



YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

YUZUNCU YIL UNIVERSITY

Journal of the Institute of Natural & Applied Sciences

www.dergipark.gov.tr

ISSN 1300 - 5413

Yıl / Year : 2020

Cilt / Volume : 25

Sayı / Number : 3

YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Yuzuncu Yil University Journal of the Institute of Natural & Applied Sciences

SAHİBİ / OWNER: REKTÖR

Prof. Dr. Hamdullah ŞEVLİ
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Rektörü

BAS EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF

Doç.Dr. Serhat KARACA
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür Yardımcısı

SORUMLU MÜDÜR / PUBLISHER MANAGER

Doç. Dr. Çeknaz ERDİNÇ

YAYIN KURULU / EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Cemil TUNÇ, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Csaba Szabo, Debrecen Üniversitesi
Prof. Dr. Çağdaş Hakan Aladağ, Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Fatih Öz, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Feyyaz DURAP, Dicle Üniversitesi
Prof. Dr. Harun AKKUŞ, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin MERDAN, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Prof. Dr. Kenan SÖĞÜT, Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Mahmut ELP, Kastamonu Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet ZAHMAKIRAN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Nilgün KARADENİZ, Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Sedat YAYLA, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Semra DEMİR, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç.Dr. Baran YOĞURTÇUOĞLU, Hacettepe Üniversitesi
Doç. Dr. Çeknaz ERDİNÇ, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Erdal AĞLAR, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Doç. Dr. Harun AYDIN, Hacettepe Üniversitesi
Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ, Dumlupınar Üniversitesi
Doç. Dr. Sabri GÜL, Mustafa Kemal Üniversitesi
Dr.Öğr. Üyesi Zehra Funda TÜRKMENOĞLU, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Danielle Rodrigues Magalhaes, Zaragoza Üniversitesi
Dr. Erasmo Velázquez Cigarroa, Chapingo Autonomous Üniversitesi

İSTATİSTİK EDİTÖRLERİ

Prof. Dr. Abdullah YEŞİLOVA, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Ecevit EYDURAN, Iğdır Üniversitesi

İNGİLİZCE DİL EDİTÖRÜ

Dr. Cihan ÇAKMAKÇI, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

KAPAK TASARIMI

Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÇELİKYÜREK

YAZI İŞLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Hasan ÇELİKYÜREK – Mizanpaj Editörü

Dr. Boran KARATAŞ – Yazım ve Dil Editörü

Araş. Gör. Bahar KALKAN

Araş. Gör. Murat TURAN

Araş. Gör. Ogün Ozan VAROL

Yük. Müh. Mehmet ERZEN

BİLİMSEL DANIŞMA KURULU (ADVISORY BOARD)

Prof. Dr. Berna UNUTMAZ (Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fak., İnşaat Müh.)

Prof. Dr. Cemil TUNÇ (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fak. Matematik)

Prof. Dr. Csaba Szabo, (Debrecen Üniversitesi, Tarım Bilimleri)

Prof. Dr. Çağdaş Hakan Aladağ, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fak.-İstatistik)

Prof. Dr. Fatih Öz (Atatürk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak. Gıda Müh.)

Prof. Dr. Feyyaz DURAP (Dicle Üniversitesi, Fen Fak.-Kimya)

Prof. Dr. Harun AKKUŞ (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fak. Fizik)

Prof. Dr. Hüseyin MERDAN (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Edebiyat Fak.-Matematik)

Prof. Dr. Kenan SÖĞÜT, (Mersin Üniversitesi, Fen Fak.-Fizik)

Prof. Dr. Mahmut ELP (Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fak. Su Ürünleri)

Prof. Dr. Mehmet BOZOĞLU (Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fak. Tarım Ekonomisi)

Prof. Dr. Mehmet ZAHMAKIRAN (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fak.-Kimya)

Prof. Dr. Naci GENÇ (Yalova Üniversitesi Mühendislik Fak. Elektrik-Elektronik Müh.)

Prof. Dr. Nilgün KARADENİZ (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı)

Prof. Dr. Pervin KINAY (Ege Üniversitesi Ziraat Fak. Bitki Koruma)

Prof. Dr. Sedat YAYLA (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak. Makine Müh.)

Prof. Dr. Semra DEMİR (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fak. Bitki Koruma)

Prof. Dr. Yusuf UÇAR (Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fak. Tarımsal Yapılar ve Sulama)

Doç.Dr. Ahmet TEĞMEN (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fak. Maden Müh.)

Doç.Dr. Baran YOĞURTÇUOĞLU (Hacettepe Üniversitesi Fen Fak.-Biyoloji)

Doç. Dr. Bihter Çolak ESETLİLİ (Ege Üniversitesi Ziraat Fak. Toprak)

Doç.Dr. Cenk DÖNMEZ (Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fak. Peyzaj Mim.)

Doç. Dr. Çeknas ERDİNÇ (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fak. Tarımsal Biyoteknoloji)

Doç.Dr. Erdal AĞLAR (Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Ziraat Fak.- Bahçe Bitkileri)

Doç.Dr. Gülsüm YILDIZ (Bolu İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fak. Tarla Bitkileri)

Doç. Dr. Harun AYDIN, (Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fak.-Jeoloji Müh.)

Doç.Dr. Halife KODAZ (Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fak. Bilgisayar Müh.)

Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ, (Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fak.- Jeoloji Müh.)

Doç. Dr. Merih Aydınalp KÖKSAL (Hacettepe Üniversitesi, Çevre Müh.)

Doç. Dr. Şebnem KUŞVURAN (Çankırı Karatekin Üniversitesi, Kızılırmak MYO, Bahçe Bitkileri)

Doç. Dr. Sabri GÜL (Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fak.-Zootečni)

Dr. Öğr. Üyesi Zehra Funda TÜRKMENÖĐLU (Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fak-Maden Müh)

Dr. Danielle Rodrigues Magalhaes, (Zaragoza Üniversitesi- Hayvansal Üretim ve Gıda Bilimi)

Dr. Erasmo Velázquez Cigarroa, (Chapingo Autonomous Üniversitesi-Sürdürülebilir Tarım)

Dr. Sibel Küçük Yıldırım, (Hacettepe Üniversitesi, Fen Fak., Moleküler Biyoloji ve Genetik)

YÖNETİM YERİ VE YAZIŞMA ADRESİ (CORRESPONDENCE ADDRESS)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Rektörlüğü Fen Bilimleri Enstitüsü Zeve Yerleşkesi 65080

VAN

Telefon :0(432) 225 11 23

Belgegeçer (Faks): 0(432) 225 11 23

e-posta:dergifenbilimleri@yyu.edu.tr

Cilt (Volume): 25

Sayı (Number): 3

Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>

Basıldığı Yer ve Tarih: VAN, 2020

ISSN:1300-5413

DERGİ BİLGİLERİ

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

ISSN 1300-5413 | e-ISSN 2667-467X | Yayın Aralığı Yılda 3 Sayı | Başlangıç: 1995

Yuzuncu Yil University Journal of the Institute of Natural & Applied Sciences

JINAS

Bu sayının Hakem Listesi / (Referee List in This Volume)

Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, KIRŞEHİR
Prof. Dr. Banu DİRİ	Yıldız Teknik Üniversitesi, İSTANBUL
Prof. Dr. Hacı Halil BIYIK	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, AYDIN
Prof. Dr. Handan YOLSAL	İstanbul Üniversitesi, İSTANBUL
Prof. Dr. Rüstem CANGİ	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, TOKAT
Doç. Dr. Özcan BEKTAŞ	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS
Doç. Dr. Nuran ÇİÇEK	Hacettepe Üniversitesi, ANKARA
Doç. Dr. Hüsnü KOÇ	Siirt Üniversitesi, SİİRT
Doç. Dr. Oktay AYDOĞDU	Mersin Üniversitesi, MERSİN
Doç. Dr. Aslı SUNER KARAKÜLAH	Ege Üniversitesi, İZMİR
Dr. Öğr. Üyesi Erdal ÖĞÜN	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, VAN
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Murat KIZILKAYA	Ardahan Üniversitesi, ARDAHAN
Dr. Öğr. Üyesi Feran AŞUR	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, VAN
Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül KELEŞ ERİÇOK	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, VAN
Araş. Gör. Dr. Şeküre ÇULHA ERDAL	Hacettepe Üniversitesi, ANKARA
Yüksek Mühendis Gürbüz KAYHAN	

İçindekiler / Contents

Araştırma Makaleleri / Research Articles

- ◆ Benzetilmiş Tavlama Yöntemi: Karadeniz Havzası için Bir Sismolojik Uygulama 95-106
Hamdi ALKAN, Hakan ÇINAR
 - ◆ An Analysis of Dielectric Response 107-116
Fayrooz AL-BASRE, Harun AKKUS
 - ◆ Erciş Üzüm Çeşidinin In Vitro Rejenerasyon Potansiyelinin Belirlenmesi 117-126
Kinem ARSLAN, Adnan DOĞAN
 - ◆ Prokaryotic Diversity of a Hypersaline Spring Water in Pülümür (Tunceli) 127-134
Seval ÇINAR, Mehmet Burçin MUTLU
 - ◆ Fotovoltaik Sistemin Güç Üretimini Meteorolojik Değişkenler ile Modellenmesi: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Örneği 135-146
Emre BİÇEK, H. Eray ÇELİK
-



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<http://dergipark.gov.tr/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Benzetilmiş Tavlama Yöntemi: Karadeniz Havzası için Bir Sismolojik Uygulama

Hamdi ALKAN^{*1}, Hakan ÇINAR²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye

Hamdi ALKAN, ORCID No: 0000-0003-3912-7503, Hakan ÇINAR, ORCID No: 0000-0002-6562-1962

*Sorumlu yazar e-posta: hamdialkan@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 01.06.2020

Kabul: 08.09.2020

Online Yayınlanma Aralık 2020

Anahtar Kelimeler

Karadeniz Havzası,
Litosferik Yapı,
Alıcı Fonksiyonları,
Eş zamanlı Ters Çözüm

Öz: Bu çalışmada Karadeniz Havza'nın ve civarının güncel kabuk ve üst manto yapısı çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Karadeniz'in çevresinden seçilen geniş-bantlı deprem istasyonlarının telesismik kayıtları kullanılmıştır. Her bir istasyon altı için P-dalgası hızı, S-dalgası hızı ve Vp/Vs oranı (300 km derinliğe kadar) elde edilmiş ve güncel tektonik durum yorumlanmıştır. Hızların hesaplanması için P- ve S-dalgası Alıcı Fonksiyonları Benzetilmiş Tavlama yöntemi vasıtasıyla birleşik ters çözüm işlemine tabi tutulmuştur. Veri seti yaklaşık olarak 400 adet depremi kapsamaktadır. Elde edilen hız histogramlarına göre, Doğu Karadeniz Havzası'nda kuzeyden güneye doğru Litosfer-Astenosfer geçişi kubbe gibi bir eğim ile artmaktayken, Batı Karadeniz Havzası'nda ise aynı doğrultuda daha yassı bir artış gözlemlenmiştir. Ortalama P-dalgası ve S-dalgası hızları Karadeniz Havzası'nın çevresinde kıtasal özellikli bir litosferin varlığını işaret etmektedir. Tüm bu sonuçlara göre, tektonik olarak güneye eğimli bir yitimin var olduğu söylenebilir.

Simulated Annealing Method: A Seismological Application for The Black Sea Basin

Article Info

Received: 01.06.2020

Accepted: 08.09.2020

Online Published December 2020

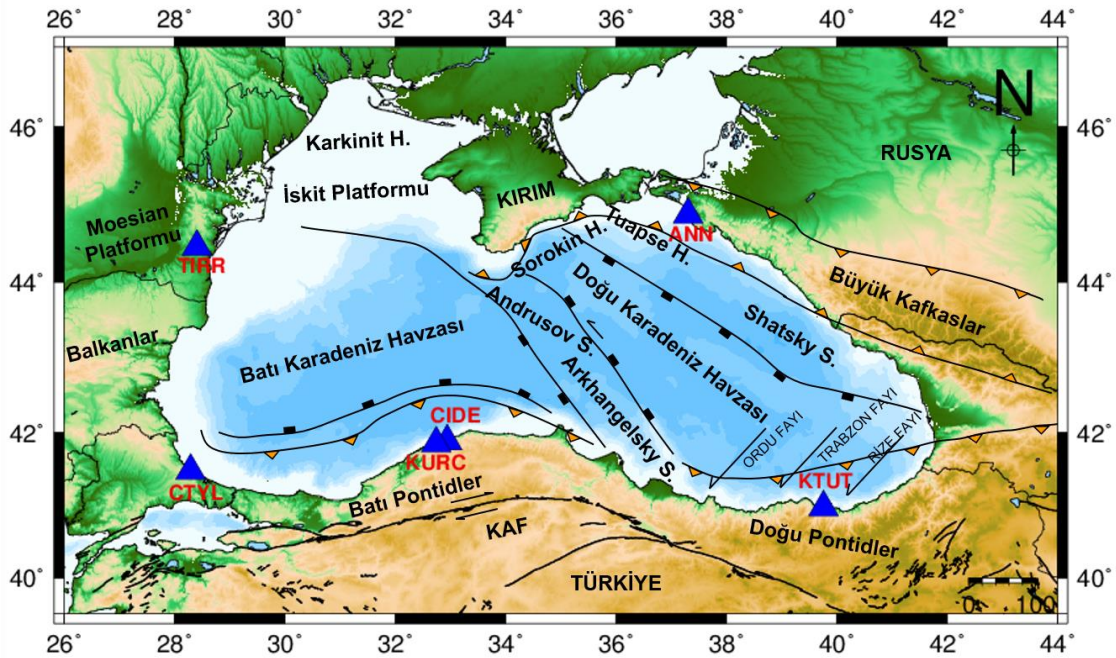
Keywords

Black Sea Basin,
Lithospheric Structure,
Receiver Functions,
Simultaneous Inversion

Abstract: In this study, the current crust and upper mantle structure of the Black Sea Basin and its surroundings have been studied using data of broadband earthquake stations. P-wave velocity, S-wave velocity, and Vp/Vs ratio (up to 300 km depth) were obtained for each station and they were associated with recent tectonic situation. To calculate the velocities, the P- and S-wave Receiver Functions were performed to the simultaneous inversion by the using Simulated Annealing method. The dataset included more than 400 teleseismic events. According to velocity histograms, while the Lithosphere-Asthenosphere boundary beneath the Eastern Black Sea Basin increased from north to south with a dome-like slope, a flat increase was observed in the Western Black Sea Basin in the same direction. Mean P-wave and S-wave velocities indicate the presence of the continental lithosphere around the Black Sea and its coastal area. According to these results, tectonically, it may be said that there is southward subduction beneath the Pontides.

1. Giriş

Alp-Himalaya orojenik kuşağında yer alan Karadeniz Havzası (KH) tektonik olarak aktif dağ kuşakları ile çevrelenmiştir. Havzanın güneyinde Pontidler, doğusunda Kafkaslar, kuzeyinde Kırım dağları ve batısında Balkanlar bulunmaktadır. Karadeniz Havzası içerisinde birçok sırt (Shatsky ve Andrusov gibi) ve hendek (Tuapse ve Karkinit gibi) bulunmakla birlikte, iki önemli genişleme alt-havzası mevcuttur: Doğu Karadeniz Havzası (DKH) ve Batı Karadeniz Havzası (BKH). Bu iki havza Andrusov ve Arkhangelsky sırtlarından meydana gelmiş Orta Karadeniz sırtı (OKS) ile birbirinden ayrılmaktadır (Şekil 1). DKH ve BKH geçişli ya da okyanus/okyanus altı tipi kabuk yapısı ile karakterize edilirken, KB-GD yönünde gelişmiş olan OKS kıtasal kabuk orijinlidir (Gobarenko & Yegorova, 2010; Yegorova & Gobarenko, 2010; Çınar & Alkan, 2016). Karadeniz Havzası genellikle Paleozoik-Senozoyik zamanda Pontid Orojenik Sisteminin kuzeyinde Neotetis okyanusunun kuzeye yitimi ile ilişkili yay gerisi havza olarak dikkate alınmaktadır (Yegorova ve ark., 2013). Fakat Eyuboglu ve ark. (2014)'na göre, Karadeniz Havzası Geç Miyosen-Pliyosen zamanda oluşmuş ve güneye doğru yiten Paleotetis okyanusunun güncel kalıntısını temsil etmektedir. BKH Geç Kretase zamanda doğrultu atımlı faylanma ve üst mantodan türeyen bazaltik magma etkisiyle oluşan riftleşmeden dolayı, Moesian ve İskit platformlarından meydana gelmiştir. DKH ise Jura ve Kretase zamanda Transkafkasya'nın etkisiyle bugünkü formuna kavuştuğu düşünülmektedir (Yegorova ve ark., 2013). Geç Kretase-Senozoyik zamanda Afrika-Arap plakasının kuzeye hareketi ve Anadolu bloğunun batıya kaçması Transkafkasya havzasını Doğu Karadeniz havzası ve Güney Hazar denizi olmak üzere iki ayrı parçaya bölmüştür. Bu tektonik hareket Transkafkasya'nın batısında kıtasal kabuk bazifikasyonu (basification) ve sıkışma deformasyonuna neden olmuştur (Scott ve ark., 2009). Bu sıkışma tektoniğiyle ilişkili olarak, Büyük Kafkaslar ve Güney Kırım dağları Kafkas terslenme kuşağının aktif bir parçası haline gelmiştir (Gobarenko ve ark., 2015). İskit kıtasal plakasının atına doğru Doğu Karadeniz okyanusal kabuğunun dalması muhtemelen Sorokin havzasının oluşmasına neden olmuştur (Yegorova & Gobarenko, 2010).



Şekil 1. Karadeniz ve çevresinin tektonik haritası (Gobarenko & Yegorova (2010)'dan değiştirilerek alınmıştır). Koyu mavi üçgenler geniş-bantlı deprem istasyonlarını temsil etmektedir. Şekil 1 ve 2 Generic Mapping Tools (Wessel ve ark., 2013) kodları ile çizilmiştir.

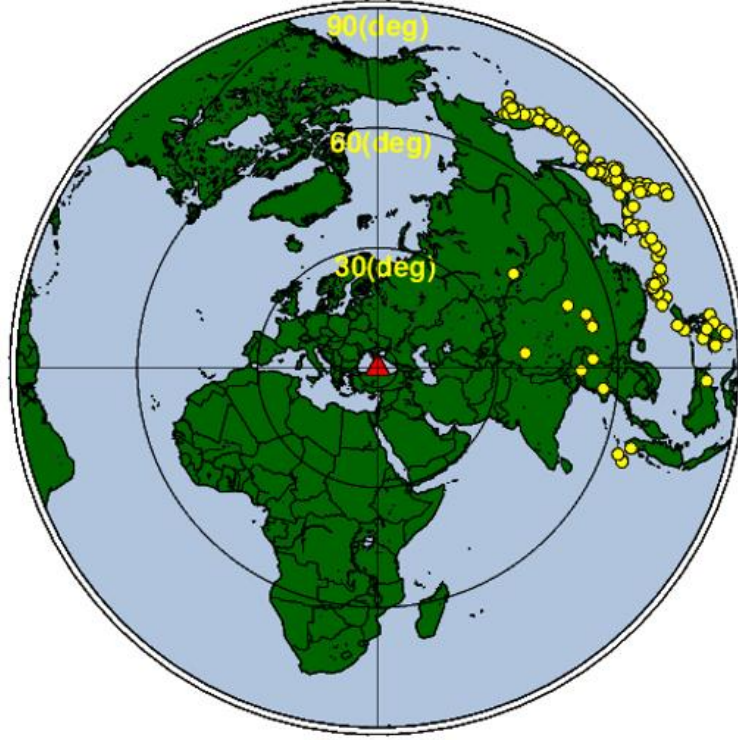
1960'lı yıllardan sonra, Karadeniz çeşitli Jeofizik ve Jeolojik çalışmalara ev sahipliği yapmıştır. Bu çalışmalar özellikle petrol araştırmalarıdır. Bununla birlikte, bölgenin güncel tektoniği ve jeolojik evrimi hakkında da bir dizi sismolojik/tektonik çalışma literatürde yer almaktadır. Bu yapılan çalışmalarla ilişkili olarak, Batı ve Doğu Karadeniz havzalarının kabuk kalınlıkları 24 km civarındadır

ve yaklaşık 14 km kalınlığında Senozoyik yaşlı sedimenter birimler mevcuttur (Gobarenko & Yegorova 2010; Yegorova ve ark., 2013). Moho süreksizliği derinlikleri her iki havzanın merkezinden uç kesimlere doğru artmaktadır. Güney Kıyım dağlarında ~48 km, Kafkas sahili boyunca ~44 km, Moesian platformu civarında ~36 km ve Pontidler’de ise ~40 km’dir (Maden, 2013; Entezar-Saadat ve ark., 2020). Birçok araştırmacının hesapladığı Moho derinlikleri birbirleri ile uyumlu iken, literatürde Litosfer-Astenosfer sınırı için farklılıklar göze çarpmaktadır.

Bu çalışmada Karadeniz’in kuzeyinden, güneyinden, batısından ve doğusundan seçilen geniş-bantlı deprem istasyonlarının kayıtları kullanarak, litosferik süreksizlikler ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, P- ve S-Alıcı Fonksiyonlarının (P- and S-Receiver Functions, PRFs and SRFs) birleşik ters çözüm algoritmasını (Oreshin ve ark., 2011) kullanarak, her bir istasyon altı için 2-boyutlu P-ve S-dalgası hız yapıları ve V_p/V_s oranları elde edilmiş, önceki yapılan çalışmalarla karşılaştırılmış ve bölgenin tektonik evrimi hakkında çıkarım yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Alıcı Fonksiyonları yöntemi ile ilişkili olarak telesismik deprem kayıtları kullanılmıştır. Karadeniz’in güneyindeki geniş-bantlı deprem istasyonları (KTUT, CIDE-KURC, CTYL) Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından ve Karadeniz’in batısından seçilen geniş-bantlı deprem istasyonu (TIRR) ise GFZ Potsdam tarafından işletilmektedir. Bu enstitülerin kayıtlarına European Integrated Data Archive (EIDA) vasıtasıyla ulaşılabilmektedir. Fakat Karadeniz’in kuzey ve kuzey doğusundaki istasyonlar uluslararası ağlara bağlı değildir. Bu durum, çalışma amacını gerçekleştirmek için karşılaşılan önemli problemlerden bir tanesidir. Bu problemin üstesinden gelmek için Russian Academy of Sciences (GS-RAS) ile bağlantıya geçilmiş ve ANN istasyonunun kayıtları talep edilmiştir. Karşılaşılan önemli problemlerden bir diğeri ise düşük Sinyal/Gürültü oranıdır. İstasyonların kayıt yaptıkları dalga formları incelendiğinde, kesik-veri ya da kayıt edilmemiş-veri ile sıklıkla karşılaşmıştır. Örneğin CIDE ve KURC istasyonlarının kayıtları ayrı ayrı incelendiğinde, yeterli sayıda veriye ulaşamamıştır. Bunun üstesinden gelmek için, coğrafi lokasyonları birbirine oldukça yakın olan bu iki istasyonun verileri birlikte çalışılmıştır. Bunu başarabilmek için dikkat edilmesi gereken önemli bir parametre dönüşüm derinliğidir (Piercing Points). Gelen dalganın geliş açısına, episantr uzaklığına ve dalga yörüngesindeki hız yapısına bağlı olan dönüşüm derinliği P_s ya da S_p dönüşüm fazlarının kapsadığı bölgeyi temsil etmektedir. 200 km’lik bir dönüşüm derinliği ve 70° episantr uzaklığı dikkate alındığında, istasyon altında P_s için ~100 km ve S_p için ~160 km’lik bir dairesel alandan söz edilebilir (Alkan ve ark., 2019). Bu durum, KURC ve CIDE istasyonlarından elde edilecek çözümün güvenilirliğini göstermektedir. Bu olumsuz durumlara rağmen, P- ve S-dalgası alıcı fonksiyonlarının birleşik ters çözümü yöntemini uygulamak için yeterli sayıda veri toplanmıştır. Ayrıca Alkan ve ark. (2019) Doğu Karadeniz havzasının güneyinde bulunan KTUT istasyonunun verilerini kullanarak birleşik ters çözüm işlemi uygulamışlardır. Alkan ve ark. (2019) tarafından elde edilen veriler bu çalışmaya da katkı sağlayacağı düşünüldüğünden eklenmiştir. Bu tür pozitif yaklaşımlar literatürde bazı çalışmalarda görülebilmektedir (Oreshin ve ark., 2011 gibi). Kullanılan istasyonlar Şekil 1’de gösterilmektedir. Şekil 2 ise 2010-2019 yılları arasında meydana gelmiş, moment magnitüdü 5.8’den büyük olan ve çalışma için kullanılan depremleri göstermektedir. Depremler genellikle Japonya’nın doğusunda meydana gelmiştir. P-Alıcı Fonksiyonları için episantr uzaklıkları 40° – 90° arasında değişen yaklaşık 250 deprem ve S-Alıcı Fonksiyonları için episantr uzaklıkları 65° – 90° arasında değişen yaklaşık 230 deprem seçilmiştir.



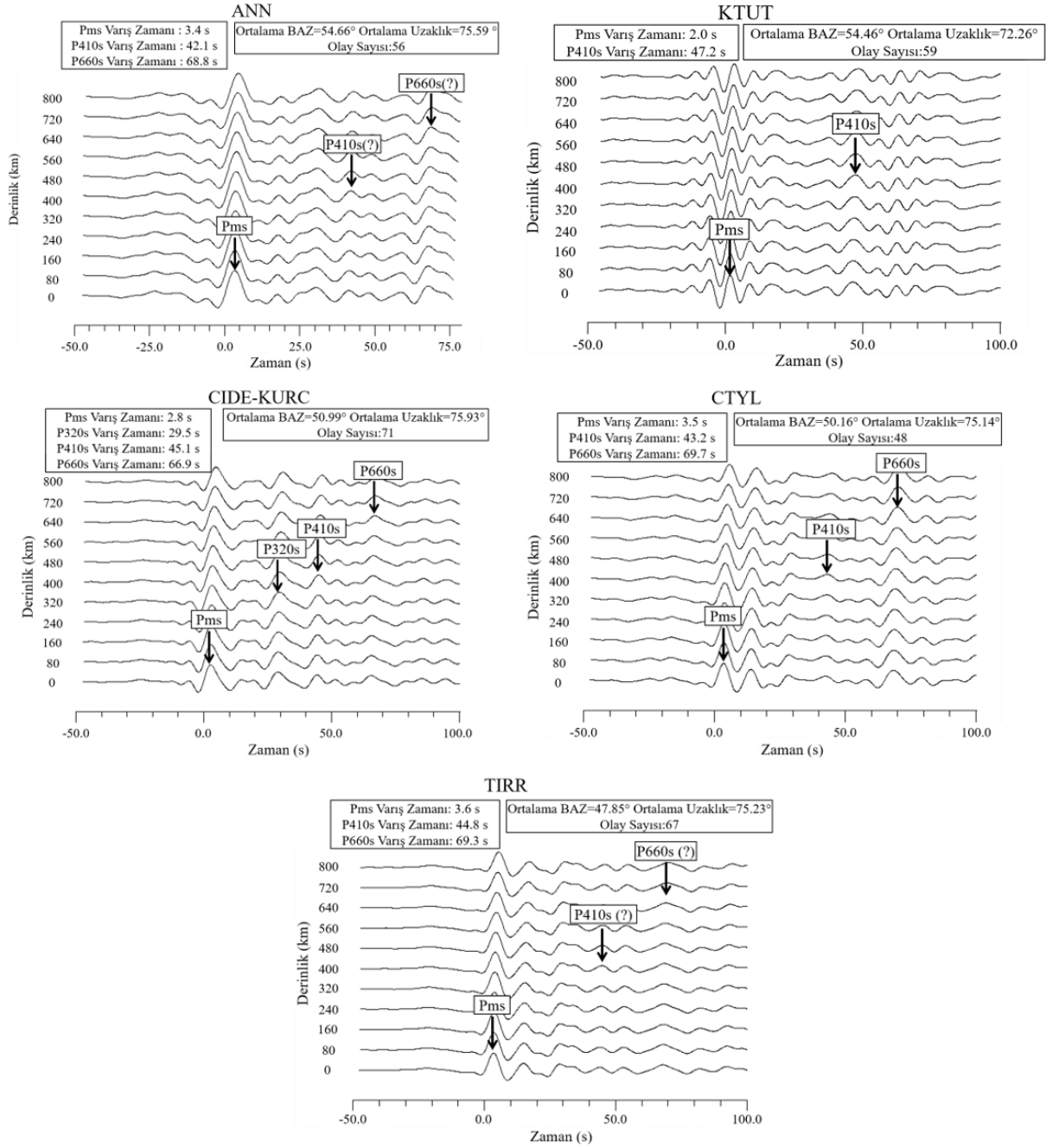
Şekil 2. Çalışma da kullanılmış telesismik olayların episentr dağılımı. Sarı daireler her bir depremin episentr noktasını göstermektedir. Kırmızı üçgen çalışma bölgesini temsil etmektedir.

