$ 'dan yüksek olan rüzgar türbini uygun sayıda rüzgar türbini ile rüzgar çiftliği oluşturunca topraklama direnç değeri uygun güvenlik ölçütlerini sağlamıştır.

## 7. Kaynaklar

- [1] Lorentzou, I. M., Hatziaargyriou, N. D., Manos, G. A., and Sietis, T., "Integrated Grounding System of Wind-Farms for Lightning and Fault Protection" *Proceedings of the Mediterranean Power Conference (Med Power)*, Lemesos, Cyprus, 14-17 November 2004
- [2] Esmaeilian, A., Akmal, S. A. A. and Naderi, S. M., "Wind Farm Grounding Systems Design Regarding the Maximum Permissible Touch & Step Voltage", *Environment and Electrical Engineering International Conference (EEEIC)*, Tehran, Iran, 18-25 May 2012
- [3] "Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği", *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, Ankara, 2001.
- [4] IEEE Std. 80-2000, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", *IEEE Standard Board*, New York, USA, 2000.
- [5] Yıldırım, H., Kalenderli, Ö., Türkay, B., Çelikyay, M., "Topraklama ağlarının bilgisayar destekli analizi", *Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi*, Bursa, s. 130-133, 11-17 Eylül 1995.
- [6] Kalenderli, Ö., Şentürk, E., Öztürk, O. I., "Bir Çubuk Topraklayıcı Çevresindeki Potansiyel Dağılımının Sonlu Farklar Yöntemi ile Hesabı", *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, İstanbul, s. 197-200, 18-21 Eylül 2003.
- [7] Öztürk, O. I., Kalenderli, Ö., "Bir Çubuk Topraklayıcı Çevresindeki Potansiyel Dağılımına Toprak Özelliklerinin Etkisi", *EVK 2005 Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, s. 223-227, 17-18 Mayıs 2005.
- [8] Uzunlar, F. B., Kalenderli, Ö., "Topraklama Ağlarının Üç Boyutlu Tasarımı", *EVK 2009 Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, s. 307-312, 21-22 Mayıs 2009.
- [9] CYMGRD: Substation grounding grid design and analysis program, CYME International T&D Inc., Canada, <http://www.cyme.com/software/cymgrd/>