Ps ya da Sp dönüşüm fazlarından elde edilen Alıcı Fonksiyonları Kabuk ve Manto'daki süreksizlikleri haritalamak için en ideal sismik yöntemlerin başında gelmektedir. Moho, Litosfer-Astenosfer Geçişi (Lithosphere-Asthenosphere Boundary, LAB) ve Manto Geçiş Zonu (Manto Transition Zone, MTZ) gibi yer içerisindeki farklı derinlik süreksizlikleri farklı araştırma amaçları için belirlenmeye çalışılmaktadır (Alkan ve ark., 2019; Vinnik, 2019). Bu çalışmada Alıcı Fonksiyonları tekniği kullanılarak, çalışma bölgesinin Moho ve LAB yapısının belirlenmesi amaçlanmıştır. RF'lerin güvenilir şekilde elde edilmesi için yapılması gereken üç işlem aşaması: Rotasyon, Dekonvolüsyon ve derinlik/yavaşlık yığmadır. Bu işlem adımları Seismic Handler (Stemmler, 1993) adlı yazılım ile yapılmıştır. PRF'leri hesaplamak için Vinnik (1977)' den faydalanılmıştır. Bu teknikte LQT koordinat sistemi dönüşümü kullanılır (Oreshin ve ark., 2011). Yöntemde, Z, N, E bileşenler ilk olarak R ve T bileşenlerine döndürülürler. İkinci olarak, Z ve R bileşenler L ve Q bileşenlerine back-azimut ve geliş açısı kullanılarak döndürülür. Eksen rotasyonundan sonra L bileşeni P-dalgası enerjisine ve Q-bileşeni SV dalgası enerjisine yani Ps dönüşüm fazı enerjisine sahip olur. L, Q ve T bileşenlerindeki S/G oranını optimize etmek için yüksek geçişli ($f_c=30$ s) ve alçak geçişli ($f_c=5$ s) filtreler uygulanır. Ardından, kaynak etkisini gidermek için zaman ortamında L bileşenleri (spike filtre) kullanılarak, Q bileşenleri ile dekonvole edilir. Dekonvole edilmiş Q bileşenleri 6.4 s/deg referans yavaşlık değeri ile birlikte Ps fazlarını büyütme için farklı dönüşüm derinlikleri (0 km'den 800 km'ye kadar) için zaman öteleme düzeltmesi ile yığılır. Seçilen istasyonların kayıtlarının kullanılmasıyla elde edilen derinlik yığma sonuçları Şekil 3'de gösterilmiştir. Yığma için kullanılan olay ya da bileşen sayısı, ortalama episentr uzaklığı, ortalama back-azimut ve dönüşüm fazlarının varış zamanları her bir yığma şeklinin üst kısmında verilmiştir. Tüm PRF'ler pozitif polariteli ve genellikle ~3.3 sn civarında varmış net Pms fazlarını içermektedir. CIDE-KURC istasyon çiftinde pozitif polariteli bir varış 26-30 sn civarında görülmektedir. Bu faz P320s fazı olarak bilinir ve faz geçişiyle ilişkili kimyasal heteronejik bir süreksizlikle ilişkilidir (Morais, 2012). KTUT, CIDE-KURC ve CTYL istasyonları PRF yığma sonuçlarında net P410s dönüşüm fazı gözlenmektedir. Fakat ANN ve TIRR istasyonu için aynı dalga fazı net olarak elde edilememiştir. P410s fazı ters çözüm aşamasında model sınırlandırmak ve seyahat zamanı rezidüellerini elde etmek için oldukça yararlı bir sinyaldir. IASP91 modeli ile ilişkili olarak P410s ve P660s fazlarının standart varış zamanları sırasıyla 44.0 ve 67.9 sn'dir. P660s fazı KTUT istasyonu yığma sonucu dışında diğer yığma sonuçlarında gözlemlenmiştir. P660s ve P410s fazlarının

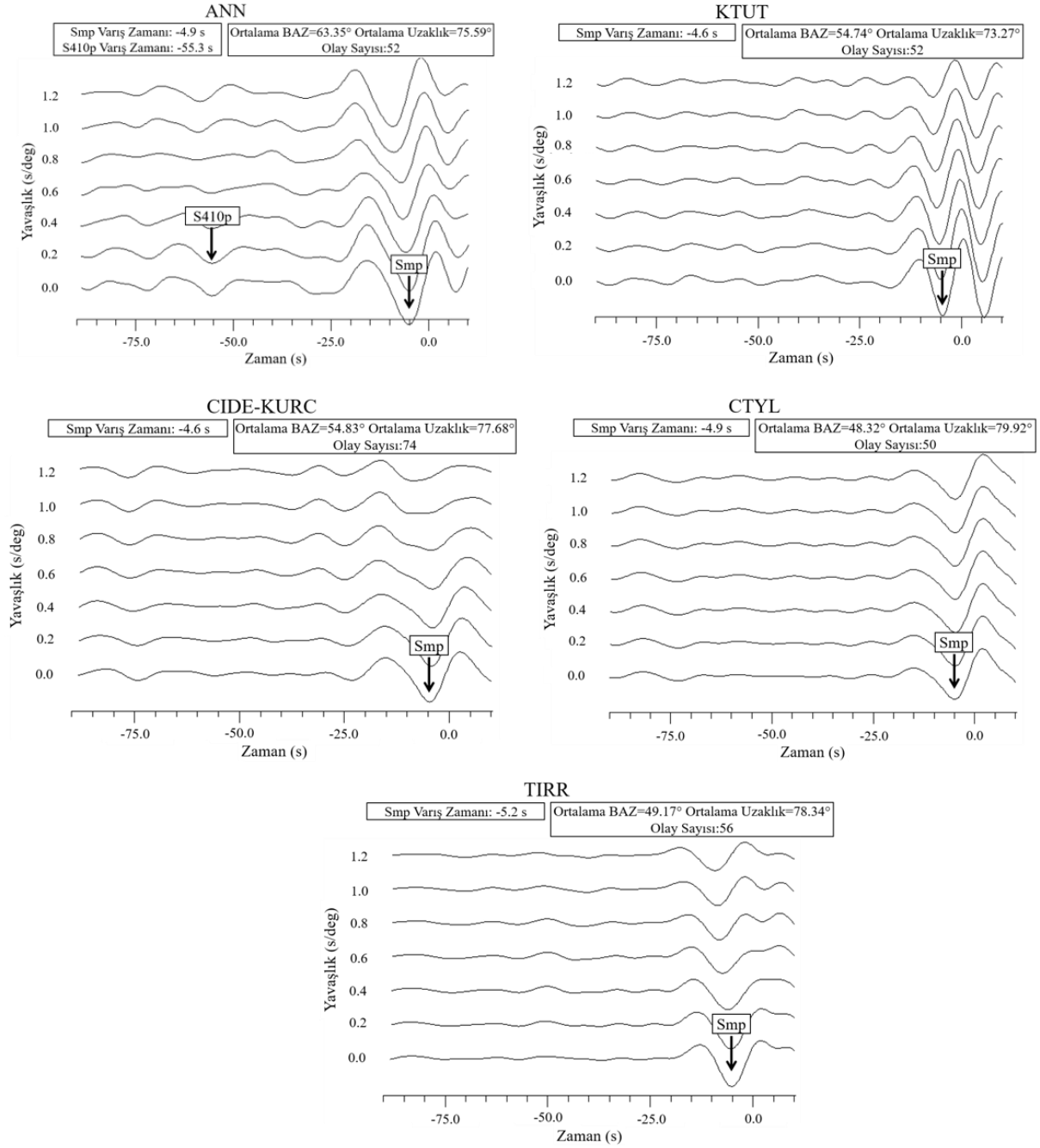
zaman varışları arasındaki fark 23.9 sn'dir ve soğuk yada sıcak bölgeler haricindeki Manto Geçiş zonundaki standart hızları göstermektedir (Morais, 2012). Bu yaklaşıma göre, ANN, CTYL ve TIRR istasyonlarının diferansiyel varış zamanı standart varış zamanından daha büyüktür fakat CIDE-KURC istasyonunun varış zamanı standart varış zamanından daha küçüktür. Bu durumda ANN, CTYL ve TIRR istasyonları için MTZ derinliği standart derinlikten (~250 km) (Chevrot ve ark., 1999) daha büyük ve CIDE-KURC istasyonu için MTZ derinliği standart derinlikten daha küçüktür.

Farra & Vinnik (2000) PRF tekniğine tamamlayıcı olması açısından, SRF tekniğini geliştirmiştir ve her iki tekniği eş zamanlı ters çözüm işleminde kullanmıştır. SRF'nin en temel avantajı derin süreksizliklerden gelen yansıma fazlarının, direkt S-dalgalarından daha erken gelen Sp varışları ile girişim yapmamasıdır. PRF tekniğindeki rotasyon işlemine benzer şekilde, SRF tekniği içinde LQT koordinat sistemi dönüşümü kullanılır. Fakat Q ve L bileşenleri geliş açılarından dolayı farklıdır. L bileşenleri sadece P-dalgası enerjisini içerdiğinden dolayı alıcı fonksiyonu olarak elde edilir. Q ve T bileşeni arasındaki eksenden elde edilen ve S-dalgası hareketi ile ilişkili olan M bileşeni ise standart spike filtre olarak kullanılır. Dekonvolüsyon işleminden önce, bileşenler yüksek ($f_c=30$ sn) ve alçak ($f_c=10$ sn) geçişli filtreler ile filtrelenir. Dekonvole edilmiş SRF'ler diferansiyel uzaklığın ve diferansiyel yavaşlığın fonksiyonu olarak zaman öteleme düzeltilmesi ile yığılır (Oreshin ve ark., 2011). Bu çalışmada elde edilen yavaşlık yığılma sonuçları Şekil 4'de gösterilmektedir. PRF'ler ile benzer şekilde ortalama back-azimut, ortalama uzaklık, varış zamanları ve olay sayısı şekillerin üst kısmında verilmiştir. Gürültünün RMS değeri (S-dalgasındaki SV genliği) tüm yığılma sonuçlarında yaklaşık olarak 0.015'dir ve Moho süreksizliğinden gelen tüm Sp fazlarının genlikleri ~0.18'dir. Tüm yığılma sonuçlarında negatif polariteli Smp fazları ~4.7 sn civarında belirlenmiştir. Maalesef S410p fazları iyi görünümü değildir.

PRF ve SRF'lerin birleşik eş zamanlı ters çözümü S-dalgası, P-dalgası ve V_p/V_s oranını elde edebilmek için oldukça faydalı bir tekniktir. Yöntemde, her bir istasyonun çevresi izotropik ve homojen olarak varsayılır. PRF'lerin 0 km derinlikteki yığılma izi ve SRF'lerin 0 s/°'deki yavaşlık yığılma izi ters çözüm için kullanılır. Optimum modeller için ters çözüm işlemi Benzetilmiş Tavlama (Simulated Annealing) yöntemi kullanılarak uygulanır (Mosegaard & Vestergaard, 1991). Benzetilmiş tavlama yöntemi, katı bir cisimin soğurken mükemmel şekilde atomik dizilişini örnek aldığından ve özellikle metallerin (örneğin: demir, çelik) tavlama işlemini andığından bu ismi almıştır. Bu yöntem; matematik olarak stokastik bir işlem olup pek çok değişkene sahip fonksiyonların en büyük veya en küçük değerlerinin bulunması ve özellikle pek çok yerel en küçük değere sahip doğrusal olmayan fonksiyonların en küçük değerlerinin bulunmasıdır. Sentetik bileşenler yer içi yassılaştırma dönüşümünden (Biswas, 1972) faydalanılarak, Thomson-Haskell tekniğinden (Haskell, 1962) hesaplanır. Deneme başlangıç modelleri 4 tabaka kabuk ve 5 tabaka manto olmak üzere 9 tabakadan oluşmaktadır. Yoğunluklar Birch yasasından (Berteussen, 1977) elde edilir. P-dalgası ve S-dalgası hızları 300 km derinliğine kadar IASP91 standart kabuk modelinden (Kennett & Engdahl, 1991) türetilir. Ters çözüm için Hata (misfit) fonksiyonları gözlemlenen ve sentetik fonksiyonlar arasındaki RMS farkı olduğundan dolayı, oldukça önemli bir parametredir. Hata fonksiyonları "Sıcaklık fonksiyonu" kullanılarak Metropolis kurallarına (Metropolis ve ark., 1953) göre, her bir harekete uygulanarak en küçüklenir. Yapılan tarama P- ve S-dalgası hızlarını sınırlandırır. Deneme model sayısı 10^5 kadardır ve görselleştirme de farklı renk kodları ile 10^4 kadarı gösterilir. Birleşik ters çözümde kullanılan seyahat zamanı rezidüelleri (dT_p ve dT_s) model-benzersizliğini azaltmak için kullanılır ve bilinmeyen model parametrelerin derinlik aralığı için üretilir. dT_p ve dT_s 410 km sismik süreksizliğinden dönüşen fazın (P410s) rezidüeli olan dT_p 'den hesaplanabilir. dT_s/dT_p oranı genel olarak 3 civarındadır (Oreshin et al., 2011). Bu çalışmada sadece ANN istasyonu için seyahat zamanı rezidüelleri hesaplanamamıştır. Dolayısıyla ANN istasyonu için rezidüeller olmadan ters çözüm işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3. ANN, KTUT, CIDE-KURC, CTYL ve TIRR istasyonları için P-Alıcı Fonksiyonları derinlik yığma sonuçları. Varış zamanları, ortalama back-azimut, ortalama episantr uzaklığı ve kullanılan olay (bileşen) sayısı her kısmın üst tarafında verilmiştir.



Şekil 4. ANN, KTUT, CIDE-KURC, CTYL ve TIRR istasyonları için S-Alıcı Fonksiyonları yavaşlık yığıma sonuçları. Varış zamanları, ortalama back-azimut, ortalama episantr uzaklığı ve kullanılan olay (bileşen) sayısı her kısmın üst tarafında verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

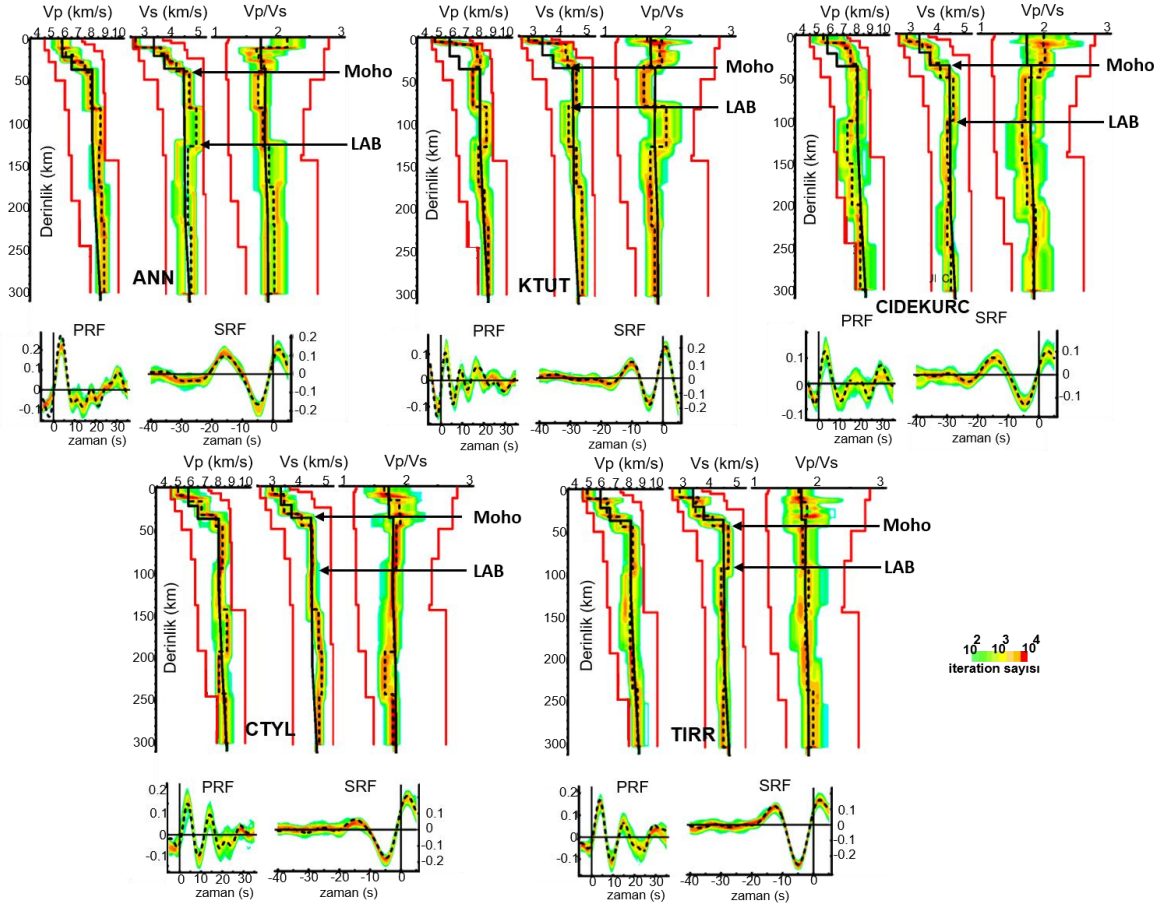
Karadeniz havzası içerisinde kurulu halde bulunan deprem istasyonları mevcut olmadığından dolayı, havzanın dört bir yanındaki kıyı şeridinde bulunan deprem istasyonları seçilmiş ve kayıtları kullanılmıştır. DKH, BKH ve OKS'nın iç yapısının modellenmesi için önceden yapılmış gravite, manyetik, ısı akışı, termal modelleme, sismik tomografi ve derin sismik sondaj gibi diğer jeofizik ve jeoloji yöntemlerin sonuçlarından da faydalanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile aşağıda detayları verilen çalışmalar jeofizik parametreler açısından kıyaslanmıştır.

Bu çalışmada ANN istasyonu altında, seyahat zamanı rezidüelleri olmadan yapılan birleşik ters çözüm sonucunda, üst kabukta düşük hızlar ($V_s=2.7$ km/s ve $V_p=4.8$ km/s) elde edilmiştir ve Kabuk-Manto geçişi 38 km ($V_s=4.6$ km/s ve $V_p=7.9$ km/s) olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Litosfer kalınlığı ise 126 km kadardır ($V_s=4.6$ km/s ve $V_p=8.5$ km/s). Mityukov ve ark. (2011)'na göre, ANN istasyonu civarında Tuapse havzasındaki düşük hızlı Maykop serisi sedimentleri yaklaşık olarak 7 km kalınlığındadır. Bu sedimanter birimler Kafkaslara doğru ise incelmektedir. Shillington ve ark. (2009), DKH'nda genişleme tektoniği ile ilişkili olarak, riftleşme sonrası oluşmuş ince kıtasal kabuktan magmatik olarak zengin okyanusal bir kabuğun varlığını belirlemişlerdir ve DKH'nın 20-30 km kalınlığında, geçişli bir kabuğa (transition crust) sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Starostenko ve ark. (2015), Karadeniz'in kabuk yapısının derinlik haritasını oluşturmuşlardır. DKH'nın merkezinde Moho süreksizliği ~21 km'den, çevre kıtasal bölgelerde 40-44 km derinliğe kadar değiştiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda DKH'nın kuzey doğusundaki Shatsky sırtında ise ~40 km kabuk kalınlığı olduğunu ifade etmişlerdir. Kırım-Kafkas sahili boyunca Yegorova & Gobarenko (2010) tarafından oluşturulan ~40 km derinliğindeki P-dalgası hız modelleri, düşük hızlı anomaliler göstermiştir. Fakat DKH'nın merkezinde okyanusal kabukla ilişkili yüksek hızlar elde etmişlerdir. Entezar-Saadat ve ark. (2020), DKH'nın merkezi için 120 km, Pontidler boyunca 100-120 km civarında bir LAB geçişini hesaplamışlardır.

KTUT istasyonu için elde edilen hız histogramlarına göre, üst kabukta düşük hızlar ($V_s=2.8$ km/s ve $V_p=4.7$ km/s) belirlenmiştir. Bu düşük hızlar Neojen ve Kuvaterner volkanik aktiviteyle ilişkilendirilebilir (Maden, 2013). Ayrıca Scott ve ark. (2009), DKH içerisinde Maykop formasyonu ile bağlantılı 5.5-8.5 km derinliklerinde düşük hızlı bir zonun (3.5 km/sn'den 2.5 km/sn'ye azalan) varlığından bahsetmişlerdir. Bu formasyon bölgenin güney doğusunda 2 km derinliğe kadar devam etmektedir. Bu çalışmada, KTUT istasyonu altında 33 km Moho derinliği ($V_s=4.5$ km/s ve $V_p=7.5$ km/s) belirlenmiş olup, düşük Pn hızları belirlenmiştir (Şekil 5). Bu düşük Pn hızları Doğu Pontid Orojenik Kuşağı'ndaki yaygın volkanik aktivite (Lü ve ark., 2017) ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Tezel ve ark. (2013), KTUT istasyonunda kaydedilen telesismik deprem kayıtlarını kullanarak hesapladıkları Alıcı fonksiyonlarının ters çözümünden, istasyon altı için ~31.5 km Moho süreksizliği bulmuşlardır. Motavalli-Anbaran ve ark. (2016), BKH ve DKH'nda yaklaşık olarak 22-28 km kalınlığında kabuk kalınlığı hesaplamışlardır. OKH'nda ~27 km, Kafkaslarda ~45 km ve Doğu Pontidlerde 42 km kabuk kalınlığı belirlemişlerdir. Hesapladığımız LAB geçişi ise 79 km ($V_s=4.2$ km/s ve $V_p=8.2$ km/s) civarındadır (Şekil 5). Alkan ve ark. (2019), Doğu Pontid Orojenik kuşağında 35-40 km civarında Moho derinliği ve ~85 km LAB derinliği belirlemişlerdir. Maden (2013), DKH'nın ortasından güney Karadeniz sahiline doğru termal litosfer kalınlığının azaldığını (130 km'den 90 km'ye) belirlemiştir. Doğu Pontidler altında Kuvaterner volkanizmasıyla ilişkili olarak yüksek ısı akısı değerleri hesaplamışken, DKH altında ise düşük ısı akısı değerinden dolayı soğuk ve güçlü bir litosferin varlığından bahsetmiştir. Artemieva & Shulgin (2019) ise, Neotetis okyanusunun (Eyuboglu ve ark., 2014) varlığıyla ilişkili olarak Doğu Pontidler altında 150-200 km kalınlığında bir termal litosferin varlığından bahsetmişlerdir.

KURC-CIDE istasyon çifti sonuçlarına göre, kabuk içerisinde ortalama P-dalgası hızı 6.5 km/s ve S-dalgası hızı 3.5 km/s civarındadır. Moho süreksizliği ise 32 km derinliğindedir ($V_s=4.13$ km/s ve $V_p=8.0$ km/s). LAB geçişi 100 km'de olup, P-dalgası hızı 8.0 km/s'den 7.4 km/s'ye ve S-dalgası hızı 4.6 km/s'den 4.4 km/s'ye azalmaktadır (Şekil 5). Yanovskaya ve ark. (2016), BKH'nın 60-70 km ve DKH'nın 45-55 km derinliklerinde yüksek P dalgası hızları ($V_p=8.4$ km/s) hesaplamışlardır. Ayrıca, OKH'ndan Pontidlere doğru yaklaşık 45 km derinliğinde P-dalgası hızları azalmaktadır (8.2 km/s'den 7.8 km/s' ye). Bu yüksek hızlar Kretase zamanda Tetis okyanusunun yitimi ile ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Karadeniz'in güney batısında bulunan CTYL istasyonu verileri için yapılan birleşik ters çözüm sonucunda, Moho süreksizliği 31 km derinlikte ($V_s=4.2$ km/s ve $V_p=7.8$ km/s) hesaplanmıştır. Litosfer kalınlığı ise 94 km'dir ($V_s=4.5$ km/s ve $V_p=8.1$ km/s). Bu çalışmadaki sonuçların aksine, Gobarenko & Yegorova (2010) BKH için yüksek hızlı litosferden (~150 km) ve DKH için düşük hızlı litosferden (70-80 km) bahsetmişlerdir. Starostenko ve ark. (2015)'nin termal litosfer modellerine göre, DKH'ndan kıtasal bölgelere dom (kubbe) tipi bir geçiş vardır ve derinliği 80 km'den Doğu Pontidlere doğru 120 km'ye kadar ulaşmaktadır. BKH'nda ise yassı tipi bir litosferik topoğrafya mevcut olup, merkezde 90 km'den Batı Pontidlerde 110 km civarındadır. Entezar-Saadat ve ark. (2020), BKH'nın merkezi için 90 km ve çevre kıtasal kuşaklar için 100-160 km civarında bir LAB geçişini hesaplamışlardır.

BKH'nın batısında bulunan TIRR istasyonuna ait geniş bantlı telesismik deprem verilerinden yapılan birleşik ters çözüm sonuçlarına göre, Moho süreksizliği 42 km'dedir ($V_s=4.65$ km/s ve $V_p=8.18$ km/s) ve LAB geçişi 92 km'de olup, V_s hızı 4.4 km/s ve V_p hızı 8.1 km/s'dir (Şekil 5). Diehl ve ark. (2005), "bootstrap resampling" yöntemi ile TIRR istasyonunda bulunduğu bölge olan Moesian platformunda ~40 km kabuk kalınlığı ve ~1.65 civarında kabuksal V_p/V_s oranı elde etmişlerdir. Lü ve ark. (2017), Karadeniz altında yüksek Pn hızları (8.35 km/s), Anadolu ve Kafkaslarda düşük Pn hızları (7.85 km/s) ve Karadeniz'in kuzey ve batısında ise ortalama değerde Pn hızları (~8.00 km/s) hesaplamışlardır. Düşük hızların Geç Miyosen'den beri meydana gelen manto yükselmesinin kanıt olduğunu iddia etmişlerdir. Yegorova ve ark. (2013), Karadeniz'in P-dalgası hız yapısını hesaplamıştır. Karadeniz'in Doğu Avrupa platformuna benzer şekilde güçlü ve kıtasal bir litosfere (100-150 km) sahip olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 5. PRF ve SRF'lerden elde edilen P-dalgası hız modelleri, S-dalgası hız modelleri ve V_p/V_s oranları (üstte) ANN, KTUT ($dT_s=2.4$, $dT_p=0.8$) ve CIDE-KURC ($dT_s=1.5$, $dT_p=0.5$) (altta) CTYL ($dT_s=-1.25$, $dT_p=-0.45$) ve TIRR ($dT_s=1.2$, $dT_p=0.4$). Hız modelleri renk kodlarıyla gösterilmiştir. Kesikli devamlı çizgiler medyanları ve siyah devamlı çizgiler IASP91 modelini temsil etmektedir. Kırmızı çizgiler araştırma sınırlarını temsil etmektedir. Hesaplanmış Moho ve LAB derinlikleri siyah oklarla işaretlenmiştir. Sentetik PRF ve SRF'ler aynı renk kodu ile her şeklin altında gösterilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Doğu Karadeniz havzası ve Batı Karadeniz havzası civarındaki güncel tektonik birliklerin kabuk ve üst manto yapısını yorumlamak için geniş-bantlı deprem istasyonlarının kayıtları kullanılmıştır. P-dalgası ve S-dalgası Alıcı Fonksiyonlarının birleşik ters çözümü yöntemi ile modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. Moho süreksizliği derinlikleri, Doğu Karadeniz Havzası'nın kuzeyinde ortalama 40 km'dir ve Doğu Pontid Orojenik Kuşağında ortalama 35 km'dir. Batı Karadeniz Havzası'nın kuzey batı civarında Moho süreksizliği derinliği ortalama 40 km iken, Batı Pontidler'de ise 32 km kadardır.
2. Ortalama kabuksal P-dalgası hızları ve S-dalgası hızları, sırasıyla, DKH için 6.47 km/s ve 3.60 km/s civarında iken, BKH için 6.28 km/s ve 3.52 km/s civarındadır. Hız ve kalınlıklar dikkate alındığında, her bir istasyon altındaki kabuk yapısı kıtasal karakterlidir.
3. Litosfer kalınlıkları DKH'nın kuzeyinden güneyine doğru 126 km'den 80 km'ye kadar keskin bir şekilde azalmaktayken, BKH'nda ise 92-97 km arasında değişen daha az eğimli kalınlıklar belirlenmiştir. Bu durum her iki havza için farklı hızda ve/veya farklı yapıda litosfer yapısını işaret etmektedir. BKH'nın kuzey batısındaki TIRR istasyonu altındaki yüksek hızlı litosfer İskit ve Moesian platformları orijinli olduğunu göstermektedir. Bunun aksine DKH'nın kuzeyinde güneyine göre daha yüksek hızlar elde edilmiştir. Bu yüksek hızlar rijit bir litosfer yapısını işaret etmektedir ve Kafkasya-Anadolu plakaları jeodinamik yapısıyla ilişkilidir.
4. Elde edilen tüm bu sonuçlara göre, bölge için Pontidlerin altına doğru güneye eğimli bir litosferik yapının (Eyuboglu ve ark., 2014) varlığından bahsedilebilir.

Teşekkür

Yazarlar dergi editörüne ve hakemlere yapmış oldukları yapıcı yorumlar ve katkıdan dolayı teşekkür ederler. Dijital deprem verisini sağlayan European Integrated Data Archive (EIDA) ve Russian Academy of Sciences (GS-RAS)'e teşekkürlerini sunarlar. Çalışmada kullanılan yöntemin tatbik edilmesinde gösterdikleri desteklerden dolayı Dr. Lev Vinnik ve Dr. Sergey Oreshin'e ayrıca teşekkür ederler.

Kaynakça

- Alkan, H., Çınar, H., Oreshin, S., & Vinnik, L. (2019). Investigation of the crustal and upper-mantle structure of the eastern Pontides orogenic belt (NE, Turkey): a receiver-function study. *Journal of Seismology*, 23(3), 473-491. <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09818-1>.
- Artemieva, I. M., & Shulgin, A. (2019). Geodynamics of Anatolia: Lithosphere thermal structure and thickness. *Tectonics*, 38. <https://doi.org/10.1029/2019TC005594>.
- Berkhout, A.J. (1977). Least square inverse filtering and wavelet deconvolution. *Geophysics*, 42, 1369–1383.
- Berteussen, K.A. (1977). Moho depth determinations based on spectral ratio analysis of NORSAR long-period P waves. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 15, 13–27.
- Biswas, N.N. (1972). Earth-flattening procedure for the propagation of Rayleigh wave. *Pure Applied Geophys.*, 96, 61–74.
- Chevrot, S., Vinnik, L., & Montagner, J.P. (1999). Global scale analysis of the mantle Pds phases. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 104:203–219. [doi: 0148- 0227 / 99 / 1999 JB 900087509.0](https://doi.org/10.1029/1999JB900087509.0).
- Çınar, H., & Alkan, H., (2016). Crustal S-wave structure beneath Eastern Black Sea Region revealed by Rayleigh-wave group velocities. *Journal of Asian Earth Sciences*, 115, 273–284. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.10.014>.
- Diehl, T., Ritter, J.R.R., & CALIXTO Group, (2005). The crustal structure beneath SE Romania from teleseismic receiver functions. *Geophysical Journal International*, 163, 238–251. [doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02715.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02715.x).

- Entezar-Saadat, V., Motavalli-Anbaran, S-H., Jamasb, A., & Zeyen, H. (2020). A comprehensive lithospheric study of Black Sea using thermal modeling and simultaneous joint 3D inversion of potential field data. *Tectonophysics*, 779, 228385. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228385>.
- Eyuboglu, Y., Santosh, M., Yi, K., Tuysuz, N., Korkmaz, S., & Akaryali, E. (2014). The Eastern Black Sea-type volcanogenic massive sulfide deposits: Geochemistry, zircon U–Pb geochronology and an overview of the geodynamics of ore genesis. *Ore Geology Reviews*, 59, 29–54. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.11.009>.
- Farra, V., & Vinnik, L. (2000). Upper mantle stratification by P and S receiver functions. *Geophysical Journal International*, 141:699–712. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2000.00118.x>.
- Gobarenko, V.S., & Yegorova, T.P. (2010). The Lithosphere Structure and Geodynamics of the West and East Black Sea Basins. *Physics of the Solid Earth*, 46-6, 507–523. [doi:10.1134/S1069351310060054](https://doi.org/10.1134/S1069351310060054).
- Gobarenko, V.S., Yegorova, T.P., & Stephenson, R. (2015). Local tomography model of the northeastern Black Sea: intra-plate crustal underthrusting. *Geological Society, London, Special Publications*, 428. <http://doi.org/10.1144/SP428.2>.
- Haskell, N.A. (1962). Crustal reflection of plane P and SV waves. *Journal of Geophysical Research*, 67, 4751–4767.
- Kennett, B.L.N., & Engdahl, E.R. (1991). Travel times for global earthquake location and phase identification. *Geophysical Journal International*, 105, 429–465. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb06724.x>.
- Lü, Y., Ni, S., Chen, L., & Chen, Q.F. (2017). Pn tomography with Moho depth correction from eastern Europe to western China. *Journal Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 1284–1301. [doi:10.1002/2016JB013052](https://doi.org/10.1002/2016JB013052).
- Maden, N. (2013). Geothermal structure of the eastern Black Sea basin and the eastern Pontides orogenic belt: implications for subduction polarity of Tethys oceanic lithosphere. *Geosci Front*, 4:389–398. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2013.02.001>.
- Metropolis, N., Rosenbluth, M.N., Rosenbluth, A.W., Teller, A.H., & Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *Journal Chem. Phys.*, 21, 1097–1092.
- Mityukov, A.V., Al'mendinger, O.A., Myasoedov, N.K., Nikishin, A.M., & Gaiduk, V.V. (2011). The Sedimentation Model of the Tuapse Trough (Black Sea). *Doklady Earth Sciences*, 440, 1245–1248. [doi: 10.1134/S1028334X11090303](https://doi.org/10.1134/S1028334X11090303).
- Morais, I.M. (2012). *Structure of the crust and mantle beneath Iberia and Western Mediterranean from P and S receiver functions and SkS waveforms*. (PhD), Universidade De Lisboa, Departamento De Engenharia, Geofisica. Portugal.
- Mosegaard, K., & Vestergaard, P.D. (1991). A simulated annealing approach to seismic model optimization with sparse prior information. *Geophys. Prospect.*, 39:599–611.
- Motavalli-Anbaran, S.H., Zeyen, H., & Jamasb, A. (2016). 3D crustal and lithospheric model of the Arabia–Eurasia collision zone. *Journal Asian Earth Sci.*, 122, 158–167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.03.012>.
- Oreshin, S.I., Vinnik, L.P., Kiselev, S.G., Rai, S.S., Prakasam, K.S., & Treussov, A.V. (2011). Deep seismic structure of the Indian shield, western Himalaya, Ladakh and Tibet. *Earth Planet Sci. Lett.*, 307:415–429. [doi:10.1016/j.epsl.2011.05.016](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.05.016).
- Scott, C.L., Shillington, D.J., Minshull, T.A., Edwards, R.A., Brown, P.J., & White, N.J. (2009). Wide-angle seismic data reveal extensive overpressures in the Eastern Black Sea Basin. *Geophysical Journal International*, 178 (2), 1145–1163. [doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04215.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04215.x).
- Shillington, D.J., Scott, C.L., Minshull, T.A., Edwards, R.A., Brown, P.J., & White, N. (2009). Abrupt transition from magma-starved to magma-rich rifting in the eastern Black Sea. *Geology*, 37-1, 7–10. [doi: 10.1130/G25302A.1](https://doi.org/10.1130/G25302A.1).
- Stammler, K. (1993). Seismic handler-programmable multichannel data handler for interactive and automatic processing of seismological analyses. *Computational Geosciences*, 19(2), 135–140. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(93\)90110-Q](https://doi.org/10.1016/0098-3004(93)90110-Q).
- Starostenko, V.I., Rusakov, O.M., Pashkevich, I.K., Kutas, R.I., Makarenko, I.B., Legostaeva, O.V., Lebed, T.V., & Savchenko, A. (2015). Heterogeneous structure of the lithosphere in the Black Sea from a multidisciplinary analysis of geophysical fields. *Geofizicheskiy zhurnal*, 37 (2), 3–28. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i2.2015.111298>.

- Tezel, T., Shibutani, T., & Kaypak, B. (2013). Crustal thickness of Turkey determined by receiver function, *Journal of Asian Earth Sciences* 75, 36–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.06.016>.
- Vinnik, L. (1977). Detection of waves converted from P to SV in the mantle. *Physics of the Earth and planetary interiors*, 15:39–45.
- Vinnik, L. (2019). Receiver Function Seismology. *Physics of the Solid Earth*, 55- 1, 12–21. [doi: 10.1134/S1069351319010130](https://doi.org/10.1134/S1069351319010130).
- Wessel, P., Smith, W.H.F., Scharroo, R., Luis, J.F., & Wobbe, F. (2013). Generic Mapping Tools: improved version released. *EOS Trans AGU*, 94:409–410.
- Yanovskaya, T.B., Gobarenko, V.S., & Yegorova, T.P. (2016). Subcrustal Structure of the Black Sea Basin from Seismological Data. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 52, 14–28. [doi: 10.1134/S1069351316010109](https://doi.org/10.1134/S1069351316010109).
- Yegorova, T.P., & Gobarenko, V.S. (2010). Structure of the Earth's crust and upper mantle of the West- and East-Black Sea Basins revealed from geophysical data and its tectonic implications. *Geological Society, London, Special Publications*, 340, 23–42. [doi:10.1144/SP340](https://doi.org/10.1144/SP340).
- Yegorova, T., Gobarenko, V., & Yanovskaya, T., (2013). Lithosphere structure of the Black Sea from 3-D gravity analysis and seismic tomography. *Geophysical Journal International*, 193 (1), 287–303. [doi:10.1093/gji/ggs098](https://doi.org/10.1093/gji/ggs098).



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<http://dergipark.gov.tr/yyufbed>



Araştırma Makalesi

An Analysis of Dielectric Response[†]

Fayrooz AL-BASRE¹, Harun AKKUS^{2*}

¹ Department of Physics, Institute of Natural and Applied Sciences, Van Yuzuncu Yil University, 65080, Van, Turkey

² Department of Physics, Faculty of Science, Van Yuzuncu Yil University, 65080, Van, Turkey

Fayrooz AL-BASREE ORCID No: 0000-0002-2161-9860, Harun AKKUS ORCID No: 0000-0003-1266-304X

*Corresponding author e-mail: physicisthakkus@gmail.com

Article Info

Received: 28.08.2020

Accepted: 29.09.2020

Online Published December 2020

Keywords

Argand diagram,
Complex plane,
Dielectric response,
Dispersion theory,
Lorentz oscillator,
Resonance frequency

Abstract: We perform a mathematical analysis of the dielectric spectrum within the framework of classical dispersion theory. The analysis is a complex plane analysis. With this analysis, a holistic analytical method is derived to decompose the imaginary part of dielectric function into its fundamental components. A complex plane is formed using the complex feature of the dielectric function. In this plane, each loop of the function $\epsilon_2(\epsilon_1 - 1)$, which completed to a circle, represents the linear optical response for a single Lorentz oscillator. The parameters of each Lorentz oscillator such as natural frequency, energy, and half-width are calculated by analyzing the circles.

Bir Dielektrik Tepki Analizi

Makale Bilgileri

Geliş: 28.08.2020

Kabul: 29.09.2020

Online Yayınlanma Aralık 2020

Anahtar Kelimeler

Argand diagramı,
Kompleks düzlem,
Dielektrik tepki,
Dispersiyon teorisi,
Lorentz osilatörü,
Rezonans frekansı

Öz: Bu çalışmada, klasik dispersiyon teorisi çerçevesinde dielektrik spektrumun matematiksel bir analizi yapılmaktadır. Bu analiz, bir kompleks düzlem analizidir. Bu analizle dielektrik fonksiyonun sanal kısmını temel bileşenlerine ayırmak için bir bütüncül analitik yöntem türetilmektedir. Dielektrik fonksiyonun kompleks özelliği kullanılarak bir kompleks düzlem oluşturulmuştur. Bu düzlemde, bir çembere tamamlanan her bir $\epsilon_2(\epsilon_1 - 1)$ fonksiyon döngüsü, tek bir Lorentz osilatörü için lineer optik tepkiyi temsil eder. Her bir Lorentz osilatörünün, doğal frekans, enerji ve yarı genişlik gibi parametreleri, bu çemberler analiz edilerek hesaplanır.

[†] This work is a part of the master thesis of Fayrooz AL-BASRE

1. Introduction

The optical properties of a dielectric medium, which generally result from the interaction of the medium with the light, are classified in three main groups: reflection, propagation and transmission. Some of the incident light is reflected from the front surface of the medium and it leads to the optical properties of medium such as reflectivity and reflection. The fact that the rest of incident light enters the medium and interacts with the medium is the reason for optical properties such as absorption, scattering and refraction. While some part of the light reaching the back surface is reflected back from this surface, some part of it passes the surface and leaves the medium. This event leads to properties of the medium such as optical transmittance.

The dispersion theory explains how the light propagates in the medium and the process of interaction of light with the medium. Indeed, it is based on the oscillations of bound electrons inside the medium (Wooten 1972; Fox 2001; Moss 1959; Nye 1957; Peiponen et al., 1999; Hodgson 1970). The reason for these oscillations is the force which is exerted by the electric field component of the electromagnetic field of incident light on the bound electrons in the medium. In the other words, the electric field of the incident light acts as a coercive force on the bound electrons. This motion is described by the driven harmonic oscillator model called Lorentz oscillator (LO) (Wooten 1972; Fox 2001; Moss 1959; Lorentz 1916). Since the effect of the magnetic field of the light on the motion is very small, it is neglected in this model. The interaction of bound electrons with the field of light is governed by the laws of the classical electrodynamics, that is, Maxwell's laws.

All forces exerted on each bound electron modelled as a LO inside a dielectric medium are shown in Figure 1 (Figure 1 is partly taken from Peiponen et al., 1999). In this model, the bound electron is a driven harmonic oscillator which is driven by an external driving force F_d . The other forces exerted on the electron are the restoring force F_r and damping force F_s in Figure 1. Therefore, from Newton's second law, the equation of motion of the electron is written as follows:

$$m\ddot{x} + m\Gamma\dot{x} + m\omega_0^2x = -eE_0e^{-i\omega t}, \quad (1)$$

where, m , e , and ω_0 are mass, charge, and natural oscillation frequency of the electron, respectively; ω and E_0 are the frequency and the amplitude of the electrical field of incident light, respectively, and Γ is the damping parameter. The constant k in Figure 1, which comes from Hook's law, is the spring constant and defined as $k = m\omega_0^2$. As it is easily understood, in Eq. (1), $F_s = -m\Gamma\dot{x}$, $F_r = -m\omega_0^2x$, and $F_d = -eE_0e^{-i\omega t}$ which comes from Lorentz force.

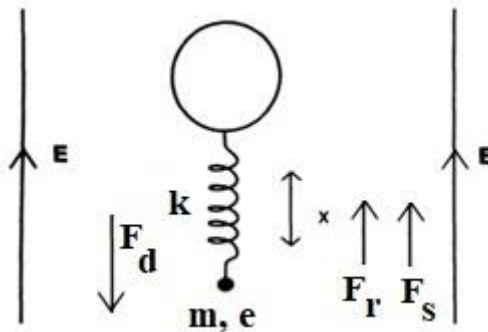


Figure 1. Lorentz oscillator (LO) model.

The solution of Eq. (1) gives the complex displacement (or amplitude) of LO:

$$x(t) = \frac{-eE_0/m}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2} \left\{ [(\omega_0^2 - \omega^2) \cos \omega t + \Gamma\omega \sin \omega t] \right\}, \quad (2)$$

and the modulus of the complex displacement can be calculated easily as follows:

$$|x(t)| = \frac{eE_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2}}. \quad (3)$$

The maximum value of amplitude $|x(t)|$ can be found taking the derivative of the expression in Eq. (3) with respect to frequency ω and equalling it to zero. Thus, the resonance frequency corresponding to this maximum amplitude of the LO becomes

$$\omega_r^2 = \omega_0^2 - \frac{\Gamma^2}{2}. \quad (4)$$

2. Material and Methods

2.1. Complex Linear Dielectric Susceptibility and Dielectric Function

Using the complex displacement given by Eq. (2), the electric dipol of LO induced by the electric field of light is written as follows:

$$d = \frac{e^2 E_0}{m} \frac{e^{-i\omega t}}{(\omega_0^2 - \omega^2) - i\Gamma\omega}. \quad (5)$$

If there are N LOs with the same natural frequency ω_0 in the unit volume, then we get the induced polarization

$$P = \frac{Ne^2 E_0}{m} \frac{e^{-i\omega t}}{(\omega_0^2 - \omega^2) - i\Gamma\omega}. \quad (6)$$

If the unit volume contains LOs which oscillate at different natural frequencies, then, the induced polarization per unit volume becomes (Wooten 1972):

$$P = \frac{e^2 E_0}{m} \sum_k \frac{N_k e^{-i\omega t}}{(\omega_k^2 - \omega^2) - i\Gamma_k \omega}. \quad (7)$$

As can be seen from this equation, since there exist N_k oscillators with damping parameter Γ_k and natural frequency ω_k in the unit volume, the total number of oscillators is (Wooten 1972)

$$\sum_k N_k = N. \quad (8)$$

It is well known from the linear dispersion theory that the linear dielectric susceptibility tensor $(\chi_d)_{ij}$, which is a 2-rank symmetric tensor, relates the induced polarization vector with the electrical field vector as follows (Nye 1957):

$$P_i = \varepsilon_0 (\chi_d)_{ij} E_j, \quad (9)$$

where ε_0 is the dielectric permittivity of vacuum. We can obtain a complex formula for each component of the linear dielectric susceptibility tensor by combining Eqs. (6) and (9),

$$\chi_d(\omega) = \frac{(Ne^2/m\varepsilon_0)}{(\omega_0^2 - \omega^2) - i\Gamma\omega}, \quad (10)$$

and it can be divided into real and imaginary parts easily:

$$Re(\chi_d(\omega)) = \frac{Ne^2}{m\varepsilon_0} \frac{(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2}, \quad (11.a)$$

$$Im(\chi_d(\omega)) = \frac{Ne^2}{m\epsilon_0} \frac{\Gamma\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2} \quad (11.b)$$

We know that the relation between the dielectric permittivity tensor and the linear dielectric susceptibility tensor of a dielectric medium is (Nye 1957)

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_0(\delta_{ij} + (\chi_d)_{ij}), \quad (12)$$

where δ_{ij} is the 2-rank unit tensor. The relative dielectric permittivity tensor of the medium can be easily written from expression (12):

$$(\epsilon_r)_{ij} = \frac{\epsilon_{ij}}{\epsilon_0} = (\delta_{ij} + (\chi_d)_{ij}). \quad (13)$$

Thus, each components of the relative dielectric tensor of the medium has the form of

$$\epsilon_r(\omega) = 1 + \frac{(Ne^2/m\epsilon_0)}{(\omega_0^2 - \omega^2) - i\Gamma\omega}. \quad (14)$$

On the other hand, each component of the relative dielectric permittivity tensor is a function of frequency of incident light and it has a complex form of

$$\epsilon_r(\omega) = \epsilon_1(\omega) + i\epsilon_2(\omega), \quad (15)$$

thus, its real and imaginary parts become

$$\epsilon_1(\omega) = Re(\epsilon_r(\omega)) = 1 + \frac{Ne^2}{m\epsilon_0} \frac{(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2}, \quad (16.a)$$

$$\epsilon_2(\omega) = Im(\epsilon_r(\omega)) = \frac{Ne^2}{m\epsilon_0} \frac{\Gamma\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2}, \quad (16.b)$$

respectively. The frequency dependencies of the real and the imaginary parts given by Eqs. (16) are plotted in Figure 2 using a online graphing program (Desmos), for the values of $(Ne^2/m\epsilon_0) = 100$, $\omega_0 = 3$, and $\Gamma = 2$, in arbitrary units. The resonance frequency calculated for these values is $\omega_r = 2.65$ in arbitrary units.

The difference of frequency values which correspond to the minimum and maximum points of the function $\epsilon_1(\omega)$ gives the value of Γ which is called the half-width of the LO because this value is also equal to the half-width of $\epsilon_2(\omega)$. This frequency region, where the real dielectric function decreases with the frequency, is called abnormal dispersion region. The regions where the real dielectric function increases with frequency are normal dispersion regions. The point at which the curve of $\epsilon_1(\omega)$ intersects with the vertical axis determines the static dielectric constant which is the relative dielectric function at low frequencies defined as

$$(\epsilon_r)_{st} = \epsilon_r(0) = 1 + \frac{Ne^2}{m\epsilon_0\omega_0^2}. \quad (17.a)$$

The calculated static dielectric constant for the example given in Figure 2 is $(\epsilon_r)_{st} = 12.11$. The value of relative dielectric function at high frequencies converges to unity,

$$(\epsilon_r)_\infty = \epsilon_r(\infty) = 1, \quad (17.b)$$

therefore, the difference of values of $(\epsilon_r)_{st}$ and $(\epsilon_r)_\infty$ is

$$(\varepsilon_r)_{st} - (\varepsilon_r)_\infty = \frac{Ne^2}{m\varepsilon_0\omega_0^2}. \quad (17.c)$$

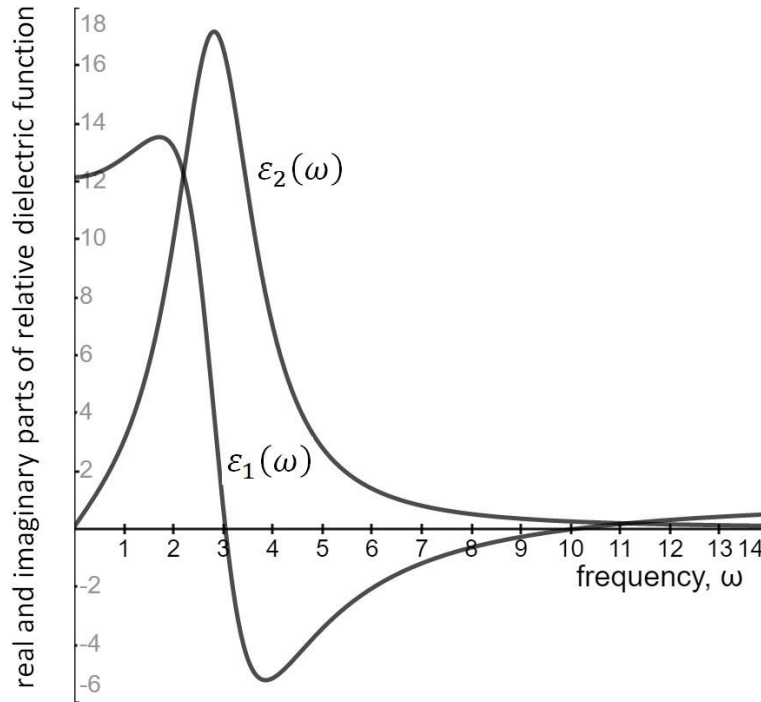


Figure 2. Frequency dependencies of the real and imaginary parts of relative dielectric function.

The maximum value of $\varepsilon_2(\omega)$ is defined as

$$\varepsilon_2(\omega)_{max} = \varepsilon_{2m} = \frac{Ne^2}{m\varepsilon_0\Gamma\omega_0}, \quad (17.d)$$

and its calculated value is $\varepsilon_{2m} = 16.67$ for the example in Figure 2.

3. Results

3.1. Argand diagram for LO

Because the curve of the imaginary part of a complex function relative to its real part is called Argand diagram of this complex function, Argand diagrams for the relative dielectric function of a dielectric medium defined by (15) can be formed with the curves of

$$(\varepsilon_2)_k = f((\varepsilon_1)_k - 1)$$

where the index k represents a LO with the natural oscillation frequency ω_k . Using Eqs. (16), we can find the following equation which relates the functions $\varepsilon_1(\omega) - 1$ and $\varepsilon_2(\omega)$:

$$(\varepsilon_1 - 1)^2 + (\varepsilon_2)^2 - \left[\frac{a(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2} \right]^2 - \left[\frac{a\Gamma\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2} \right]^2 = 0,$$

where $a = Ne^2/m\varepsilon_0$. With some rearrangement this equation becomes

$$(\varepsilon_1 - 1)^2 + (\varepsilon_2)^2 - (\varepsilon_1 - 1) \frac{a(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2} - \varepsilon_2 \frac{a\Gamma\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma\omega)^2} = 0.$$

In this equation, if the constant a is taken as $a = \omega_0^2 \varepsilon_{10}$ in the third term (where $\varepsilon_{10} = \varepsilon_r(0) - 1$ from Eq. (17.a)) and as $a = \Gamma \omega_0 \varepsilon_{2m}$ in the fourth term (from Eq. (17.d)), then, we easily obtain the equation of

$$(\varepsilon_1 - 1)^2 + (\varepsilon_2)^2 - (\varepsilon_1 - 1) \varepsilon_{10} \frac{\omega_0^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma \omega)^2} - \varepsilon_2 \varepsilon_{2m} \frac{\Gamma^2 \omega_0 \omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma \omega)^2} = 0. \quad (18)$$

The imaginary dielectric function given by (16.b) gets its the maximum value of $\varepsilon_2 = \varepsilon_{2m}$ if the condition of

$$(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\Gamma \omega)^2 = \Gamma^2 \omega_0 \omega \quad (19)$$

is provided. Thus, under this condition, Eq. (18) transforms into equation of

$$(\varepsilon_1 - 1)^2 + (\varepsilon_2)^2 - (\varepsilon_1 - 1) \varepsilon_{10} \frac{\omega_0}{\omega_0 + \omega} - \varepsilon_2 \varepsilon_{2m} = 0. \quad (20)$$

At frequencies that the frequency of light approaches to the natural oscillation frequency of the LO, the term $(\omega_0/\omega_0 + \omega)$ in the Eq. (20) goes to a half:

$$\lim_{\omega \rightarrow \omega_0} \left(\frac{\omega_0}{\omega_0 + \omega} \right) = \frac{1}{2}. \quad (21)$$

Under this limit, Eq. (20) is rewritten as follows:

$$(\varepsilon_1 - 1)^2 + (\varepsilon_2)^2 - \frac{(\varepsilon_1 - 1) \varepsilon_{10}}{2} - \varepsilon_2 \varepsilon_{2m} = 0. \quad (22)$$

With some little rearrangement Eq. (22) can be easily rewritten in the form of

$$\left((\varepsilon_1 - 1) - \frac{\varepsilon_{10}}{4} \right)^2 + \left(\varepsilon_2 - \frac{\varepsilon_{2m}}{2} \right)^2 = \left(\frac{\varepsilon_{10}}{4} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_{2m}}{2} \right)^2. \quad (23)$$

As can be easily seen, this equation is a circle equation in the complex plane of $(\varepsilon_1 - 1, \varepsilon_2)$. The center and the radius of this circle are given by $\left(\frac{\varepsilon_{10}}{4}, \frac{\varepsilon_{2m}}{2} \right)$ and $\sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{10}}{4} \right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_{2m}}{2} \right)^2}$, respectively.

Argand diagram for LO (ADLO) in the example of Figure 2 has been plotted in Figure 3 using Eq. (22) (or Eq. (23)). Taking $\varepsilon_1 - 1 = 0$ in Eq. (22), we find the points at which the ADLO intersects with ε_2 -axis as $\varepsilon_2 = 0$ and $\varepsilon_2 = \varepsilon_{2m} = 16.7$. Similarly, taking $\varepsilon_2 = 0$ in Eq. (22), the points at which the ADLO intersects with $(\varepsilon_1 - 1)$ -axis are found as $\varepsilon_1 - 1 = 0$ and $\varepsilon_1 - 1 = \frac{\varepsilon_{10}}{2} = 5.6$. As it is understood, if an ADLO can be drawn as in Figure 3, then, the maximum value of the imaginary dielectric function ε_{2m} , the static dielectric constant $(\varepsilon_r)_{st}$, the natural oscillation frequency ω_0 , and the half-width Γ of LO can be immediately determined from the ADLO. The natural oscillation frequency ω_0 is the frequency corresponding to the point that the ADLO intersects with vertical axis in Figure 3. It can be easily proved by taking $\varepsilon_2 = \varepsilon_{2m}/2$ in Eq. (23) that the upper half of the ALDO in Figure 3 takes place in the range of frequency from $\omega_0 - \frac{\Gamma}{2}$ to $\omega_0 + \frac{\Gamma}{2}$, that is, the half-width of the single LO is the Γ . The energy of the single LO, $E_0 = \hbar \omega_0$, also can be immediately calculated using the natural oscillation frequency ω_0 . While the real part of the complex relative dielectric function given by (16.a) is a measure of the response of dielectric medium to the electric field of incident light, the imaginary part given by (16.b) is a measure of the energy loss (or absorption) of incident light. Thus, if the energy of the LO is known, then, one of the absorption energies which corresponds to one of the interband transitions is found.

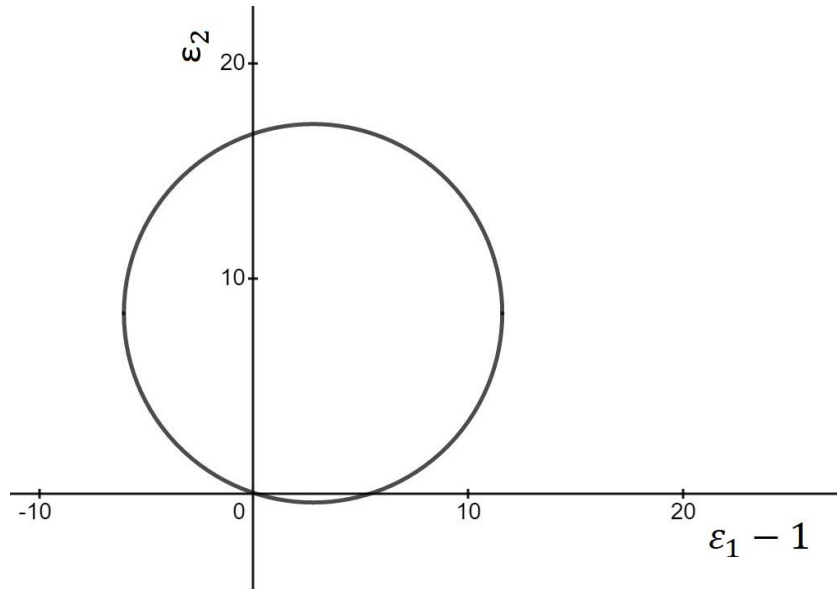


Figure 3. Argand diagram for LO (ADLO).

3.2. An application: Decomposition of dielectric spectrum into single LOs

The dielectric spectrum of a dielectric crystal consists of the combination of a large number of single LOs and the decomposition of the spectrum into single LOs is one of the problems of the optical spectroscopy of solids. There exist some works in the literature about the solution of this problem (Aleynikova et al. 2004; Cabuk and Mamedov 2004; Kalugin and Sobolev 2005; Piccard 1986; Sobolev et al. 2000). The curve of $\epsilon_2(\omega)$ versus $\epsilon_1(\omega) - 1$ for the cubic $RbNbO_3$ crystal has been plotted in Figure 4 for the purpose of application of the analytical methods derived in Section 3. The data for this graphic were produced from Erzen and Akkus (2018).

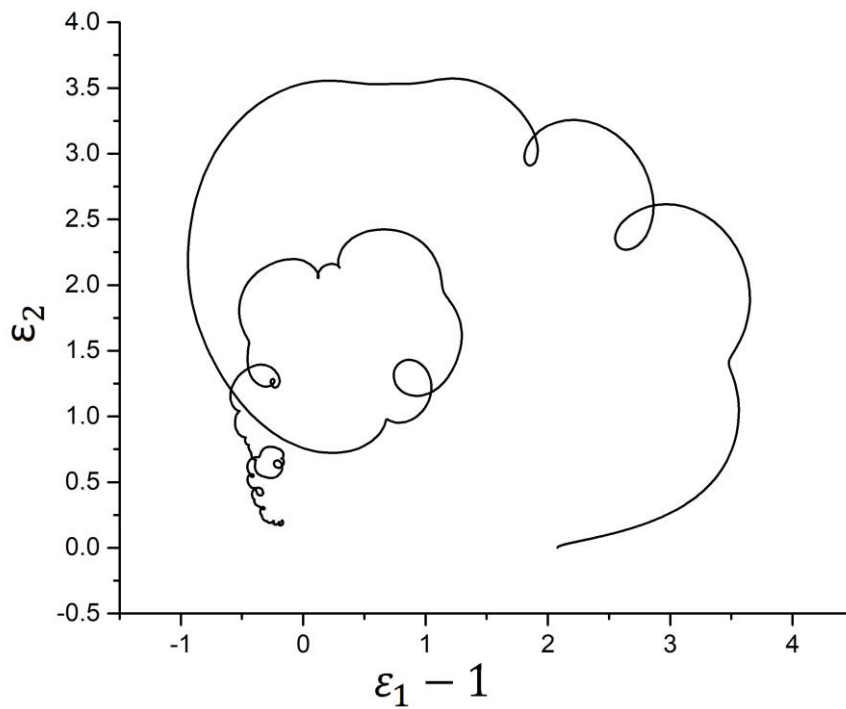


Figure 4. Argand diagram of multiple LOs for cubic $RbNbO_3$.

Each of the tangent circles which are drawn to the Argand curve at certain points in Figure 4 corresponds to a single LO. The drawn tangent circles for five different single LOs are shown in Figure 5. These circles have been redrawn as ADLO in Figure 6.

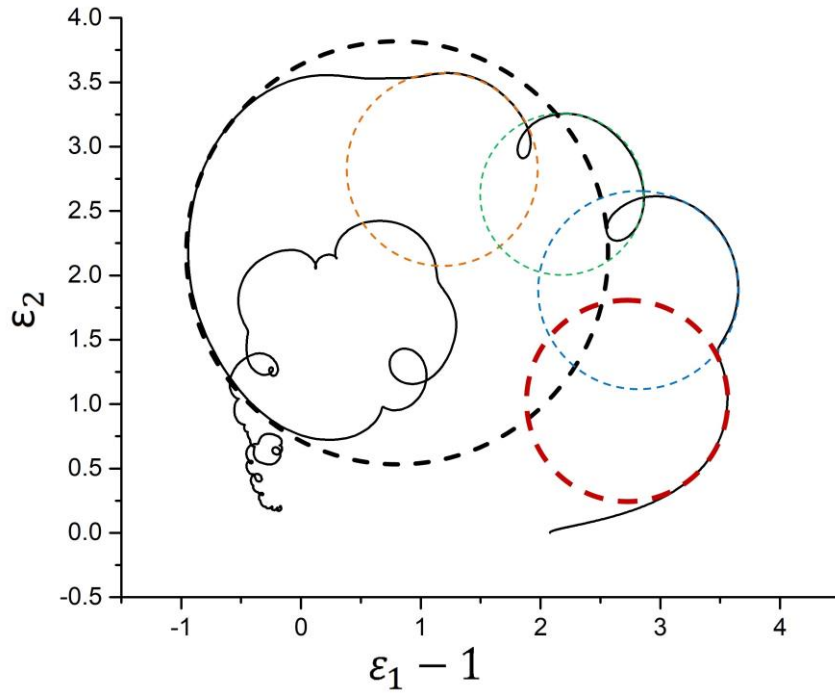


Figure 5. Five tangent circles (ADLOs) drawn on the Argand diagram of cubic $RbNbO_3$.

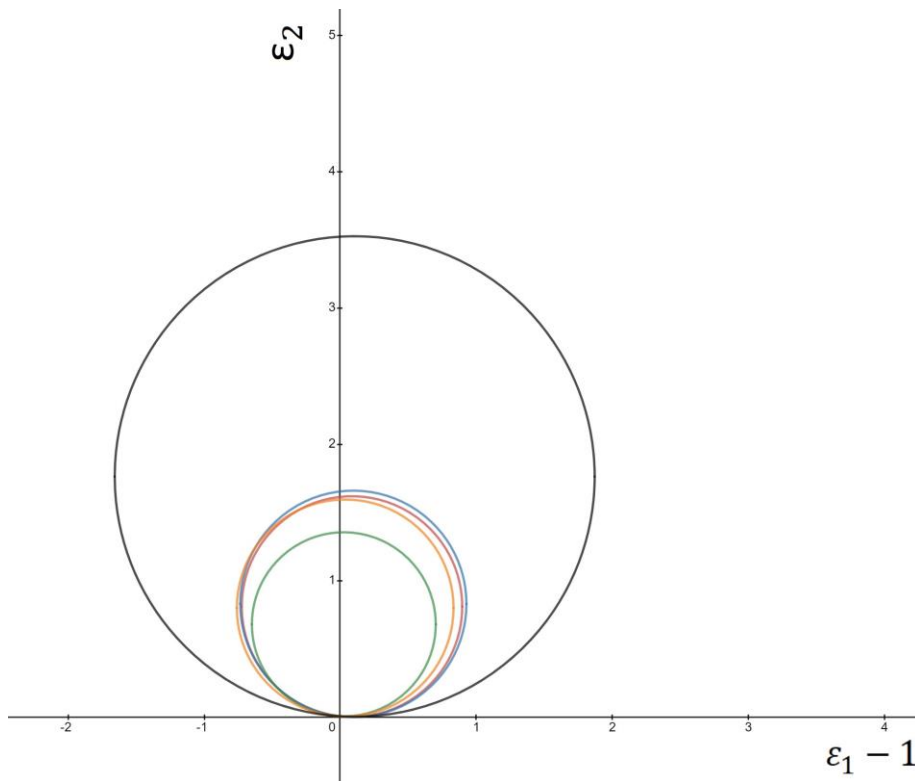


Figure 6. Five ADLOs for cubic $RbNbO_3$.

The analysis of five ADLOs drawn in Figure 6 has been performed with the help of analytical formulae derived in Section 3. The calculated parameters of the five ADLOs obtained from the

analysis are given in Table 1. The first column in Table 1 contains the colours of single ADLOs drawn in Figures 5 and 6. The second column contains the maximum values of imaginary dielectric functions which are defined by the Eq. (17.d) and calculated for each single LO. The ε_{2m} values were calculated from Figure 5 and Figure 6. The value of ε_{2m} for each LO is the value of the point that the ADLO intersects with vertical axis (except for the point that the circle intersects with vertical axis at the origin). The ε_{10} values, which associated with the static dielectric constant of each oscillator, are given in the third column. The value of ε_{10} for each single LO is twice of the value of the point that the ADLO intersects with horizontal axis (except for point that the circle intersects with horizontal axis at the origin).

Table 1. Calculated parameters of single LOs

ADLO	ε_{2m}	ε_{10}	ω_0 (1.52×10^{15}) rad/s	Γ (1.52×10^{15}) rad/s	E_0 (eV)
Red	1.61	0.37	4.41	1.00	4.41
Blue	1.65	0.40	4.44	1.08	4.44
Green	1.35	0.11	5.54	0.40	5.54
Orange	1.59	0.15	6.25	0.60	6.25
Black	3.52	0.44	6.69	0.84	6.69

The fourth column in Table 1 consists of the natural oscillation frequency values which calculated for each single LO. These frequency values are the frequency values corresponding to the points that each ADLO intersects with vertical axis (excluding the origin) in Figure 6. In the fifth column, the half-width values calculated for each single LO are given. The half-width parameter Γ is also the damping coefficient of each LO, which take place in Eq. (1). The Γ values have been calculated from the difference of frequency values correspond to the end points of the horizontal diameters of the ADLOs in Figure 6. In the last column, the calculated photon energy values corresponding to the natural oscillation frequency of each LO are given.

Finally, the imaginary part of the relative dielectric function drawn in Figure 4 and the imaginary dielectric functions of the five single LOs have been plotted in a narrow frequency range in Figure 7 using Eq. (16.b) and the calculated parameters in Table 1.

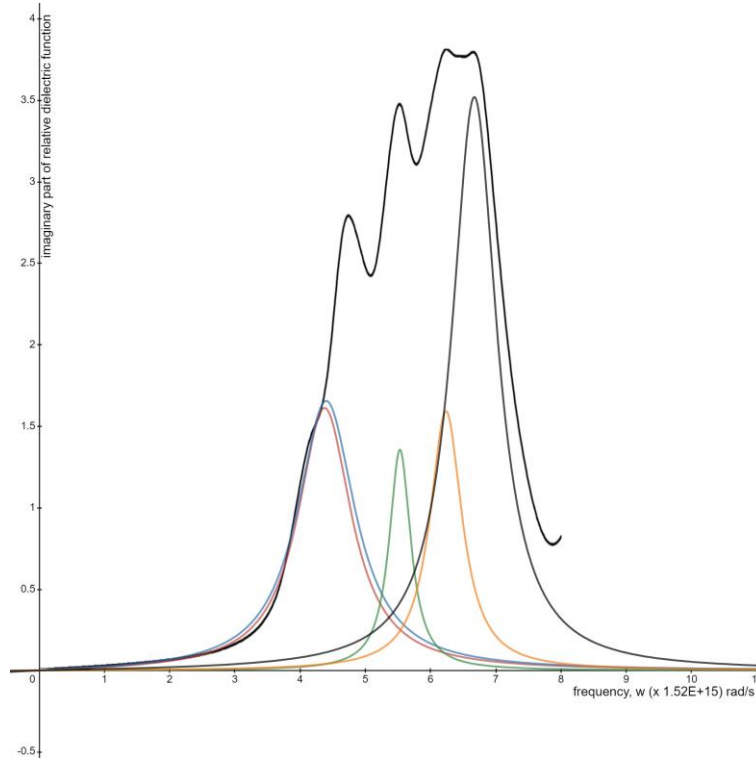


Figure 7. Five single LOs on the $\varepsilon_2(\omega)$ spectrum of cubic $RbNbO_3$.

4. Discussion and Conclusion

As a main theory of optics the dispersion theory explains the interactions of the light propagating in a medium. Although the optical properties are reduced to constant physical quantities in some special cases depending on the structural symmetry of the medium, they are generally tensor quantities whose all components are the function of the frequency of the light. One of the optical properties of the medium is the dielectric tensor of the medium. This tensor is a 3-dimensional and 2-rank tensor and has generally nine components. As each complex component depicts the dielectric spectrum in a special crystallographic direction, the dielectric spectrum determines all the optical properties of the medium. The classical dispersion theory of dielectrics is based on the harmonic motion model of the bound electrons affected by the electric field of incident light. Each bound electron is a LO in this model and the dielectric spectrum consists the response of a large number of LOs. Decomposition of the dielectric spectrum into its elementary components is one of the difficult and important issues of optics. In the present study, a detailed and holistic analytical method has been derived to solve the decomposition problem and an application of this method to the dielectric spectrum of cubic $RbNbO_3$ crystal has been presented.

References

- Aleynikova, K. B., Kozlov, A. I., Kozlova, S. G., & Sobolev, V. V. (2004). Crystal chemistry and optical properties of monoclinic zinc diphosphide. *Moldavian Journal of the Physical Sciences*, 3, 137-148.
- Cabuk, S., & Mamedov, A. (2004). Argand diagram and oscillation description of electron state in ferroelastic crystals. *Ferroelectrics*, 307, 19-23. doi: [10.1080/00150190490492187](https://doi.org/10.1080/00150190490492187)
- Desmos Inc. ATTN. <https://www.desmos.com/>. Accessed date: 16 May 2020.
- Erzen, M., & Akkus, H. (2018). Computation of physical properties of ferroelectric $RbNbO_3$ under pressure. *Ferroelectrics*, 526, 120-139. doi:[10.1080/00150193.2018.1456302](https://doi.org/10.1080/00150193.2018.1456302)
- Fox, M. (2001). *Optical Properties of Solids*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Hodgson, J. N. (1970). *Optical Absorption and Dispersion in Solids*. London, UK: Butler and Tanner Ltd.
- Kalugin, A. U., & Sobolev, V. V. (2005). Electronic structure of cadmium fluoride. *Physical Review B*, 71, 15112: 1-7. doi: [10.1103/PhysRevB.71.15112](https://doi.org/10.1103/PhysRevB.71.15112)
- Lorentz, H. A. (1916). *The Theory of Electrons and Its Applications to The Phenomena of Light and Radiant Heat*. Leibzig, Germany: B.G. Teubner.
- Moss, T. S. (1959). *Optical Properties of Semi-conductors*. London, UK: Butterworths.
- Nye, J. F. (1957). *Physical Properties of Crystals*. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Peiponen, K. E., Vartiainen, E. M., & Asakura, T. (1999). *Dispersion, Complex Analysis and Optical Spectroscopy*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Piccard, R. D. (1986). Argand diagrams, harmonic oscillators, and record-playing tonearms. *American Journal of Physics*, 54, 342-345. doi: [10.1119/1.14618](https://doi.org/10.1119/1.14618)
- Sobolev, V. V., Timonov, A. P., & Sobolev, V. Val. (2000). Oscillator strengths and transition energies of diamond. *Optics and Spectroscopy*, 88, 883–887.
- Wooten, F. (1972). *Optical Properties of Solids*. London, UK: Academic Press.



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<http://dergipark.gov.tr/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Erciş Üzüm Çeşidinin In Vitro Rejenerasyon Potansiyelinin Belirlenmesi*

Kinem ARSLAN¹, Adnan DOĞAN^{*1}

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 65080, Van, Türkiye

Kinem ARSLAN ORCID No: 0000-0002-9440-1344, Adnan DOĞAN ORCID No: 0000-0002-8623-0629

*Sorumlu yazar e-posta:adnandogan@hotmail.com

Makale Bilgileri

Geliş: 30.08.2020
Kabul: 02.10.2020
Online Yayınlanma Aralık 2020

Anahtar Kelimeler

Asma,
Erciş üzüm çeşidi,
In vitro rejenerasyon,
Kallus

Öz: Bu çalışmada, bitkisel materyal olarak ülkemizin zengin asma gen potansiyeli içerisinde Van ilinin ekolojisi ile özdeşleşmiş yerel bir üzüm çeşidi olan Erciş çeşidinin in vitro rejenerasyon potansiyeli belirlenmiştir. In vitro bitkiciklerden elde edilen yaprak ayası eksplantları, 0, 0.05 ve 0.1 5 mg L⁻¹ NAA (Naftalen asetik asit) ve 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ve 2.5 ve 5 mg L⁻¹ BAP (6-benzilaminopürin) ile içeren NN ve MS ortamlarında 15 gün karanlık 15 gün ise aydınlık koşullarda kültüre alınmıştır. Araştırma sonucunda kültür ortamlarının içermiş olduğu bitki büyüme düzenleyici maddelerin farklı konsantrasyonları ve kombinasyonlarının rejenerasyon oranı (%), kallus oluşturan eksplant sayısı (adet), kallus kalitesi (%) ve kallus oluşturma oranı (%) üzerine farklı etki yaptığı belirlenmiştir. Rejenerasyon oranı (%), kallus oluşturan eksplant sayısı (adet) ve kallus oluşturma oranı (%) bakımından MS ortamının NN ortamına göre daha iyi sonuç verdiği gözlenirken, kallus kalitesi (%) bakımından NN ortamının MS ortamına göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Çalışma sonucunda incelenen tüm özellikler bakımından en iyi sonuç her iki ortama da ilave edilen 0.1 mg L⁻¹ NAA + 1.0 mg L⁻¹ BAP konsantrasyonundan elde edilmiştir.

Determination of In Vitro Regeneration Potential of Erciş Grape Variety

Article Info

Received: 30.08.2020
Accepted: 02.10.2020
Online Published December 2020

Keywords

Erciş grape variety,
In vitro regeneration,
Callus

Abstract: In this study, the in vitro regeneration potential of Erciş, a local grape variety identified in the ecology of Van province within the rich gene potential of our country, was determined. Foliar explants obtained from in vitro plants were treated with N, N-dimethylaminopyridine (NA) containing 0, 0.05 and 0.1 5 mg L⁻¹ NAA (Naphthalene acetic acid) and 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 and 5 mg L⁻¹ BAP and MS for 15 days in darkness and 15 days in bright conditions. As a result of the research, it was determined that different concentrations and combinations of plant growth regulators in culture media had different effects on regenerated explant ratio (%), number of callus explants (number), callus quality (%) and callus formation rate (%). It was observed that the MS medium gave better results than the NN medium in terms of the ratio of the regenerated explants (%), number of explants forming the callus (number) and callus formation rate (%), whereas NN medium was better than MS medium in terms of callus quality (%). As a result of the study, the best results were obtained from the concentrations of 0.1 mg L⁻¹ NAA + 1.0 mg L⁻¹ BAP added to both culture medium.

* Çalışma birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

Türkiye, bağ alanı ve üzüm üretimi yönüyle dünyanın bağcılık açısından söz sahibi ülkelerinden biridir. Ülkemiz, Asma (*Vitis vinifera* L.)'nin anavatanı olmasının yanı sıra bağcılık kültürünün de ilk başladığı yer olması nedeniyle oldukça zengin bir asma gen potansiyeline sahiptir. Ne yazık ki ülkemizde dış pazara ihraç edilecek üzüm çeşidi sayısı oldukça sınırlıdır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda Türkiye'nin üzüm ihracatı açısından arzulanan seviyede gelir sağlayamamaktadır.

Bağcılıkta pazar değeri ve randımanı yüksek gerek sofralık gerekse şaraplık üzüm çeşitlerin elde edilmesi ıslah çalışmaları neticesinde sağlanabilir. Asma ıslahı çalışmaları, dünyada olduğu gibi ülkemizde de bağcılığın öncelikli konuları arasındadır (İşçi & Altındişli, 2016).

Son yıllarda asma ıslahı çalışmalarında öncelikli konular ise; tane kalite kriterlerinin artırılması, çekirdeksizlik, abiyotik ve biyotik koşullara dayanıklılığın artırılması, erkenci/geçici çeşitlerin elde edilmesidir. Bitkisel üretimin ve ürünlerdeki kalitenin artırılması açısından, ıslah çalışmaları büyük önem kazanmıştır. Kombinasyon ıslahı, melezleme çalışmaları ile başlayan, çok uzun süreç olup arzu edilen çeşitlerin elde edilmesi için geniş popülasyonlar içerisinden seçim gerektirmekte, fazla işgücü istemekte ve etkinliği düşük olmaktadır. Asma gibi çok yıllık bitkilerdeki heterozigotik yapı ise ıslah çalışmalarında amaca uygun hibritlere ulaşmayı zorlaştıran bir diğer faktördür (Keskin & Kunter, 2008). Günümüzde biyoteknoloji alanında yaşanan gelişmeler özellikle ıslah süreçlerinin kısaltılmasında ve erken seleksiyona olanak sunması ile ön plana çıkmaktadır (Keskin & Kunter, 2008).

Doku kültürü, biyoteknolojik metotlar içinde önemli bir yere sahiptir. Aseptik şartlarda, yapay besi ortamı içinde bütün bir bitki, hücre, doku veya organ gibi bitki kısımlarından yeni doku, bitki veya bitkisel ürünler üretilmesine doku kültürü denilmektedir. Bitki doku kültürlerinde ve genetik iyileştirmelerde kullanılan temel sistem bitki rejenerasyonudur. In vitro bitki rejenerasyon yöntemlerinin amacı, kallusta meristematik bölgelerin ve meristematik sürgünlerin oluşumu arttırmaktır (Çatal & Bakoğlu, 2018).

Asmada in vitro rejenerasyon kaynağı olarak değişik eksplantlar kullanılmaktadır. Bunlar anter (Lopez-Perez ve ark., 2005; Cutanda ve ark., 2008; Zhang ve ark., 2009), olgunlaşmamış ovül (Xu ve ark., 2005), olgunlaşmamış çiçek (Lopez-Perez ve ark., 2005; Cutanda ve ark., 2008; Acanda ve ark., 2013), yumurtalık (Lopez-Perez ve ark., 2005), yaprak (Keskin & Kunter, 2007; Keskin & Kunter, 2008), yaprak sapı (Tassoni ve ark., 2005), boğum ve gövde parçaları (Jaskani ve ark., 2008; Chao ve ark., 2015; Bilir Ekbiç ve ark., 2015), sülük (Babalık, 2006) şeklindedir. Ancak başarı değişiklik arzutmekte olup çalışmalarda mutlaka kullanılabilir nitelikte bir rejenerasyon sisteminin oluşturulması sağlanmalıdır.

Son yıllarda, moleküler ve hücre tekniklerinin kullanıldığı ıslah metotlarının geliştirilmesi ile kullanılabilirliği artmıştır. Bu yeni ıslah metotları, sadece yeni bir çeşidin geliştirilmesine olanak sağlamamakta; ayrıca, bir çeşidin temel niteliklerini bozmadan istenilen spesifik bir karakterin kazandırılmasına ilişkin modifikasyonlara da imkan sağlamaktadır (Babalık, 2006).

Erciş üzüm çeşidi ülkemizin zengin asma gen potansiyeli içerisinde Van ilinin ekolojisi ile özdeşleşmiş bir üzüm çeşididir. Sıcaklığın sınırlayıcı etkisi ve yüksek rakım nedeniyle yetiştiği ekolojide diğer üzüm çeşitlerine göre zor koşullara daha toleranslıdır. Bu bağlamda Erciş üzüm çeşidi genetik anlamda son derece değerli bir ıslah materyalidir. Bu çalışmada Erciş üzüm çeşidinin in vitro yaprak eksplantlarından rejenerasyon üzerine değişik bitki büyüme düzenleyicileri ve konsantrasyonlarının etkileri araştırılmıştır. Böylece Erciş üzüm çeşidinin in vitro rejenerasyon potansiyelinin ortaya konması amaçlanmıştır. Dolayısı ile bu çeşitle gelecekte yapılacak biyoteknolojik araştırmalar için referans olarak başvurulabilecek bilimsel bir çalışma yürütülmüştür.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmanın bitkisel materyalini Erciş yerli üzüm çeşidi oluşturmaktadır. Araştırmada kullanılan Erciş üzüm çeşidine ait bazı önemli özellikler görsel Şekil 1'de verilmiştir (Keskin & Kunter, 2007).

Çiçek tipi	Erdişi
Tane rengi	Mavimsi siyah
Tane iriliği	Küçük-orta, 2 g
Salkım şekli	Dallı konik
Salkım iriliği	Orta, 250 g
Olgunlaşma	Orta mevsim
Kalite Özelliği	Şaraplık-şıralık bir çeşit olmakla birlikte, çeşide özgü aroması nedeniyle sofralık olarak da tüketilmektedir.



Şekil 1. Erciş üzümü.

2.2. Yöntem

2.2.1. Eksplantların elde edilmesi

Erciş üzüm çeşidine ait yaprak ayalarının in vitro rejenerasyon kapasitelerini belirlemek amacıyla, öncelikle eksplantların alınacağı in vitro sürgünlerin elde edilmesine yönelik olarak Erciş üzüm çeşidinden budama dönemi içerisinde temin edilen çelikler 25 °C de 8/16 saat fotoperiyotta sürdürülmüştür (Yıldırım ve ark., 2016).



Şekil 2. Bir yaşlı dalların sürdürülmesi, In vitro bitkicikler ve yaprak parçacıkları.

2.2.2. In vitro bitkiciklerin eldesi

In vitro bitkiciklerin eldesinde Keskin (2018) tarafından uygulanmış olan metot kullanılarak in vitro bitkicikler elde edilmiştir (Şekil 2).

2.2.3. Rejenerasyon

Rejenerasyon denemelerinde 4 aylık alt kültür uygulamaları sonucunda yeterli bitki sayısına ulaşıldığında, in vitro ortamında gelişen bitkiciklerden yaprak parçacıkları alınarak in vitro ortamda rejenerasyona teşvik edilmişlerdir. Eksplantlar literatür kapsamında belirlenmiş 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ve 2.5 mg L⁻¹ BAP ile 0, 0.05 ve 0.1 mg L⁻¹ NAA içeren MS ve NN (Çizelge 1) ortamlarında kültüre alınmıştır (Çizelge 2). Hazır ticari besin ortamlarından NN litreye 2.18 g, MS ise 4.4 g tartılarak ilave edilmiştir. NN ortamına 20 g L⁻¹, MS ortamına ise 30 g L⁻¹ sakkaroz eklenmiştir. Her iki ortamın da pH'sı 5.7'ye ayarlanmış, 7 g L⁻¹ agar eklenerek otoklavda 121 °C'de 20 dakika sterilize edilmiştir. Eksplantlar 10 tekerrürlü her kültür kabına on yaprak ayası kültüre konulmuştur. Kültürler 25 °C'de 15 gün karanlık ortamda tutulduktan sonra 8/16 fotoperiyot ve 25 °C'de 30 gün inkübe edilmiştir (Keskin, 2018; Yıldırım & Ozdemir, 2018).

Çizelge 1. MS temel besin ortamının bileşimi

MS bileşimi		NN bileşimi	
A.Makro elementler	(mg L ⁻¹)	A.Makro elementler	(mg L ⁻¹)
-NH ₄ NO ₃	1650	-KNO ₃	950
-KNO ₃	1900	-NH ₄ NO ₃	720
-CaCl ₂ .H ₂ O	440	-MgSO ₄ .7H ₂ O	185
-KH ₂ PO ₄	170	-CaCl ₂ .H ₂ O	166
-MgSO ₄ .7H ₂ O	370	-KH ₂ PO ₄	68
-NaFeEDTA	36.7	B.Mikro elementler	(mg L ⁻¹)
B.Mikro elementler	(mg L ⁻¹)	-MnSO ₄	25
-MnSO ₄	16.0	-ZnSO ₄	10
-ZnSO ₄	8.6	-Na ₂ Mo ₄	0.25
-H ₂ BO ₃	6.2	-H ₂ BO ₃	10
-KI	0.830	-CuSO ₄	0.025
-Na ₂ Mo ₄	0.250	C.Demirli bileşik	(g L ⁻¹)
-CuSO ₄	0.025	-FeSO ₄ .7H ₂ O	0.557
-CoCl ₂	0.025	-Disodyumetilendiaminotetraasetat	7.450
1)Vitamin ve amino asitler	(mg L ⁻¹)	1)Vitamin ve amino asitler	(mg L ⁻¹)
-Myo-inositol	100	-Myo-inositol	100
-Thiamin HCL	0.1	-Glycine	2
-Pyridoxin HCL	0.5	-Nicotinic acid	5
-Nicotinic acid	0.5	-Pyridoxin HCL	0.5
-Glycine	2.0	-Thiamin HCL	0.5
		-Folic asit	0.5
		-Biotin	0.05

Çizelge 2. Eksplantların dikildiği besin ortamları

Ortamlar	BAP (mg L ⁻¹)	NAA (mg L ⁻¹)	Agar (g L ⁻¹)	Sakkaroz (g L ⁻¹)
MS 1	0.5	0	7	30
MS 2	1.0	0	7	30
MS 3	1.5	0	7	30
MS 4	2.0	0	7	30
MS 5	2.5	0	7	30
MS 6	0.5	0.05	7	30
MS 7	1.0	0.05	7	30
MS 8	1.5	0.05	7	30
MS 9	2.0	0.05	7	30
MS 10	2.5	0.05	7	30
MS 11	0.5	0.1	7	30
MS 12	1.0	0.1	7	30
MS 13	1.5	0.1	7	30
MS 14	2.0	0.1	7	30
MS 15	2.5	0.1	7	30
NN 1	0.5	0	7	20
NN 2	1.0	0	7	20
NN 3	1.5	0	7	20
NN 4	2.0	0	7	20
NN 5	2.5	0	7	20
NN 6	0.5	0.05	7	20
NN 7	1.0	0.05	7	20
NN 8	1.5	0.05	7	20
NN 9	2.0	0.05	7	20
NN 10	2.5	0.05	7	20
NN 11	0.5	0.1	7	20
NN 12	1.0	0.1	7	20
NN 13	1.5	0.1	7	20
NN 14	2.0	0.1	7	20
NN 15	2.5	0.1	7	20

2.2.4. İncelenen özellikler

Kültürlerde dikimden sonraki dördüncü haftanın sonunda aşağıdaki özellikler incelenmiştir.

Rejenere eksplant oranı (%): Rejenerasyon gösteren eksplant sayısının yaşayan eksplant sayısına oranlanmasıyla elde edilmiştir.

Kallus oluşturan eksplant sayısı (adet): Yaşayan eksplantlardan kaç tanesinin kallus oluşturduğu sayılarak elde edilmiştir.

Kallus kalitesi (%):

1. Tip Kallus: Beyaz, sarı renkli, sert kırılğan yapıda sağlıklı görünümdeki kalluslar.
2. Tip Kallus: Sarımsı/kahve veya kahverenginin tonları, yumuşak, hemen dağılabilen veya beyaz pamuksu sağlıklı yapıdaki kalluslar.



Şekil 3. Kallusların kalite özellikleri a) I tip kallus b) II. Tip kallus. (Kekin & Kunter, 2010)

Kallus oluşturma oranı (%): Kallus oluşturan eksplant sayısının yaşayan eksplant sayısına oranlanmasıyla elde edilmiştir (Aykanat, 2016).

Farklı kallus dereceleri

- 1: Hiç kallus yok, 2: Eksplantın belirli yerlerinde kallus var, 3: Eksplantın tamamında kallus var

Çalışma sonucunda elde edilen değerlerde istatistik analiz yapılmamış ve sonuçlar doku kültürü çalışmalarında yaygın olarak kullanılan % değerleri üzerinden ifade edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Erciş üzüm çeşidinin rejenerasyon potansiyelini belirlemek amacıyla iki farklı büyümeyi düzenleyici madde (NAA, BAP) ilave edilmiş iki farklı ortamda (NN ve MS) kültüre alınan yaprak ayası eksplantlarının dikimden sonraki on dört gün içinde hacimlerinin arttığı gözlenmiştir. Dikimi takip eden 18. günden itibaren kalluslar, indirekt (İ) adventif kök oluşumu gösterirken, bir kısmının herhangi bir gelişme göstermeden aynı kaldığı (Şekil 4) ya da kahverengileşerek canlılıklarını kaybettikleri görülmüştür. Değerlendirmeler yaşayan eksplantlar üzerinden yapılmıştır. NAA ilave edilmeyip sadece BAP'ın değişik konsantrasyonlarının ilave edildiği her iki ortamda da kallus, rejenerasyon ve adventif kök oluşumu meydana gelmemiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Herhangi bir gelişme göstermeyen yaprak eksplantları ve adventif kök oluşumu şeklinde rejenere olan kalluslar.

Rejenere eksplant oranı (%): Çizelge 3 incelendiğinde her iki ortam için de en yüksek rejenerasyon oranının (NN ortamında % 31.25; MS ortamında % 58.82) 0.1 mg L⁻¹ NAA + 1.0 mg L⁻¹ BAP konsantrasyonundan elde edildiği görülmektedir. Rejenerasyon sadece adventif kök oluşumu şeklinde gerçekleşmiş (Şekil 4), adventif sürgün elde edilemediğinden bitkiye dönüşüm elde edilememiştir. Bu durumun genotip etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre rejenere eksplant oranı (%) bakımından MS ortamının NN ortamına göre daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

Kallus oluşturan eksplant sayısı (adet): Her iki ortamda da en yüksek kallus oluşturan eksplant sayısı (NN ortamında 80; MS ortamında 85) 0.1 mg L⁻¹ NAA + 1.0 mg L⁻¹ BAP konsantrasyonundan elde edilmiştir (Çizelge 3). Bu özellik bakımından MS ortamının NN ortamına göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Çizelge 3. Erciş üzüm çeşidinin rejenere eksplant oranı.

Ortamlar	BAP (mg L ⁻¹)	NAA (mg L ⁻¹)	Yaşayan eksplant sayısı	Rejenere eksplant oranı (%)	Kallus oluşturan eksplant sayısı (n)
NN 1	0.5	0	74	0	0
NN 2	1.0	0	78	0	0
NN 3	1.5	0	77	0	0
NN 4	2.0	0	82	0	0
NN 5	2.5	0	78	0	0
Max			82	0	0
Min			74	0	0
NN 6	0.5	0.05	80	27.63	76
NN 7	1.0	0.05	83	14.29	70
NN 8	1.5	0.05	79	24.19	62
NN 9	2.0	0.05	83	18.46	65
NN 10	2.5	0.05	75	28.57	63
Max			83	28.57	76
Min			75	14.29	62
NN 11	0.5	0.1	81	20.59	68
NN 12	1.0	0.1	85	31.25	80
NN 13	1.5	0.1	80	29.85	67
NN 14	2.0	0.1	72	24.59	61
NN 15	2.5	0.1	81	20.59	65
Max			92	31.25	80
Min			85	20.59	61
MS 1	0.5	0	82	0	0
MS 2	1.0	0	88	0	0
MS 3	1.5	0	90	0	0
MS 4	2.0	0	87	0	0
MS 5	2.5	0	90	0	0
Max			90	0	0
Min			82	0	0
MS 6	0.5	0.05	88	46.67	75
MS 7	1.0	0.05	91	43.04	79
MS 8	1.5	0.05	90	48.78	82
MS 9	2.0	0.05	87	56.41	78
MS 10	2.5	0.05	88	51.32	76
Max			91	56.41	82
Min			88	43.04	75
MS 11	0.5	0.1	85	51.95	77
MS 12	1.0	0.1	92	58.82	85
MS 13	1.5	0.1	86	50.67	75
MS 14	2.0	0.1	88	50.00	70
MS 15	2.5	0.1	91	48.75	80
Max			92	58.82	85
Min			85	48.75	70

Kallus oluşturan eksplant sayısı açısından ortam ve NAA dozları arasında istatistiki farklılık oluşmuştur. NN ortamı ortamlar içinde öne çıkarken, NAA dozları açısından 0.05 ile 0.1 (mg L⁻¹) aynı grupta yer almışlardır (Çizelge 4).

Kallus kalitesi (%): Benzer şekilde her iki ortamda da kallus kalitesi bakımından en iyi konsantrasyon 0.1 mg L⁻¹ NAA + 1.0 mg L⁻¹ BAP olarak saptanmıştır. NN ortamında I. Tip kallus oluşumu en yüksek % 60 oranında meydana gelirken; MS ortamında %52.94 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4). Kallus kalitesi (%) bakımından NN ortamının MS ortamına göre daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

Çizelge 4. Erciş üzüm çeşidinin ortamlara göre kallus kaliteleri (%) ve kallus oluşturma oranları (%)

Ortamlar	BAP (mg L ⁻¹)	NAA (mg L ⁻¹)	Kallus Kalitesi (%)		Kallus Oluşturma Oranı (%)		
			I.	II.	I.	II.	III.
NN 1	0.5	0	0	100	0	0	0
NN 2	1.0	0	0	100	0	0	0
NN 3	1.5	0	0	100	0	0	0
NN 4	2.0	0	0	100	0	0	0
NN 5	2.5	0	0	100	0	0	0
NN 6	0.5	0.05	53.95	5.00	13.16	86.84	46.05
NN 7	1.0	0.05	55.71	15.66	7.14	92.86	44.29
NN 8	1.5	0.05	56.45	21.52	11.29	88.71	43.55
NN 9	2.0	0.05	52.31	21.69	9.23	90.77	47.69
NN 10	2.5	0.05	57.14	16.00	6.35	93.65	42.86
NN 11	0.5	0.1	51.47	16.05	5.88	94.12	48.53
NN 12	1.0	0.1	60.00	5.88	3.75	96.25	40.00
NN 13	1.5	0.1	43.28	16.25	10.45	89.55	56.72
NN 14	2.0	0.1	40.98	15.28	8.20	91.80	59.02
NN 15	2.5	0.1	40.00	12.50	8.57	91.43	60.00
MS 1	0.5	0	0	0	100	0	0
MS 2	1.0	0	0	0	100	0	0
MS 3	1.5	0	0	0	100	0	0
MS 4	2.0	0	0	0	100	0	0
MS 5	2.5	0	0	0	100	0	0
MS 6	0.5	0.05	40.00	14.77	8.00	92.00	60.00
MS 7	1.0	0.05	44.30	13.19	11.39	88.61	55.70
MS 8	1.5	0.05	43.90	8.89	4.88	95.12	56.10
MS 9	2.0	0.05	44.87	10.34	7.69	92.31	55.13
MS 10	2.5	0.05	39.47	13.64	7.89	92.11	60.53
MS 11	0.5	0.1	42.86	9.41	7.79	92.21	57.14
MS 12	1.0	0.1	52.94	7.61	1.18	98.82	47.06
MS 13	1.5	0.1	42.67	12.79	9.33	90.67	57.33
MS 14	2.0	0.1	42.86	20.45	14.29	85.71	57.14
MS 15	2.5	0.1	43.75	12.09	12.50	87.50	56.25

Kallus oluşturma oranı bakımından ortamlar açısından farklılık bulunmamıştır. NAA dozları açısından 0.05 ile 0.1 (mg L⁻¹) birbirine yakın değerler vermişlerdir. BAP konsantrasyonları arasında da farklılığın olmadığı saptanmıştır (Çizelge 4).

Çalışmada ilginç bir bulgu NAA ilave edilmeyip sadece BAP'ın değişik konsantrasyonlarının ilave edildiği her iki ortamda da rejenerasyon ya da kallus oluşumunun meydana gelmemesidir. Buna neden olarak kallus oluşumunun teşviki için oksin miktarının sitokin miktarından fazla olması ile kallus oluşumunun sürekliliği ve gelişimi için belli bir oksin-sitokin dengesinin sağlanmasının gerekliliği gösterilebilir. Oksin-sitokin oranı kalluslenme ve kök oluşumu üzerine farklı etkiler gösterebilmektedir.

Asmada in vitro rejenerasyon, moleküler ıslah çalışmalarında neredeyse vazgeçilmez bir yöntemdir. Çeşitten çeşide değişiklik gösterdiği için Asmada kullanılabilir doku kültürü rejenerasyon protokolü bulunmakta, kullanılan protokollerde ise uygulanmasındaki kolaylık nedeniyle yaprak eksplantları öne çıkan eksplant kaynağı olarak bildirilmektedir (Özden ve ark. 2008; Keskin & Kunter,

2010). Asmada in vitro rejenerasyon başarısı genel olarak genotip, eksplant kaynağı, kültür koşulları ve kültür ortamlarına ilave edilen büyümeyi düzenleyici madde (oksin/sitokinin) konsantrasyonlarının etkileşimine bağlıdır (Özden ve ark., 2008). Araştırma sürecinde alınan bulgulara göre kültür ortamlarının bünyesinde bulunan bitki büyüme düzenleyicileri (BA ve NAA) değişik konsantrasyonları ve kombinasyonunun rejenere eksplant oranı (%), kallus oluşturan eksplant miktarı (adet), kallus kalitesi (%) ve kallus oluşturma oranı (%) üzerine farklı etki yaptığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda incelenen tüm özellikler bakımından en iyi sonuç her iki ortama da ilave edilen 0.1 mg L⁻¹ NAA + 1.0 mg L⁻¹ BAP konsantrasyonundan elde edilmiştir. Benzer şekilde Özden ve ark., (2008), Öküzgözü ve Boğazkere üzüm çeşitlerinde yapmış oldukları rejenerasyon protokolü çalışmasında NAA ve BAP'ın farklı kombinasyonlarını içeren NN besin ortamında dikmiş oldukları yaprak eksplantlarından her iki çeşit için de en yüksek kallus oluşumu (%), kallus oranı (%), ortalama adventif sürgün sayısı (adet/eksplant)'nı 0.5 mg/l BA ve 0.05 mg/l NAA içeren kültür ortamlarından elde etmiştir.

Kültür ortamı ve içeriği, büyüme düzenleyicileri, eksplant kaynakları ve ortam faktörleri doku kültürü çalışmalarında başarıyı etkileyen önemli faktörlerdir. Yapılan çalışmalarda konsantrasyonları düşük BAP kullanıldığında eksplantların büyük kısmında adventif yapılar oluşmamaktadır. Yüksek dozda (2-3 mg/l) BA kullanımının adventif yapıları teşvik ettiği rapor edilmektedir (Özden ve ark., 2008). Çalışmada her iki ortama da ilave edilen düşük konsantrasyonlu NAA ve BAP konsantrasyonlarından kallus elde edilmiş, sonrasında bu kalluslardan ise indirekt adventif kökler meydana gelmiştir. Benzer şekilde Özden ve ark. (2008), yapmış oldukları çalışmalarında NN ortamına değişik konsantrasyonlarda NAA ve BAP ilave etmiş oldukları eksplantlar üzerinde yoğun kallus oluşumu gözlediklerini belirtmişlerdir.

Çalışmada iki farklı temel besin ortamı kullanılmış olup, elde edilen sonuçların on beş farklı kombinasyon ortama göre büyük ölçüde değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre rejenere eksplant oranı (%), kallus oluşturan eksplant sayısı (adet) ve kallus oluşturma oranı (%) bakımından MS ortamının NN ortamına göre daha iyi sonuç verdiği gözlenirken, kallus kalitesi (%) bakımından NN ortamının MS ortamına göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Benzer şekilde "Gök Tangolar (2002), adventif göz oluşumu üzerine MS besin ortamının NN ve B5 ortamlarına göre daha başarılı sonuçlar verdiğini tespit etmiştir." Büyükdemirci (1997), Valiant, Chancellor ve St. Croix üzüm çeşitlerinin in vitro rejenerasyonu üzerine yapmış olduğu çalışmasında NN ortamının MS ortamından daha yüksek rejenerasyon yüzdesi oluşturduğunu saptamıştır. Kullanılmış olan ortamlar in vitro kültürde neticeye etki eden faktörlerin en önemlisi olduğu değişik araştırmacılar tarafından da vurgulanmaktadır (Özden ve ark., 2008).

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Erciş üzüm çeşidinin biyotik ve abiyotik stres koşullarına dayanıklılığının artırılması yönünde yapılacak biyoteknolojik çalışmalarda kullanılmak amacıyla bu çeşidin in vitro sürgünlerinden elde edilen yaprak eksplantlarından rejenerasyon potansiyeli ortaya konmuştur.

Günümüzde modern ıslah yöntemlerinden birisi olan in vitro kültür tekniklerinin bitki ıslahında kullanılması hem zamandan hem de uzun vadede uygulandığında ekonomik açıdan büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Söz konusu tekniklerin, bitki ıslahında kullanılabilmesi için ise kültüre alınan doku, organ ya da hücrelerden yüksek oranda bitki rejenerasyonunun sağlanması gerekmektedir. Bunun için çalışılacak olan bitki materyalinde rejenerasyonu etkileyen faktörlerin (besin ortamının bileşimi, sıcaklık ve ışık dereceleri, eksplant tipi, ortam ilave edilecek büyüme düzenleyicilerinin konsantrasyonu ve kombinasyonu) neler olduğunun kesin olarak bilinmesi ve uygun protokollerinin hazırlanması gerekmektedir.

Asmada in vitro rejenerasyonda başarı büyük ölçüde genotip, eksplant kaynağı, besin ortamı ve ortama ilave edilen bitki büyüme düzenleyici konsantrasyonuna göre değişmektedir. Bu nedenle gelecekte Erciş üzüm çeşidinin rejenerasyon kapasitesinin artırılması amacıyla yapılacak olan çalışmalarda farklı eksplant kaynağı, farklı besin ortamları ve farklı büyümeyi düzenleyici maddelerin kullanılması önerilebilir. Böylece biyoteknolojik araştırmaların başlangıcında çalışılacak çeşit için uygun bitki rejenerasyon protokolünün belirlenmesi mümkün olabilecektir.

Çalışmada kültür koşulları olarak sadece karanlık uygulaması yapılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda aydınlık koşullar özellikle de son zamanlarda üzerinde durulan LED aydınlatmaların rejenerasyon üzerindeki etkileri çalışılabilir.

Erciş üzüm çeşidinin in vitro rejenerasyon potansiyeli üzerine günümüze kadar çok az çalışma yapılmıştır (Keskin & Kunter, 2007; Keskin & Kunter, 2010). Yapılan bu çalışmanın gelecekte yapılacak in vitro rejenerasyon çalışmalarına ışık tutacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2017-5948 nolu proje olarak desteklenmiştir. Çalışmanın yürütülmesinde desteklerinden dolayı BAP birimine ve çalışma boyunca emek harcayan Doç. Dr. Nurhan KESKİN'e katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Acanda, Y., M. J., Prado, M. V., González, & M., Rey, (2013). Somatic embryogenesis from stamen filaments in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Mencía): changes in ploidy level and nuclear DNA content. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 49:276-284.
- Aykanat, A. (2016). *Asma ağlama suyunun in vitro besin ortamı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi*. (yüksek lisans tezi), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Babalık, Z. (2006). *Asmada farklı eksplantların in vitro rejenerasyonları üzerine bir araştırma*, (yüksek lisans tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Bilir Ekbiç, H., Yılmaz, G. Ş., Çiğirli S. (2015). Isabella (*Vitis labrusca* L.) üzüm çeşidinin in vitro sürgün ucu kültürü ile çoğaltılması. *Akademik Ziraat Dergisi*. 4(2):65-70.
- Büyükdemirci, H. (1997). *In vitro Direct shoot organogenesis and plant regeneration from leaves and axillary buds of grapevine (Vitis spp.)*. (MSc Thesis), Faculte of the Graduate College at the University of Nebraska, United States of America
- Chao, Y., Feng, J. C., Yan, W., Xiao, Y. A. N. G., Jun, Y. Y., & Jun, J. (2015). Effects of exogenous growth regulators on cell suspension culture of “Yinhong” grape (*Vitis vinifera* L.) and establishment of the optimum medium. *Pakistan Journal of Botany*, 47:77-81. [doi: 10.1016/j.carbon.2014.10.034](https://doi.org/10.1016/j.carbon.2014.10.034) 0008-6223.
- Cutanda, M. C., Bouquet, A., Chatelet, P., Lopez, G., Botella, O., Montero F. J., & Torregrosa, L. (2008). Somatic embryogenesis and plant regeneration of *Vitis vinifera* cultivars 'Macabeo' and 'Tempranillo'. *Vitis*, 47:159-162.
- Çatal, M. İ., & Bakoğlu, A. (2018). In vitro regeneration techniques in the grass pea (*Lathyrus sativus* L.) plant. *Eurasian Journal of Forest Science*, 6(2):56-62. doi.org/10.31195/ejejfs.424313
- Gök Tangolar, S. (2002). *Asmalarda somatik embriyogenesis ve organogenesis yoluyla bitki elde edilmesi*. (doktora tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 165 s., Adana, Türkiye.
- İşçi, B., & Altındişli, A. (2016). *Türkiye’de Bağcılık Islah Çalışmaları ve Hedefleri*. VII. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi Bildirileri. Bahçe Özel Sayı (2):632-635.
- Jaskani, M. J., Abbas, H., Sultana, R., Khan, M. M., Qasim, M., & Khan, I. A. (2008). Effect of growth hormones on micropropagation of *Vitis vinifera* L. cv. Perlette. *Pakistan Journal of Botany*, 40:105-109.
- Keskin, N., & Kunter, B., (2007). Induction of resveratrol via UV irradiation effect in Ercis callus culture. *Journal of Agricultural Science*, 13:379-384.
- Keskin, N., & Kunter, B. (2008). Production of transresveratrol in 'Cabernet Sauvignon' (*Vitis vinifera* L.) callus culture in response to ultraviolet-C irradiation. *Vitis*, 47:193-196.
- Keskin, N., & Kunter, B. (2010). Asmada (*Vitis vinifera* l.) in vitro I. tip kallus eldesi üzerine çeşit, besin ortamı ve eksplant tipinin etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 20: 100-106.
- Keskin, N., (2018). *Ultraviyole ışını etkisi ile Erciş üzüm çeşidinin kallus kültürlerinde antosiyanin üretiminin uyarılması*. V. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, Antalya, Türkiye, 2 - 03 Kasım 2018, ss.350-363
- López-Pérez, A. J., Carreño, J., Martínez-Cutillas A., & Dabauza, M. (2005). High embryogenic ability and plant regeneration of table grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) induced by activated charcoal. *Vitis*, 44:79-85.

- Özden, M., Demirer, U., & Gürsöz, S. (2008). Öküzgözü ve Boğazkere (*Vitis vinifera* L.) üzüm çeşitlerinin yaprak eksplantlarından organogenesis yoluyla bitki rejenerasyonu. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12:41-49.
- Tassoni, A., Fornalè, S., Franceschetti, M., Musiani, F., Michael, A. J., Perry B., & Bagni, N. (2005). Jasmonates and Na-orthovanadate promote resveratrol production in *Vitis vinifera* cv. Barbera cell cultures. *New Phytologist*, 166:895-905.
- Xu, X., Lu, J., Ren, Z., Wang H., & Leong, S. (2005). Callus induction and somatic embryogenesis in muscadine and seedless bunch grapes (*Vitis*) from immature ovule culture. *International Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 118:260-262.
- Yıldırım, H., Özdemir, G., & Çalar, N., (2016). Öküzgözü ve Boğazkere üzüm çeşitlerinde in vitro kültür başlatma üzerine eksplant tipinin etkisi. VII. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi Bildirileri. Bahçe Özel Sayı (2):607-611.
- Yıldırım, H., & Ozdemir, G. (2018). Influence of BAP concentrations and nutrient medium composition on in vitro regeneration of “Öküzgözü” and “Boğazkere” (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Erwerbs-Obstbau*, 60 (Suppl1):55-59. doi.org/10.1007/s10341-018-0393-7
- Zhang, J., Ma, H., Chen, S., Ji, M., Perl, A., Kovacs L., & Chen, S.2009. Stress response proteins' differential expression in embryogenic and non-embryogenic callus of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon-a proteomic approach. *Plant Science*, 177:103-113.



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<http://dergipark.gov.tr/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Prokaryotic Diversity of a Hypersaline Spring Water in Pülümür (Tunceli)

Seval ÇINAR^{*1}, Mehmet Burçin MUTLU¹

¹Eskisehir Technical University, Department of Biology, Faculty of Science, 26470, Eskisehir, Turkey

Seval ÇINAR, ORCID No: 0000-0003-4288-5444, Mehmet Burçin MUTLU, ORCID No: 0000-0002-9404-6389

* Sorumlu yazar e-posta: sevalcinar@eskisehir.edu.tr

Article Info

Received: 28.07.2020

Accepted: 07.10.2020

Online Published: December 2020

Keywords

Hypersaline environments,
Halophilic microorganisms
DGGE,
FISH

Abstract: The microbial diversity of the solar salterns and salt lakes has been extensively studied, but there are only a few reports on microbiota of hypersaline spring waters. In this study, we focused on the archaeal and bacterial groups inhabiting a hypersaline spring water in Pülümür. In addition to culture-dependent studies, denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) of PCR-amplified fragments of 16S rRNA genes and fluorescence *in situ* hybridization (FISH) analyzes were performed. The total cell count performed using 4',6-diamidino-2-phenylindole (DAPI) stain revealed $\sim 10^5$ cells mL⁻¹ in spring water. The FISH analysis showed that bacterial cells accounted for $\sim 72\%$ of the total microbial community, while archaeal cells made up a small portion of the community. Isolates were phylogenetically related with the genera *Rhodovibrio*, *Spiribacter*, *Salinivibrio*, *Halomonas*, *Idiomarina*, *Marinobacter*, *Natrinema* and *Halohasta*. Phylotypes of *Spiribacter* and phylotypes distantly associated with *Owenweeksia* were obtained from DGGE analysis.

Pülümür'deki (Tunceli) bir Hipersalin Kaynak Suyunun Prokaryotik Çeşitliliği

Makale Bilgileri

Geliş: 28.07.2020

Kabul: 07.10.2020

Online Yayınlanma: Aralık 2020

Anahtar Kelimeler

Hipersalin çevreler,
Halofilik mikroorganizmalar
DGGE,
FISH

Öz: Tuz göllerinin ve solar tuzlaların mikrobiyal çeşitliliği kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır, ancak hipersalin kaynak sularının mikrobiyotaları hakkında sadece birkaç rapor vardır. Bu çalışmada, Pülümür'deki bir hipersalin kaynak suyunda yaşayan arkeal ve bakteriyel gruplara odaklandık. Kültür-bağımlı çalışmalara ek olarak, 16S rRNA genlerinin PCR ile amplifiye edilmiş fragmentlerinin denatüre edici gradiyent jel elektroforezi (DGGE) ve floresan *in situ* hibridizasyon (FISH) analizi gerçekleştirildi. DAPI boyası kullanılarak gerçekleştirilen toplam hücre sayımında kaynak suyunda $\sim 10^5$ hücre/mL saptandı. FISH analizi, bakteri hücrelerinin toplam mikrobiyal topluluğun $\sim 72\%$ 'sini oluşturduğunu, arkeal hücrelerin ise topluluğun küçük bir bölümünü oluşturduğunu göstermiştir. İzolatlar, *Rhodovibrio*, *Spiribacter*, *Salinivibrio*, *Halomonas*, *Idiomarina*, *Marinobacter*, *Natrinema* ve *Halohasta* cinsleriyle filogenetik olarak ilişkiliydi. *Spiribacter* filotipleri ve *Owenweeksia* ile uzaktan ilişkili filotipler DGGE analizinden elde edilmiştir.

1. Introduction

Natural and artificial hypersaline environments are widespread in Turkey. Tuz Lake, the second largest lake in Turkey, is one of the most prominent representatives of these environments. Another representative, solar salterns, are artificially interconnected pool systems to evaporate saline water and produce salt. NaCl precipitates as halite crystals in ponds and is then harvested. Çamaltı and Ayvalık, located on the shore of Aegean Sea, are the major solar salterns consisting of ponds fed with sea water. In the central and eastern part of Anatolia, there are also inland solar salterns fed by the spring water derived from rock salt. During the geological periods, rock salt deposits formed as a result of evaporation of the sea or closed inner basins. As underground water passes through the rock salt layer, it melts some of the salt and emerges to the earth. There are several rock salt mines and hypersaline springs on the salt deposits starting from Çankırı extending to Yozgat, Sivas, Erzincan, Erzurum, Kağızman, and also connected to Iran via Tuzluca (Iğdır) (Güner et al., 2000; Kılıç & Kılıç, 2005).

Halophiles are organisms that need salt for growth, and are grouped into "extreme halophiles" (2.5–5.2 M NaCl), "moderate halophiles" (0.5–2.5 M NaCl) and "slight halophiles" (0.2–0.5 M NaCl) according to their optimum salt requirements. There are also microorganisms that develop optimally at less than 0.2 M NaCl but can tolerate high salt concentrations, and are defined as "halotolerant" (Ventosa et al., 2012). The extremely halophilic archaeal family *Halobacteriaceae* (*Euryarchaeota*), the anaerobic bacterial order *Halanaerobiales* (*Firmicutes*) and the bacterial family *Halomonadaceae* (*Proteobacteria*) are almost entirely composed of halophiles. The representatives of the extremely halophilic bacteria *Salinibacter ruber* (*Bacteroidetes*) and the unicellular green algae *Dunaliella salina* (*Chlorophyta*) have also been frequently detected in hypersaline environments. There are two major mechanisms that halotolerant and halophilic microorganisms use to cope with high osmolarity in their environment. The first strategy, called "salt-in", is based on the accumulation of salts such as KCl into the cell. Cells using this strategy must have intracellular enzyme systems and mechanisms adapted to high salt concentration. The "salt-in" strategy is mainly used by members of *Halobacteriaceae*, *Halanaerobiales* and *Salinibacter ruber*. Microorganisms using the "salt-out" strategy achieve osmotic balance by synthesizing low molecular weight organic solutes or taking it from the surrounding environment. Most of the halophilic and halotolerant bacteria, halophilic methanogenic archaea, eukaryotic algae and fungi use organic compatible solutes to maintain osmotic equilibrium (Oren, 2008, 2010).

There are several reports on the isolation, identification and characterization of halophilic microorganisms from different hypersaline environments in Turkey, such as Tuz Lake, Çankaya salt mine and Çamaltı salterns (Birbir et al., 2007; Yaşa et al., 2008; Mutlu et al., 2008; Yıldız et al., 2012). However, few studies have focused on microbial communities of hypersaline water bodies. In this research, the archaeal and bacterial diversity in hypersaline spring water feeding an inland small solar saltern found in Pülümür district of Tunceli had been investigated.

2. Materials and Methods

2.1. Sampling

Sampling was done in June 2013 from spring water feeding ponds at an altitude of 1750 m (39°30'25.5"N, 39°52'42.6"E). Total salinity of the sample was measured using a hand refractometer (Eclipse). Experimental processes were carried out in a short time after sampling.

2.2. DAPI counts and FISH analysis

The total cell count was performed with DAPI staining, and Cy3-tagged ARC915 and EUB338 oligonucleotide probes were used in the hybridization protocol, allowing us to capture archaeal cells and most bacterial cells (respectively).

For the fixation of the cells (1mL sample), 37% formaldehyde was used with a final concentration of 7%. Sample left at 4°C for 16 h were then diluted with 10 mL of 1X PBS and passed through 0.2 µm pore size filter (Millipore, GTTP). The filter was left to dry at room temperature. Two filters were prepared and analyzed.

A FISH protocol optimized by Antón et al. (1999) for hypersaline aquatic samples was used in the hybridization step. Filters were cut into sections for treatment with probes. First, hybridization with probe ($50 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$) for 2 h, then staining with DAPI ($1 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$) for 5 min processes were applied to the filters.

Cells were observed and counted in at least 25 different microscopic fields on each filter piece by fluorescence microscopy (Leica DM6000 M). Applying probe hybridization and DAPI staining to the same filter allows simultaneous observation and counting of microbial and target cells. Probe-DAPI staining images belonging to the same field of view were checked against each other to reduce false positive hybridization signals. The nonsense probe NON-338 was used as a negative control to test non-specific hybridization.

The parameters taken into account when calculating the number of cells mL^{-1} were as follows: the volume of the filtered sample, the area of the working surface on the filter, average number of cells per microscopic area and the area of the microscopic view.

2.3. Nucleic acid extraction

The Millipore filter ($0.22 \text{ } \mu\text{m}$ pore size, GTTP) was used for the filtration of the water sample and the extraction protocol described by Mutlu et al. (2008) was carried out. After the filtration process, the filter was cut into small pieces and transferred into eppendorf tubes (2 mL). $600 \text{ } \mu\text{L}$ of extraction buffer (100 mM EDTA, 100 mM Tris-HCl, pH 8.0) was added into the tubes. Lysozyme (3 mg mL^{-1}), proteinase K (150 mg mL^{-1}) and 10% sodium dodecyl sulfate were added in order to lyse the cells. The tubes were incubated in a shaker at 37°C . NaCl (5 M) and CTAB (10% CTAB, 0.7 M NaCl) solutions were added. Heat-shock was applied to the tubes using liquid nitrogen and a water bath at 65°C . Phenol-chloroform-isoamyl alcohol (25:24:1) was used in the purification step. After the nucleic acids were precipitated with ethanol, the ethanol was carefully removed and the pellet was resuspended in Milli-Q water after drying in air for a short time.

2.4. DGGE analysis

Polymerase chain reaction (PCR) primer sets used to amplify 16S rRNA genes from total DNA were given in Table 1. Reverse primer with GC-clamp used in PCR. Ingeny system were used for DGGE analysis. Archaeal and bacterial DGGE-PCR products were loaded on DGGE gel containing 40% to 70% denaturing agents (urea and formamide). Electrophoretic separation was carried out at 80 V, 60°C for 18 h. The DNA fragments in the gel were observed by ethidium bromide staining. The bands were excised and resuspended in sterile Milli-Q water. The tubes were kept overnight at 4°C . Re-amplification was carried out with the same primer sets without GC-clamp.

2.5. Cultivation studies

Cultivation studies were carried out using 18% MGM and 23% MGM (Modified Growth Medium) (Dyall-Smith, 2009). Primer sets given in Table 1 were used to amplify the 16S rRNA genes of the isolates. The PCR products were digested with *HinfI* restriction enzyme to analyze with ARDRA (Amplified rDNA Restriction Analysis) and digested products were visualized by agarose gel electrophoresis. Representatives were selected and sequenced based on ARDRA profiles from 16S rRNA genes (Beckman CEQ 8000 DNA sequencer). The ARDRA analysis and sequencing were done as described by Çınar & Mutlu (2018). The sequences were aligned with MUSCLE (Edgar, 2004) and the phylogenetic tree was created using RaxML program with maximum likelihood algorithm (Stamatakis, 2014).

Sequence data submitted in GenBank database under accession numbers KJ161482-KJ161496 and KY099612-KY099613.

Table 1. Primer sets and conditions used in PCR reactions

PCR conditions	Primers	Primer Sequences and References
For DGGE-PCR		
94°C 5 min, 65°C 1 min, 72°C 3 min (1 cycle)	907r-GC (Universal)	5'-GCclamp-CCGTCAATTCCTTTRAGTTT-3' (Muyzer et al., 1993)
94°C 1 min, 65°C (decreases 1°C per cycle) 1 min, 72°C 3 min (9 touchdown cycles)	344f (Archaea)	5'-ACGGGGCGCAGCAGGCGCGA-3' (Muyzer et al., 1993)
94°C for 1 min, 55°C 1 min, 72°C 3 min (20 cycles) 72°C, 10 min (1 cycle)	341f (Bacteria)	5'-CCTACGGGAGGCAGCAG-3' (Muyzer et al., 1993)
For 16S rRNA gene amplification of the isolates		
94°C 3 min (1 cycle)	1492r (Universal)	5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3' (Lane et al., 1985)
94°C 15 s, 55°C 30 s, 72°C 2 min (30 cycles)	21f (Archaea)	5'-TTCCGGTTGATCCTGCCGGA-3' (DeLong, 1992)
72°C, 10 min (1 cycle)	27f (Bacteria)	5'-AGAGTTTGATCATGGCTCAG-3' (Lane et al., 1985)

3. Results

This study provides information on prokaryotic groups that are distributed in a hypersaline spring water found in Pülümür. Approaches targeting the 16S rRNA gene have been used to detect and identify archaeal and bacterial groups.

Spring water is transferred to artificial ponds for salt production and an image of the solar saltern was given in Figure 1. Total salinity of the spring sample was measured as 18% and pH as 7.38. The DAPI count revealed that the sample contained $3.3 \times 10^5 \pm 9.0 \times 10^4$ cells mL⁻¹ (mean±SD). In FISH analysis, the counting of the archaeal and bacterial cells was performed using domain-specific probes targeting 16S rRNA. No signal detected with NON-338 probe. Bacterial cells were found to be dominant in the microbial community (Figure 2A and 2B). Bacterial and archaeal cells accounted for 72.6% and 0.8% of total microbial cells, respectively. Eukaryotic-like cells were also observed in microscopic analysis.



Figure 1. An image of the solar saltern in Pülümür.

Images of DGGE gels were shown in Figure 2C. The archaeal bands in DGGE gel appear to be quite faint. The FISH analysis revealed that the proportion of archaeal cells in the community was less than 1%. The low amount of DNA belonging to this group in the total DNA extract probably resulted in poor PCR products. Sequencing of these weak archaeal bands failed. Bands with clean sequencing data are marked on the bacterial gel (Figure 2C).

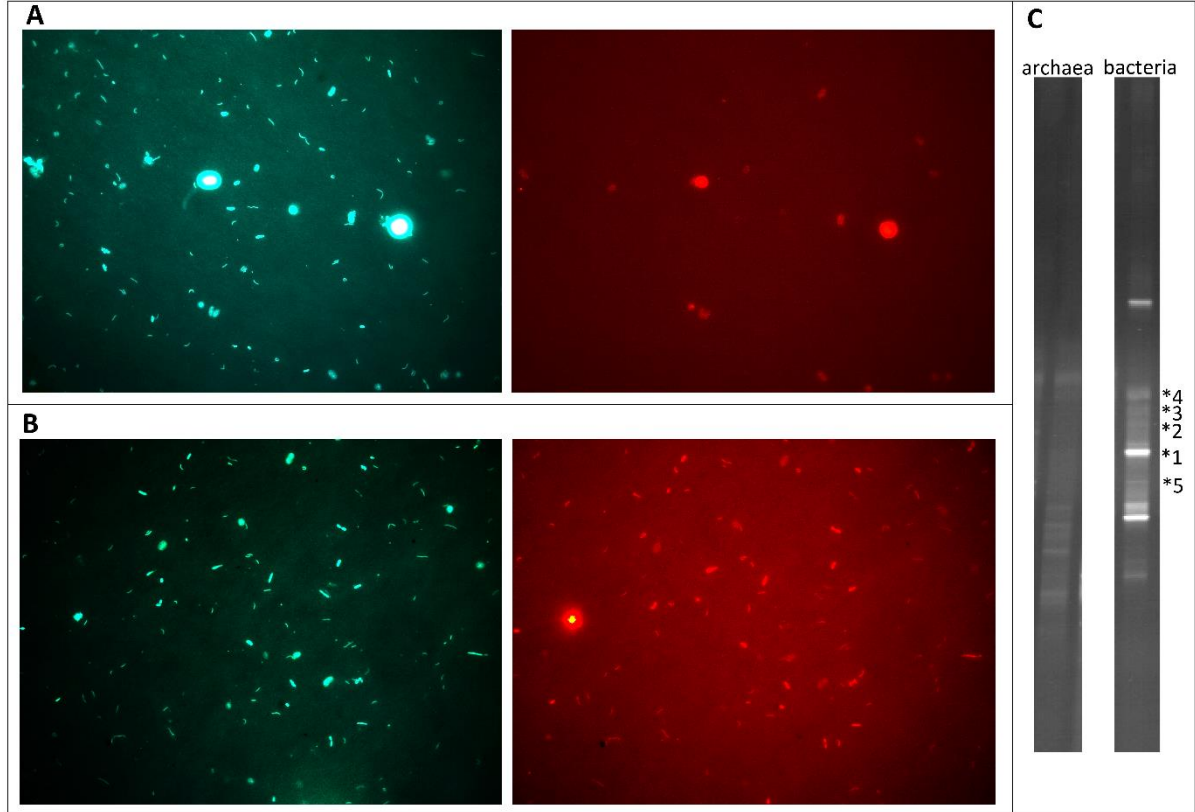


Figure 2. Microscopic images of Pülümür sample. Microbial cells observed by DAPI staining were shown on the left, archaeal cells that hybridized with ARC915 probe (A) and bacterial cells that hybridized with EUB338 probe (B) were shown on the right. DGGE gel images belonging to *Archaea* and *Bacteria* (C). Sequenced bands marked by asterisk (*).

In cultivation studies, 16S rRNA gene PCR products of the isolates analyzed by ARDRA gave 2 different patterns for Archaea and 11 different for Bacteria, and 13 representative strains were selected for further analysis. The isolates were found to be phylogenetically related to *Natrinema*, *Halohasta*, *Rhodovibrio*, *Spiribacter*, *Salinivibrio*, *Halomonas*, *Idiomarina* and *Marinobacter* genera (Figure 3).

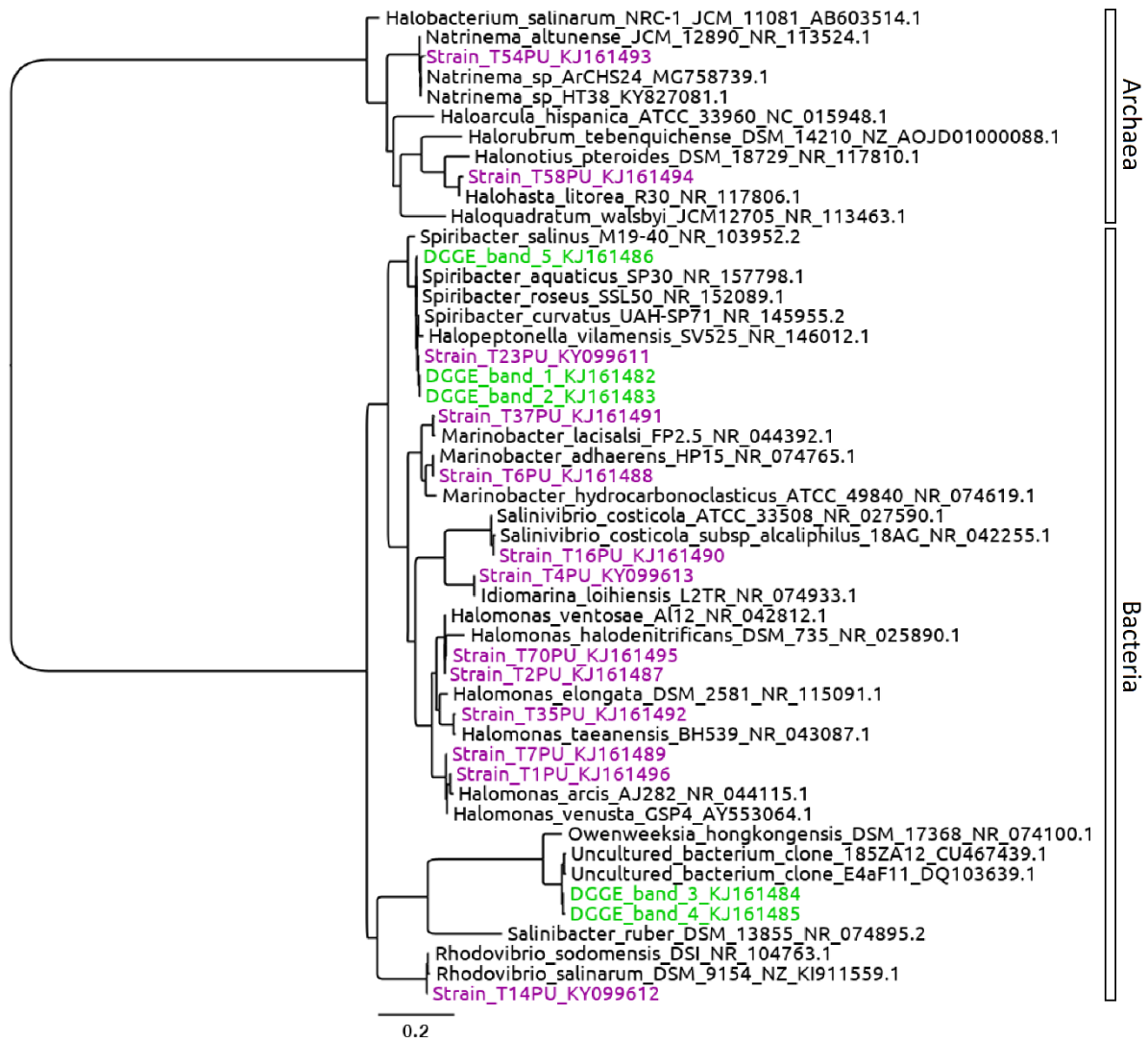


Figure 3. Phylogenetic tree constructed from 16S rRNA genes of the isolates and DGGE bands obtained in this study. Scale bar corresponds to 0.2 changes per nucleotide.

4. Discussion and Conclusion

The number of the microbial cells in different hypersaline spring bodies analyzed in our previous studies was found to be around 10^2 - 10^3 cells mL^{-1} (Çınar & Mutlu, 2016). Maturrano et al. (2006) reported that microbial cells in spring water feeding an inland solar saltern in Peru were around 100 cells mL^{-1} . Microscopic examination revealed that the cell density in the Pülümür sample was higher than those obtained in previous studies.

The DGGE analysis revealed the existence of novel groups that we could not obtain in the cultivation study. The bands 3 and 4 were found to have a distant similarity (94%) with *Owenweeksia hongkongensis* strain DSM 17368. The sequences of T23PU strain and DGGE bands 1, 2, 5 obtained in this study showed a high similarity (99%) to that of *Spiribacter aquaticus* strain SP30 isolated from a solar saltern (Spain) (León et al., 2017). In previous studies, *Halomonas* and *Salinibacter*-related phylotypes were obtained from Tuz Lake and Çamaltı saltern (İzmir) by DGGE analysis (Mutlu & Güven, 2015; Mutlu et al., 2008). Strains of *Halomonas* were obtained from Pülümür sample, but *Salinibacter*-related phylotypes were not detected in either DGGE analysis or isolation studies. In addition, *Salinibacter* strains could not be obtained from the different hypersaline spring waters that feed the crystallization ponds of the salterns in Erzincan and Sivas (Çınar & Mutlu, 2016).

In cultivation study, we also obtained bacterial strains belonging to the genera *Rhodovibrio*, *Salinivibrio*, *Halomonas*, *Idiomarina* and *Marinobacter*. The majority of the bacterial strains belonged

to the genus *Halomonas*. Strains belonging to all of the specified genera were also obtained in our previous studies from the spring water feeding Tuzlagözü saltern (Sivas, 19% salinity) of which salinity is close to Pülümür spring. In addition, representatives of these bacterial genera were obtained from many different inland and marine solar salterns in Turkey (Mutlu & Güven, 2015; Çınar & Mutlu, 2016 and 2018; Özdemir et al., 2018).

One of the archaeal strains showed 99% sequence similarity with *Halohasta litorea* strain R30 isolated from a brine sample in China and the other 99% with *Natrinema* sp. HT38 isolated from the salt sample of Hamo saltern (Sivas) (Mou et al., 2012; Çınar & Mutlu 2018). We previously isolated halophilic archaeal strains from the hypersaline spring waters in Sivas and Erzincan, including representatives of *Haloarcula* and *Halorubrum* genera (Çınar & Mutlu, 2016). Strains of *Haloarcula*, *Halorubrum*, *Haloferax* and *Halobacterium* were readily recovered from many different hypersaline environments in Turkey (Birbir et al., 2007; Özcan et al., 2007; Mutlu et al., 2008; Yaşa et al., 2008; Yıldız et al., 2012), however could not be obtained from hypersaline spring in Pülümür. Strains of *Natrinema* previously isolated by Özcan et al. (2007) from different hypersaline environments in Turkey, however the strain associated with *Halohasta* genus was obtained for the first time in this study.

Here, we report the prokaryotic groups detected in a hypersaline spring sample (Pülümür). Representatives of *Halobacteriales*, *Alphaproteobacteria* and *Gammaproteobacteria* taxa were isolated and identified. Additionally, phylotypes belonging to *Bacteroidetes* phylum were recovered by DGGE analysis. The presence of microbial genera such as *Halohasta* and *Spiribacter*, which we have not encountered previously in other hypersaline water bodies in Anatolia, was detected, and their representatives were isolated.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Antón, J., Llobet-Brossa, E., Rodríguez-Valera, F., & Amann, R. (1999). Fluorescence *in situ* hybridization analysis of the prokaryotic community inhabiting crystallizer ponds. *Environmental Microbiology*, 1, 517-523. doi: [10.1046/j.1462-2920.1999.00065.x](https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.1999.00065.x)
- Birbir, M., Calli, B., Mertoglu, B., Bardavid, R. E., Oren, A., Ogmen, M. N., & Ogan, A. (2007). Extremely halophilic Archaea from Tuz Lake, Turkey, and the adjacent Kaldırım and Kayacık salterns. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23, 309-316. doi: [10.1007/s11274-006-9223-4](https://doi.org/10.1007/s11274-006-9223-4)
- Çınar, S., & Mutlu, M. B. (2016). Comparative analysis of prokaryotic diversity in solar salterns in eastern Anatolia (Turkey). *Extremophiles*, 20, 589-601. doi: [10.1007/s00792-016-0845-7](https://doi.org/10.1007/s00792-016-0845-7)
- Çınar, S., & Mutlu, M. B. (2018). Sivas'ın solar tuzlalarındaki mikrobiyal toplulukların kültür bağımlı karakterizasyonu. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C-Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 7, 1-11. doi: [10.18036/aubtdc.305855](https://doi.org/10.18036/aubtdc.305855)
- DeLong, E. F. (1992). Archaea in coastal marine environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89, 5685-5689. doi: [10.1073/pnas.89.12.5685](https://doi.org/10.1073/pnas.89.12.5685)
- Dyall-Smith, M. (2009). The Halohandbook- Protocols for Haloarchaeal Genetics, Version 7.3. <https://haloarchaea.com/halohandbook/> (date of access: 01.06.2020)
- Edgar, R. C. (2004). MUSCLE: multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput. *Nucleic Acids Research*, 32, 1792-1797. doi: [10.1093/nar/gkh340](https://doi.org/10.1093/nar/gkh340)
- Kılıç, Ö., & Kılıç, A. M. (2005). Recovery of salt co-products during the salt production from brine. *Desalination*, 186, 11-19. doi: [10.1016/j.desal.2005.05.014](https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.05.014)
- Lane, D. J., Pace, B., Olsen, G. J., Stahl, D. A., Sogin, M. L., & Pace, N. R. (1985). Rapid determination of 16S ribosomal RNA sequences for phylogenetic analyses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 82, 6955-6959. doi: [10.1073/pnas.82.20.6955](https://doi.org/10.1073/pnas.82.20.6955)
- León, M. J., Aldeguer-Riquelme, B., Antón, J., Sánchez-Porro, C., & Ventosa, A. (2017). *Spiribacter aquaticus* sp. nov., a novel member of the genus *Spiribacter* isolated from a saltern. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 67, 2947-2952. doi: [10.1099/ijsem.0.002053](https://doi.org/10.1099/ijsem.0.002053)

- Maturrano, L., Santos, F., Rosselló-Mora, R., & Antón, J. (2006). Microbial diversity in Maras salterns, a hypersaline environment in the Peruvian Andes. *Applied and Environmental Microbiology*, 72, 3887-3895. [doi: 10.1128/AEM.02214-05](https://doi.org/10.1128/AEM.02214-05)
- Mou, Y. Z., Qiu, X. X., Zhao, M. L., Cui, H. L., Oh, D., & Dyall-Smith, M. L. (2012). *Halohasta litorea* gen. nov. sp. nov., and *Halohasta litchfieldiae* sp. nov., isolated from the Daliang aquaculture farm, China and from Deep Lake, Antarctica, respectively. *Extremophiles*, 16, 895-901. [doi: 10.1007/s00792-012-0485-5](https://doi.org/10.1007/s00792-012-0485-5)
- Mutlu, M. B., Martínez-García, M., Santos, F., Peña, A., Guven, K., & Antón, J. (2008). Prokaryotic diversity in Tuz Lake, a hypersaline environment in Inland Turkey. *Federation of European Microbiological Societies (FEMS) Microbiology Ecology*, 65, 474-483. [doi:10.1111/j.1574-6941.2008.00510.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00510.x)
- Mutlu, M. B., & Güven, K. (2015). Bacterial diversity in Çamaltı saltern, Turkey. *Polish Journal of Microbiology*, 64, 37-45.
- Muyzer, G., De Waal, E. C., & Uitterlinden, A. G. (1993). Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Applied and Environmental Microbiology*, 59, 695-700.
- Oren, A. (2008). Microbial life at high salt concentrations: phylogenetic and metabolic diversity. *Saline Systems*, 4, 2. [doi:10.1186/1746-1448-4-2](https://doi.org/10.1186/1746-1448-4-2)
- Oren, A. (2010). Diversity of halophiles. In Horikoshi, K., Antranikian, G., Bull, A. T., Robb, F. T., & Stetter, K. O. (Eds.), *Extremophiles Handbook* (pp. 310-325). Springer Science & Business Media.
- Özcan, B., Özcengiz, G., Collieri, A., & Cokmus, C. (2007). Diversity of halophilic Archaea from six hypersaline environments in Turkey. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17, 985-992.
- Özdemir, K., Öğün, E., Ertaş, M., & Özok, N. (2018). Kozluk (Batman) Tuzla Gözü Tuzlasından İzole Edilen Ekstraselüler İnulinaz Enzimi Üreten *Salinivibrio* T1 İzolatının Karakterizasyonu. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 60-68.
- Güner, İ., Bekdemir, Ü, Ertürk, M., & Şimşek, O. (2000). Tuzluca kaya tuzlası. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 6, 323-347.
- Stamatakis, A. (2014). RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics*, 30, 1312-1313. [doi: 10.1093/bioinformatics/btu033](https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu033)
- Ventosa, A., Márquez, M. C., Sánchez-Porro, C., & Rafael, R. (2012). Taxonomy of halophilic archaea and bacteria. In Vreeland, R. H. (Ed.), *Advances in Understanding the Biology of Halophilic Microorganisms* (pp. 59-80). Springer, Dordrecht.
- Yaşa, İ., Kahraman, Ö., Tekin, E., & Koçyiğit, A. (2008). Çamaltı tuzlasından ekstrem halofilik archaea izolasyonu ve moleküler karakterizasyonu. *Ege University (EU) Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 25, 117-121.
- Yıldız, E., Özcan, B., & Çalışkan, M. (2012). Isolation, characterization and phylogenetic analysis of halophilic Archaea from a salt mine in central Anatolia (Turkey). *Polish Journal of Microbiology*, 61, 111-117.



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<http://dergipark.gov.tr/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Fotovoltaik Sistemin Güç Üretiminin Meteorolojik Değişkenler ile Modellenmesi: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Örneği

Emre BİÇEK^{*1}, H. Eray ÇELİK²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Enformatik Bölümü, 65080, Van, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, 65080, Van, Türkiye

Emre BİÇEK, ORCID No: 0000-0001-6061-9372, H. Eray ÇELİK, ORCID No: 0000-0001-7490-8124

*Sorumlu yazar e-posta: emrebicek@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 24.06.2020

Kabul: 14.12.2020

Online Yayınlanma: Aralık 2020

Anahtar Kelimeler

Yenilenebilir enerji,
Fotovoltaik enerji,
Regresyon analizi,

Öz: Fotovoltaik sistemlerin güç çıktısının doğru tahmin edilmesi, bu sistemlerin doğru planlanması ve gelecekteki yatırımların teşvik edilmesi açısından çok önemlidir. Fotovoltaik sistemlerin güç üretimi, sistemin kurulduğu konumdaki meteorolojik değişkenlerden etkilenmektedir. Türkiye bulunduğu konum itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli bakımından avantajlı durumdadır. Türkiye'nin en fazla güneşlenme süresine sahip illerinden biri ise Van'dır. Bu çalışmada, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nde kurulu bulunan (17 kWp kapasiteli) fotovoltaik sistemin enerji üretimine meteorolojik değişkenlerin etkisi analiz edilmiştir. Analizde 2015-2018 yılları arasında üretilen enerji ve aynı zaman dilimine ait meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Bu kapsamda çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılarak bir istatistiksel model çıkarımı yapılmıştır. Çalışma sonucunda ÜG değişkeninin SGŞ üzerinde en yüksek pozitif etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca SNN, SRH, SS ve SB değişkenlerinin ÜG üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu da saptanmıştır. Durağanlık varsayımı sağlandıktan sonra elde edilen modelin R^2 'si 0.445 olarak hesaplanmıştır.

Modeling the Power Generation of the Photovoltaic System with Meteorological Variables: The Case of Van Yüzüncü Yıl University

Article Info

Received: 24.06.2020

Accepted: 14.12.2020

Online Published: December 2020

Keywords

Renewable energy,
Photovoltaic energy,
Regression analysis,

Abstract: Estimating the power output of photovoltaic systems is very important in terms of planning these systems correctly and encouraging future investments. The power generation of photovoltaic systems is affected by the meteorological variables at the location where the system is installed. Turkey has the potential for solar energy as a location. Located in the eastern part of Turkey, Van is one of the provinces with the most sunshine hours. In this article, the effect of meteorological variables on the energy production of the Solar Photovoltaic system which is located in Van Yüzüncü Yıl University Campus (with a capacity of 17 kWp) was analyzed. In the analysis, the power generation data of the system and the meteorological variables were used between 2015 and 2018. A statistical model was extracted using the multiple linear regression analysis. As a result of the study, it was seen that the UG variable had the highest positive effect on SGS. It was also found that the variables SNN, SRH, SS and SB had a statistically significant effect on the UG. After providing the stationary assumption for the UG variable, the R^2 of the model was calculated as 0.445.

*Bu makale Emre BİÇEK'in Doktora tezinden üretilmiştir.

1. Giriş

Son yıllarda küresel ısınma tüm dünyanın odak noktası haline gelmiştir. Daha önce ölçülmemiş en yüksek sıcaklıklar, dünyamızın yaşam kaynağı olan buzulların her zamankinden daha hızlı erimesi, devasa orman yangınları ve şiddetli kasırgalar iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden birkaçıdır. Atmosfere salınan sera gazları bu durumun en büyük nedenlerindedir. Küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin her geçen gün arttığı günümüzde, yenilenebilir enerji kullanımının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. İklim değişikliğinin yol açtığı felaketler, ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimlerini büyük oranda artırmıştır. Enerji ihtiyacı tüm dünyada her geçen gün artmaktadır. Geleneksel enerji üretim sistemleri, atmosfere yoğun bir şekilde sera gazı salınımına sebep olmaktadır. Ülkeler, bu sera gazlarının salınımını düşürmek için çeşitli arayışlar içerisindeyler. Yenilenebilir enerji bu noktada hayat kurtarıcı niteliktedir. Son dönemlerde bu alana yatırım yapan veya kapasite artırımına giden ülke sayısı oldukça fazladır. Global ölçekte 2018 yılı sonu itibari ile 90'dan fazla ülkede, en az 1 gigawatt (GW) kapasiteli yenilenebilir enerji sitemi kurulumu yapılmıştır. 30 ülkede ise bu kapasite 10 GW'nin üzerine çıkmıştır. Dünya enerji kaynaklarının %26.2'si yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Güneş enerjisinin payı ise %2.4'tür. 2018 yılında fotovoltaik enerji teknolojisi GW ölçekli dünya pazarında dünyanın en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji üretim teknolojisi olmuştur. Bol miktarda kaynağa sahip olması, hava kirliliği oluşturmaması ve taşıma maliyetinin olmaması gibi nedenlerle, güneş enerjisi dünya üzerinde son yıllarda en fazla kapasite artırımı yapılan yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur. Dünya üzerinde kurulu fotovoltaik enerji sistemi kapasitesi, 2018 yılı sonu itibari ile %25 artarak, 505 GW'ye ulaşmıştır. Türkiye hâlihazırda kurulu sistem kapasitesi ile bu alanda ilk 10 ülke arasındadır. Türkiye'nin 2023 yılına kadar toplamda 5 GW'lik kurulu fotovoltaik sistemi kapasitesine ulaşma hedefi vardır (REN21, 2019).

Türkiye konum olarak güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça avantajlıdır. Türkiye Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilerine göre Türkiye yıllık ortalama 2636.89 saat güneşlenme süresi ve 1524.18 kilowatt-saat/metrekaare (kWh/m²) küresel radyasyon değeri ile yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu verilere göre, Van ili ise 1635.81 kWh/m² küresel radyasyon değeri ve 3068.74 saat güneşlenme süresiyle Türkiye ortalamasının çok üzerinde bir potansiyele sahiptir (GEPA, 2020). Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı (DAKA) verilerine göre güneş enerjisi sistemlerinin üretim kapasitesini etkileyen en önemli faktörlerden biri olan güneş radyasyonu bakımından ilk sırada Karaman, ikinci sırada Antalya ve üçüncü sırada ise Van bulunmaktadır. Toplam güneşlenme süresi bakımından ise Van ilk sırada yer almaktadır. Arazi elverişliliği ve sistem kurulumu için gerekli teknik koşulların karşılanabilmesi açısından da Van yine ilk sırayı almaktadır. Bu veriler ışığında karşılaştırıldığında Türkiye'de en fazla güneş enerjisi üretim potansiyeline sahip ilin Van olduğu görülmektedir (DAKA, 2008).

Güneş enerjisi fotovoltaik sistemler tarafından elektrik enerjisine çevrilmektedir. Fotovoltaik sistemler yüzlerce fotovoltaik hücreden oluşan panellerin bir araya geldiği yalıtkan sistemlerdir. Bir ve ya daha fazla panel inventörlerle birlikte bir sistemi oluşturmaktadır. Güneş tarafından sağlanan enerji, fotovoltaik panellerden ham doğru akım gücü olarak çıkar. Üretilen bu güç daha sonra fotovoltaik sistemin inventör bileşeninden geçer ve kullanılmak üzere alternatif akım gücüne dönüştürülür (Chang ve ark., 2019). Fotovoltaik sistemlerin güç üretimi çevresel faktörlere bağımlılığı dolayısıyla dalgalanan bir seyre sahiptir. Bu nedenle, büyük ölçekteki sistem kurulumları ve planlamaları karmaşık ve zordur. Operasyonel süreçlerin azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi ve doğru alanda doğru kapasitede sistem kurulumunun gerçekleştirilebilmesi için üretilebilecek enerjinin doğru tahmini son derece kritik bir rol oynamaktadır (Wang ve ark., 2019).

Güneş Fotovoltaik sistemlerin ürettiği enerjinin doğru tahmin edilmesinin önemi, dünyada bu alanda yapılan çalışma sayısını hızla artırmıştır. Sistemlerin ürettiği enerjinin doğru tahmin edilmesinde genel olarak doğrudan ya da dolaylı olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Doğrudan tahminlerde sistemin güç çıkışı hesaplanırken, dolaylı tahminlerde ise önce güneş ışınımı hesaplanır daha sonra sistemin enerji üretim verileri dikkate alınarak tahmin gerçekleştirilir. Ayrıca birçok çalışma sadece güneş ışınım tahminine odaklanır. Bunun nedeni sistemlerin ürettiği enerji miktarının güneş ışınımı ile büyük bir ilişki içerisinde olmasıdır (Antonanzas ve ark., 2016). Bu alanda kullanılan tahmin yöntemleri fiziksel, istatistiksel ve yapay zekâ tabanlı makine öğrenmesi yöntemleri olmak üzere üç kategoride ele alınabilir. Fiziksel modeller, uzun tahmin ufukları için daha uygun olan sayısal hava tahmini modellerini kullanır. İstatistiksel modeller fiziksel modellerden daha kolay uygulanabilir. Güneş

ışınım değerleri dış etkenlerden dolayı doğada sabit olmayan bir karakteristiğe sahip olduğu için devamlı ya da stokastik zaman serilerine bağlı istatistiksel modellerin tahmin performansı sınırlıdır (Qing & Niu, 2018). Yapay zekâ tabanlı makine öğrenmesi yöntemleri, yüksek boyutlu karmaşık ve doğrusal olmayan özellikleri etkin bir şekilde çıkarma ve bunları doğrudan çıktıya eşleme yeteneğine sahiptir. Makine öğrenmesine dayalı tahminler bu özelliklerinden dolayı zaman serileri tahminlerinde en sık kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir. Birçok çalışma bu yöntemlerin başarısını ortaya koymuştur (Wang ve ark., 2019).

Fotovoltaik sistemin güç çıktısının tahmini için yapay sinir ağlarını kullanılan bir çalışmada, güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgâr hızı, sinir ağının giriş değişkenleri olarak kullanılmış, önerilen modelin etkinliği günlük, aylık ve yıllık ölçekte değerlendirilmiştir. Önerilen yöntem, konvansiyonel çoklu doğrusal regresyon modeli kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Hiyama & Kitabayashi, 1997).

Deniz & Atik (2007) tarafından yapılan çalışmada, regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerinin hangisinin güneş ışınım şiddeti tahmininde daha etkin olduğu araştırılmıştır. Bu amaçla; rüzgâr hızı, hava sıcaklığı, toprak sıcaklığı, deklinasyon açısı, nem miktarı, güneş ışınımı alımının gün uzunluğuna oranı ve aylık ortalama atmosfer dışı ışınım şiddeti değişkenleri kullanılmıştır. 2005 yılına ait veriler üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, regresyon analizi yönteminin daha iyi sonuçlar ürettiği sonucuna varılmıştır.

Benghanem & Joraid (2007) tarafından Medine'nin potansiyel güneş enerjisi kapasitesini ortaya koyabilmek için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Dört yıllık veri kullanılan çalışmada, güneş ışınımının hem hava açıklık indeksi hem de güneşlenme süresi değişkenleri ile yüksek bir korelasyona sahip olduğu ifade edilmiştir. Sıcaklık ve güneş ışınımı değişkenlerinin gün doğumu ile öğle vakti arasındaki güneşli bir havada birbirleri ile yüksek bir korelasyona sahip olduğu açıklanmıştır. Genel olarak, elde edilen denklem tarafından tahmin edilen veriler ile ölçülen veriler arasında iyi bir uyum bulunmuştur.

İtalya'da bulunan 960 kilowatt-peak (kWp) kapasiteli bir fotovoltaik enerji tesisinin üretimini tahmin etmek için çoklu doğrusal regresyon analizine ve Elmann yapay sinir ağına dayalı istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Üretilen gücün zaman serilerinin farklı kombinasyonları ve yapay sinir ağlarının girdileri olarak, ölçülen meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Meteorolojik değişkenler ve güç üretimi arasında korelasyon analizi yapılarak bu değişkenler arasındaki ilişki incelenmiştir. Farklı girdiler kullanılarak yapay sinir ağları üzerinde bir model uygulanmış ve farklı girdilere göre elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Girdiler üç bölüme ayrılmış bunlar; sadece enerji girdisi, enerji ve güneş ışınımı girdisi, son olarak ise enerji, güneş ışınımı ve sıcaklık girdileridir (Giorgi ve ark., 2014).

Bursa'da gerçekleştirilen bir çalışmada tarım alanında kullanılmak için kurulan monokristal ve polikristal olmak üzere iki farklı fotovoltaik sistemin enerji üretimlerinin karşılaştırılması ele alınmıştır. Güneşlenme şiddetine bağlı olarak her iki sistemin anlık güç üretim çıktıları regresyon analizi ile incelenmiştir (Taşçıoğlu, 2015).

Yapay sinir ağları ve çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışmada, çevresel faktörlerin fotovoltaik sistemlerin ürettiği güç üzerine etkisi incelenmiş ve enerji üretim tahmini yapılmıştır. Bu kapsamda, güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr soğluğu ve nem değişkenleri kullanılmıştır. Yapay sinir ağları ve istatistiksel bir model olan çoklu doğrusal regresyon analizinin sonuçları karşılaştırılmıştır (Ayan & Mehtap, 2018).

Qing & Niu (2018) tarafından yapılan çalışmada sıcaklık, çiy noktası, nem, görüş mesafesi, rüzgâr hızı, hava çeşidi (yağmurlu, bulutlu, sisli vs. 13 farklı) değişkenleri güneş ışınımı tahmini için kullanılmıştır. Kullanılan veri seti Cape Verde'de bulunan Santiago adasına ait 30 aylık dönemi kapsamaktadır. Makine öğrenmesi ve klasik yöntemlerin kullanıldığı ve karşılaştırıldığı çalışmada, analizlere başlamadan önce güneş ışınımı ile diğer değişkenler arasındaki ilişkinin ortaya konulması için korelasyon analizi yapılmıştır.

Arslan ve ark. (2019) tarafından Mersin ilinde yapılan bir çalışmada hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi ve bulut kapallığı verileri kullanılarak güneş ışınımı tahmini yapılmıştır. Yapay sinir ağlarına dayalı algoritmalar ve regresyon analizi uygulanmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Dünya ülkelerinin yenilenebilir enerji alanında son zamanlarda artan yatırımları göstermektedir ki gelecekte daha fazla ülke, daha fazla oranda enerjiyi bu temiz enerji, yani yenilenebilir enerjiden sağlayacaktır. Türkiye'nin de bu alanda yatırımlarını artırması ve pastadan gerekli payı alması gerekmektedir. Bu bağlamda gerçekleştirilecek bilimsel araştırmaların önemli rol oynayacağı

düşünülmektedir. Türkiye'nin son yıllarda yenilenebilir enerji kapsamında özellikle fotovoltaik enerji sistemleri alanında gerçekleştirmiş olduğu yatırımlar ve gelecek planları göz önüne alındığında bu konuda yapılacak bilimsel çalışmaların, ülkemizin bu alandaki yatırımlarının doğru planlanabilmesi ve kaynaklarının en etkin şekilde kullanılabilmesi adına katkısı olacaktır. Yukarıda paylaşılan veriler de göstermektedir ki Türkiye'nin en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip illerinin başında Van gelmektedir. Bu çalışmada Van ili sınırlarında bulunan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nde kurulu, toplamda 17.160 kWp güç üretim kapasitesine sahip bir fotovoltaik sistemin enerji üretimine meteorolojik değişkenlerin etkisi, çoklu doğrusal regresyon analizi ile incelenerek bir istatistiksel model çıkarımı yapılmıştır. Bu çalışmada daha önce çalışılmamış bir veri seti ve konum kullanılarak literatüre katkıda bulunulmuştur. Çalışmanın Türkiye'de kurulu bir sistem üzerinde yapılmış olması, sistemin bulunduğu konuma bağlı çevresel faktörlerin enerji üretimine etkisini bölgesel olarak daha iyi açıklayarak, ülkemizin enerji yatırım planlama çalışmalarına önemli bir katkı sunmakla birlikte, Van bölgesinde gelecekte kurulacak sistemlerin planlanması noktasında da katkı sağlayacağı ve bu alanda yatırım yapmak isteyen kişi ve kurumlara da öngörü sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Fotovoltaik sistem ve enerji verileri

Çalışmada Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilim Araştırma ve Uygulama Merkezi (BAUM) çatısına konuşlandırılmış bir fotovoltaik sistemin verileri kullanılmıştır. Kurulan sistemin gücü 17.160 kWp olup sistem 15.01.2013 yılında devreye alınmıştır. Sistem 38.4693 enlem, 43.3378 boylam coğrafi konumunda olup 1661 metre rakıma sahiptir. Kullanılan modül tipi LDK-220P-20'dir. Toplamda bugüne kadar 6 yıllık düzenli veri geçmişi bulunmaktadır. Şekil 1'de sistem ile ilgili genel bilgi ve sistemin çatıda konumlandırılmış fotoğrafı yer almaktadır.



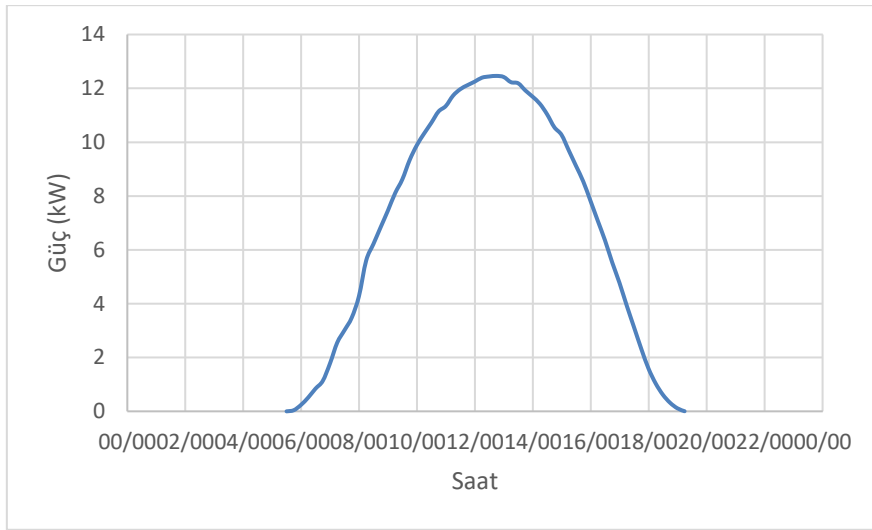
Şekil 1. Fotovoltaik sistemin genel tanımlanma bilgileri ve çatıda konumlandırılmış fotoğrafı.

Çalışmada, Şubat 2015 ve Kasım 2018 tarihleri arasında toplam 12237 gözlemden oluşan enerji üretim verisi kullanılmıştır. Her bir gözlem bir saat içerisinde üretilen ortalama güç (kW) değerini göstermektedir. Bu tarihler arasında sistem toplamda 85.750 megawatt-saat (MWh) enerji üretmiştir. Üretilen Güç (ÜG) analizde bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Enerji üretimi gün doğumu ile başlayıp gün batımı ile sona eren bir süreçtir. Bu nedenle veri seti hazırlanırken güneşin doğduğu ve ilk enerji üretiminin başladığı saatten başlayarak, enerji üretiminin bittiği saate kadar olan zaman dilimi esas alınmıştır. Çizelge 1'de üretilen güç değişkeni ile ilgili istatistiklere yer verilmiştir.

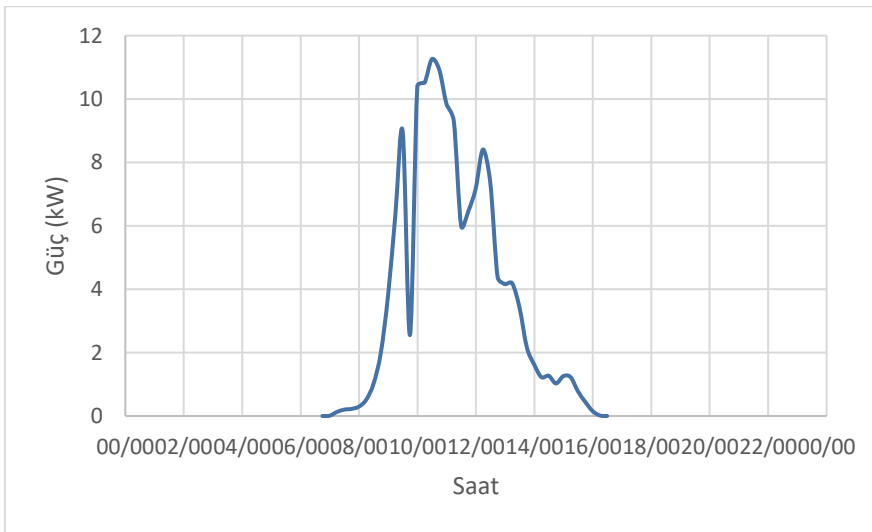
Çizelge 1. Üretilen güç değişkeni ile ilgili tanımlayıcı istatistikler

	Ortalama	Minimum	Maksimum	Değişim Aralığı	Standart Sapma
Üretilen Güç (kW)	6.12	0.01	15.33	15.32	5.03

Üretilen enerji yıl içindeki meteorolojik durumlara göre dalgalı bir seyir izlemektedir. Bu makalede yıl boyu üretilen tüm enerji göz önüne alınmıştır. Şekil 2 ve Şekil 3'te yaz ve kış aylarındaki bir güne ait saatlik enerji üretim değerleri örnek olarak verilmiştir. Ağustos ayındaki bir güne ait saatlik enerji üretim eğrisinin verildiği Şekil 2'deki grafik incelendiğinde, Güneş'in doğması ile birlikte enerji üretiminin başladığı ve batışı ile birlikte enerji üretiminin sonlandığı görülmektedir. En yüksek enerji üretimi, güneş ışıklarının en dik geldiği öğlen vaktinde gerçekleşmiştir. Fotovoltaik sistemlerin enerji üretimi meteorolojik koşullardan önemli ölçüde etkilenmektedir. Seçilen tarihte hava açık ve verimli bir şekilde enerji üretimi için koşullar uygundur. Havanın güneşli ve meteorolojik koşulların uygun olduğu bir günde enerji üretim seyrinin bu şekilde olması beklenmekte ve en iyi seviyede gerçekleştiği ifade edilebilmektedir.



Şekil 2. Fotovoltaik sistemin 15.08.2018 (Yaz Mevsimi) tarihindeki bir günlük enerji üretim eğrisi.



Şekil 3. Fotovoltaik sistemin 15.01.2018 (Kış Mevsimi) tarihindeki bir günlük enerji üretim eğrisi.

2018 yılı Ocak ayındaki bir güne ait saatlik enerji üretim eğrisinin verildiği Şekil 3'teki grafik incelendiğinde ise enerji üretiminin dalgalı bir seyir izlediği ve anlık meteorolojik değişimlerden ne ölçüde etkilendiği izlenebilmektedir. Bilindiği üzere güneş, yaz aylarında erken doğup geç batarken kış aylarında ise geç doğup erken batar. Bu durum kış aylarında günlük enerji üretim süresinin daha az, yaz aylarında ise daha fazla olması ile sonuçlanır. Verilen grafikler incelendiğinde de bu sonuca da ulaşmak mümkündür. İlerleyen bölümlerde hangi meteorolojik değişkenlerin üretilen enerji ile ne düzeyde bir ilişkiye sahip olduğu çoklu doğrusal regresyon analizi ile incelenecektir.

2.2. Meteorolojik veriler

Çalışmada Meteoroloji 14. Bölge Müdürlüğü tarafından sağlanan Van bölgesine ait meteorolojik değişkenler kullanılmıştır. Analizde kullanılan meteorolojik değişkenler literatürdeki çalışmalar incelenerek bu alanda yaygın olarak kullanılan değişkenlerden seçilmiştir. Analizde Saatlik Güneşlenme Şiddeti (SGŞ), Saatlik Nispi Nem (SNN), Saatlik Rüzgâr Hızı (SRH), Saatlik Sıcaklık (SS), Saatlik Bulutluluk (SB) değişkenleri kullanılmıştır. Elde edilen Şubat 2015 ve Kasım 2018 tarihleri arasındaki saatlik meteorolojik veriler fotovoltaik sistemin ürettiği aynı zaman dilimine ait ÜG değişkeni ile eşleştirilerek tahminde kullanılacak veri seti oluşturulmuştur. Tahminde ÜG değişkeni bağımlı değişken, meteorolojik değişkenler ise bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Üzerinde çalışılan meteorolojik değişkenlerin birimleri ve değer aralıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Meteorolojik değişkenlerin üretilen güç üzerindeki etkisinin incelenmesi adına literatüre bakıldığında, her değişken için beklenti şu şekildedir; fotovoltaik panellerden elde edilen enerji ile güneşlenme şiddetinin yüksek bir ilişki içerisinde olduğu görülmekte ve bir çok çalışmada bu değişken doğrudan enerji üretimi tahmininde bağımlı değişken olarak kullanılmaktadır (Hamrouni, 2008; Nasrin & Rahim, 2018; Kara, 2019). Fotovoltaik paneller güneş ışığını soğurarak enerji üretir. Panel üzerinde biriken nem tabakası bu soğurma işlemi azaltıcı etkiye sahiptir. Bu nedenle, nem değişkeninin üretilen enerji ile ters orantılı olması beklenmektedir (Panjwani & Narejo, 2014). Güneş panellerinin yukarıda da bahsedildiği gibi sıcaklığı arttıkça veriminin azalması beklenmektedir. Rüzgâr panellerin soğumasına katkı sağladığı için enerji üretiminin az da olsa artması beklenmektedir (Bhattacharya ve ark., 2014). Üretilen enerji panel sıcaklığı ile ters orantılıdır. Panel sıcaklığı artarken üretilen güç azalır. Ortam sıcaklığı ne kadar yüksek ise panel sıcaklığı da bu durumdan etkilenecek ve verimi düşecektir. Sıcaklık değişkeninin üretilen güç ile ters orantılı olması beklenmektedir (Razak ve ark., 2016; Adak ve ark., 2019). Yapılan çalışmalarda bulutluluk değişkeninin üretilen enerji ile doğrudan bir ilişki içerisinde olmadığı gösterilmiştir. Yıl genelinde incelendiğinde çok az da olsa üretimi etkilediği görülse de, günlük olarak değerlendirildiğinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Bulutluluk değişkeninin az da olsa üretimi azaltıcı etkiye sahip olması beklenmektedir (Chrobak ve ark., 2018).

Çizelge 2. Meteorolojik değişkenlerin birimleri ve değer aralıkları

Meteorolojik Değişkenler	Değer Aralıkları
Saatlik Güneşlenme Şiddeti (cal/cm ²)	0.0 – 94.15
Saatlik Nispi Nem (%)	6.0 – 99.0
Saatlik Rüzgâr Hızı (m/sn)	0.0 – 8.8
Saatlik Sıcaklık (°C)	-16.3 – 34.6
Saatlik Bulutluluk (okta)	0.0 – 9.0

Analizde kullanılan meteorolojik değişkenler ile ilgili tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Meteorolojik değişkenler ile ilgili tanımlayıcı istatistikler

	Ortalama	Minimum	Maksimum	Değişim Aralığı	Standart Sapma
SGŞ	32.98	0.00	94.15	94.15	26.30
SNN	45.70	6.00	99.00	93.00	18.38
SRH	1.83	0.00	8.80	8.80	1.15
SS	14.52	-16.3	34.6	50.90	9.59
SB	3.16	0.00	9.00	9.00	2.35

2.3. Çoklu doğrusal regresyon analizi

Fotovoltaik sistemlerin güç üretimi çeşitli dış faktörlerden etkilenen bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılarak, fotovoltaik sistemin ürettiği gücün, meteorolojik değişkenlerle olan nedensel ilişkisi tespit edilmiştir.

Regresyon analizi istatistiksel modelleme yöntemlerinden biridir. Farklı bilim dallarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Çoklu doğrusal regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin, bir bağımlı değişkendeki toplam değişimin ne kadarını açıkladığı doğrusal bir matematiksel model kullanılarak analiz edilir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi temsil eden doğrusal matematiksel model en genel haliyle Denklem (1)'de gösterildiği gibidir.

$$Y = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

Bu çalışmada regresyon katsayılarının hesaplanmasında en küçük kareler (EKK) yöntemi kullanılmaktadır. Yukarıdaki denklemde Y bağımlı değişkeni, X_i bağımsız değişkeni, α ve β_i regresyon denkleminin katsayıları, k bağımsız değişken sayısını, ε_i hata terimini temsil etmektedir. Modelin başarısını ölçmede R^2 ile ifade edilen belirlilik katsayısı kullanılır. Bu katsayı denklemin başarısını ölçtüğü gibi, denklemin tahmin gücünü de yansıtan bir istatistiktir (Günel, 2004). Regresyon analizi için gerekli varsayımların karşılanması durumunda, EKK tahmin edicileri yansız ve minimum varyans özelliklerini taşımaktadır. Yani EKK tahmin edicilerinin varyansı diğer yöntemler ile hesaplanacak tahmin edicilerin varyansları arasında en küçük değere sahip olacaktır.

3. Bulgular

İstatistiksel modellemede çoklu doğrusal regresyon analizi sıklıkla tercih edilmektedir. Genellikle model parametrelerinin tahmininde EKK yöntemi kullanılmaktadır. Ancak, EKK tahmin edicilerinin yansız ve minimum varyans özelliklerini göstermesi için bazı kısıtlar (varsayımlar) sağlanmalıdır. Bu varsayımların ihlali, gerçekleştirilen analiz ile elde edilecek sonuçların güvenilirliğini zayıflatacak ve hatalı sonuçların elde edilmesine neden olacaktır. Bu bölümde regresyon modeli kurulmadan önce sırasıyla, verinin durağan olup olmadığı incelenmiş, model tahmin edildikten sonra ise hata terimleri için normallik ve otokorelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çoklu doğrusal bağlantı durumu da incelenmiştir.

3.1. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları

Granger & Newbold (1974) tarafından zaman serisi analizlerinde durağanlığın yeni başlayan araştırmacılar tarafından genellikle ihmal edildiği bildirilmektedir. Durağanlığın ihmal edilmesi hatalı sonuçlara ve sahte regresyona neden olmaktadır. Sahte regresyonun tanımlanmasındaki temel kural ise yüksek bir R^2 değeri ve ona eşlik eden düşük (0 'a yakın) bir Durbin Watson (DW) değeridir. Zaman serisi verileri üzerinde gerçekleştirilen regresyon analizlerinde bu şekilde değerler elde edilmesi bağımlı değişkenin otokorelasyona sahip olduğunu göstermektedir.

Durağan olmayan zaman serilerinin durağan hale getirilmesinde fark alma işlemi uygulanabilmektedir. Fark alma işlemi Denklem (2)'de gösterildiği şekildedir.

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \quad (2)$$

Denklem (2)'de Δy_t ilk fark olarak adlandırılır ve bu işlem sonucunda durağan bir süreç elde edilirse I(1) olarak gösterilir. Denklemde gösterilen y_t verinin t anındaki değerini, y_{t-1} ise t-1 anındaki yani bir önceki zamandaki değerini temsil etmektedir. Bazı durumlarda daha fazla fark almak gerekebilir. Durağan bir zaman serisi elde etmek için p sayıda fark almamız gerekiyorsa bu durumda $I(p)$, $p \in N$ şeklinde ifade edilir (Baumohl ve Lyocsa, 2009). Bu çalışmada fark işlemi uygulanmadan gerçekleştirilen analizde yukarıda bahsedildiği gibi yüksek bir R^2 (0.828) ve düşük bir DW (0.010) değeri elde edilmiştir. Çalışma daha sonra bağımlı değişken üzerinde Δy_t şeklinde birinci dereceden fark alma işlemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Meteorolojik değişkenlerin (SGŞ, SNN, SRH, SS, SB), ÜG üzerindeki etkisinin incelenmesi adına kurulan regresyon modeli istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($F=1958.888$ | $p<0.05$). Modelde bağımlı değişken ÜG olarak tanımlanmış ve geri kalan beş değişken (SGŞ, SNN, SRH, SS, SB) ise bağımsız değişken olarak belirlenmiştir. Modele ilişkin sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları

Model 1	$\hat{\beta}$	SH	$\hat{\beta}$	t	Sig.	VIF
Sabit	-4.117	0.245		16.810	<0.001	
SGŞ	0.152	0.002	0.658	133.553	<0.001	1.547
SNN	-0.009	0.003	-0.026	-12.501	0.012	2.459
SRH	0.135	0.042	0.026	8.458	0.002	1.440
SS	-0.037	0.006	-0.059	-33.014	<0.001	2.033
SB	-0.062	0.021	-0.024	0.0187	0.003	1.440

$R^2=0.445$ | $\bar{R}^2=0.444$ | Std. E. E.=4.524 | F:1958.888 | Durbin-Watson=2.021

Regresyon Modeli

$$\widehat{\Delta \text{ÜG}} = -4.117 + 0.658\text{SGŞ} - 0.026\text{SNN} + 0.026\text{SRH} - 0.059\text{SS} - 0.024\text{SB}$$

Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilecek t ve F istatistiklerinin anlamlılığı ve güvenilirliği, hata terimlerinin normal dağıldığı varsayımına bağlıdır. Aksi durumda küçük veya büyük örnekler üzerinde yapılan testler geçerliliğini yitirecektir. Normal dağılım analizi için literatürde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada Jarque-Bera (JB) testi kullanılmıştır. JB istatistiği Denklem (3)'te gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$JB = n \left[\frac{S^2}{6} + \frac{(K - 3)^2}{24} \right] \quad (3)$$

Jarque & Bera (1987), büyük örneklerde JB istatistiğinin değerinin 2 serbestlik derecesinde Ki-Kare (χ^2) dağılımına sahip olduğunu göstermişlerdir. Denklemdeki n değeri gözlem sayısını, S değeri çarpıklık değerini, K değeri ise basıklık değerini temsil etmektedir. H_0 (Hatalar normal dağılır) hipotezi altında JB istatistiği kullanılarak hesaplanan p değeri alfa (α) anlamlılık düzeyinden küçük ise H_0 hipotezi reddedilir.

Çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen hata terimlerinin normal dağılıp dağılmadığı varsayımını saptamak adına yapılan JB analizinde çarpıklık (S) değeri -0.022 basıklık (K) değeri ise 3.043 olarak bulunmuştur. Denklem (3)'te yerine koyulan bu değerler ile JB istatistiği 2.160 olarak bulunmuş ve buna bağlı p değeri ise 0.339 olarak bulunmuştur. Elde edilen p değeri 0.05'den büyük olduğu durumda hata terimlerinin normal dağıldığı kabul edilir. Yapılan test sonucunda hata terimlerinin normal dağıldığı görülmüştür.

Regresyon analizi için temel varsayımlardan biri de hata terimlerinde otokorelasyon olmamasıdır. Bunun tespiti için kullanılan en yaygın test Durbin & Watson (1951) tarafından geliştirilen ve literatürde Durbin Watson d (DW) istatistiği olarak bilinen testtir. Bu test Denklem (4)'te gösterildiği şekilde tanımlanır.

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t=n} \hat{u}_t^2} \quad (4)$$

Denklem (4)'te gösterildiği şekilde d istatistiği ardışık artıkların farklarının kareleri toplamının, artık kareleri toplamına bölünmesi ile elde edilir. Denklem pay kısmında gözlem sayısı bir eksiktir. Bunun nedeni, ardışık artıkların farkı alırken bir gözlemin kaybedilmesidir. DW istatistiğinin büyük bir avantajı, regresyon analizinde rutin olarak hesaplanan tahmini artıklara dayanmasıdır. Bu avantaj nedeniyle R^2 , düzeltilmiş R^2 , t ve F gibi özet ölçülerle birlikte yaygın olarak raporlanmaktadır (Gujarati & Porter, 2009).

Analizde bağımlı değişken üzerinde birinci dereceden fark alma işlemi uygulandığında R^2 değeri 0.44 ve DW değeri ise 2.021 olarak elde edilmiştir. Bu değerler yukarıda bahsedilen sahte regresyon durumunun ortadan kalktığını ve yanıltıcı sonuçların önüne geçildiğini göstermektedir. DW değerinin 2'ye çok yakın olduğu durumlarda, otokorelasyon olmadığı sonucuna varılır. DW test istatistiği değeri için Savin-White tablosuna bakılarak otokorelasyon düzeyi incelenir.

Çoklu doğrusal regresyon analizinin bir diğer varsayımı ise bağımsız değişkenler arasında iç ilişkilerin bulunmamasıdır. Bu duruma çoklu doğrusal bağlantı (Multicollinearity) adı verilmekte ve istenmeyen bir durumdur. Bu durumun saptanmasında kullanılan birkaç yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan biri de Varyans Şişme Faktörü (Variance Inflation Factor-VIF) kullanılmasıdır (Gujarati, 1995). VIF değerinin hesaplanması için Denklem (5)'te verilen üç bağımsız değişkenli bir çoklu doğrusal regresyon denklemini inceleyelim.

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + e_i \quad (5)$$

Denklem (5)'te verilen değişkenlerden ilk olarak x_1 bağımlı, x_2 ve x_3 bağımsız değişken olarak alınıp modelin R_1^2 'si hesaplanır ve $VIF(x_1) = 1/(1-R_1^2)$ olarak bulunur. Diğer değişkenler içinde x_2 bağımlı, x_1 ve x_3 bağımsız aynı şekilde x_3 bağımlı, x_2 ve x_1 bağımsız olacak şekilde aynı işlemler uygulanır ve VIF değerleri her bir değişken için hesaplanır. VIF değeri 10'un altında ise çoklu doğrusal bağlantı problemi olmadığı kabul edilir (Kunter ve ark., 2004). VIF değeri 10 ve üzerine çıktıkça çoklu doğrusal bağlantı da o derecede artmaktadır. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenlere ait VIF değerleri Çizelge 4'te raporlanmıştır.

Çoklu doğrusal regresyon analizinde kullanılan değişkenlerin p değerleri 0.05 anlamlılık düzeyinden düşük çıkmıştır. \hat{B} standartlaştırılmamış veriler üzerinden gerçekleştirilen modelin katsayılarını ifade etmekte iken, $\hat{\beta}$ standartlaştırılmış veriler üzerinden her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini açıklamaktadır. SH standart hatayı temsil ederken, Std. E. E. ise standart tahmin hatasını göstermektedir.

Modelin belirlilik katsayısı R^2 0.445 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, meteorolojik değişkenlerin modeldeki açıklama gücü %44.5'dir. Diğer değişkenler sabit tutulduğunda SGŞ değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde 0.658 birim artışa neden olduğu, SNN değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde -0.026 birim azalışa, SRH değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde 0.026 birim artışa, SS değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde -0.059 birim azalışa, SB değişkenindeki 1 birimlik artışın ÜG üzerinde -0.024 birim azalışa neden olduğu görülmektedir.

Bölüm 2.2'de açıklanan meteorolojik değişkenlerin üretilen güç üzerindeki etkisine dair beklentilerin, yapılan analizden sonra ortaya çıkan sonuçlar ile örtüştüğü görülmüştür. Yapılan çalışmada üretilen enerjiye hangi meteorolojik değişkenin ne yönde ve ne kadar etki ettiği görülmüştür. Sırasıyla, SGŞ değişkeninin enerji üretiminde en fazla katkıya sahip olduğu, SS değişkeninin pozitif yönde etki ettiğini, SNN ve SRH değişkenlerinin üretilen güç üzerinde etkisi aynı olmakla beraber, SNN'nin üretilen güçü negatif yönde etkilerken, SRH'nin pozitif yönde etkilemekte olduğu, SB değişkeninin de en az etkiye sahip olmakla beraber, negatif yönde etki ettiği görülmüştür.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nde kurulu bulunan fotovoltaik sistemin enerji üretimine meteorolojik değişkenlerin etkisi analiz edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında sistemlerin kurulu bulunduğu konumlara bağlı fiziksel koşullar ve kısıtlardan dolayı güç üretimi tahmini modellerinde kullanılan meteorolojik değişkenler farklılık göstermektedir. Dolayısıyla dünyanın farklı ülkelerindeki sistemlerin güç üretimi potansiyellerinin açıklanabilmesi ait olduğu konumlara özel fiziksel koşullara ve kısıtlara bağlıdır. Bu çalışmada Van bölgesine ait veriler kullanılmış ve konuma bağlı enerji üretimini etkileyen meteorolojik değişkenler ve bu değişkenlerin üretilen güç ile ilişkisi ortaya koyulmuştur.

Fotovoltaik enerji alanında yapılan benzer çalışmalarda, verilerin durağan olduğu ve olmadığı durumlarda regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve durağan olmayan seriler üzerinde gerçekleştirilen analizlerin, aralarında anlamlı bir doğrusal ilişki olmasa da, değişkenler arasında güçlü bir ilişkinin var olduğu sonucuna varılmasına neden olabildiği görülmüştür (Ramenah ve ark., 2018). Regresyon analizinin kullanıldığı farklı alanlardaki çalışmalarda da bu durum ortaya koyulmuştur. Baumohl ve Lyocsa (2009) tarafından yapılan bir çalışmada BUX, WIG, PX, SAX endekslerinin kapanış fiyatları analiz edilmiştir. Durağan olmayan bu seriler olduğu gibi analiz edildiğinde yüksek bir R^2 ve düşük bir DW değeri elde edilirken, seriler durağanlaştırıldıktan sonra ise elde edilen R^2 değerleri daha düşük ve DW değerleri ise daha yüksek bulunmuştur. Literatürde yapılan bu ve benzeri çalışmalarda vurgulanmak istenen, durağan olmayan bir serinin durağan kabul edilmesi ile yapılacak çalışmalarda yanıltıcı sonuçlar elde edilebileceğidir. Granger & Newbold (1974), regresyon analizinin temel varsayımlarından biri olan otokorelasyon durumunun göz ardı edildiği çalışmalarda R^2 'nin yüksek çıktığından bahsetmişlerdir. Bu çalışmada otokorelasyon göz önüne alınmadan kurulan modelde R^2 %82.8 olarak bulunmuş, otokorelasyon durumu ortadan kaldırıldıktan sonra ise R^2 %44.5 bulunmuştur.

Literatürde yenilenebilir enerji alanında kurulan sistemlerin enerji üretiminin tahmini için birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmaların birçoğunda sistemlerin kurulu bulunduğu konumlara ait meteorolojik değişkenler enerji tahmini için kullanılmaktadır. Van bölgesinin meteorolojik değişkenlerinin kullanıldığı bu çalışmanın, ileride bu bölgede yapılacak enerji üretim tahmini çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Van bölgesi güneşlenme süresi bakımından Türkiye'de ilk sıralardadır. Bu potansiyelin doğru şekilde kullanılabilmesi bölgemiz ve ülkemiz açısından önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu alanda bölgemizin sahip olduğu meteorolojik ve fiziki koşullar göz önüne alınarak yapılacak bilimsel çalışmalar sistemlerin doğru planlanması açısından faydalı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, fotovoltaik panel verilerini tarafımızla paylaşan ve değerli görüş ve önerileri ile katkıda bulunan, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Güneş Enerji Santrali Projesi yürütücüsü Sayın Prof. Dr. Naci GENÇ'e teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Adak, S., Cangi, H., & Yılmaz A. S. (2019). Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 316-327.
- Antonanzas, J., Osorio, N., Escobar, R., Urraca, R., Martinez-de-Pison, F. J., & Antonanzas-Torres, F. (2016). Review of photovoltaic power forecasting. *Solar Energy*, 136, 78-111. [doi:10.1016/j.solener.2016.06.069](https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.069)
- Arslan, G., Bayhan, B., & Yaman, K. (2019). Mersin/Türkiye için ölçülen global güneş ışınımının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi ve yaygın ışınım modelleri ile karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1), 80-96. [doi:10.29109/gujsc.419473](https://doi.org/10.29109/gujsc.419473)
- Ayan, İ., & Mehtap, S. (2018). *Fotovoltaik sistemin yapay zeka algoritması ile güç tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kırklareli, Türkiye.
- Baumohl, E., & Lyocsa, S. (2009). Stationarity of time series and the problem of spurious regression. Available at SSRN 1480682.

- Benghanem, M., & Joraid, A. A. (2007). A multiple correlation between different solar parameters in Medina, Saudi Arabia. *Renewable Energy*, 32(14), 2424-2435. [doi:10.1016/j.renene.2006.12.017](https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.12.017)
- Bhattacharya, T., Chakraborty, A. K., & Pal, K. (2014). Effects of ambient temperature and wind speed on performance of monocrystalline solar photovoltaic module in Tripura, India. *Journal of Solar Energy* 2014, ID:817078
- Chang, K., Siddiqui, A., & Slater, R. (2019). Forecasting localized weather-based photovoltaic energy production. *SMU Data Science Review*, 2(2), 2. <https://scholar.smu.edu/datasciencereview/vol2/iss2/2> Erişim tarihi: 03.01.2020.
- Chrobak, P., Skovajsa, J., & Zalesak, M. (2016). Effect of cloudiness on the production of electricity by photovoltaic panels. In MATEC Web of Conferences (Vol. 76, p. 02010). EDP Sciences.
- DAKA (2008). Güneş enerjisi sektör raporu, https://www.daka.org.tr/panel/files/files/yayinlar/gunes_sektorel.pdf Erişim tarihi: 22.12.2019.
- De Giorgi, M. G., Congedo, P. M., & Malvoni, M. (2014). Photovoltaic power forecasting using statistical methods: impact of weather data. *IET Science, Measurement & Technology*, 8(3), 90-97. [doi:10.1049/iet-smt.2013.0135](https://doi.org/10.1049/iet-smt.2013.0135)
- Deniz, E., & Atik, K. (2007). Güneş ışınım şiddeti tahminlerinde yapay sinir ağları ve regresyon analiz yöntemleri kullanımının incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 27(2), 15-20.
- Durbin J. & Watson G. S. (1950). Testing for Serial Correlation in Least-Squares Regression: I. *Biometrika*, 37(3/4), 159-171.
- GEPA (2020). Güneş enerjisi potansiyel atlası, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> Erişim tarihi: 20.12.2019.
- Granger, C.W. & Newbold, P. (1974). Spurious Regressions in Econometrics. In: *Journal of Econometrics*, 1974, vol. 2, no. 2, p. 111 – 120. ISSN 0304-4076
- Gujarati, D. N., & Porter, D. (2009). *Basic Econometrics*. Mc Graw-Hill International Edition.
- Gujarati, D. N. (1995). *Basic Econometrics, 3rd Ed*. McGraw-Hill, New York
- Günel, A. (2004). Regresyon denkleminin başarısını ölçmede kullanılan belirleme katsayısı ve kritiği. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 4(2), 133-140.
- Hamrouni, N., Jraidi, M., & Chérif, A. (2008). Solar radiation and ambient temperature effects on the performances of a PV pumping system. *Revue des Energies Renouvelables*, 11(1), 95-106.
- Hiyama, T., & Kitabayashi, K. (1997). Neural network based estimation of maximum power generation from PV module using environmental information. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 12(3), 241-247. [doi:10.1109/60.629709](https://doi.org/10.1109/60.629709)
- Jarque, C. M. & Bera, A. K. (1987). A Test for Normality of Observations and Regression Residuals. *International Statistical Review*, (55), 163-172.
- Kara, A. (2019). Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağı Kullanarak Global Güneş Işınımı Zaman Serileri Tahmini. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(4), 882-892.
- Nasrin, R., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2018). Effect of high irradiation on photovoltaic power and energy. *International Journal of Energy Research*, 42(3), 1115-1131.
- Panjwani, M. K., & Narejo, G. B. (2014). Effect of humidity on the efficiency of solar cell (photovoltaic). *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(4), 499-503.
- Qing, X., & Niu, Y. (2018). Hourly day-ahead solar irradiance prediction using weather forecasts by LSTM. *Energy*, (148), 461-468. [doi:10.1016/j.energy.2018.01.177](https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.177)
- Ramenah, H., Casin, P., Ba, M., Benne, M., & Tanougast, C. (2018). Accurate determination of parameters relationship for photovoltaic power output by augmented dickey fuller test and engle granger method. *AIMS Energy*, 6(1), 19-48.
- Razak, A., Irwan, Y. M., Leow, W. Z., Irwanto, M., Safwati, I., & Zhafarina, M. (2016). Investigation of the effect temperature on photovoltaic (PV) panel output performance. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6(5), 682-688.
- REN21 (2019). Renewables 2019 Global Status Report, Paris, REN21 Secretariat.
- Taşçıoğlu, A. (2015). *Monokristal ve polikristal güneş panellerinin bursa koşullarındaki güç performansı üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bursa, Türkiye.

Wang, K., Qi, X., & Liu, H. (2019). A comparison of day-ahead photovoltaic power forecasting models based on deep learning neural network. *Applied Energy*, 251, 113315. [doi:10.1016/j.apenergy.2019.113315](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113315)

